


<p>N G B F S t a n d a r d</p>	<p>차세대방송표준포럼표준(국문표준)</p> <p>NGBF-STD-008 제정일: 2016년 3월 30일</p> <div data-bbox="477 577 1393 1227"> <p>지상파 UHDTV 방송 송수신 정합</p> <p>- 파트 4. 물리계층</p> <hr/> <p>Transmission and Reception for Terrestrial</p> <p>UHDTV Broadcasting Service -</p> <p>- Part 4. Physical Layer</p> </div> <div data-bbox="451 1821 1366 1973">  <p>차세대방송표준포럼 Next-Generation Broadcast Standards Forum</p> </div>
--	--

차세대방송표준포럼단체표준(국문표준)

NGBF-STD-008

제정일: 2016 년 3 월 30 일

지상파 UHDTV 방송 송수신 정합
- 파트 4. 물리계층

Transmission and Reception for Terrestrial
UHDTV Broadcasting Service
- Part 4. Physical Layer



본 문서에 대한 저작권은 차세대방송표준포럼에 있으며, 차세대방송표준포럼과 사전 협의 없이 이 문서의 전체 또는 일부를 상업적 목적으로 복제 또는 배포해서는 안 됩니다.

Copyright© Next Generation Broadcasting Forum 2016. All Rights Reserved.

서 문

1. 표준의 목적

본 표준은 국내 지상파 초고선명(UHD, Ultra High Definition) TV 방송 서비스를 위한 물리계층(physical layer) 전송 시스템의 상세 규격을 정의하며, 지상파 UHD TV 방송 서비스를 제공하기 위해 방송 시스템을 제작/설치하고자 하는 자에게 필요한 물리계층 송수신 정합에 관한 기술적 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

2. 주요 내용 요약

본 표준은 국내 지상파 UHD TV 방송 시스템에 대한 규격 사항으로, 물리계층 전송 시스템의 신호 규격을 정의한다. 물리계층 전송 시스템의 신호는 물리계층 파형 신호와 부트스트랩(bootstrap) 신호로 구성된다. 물리계층 파형 신호는 입력 포매팅, 비트 인터리빙 부호 변조, 프레이밍 및 인터리빙, 파형 생성 등을 통하여 생성되며 부트스트랩 신호는 물리계층 파형 부분의 초기 진입점에 대한 규격을 정의한다.

3. 표준의 이력 정보

3.1. 표준의 이력

판수	제정·개정일	제정·개정 내역
제 1 판	2016.03.30.	제정 NGBF-STD-008

3.2. 주요 개정 사항

해당 없음

목 차

서 문.....	3
목 차.....	4
1. 개요.....	9
1.1. 시스템 특징	9
1.2. 시스템 구조	10
2. 표준의 구성 및 범위.....	14
3. 참조 표준(권고).....	15
4. 용어 정의 및 약어	16
4.1. 용어 정의	16
4.2. 심볼 정의	17
4.3. 약어	17
5. 입력 포매팅	20
5.1. 캡슐화 및 압축	20
5.1.1. PLP 개수	21
5.2. 기저대역 포매팅	21
5.2.1. ALP 패킷의 기저대역 패킷 할당	21
5.2.2. 기저대역 패킷 헤더	22
5.2.3. 기저대역 패킷의 스크램블링	28
6. BICM	29
6.1. FEC	29
6.1.1. FEC 프레임의 구조	29
6.1.2. 외부 부호	31
6.1.3. 내부 부호	33
6.2. 비트 인터리버	37
6.2.1. 패리티 인터리버	37
6.2.2. 그룹 인터리버	39
6.2.3. 블록 인터리버	39
6.3. 성상 매핑	44
6.3.1. 성상의 개요	45
6.3.2. 변조와 부호화의 조합	45

6.3.3.	역다중화 연산	46
6.3.4.	Bit 에서 IQ 로의 매핑	47
6.4.	계층 분할 다중화	50
6.4.1.	LDM 부호화	50
6.4.2.	삽입 레벨 제어기	52
6.4.3.	전력 정규화기	53
6.4.4.	LDM 예제	54
6.5.	L1-시그널링의 보호	55
6.5.1.	개요	55
6.5.2.	L1-Basic 과 L1-Detail 에 대한 공통 블록	57
6.5.3.	L1-Detail 의 상세 블록 설명	69
7.	프레이밍/인터리빙	77
7.1.	시간 인터리빙	77
7.1.1.	시간 인터리버 모드	77
7.1.2.	시간 인터리버 크기	78
7.1.3.	확장 인터리버	78
7.1.4.	컨벌루션 시간 인터리버 모드	79
7.1.5.	하이브리드 시간 인터리버 모드	81
7.2.	프레이밍	90
7.2.1.	개요	90
7.2.2.	프레임 구조	91
7.2.3.	전송 부반송파 개수	93
7.2.4.	프레임 심볼 타입	93
7.2.5.	프리앰블	95
7.2.6.	셀 다중화	98
7.2.7.	부프레임에서 PLP 다중화 방법	114
7.3.	주파수 인터리버	122
8.	파형 생성.....	129
8.1.	파일럿 삽입	129
8.1.1.	파일럿 삽입 개요	129
8.1.2.	레퍼런스 수열	130
8.1.3.	분산 파일럿 삽입	131
8.1.4.	연속 파일럿 삽입	133
8.1.5.	엣지 파일럿 삽입	134
8.1.6.	프리앰블 파일럿 삽입	135

8.1.7.	부프레임 경계 심볼 파일럿 삽입	136
8.2.	MISO	137
8.2.1.	TDCFS	137
8.3.	IFFT	139
8.4.	PAPR	148
8.4.1.	톤 예약	148
8.4.2.	ACE	149
8.5.	보호 구간	149
8.5.1.	시간 정렬 프레임을 위한 보호 구간 확장	149
9.	L1 시그널링.....	152
9.1.	부트스트랩	152
9.1.1.	버전	152
9.1.2.	부트스트랩 심볼 1	152
9.1.3.	부트스트랩 심볼 2	152
9.1.4.	부트스트랩 심볼 3	153
9.2.	L1-Basic 데이터 구문	153
9.2.1.	L1-Basic: 시스템 및 프레임 파라미터	154
9.2.2.	L1-Basic: L1-Detail 관련 파라미터	157
9.2.3.	첫 번째 부프레임에 대한 L1-Basic 파라미터	158
9.2.4.	기타 L1-Basic 파라미터	160
9.3.	L1-Detail 데이터 구문 및 의미	160
9.3.1.	기본 L1-Detail 파라미터	163
9.3.2.	채널 본딩 L1-Detail 파라미터(프레임)	164
9.3.3.	부프레임 L1-Detail 파라미터	165
9.3.4.	PLP L1-Detail 파라미터	169
9.3.5.	계층 분할 다중화 L1-Detail 파라미터	172
9.3.6.	채널 본딩 L1-Detail 파라미터(PLP)	173
9.3.7.	MIMO L1-Detail 파라미터(PLP)	174
9.3.8.	셀 다중화 L1-Detail 파라미터	174
9.3.9.	시간 인터리버 L1-Detail 파라미터	175
10.	부트스트랩.....	178
10.1.	부트스트랩 개요	178
10.1.1.	버전	179
10.1.2.	Scalability	179
10.1.3.	확장성	180
10.2.	부트스트랩 규격	180

10.2.1. 시그널 차원	180
10.2.2. 주파수 영역 수열	181
10.2.3. 심볼 시그널링	185
10.2.4. 시간 영역 구조	186
10.3. 부트스트랩 시그널 구조	189
10.3.1. 주 버전 0 에 대한 부트스트랩 시그널링	189
부 록 (APPENDIX)	194
A. LDPC 부호	194
A.1. LDPC 부호 매트릭스($N_{inner} = 64800$)	194
A.2. LDPC 부호 매트릭스($N_{inner} = 16200$)	205
B. 비트 인터리버 수열	211
B.1. $N_{inner} = 64800$ 에서의 그룹 인터리빙 수열 ($N_{group} = 180$)	211
B.2. $N_{inner} = 16200$ 에서의 그룹 인터리빙 수열 ($N_{group} = 45$)	229
C. 성상도 정의 및 그림	233
C.1. 성상도 정의	233
C.2. 성상도 그림	240
C.3. 성상도 라벨링	243
D. 연속 파일럿 패턴	246
D.1. 레퍼런스와 추가 CP 인덱스	246
E. 분산 파일럿 패턴	250
E.1. SISO 분산 파일럿 패턴	250
F. 톤 예약 부반송파 색인	255
F.1. 톤 예약 색인	255
G. 부트스트랩을 위한 프리앰블 파라미터	258
H. MISO	262
H.1. MISO 주파수 영역 계수	262
I. 채널 본딩	266
I.1. 시스템 개요	266
I.2. 일반 채널 본딩	267
I.3. SNR 평균 채널 본딩	268
J. MIMO	269
J.1. 시스템 개요	269
J.2. FEC 부호화	270
J.3. 비트 인터리빙	270

J.4. MIMO 역다중화	270
J.5. 성상 기법	271
J.6. MIMO-LDM 을 위한 성상 기법	271
J.7. MIMO 프리코더	271
J.7.1. 스트림 결합	272
J.7.2. I/Q 편파 인터리빙	273
J.7.3. 위상 호핑	273
J.8. 시간 인터리버	274
J.9. 프레임	274
J.10. 주파수 인터리버	274
J.11. 파일럿 패턴	274
J.11.1. 파일럿 안테나 인코딩	275
J.11.1.1. Walsh-Hadamard 인코딩	275
J.11.1.2. 널 파일럿 인코딩	276
J.11.2. 파일럿 기법	277
J.11.2.1. Walsh-Hadamard	278
J.11.2.2. 널 파일럿	281
K. PAPR 알고리즘	285
K.1. PAPR 알고리즘	285
K.2. TR 알고리즘	285
K.3. ACE 알고리즘	288
K.3.1.1 차원 ACE 알고리즘	288
K.3.2.2 차원 ACE 알고리즘	291
K.3.3.2 차원 ACE 성상도 다이어그램	293

지상파 UHDTV 방송 송수신 정합 – 파트 4. 물리계층

1. 개요

본 표준은 지상파 UHDTV 방송 서비스를 제공하는데 필요한 송수신 정합 규격 중 물리계층 규격을 정의하기 위해 제정되었다.

1.1. 시스템 특징

지상파 UHDTV 물리계층 시스템은 최신 기술 및 다양한 동작 모드를 제공함으로써 서비스에 따라 요구되는 강인함과 효율성을 유연하게 제공할 목적으로 설계되며, 주요 특징은 다음과 같이 요약된다.

- 채널 코딩을 위해 LDPC 를 지원하며 LDPC 는 2 종류의 부호어 길이 (16200 비트, 64800 비트)와 12 종류의 부호율 (2/15~13/15)로 구성
- 채널 용량 증대를 위해 16/64/256/1K/4KQAM 비균일 성상 (NUC: Non-Uniform Constellation) 지원
- SISO, MISO, MIMO 의 프레임 타입에 대해 시분할 다중화 (TDM: Time Division Multiplexing), 주파수 분할 다중화 (FDM: Frequency Division Multiplexing), 계층 분할 다중화 (LDM: Layered Division Multiplexing)를 지원
- 다중 경로 환경에 강인한 OFDM 변조 방식 사용
- 12 종류의 보호 구간 길이를 이용하여 다양한 서비스 커버리지 지원
- 채널 추정 및 동기 수행을 위해 16 종류의 분산 파일럿 (SP: Scattered Pilot)과 연속 파일럿 (CP: Continual Pilot) 지원
- 단말기 사용 환경 (고정 또는 이동)을 고려하여 3 종류의 FFT 크기 (8K, 16K, 32K) 지원

- 시간 영역 군집 오류 채널에 강인성을 위해 사용되는 시간 인터리버 (Time Interleaver)는 최대 200msec 인터리빙 깊이를 가지는 부프레임 내 인터리빙 (Intra-subframe Interleaving)과 강인한 저용량 서비스 전송을 위한 부프레임 간 인터리빙 (Inter-subframe Interleaving) 모드를 지원하며 확장 인터리빙 (Extended Interleaving) 적용 시 인터리빙 깊이는 최대 400msec 까지 확장 가능
- 주파수 영역 군집 오류 채널에 강인하도록 OFDM 심볼 단위로 동작하는 주파수 인터리버 (Frequency Interleaver) 지원

위와 같이 물리계층 설계는 방송 사업자의 요구를 충족시키고 목표로 하는 서비스를 최적으로 제공할 수 있도록 다양한 기술 방식의 적용을 목표로 한다. 뿐만 아니라 향후 새로운 기술로 업데이트 또는 교환이 가능하며, 새로운 기술은 프리앰블 (preamble) 시그널링을 통해 활성화될 수 있다. 또한 방송 사업자는 기존의 지상파 UHDTV 서비스에 영향을 주지 않고 새로운 기술을 운용할 수 있다.

6MHz 채널 내에서 전송할 수 있는 최대 용량은 57Mbps이며 최대 64개의 PLP를 지원할 수 있다. 또한 수신기는 최소 4개의 PLP를 동시에 디코딩할 수 있어야 한다. 예를 들어 하나의 서비스를 구성할 수 있는 UHD/강인한 HD/강인한 오디오/부가서비스는 각각 다른 강인성을 가지고 각각의 PLP에서 전송이 가능하며 수신기에서 디코딩이 가능하다.

1.2. 시스템 구조

그림 1-1은 물리계층 전송 시스템 블록 구성도를 나타낸다. 시스템 구조는 입력 포매팅 (input formatting), 비트 인터리빙 부호 변조 (BICM), 프레임링/인터리빙 (framing & interleaving), 파형 생성 (waveform generation) 등 4개의 주요 부분으로 구성된다. 그림에는 표시되어 있지 않지만 입력 포매팅의 스케줄러 (scheduler)와 기저대역 포매팅 (baseband formatting) 사이에 SFN/STL 분배 인터페이스가 존재한다. 그림 1-1에서 실선으로 표시된 구성 요소는 LDM과 MIMO에 공통으로 사용되며, 점선으로 표시된 구성 요소는 MIMO에는 사용되지 않고 LDM에만 사용되며, 파선으로 표시된 구성 요소는 LDM

에 사용되지 않고 MIMO에만 사용된다.

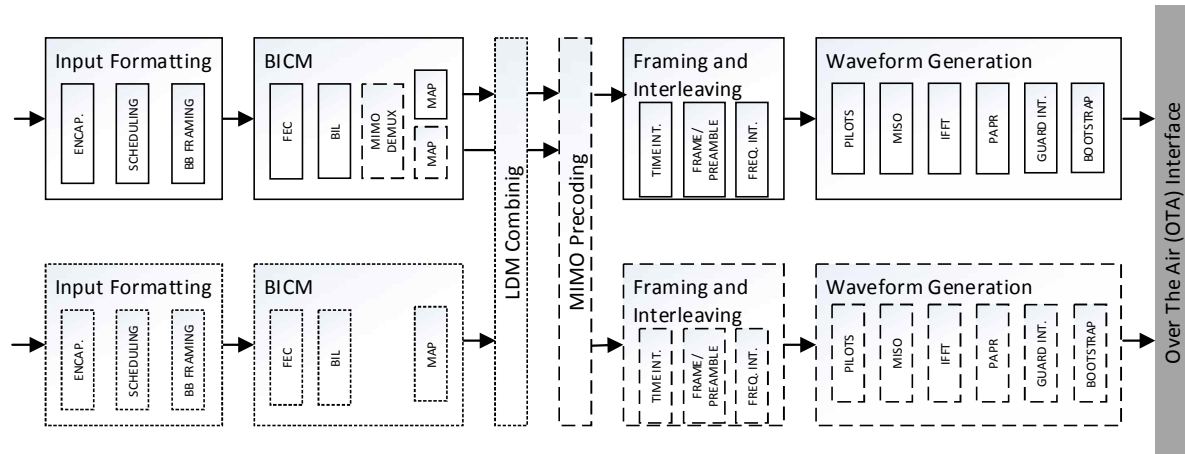


그림 1-1 하나의 RF 채널에서 시스템 블록 구성도

그림 1-2와 그림 1-3은 각각 하나의 PLP와 4개의 PLP를 고려한 시스템 블록 구성도를 간략하게 나타낸다. 그림 1-2의 시스템 블록 구성도는 주요하게 입력 포매팅, BICM, 프레임링/인터리빙, 파형 생성 등 4개의 블록으로 구성된다. 즉, 시스템 입력 신호는 입력 포맷 블록에서 포맷되고 BICM 블록에서 코딩, 비트 인터리빙, 성상 매핑 과정을 통해 신호처리 된다. 다음으로 프레임링/인터리빙 과정에서는 시간/주파수 인터리빙과 프레임 형성 과정이 수행되며, 마지막으로 파형 생성 과정에서 RF 출력 신호가 생성된다. 그림 1-3은 4개의 PLP를 갖는 시스템 블록 구성도를 나타내며 각각의 PLP에 대해서 독립된 입력 포매팅과 BICM이 사용된다.

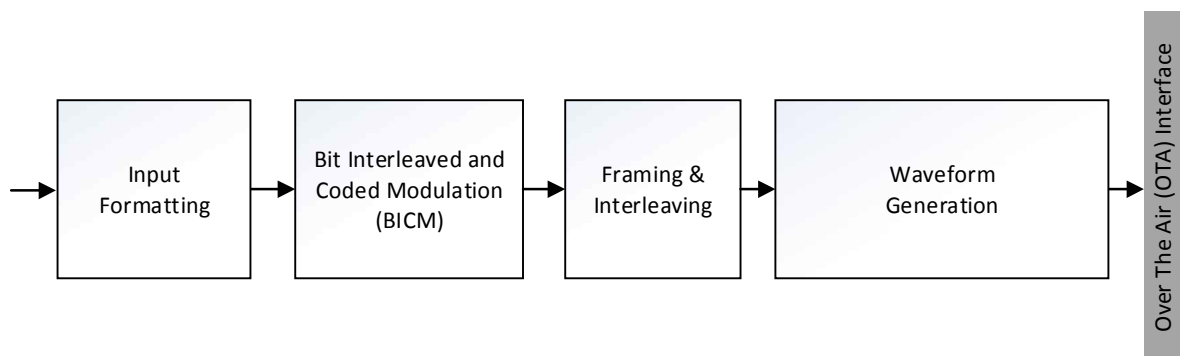


그림 1-2 하나의 PLP 를 갖는 시스템 블록 구성도

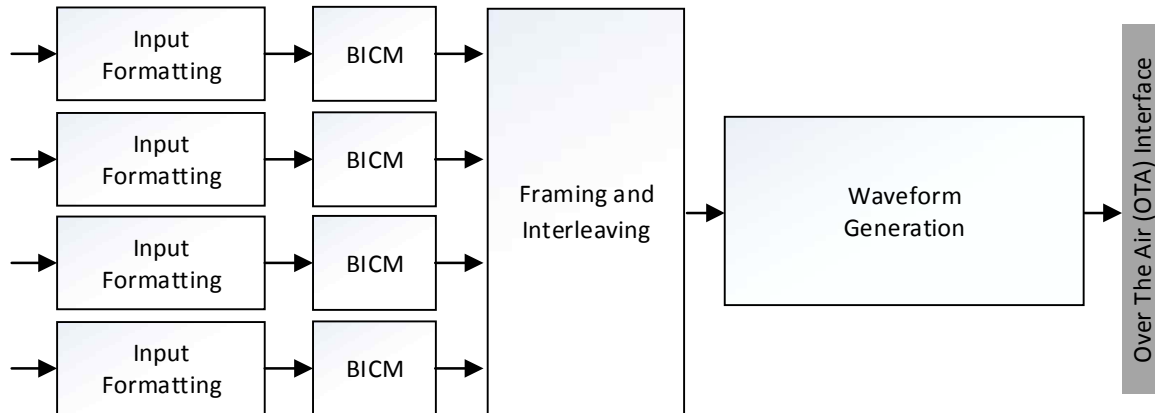


그림 1-3 4 개의 PLP 를 갖는 시스템 블록 구성도

그림 1-4는 LDM 시스템 블록 구성도를 나타낸다. LDM 시스템은 2개의 계층을 가지고 각 계층은 입력 포매팅과 BICM을 가지며, LDM 삽입 (LDM injection) 블록에서 2개의 계층은 결합된다. 결합된 신호는 프레임링/인터리빙, 파형 생성 블록을 통과한다.

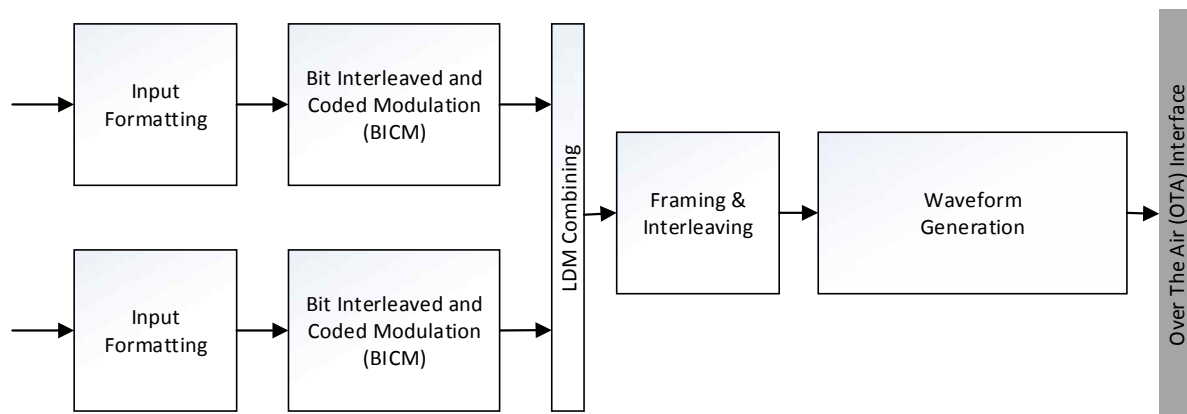


그림 1-4 LDM 시스템 블록 구성도

그림 1-5는 지상파 UHDTV 물리계층 옵션 기술로서 다중 RF 채널을 결합하여 전송 데이터율을 증가시킬 수 있는 채널 본딩 (channel bonding) 시스템 블록 구성도를 나타낸다.

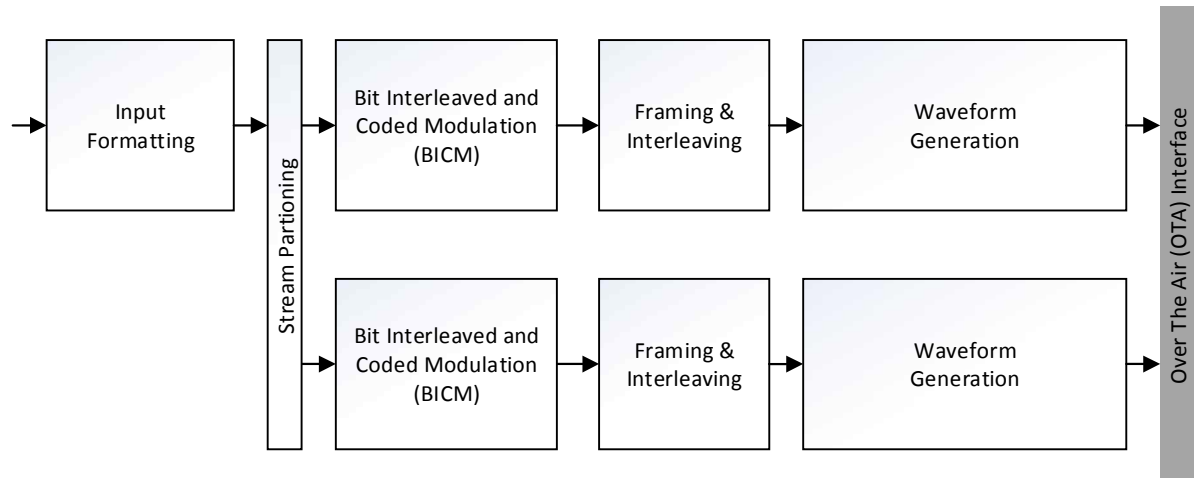


그림 1-5 채널 본딩 시스템 블록 구성도

2. 표준의 구성 및 범위

본 표준은 지상파 UHDTV 방송 서비스 제공을 위한 물리계층 규격에 대해 정의한다. 본 표준은 크게 6장으로 이루어져 있으며, 다음과 같다. "5장. 입력 포매팅"에서는 입력 데이터의 캡슐화와 압축 및 기저대역 포매팅과 스케줄링 방법에 대하여 다룬다. "6장. BICM"에서는 비트 인터리버를 포함한 오류정정부호 및 성상 매핑과 계층 변조 다중화 방법에 대해 다룬다. "7장. 프레이밍/인터리빙"에서는 성상 매핑된 신호에 대한 시간 인터리빙과 프레이밍 및 주파수 인터리빙 방법에 대해 다룬다. "8장. 파형 생성"에서는 파일럿을 포함하여 OFDM 신호 생성을 위한 방법에 대해 다룬다. "9장. L1 시그널링"에서는 물리계층 파라미터 구성을 위해 필요한 정보를 제공하는 시그널링에 대해서 다룬다. 마지막으로 "10장. 부트스트랩"에서는 물리계층 파형 부분의 초기 진입점에 대한 규격을 정의하는 부트스트랩에 대해 다룬다.

3. 참조 표준(권고)

- [1] ATSC: "Scheduler and Studio-Transmitter Link," Doc. A/324:2015, Advanced Television System Committee, Washington, D.C., [date].
- [2] ATSC: "Link-Layer Protocol," Doc. A/330:2015, Advanced Television System Committee, Washington, D.C., [date].
- [3] ATSC: "Signaling, Delivery, Synchronization and Error Protection," Doc. A/331:2015, Advanced Television System Committee, Washington, D.C., [date].
- [4] ATSC: "Dedicated Return Channel," Doc. A/323:2015, Advanced Television System Committee, Washington, D.C., [date].

4. 용어 정의 및 약어

4.1. 용어 정의

전송 부반송파 개수 (NoC) : OFDM 심볼에서 FFT 크기와 모드에 따라서 전송할 수 있는 전체 부반송파 개수를 나타낸다.

유효 데이터 부반송파 개수 : OFDM 심볼의 전체 부반송파에서 파일럿 및 널 셀, 예약 톤을 제외하고 데이터를 전송할 수 있는 부반송파 개수를 나타낸다.

FEC 프레임 : 기저대역 패킷에 FEC 패리티 비트가 결합된 형태이며, 각 FEC 프레임은 64800 비트 혹은 16200 비트의 길이를 가진다.

FEC 블록 : 각 FEC 프레임의 성상 매핑된 출력으로, 그 길이는 FEC 프레임의 길이와 성상 차수에 의해 결정된다.

TI 블록 : 시간 인터리빙을 수행하기 위한 기본 단위로 한 개 이상의 FEC 블록으로 구성되며, 하나의 인터리빙 프레임은 한 개 이상의 TI 블록을 가질 수 있다.

내부 부호 : 연접부호를 구성하는 부호 중 하나로, LDPC 부호가 사용된다.

외부 부호 : 연접부호를 구성하는 부호 중 하나로, BCH 혹은 CRC 부호가 사용된다.

시스템메틱 (systematic) : 부호화에 의해 정보 비트열이 변형되지 않고 동일 형태로 그대로 전송되는 부호를 의미한다.

비균일 성상 : 성상점들이 비균일하게 분포하고 있는 성상

LDM (계층 분할 다중화) : 다수개의 PLP들을 특정 파워 비율로 계층간 결합시키는 다중화 기법

시간 정렬 프레임 : 전체 프레임 길이는 부트스트랩, 프리앰블과 프레임 내에 포함된 부프레임의 길이의 합과 같다. 시간 정렬 프레임은 부프레임 내 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 추가된 초과 샘플을 배치하여 전체 프레임의 길이를 ms 단위로 표현한다.

심볼 정렬 프레임 : 전체 프레임 길이는 부트스트랩, 프리앰블과 프레임 내에 포함된 서브프레임의 길이의 합과 같다. 심볼 정렬 프레임은 부프레임 내 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 대해서 시그널링한 길이 이외에는 어떠한 추가 샘플을 삽입하지 않는다. 전체 프레임의 길이는 심볼의 개수를 사용하여 시그널링한다.

부프레임 경계 심볼 : 부프레임 경계 심볼은 수신기의 정확한 채널 추정을 위해서 사용되는 OFDM 심볼로서 부프레임의 첫 번째 또는 마지막 심볼에 위치한다. 부프레임 경계 심볼은 데이터 심볼보다 높은 밀도의 분산 파일럿을 갖도록 D_x 간격으로 분산 파일럿이 배치된다.

4.2. 심볼 정의

4.3. 약어

ACE	Active Constellation Extension
ACS	Absolute Cyclic Shift (절대 순환 시프트)
ALP	ATSC3.0 Link Layer Protocol
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri and Hocquenghem
BICM	Bit Interleaved and Coded Modulation (비트 인터리빙 부호 변조)
CTI	Convolutional Time Interleaver (컨벌루션 시간 인터리버)
CRC	Cyclical Redundancy Check
FDM	Frequency Division Multiplexing (주파수 분할 다중화)
FEC	Forward Error Correction (순방향 에러 정정)
FFT	Fast Fourier Transform

FI	Frequency Interleaver (주파수 인터리버)
HTI	Hybrid Time Interleaver (하이브리드 시간 인터리버)
LDM	Layered Division Multiplexing (계층 분할 다중화)
LDPC	Low Density Parity Check
LFSR	Linear Feedback Shift Register
LLS	Low Level Signaling
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MISO	Multiple-Input Single-Output
NUC	Non-Uniform Constellation (비균일 성상)
NoC	Number of Carriers (전송 부반송파 개수)
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (직교 주파수 분할 다중화)
OFI	Optional Field Indicator
PAPR	Peak to Average Power Ratio (첨두 전력 대 평균 전력비)
PLP	Physical Layer Pipe
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RCS	Relative Cyclic Shift (상대 순환 시프트)
SBS	Subframe Boundary Symbol (부프레임 경계 심볼)
SFN	Single Frequency Network
SIMO	Single-Input Multiple-Output
SISO	Single-Input Single-Output

SLT	Service Labeling Table
STL	Studio Transmitter Link (ST 링크)
TDM	Time Division Multiplexing (시분할 다중화)
TI	Time Interleaver (시간 인터리버)

5. 입력 포매팅

그림 5-1과 같이 입력 포매팅은 입력 데이터(예, IPv4 패킷, 링크계층 시그널링, MPEG2-TS)의 캡슐화 및 압축, 기저대역 포매팅, 스케줄러의 3가지 블록으로 구성되는데 점선과 실선은 각각 제어 정보의 흐름과 데이터의 흐름을 나타낸다.

입력 데이터의 캡슐화 및 압축 동작에 대한 상세한 내용은 5.1절에, 스케줄러의 동작은 참조문헌 [1]에, 기저대역 포매팅 구성은 5.2절에 기술되어 있다.

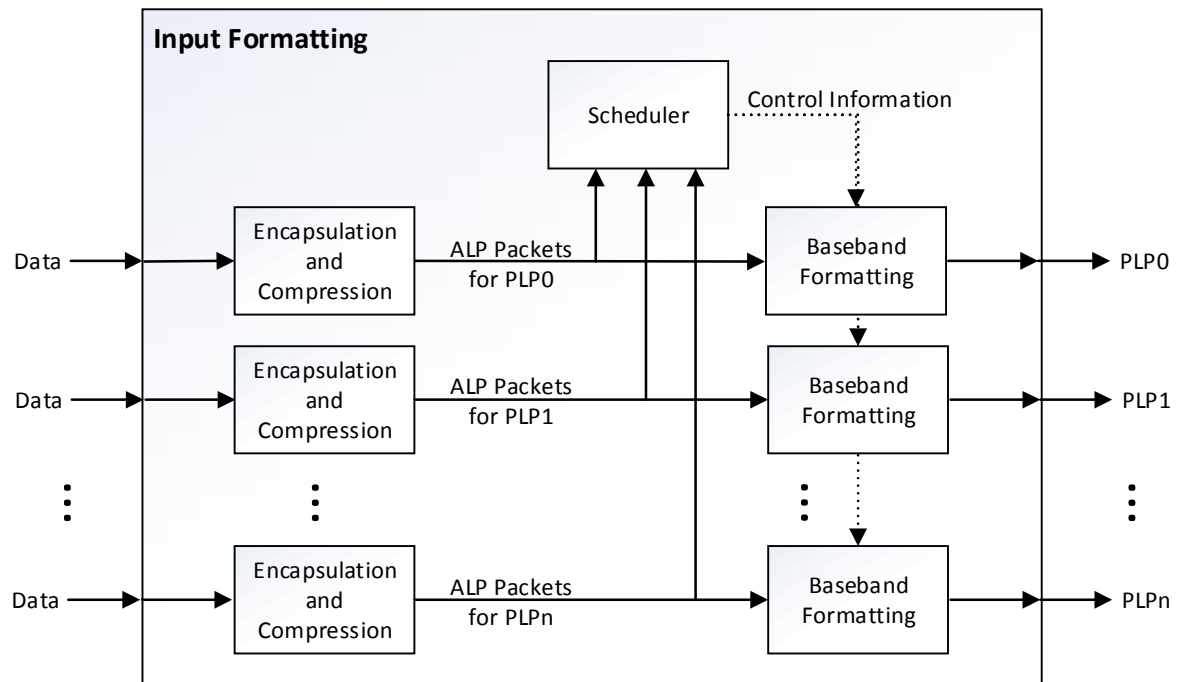


그림 5-1 입력 포매팅 블록 구성도

5.1. 캡슐화 및 압축

입력 데이터 패킷은 참조문헌 [2] 규격에 따라 캡슐화 및 압축되어 ALP(ATSC3.0 Link Layer Protocol)라 불리는 패킷으로 출력된다. 각각의 ALP 패킷의 길이는 가변적이며, ALP 패킷의 헤더로부터 그 길이를 알 수 있다. 하나의 ALP 패킷의 최대 길이(헤더 및 데이터 포함)는 참조문헌 [2]를 따른다.

5.1.1. PLP 개수

각각의 RF 채널 (6 MHz)내에서 PLP의 최소 개수는 1개이고 최대 개수는 64개이다. 7.1.1절에 기술된 제약사항에 견주어서 수신기는 적어도 4개의 PLP를 동시에 디코딩할 수 있어야 한다.

5.2. 기저대역 포매팅

그림 5-2와 같이 기저대역 포매팅 블록은 기저대역 패킷 생성 및 기저대역 패킷 헤더 생성, 각각의 기저대역 패킷 스크램블링의 3가지 블록으로 구성된다. 기저대역 포매팅 블록은 스케줄러의 지시에 의해서 하나 또는 그 이상의 PLP를 생성한다. 기저대역 포매팅 블록은 정의된 FEC 프레임당 정확하게 하나의 기저대역 패킷을 출력한다.

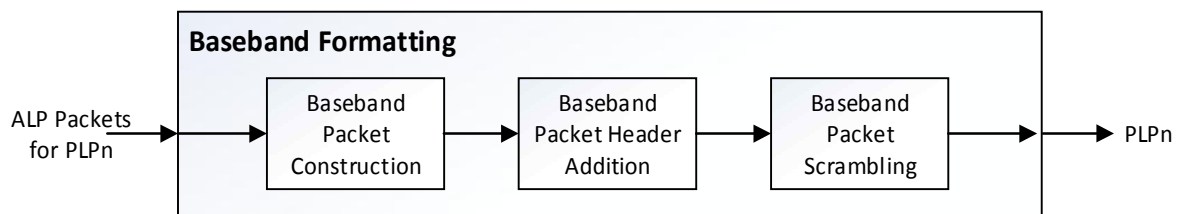


그림 5-2 기저대역 포매팅 블록도

5.2.1. ALP 패킷의 기저대역 패킷 할당

하나의 기저대역 패킷은 5.2.2절에서와 같이 하나의 헤더와 하나의 페이로드(ALP 패킷 또는 패딩)로 구성된다. 기저대역 패킷은 $K_{payload}$ 크기의 고정 길이를 가지며 그 길이는 해당 PLP를 위해 선택된 부호율과 부호어 길이에 의해 결정된다. $K_{payload}$ 의 값은 표 6-1과 표 6-2에 나와 있다.

ALP 패킷은 반드시 입력되는 순서대로 페이로드 부분에 할당되어야 하며, 순서를 바꾸는 것은 허용되지 않는다. 만약 입력되는 ALP 패킷의 개수가 어떤 기저대역 패킷을

채우기에 충분하지 않다면, 해당 기저대역 패킷을 온전히 채우기 위해 패딩이 사용되며, 상세한 내용은 5.2.2.3절에 기술되어 있다.

일반적으로 ALP 패킷의 개수는 해당 기저대역 패킷을 채우기에 충분하다. 만약 마지막 ALP 패킷이 해당 기저대역 패킷을 다 채우고도 남는 경우, 그 남는 부분(나누어진 ALP)은 다음 기저대역 패킷의 시작부터 할당하여 전송할 수 있다. ALP 패킷은 반드시 바이트 단위로 분할된다. 만약 그 마지막 ALP 패킷을 분할하지 않을 경우, 현재 기저대역 패킷에서는 기저대역 패킷을 완전히 채우기 위해 기저대역 패킷 헤더의 확장 필드에 패딩이 사용된다. 그림 5-3에서 마지막 ALP 패킷은 현재 기저대역 패킷과 다음 기저대역 패킷 사이에 나누어져 있다.

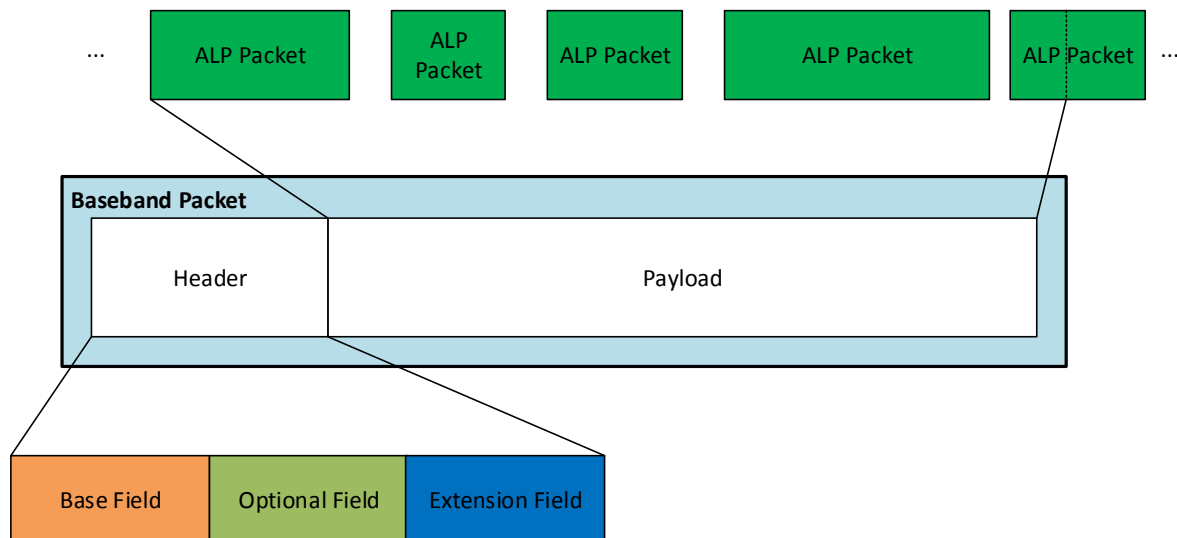


그림 5-3 헤더 및 페이로드, ALP 패킷을 기저대역 패킷으로 할당하는 기저대역 패킷 구조

5.2.2. 기저대역 패킷 헤더

기저대역 패킷 헤더는 그림 5-3과 그림 5-4 와 같이 최대 3개의 필드로 구성된다. 첫 번째 부분은 모든 기저대역 패킷을 나타내는 기저 필드(Base Field)이고, 두 번째 부분은 선택 필드(Optional Field)이며, 세 번째 부분은 확장 필드(Extension Field)이다.

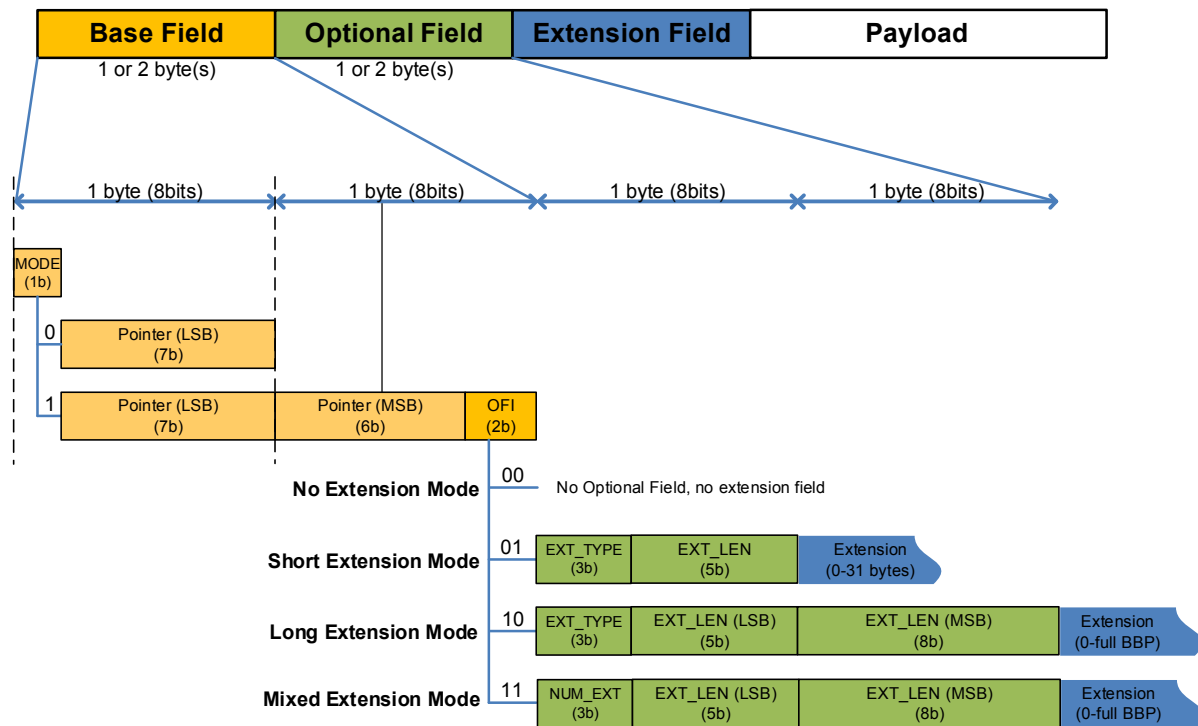


그림 5-4 기저대역 패킷 헤더 상세 구조

5.2.2.1. 기저 필드

하나의 ALP 패킷이 2개 이상의 기저대역 패킷으로 나누어질 수도 있으므로 기저대역 패킷의 페이로드 시작이 반드시 ALP 패킷의 시작을 나타내지는 않는다. 기저 필드는 해당 기저대역 패킷 내에 온전한 첫 번째 ALP 패킷의 시작 위치 정보를 시그널링한다. 이때 시그널링 값은 페이로드의 시작 위치로부터 해당 기저대역 패킷에서 시작되는 첫 번째 ALP 패킷의 시작 위치까지의 오프셋 (바이트 단위)이다. 어떤 ALP 패킷이 기저대역 패킷의 페이로드 시작 위치로부터 시작할 때, 그 지시자의 값은 0으로 설정된다. 기저대역 패킷 내에 시작하는 ALP 패킷이 없을 때, 그 지시자의 값은 8191로 설정되고 기저 헤드는 2 바이트 길이를 갖는다. 기저대역 패킷 내에 ALP 패킷이 없고 단지 패딩만 존재할 때 그 지시자의 값은 8191로 설정되고 기저 헤드는 2 바이트 길이를 가지며 OFI 지시자에 의해 표시되는 선택 및 확장 필드가 사용된다.

기저 필드의 시그널링은 아래와 같다.

MODE – 본 필드는 1 비트로 기저 필드의 길이가 1 바이트(MODE = 0)인지 2 바이트

트(MODE = 1)인지를 나타낸다. 다시 말해서, 지시자(Pointer) 필드의 상위 MSB 6 비트와 2비트 OFI 필드의 존재 유무를 나타낸다.

MODE = 0일 때, 지시자 값은 128 바이트보다 작은 값을 갖는다. 지시자 필드는 7 비트로 구성되고 지시자의 값은 Pointer_LSB 내에만 전송되며 Pointer_LSB 내에서 해당 비트는 MSB 부터 LSB 순서이어야 한다. 기저 헤더의 길이는 1 바이트이고 선택 필드와 확장 필드 어떤 것도 할당되지 않아야 한다.

MODE = 1일 때, 지시자 필드의 길이는 13 비트이어야 하는데 해당 기저 필드의 Pointer_LSB와 Pointer_MSB의 조합으로 구성된다. Pointer_LSB 내의 비트는 MSB 부터 LSB 순서이어야 하고, Pointer_MSB 내의 비트도 MSB 부터 LSB 순서이어야 한다. 기저 필드의 길이는 2 바이트이고, OFI 필드를 이용하여 선택 필드와 확장 필드의 할당이 허용된다. Pointer_LSB와 Pointer_MSB의 조합 순서는 그림 5-4에 보여지는 대로 Pointer_LSB 7 비트가 먼저 오고 다음 Pointer_MSB 6 비트 순서이어야 한다. 예를 들어 지시자의 값이 130이고 OFI = 0 인 경우, 기저 헤더 2 바이트의 값은 MODE = 1, Pointer_LSB = 0000010, Pointer_MSB = 000001, OFI = 00. 즉, "10000010 00000100" 이어야 한다.

Pointer_LSB - 본 필드는 지시자 필드의 LSB 7 비트이다.

Pointer_MSB - 본 필드는 지시자 필드의 MSB 6 비트이다.

OFI(Optional Field Indicator) - 본 필드는 2비트이고, 표 5-1과 같이 기저대역 패킷의 헤더 확장 모드를 나타낸다.

표 5-1 OFI

OFI	Description
00	No Extension Mode: Absence of both optional and extension fields
01	Short Extension Mode: Presence of the optional field, with length equal to 1 byte
10	Long Extension Mode: Presence of the optional field, with length equal to 2 bytes
11	Mixed Extension Mode: Presence of the optional field, with length equal to 2 bytes

5.2.2.2. 선택 필드

선택 필드는 OFI = 01 또는 10 또는 11인 경우에만 할당된다. OFI = 01일 때는 짧은 길이 확장 모드(short extension mode)로, OFI = 10일 때는 긴 길이 확장 모드(long extension mode)로, OFI = 11일 때는 복수 확장 모드(mixed extension mode)로 정의된다.

- 짧은 길이 확장 모드

확장 필드는 해당 선택 필드 내의 EXT_TYPE과 EXT_LEN 필드에 따라 구성되는데, EXT_TYPE에 명기된 확장 타입의 실제 길이가 EXT_LEN에 명기될 값보다 작을 경우, 5.2.2.3절에 정의된 바와 같이 그 나머지 부분은 0x00 값을 가지는 패딩으로 채워져야 한다.

짧은 길이 확장 모드의 선택 필드는 다음과 같은 필드로 구성된다.

EXT_TYPE (3 비트): 본 필드는 표 5-2에 정의된 바와 같이 확장 필드에 전송되는 확장의 타입을 나타낸다. 기저대역 패킷당 하나의 확장 타입만 사용된다.

EXT_LEN (5 비트): 본 필드는 0 ~ 31 바이트 범위에서 확장 필드의 바이트 길이를 나타낸다. EXT_LEN=0은 확장 필드가 할당되지 않음을 나타낸다.

- 긴 길이 확장 모드

확장 필드는 해당 선택 필드 내의 EXT_TYPE과 EXT_LEN(LSB)와 EXT_LEN(MSB) 필드의 조합에 따라 구성되는데, EXT_TYPE에 명기된 확장 타입의 실제 길이가 EXT_LEN(LSB)와 EXT_LEN(MSB)의 조합에 명기될 값보다 작을 경우, 5.2.2.3절에 정의된 바와 같이 그 나머지 부분은 0x00값을 가지는 패딩으로 채워져야 한다.

긴 길이 확장 모드의 선택 필드는 다음과 같은 필드로 구성된다.

EXT_TYPE (3 비트): 본 필드는 표 5-2 와 같이 확장 필드에 전송되는 확장의 타입을 나타낸다. 기저대역 패킷 당 하나의 확장 타입만 사용된다.

EXT_LEN (LSB) (5 비트): 본 필드는 13 비트 EXT_LEN의 LSB 파트를 나타낸다.

EXT_LEN (MSB) (8 비트): 본 필드는 13 비트 EXT_LEN의 MSB 파트를 나타낸다.

선택 필드 내의 EXT_LEN(LSB)와 EXT_LEN(MSB) 필드의 조합인 EXT_LEN (13 비트)는 0 ~ 기저대역 패킷 끝부분까지의 범위를 가지는 확장 필드의 실제적인 바이트 길이를 나타낸다. EXT_LEN가 확장 필드의 길이가 0임을 나타낼 때 확장 필드는 할당되지 않는다.

- 복수 확장 모드

복수 확장 모드에서 확장 필드는 패딩과 패딩이 아닌 N개의 확장 타입으로 구성된다 (여기서, $2 \leq N \leq 7$). 그림 5-5는 복수 확장 모드에서 확장 필드의 구조를 나타낸다.



그림 5-5 복수 확장 모드에서 확장 필드의 구조

패딩이 아닌 N개의 확장 타입은 각각의 확장 타입을 위해서 2 바이트 헤더를 할당한다. 즉, 확장 필드의 전체 헤더는 2N 바이트가 된다. 확장 필드에서 N개의 모든 헤더가 우선 전송되고, 이후로 각각의 확장 타입에 따른 페이로드 필드가 차례대로 전송되며 필요한 경우 최종적으로 패딩이 전송된다.

각각의 확장 타입을 위한 2 바이트 헤더는 긴 길이 확장 모드의 2 바이트 헤더와 동일한 구성을 가진다. EXT_LEN (13 비트)는 해당 페이로드의 길이를 나타낸다.

복수 확장 모드에서의 선택 필드는 다음과 같은 필드로 구성된다.

NUM_EXT (3 비트): 본 필드는 해당 확장 필드에 있는 패딩이 아닌 확장 타입의 개수 $N(2 \leq N \leq 7)$ 을 나타낸다.

EXT_LEN (LSB) (5 비트): 본 필드는 13 비트 EXT_LEN의 LSB 파트를 나타낸다.

EXT_LEN (MSB) (8 비트): 본 필드는 13 비트 EXT_LEN의 MSB 파트를 나타낸다.

선택 필드 내의 EXT_LEN(LSB)와 EXT_LEN(MSB) 필드의 조합인 EXT_LEN (13 비트)는

4 바이트부터 기저대역 패킷 끝부분까지의 범위를 가지는 확장 필드의 실제적인 바이트 길이를 나타낸다.

현재 버전의 규격에서 정의하는 확장 필드와 이와 관련된 EXT_TYPE 값은 표 5-2와 같다.

표 5-2 확장 모드를 위한 EXT_TYPE 값의 정의

EXT_TYPE	Description
000	Counter A counter as defined in Section 5.2.2.3 shall be used.
001-110	These fields are reserved for future extension types
111	Padding All bytes of extension field are padded with 0x00h as defined in Section 5.2.2.3.

5.2.2.3. 확장 필드

본 버전의 규격에서 정의하는 확장 필드의 타입은 다음과 같다.

- 카운터 타입

EXT_TYPE = 000일 때, counter를 위한 필드가 할당되고 EXT_LEN는 할당된 counter 필드의 바이트 길이를 나타낸다. EXT_LEN의 최대값은 2 바이트이고 최소값은 1바이트이다.

Counter는 0부터 시작하고 현재 PLP의 각각의 기저대역 패킷에 대해 1씩 증가한다. PLP별로 독립적인 counter가 사용되고, counter의 값이 최대값에 도달했을 때, 다음 기저 패킷의 counter 값은 0으로 재설정되어 동일한 방법으로 각각의 기저대역 패킷에 대해 1씩 증가한다. 기저대역 패킷이 오직 패딩만을 전송하는 경우에는 EXT_TYPE = 111이 사용되고, 카운터 타입은 사용되지 않는다.

채널 본딩 (부록 I 참조)을 적용하는 PLP에 대해서, 해당 PLP내의 기저대역 패킷의 순서를 나타내기 위해 하나의 counter가 사용되며, 이는 해당 기저대역 패킷이 RF 채널에 할당되기 전에 이루어진다.

하나의 예로서, OFI = 010이고 EXT_LEN = 1이면, counter 필드는 1 바이트 길이를 가지고 counter 값의 최대값으로 255를 가질 수 있다. 이 경우, 기저 필드의 길이가 2 바이트, 선택 필드의 길이가 1 바이트, 확장 필드의 길이가 1 바이트이므로 총 헤더 길이

는 4 바이트가 된다.

- 패딩 타입

OFI = 01 또는 OFI = 10인 경우, 표 5-2와 같이 확장 필드는 EXT_TYPE = 111을 설정함으로써 패딩만을 위해 사용될 수 있다.

OFI = 00의 경우와 비교해서, OFI = 01과 EXT_LEN=00000은 1 바이트 패딩을 나타내고, OFI = 10과 EXT_LEN = 00000 00000000은 2 바이트 패딩을 나타낸다.

5.2.3. 기저대역 패킷의 스크램블링

성상에 해당하는 데이터가 원치 않는 방식으로 동일한 지점에 할당되지 않도록 하기 위해, 헤더와 페이로드로 구성되는 기저대역 패킷 전체는 FEC 이전에 항상 스크램블되어야 한다. 스크램블링 시퀀스는 9 개의 피드백 탭을 가지는 16 비트 시프트 레지스터에 의해 생성된다.

생성기 다항식은 다음과 같다.

$$G(x) = 1 + X + X^3 + X^6 + X^7 + X^{11} + X^{12} + X^{13} + X^{16}$$

모든 기저대역 패킷의 시작에서 그림 5-6과 같이 PRBS 레지스터는 고정된 시퀀스 (0xF180: 1111 0001 1000 0000) 로 초기화된다. 생성된 기저대역 스크램블링 시퀀스는 1100 0000 0110 1101 0011 1111 ... (MSB first, 즉 $D^7, D^6, \dots, D^0, \dots$)와 같다. 생성기는 바이트 클럭 단위로 동작하고 하나의 사이클당 8 비트가 출력된다.

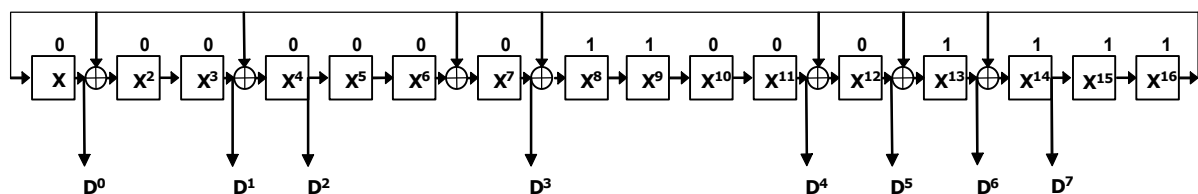


그림 5-6 기저대역 스크램블링을 위한 PRBS 인코더의 시프트 레지스터

6. BICM

BICM 블록의 구성도가 그림 6-1에 나타나 있다. BICM 블록은 FEC, 비트 인터리버, 매퍼로 구성된다.

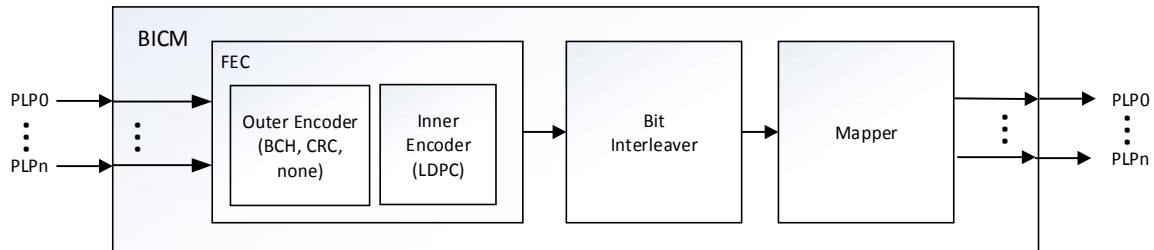


그림 6-1 BICM의 구성도

6.1. FEC

FEC 파트의 입력은 기저 대역 패킷이며 출력은 FEC 프레임이다. FEC 프레임의 구조는 6.1.1절에 설명되어 있으며, FEC에 대한 자세한 내용은 6.1.2절과 6.1.3절에 설명되어 있다. 각각의 부호율과 부호어 길이에 따른 기저 대역 패킷의 크기는 고정된다. FEC 프레임의 크기는 부호어 길이에 따라 달라진다.

6.1.1. FEC 프레임의 구조

하나의 FEC 프레임은 기저 대역 패킷 페이로드와 외부 부호, 그리고 내부 부호가 연결된 형태로 구성되어 있다.

내부 부호로는 LDPC 부호가 사용된다. LDPC 부호는 $N_{inner} = 64800$ 비트와 $N_{inner} = 16200$ 비트의 두 가지 크기를 가진다. 내부 부호의 사용은 필수사항이며, 송신된 기저 대역 패킷을 정확하게 수신하는 데 필요한 덧붙임을 제공하기 위해 사용된다. 내부 부호 패리티의 길이(M_{inner})는 부호율과 N_{inner} 에 의해 결정된다. 내부 부호의 종류는 외부 부호와

함께 **L1D_plp_fec_type** 필드에서 시그널링된다.

외부 부호는 선택적으로 사용될 수 있으며, 외부 부호가 사용될 경우 BCH 혹은 CRC가 사용될 수 있다. 외부 부호 (BCH와 CRC)는 M_{outer} 개의 패리티 비트를 입력 기저 대역 패킷에 추가한다. BCH 부호를 사용하는 경우 M_{outer} 의 길이는 각각 192 비트 ($N_{inner} = 64800$ 비트일 때) 혹은 168 비트 ($N_{inner} = 16200$ 비트일 때)이다. CRC를 사용하는 경우에는 M_{outer} 의 길이는 32 비트이다. 페이로드, BCH 또는 CRC, 그리고 LDPC 패리티가 연결된 최종 구조는 그림 6-2에 나타나 있다.

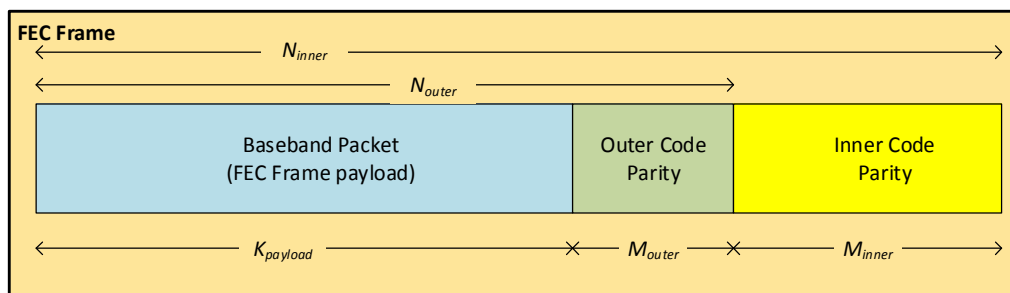


그림 6-2 BCH 또는 CRC 가 외부 부호로 사용된 경우의 FEC 프레임 구조

BCH 또는 CRC 중 어떤 것도 사용되지 않은 경우 M_{outer} 의 길이는 0이며, 이 때의 FEC 프레임 구조는 그림 6-3과 같이 나타난다.

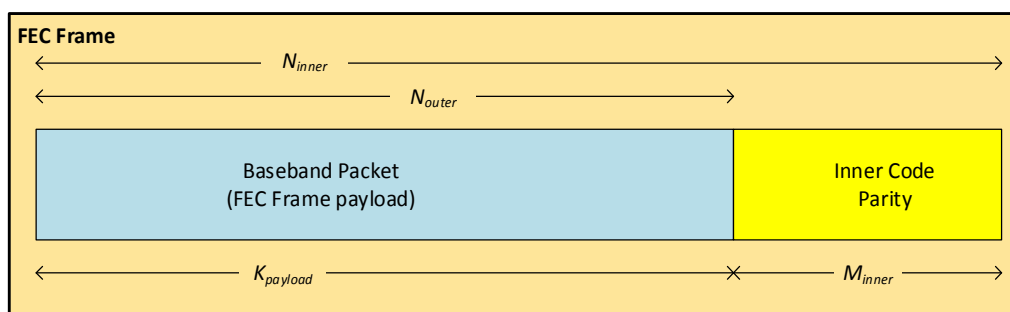


그림 6-3 외부 부호가 사용되지 않은 경우의 FEC 프레임 구조

따라서 페이로드의 길이 ($K_{payload}$)는 외부 부호의 종류, 부호율, 그리고 부호어 길이에

따라 결정된다. M_{outer} , N_{inner} , N_{outer} , $K_{payload}$ 의 크기는 표 6-1과 표 6-2에 나타나 있다.

표 6-1 $N_{inner}=64800$ 일 때의 $K_{payload}$ 의 길이

Code Rate	$K_{payload}$ (BCH)	M_{outer} (BCH)	$K_{payload}$ (CRC)	M_{outer} (CRC)	$K_{payload}$ (no outer)	M_{outer} (no outer)	M_{inner}	N_{outer}
2/15	8448	192	8608	32	8640	0	56160	8640
3/15	12768	192	12928	32	12960	0	51840	12960
4/15	17088	192	17248	32	17280	0	47520	17280
5/15	21408	192	21568	32	21600	0	43200	21600
6/15	25728	192	25888	32	25920	0	38880	25920
7/15	30048	192	30208	32	30240	0	34560	30240
8/15	34368	192	34528	32	34560	0	30240	34560
9/15	38688	192	38848	32	38880	0	25920	38880
10/15	43008	192	43168	32	43200	0	21600	43200
11/15	47328	192	47488	32	47520	0	17280	47520
12/15	51648	192	51808	32	51840	0	12960	51840
13/15	55968	192	56128	32	56160	0	8640	56160

표 6-2 $N_{inner}=16200$ 일 때의 $K_{payload}$ 의 길이

Code Rate	$K_{payload}$ (BCH)	M_{outer} (BCH)	$K_{payload}$ (CRC)	M_{outer} (CRC)	$K_{payload}$ (no outer)	M_{outer} (no outer)	M_{inner}	N_{outer}
2/15	1992	168	2128	32	2160	0	14040	2160
3/15	3072	168	3208	32	3240	0	12960	3240
4/15	4152	168	4288	32	4320	0	11180	4320
5/15	5232	168	5368	32	5400	0	10800	5400
6/15	6312	168	6448	32	6480	0	9720	6480
7/15	7392	168	7528	32	7560	0	8640	7560
8/15	8472	168	8608	32	8640	0	7560	8640
9/15	9552	168	9688	32	9720	0	6480	9720
10/15	10632	168	10768	32	10800	0	5400	10800
11/15	11712	168	11848	32	11880	0	4320	11880
12/15	12792	168	12928	32	12960	0	3240	12960
13/15	13872	168	14008	32	14040	0	2160	14040

6.1.2. 외부 부호

외부 부호에 대해서 몇 가지 선택 사항이 존재한다. 첫 번째는 BCH 부호이며 이 부호는 오류 검출뿐만 아니라 오류 정정도 제공한다. CRC는 오류 정정 기능을 제공하지는 않고 오류 검출 기능만을 제공한다. 세 번째 선택으로는, 아무런 외부 부호도 선택하지

않을 수 있다.

6.1.2.1. BCH

BCH가 외부 부호로 사용되는 경우에는 12 비트를 정정할 수 있는 BCH 부호가 사용되며 다음과 같이 정의된다.

정보 다항식이 $m(x) = m_0x^{K_{payload}-1} + m_1x^{K_{payload}-2} + \dots + m_{K_{payload}-1}$ 와 같이 주어질 때 계수 $m_0, m_1, \dots, m_{K_{payload}-1}$ 는 부호화될 정보이다. BCH 부호의 M_{outer} 차 생성 다항식인 $g(x)$ 는 $g(x) = g_1(x)g_2(x)\dots g_{12}(x)$ 와 같이 정의된다. 그러면 부호 비트 $s_0, s_1, \dots, s_{N_{outer}-1}$ 은 $N_{outer}-1$ 차 부호어 다항식의 계수로 유도될 수 있고, 이 때 $s(x) = s_0x^{N_{outer}-1} + s_1x^{N_{outer}-2} + \dots + s_{N_{outer}-1}$ $= m(x)x^{M_{outer}} - p(x)$ 이며 $p(x)$ 는 $m(x)x^{M_{outer}}/g(x)$ 의 나머지 다항식이다. 각 모드에 대한 성분 다항식 $g_i(x)$ 의 정의는 표 6-3에 정의되어 있다.

표 6-3 BCH 다항식

	Code Length $N_{inner}=64800$	Code Length $N_{inner}=16200$
$g_1(x)$	$x^{16}+x^5+x^3+x^2+1$	$x^{14}+x^5+x^3+x+1$
$g_2(x)$	$x^{16}+x^8+x^6+x^5+x^4+x+1$	$x^{14}+x^{11}+x^8+x^6+1$
$g_3(x)$	$x^{16}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^5+x^4+x^3+x^2+1$	$x^{14}+x^{10}+x^9+x^6+x^2+x+1$
$g_4(x)$	$x^{16}+x^{14}+x^{12}+x^{11}+x^9+x^6+x^4+x^2+1$	$x^{14}+x^{12}+x^{10}+x^8+x^7+x^4+1$
$g_5(x)$	$x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^8+x^5+x^3+x^2+x+1$	$x^{14}+x^{13}+x^{11}+x^9+x^8+x^6+x^4+x^2+1$
$g_6(x)$	$x^{16}+x^{15}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+1$	$x^{14}+x^{13}+x^9+x^8+x^7+x^3+1$
$g_7(x)$	$x^{16}+x^{15}+x^{13}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^2+1$	$x^{14}+x^{13}+x^{11}+x^{10}+x^7+x^6+x^5+x^2+1$
$g_8(x)$	$x^{16}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^9+x^8+x^6+x^5+x^2+x+1$	$x^{14}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^8+x^5+1$
$g_9(x)$	$x^{16}+x^{11}+x^{10}+x^9+x^7+x^5+1$	$x^{14}+x^{10}+x^9+x^3+x^2+x+1$
$g_{10}(x)$	$x^{16}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^2+x+1$	$x^{14}+x^{12}+x^{11}+x^9+x^6+x^3+1$
$g_{11}(x)$	$x^{16}+x^{13}+x^{12}+x^{11}+x^9+x^5+x^3+x^2+1$	$x^{14}+x^{12}+x^{11}+x^4+1$
$g_{12}(x)$	$x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^9+x^7+x^6+x^5+x+1$	$x^{14}+x^{13}+x^{10}+x^8+x^7+x^6+x^5+x^3+x^2+x+1$

6.1.2.2. CRC

CRC가 외부 부호로 사용되는 경우에는 32 비트 CRC (CRC-32)가 사용된다. 이러한 CRC를 계산하기 위한 회로는 그림 6-4와 같이 도시되며 CRC 부호 다항식으로 표현할 수 있는 피드백 시프트 레지스터로 구현된다. n 차 생성 다항식 $G_{crc}(x)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G_{crc}(x) = x^n + g_{n-1}x^{n-1} + g_{n-2}x^{n-2} + \dots + g_2x^2 + g_1x + 1$$

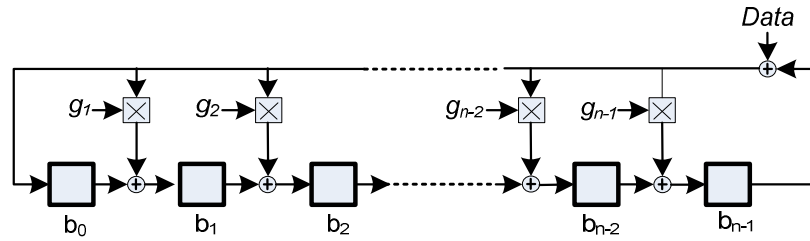


그림 6-4 CRC-32 에 대한 시프트 레지스터 회로

CRC-32의 연산은 그림 6-4와 같이 시프트 레지스터 회로를 이용하여 수행된다. 가장 먼저 (첫 번째 데이터 비트가 입력되기 전에) 모든 레지스터의 값은 1로 초기화 된다. 데이터 블록의 첫 번째 비트가 (MSB 먼저) 입력된 후 적절한 연산의 결과를 한 칸씩 밀린 스테이지에 적재하는 동안 시프트 클록은 레지스터가 레지스터안에 저장된 값을 b_{n-1} 를 향해 한 칸씩 움직이게 한다. 블록의 마지막 데이터 비트가 입력된 뒤, 내부 부호화에 앞서 각 레지스터의 값은 데이터에 ($b_0 \dots b_{31}$ 의 순서) 덧붙여지는 CRC-32 비트($b_i, i = 0, 1 \dots 31$)를 제공하기 위해 판독 출력된다. CRC-32의 생성을 위해, 생성 다항식의 계수 중 g_{21}, g_{16}, g_{11} 만이 1로 설정되며, 나머지 g_i 는 0으로 설정된다. 이를 실제 생성 다항식으로 표현하면 다음과 같다.

$$G_{crc}(x) = x^{32} + x^{21} + x^{16} + x^{11} + 1$$

6.1.3. 내부 부호

LDPC 부호는 기저 대역 패킷의 페이로드에 덧붙여지는 패리티 비트를 생성하기 위해 사용된다. 순환 구조의 LDPC 부호가 사용되며, 각각의 부호화에 필요한 색인 목록은 부록 A에 기술되어 있다.

LDPC 부호는 타입 A와 타입 B의 두 가지 다른 부호화 구조가 사용된다. 각각의 부호율과 부호어 길이에 대한 LDPC 타입은 표 6-4를 통해 알 수 있다. 타입 A는 낮은 부호율에서 더 좋은 성능을 보이는 반면 타입 B는 높은 부호율에서 더 좋은 성능을 보인다. 부호어 길이는 $N_{inner} = 64800$ 과 $N_{inner} = 16200$ 의 두 가지 종류가 사용된다.

표 6-4 각각의 부호율과 부호어 길이에 대해 사용된 LDPC 타입

Code Rate	LDPC Code Structure Type	
	$N_{inner}=64800$	$N_{inner}=16200$
2/15	A	A
3/15	A	A
4/15	A	A
5/15	A	A
6/15	B	B
7/15	A	B
8/15	B	B
9/15	B	B
10/15	B	B
11/15	B	B
12/15	B	B
13/15	B	B

6.1.3.1. 타입 A LDPC 부호

타입 A LDPC 부호는 다음과 같이 구현된다.

정보 블록 $S = (s_0, s_1, \dots, s_{N_{outer}-1})$ 을 부호화하기 위해 LDPC 부호가 사용된다. 길이가 $N_{inner} = N_{outer} + M_1 + M_2$ 인 부호어 $\Lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N_{inner}-1})$ 를 생성하기 위해 패리티 비트 $P = (p_0, p_1, \dots, p_{M_1+M_2-1})$ 가 S 로부터 계산된다. LDPC 부호어는 시스테매틱(systematic)이며 다음과 같이 주어진다.

$$\Lambda = [s_0, s_1, \dots, s_{N_{outer}-1}, p_0, p_1, \dots, p_{M_1+M_2-1}]$$

M_1 과 M_2 는 각각 이중 대각 행렬과 항등 행렬에 대응되는 패리티의 길이이다. 부호율에 따른 패리티의 길이는 표 6-5와 표 6-6에 기술되어 있다. 패리티를 계산하는 자세한 과정은 다음과 같다.

- (1) $i = 0, 1, \dots, N_{outer} - 1$ 에 대하여 $\lambda_i = s_i$ 로 초기화한다. $j = 0, 1, \dots, M_1 + M_2 - 1$ 에 대하여, $p_j = 0$ 로 초기화한다.
- (2) 부록 A의 표 (A-1부터 A-4, A-6, A-11부터 A-14)의 첫 번째 행에 명시된 패리티 비트 주소에 첫 번째 정보 비트 λ_0 를 누적한다.
- (3) 다음 359개의 정보 비트 λ_m , $m = 1, 2, \dots, 359$ 에 대해 아래의 계산식으로부터 계산된 패리티 비트 주소에 λ_m 를 누적한다. 계산식은 다음과 같다.

$$(x + m \times Q_1) \bmod M_1 \quad f \quad x < M_1$$

$$M_1 + \{(x - M_1 + m \times Q_2)\} \bmod M_2 \quad f \quad x \geq M_1$$

여기서 x 는 첫 번째 비트 λ_0 에 대응되는 패리티 비트 누산기의 주소를 나타낸다. $Q_1 = M_1/360$ 와 $Q_2 = M_2/360$ 는 표 6-5와 표 6-6에 명기된 부호율에 따른 상수이다.

- (4) 361번째 정보 비트 λ_{360} 에 대하여 패리티 비트 누산기의 주소는 부록 A에 주어진 표의 두 번째 행에 제시되어 있다. 위와 비슷한 방법으로 그 다음 359개의 정보 비트 λ_m , $m = 361, 362, \dots, 719$ 에 대한 패리티 비트 누산기의 주소는 단계 (3)의 수식으로 구하며, 여기서 x 는 부록 A에 있는 표의 두 번째 열의 항목인 정보 비트 λ_{360} 에 대응되는 패리티 비트 누산기의 주소를 나타낸다.
- (5) 비슷한 방법으로, 360개의 새로운 정보 비트단위로 구성된 모든 그룹에 대하여, 패리티 비트 누산기의 주소를 찾기 위해 부록 A에 있는 표의 새로운 행이 사용된다.
- (6) λ_0 부터 $\lambda_{N_{outer}-1}$ 까지의 부호어가 모두 사용된 이후 $i=1$ 부터 순차적으로 다음의 연산을 수행한다.

$$p_i = p_i \oplus p_{i-1} \text{ for } i = 1, 2, \dots, M_1 - 1$$

- (7) 이중 대각 행렬에 대응하는 $\lambda_{N_{outer}}$ 부터 $\lambda_{N_{outer}+M_1-1}$ 까지의 패리티 비트는 다음의 인터리빙 연산에 의해 얻어진다.

$$\lambda_{N_{outer}+360 \cdot t+s} = p_{Q_1 \cdot s+t} \text{ for } 0 \leq s < 360, 0 \leq t < Q_1$$

- (8) $\lambda_{N_{outer}}$ 부터 $\lambda_{N_{outer}+M_1-1}$ 까지 360개의 새로운 부호어 비트로 구성된 모든 그룹에 대해서 부록 A에 있는 표의 새로운 열과 단계 (3)의 수식이 패리티 비트 누산기의 주소를 찾기 위해 사용된다.
- (9) $\lambda_{N_{outer}}$ 부터 $\lambda_{N_{outer}+M_1-1}$ 까지의 부호어가 모두 사용된 이후, 항등 행렬에 대응하는 $\lambda_{N_{outer}+M_1}$ 부터 $\lambda_{N_{outer}+M_1+M_2-1}$ 까지의 패리티 비트를 다음의 인터리빙 연산을 통해 구한다.

$$\lambda_{N_{outer}+M_1+360 \cdot t+s} = p_{M_1+Q_2 \cdot s+t} \text{ for } 0 \leq s < 360, 0 \leq t < Q_2$$

표 6-5 타입 A, $N_{inner} = 64800$ 에 대한 LDPC 부호 변수

Code Rate	Sizes			
	M_1	M_2	Q_1	Q_2
2/15	1800	54360	5	151
3/15	1800	50040	5	139
4/15	1800	45720	5	127
5/15	1440	41760	4	116
7/15	1080	33480	3	93

표 6-6 타입 A, $N_{inner} = 16200$ 에 대한 LDPC 부호 변수

Code Rate	Sizes			
	M_1	M_2	Q_1	Q_2
2/15	3240	10800	9	30
3/15	1080	11880	3	33
4/15	1080	10800	3	30
5/15	720	10080	2	28

6.1.3.2. 타입 B LDPC 부호

타입 B LDPC 부호화 과정은 다음과 같이 구현된다.

$s_0, s_1, \dots, s_{N_{outer}-1}$ 를 부호화될 정보 비트라 하고 $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N_{inner}-1}$ 를 계산될 부호 비트라고 하면 부호가 시스템에택이기 때문에 0 부터 $N_{outer}-1$ 까지 모든 k 에 대해 λ_k 는 s_k 와 동일하게 설정된다. 나머지 부호 비트에 대해 $\lambda_{N_{outer}+k} = p_k$ 로 정하면 해당 패리티 비트는 다음과 같이 계산된다($0 \leq k < M_{inner}$). 부록 A를 보면 $q(i, j, 0)$ 는 색인 목록의 i 번째 행 j 번째 원소를 나타내고, $0 \leq l < 360$ 에서 $q(i, j, l) = q(i, j, 0) + Q_{ldpc} \cdot l \pmod{M_{inner}}$ 이며, 모든 누적 연산은 GF(2)의 덧셈으로 구현된다. Q_{ldpc} 는 표 6-7에 정의된다.

(1) $0 \leq k < M_{inner}$ 에 대해 $p_k = 0$ 로 초기화한다.

(2) $0 \leq k < N_{outer}$ 에 대해 $i = \lfloor k/360 \rfloor$ 로 정하며, 이 때 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 보다 크지 않은 가장 큰 정수이고, $l = k \pmod{360}$ 이다. 이제 모든 j 에 대해 다음과 같이 s_k 를 $p_{q(i, j, l)}$ 에 누적한다.

$$p_{q(i, 0, l)} = p_{q(i, 0, l)} + s_k, \quad p_{q(i, 1, l)} = p_{q(i, 1, l)} + s_k, \quad p_{q(i, 2, l)} = p_{q(i, 2, l)} + s_k, \quad \dots, \\ p_{q(i, w(i)-1, l)} = p_{q(i, w(i)-1, l)} + s_k$$

여기서 $w(i)$ 는 부록 A의 색인 리스트의 i 번째 행의 원소의 수이다.

(3) 모든 $0 \leq k < M_{inner}$ 에 대하여, $p_k = p_k + p_{k-1}$ 이다.

위의 단계로부터, 모든 부호 비트 $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{N_{inner}-1}$ 를 구한다.

표 6-7 타입 B LDPC 부호 파라미터

Code Rate	Q_{ldpc} ($N_{inner}=64800$)	Q_{ldpc} ($N_{inner}=16200$)
6/15	108	27
7/15	N/A	24
8/15	84	21
9/15	72	18
10/15	60	15
11/15	48	12
12/15	36	9
13/15	24	6

6.2. 비트 인터리버

비트 인터리버 블록은 하나의 FEC 프레임 단위로 동작되며, 비트 인터리빙 블록 동작 후 크기 변화 없이 비트 인터리빙된 하나의 FEC 프레임을 출력한다. 그림 6-5 는 패리티 인터리버 (Parity Interleaver), 그룹 인터리버 (Group-wise Interleaver), 블록 인터리버 (Block Interleaver) 로 구성된 비트 인터리버 블록 구성도를 나타낸다.

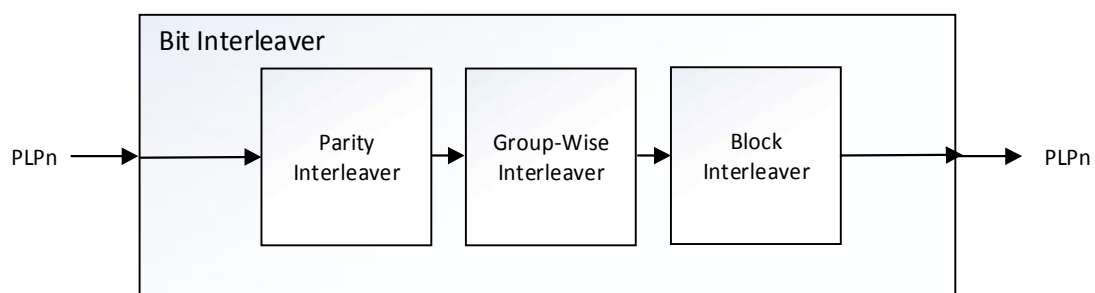


그림 6-5 비트 인터리버 블록 구성도

6.2.1. 패리티 인터리버

패리티 인터리버는 타입 A LDPC에는 사용되지 않고 타입 B LDPC 에만 적용되며,

패리티 인터리버 출력은 $U = (u_0, u_1, \dots, u_{N_{inner}-1})$ 로 표기된다. 이때 패리티 인터리버는 정보 비트에는 적용되지 않고 패리티 비트에만 적용되며, 이때 패리티 비트는 다음과 같이 인터리빙 된다.

$$u_i = \lambda_i \quad \text{for } 0 \leq i \leq N_{outer} \quad (\text{정보 비트는 인터리버 미적용})$$

$$u_{N_{outer} + 360t + s} = \lambda_{N_{outer} + Q_{ldpc}s + t} \quad \text{for } 0 \leq s \leq 360, 0 \leq t < Q_{ldpc}$$

여기서 Q_{ldpc} 는 표 6-7에서 정의된다.

패리티 인터리버 동작은 LDPC 패리티 체크 행렬에서 (LDPC parity-check matrix) 계단 형태를 가지는 패리티 부분을 준순환 (quasi-cyclic) 구조로 변환함으로써 결과적으로 정보 부분과 유사한 행렬 구조를 가지도록 한다. 패리티 인터리빙된 LDPC 부호어 비트 $(u_0, u_1, \dots, u_{N_{inner}-1})$ 은 다음과 같이 $N_{group} = N_{inner} / 360$ 비트 그룹으로 나뉜다.

$$X_j = \{u_k | 360 \times j \leq k < 360 \times (j+1), 0 \leq k < N_{outer}\}, \quad 0 \leq j < N_{group}$$

여기서 X_j 는 j 번째 비트 그룹을 나타내며, $0 \leq j < N_{group}$ 에 대해 각 그룹은 그림 6-6에서 보이듯이 360 비트로 구성된다.

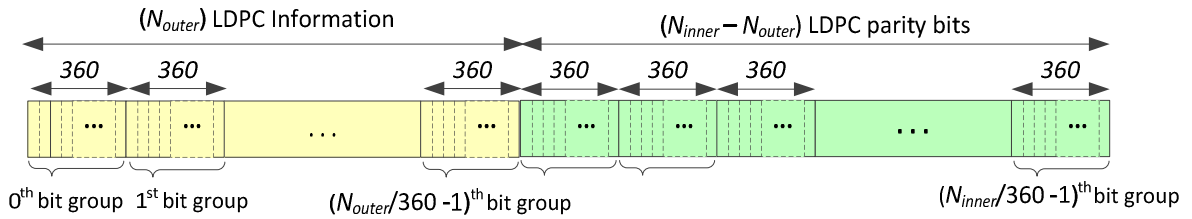


그림 6-6 패리티 인터리빙된 LDPC 부호어 비트 그룹

패리티 인터리빙된 LDPC 부호어는 다음과 같이 그룹 인터리버에 의해 인터리빙된다.

$$Y_j = X_{\pi(j)} \quad \text{for } 0 \leq j < N_{group}$$

여기서 Y_j 는 그룹 인터리빙된 j 번째 비트 그룹을 나타내며, $\pi(j)$ 는 그룹 인터리빙을 위한 순열 순서 (permutation order)를 나타낸다. 이때 각 그룹 인터리빙은 변조 및 LDPC

부호율 조합에 따라 최적화되도록 설계된다. 부록 B에서 표 B-1부터 표 B-10은 LDPC 부호어 길이 $N_{inner}=64800$ 과 $N_{inner}=16200$ 에 대한 그룹 인터리빙 $\pi(j)$ 의 순열 순서를 나타낸다.

6.2.2. 그룹 인터리버

그룹 인터리빙된 LDPC 부호어 ($v_0, v_1, \dots, v_{M_{inner}-1}$) 는 다음과 같이 y_j 를 연속적으로 배열함으로써 생성된다.

$$V = \{Y_0, Y_1, \dots, Y_{N_{group}-1}\}$$

6.2.3. 블록 인터리버

블록 인터리버는 타입 A 블록 인터리버와 타입 B 블록 인터리버 중 선택하여 사용되며, 각 블록 인터리버 타입 사용은 LDPC 타입과 성상 조합에 의해 결정된다. 표 6-8과 표 6-9는 각각 LDPC 부호어 길이 $N_{inner}=64800$ 과 $N_{inner}=16200$ 에서 정의된 블록 인터리버 타입을 나타낸다.

표 6-8 LDPC 부호어 길이 $N_{inner}=64800$ 에서 정의된 블록 인터리버 타입

CR MOD	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
4	A	A	A	B	A	A	B	B	A	A	A	A
6	A	A	A	A	A	B	A	B	B	A	A	B
8	A	A	A	B	B	B	B	A	B	B	A	B
10	A	A	A	B	A	B	A	B	B	B	A	A
12	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A

표 6-9 LDPC 부호어 길이 $N_{inner}=16200$ 에서 정의된 블록 인터리버 타입

CR MOD	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
2	A	A	A	A	B	B	A	B	A	A	A	A
4	A	A	A	A	B	B	A	B	A	B	A	B
6	A	A	A	A	B	B	A	B	A	A	A	A
8	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B	A	A

6.2.3.1. 타입 A 블록 인터리버

그룹 인터리빙된 LDPC 부호어는 블록 인터리빙된다. 그림 6-7은 타입 A 블록 인터리버를 나타내며, 각 열은 Part 1과 Part 2 로 구성된다. 이때 Part 1과 Part 2는 블록 인터리버 열 크기와 비트 그룹 크기 (예 360) 정보를 이용하여 계산된다. Part 1에서 비트 그룹을 구성하는 비트는 같은 열에 배치되며, Part 2에서 비트 그룹을 구성하는 비트는 적어도 2개 열에 걸쳐 배치된다. 그림 6-7에서 그룹 인터리버 출력 데이터 비트 v_i 는 우선적으로 Part 1 블록 인터리버 부분에 열 방향으로 배치되며, 다음으로 Part 2블록 인터리버에 열 방향으로 배치된다. 배치 과정이 완료되면 그림 6-7과 같이 행 방향으로 읽는 과정이 수행된다. 결과적으로 같은 행 방향에서 읽어지는 비트는 하나의 변조 셀로 매핑된다.

각 변조 차수와 부호어 길이에 따른 Part 1 블록 인터리버와 Part 2 블록 인터리버 구조는 표 6-10에 정의된다. 표 6-10에서 블록 인터리버의 열 크기는 각 변조 셀을 구성하는 비트 크기와 동일하며, N_{r1} 과 N_{r2} 의 합으로 표현되는 행의 크기는 N_{inner}/N_c 와 같다. 이때 $N_{r1} (= \lfloor N_{group}/N_c \rfloor \times 360)$ 이고 N_{r2} 는 $(N_{inner}/N_c - N_{r1})$ 이다.

표 6-10 블록 인터리버 파라미터

Modulation	Rows in Part 1 N_{r1}		Rows in Part 2 N_{r2}		Columns N_c
	$N_{inner} = 64800$	$N_{inner} = 16200$	$N_{inner} = 64800$	$N_{inner} = 16200$	
QPSK	32400	7920	0	180	2
16QAM	16200	3960	0	90	4
64QAM	10800	2520	0	180	6
256QAM	7920	1800	180	225	8
1024QAM	6480		0		10
4096QAM	5400		0		12

데이터 입력 비트 v_i ($0 \leq i < N_c \times N_{r1}$)는 우선적으로 $(r_j \times c_j)$ 크기를 가지는 Part 1 블록 인터리버에 배치되며, 이때 열 c_j 과 행 r_j 크기는 다음과 같다.

$$c_i = \left\lfloor \frac{i}{N_{r1}} \right\rfloor$$

$$r_i = (i \bmod N_{r1})$$

다음으로, 데이터 입력 비트 v_i ($N_c \times N_{r1} \leq i < N_{inner}$)는 Part 2 블록 인터리버에 배치되며, 이때 열 c_j 과 행 r_j 크기는 다음과 같다.

$$c_i = \left\lfloor \frac{(i - N_c \times N_{r1})}{N_{r2}} \right\rfloor$$

$$r_i = N_{r1} + \{(i - N_c \times N_{r1}) \bmod N_{r2}\}$$

배치 과정 완료 후 블록 인터리버의 행 r_j 와 열 c_j 로부터 비트 q_j ($0 \leq j < N_{inner}$)가 읽혀진다. 이때 행 r_j 크기와 열 c_j 크기는 다음과 같다.

$$r_j = \left\lfloor \frac{j}{N_c} \right\rfloor$$

$$c_j = (j \bmod N_c)$$

예제로써, 256QAM과 LDPC 부호어 길이 $N_{inner} = 64800$ 이 주어졌을 때, 블록 인터리

버 출력 비트 순서는 다음과 같다.

$$(q_0, q_1, q_2, \dots, q_{63357}, q_{63358}, q_{63359}, q_{63360}, q_{63361}, \dots, q_{64799}) \\ = (v_0, v_{7920}, v_{15840}, \dots, v_{47519}, v_{55439}, v_{63359}, v_{63360}, v_{63540}, \dots, v_{64799})$$

위 예제의 블록 인터리버 출력 비트에 대한 자세한 출력 비트 순서는 다음과 같이 주어진다.

(0, 7920, 15840, 23760, 31680, 39600, 47520, 55440, 1, 7921, 15841, 23761, 31681, 39601, 47521, 55441, , 7919, 15839, 23759, 31679, 39599, 47519, 55439, 63359, 63360, 63540, 63720, 63900, 64080, 64260, 64440, 64620, , 63539, 63719, 63899, 64079, 64259, 64439, 64619, 64799)

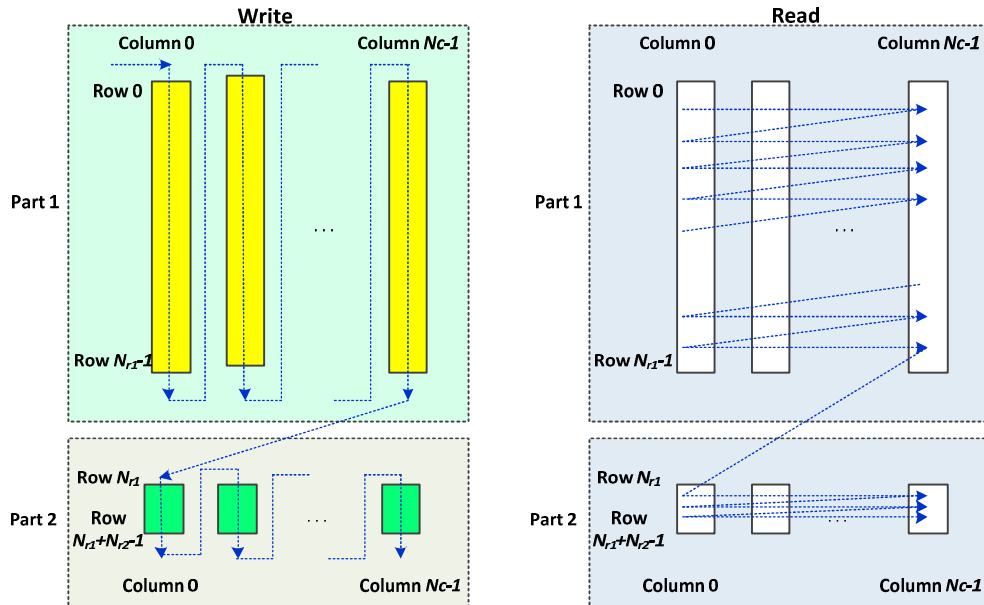


그림 6-7 타입 A 블록 인터리버에서 쓰기과 읽기 동작 과정

6.2.3.2. 타입 B 블록 인터리버

앞서 설명된 타입 A 블록 인터리버와 유사하게 그룹 인터리빙 후 출력 LDPC 부호어에 대해 Part 1과 Part 2로 구성된 타입 B 블록 인터리버가 수행된다. 이때 타입 B 블록 인터리버의 Part 1과 Part 2는 타입 A 블록 인터리버의 Part 1과 Part 2와는 다르게 동

작된다. 표 6-11은 타입 B 블록 인터리버의 행의 크기를 결정하는 파라미터 N_{QCB_IG} 를 나타내며 변조 차수에 따라 각각 정의된다.

표 6-11 타입 B 블록 인터리버에서 N_{QCB_IG} 정의

Modulation	N_{QCB_IG}
QPSK	2
16QAM	4
64QAM	6
256QAM	8
1024QAM	10
4096QAM	12

Part 1 블록 인터리버는 N_{QCB_IG} 개의 비트 그룹에 대해서 그룹 인터리버 출력 비트 단위로 동작된다. 그림 6-8과 그림 6-9는 각각 타입 B블록 인터리버 Part 1에서 256QAM 을 고려한 쓰기과 읽기 동작 과정을 보여준다. 이때 블록 인터리버는 N_{QCB_IG} 개의 행과 360개의 열의 크기를 갖는다. 쓰기 동작 과정에서 그룹 인터리버 출력 비트는 그림 6-8 과 같이 행 방향으로 이루어지며, 읽기 동작 과정은 그림 6-9와 같이 열 방향으로 이루어진다. 이때 각 열의 비트는 하나의 변조 셀로 매핑된다. Part 2에 대해서는 블록 인터리빙 과정 없이 연속적으로 변조 셀로 매핑된다.

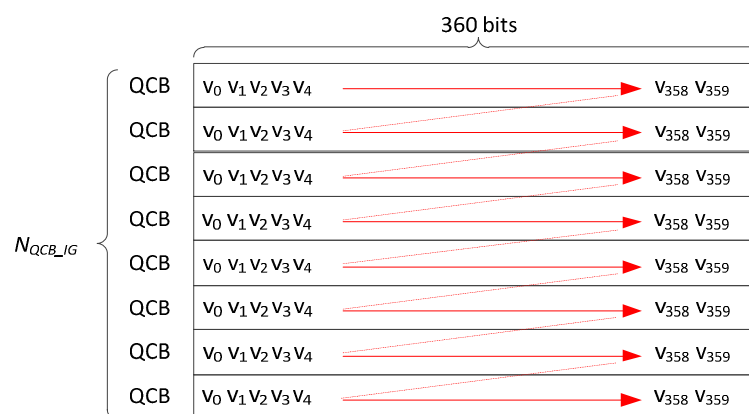


그림 6-8 타입 B 블록 인터리버에서 256QAM 을 고려한 쓰기 동작 과정

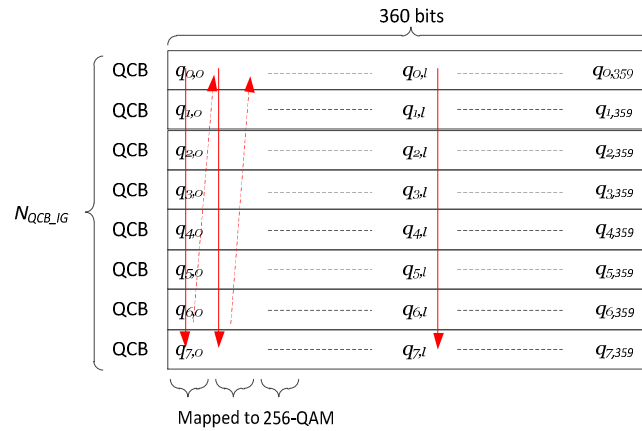


그림 6-9 타입 B 블록 인터리버에서 256QAM 을 고려한 읽기 동작 과정

6.3. 성상 매핑

본 절에서는 FEC 부호화되고 비트 인터리빙된 비트를 복소수 값을 가지는 QAM 성상점으로 매핑하는 것에 대해 설명한다. 성상 매핑 블록의 입력은 FEC 프레임이며 출력은 FEC 블록이다.

맵퍼는 그림 6-10과 같이 역다중화기와 비트를 IQ로 매핑하는 블록으로 구성되어 있다. 다음의 절들은 입력 FEC 프레임 비트들이 성상으로 매핑되는 상세한 과정을 기술한다. 첫째로, 6.3.3절에서는 데이터 셀을 생성하기 위해 FEC 프레임을 구성하는 비트들을 병렬 스트림으로 역다중화하는 과정을 설명한다. 다음으로, 데이터 셀은 성상 값으로 매핑되며, 이는 6.3.4절에 기술되어 있다. 각각의 변조 차수별 성상기법에 관한 상세내용은 QPSK의 경우 6.3.4.1절에, 16QAM부터 256QAM까지는 6.3.4.2절에, 1024QAM와 4096QAM은 6.3.4.3절에 기술되어 있다.

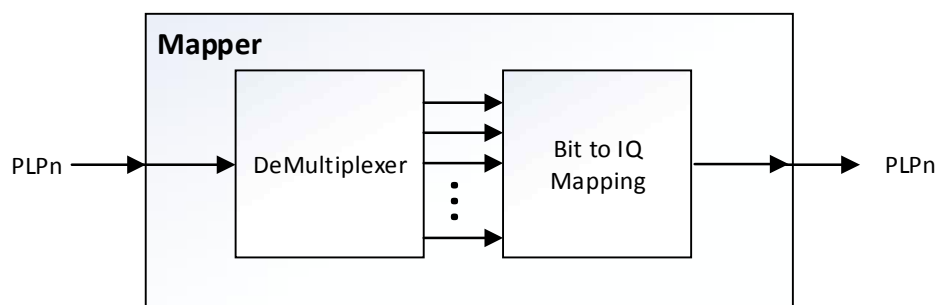


그림 6-10 매퍼 구조

6.3.1. 성상의 개요

변조 차수는 총 6가지로 정의되어 있으며, 균등 (uniform) QPSK 변조와 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM의 다섯 가지 비균일 성상 (non-uniform constellation, NUC)으로 구분되어 있다. 각각의 NUC 변조 차수와 부호율의 조합에 따라 다른 성상이 존재하지만, 부호의 길이에 따라서는 성상이 변하지 않는다. 이는 부호율과 변조 차수가 일정하게 유지되면 $N_{inner} = 64800$ 과 $N_{inner} = 16200$ 에 대해 같은 성상이 사용되는 것을 의미한다. QPSK 성상의 경우 모든 부호율에 대해 같은 성상이 사용된다. QPSK 성상은 1차원 (1-dimensional, 1D) QAM 형태이다.

16QAM, 64QAM 및 256QAM의 비균일 성상은 2차원 (2D) quadrant-symmetric QAM 성상이고 단일 사분면으로부터의 대칭을 이용하여 만들어진다. 수신단에서 QAM 디매핑을 하는 동안의 복잡도를 줄이기 위해서 1024QAM과 4096QAM 성상은 I (in-phase) 성분과 Q (quadrature) 성분에 대하여 비균일 1차원 (1D) PAM 성상으로부터 유도된다.

6.3.2. 변조와 부호화의 조합

구현 복잡도를 줄이기 위해 모든 변조와 부호율 조합을 의무적으로 구현할 필요는 없다. 표 6-12와 표 6-13은 반드시 구현되어야 하는 변조와 부호율의 조합을 보여준다. 의무 조합은 체크 기호(✓)로 나타낸다.

표 6-12 의무적인 변조와 부호율의 조합 $N_{inner}=64800$

Code Rate/ Constellation	2/ 15	3/ 15	4/ 15	5/ 15	6/ 15	7/ 15	8/ 15	9/ 15	10/ 15	11/ 15	12/ 15	13/ 15
QPSK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
16QAM			✓	✓		✓	✓	✓		✓		
64QAM		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
256QAM			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1024QAM				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4096QAM						✓		✓		✓	✓	✓

표 6-13 의무적인 변조와 부호율의 조합 $N_{inner}=16200$

Code Rate/ Constellation	2/ 15	3/ 15	4/ 15	5/ 15	6/ 15	7/ 15	8/ 15	9/ 15	10/ 15	11/ 15	12/ 15	13/ 15
QPSK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
16QAM				✓	✓	✓	✓			✓		
64QAM				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
256QAM				✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

6.3.3. 역다중화 연산

매핑하기에 앞서 각각의 FEC 프레임의 비트를 병렬 비트열로 배치하는 연산을 역다중화라고 한다. 각각의 FEC 프레임에 대한 출력 데이터 셀의 수와 셀 당 비트의 변조 지수 (η_{MOD})는 표 6-14에 정의되어 있다.

표 6-14 성상으로 비트-매핑하는 데 필요한 파라미터

Modulation	η_{MOD}	No. output data cells $N_{inner} = 64800 \text{ bits}$	No. output data cells $N_{inner} = 16200 \text{ bits}$
QPSK	2	32400	8100
16QAM	4	16200	4050
64QAM	6	10800	2700
256QAM	8	8100	2025
1024QAM	10	6480	1620
4096QAM	12	5400	1350

비트 인터리버 내의 블록 인터리버의 출력으로부터 얻은 비트 열 (q_i)은 그림 6-11과 같이 η_{MOD} 개의 부 비트열로 역다중화된다. 역다중화기의 출력은 $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta_{MOD}-1,s})$ 로 표

기되는 벡터이며, 이 때 첫 번째 첨자는 비트 레벨의 위치를 나타내고 첨자 s 는 하나의 FEC 블록에 대해 모든 출력 데이터 셀을 나열하기 위한 이산 시간을 나타낸다.

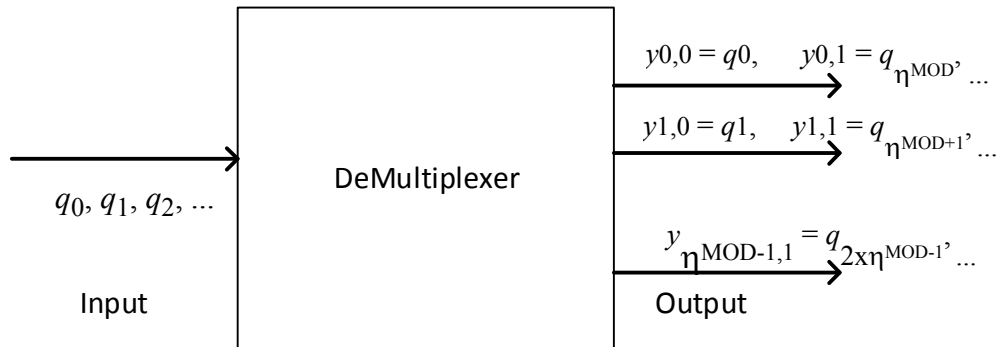


그림 6-11 부 비트열로 비트를 역다중화하는 부호화기

6.3.4. Bit 에서 IQ 로의 매핑

6.3.4.1. QPSK

QPSK일 때는 모든 부호율에 대하여 동일한 성상 매핑이 사용된다.

두 개의 비트 입력($y_{0,s}$, $y_{1,s}$)은 표 C-1의 매핑에 따라서 데이터 셀로 매핑되는데, 이 때 첫 번째 열은 ($y_{0,s}$, $y_{1,s}$)비트를 나타내며 두 번째 열은 성상 매핑 출력의 셀 값을 나타낸다.

6.3.4.2. 16QAM, 64QAM, 256QAM

각각의 입력 데이터 셀 워드($y_{0,s}, \dots, y_{\eta^{MOD-1},s}$)는 성상점 (z_s)를 만들기 위해 2차원 (2D) 비균일 성상으로 변조된다. 첨자 s 는 이산 시간 첨자를 나타내며 η^{MOD} 는 성상 심볼 당 비트의 수를 나타낸다 (표 6-14 참조.) 복소 성상 지점 벡터 ($\mathbf{x} = (x_0, \dots, x_{M-1})$)는 QAM 알파벳의 모든 M 개의 성상점을 포함한다. 입력 셀 워드 ($y_{0,s}, \dots, y_{\eta^{MOD-1},s}$)가 10진수 k 에 해당하면 ($y_{0,s}$ 는 MSB (최상위 비트), $y_{\eta^{MOD-1},s}$ 는 LSB (최하위 비트)), 이 비트는 앞선 벡터의

k 번째 원소 x_k 에 해당하는 QAM 성상점을 갖는다. Quadrant symmetry에 의해 복소 벡터 \mathbf{x} 는 1사분면에 해당하는 첫 번째 1/4 만큼의 복소 성상인 $(x_0, \dots, x_{M/4-1})$ 만을 정의하고, 이로부터 계산하여 구할 수 있다. 나머지 성상 지점의 생성 규칙은 아래에 설명되어있다. $b = M/4$ 으로 정의하면, 복소 성상점의 첫 번째 1/4은 NUC 위치 벡터 $\mathbf{w} = (w_0, \dots, w_{b-1})$ 로 나타낼 수 있다. 이 위치 벡터는 표 C-2부터 C-7까지에 정의되어 있다.

예를 들어, 16QAM에 대한 NUC 위치 벡터는 십진 값을 나타내는 레이블 0 부터 $b-1$, 즉, $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta MOD-1,s}) = 0000$ 부터 0011 에 해당하는 복소 성상 지점으로 구성된다. 남은 성상 지점은 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned}
 (x_0, \dots, x_{b-1}) &= \mathbf{w} & (1 \text{ 사분면}) \\
 (x_b, \dots, x_{2b-1}) &= -\text{conj}(\mathbf{w}) & (2 \text{ 사분면}) \\
 (x_{2b}, \dots, x_{3b-1}) &= \text{conj}(\mathbf{w}) & (4 \text{ 사분면}) \\
 (x_{3b}, \dots, x_{4b-1}) &= -\mathbf{w} & (3 \text{ 사분면})
 \end{aligned}$$

여기서, $\text{conj}(\cdot)$ 는 켤레 복소수 연산을 나타낸다.

● 예제

16QAM과 부호율 6/15에 대한 NUC 위치 벡터는 다음과 같이 구성된다. 표 C-2로부터, $\mathbf{w} = (0.5115+1.2092i, 1.2092+0.5115i, 0.2663+0.4530i, 0.4530+0.2663i)$ 이다. 여기서, $i=\sqrt{-1}$ 는 허수 단위를 나타낸다. 입력 데이터 셀 워드가 $(y_{0,s}, \dots, y_{\eta MOD-1,s}) = (1100)$ 이면, 시간 첨자 s 에 해당하는 QAM 성상점은 $z_s = x_{12} = -w_0 = -0.5115-1.2092i$ 이다. 이 NUC 위치 벡터에 대한 완성된 성상은 아래의 그림 6-12에 나타나 있으며, 모든 입력 데이터 셀은 결국 대응하는 성상점으로 표기된다.

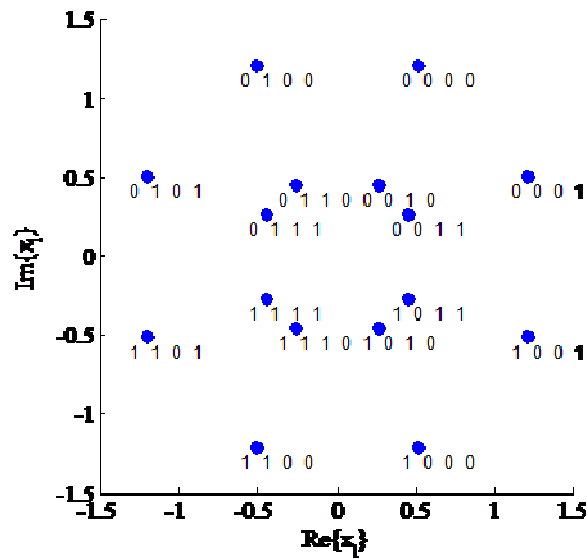


그림 6-12 부호율 6/15 에 대한 16-NUC 의 예

6.3.4.3. 1024QAM, 4096QAM

이산 시간 첨자 s 에서 각각의 입력 데이터 셀 워드($y_{0,s}, \dots, y_{\eta MOD-1,s}$)는 정규화 이전에 성상점 z_s 를 생성하기 위해서 1차원 비균일 QAM 성상을 이용하여 변조된다. 1차원이란 2차원 QAM 성상이 두 개의 1차원 PAM 성상 (각각 I와 Q성분)로 나뉠 수 있다는 것을 말한다. 입력 셀 워드($y_{0,s}, \dots, y_{\eta MOD-1,s}$)의 조합에 대한 실수와 허수 성분 ($\text{Re}(z_s)$ 과 $\text{Im}(z_s)$)의 정확한 값은 1D-NUC 위치 벡터 $\mathbf{u} = (u_0, \dots, u_{v-1})$ 에 주어지며, 이 벡터는 1차원 비균일 성상의 위치를 정의한다. 1D-NUC 위치 벡터 \mathbf{u} 의 원소의 수는 $v = \frac{\sqrt{M}}{2}$ 로 정의된다. 위치 벡터는 표 C-8부터 표 C-11까지에 정의되어 있고 비트 라벨은 표 C-12부터 표 C-14까지에 정의되어 있다.

- 예제

부호율 6/15에 대한 1024-NUC는 표 C-8의 NUC 위치 벡터에 의해 정의되며, 이 때 $\mathbf{u} = (u_0, \dots, u_{15}) = (0.1275, 0.1276, 0.1294, 0.1295, 0.3424, 0.3431, 0.3675, 0.3666, 0.6097, 0.6072, 0.7113, 0.7196, 0.9418, 1.0048, 1.2286, 1.5031)$ 이다. 입력 데이터 셀을 ($y_{0,s}, \dots, y_{\eta MOD-1,s}$) = (0010011100)로 가정하면 이에 따른 QAM 성상점 z_s 는 $\text{Im}(z_s) = u_3 = 0.1295$ 이고 (짝수 첨자를 갖는 비트에 따라 정의됨, 01010) $\text{Re}(z_s) = u_{11} = 0.7196$ 이다 (홀수 첨자를 갖

는 비트에 따라 정의됨, 00110). 이 NUC 위치 벡터에 대한 완성된 성상은 그림 6-13에 나타나 있다.

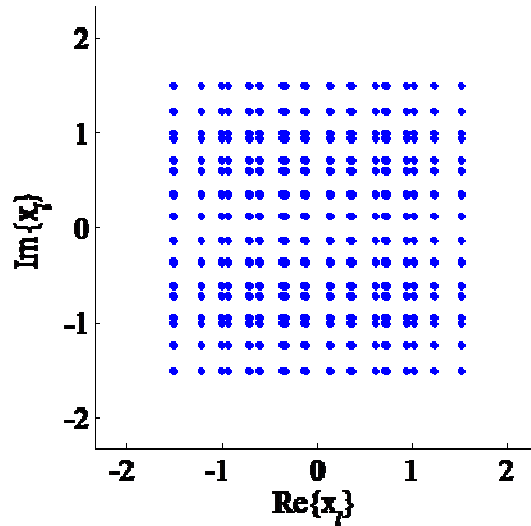


그림 6-13 부호율 6/15 에 대한 1024-NUC 의 예

6.4. 계층 분할 다중화

LDM은 하나의 RF 채널로 다중 데이터 스트림을 전송하기 위한 성상 중첩 기술로, 각각의 데이터 스트림은 서로 다른 변조와 채널 부호화 방식을 가질 수 있으며 서로 다른 전력 레벨로 결합된다. 이 버전의 표준에서는 2 계층 LDM만 정의된다.

6.4.1. LDM 부호화

그림 6-14는 2 계층 LDM 시스템의 부호화 블록도이다.

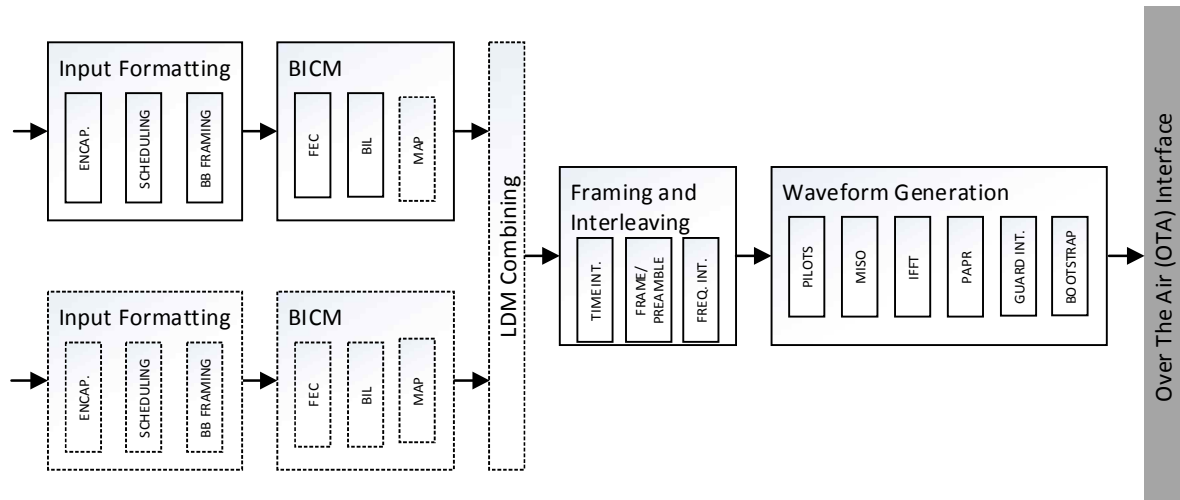


그림 6-14 LDM 시스템 블록도

2 계층 LDM 시스템은 시간 인터리빙 이전에 두 개의 BICM 체인을 결합한다. 여기에서는 (성상으로 변조되고 부호화된 수열로 구성된) BICM 체인에 대응되는 것을 계층이라 표현하고 있지만, 각 BICM 체인은 PLP로도 알려져 있다. 이러한 두 개의 계층은 코어 계층과 향상 계층으로 명명된다. 코어 계층은 향상 계층보다 동일하거나 더욱 강건한 변조 및 부호화 조합을 사용한다. 각 계층은 서로 다른 FEC 부호화(부호어 길이와 부호율을 포함한)와 성상 매핑을 사용할 수 있다. 일반적으로 부호어의 길이는 같지만 부호율과 성상은 다르게 설정하여 사용한다. 예를 들어 코어 계층은 $N_{inner}=64800$, 부호율=4/15, QPSK를 사용하는 반면, 향상 계층은 $N_{inner}=64800$, 부호율=10/15, 64QAM을 사용할 수 있다.

이후, 코어 및 향상 계층은 LDM 삽입 블록에서 결합되며, 이는 그림 6-15에 도시되어 있다.

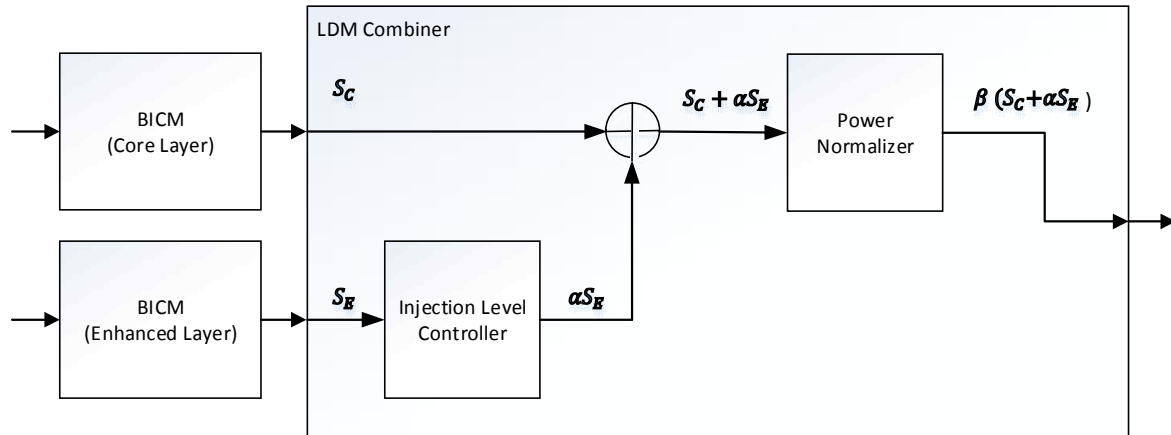


그림 6-15 2 계층 LDM 에 대한 성상 중첩

각 계층에서 원하는 전송 에너지를 얻기 위해 코어 계층 대비 향상 계층의 파워를 줄이는 역할을 하는 삽입 레벨 제어기가 사용된다. 전송 에너지 레벨은 원하는 비트율뿐만 아니라 원하는 커버리지 영역을 달성하기 위해서 변조 및 부호율 파라미터와의 조합과 함께 선택된다. 코어 계층 대비 향상 계층의 삽입 레벨은 0.0 dB에서 25.0 dB까지 0.5 dB 혹은 1.0 dB 단위로 선택할 수 있다.

6.4.2. 삽입 레벨 제어기

코어 계층 신호 대비 향상 계층 신호의 삽입 레벨은 두 계층 사이의 전송 전력의 분배를 가능하게 해주는 전송 파라미터이다.

삽입 레벨을 바꾸어 줌으로써 각 계층의 전송 강건성이 변경되며, 이는 변조 및 부호율 파라미터 조합을 선택하는 방법 이외의 추가적인 방법을 제공한다. 각 계층에서 다양하게 허용된 삽입 레벨에 따른 전력 분배는 표 6-15에 나열되어 있다.

표 6-15 다양한 삽입 레벨에 따른 계층 간의 전력 분배 (CL: 코어 계층, EL: 향상 계층)

Injection level of EL below CL level (dB)	CL power ratio relative to total power (%)	EL power ratio relative to total power (%)	Reduction of CL power relative to total power (dB)	Reduction of EL power relative to total power (dB)
0.0 dB	50.0%	50.0%	3.01	3.01
+0.5 dB	52.9%	47.1%	2.77	3.27

+1.0 dB	55.7%	44.3%	2.54	3.54
+1.5 dB	58.5%	41.5%	2.32	3.82
+2.0 dB	61.3%	38.7%	2.12	4.12
+2.5 dB	64.0%	36.0%	1.94	4.44
+3.0 dB	66.6%	33.4%	1.76	4.76
+3.5 dB	69.1%	30.9%	1.60	5.10
+4.0 dB	71.5%	28.5%	1.46	5.46
+4.5 dB	73.8%	26.2%	1.32	5.82
+5.0 dB	76.0%	24.0%	1.19	6.19
+6.0 dB	79.9%	20.1%	0.97	6.97
+7.0 dB	83.4%	16.6%	0.79	7.79
+8.0 dB	86.3%	13.7%	0.64	8.64
+9.0 dB	88.8%	11.2%	0.51	9.51
+10.0 dB	90.9%	9.1%	0.41	10.41
+11.0 dB	92.6%	7.4%	0.33	11.33
+12.0 dB	94.1%	5.9%	0.27	12.27
+13.0 dB	95.2%	4.8%	0.21	13.21
+14.0 dB	96.2%	3.8%	0.17	14.17
+15.0 dB	96.9%	3.1%	0.14	15.14
+16.0 dB	97.5%	2.5%	0.11	16.11
+17.0 dB	98.0%	2.0%	0.09	17.09
+18.0 dB	98.4%	1.6%	0.07	18.07
+19.0 dB	98.8%	1.2%	0.05	19.05
+20.0 dB	99.0%	1.0%	0.04	20.04
+21.0 dB	99.2%	0.8%	0.03	21.03
+22.0 dB	99.4%	0.6%	0.03	22.03
+23.0 dB	99.5%	0.5%	0.02	23.02
+24.0 dB	99.6%	0.4%	0.02	24.02
+25.0 dB	99.7%	0.3%	0.01	25.01

6.4.3. 전력 정규화기

결합 이후에 결합된 신호의 전체 전력은 전력 정규화기 블록에서 1로 정규화된다. 삽입 레벨 제어기의 크기 조정 인자인 α 와 전력 정규화기의 정규화 인자인 β 는 항상 계층의 삽입 레벨에 의존한다. 허용되는 값은 표 6-16에 나열되어 있다.

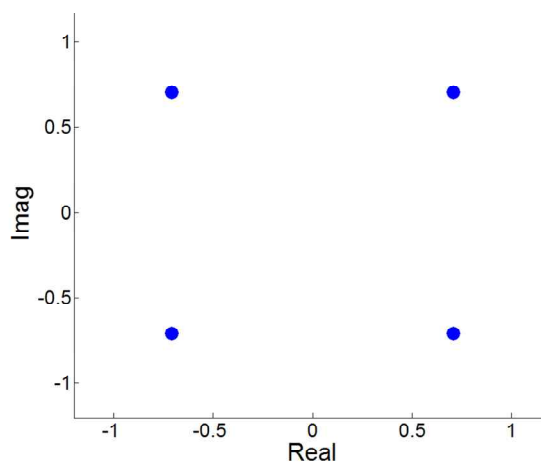
표 6-16 항상 계층 삽입 레벨에 따른 크기 조정 및 정규화 인자의 목록 (CL: 코어 계층, EL: 항상 계층)

Injection level of EL below CL level (dB)	Scaling factor α	Normalizing factor β	Injection level of EL below CL level (dB)	Scaling factor α	Normalizing factor β
0.0 dB	1.0000000	0.7071068	+11.0 dB	0.2818383	0.9625032
+0.5 dB	0.9440609	0.7271524	+12.0 dB	0.2511886	0.9698706
+1.0 dB	0.8912509	0.7465331	+13.0 dB	0.2238721	0.9758449
+1.5 dB	0.8413951	0.7651789	+14.0 dB	0.1995262	0.9806699

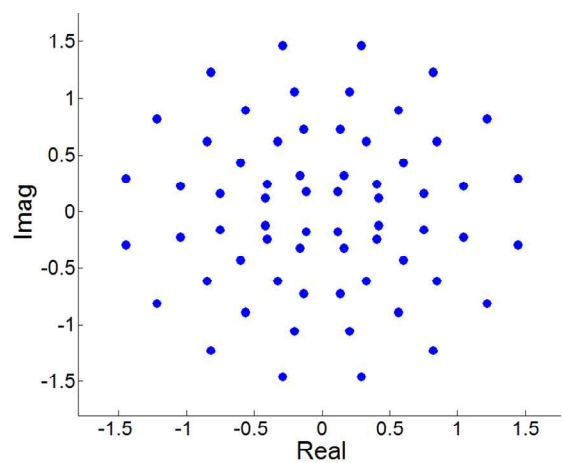
+2.0 dB	0.7943282	0.7830305	+15.0 dB	0.1778279	0.9845540
+2.5 dB	0.7498942	0.8000406	+16.0 dB	0.1584893	0.9876723
+3.0 dB	0.7079458	0.8161736	+17.0 dB	0.1412538	0.9901705
+3.5 dB	0.6683439	0.8314061	+18.0 dB	0.1258925	0.9921685
+4.0 dB	0.6309573	0.8457262	+19.0 dB	0.1122018	0.9937642
+4.5 dB	0.5956621	0.8591327	+20.0 dB	0.1000000	0.9950372
+5.0 dB	0.5623413	0.8716346	+21.0 dB	0.0891251	0.9960519
+6.0 dB	0.5011872	0.8940022	+22.0 dB	0.0794328	0.9968601
+7.0 dB	0.4466836	0.9130512	+23.0 dB	0.0707946	0.9975034
+8.0 dB	0.3981072	0.9290819	+24.0 dB	0.0630957	0.9980154
+9.0 dB	0.3548134	0.9424353	+25.0 dB	0.0562341	0.9984226
+10.0 dB	0.3162278	0.9534626			

6.4.4. LDM 예제

그림 6-16은 코어 계층, 향상 계층, 그리고 LDM 삽입 블록을 통과하여 결합된 성상도의 한 예이다. 아래의 예제에서, 그림 6-16 (a)는 부호율이 4/15이고 QPSK 성상을 사용한 코어 계층의 성상도이다. 그림 6-16 (b)는 부호율이 10/15이고 64-QAM 성상을 사용한 향상 계층의 성상도이다. 해당 예제에서, 향상 계층의 삽입 레벨은 코어 계층보다 4dB 아래에 삽입되도록 설정하였다. 삽입레벨 4dB에 대응되는 크기 조정 인자 $\alpha = 0.6309573$ 이고, 정규화 인자는 $\beta = 0.8457262$ 이다. 전체 파워 대비 코어 계층이 차지하는 파워는 71.5%이고, 전체 파워 대비 향상 계층이 차지하는 파워는 28.5% 이다. 그림 6-16(c)는 LDM 삽입 블록을 통과한 후 결합된 성상도 결과를 나타낸다.



(a)



(b)

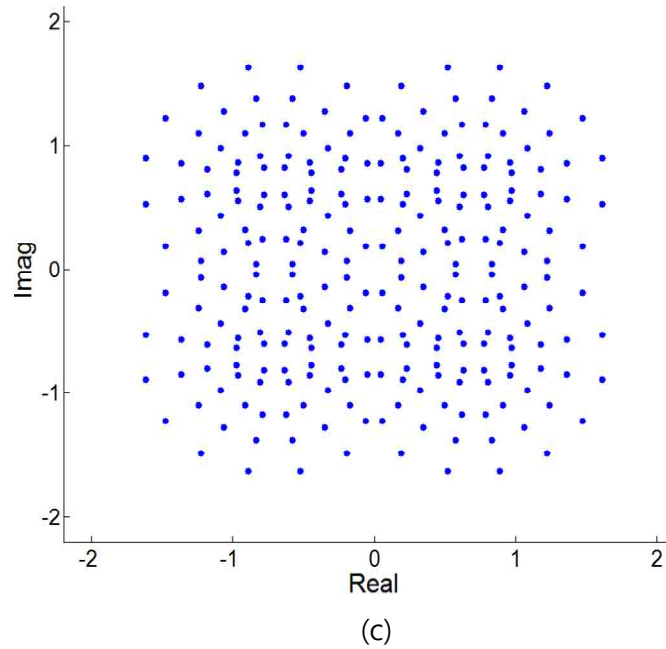


그림 6-16 (a) 코어 계층, (b) 향상 계층, (c) LDM 삽입 블록을 통과한 후 결합된 성상도 예제

6.5. L1-시그널링의 보호

6.5.1. 개요

프레이밍 블록의 입력인 L1 데이터 섹션은 L1 Basic 데이터와 L1 Detail 데이터로 나누어져 있으며, 프리앰블에 삽입된다. 이 데이터는 다음의 설명과 같이 분리된 부호화 방법을 통해 보호된다. L1-Basic 보호 블록의 입력은 9.2장에 설명되어 있는 고정된 200비트 길이의 L1-Basic 정보이며, L1-Detail 보호 블록의 입력은 L1-Detail이라 불리는 가변 길이의 데이터 비트이고 이는 9.3장에 설명되어 있다. L1-Basic과 L1-Detail 보호 블록의 출력은 프리앰블의 입력 중 하나가 된다.

L1-Basic과 L1-Detail 보호 블록 중 많은 블록이 서로 동일하며, 해당 블록은 6.5.2절에 설명되어 있다. L1-Detail 보호만을 위한 특정 블록은 6.5.3절에 설명되어 있다.

L1-Basic 시그널링의 부호화 체인은 그림 6-17에 나타나 있다.

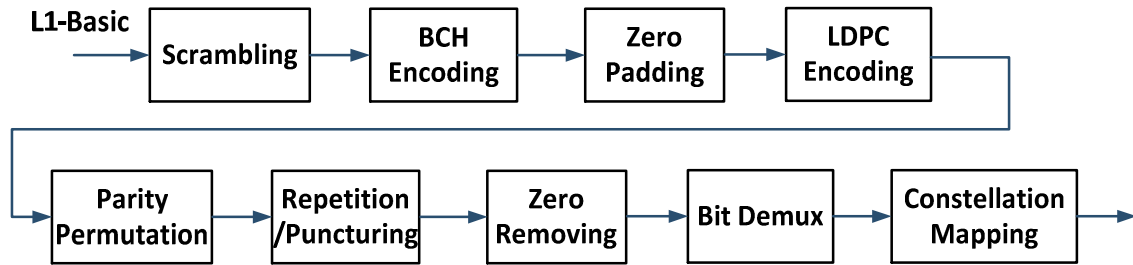


그림 6-17 L1-Basic 보호의 블록도

그림 6-17에 도시된 블록 중 스크램블링(scrambling)에 대한 자세한 내용은 6.5.2.2절에, BCH 부호화는 6.5.2.3절에, 제로 패딩(zero padding) (또는 단축(shortening))은 6.5.2.4절에, LDPC 부호화는 6.5.2.5절에, 패리티 순열은 6.5.2.6절에, 반복(repetition)은 6.5.2.7절에, 패리티 천공(parity puncturing)은 6.5.2.8절에, 영 제거는 6.5.2.9절에 설명되어 있으며, 비트 역다중화(bit demuxing)는 6.5.2.10절에, 성상 매핑(constellation mapping)은 6.5.2.11절에 설명되어 있다.

L1-Detail 시그널링의 부호화 체인은 그림 6-18에 나타나 있다.

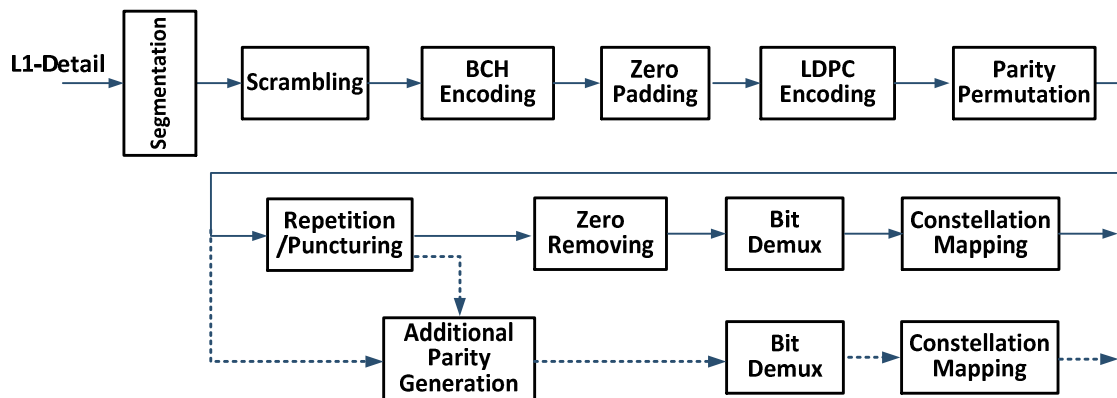


그림 6-18 L1-Detail 보호의 블록도

그림 6-18에서 L1-Detail만을 위한 특정 블록의 구체적인 내용은 다음과 같다. 세그먼테이션(segmentation)의 구체적인 내용은 6.5.3.1절에, 부가 패리티(additional parity)의 구체적인 내용은 6.5.3.2절에 정의되어 있다.

6.5.2. L1-Basic 과 L1-Detail 에 대한 공통 블록

6.5.2.1. 공통 블록의 개요

L1-Basic과 L1-Detail 시그널링은 BCH 외부 부호와 LDPC 내부 부호의 연접방식으로 보호된다. 가장 먼저 스크램블링 된 후 BCH 부호화되며, 이 때 L1-Basic과 L1-Detail 시그널링의 BCH 패리티 검사 비트는 L1-Basic과 L1-Detail 시그널링 비트에 각각 덧붙여진다. 시그널링과 BCH 패리티 검사 비트가 연접된 비트는 단축되고 천공된 16K LDPC 부호에 의하여 추가적으로 보호되며, 이는 6.5.2.4절과 6.5.2.8절에 설명되어 있다. 필요한 경우에는 6.5.2.7절에 설명된 것과 같이 반복(repetition)이 천공 이전에 적용된다.

넓은 SNR 범위를 지원하는 적합한 다양한 강건성 레벨을 제공하기 위해 L1-Basic과 L1-Detail 시그널링의 보호 레벨은 LDPC 부호, 변조 차수, 그리고 단축/천공 파라미터(천공된 비트의 수에 대한 단축된 비트의 수의 비율)를 기준으로 7가지 모드로 분류된다. 각각의 모드는 LDPC 부호, 변조 차수와 성상 그리고 단축/천공 패턴에 대한 서로 다른 조합을 가진다.

표 6-17은 L1-Basic과 L1-Detail의 7가지 모드에 대한 변조 및 부호율 구성을 나타낸다. L1 시그널링 보호를 위해 사용된 16K LDPC 부호와 비균일 성상은 기저 대역 패킷 페이로드에서 사용하는 것과 동일한 것이 사용된다.

K_{sig} 는 하나의 부호화된 블록이 포함하는 정보 비트의 수를 나타내며, K_{sig} 길이의 L1 시그널링 비트가 하나의 LDPC 부호화된 블록에 대응된다. L1-Basic에 대한 K_{sig} 의 값은 200으로 고정되어 있으나 L1-Detail 시그널링 비트의 크기가 가변적이기 때문에 L1-Detail에 대한 K_{sig} 의 값은 변수이다. L1-Detail 시그널링 비트의 개수가 표 6-17에 정의된 K_{sig} 의 최대값보다 큰 경우 세그멘테이션 연산이 L1-Detail 시그널링에 추가적으로 적용된다. 그러므로 각각의 나뉘어진 K_{sig} 크기의 L1-Detail 블록은 하나의 LDPC 부호화된 블록에 대응된다. 세그멘테이션의 자세한 내용은 6.5.3.1절에 정의되어 있다.

표 6-17 L1-Basic 과 L1-Detail 시그널링에 대한 구성

Signaling FEC Type		K_{sig}			Constellation	Length (Cells)
			Code Length	Code Rate		
L1-Basic	Mode 1	200	16200	3/15 (Type A)	QPSK	3820
	Mode 2				QPSK	934
	Mode 3				QPSK	484
	Mode 4				NUC_16_8/15	259
	Mode 5				NUC_64_9/15	163
	Mode 6				NUC_256_9/15	112
	Mode 7				NUC_256_13/15	69
	L1-Detail				Mode 1	200 ~ 2352	6/15 (Type B)	QPSK
Mode 2		200 ~ 3072		QPSK		
Mode 3		200 ~ 6312		QPSK		
Mode 4				NUC_16_8/15		
Mode 5				NUC_64_9/15		
Mode 6				NUC_256_9/15		
Mode 7				NUC_256_13/15		

6.5.2.2. 스크램블링

모든 정보의 K_{sig} 비트는 BCH 부호화 이전에 스크램블링된다. 스크램블러(scrambler)의 생성 다항식, 초기화 및 연산은 5.2.3절에 설명된 기저 대역 패킷 스크램블러에서 사용하는 것과 같다.

6.5.2.3. BCH 부호화

6.1.2.1절에 정의된 $N_{inner} = 16200$ 길이의 시스테메틱 BCH 부호는 L1-Basic과 L1-Detail의 외부 부호로 사용되고 뒤이어 단축이 수행된다. 단축된 BCH 부호에 대한 파라미터는 표 6-18에 주어진다.

표 6-18 L1 정보의 BCH 부호화에 대한 파라미터

Signaling FEC Type		$K_{sig} = K_{payload}$	M_{outer}	$N_{outer} = K_{sig} + M_{outer}$
L1-Basic	Mode 1	200	168	368
	Mode 2			
	Mode 3			
	Mode 4			
	Mode 5			
	Mode 6			
	Mode 7			
L1-Detail	Mode 1	200 ~ 2352	168	368 ~ 2520
	Mode 2	200 ~ 3072		368 ~ 3240
	Mode 3	200 ~ 6312		368 ~ 6480
	Mode 4			
	Mode 5			
	Mode 6			
	Mode 7			

6.5.2.4. 제로 패딩과 단축

16K LDPC 부호의 정보 비트의 일부는 K_{ldpc} 개의 정보 비트를 채우기 위하여 영으로 채워진다. 채워진 값은 전송되지 않는다. 여기서 K_{ldpc} 는 LDPC 인코더 입력 정보 비트의 수이며 외부 부호가 없는 경우에 6.1.1절의 $N_{inner}=16200$ 에 해당하는 $K_{payload}$ 의 값과 같다.

$\{i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}\}$ 로 표기되는 모든 K_{ldpc} 개의 LDPC 정보 비트는 $N_{info_group} (= K_{ldpc}/360)$ 개의 그룹으로 다음과 같이 나뉘어진다.

$$Z_j = \left\{ i_k \middle| j = \left\lfloor \frac{k}{360} \right\rfloor, 0 \leq k < K_{ldpc} \right\} \text{ for } 0 \leq j < N_{info_group}$$

이 때 Z_j 는 j 번째 비트 그룹을 나타낸다. L1-Basic과 L1-Detail 시그널링 데이터에 대한 파라미터($N_{outer}, K_{ldpc}, N_{info_group}$)는 표 6-19에 주어진다.

표 6-19 제로 패딩 파라미터

Signaling FEC Type	N_{outer}	K_{ldpc}	N_{info_group}
L1-Basic (all modes)	368	3240	9
L1-Detail Mode 1	368 ~ 2520		
L1-Detail Mode 2	368 ~ 3240		
L1-Detail Mode 3	368 ~ 6480	6480	18
L1-Detail Mode 4			
L1-Detail Mode 5			
L1-Detail Mode 6			
L1-Detail Mode 7			

$0 \leq j < N_{info_group}$ 동안 각 비트 그룹 Z_j 는 그림 6-19와 같이 360 비트를 가진다.

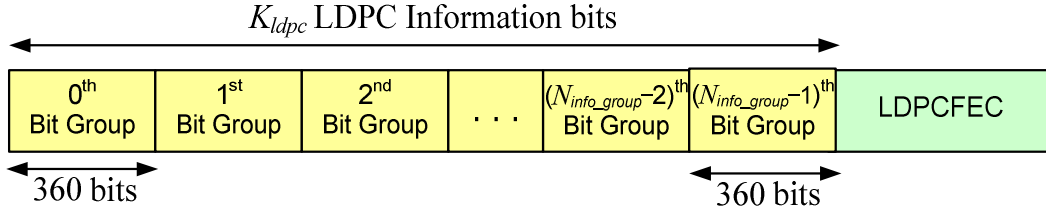


그림 6-19 L1-Basic 과 L1-Detail 시그널링의 LDPC 부호화 이후의 데이터 형식

L1-Basic과 L1-Detail 시그널링을 위한 BCH 부호화된 비트의 길이가 $N_{outer}(= K_{sig} + M_{outer}) < K_{ldpc}$ 일 때, K_{ldpc} 개의 LDPC 정보 비트가 LDPC 부호화를 위해 BCH 부호화된 N_{outer} 비트와 $(K_{ldpc} - N_{outer})$ 개의 제로 패딩 비트로 채워진다. 제로 패딩 비트는 실제로는 전송되지 않는다.

주어진 N_{outer} 에 대하여 제로 패딩 비트의 수는 $(K_{ldpc} - N_{outer})$ 로 계산된다. 그 후의 단축 과정은 다음과 같다.

Step 1: 모든 비트가 채워진 그룹의 수 N_{pad} 를 다음과 같이 계산한다.

$$N_{pad} = \left\lfloor \frac{K_{ldpc} - N_{outer}}{360} \right\rfloor$$

Step 2: N_{pad} 가 0이 아니면 $\pi_S(j)$ 를 표 6-20과 같이 j 번째 비트 그룹의 단축 패턴 순서인 $\pi_S(j)$ 를 기준으로 하여 N_{pad} 그룹의 리스트 $Z_{\pi_S(0)}, Z_{\pi_S(1)}, \dots, Z_{\pi_S(N_{pad}-1)}$ 를 결정한다. 결정된 그룹의 정보 비트는 0으로 채워진다.

N_{pad} 가 0 이면 위의 과정은 생략한다.

Step 3: 그룹 $Z_{\pi_S(N_{pad})}$ 에 대하여, $Z_{\pi_S(N_{pad})}$ 의 $(K_{ldpc} - N_{outer} - 360 \times N_{pad})$ 개의 앞부분 정보 비트가 추가적으로 0으로 채워진다.

Step 4: 마지막으로 N_{outer} 개의 BCH 부호화된 비트가 위의 과정에 의해 순차적으로 K_{ldpc} 개의 LDPC 정보 비트($\{i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}\}$) 내의 제로 패딩되지 않은 비트 위치로 매핑된다.

표 6-20 제로 패딩될 정보 비트 그룹의 단축 패턴

Signaling FEC Type	N_{group}	$\pi_S(j) \ (0 \leq j < N_{group})$									
		$\pi_S(0)$	$\pi_S(1)$	$\pi_S(2)$	$\pi_S(3)$	$\pi_S(4)$	$\pi_S(5)$	$\pi_S(6)$	$\pi_S(7)$	$\pi_S(8)$	
		$\pi_S(9)$	$\pi_S(10)$	$\pi_S(11)$	$\pi_S(12)$	$\pi_S(13)$	$\pi_S(14)$	$\pi_S(15)$	$\pi_S(16)$	$\pi_S(17)$	
L1-Basic (for all modes)	9	4	1	5	2	8	6	0	7	3	
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7		8	5	4	1	2	6	3	0		
-		-	-	-	-	-	-	-	-		
L1-Detail Mode 2		6	1	7	8	0	2	4	3	5	
-		-	-	-	-	-	-	-	-		
L1-Detail Mode 3	18	0	12	15	13	2	5	7	9	8	
6		16	10	14	1	17	11	4	3		
L1-Detail Mode 4		0	15	5	16	17	1	6	13	11	
4		7	12	8	14	2	3	9	10		
L1-Detail Mode 5		2	4	5	17	9	7	1	6	15	
8		10	14	16	0	11	13	12	3		
L1-Detail Mode 6		0	15	5	16	17	1	6	13	11	
4		7	12	8	14	2	3	9	10		
L1-Detail Mode 7		15	7	8	11	5	10	16	4	12	
3		0	6	9	1	14	17	2	13		

6.5.2.5. LDPC 부호화

$(K_{ldpc} - N_{outer})$ 개의 제로 패딩 비트와 $M_{outer} = (N_{outer} - K_{sig})$ 개의 BCH 패리티 검사 비트를 포함하는 K_{ldpc} 개의 영 삽입기로부터의 출력 비트 $(i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1})$ 은 해당 LDPC 인코더에 대한 K_{ldpc} 개의 정보 비트 $\mathbf{I} = (i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1})$ 가 된다. LDPC 인코더는 K_{ldpc} 개의 정보 비트를 크기 N_{inner} 인 부호어 \mathbf{A} 로 시스템에 적합하게 부호화하고, 여기서 부호어는 6.1.3.1절과 (모든 L1-Basic 모드와 L1-Detail 모드 1과 2에 대해) 6.1.3.2절에 (L1-Detail 모드 3, 4, 5, 6, 7에 대해) 따라 다음과 같이 구성된다.

$$\mathbf{A} = (c_0, c_1, \dots, c_{N_{inner}-1}) = (i_0, i_1, \dots, i_{K_{ldpc}-1}, p_0, p_1, \dots, p_{N_{inner}-K_{ldpc}-1})$$

LDPC의 구성은 표 6-6과 표 6-7에 주어져 있다.

6.5.2.6. 패리티 치환

패리티 치환은 패리티 부분에서만 수행되고 (정보 파트는 제외), 이 연산은 패리티 인터리버와 그룹 단위의 패리티 치환으로 구성된다.

패리티 인터리빙은 L1-Detail 모드 3, 4, 5, 6, 7에 사용되지만 패리티 인터리빙이 이미 LDPC 부호화 과정에 포함되어 있는 L1-Basic과 L1-Detail 모드 1과 2에 대해서는 사용되지 않는다.

패리티 인터리버의 출력은 $U = (u_0, u_1, \dots, u_{N_{ldpc}-1})$ 로 표기한다. 패리티 인터리빙에서 패리티 비트는 다음과 같이 인터리빙된다.

$$u_i = c_i \text{ for } 0 \leq i < K_{ldpc} \quad (\text{정보 비트는 인터리빙되지 않음})$$

$$u_{K_{ldpc}+360t+s} = c_{K_{ldpc}+27s+t} \text{ for } 0 \leq s < 360, 0 \leq t < 27.$$

L1-Basic과 L1-Detail 모드 1과 2에는 패리티 인터리버가 사용되지 않는다. 그러므로 다음과 같다.

$$u_i = c_i \text{ for } 0 \leq i < N_{inner}$$

패리티 인터리빙된 LDPC 부호어 비트 $(u_0, u_1, \dots, u_{N_{ldpc}-1})$ 은 $N_{group} = N_{ldpc}/360$ 비트 그룹으로 다음과 같이 나뉘어진다.

$$X_j = \{u_k | 360 \times j \leq k < 360 \times (j+1), 0 \leq k < N_{inner}\} \text{ for } 0 \leq j < N_{group}$$

이 때 X_j 는 j 번째 비트 그룹을 나타낸다. 각각의 비트 그룹 X_j 은 그림 6-20에 도시된 것과 같이 360비트를 포함한다.

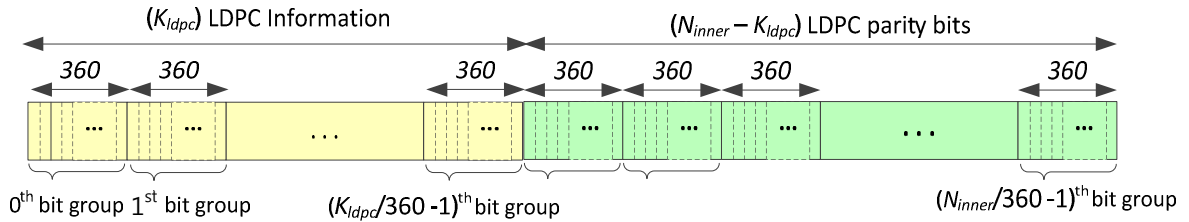


그림 6-20 패리티 인터리빙된 LDPC 부호어 비트 그룹

패리티 인터리빙된 LDPC 비트 내의 정보 비트는 그룹 단위의 인터리버에 의해 인

터리빙되지 않는 반면에 패리티 인터리빙된 LDPC 비트 내의 패리티 비트는 그룹 단위의 인터리버에 의해 다음과 같이 인터리빙된다.

$$Y_j = X_j, \quad 0 \leq j < K_{\text{ldpc}} / 360$$

$$Y_j = X_{\pi_P(j)}, \quad K_{\text{ldpc}} / 360 \leq j < N_{\text{group}}$$

이 때 Y_j 는 그룹 단위의 인터리빙된 j 번째 비트 그룹을 나타내며 $\pi_P(j)$ 는 그룹 단위의 인터리빙에 대한 치환 순서를 나타낸다. 패리티 비트 그룹이 패리티 치환에 의한 천공 패턴의 역순으로 정렬되도록 LDPC 패리티 비트가 정렬된다. 표 6-21과 표 6-22는 패리티 파트의 그룹 단위 인터리빙 순열 순서 $\pi_P(j)$ 를 나타낸다.

표 6-21 모든 L1-Basic 모드, L1-Detail 모드 1, 2에 대한 그룹 단위 인터리빙 패턴

Signaling FEC Type	N_{group}	Order of group-wise interleaving $\pi_p(j)$ ($9 \leq j < 45$)											
		$\pi_p(9)$	$\pi_p(10)$	$\pi_p(11)$	$\pi_p(12)$	$\pi_p(13)$	$\pi_p(14)$	$\pi_p(15)$	$\pi_p(16)$	$\pi_p(17)$	$\pi_p(18)$	$\pi_p(19)$	$\pi_p(20)$
		$\pi_p(21)$	$\pi_p(22)$	$\pi_p(23)$	$\pi_p(24)$	$\pi_p(25)$	$\pi_p(26)$	$\pi_p(27)$	$\pi_p(28)$	$\pi_p(29)$	$\pi_p(30)$	$\pi_p(31)$	$\pi_p(32)$
		$\pi_p(33)$	$\pi_p(34)$	$\pi_p(35)$	$\pi_p(36)$	$\pi_p(37)$	$\pi_p(38)$	$\pi_p(39)$	$\pi_p(40)$	$\pi_p(41)$	$\pi_p(42)$	$\pi_p(43)$	$\pi_p(44)$
L1-Basic (all modes)	45	20	23	25	32	38	41	18	9	10	11	31	24
		14	15	26	40	33	19	28	34	16	39	27	30
		21	44	43	35	42	36	12	13	29	22	37	17
L1-Detail Mode 1		16	22	27	30	37	44	20	23	25	32	38	41
		9	10	17	18	21	33	35	14	28	12	15	19
		11	24	29	34	36	13	40	43	31	26	39	42
L1-Detail Mode 2		9	31	23	10	11	25	43	29	36	16	27	34
		26	18	37	15	13	17	35	21	20	24	44	12
		22	40	19	32	38	41	30	33	14	28	39	42

표 6-22 L1-Detail 모드 3, 4, 5, 6, 7에 대한 그룹 단위 인터리빙 패턴

Signaling FEC Type	N_{group}	Order of group-wise interleaving $\pi_p(j) \ (18 \leq j < 45)$													
		$\pi_p(18)$	$\pi_p(19)$	$\pi_p(20)$	$\pi_p(21)$	$\pi_p(22)$	$\pi_p(23)$	$\pi_p(24)$	$\pi_p(25)$	$\pi_p(26)$	$\pi_p(27)$	$\pi_p(28)$	$\pi_p(29)$	$\pi_p(30)$	$\pi_p(31)$
		$\pi_p(32)$	$\pi_p(33)$	$\pi_p(34)$	$\pi_p(35)$	$\pi_p(36)$	$\pi_p(37)$	$\pi_p(38)$	$\pi_p(39)$	$\pi_p(40)$	$\pi_p(41)$	$\pi_p(42)$	$\pi_p(43)$	$\pi_p(44)$	
L1-Detail Mode 3	45	19	37	30	42	23	44	27	40	21	34	25	32	29	24
		26	35	39	20	18	43	31	36	38	22	33	28	41	
L1-Detail Mode 4		20	35	42	39	26	23	30	18	28	37	32	27	44	43
L1-Detail Mode 5		41	40	38	36	34	33	31	29	25	24	22	21	19	
		19	37	33	26	40	43	22	29	24	35	44	31	27	20
L1-Detail Mode 6		21	39	25	42	34	18	32	38	23	30	28	36	41	
		20	35	42	39	26	23	30	18	28	37	32	27	44	43
L1-Detail Mode 7		41	40	38	36	34	33	31	29	25	24	22	21	19	
		44	23	29	33	24	28	21	27	42	18	22	31	32	37
			43	30	25	35	20	34	39	36	19	41	40	26	38

6.5.2.7. 반복

L1-Basic 모드 1과 L1-Detail 모드 1에 대해서만, 추가적으로 N_{repeat} 개의 비트가 부호화된 LDPC 부호어 내에서 선택되어 전송된다. 반복은 다른 모드에서는 수행되지 않는다.

반복의 과정은 다음과 같다.

Step 1: 주어진 N_{outer} 에 대하여 LDPC 부호어마다 추가적으로 전송되는 패리티 비트의 수 N_{repeat} 는 N_{outer} 에 일정한 숫자 C 를 곱한 뒤 짝수인 D 를 더하여 계산한다. C 와 D 의 값은 표 6-23에 의해 선택된다.

$$N_{repeat} = 2 \times \lfloor C \times N_{outer} \rfloor + D$$

표 6-23 반복에 대한 파라미터

	N_{outer}	K_{sig}	K_{ldpc}	C	D	N_{ldpc_parity} (= $N_{inner} - K_{ldpc}$)	η_{MOD}
L1-Basic Mode 1	368	200	3240	0	3672	12960	2
L1-Detail Mode 1	368 ~ 2520	200 ~ 2352	3240	61/16	~ 508	12960	2

Step 2: 만약 $N_{repeat} \leq N_{ldpc_parity}$ 이면, 패리티 치환된 LDPC 패리티의 첫 번째 N_{repeat} 개의 비트는 그림 6-21과 같이 LDPC 정보 비트에 덧붙여진다.

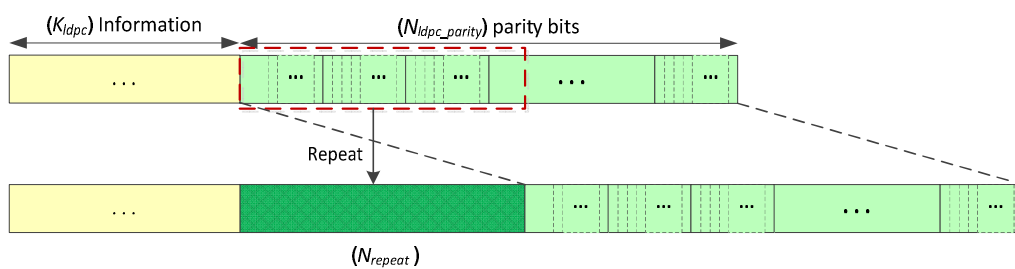
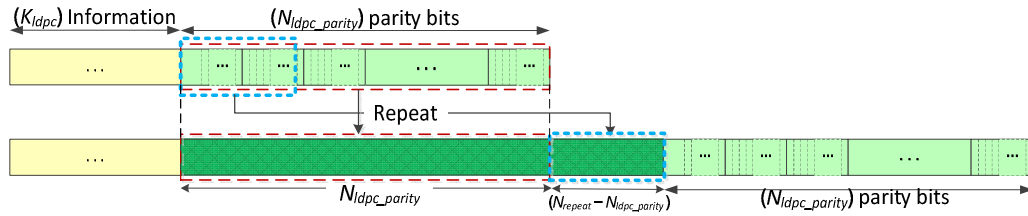


그림 6-21 패리티 반복 ($N_{repeat} \leq N_{ldpc_parity}$)

만약 $N_{repeat} > N_{ldpc_parity}$ 이면, 패리티 치환된 LDPC 패리티의 N_{ldpc_parity} 개의 비트가 LDPC 정보 비트에 덧붙여지고 패리티 치환된 LDPC 패리티의 첫 번째 ($N_{repeat} - N_{ldpc_parity}$)개의 비트는 그림 6-22와 같이 첫 번째 덧붙여진 N_{ldpc_parity} 개의 비트에 추가적으로 덧붙여진다.

그림 6-22 패리티 반복 ($N_{repeat} > N_{ldpc_parity}$)

6.5.2.8. 패리티 천공

몇몇 LDPC 패리티 비트는 패리티 순열 이후에 천공될 수 있다. 이러한 천공된 비트는 L1 시그널링 비트를 전달하는 프레임 내에서 전송되지 않는다.

주어진 N_{outer} 에 대하여 LDPC 부호어당 천공되는 패리티 비트의 수와 하나의 부호화된 블록의 크기는 다음과 같이 결정된다.

Step 1:

$$N_{punc_temp} = \lfloor A \times (K_{ldpc} - N_{outer}) \rfloor + B$$

모드에 따라서 천공 비트의 임시 크기는 단축 길이에 천공되는 비트 수에 대한 천공되는 비트 수의 비 A 를 곱한 뒤 일정한 정수 B 를 더함으로써 계산된다. K_{ldpc} , A , B 는 표 6-24에 따라 선택된다.

표 6-24 천공 파라미터

Signaling FEC Type		N_{outer}	K_{ldpc}	A	B	N_{ldpc_parity}	η_{MOD}
L1-Basic	Mode 1	368	3240	0	9360	12960	2
	Mode 2				11460		2
	Mode 3				12360		2
	Mode 4				12292		4
	Mode 5				12350		6
	Mode 6				12432		8
	Mode 7				12776		8
L1-Detail	Mode 1	368 ~ 2520	6480	7/2	0	9720	2
	Mode 2	368 ~ 3240		2	6036		2
	Mode 3	368 ~ 6480		11/16	4653		2
	Mode 4			29/32	3200		4
	Mode 5			3/4	4284		6
	Mode 6			11/16	4900		8
	Mode 7			49/256	8246		8

Step 2:

$$N_{FEC_temp} = N_{outer} + N_{ldpc_parity} - N_{punc_temp}$$

이 때 LDPC 패리티 비트의 수 N_{ldpc_parity} 는 표 6-24에 따라 선택된다.

Step 3:

$$N_{FEC} = \left\lceil \frac{N_{FEC_temp}}{\eta_{MOD}} \right\rceil \times \eta_{MOD}$$

이 때 η_{MOD} 는 표 6-24에 정의된 변조 지수를 나타낸다. N_{FEC} 는 변조 지수의 정수 배이다.

Step 4:

$$N_{punc} = N_{punc_temp} - (N_{FEC} - N_{FEC_temp})$$

이 때 N_{FEC} 는 각각의 정보 블록에서 BCH와 LDPC에 의해 부호화된 비트의 전체 수를 나타낸다.

패리티 치환과 반복이 수행된 전체 LDPC 부호어의 마지막 N_{punc} 개의 비트는 N_{punc} 가 양의 정수일 때 그림 6-23 및 그림 6-24와 같이 천공된다. 반복은 L1-Basic 모드 1과 L1-Detail 모드 1에 대해서만 적용됨을 유의해야 한다.

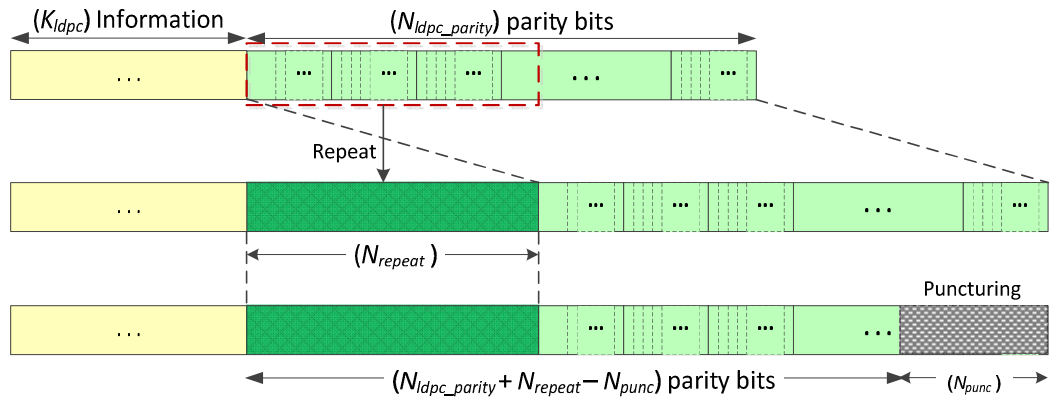


그림 6-23 반복 이후의 패리티 천공의 예시 1

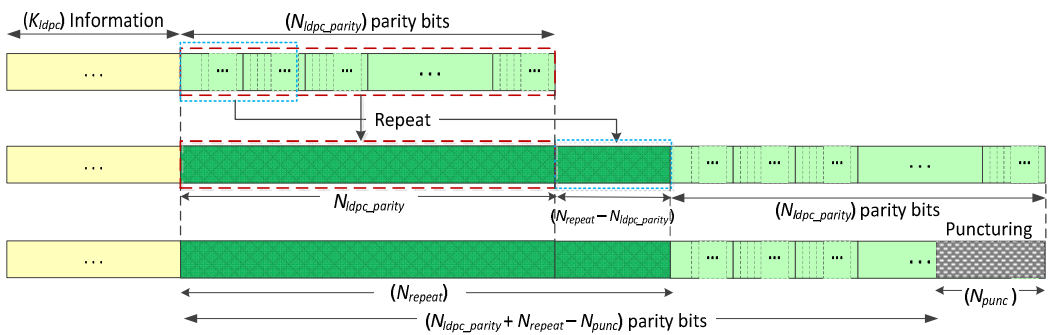


그림 6-24 반복 이후의 패리티 천공의 예시 2

6.5.2.9. 영 제거

$(K_{ldpc} - N_{outer})$ 개의 제로 패딩 비트는 제거되어 전송되지 않는다. 이는 K_{sig} 개의 정보 비트로 구성된 워드를 남기며, 그림 6-25에 도시된 것과 같이 168 BCH 패리티 비트와 $(N_{inner} - K_{ldpc} - N_{punc})$ 또는 $(N_{inner} - K_{ldpc} - N_{punc} + N_{repeat})$ 패리티 비트로 이어진다. 반복을 수행한 전체 LDPC 부호어의 길이가 $(N_{FEC} + N_{repeat})$ 라는 점에 유의해야 한다.

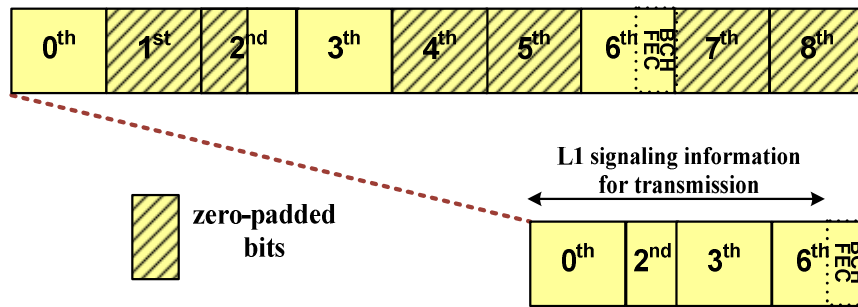


그림 6-25 제로 패딩 비트의 제거 예시

6.5.2.10. 비트 역다중화

영 제거에 이어서 길이가 N_{FEC} 또는 $(N_{FEC} + N_{repeat})$ 인 나머지 비트는 열 방향으로 블록 인터리버에 순차적으로 기록되며, 이 때 열의 수는 변조 차수와 같다.

읽기 연산에서는 하나의 성상 심볼을 위한 비트를 행 방향으로 읽어 들인 뒤 비트 역다중화 블록으로 보낸다. 이 같은 연산은 마지막 열까지 계속된다. 그림 6-26은 블록 인터리빙의 과정을 보여준다.

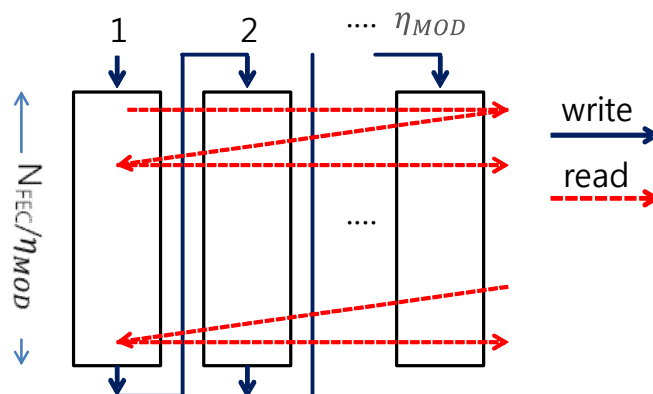


그림 6-26 블록 인터리버 방식

각각의 블록 인터리빙된 그룹은 성상 매핑되기 이전에 하나의 그룹 내의 비트단위로 역다중화된다. 변조 차수에 따라 두 가지 매핑 규칙이 존재한다. QPSK의 경우 심볼

내의 비트의 신뢰도는 동일하다. 따라서 블록 인터리버로부터 읽어 들인 하나의 비트 그룹은 인터리빙 과정을 거치지 않고 바로 QAM 심볼로 매핑된다. 고차 변조의 경우에는 하나의 비트 그룹은 아래에 설명된 규칙에 따라 QAM 심볼에 매핑된다.

$$S_{\text{demux_in}}(i) = \{b_i(0), b_i(1), b_i(2), \dots, b_i(\eta_{\text{MOD}} - 1)\}$$

$$S_{\text{demux_out}}(i) = \{c_i(0), c_i(1), c_i(2), \dots, c_i(\eta_{\text{MOD}} - 1)\}$$

$$c_i(0) = b_i(i \% \eta_{\text{MOD}}), c_i(1) = b_i((i + 1) \% \eta_{\text{MOD}}), \dots, c_i(\eta_{\text{MOD}} - 1) = b_i((i + \eta_{\text{MOD}} - 1) \% \eta_{\text{MOD}})$$

여기서, $i \% \eta_{\text{MOD}}$ 는 i 를 η_{MOD} 로 나눈 나머지를 의미한다.

이 때 i 는 블록 인터리빙 내의 열 첨자에 대응되는 비트 그룹 첨자이다. 즉, 각각의 QAM 심볼을 매핑하는 출력 비트 그룹 $S_{\text{demux_out}}(i)$ 은 비트 그룹 첨자 i 에 따라 $S_{\text{demux_in}}(i)$ 로부터 i 만큼 순환 이동한 것이다.

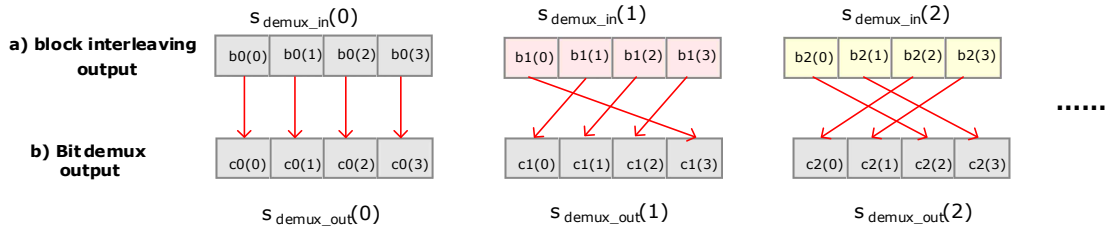


그림 6-27 16-NUC에 대한 비트 역다중화 규칙의 예시

그림 6-27은 16-NUC의 비트 역다중화 규칙의 예시를 보여준다. 이 연산은 모든 비트 그룹을 블록 인터리버로부터 읽어 들일 때까지 계속된다.

6.5.2.11. 성상 매핑

각각의 역다중화된 LDPC 블록은 성상 심볼로 매핑된다. 모드에 따라 $S_{\text{demux_output}}(i)$ 는 6.3절에 설명된 성상에 따라 셀 워드로 매핑된다.

6.5.3. L1-Detail의 상세 블록 설명

다음 절은 L1-Detail 정보의 부호화에만 발생하는 블록에 대해 언급한다.

6.5.3.1. 분할

L1-Detail 시그널링 정보 비트의 양은 가변적이며 주로 PLP의 수에 따라 결정된다. 그러므로 전체 시그널링의 전송을 위해서 하나 이상의 FEC 프레임이 필요할 수도 있다. L1-Detail 시그널링에 대한 FEC 프레임의 수 $N_{L1D_FECFRAME}$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$N_{L1D_FECFRAME} = \left\lceil \frac{K_{L1D_ex_pad}}{K_{seg}} \right\rceil$$

이 때, $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 크거나 같은 최소의 정수를 의미하며, 각각의 L1-Detail 모드에 대한 K_{seg} 는 표 6-25에 정의되어 있고 L1-Basic 시그널링 내의 **L1B_L1_Detail_size_bytes** 필드의 값에 의해 $K_{L1D_ex_pad}$ 가 결정되며, 이 값은 그림 6-28에 도시된 것과 같이 L1 덧붙임(padding) 비트를 제외한 L1-Detail 시그널링의 길이를 나타낸다.

K_{seg} 는 LDPC 인코더 입력 정보 비트의 수(K_{ldpc})에 기반하여 분할에 대해 정의된 문턱값이다. K_{seg} 는 분할 이후의 하나의 부호화된 블록 내의 정보 비트의 수 K_{sig} 가 ($K_{ldpc} - M_{outer}$)보다 작거나 같도록 한다. 여기서 K_{ldpc} 와 M_{outer} 는 6.5.2.3절과 6.5.2.4절의 표 6.18과 표 6-19에 각각 주어져 있다. L1-Detail 모드 1에 대한 K_{seg} 의 값이 충분한 신호 강건성을 제공하기 위해 ($K_{ldpc} - M_{outer} - 720$)로 정해진 점에 유의해야 한다.

표 6-25 L1-Detail 시그널링에 대한 K_{seg}

L1-Detail	K_{seg}
Mode 1	2352
Mode 2	3072
Mode 3	6312
Mode 4	
Mode 5	
Mode 6	
Mode 7	

L1-Detail 시그널링에 대한 필드 L1_PADDING의 길이 $K_{L1_D_PAD}$ 는 다음과 같이 계산

된다.

$$K_{L1D_PAD} = \left\lceil \frac{K_{L1D_ex_pad}}{N_{L1D_FECFRAME} \times 8} \right\rceil \times 8 \times N_{L1D_FECFRAME} - K_{L1D_ex_pad}.$$

L1_PADDING 부분은 그림 6-28과 같이 K_{L1D_PAD} 개의 0으로 채워진다. 제로 패딩 비트를 포함하는 전체 L1-Detail 시그널링의 최종 길이 K_{L1D} 는 다음과 같이 설정된다.

$$K_{L1D} = K_{L1D_ex_pad} + K_{L1D_PAD}$$

각 $N_{L1D_FECFRAME}$ 개의 블록의 정보 비트의 수 K_{sig} 는 다음과 같이 주어진다.

$$K_{sig} = \frac{K_{L1D}}{N_{L1D_FECFRAME}}$$

그림 6-28에서 도시하는 바와 같이 L1-Detail 시그널링은 $N_{L1D_FECFRAME}$ 이 1보다 클 때 $N_{L1D_FECFRAME}$ 개의 블록으로 분할된다.

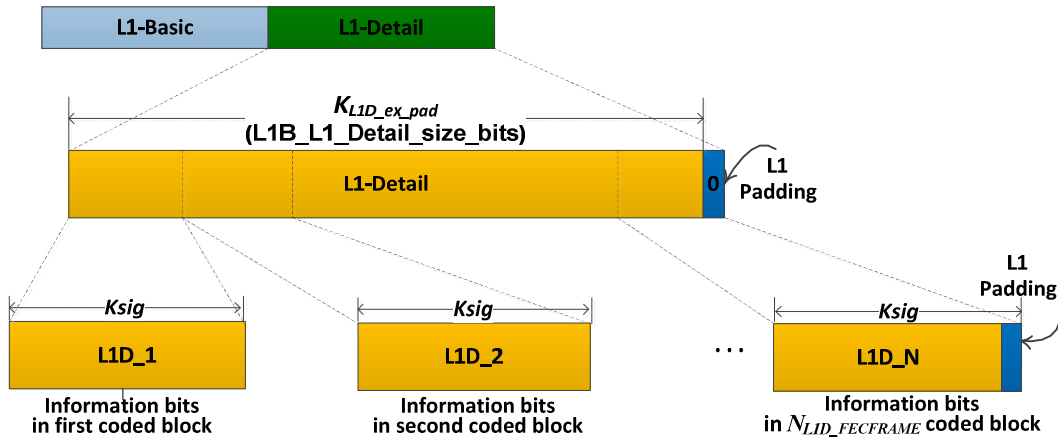


그림 6-28 L1-Detail 시그널링의 분할

각각의 분할된 L1-Detail 블록은 6.5.2절에 설명된 과정에 따라서 보호된다. 정보의 크기가 K_{sig} 인 각 L1-Detail 블록의 모든 비트는 6.5.2.2절에 따라 스크램블링된다. 각각의 스크램블링된 L1-Detail 시그널링 블록은 BCH 외부 부호와 LDPC 내부 부호의 연접 방식으로 보호된다. 각각의 L1-Detail 시그널링 블록은 먼저 BCH 부호화되며, 이 때 M_{outer} (=

168)개의 BCH 패리티 검사 비트가 각 블록의 K_{sig} 개의 정보 비트에 덧붙여진다. 결과적으로 얻어진 각 블록의 정보 비트와 BCH 패리티 비트의 연접은 6.5.2.4절과 6.5.2.8절에서 설명하는 것과 같이 단축되고 천공된 16K LDPC 부호에 의해 보호된다. 필요한 경우에는 6.5.2.7절에서 설명된 것처럼 천공 이전에 반복이 적용된다.

6.5.3.2. 추가적인 패리티

L1-Detail 시그널링의 신호 강건성을 더욱 향상시키기 위하여, 추가적인 패리티 비트가 L1-Detail 시그널링을 전달하는 현재 i 번째 프레임에 앞서는 $(i-1)$ 번째 프레임에서 전송된다. 즉, i 번째 프레임의 L1-Detail 시그널링이 i 번째 프레임과 같은 부트스트랩의 주/부(major/minor) 버전을 가지는 시간적으로 가장 가까운 $(i-1)$ 번째 프레임에서 추가적인 패리티 비트가 전송된다. 그림 6-29는 i 번째 프레임의 L1-Detail에 대한 추가적인 패리티 비트가 $(i-1)$ 번째 프레임의 프리앰블에 매핑되는 방법을 보여준다.

같은 주/부 부트스트랩 버전을 가진 i 번째 프레임의 L1-Detail에 대한 추가적인 패리티 비트의 사용이 $(i-1)$ 번째 프레임의 **L1B_L1_Detail_additional_parity_mode**에 시그널링되어 있다. $(i-1)$ 번째 프레임의 **L1B_L1_Detail_additional_parity_mode**가 00으로 설정되었을 때는 i 번째 프레임의 L1-Detail 시그널링을 위한 추가적인 패리티가 $(i-1)$ 번째 프레임 내에서 전송되지 않아야 한다.

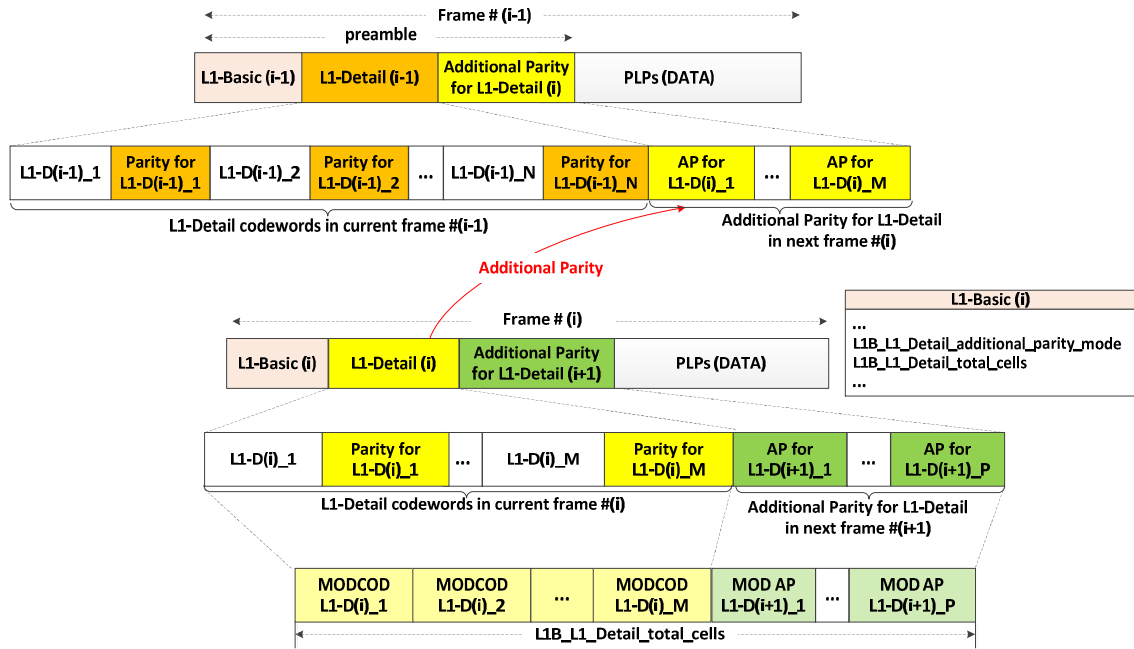


그림 6-29 L1-Detail 시그널링에 대한 추가적인 패리티

추가적인 패리티를 사용하게 되면 L1 시그널링을 위한 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 천공된 비트의 수가 추가적인 패리티 비트의 수 보다 크면 천공 순서에 따라서 천공된 비트 중에서 선택된 비트에 의해 추가적인 패리티 비트가 생성된다. 그렇지 않으면, 추가적인 패리티 비트는 모든 천공 비트를 선택한 뒤 $(N_{AP} - N_{punc})$ 개의 패리티 비트를 추가로 선택함으로써 생성된다.

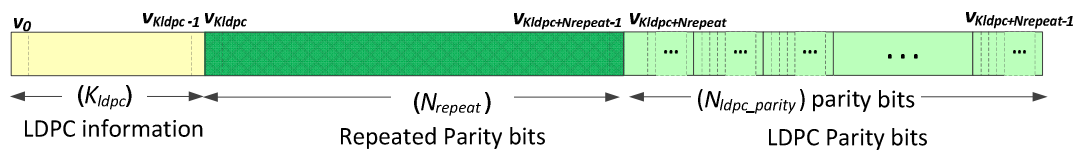


그림 6-30 반복된 LDPC 부호어

추가된 패리티 비트의 수는 현재 프레임에서 송신되는 전체 비트의 수로 결정된다. 그림 6-30과 같이 $V = (v_0, v_1, \dots, v_{Ninner+Nrepeat-1})$ 로 표기되는 반복된 LDPC 부호어에 따라서 추가적인 비트는 다음의 연산에 의해 생성된다.

Step 1: 추가적인 패리티 비트의 임시 수를 다음과 같이 계산한다

$$N_{AP_temp} = \min \left\{ \frac{0.5 \times K \times (N_{outer} + N_{ldpc_parity} - N_{punc} + N_{repeat})}{(N_{ldpc_parity} + N_{punc} + N_{repeat})}, K=0,1,2 \right\}$$

여기서, $\min(a, b)$ 는 다음과 같다.

$$\min(a, b) = \begin{cases} a, & \text{if } a \leq b \\ b, & \text{if } b < a \end{cases}$$

그리고 K 는 **L1B_L1_Detail_additional_parity_mode** 필드에 대응되는 값이며, 이 값은 추가된 패리티 비트의 수에 대한 반복 및 천공되고 영 제거된 뒤 전송된 부호화된 L1-Detail 시그널링 블록 내의 전체 비트 수의 절반에 대한 비율이다. 여기서 i 번째 프레임의 L1-Detail과 관련이 있는 **L1B_L1_Detail_additional_parity_mode**의 값은 이전 프레임인 $(i-1)$ 번째 프레임에서 전달된다.

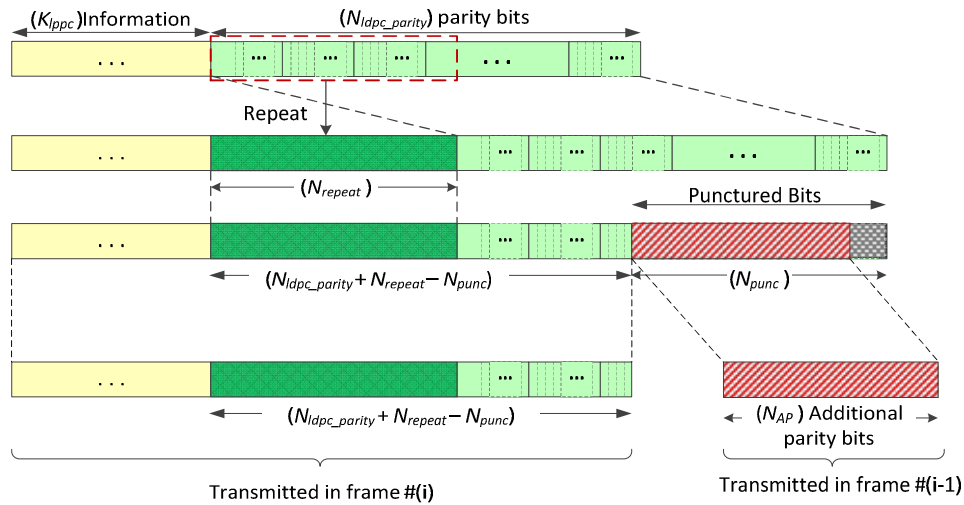
Step 2: 변조 지수의 정수 배를 만들기 위한 추가적인 패리티 비트의 수를 계산한다.

$$N_{AP} = \left\lceil \frac{N_{AP_temp}}{\eta_{MOD}} \right\rceil \times \eta_{MOD}$$

이때 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작거나 같은 최대의 정수를 의미하며, η_{MOD} 는 QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM에서 각각 2, 4, 6, 8의 값을 가지는 변조 지수를 나타낸다.

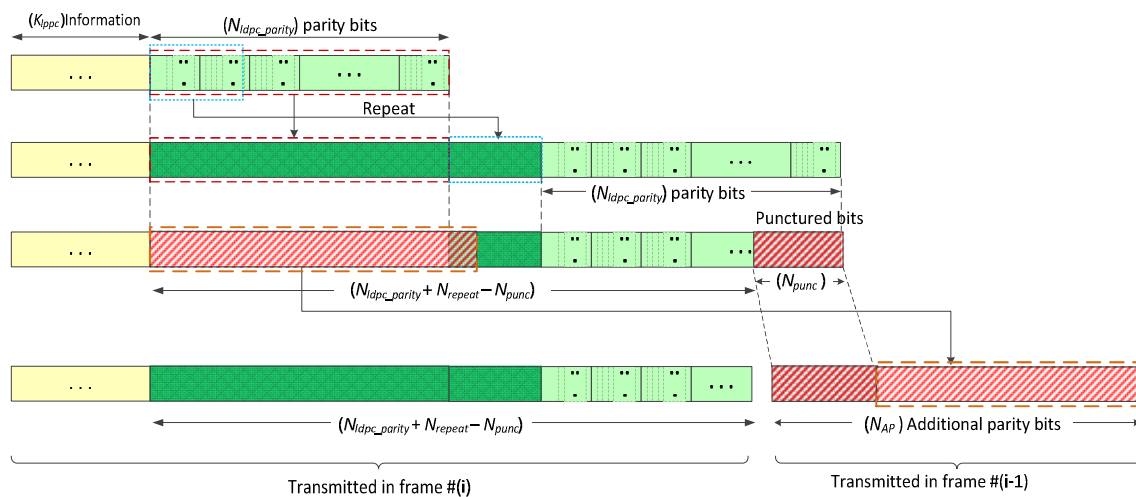
Step 3: 만약 $N_{AP} \leq N_{punc}$ 이면, 그림 6-29와 같이 다음 과정을 수행한다.

천공된 패리티 비트 중 $(v_{N_{repeat}+N_{inner}-N_{punc}}, v_{N_{repeat}+N_{inner}-N_{punc}+1}, \dots, v_{N_{repeat}+N_{inner}-N_{punc}+N_{AP}-1})$ 은 추가적인 패리티를 위해 선택된다.

그림 6-31 L1-Detail 시그널링을 위한 추가적인 패리티 생성 ($N_{AP} \leq N_{punc}$)

그 외의 경우 ($N_{AP} > N_{punc}$)에는, 그림 6-32와 같이 다음 과정을 수행한다.

그림 6-32와 같이 모든 천공된 비트 ($v_{N_{repeat} + N_{inner} - N_{punc}}, v_{N_{repeat} + N_{inner} - N_{punc} + 1}, \dots, v_{N_{repeat} + N_{inner} - N_{punc} + N_{AP} - 1}$) 이 선택되고 패리티 비트 ($v_{K_{upc}}, v_{K_{upc} + 1}, \dots, v_{K_{upc} + N_{AP} - N_{punc} - 1}$) 이 추가적으로 선택되어 천공된 비트에 덧붙여진다.

그림 6-32 L1-Detail 시그널링을 위한 추가적인 패리티 생성 ($N_{AP} > N_{punc}$)

반복을 위한 비트의 수 N_{repeat} 는 L1-Detail 모드 2, 3, 4, 5, 6, 7에 대해서 0임을 유의해야 한다. 추가적인 패리티 비트를 위해 생성된 성상도 현재 프레임 내에서 전송되는 반복 및 천공되고 영 제거된 L1-Detail 시그널링 비트와 같은 방식으로 생성된다. 성상으로 매핑한 후에, 추가적인 패리티 비트는 그림 6-29와 같이 현재 프레임의 L1-Detail 시그널링을 갖는 현재 프레임보다 앞서는 프레임의 부호화된 L1-Detail 시그널링 블록에 덧붙여진다.

7. 프레임링/인터리빙

프레임링과 인터리빙 블록은 시간 인터리빙, 프레임링, 주파수 인터리빙으로 구성된다. 시간 인터리빙과 프레임링 블록의 입력은 한 개 이상의 PLP로 구성될 수 있다. 반면에 프레임링 블록 출력은 프리앰블 또는 데이터 등 OFDM 심볼로 구성되며, 주파수 인터리빙은 OFDM 심볼 단위로 동작된다. 그림 7-1은 프레임링과 인터리빙 블록 구성도를 나타낸다.

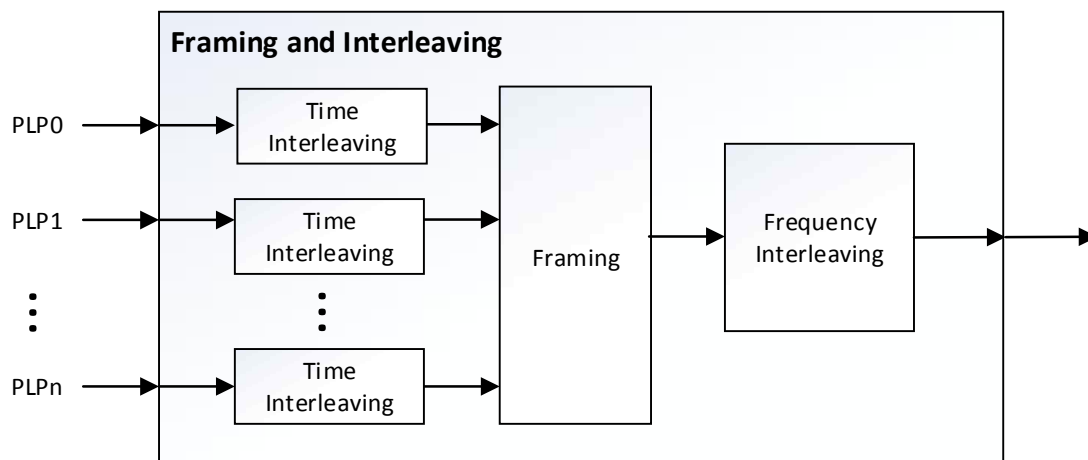


그림 7-1 프레임링과 인터리빙 블록 구성도

7.1. 시간 인터리빙

시간 인터리빙 블록 입력은 이전 매핑 블록의 출력 스트리밍이며, 시간 인터리빙 출력은 시간 인터리빙된 셀 스트리밍이다.

7.1.1. 시간 인터리버 모드

시간 인터리버는 no time interleaving, 컨벌루션 시간 인터리버 (CTI: Convolutional Time Interleaver) 모드(7.1.4절 참조), 하이브리드 시간 인터리버 (HTI: Hybrid Time

Interleaver) 모드(7.1.5절 참조) 중 하나가 사용된다. 시간 인터리버 모드는 L1-Detatil 시그널링 필드 **L1D_plp_TI_mode**에 의해서 시그널링된다. 확장된 PLP를 위한 시간 인터리버 모드는 코어 PLP의 시간 인터리버 모드와 동일하도록 시그널링한다.

하나의 서비스가 고정된 비트율을 가지는 PLP를 통해 전송될 경우 PLP의 시간 인터리버는 no time interleaving, CTI 모드 또는 HTI 모드 중 하나로 설정할 수 있다. 반면에 하나의 서비스가 고정된 비트율을 가지는 PLP를 통해 전송되는 경우를 제외한 PLP의 시간 인터리버는 no time interleaving 또는 HTI 모드 중 하나로 설정할 수 있다. 또한, 하나의 서비스가 하나의 PLP를 통해 전송될 경우 PLP의 시간 인터리버는 no time interleaving, CTI 모드 또는 HTI 모드 중 하나로 설정할 수 있다. 반면에 하나의 서비스가 하나의 PLP를 통해 전송되는 경우를 제외한 PLP의 시간 인터리버는 no time interleaving 또는 HTI 모드 중 하나로 설정할 수 있다. 예로써, 하나의 서비스가 다수의 컴포넌트로 구성되고 각 컴포넌트가 각각의 PLP를 통해 전송된 경우 각각의 PLP는 no time interleaving 또는 HTI 모드로 동작될 수 있으며, 이때 HTI의 파라미터는 각각 다를 수 있다.

7.1.2. 시간 인터리버 크기

하나의 서비스가 하나의 PLP를 통해 전송되며 CTI 모드가 사용될 경우, 시간 인터리버 최대 메모리 크기는 $M_{TI} = 2^{19}$ 셀이다. 반면에, 하나의 서비스가 다수의 컴포넌트로 구성되고 각 컴포넌트가 각각의 PLP를 통해 전송되며 HTI 모드가 사용될 경우, 각 PLP에 할당되는 시간 인터리버 메모리 크기는 각 컴포넌트 전송 데이터량에 의해 결정된다. 더불어 CTI 또는 HTI 모드와 확장 인터리빙 (extended interleaving)이 같이 사용될 경우에 고려되는 시간 인터리버 최대 메모리 크기는 $M_{TI} = 2^{20}$ 셀이다. 이때, 시간 인터리버 메모리 크기는 CTI 모드의 컨벌루션 시간 인터리버와 HTI 모드의 셀, 블록, 시간 지연선 등을 모두 포함한다.

7.1.3. 확장 인터리버

확장 인터리빙 모드는 LDM이 적용되지 않는 조건하에 QPSK 변조에 대해서만 선택적으로 적용된다. 이때 확장 인터리빙 모드는 **L1D_plp_TI_extended_interleaving** 시그널링에 의해 전달된다. CTI 모드에서 시간 인터리빙 깊이는 약 300ms와 400ms까지 확장할 수 있으며, 인터리빙 깊이 파라미터 $N_{rows} = 1254$ 와 $N_{rows} = 1448$ 는 각각 **L1D_plp_CTI_depth = 101**과 **L1D_plp_CTI_depth = 110** 시그널링에 의해 전달된다.

HTI모드에서 확장 인터리빙이 적용될 경우, 최대 시간 인터리버 메모리 크기는 2^{20} 셀이며, 인터리빙 프레임당 FEC 블록의 최대값 $N_{BLOCKS_IF_MAX}$ 는 517을 초과할 수 없다. 확장 인터리빙이 적용되지 않을 경우에는 최대 시간 인터리버 메모리 크기는 2^{19} 셀이며, 인터리빙 프레임당 FEC 블록의 최대값 $N_{BLOCKS_IF_MAX}$ 는 258을 초과할 수 없다. 특히 HTI 모드에서 확장 인터리빙 모드는 확장 시간 인터리빙 깊이를 사용하지 않는 경우와 비교 시 약 2배까지 확장할 수 있다.

7.1.4. 컨벌루션 시간 인터리버 모드

그림 7-2는 구성도를 나타내며 컨벌루션 입력으로 하나의 PLP를 가진다.

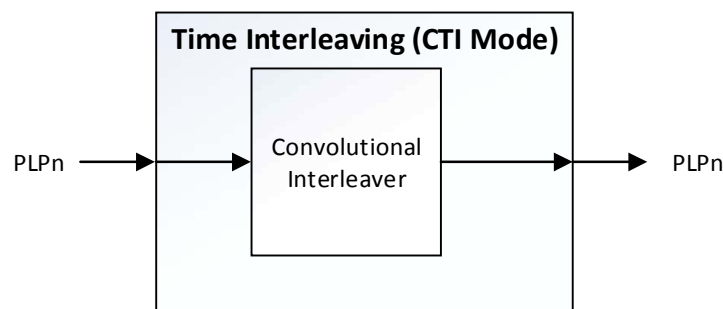


그림 7-2 CTI 모드에서 시간 인터리버 블록 구성도

7.1.4.1. 컨벌루션 시간 인터리버

컨벌루션 시간 인터리버 구조는 그림 7-3에서 보이듯이 파라미터 N_{rows} ($k=0, 1, \dots, N_{rows}-1$), $N_{columns}$ ($k=0, 1, \dots, N_{columns}-1$) 과 입출력단의 2개의 스위치로 정의되며, 각 메모리 요소는 하나의 셀을 저장한다. 또한 매퍼 출력으로부터 연속된 셀을 입력 받아 FIFO

(First-In-First-Out) 처리 과정을 수행하며, 입출력 동안 발생하는 지연은 $(N_{rows} \times N_{columns})/2$ 과 같다. 컨벌루션 시간 인터리버 구조에서 지원되는 인터리빙 깊이는 파라미터 $N_{rows} \in \{1024, 887, 724, 512\}$ 값에 의해 결정되며, 이때 각 N_{rows} 값은 인터리빙 깊이 200 ms, 150 ms, 100 ms, 50 ms를 나타낸다. 컨벌루션 시간 인터리버와 관련된 시그널링 정보는 **L1D_plp_CTI_depth**, **L1D_plp_CTI_start_row**, **L1D_plp_CTI_fecframe_start**로 정의되며 각 시그널링 정보에 대한 정의는 다음과 같다.

- **L1D_plp_CTI_depth**: 사용된 N_{rows} 파라미터 정보 또는 인터리빙 깊이 정보
- **L1D_plp_CTI_start_row**: 수신부 컨벌루션 디인터리버에서 각 부프레임의 첫 번째 셀이 입력되는 스위치 위치 (0, 1, ..., $N_{rows}-1$)
- **L1D_plp_CTI_fecframe_start**: 수신부에서 컨벌루션 디인터리빙 후 온전한 첫 번째 FEC 블록을 얻기 위한 셀 카운터 정보

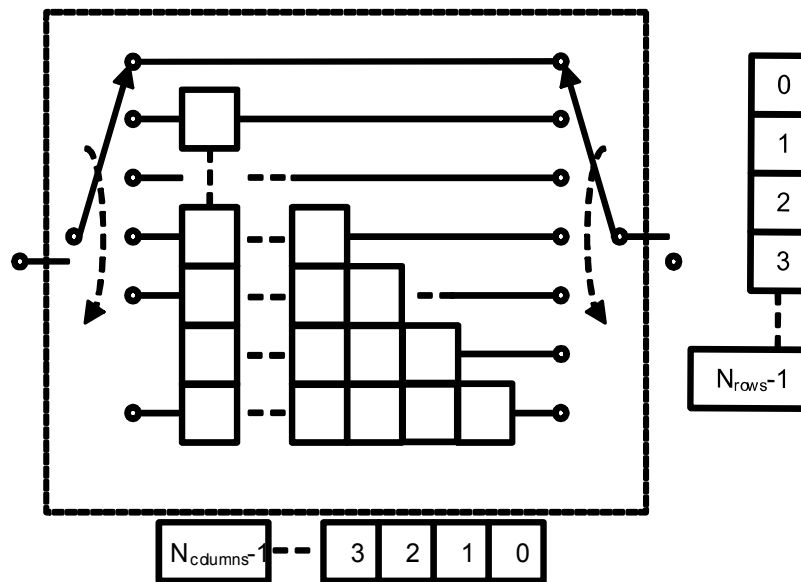


그림 7-3 컨벌루션 시간 인터리버 구조

7.1.4.2. 컨벌루션 인터리버의 메모리 초기화

7.1.4.1절의 CTI와 7.1.3절의 확장 인터리빙에서 메모리 요소의 초기값은 다음과 같다. CTI의 메모리 요소의 개수는 $N_{rows} \times N_{columns} / 2$ 이므로, 초기의 상태값으로 PRBS 발생기 (5.2.3절)에서는 $\eta_{MOD} \times N_{rows} \times N_{columns} / 2$ 비트를 발생해야 한다. η_{MOD} 는 표 6-14에서

정의된 변조 차수이며, 코어 계층의 PLP의 변조에 의해서 결정된다. 발생한 비트는 6.3절에서와 같이 QAM 셀로 매핑되며, 매핑된 셀은 시퀀스 셀 g_q 와 같다.

메모리 요소는 시퀀스 셀 g_q 에 의해서 왼쪽에서 오른쪽, 위에서 아래 방향으로 채워진다. 즉, $k = 1$ 행의 메모리 요소의 초기 값은 g_0 이며, $k = 2$ 행의 제일 왼쪽부터 메모리 요소의 초기 값은 g_1, g_2 이다. $k = 3$ 행에서 왼쪽부터 차례로 3개의 메모리 요소의 초기 값은 g_3, g_4, g_5 이며, 이런 방식으로 $k = N_{rows} - 1$ 행의 가장 마지막 소자의 초기 값까지 채운다.

7.1.5. 하이브리드 시간 인터리버 모드

그림 7-4는 HTI 모드에서 셀 인터리버 (Cell Interleaver), 트위스티드 블록 인터리버 (TBI: Twisted Block Interleaver), 컨벌루션 지연선 (CDL: Convolutional Delay Line)으로 구성된 시간 인터리버 블록 구성도를 나타낸다. 그림 7-4에서 셀 인터리버는 입력 FEC 블록을 TI 블록 내에 배열 후 각 FEC 블록내에서 인터리빙을 수행한다. 이때 각 TI 블록은 한 개 또는 다수개의 FEC 블록으로 구성될 수 있으며, 셀 인터리빙은 TI 블록 내에서 매 FEC 블록 마다 다른 인터리빙 시퀀스를 사용하여 수행된다. 또한 셀 인터리빙은 사용되지 않을 수 있으며, 사용 여부와 관련된 정보는 **L1D_plp_HTI_cell_interleaver** 시그널링에 의해 전달된다.

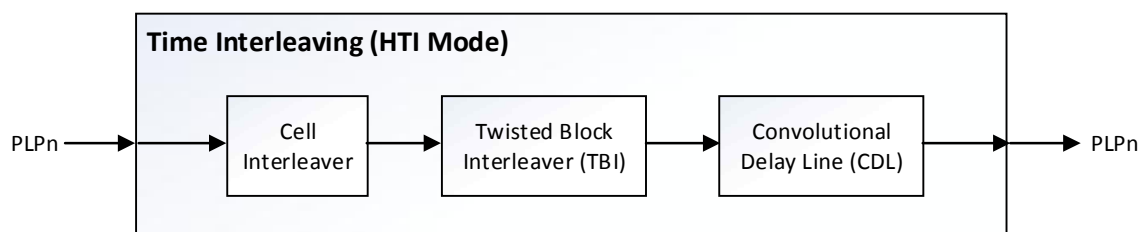


그림 7-4 HTI 모드에서 시간 인터리버 블록 구성도

그림 7-4에서 TBI는 부프레임 내 (intra-subframe) 인터리빙 역할을 수행하며, 이러한 동작은 TI 블록내 FEC 블록 간 인터리빙을 통해 수행된다. 이때 TI 블록은 셀 인터리빙된 FEC 블록으로 구성될 수 있으며 (**L1D_plp_HTI_cell_interleaver** = 1), 셀 인터리빙 없이

(**L1D_plp_HTI_cell_interleaver** = 0) 구성될 수 있다. TBI 동작 후 CDL 은 부프레임 간 (inter-subframe) 인터리빙 역할을 수행하며, 이러한 동작을 통해서 TBI에 의해 인터리빙 된 TI블록은 부프레임으로 분산된다. 이때 CDL의 사용은 **L1D_plp_HTI_inter_subframe** 시그널링 정보에 의해 전달된다.

7.1.5.1. IF 와 TI 블록간 관계

인터리빙 프레임 (Interleaving Frame: IF)은 매퍼 출력 FEC 블록을 그룹화 함으로써 형성된다. 이때, IF 내 FEC 블록 개수 $N_{BLOCKS_F}(n)$ 는 최소 1개부터 $N_{BLOCKS_F_MAX}$ 내에서 변할 수 있으며, IF간 FEC 블록 개수는 서로 다를 수 있다. IF는 다음과 같이 정의된다.

- 각 IF 는 하나의 부프레임에 매핑되거나 다수의 부프레임에 분산될 수 있다.
- 각 IF 는 하나 또는 다수의 TI 블록 (N_{TI})으로 구성될 수 있으며, 이때 TI 블록은 셀 인터리버, TBI, CDL 동작을 위한 기본 단위이다. N_{TI} 관련 정보는 **L1D_plp_HTI_inter_subframe=0** 조건하에 **L1D_plp_HTI_num_ti_blocks** 시그널링 정보에 의해 전달된다. 즉 부프레임 내 인터리빙 모드 (**L1D_plp_HTI_inter_subframe=0**)에서 하나의 IF 내 하나 또는 다수의 TI 블록을 가질 수 있다. 또한 IF 내 각 TI 블록은 서로 다른 개수의 FEC 블록을 가질 수 있다.
- 반면에, 부프레임 간 인터리빙 모드 (**L1D_plp_HTI_inter_subframe=1**)인 경우는 하나의 IF 는 하나의 TI 블록만 ($N_{TI} = 1$)을 가진다.

다음은 IF와 TI 블록간 수학적 관계를 나타낸다. n번째 IF의 s번째 TI 블록 내 FEC 블록 개수는 $N_{FEC_TI}(n, s)$ ($0 \leq s < N_{TI}$)로 정의된다. 만일 $N_{TI} = 1$ 이면, $N_{FEC_TI}(n, s)$ 와 $N_{BLOCKS_F}(n)$ 는 동일한 값을 지닌다. 만일 $N_{TI} > 1$ 이면, n번째 IF의 s번째 TI 블록 내 FEC 블록 개수는 $N_{FEC_TI}(n, s)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$N_{FEC_TI}(n, s) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{N_{BLOCKS_F}(n)}{N_{TI}} \right\rfloor & , s < N_{TI} - [N_{BLOCKS_F}(n) \bmod N_{TI}] \\ \left\lfloor \frac{N_{BLOCKS_F}(n)}{N_{TI}} \right\rfloor + 1 & , s \geq N_{TI} - [N_{BLOCKS_F}(n) \bmod N_{TI}] \end{cases}$$

위에서 $N_{FEC_TI}(n, s)$ 는 최소 1개부터 $N_{BLOCKS_TI_MAX}$ 내에서 변할 수 있으며,

$N_{BLOCKS_TI_MAX}$ 값은 다음과 같이 결정된다.

$$N_{FEC_TI_MAX} = \left\lceil \frac{N_{BLOCKS_F_MAX}}{N_{TI}} \right\rceil$$

위에서 $N_{FEC_TI}(n, s)$ 관련 정보는 **L1D_plp_HTI_num_fec_blocks** 시그널링 정보에 의해 전달되며, $N_{FEC_TI_MAX}$ 는 **L1D_plp_HTI_num_fec_blocks_max** 시그널링 정보에 의해 전달된다.

7.1.5.2. 셀 인터리버

셀 인터리버 입력 FEC 블록은 $G(r) = (g_{r,0}, g_{r,1}, g_{r,2}, \dots, g_{r,N_{\text{cels}}-1})$ 와 같이 정의되며 여기서 N_{cels} 은 FEC 블록 길이로 $N_{\text{upc}} / \eta_{MOD}$ (표 6-14)에 의해 결정되며, r 은 TI 블록내의 FEC 블록 순서를 나타내며, 매 TI 블록의 첫 번째 FEC 블록에서 0으로 초기화 된다. 그림 7-5는 입력 FEC 블록을 메모리에 선형적으로 쓰고 준 랜덤하게 읽는 셀 인터리버 동작을 보인다. 이때 순열 시퀀스는 TI 블록내에서 매 FEC 블록 마다 바뀌며, 서로 다른 순열 시퀀스는 하나의 순열 랜덤 시퀀스를 천이시킴으로써 발생된다. 그림 7-5에서 셀 인터리버 출력 벡터는 $D(r) = (d_{r,0}, d_{r,1}, d_{r,2}, \dots, d_{r,N_{\text{cels}}-1})$ 로 정의되며, 이때 $d_{r,q}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$d_{r,q} = q_{r,L_r(q)}, \quad q = 0, 1, \dots, N_{\text{cels}} - 1,$$

여기서 $L_r(q)$ 는 TI 블록 내 r 번째 FEC 블록에 적용된 순열 함수를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$L_r(q) = [L_0(q) + P(r)] \bmod N_{\text{cels}}$$

여기서 $L_0(q)$ 는 TI 블록 내 첫 번째 FEC 블록에 적용되는 기본 순열 함수를 나타내며, $P(r)$ 은 r 번째 FEC 블록에 적용되는 천이 값을 나타낸다.

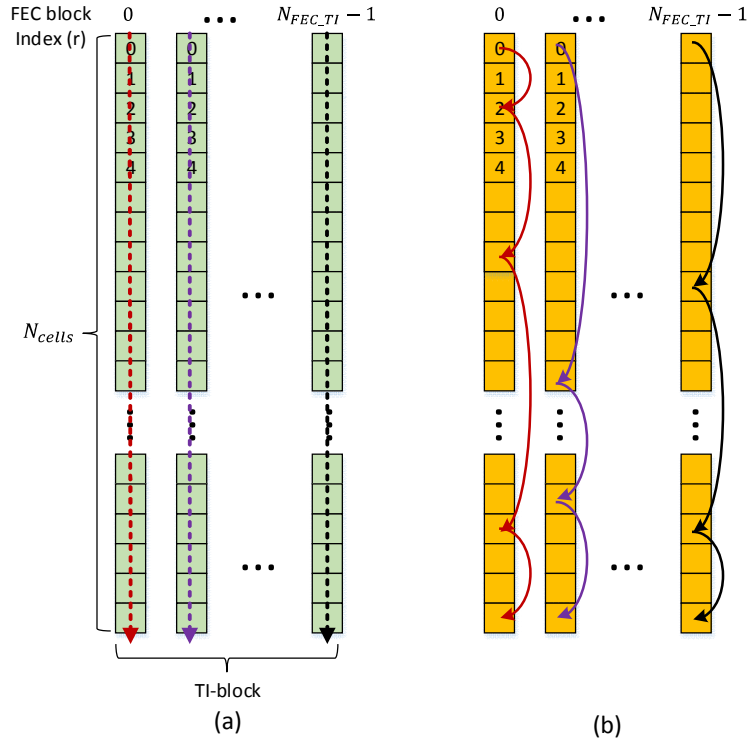


그림 7-5 셀 인터리버 블록도: (a) 선형 쓰기 동작, (b) 준 랜덤 읽기 동작

TI 블록 내 첫 번째 FEC 블록에 적용되는 기본 순열 함수 $L_0(q)$ 발생은 다음과 같다.

N_d 비트 워드 S_i 정의는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 0 \leq i < 2^{N_d}: \quad & S_i[N_d - 1] = (i \bmod 2), \\
 i = 0, 1: \quad & S_i[N_d - 2, N_d - 3, \dots, 1, 0] = [0, 0, \dots, 0, 0], \\
 i = 2: \quad & S_2[N_d - 2, N_d - 3, \dots, 1, 0] = [0, 0, \dots, 0, 1], \\
 2 < i < 2^{N_d}: \quad & S_i[N_d - 3, N_d - 4, \dots, 1, 0] = S_i[N_d - 2, N_d - 3, \dots, 2, 1], \\
 N_d = 11: \quad & S_i[9] = S_{i-1}[0] \oplus S_{i-1}[3], \\
 N_d = 12: \quad & S_i[10] = S_{i-1}[0] \oplus S_{i-1}[2], \\
 N_d = 13: \quad & S_i[11] = S_{i-1}[0] \oplus S_{i-1}[1] \oplus S_{i-1}[4] \oplus S_{i-1}[6], \\
 N_d = 14: \quad & S_i[12] = S_{i-1}[0] \oplus S_{i-1}[1] \oplus S_{i-1}[4] \oplus S_{i-1}[5] \oplus S_{i-1}[9] \oplus S_{i-1}[11], \\
 N_d = 15: \quad & S_i[13] = S_{i-1}[0] \oplus S_{i-1}[1] \oplus S_{i-1}[2] \oplus S_{i-1}[12]
 \end{aligned}$$

여기서 $N_d = \lceil \log_2 N_{cells} \rceil$ 이며, $L_0(q)$ 는 다음 과정을 통해 발생된다.

```

 $q = 0;$ 
for ( $i = 0; i < 2^{N_d}; i = i + 1$ )
{
 $L_0(q) = \sum_{j=0}^{N_d-1} S_i(j)2^j;$ 
if ( $L_0(q) < N_{\text{cebs}}$ ),  $q = q + 1;$ 
}

```

다음으로, r번째 FEC 블록에 적용되는 천이 값 $P(r)$ 은 다음 과정을 통해 발생된다.

```

 $k = 0;$ 
for ( $r = 0; r < N_{\text{FEC\_TI}}(n, s); r++$ )
{
 $P(r) = N_{\text{cebs}};$ 
while ( $P(r) \geq N_{\text{cebs}}$ )
{
 $\{P(r) = \sum_{j=0}^{N_d-1} \left\lfloor \frac{k - \lfloor \frac{k}{2^{j+1}} \rfloor 2^{j+1}}{2^j} \right\rfloor 2^{N_d-1-j};$ 
 $k = k + 1;$ 
}
}

```

여기서 $N_{\text{FEC_TI}}(n, s)$ 는 n번째 IF의 s번째 TI 블록내 FEC 블록 개수를 나타낸다. 예로써 $N_{\text{cebs}} = 10800$ 이고 $N_d = 14$ 경우 기본 순열 함수 ($r = 0, 1, 2, 3, \dots$)에 더해지는 천이 값 $P(r)$ 은 다음과 같다

0, 8192, 4096, 2048, 10240, 6144, 1024, 9216,

7.1.5.3. TBI와 CDL의 동작

그림 7-6은 HTI모드에서 TBI와 CDL의 동작 예시를 보이며, 동작은 TBI와 CDL이 순차적으로 수행된다. 각 PLP에서 연속된 입력 TI 블록에 대해 첫 번째 입력 TI 블록은 TBI의 첫 번째 메모리 (A 메모리)에 배치된다. 다음으로 두 번째 입력 TI 블록은 TBI의 두 번째 메모리 (B 메모리)에 배치된다. 동시에 첫 번째 메모리로부터 읽기 과정이 수행되며 출력되는 TI 블록은 CDL 입력으로 전달, FIFO 처리된다. 이때 부프레임 내 인터리빙은

TBI 동작만을 수행하고 부프레임 간 인터리빙을 위해서는 TBI와 CDL의 동작 과정을 수행한다.

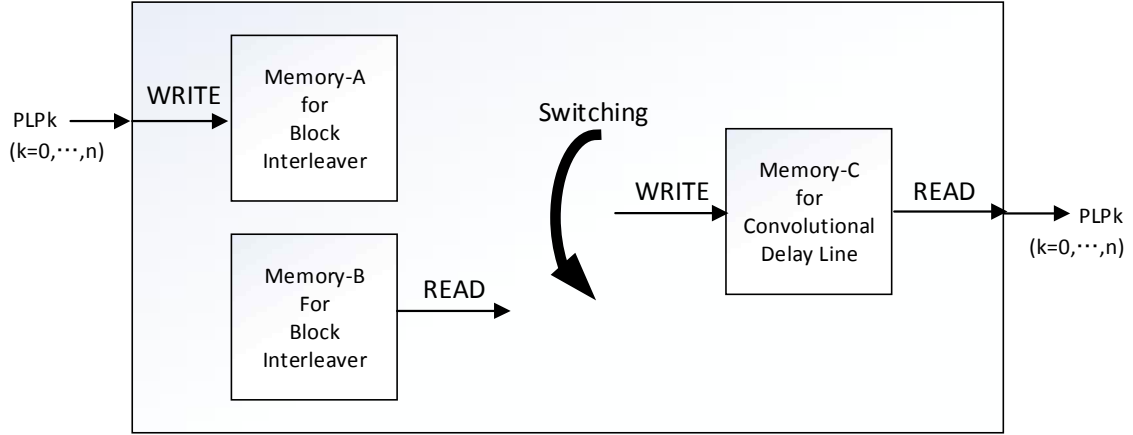


그림 7-6 HTI 모드에서 TBI와 CDL의 동작 예시

7.1.5.4. 트위스티드 블록 인터리버

각 PLP에서 TI 블록 인터리빙을 위해 TBI는 셀 인터리빙 출력 TI 블록 $N_{FEC_TI}(n, s)$ 을 메모리에 저장하며 이때 저장된 FEC 블록은 다음과 같이 연속된 셀로 나타낸다. $d_{n,s,0,0}, d_{n,s,0,1}, \dots, d_{n,s,0,N_{cell}-1}, d_{n,s,1,0}, d_{n,s,1,1}, \dots, d_{n,s,N_{FEC_TI}(n,s)-1,0}, d_{n,s,N_{FEC_TI}(n,s)-1,1}, \dots, d_{n,s,N_{FEC_TI}(n,s)-1,N_{cell}-1}$. TBI에서 행 크기 N_r 은 FEC 블록 길이로 정의되며, 열 크기 N_c 는 $N_{FEC_TI_MAX}$ 로 정의된다. 그림 7-7은 선형 쓰기 동작과 대각선 방향 읽기 동작을 수행하는 TBI 블록도를 나타낸다. 그림 7-7에서 다른 FEC 블록 개수를 가지는 TI 블록간에 동일한 TBI 동작 수행을 위해 고려된 가상 FEC 블록은 데이터 FEC블록 앞에 위치하며 가상 블록 개수는 $N_{FEC_TI_Diff}(n, s) = N_{FEC_TI_MAX} - N_{FEC_TI}(n, s)$ 과 같이 정의된다. 즉 $N_{FEC_TI_Diff}(n, s) \neq 0$ 는 TI 블록간 FEC 블록 개수가 서로 다를 것을 의미하며, 부프레임 내 인터리빙 과정에서 가상 FEC에 속하는 가상 셀은 출력되지 않고 무시된다. TBI의 대각선 읽기 동작 과정은 다음과 같다.

$$R_i = i \bmod N_r,$$

$$T_i = R_i \bmod N_c,$$

$$C_i = \left(T_i + \left\lfloor \frac{i}{N_r} \right\rfloor \right) \bmod N_c,$$

여기서 R_i 와 C_i , $i = 0, \dots, N_r N_c - 1$,는 각각 TBI의 행과 열의 인덱스를 나타내며, T_i 는 트위스트 파라미터를 나타낸다. 결과적으로 인터리빙 후 셀이 선형 메모리로부터 연속적으로 출력된다고 가정했을 시 읽기 과정에서 셀의 위치는 $\theta_i = N_r C_i + R_i$ 와 같다. 이때 가상 셀은 조건 $\theta_i \geq N_{FEC_TI_Diff}(n, s) \cdot N_r$ 을 만족하지 못하면 출력되지 않는다.

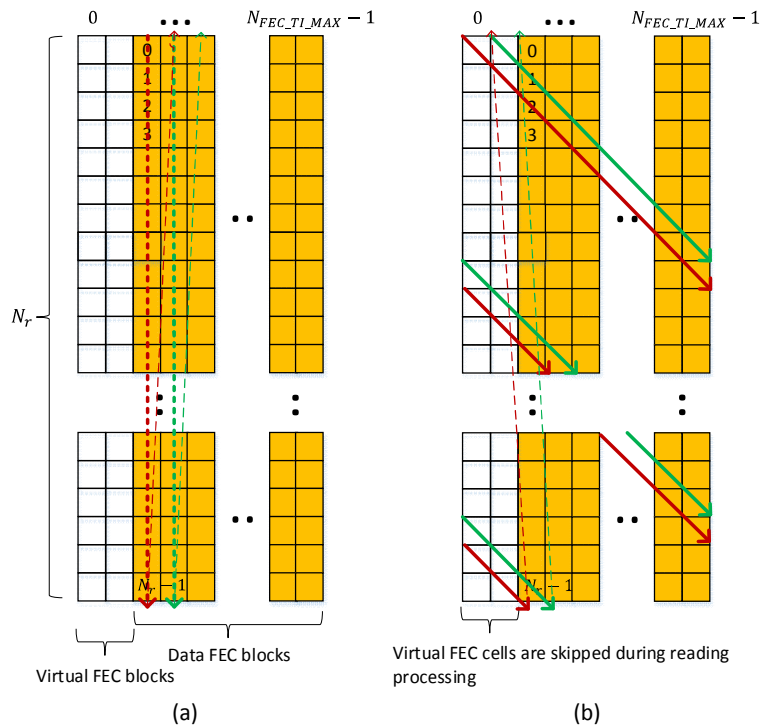


그림 7-7 TBI 동작 블록도; (a) 선형 쓰기 동작, (b) 대각선 방향 읽기 동작

7.1.5.5. 컨벌루션 지연선

CDL은 하나의 TBI 출력 TI 블록을 다수개의 부프레임에 분산시킴으로써 부프레임 간 인터리빙을 수행한다. 그림 7-8은 HTI 모드에서 CDL 동작 블록도를 나타낸다. 그림에서 CDL은 N_U 개 브랜치로 구성되며, 각 브랜치는 연속된 FIFO 레지스터로 구성된다. 결과적으로 CDL은 하나의 TI 블록을 N_U 개 인터리빙 유닛으로 나누며 각 인터리빙 유닛

을 N_U 부프레임에 분산시킨다. 여기서 하나의 FIFO 레지스터가 저장할 수 있는 최대 셀의 개수 $M_{i,j}$ 와 레지스터 크기는 다음과 같이 정의된다.

- $L_{IU} = \text{floor}(N_r/N_U)$, 여기서 $\text{floor}(x)$ 는 x 보다 작거나 같은 최대 정수를 나타낸다.
- 처음 $N_{\text{large}} = N_r \bmod N_U$ 개의 브랜치에 연결된 FIFO 레지스터는 $M_{i,j} = (L_{IU} + 1) \cdot N_{FEC_TI_MAX}$ 개 셀을 저장한다.
- 다음 $N_{\text{small}} = N_U - N_{\text{large}}$ 개의 브랜치에 연결된 FIFO 레지스터는 $M_{i,j} = L_{IU} \cdot N_{FEC_TI_MAX}$ cells 개 셀을 저장한다.
- 만일 N_r 이 N_U 의 정수 배이면 (즉 $N_{\text{large}} = 0$), 모든 FIFO 레지스터는 $L_{IU} \cdot N_{FEC_TI_MAX}$ 개 셀을 저장한다.

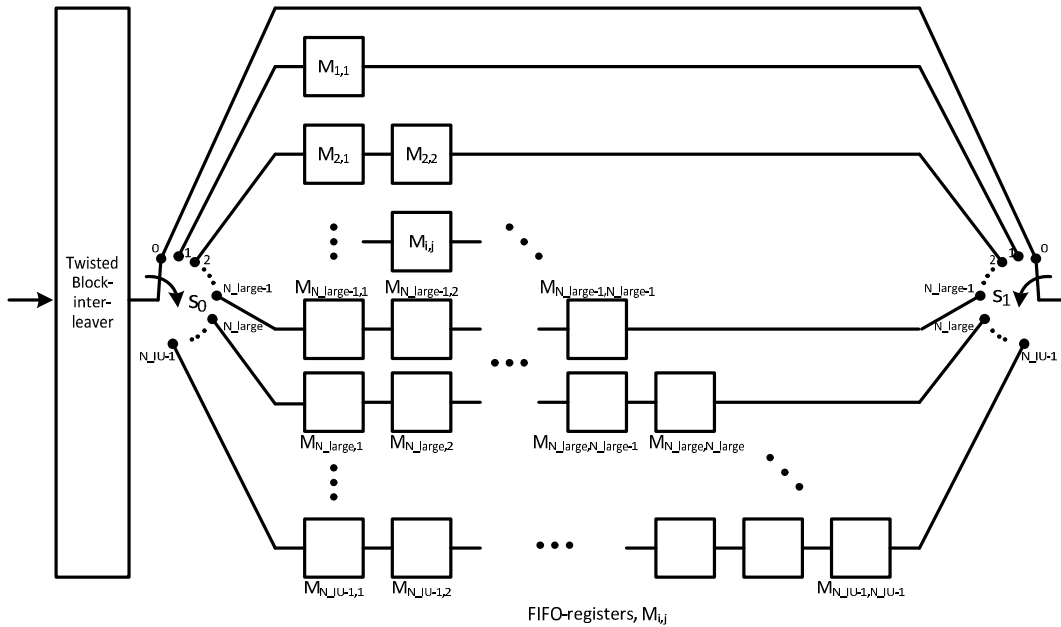


그림 7-8 HTI 모드에서 CDL 동작 블록도

HTI모드에서 CDL의 기능은 다음과 같다.

스위치 s_0 는 TBI의 출력과 CDL의 각 브랜치와 연결을 해주며, 스위치 s_1 는 CDL의 각 브랜치의 출력값을 프레임 블록과 연결해주는 기능을 한다. CDL의 n 번째 브랜치에서 스위치 s_0 와 s_1 는 $N_{FEC_TI_MAX}$ 셀이 TBI로부터 읽기 동작을 수행(7.1.5.4절 참조)하고 CDL 브랜치 레지스터에 저장되면, CDL의 $n+1$ 번째 브랜치로 이동한다. 여기서 $N_{FEC_TI_MAX}$ 셀은

$N_{FEC_TI}(n, s)$ 개의 데이터 셀과 $\{N_{FEC_TI_MAX} - N_{FEC_TI}(n, s)\}$ 개의 가상 셀로 이루어진다. 스위치의 이동은 CDL의 브랜치에서 동기화되어 동일하게 수행되어야 하며, CDL의 마지막 브랜치에서 스위치는 첫번째 브랜치로 이동한다. 만약 $N_{FEC_TI}(n, s) < N_{FEC_TI_MAX}$ 일 경우에는 가상 셀이 발생되며, 이때의 가상 셀은 HTI 출력으로 쓰여지지 않고 무시되며, TBI에서 CDL 브랜치 레지스터로만 저장된다.

여기서 $N_{FEC_TI_MAX}$ 는 블록 인터리버의 최대 열 크기를 의미하므로, 스위치 s_0 와 s_1 는 인터리버가 읽혀질 때마다 열의 위치가 바뀐다. 또한 N_r 이 N_U 의 정수배가 아닐 경우에 HTI에서 최대 셀의 수는 $M_{HTI} = N_r + 0.5 \times N_{FEC_TI_MAX} \times (2N_r + (L_U + 1)N_{urges} (N_{urges} - 1) + L_U (N_U (N_U - 1) - N_{urges} (N_{urges} - 1)))$ 이며, N_r 이 N_U 의 정수배일 경우에는 $N_r + 0.5 \times N_{FEC_TI_MAX} \times N_r \times (N_U + 1)$ 이다.

7.1.5.6. HTI 옵션

HTI 모드는 다음과 같이 부프레임 간 인터리빙과 부프레임 내 인터리빙 2가지 옵션을 제공한다. 그림 7-9는 예시를 통해 HTI 옵션을 설명한다.

- 부프레임 내 인터리빙: 하나의 인터리빙 프레임이 하나의 부프레임에 매핑되는 옵션이며, 이때 인터리빙 프레임은 하나 이상의 TI 블록으로 구성될 수 있다. 그림 7-9의 왼쪽 부분은 부프레임 내 인터리빙 예시를 보인다. 특히 인터리빙 프레임이 하나 이상의 TI 블록으로 구성될 경우 PLP의 전송 비트율을 증대시킬 수 있다. 부프레임 내 인터리빙 모드는 시그널링 **L1D_plp_HTI_inter_subframe = 0**을 통해 전달되며, 인터리빙 프레임 당 TI 블록 개수는 시그널링 $N_{TI} = \text{L1D_plp_HTI_num_ti_blocks}$ 의해 전달되며, 이때 $N_U = 1$ 과 같다.
- 부프레임 간 인터리빙: 하나의 인터리빙 프레임은 하나의 TI 블록으로 구성되며, 하나 이상의 부프레임에 분산되어 매핑된다. 그림 7-9의 오른쪽 부분은 하나의 인터리빙 프레임이 2개의 부프레임에 매핑되는 예시를 보인다. 특히 부프레임 간 인터리빙 모드는 낮은 전송 데이터 서비스에 대해 시간 다이버시티 성능을

향상시킬 수 있다. 부프레임 내 인터리빙 모드는 시그널링 $L1D_plp_HTI_inter_subframe = 1$ 을 통해 전달되며, 분산되는 부프레임 개수는 시그널링 $N_U = L1D_plp_HTI_num_ti_blocks$ 의해 전달되며, 이때 $N_{TI} = 1$ 과 같다.

그림 7-9 중간 그림은 HTI 모드는 $L1D_plp_HTI_num_ti_blocks = 1$ 인 경우에 대한 예시로서 $L1D_plp_HTI_inter_subframe$ 시그널링 정보와 상관없이 하나의 TI 블록이 하나의 부프레임에 매핑된다.

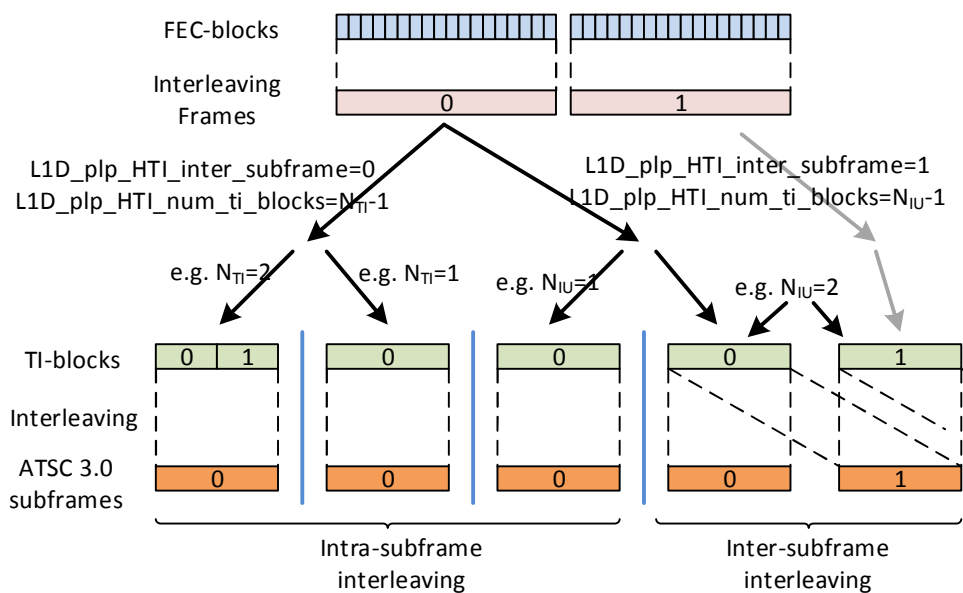


그림 7-9 $L1D_HTI_inter_subframe$ 가 0 또는 1 이며, $L1D_HTI_num_ti_blocks$ 가 1 또는 2 일 경우 HTI 옵션 설명

7.2. 프레임

7.2.1. 개요

프레이밍 블록은 데이터 셀 형태의 하나 또는 여러 개 물리계층 파이프를 입력으로 받아서 프레임 심볼을 출력한다. 프레임 심볼은 주파수 영역 콘텐츠의 집합으로 선택적 주파수 인터리빙, 파일럿 삽입, IFFT를 통해 시간 영역 OFDM 심볼로 변환된다. 그리고

이후에 보호 구간 삽입의 과정을 거친다.

7.2.2. 프레임 구조

7.2.2.1. 프레임 구성 요소

그림 7-10에서 보여주는 바와 같이 프레임은 세가지 기본 요소로 구성된다.

- 하나의 부트스트랩: 각 프레임의 시작에는 하나의 부트스트랩이 존재한다. 부트스트랩은 10 장에 기술된 것처럼 생성된다.
- 하나의 프리앰블: 부트스트랩 바로 뒤에는 하나의 프리앰블이 위치한다. 프리앰블은 프레임의 나머지 영역에 적용되는 L1 시그널링 데이터를 포함한다. 프리앰블은 7.2.5 절에서 상세히 기술한다.
- 하나 또는 다수의 부프레임: 프리앰블 바로 뒤에 하나 또는 다수의 부프레임이 위치한다. 다수의 부프레임이 존재하는 경우에는 그림 7-10 과 같이 시간에 따라 연속적으로 위치한다.

부프레임은 프레임 내의 시간-주파수 자원의 집합으로 구성된다. 부프레임은 주파수 영역에서는 구성된 부반송파가 모든 영역을 사용하고, 시간 영역에서는 정수 개의 OFDM 심볼로 구성된다. 부프레임 타입에 따라 파형 속성이 달라지며 파형 속성에는 FFT 크기, 보호 구간 길이, 분산 파일럿 패턴, 전송 부반송파 개수, 주파수 인터리버 사용 여부 및 SISO 모드 인지 MIMO 모드 인지 여부가 포함된다. 부프레임에 사용되는 파형 속성은 부프레임이 지속되는 동안 변경되지 않는다. 프레임은 동일한 부프레임 타입을 갖는 다수의 부프레임을 가질 수 있고, 또한 프레임은 다른 부프레임 타입을 갖는 다수의 부프레임을 가질 수 있다. 프리앰블의 FFT 크기는 첫번째 부프레임의 FFT 크기와 동일하다.

하나의 PLP가 다수의 부프레임에 걸쳐서 시간 인터리빙이 되는 경우에 PLP는 동일한 프레임인지 다른 프레임인지 여부와 관계없이 동일한 부프레임 타입을 갖는 부프레임에 위치한다.

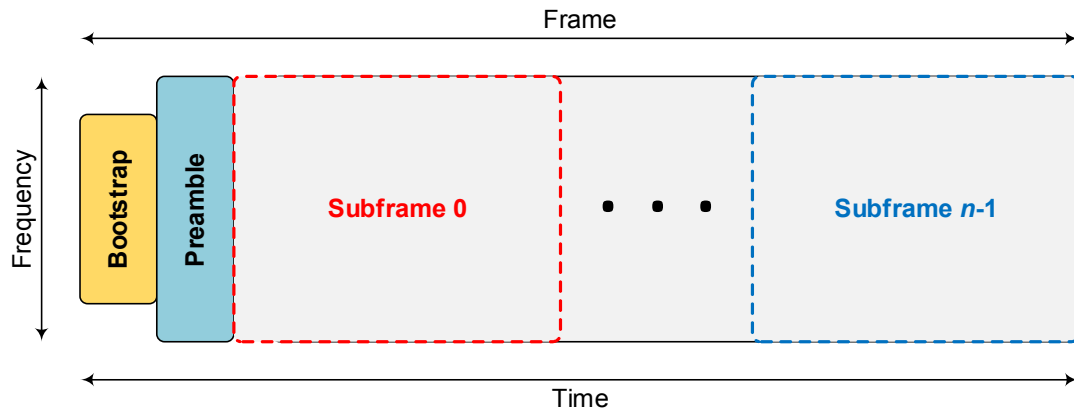


그림 7-10 프레임 구조

7.2.2.2. 프레임 길이

프레임 길이는 시간 정렬 프레임과 심볼 정렬 프레임 중에서 한 가지 방식으로 지정된다.

- 시간 정렬 프레임: 전체 프레임 길이는 부트스트랩, 프리앰블과 프레임 내에 포함된 부프레임의 길이의 합과 같다. 시간 정렬 프레임은 8.5.1 절에서 설명된 것과 같이 현재 프레임의 데이터 OFDM 심볼의 보호 구간에 추가된 초과 샘플을 배치하여 전체 프레임의 길이를 5ms 단위로 표현한다.
- 심볼 정렬 프레임: 심볼 정렬 프레임은 OFDM 심볼의 보호 구간 길이에 대해서 시그널링한 길이 이외에는 어떠한 추가 샘플을 삽입하지 않는다.

프레임의 최대 길이 5s이고 최소 길이는 50 ms이다.

7.2.2.3. 부프레임 길이

부프레임 최소길이는 20 ms 이상 또는 부프레임 경계심볼과 데이터 심볼의 개수 합

이 $4 \times Dy$ 인 경우의 시간이다. 모든 부프레임 내에는 최소한 $4 \times Dy$ 개의 데이터 심볼과 부프레임 경계심볼이 존재해야 한다.

7.2.3. 전송 부반송파 개수

전송 부반송파 개수는 계산식 $NoC = NoC_{max} - C_{red_coeff} \times C_{unit}$ 으로 정의된다. 여기서 C_{red_coeff} 는 양의 정수 값으로 C_{unit} 의 몇 배수를 감소할 것인지를 나타내는 변수이다. C_{red_coeff} 는 0부터 4까지의 값을 가지며 **L1B_preamble_reduced_carriers**, **L1D_reduced_carriers** 및 **L1B_first_sub_reduced carriers**라는 L1 필드로 시그널링된다. **L1B_preamble_reduced_carrier**는 첫 번째 프리앰블 심볼의 전송 부반송파 개수를 알려 주고, **L1D_reduced_carriers**는 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외한 프리앰블 심볼의 부반송파 개수를 알려준다. 또한 **L1B_first_sub_reduced carriers**는 첫 번째 부프레임의 전송 부반송파 개수를 알려준다. 전송 부반송파 개수의 최대값은 NoC_{max} 로 표시한다. 제어 유닛 $C_{unit} = \max(Dx)$ 의 값은 8K FFT의 경우 96, 16K FFT의 경우 192 그리고 32K FFT의 경우 384를 갖는다.

표 7-1은 C_{red_coeff} 의 다양한 값에 대한 전송 부반송파 개수를 보여준다. 전송 부반송파 개수의 최대값은 표에서 $C_{red_coeff} = 0$ 인 경우이다. 8K FFT는 6913, 16K FFT는 13825 그리고 32K FFT는 27649를 갖는다.

표 7-1 전송 부반송파 개수와 점유대역폭

C_{red_coeff}	Number of Carriers (NoC)			Actual Occupied Bandwidth		
	8K FFT	16K FFT	32K FFT	6MHz	7MHz	8MHz
0	6913	13825	27649	5.832844	6.804984	7.777125
1	6817	13633	27265	5.751844	6.710484	7.669125
2	6721	13441	26881	5.670844	6.615984	7.561125
3	6625	13249	26497	5.589844	6.521484	7.453125
4	6529	13057	26113	5.508844	6.426984	7.345125

7.2.4. 프레임 심볼 타입

각 부프레임은 부프레임의 시작부터 끝까지 다음 타입의 심볼 조합으로 구성된다.

- 부프레임 경계 심볼 (없거나 하나)
- 데이터 심볼
- 부프레임 경계 심볼 (없거나 하나)

참고로 부프레임 경계 심볼은 현재 부프레임에 존재하지 않을 수 있고 이 경우에는 부프레임은 데이터 심볼만으로 구성된다.

7.2.4.1. 부프레임 경계 심볼

부프레임 경계 심볼은 수신기에서 정확한 채널 추정이 용이하도록 데이터 심볼보다 높은 밀도의 분산 파일럿을 갖는다.

다음 조건 중 어느 것도 충족되지 않을 때 부프레임의 첫 번째 심볼은 부프레임 경계 심볼이 되어야 한다. 다음 조건 중 적어도 하나라도 만족되는 경우에도 부프레임의 첫 번째 심볼은 부프레임 경계 심볼일 수 있다

- (프리앰블 심볼 바로 뒤에 있는 부프레임) **and** (프리앰블 심볼과 부프레임은 동일한 전송 부반송파 개수를 사용) **and** (프리앰블 심볼과 부프레임은 동일한 FFT 크기크기를 사용) **and** (부프레임에서 정의되는 D_x 는 프리앰블 심볼에서 정의되는 D_x 의 정수 배를 사용)
- (부프레임은 동일 프레임 내의 다른 부프레임을 선행) **and** (두 부프레임은 동일한 전송 부반송파 개수를 사용) **and** (두 부프레임은 동일한 FFT 크기를 사용) **and** (부프레임에서 정의되는 D_x 는 선행 부프레임에서 정의되는 D_x 의 정수 배를 사용) **and** (선행 부프레임의 마지막 심볼은 부프레임 경계 심볼)

다음의 조건이 충족되지 않을 때 부프레임의 마지막 심볼은 부프레임 경계 심볼이다. 다음의 조건을 만족하더라도 부프레임의 마지막 심볼은 부프레임 경계 심볼일 수 있다.

- (부프레임은 동일 프레임 내의 다른 부프레임을 후행) **and** (두 부프레임은 동일한 전송 부반송파 개수를 사용) **and** (두 부프레임은 동일한 FFT 크기를 사용) **and** (부프레임에서 정의되는 D_x 는 다음 부프레임에서 정의되는 D_x 의 정수 배를 사용) **and** (다음 부프레임의 첫 번째 심볼은 부프레임 경계 심볼)

각 부프레임의 시작과 끝에 존재하는 부프레임 경계 심볼의 존재 유무는 명시적으로 시그널링한다.

7.2.4.2. 데이터 심볼

데이터 심볼은 대응하는 부프레임의 분산 파일럿 패턴에 따라 분산 파일럿 밀도를 가진다. D_y 는 시간 방향의 분산 파일럿 길이를 지정하는 파라미터고 부프레임 내에는 최소한 $4 \times D_y$ 데이터 심볼은 존재해야 한다.

FFT 크기가 32K인 부프레임은 다음 조건을 만족해야 한다.

- 부프레임 내의 OFDM 심볼의 수(데이터 심볼과 부프레임 경계 심볼)는 첫번째 부프레임을 제외하고는 항상 짝수이어야 한다. 첫번째 부프레임은 프리앰블 심볼, 데이터 심볼과 부프레임 경계 심볼 수의 합이 항상 짝수이어야 한다.

부프레임의 시작에 부프레임 경계 심볼이 존재하는 경우에 부프레임 경계 심볼 바로 뒤에는 부프레임 내의 모든 데이터 심볼이 위치한다. 부프레임의 끝에 부프레임 경계 심볼이 존재하는 경우에 부프레임 경계 심볼은 부프레임의 마지막 데이터 심볼의 뒤에 위치한다.

7.2.5. 프리앰블

프리앰블은 하나 혹은 다수의 프리앰블 심볼로 구성되며, 프레임을 위하여 L1 시그널링 데이터를 전송한다.

7.2.5.1. 프리앰플 심볼

FFT 크기와 보호 구간 길이, 분산 파일럿 패턴은 9.1절에서 설명된 바와 같이 부트스트랩에서 시그널링된다.

프리앰블 심볼의 개수 N_p 는 L1 시그널링에서 알려준다.

프리앰블의 첫 번째 심볼의 전송 부반송파 개수는 주어진 FFT 크기에 대해서 최소 개수가 사용되고, 나머지 프리앰블 심볼의 전송 부반송파 개수는 L1 Basic에서 시그널링된다.

모든 프리앰블 심볼에서 7.3절에서 기술된 주파수 인터리빙을 수행한다.

7.2.5.2. 프리앰블 심볼에서 L1 시그널링 데이터 매핑

L1-Basic과 L1-Detail 시그널링 데이터는 6.5절에 기술된 것처럼 부호화되고 변조된다. 그림 7-11과 같이 L1-Basic 셀은 오직 첫 번째 프리앰블 심볼에만 매핑된다. L1-Detail 셀은 첫 번째 심볼에서 L1-Basic 셀을 매핑하고 남아있는 셀과 다른 프리앰블 심볼에 걸쳐서 인터리빙되고 매핑된다.

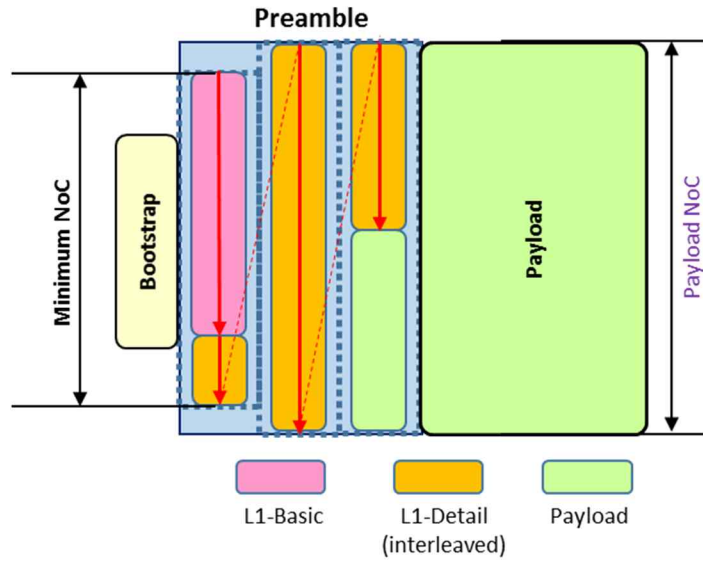


그림 7-11 프리앰블 심볼에서 L1-Basic 과 L1-Detail 의 매핑

L1-Detail 셀은 프리앰블 심볼에 다음과 같이 인터리빙되고 매핑된다.

L1B_L1_Detail_total_cells개의 L1-Detail 셀은 모든 프리앰블 심볼에 걸쳐서 인터리빙된다. 첫 번째 프리앰블 심볼에서 L1-Detail 셀은 L1-Basic 셀이 사용하지 않는 영역을 사용한다. L1-Detail 인터리버는 $L_c = N_p$ 열과 $L_r = \lfloor \text{L1B_L1_Detail_total_cells} / N_p \rfloor$ 행을 갖는 블록 인터리버이다.

우선 $L_c \times L_r$ 개의 L1-Detail 셀은 순차적으로 블록 인터리버의 행 방향으로 배치되고 열 방향으로 읽혀진다. L1-Detail 셀에 대해서 인터리버 입력 $x(m)$ 과 출력 $y(n)$ 의 ($m, n = 0, 1, \dots, \text{L1B_L1_Detail_total_cells} - 1$) 관계는 다음의 계산식으로 설명된다.

$$y(n) = \begin{cases} x(j \times L_c + i) & \text{where } n = (i \times L_r + j) \text{ and } 0 \leq n < L_r \times L_c \\ x(n) & L_r \times L_c \leq n < \text{L1B_L1_Detail_total_cells} \end{cases}$$

for $j = 0, 1, \dots, L_r - 1$ and $i = 0, 1, \dots, L_c - 1$

인터리버 출력 셀 $y(n)$ 은 첫 번째 프리앰블 심볼의 첫 번째 빈 데이터 셀로부터 순차적으로 매핑된다. 마지막 프리앰블 심볼에서 L1-Detail 셀로 사용되지 않는 셀은 페이로드의 데이터 셀로 사용된다.

7.2.5.3. 프리앰블 심볼 생성

8.1.6절에 기술된 것처럼 주파수 인터리버 수행 후에 프리앰블 파일럿을 각각의 프리앰블 심볼에 삽입한다. 8.3절과 8.5절에 기술된 것처럼 프리앰블 심볼은 IFFT를 통과 후에 보호구간을 삽입한다.

MISO 또는 MIMO는 어떤 프리앰블 심볼에도 적용 할 수 없다.

LDM은 프리앰블 심볼에 전송되는 L1-Basic 및 L1-Detail 데이터 셀에는 적용할 수 없고, 프리앰블의 마지막 심볼에 전송되는 데이터 심볼에는 적용할 수 있다.

프레임 내의 모든 프리앰블 심볼에서 FFT 크기 및 보호 구간 길이는 동일하며, 9.1절과 같이 부트스트랩에서 **preamble_structure**로 시그널링된다.

7.2.6. 셀 다중화

프레임 빌더는 시간 인터리버의 출력을 각 부프레임의 데이터 셀에 매핑한다.

7.2.6.1. 데이터 셀 색인

부프레임 내의 데이터 셀은 일차원 방식으로 순서가 지정된다. 첫 번째 셀부터 0으로 시작하고 각각의 연속 데이터 셀에 의해 색인이 하나씩 증가한다. 데이터 셀 색인은 데이터 셀 다중화를 위하여 부프레임과 연계된 첫 번째 OFDM 심볼에서 시작한다. 시작하는 심볼은 마지막 프리앰블 심볼(프레임의 첫 번째 부프레임만 가능) 및 부프레임 경계 심볼, 데이터 심볼 중 하나이어야 한다. OFDM 심볼내의 모든 데이터 셀은 동일한 부프레임의 다음 OFDM 심볼로 이동할 때까지 색인된다. OFDM 심볼 내 데이터 셀 색인은 제일 낮은 부반송파로부터 시작하여 다음으로 낮은 부반송파로 진행되며, 결국 OFDM 심볼 내의 모든 데이터 셀이 색인될 때까지 진행된다.

데이터 셀은 파일럿 및 PAPR을 위한 톤 예약 (Tone Reservation: TR) (8.4.1절 참조), 널 셀(프레임의 첫 번째 부프레임과 연관된 프리앰블 심볼 및 부프레임 경계 심볼)을 제

외한 OFDM 심볼의 셀이다.

그림 7-12는 프리앰블의 마지막 심볼로 시작하는 부프레임에 대한 데이터 셀 색인의 예를 나타낸다. 부프레임 경계 심볼 (Subframe Boundary Symbol)로 종결되며 두 경계 사이에 데이터 심볼이 위치한다. 이 예제에서, 다수의 프리앰블 심볼이 프레임의 프리앰블에 존재할 수 있지만, 마지막 프리앰블 심볼에만 실제로 데이터 PLP를 운반할 수 있다.

마찬가지로 그림 7-13은 부프레임 경계 심볼로 시작하는 부프레임에 대한 데이터 셀 색인의 예를 나타낸다. 부프레임 경계 심볼로 종결되며 두 경계 사이에 데이터 심볼이 위치한다. 이 경우에 프리앰블 심볼은 부프레임과 관련이 없다.

그림 7-12와 그림 7-13에서 사용되는 파라미터를 다음과 같이 정의한다

- N_C^P 는 프리앰블의 마지막 심벌에서 유효 데이터 부반송파 개수
- N_C^D 는 데이터 심벌에서 유효 데이터 부반송파 개수
- N_C^B 는 부프레임 경계 심벌에서 유효 데이터 부반송파 개수
- N_S^D 는 부프레임에 존재하는 데이터 심볼의 개수

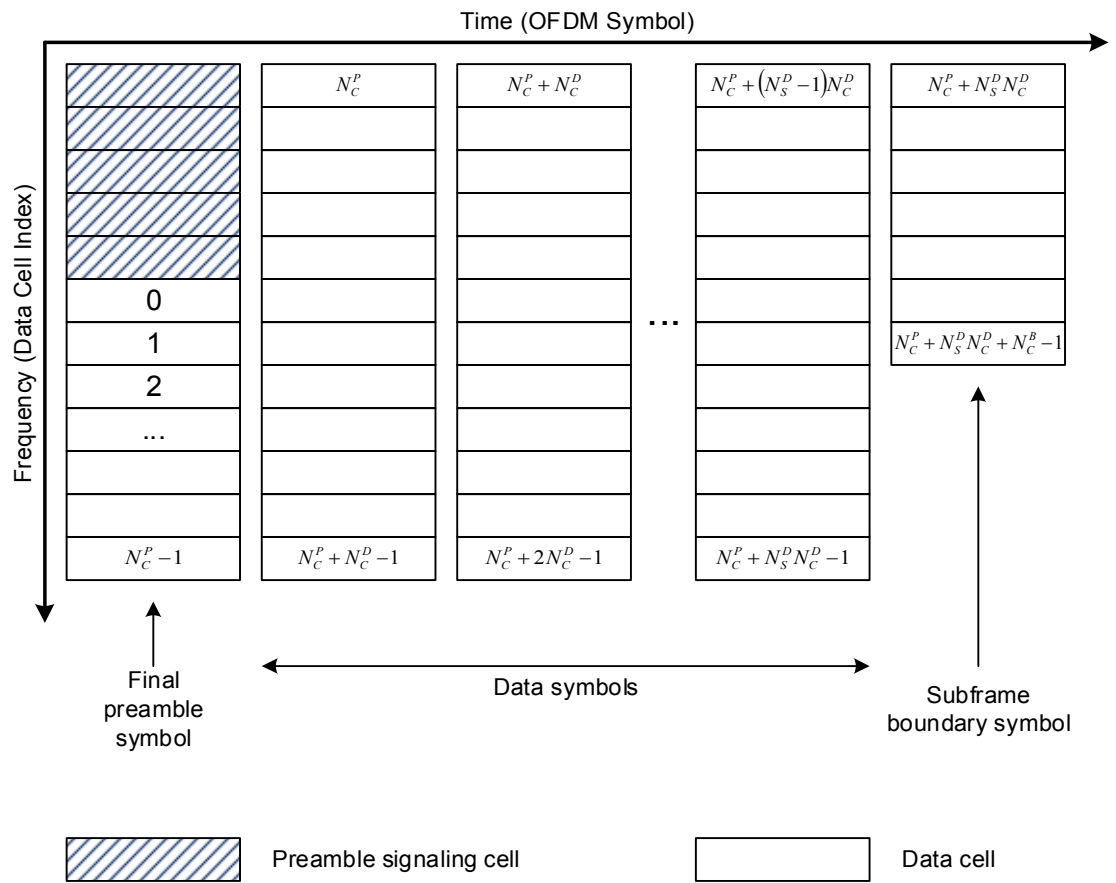


그림 7-12 프리앰블 심볼과 부프레임이 관련이 있는 경우 데이터 셀 색인

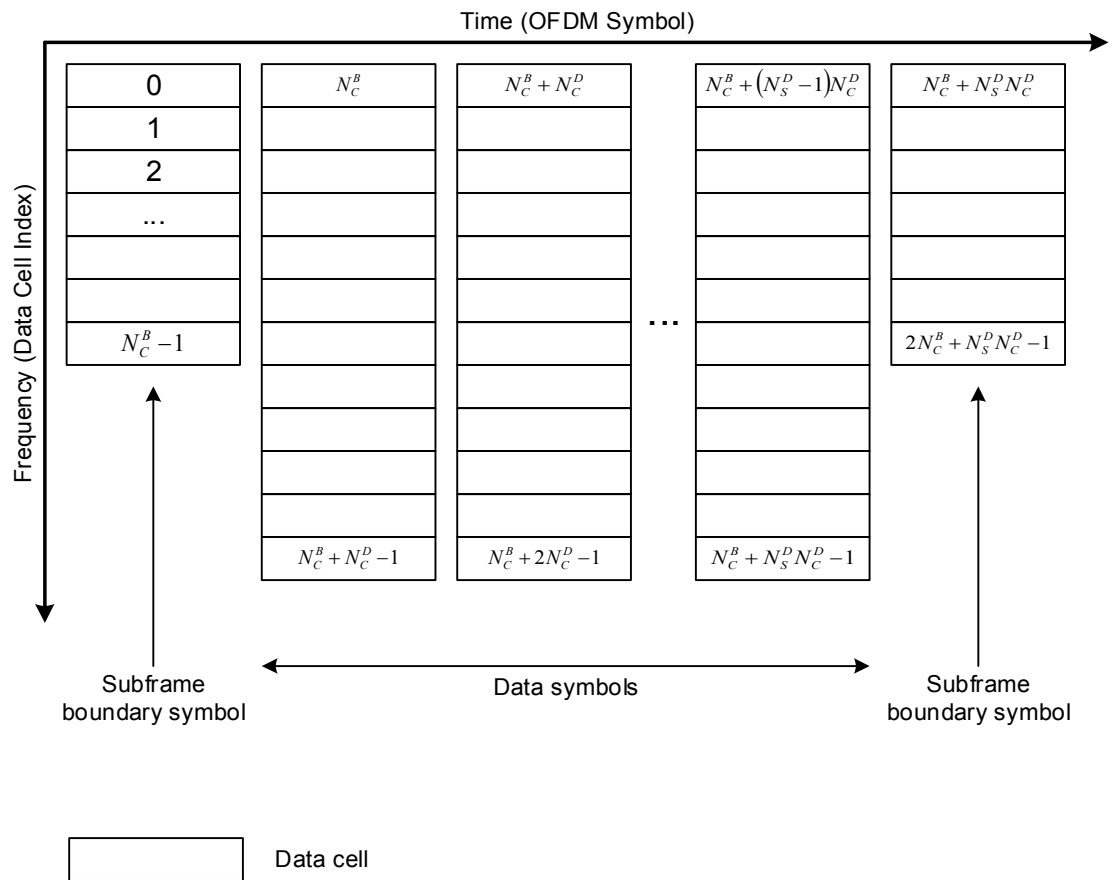


그림 7-13 프리앰블 심볼과 부프레임이 관련이 없는 경우 데이터 셀 색인

7.2.6.2. 프리앰블 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수

프리앰블 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수(N_C^P)는 다음 파라미터의 함수이다.

- 전송 부반송파 개수는 7.2.3 절에 기술되어 있다. 프리앰블 파일럿의 개수는 프리앰블 파일럿 패턴(Dx)과 전송 부반송파 개수의 함수이다.
- 연속 파일럿의 개수는 프리앰블 심볼의 FFT 크기와 전송 부반송파 개수의 함수이다.
- PAPR(peak-to-average power)를 위하여 톤 예약이 사용될 수 있다. 톤 예약(활성화 된다면)을 위한 부반송파 개수는 표 F-2 에 나타내듯이 FFT 크기의 함수이다.

톤 예약이 활성화되지 않은 경우 프리앰블 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-2에서 보여준다.

표 7-2 프리앰블 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	GI Length (samples)	Pilot Pattern (D_x)	C_{red_coeff}				
			0	1	2	3	4
8K	2048	3	4560	4496	4433	4370	4307
8K	1536	4	5136	5064	4993	4922	4851
8K	1024	3	4560	4496	4433	4370	4307
8K	768	4	5136	5064	4993	4922	4851
16K	4096	3	9120	8992	8867	8740	8614
16K	3648	4	10272	10128	9987	9844	9702
16K	2432	3	9120	8992	8867	8740	8614
16K	1536	4	10272	10128	9987	9844	9702
16K	1024	6	11424	11264	11107	10948	10790
16K	768	8	12000	11832	11667	11500	11334
32K	4864	3	18240	17984	17734	17480	17228
32K	3648	3	18240	17984	17734	17480	17228
32K	3648	8	24000	23664	23334	23000	22668
32K	2432	6	22848	22528	22214	21896	21580
32K	1536	8	24000	23664	23334	23000	22668
32K	1024	12	25152	24800	24454	24104	23756
32K	768	16	25728	25368	25014	24656	24300

7.2.6.3. 데이터 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수

데이터 심볼에서의 유효 데이터 부반송파 개수(N_c^D)는 다음 파라미터의 함수이다.

- 전송 부반송파 개수는 7.2.3 절에 기술되어 있다. 데이터 심볼에서 분산 파일럿의 개수는 분산 파일럿 패턴과 전송 부반송파 개수의 함수이다.
- 데이터 심볼에서 연속 파일럿의 개수는 프리앰블 심볼의 FFT 크기와 전송 부반송파 개수의 함수이다.
- PAPR 를 위하여 톤 예약이 사용될 수 있다. 톤 예약(활성화 된다면)을 위한 부반송파 개수는 표 F-2 에 나타내듯이 FFT 크기의 함수이다.

톤 예약이 활성화되지 않은 경우 데이터 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-3과 표 7-4에서 정의되고 이탤릭체로 표시된 항목은 사용되지 않는다.

톤 예약이 활성화된 경우에 표 F-2에 나타낸 바와 같이 데이터 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-3과 표 7-4에서 FFT 크기를 함수로 하는 톤 예약의 개수를 제외한 개수와 같다.

표 7-3 데이터 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	C_{red_coeff}	NoC	Available data cells per data symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	5711	6285	5999	6429	6287	6573	6431	6645
	1	6817	5631	6197	5915	6339	6199	6481	6341	6552
	2	6721	5552	6110	5832	6250	6112	6390	6252	6460
	3	6625	5473	6023	5749	6161	6025	6299	6163	6368
	4	6529	5394	5936	5666	6072	5938	6208	6074	6276
16K	0	13825	11423	12573	11999	12861	12575	13149	12863	13293
	1	13633	11263	12397	11831	12681	12399	12965	12683	13107
	2	13441	11106	12224	11666	12504	12226	12784	12506	12924
	3	13249	10947	12049	11499	12325	12051	12601	12327	12739
	4	13057	10789	11875	11333	12147	11877	12419	12149	12555
32K	0	27649	22847	(25149)	N/A	N/A	25151	(26301)	25727	(26589)
	1	27265	22527	(24797)	N/A	N/A	24799	(25933)	25367	(26217)
	2	26881	22213	(24451)	N/A	N/A	24453	(25571)	25013	(25851)
	3	26497	21895	(24101)	N/A	N/A	24103	(25205)	24655	(25481)
	4	26113	21579	(23753)	N/A	N/A	23755	(24841)	24299	(25113)

표 7-4 데이터 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	C_{red_coeff}	NoC	Available data cells per data symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6575	6717	6647	6753	6719	6789	6755	6807
	1	6817	6483	6623	6554	6660	6625	6694	6661	6714
	2	6721	6392	6530	6462	6565	6532	6600	6567	6619
	3	6625	6301	6437	6370	6473	6439	6506	6474	6524
	4	6529	6210	6344	6278	6378	6346	6412	6380	6429
16K	0	13825	13151	13437	13295	13509	13439	13581	13511	13617
	1	13633	12967	13249	13109	13320	13251	13391	13322	13428
	2	13441	12786	13064	12926	13134	13066	13204	13136	13239
	3	13249	12603	12877	12741	12946	12879	13015	12948	13051
	4	13057	12421	12691	12557	12759	12693	12827	12761	12861
32K	0	27649	26303	(26877)	26591	(27021)	26879	(27165)	27023	(27237)
	1	27265	25935	(26501)	26219	(26643)	26503	(26785)	26645	(26856)
	2	26881	25573	(26131)	25853	(26271)	26133	(26411)	26273	(26481)
	3	26497	25207	(25757)	25483	(25895)	25759	(26033)	25897	(26102)
	4	26113	24843	(25385)	25115	(25521)	25387	(25657)	25523	(25725)

7.2.6.4. 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수 및 위치

다음과 같이 파라미터를 정의한다.

N_{Data}^B 는 부반송파 경계 심볼에서 데이터 셀과 널 셀의 총 개수이다.

NoA_{SBs} 는 부반송파 경계 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수다. 셀 다중화를 위한 부반송파 경계 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수는 $N_C^B = NoA_{SBs}$ 이다.

N_{Null}^B 는 부반송파 경계 심볼에서 널 셀의 개수이다. $N_{Null}^B = N_{Data}^B - NoA_{SBs}$

톤 예약이 활성화되지 않은 경우 부반송파 경계 심볼에서 총 데이터 셀의 개수는 표 7-5와 표 7-6에서 정의되고 이탤릭체로 표시된 항목은 사용되지 않는다.

톤 예약이 활성화된 경우에 표 F-2에 나타난 바와 같이 부프레임 경계 심볼에서 총 데이터 셀의 개수는 표 7-5와 표 7-6에서 FFT 크기를 함수로 하는 톤 예약의 개수를 제외한 개수와 같다.

표 7-5 부프레임 경계 심볼에서 총 데이터 셀의 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	C_{red_coeff}	NoC	Total data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4560	4560	5136	5136	5712	5712	6000	6000
	1	6817	4496	4496	5064	5064	5632	5632	5916	5916
	2	6721	4433	4433	4993	4993	5553	5553	5833	5833
	3	6625	4370	4370	4922	4922	5474	5474	5750	5750
	4	6529	4307	4307	4851	4851	5395	5395	5667	5667
16K	0	13825	9120	9120	10272	10272	11424	11424	12000	12000
	1	13633	8992	8992	10128	10128	11264	11264	11832	11832
	2	13441	8867	8867	9987	9987	11107	11107	11667	11667
	3	13249	8740	8740	9844	9844	10948	10948	11500	11500
	4	13057	8614	8614	9702	9702	10790	10790	11334	11334
32K	0	27649	18240	(18240)	N/A	N/A	22848	(22848)	24000	(24000)
	1	27265	17984	(17984)	N/A	N/A	22528	(22528)	23664	(23664)
	2	26881	17734	(17734)	N/A	N/A	22214	(22214)	23334	(23334)
	3	26497	17480	(17480)	N/A	N/A	21896	(21896)	23000	(23000)
	4	26113	17228	(17228)	N/A	N/A	21580	(21580)	22668	(22668)

표 7-6 부프레임 경계 심볼에서 총 데이터 셀의 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	C_{red_coeff}	NoC	Total data cells in a subframe boundary symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6288	6288	6432	6432	6576	6576	6648	6648
	1	6817	6200	6200	6342	6342	6484	6484	6555	6555
	2	6721	6113	6113	6253	6253	6393	6393	6463	6463
	3	6625	6026	6026	6164	6164	6302	6302	6371	6371
	4	6529	5939	5939	6075	6075	6211	6211	6279	6279
16K	0	13825	12576	12576	12864	12864	13152	13152	13296	13296
	1	13633	12400	12400	12684	12684	12968	12968	13110	13110
	2	13441	12227	12227	12507	12507	12787	12787	12927	12927
	3	13249	12052	12052	12328	12328	12604	12604	12742	12742
	4	13057	11878	11878	12150	12150	12422	12422	12558	12558
32K	0	27649	25152	(25152)	25728	(25728)	26304	(26304)	26592	(26592)
	1	27265	24800	(24800)	25368	(25368)	25936	(25936)	26220	(26220)
	2	26881	24454	(24454)	25014	(25014)	25574	(25574)	25854	(25854)
	3	26497	24104	(24104)	24656	(24656)	25208	(25208)	25484	(25484)
	4	26113	23756	(23756)	24300	(24300)	24844	(24844)	25116	(25116)

부프레임 경계 심볼에서 유효 부반송 개수(NoA_{SBS})는 **L1_scattered_pilot_boost** 값과 분산 파일럿의 크기에 의존한다.

$C_{red_coeff} = 0$ 이고 톤 예약이 활성화되지 않은 경우 각 **L1_scattered_pilot_boost** 값에 대한 부프레임 경계 심볼의 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-7 및 표 7-8로 나타난다. C_{red_coeff} 의 다른 값에 대한 각 **L1_scattered_pilot_boost** 값에서의 부프레임 경계 심볼의 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-9부터 표 7-16까지 나타낸다.

톤 예약이 활성화된 경우에 표 F-2에 나타난 바와 같이 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수는 표 7-7부터 표 7-16에서 FFT 크기를 함수로 하는 톤 예약의 개수를 제외한 개수와 같다.

표 7-7 $C_{red_coeff} = 0$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	$L1_scatte$ red_pilot_boost	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4560	4560	5136	5136	5712	5712	6000	6000
	1	6817	4560	3904	5009	4332	5456	4856	5716	5168
	2	6721	4123	2922	4600	3467	5114	4147	5398	4558
	3	6625	3801	2148	4278	2868	4843	3588	5188	4078
	4	6529	3467	1534	4022	2245	4629	3146	4971	3697
16K	0	13825	9120	9120	10272	10272	11424	11424	12000	12000
	1	13633	9120	7807	10017	8663	10912	9708	11431	10331
	2	13441	8244	5841	9199	6930	10225	8288	10793	9109
	3	13249	7601	4290	8554	5731	9684	7168	10375	8146
	4	13057	6933	3063	8043	4484	9256	6282	9939	7383
32K	0	27649	18240	(18240)	N/A	N/A	22848	(22848)	24000	(24000)
	1	27265	18240	(15612)	N/A	N/A	21823	(19412)	22861	(20658)
	2	26881	16488	(11678)	N/A	N/A	20449	(16570)	21585	(18212)
	3	26497	15202	(8576)	N/A	N/A	19367	(14329)	20747	(16283)
	4	26113	13865	(6121)	N/A	N/A	18510	(12555)	19876	(14755)

표 7-8 $C_{red_coeff} = 0$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	$L1_scatte$ red_pilot_boost	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6288	6288	6432	6432	6576	6576	6648	6648
	1	6817	5976	5508	6132	5691	6297	5922	6384	6064
	2	6721	5729	5010	5919	5252	6123	5564	6231	5757
	3	6625	5533	4616	5751	4906	5986	5282	6125	5515
	4	6529	5379	4305	5618	4633	5877	5058	6015	5324
16K	0	13825	12576	12576	12864	12864	13152	13152	13296	13296
	1	13633	11950	11011	12262	11374	12593	11834	12766	12116
	2	13441	11455	10010	11835	10493	12243	11113	12458	11497
	3	13249	11064	9221	11499	9798	11968	10544	12245	11008
	4	13057	10755	8596	11233	9248	11750	10094	12024	10622
32K	0	27649	25152	(25152)	25728	(25728)	26304	(26304)	26592	(26592)
	1	27265	23899	(22016)	24521	(22740)	25183	(23658)	25529	(24221)
	2	26881	22907	(20010)	23667	(20974)	24483	(22211)	24913	(22976)
	3	26497	22124	(18429)	22994	(19581)	23931	(21070)	24486	(21995)

			Active data cells in a subframe boundary symbol							
FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
	4	26113	21505	(17177)	22461	(18479)	23494	(20167)	24042	(21218)

표 7-9 $C_{red_coeff} = 1$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

			Active data cells in a subframe boundary symbol							
FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4496	4496	5064	5064	5632	5632	5916	5916
	1	6817	4496	3849	4938	4272	5380	4788	5636	5096
	2	6721	4065	2881	4535	3419	5042	4089	5322	4494
	3	6625	3748	2117	4218	2828	4775	3538	5116	4021
	4	6529	3418	1513	3966	2214	4564	3102	4901	3645
16K	0	13825	8992	8992	10128	10128	11264	11264	11832	11832
	1	13633	8992	7697	9876	8541	10759	9572	11271	10187
	2	13441	8129	5758	9070	6833	10082	8171	10642	8982
	3	13249	7495	4229	8434	5650	9549	7068	10229	8032
	4	13057	6835	3019	7930	4420	9126	6194	9800	7280
32K	0	27649	17984	(17984)	N/A	N/A	22528	(22528)	23664	(23664)
	1	27265	17984	(15393)	N/A	N/A	21517	(19140)	22541	(20369)
	2	26881	16256	(11513)	N/A	N/A	20163	(16337)	21282	(17956)
	3	26497	14988	(8454)	N/A	N/A	19095	(14127)	20456	(16054)
	4	26113	13669	(6033)	N/A	N/A	18250	(12378)	19597	(14548)

표 7-10 $C_{red_coeff} = 1$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

			Active data cells in a subframe boundary symbol							
FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6200	6200	6342	6342	6484	6484	6555	6555
	1	6817	5892	5431	6046	5608	6209	5839	6294	5971
	2	6721	5648	4940	5836	5173	6038	5486	6142	5664
	3	6625	5456	4552	5671	4831	5902	5208	6037	5422
	4	6529	5304	4245	5540	4559	5795	4988	5928	5231
16K	0	13825	12400	12400	12684	12684	12968	12968	13110	13110

FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
	1	13633	11783	10857	12090	11215	12416	11668	12587	11941
	2	13441	11294	9870	11669	10346	12072	10957	12284	11327
	3	13249	10909	9091	11338	9661	11800	10397	12074	10844
	4	13057	10604	8475	11075	9118	11585	9953	11856	10461
32K	0	27649	24800	(24800)	25368	(25368)	25936	(25936)	26220	(26220)
	1	27265	23564	(21707)	24178	(22422)	24830	(23327)	25172	(23882)
	2	26881	22586	(19730)	23336	(20680)	24140	(21900)	24564	(22654)
	3	26497	21815	(18170)	22672	(19307)	23596	(20775)	24143	(21687)
	4	26113	21204	(16936)	22146	(18220)	23165	(19885)	23705	(20921)

표 7-11 $C_{red_coeff} = 2$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4433	4433	4993	4993	5553	5553	5833	5833
	1	6817	4433	3796	4869	4212	5304	4720	5557	5024
	2	6721	4008	2841	4472	3371	4971	4032	5247	4432
	3	6625	3695	2088	4158	2788	4708	3488	5044	3964
	4	6529	3371	1492	3910	2183	4500	3058	4833	3595
16K	0	13825	8867	8867	9987	9987	11107	11107	11667	11667
	1	13633	8867	7591	9739	8422	10609	9438	11114	10045
	2	13441	8016	5679	8943	6738	9942	8058	10494	8857
	3	13249	7391	4172	8316	5572	9416	6970	10087	7920
	4	13057	6741	2979	7820	4360	8999	6108	9664	7179
32K	0	27649	17734	(17734)	N/A	N/A	22214	(22214)	23334	(23334)
	1	27265	17734	(15179)	N/A	N/A	21217	(18873)	22227	(20085)
	2	26881	16031	(11354)	N/A	N/A	19882	(16110)	20986	(17707)
	3	26497	14780	(8339)	N/A	N/A	18829	(13932)	20171	(15831)
	4	26113	13480	(5951)	N/A	N/A	17996	(12207)	19324	(14347)

표 7-12 $C_{red_coeff} = 2$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

Active data cells in a subframe boundary symbol										
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

FFT Size	L1_scattered_pilot_boost	NoC	SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6113	6113	6253	6253	6393	6393	6463	6463
	1	6817	5810	5355	5961	5532	6122	5757	6207	5890
	2	6721	5569	4870	5754	5106	5953	5409	6058	5589
	3	6625	5380	4488	5591	4770	5820	5135	5955	5351
	4	6529	5229	4186	5462	4504	5714	4918	5848	5164
16K	0	13825	12227	12227	12507	12507	12787	12787	12927	12927
	1	13633	11619	10706	11921	11058	12243	11506	12412	11780
	2	13441	11137	9732	11507	10202	11903	10805	12113	11178
	3	13249	10757	8965	11180	9526	11636	10252	11906	10703
	4	13057	10456	8358	10921	8992	11424	9815	11691	10328
32K	0	27649	24454	(24454)	25014	(25014)	25574	(25574)	25854	(25854)
	1	27265	23236	(21405)	23841	(22109)	24484	(23002)	24821	(23549)
	2	26881	22271	(19455)	23011	(20392)	23803	(21595)	24221	(22339)
	3	26497	21511	(17918)	22356	(19038)	23267	(20486)	23806	(21385)
	4	26113	20909	(16701)	21838	(17967)	22842	(19608)	23375	(20630)

표 7-13 $C_{red_coeff} = 3$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	L1_scattered_pilot_boost	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4370	4370	4922	4922	5474	5474	5750	5750
	1	6817	4370	3742	4800	4152	5229	4653	5478	4953
	2	6721	3951	2800	4408	3323	4901	3974	5173	4369
	3	6625	3643	2058	4099	2749	4641	3439	4972	3908
	4	6529	3323	1471	3855	2152	4436	3015	4764	3544
16K	0	13825	8740	8740	9844	9844	10948	10948	11500	11500
	1	13633	8740	7482	9599	8302	10457	9303	10955	9901
	2	13441	7901	5597	8815	6642	9799	7943	10344	8730
	3	13249	7285	4112	8197	5492	9281	6870	9942	7807
	4	13057	6644	2936	7708	4297	8870	6021	9525	7076
32K	0	27649	17480	(17480)	N/A	N/A	21896	(21896)	23000	(23000)
	1	27265	17480	(14962)	N/A	N/A	20913	(18603)	21909	(19798)
	2	26881	15801	(11192)	N/A	N/A	19597	(15879)	20685	(17453)
	3	26497	14568	(8219)	N/A	N/A	18560	(13732)	19882	(15604)
	4	26113	13287	(5866)	N/A	N/A	17738	(12032)	19048	(14141)

표 7-14 $C_{red_coeff} = 3$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	$L1_scatte$ red_pilot_boost	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	6026	6026	6164	6164	6302	6302	6371	6371
	1	6817	5727	5279	5876	5450	6035	5675	6117	5809
	2	6721	5490	4801	5672	5028	5868	5333	5970	5514
	3	6625	5303	4425	5512	4695	5737	5062	5868	5281
	4	6529	5155	4126	5385	4432	5633	4848	5762	5097
16K	0	13825	12052	12052	12328	12328	12604	12604	12742	12742
	1	13633	11452	10552	11751	10900	12068	11341	12234	11606
	2	13441	10977	9593	11342	10056	11733	10650	11940	11010
	3	13249	10603	8837	11020	9390	11469	10106	11735	10540
	4	13057	10307	8238	10765	8863	11260	9675	11523	10168
32K	0	27649	24104	(24104)	24656	(24656)	25208	(25208)	25484	(25484)
	1	27265	22903	(21099)	23500	(21793)	24133	(22673)	24465	(23212)
	2	26881	21952	(19177)	22681	(20100)	23463	(21286)	23875	(22019)
	3	26497	21203	(17661)	22036	(18766)	22934	(20193)	23466	(21079)
	4	26113	20609	(16462)	21525	(17710)	22515	(19328)	23040	(20335)

표 7-15 $C_{red_coeff} = 4$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터
부반송파 개수(톤 예약 비활성화)

FFT Size	$L1_scatte$ red_pilot_boost	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
8K	0	6913	4307	4307	4851	4851	5395	5395	5667	5667
	1	6817	4307	3688	4731	4092	5154	4586	5399	4881
	2	6721	3894	2760	4345	3275	4830	3917	5098	4306
	3	6625	3591	2029	4040	2710	4575	3390	4901	3852
	4	6529	3275	1450	3799	2121	4372	2972	4695	3493
16K	0	13825	8614	8614	9702	9702	10790	10790	11334	11334
	1	13633	8614	7374	9461	8182	10306	9169	10797	9758
	2	13441	7787	5517	8688	6546	9658	7828	10194	8604
	3	13249	7180	4053	8079	5413	9147	6771	9799	7695
	4	13057	6549	2894	7597	4236	8743	5934	9388	6974
32K	0	27649	17228	(17228)	N/A	N/A	21580	(21580)	22668	(22668)
	1	27265	17228	(14746)	N/A	N/A	20612	(18335)	21593	(19512)
	2	26881	15573	(11031)	N/A	N/A	19315	(15651)	20387	(17202)
	3	26497	14359	(8101)	N/A	N/A	18292	(13534)	19596	(15380)

FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP3_2	SP3_4	SP4_2	SP4_4	SP6_2	SP6_4	SP8_2	SP8_4
	4	26113	13096	(5782)	N/A	N/A	17483	(11859)	18773	(13938)

표 7-16 $C_{red_coeff} = 4$ 인 경우에 부프레임 경계 심볼에서 유효 데이터 부반송파 개수(톤 예약)

FFT Size	<i>L1_scattered_pilot_boost</i>	NoC	Active data cells in a subframe boundary symbol							
			SP12_2	SP12_4	SP16_2	SP16_4	SP24_2	SP24_4	SP32_2	SP32_4
8K	0	6913	5939	5939	6075	6075	6211	6211	6279	6279
	1	6817	5644	5203	5792	5375	5948	5594	6030	5728
	2	6721	5411	4732	5591	4961	5784	5256	5886	5438
	3	6625	5227	4361	5432	4635	5654	4990	5786	5210
	4	6529	5081	4067	5307	4377	5552	4779	5682	5030
16K	0	13825	11878	11878	12150	12150	12422	12422	12558	12558
	1	13633	11287	10400	11581	10743	11894	11178	12058	11444
	2	13441	10819	9455	11178	9911	11564	10497	11767	10860
	3	13249	10450	8710	10861	9255	11304	9960	11566	10399
	4	13057	10158	8120	10609	8736	11098	9536	11357	10034
32K	0	27649	23756	(23756)	24300	(24300)	24844	(24844)	25116	(25116)
	1	27265	22572	(20794)	23160	(21478)	23785	(22345)	24112	(22877)
	2	21636	(18900)	22354	(19810)	23124	(20979)	23530	(21702)	21636
	3	20897	(17407)	21718	(18495)	22603	(19902)	23127	(20775)	20897
	4	20312	(16225)	21215	(17454)	22190	(19049)	22708	(20042)	20312

부프레임 경계 심볼에서 널 셀의 개수(N_{Null}^B)는 **L1_scattered_pilot_boost** 값과 분산 파일럿의 크기에 따라 결정된다. 부프레임 경계 심볼에서 널 셀의 개수는 총 데이터 셀의 개수(표 7-5 및 표 7-6)에서 부프레임 유효 데이터 부반송파 개수(표 7-7 ~ 표 7-16)를 제외함으로써 계산할 수 있다. N_{Null}^B 는 **L1D_sbs_null_cells**로 시그널링된다.

유효 데이터 부반송파는 총 데이터 셀의 중간에 위치한다. 그림 7-14에 나타낸 것처럼 널 셀은 절반씩 양쪽 끝에 위치한다.

널셀 중에 $\lfloor N_{Null}^B / 2 \rfloor$ 개는 최저 주파수 부반송파에 위치하고, 널셀 중에 $\lceil N_{Null}^B / 2 \rceil$ 개는 최고 주파수 부반송파에 위치한다.

두 널셀 집합 사이의 데이터 셀은 유효 데이터 부반송파이고, 데이터 셀 다중화를

위하여 7.2.6.1절에 기술된 것처럼 색인된다.

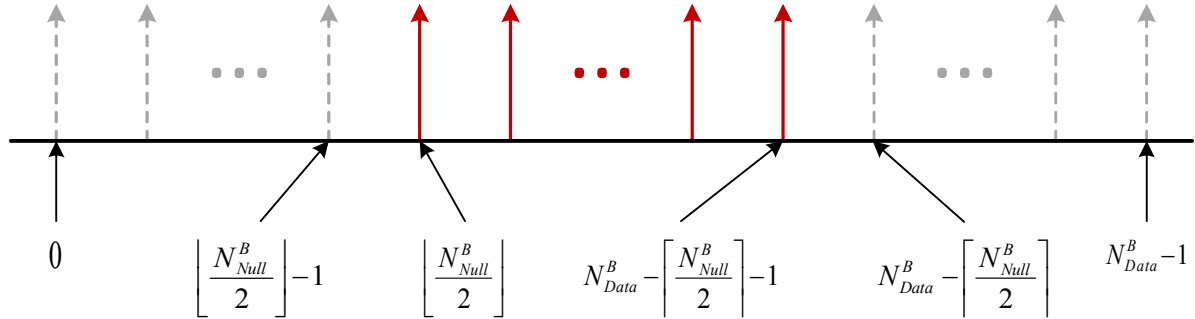


그림 7-14 널 셀과 데이터 셀을 위한 데이터 부반송파 색인

7.2.6.5. 더미 데이터 셀 맵핑

PLP 데이터는 정확한 부프레임 구성 및 PLP 다중화 매개변수에 따라 정해지는 부프레임 내의 유효 데이터 셀에 부분적으로 또는 가득차게 매핑된다. 유효 데이터 셀 전체에 PLP 데이터가 매핑되지 않는 경우에 빈 데이터 셀이 발생한다. 이때 일정한 송신 전력을 보장하기 위해서 빈 데이터 셀을 빈 셀로 남겨 두는 것보다 변조 셀로 만든 것이 중요하다. 이 과정은 빈 셀에 PN 더미 (dummy) 변조 값을 데이터 셀로 매핑함으로써 달성된다

PLP 다중화 매개변수에 따라 빈 데이터 셀은 부프레임 내의 어느 위치에서든지 존재할 수 있다. 따라서, 우선 부프레임내의 유효 데이터 셀 모두에 더미 변조 값을 할당하고, 셀 다중화는 더미 변조 값에 실제 PLP 데이터를 겹쳐 쓰는 방식으로 진행한다. 이러한 방법은 부프레임 내의 모든 유효 데이터 셀이 PLP 셀이나 더미 셀 변조 값으로 매핑됨을 보장한다.

N_{cel} 은 부프레임 내의 유효 데이터 셀의 개수로 유효 데이터 셀은 0 부터 $N_{cel} - 1$ 까지 색인된다. d_i ($0 \leq i < N_{cel}$) 는 i 번째 유효 데이터셀의 더미 변조 값이다. b_i ($0 \leq i < N_{cel}$) 는 5.2.3절에서 기술된 기저대역 패킷의 스크램블링 시퀀스에서 i 번째 값이다.

i 번째 유효 데이터셀의 더미 변조 값 d_i ($0 \leq i < N_{cel}$) 는 다음과 같다.

$$\text{Re}\{d_i\} = 1 - 2 \times b_i$$

$$\text{Im}\{d_i\} = 0$$

부프레임 내의 N_{cell} 개의 유효 데이터 셀 각각은 PLP 데이터로 다중화되기 이전에 변조 더미 값으로 할당해야 한다. 이러한 더미 변조 값의 삽입 이후에 현재 부프레임에 속하는 PLP 데이터는 PLP 데이터가 할당된 데이터 셀에 매핑된다. 이때 기존에 할당된 변조 더미 값은 PLP 데이터로 변경된다.

7.2.6.6. PLP 타입

LDM 항상 계층 PLP를 제외한 PLP는 비분산 PLP 또는 분산 PLP 중 한가지 타입을 갖는다. 비분산 PLP의 데이터 셀은 부프레임의 연속 데이터 셀 색인에 할당된다. 즉, 비분산 PLP가 할당된 가장 낮은 데이터 셀 색인과 동일한 비분산 PLP가 할당된 가장 높은 데이터 셀 사이의 모든 데이터 셀은 동일한 비분산 PLP에 할당된다.

분산 PLP는 두 개 이상의 서브 슬라이스로 구성된다. 분산 PLP의 어느 한 서브 슬라이스 내의 데이터 셀은 부프레임의 연속 데이터 셀 색인으로 할당된다. 그러나, 동일한 분산 PLP 내에 연속된 두 개의 서브 슬라이스는 서로 인접한 데이터 셀 색인을 갖지 않는다. 즉, 분산 PLP의 서브 슬라이스의 최저 데이터 셀 색인과 동일한 분산 PLP의 직전 서브 슬라이스의 최고 데이터 셀 색인의 차이는 1보다 커야 한다.

PLP의 타입을 시그널링하는 **L1D_plp_type**은 해당 PLP가 존재하는 각각의 부프레임에 독립적으로 시그널링된다. 하나의 PLP는 서로 다른 두 개의 부프레임에 대해서 서로 다른 PLP 타입을 사용할 수 있다. LDM이 사용되는 경우에 **L1D_plp_type**은 코어 계층 PLP에게만 시그널링된다. 항상 계층의 PLP는 특정 PLP 타입을 가지지 않으므로 **L1D_plp_type**은 시그널링되지 않는다.

7.2.6.7. PLP 위치선정

PLP의 시작 위치를 시그널링하는 **L1D_plp_start**는 PLP 타입과 상관없이 부프레임 내에 PLP의 시작 위치를 알려준다. PLP의 시작 위치는 PLP의 최초 데이터 셀이 할당된

데이터 셀의 색인이다.

PLP의 길이를 시그널링하는 **L1D_plp_size**는 현재 부프레임에서 PLP가 포함된 데이터 셀의 총 개수를 표시한다.

부프레임에서 PLP의 시작 위치 및 길이는 서로 다른 부프레임에서 동일한 PLP의 시작 위치 및 길이와 무관하며 독립적으로 시그널링된다. LDM의 사용 여부와 상관없이 부프레임 내 모든 PLP의 시작 위치 및 길이는 시그널링된다.

PLP의 셀과 관련된 파라미터는 현재 부프레임에 대한 유효 데이터 셀 색인 범위 내에 PLP의 데이터 셀이 할당되도록 설정된다.

7.2.7. 부프레임에서 PLP 다중화 방법

7.2.6절에서 기술한 셀 다중화 방법이 PLP에 대한 특정 스타일 다중화에 어떻게 사용되는지 예를 들어 설명하고 그림 7-15에 나타난 데이터 셀 색인의 예시는 실시 예에서 사용된다. PLP에 대한 계층 분할 다중화는 7.2.7.4절에서 상세히 설명한다.

Frequency ↓	Time →																									
	000	010	020	030	040	050	060	070	080	090	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
	001	011	021	031	041	051	061	071	081	091	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	211	221	231	241	251
	002	012	022	032	042	052	062	072	082	092	102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	212	222	232	242	252
	003	013	023	033	043	053	063	073	083	093	103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	213	223	233	243	253
	004	014	024	034	044	054	064	074	084	094	104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	214	224	234	244	254
	005	015	025	035	045	055	065	075	085	095	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255
	006	016	026	036	046	056	066	076	086	096	106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	216	226	236	246	256
	007	017	027	037	047	057	067	077	087	097	107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	217	227	237	247	257
	008	018	028	038	048	058	068	078	088	098	108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	218	228	238	248	258
009	019	029	039	049	059	069	079	089	099	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	

그림 7-15 다중화 예제를 위한 데이터 셀 색인

7.2.7.1. 개요

- PLP에 대한 다중화

가장 단순한 다중화 전략은 오직 하나의 코어 계층 PLP가 존재하고, 시간 인터리버

출력이 프레임 내 데이터 심볼에 순차적으로 매핑되는 경우이다. 이 다중화는 7.2.7.2절에서 설명한다. 하나의 PLP에 대한 다중화 이외에도 다수의 PLP를 부프레임에서 다중화하는 다양한 방법으로서 시간 분할 다중화 (7.2.7.3절), 계층 분할 다중화 (7.2.7.4절), 주파수 분할 다중화 (7.2.7.5절), 시간-주파수 분할 다중화 (7.2.7.6절) 방법이 있다.

7.2.7.2. 싱글 PLP

지상파 UHDTV 물리계층 시스템의 프레임에서 가장 간단한 구조는 부프레임에 하나의 PLP가 존재하는 싱글 PLP 모드이다.

표 7-17과 그림 7-16은 싱글 PLP에 대한 셀 다중화의 파라미터와 예를 나타낸다.

표 7-17 예제에서 사용된 싱글 PLP에 대한 셀 다중화의 파라미터

L1D_plp_id	L1D_plp_size	L1D_plp_type	L1D_plp_start	L1D_num_subsllices	L1D_subslice_interval
A	260	0(Non-dispersed)	000	N/A	N/A

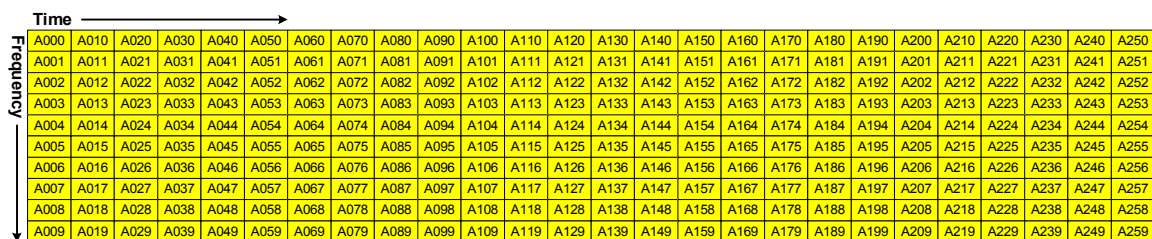


그림 7-16 싱글 PLP 다중화 예제

7.2.7.3. 시분할 다중화

시분할 다중화는 부프레임 내에서 다수의 PLP를 시간에 따라서 연결하는 비분산 PLP를 사용한다.

표 7-18과 그림 7-17은 여섯 개 PLP에 대한 시분할 다중화의 파라미터와 예시를 나타낸다.

표 7-18 예제에서 사용된 여섯 개 PLP 에 대한 시분할 다중화의 파라미터

L1D_plp_id	L1D_plp_size	L1D_plp_type	L1D_plp_start	L1D_num_subslices	L1D_subslice_interval
A	12	Non-dispersed	000	N/A	N/A
B	24	Non-dispersed	012	N/A	N/A
C	80	Non-dispersed	036	N/A	N/A
D	52	Non-dispersed	116	N/A	N/A
E	60	Non-dispersed	168	N/A	N/A
F	32	Non-dispersed	228	N/A	N/A

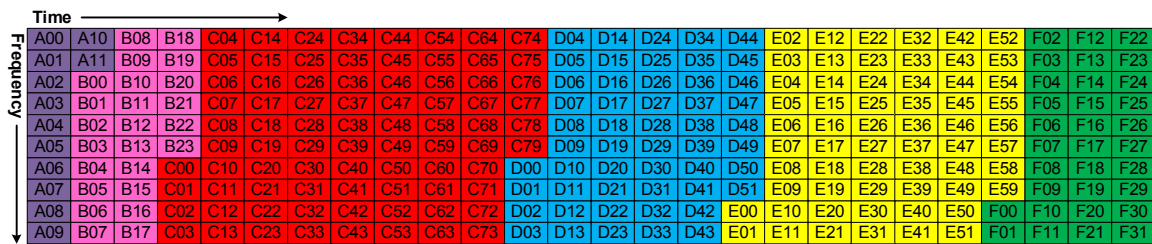


그림 7-17 PLP 에 대한 시분할 다중화 예제

7.2.7.4. 계층 분할 다중화

계층 분할 다중화를 사용하는 경우에 부프레임 내 각 PLP는 코어 계층 PLP 또는 항상 계층 PLP로 분류한다. PLP와 연관된 LDM 계층은 **L1D_plp_layer** 필드로 시그널링된다. 계층 분할 다중화와 상관없이 코어 계층 PLP는 항상 존재한다. 계층 분할 다중화를 사용하지 않는 경우에 항상 계층 PLP는 존재하지 않는다. 계층 분할 다중화를 사용하는 경우에 하나 또는 다수 개의 계층이 존재할 수 있지만, 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서 최대 항상 계층의 개수는 하나이다.

부프레임 내에서 각 코어 계층 PLP는 하나의 시간 인터리버 그룹을 나타낸다. 각 코어 계층 PLP는 부프레임 내 각각의 시간 인터리버 그룹에 귀속되고, 각 코어 계층 PLP에 대한 시간 인터리버 파라미터를 가르키는 L1 시그널링은 직접적으로 코어 계층 PLP와 관련있다. 각 항상 계층 PLP는 부프레임 내 하나 또는 다수의 시간 인터리버 그룹과 연관되지만 시간 인터리버 블록과 관련된 L1 시그널링과는 직접적으로 연관성은 없다.

항상 계층 PLP는 관련된 시간 인터리버 그룹의 시간 인터리빙을 따른다. 시간 인터리버는 암시적으로 코어 계층 PLP가 부프레임에서 시그널링이 되는 순서에 따라 색인된

다. 즉, 첫 번째 코어 계층 PLP는 TI_Group_0 으로 색인되고 두 번째 코어 계층 PLP는 TI_Group_1 으로 색인된다. 암시적으로 지정되는 타임 인터리버 그룹의 색인과 순서는 부프레임에서 코어 계층 PLP를 위한 **L1D_plp_id** 값과는 독립적이다.

시간 인터리빙, 셀 다중화 및 서브슬라이싱은 (해당되는 경우) 코어 계층 PLP에 기초하여 수행된다. 항상 계층 PLP는 코어 계층 PLP의 시간 인터리버와 셀 다중화를 따른다.

삽입 레벨은 각 항상 계층 PLP에서 시그널링되고 코어 계층 PLP에서는 시그널링되지 않는다.

- 간단한 계층 분할 다중화 예제

그림 7-18은 하나의 코어 계층 PLP ($L1D_PLP_id_0$)와 하나의 항상 계층 PLP ($L1D_PLP_id_1$)가 동일한 시작 위치 및 길이를 갖는 가장 간단한 계층 분할 다중화의 예를 나타낸다. 단 하나의 코어 계층 PLP이므로 하나의 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_0)이 존재한다. 이 계층 분할 다중화는 부프레임 내에서 하나의 코어 계층 PLP가 존재하는 경우이므로 컨벌루션 시간 인터리버 (7.1.2절 참조)를 사용한다.

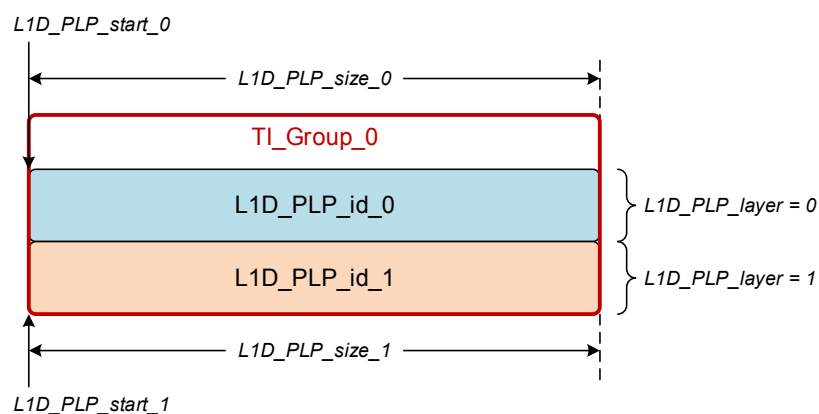


그림 7-18 계층 분할 다중화 예제 #1(1 코어 계층 PLP, 1 항상 계층 PLP)

- 두 개의 코어 계층 PLP 를 갖는 계층 분할 다중화 예제

그림 7-19는 두 개 코어 계층 PLP ($L1D_PLP_id_0$ & $L1D_PLP_id_1$)와 하나의 항상 계층 PLP ($L1D_PLP_id_2$)를 갖는 계층 분할 다중화의 예를 나타낸다. 항상 계층 PLP

(L1D_PLP_id_2)는 연관된 코어 계층 PLP (L1D_PLP_id_1)와 동일한 시작 위치 및 길이를 가지고 정확하게 정렬된다. 각 코어 계층 PLP에 하나씩 두 개의 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_0 & TI_Group_1)이 존재한다.

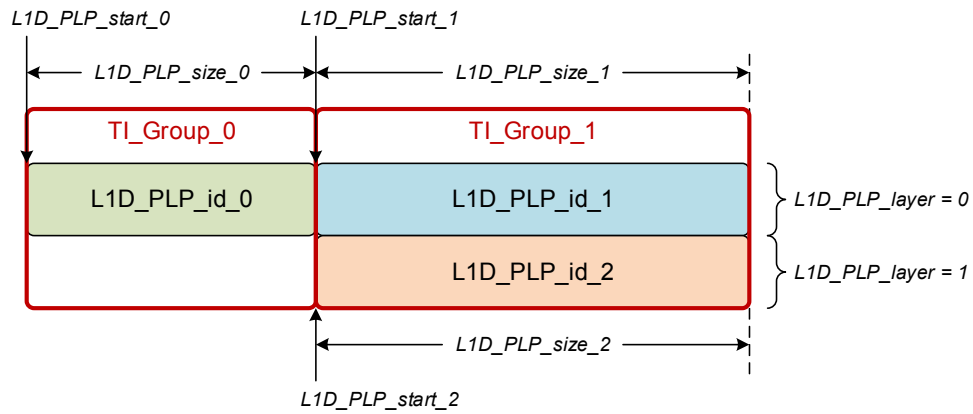


그림 7-19 계층 분할 다중화 예제 #2 (2 코어 계층 PLP, 1 항상 계층 PLP)

- 비 정렬 항상 계층을 갖는 분할 계층 다중화 예제

그림 7-20은 코어 계층 PLP와 정렬되지 않는 항상 계층 PLP를 갖는 계층 분할 다중화의 예를 나타낸다. 각 코어 계층 PLP에 하나씩 두 개의 시간 인터리버 그룹이 존재한다.

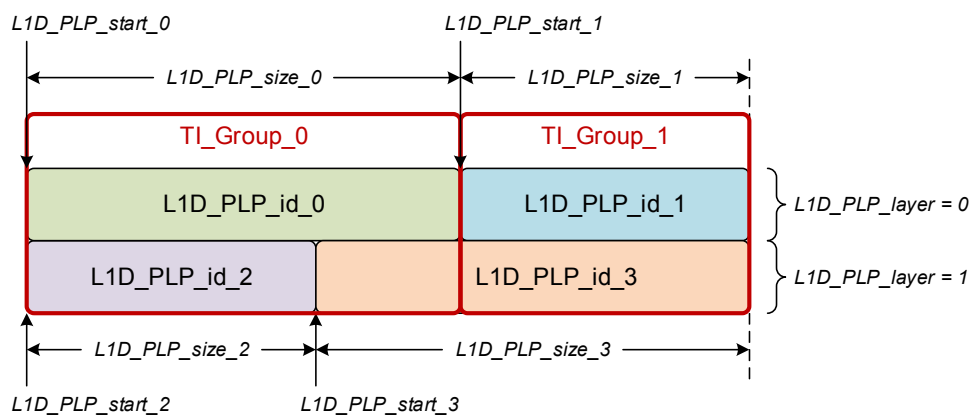


그림 7-20 계층 분할 다중화 예제 #3 (2 코어 계층 PLP, 2 항상 계층 PLP)

L1D_PLP_id_2는 TI_Group_0와 관련된 항상 계층 PLP로 L1D_PLP_start_0와 L1D_PLP_start_2는 동일하고 L1D_PLP_size_2 크기는 L1D_PLP_size_0 크기 보다 작다.

(L1D_PLP_id_2가 완전히 TI_Group_0 내에 포함되어 있음을 의미) L1D_PLP_id_2는 TI_Group_0의 처음부터 L1D_PLP_size_2 개의 데이터 셀로 계층 분할 다중화된다.

L1D_PLP_id_3은 TI_Group_0 및 TI_Group_1 모두에 관련된 항상 계층 PLP이다. L1D_PLP_start_3는 TI_Group_0와 연관된 데이터 셀 색인에 대응한다. L1D_PLP_id_3는 TI_Group_0에 비해서 너무 길기 때문에 L1D_PLP_id_3는 자동으로 다음 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_1)에서 계속된다.

L1D_PLP_id_3 중에서 처음부터 (L1D_PLP_size_0 - L1D_PLP_size_2) 개의 데이터 셀은 TI_Group_0의 마지막 부분 데이터 셀 색인에 대응되고 계층 분할 다중화된다. L1D_PLP_id_3 중에서 마지막 (L1D_PLP_size_3 - (L1D_PLP_size_0 - L1D_PLP_size_2)) 개의 데이터 셀은 TI_Group_1에 계층 분할 다중화된다.

- 세 개의 항상 계층을 갖는 분할 다중화 예제

그림 7-21은 하나의 코어 계층 PLP (L1D_PLP_id_0)와 세 개의 항상 계층 PLP (L1D_PLP_id_1, L1D_PLP_id_2, L1D_PLP_id_3)로 구성되고 모든 항상 계층 PLP가 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_0)에 속하는 계층 분할 다중화의 예를 나타낸다. L1D_PLP_start_0 와 L1D_PLP_start_1은 동일하다. L1D_PLP_start_2 및 L1D_PLP_start_3는 모두 L1D_PLP_id_0에 지정된 셀 다중화 파라미터에 따르는 TI_Group_0와 연관된 데이터 셀 인덱스에 대응한다. 세 개의 항상 계층 PLP의 길이의 (L1D_PLP_size_1, L1D_PLP_size_2, L1D_PLP_size_3) 합은 코어 계층 PLP의 길이 (L1D_PLP_size_0)와 동일하다.

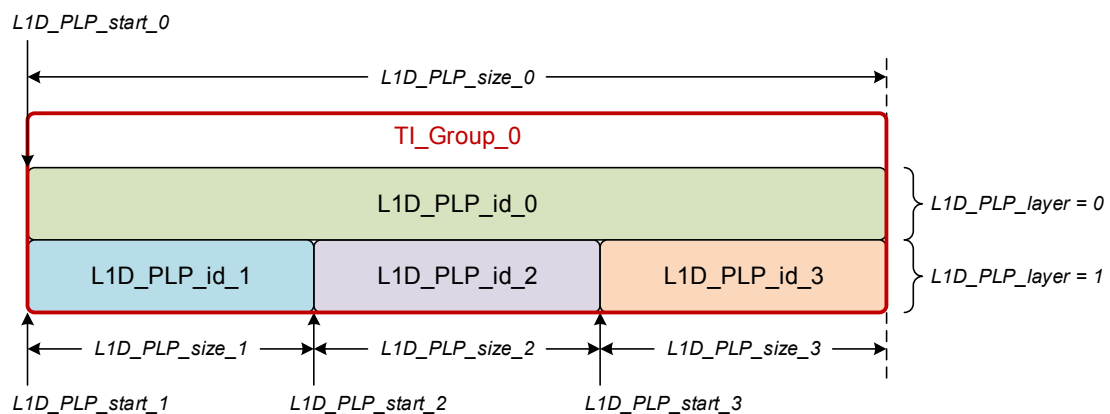


그림 7-21 계층 분할 다중화 예제 #4 (1 코어 계층 PLP, 3 항상 계층 PLP)

- 세 개의 코어 계층을 갖는 계층 분할 다중화 예제

그림 7-22는 세 개 핵심 계층 PLP (L1D_PLP_id_0, L1D_PLP_id_1, L1D_PLP_id_2)와 하나의 향상 계층 PLP (L1D_PLP_id_3)로 구성된 계층 분할 다중화의 예를 보여준다. 각 코어 계층 PLP에 하나씩 세 개의 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_0, TI_Group_1, TI_Group_2)이 존재한다. L1D_PLP_id_3은 세 개의 시간 인터리버 그룹 모두와 관련된 향상 계층 PLP이다. L1D_PLP_start_3은 L1D_PLP_start_0와 동일하고, 암시적으로 L1D_PLP_id_3의 처음 L1D_PLP_size_0 개의 데이터 셀은 TI_Group_0 과 관련된 것을 의미한다. L1D_PLP_id_3의 길이는 TI_Group_0에 비해서 너무 길기 때문에, L1D_PLP_id_3는 자동으로 다음 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_1)에 계속되고, 다음 시간 인터리버 그룹 (TI_Group_2)에 계속된다.

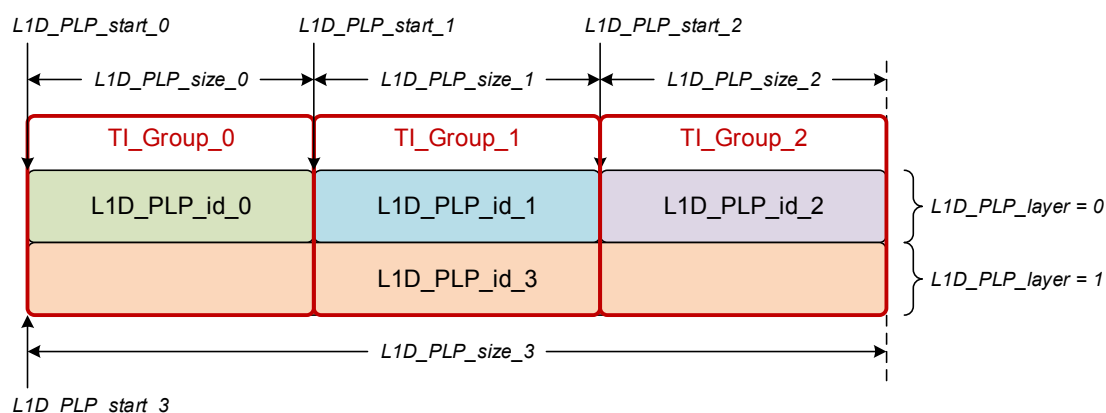


그림 7-22 계층 분할 다중화 예제 #5 (3 코어 계층 PLP, 1 향상 계층 PLP)

7.2.7.5. 주파수 분할 다중화

주파수 분할 다중화는 부프레임 내 다수의 PLP를 적절한 파라미터 설정을 갖는 분산 PLP로 구성함으로써 얻어진다. 각 분산 PLP의 서브 슬라이스 간격은 현재 부프레임 구성을 위한 데이터 심볼 당 데이터 셀의 개수로 설정한다. 서브 슬라이스 개수는 각 서브 슬라이스의 길이가 심볼 당 데이터 셀의 수보다 작도록 설정된다.

부프레임에서 주파수 인터리빙이 사용되지 않는 경우에만 주파수 분할 다중화 효과를 얻을 수 있다. 완벽한 주파수 분할 다중화를 위해서는 PLP 데이터는 프리앰블의 마지막 심볼이나 부프레임 경계 심볼에 매핑되지 않아야 한다. 주파수 분할 다중화 PLP가 부

프레임의 시작과 끝에서 주파수 영역이 달라짐을 받아들일 수 있다면, PLP 데이터를 프레임 마지막 심볼이나 부프레임 경계 심볼에 매핑할 수 있다.

표 7-19 및 그림 7-23 셀 다중화 파라미터와 여섯 개의 PLP 주파수 분할 다중화의 예를 나타낸다. **L1D_plp_num_subsllices**는 주어진 분산 PLP에 대한 서브 슬라이스 개수보다 하나 적은 값을 갖는다 따라서 각 PLP에 대한 서브 슬라이스의 개수는 표 7-19에 주어진 수보다 하나 더 많다.

표 7-19 예제에서 사용된 PLP의 주파수 분할 다중화에 대한 파라미터

L1D_plp_id	L1D_plp_size	L1D_plp_type	L1D_plp_start	L1D_num_subsllices	L1D_subslice_interval
A	26	Dispersed	0	25	10
B	52	Dispersed	1	25	10
C	26	Dispersed	3	25	10
D	78	Dispersed	4	25	10
E	26	Dispersed	7	25	10
F	52	Dispersed	8	25	10

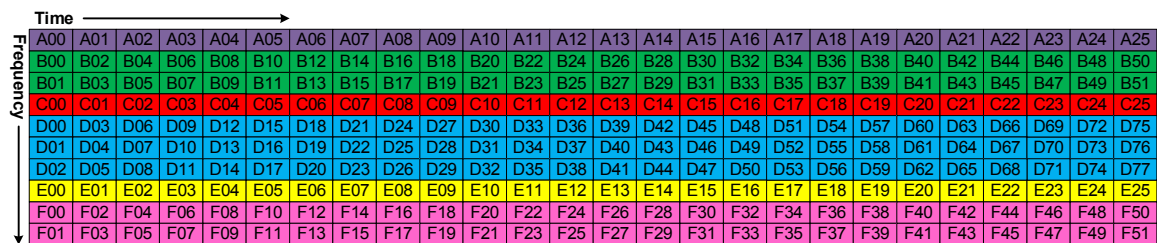


그림 7-23 PLP의 주파수 분할 다중화 예제

7.2.7.6. 시간-주파수 분할 다중화

시간-주파수 분할 다중화 (Time-Frequency Division Multiplexing: TFDM)는 주파수 분할 다중화 (7.2.7.5절)를 구성하기 위해 사용되는 방법에서 PLP 크기 및 서브 슬라이스 관련 파라미터를 적절히 설정함으로써 구성된다.

하나 또는 그 이상의 비분산 PLP가 부가적으로 TFDM 부프레임에 포함된다.

7.2.7.5절에서 기술된 주파수 분할 다중화와 동일한 제한이 TFDM에도 적용된다. 프레임의 마지막 심볼이나 부프레임 경계 심볼에 속하는 데이터 셀에는 시간 분할 다중

화 PLP를 매핑한다고 하더라도, 완벽한 주파수 분할 다중화를 얻기 위해서 주파수 분할 다중화 PLP는 부프레임 중간에 위치해야 한다.

표 7-20 및 그림 7-24는 셀 다중화 파라미터와 여섯 개의 PLP 시간-주파수 분할 다중화의 예를 나타낸다. **L1D_plp_num_subsllices**는 주어진 분산 PLP에 대한 서브 슬라이스 개수보다 하나 적은 값을 갖는다 따라서 각 PLP에 대한 서브 슬라이스의 개수는 표 7-20에 주어진 수보다 하나 더 많다.

표 7-20 예제에서 사용된 PLP의 시간-주파수 분할 다중화에 대한 파라미터

L1D_plp_id	L1D_plp_size	L1D_plp_type	L1D_plp_start	L1D_num_subsllices	L1D_subslice_interval
A	50	Non-dispersed	0	N/A	N/A
B	33	Dispersed	51	10	10
C	42	Dispersed	54	20	10
D	20	Dispersed	56	3	10
E	85	Dispersed	95	16	10
F	30	Dispersed	160	9	10

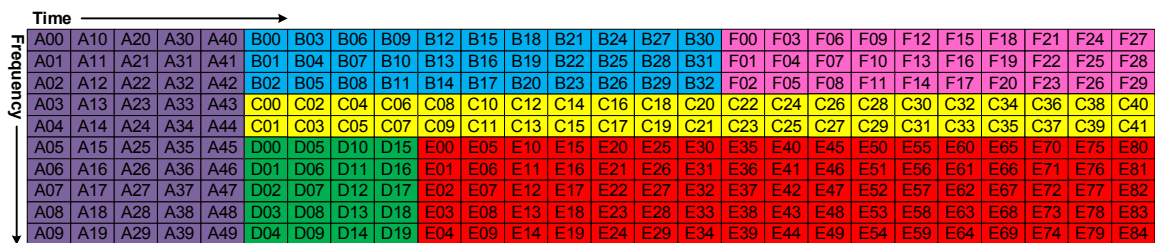


그림 7-24 PLP의 시간-주파수 분할 다중화 예제

7.3. 주파수 인터리버

주파수 인터리버 (FI: frequency interleaver)는 하나의 OFDM 심볼 내 데이터 셀에 대해 동작된다. 또한 부프레임 경계 심볼과 데이터 심볼 내 데이터 셀에 대해 시그널링 **L1 D_frequency_interleaver** 정보에 따라 사용되거나 사용되지 않을 수 있다. 반면에 프리앰블 심볼에 대해서는 항상 FI가 적용된다.

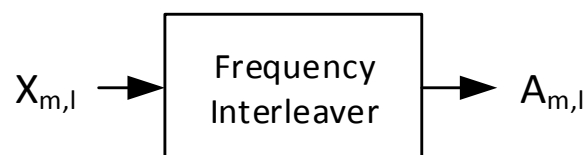


그림 7-25 주파수 인터리버 입출력 블록도

그림 7-25는 주파수 인터리버의 입출력 블록도를 나타내며, 입력 셀은 다음과 같이 정의되며,

$$X_{m,l} = (x_{m,l,0}, x_{m,l,1}, x_{m,l,2}, \dots, x_{m,l,N_{data}-1})$$

여기서 $x_{m,l,q}$ 는 m 번째 부프레임의 l ($l = 0, \dots, L_{Fm} - 1$) 번째 심볼의 q 번째 셀 인덱스를 나타내며, L_{Fm} 은 프리앰블과 첫 번째 부프레임의 데이터, 부프레임 경계 심볼을 포함한 개수이거나, 두 번째 이후의 부프레임부터는 데이터와 부프레임 경계 심볼의 개수이다. 또한 N_{data} 는 심볼내 데이터 부반송파 개수를 나타내며, 프리앰블 심볼에 대해서는 표 7-2와 같고 데이터 심볼에 대해서는 표 7-3 ~ 표 7-5와 같으며, 부프레임 경계 심볼에 대해서는 표 7-6과 같다. 그림 7-25에서 FI 출력 셀은 다음과 같이 정의된다.

$$A_{m,l} = (a_{m,l,0}, a_{m,l,1}, a_{m,l,2}, \dots, a_{m,l,N_{data}-1})$$

여기서 $A_{m,l}$ 은 m 번째 부프레임의 l 번째 심볼을 나타낸다. 부프레임 경계 심볼에서는 주파수 인터리버가 유효 데이터 셀과 널 셀에 대해서 동작해야 한다.

그림 7-26, 그림 7-27, 그림 7-28은 각각 8K, 16K, 32K 모드에 대한 FI 주소 발생기를 나타낸다. 각 블록도에서 FI는 MSB 반전 (T) 블록, 인터리빙 시퀀스 발생기, 심볼 옵셋 발생기 3개로 구성된다. 여기서 심볼 옵셋 발생기는 매 2개 OFDM 심볼마다 새로운 옵셋 값이 발생된다. 또한 각 그림에서 주소 체크 (address-check) 블록은 FI 주소 발생기에서 발생된 값이 심볼 내 전체 데이터 셀 개수를 초과하는지 판단하며, 만일 발생된 주소 값이 데이터 셀 개수보다 크면 무시된다.

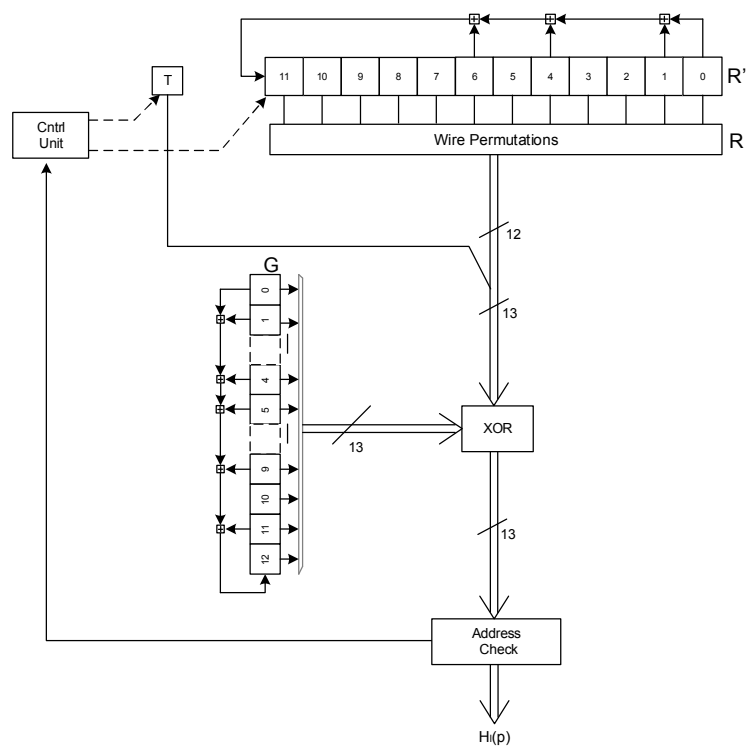


그림 7-26 8K 모드를 위한 FI 주소 발생기

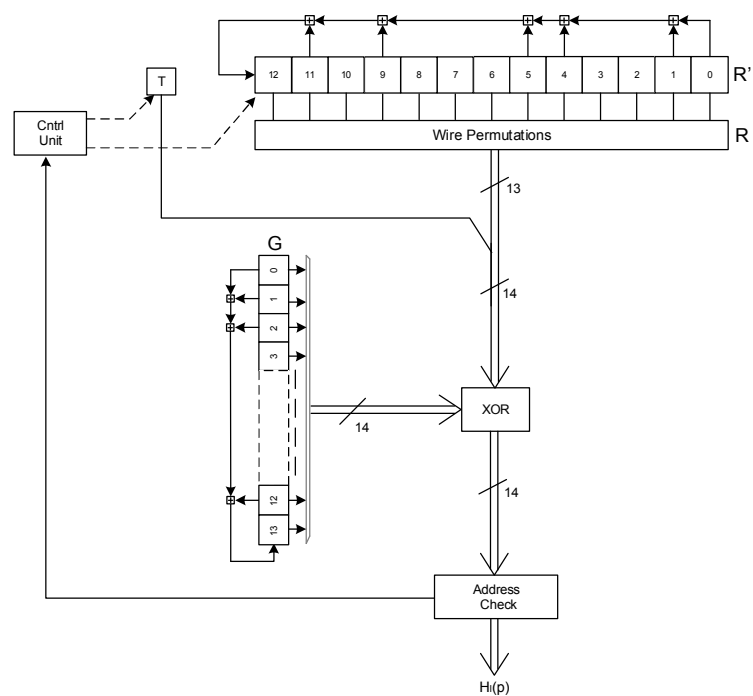


그림 7-27 16K 모드를 위한 FI 주소 발생기

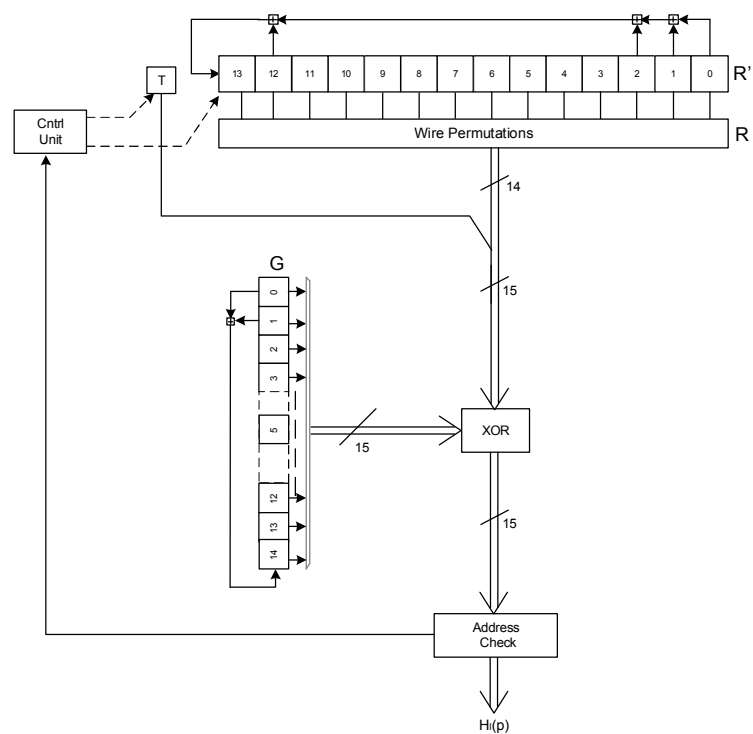


그림 7-28 32K 모드를 위한 FI 주소 발생기

다음은 FI 주소 발생기의 인터리빙 시퀀스 생성 과정에 대한 설명이다. 각 그림에서 $(N_r - 1)$ 비트 워드 R'_i 는 다음의 과정을 통해 발생된다.

$$i = 0,1 \quad : R'_i[N_r - 2, N_r - 3, \dots, 1, 0] = [0, 0, \dots, 0, 0],$$

$$i = 2 \quad : R'_i[N_r - 2, N_r - 3, \dots, 1, 0] = [0, 0, \dots, 0, 1],$$

$$2 < i < M_{max} \quad : \{R'_i[N_r - 3, N_r - 4, \dots, 1, 0] = R'_{i-1}[N_r - 2, N_r - 3, \dots, 2, 1];$$

$$8K \text{ 모드: } R'_i[11] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[1] \oplus R'_{i-1}[4] \oplus R'_{i-1}[6],$$

$$16 \text{ 모드: } R'_i[12] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[1] \oplus R'_{i-1}[4] \oplus R'_{i-1}[5] \oplus R'_{i-1}[9] \oplus R'_{i-1}[11],$$

$$32K \text{ 모드: } R'_i[13] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[1] \oplus R'_{i-1}[2] \oplus R'_{i-1}[12].$$

여기서 $N_r = \log_2 M_{max}$ 이며, 파라미터 M_{max} 는 표 7-21과 같이 정의된다.

[표 7-21] FFT 모드에 따른 M_{max} 값

FFT Mode	M_{max}
8K	8192
16K	16384
32K	32768

각 그림에서 R'_i 에서 R_i 로 매핑시 이용되는 순열 표는 각 FI 모드에 따라 표 7-22, 7.23, 7.24와 같이 정의된다.

[표 7-22] 8K 모드에서 사용되는 순열 표

R'_j bit positions	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_j bit positions (even)	5	11	3	0	10	8	6	9	2	4	1	7
R_j bit positions (odd)	8	10	7	6	0	5	2	1	3	9	4	11

[표 7-23] 16K 모드에서 사용되는 순열 표

R'_j bit positions	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_j bit positions (even)	8	4	3	2	0	11	1	5	12	10	6	7	9
R_j bit positions (odd)	7	9	5	3	11	1	4	0	2	12	10	8	6

[표 7-24] 32K 모드에서 사용되는 순열 표

R'_j bit positions	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_j bit positions	6	5	0	10	8	1	11	12	2	9	4	3	13	7

다음은 FI 주소 발생기의 심볼 옵셋 생성 과정에 대한 설명이다. 심볼 옵셋은 매 2개 OFDM 심볼마다 새로운 값으로 발생되며, 이때 연속된 2개의 심볼 ($2n$ 와 $2n + 1$)은 동일한 값을 갖는다. 각 그림에서 N_r 비트 워드 G_k 는 다음의 과정을 통해 발생된다.

$$k = 0 \quad : G_k[N_r - 1, N_r - 2, \dots, 1, 0] = [1, 1, \dots, 1, 1],$$

$$0 < k < \lfloor L_F/2 \rfloor : \{G_k[N_r - 2, N_r - 3, \dots, 1, 0] = G_{k-1}[N_r - 1, N_r - 2, \dots, 2, 1];$$

$$8K \text{ 모드: } G_k[12] = G_{k-1}[0] \oplus G_{k-1}[1] \oplus G_{k-1}[4] \oplus G_{k-1}[5] \oplus G_{k-1}[9] \oplus G_{k-1}[11],$$

$$16K \text{ 모드: } G_k[13] = G_{k-1}[0] \oplus G_{k-1}[1] \oplus G_{k-1}[2] \oplus G_{k-1}[12],$$

$$32K \text{ 모드: } G_k[14] = G_{k-1}[0] \oplus G_{k-1}[1].$$

여기서 \oplus 는 XOR 연산기를 나타낸다. 그림 7-26, 그림 7-27, 그림 7-28로부터 입력 심볼 $X_{m,l}$ 를 인터리빙하기 위한 시퀀스 $H_l(p)$ ($p = 0, \dots, N_{data} - 1$)은 다음과 같이 발생된다.

for ($l = 0; l < L_F; l = l + 1$)

{

$p = 0;$

for ($i = 0; i < M_{max}; i = i + 1$) {

$$H_l(p) = \left[(i \bmod 2) 2^{N_r-1} + \sum_{j=0}^{N_r-2} R_i[j] 2^j + \sum_{j=0}^{N_r-1} G_{[l/2]}[j] 2^j \right] \bmod M_{max};$$

$$\text{if } (H_l(p) < N_{data}) \ p = p + 1;$$

$$\}$$

각 FFT 모드에서 인터리빙 시퀀스 $H_l(p)$ 을 이용하여 인터리빙된 심볼 $A_{m,l} = (a_{m,l,0}, a_{m,l,1}, a_{m,l,2}, \dots, a_{m,l,N_{data}-1})$ 은 다음과 같이 정의된다.

32K 모드에서, FI의 입력과 출력간 관계는 다음과 같다.

$$a_{m,l,H_{[l/2]}(p)} = x_{m,l,p}, \text{ 짝수 번째 심볼, } l = 0, 2, 4, \dots$$

$$a_{m,l,p} = x_{m,l,H_{[l/2]}(p)}, \text{ 홀수 번째 심볼, } l = 1, 3, 5, \dots$$

8K, 16K 모드에서, FI의 입력과 출력간 관계는 다음과 같다.

$$a_{m,l,p} = x_{m,l,H_l(p)}, \text{ 임의의 심볼, } l = 0, 1, 2, \dots$$

다음은 프리앰블 심볼, 부프레임으로 구성된 프레임에서 FI 동작을 기술한다.

- 프레임의 첫 번째 프리앰블 심볼에서, 심볼 옵셋 발생기와 인터리빙 시퀀스 발생기의 레지스터는 [1111...11] 과 [0000...00]으로 각각 리셋된다.
- 프레임의 첫 번째 부프레임을 제외하고 남은 부프레임에서의 첫번째 심볼에서 심볼 옵셋 발생기 FBSR G 와 인터리빙 시퀀스 발생기 FBSR R' 의 레지스터는 [1111...11] 과 [0000...00]으로 각각 리셋된다. 이때, 부프레임의 첫 번째 심볼은 데이터 심볼 또는 부프레임 경계 심볼이다.

8. 파형 생성

그림 8-1 은 파형 생성을 위한 블록도를 나타낸다.

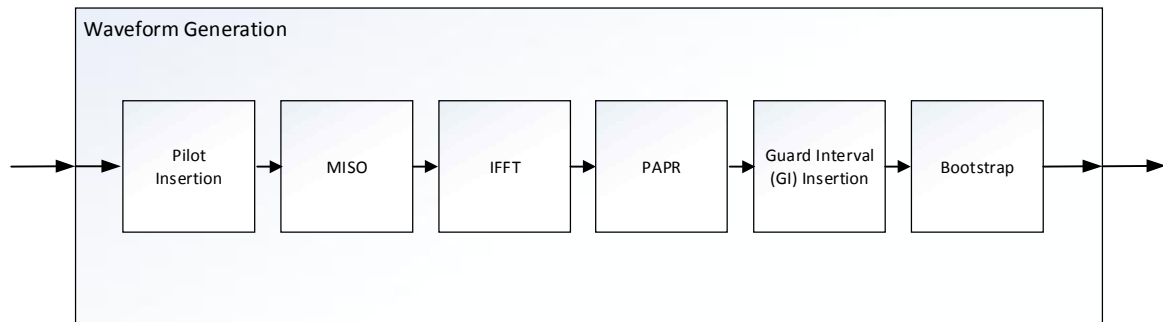


그림 8-1 파형 생성을 위한 블록도

그림 8-1에서 입력 신호는 파일럿 삽입, MISO 프로세싱, PAPR 프로세싱 후 IFFT를 통한 시간 영역 OFDM 심볼로 변환 그리고 보호 구간 삽입의 과정을 거친다. 마지막으로 부트스트랩이 전 처리된 신호 앞 단에 삽입된다.

8.1. 파일럿 삽입

8.1.1. 파일럿 삽입 개요

OFDM 프레임의 다양한 파일럿은 송수신부에 알려진 레퍼런스 정보를 이용하여 변조 및 증폭된다. 파일럿 타입에는 분산 파일럿 (Scattered Pilot: SP), 연속 파일럿 (Continual Pilot: CP), 엣지 파일럿 (Edge Pilot), 프리앰블 파일럿 (Preamble Pilot) 및 부프레임 경계 파일럿 (Subframe Boundary Pilot)으로 구성된다. 이와 같은 파일럿은 채널 동기, 채널 추정, 위상 잡음 추정 등 다양하게 이용될 수 있다. 표 8-1은 심볼 타입에 따라 적용 될 수 있는 파일럿 타입을 정의한다.

표 8-1 심볼 타입에 따라 적용 될 수 있는 파일럿 타입 정의

Symbol Type	Preamble Pilot	Scattered Pilot	Subframe Boundary Pilot	Common Continual Pilot	Additional Continual Pilot	Edge Pilot
Preamble	✓			✓		
Data		✓		✓	✓	✓
Subframe Boundary			✓	✓	✓	✓

다음절에서는 각 파일럿 타입과 관련된 정보 $c_{m,l,k}$ 에 대해 기술하며, 여기서 m, l, k 는 각각 부프레임, 심볼, OFDM 부반송파 인덱스를 나타낸다. 이때 각 파일럿은 부반송파 인덱스 타입에 따라 결정된다. 심볼 인덱스는 프리앰블의 첫 번째 심볼을 0으로하여 1씩 증가되며 각 부프레임의 시작에서 0으로 리셋된다.

부반송파 인덱스는 절대적 부반송 인덱스 또는 상대적 부반송파 인덱스에 따라 결정된다. 절대적 부반송파 인덱스는 $0 \sim NoC_{max} - 1$ 범위에서 정의된다. 상대적 부반송파 인덱스는 반송파 감소 계수 (carrier reduction coefficient)인 C_{red_coeff} 에 대한 함수로 기술되며 $0 \sim NoC - 1$ 범위에서 정의된다.

- 프리앰블 파일럿, 분산 파일럿, 부프레임 경계 파일럿, 엣지 파일럿, 추가 CP 의 위치는 상대적 부반송파 인덱스에 따라 결정된다.
- 공통 CP 는 절대적 부반송파 인덱스에 따라 결정된다.

8.1.2. 레퍼런스 수열

그림 8-2는 각 심볼 파일럿 변조에 사용되는 레퍼런스 수열 (reference sequence) $r_{l,k}$ 발생기 블록도를 나타낸다. 그림 8-2에서 레지스터는 각 심볼의 시작에서 0000 0000 1101 1 값으로 초기화 되며 발생기 함수 $G(x)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$G(x) = 1 + X^9 + X^{10} + X^{12} + X^{13}$$

예를들어, 발생기가 24회 동작 동안 출력한 값은 1101 1000 0000 0001 0100 0000 이다.

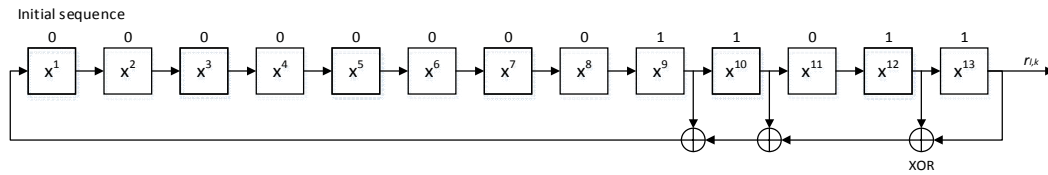


그림 8-2 레퍼런스 수열발생기

8.1.3. 분산 파일럿 삽입

분산 파일럿은 레퍼런스 수열출력 정보를 이용하여 매 심볼마다 변조 및 증폭되며, 단 프리앰블과 부프레임 경계심볼에는 적용되지 않는다.

8.1.3.1. 분산 파일럿 위치

l 번째 심볼 내에서 분산 파일럿은 다음 수식을 만족시키는 k 번째 부반송파에 위치한다.

$$k \bmod (D_X \cdot D_Y) = D_X (l \bmod D_Y)$$

표 8-2는 SISO 분산 파일럿에서 사용되는 D_X , D_Y 를 나타내며, 각 파라미터 정의는 다음과 같다.

D_X : 주파수 방향으로 파일럿 간 이격 거리

D_Y : 시간 방향으로 파일럿 간 이격 거리

SP_{a_b} : $a = D_X$ and $b = D_Y$ 를 갖는 분산 파일럿 타입 정의

표 8-2 SISO 분산 파일럿에서 파라미터 D_X , D_Y 정의

Pilot Pattern	D_X	D_Y	Pilot Pattern	D_X	D_Y
SP3_2	3	2	SP12_2	12	2
SP3_4	3	4	SP12_4	12	4
SP4_2	4	2	SP16_2	16	2
SP4_4	4	4	SP16_4	16	4
SP6_2	6	2	SP24_2	24	2
SP6_4	6	4	SP24_4	24	4
SP8_2	8	2	SP32_2	32	2
SP8_4	8	4	SP32_4	32	4

표 8-3은 FFT 크기, 보호구간을 고려하여 적용되는 분산 파일럿 패턴을 정의한다.
표 8-3에서 N/A 는 FFT 크기와 보호구간이 정의되지 않는 모드를 의미한다.

표 8-3 FFT 크기, 보호구간을 고려하여 적용되는 분산 파일럿 패턴

GI Pattern	Samples	8K FFT	16K FFT	32K FFT
GI1_192	192	SP32_2, SP32_4, SP16_2, SP16_4	SP32_2, SP32_4	SP32_2
GI2_384	384	SP16_2, SP16_4, SP8_2, SP8_4	SP32_2, SP32_4, SP16_2, SP16_4	SP32_2
GI3_512	512	SP12_2, SP12_4, SP6_2, SP6_4	SP24_2, SP24_4, SP12_2, SP12_4	SP24_2
GI4_768	768	SP8_2, SP8_4, SP4_2, SP4_4	SP16_2, SP16_4, SP8_2, SP8_4	SP32_2, SP16_2
GI5_1024	1024	SP6_2, SP6_4, SP3_2, SP3_4	SP12_2, SP12_4, SP6_2, SP6_4	SP24_2, SP_12_2
GI6_1536	1536	SP4_2, SP4_4	SP8_2, SP8_4, SP4_2, SP4_4	SP16_2, SP8_2
GI7_2048	2048	SP3_2, SP3_4	SP6_2, SP6_4, SP3_2, SP3_4	SP12_2, SP6_2
GI8_2432	2432	N/A	SP6_2, SP6_4, SP3_2, SP3_4	SP12_2, SP6_2
GI9_3072	3072	N/A	SP4_2, SP4_4	SP8_2, SP3_2
GI10_3648	3648	N/A	SP4_2, SP4_4	SP8_2, SP3_2
GI11_4096	4096	N/A	SP3_2, SP3_4	SP6_2, SP3_2
GI12_4864	4864	N/A	N/A	SP6_2, SP3_2

각 파일럿 패턴 관련 배치 형태는 부록 E에 설명된다

8.1.3.2. 분산 파일럿 크기

분산 파일럿 크기 A_{SP} 는 5가지 값으로 정의되며 사용된 크기 값은 시그널링 **L1D_scattered_pilot_boost**를 통해 수신부에 전달된다. 각 분산 파일럿 패턴에서 사용되는 파워의 dB 값은 표 9-14와 같고, A_{SP} 크기의 실수 값은 표 9-15와 같다. 여기서 dB 표기는 정확한 값을 나타내며, 실수 크기는 대략적인 값을 나타낸다.

8.1.3.3. 분산 파일럿 변조

분산 파일럿은 다음과 같이 변조된다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 A_{SP} (1/2 - r_{l,k})$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

여기서 m, l, k 는 각각 부프레임, 심볼, 상대적 부반송파 인덱스를 나타낸다. 또한 A_{sp} 는 분산 파일럿 크기를 나타내며, $r_{l,k}$ 는 레퍼런스 시퀀스 출력 값을 나타낸다.

8.1.4. 연속 파일럿 삽입

연속 파일럿은 프리앰블 심볼, 부프레임 경계 심볼을 포함한 프레임내 각 심볼에 변조 및 증폭되어 삽입된다.

8.1.4.1. 연속 파일럿 위치

연속 파일럿은 공통 CP 셋과 추가 CP 셋으로 구성된다. 이때 공통 CP셋은 분산 파일럿과 겹치지 않도록 설계된 파일럿이며, 추가 CP 셋은 매 데이터 심볼내 유효 데이터 부반송파 개수가 일정하도록 설계된 파일럿으로 경우에 따라 분산 파일럿과 겹칠 수 있다. 즉 추가 CP셋은 FFT 크기와 파일럿 패턴에 따라 심볼내 분산 파일럿과 겹치는 개수가 변할 수 있다.

부록 D의 표 D-1는 32K FFT 모드에 사용되는 공통 CP 셋을 나타내며, CP_{32} 로 정의된다. 16K FFT 모드와 8K FFT 모드에 사용되는 공통 CP 셋은 다음과 같이 CP_{32} 로부터 계산될 수 있다.

$$\begin{aligned} CP_{16}(k') &= \lceil CP_{32}(2k') / 2 \rceil \\ CP_8(k'') &= \lceil CP_{32}(4k'') / 4 \rceil \end{aligned}$$

여기서 $k' = 0, 1, \dots, 95$ 이고, $k'' = 0, 1, \dots, 47$ 와 같다.

부록 D의 표 D-4는 추가 CP 셋을 나타낸다. 또한 CP 개수 및 위치는 사용된 신호 대역에 따라 결정된다. 만일 사용된 유효 신호 대역이 감소하면 대역 바깥에 위치한 CP는 무시되며, 결과적으로 사용 가능한 CP의 개수는 감소한다. 표 8-4는 각 FFT 모드에서 C_{red_coeff} 값에 따른 유효한 공통 CP 개수를 나타낸다.

표 8-4 FFT 모드 C_{red_coeff} 에 따른 유효 공통 CP 개수

C_{red_coeff}	8K	16K	32K
0	48	96	192
1	48	96	192
2	47	93	186
3	46	92	184
4	45	90	180

8.1.4.2. 연속 파일럿 크기

표 8-5는 FFT 크기에 따라 결정되는 연속 파일럿 크기 A_{CP} 를 나타낸다. 여기서 dB 표기는 정확한 값을 나타내며, 실수 크기는 대략적인 값을 나타낸다.

표 8-5 FFT 크기에 따른 연속 파일럿 크기

FFT size	8K	16K	32K
A_{CP}	2.67	2.67	2.67
$A_{CP} (dB)$	8.52	8.52	8.52

이때, 추가 CP 셋이 분산 파일럿과 겹치는 경우에 대해 겹치는 추가 CP 크기는 분산 파일럿 크기에 의해 결정된다.

8.1.4.3. 연속 파일럿 변조

연속 파일럿은 다음과 같이 변조된다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 A_{CP} (1/2 - r_{l,k})$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

8.1.5. 엡지 파일럿 삽입

상대적 부반송파 인덱스 $k=0$ 과 $k=NoC - 1$ 에 삽입되는 엡지 파일럿은 프리앰블 심볼을 제외한 모드 심볼에 적용되며, 분산 파일럿과 동일하게 다음과 같이 변조 및 증

폭된다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 A_{\text{SP}} (1/2 - r_{l,k})$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

8.1.6. 프리앰블 파일럿 삽입

프리앰블 파일럿은 정확한 프리앰블 신호 검출을 위해 부프레임에 삽입되는 분산 파일럿에 비해 상대적으로 많은 파일럿을 삽입한다.

8.1.6.1. 프리앰블 파일럿 위치

프리앰블 파일럿 패턴에서 $D_Y = 1$ 이며, D_X 값은 시그널링 **preamble_structure** 에 의해 수신부에 전달된다. 유효 D_X 값은 부록 G 의 표 G-1 에 정의되며, 각 프리앰블에서 상대적 파일럿 위치 k 는 다음과 같이 정의된다.

$$k \bmod D_X = 0.$$

8.1.6.2. 프리앰블 파일럿 크기

표 8-6은 FFT 크기, 보호구간 길이, 파일럿 패턴에 따른 프리앰블 파일럿 크기 A_{Preamble} 를 정의한다.

표 8-6 FFT 크기, 보호구간 길이, 파일럿 패턴에 따른 프리앰블 파일럿 크기
(A_{Preamble})

FFT Size	GI Length (samples)	Pilot Pattern (D_x)	Power (dB)	Equivalent Amplitude (A_{Preamble})
8K	192	16	5.30	1.841
8K	384	8	3.60	1.514
8K	512	6	2.90	1.396
8K	768	4	1.80	1.230
8K	1024	3	0.90	1.109
8K	1536	4	1.80	1.230
8K	2048	3	0.90	1.109
16K	192	32	6.80	2.188
16K	384	16	5.30	1.841
16K	512	12	4.60	1.698
16K	768	8	3.60	1.514
16K	1024	6	2.90	1.396
16K	1536	4	2.10	1.274
16K	2048	3	1.30	1.161
16K	2432	3	1.30	1.161
16K	3072	4	2.10	1.274
16K	3648	4	2.10	1.274
16K	4096	3	1.30	1.161
32K	192	32	6.80	2.188
32K	384	32	6.80	2.188
32K	512	24	6.20	2.042
32K	768	16	5.30	1.841
32K	1024	12	4.60	1.698
32K	1536	8	4.00	1.585
32K	2048	6	3.20	1.445
32K	2432	6	3.20	1.445
32K	3072	8	4.00	1.585
32K	3072	3	1.30	1.161
32K	3648	8	4.00	1.585
32K	3648	3	1.30	1.161
32K	4096	3	1.30	1.161
32K	4864	3	1.30	1.161

8.1.6.3. 프리앰블 파일럿 변조

프리앰블 파일럿은 다음과 같이 변조된다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 A_{\text{Preamble}} (1/2 - r_{l,k})$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

8.1.7. 부프레임 경계 심볼 파일럿 삽입

부프레임 경계 심볼에 삽입되는 파일럿은 경계 심볼을 제외한 부프레임에 삽입되는

분산 파일럿과 비교시 상대적으로 많은 파일럿을 삽입한다.

8.1.7.1. 부프레임 경계 심볼 파일럿 위치

부프레임 경계 심볼 파일럿은 $k \bmod D_\chi = 0$ ($k = 0, k = NoC - 1$ 제외)를 만족하는 상대적 부반송파 인덱스에 위치하며, 여기서 D_χ 는 분산 파일럿에 정의한 값을 이용한다. $k = 0, k = NoC - 1$ 의 부반송파 인덱스에는 오티 파일럿이 위치한다.

8.1.7.2. 부프레임 경계 심볼 파일럿 크기

부프레임 경계 심볼 파일럿 크기는 분산 파일럿 크기 A_{SP} 을 이용하여 동일하게 증폭된다.

8.1.7.3. 부프레임 경계 심볼 파일럿 변조

부프레임 경계 심볼 파일럿은 다음과 같이 변조된다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 A_{SP} (1/2 - r_{l,k})$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

8.2. MISO

8.2.1. TDCFS

TDCFS (TDCFS: Transmit Diversity Code Filter Set, 전송 다이버시티 코드 필터 셋)는 단일 주파수 네트워크 환경에서 주파수 다이버시티 성능 제공을 위해 다수개의 송신기에서 인위적으로 신호의 위상 정보를 왜곡 (MISO pre-distortion) 시킨 후 전송하는 안테나 기술이다. 그림 8-3은 $N_{TX} \in \{2,3,4\}$ 개의 송신기로 구성된 MISO 전송 블록도를 나타내며 다음과 같은 특징을 지닌다.

- MIMO 기술은 부트스트랩과 프리앰블에는 적용하지 않으며, 부프레임의 OFDM 심볼에만 적용된다.
- MISO 기술 적용 여부는 시그널링 **L1B_first_sub_miso** 와 **L1D_miso** 정보를 통해 수신부에 전달된다.
- 각 송신시스템에서 적용되는 TDCFS 필터 계수 $\Phi_x[k]$ 는 표 H-1 과 H-2 의 시간영역 임펄스 응답 벡터 $h_x[n]$ 에 의해 계산된다.

$$\Phi_x[k] = \exp \left[i \arg \left(\sum_{n=0}^{N_{MISO}-1} h_x[n] e^{-\frac{i2\pi kn}{N_{FFT}^m}} \right) \right], \quad k \in \{0, \dots, N_{OC} - 1\}, x \in \{1, \dots, N_{TX}\}$$

여기서 $\exp(\)$ 는 지수함수이며, $\arg(\)$ 는 복소값의 라디안을 각도로 변환하는 편각 함수이다.

- TDCFS 는 주파수 영역에서 N_{FFT} 길이를 가지는 OFDM 심볼에 다음과 같이 적용된다.

$$c_{x,m,l,k} = \Phi_x[k] c_{m,l,k}, \quad k \in \{0, \dots, N_{OC} - 1\}, x \in \{1, \dots, N_{TX}\}$$

여기서 수식에서 정의된 다양한 파라미터는 다음과 같다.

k : 부반송파 인덱스

l : 부프레임에서 l 번째 OFDM 심볼

m : m 번째 부프레임, $0 \leq m < N_{SF}$

x : 송신기 인덱스, $x \in \{1, \dots, N_{TX}\}$

$c_{m,l,k}$: m 번째 부프레임, l 번째 심볼, k 번째 부반송파에 대한 복소 변조 값

$c_{x,m,l,k}$: x 번째 송신기, m 번째 부프레임, l 번째 심볼, k 번째 부반송파에 대한 포스트-MISO 복소 변조 값

- MISO 기술 적용 여부는 시그널링 **L1B_first_sub_miso** 와 **L1D_miso** 정보를 통해 수신부에 전달된다.

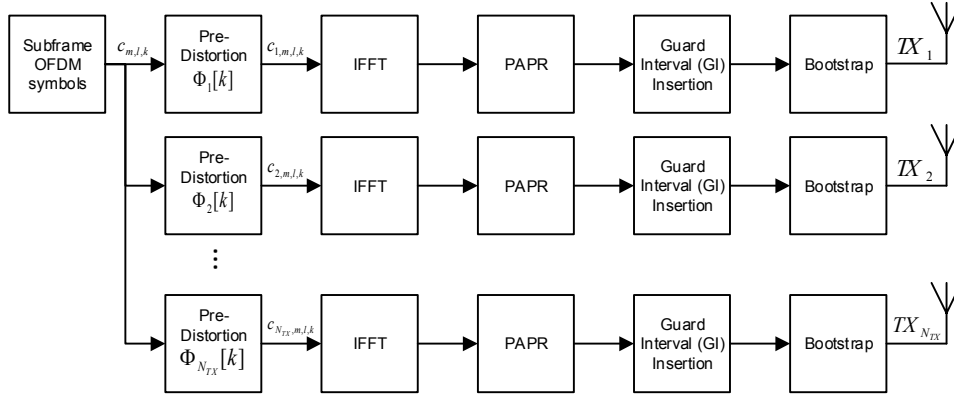


그림 8-3 TDCFS MISO 전송 블록도

8.3. IFFT

송신기로 송출되는 신호는 프레임으로 구성되며, 각 프레임은 부스트랩, 프리앰블 심볼과 부프레임으로 구성된다. 본 절에서는 부프레임내에 전송되는 OFDM 심볼 구조를 기술한다. 프레임내의 부프레임 인덱스는 0부터 m 번째까지 이며, 각 부프레임 m 은 T_{SFm} 길이를 가지며, L_{SFm} 개 OFDM 심볼로 구성된다. 프레임내의 프리앰블 심볼 인덱스는 0부터 $L_{Fp}-1$ 번째까지이며, OFDM 부프레임내의 데이터와 부프레임 경계 심볼의 인덱스는 0부터 $L_{SFm}-1$ 번째이다. 모든 심볼은 데이터와 레퍼런스 정보 (파일럿)를 포함한다. 각 심볼은 유효 데이터 구간과 보호 구간등 2부분으로 구성되며, 이때 심볼 길이 T_{sm} 은 유효 데이터 구간 길이 T_{Um} 과 보호 구간길이 T_{Gm} 합으로 계산된다. 보호 구간은 유효 데이터 구간 전에 삽입한다. FFT 크기와 보호 구간에 따른 조합은 표 8-16과 같다.

IFFT 이후의 기저대역 시간영역에서의 송출 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\sum_{l=0}^{L_{Fp}-1} \frac{1}{\sqrt{P_{preamble, l}}} \sum_{k=0}^{NoC_{P,l}-1} c_{l,k} \times \psi_{l,k}(t) + \sum_{m=0}^{N_{SF}-1} \frac{1}{\sqrt{P_{data, m}}} \sum_{l=0}^{L_{SFm}-1} \sum_{k=0}^{NoC_m-1} c_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t)$$

여기서 부반송파 인덱스 k 는 $k \in [0; NoC - 1]$ 범위에서 정의되며, 인접한 부반송파 간 거리는 $1/T_U$, 부반송파 인덱스 0에서 NoC 까지 거리는 $(NoC-1)/T_U$ 로 정의된다. 또한 함수 $\psi_{l,k}(t)$, $\psi_{m,l,k}(t)$ 는 다음과 같다.

$$\psi_{l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_{Up}}(t-T_{BS}-T_{Gp}-lT_{Sp})} & T_{BS} + lT_{Sp} \leq t < T_{BS} + (l+1)T_{Sp} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k'}{T_{Um}}(t-T_{BS}-T_P-T_{Gm}-lT_{Sm}-\sum T_{SFm})} & T_{BS} + T_P + \sum T_{SFm} + lT_{Sm} \leq t < T_{BS} + T_P + \sum T_{SFm} + (l+1)T_{Sm} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

상기 두 수식에서 다양한 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

k	부반송파 인덱스
l	부프레임에서 l 번째 OFDM 심볼
m	m 번째 부프레임
k'	중심 주파수 기준 상대적 부반송파 인덱스, $k' = k - (NoC - 1) / 2$
$c_{l,k}$	l 번째 프리앰블 심볼, k 번째 부반송파에 대한 복소 변조 값
$c_{m,l,k}$	m 번째 부프레임, l 번째 심볼, k 번째 부반송파에 대한 복소 변조 값
NoC_{Pl}	$l+1$ 번째 프리앰블 심볼의 전송 부반송파 개수
NoC_m	m 번째 부프레임, 전송 부반송파 개수, 표 8-16 정의
L_{SFm}	m 번째 부프레임내 부프레임 경계 심볼과 데이터 개수
L_{Fp}	프리앰블내 OFDM 심볼 개수
T_{Sm}	m 번째 부프레임 OFDM 심볼 길이, $T_{Sm} = T_{Um} + T_{Gm}$

T_{Um}	m 번째 부프레임 OFDM 심볼에서 유효 데이터 심볼 길이, 표 8-16 정의
T_{Gm}	m 번째 부프레임 OFDM 심볼에서 보호 구간 길이
T_{BS}	부스트랩 길이
T_P	전체 프리앰블 길이, $T_P = L_{Fp} \times T_{Sp}$
T_{Sp}	프리앰블 OFDM 심볼 길이, $T_{Sp} = T_{Up} + T_{Gp}$
T_{Up}	프리앰블 OFDM 심볼에서 유효 데이터 심볼 길이
T_{Gp}	프리앰블 OFDM 심볼에서 보호 구간 길이
T_{SFm}	m 번째 부프레임내 부프레임 경계 심볼과 데이터 심볼 전체 길이
$\sum T_{SFm}$	0부터 $m-1$ 번째 부프레임의 전체 길이의 합
N_{SF}	프레임내 부프레임 인덱스
$\sum T_{SFm}$	프리앰블 OFDM 심볼 길이, $T_{Sp} = T_{Up} + T_{Gp}$
$P_{\text{preamble}, l}$	주파수 영역에서의 $l+1$ 번째 프리앰블 전체 전력
$P_{\text{data}, m}$	주파수 영역에서의 m 번째 부프레임내 부프레임 경계 심볼과 각 데이터 전체 전력

OFDM 심볼 전력은 파형 파라미터(FFT 크기, 분산 파일럿 패턴, 분산 파일럿의 크기, 부반송파의 수)에 의해서 변화하므로, 파형 파라미터에 따라서 다른 IFFT 전력 정규화 값을 사용해야 한다. 이때, IFFT 전력 정규화 값은 파형 파라미터에 상관없이 시간 영역 신호의 평균 전력을 1로 정규화한다. 프리앰블 구간에서의 IFFT 전력 정규화 값은 $1/\sqrt{P_{\text{preamble}, l}}$ 으로 나타낼 수 있으며, 주파수 영역에서의 프리앰블 심볼 전체 전력값 ($P_{\text{preamble}, l}$)은 표 8-7과 같이 정의된다. 또한, 데이터 심볼 및 부프레임 경계 심볼 구간에서의 IFFT 전력 정규화 값은 $1/\sqrt{P_{\text{data}, m}}$ 으로 나타낼 수 있으며, 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{\text{data}, m}$)은 표 8-8 부터 표 8-12에 의해서 정의된다.

표 8-7 주파수 영역에서의 프리앰블 심볼 전체 전력값 ($P_{\text{preamble},i}$)

FFT Size	GI Length (samples)	Pilot Pattern (D_x)	P_{preamble} (FD total power)				
			Cred_coeff 0	Cred_coeff 1	Cred_coeff 2	Cred_coeff 3	Cred_coeff 4
8K	2048	3	7737.10	7633.73	7524.25	7414.77	7305.30
8K	1536	4	8094.28	7985.96	7871.52	7757.08	7642.65
8K	1024	3	7737.10	7633.73	7524.25	7414.77	7305.30
8K	768	4	8094.28	7985.96	7871.52	7757.08	7642.65
16K	4096	3	15472.98	15266.24	15041.17	14828.32	14609.36
16K	3648	4	16561.26	16339.42	16099.24	15871.28	15637.21
16K	2432	3	16020.04	15805.70	15573.04	15352.59	15126.04
16K	1536	4	16187.05	15970.40	15735.41	15512.65	15283.78
16K	1024	6	16601.06	16378.66	16137.94	15909.43	15674.81
16K	768	8	16643.58	16420.60	16179.28	15950.19	15714.99
32K	4864	3	32038.72	31610.06	31144.72	30703.83	30250.72
32K	3648	3	32038.72	31610.06	31144.72	30703.83	30250.72
32K	3648	8	34048.92	33592.35	33099.12	32630.32	32149.31
32K	2432	6	33842.90	33389.18	32898.80	32432.87	31954.71
32K	1536	8	33284.86	32838.90	32356.27	31898.09	31427.68
32K	1024	12	33165.03	32720.74	32239.78	31783.27	31314.54
32K	768	16	32951.95	32510.63	32032.64	31579.09	31113.33

표 8-8 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{\text{data},m}$)when $C_{\text{red_coeff}}=0$

FFT Size	Pilot Pattern	L1_scattered_pilot_boost				
		000	001	010	011	100
8K	SP3_2	7206.33	7206.33	7646.12	7967.68	8302.73
	SP3_4	7206.33	7427.12	7757.73	8018.64	8223.83
	SP4_2	7206.33	7335.49	7745.44	8069.14	8324.24
	SP4_4	7206.33	7477.44	7769.24	7971.39	8181.27
	SP6_2	7206.33	7463.93	7809.46	8080.54	8295.62
	SP6_4	7206.33	7497.87	7737.93	7927.21	8077.51
	SP8_2	7206.33	7492.88	7814.32	8024.02	8243.34
	SP8_4	7206.33	7490.93	7698.42	7862.96	7992.15
	SP12_2	7206.33	7522.86	7773.18	7969.29	8125.67
	SP12_4	7206.33	7475.54	7648.41	7783.36	7891.04
	SP16_2	7206.33	7512.03	7727.53	7897.38	8031.80
	SP16_4	7206.33	7466.13	7618.63	7738.99	7835.14
	SP24_2	7206.33	7491.23	7669.09	7809.50	7920.09
	SP24_4	7206.33	7440.66	7568.35	7669.30	7748.41
	SP32_2	7206.33	7477.75	7635.15	7744.12	7857.61
	SP32_4	7206.33	7420.32	7532.04	7620.18	7690.50
16K	SP3_2	14411.67	14411.67	15288.86	15932.70	16602.50
	SP3_4	14411.67	14851.86	15510.50	16028.89	16439.91
	SP4_2	14411.67	14668.83	15488.26	16134.29	16645.20
	SP4_4	14411.67	14952.26	15532.20	15935.04	16353.30
	SP6_2	14411.67	14926.41	15613.87	16156.56	16586.36
	SP6_4	14411.67	14989.75	15467.04	15842.95	16141.04
	SP8_2	14411.67	14983.09	15623.25	16044.16	16480.28
	SP8_4	14411.67	14974.58	15386.60	15711.94	15968.72
	SP12_2	14411.67	15041.63	15540.41	15932.96	16244.17
	SP12_4	14411.67	14943.26	15282.84	15550.82	15762.46

32K	SP16_2	14411.67	15019.66	15448.67	15787.59	16055.82
	SP16_4	14411.67	14920.95	15221.58	15458.22	15645.66
	SP24_2	14411.67	14978.51	15331.00	15609.88	15830.29
	SP24_4	14411.67	14867.25	15115.96	15311.51	15466.70
	SP32_2	14411.67	14950.04	15261.41	15477.36	15702.29
	SP32_4	14411.67	14823.96	15040.47	15210.22	15345.66
	SP3_2	28822.33	28822.33	30576.34	31863.75	33202.05
	SP3_4	(28822.33)	(29700.34)	(31015.05)	(32051.38)	(32872.06)
	SP4_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP4_4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP6_2	28822.33	29850.37	31224.70	32309.62	33167.83
	SP6_4	(28822.33)	(29973.50)	(30925.26)	(31675.43)	(32269.09)
	SP8_2	28822.33	29963.53	31243.10	32082.43	32955.18
	SP8_4	(28822.33)	(29942.86)	(30763.97)	(31410.90)	(31921.87)
	SP12_2	28822.33	30080.16	31074.87	31858.28	32479.17
	SP12_4	(28822.33)	(29877.71)	(30551.70)	(31083.74)	(31504.30)
	SP16_2	28822.33	30033.92	30890.95	31567.00	32101.85
	SP16_4	(28822.33)	(29830.59)	(30426.47)	(30895.69)	(31267.72)
	SP24_2	28822.33	29951.08	30654.84	31209.63	31648.70
	SP24_4	(28822.33)	(29720.43)	(30211.16)	(30597.95)	(30904.27)
	SP32_2	28822.33	29893.61	30514.92	30944.83	31391.67
	SP32_4	(28822.33)	(29632.24)	(30056.33)	(30391.32)	(30655.98)

표 8-9 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{data,m}$)when $C_{red_coeff}=1$

FFT Size	Pilot Pattern	L1_scattered_pilot_boost				
		000	001	010	011	100
8K	SP3_2	7110.33	7110.33	7543.95	7861.57	8191.33
	SP3_4	7110.33	7327.95	7654.33	7910.88	8114.70
	SP4_2	7110.33	7236.94	7641.52	7961.26	8213.26
	SP4_4	7110.33	7378.52	7666.26	7865.29	8072.61
	SP6_2	7110.33	7364.80	7704.79	7972.35	8184.48
	SP6_4	7110.33	7397.95	7634.83	7821.73	7969.81
	SP8_2	7110.33	7392.96	7709.54	7917.41	8132.67
	SP8_4	7110.33	7391.44	7595.59	7758.19	7885.30
	SP12_2	7110.33	7422.14	7668.57	7863.25	8017.32
	SP12_4	7110.33	7375.99	7546.56	7680.17	7786.06
	SP16_2	7110.33	7411.63	7624.20	7792.37	7925.08
	SP16_4	7110.33	7363.26	7511.56	7629.46	7721.49
	SP24_2	7110.33	7391.43	7567.41	7704.99	7814.54
	SP24_4	7110.33	7341.37	7467.34	7566.98	7645.90
	SP32_2	7110.33	7377.35	7531.46	7638.46	7749.85
	SP32_4	7110.33	7313.29	7419.22	7502.79	7569.50
16K	SP3_2	14219.67	14219.67	15085.51	15720.49	16379.71
	SP3_4	14219.67	14653.51	15302.71	15814.36	16219.64
	SP4_2	14219.67	14472.72	15281.42	15918.52	16422.23
	SP4_4	14219.67	14752.42	15325.23	15721.83	16133.97
	SP6_2	14219.67	14727.15	15405.54	15941.18	16364.07
	SP6_4	14219.67	14789.90	15259.85	15632.00	15925.64
	SP8_2	14219.67	14783.26	15414.68	15828.94	16259.96

	SP8_4	14219.67	14775.60	15181.94	15502.39	15756.02
	SP12_2	14219.67	14841.20	15332.19	15719.86	16026.47
	SP12_4	14219.67	14744.17	15079.15	15342.45	15551.49
	SP16_2	14219.67	14818.87	15242.01	15576.56	15840.38
	SP16_4	14219.67	14722.22	15018.45	15252.17	15436.38
	SP24_2	14219.67	14777.90	15126.65	15400.85	15618.19
	SP24_4	14219.67	14668.66	14913.92	15107.88	15260.67
	SP32_2	14219.67	14750.23	15058.02	15271.03	15492.78
	SP32_4	14219.67	14620.90	14830.83	14997.45	15128.66
32K	SP3_2	28438.33	28438.33	30167.65	31437.32	32756.47
	SP3_4	(28438.33)	(29304.65)	(30600.47)	(31622.33)	(32431.52)
	SP4_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP4_4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP6_2	28438.33	29451.86	30808.03	31876.86	32723.26
	SP6_4	(28438.33)	(29573.80)	(30511.88)	(31251.52)	(31837.30)
	SP8_2	28438.33	29563.87	30824.95	31653.00	32513.53
	SP8_4	(28438.33)	(29543.90)	(30352.64)	(30990.81)	(31495.47)
	SP12_2	28438.33	29678.30	30659.43	31433.10	32044.77
	SP12_4	(28438.33)	(29478.52)	(30144.31)	(30668.01)	(31083.35)
	SP16_2	28438.33	29633.34	30478.63	31144.96	31671.98
	SP16_4	(28438.33)	(29433.12)	(30020.22)	(30483.58)	(30850.16)
	SP24_2	28438.33	29550.86	30245.14	30792.57	31225.49
	SP24_4	(28438.33)	(29324.25)	(29808.09)	(30189.68)	(30492.22)
	SP32_2	28438.33	29495.00	30107.15	30531.17	30971.65
	SP32_4	(28438.33)	(29237.11)	(29655.05)	(29985.78)	(30246.99)

표 8-10 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{data,m}$)when $C_{red_coeff}=2$

FFT Size	Pilot Pattern	L1_scattered_pilot_boost				
		000	001	010	011	100
8K	SP3_2	7008.22	7008.22	7435.66	7748.36	8074.82
	SP3_4	7008.22	7223.66	7544.82	7798.01	7998.45
	SP4_2	7008.22	7133.27	7532.48	7846.26	8095.17
	SP4_4	7008.22	7272.48	7556.17	7752.08	7956.83
	SP6_2	7008.22	7258.56	7594.01	7858.05	8067.22
	SP6_4	7008.22	7290.91	7525.63	7709.14	7855.00
	SP8_2	7008.22	7286.93	7598.64	7803.69	8016.90
	SP8_4	7008.22	7284.84	7487.64	7646.30	7773.33
	SP12_2	7008.22	7316.32	7558.85	7751.09	7901.86
	SP12_4	7008.22	7270.34	7437.60	7569.88	7674.96
	SP16_2	7008.22	7305.13	7514.76	7680.24	7811.25
	SP16_4	7008.22	7260.28	7409.39	7526.82	7619.74
	SP24_2	7008.22	7285.51	7458.63	7595.36	7702.87
	SP24_4	7008.22	7235.96	7360.21	7458.55	7536.28
	SP32_2	7008.22	7272.84	7425.66	7531.68	7641.99
	SP32_4	7008.22	7211.14	7317.29	7400.29	7467.39
16K	SP3_2	14009.33	14009.33	14862.84	15488.94	16139.59
	SP3_4	14009.33	14437.84	15077.59	15582.50	15982.03
	SP4_2	14009.33	14259.28	15055.24	15683.41	16180.94
	SP4_4	14009.33	14534.24	15098.94	15490.30	15897.32

	SP6_2	14009.33	14509.56	15178.87	15706.47	16123.45
	SP6_4	14009.33	14570.72	15035.33	15401.71	15690.92
	SP8_2	14009.33	14565.10	15187.77	15596.39	16021.30
	SP8_4	14009.33	14557.28	14957.94	15273.51	15523.99
	SP12_2	14009.33	14622.43	15106.64	15488.44	15790.44
	SP12_4	14009.33	14526.74	14856.11	15116.75	15323.18
	SP16_2	14009.33	14599.75	15018.01	15347.20	15607.61
	SP16_4	14009.33	14504.15	14796.99	15026.78	15209.77
	SP24_2	14009.33	14559.96	14902.97	15174.49	15388.75
	SP24_4	14009.33	14452.74	14694.55	14884.91	15036.31
	SP32_2	14009.33	14533.10	14836.30	15046.37	15264.94
	SP32_4	14009.33	14410.50	14620.85	14786.35	14918.33
32K	SP3_2	28017.67	28017.67	29723.29	30974.22	32275.22
	SP3_4	(28017.67)	(28871.29)	(30149.22)	(31157.61)	(31954.31)
	SP4_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP4_4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP6_2	28017.67	29016.68	30353.69	31407.43	32242.01
	SP6_4	(28017.67)	(29136.44)	(30061.84)	(30791.94)	(31368.85)
	SP8_2	28017.67	29127.54	30371.14	31186.90	32035.22
	SP8_4	(28017.67)	(29107.27)	(29905.65)	(30534.05)	(31032.40)
	SP12_2	28017.67	29240.78	30207.33	30970.25	31573.71
	SP12_4	(28017.67)	(29043.66)	(29699.25)	(30216.61)	(30625.74)
	SP16_2	28017.67	29196.10	30029.64	30686.24	31206.44
	SP16_4	(28017.67)	(28997.98)	(29577.29)	(30033.81)	(30395.92)
	SP24_2	28017.67	29114.97	29798.77	30338.84	30765.60
	SP24_4	(28017.67)	(28891.40)	(29368.35)	(29744.74)	(30042.50)
	SP32_2	28017.67	29059.72	29662.71	30080.84	30515.97
	SP32_4	(28017.67)	(28805.32)	(29218.10)	(29543.57)	(29801.34)

표 8-11 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{data,m}$)when $C_{red_coeff}=3$

FFT Size	Pilot Pattern	L1_scattered_pilot_boost				
		000	001	010	011	100
8K	SP3_2	6906.11	6906.11	7327.38	7636.14	7957.32
	SP3_4	6906.11	7118.38	7434.32	7684.13	7882.20
	SP4_2	6906.11	7029.60	7422.45	7732.26	7978.08
	SP4_4	6906.11	7166.45	7446.08	7639.87	7841.06
	SP6_2	6906.11	7153.32	7484.23	7743.75	7949.97
	SP6_4	6906.11	7184.88	7415.42	7597.55	7741.20
	SP8_2	6906.11	7180.91	7488.74	7689.97	7900.13
	SP8_4	6906.11	7179.24	7378.70	7535.42	7660.37
	SP12_2	6906.11	7209.49	7449.13	7637.93	7787.40
	SP12_4	6906.11	7164.68	7329.64	7460.59	7562.86
	SP16_2	6906.11	7198.63	7405.31	7569.12	7698.43
	SP16_4	6906.11	7151.31	7296.21	7410.19	7500.99
	SP24_2	6906.11	7179.60	7349.84	7484.74	7591.21
	SP24_4	6906.11	7130.55	7254.08	7350.12	7426.65
	SP32_2	6906.11	7165.32	7315.85	7419.91	7528.12
	SP32_4	6906.11	7109.00	7215.35	7298.80	7365.28
16K	SP3_2	13811.22	13811.22	14652.38	15269.62	15910.69

	SP3_4	13811.22	14233.38	14863.69	15361.87	15755.65
	SP4_2	13811.22	14057.06	14842.28	15461.53	15951.87
	SP4_4	13811.22	14329.28	14885.87	15270.98	15671.88
	SP6_2	13811.22	14304.20	14963.42	15483.98	15895.05
	SP6_4	13811.22	14364.76	14823.03	15183.64	15469.41
	SP8_2	13811.22	14359.16	14973.09	15375.06	15793.87
	SP8_4	13811.22	14351.19	14746.17	15057.86	15304.17
	SP12_2	13811.22	14414.89	14892.31	15269.23	15567.63
	SP12_4	13811.22	14320.54	14646.31	14903.28	15106.09
	SP16_2	13811.22	14393.85	14805.24	15130.07	15387.07
	SP16_4	13811.22	14299.30	14587.75	14814.62	14994.37
	SP24_2	13811.22	14354.24	14692.51	14959.35	15170.53
	SP24_4	13811.22	14248.04	14486.41	14675.16	14824.17
	SP32_2	13811.22	14327.18	14626.80	14832.92	15048.32
	SP32_4	13811.22	14201.32	14406.10	14567.47	14695.23
32K	SP3_2	27621.44	27621.44	29302.38	30535.58	31818.42
	SP3_4	(27621.44)	(28463.38)	(29723.42)	(30716.34)	(31502.55)
	SP4_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP4_4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP6_2	27621.44	28605.95	29923.80	30963.45	31785.21
	SP6_4	(27621.44)	(28724.52)	(29636.24)	(30355.81)	(30924.84)
	SP8_2	27621.44	28715.66	29940.78	30745.24	31582.35
	SP8_4	(27621.44)	(28696.09)	(29482.10)	(30101.74)	(30592.78)
	SP12_2	27621.44	28826.70	29779.67	30531.84	31126.09
	SP12_4	(27621.44)	(28633.25)	(29279.63)	(29788.66)	(30192.56)
	SP16_2	27621.44	28783.31	29604.09	30251.97	30764.35
	SP16_4	(27621.44)	(28588.29)	(29158.82)	(29609.48)	(29966.13)
	SP24_2	27621.44	28702.53	29377.85	29909.56	30330.17
	SP24_4	(27621.44)	(28483.00)	(28953.06)	(29324.25)	(29618.22)
	SP32_2	27621.44	28647.89	29243.71	29655.96	30083.72
	SP32_4	(27621.44)	(28397.97)	(28804.59)	(29125.81)	(29380.12)

표 8-12 주파수 영역에서의 부프레임 경계 심볼과 데이터 전체 전력 ($P_{data,m}$)
when $C_{red_coeff}=4$

FFT Size	Pilot Pattern	L1_scattered_pilot_boost				
		000	001	010	011	100
8K	SP3_2	6804.00	6804.00	7219.10	7523.92	7839.81
	SP3_4	6804.00	7013.10	7324.81	7571.26	7765.96
	SP4_2	6804.00	6925.93	7313.42	7618.26	7859.99
	SP4_4	6804.00	7060.42	7335.99	7527.66	7725.28
	SP6_2	6804.00	7048.08	7373.45	7630.44	7832.71
	SP6_4	6804.00	7078.84	7306.22	7485.96	7627.39
	SP8_2	6804.00	7074.88	7377.85	7577.25	7783.36
	SP8_4	6804.00	7072.64	7269.76	7424.54	7547.41
	SP12_2	6804.00	7102.67	7339.41	7525.78	7672.94
	SP12_4	6804.00	7059.02	7221.68	7350.29	7451.76
	SP16_2	6804.00	7093.12	7296.87	7457.00	7584.60
	SP16_4	6804.00	7049.33	7194.04	7308.55	7399.24
	SP24_2	6804.00	7073.68	7242.05	7374.11	7479.54
	SP24_4	6804.00	7026.15	7146.95	7242.69	7318.03

	SP32_2	6804.00	7060.81	7210.05	7313.13	7420.25
	SP32_4	6804.00	7006.86	7112.42	7196.30	7263.17
16K	SP3_2	13607.00	13607.00	14435.81	15044.18	15676.67
	SP3_4	13607.00	14022.81	14644.67	15135.12	15523.16
	SP4_2	13607.00	13849.72	14623.21	15233.53	15716.68
	SP4_4	13607.00	14117.21	14665.68	15045.56	15441.33
	SP6_2	13607.00	14092.72	14742.86	15255.38	15661.54
	SP6_4	13607.00	14152.69	14603.62	14959.46	15240.79
	SP8_2	13607.00	14147.11	14751.29	15148.62	15561.33
	SP8_4	13607.00	14138.99	14528.28	14836.09	15078.25
	SP12_2	13607.00	14202.24	14672.87	15043.92	15337.71
	SP12_4	13607.00	14109.22	14430.39	14683.69	14883.90
	SP16_2	13607.00	14180.85	14586.36	14906.82	15159.41
	SP16_4	13607.00	14088.34	14372.40	14596.34	14773.87
	SP24_2	13607.00	14142.41	14475.94	14739.09	14947.20
	SP24_4	13607.00	14038.22	14273.15	14458.30	14605.93
	SP32_2	13607.00	14116.15	14410.20	14614.37	14826.59
	SP32_4	13607.00	13997.04	14202.24	14363.48	14491.01
32K	SP3_2	27213.00	27213.00	28869.25	30085.70	31349.40
	SP3_4	(27213.00)	(28042.25)	(29284.40)	(30262.84)	(31037.56)
	SP4_2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP4_4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	SP6_2	27213.00	28184.00	29482.69	30506.24	31317.19
	SP6_4	(27213.00)	(28300.38)	(29199.42)	(29907.46)	(30468.61)
	SP8_2	27213.00	28291.55	29499.19	30292.36	31116.26
	SP8_4	(27213.00)	(28271.68)	(29047.33)	(29658.20)	(30141.93)
	SP12_2	27213.00	28400.40	29340.78	30081.21	30667.25
	SP12_4	(27213.00)	(28209.62)	(28846.79)	(29349.48)	(29747.17)
	SP16_2	27213.00	28357.29	29167.33	29805.48	30311.03
	SP16_4	(27213.00)	(28165.37)	(28728.11)	(29171.93)	(29523.12)
	SP24_2	27213.00	28278.87	28943.71	29468.06	29882.51
	SP24_4	(27213.00)	(28061.37)	(28525.54)	(28891.53)	(29180.72)
	SP32_2	27213.00	28224.84	28811.49	29217.85	29640.26
	SP32_4	(27213.00)	(27978.40)	(28379.87)	(28695.83)	(28946.69)

OFDM 파라미터는 표 8-14에 정의된다. 다양한 시간 관련 파라미터에 대한 값은 기본 시간 길이(elementary period) $T(\mu s)$ 의 정수 배로 표현되며 다음과 같이 정의된다.

$$1/(0.384\text{MHz} * (16 + \text{bsr_coefficient}))$$

여기서 파라미터 **bsr_coefficient** 는 표 9.1에 정의되며, 6MHz 대역폭에 대한 T 의 값은 표 8-13에 정의된다.

표 8-13 6MHz 대역폭에 대한 T 의 값

Bandwidth	6 MHz
Elementary period $T(\mu s)$	1/6.912 us

표 8-14 OFDM 파라미터

Parameter		8K FFT	16K FFT	32K FFT
Number of carriers <i>NoC</i>	<i>C_{red_coeff}</i> = 0	6913	13825	27649
	<i>C_{red_coeff}</i> = 1	6817	13633	27265
	<i>C_{red_coeff}</i> = 2	6721	13441	26881
	<i>C_{red_coeff}</i> = 3	6625	13249	26497
	<i>C_{red_coeff}</i> = 4	6529	13057	26113
Duration <i>T_U</i>		8192 T	16384 T	32768 T
Duration <i>T_U</i> (μs) (see note 1 and 2)		<i>1185.185</i>	<i>2370.370</i>	<i>4740.741</i>
Carrier spacing 1/ <i>T_U</i> (Hz) (see note 2)		843.75	421.875	210.9375
Spacing between carriers 0 and <i>NoC</i> - 1 (<i>NoC</i> -1)/ <i>T_U</i> (MHz) (see note 2)	<i>C_{red_coeff}</i> = 0	5.832	5.832	5.832
	<i>C_{red_coeff}</i> = 1	5.751	5.751	5.751
	<i>C_{red_coeff}</i> = 2	5.670	5.670	5.670
	<i>C_{red_coeff}</i> = 3	5.589	5.589	5.589
	<i>C_{red_coeff}</i> = 4	5.508	5.508	5.508
NOTE 1: Numerical values in italics are approximate values.				
NOTE 2: Values for 6 MHz channels.				

8.4. PAPR

OFDM 신호 출력의 평균 전력 대 첨두 전력비 (PAPR)를 감소시키기 위해서 8.4.1절에 설명된 톤 예약(TR) 또는 8.4.2절에 설명된 ACE 기술을 사용하여 전송 신호를 수정한다. PAPR 이후에 보호 구간 삽입 과정이 수행된다.

8.4.1. 톤 예약

TR이 활성화 되면, 일부 OFDM 부반송파는 출력 파형에서 PAPR를 감소시키기 위해서 사용되는 셀로 할당된다. 이러한 셀은 페이로드 데이터 또는 시그널링 정보를 포함하지 않는다.

프리앰블, 데이터 및 부프레임 경계 심볼에서 PAPR 예약 톤 색인은 표 F-2와 표 F-3에 정의되어 있다.

데이터 OFDM 심볼의 색인에 따라서 지정된 테이블의 색인 또는 이러한 값의 순환 시프트 값이 사용된다. 순환 시프트의 양은 D_x 및 D_y 간격 파일럿에 따라 변경된다. 색인 l 에 대응되는 데이터 심볼에서 예약 톤의 색인 s_l 은 다음과 같이 계산한다.

$$S_l = i_k + D_X * (l \bmod D_Y), i_n \in S_0, 0 \leq n < N_{TR}, d_0 \leq l \leq d_{end}$$

여기서, S_0 는 지정된 표에 정의된 부반송파 색인에 대응하는 예약 톤의 집합을 나타내며 N_{TR} 은 OFDM 심볼 당 예약 톤의 개수를 나타낸다. 또한, d_0 는 부프레임의 첫 번째 OFDM 심볼의 색인을 나타내고 d_{end} 는 최종 데이터 심볼의 색인을 나타낸다.

8.4.2. ACE

ACE 알고리즘은 전송된 성상점을 변형하여 PAPR를 감소시킨다. ACE 기술은 파일럿 또는 예약 톤에는 적용하지 않는다. ACE는 LDM, MISO 또는 MIMO와 함께 사용하지 않는다. ACE 알고리즘에 대한 예제를 부록 K.3절에 나타내었다.

8.5. 보호 구간

표 8-15는 각 FFT 모드에서 유효한 보호구간을 절대적 샘플길이로 정의한다.

표 8-15 보호구간 샘플 길이

GI Pattern	Duration in Samples	8K FFT	16K FFT	32K FFT
GI1_192	192	✓	✓	✓
GI2_384	384	✓	✓	✓
GI3_512	512	✓	✓	✓
GI4_768	768	✓	✓	✓
GI5_1024	1024	✓	✓	✓
GI6_1536	1536	✓	✓	✓
GI7_2048	2048	✓	✓	✓
GI8_2432	2432		✓	✓
GI9_3072	3072		✓	✓
GI10_3648	3648		✓	✓
GI11_4096	4096		✓	✓
GI12_4864	4864			✓

8.5.1. 시간 정렬 프레임을 위한 보호 구간 확장

보호구간 확장은 시간 정렬 프레임에 적용되며, 전체 유효 프레임 길이가 시그널링 되는 프레임 길이와 같아지도록 표 8-15에 보여지는 보호 구간 샘플 이외에 추가적인 보호 구간 샘플을 고려하여 실제 보호 구간을 확장하는 기법이다. 이때 추가적으로 고려

되는 보호 구간 샘플은 프레임내에서 프리앰블을 제외한 OFDM 심볼에 균등하게 분배되며, 결과적으로 부프레임내 모든 OFDM 심볼은 같은 보호 구간 길이를 갖는다. 다음은 추가적인 보호 구간 샘플량을 산출하는 알고리즘에 대한 기술이다.

- $T_{bootstrap}$: 현재 프레임에 대한 부트스트랩의 전체 시간 길이 (sec)
- T_{frame} : 전체 프레임의 시간 길이 (sec)
- BSR : 부트스트랩을 제외한 프레임 기저대역 샘플링 율 (MSamples/s)
- $N_{sym\ bol}^{pream\ bl}$: 프리앰블 심볼 개수
- $N_{FFT}^{pream\ bl}$: 프리앰블의 FFT 크기
- $N_{GI}^{pream\ bl}$: 프리앰블의 보호 구간 샘플 길이
- N_{sub} : 프레임내 부프레임 개수
- $N_{sym\ bol}^k$: k 번째 부프레임에서 OFDM 심볼 개수 (부프레임 경계 심볼 포함)
- N_{FFT}^k : k 번째 부프레임의 FFT 크기
- N_{GI}^k : k 번째 부프레임의 보호 구간 샘플 길이
- N_{extra} : 전체 유효 프레임 길이가 시그널링되는 프레임 길이와 같아지기 위해 추가적으로 고려되는 보호 구간의 전체 길이

$$N_{extra} = (T_{frame} - T_{bootstrap}) \times BSR - N_{sym\ bol}^{pream\ bl} \times (N_{FFT}^{pream\ bl} + N_{GI}^{pream\ bl}) - \sum_{k=1}^{N_{sub}} N_{sym\ bol}^k \times (N_{FFT}^k + N_{GI}^k)$$

- $N_{sym\ bol} = \sum_{k=1}^{N_{sub}} N_{sym\ bol}^k$: 프리앰블을 제외한 프레임내 전체 OFDM 심볼 개수

프리앰블을 제외한 프레임내 전체 OFDM 심볼에 할당되는 추가 보호 구간 길이는 $\text{floor}(N_{extra} / N_{sym\ bol})$ 이며, 추가 보호 구간 삽입 과정은 그림 8-4와 같다.

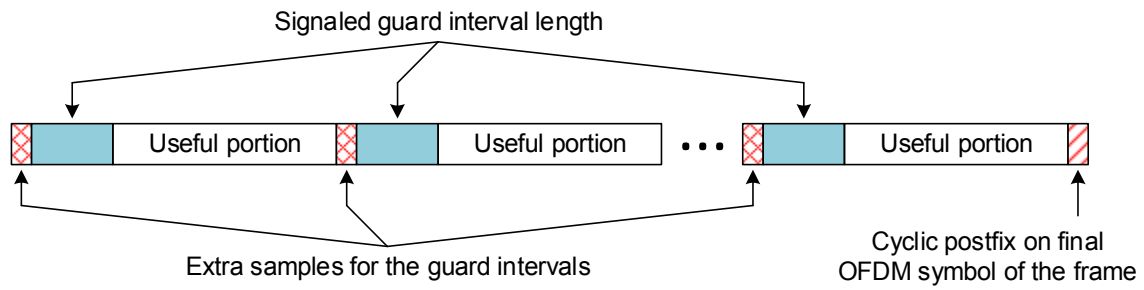


그림 8-4 프리앰블을 제외한 프레임내 추가 보호 구간 삽입 과정 설명

상기 추가 보호 구간 삽입 과정을 통해 처리되고 남은 기타 샘플 ($N_{extra} \bmod N_{symbol}$)에 대해서는 프레임 내 마지막 부프레임의 마지막 OFDM 심볼에 그림 8-5와 같이 삽입된다.

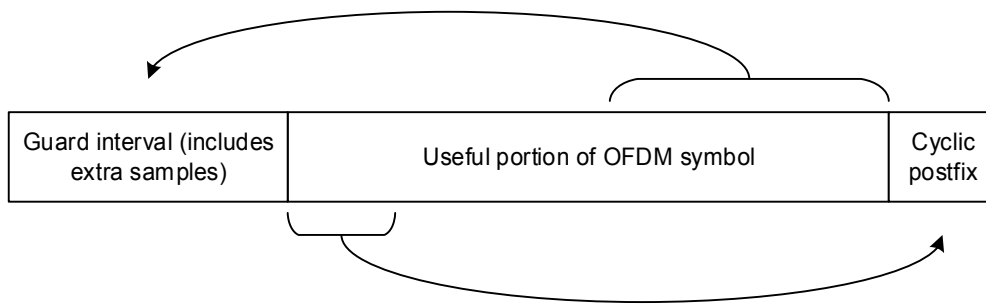


그림 8-5 프레임내 마지막 부프레임의 마지막 OFDM 심볼에 삽입되는 기타 보호 구간 샘플 삽입 과정

9. L1 시그널링

L1 시그널링은 물리계층 파라미터 구성을 위해 필요한 정보를 제공한다. 'L1'은 계층1(Layer-1)을 의미하며 ISO 7계층 중 최하위이다. L1 시그널링은 9.1절 부트스트랩, 9.2절 L1-Basic, 9.3절 L1-Detail의 3절로 구성된다. L1-Basic과 L1-Detail은 프리앰블 심볼로 전달된다.

'L1-Basic'은 전체 프레임에 대해 고정적인 가장 기본적인 시스템 시그널링 정보이며 L1-Detail 디코딩에 필요한 파라미터를 정의한다. L1-Basic의 길이는 200비트로 고정이다.

'L1-Detail'은 데이터 컨텍스트와 이의 디코딩에 필요한 정보를 자세하게 정의한다. L1-Detail 시그널링의 길이는 가변이다.

9.1. 부트스트랩

이 절은 본 표준이 지원하는 기능을 표현하기 위한 부트스트랩 심볼의 내용을 정의한다. 9.1.1절은 버전을 정의하고, 9.1.2절, 9.1.3절, 9.1.4절은 각각 부트스트랩 심볼의 내용을 정의한다. 보다 자세한 내용은 10장에 기술된다.

9.1.1. 버전

현재 버전에서 `bootstrap_major_version` 은 본 물리계층 규격의 정의와 같이 0이고, `bootstrap_minor_version`은 본 물리계층 규격의 정의와 같이 0 이다.

9.1.2. 부트스트랩 심볼 1

부트스트랩 심볼1의 내용에 대한 규정과 의미는 10장에 자세히 기술된다.

9.1.3. 부트스트랩 심볼 2

10장에 정의된 **bsr_coefficient**의 값은 표 9-1 의 값 중 하나이고, 해당 방사대역폭을 따른다.

표 9-1 **bsr_coefficient** 의값

bsr_coefficient	Applicability
-----------------	---------------

bsr_coefficient	Applicability
2	6 MHz 대역폭
5	7 MHz 대역폭
8	8 MHz 대역폭

9.1.4. 부트스트랩 심볼 3

10장에 정의된 preamble_structure는 표 G-1의 값을 따른다.

9.2. L1-Basic 데이터 구문

L1-Basic 시그널링 필드의 구문과 의미가 표 9-2와 아래 세부 항목에 정의되어 있다. L1-Basic의 시그널링 필드 이름은 항상 'L1B_'라는 접두어를 붙인다.

표 9-2 L1-Basic 시그널링 필드와 구문

Syntax	# of bits	Format
L1_Basic_signaling() {		
L1B_version	3	uimsbf
L1B_mimo_scattered_pilot_encoding	1	uimsbf
L1B_ils_flag	1	uimsbf
L1B_time_info_flag	2	uimsbf
L1B_return_channel_flag	1	uimsbf
L1B_papr	2	uimsbf
L1B_frame_length_mode	1	uimsbf
if (L1B_frame_length_mode = 0) {		
L1B_frame_length	10	uimsbf
L1B_excess_samples_per_symbol	13	uimsbf
} else {		
L1B_time_offset	16	uimsbf
L1B_additional_samples	7	uimsbf
}		
L1B_num_subframes	8	uimsbf
L1B_preamble_num_symbols	3	uimsbf
L1B_preamble_reduced_carriers	3	uimsbf
L1B_L1_Detail_content_tag	2	uimsbf
L1B_L1_Detail_size_bytes	13	uimsbf
L1B_L1_Detail_fec_type	3	uimsbf
L1B_L1_Detail_additional_parity_mode	2	uimsbf
L1B_L1_Detail_total_cells	19	uimsbf

L1B_first_sub_mimo	1	uimsbf
L1B_first_sub_miso	2	uimsbf
L1B_first_sub_fft_size	2	uimsbf
L1B_first_sub_reduced_carriers	3	uimsbf
L1B_first_sub_guard_interval	4	uimsbf
L1B_first_sub_num_ofdm_symbols	11	uimsbf
L1B_first_sub_scattered_pilot_pattern	5	uimsbf
L1B_first_sub_scattered_pilot_boost	3	uimsbf
L1B_first_sub_sbs_first	1	uimsbf
L1B_first_sub_sbs_last	1	uimsbf
L1B_reserved	48	uimsbf
L1B_crc	32	uimsbf
}		

9.2.1. L1-Basic: 시스템 및 프레임 파라미터

다음 파라미터는 전체 프레임과 관련된 정보를 제공한다.

- **L1B_version:** 이 필드는 현재 프레임에 사용되는 L1-Basic 시그널링 구조의 버전을 나타낸다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템의 L1-Basic 시그널링 구조가 사용되는 경우, 이 필드는 0 으로 설정된다. 새로운 L1-Basic 시그널링 필드가 추가되고 추가된 새로운 L1-Basic 시그널링 필드 중 적어도 하나 이상의 필드의 존재 혹은 부재를 추론할 수 없는 경우, 이 필드는 1 씩 증가된다. 새로운 L1-Basic 시그널링 필드는 이전의 L1B_version 값을 가지는 기존 L1-Basic 시그널링 필드를 수신기가 분석하는데 방해를 주지 않는 방법으로 특정 L1B_version 을 대응시켜 추가된다.
- **L1B_mimo_scattered_pilot_encoding:** 이 필드는 표 9-3 과 같이 현재 프레임의 MIMO 부프레임이 어떤 MIMO 파일럿 인코딩 기법을 사용 중인지를 나타낸다. 현재 프레임에 MIMO 부프레임이 없는 경우, 이 필드는 0 으로 시그널링 된다.

표 9-3 L1B_mimo_scattered_pilot_encoding 시그널링 포맷

Value	Meaning
0	Walsh-Hadamard pilots or no MIMO subframes
1	Null pilots

- **L1B_lls_flag:** 이 플래그는 현재 프레임의 한 개 이상의 PLP 속의 LLS 의 존재 유무를 나타낸다. **L1B_lls_flag=0** 은 현재 프레임에 LLS 시그널링이 존재하지

않음을 나타낸다. **L1B_lls_flag=1** 은 현재 프레임에 LLS 시그널링이 존재함을 나타낸다. LLS 를 운반하는 PLP(들)은 **L1D_plp_lls_flag** 에 의해 지칭된다.

- **L1B_time_info_flag**: 이 플래그는 현재 프레임에서 타이밍 정보의 존재 유무를 나타내며, 정밀도는 아래의 표 9-4 와 같이 시그널링된다.

표 9-4 **L1B_time_info_flag** 시그널링 포맷

Value	Meaning
00	Time information is not included in the current frame
01	Time information is included in the current frame and signaled to ms precision
10	Time information is included in the current frame and signaled to us precision
11	Time information is included in the current frame and signaled to ns precision

- **L1B_return_channl_flag**: 이 필드는 현재 프레임, 현재 주파수대역, 현재 방송망의 전용 리턴 채널 (DRC: dedicated return channel)의 존재 유무를 나타낸다. **L1B_return_channl_flag=1** 은 현재 주파수대역과 현재 방송망의 현재 프레임에서 DRC[4]가 지원됨을 나타낸다. **L1B_return_channl_flag=0** 은 현재 주파수대역과 현재 방송망의 현재 프레임에서 DRC 가 지원되지 않음을 나타낸다.
- **L1B_papr**: 이 필드는 표 9-5 에 주어진 것과 같이 현재 프레임 내에서 첨두 전력 대 평균 전력비 (PAPR: Peak to Average Power Ratio)를 줄이기 위해 어떤 기술이 사용되었는지를 나타낸다. 현재 프레임의 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외한 다른 모든 OFDM 심볼에 PAPR 기술이 적용된다. **L1B_first_sub_miso=01** 또는 **L1B_first_sub_miso=10** 그리고/또는 **L1D_miso=01** 또는 **L1D_miso=10** 일 때에는 현재 프레임의 어떤 부프레임에서도 **L1B_papr=10** 은 지정될 수 없다.

표 9-5 **L1B_papr** 시그널링 포맷

Value	Meaning
00	No PAPR used
01	Tone Reservation only
10	ACE only
11	Both TR and ACE

- **L1B_frame_length_mode**: 8.5.1 절에서 설명된 것과 같이, 이 필드는 현재 프레임이 데이터 OFDM 심볼의 보호구간에 추가된 초과 샘플의 배치와 시간 정렬된 프레임일 때 (즉, 프리앰블이 아닌 OFDM 심볼)

L1B_frame_length_mode=0 으로 설정된다. 현재 프레임이 초과 샘플의 배치가 없는 심볼 정렬된 프레임일때는 **L1B_frame_length_mode**=1 로 설정된다.

- **L1B_frame_length**: **L1B_frame_length_mode**=0 이면 (즉, 시간 정렬된 프레임일 때), 현재 프레임과 연관된 부트스트랩의 첫 샘플의 시작부터 현재 프레임의 마지막 샘플의 끝까지의 시간 간격을 나타낸다 (즉, 시그널링되는 프레임 길이는 부트스트랩을 포함하는 길이이다). 시간 간격은 5ms 단위로 표현되며 **L1B_frame_length** × 5 ms 와 같다. **L1B_frame_length_mode**=1 일 때, **L1B_frame_length** 는 0 으로 설정된다. 7.2.2.2 절에 설명되어 있듯이, 최소 프레임 길이는 50ms 이고, 최대 프레임 길이는 5s 이므로, 이 필드의 값은 $10 \leq \text{L1B_frame_length} \leq 1000$ 으로 설정된다.
- **L1B_excess_samples_per_symbol**: 이 필드는 시간 정렬된 프레임(**L1B_frame_length_mode**=0)일 때만 존재한다. 현재 프레임의 부트스트랩 이후 부분의 프리앰블이 아닌 각 OFDM 심볼의 보호 구간내에 포함된 초과 샘플의 추가된 수를 나타낸다. 같은 수의 초과 샘플이 현재 프레임의 부트스트랩 이후 부분의 프리앰블이 아닌 모든 OFDM 심볼의 보호 구간내에 각각 삽입되며, 8.5.1 절에 정의된 초과 샘플 삽입 알고리즘에 의해 그 수가 결정된다. 현재 프레임의 특정 부프레임에 속해있는 각 OFDM 심볼의 보호 구간의 총 길이는 해당 부프레임의 부호 구간 길이(첫 번째 부프레임을 위한 값은 **L1B_first_sub_guard_interval** 필드로, 다른 나머지 부프레임을 위한 값은 **L1B_guard_interval** 필드로 시그널링 된다) 와 **L1B_excess_samples_per_symbol** 값의 합과 같다.
- **L1B_time_offset**: 이 필드는 **L1B_frame_length_mode**=1 일 때만 존재하며 (즉, 심볼 정렬된 프레임일 때), 프레임의 시작부분과 millisecond 단위 사이의 거리를 (현재 프레임에서 사용중인 기저대역 샘플링 율에 대응하는) 샘플 개수로 나타낸다. 이때, millisecond 단위는 프레임의 시작부분과 일치하는 곳 혹은 프레임의 시작부분보다 앞선 단위 중 가장 가까운 곳을 지칭한다.
- **L1B_additional_samples**: 이 필드는 심볼 정렬된 프레임(**L1B_frame_length_mode**=1)일 때만 시그널링된다. 연속된 두 프레임의 **bsr_coefficient** 가 다를 경우 샘플링 클럭 정렬을 가능하게 하기 위해 프레임의

마지막에 추가하는 추가 샘플 수를 나타낸다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서는 **L1B_additional_samples=0** 만 사용한다.

- **L1B_num_subframes**: 이 필드는 현재 프레임 내의 부프레임의 개수보다 1 만큼 작게 설정된다. 예를들어, **L1B_num_subframes=0** 은 현재 프레임에 부프레임이 하나가 있음을 나타내고, **L1B_num_subframes=1** 는 현재 프레임에 부프레임이 두 개가 있음을 나타낸다.

9.2.2. L1-Basic: L1-Detail 관련 파라미터

다음 파라미터는 프리앰블의 남은 부분(즉, L1-Detail)을 해석하기 위해 필요한 정보를 제공한다.

- **L1B_preamble_num_symbols**: 이 필드는 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외한 나머지 프리앰블이 포함하고 있는 OFDM 심볼의 총 개수를 나타낸다.
- **L1B_preamble_reduced_carriers**: 이 필드는 프리앰블에서 사용되고 있는 FFT 크기 별로 정의되어 있는 반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛 값을 나타낸다. 이러한 반송파 감소는 첫 번째 프리앰블 심볼을 제외한 현재 프레임의 모든 프리앰블 심볼에 적용된다. 자세한 내용은 7.2.6.3 절에 있다.
- **L1B_L1_Detail_content_tag**: 이 필드는 현재 프레임의 L1-Detail 내용이 현재 프레임과 같은 주 버전과 부 버전의 부트스트랩을 가지는 이전 프레임의 L1-Detail 내용과 비교하여 변경되었을 경우 1 씩 증가된다. 단, 다음의 시그널링 필드 **L1D_time_sec**, **L1D_time_msec**, **L1D_time_usec**, **L1D_time_nsec** (앞에 열거된 해당 시간관련 필드들의 존재 혹은 부재 여부를 나타내는 시그널링 포함), **L1D_plp_lls_flag**, **L1D_plp_fecframe_start**, **L1D_plp_CTI_fecframe_start**, **L1D_plp_CTI_start_row** 는 제외하고 고려해야 한다. 이 필드의 초기값은 0 으로 설정된다. 이 필드의 값이 최대값까지 증가된 후에는 다음 값은 0 으로 설정된다.
- **L1B_L1_Detail_size_bytes**: 이 필드는 L1-Detail 정보의 크기(바이트 단위)를 나타낸다. 이때, 이 필드에서 정의된 L1-Detail 정보의 크기는 다음 프레임의 L1-Detail 정보를 위한 현재 프레임내의 추가적인 패러티는 포함하지 않는다. 이 필드의 최소 값은 25 바이트이다.

- **L1B_L1_Detail_fec_type:** 이 필드는 표 9-6 에 주어진 것과 같이 L1-Detail 정보 보호를 위한 FEC 유형을 나타낸다. FEC 유형의 자세한 내용은 6.5.2.1 절에 설명되어 있다.

표 9-6 L1B_L1_Detail_fec_type 시그널링 포맷

Value	FEC Type
000	Mode 1
001	Mode 2
010	Mode 3
011	Mode 4
100	Mode 5
101	Mode 6
110	Mode 7
111	Reserved

- **L1B_L1_Detail_additional_parity_mode:** 이 필드는 6.5.3.2 절에서 정의된 Additional Parity Mode 를 나타낸다 (현재 프레임에 있는 다음 프레임의 L1-Detail 을 위한 추가 패리티 비트의 수와 다음 프레임의 L1-Detail 시그널링을 위해 부호화된 비트 수 절반의 비 (K). 여기서 다음 프레임이란 부트스트랩이 현재 프레임과 같은 주 버전과 부 버전을 가지는 다음 프레임을 말한다.) 이 필드의 값은 표 9-7 과 같이 주어진다.

표 9-7 L1B_additional_parity_mode 에 대한 시그널링 형태

Value	Additional Parity Mode
00	$K = 0$ (No additional parity used)
01	$K = 1$
10	$K = 2$
11	Reserved for future use

- **L1B_L1_Detail_total_cells:** 이 필드는 현재 프레임의 부호화되고 변조된 L1-Detail 시그널링과 다음 프레임의 L1-Detail 시그널링을 위해 변조된 추가 패리티 비트를 합한 전체 크기 (OFDM 셀 단위)를 나타낸다.

9.2.3. 첫 번째 부프레임에 대한 L1-Basic 파라미터

현재 프레임의 첫 번째 부프레임 파라미터는 L1-Detail이 해석될 때까지 기다릴 필요 없이 수신단에서 해당 첫 번째 부프레임이 즉각적으로 초기 OFDM 처리를 하기 위해 L1-Basic 내에서 시그널링 된다.

- **L1B_first_sub_mimo:** 이 플래그는 MIMO (부록 J 참조)가 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에 사용되었는지를 여부를 나타낸다. 값 1 은 MIMO 가 사용됨을, 값 0 은 MIMO 가 사용되지 않음을 나타낸다.
- **L1B_first_sub_miso:** 이 필드는 표 9-9 에 주어진 것과 같이 MISO (8.2 장 참조)가 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에 사용되었는지를 여부를 나타낸다.
- **L1B_first_sub_fft_size:** 이 필드는 표 9-10 에 주어진 것과 같이 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 FFT 크기를 나타낸다.
- **L1B_first_sub_reduced_carriers:** 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에서 사용되고 있는 FFT 크기 별로 정의되어 있는 부반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛 값을 나타낸다. 이러한 부반송파 감소는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 모든 심볼에 적용된다. 자세한 내용은 7.2.3 절 및 7.2.6.3 절에 있다.
- **L1B_first_sub_guard_interval:** 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에 있는 OFDM 심볼에 사용된 보호 구간의 길이를 나타내며, 그 값은 표 9-11 에 정의되어 있다. 보호 구간의 값 (예: GI1_192 를 위한 192 샘플)은 표 8-15 에 정의되어 있다.
- **L1B_first_sub_num_ofdm_symbols:** 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임 내에 존재하는 부프레임 경계 심볼을 포함하는 데이터 OFDM 심볼의 전체 숫자보다 1 만큼 작게 설정된다. 프리앰블 시그널링을 포함하는 OFDM 심볼을 데이터 셀이 이용할 수 있으며, 해당 OFDM 심볼이 프레임의 첫 번째 부프레임과 관련된 PLP 의 일부를 전달하는데 사용되더라도 프리앰블 시그널링을 포함하는 OFDM 심볼은 이 필드를 계산할 때는 제외된다.
- **L1B_first_sub_scattered_pilot_pattern:** 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에 사용된 분산 파일럿 패턴을 나타낸다. SISO 에 대해서는 주어진 표 9-12, MIMO 에 대해서는 주어진 표 9-13 중 하나의 값을 갖는다. SP 패턴 값은 표 8-2 (SISO)와 표 J-3 (MIMO)에 정의되어 있다(예: SP3_2, MP3_2).

- **L1B_first_sub_scattered_pilot_boost**: 이 필드의 값은 분산 파일럿 패턴과 결합되어 현재 프레임의 첫 번째 부프레임에서 사용되는 분산 파일럿의 파워를 나타낸다. 파워의 dB 값은 표 9-14 에 정의되어 있다. 크기의 실수 값은 표 9-15 에 정의되어 있다. 여기서 dB 표기는 정확한 값을 나타내며, 실수 크기는 대략적인 값을 나타낸다.
- **L1B_first_sub_sbs_first**: 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임의 경계 심볼인지 아닌지를 나타낸다. **L1B_first_sub_sbs_first=0** 은 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임의 경계 심볼이 아님을 나타낸다. **L1B_first_sub_sbs_first=1** 은 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼임을 나타낸다.
- **L1B_first_sub_sbs_last**: 이 필드는 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임의 경계 심볼인지 아닌지를 나타낸다. **L1B_first_sub_sbs_last=0** 은 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임의 경계 심볼이 아님을 나타낸다. **L1B_first_sub_sbs_last=1** 은 현재 프레임의 첫 번째 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임의 경계 심볼임을 나타낸다.

9.2.4. 기타 L1-Basic 파라미터

- **L1B_reserved**: 이 필드는 L1-Basic 의 전체 길이에 맞추기 위하여 요구되는 패딩 비트 수를 나타낸다. 새로운 버전의 L1-Basic 시그널링 구조를 위해 새롭게 정의되는 시그널링 필드는 기존 수신기와의 하위 호환성을 유지하기 위해 해당 예약 비트의 한 부분을 차지하게 된다. 이때, 기존 수신기는 **L1B_reserved** 의 내용을 무시한다.
- **L1B_crc**: 이 필드에는 6.1.2.2 절에 따라서 L1-Basic 의 내용에 대해 계산된 CRC 값이 들어있다.

9.3. L1-Detail 데이터 구문 및 의미

L1-Detail 시그널링 필드와 구문의 의미는 표 9-8와 본 절에서 정의되어 있다. L1-Detail 시그널링 필드의 이름은 항상 'L1D_'로 시작된다.

표 9-8 L1-Detail 시그널링 필드와 구문

Syntax	# of bits	Format
L1_Detail_signaling() {		
L1D_version	4	uimsbf
L1D_num_rf	3	uimsbf
for L1D_rf_id=1 .. L1D_num_rf {		
L1D_rf_frequency	19	uimsbf
}		
if (L1B_time_info_flag != 00) {		
L1D_time_sec	32	uimsbf
L1D_time_msec	10	uimsbf
if (L1B_time_info_flag != 01) {		
L1D_time_usec	10	uimsbf
if (L1B_time_info_flag != 10) {		
L1D_time_nsec	10	uimsbf
}		
}		
}		
for i=0 .. L1B_num_subframes {		
if (i > 0) {		
L1D_mimo	1	uimsbf
L1D_miso	2	uimsbf
L1D_fft_size	2	uimsbf
L1D_reduced_carriers	3	uimsbf
L1D_guard_interval	4	uimsbf
L1D_num_ofdm_symbols	11	uimsbf
L1D_scattered_pilot_pattern	5	uimsbf
L1D_scattered_pilot_boost	3	uimsbf
L1D_sbs_first	1	uimsbf
L1D_sbs_last	1	uimsbf
}		
if (L1B_num_subframes>0) {		
L1D_subframe_multiplex	1	uimsbf
}		
L1D_frequency_interleaver	1	uimsbf
If (((i=0)&&(L1B_first_sub_sbs_first || L1B_first_sub_sbs_last)) ||		
((i>0)&&(L1D_sbs_first || L1D_sbs_last))) {		
L1D_sbs_null_cells	13	uimsbf
}		

Syntax	# of bits	Format
L1D_num_plp	6	uimsbf
for j=0 .. L1D_num_plp {		
L1D_plp_id	6	uimsbf
L1D_plp_lls_flag	1	uimsbf
L1D_plp_layer	2	uimsbf
L1D_plp_start	24	uimsbf
L1D_plp_size	24	uimsbf
L1D_plp_scrambler_type	2	uimsbf
L1D_plp_fec_type	4	uimsbf
if (L1D_plp_fec_type∈{0,1,2,3,4,5}) {		
L1D_plp_mod	4	uimsbf
L1D_plp_cod	4	uimsbf
}		
L1D_plp_TI_mode	2	uimsbf
if (L1D_plp_TI_mode=00) {		
L1D_plp_fecframe_start	15	uimsbf
}		
Else if (L1D_plp_TI_mode=01) {		
L1D_plp_CTI_fecframe_start	22	uimsbf
}		
if (L1D_num_rf>0) {		
L1D_plp_num_channel_bonded	3	uimsbf
if (L1D_plp_num_channel_bonded>0) {		
L1D_plp_channel_bonding_format	2	uimsbf
for k=0...L1D_plp_num_channel_bonded{		
L1D_plp_bonded_rf_id	3	uimsbf
}		
}		
}		
if (i=0 && L1B_first_sub_mimo=1) || (i >1 && L1D_mimo=1) {		
L1D_plp_mimo_stream_combining	1	uimsbf
L1D_plp_mimo_IQ_interleaving	1	uimsbf
L1D_plp_mimo_PH	1	uimsbf
}		
if (L1D_plp_layer=0) {		
L1D_plp_type	1	uimsbf
if L1D_plp_type=1 {		
L1D_plp_num_subslices	14	uimsbf
L1D_plp_subslice_interval	24	uimsbf
}		
if (((L1D_plp_TI_mode=01) ||		
(L1D_plp_TI_mode=10))&&(L1D_plp_mod=0000)){		

Syntax	# of bits	Format
L1D_plp_TI_extended_interleaving	1	uimsbf
}		
if (L1D_plp_TI_mode=01) {		
L1D_plp_CTI_depth	3	uimsbf
L1D_plp_CTI_start_row	11	uimsbf
} else if (L1D_plp_TI_mode=10) {		
L1D_plp_HTI_inter_subframe	1	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_ti_blocks	4	uimsbf
L1D_plp_HTI_num_fec_blocks_max	12	uimsbf
if (L1D_plp_HTI_inter_subframe=0) {		
L1D_plp_HTI_num_fec_blocks	12	uimsbf
} else {		
for (k=0.. L1D_plp_HTI_num_ti_blocks) {		
L1D_plp_HTI_num_fec_blocks	12	uimsbf
}		
}		
L1D_plp_HTI_cell_interleaver	1	uimsbf
}		
} else {		
L1D_plp_ldm_injection_level	5	uimsbf
}		
}		
}		
L1D_reserved	as needed	uimsbf
L1D_crc	32	uimsbf
}		

9.3.1. 기본 L1-Detail 파라미터

- **L1D_version**: 이 필드는 현재 프레임에 사용되는 L1-Detail 시그널링 구조의 버전을 표시한다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템의 L1-Detail 시그널링 구조가 사용되면 **L1D_version** 는 0 으로 설정한다. 새로운 L1-Detail 시그널링 필드가 L1-Detail 시그널링 구조에 업데이트 된다면 **L1D_version** 는 1 만큼 증가한다. 이때 업데이트된 L1-Detail 시그널링 필드 중 적어도 하나는 존재나 부재를 추론할 수 없어야 한다.
- **L1D_time_sec**: 이 필드는 시간 정보의 초 단위를 나타낸다. 이때 시간 정보는 그림 9-1 에서 나타내듯이 수신된 부트스트랩의 첫번째 심볼이 전송된 시간을

나타낸다. 이 필드는 PTP(Precision Time Protocol) 초의 최하위 32 비트를 나타낸다.

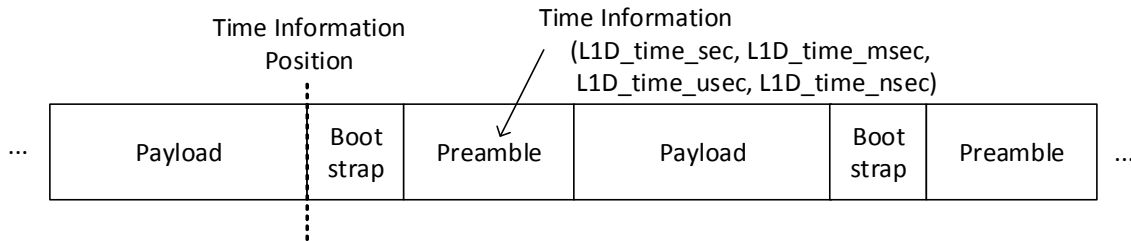


그림 9-1 프리앰블에서 전송된 위치 정보 및 시간 정보의 설명

- **L1D_time_msec**: 이 필드는 시간 정보의 ms 단위를 나타낸다.
- **L1D_time_usec**: 이 필드는 시간 정보의 us 단위를 나타낸다.
- **L1D_time_nsec**: 이 필드는 시간 정보의 ns 단위를 나타낸다.
- **L1D_reserved**: 이 필드는 **L1B_L1_Detail_size_bytes** 로 표현되는 총 비트 길이를 맞추기 위하여 패딩으로 사용되는 예약 비트의 개수를 나타낸다. 송신기 측에서 **L1D_reserved** 의 주요 사용 목적은 0 부터 7 까지의 패딩 비트를 사용하여 L1-Detail 길이에 대해서 바이트 정렬을 보장하는 것입니다. 새로운 버전에 대한 L1-Detail 시그널링 세부 구조는 새로운 시그널링 필드가 기존 수신기에 대해 호환성을 유지하기 위해서 이러한 예약비트에 정의된다. 기존 수신기는 **L1D_reserved** 의 내용을 무시한다.
- **L1D_crc**: 이 필드에는 6.1.2.2 절에 따라서 L1-Detail 의 내용에 대해 계산된 CRC 값이 들어있다.

9.3.2. 채널 본딩 L1-Detail 파라미터(프레임)

- **L1D_num_rf**: 이 필드는 현재 채널 주파수를 제외한 현재 시스템의 채널 본딩과 관련된 주파수의 개수를 표시한다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서 L1D_num_rf 의 최대값은 1 이다. **L1D_num_rf** = 0 은 채널 본딩이 현재 프레임에서 사용되지 않음을 나타낸다.

- **L1D_rf_id**: 암시적으로 정의된 이 필드는 채널 본딩과 관련된 다른 RF 채널의 ID 를 구분한다. 현재 RF 채널은 암시적으로 **L1D_rf_id** 를 0 로 지정되고, 목록에서 첫 번째 RF 채널은 암시적으로 **L1D_rf_id** 가 1 로 할당된다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서 **L1D_rf_id** 의 최대값은 1 이다.
- **L1D_rf_frequency**: 이 필드는 **L1D_rf_id** 의 ID 와 연관된 암시적 채널 본딩에 관여하는 다른 RF 채널의 (10 kHz 의 단위) 중심 주파수를 표시한다. 현재 채널의 주파수는 이미 알려져 있고, 시그널링되지 않는다.

9.3.3. 부프레임 L1-Detail 파라미터

- **L1D_mimo**: 이 필드는 MIMO 가 (부록 J 참조) 현재 부프레임에서 사용되는지 여부를 표시한다. 값 1 은 MIMO 가 사용되는 것을 나타내는 것이며, 값 0 은 MIMO 가 사용되지 않음을 표시한다.
- **L1D_miso**: 이 필드는 표 9-9 에 주어진 것과 같이 MSIO 가 (8.2 절 참조) 현재 부프레임에서 사용되는지 여부 및 모드를 나타낸다.

표 9-9 L1D_miso에 대한 시그널링 형태

Value	MISO option
00	No MISO
01	MISO with 64 coefficients
10	MISO with 256 coefficients
11	Reserved

- **L1D_fft_size**: 이 필드는 현재 부프레임과 연관된 FFT 크기를 표시한다.

표 9-10 L1D_fft_size 에 대한 시그널링 형태

Value	FFT Size
00	8K
01	16K
10	32K
11	Reserved

- **L1D_reduced_carriers**: 이 필드는 현재 부프레임 에서 사용되고 있는 FFT 크기 별로 정의되어 있는 반송파의 최대 개수를 감소시키기 위한 컨트롤 유닛 값을

나타낸다. 이러한 반송파 감소는 현재 부프레임의 모든 심볼에 적용된다. 자세한 내용은 7.2.3 절에서 기술한다.

- **L1D_guard_interval:** 이 필드는 표 8-15 및 표 9-11 에 주어진 것과 같이 현재 부프레임의 OFDM 심벌에 사용되는 가드 인터벌 길이를 표시한다.

표 9-11 L1D_guard_interval 에 대한 시그널링 형태

Value	Guard Interval	Value	Guard Interval
0000	Reserved	1000	GI8_2432
0001	GI1_192	1001	GI9_3072
0010	GI2_384	1010	GI10_3648
0011	GI3_512	1011	GI11_4096
0100	GI4_768	1100	GI12_4864
0101	GI5_1024	1101	Reserved
0110	GI6_1536	1110	Reserved
0111	GI7_2048	1111	Reserved

- **L1D_num_ofdm_symbols:** 이 필드는 현재 부프레임 내에 존재하는 부프레임 경계 심볼을 포함하여 모든 OFDM 심볼의 개수를 나타내며, 부프레임 내의 데이터 페이로드 OFDM 심볼의 총 개수보다 하나 적다. 부프레임 내의 데이터 페이로드 OFDM 심볼의 총 개수는 최소한 $4 \times D_y$ 데이터 심볼은 존재해야 하고, 이때 D_y 는 현재 부프레임에서 지정된 분산 파일러 패턴으로부터 알 수 있다 (7.2.4.2 절 참조). 부프레임 내의 데이터 페이로드 OFDM 심볼의 총 개수에는 프리앰블 심볼은 포함되지 않는다.
- **L1D_scattered_pilot_pattern:** 이 필드는 SISO 의 경우 표 9-12 에 그리고 MIMO 의 경우 표 9-13 에 주어진 것과 같이 현재 부프레임에 사용되는 분산 파일럿 패턴을 표시한다

표 9-12 SISO 의 경우 L1D_scattered_pilot_pattern 에 대한 시그널링 형태

Value	SP pattern	Value	SP pattern	Value	SP pattern
00000	SP3_2	01000	SP12_2	10000	Reserved
00001	SP3_4	01001	SP12_4	...	...
00010	SP4_2	01010	SP16_2	...	...
00011	SP4_4	01011	SP16_4	...	...
00100	SP6_2	01100	SP24_2	...	...
00101	SP6_4	01101	SP24_4	...	...
00110	SP8_2	01110	SP32_2	...	...
00111	SP8_4	01111	SP32_4	11111	Reserved

표 9-13 MIMO 의 경우 L1D_scattered_pilot_pattern 에 대한 시그널링 형태

Value	SP pattern	Value	SP pattern	Value	SP pattern
00000	MP3_2	01000	MP12_2	10000	Reserved
00001	MP3_4	01001	MP12_4	...	...
00010	MP4_2	01010	MP16_2	...	...
00011	MP4_4	01011	MP16_4	...	...
00100	MP6_2	01100	MP24_2	...	...
00101	MP6_4	01101	MP24_4	...	...
00110	MP3_2	01110	MP12_2	...	...
00111	MP3_4	01111	MP12_4	11111	Reserved

- **L1D_scattered_pilot_boost:** 이 필드의 값은 현재 부프레임에 사용되는 분산 파일럿의 크기를 나타낸다. 파워의 dB 값은 표 9-14 에 정의되어 있다. 크기의 실수 값은 표 9-15 에 정의되어 있다. 여기서 dB 표기는 정확한 값을 나타내며, 실수 크기는 대략적인 값을 나타낸다.

표 9-14 L1D_scattered_pilot_bosst 에 대한 시그널링 형태(Power in dB)

Pilot Pattern (SISO / MIMO)	L1D_scattered_pilot_boost							
	000	001	010	011	100	101	110	111
SP3_2 / MP3_2	0.00	0.00	1.40	2.20	2.90	RFU	RFU	RFU
SP3_4 / MP3_4	0.00	1.40	2.90	3.80	4.40	RFU	RFU	RFU
SP4_2 / MP4_2	0.00	0.60	2.10	3.00	3.60	RFU	RFU	RFU
SP4_4 / MP4_4	0.00	2.10	3.60	4.40	5.10	RFU	RFU	RFU
SP6_2 / MP6_2	0.00	1.60	3.10	4.00	4.60	RFU	RFU	RFU
SP6_4 / MP6_4	0.00	3.00	4.50	5.40	6.00	RFU	RFU	RFU
SP8_2 / MP8_2	0.00	2.20	3.80	4.60	5.30	RFU	RFU	RFU
SP8_4 / MP8_4	0.00	3.60	5.10	6.00	6.60	RFU	RFU	RFU
SP12_2 / MP12_2	0.00	3.20	4.70	5.60	6.20	RFU	RFU	RFU
SP12_4 / MP12_4	0.00	4.50	6.00	6.90	7.50	RFU	RFU	RFU
SP16_2 / MP16_2	0.00	3.80	5.30	6.20	6.80	RFU	RFU	RFU
SP16_4 / MP16_4	0.00	5.20	6.70	7.60	8.20	RFU	RFU	RFU
SP24_2 / MP24_2	0.00	4.70	6.20	7.10	7.70	RFU	RFU	RFU
SP24_4 / MP24_4	0.00	6.10	7.60	8.50	9.10	RFU	RFU	RFU
SP32_2 / MP32_2	0.00	5.40	6.90	7.70	8.40	RFU	RFU	RFU
SP32_4 / MP32_4	0.00	6.70	8.20	9.10	9.70	RFU	RFU	RFU

표 9-15 L1D_scattered_pilot_bosst 에 대한 시그널링 형태(Amplitude)

Pilot Pattern (SISO / MIMO)	L1D_scattered_pilot_boost							
	000	001	010	011	100	101	110	111
SP3_2 / MP3_2	1.000	1.000	1.175	1.288	1.396	RFU	RFU	RFU
SP3_4 / MP3_4	1.000	1.175	1.396	1.549	1.660	RFU	RFU	RFU
SP4_2 / MP4_2	1.000	1.072	1.274	1.413	1.514	RFU	RFU	RFU
SP4_4 / MP4_4	1.000	1.274	1.514	1.660	1.799	RFU	RFU	RFU
SP6_2 / MP6_2	1.000	1.202	1.429	1.585	1.698	RFU	RFU	RFU
SP6_4 / MP6_4	1.000	1.413	1.679	1.862	1.995	RFU	RFU	RFU
SP8_2 / MP8_2	1.000	1.288	1.549	1.698	1.841	RFU	RFU	RFU
SP8_4 / MP8_4	1.000	1.514	1.799	1.995	2.138	RFU	RFU	RFU
SP12_2 / MP12_2	1.000	1.445	1.718	1.905	2.042	RFU	RFU	RFU
SP12_4 / MP12_4	1.000	1.679	1.995	2.213	2.371	RFU	RFU	RFU
SP16_2 / MP16_2	1.000	1.549	1.841	2.042	2.188	RFU	RFU	RFU
SP16_4 / MP16_4	1.000	1.820	2.163	2.399	2.570	RFU	RFU	RFU
SP24_2 / MP24_2	1.000	1.718	2.042	2.265	2.427	RFU	RFU	RFU
SP24_4 / MP24_4	1.000	2.018	2.399	2.661	2.851	RFU	RFU	RFU
SP32_2 / MP32_2	1.000	1.862	2.213	2.427	2.630	RFU	RFU	RFU
SP32_4 / MP32_4	1.000	2.163	2.570	2.851	3.055	RFU	RFU	RFU

- **L1D_sbs_first:** 이 필드는 현재 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼인지 여부를 표시한다. **L1D_sbs_first** = 0 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼이 아님을 나타낸다. **L1D_sbs_first** = 1 부프레임의 첫 번째 심볼이 부프레임 경계 심볼임을 나타낸다.
- **L1D_sbs_last:** 이 필드는 현재 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임 경계 심볼인지 여부를 표시한다. **L1D_sbs_last** = 0 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임 경계 심볼이 아님을 나타낸다. **L1D_sbs_last** = 1 부프레임의 마지막 심볼이 부프레임 경계 심볼임을 나타낸다.

- **L1D_subframe_multiplex**: 이 필드는 현재 부프레임이 인접한 부프레임과 연계하여 시분할 다중화(**L1D_subframe_multiplex** = 1)/시간 연접의 여부(**L1D_subframe_multiplex** = 0)를 나타낸다. **L1D_subframe_multiplex** = 1 은 미래에 사용하기 위해서 예약되어 있다.
- **L1D_frequency_interleaver**: 이 필드는 주파수 인터리버가 사용되는지 여부를 표시한다. **L1D_frequency_interleaver** = 0 은 주파수 인터리버는 무시하고 사용되지 않음을 나타내고, **L1D_frequency_interleaver** = 1 은 주파수 인터리버가 사용됨을 나타낸다.
- **L1D_sbs_null_cells**: 이 필드는 현재 부프레임에서 부프레임 경계 심볼에 포함된 널 셀의 개수를 나타내며, 부프레임 경계 심볼이 존재하지 않으면 시그널링되지 않는다.

9.3.4. PLP L1-Detail 파라미터

- **L1D_num_plp**: 이 필드는 현재 부프레임 내에서 사용되는 PLP 의 개수보다 하나 적게 설정된다.
- **L1D_plp_id**: 이 필드는 0-63 범위, 현재 PLP 의 ID 와 동일하게 설정된다. 이 필드로 지상파 UHDTV 물리계층 시스템의 각 RF 채널 내에서 고유 PLP 를 식별한다. 채널 본딩 시스템에서 이 필드와 **L1D_rf_id** 의 조합은 채널 본딩 시스템 내에서 각 PLP 에 대한 고유 식별자를 생성하는데 사용될 수 있다.
- **L1D_plp_lls_flag**: 이 필드는 현재 PLP 에 LLS 정보(상위 계층 정보)가 포함되어 있는지 여부를 표시한다. 이 필드의 목적은 수신기가 빠르게 상위 계층 시그널링 정보를 찾을 수 있도록 하는 것이다
- **L1D_plp_size**: 이 필드는 현재 부프레임 내에서 PLP 에 할당된 데이터 셀의 개수를 나타낸다. 분산 PLP 의 경우에 **L1D_plp_size** 는 **L1D_num_subsllices** 의 정수 배로 제한한다.
- **L1D_plp_scrambler_type**: 이 필드는 표 9-16 에 주어진 것과 같이 PLP 대한 스크램블 방식의 선택을 표시한다.

표 9-16 L1D_plp_scrambler_type 에 대한 시그널링 형태

Value	Description
00	Scrambler defined in Section 5.2.3
01	Reserved for future use
10	Reserved for future use
11	Reserved for future use

- **L1D_plp_fec_type**: 이 필드는 현재 PLP의 부호화에 사용되는 포워드 에러 정정(FEC) 방식을 표시한다. **L1D_plp_fec_type**의 신호 값과 특정 FEC 방식의 대응은 표 9-17에 따른다. 여기서, 16K LDPC 부호는 블록 당 16200 부호어 비트의 세트를 생성하는 LDPC 부호화를 나타내고, 64K LDPC 부호는 블록 당 64800 부호어 비트의 세트를 생성하는 LDPC 부호화를 나타낸다.

표 9-17 L1D_plp_fec_type 에 대한 시그널링 형태

Value	Forward Error Correction Method
0000	BCH + 16K LDPC
0001	BCH + 64K LDPC
0010	CRC + 16K LDPC
0011	CRC + 64K LDPC
0100	16K LDPC only
0101	64K LDPC only
0110 - 1111	Reserved for future use

- **L1D_plp_mod**: 이 필드는 SISO의 경우 표 9-18에 그리고 MIMO의 경우 표 9-19에 주어진 것과 같이 PLP에 사용되는 변조 방식을 나타낸다. 1024QAM과 4096QAM모드는 **L1D_plp_fec_type**이 64K LDPC를 나타낼 경우에만 사용된다.

표 9-18 SISO 경우에 L1D_plp_mod 에 대한 시그널링 형태

Value	Modulation
0000	QPSK
0001	16QAM
0010	64QAM
0011	256QAM
0100	1024QAM
0101	4096QAM
0110-1111	Reserved

표 9-19 MIMO 경우에 **L1D_plp_mod** 에 대한 시그널링 형태

Value	Bits per cell unit	MIMO Modulation	
0000	4	Tx1	QPSK
		Tx2	QPSK
0001	8	Tx1	16QAM
		Tx2	16QAM
0010	12	Tx1	64QAM
		Tx2	64QAM
0011	16	Tx1	256QAM
		Tx2	256QAM
0100	20	Tx1	1024QAM
		Tx2	1024QAM
0101	24	Tx1	4096QAM
		Tx2	4096QAM
0110 to 1111	Reserved	Reserved	

- **L1D_plp_cod**: 이 필드는 현재 PLP 에 사용되는 부호율을 나타낸다.

표 9-20 L1D_plp_cod 에 대한 시그널링 형태

Value	Code Rate
0000	2/15
0001	3/15
0010	4/15
0010	5/15
0011	6/15
0100	7/15
0101	8/15
0110	9/15
0111	10/15
1000	11/15
1001	12/15
1010	13/15
1011-1111	Reserved

- **L1D_plp_TI_mode**: 이 필드는 표 9-21 에 주어진 것과 같이 PLP 에 대한 인터리버 모드를 나타낸다.

표 9-21 **L1D_plp_TI_mode** 에 대한 시그널링 형태

Value	Time interleaving mode
00	No time interleaving mode (neither CTI nor HTI)
01	Convolutional time interleaving (CTI) mode
10	Hybrid time interleaving (HTI) mode
11	Reserved for future use

- **L1D_plp_fecframe_start**: 이 필드는 현재 부프레임 내 PLP 에서 첫 번째 FEC 프레임의 시작 위치를 나타낸다. 코어 계층 PLP 나 계층 분할 다중화가 사용되지 않는 PLP 의 경우에 **L1D_plp_fecframe_start** 는 현재 부프레임 내 PLP 의 데이터 셀에 대해서 PLP 의 시작 위치로부터 첫 번째 FEC 프레임의 첫 번째 셀까지의 상대위치를 나타낸다. 계층 분할 다중화를 적용하는 경우, 항상 계층 PLP 의 **L1D_plp_fecframe_start** 는 현재 부프레임 내 코어 계층 PLP 의 시작 위치로부터 항상 계층 PLP 의 첫 번째 FEC 프레임의 첫 번째 셀까지의 상대위치를 나타낸다. 현재 부프레임에 FEC 프레임의 시작이 없는 경우에 **L1D_plp_fecframe_start** 는 최대 값을 갖는다(**L1D_plp_fecframe_start** 의 모든 비트는 1 로 설정된다). 계층 분할 다중화된 코어 계층 PLP 와 항상 계층 PLP 의 첫번째 FEC 프레임의 시작 위치가 일반적으로 다르기 때문에, **L1D_plp_fecframe_start** 는 코어 계층 PLP 와 항상 계층 PLP 에 대해서 각각 시그널링된다. **L1D_plp_TI_mode** = 00 인 경우에만 **L1D_plp_fecframe_start** 는 시그널링된다.

9.3.5. 계층 분할 다중화 L1-Detail 파라미터

- **L1D_plp_layer**: 이 필드는 현재 PLP 의 계층 레벨과 동일하게 설정된다. **L1D_plp_layer** > 0 이면 항상 계층에 해당되고, **L1D_plp_layer** = 0 은 코어 계층에 해당된다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서는 **L1D_plp_layer** 는 0 또는 1 의 값으로 설정되어야 한다.
- **L1D_plp_ldm_injection_level**: 이 필드는 코어 계층과 비교하여 항상 계층의 삽입 레벨을 상대적으로 표시한다. **L1D_ldm_injection_level** 의 시그널링 값 및 특정 삽입 레벨 간의 대응 관계는 표 9-22 에 따른다. 현재 계층 레벨의 지수가 0 보다 큰 경우에는 이 필드가 포함되어야 한다 (즉 **L1D_plp_layer** > 0).

표 9-22 L1D_plp_ldm_injection_level 에 대한 시그널링 형태

Value	Injection level [dB]	Value	Injection level [dB]
00000	0.0	100000	11.0
00001	0.5	100001	12.0
00010	1.0	100010	13.0
00011	1.5	100011	14.0
00100	2.0	10100	15.0
00101	2.5	10101	16.0
00110	3.0	10110	17.0
00111	3.5	10111	18.0
01000	4.0	11000	19.0
01001	4.5	11001	20.0
01010	5.0	11010	21.0
01011	6.0	11011	22.0
01100	7.0	11100	23.0
01101	8.0	11101	24.0
01110	9.0	11110	25.0
01111	10.0	11111	Reserved

9.3.6. 채널 본딩 L1-Detail 파라미터(PLP)

다음 L1-Detail 시그널링 필드는 채널 본딩과 관련된다. 이러한 시그널링 필드는 **L1D_num_rf** = 0인 경우에는 포함되지 않는다.

- **L1D_plp_num_channel_bonded**: 이 필드는 현재 채널 주파수를 제외한 현재 시스템의 채널 본딩 PLP 와 관련된 주파수의 개수를 표시한다. **L1D_plp_num_channel_bonded** 는 **L1D_num_rf** 의 최대 값을 가져야 한다. 현재 PLP 가 채널 본딩을 하지 않을 경우에 **L1D_plp_num_channel_bonded** = 0 으로 나타낸다. 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서 **L1D_plp_num_channel_bonded** 의 최대값은 1 을 갖는다.
- **L1D_plp_bonded_rf_id**: 이 필드는 현재 PLP 와 채널 본딩을 수행하는 채널 RF 식별자를 나타낸다. **L1D_plp_num_channel_bonded** > 0 인 경우에 이 필드는 시그널링된다.
- **L1D_plp_channel_bonding_format**: 이 필드는 표 9-23 에 주어진 것과 같이 현재 PLP 대한 채널 본딩 형식을 표시한다. PLP 가 다수의 RF 채널에서 채널 본딩을 하는 경우에 각 채널의 해당 PLP 는 동일한 채널 본딩 형식을 사용한다.

표 9-23 L1D_plp_channel_bonding_format 에 대한 시그널링 형태

Value	Meaning
00	Plain channel bonding
01	SNR averaged channel bonding
10	Reserved for future use
11	Reserved for future use

9.3.7. MIMO L1-Detail 파라미터(PLP)

다음 L1-Detail 시그널링 필드는 PLP 기반의 MIMO관련 시그널링이다. MIMO관련 시그널링 필드는 **L1B_first_sub_mimo** = 0과 **L1D_mimo** = 0인 경우에는 시그널링 하지 않는다.

- **L1D_plp_mimo_stream_combining**: 이 필드는 J.7.1 절에 기술된 바와 같이 주어진 PLP 에 대한 MIMO 프리 부호화의 조합 옵션을 나타낸다. 주어진 PLP 가 조합 옵션을 사용하는 경우에는 1 로 나타내고, 사용하지 않는 경우에서 0 으로 나타낸다.
- **L1D_plp_mimo_IQ_interleaving**: 이 필드는 J.7.2 절에 기술된 바와 같이 주어진 PLP 에 대한 MIMO 프리 부호화에서 IQ 인터리빙의 사용 여부를 나타낸다. IQ 인터리빙을 사용하는 경우에는 1 로 나타내고, 사용하지 않는 경우에는 0 으로 나타낸다.
- **L1D_plp_mimo_PH**: 이 필드는 J.7.3 절에 기술된 바와 같이 주어진 PLP 에 대해 MIMO 프리 부호화에서 위상 호핑의 사용 여부를 나타낸다. 위상 호핑을 사용하는 경우에는 1 로 나타내고, 사용하지 않는 경우에는 0 으로 나타낸다.

9.3.8. 셀 다중화 L1-Detail 파라미터

- **L1D_plp_start**: 이 필드는 현재 부프레임에서 현재 PLP 의 첫 번째 데이터 셀의 색인과 동일하게 설정된다.
- **L1D_plp_type**: 이 필드는 PLP 의 다중화 타입을 나타낸다. **L1D_plp_type** = 0 인 경우 비분산 PLP 이고, PLP 는 서브 슬라이싱 되지 않고 모든 데이터 셀이

연속적으로 배치된다. **L1D_plp_type** = 1 인 경우 분산 PLP 이고, PLP 는 모든 데이터 셀이 연속적으로 배치되지 않고 서브 슬라이싱 된다. **L1D_plp_type** 는 **L1D_plp_layer** = 0 (코어 계층 PLP)일 경우에만 존재한다.

- **L1D_plp_num_subsllices**: 이 필드는 **L1D_plp_type** = 1 인 경우에만 존재하고 현재 부프레임 내의 현재 PLP 에 사용되는 서브 슬라이스 개수보다 하나 적게 설정된다. 서브 슬라이스의 개수는 동일한 PLP 대한 **L1D_plp_size** 를 나누어 나머지가 없어야 한다. **L1D_num_subsllices** = 0 인 경우는 분산 PLP 를 구성하는 것이 불가능하므로 예약 값으로 정해진다. **L1D_num_subsllices** 의 최대 허용 값은 16383 으로 실제로는 16384 개의 서브 슬라이스를 나타낸다.
- **L1D_plp_subslice_interval**: 이 필드는 **L1D_plp_type** = 1 인 경우에만 존재하고 동일한 PLP 에 대해서 현재 서브 슬라이스의 시작으로부터 다음 서브 슬라이스의 시작까지 순차적 색인 데이터 셀의 개수와 동일하게 설정된다. **L1D_subslice_interval** 은 각 PLP 단위로 설정되고, 주어진 부프레임 내의 모든 PLP 에 대해 동일하게 제한되지 않는다.

9.3.9. 시간 인터리버 L1-Detail 파라미터

- **L1D_plp_TI_extended_interleaving**: 이 필드는 PLP 에 확장 인터리빙이 사용되는지 여부를 나타낸다. 확장 인터리빙을 사용하는 경우에 1 로 나타내고, 사용하지 않는 경우에는 0 으로 나타낸다. PLP 의 변조가 QPSK 인 경우에만 1 의 값을 선택할 수 있고, 계층 분할 다중화가 사용되는 경우에는 1 의 값이 선택되지 않는다.

9.3.9.1. 컨벌루션 시간 인터리버 모드 파라미터

- **L1D_plp_CTI_depth**: 이 필드는 컨벌루션 인터리버의 행의 개수를 나타내며 표 9-24 와 같이 시그널링 된다.

표 9-24 **L1D_plp_CTI_depth** 에 대한 시그널링 형태

Value	Number of rows
000	512
001	724
010	887 or 1254 (extended interleaving)
011	1024, or 1448 (extended interleaving)
100	Reserved for future use
101	Reserved for future use
110	Reserved for future use
111	Reserved for future use

- **L1D_plp_CTI_start_row**: 이 필드는 부프레임의 시작에서 컨벌루션 인터리버의 시작 스위치의 위치를 나타낸다.
- **L1D_plp_CTI_fecframe_start**: 이 필드는 현재 또는 다음 부프레임 내에 CTI 를 통과한 PLP 의 첫번째 완벽한 FEC 프레임의 시작 위치를 표시한다. **L1D_plp_CTI_fecframe_start** 는 현재 부프레임 범위를 초과할 수 있으며 다음 부프레임 내 PLP 데이터의 위치를 나타낼 수도 있다. 코어 계층 PLP 나 계층 분할 다중화가 사용되지 않는 PLP 의 경우에 **L1D_plp_CTI_fecframe_start** 는 PLP 의 첫번째 데이터 셀에서 현재 또는 다음 부프레임 내에 CTI 를 통과한 PLP 의 첫번째 FEC 프레임의 첫번째 셀까지의 상대위치를 나타낸다. 계층 분할 다중화를 적용하는 경우, 항상 계층 PLP 의 **L1D_plp_CTI_fecframe_start** 는 코어 계층 PLP 의 첫번째 데이터 셀에서 현재 또는 다음 부프레임 내 CTI 를 통과한 항상 계층 PLP 의 첫번째 FEC 프레임의 첫번째 셀까지의 상대위치를 나타낸다. 다음 조건을 만족하면 **L1D_plp_CTI_fecframe_start** 는 현재 부프레임 내에서 시작되는 FEC 프레임의 시작 위치를 나타낸다.

$$\text{L1D_plp_CTI_fecframe_start} \geq R_s \cdot (N_{\text{row } s} + 1),$$

$$R_s = (\text{L1D_plp_CTI_fecframe_start} + \text{L1D_plp_CTI_start_row}) \text{ modulo } N_{\text{row } s}$$

반면, FEC 프레임의 시작 위치가 위 조건을 만족하지 않으면, 동일한 FEC 프레임에 속하는 데이터 셀 중 일부가 이전 부프레임에 존재함을 의미한다.

계층 분할 다중화된 코어 계층 PLP와 향상 계층 PLP의 첫번째 FEC 프레임의 시작 위치가 일반적으로 다를 수 있으므로 계층 분할 다중화가 사용된 경우에 **L1D_plp_CTI_fecframe_start**는 코어 계층 PLP와 향상 계층 PLP에 대해서 각각 시그널링된다.

9.3.9.2. 하이브리드 시간 인터리버 파라미터

- **L1D_plp-HTI_inter_subframe**: 이 필드는 하이브리드 시간 인터리빙의 모드를 나타낸다. **L1D_plp-HTI_inter_subframe** = 0 인 경우에 부프레임 내 인터리빙 모드를 사용한다. **L1D_plp-HTI_inter_subframe** = 1 인 경우에 부프레임 간 인터리빙 모드를 사용한다. 이때 다수의 부프레임에 대해서 인터리빙 프레임당 1 개의 Π 블록을 사용한다.
- **L1D_plp-HTI_num_ti_blocks**: 이 필드는 **L1D-HTI_inter_subframe** = 0 일때 인터리빙 프레임당 Π 블록의 개수(N_{Π})를 나타내거나, **L1D_plp-HTI_inter_subframe** = 1 일때 하나의 Π 블록으로 전송되는 부프레임의 개수(N_{IU})를 나타낸다. **L1D-HTI_num_ti_blocks** 로 나타낸 값은 실제 N_{Π} 및 N_{IU} 값보다 하나 작게 표현되어 1 에서 16 까지 값을 갖는다.
- **L1D_plp-HTI_num_fec_blocks_max**: 이 필드는 현재 PLP 에 대한 인터리빙 프레임 당 FEC 블록의 최대 개수보다 하나 작은 값을 나타낸다.
- **L1D_plp-HTI_num_fec_blocks**: 이 필드는 현재 PLP 에 대한 현재의 인터리빙 프레임에 포함된 FEC 블록 개수보다 하나 작은 값을 나타낸다.
- **L1D_plp-HTI_cell_interleaver**: 이 필드는 셀 인터리버의 사용 여부를 나타낸다. 셀 인터리버를 사용하는 경우에는 1 로 나타내고, 사용하지 않는 경우에는 0 으로 나타낸다.

10. 부트스트랩

본 장은 지상파 UHDTV 물리계층 파형 부분의 초기 진입점에 대한 규격을 정의한다. 문법과 시멘틱은 시스템 검출에만 적용된다.

신호 검출을 위해 부트스트랩 신호 사용이 가능하다. 부트스트랩은 데이터 전용 신호보다 간결한 신호이며 순서로는 앞부분에 위치한다. 시간 다중화된 신호와 연계하여 새로운 신호 형식의 추가 및 인식도 가능하다. 몇몇 미래 사용을 위한 신호 형식은 본 표준의 범위를 벗어날 수도 있다.

부트스트랩은 방송 신호에 대한 보편적 진입점을 제공한다. 부트스트랩은 표본화율, 신호대역폭, 부반송파 간격, 시간축 구조 등, 모든 수신 디바이스가 해석 가능한 고정 구성을 따르고, 감지된 부트스트랩과 연관된 신호의 처리 및 디코딩 정보를 제공한다. 결과적으로 부트스트랩에 의해 보편적인 진입점을 제공하여 해당 방송 스펙트럼에 공공의 이익을 위한 새로운 서비스 신호 형태가 적용 가능함을 보장한다.

부트스트랩은 낮은 신호 레벨에서도 검출이 가능하도록 상당히 강건한 신호로 설계되었다. 따라서 개별 시그널링 비트는 상당히 많은 전송관점의 물리적 자원을 점유한다. 그러므로 부트스트랩은 시스템 검출과 잇따르는 신호의 초기 디코딩을 위한 최소의 정보만 제공한다.

10.1. 부트스트랩 개요

그림 10-1은 물리계층 프레임에서 부트스트랩의 위치를 나타낸다. 부트스트랩은 다수의 심볼로 구성되며 첫 번째 심볼은 신호 감지, 기본적 동기검출, 주파수 오프셋 추정, 초기 채널 추정이 가능하도록 각 프레임 주기의 시작부분에 동기심볼로 시작한다. 나머지 심볼은 후속 프레임의 수신 및 디코딩을 위한 충분한 제어신호를 포함한다.

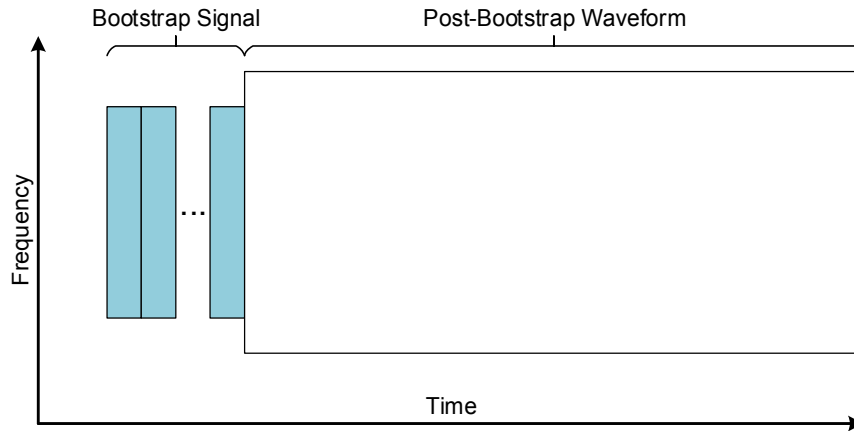


그림 10-1 일반적인 물리계층 프레임과 부트스트랩 구조

10.1.1. 버전

부트스트랩 버전은 주 버전과 부 버전으로 구분하여 사용하는데, 0.0과 같은 십진수 텍스트로 표시한다. 주 버전은 **bootstrap_major_version**에 코드로 표시하고 부 버전은 **bootstrap_minor_version**에 코드로 표시한다. Zadoff-Chu(ZC) 루트와 PN 수열 시드가 부트스트랩 심볼 내용을 위한 기본 인코딩 수열을 생성하는데 사용된다. 주 버전 번호는 특정 신호 형식에 해당하는데 ZC 루트를 선택하여 시그널링 된다. 부 버전은 특정 주 버전 내에 존재하는데 적당한 PN 수열 시드를 선택하여 시그널링 된다.

부트스트랩 시그널링 필드의 해당 문법과 시멘틱은 주/부 버전이 참조하는 표준 내에 명시된다.

10.1.2. Scalability

부트스트랩 심볼 당 시그널링 비트 수는 주/부 버전에 따라 규정된 최대값으로 정의된다. 심볼당 최대 비트 수는

$$N_{bps} = \lfloor \log_2(N_{FFT}/C_{yds} \cdot h_{fftol}) \rfloor$$

와 같이 정의되며, $\lfloor x \rfloor$ 는 계단 함수로 x 와 같거나 작은 최대 정수를 의미한다.

여기서, N_{bps} 는 cyclic shift tolerance에 영향을 주며 해당 버전 표준에 명시된다. 심볼당 시그널링 비트의 수는 동일 주 버전 내의 부 버전을 증가 시킬 때 역호환 변화에 대응하도록 규정된 최대값까지 증가시킬 수 있다.

10.1.3. 확장성

부트스트랩 신호 길이는 N_{bps} 비트까지 추가 가능한 새로운 심볼을 추가함으로써 확장이 가능하다. 부트스트랩 신호 종료는 앞 심볼에 대하여 180도 위상 반전된 최종 심볼에 의해 시그널링된다.

예약된 값과 같이 정의되지 않은 시그널링 정보는 수신기에서 무시된다.

10.2. 부트스트랩 규격

10.2.1. 시그널 차원

부트스트랩의 버전 번호나 다른 시그널링 정보가 바뀌더라도 부트스트랩의 표본화율, 대역폭, FFT 크기 및 심볼 길이는 고정 불변이다.

부트스트랩은 6.144Msample/s의 고정된 표본화율, 4.5MHz의 고정 대역폭을 사용하며, 대역폭은 프레임이 사용하는 대역폭과 무관하다. 부트스트랩 각 샘플의 시간 길이는 표본화율에 의해 정해진다.

$$f_s = 6.144 \text{ Ms/sec}$$

$$T_s = 1/f_s$$

$$BW_{\text{Bootstrap}} = 4.5 \text{ MHz}$$

2048 FFT 크기 적용으로 부반송파 간격은 3kHz를 취한다.

$$N_{\text{FFT}} = 2048$$

$$f_{\Delta} = f_S / N_{\text{FFT}} = 3 \text{ kHz}$$

각 부트스트랩 심볼은 500μs의 시간 점유길이를 갖는다.

$$T_{\text{symbol}} = 500 \mu\text{s}$$

부트스트랩의 전체 시간 점유는 부트스트랩 심볼의 수 N_S 에 따른다. 부트스트랩 심볼 수는 고정된 값은 아니다.

10.2.2. 주파수 영역 수열

각 부트스트랩 심볼에 사용되는 값은 그림 10-2에 나타난 바와 같이 주파수 영역에서 PN 수열이 곱해진 ZC 수열이다. ZC 루트와 PN 시드는 각각 부트스트랩의 주 버전과 부 버전을 시그널링 한다.

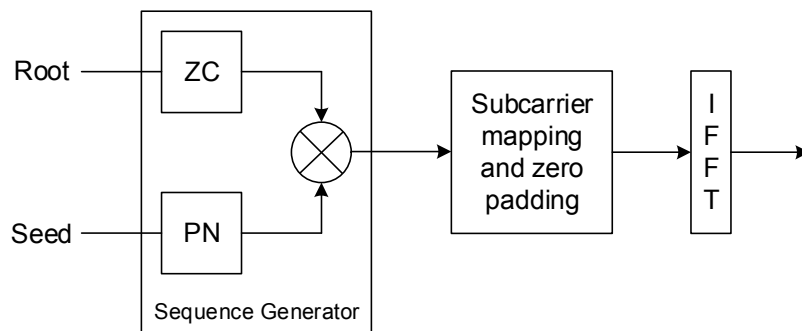


그림 10-2 부트스트랩 생성을 위한 주파수 영역 처리

PN 수열이 곱해진 ZC수열은 복소수 값을 가지며 IFFT 입력의 각 부반송파에 적용된다. PN 수열은 개별 복소수 부반송파에 위상회전(phase rotation)을 인가하고 이에 따라 원래의 ZC 수열에 대한 적절한 CAZAC(Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 특성을 유지하게 한다.

PN 수열은 동일 루트 수열의 cyclic shift 사이에 추가적인 시그널 분리를 통해 자기

상관응답(autocorrelation response)에서 스푸리어스 첨두값을 억압한다.

10.2.2.1. ZC 수열 생성

ZC 수열 $z_q(k)$ 의 길이는 $N_{ZC} = 1499$ 이다. 여기서 q 값은 주 버전에 따라 정해지는 ZC 수열의 root 값을 의미한다.

$$z_q(k) = e^{-j\pi q \frac{k(k+1)}{N_{ZC}}}$$

위 방정식에서 $q \in \{1, 2, \dots, N_{ZC} - 1\}$ 이고, $k = 0, 1, 2, \dots, N_{ZC} - 1$ 이다.

10.2.2.2. PN 수열 생성

PN 수열은 그림 10-3와 같이 차수 $l = 16$ 인 LFSR(Linear Feedback Shift Register)로부터 유도된다. 이 연산은 LFSR 피드백 경로에서 명시하는 생성 다항식 g 에 의해 수행되어야 한다. 생성 다항식 g 와 레지스터 초기상태 r_{int} 은 시드를 정의하며 이는 부 버전 값에 해당한다.

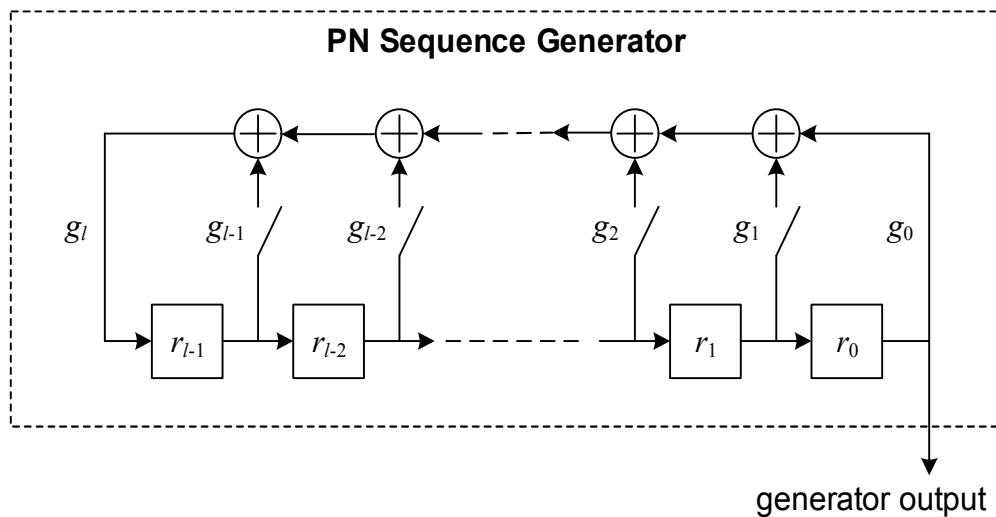


그림 10-3 PN 수열 생성기

새 부트스트랩 첫 심볼 생성에 앞서 PN 수열 생성기 레지스터는 초기 상태로 재초기화 되어야 한다. PN 수열 생성기는 하나의 부트스트랩에서 계속되어야 하고 동일 부트스트랩 내에 연속된 심볼에 대한 재 초기화는 불가하다.

그림 10-3의 PN 수열 생성기의 출력은 $p(k)$ 로 정의된다. $p(k)$ 는 0 또는 1의 값을 갖는다. $p(0)$ 는 그림 10-3에서 발생하는 쉬프트 레지스터의 클로킹(clocking) 이전에, 적당한 시드값으로 PN 수열이 초기화된 이후 PN 수열 생성기의 출력과 동일해야 한다. 새 출력 비트 $p(k)$ 는 그림 10-3에서 한 포지션 우측으로 이동하는 쉬프트 레지스터 클록의 매 시간 마다 잇따라 생성되어야 한다.

PN 수열 생성기의 생성 다항식은 다음과 같다.

$$g = \{g_1, \dots, g_0\} = \{1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1\}$$

$$p(x) = x^{16} + x^{15} + x^{14} + x + 1$$

10.2.2.3. 부반송파 매핑과 변조

그림 10-4는 주파수 영역 수열을 부반송파에 매핑한 그림이다. DC 부반송파(즉, $z_q((N_{zc} - 1)/2)$)에 매핑되는 ZC 수열 값은 DC 부반송파가 널이 되도록 0으로 설정되어야 한다. 부반송파 인덱스는 그림 10-4와 같으며 중앙 DC 부반송파의 인덱스는 0이다.

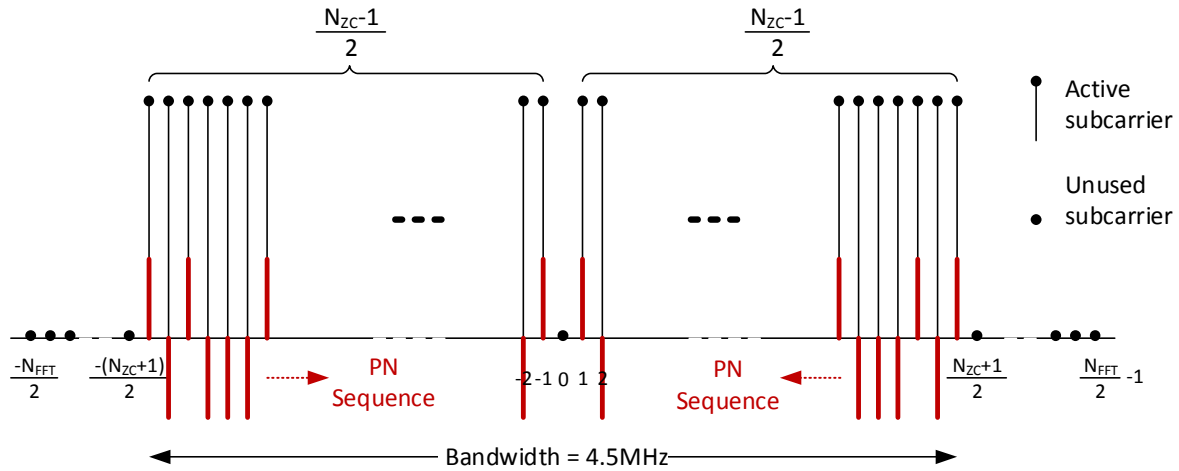


그림 10-4 부반송파에 매핑된 수열

ZC와 PN 수열의 곱은 DC 부반송파에 대해 점대칭이다. ZC 수열은 DC 부반송파에 대해 기본적으로 점대칭을 갖고 PN 수열은 DC 부반송파에 대해 선대칭을 갖도록 값을 지정한다. 그림 10-4와 같이 부트스트랩의 n 번째 심볼에 대한 부반송파 값은 다음과 같이 계산되며 여기서 $N_H = (N_{ZC} - 1)/2$ 이다. ZC 수열은 매 심볼에 동일하고, PN 수열은 ZC 수열과 다르게 심볼마다 초기화 되지 않고 연속적인 값이 사용된다.

$$s_n(k) = \begin{cases} z_q(k + N_H) \times c((n + 1) \times N_H + k) & -N_H \leq k \leq -1 \\ z_q(k + N_H) \times c((n + 1) \times N_H - k) & 1 \leq k \leq N_H \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 $c(k) = 1 - 2 \times p(k)$, $c(k)$ 값은 +1 또는 -1 이다.

부트스트랩의 최종 심볼은 180도 위상반전(즉 180도 위상회전)으로 나타낸다. 부트스트랩 최종 심볼에 대한 시그널링 방법은 주 버전 변경이 없는 경우에 역호환 방식으로 부트스트랩에서 심볼 수를 추가할 수 있다. 위상반전은 각 부반송파 값에 $e^{j\pi} = -1$ 의 곱과 같다.

$$\tilde{s}_n(k) = \begin{cases} s_n(k) & 0 \leq n < N_S - 1 \\ -s_n(k) & n = N_S - 1 \end{cases}$$

10.2.2.4. IFFT

주파수 영역 수열 $\tilde{s}_n(k)$ 는 $N_{\text{FFT}} = 2048$ 크기의 IFFT를 사용해 시간 영역 수열 $\tilde{A}_n(t)$ 로 변환된다.

$$\tilde{A}_n(t) = \frac{1}{\sqrt{N_{\text{FFT}}}} \left(\sum_{k=-(N_{\text{ZC}}-1)/2}^{-1} \tilde{s}_n(k) e^{j2\pi k f_{\Delta} t} + \sum_{k=1}^{(N_{\text{ZC}}-1)/2} \tilde{s}_n(k) e^{j2\pi k f_{\Delta} t} \right)$$

10.2.3. 심볼 시그널링

10.2.3.1. 시그널링 비트

시그널링 정보는 부트스트랩의 시간 영역 수열 $\tilde{A}_n(t)$ 를 통해 시그널링 된다. 이 수열은 $N_{\text{FFT}} = 2048$ 의 길이를 갖는다.

이론적으로 $\log_2(2048) = 11$ 의 11 비트까지 시그널링 가능하다. N_b^n 를 $1 \leq n < N_S$ 중 n 번째 부트스트랩 심볼에 사용되는 시그널링 비트의 수라하고, $b_0^n, \dots, b_{N_b^n-1}^n$ 를 그 비트의 값이라 하면, 사용되는 시그널링 비트 $b_0^n, \dots, b_{N_b^n-1}^n$ 는 0 또는 1의 값을 갖는다. 나머지 시그널링 비트 $b_{N_b^n}^n, \dots, b_{10}^n$ 는 0으로 설정된다.

각 부트스트랩 심볼의 시그널링 비트 N_b^n 는 역호환성을 유지하면서 비사용 시그널링 비트를 사용하기 위해, 동일 주 버전에 새로운 부 버전을 정의하여 증가시킬 수 있다.

10.2.3.2. 상대 순환 시프트

\tilde{M}_n ($0 \leq \tilde{M}_n < N_{\text{FFT}}$)를 앞선 부트스트랩 심볼의 순환 시프트에 대한 상대적인 n 번째 부트스트랩 심볼 $1 \leq n < N_S$ 에 대한 순환 시프트를 나타낸다고 하면, \tilde{M}_n 은 다음 방식에 의해 생성되는 그레이 부호를 사용한 n 번째 부트스트랩 심볼에 대한 시그널링 비트 값으로부터 도출되어야 한다. \tilde{M}_n 는 비트의 집합 $m_{10}^n m_9^n \dots m_1^n m_0^n$ 으로 바이너리 형식

으로 나타낸다. \tilde{M}_n 의 각 비트는 다음과 같이 계산된다.

$$m_i^n = \begin{cases} \left(\sum_{k=0}^{10-i} b_k^n \right) \bmod 2 & i > 10 - N_b^n \\ 1 & i = 10 - N_b^n \\ 0 & i < 10 - N_b^n \end{cases}$$

10.2.3.3. 절대 순환 시프트

첫 부트스트랩 심볼은 초기 시간 동기를 위해 사용되고 ZC 루트와 PN 시드 파라미터 각각을 통해 주 버전과 부 버전 번호를 시그널링 한다. 이 심볼은 어떠한 추가 정보도 시그널링 하지 않으며 항상 0의 순환 시프트를 갖는다.

n 번째 부트스트랩 심볼에 적용되고 차등방식으로 부호화된 절대 순환 시프트 M_n ($0 \leq M_n < N_{FFT}$)는 다음과 같이 계산된다.

$$M_n = \begin{cases} 0 & n = 0 \\ (M_{n-1} + \tilde{M}_n) \bmod N_{FFT} & 1 \leq n < N_S \end{cases}$$

절대 순환 시프트는 IFFT 연산의 출력으로부터 시간 영역 수열 $A_n(t)$ 를 얻기 위해 적용되어야 한다.

$$A_n(t) = \tilde{A}_n((t + M_n) \bmod N_{FFT})$$

10.2.4. 시간 영역 구조

각 부트스트랩 심볼은 A, B, C의 3 파트로 구성된다. 각 파트는 복소수 시간 영역 샘플의 수열로 구성된다. 파트 A는 그림 10-5에 나타낸 바와 같이 적당한 순환 시프트의 주파수 영역 구조의 IFFT로부터 유도된다. 즉 파트 A는 $A_n(t)$ 와 등가이다.

파트 A, B, C는 각각 $N_A = N_{FFT} = 2048$, $N_B = 504$, 그리고 $N_C = 520$ 로 각각 구성된다. 결과적으로 각 부트스트랩 심볼은 $500 \mu s$ 등가 지속시간에 대하여 $N_A + N_B + N_C = 3072$ 샘플로 구성된다.

시간 영역 구조는 크게 CAB와 BCA 구조로 변형된다. 부트스트랩 심볼 0 즉, 초기 심볼은 동기 검출을 위해 사용되는데 CAB 구조를 사용해야 한다. 나머지 부트스트랩 심볼 n ($1 \leq n < N_S$)은 반드시 BCA 구조를 따라야 하며 필드 종료를 나타내는 부트스트랩 심볼까지 포함해야 한다.

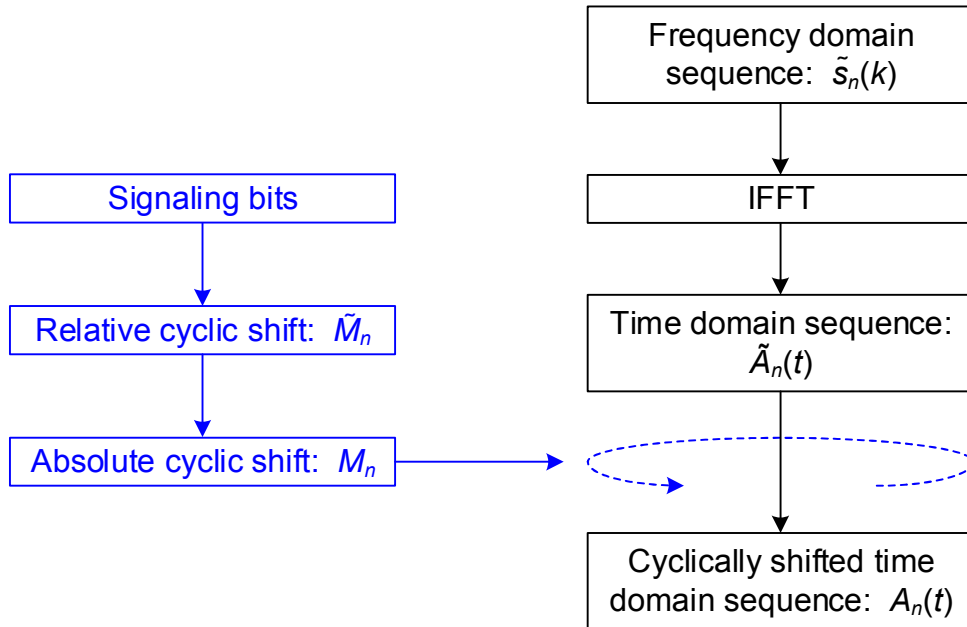


그림 10-5 주파수 영역 수열로부터 순환 시프트 시간 영역 수열 생성

10.2.4.1. CAB 구조

CAB 시간 영역 구조는 그림 10-6과 같다.

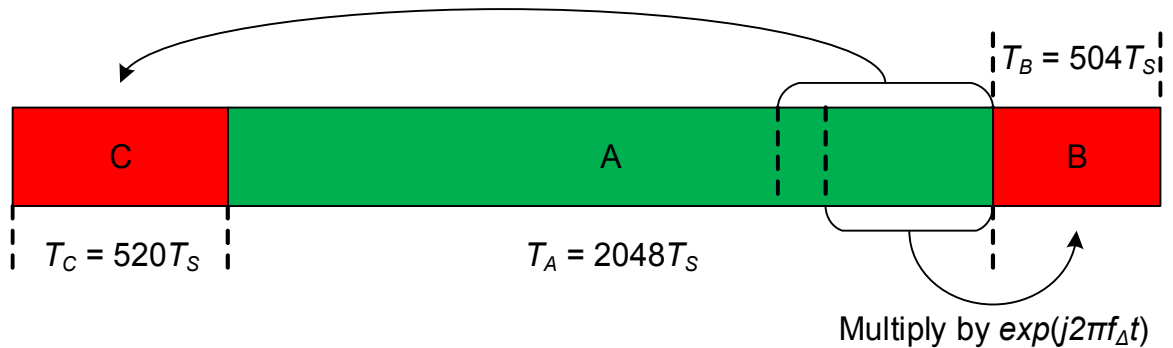


그림 10-6 CAB 시간 영역 심볼 구조

파트 C는 파트 A의 마지막 $N_C = 520$ 샘플로 구성된다. 파트 B는 파트 A의 마지막 $N_B = 504$ 샘플을 취하되 원래 파트 A를 계산하기 위해 사용된 주파수 영역 수열 $\hat{s}_n(k)$ 에 대하여 주파수 천이 $+f_\Delta$ 를 적용한 샘플을 사용한다. 파트 B 샘플은 그림 10-5에 나타난 순환 시프트 시간 영역 수열의 마지막 N_B 샘플의 변형으로 얻을 수 있다. 이때 블록 다이어그램 맨 위에 위치한 주파수 영역 수열은 하나의 부반송파 간격만큼 상향 주파수 천이된 $\hat{s}_n(k)$ 과 같다. (다시 말해 $\hat{s}_n(k) = \hat{s}_n((k-1+N_{\text{FFT}})\bmod N_{\text{FFT}})$ 성립하며, 이때 $\hat{s}_n(k)$ 는 주파수 및 위상 천이된 샘플을 생성하기 위한 주파수 영역 신호이다. 그 대신 파트 B 샘플 생성을 위한 주파수 천이 및 위상 천이는 다음 식과 같이 파트 A에서 적절히 선택된 샘플에 $e^{j2\pi f_\Delta t}$ 를 곱함으로써 시간 영역에 적용할 수 있다.

$$S_{CAB}^n(t) = \begin{cases} A_n(t + 1528T_s) & 0 \leq t < 520T_s \\ A_n(t - 520T_s) & 520T_s \leq t < 2568T_s \\ A_n(t - 1024T_s)e^{j2\pi f_\Delta t} & 2568T_s \leq t < 3072T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

10.2.4.2. BCA 구조

BCA 시간 영역 구조는 그림 10-7과 같다.

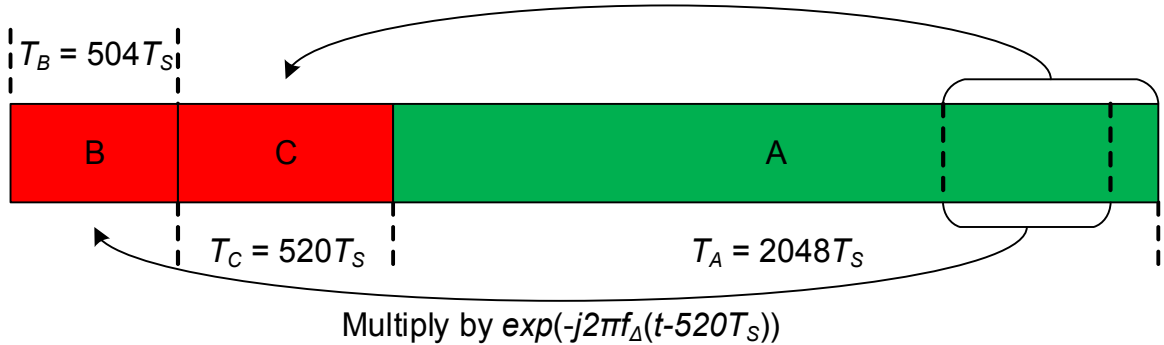


그림 10-7 BCA 시간 영역 심볼 구조

파트 C는 파트 A의 마지막 $N_C = 520$ 샘플로 구성된다. 파트 B는 파트 A의 첫번째 $N_B = 504$ 샘플을 취하되 원래 파트 A를 계산하기 위해 사용된 주파수 영역 수열 $\hat{s}_n(k)$ 에 대하여 주파수 천이 $-f_\Delta$ 를 적용한 샘플을 사용한다. 5.4.1절에서 기술한 것과 유사한 방식으로 파트 B 샘플은 5.4절에 나타난 순환 시프트된 시간 영역 수열의 마지막 N_B 샘플로부터 얻을 수 있다. 이때 블록 다이어그램 맨 위에 위치한 주파수 영역 수열은 하

나의 부반송파 간격만큼 하향 주파수 천이된 $\hat{s}_n(k)$ 과 같다. (다시 말해 $\hat{s}_n(k) = \hat{s}_n((k+1+N_{\text{FFT}})\bmod N_{\text{FFT}})$ 성립하며, 이때 $\hat{s}_n(k)$ 는 주파수 및 위상 천이된 샘플을 생성하기 위한 주파수 영역 신호이다.

BCA 샘플은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$S_{BCA}^n(t) = \begin{cases} A_n(t + 1528T_S)e^{-j2\pi f_{\Delta}(t-520T_S)} & 0 \leq t < 504T_S \\ A_n(t + 1024T_S) & 504T_S \leq t < 1024T_S \\ A_n(t - 1024T_S) & 1024T_S \leq t < 3072T_S \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

파트 B의 샘플은 CAB와 BCA 심볼 구조에 대하여 서로 다른 영역에서 취해진다.

10.3.부트스트랩 시그널 구조

각 시그널링 셋은 구성 파라미터 값, 제어 정보 필드 리스트 그리고 시그널링 비트에 맞는 값과 필드 할당 등을 포함한다.

정의되지 않은 정보를 포함하는 부트스트랩은 수신기에서 무시된다.

10.3.1.주 버전 0에 대한 부트스트랩 시그널링

본 절은 bootstrap_major_version = 0의 경우에 적용된다. bootstrap_major_version = 0인 경우, ZC 루트 (q)는 137이다. ZC 루트 값 중 0~136 또는 138~1498 사이의 값은 향후 확장을 위하여 예약되어 있다.

10.3.1.1.주 버전 0에 대한 부 버전 시그널링

bootstrap_major_version = 0인 경우 부 버전 시그널링을 규정한다. 부트스트랩의 심볼 수 N_S 는 초기 동기 심볼을 포함하여 모든 부 버전에 대하여 4개 또는 그 이상이다.

bootstrap_major_version = 0인 경우, 주어진 부트스트랩 부 버전에 대한 PN 수열 생성기의 초기 레지스터 상태는 사용 중인 bootstrap_minor_version를 시그널링하기 위해 표 10-1의 값으로 설정되어야 한다.

표 10-1 각각의 bootstrap_minor_version 에 대한 PN 수열 생성기의 초기 레지스터 상태(PN 시드)

$r_{nt} = \{r_{l-1}, \dots, r_0\}$		
Bootstrap Minor Version	Binary	Hexadecimal
0	0000 0001 1001 1101	0x019D
1	0000 0000 1110 1101	0x00ED
2	0000 0001 1110 1000	0x01E8
3	0000 0000 1110 1000	0x00E8
4	0000 0000 1111 1011	0x00FB
5	0000 0000 0010 0001	0x0021
6	0000 0000 0101 0100	0x0054
7	0000 0000 1110 1100	0x00EC

● 부 버전 0 제약과 시그널링

bootstrap_minor_version = 0 ($r_{init}=0x019D$)인 경우, 부트스트랩 셋의 심볼 수(N_S)는 초기 동기 심볼을 포함하여 4이다.

부트스트랩 심볼 1은 $N_b^1 = 8$ 을 사용하며 $b_0^1 b_1^1 b_2^1 b_3^1 b_4^1 b_5^1 b_6^1 b_7^1$ 와 같이 MSB에서 LSB 순서이다. 부트스트랩 심볼 1의 시그널링 필드의 문법과 시멘틱은 표 10-2와 같다.

표 10-2 부트스트랩 심볼 1에 대한 시그널링 필드

Syntax	No. of Bits	Format
bootstrap_symbol_1() {		
ea_wake_up_1	1	uimsbf
min_time_to_next	5	uimsbf
system_bandwidth	2	uimsbf
}		

부트스트랩 심볼 1에 대한 시그널링 필드는 다음과 같이 정의된다.

ea_wake_up_1: 긴급상황 존재 여부를 나타내는 시그널링 필드는 **ea_wake_up_1**과 **ea_wake_up_2**로 구성되며 **ea_wake_up_1**은 참조 문헌[3]을 따른다.

min_time_to_next: 현재 프레임 A의 시작부터 현재 프레임 A와 동일한 주/부 버전의 다음 프레임 프레임 B의 시작까지의 최소 시간. 프레임 B의 부트스트랩은 시그널링된

최소 시간 길이 값에서 시작하고 다음 높은 최소 시간 길이 값에서 종료하는 시간 윈도우 내에 위치함을 보장받는다. 아래의 신호 매핑 수식에 따르면, $X=10$ 일 때 부트스트랩 B는 부트스트랩 A의 시작으로부터 700ms ~ 800 ms 지점의 시간 길이에 존재한다.

X 는 5비트 값으로 시그널링되며 T 는 현재 프레임과 동일 버전 번호를 갖는 다음 프레임에 대한 최소 시간 길이를 ms 단위로 나타낸다.

$$T = \begin{cases} T = 50 \times X + 50 & 0 \leq X < 8 \\ T = 100 \times (X - 8) + 500 & 8 \leq X < 16 \\ T = 200 \times (X - 16) + 1300 & 16 \leq X < 24 \\ T = 400 \times (X - 24) + 2900 & 24 \leq X < 32 \end{cases}$$

표 10-3 동일 주/부 버전의 다음 프레임에 대한 최소 시간 길이

Index	Bit Value	Minimum Time Interval (ms)
0	00000	50
1	00001	100
2	00010	150
3	00011	200
4	00100	250
5	00101	300
6	00110	350
7	00111	400
8	01000	500
9	01001	600
10	01010	700
11	01011	800
12	01100	900
13	01101	1000
14	01110	1100
15	01111	1200
16	10000	1300
17	10001	1500
18	10010	1700
19	10011	1900
20	10100	2100
21	10101	2300
22	10110	2500
23	10111	2700
24	11000	2900
25	11001	3300
26	11010	3700
27	11011	4100
28	11100	4500
29	11101	4900
30	11110	5300
31	11111	Not Applicable

system_bandwidth: 현재 물리계층 프레임의 부트스트랩 이후 부분을 위해 사용되는 시스템 대역폭을 나타내며 값은 다음과 같다. (00 = 6 MHz, 01 = 7 MHz, 10 = 8 MHz, 11=8MHz 이상). 국내 지상파 UHDTV 물리계층 전송시스템에서는 6MHz 만 사용한다.

부트스트랩 심볼 2는 $N_b^2 = 8$ 을 사용하며 $b_0^2 b_1^2 b_2^2 b_3^2 b_4^2 b_5^2 b_6^2 b_7^2$ 와 같이 MSB에서 LSB 순서이다. 부트스트랩 심볼 2의 시그널링 필드의 문법과 시멘틱은 표 10-4와 같다.

표 10-4 부트스트랩 심볼 2에 대한 시그널링 필드

Syntax	No. of Bits	Form at
bootstrap_symbol_2() { ea_wake_up_2 bsr_coefficient }	1 7	uimbsf uimbsf

부트스트랩 심볼 2에 대한 시그널링 필드는 다음과 같이 정의된다.

ea_wake_up_2: 긴급상황 존재 여부를 나타내는 시그널링 필드는 **ea_wake_up_1**과 **ea_wake_up_2**로 구성되며 **ea_wake_up_2**는 참조 문헌[3]을 따른다.

bsr_coefficient: - 현재 물리계층 프레임의 부트스트랩 이후 신호에 대한 표본화율 = $(N + 16) \times 0.384$ MHz. 여기서 N은 시그널링되는 값이고 0~80 사이의 비배타적인 값이다. 81~127값은 예약되어 있다.

부트스트랩 심볼 3은 $N_b^3 = 8$ 을 사용하며 $b_0^3 b_1^3 b_2^3 b_3^3 b_4^3 b_5^3 b_6^3 b_7^3$ 와 같이 MSB에서 LSB 순서이다. 부트스트랩 심볼 3의 시그널링 필드의 문법과 시멘틱은 표 10-5와 같다.

표 10-5 부트스트랩 심볼 3에 대한 시그널링 필드

Syntax	No. of Bits	Format
bootstrap_symbol_3() { preamble_structure }	8	uimbsf

부트스트랩 심볼 3에 대한 시그널링 필드는 다음과 같이 정의된다.

preamble_structure: 이 필드는 마지막 부트스트랩 심볼 다음에 위치하는 하나 또는 그 이상의 프리앰블 심볼에 대한 전송 파라미터를 시그널링한다 (부록 G 참조).

부 록 (Appendix)

A. LDPC 부호

A.1. LDPC 부호 매트릭스($N_{\text{inner}} = 64800$)

표 A-1 부호율 = 2/15 ($N_{\text{inner}} = 64800$)

```

615 898 1029 6129 8908 10620 13378 14359 21964 23319 26427 26690 28128 33435 36080 40697 43525 44498 50994
165 1081 1637 2913 8944 9639 11391 17341 22000 23580 32309 38495 41239 44079 47395 47460 48282 51744 52782
426 1340 1493 2261 10903 13336 14755 15244 20543 29822 35283 38846 45368 46642 46934 48242 49000 49204 53370
407 1059 1366 2004 5985 9217 9321 13576 19659 20808 30009 31094 32445 39094 39357 40651 44358 48755 49732
692 950 1444 2967 3929 6951 10157 10326 11547 13562 19634 34484 38236 42918 44685 46172 49694 50535 55109
1087 1458 1574 2335 3248 6965 17856 23454 25182 37359 37718 37768 38061 38728 39437 40710 46298 50707 51572
1098 1540 1711 7723 9549 9986 16369 19567 21185 21319 25750 32222 32463 40342 41391 43869 48372 52149 54722
514 1283 1635 6602 11333 11443 17690 21036 22936 24525 25425 27103 28733 29551 39204 42525 49200 54899 54961
357 609 1096 2954 4240 5397 8425 13974 15252 20167 20362 21623 27190 42744 47819 49096 51995 55504 55719
25 448 1501 11572 13478 24338 29198 29840 31428 33088 34724 37698 37988 38297 40482 46953 47880 53751 54943
328 1096 1262 10802 12797 16053 18038 20433 20444 25422 32992 34344 38326 41435 46802 48766 49807 52966 55751
34 790 987 5082 5788 10778 12824 18217 23278 24737 28312 34464 36765 37999 39603 40797 43237 53089 55319
226 1149 1470 3483 8949 9312 9773 13271 17804 20025 20323 30623 38575 39887 40305 46986 47223 49998 52111
1088 1091 1757 2682 5526 5716 9665 10733 12997 14440 24665 27990 30203 33173 37423 38934 40494 45418 48393
809 1278 1580 3486 4529 6117 6212 6823 7861 9244 11559 20736 30333 32450 35528 42968 44485 47149 54913
369 525 1622 2261 6454 10483 11259 16461 17031 20221 22710 25137 26622 27904 30884 31858 44121 50690 56000
423 1291 1352 7883 26107 26157 26876 27071 31515 35340 35953 36608 37795 37842 38527 41720 46206 47998 53019
540 662 1433 2828 14410 22880 24263 24802 28242 28396 35928 37214 39748 43915 44905 46590 48684 48890 55926
214 1291 1622 7311 8985 20952 22752 23261 24896 25057 28826 37074 37707 38742 46026 51116 51521 52956 54213
109 1305 1676 2594 7447 8943 14806 16462 19730 23430 24542 34300 36432 37133 41199 43942 45860 47598 48401 49407
242 388 1360 6721 14220 21029 22536 25126 32251 33182 39192 42436 44144 45252 46238 47369 47607 47695 50635 51469
199 958 1111 13661 18809 19234 21459 25221 25837 28256 36919 39031 39107 39262 43572 45018 45959 48006 52387 55811
668 1087 1451 2945 3319 12519 21248 21344 22627 22701 28152 29670 31430 32655 38533 42233 43200 44013 44459 51398
244 1133 1665 8222 8740 11285 12774 15922 20147 20978 28927 35086 40197 40583 41066 41223 42104 44650 45391 48437
5623 8050 9679 12978 15846 16049 21807 23364 27226 27758 28661 38147 46337 48141 51364 51927 55124
10369 13704 14491 18632 19430 21218 33392 36182 36722 37342 37415 46322 47449 51136 53392 54356 55108
7460 9411 11132 11739 13722 15501 25588 26463 26738 31980 31981 35002 39659 39783 41581 51358 55114
8915 15253 15264 16513 16896 18367 19110 23492 32074 33302 42443 43797 44715 47538 48515 53464 53548
5884 8910 10123 11311 13654 14207 16122 18113 23100 23784 24825 39629 46372 52454 52799 55039 55973

```

표 A-2 부호율 = 3/15 ($N_{\text{inner}} = 64800$)

```

920 963 1307 2648 6529 17455 18883 19848 19909 24149 24249 38395 41589 48032 50313
297 736 744 5951 8438 9881 15522 16462 23036 25071 34915 41193 42975 43412 49612
10 223 879 4662 6400 8691 14561 16626 17408 22810 31795 32580 43639 45223 47511
629 842 1666 3150 7596 9465 12327 18649 19052 19279 29743 30197 40106 48371 51155
857 953 1116 8725 8726 10508 17112 21007 30649 32113 36962 39254 46636 49599 50099
700 894 1128 5527 6216 15123 21510 24584 29026 31416 37158 38460 42511 46932 51832
430 592 1521 3018 10430 18090 18092 18388 20017 34383 35006 38255 41700 42158 45211
91 1485 1733 11624 12969 17531 21324 23657 27148 27509 28753 35093 43352 48104 51648
18 34 117 6739 8679 11018 12163 16733 24113 25906 30605 32700 36465 40799 43359
481 1545 1644 4216 4606 6015 6609 14659 16966 18056 19137 26670 28001 30668 49061
174 1208 1387 10580 11507 13751 16344 22735 23559 26492 27672 33399 44787 44842 45992
1151 1185 1472 6727 10701 14755 15688 17441 21281 23692 23994 31366 35854 37301 43148
200 799 1583 3451 5880 7604 8194 13428 16109 18584 20463 22373 31977 47073 50087
346 843 1352 13409 17376 18233 19119 19382 20578 24183 32052 32912 43204 48539 49893
76 457 1169 13516 14520 14638 22391 25294 31067 31325 36711 44072 44854 49274 51624
759 798 1420 6661 12101 12573 13796 15510 18384 26649 30875 36856 38994 43634 49281
551 797 1000 3999 10040 11246 15793 23298 23822 38480 39209 45334 46603 46625 47633
441 875 1554 5336 25948 28842 30329 31503 39203 39673 46250 47021 48555 49229 51421
963 1470 1642 3180 3943 6513 9125 15641 17083 18876 28499 32764 42420 43922 45762
293 324 867 8903 10582 17926 19830 22497 24848 30034 34659 37721 41523 42534 47806
687 975 1356 2721 3002 3874 4119 12336 17119 21251 22482 22833 24681 26225 48514
549 951 1268 9144 11710 12623 18949 19362 22769 32603 34559 34683 36338 47140 51069
52 890 1669 3905 5670 14712 18314 22297 30328 33389 35447 35512 35516 40587 41918
656 1063 1694 3338 3793 4513 6009 7441 13393 20920 26501 27576 29623 31261 42093
425 1018 1086 9226 10024 17552 24714 24877 25853 28918 30945 31205 33103 42564 47214
32 1145 1438 4916 4945 14830 17505 19919 24118 28506 30173 31754 34230 48608 50291
559 1216 1272 2856 8703 9371 9708 16180 19127 24337 26390 36649 41105 42988 44096
362 658 1191 7769 8998 14068 15921 18471 18780 31995 32798 32864 37293 39468 44308
1136 1389 1785 8800 12541 14723 15210 15859 26569 30127 31357 32898 38760 50523 51715
44 80 1368 2010 2228 6614 6767 9275 25237 30208 39537 42041 49906 50701 51199
1522 1536 1765 3914 5350 10869 12278 12886 16379 22743 23987 26306 30966 33854 41356
212 648 709 3443 7007 7545 12484 13358 17008 20433 25862 31945 39207 39752 40313
789 1062 1431 12280 17415 18098 23729 37278 38454 38763 41039 44600 50700 51139 51696
825 1298 1391 4882 12738 17569 19177 19896 27401 37041 39181 39199 41832 43636 45775
992 1053 1485 3806 16929 18596 22017 23435 23932 30211 30390 34469 37213 46220 49646
771 850 1039 5180 7653 13547 17980 23365 25318 34374 36115 38753 42993 49696 51031
7383 14780 15959 18921 22579 28612 32038 36727 40851 41947 42707 50480
8733 9464 13148 13899 19396 22933 23039 25047 29938 33588 33796 48930
2493 12555 16706 23905 35400 36330 37065 38866 40305 43807 43917 50621
6437 11927 14542 16617 17317 17755 18832 24772 29273 31136 36925 46663
2191 3431 6288 6430 9908 13069 23014 24822 29818 39914 46010 47246

```

표 A-3 부호율 = 4/15 (Ninner = 64800)

276	1754	1780	3597	8549	15196	26305	27003	33883	37189	41042	41849	42356
730	873	927	9310	9867	17594	21969	25106	25922	31167	35434	37742	45866
925	1202	1564	2575	2831	2951	5193	13096	18363	20592	33786	34090	40900
973	1045	1071	8545	8980	11983	18649	21323	22789	22843	26821	36720	37856
402	1038	1689	2466	2893	13474	15710	24137	29709	30451	35568	35966	46436
263	271	395	5089	5645	15488	16314	28778	29729	34350	34533	39608	45371
387	1059	1306	1955	6990	20001	24606	28167	33802	35181	38481	38688	45140
53	851	1750	3493	11415	18882	20244	23411	28715	30722	36487	38019	45416
810	1044	1772	3906	5832	16793	17333	17910	23946	29650	34190	40673	45828
97	491	948	12156	13788	24970	33774	37539	39750	39820	41195	46464	46820
192	899	1283	3732	7310	13637	13810	19005	24227	26772	31273	37665	44005
424	531	1300	4860	8983	10137	16323	16888	17933	22458	26917	27835	37931
130	279	731	3024	6378	18838	19746	21007	22825	23109	28644	32048	34667
938	1041	1482	9589	10065	11535	17477	25816	27966	35022	35025	42536	
170	454	1312	5326	6765	23408	24090	26072	33037	38088	42985	46413	
220	804	843	2921	4841	7760	8303	11259	21058	21276	34346	37604	
676	713	832	11937	12006	12309	16329	26438	34214	37471	38179	42420	
714	931	1580	6837	9824	11257	15556	26730	32053	34461	35889	45821	
28	1097	1340	8767	9406	17253	29558	32857	37856	38593	41781	47101	
158	722	754	14489	23851	28160	30371	30579	34963	44216	46462	47463	
833	1326	1332	7032	9566	11011	21424	26827	29789	31699	32876	37498	
251	504	1075	4470	7736	11242	20397	32719	34453	36571	40344	46341	
330	581	868	15168	20265	26354	33624	35134	38609	44965	45209	46909	
729	1643	1172	3946	4912	9615	19699	30993	33658	38712	39424	46799	
546	982	1274	9264	11017	11868	15674	16277	19204	28606	39063	43331	
73	1160	1196	4334	12560	13583	14703	18270	18719	19327	38985	46779	
1147	1625	1759	3767	5912	11599	18561	19330	29619	33671	43346	44098	
104	1507	1586	9387	17890	23532	27008	27861	30966	33579	35541	39801	
1700	1746	1793	4941	7814	13746	20375	27441	30262	30392	35385	42848	
183	555	1029	3090	5412	8148	19662	23312	23933	28179	29962	35514	
891	908	1127	2827	4077	4376	4570	26923	27456	33699	43431	46071	
404	1110	1782	6003	14452	19247	26998	30137	31404	31624	46621	47366	
886	1627	1704	8193	8980	9648	10928	16267	19774	35111	38545	44735	
268	380	1214	4797	5168	9109	9288	17992	21309	33210	36210	41429	
572	1121	1165	6944	7114	20978	23540	25863	26190	26365	41521	44690	
18	185	496	5885	6165	20468	23895	24745	31226	33680	37665	38587	
289	527	1118	11275	12015	18088	22805	24679	28262	30160	34892	43212	
658	926	1589	7634	16231	22193	25320	26057	26512	27498	29472	34219	
337	801	1525	2023	3512	16031	26911	32719	35620	39035	43779	44316	
248	534	670	6217	11430	24090	26509	28712	33073	33912	38048	39813	
82	1556	1575	7879	7892	14714	22404	22773	25531	34170	38203	38254	
247	313	1224	3694	14304	24033	26394	28101	37455	37859	38997	41344	
790	887	1418	2811	3288	9049	9704	13303	14262	38149	40109	40477	
1310	1384	1471	3716	8250	25371	26329	26997	30138	40842	41041	44921	
86	288	367	1860	8713	18211	22628	22811	28342	28463	40415	45845	
719	1438	1741	8258	10797	29270	29404	32096	34433	34616	36030	45597	
215	1182	1364	8146	9949	10498	18603	19304	19803	23685	43304	45121	
1243	1496	1537	8484	8851	16589	17665	20152	24283	28993	34274	39795	
6320	6785	15841	16309	20512	25804	27421	28941	43871	44647			
2207	2713	4450	12217	16506	21188	23933	28789	38099	42392			
14064	14307	14599	14866	17540	18881	21065	25823	30341	36963			
14259	14396	17037	26769	29219	29319	31689	33013	35631	37319			
7798	10495	12868	14298	17221	23344	31908	39809	41001	41965			

표 A-4 부호율 = 5/15 (Ninner = 64800)

221 1011 1218 4299 7143 8728 11072 15533 17356 33909 36833
 360 1210 1375 2313 3493 16822 21373 23588 23656 26267 34098
 544 1347 1433 2457 9186 10945 13583 14858 19195 34606 37441
 37 596 715 4134 8091 12106 24307 24658 34108 40591 42883
 235 398 1204 2075 6742 11670 13512 23231 24784 27915 34752
 204 873 890 13550 16570 19774 34012 35249 37655 39885 42890
 221 371 514 11984 14972 15690 28827 29069 30531 31018 43121
 280 549 1435 1889 3310 10234 11575 15243 20748 30469 36005
 223 666 1248 13304 14433 14732 18943 21248 23127 38529 39272
 370 819 1065 9461 10319 25294 31958 33542 37458 39681 40039
 585 870 1028 5087 5216 12228 16216 16381 16937 27132 27893
 164 167 1210 7386 11151 20413 22713 23134 24188 36771 38992
 298 511 809 4620 7347 8873 19602 24162 29198 34304 41145
 105 830 1212 2415 14759 15440 16361 16748 22123 32684 42575
 659 665 668 6458 22130 25972 30697 31074 32048 36078 37129
 91 808 953 8015 8988 13492 13987 15979 28355 34509 39698
 594 983 1265 3028 4029 9366 11069 11512 27066 40939 41639
 506 740 1321 1484 10747 16376 17384 20285 31502 38925 42606
 338 356 975 2022 3578 18689 18772 19826 22914 24733 27431
 709 1264 1366 4617 8893 25226 27800 29080 30277 37781 39644
 840 1179 1338 2973 3541 7043 12712 15005 17149 19910 36795
 1009 1267 1380 4919 12679 22889 29638 30987 34637 36232 37284
 466 913 1247 1646 3049 5924 9014 20539 34546 35029 36540
 374 697 984 1654 5870 10883 11684 20294 28888 31612 34031
 117 240 635 5093 8673 11323 12456 14145 21397 39619 42559
 122 1265 1427 13528 14282 15241 16852 17227 34723 36836 39791
 595 1180 1310 6952 17916 24725 24971 27243 29555 32138 35987
 140 470 1017 13222 13253 18462 20806 21117 28673 31598 37235
 7 710 1072 8014 10804 13303 14292 16690 26676 36443 41966
 48 189 759 12438 14523 16388 23178 27315 28656 29111 29694
 285 387 410 4294 4467 5949 25386 27898 34880 41169 42614
 474 545 1320 10506 13186 18126 27110 31498 35353 36193 37322
 1075 1130 1424 11390 13312 14161 16927 25071 25844 34287 38151
 161 396 427 5944 17281 22201 25218 30143 35566 38261 42513
 233 247 694 1446 3180 3507 9069 20764 21940 33422 39358
 271 508 1013 6271 21760 21858 24887 29808 31099 35475 39924
 8 674 1329 3135 5110 14460 28108 28388 31043 31137 31863
 1035 1222 1409 8287 16083 24450 24888 29356 30329 37834 39684
 391 1090 1128 1866 4095 10643 13121 14499 20056 22195 30593
 55 161 1402 6289 6837 8791 17937 21425 26602 30461 37241
 110 377 1228 6875 13253 17032 19008 23274 32285 33452 41630
 360 638 1355 5933 12593 13533 23377 23881 24586 26040 41663
 535 1240 1333 3354 10860 16032 32573 34908 34957 39255 40759
 526 936 1321 7992 10260 18527 28248 29356 32636 34666 35552
 336 785 875 7530 13062 13075 18925 27963 28703 33688 36502
 36 591 1062 1518 3821 7048 11197 17781 19408 22731 24783
 214 1145 1223 1546 9475 11170 16061 21273 38688 40051 42479
 1136 1226 1423 20227 22573 24951 26462 29586 34915 42441 43048
 26 276 1425 6048 7224 7917 8747 27559 28515 35002 37649
 127 294 437 4029 8585 9647 11904 24115 28514 36893 39722
 748 1093 1403 9536 19305 20468 31049 38667 40502 40720 41949
 96 638 743 9806 12101 17751 22732 24937 32007 32594 38504
 649 904 1079 2770 3337 9158 20125 24619 32921 33698 35173
 401 518 984 7372 12438 12582 18704 35874 39420 39503 39790
 10 451 1077 8078 16320 17409 25807 28814 30613 41261 42955
 405 592 1178 15936 18418 19585 21966 24219 30637 34536 37838
 50 584 851 9720 11919 22544 22545 25851 35567 41587 41876
 911 1113 1176 1806 10058 10809 14220 19044 20748 29424 36671
 441 550 1135 1956 11254 18699 30249 33099 34587 35243 39952
 510 1016 1281 8621 13467 13780 15170 16289 20925 26426 34479
 4969 5223 17117 21950 22144 24043 27151 39809
 11452 13622 18918 19670 23995 32647 37200 37399
 6351 6426 13185 13973 16699 22524 31070 31916
 4098 10617 14854 18004 28580 36158 37500 38552

1606 3402 4961 6751 7132 11516 12300 12482 12592 13342 13764 14123 21576 23946 24533 25376 25667 26836 31799 34173 35462 36153 36740 37085 37152 3
7468 37658
4621 5007 6910 8732 9757 11508 13099 15513 16335 18052 19512 21319 23663 25628 27208 31333 32219 33003 33239 33447 36200 36473 36938 37201 37283 3
7495 38642
16 1094 2020 3080 4194 5098 5631 6877 7889 8237 9804 10067 11017 11366 13136 13354 15379 18934 20199 24522 26172 28666 30386 32714 36390 37015 371
62
700 897 1708 6017 6490 7372 7825 9546 10398 16605 18561 18745 21625 22137 23693 24340 24966 25015 26995 28586 28895 29687 33938 34520 34858 37056
38297
159 2010 2573 3617 4452 4958 5556 5832 6481 8227 9924 10836 14954 15594 16623 18065 19249 22394 22677 23408 23731 24076 24776 27007 28222 30343 38
371
3118 3545 4768 4992 5227 6732 8170 9397 10522 11508 15536 20218 21921 28599 29445 29758 29968 31014 32027 33685 34378 35867 36323 36728 36870 3833
5 38623
1264 4254 6936 9165 9486 9950 10861 11653 13697 13961 15164 15665 18444 19470 20313 21189 24371 26431 26999 28086 28251 29261 31981 34015 35850 36
129 37186
111 1307 1628 2041 2524 5358 7988 8191 10322 11905 12919 14127 15515 15711 17061 19024 21195 22902 23727 24401 24608 25111 25228 27338 35398 37794
38196
961 3035 7174 7948 13355 13607 14971 18189 18339 18665 18875 19142 20615 21136 21309 21758 23366 24745 25849 25982 27583 30006 31118 32106 36469 3
6583 37920
2990 3549 4273 4808 5707 6021 6509 7456 8240 10044 12262 12660 13085 14750 15680 16049 21587 23997 25803 28343 28693 34393 34860 35490 36021 37737
38296
955 4323 5145 6885 8123 9730 11840 12216 19194 20313 23056 24248 24830 25268 26617 26801 28557 29753 30745 31450 31973 32839 33025 33296 35710 373
66 37509
264 605 4181 4483 5156 7238 8863 10939 11251 12964 16254 17511 20017 22395 22818 23261 23422 24064 26329 27723 28186 30434 31956 33971 34372 36764
38123
520 2562 2794 3528 3860 4402 5676 6963 8655 9018 9783 11933 16336 17193 17320 19035 20606 23579 23769 24123 24966 27866 32457 34011 34499 36620 37
526
10106 10637 10906 34242
1856 15100 19378 21848
943 11191 27806 29411
4575 6359 13629 19383
4476 4953 18782 24313
5441 6381 21840 35943
9638 9763 12546 30120
9587 10626 11047 25700
4088 15298 28768 35047
2332 6363 8782 28863
4625 4933 28298 30289
3541 4918 18257 31746
1221 25233 26757 34892
8150 16677 27934 30021
8500 25016 33043 38070
7374 10207 16189 35811
611 18480 20064 38261
25416 27352 36089 38469
1667 17614 25839 32776
4118 12481 21912 37945
5573 13222 23619 31271
18271 26251 27182 30587
14690 26430 26799 34355
13688 16040 20716 34558
2740 14957 23436 32540
3491 14365 14681 36858
4796 6238 25203 27854
1731 12816 17344 26025
19182 21662 23742 27872
6502 13641 17509 34713
12246 12372 16746 27452
1589 21528 30621 34003
12328 20515 30651 31432
3415 22656 23427 36395
632 5209 25958 31085
619 3690 19648 37778
9528 13581 26965 36447
2147 26249 26968 28776
15698 18209 30683
1132 19888 34111
4608 25513 38874
475 1729 34100
7348 32277 38587
182 16473 33082
3865 9678 21265
4447 20151 27618
6335 14371 38711
704 9695 28858
4856 9757 30546
1993 19361 30732
756 28000 29138
3821 24076 31813
4611 12326 32291
7628 21515 34995
1246 13294 30068
6466 33233 35865
14484 23274 38150
21269 36411 37450
23129 26195 37653

표 A-6 부호율 = 7/15 (Ninner = 64800)

460 792 1007 4580 11452 13130 26882 27020 32439
 35 472 1056 7154 12700 13326 13414 16828 19102
 45 440 772 4854 7863 26945 27684 28651 31875
 744 812 892 1509 9018 12925 14140 21357 25106
 271 474 761 4268 6706 9609 19701 19707 24870
 223 477 662 1987 9247 18376 22148 24948 27694
 44 379 786 8823 12322 14666 16377 28688 29924
 104 219 562 5832 19665 20615 21043 22759 32180
 41 43 870 7963 13718 14136 17216 30470 33428
 592 744 887 4513 6192 18116 19482 25032 34095
 456 821 1078 7162 7443 8774 15567 17243 33085
 151 666 977 6946 10358 11172 18129 19777 32234
 236 793 870 2001 6805 9047 13877 30131 34252
 297 698 772 3449 4204 11608 22950 26071 27512
 202 428 474 3205 3726 6223 7708 20214 25283
 139 719 915 1447 2938 11864 15932 21748 28598
 135 853 902 3239 18590 20579 30578 33374 34045
 9 13 971 11834 13642 17628 21669 24741 30965
 344 531 730 1880 16895 17587 21901 28620 31957
 7 192 380 3168 3729 5518 6827 20372 34168
 28 521 681 4313 7465 14209 21501 23364 25980
 269 393 898 3561 11066 11985 17311 26127 30309
 42 82 707 4880 4890 9818 23340 25959 31695
 189 262 707 6573 14082 22259 24230 24390 24664
 383 568 573 5498 13449 13990 16904 22629 34203
 585 596 820 2440 2488 21956 28261 28703 29591
 755 763 795 5636 16433 21714 23452 31150 34545
 23 343 669 1159 3507 13096 17978 24241 34321
 316 384 944 4872 8491 18913 21085 23198 24798
 64 314 765 3706 7136 8634 14227 17127 23437
 220 693 899 8791 12417 13487 18335 22126 27428
 285 794 1045 8624 8801 9547 19167 21894 32657
 386 621 1045 1634 1882 3172 13686 16027 22448
 95 622 693 2827 7098 11452 14112 18831 31308
 446 813 928 7976 8935 13146 27117 27766 33111
 89 138 241 3218 9283 20458 31484 31538 34216
 277 420 704 9281 12576 12788 14496 15357 20585
 141 643 758 4894 10264 15144 16357 22478 26461
 17 108 160 13183 15424 17939 19276 23714 26655
 109 285 608 1682 20223 21791 24615 29622 31983
 123 515 622 7037 13946 15292 15606 16262 23742
 264 565 923 6460 13622 13934 23181 25475 26134
 202 548 789 8003 10993 12478 16051 25114 27579
 121 450 575 5972 10062 18693 21852 23874 28031
 507 560 889 12064 13316 19629 21547 25461 28732
 664 786 1043 9137 9294 10163 23389 31436 34297
 45 830 907 10730 16541 21232 30354 30605 31847
 203 507 1060 6971 12216 13321 17861 22671 29825
 369 881 952 3035 12279 12775 17682 17805 34281
 683 709 1032 3787 17623 24138 26775 31432 33626
 524 792 1042 12249 14765 18601 25811 32422 33163
 137 639 688 7182 8169 10443 22530 24597 29039
 159 643 749 16386 17401 24135 28429 33468 33469
 107 481 555 7322 13234 19344 23498 26581 31378
 249 389 523 3421 10150 17616 19085 20545 32069
 395 738 1045 2415 3005 3820 19541 23543 31068
 27 293 703 1717 3460 8326 8501 10290 32625
 126 247 515 6031 9549 10643 22067 28490 34450
 331 471 1007 3020 3922 7580 23358 28620 30946
 222 542 1021 3291 3652 13130 16349 33009 34348
 532 719 1038 5891 7528 23252 25472 31395 31774
 145 398 774 7816 13887 14936 23708 31712 33160
 88 536 600 1239 1887 12195 13782 16726 27998
 151 269 585 1445 3178 3970 15568 20358 21051
 650 819 865 15567 18546 25571 32038 33350 33620
 93 469 800 6059 10405 12296 17515 21354 22231
 97 206 951 6161 16376 27022 29192 30190 30665
 412 549 986 5833 10583 10766 24946 28878 31937
 72 604 659 5267 12227 21714 32120 33472 33974
 25 902 912 1137 2975 9642 11598 25919 28278
 420 976 1055 8473 11512 20198 21662 25443 30119
 1 24 932 6426 11899 13217 13935 16548 29737
 53 618 988 6280 7267 11676 13575 15532 25787
 111 739 809 8133 12717 12741 20253 20608 27850
 120 683 943 14496 15162 15440 18660 27543 32404
 600 754 1055 7873 9679 17351 27268 33508
 344 756 1054 7102 7193 22903 24720 27883
 582 1003 1046 11344 23756 27497 27977 32853
 28 429 509 11106 11767 12729 13100 31792
 131 555 907 5113 10259 10300 20580 23029
 406 815 977 12244 20259 26616 27899 32228
 46 195 224 1229 4116 10263 13608 17830
 19 819 953 7965 9998 13959 30580 30754
 164 1003 1032 12920 15975 16582 22624 27357
 8433 11894 13531 17675 25889 31384
 3166 3813 8596 10368 25104 29584
 2466 8241 12424 13376 24837 32711

표 A-7 부호율 = 8/15 (Ninner = 64800)

2768 3039 4059 5856 6245 7013 8157 9341 9802 10470 11521 12083 16610 18361 20321 24601 27420 28206 29788	5496 15681 21854
2739 8244 8891 9157 12624 12973 15534 16622 16919 18402 18780 19854 20220 20543 22306 25540 27478 27678 2	12697 13407 22178
8053	12788 21227 22894
1727 2268 6246 7815 9010 9556 10134 10472 11389 14599 15719 16204 17342 17666 18850 22058 25579 25860 292	629 2854 6232
07	2289 18227 27458
28 1346 3721 5565 7019 9240 12355 13109 14800 16040 16839 17369 17631 19357 19473 19891 20381 23911 29683	7593 21935 23001
869 2450 4386 5316 6160 7107 10362 11132 11271 13149 16397 16532 17113 19894 22043 22784 27383 28615 2880	3836 7081 12282
4	7925 18440 23135
508 4292 5831 8559 10044 10412 11283 14810 15888 17243 17538 19903 20528 22090 22652 27235 27384 28208 28	497 6342 9717
485	11199 22046 30067
389 2248 5840 6043 7000 9054 11075 11760 12217 12565 13587 15403 19422 19528 21493 25142 27777 28566 2870	12572 28045 28990
2	1240 2023 10933
1015 2002 5764 6777 9346 9629 11039 11153 12690 13068 13990 16841 17702 20021 24106 26300 29332 30081 301	19566 20629 25186
96	6442 13303 28813
1480 3084 3467 4401 4798 5187 7851 11368 12323 14325 14546 16360 17158 18010 21333 25612 26556 26906 2700	4765 10572 16180
5	552 19301 24286
6925 8876 12392 14529 15253 15437 19226 19950 20321 23021 23651 24393 24653 26668 27205 28269 28529 29041	6782 18480 21383
29292	11267 12288 15758
2547 3404 3538 4666 5126 5468 7695 8799 14732 15072 15881 17410 18971 19609 19717 22150 24941 27908 29018	771 5652 15531
888 1581 2311 5511 7218 9107 10454 12252 13662 15714 15894 17025 18671 24304 25316 25556 28489 28977 2921	16131 20047 25649
2	13227 23035 24450
1047 1494 1718 4645 5030 6811 7868 8146 10611 15767 17682 18391 22614 23021 23763 25478 26491 29088 29757	4839 13467 27488
59 1781 1900 3814 4121 8044 8906 9175 11156 14841 15789 16033 16755 17292 18550 19310 22505 29567 29850	2852 4677 22993
1952 3057 4399 9476 10171 10769 11335 11569 15002 19501 20621 22642 23452 24360 25109 25290 25828 28505 2	2504 28116 29524
9122	12518 17374 24267
2895 3070 3437 4764 4905 6670 9244 11845 13352 13573 13975 14600 15871 17996 19672 20079 20579 25327 2795	1222 11859 27922
8	9660 17286 18261
612 1528 2004 4244 4599 4926 5843 7684 10122 10443 12267 14368 18413 19058 22985 24257 26202 26596 27899	232 11296 29978
1361 2195 4146 6708 7158 7538 9138 9998 14862 15359 16076 18925 21401 21573 22503 24146 24247 27778 29312	9750 11165 16295
5229 6235 7134 7655 9139 13527 15408 16058 16705 18320 19909 20901 22238 22437 23654 25131 27550 28247 29	4894 9505 23622
903	10861 11980 14110
697 2035 4887 5275 6909 9166 11805 15338 16381 18403 20425 20688 21547 24590 25171 26726 28848 29224 2941	2128 15883 22836
2	6274 17243 21989
5379 17329 22659 23062	10866 13202 22517
11814 14759 22329 22936	11159 16111 21608
2423 2811 10296 12727	3719 18787 22100
8460 15260 16769 17290	1756 2020 23901
14191 14608 29536 30187	20913 29473 30103
7103 10069 20111 22850	2729 15091 26976
4285 15413 26448 29069	4410 8217 12963
548 2137 9189 10928	5395 24564 28235
4581 7077 23382 23949	3859 17909 23051
3942 17248 19486 27922	5733 26005 29797
8668 10230 16922 26678	1935 3492 29773
6158 9980 13788 28198	11903 21380 29914
12422 16076 24206 29887	6091 10469 29997
8778 10649 18747 22111	2895 8930 15594
21029 22677 27150 28980	1827 10028 20070
7918 15423 27672 27803	
5927 18086 23525	
3397 15058 30224	
24016 25880 26268	
1096 4775 7912	
3259 17301 20802	
129 8396 15132	
17825 28119 28676	
2343 8382 28840	
3907 18374 20939	
1132 1290 8786	
1481 4710 28846	
2185 3705 26834	

표 A-8 부호율 = 9/15 (Ninner = 64800)

113 1557 3316 5680 6241 10407 13404 13947 14040 14353 15522 15698 16079 17363 19374 19543 20530 22833 243 39	56 4564 19121
271 1361 6236 7006 7307 7333 12768 15441 15568 17923 18341 20321 21502 22023 23938 25351 25590 25876 2591 0	5595 15086 25892
73 605 872 4008 6279 7653 10346 10799 12482 12935 13604 15909 16526 19782 20506 22804 23629 24859 25600	3174 17127 23183
1445 1690 4304 4851 8919 9176 9252 13783 16076 16675 17274 18806 18882 20819 21958 22451 23869 23999 2417 7	19397 19817 20275
1290 2337 5661 6371 8996 10102 10941 11360 12242 14918 16808 20571 23374 24046 25045 25060 25662 25783 25 913	12561 24571 25825
28 42 1926 3421 3503 8558 9453 10168 15820 17473 19571 19685 22790 23336 23367 23890 24061 25657 25680	7111 9889 25865
0 1709 4041 4932 5968 7123 8430 9564 10596 11026 14761 19484 20762 20858 23803 24016 24795 25853 25863	19104 20189 21851
29 1625 6500 6609 16831 18517 18568 18738 19387 20159 20544 21603 21941 24137 24269 24416 24803 25154 253 95	549 9686 25548
55 66 871 3700 11426 13221 15001 16367 17601 18380 22796 23488 23938 25476 25635 25678 25807 25857 25872	6586 20325 25906
1 19 5958 8548 8860 11489 16845 18450 18469 19496 20190 23173 25262 25566 25668 25679 25858 25888 25915	3224 20710 21637
7520 7690 8855 9183 14654 16695 17121 17854 18083 18428 19633 20470 20736 21720 22335 23273 25083 25293 2 5403	641 15215 25754
48 58 410 1299 3786 10668 18523 18963 20864 22106 22308 23033 23107 23128 23990 24286 24409 24595 25802	13484 23729 25818
12 51 3894 6539 8276 10885 11644 12777 13427 14039 15954 17078 19053 20537 22863 24521 25087 25463 25838	2043 7493 24246
3509 8748 9581 11509 15884 16230 17583 19264 20900 21001 21310 22547 22756 22959 24768 24814 25594 25626 25880	16860 25230 25768
21 29 69 1448 2386 4601 6626 6667 10242 13141 13852 14137 18640 19951 22449 23454 24431 25512 25814	22047 24200 24902
18 53 7890 9934 10063 16728 19040 19809 20825 21522 21800 23582 24556 25031 25547 25562 25733 25789 25906	9391 18040 19499
4096 4582 5766 5894 6517 10027 12182 13247 15207 17041 18958 20133 20503 22228 24332 24613 25689 25855 25 883	7855 24336 25069
0 25 819 5539 7076 7536 7695 9532 13668 15051 17683 19665 20253 21996 24136 24890 25758 25784 25807	23834 25570 25852
34 40 44 4215 6076 7427 7965 8777 11017 15593 19542 22202 22973 23397 23423 24418 24873 25107 25644	1977 8800 25756
1595 6216 22850 25439	6671 21772 25859
1562 15172 19517 22362	3279 6710 24444
7508 12879 24324 24496	24099 25117 25820
6298 15819 16757 18721	5553 12306 25915
11173 15175 19966 21195	48 11107 23907
59 13505 16941 23793	10832 11974 25773
2267 4830 12023 20587	2223 17905 25484
8827 9278 13072 16664	16782 17135 20446
14419 17463 23398 25348	475 2861 3457
6112 16534 20423 22698	16218 22449 24362
493 8914 21103 24799	11716 22200 25897
6896 12761 13206 25873	8315 15009 22633
2 1380 12322 21701	13 20480 25852
11600 21306 25753 25790	12352 18658 25687
8421 13076 14271 15401	3681 14794 23703
9630 14112 19017 20955	30 24531 25846
212 13932 21781 25824	4103 22077 24107
5961 9110 16654 19636	23837 25622 25812
58 5434 9936 12770	3627 13387 25839
6575 11433 19798	908 5367 19388
2731 7338 20926	0 6894 25795
14253 18463 25404	20322 23546 25181
21791 24805 25869	8178 25260 25437
2 11646 15850	2449 13244 22565
6075 8586 23819	31 18928 22741
18435 22093 24852	1312 5134 14838
2103 2368 11704	6085 13937 24220
10925 17402 18232	66 14633 25670
9062 25061 25674	47 22512 25472
18497 20853 23404	8867 24704 25279
18606 19364 19551	6742 21623 22745
7 1022 25543	147 9948 24178
6744 15481 25868	8522 24261 24307
9081 17305 25164	19202 22406 24609
8 23701 25883	
9680 19955 22848	

표 A-9 부호율 = 10/15 (Ninner = 64800)

316 1271 3692 9495 12147 12849 14928 16671 16938 17864 19108 20502 21097 21115	615 1249 4639
2341 2559 2643 2816 2865 5137 5331 7000 7523 8023 10439 10797 13208 15041	3821 12073 18506
5556 6858 7677 10162 10207 11349 12321 12398 14787 15743 15859 15952 19313 20879	1066 16522 21536
349 573 910 2702 3654 6214 9246 9353 10638 11772 14447 14953 16620 19888	11307 18363 19740
204 1390 2887 3835 6230 6533 7443 7876 9299 10291 10896 13960 18287 20086	3240 8560 10391
541 2429 2838 7144 8523 8637 10490 10585 11074 12074 15762 16812 17900 18548	3124 11424 20779
733 1659 3838 5323 5805 7882 9429 10682 13697 16909 18846 19587 19592 20904	1604 8861 17394
1134 2136 4631 4653 4718 5197 10410 11666 14996 15305 16048 17417 18960 20303	2083 7400 8093
734 1001 1283 4959 10016 10176 10973 11578 12051 15550 15915 19022 19430 20121	3218 7454 9155
745 4057 5855 9885 10594 10989 13156 13219 13351 13631 13685 14577 17713 20386	9855 15998 20533
968 1446 2130 2502 3092 3787 5323 8104 8418 9998 11681 13972 17747 17929	316 2850 20652
3020 3857 5275 5786 6319 8608 11943 14062 17144 17752 18001 18453 19311 21414	5583 9768 10333
709 747 1038 2181 5320 8292 10584 10859 13964 15009 15277 16953 20675 21509	7147 7713 18339
1663 3247 5003 5760 7186 7360 10346 14211 14717 14792 15155 16128 17355 17970	12607 17428 21418
516 578 1914 6147 9419 11148 11434 13289 13325 13332 19106 19257 20962 21556	14216 16954 18164
5009 5632 6531 9430 9886 10621 11765 13969 16178 16413 18110 18249 20616 20759	8477 15970 18488
457 2686 3318 4608 5620 5858 6480 7430 9602 12691 14664 18777 20152 20848	1632 8032 9751
33 2877 5334 6851 7907 8654 10688 15401 16123 17942 17969 18747 18931 20224	4573 9080 13507
87 897 7636 8663 11425 12288 12672 14199 16435 17615 17950 18953 19667 20281	11747 12441 13876
1042 1832 2545 2719 2947 3672 3700 6249 6398 6833 11114 14283 17694 20477	1183 15605 16675
326 488 2662 2880 3009 5357 6587 8882 11604 14374 18781 19051 19057 20508	4408 10264 17109
854 1294 2436 2852 4903 6466 7761 9072 9564 10321 13638 15658 16946 19119	5495 7882 12150
194 899 1711 2408 2786 5391 7108 8079 8716 11453 17303 19484 20989 21389	1010 3763 5065
1631 3121 3994 5005 7810 8850 10315 10589 13407 17162 18624 18758 19311 20301	9828 18054 21599
736 2424 4792 5600 6370 10061 16053 16775 18600	6342 7353 15358
1254 8163 8876 9157 12141 14587 16545 17175 18191	6362 9462 19999
388 6641 8974 10607 10716 14477 16825 17191 18400	7184 13693 17622
5578 6082 6824 7360 7745 8655 11402 11665 12428	4343 4654 10995
3603 8729 13463 14698 15210 19112 19550 20727 21052	7099 8466 18520
48 1732 3805 5158 15442 16909 19854 21071 21579	11505 14395 15138
11707 14014 21531	6779 16691 18726
1542 4133 4925	7146 12644 20196
10083 13505 21198	5865 16728 19634
14300 15765 16752	4657 8714 21246
778 1237 11215	4580 5279 18750
1325 3199 14534	3767 6620 18905
2007 14510 20599	9209 13093 17575
1996 5881 16429	12486 15875 19791
5111 15018 15980	8046 14636 17491
4989 10681 12810	2120 4643 13206
3763 10715 16515	6186 9675 12601
2259 10080 15642	784 5770 21585
9032 11319 21305	
3915 15213 20884	
11150 15022 20201	
1147 6749 19625	
12139 12939 18870	
3840 4634 10244	
1018 10231 17720	
2708 13056 13393	
5781 11588 18888	
1345 2036 5252	
5908 8143 15141	
1804 13693 18640	
10433 13965 16950	
9568 10122 15945	
547 6722 14015	
321 12844 14095	
2632 10513 14936	
6369 11995 20321	
9920 19136 21529	
1990 2726 10183	
5763 12118 15467	
503 10006 19564	
9839 11942 19472	
11205 13552 15389	
8841 13797 19697	
124 6053 18224	
6477 14406 21146	
1224 8027 16011	
3046 4422 17717	
739 12308 17760	
4014 4130 7835	
2266 5652 11981	
2711 7970 18317	
2196 15229 17217	
8636 13302 16764	
5612 15010 16657	

표 A-10 부호율 = 11/15 (Ninner = 64800)

696 989 1238 3091 3116 3738 4269 6406 7033 8048 9157 10254 12033 16456 16912	16936 17122 17162
444 1488 6541 8626 10735 12447 13111 13706 14135 15195 15947 16453 16916 17137 17268	4868 8451 13183
401 460 992 1145 1576 1678 2238 2320 4280 6770 10027 12486 15363 16714 17157	3714 4451 16919
1161 3108 3727 4508 5092 5348 5582 7727 11793 12515 12917 13362 14247 16717 17205	11313 13801 17132
542 1190 6883 7911 8349 8835 10489 11631 14195 15009 15454 15482 16632 17040 17063	17070 17191 17242
17 487 776 880 5077 6172 9771 11446 12798 16016 16109 16171 17087 17132 17226	1911 11201 17186
1337 3275 3462 4229 9246 10180 10845 10866 12250 13633 14482 16024 16812 17186 17241	14 17190 17254
15 980 2305 3674 5971 8224 11499 11752 11770 12897 14082 14836 15311 16391 17209	11760 16008 16832
0 3926 5869 8696 9351 9391 11371 14052 14172 14636 14974 16619 16961 17033 17237	14543 17033 17278
3033 5317 6501 8579 10698 12168 12966 14019 15392 15806 15991 16493 16690 17062 17090	16129 16765 17155
981 1205 4400 6410 11003 13319 13405 14695 15846 16297 16492 16563 16616 16862 16953	6891 15561 17007
1725 4276 8869 9588 14062 14486 15474 15548 16300 16432 17042 17050 17060 17175 17273	12741 14744 17116
1807 5921 9960 10011 14305 14490 14872 15852 16054 16061 16306 16799 16833 17136 17262	8992 16661 17277
2826 4752 6017 6540 7016 8201 14245 14419 14716 15983 16569 16652 17171 17179 17247	1861 11130 16742
1662 2516 3345 5229 8086 9686 11456 12210 14595 15808 16011 16421 16825 17112 17195	4822 13331 16192
2890 4821 5987 7226 8823 9869 12468 14694 15352 15805 16075 16462 17102 17251 17263	13281 14027 14989
3751 3890 4382 5720 10281 10411 11350 12721 13121 14127 14980 15202 15335 16735 17123	38 14887 17141
26 30 2805 5457 6630 7188 7477 7556 11065 16608 16859 16909 16943 17030 17103	10698 13452 15674
40 4524 5043 5566 9645 10204 10282 11696 13080 14837 15607 16274 17034 17225 17266	4 2539 16877
904 3157 6284 7151 7984 11712 12887 13767 15547 16099 16753 16829 17044 17250 17259	857 17170 17249
7 311 4876 8334 9249 11267 14072 14559 15003 15235 15686 16331 17177 17238 17253	11449 11906 12867
4410 8066 8596 9631 10369 11249 12610 15769 16791 16960 17018 17037 17062 17165 17204	285 14118 16831
24 8261 9691 10138 11607 12782 12786 13424 13933 15262 15795 16476 17084 17193 17220	15191 17214 17242
88 11622 14705 15890	39 728 16915
304 2026 2638 6018	2469 12969 15579
1163 4268 11620 17232	16644 17151 17164
9701 11785 14463 17260	2592 8280 10448
4118 10952 12224 17006	9236 12431 17173
3647 10823 11521 12060	9064 16892 17233
1717 3753 9199 11642	4526 16146 17038
2187 14280 17220	31 2116 16083
14787 16903 17061	15837 16951 17031
381 3534 4294	5362 8382 16618
3149 6947 8323	6137 13199 17221
12562 16724 16881	2841 15068 17068
7289 9997 15306	24 3620 17003
5615 13152 17260	9880 15718 16764
5666 16926 17027	1784 10240 17209
4190 7798 16831	2731 10293 10846
4778 10629 17180	3121 8723 16598
10001 13884 15453	8563 15662 17088
6 2237 8203	13 1167 14676
7831 15144 15160	29 13850 15963
9186 17204 17243	3654 7553 8114
9435 17168 17237	23 4362 14865
42 5701 17159	4434 14741 16688
7812 14259 15715	8362 13901 17244
39 4513 6658	13687 16736 17232
38 9368 11273	46 4229 13394
1119 4785 17182	13169 16383 16972
5620 16521 16729	16031 16681 16952
16 6685 17242	3384 9894 12580
210 3452 12383	9841 14414 16165
466 14462 16250	5013 17099 17115
10548 12633 13962	2130 8941 17266
1452 6005 16453	6907 15428 17241
22 4120 13684	16 1860 17235
5195 11563 16522	2151 16014 16643
5518 16705 17201	14954 15958 17222
12233 14552 15471	3969 8419 15116
6067 13440 17248	31 15593 16984
8660 8967 17061	11514 16605 17255
8673 12176 15051	
5959 15767 16541	
3244 12109 12414	
31 15913 16323	
3270 15686 16653	
24 7346 14675	
12 1531 8740	
6228 7565 16667	

표 A-10 부호율 = 12/15 (Ninner = 64800)

584 1472 1621 1867 3338 3568 3723 4185 5126 5889 7737 8632 8940 9725	4023 6108 6911
221 445 590 3779 3835 6939 7743 8280 8448 8491 9367 10042 11242 12917	8621 10184 11650
4662 4837 4900 5029 6449 6687 6751 8684 9936 11681 11811 11886 12089 12909	6726 10861 12348

2418 3018 3647 4210 4473 7447 7502 9490 10067 11092 11139 11256 12201 12383	3228 6302 7388
2591 2947 3349 3406 4417 4519 5176 6672 8498 8863 9201 11294 11376 12184	1 1137 5358
27 101 197 290 871 1727 3911 5411 6676 8701 9350 10310 10798 12439	381 2424 8537
1765 1897 2923 3584 3901 4048 6963 7054 7132 9165 10184 10824 11278 12669	3256 7508 10044
2183 3740 4808 5217 5660 6375 6787 8219 8466 9037 10353 10583 11118 12762	1980 2219 4569
73 1594 2146 2715 3501 3572 3639 3725 6959 7187 8406 10120 10507 10691	2468 5699 10319
240 732 1215 2185 2788 2830 3499 3881 4197 4991 6425 7061 9756 10491	2803 3314 12808
831 1568 1828 3424 4319 4516 4639 6018 9702 10203 10417 11240 11518 12458	8578 9642 11533
2024 2970 3048 3638 3676 4152 5284 5779 5926 9426 9945 10873 11787 11837	829 4585 7923
1049 1218 1651 2328 3493 4363 5750 6483 7613 8782 9738 9803 11744 11937	59 329 5575
1193 2060 2289 2964 3478 4592 4756 6709 7162 8231 8326 11140 11908 12243	1067 5709 6867
978 2120 2439 3338 3850 4589 6567 8745 9656 9708 10161 10542 10711 12639	1175 4744 12219
2403 2938 3117 3247 3711 5593 5844 5932 7801 10152 10226 11498 12162 12941	109 2518 6756
1781 2229 2276 2533 3582 3951 5279 5774 7930 9824 10920 11038 12340 12440	2105 10626 11153
289 384 1980 2230 3464 3873 5958 8656 8942 9006 10175 11425 11745 12530	5192 10696 10749
155 354 1090 1330 2002 2236 3559 3705 4922 5958 6576 8564 9972 12760	6260 7641 8233
303 876 2059 2142 5244 5330 6644 7576 8614 9598 10410 10718 11033 12957	2998 3094 11214
3449 3617 4408 4602 4727 6182 8835 8928 9372 9644 10237 10747 11655 12747	3398 6466 11494
811 2565 2820 8677 8974 9632 11069 11548 11839 12107 12411 12695 12812 12890	6574 10448 12160
972 4123 4943 6385 6449 7339 7477 8379 9177 9359 10074 11709 12552 12831	2734 10755 12780
842 973 1541 2262 2905 5276 6758 7099 7894 8128 8325 8663 8875 10050	1028 7958 10825
474 791 968 3902 4924 4965 5085 5908 6109 6329 7931 9038 9401 10568	8545 8602 10793
1397 4461 4658 5911 6037 7127 7318 8678 8924 9000 9473 9602 10446 12692	392 3398 11417
1334 7571 12881	6639 9291 12571
1393 1447 7972	1067 7919 8934
633 1257 10597	1064 2848 12753
4843 5102 11056	6076 8656 12690
3294 8015 10513	5504 6193 10171
1108 10374 10546	1951 7156 7356
5353 7824 10111	4389 4780 7889
3398 7674 8569	526 4804 9141
7719 9478 10503	1238 3648 10464
2997 9418 9581	2587 5624 12557
5777 6519 11229	5560 5903 11963
1966 5214 9899	1134 2570 3297
6 4088 5827	10041 11583 12157
836 9248 9612	1263 9585 12912
483 7229 7548	3744 7898 10646
7865 8289 9804	45 9074 10315
2915 11098 11900	1051 6188 10038
6180 7096 9481	2242 8394 12712
1431 6786 8924	3598 9025 12651
748 6757 8625	2295 3540 5610
3312 4475 7204	1914 4378 12423
1852 8958 11020	1766 3635 12759
1915 2903 4006	5177 9586 11143
6776 10886 12531	943 3590 11649
2594 9998 12742	4864 6905 10454
159 2002 12079	5852 6042 10421
853 3281 3762	6095 8285 12349
5201 5798 6413	2070 7171 8563
3882 6062 12047	718 12234 12716
4133 6775 9657	512 10667 11353
228 6874 11183	3629 6485 7040
7433 10728 10864	2880 8865 11466
7735 8073 12734	4490 10220 11796
2844 4621 11779	5440 8819 9103
3909 7103 12804	5262 7543 12411
6002 9704 11060	516 7779 10940
5864 6856 7681	2515 5843 9202
3652 5869 7605	4684 5994 10586
2546 2657 4461	573 2270 3324
2423 4203 9111	7870 8317 10322
244 1855 4691	6856 7638 12909
1106 2178 6371	1583 7669 10781
391 1617 10126	8141 9085 12555
250 9259 10603	3903 5485 9992
3435 4614 6924	4467 11998 12904
1742 8045 9529	
7667 8875 11451	

표 A-10 부호율 = 13/15 (Ninner = 64800)

142 2307 2598 2650 4028 4434 5781 5881 6016 6323 6681 6698 8125	1704 2480 4181
2932 4928 5248 5256 5983 6773 6828 7789 8426 8494 8534 8539 8583	7338 7929 7990
899 3295 3833 5399 6820 7400 7753 7890 8109 8451 8529 8564 8602	2615 3905 7981
21 3060 4720 5429 5636 5927 6966 8110 8170 8247 8355 8365 8616	4298 4548 8296
20 1745 2838 3799 4380 4418 4646 5059 7343 8161 8302 8456 8631	8262 8319 8630
9 6274 6725 6792 7195 7333 8027 8186 8209 8273 8442 8548 8632	892 1893 8028
494 1365 2405 3799 5188 5291 7644 7926 8139 8458 8504 8594 8625	5694 7237 8595
192 574 1179 4387 4695 5089 5831 7673 7789 8298 8301 8612 8632	1487 5012 5810

11 20 1406 6111 6176 6256 6708 6834 7828 8232 8457 8495 8602	4335 8593 8624
6 2654 3554 4483 4966 5866 6795 8069 8249 8301 8497 8509 8623	3509 4531 5273
21 1144 2355 3124 6773 6805 6887 7742 7994 8358 8374 8580 8611	10 22 830
335 4473 4883 5528 6096 7543 7586 7921 8197 8319 8394 8489 8636	4161 5208 6280
2919 4331 4419 4735 6366 6393 6844 7193 8165 8205 8544 8586 8617	275 7063 8634
12 19 742 930 3009 4330 6213 6224 7292 7430 7792 7922 8137	4 2725 3113
710 1439 1588 2434 3516 5239 6248 6827 8230 8448 8515 8581 8619	2279 7403 8174
200 1075 1868 5581 7349 7642 7698 8037 8201 8210 8320 8391 8526	1637 3328 3930
3 2501 4252 5256 5292 5567 6136 6321 6430 6486 7571 8521 8636	2810 4939 5624
3062 4599 5885 6529 6616 7314 7319 7567 8024 8153 8302 8372 8598	3 1234 7687
105 381 1574 4351 5452 5603 5943 7467 7788 7933 8362 8513 8587	2799 7740 8616
787 1857 3386 3659 6550 7131 7965 8015 8040 8312 8484 8525 8537	22 7701 8636
15 1118 4226 5197 5575 5761 6762 7038 8260 8338 8444 8512 8568	4302 7857 7993
36 5216 5368 5616 6029 6591 8038 8067 8299 8351 8565 8578 8585	7477 7794 8592
1 23 4300 4530 5426 5532 5817 6967 7124 7979 8022 8270 8437	9 6111 8591
629 2133 4828 5475 5875 5890 7194 8042 8345 8385 8518 8598 8612	5 8606 8628
11 1065 3782 4237 4993 7104 7863 7904 8104 8228 8321 8383 8565	347 3497 4033
2131 2274 3168 3215 3220 5597 6347 7812 8238 8354 8527 8557 8614	1747 2613 8636
5600 6591 7491 7696	1827 5600 7042
1766 8281 8626	580 1822 6842
1725 2280 5120	232 7134 7783
1650 3445 7652	4629 5000 7231
4312 6911 8626	951 2806 4947
15 1013 5892	571 3474 8577
2263 2546 2979	2437 2496 7945
1545 5873 7406	23 5873 8162
67 726 3697	12 1168 7686
2860 6443 8542	8315 8540 8596
17 911 2820	1766 2506 4733
1561 4580 6052	929 1516 3338
79 5269 7134	21 1216 6555
22 2410 2424	782 1452 8617
3501 5642 8627	8 6083 6087
808 6950 8571	667 3240 4583
4099 6389 7482	4030 4661 5790
4023 5000 7833	559 7122 8553
5476 5765 7917	3202 4388 4909
1008 3194 7207	2533 3673 8594
20 495 5411	1991 3954 6206
1703 8388 8635	6835 7900 7980
6 4395 4921	189 5722 8573
200 2053 8206	2680 4928 4998
1089 5126 5562	243 2579 7735
10 4193 7720	4281 8132 8566
1967 2151 4608	7656 7671 8609
22 738 3513	1116 2291 4166
3385 5066 8152	21 388 8021
440 1118 8537	6 1123 8369
3429 6058 7716	311 4918 8511
5213 7519 8382	0 3248 6290
5564 8365 8620	13 6762 7172
43 3219 8603	4209 5632 7563
4 5409 5815	49 127 8074
5 6376 7654	581 1735 4075
4091 5724 5953	0 2235 5470
5348 6754 8613	2178 5820 6179
1634 6398 6632	16 3575 6054
72 2058 8605	1095 4564 6458
3497 5811 7579	9 1581 5953
3846 6743 8559	2537 6469 8552
15 5933 8629	14 3874 4844
2133 5859 7068	0 3269 3551
4151 4617 8566	2114 7372 7926
2960 8270 8410	1875 2388 4057
2059 3617 8210	3232 4042 6663
544 1441 6895	9 401 583
4043 7482 8592	13 4100 6584
294 2180 8524	2299 4190 4410
3058 8227 8373	21 3670 4979
364 5756 8617	
5383 8555 8619	

A.2. LDPC 부호 매트릭스($N_{inner} = 16200$)표 A-11 부호율 = 2/15 ($N_{inner} = 16200$)

2889	3122	3208	4324	5968	7241	13215
281	923	1077	5252	6099	10309	11114
727	2413	2676	6151	6796	8945	12528
2252	2322	3093	3329	8443	12170	13748
575	2489	2944	6577	8772	11253	11657
310	1461	2482	4643	4780	6936	11970
8691	9746	10794	13582			
3717	6535	12470	12752			
6011	6547	7020	11746			
5309	6481	10244	13824			
5327	8773	8824	13343			
3506	3575	9915	13609			
3393	7089	11048	12816			
3651	4902	6118	12048			
4210	10132	13375	13377			

표 A-12 부호율 = 3/15 ($N_{inner} = 16200$)

8	372	841	4522	5253	7430	8542	9822	10550	11896	11988
80	255	667	1511	3549	5239	5422	5497	7157	7854	11267
257	406	792	2916	3072	3214	3638	4090	8175	8892	9003
80	150	346	1883	6838	7818	9482	10366	10514	11468	12341
32	100	978	3493	6751	7787	8496	10170	10318	10451	12561
504	803	856	2048	6775	7631	8110	8221	8371	9443	10990
152	283	696	1164	4514	4649	7260	7370	11925	11986	12092
127	1034	1044	1842	3184	3397	5931	7577	11898	12339	12689
107	513	979	3934	4374	4658	7286	7809	8830	10804	10893
2045	2499	7197	8887	9420	9922	10132	10540	10816	11876	
2932	6241	7136	7835	8541	9403	9817	11679	12377	12810	
2211	2288	3937	4310	5952	6597	9692	10445	11064	11272	

표 A-13 부호율 = 4/15 ($N_{inner} = 16200$)

19	585	710	3241	3276	3648	6345	9224	9890	10841
181	494	894	2562	3201	4382	5130	5308	6493	10135
150	569	919	1427	2347	4475	7857	8904	9903	
1005	1018	1025	2933	3280	3946	4049	4166	5209	
420	554	778	6908	7959	8344	8462	10912	11099	
231	506	859	4478	4957	7664	7731	7908	8980	
179	537	979	3717	5092	6315	6883	9353	9935	
147	205	830	3609	3720	4667	7441	10196	11809	
60	1021	1061	1554	4918	5690	6184	7986	11296	
145	719	768	2290	2919	7272	8561	9145	10233	
388	590	852	1579	1698	1974	9747	10192	10255	
231	343	485	1546	3155	4829	7710	10394	11336	
4381	5398	5987	9123	10365	11018	11153			
2381	5196	6613	6844	7357	8732	11082			
1730	4599	5693	6318	7626	9231	10663			

표 A-14 부호율 = 5/15 ($N_{inner} = 16200$)

```

69 244 706 5145 5994 6066 6763 6815 8509
257 541 618 3933 6188 7048 7484 8424 9104
69 500 536 1494 1669 7075 7553 8202 10305
11 189 340 2103 3199 6775 7471 7918 10530
333 400 434 1806 3264 5693 8534 9274 10344
111 129 260 3562 3676 3680 3809 5169 7308 8280
100 303 342 3133 3952 4226 4713 5053 5717 9931
83 87 374 828 2460 4943 6311 8657 9272 9571
114 166 325 2680 4698 7703 7886 8791 9978 10684
281 542 549 1671 3178 3955 7153 7432 9052 10219
202 271 608 3860 4173 4203 5169 6871 8113 9757
16 359 419 3333 4198 4737 6170 7987 9573 10095
235 244 584 4640 5007 5563 6029 6816 7678 9968
123 449 646 2460 3845 4161 6610 7245 7686 8651
136 231 468 835 2622 3292 5158 5294 6584 9926
3085 4683 8191 9027 9922 9928 10550
2462 3185 3976 4091 8089 8772 9342

```

표 A-15 부호율 = 6/15 ($N_{inner} = 16200$)

```

27 430 519 828 1897 1943 2513 2600 2640 3310 3415 4266 5044 5100 5328 5483 5928 6204 6392 6416 6602 7019 7415 7623 8112 8485 8724 8994 9445
9667
27 174 188 631 1172 1427 1779 2217 2270 2601 2813 3196 3582 3895 3908 3948 4463 4955 5120 5809 5988 6478 6604 7096 7673 7735 7795 8925 9613
9670
27 370 617 852 910 1030 1326 1521 1606 2118 2248 2909 3214 3413 3623 3742 3752 4317 4694 5300 5687 6039 6100 6232 6491 6621 6860 7304 8542
8634
990 1753 7635 8540
933 1415 5666 8745
27 6567 8707 9216
2341 8692 9580 9615
260 1092 5839 6080
352 3750 4847 7726
4610 6580 9506 9597
2512 2974 4814 9348
1461 4021 5060 7009
1796 2883 5553 8306
1249 5422 7057
3965 6968 9422
1498 2931 5092
27 1090 6215
26 4232 6354

```

표 A-16 부호율 = 7/15 ($N_{inner} = 16200$)

```

553 742 901 1327 1544 2179 2519 3131 3280 3603 3789 3792 4253 5340 5934 5962 6004 6698 7793 8001 8058 8126 8276 8559
503 590 598 1185 1266 1336 1806 2473 3021 3356 3490 3680 3936 4501 4659 5891 6132 6340 6602 7447 8007 8045 8059 8249
795 831 947 1330 1502 2041 2328 2513 2814 2829 4048 4802 6044 6109 6461 6777 6800 7099 7126 8095 8428 8519 8556 8610
601 787 899 1757 2259 2518 2783 2816 2823 2949 3396 4330 4494 4684 4700 4837 4881 4975 5130 5464 6554 6912 7094 8297
4229 5628 7917 7992
1506 3374 4174 5547
4275 5650 8208 8533
1504 1747 3433 6345
3659 6955 7575 7852
607 3002 4913 6453
3533 6860 7895 8048
4094 6366 8314
2206 4513 5411
32 3882 5149
389 3121 4626
1308 4419 6520
2092 2373 6849
1815 3679 7152
3582 3979 6948
1049 2135 3754
2276 4442 6591

```

[illegible]

212 255 540 967 1033 1517 1538 3124 3408 3800 4373 4864 4905 5163 5177 6186	300 1748 6245
275 660 1351 2211 2876 3063 3433 4088 4273 4544 4618 4632 5548 6101 6111 6136	2724 3276 5349
279 335 494 865 1662 1681 3414 3775 4252 4595 5272 5471 5796 5907 5986 6008	1433 6117 6448
345 352 3094 3188 4297 4338 4490 4865 5303 6477	485 663 4955
222 681 1218 3169 3850 4878 4954 5666 6001 6237	711 1132 4315
172 512 1536 1559 2179 2227 3334 4049 6464	177 3266 4339
716 934 1694 2890 3276 3608 4332 4468 5945	1171 4841 4982
1133 1593 1825 2571 3017 4251 5221 5639 5845	33 1584 3692
1076 1222 6465	2820 3485 4249
159 5064 6078	1716 2428 3125
374 4073 5357	250 2275 6338
2833 5526 5845	108 1719 4961
1594 3639 5419	
1028 1392 4239	
115 622 2175	

352 747 894 1437 1688 1807 1883 2119 2159 3321 3400 3543 3588 3770 3821 4384 4470 4884 5012 5036 5084 5101 5271 5281 53 53
505 915 1156 1269 1518 1650 2153 2256 2344 2465 2509 2867 2875 3007 3254 3519 3687 4331 4439 4532 4940 5011 5076 5113 5 367
268 346 650 919 1260 4389 4653 4721 4838 5054 5157 5162 5275 5362
220 236 828 1590 1792 3259 3647 4276 4281 4325 4963 4974 5003 5037
381 737 1099 1409 2364 2955 3228 3341 3473 3985 4257 4730 5173 5242
88 771 1640 1737 1803 2408 2575 2974 3167 3464 3780 4501 4901 5047
749 1502 2201 3189
2873 3245 3427
2158 2605 3165
1 3438 3606
10 3019 5221
371 2901 2923
9 3935 4683
1937 3502 3735
507 3128 4994
25 3854 4550
1178 4737 5366
2 223 5304
1146 5175 5197
1816 2313 3649
740 1951 3844
1320 3703 4791
1754 2905 4058
7 917 5277
3048 3954 5396
4804 4824 5105
2812 3895 5226
0 5318 5358
1483 2324 4826

2266 4752 5387

표 A-20 부호율 = 11/15 ($N_{inner} = 16200$)

49 719 784 794 968 2382 2685 2873 2974 2995 3540 4179	2732 4132 4318
272 281 374 1279 2034 2067 2112 3429 3613 3815 3838 4216	225 2335 3497
206 714 820 1800 1925 2147 2168 2769 2806 3253 3415 4311	600 2246 2658
62 159 166 605 1496 1711 2652 3016 3347 3517 3654 4113	1240 2790 3020
363 733 1118 2062 2613 2736 3143 3427 3664 4100 4157 4314	301 1097 3539
57 142 436 983 1364 2105 2113 3074 3639 3835 4164 4242	1222 1267 2594
870 921 950 1212 1861 2128 2707 2993 3730 3968 3983 4227	1364 2004 3603
185 2684 3263	1142 1185 2147
2035 2123 2913	564 1505 2086
883 2221 3521	697 991 2908
1344 1773 4132	1467 2073 3462
438 3178 3650	2574 2818 3637
543 756 1639	748 2577 2772
1057 2337 2898	1151 1419 4129
171 3298 3929	164 1238 3401
1626 2960 3503	
484 3050 3323	
2283 2336 4189	

표 A-21 부호율 = 12/15 ($N_{inner} = 16200$)

3 394 1014 1214 1361 1477 1534 1660 1856 2745 2987 2991 312	1113 3007 3239
4 3155	1753 2478 3127
59 136 528 781 803 928 1293 1489 1944 2041 2200 2613 2690 2	0 509 1811
847	1672 2646 2984
155 245 311 621 1114 1269 1281 1783 1995 2047 2672 2803 288	965 1462 3230
5 3014	3 1077 2917
79 870 974 1326 1449 1531 2077 2317 2467 2627 2811 3083 310	1183 1316 1662
1 3132	968 1593 3239
4 582 660 902 1048 1482 1697 1744 1928 2628 2699 2728 3045	64 1996 2226
3104	1442 2058 3181
175 395 429 1027 1061 1068 1154 1168 1175 2147 2359 2376 26	513 973 1058
13 2682	1263 3185 3229
1388 2241 3118 3148	681 1394 3017
143 506 2067 3148	419 2853 3217
1594 2217 2705	3 2404 3175
398 988 2551	2417 2792 2854
1149 2588 2654	1879 2940 3235
678 2844 3115	647 1704 3060
1508 1547 1954	
1199 1267 1710	
2589 3163 3207	
1 2583 2974	
2766 2897 3166	
929 1823 2742	

표 A-22 부호율 = 13/15 ($N_{inner} = 16200$)

71 334 645 779 786 1124 1131 1267 1379 1554 1766 1798 1939	401 465 1040
6 183 364 506 512 922 972 981 1039 1121 1537 1840 2111	112 392 621

6 71 153 204 253 268 781 799 873 1118 1194 1661 2036	82 897 1950
6 247 353 581 921 940 1108 1146 1208 1268 1511 1527 1671	887 1962 2125
6 37 466 548 747 1142 1203 1271 1512 1516 1837 1904 2125	793 1088 2159
6 171 863 953 1025 1244 1378 1396 1723 1783 1816 1914 2121	723 919 1139
1268 1360 1647 1769	610 839 1302
6 458 1231 1414	218 1080 1816
183 535 1244 1277	627 1646 1749
107 360 498 1456	496 1165 1741
6 2007 2059 2120	916 1055 1662
1480 1523 1670 1927	182 722 945
139 573 711 1790	5 595 1674
6 1541 1889 2023	
6 374 957 1174	
287 423 872 1285	
6 1809 1918	
65 818 1396	
590 766 2107	
192 814 1843	
775 1163 1256	
42 735 1415	
334 1008 2055	
109 596 1785	
406 534 1852	
684 719 1543	

B. 비트 인터리버 수열

B.1. $N_{\text{inner}} = 64800$ 에서의 그룹 인터리빙 수열 ($N_{\text{group}} = 180$)

표 B-1 QPSK ($N_{\text{inner}} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	70	149	136	153	104	110	134	61	129	126	58	150	177	168	78	71	120	60	155	175	9	161	103
	123	91	173	57	106	143	151	89	86	35	77	133	31	7	23	51	5	121	83	64	176	119	98
	49	130	128	79	162	32	172	87	131	45	114	93	96	39	68	105	85	109	13	33	145	18	12
	54	111	14	156	8	16	73	2	84	47	42	101	63	88	25	52	170	24	69	142	178	20	65
	97	66	80	11	59	19	115	154	26	147	28	50	160	102	55	139	125	116	138	167	53	169	165
	99	159	148	179	0	146	90	6	100	74	117	48	75	135	41	137	76	92	164	113	152	72	36
	3	163	15	46	21	44	108	34	56	140	127	158	94	67	122	1	27	171	30	157	112	81	118
	43	29	124	22	62	37	40	4	107	166	82	95	10	144	141	132	174	38	17				
3/15	75	170	132	174	7	111	30	4	49	133	50	160	92	106	27	126	116	178	41	166	88	84	80
	153	103	51	58	107	167	39	108	24	145	96	74	65	8	40	76	140	44	68	125	119	82	53
	152	102	38	28	86	162	171	61	93	147	117	32	150	26	59	3	148	173	141	130	154	97	33
	172	115	118	127	6	16	0	143	9	100	67	98	110	2	169	47	83	164	155	123	159	42	105
	12	158	81	20	66	57	121	25	1	90	175	35	60	79	87	135	10	139	156	177	77	89	73
	113	52	109	134	36	176	54	69	146	31	15	71	18	95	124	85	14	78	129	161	19	72	13
	122	21	63	137	120	144	91	157	48	34	46	22	29	104	45	56	151	62	43	94	163	99	64
	138	101	23	11	17	136	128	114	112	165	5	142	179	37	70	131	55	168	149				
4/15	141	86	22	20	176	21	37	82	6	122	130	40	62	44	24	117	8	145	36	79	172	149	127
	163	9	160	73	100	16	153	124	110	49	154	152	4	168	54	177	158	113	57	2	102	161	147
	18	103	1	41	104	144	39	105	131	77	69	108	159	61	45	156	0	83	157	119	112	118	92
	109	75	67	142	96	51	139	31	166	179	89	167	23	34	60	93	165	128	90	19	33	70	173
	174	129	55	98	88	97	146	123	84	111	132	71	140	136	10	115	63	46	42	50	138	81	59
	53	15	52	72	164	150	29	17	91	101	14	38	35	66	64	7	125	151	56	126	171	68	121
	28	65	106	78	47	143	12	169	120	27	74	48	133	43	116	137	94	3	25	134	13	107	162
	32	99	85	175	80	170	5	135	178	11	26	76	95	87	155	58	30	148	114				
5/15	39	47	96	176	33	75	165	38	27	58	90	76	17	46	10	91	133	69	171	32	117	78	13
	146	101	36	0	138	25	77	122	49	14	125	140	93	130	2	104	102	128	4	111	151	84	167
	35	127	156	55	82	85	66	114	8	147	115	113	5	31	100	106	48	52	67	107	18	126	112
	50	9	143	28	160	71	79	43	98	86	94	64	3	166	105	103	118	63	51	139	172	141	175
	56	74	95	29	45	129	120	168	92	150	7	162	153	137	108	159	157	173	23	89	132	57	37
	70	134	40	21	149	80	1	121	59	110	142	152	15	154	145	12	170	54	155	99	22	123	72
	177	131	116	44	158	73	11	65	164	119	174	34	83	53	24	42	60	26	161	68	178	41	148
	109	87	144	135	20	62	81	169	124	6	19	30	163	61	179	136	97	16	88				

6/15	0	14	19	21	2	11	22	9	8	7	16	3	26	24	27	80	100	121	107	31	36	42	46
	49	75	93	127	95	119	73	61	63	117	89	99	129	52	111	124	48	122	82	106	91	92	71
	103	102	81	113	101	97	33	115	59	112	90	51	126	85	123	40	83	53	69	70	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	4	5
	10	12	20	6	18	13	17	15	1	29	28	23	25	67	116	66	104	44	50	47	84	76	65
	130	56	128	77	39	94	87	120	62	88	74	35	110	131	98	60	37	45	78	125	41	34	118
	38	72	108	58	43	109	57	105	68	86	79	96	32	114	64	55	30	54	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
7/15	152	172	113	167	100	163	159	144	114	47	161	125	99	89	179	123	149	177	1	132	37	26	16
	57	166	81	133	112	33	151	117	83	52	178	85	124	143	28	59	130	31	157	170	44	61	102
	155	111	153	55	54	176	17	68	169	20	104	38	147	7	174	6	90	15	56	120	13	34	48
	122	110	154	76	64	75	84	162	77	103	156	128	150	87	27	42	3	23	96	171	145	91	24
	78	5	69	175	8	29	106	137	131	43	93	160	108	164	12	140	71	63	141	109	129	82	80
	173	105	9	66	65	92	32	41	72	74	4	36	94	67	158	10	88	142	45	126	2	86	118
	73	79	121	148	95	70	51	53	21	115	135	25	168	11	136	18	138	134	119	146	0	97	22
	165	40	19	60	46	14	49	139	58	101	39	116	127	30	98	50	107	35	62				
8/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	1	3
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
	97	99	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
9/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	1	3
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
	97	99	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
10/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	1	3
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
	97	99	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
11/15	0	14	19	21	2	11	22	9	8	7	16	3	26	24	27	80	100	121	107	31	36	42	46
	49	75	93	127	95	119	73	61	63	117	89	99	129	52	111	124	48	122	82	106	91	92	71
	103	102	81	113	101	97	33	115	59	112	90	51	126	85	123	40	83	53	69	70	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	4	5
	10	12	20	6	18	13	17	15	1	29	28	23	25	67	116	66	104	44	50	47	84	76	65
	130	56	128	77	39	94	87	120	62	88	74	35	110	131	98	60	37	45	78	125	41	34	118
	38	72	108	58	43	109	57	105	68	86	79	96	32	114	64	55	30	54	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
12/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136

	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	1	3
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
	97	99	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				
13/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	90
	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	130	132	134	136
	138	140	142	144	146	148	150	152	154	156	158	160	162	164	166	168	170	172	174	176	178	1	3
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
	97	99	101	103	105	107	109	111	113	115	117	119	121	123	125	127	129	131	133	135	137	139	141
	143	145	147	149	151	153	155	157	159	161	163	165	167	169	171	173	175	177	179				

표 B-2 16QAM ($N_{inner} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	5	58	29	154	125	34	0	169	80	59	13	42	77	167	32	87	24	92	124	143	114	120	166
	138	64	136	149	57	18	101	119	35	33	113	75	108	104	3	27	39	172	159	129	62	146	142
	19	147	111	70	74	79	10	132	1	161	155	90	15	133	47	112	84	28	160	117	150	49	7
	81	44	63	118	4	158	148	82	69	36	162	86	71	22	26	61	40	126	170	177	23	91	68
	56	110	21	93	107	85	20	128	109	66	83	12	179	141	97	78	157	72	130	99	165	45	11
	152	168	14	16	2	137	140	121	173	50	55	94	144	73	51	98	174	178	17	100	9	122	54
	38	156	131	127	164	102	116	176	30	37	139	95	43	135	53	89	106	171	76	175	153	96	151
	115	52	6	123	134	31	103	163	65	105	48	25	8	60	67	88	46	41	145				
3/15	52	92	175	26	45	81	117	74	119	147	120	135	144	87	3	51	20	170	143	125	15	39	5
	174	79	16	176	44	19	69	11	111	121	37	160	88	50	76	129	138	157	86	113	164	142	98
	9	93	166	78	73	167	168	40	131	27	89	156	177	171	116	152	0	127	36	8	153	59	75
	13	105	55	122	132	172	2	58	126	162	30	77	158	17	96	100	42	63	134	154	6	90	128
	83	60	146	124	178	99	123	108	133	159	151	145	61	53	68	31	41	94	35	21	49	82	80
	4	155	7	57	95	62	56	65	140	163	148	23	161	169	47	67	139	72	43	110	46	150	109
	115	32	14	179	85	165	112	25	64	173	10	102	114	71	66	84	24	141	29	104	107	54	12
	91	1	118	136	18	101	149	130	103	106	38	70	48	28	137	97	34	22	33				
4/15	165	8	136	2	58	30	127	64	38	164	123	45	78	17	47	105	159	134	124	147	148	109	67
	98	157	57	156	170	46	12	172	29	9	3	144	97	83	151	26	52	10	39	50	104	92	163
	72	125	36	14	55	48	1	149	33	110	6	130	140	89	77	22	171	139	112	113	152	16	7
	85	11	28	153	73	62	44	135	116	4	61	117	53	111	178	94	81	68	114	173	75	101	88
	65	99	126	141	43	15	18	90	35	24	142	25	120	19	154	0	174	93	167	150	107	86	129
	175	87	21	66	106	82	179	118	41	95	145	37	23	168	166	49	103	108	56	91	69	128	121
	96	133	100	161	143	119	102	59	20	40	70	79	80	51	13	177	131	132	176	155	31	63	5
	162	76	42	160	115	71	158	54	137	146	32	169	122	138	84	74	60	34	27				
5/15	129	65	160	140	32	50	162	86	177	57	157	9	134	104	24	7	122	46	17	77	31	92	163
	148	133	99	18	0	167	101	110	135	124	71	107	5	123	69	108	141	179	96	113	83	176	52
	117	81	125	59	15	137	170	63	112	88	34	61	106	3	42	100	152	87	171	72	161	4	178
	64	150	10	128	49	26	75	41	102	28	2	168	93	156	12	38	45	151	142	44	66	25	139
	173	51	29	147	175	90	164	80	131	58	114	145	121	70	115	146	120	55	158	8	39	97	159
	138	33	47	116	79	174	74	21	6	130	54	109	76	35	98	155	144	36	94	23	78	165	56
	154	89	132	67	119	143	40	53	20	136	172	91	27	13	127	73	105	85	30	103	19	84	37
	48	153	11	166	60	111	14	169	95	118	1	126	68	22	149	43	62	16	82				
6/15	55	146	83	52	62	176	160	68	53	56	81	97	79	113	163	61	58	69	133	108	66	71	86
	144	57	67	116	59	70	156	172	65	149	155	82	138	136	141	111	96	170	90	140	64	159	15
	14	37	54	44	63	43	18	47	7	25	34	29	30	26	39	16	41	45	36	0	23	32	28
	27	38	48	33	22	49	51	60	46	21	4	3	20	13	50	35	24	40	17	42	6	112	93
	127	101	94	115	105	31	19	177	74	10	145	162	102	120	126	95	73	152	129	174	125	72	128
	78	171	8	142	178	154	85	107	75	12	9	151	77	117	109	80	106	134	98	1	122	173	161
	150	110	175	166	131	119	103	139	148	157	114	147	87	158	121	164	104	89	179	123	118	99	88

	11	92	165	84	168	124	169	2	130	167	153	137	143	91	100	5	76	132	135				
7/15	174	148	56	168	38	7	110	9	42	153	160	15	46	21	121	88	114	85	13	83	74	81	70
	27	119	118	144	31	80	109	73	141	93	45	16	77	108	57	36	78	124	79	169	143	6	58
	75	67	5	104	125	140	172	8	39	17	29	159	86	87	41	99	89	47	128	43	161	154	101
	163	116	94	120	71	158	145	37	112	68	95	1	113	64	72	90	92	35	167	44	149	66	28
	82	178	176	152	23	115	130	98	123	102	24	129	150	34	136	171	54	107	2	3	60	69	10
	117	91	157	33	105	155	62	162	40	127	14	165	26	52	19	48	137	4	22	122	173	18	11
	111	106	76	53	61	147	97	175	32	59	166	179	135	177	103	100	139	50	146	134	133	96	49
	126	151	84	156	30	138	164	132	12	0	20	63	170	142	65	55	25	51	131				
8/15	71	81	170	101	143	77	128	112	155	41	40	54	57	28	179	114	97	13	18	151	91	88	79
	92	137	27	122	107	135	82	125	103	74	36	9	93	0	86	63	158	148	25	167	116	70	43
	102	106	149	24	169	113	127	34	165	100	136	75	134	156	96	84	178	150	140	20	126	73	68
	130	121	48	53	22	129	99	11	33	124	157	161	29	123	160	55	26	168	98	67	15	7	94
	144	1	61	65	146	42	172	115	59	76	4	162	39	85	12	72	58	44	132	47	141	35	176
	104	139	80	6	95	87	90	173	163	69	32	8	154	145	23	177	111	60	38	171	62	46	21
	5	153	49	78	2	109	147	89	166	152	138	31	14	131	50	37	16	117	66	19	10	159	142
	105	3	164	51	83	174	108	52	17	64	119	45	133	175	110	56	30	120	118				
9/15	23	89	10	142	19	41	1	146	68	87	9	51	114	92	121	69	107	97	166	162	55	174	126
	149	110	128	172	28	111	78	82	120	71	52	5	141	29	30	132	148	72	85	17	160	156	154
	131	164	65	76	125	50	16	130	129	143	133	98	0	42	63	83	173	49	74	43	8	147	61
	36	167	119	27	86	102	48	115	99	38	163	73	101	4	153	118	90	124	151	66	93	123	157
	24	44	168	80	15	39	178	45	21	37	11	136	113	77	122	158	64	81	6	60	54	35	13
	57	171	100	117	46	62	33	175	137	59	103	127	70	108	88	179	40	112	104	170	140	67	32
	105	159	26	96	169	135	109	47	177	56	116	79	106	150	25	94	134	152	22	84	176	139	20
	34	165	138	7	91	12	145	58	95	2	144	53	75	14	155	18	31	3	161				
10/15	68	71	54	19	25	21	102	32	105	29	16	79	53	82	107	91	67	94	85	48	83	58	42
	57	28	76	31	26	96	65	119	114	109	9	125	81	43	103	93	70	46	89	112	61	45	66
	38	77	115	56	87	113	100	75	72	60	47	92	36	98	4	59	6	44	20	86	3	73	95
	104	8	34	0	84	111	35	30	64	55	80	40	97	101	2	69	63	74	62	118	110	159	18
	50	33	7	175	51	131	106	134	88	140	117	132	147	153	116	161	10	39	126	136	90	37	174
	41	158	5	120	12	52	99	146	144	78	155	128	165	141	179	150	157	171	143	108	170	22	49
	11	27	160	178	133	142	121	168	173	123	13	15	154	127	139	151	163	172	138	176	145	129	162
	152	177	137	149	167	1	14	169	124	148	164	130	17	156	122	23	166	135	24				
11/15	21	11	12	9	0	6	24	25	85	103	118	122	71	101	41	93	55	73	100	40	106	119	45
	80	128	68	129	61	124	36	126	117	114	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	20
	18	10	13	16	8	26	27	54	111	52	44	87	113	115	58	116	49	77	95	86	30	78	81
	56	125	53	89	94	50	123	65	83	133	137	141	145	149	153	157	161	165	169	173	177	2	17
	1	4	7	15	29	82	32	102	76	121	92	130	127	62	107	38	46	43	110	75	104	70	91
	69	96	120	42	34	79	35	105	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	19	5	3
	14	22	28	23	109	51	108	131	33	84	88	64	63	59	57	97	98	48	31	99	37	72	39
	74	66	60	67	47	112	90	135	139	143	147	151	155	159	163	167	171	175	179				
12/15	120	32	38	113	71	31	65	109	36	106	134	66	29	86	136	108	83	70	79	81	105	48	30
	125	107	44	99	75	64	78	51	95	88	49	60	54	122	140	137	89	74	129	82	164	59	3
	67	92	98	42	77	28	121	87	18	21	93	72	2	142	112	9	50	8	90	139	14	97	63
	85	104	124	52	20	118	34	5	94	41	68	80	110	12	133	131	53	116	123	96	61	111	33
	173	165	175	166	169	174	159	148	158	155	145	178	126	100	154	156	179	157	46	149	171	37	153
	163	152	146	177	103	160	147	76	172	144	150	132	176	168	167	162	170	138	151	161	40	26	130
	119	114	117	115	84	57	62	13	47	24	0	7	10	69	19	127	17	16	27	91	4	73	35
	102	15	55	23	25	11	56	45	58	128	43	135	1	143	141	6	22	101	39				
13/15	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88
	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152	156	160	164	168	172	176	1

5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81	85	89	93
97	101	105	109	113	117	121	125	129	133	137	141	145	149	153	157	161	165	169	173	177	2	6
10	14	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94	98
102	106	110	114	118	122	126	130	134	138	142	146	150	154	158	162	166	170	174	178	3	7	11
15	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	87	91	95	99	103
107	111	115	119	123	127	131	135	139	143	147	151	155	159	163	167	171	175	179				

표 B-3 64QAM ($N_{inner} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	57	149	83	142	29	20	30	52	5	100	156	22	130	167	121	126	137	158	132	82	138	128	89
	88	162	32	107	3	97	166	125	129	1	6	68	148	40	87	0	80	49	24	78	101	43	112
	75	172	23	154	12	146	19	135	48	170	123	147	95	91	13	35	127	61	60	139	44	59	55
	109	157	177	153	165	66	152	77	98	131	11	81	62	175	141	171	51	155	76	150	174	58	143
	37	63	31	41	140	118	94	27	10	70	56	93	176	124	151	106	46	163	179	4	18	144	178
	161	145	71	114	7	105	133	84	86	17	21	28	54	74	65	110	122	169	64	111	119	42	85
	73	8	116	79	120	69	53	115	67	104	16	173	92	15	159	134	99	96	117	38	9	26	164
	47	103	113	136	168	102	14	45	72	25	50	34	36	90	160	2	33	39	108				
3/15	74	72	104	62	122	35	130	0	95	150	139	151	133	109	31	59	18	148	9	105	57	132	102
	100	115	101	7	21	141	30	8	1	93	92	163	108	52	159	24	89	117	88	178	113	98	179
	144	156	54	164	12	63	39	22	25	137	13	41	44	80	87	111	145	23	85	166	83	55	154
	20	84	58	26	126	170	103	11	33	172	155	116	169	142	70	161	47	3	162	77	19	28	97
	124	6	168	107	60	76	143	121	42	157	65	43	173	56	171	90	131	119	94	5	68	138	149
	73	67	53	61	4	86	99	75	36	15	48	177	167	174	51	176	81	120	158	123	34	49	128
	10	134	147	96	160	50	146	16	38	78	91	152	46	127	27	175	135	79	125	82	2	129	153
	14	40	32	114	106	17	110	140	71	136	112	45	64	29	69	118	66	37	165				
4/15	141	80	47	89	44	7	46	11	175	173	99	2	155	52	86	128	174	33	170	31	35	162	64
	95	92	4	16	49	137	104	29	9	60	167	50	23	43	176	121	71	132	103	144	39	12	90
	114	131	106	76	118	66	24	58	122	150	57	149	93	53	14	73	165	82	126	97	59	133	154
	153	72	36	5	96	120	134	101	61	115	0	28	42	18	145	156	85	146	6	161	10	22	138
	127	151	87	54	20	139	140	152	13	91	111	25	123	77	78	69	3	177	41	81	19	107	45
	148	70	160	51	21	116	48	157	17	125	142	83	110	37	98	179	129	168	172	1	40	166	159
	147	56	100	63	26	169	135	15	75	84	163	79	143	113	94	74	102	30	38	178	68	108	136
	105	158	117	34	109	67	62	32	119	124	171	8	55	65	130	88	112	27	164				
5/15	166	54	6	27	141	134	58	46	55	91	56	100	172	80	18	152	12	108	170	29	144	147	106
	165	17	127	57	88	35	72	5	63	118	1	85	77	61	62	84	159	92	102	98	177	132	139
	59	149	11	8	154	129	33	15	143	4	95	101	53	42	40	9	111	130	123	82	81	114	119
	175	157	41	38	128	161	52	142	7	26	145	2	68	28	126	121	70	16	65	83	125	50	79
	37	74	164	168	160	122	60	32	24	138	75	69	0	36	97	117	14	109	173	120	112	87	176
	124	151	67	13	94	105	133	64	76	153	31	136	140	150	39	96	66	3	115	20	99	171	49
	25	45	22	30	156	158	163	135	21	146	90	169	78	93	178	116	19	155	110	73	104	167	44
	113	162	89	47	43	86	48	107	71	137	51	174	103	131	179	148	10	23	34				
6/15	29	17	38	37	27	43	31	35	16	46	44	9	23	1	34	45	14	18	156	19	22	40	50
	24	56	49	26	42	69	47	59	61	66	52	64	65	67	54	170	68	132	51	70	41	21	5
	160	7	13	55	62	53	63	58	3	167	71	57	151	60	36	25	74	39	32	72	85	86	107
	113	48	88	2	129	137	20	73	166	75	77	142	174	15	149	28	145	92	169	30	133	163	119
	82	176	152	134	139	148	164	99	173	104	83	106	112	135	153	0	128	144	98	171	94	97	143
	110	118	127	84	79	108	126	131	93	111	91	4	125	162	157	158	109	140	123	154	150	80	11
	12	146	96	81	165	8	89	138	105	141	103	6	100	161	172	78	101	115	179	147	116	136	122

	87	33	130	124	175	120	90	102	10	114	159	76	177	178	121	168	95	117	155				
7/15	103	36	155	175	52	130	16	178	141	86	49	129	73	84	142	177	110	8	96	77	139	167	109
	2	17	37	146	169	54	134	101	78	135	70	153	6	29	41	143	63	47	124	90	31	152	98
	59	133	15	79	164	67	50	128	23	34	154	69	45	9	27	35	156	170	113	127	102	82	149
	176	46	13	22	30	163	60	114	11	92	44	157	74	48	132	24	87	140	66	118	123	104	89
	136	64	107	14	99	43	115	71	117	12	26	38	147	62	57	131	94	33	151	172	116	10	25
	75	144	179	51	120	20	80	160	174	106	1	21	88	137	61	105	5	18	32	158	72	56	125
	28	42	161	168	53	7	100	40	145	171	55	3	95	83	162	173	119	126	91	39	150	165	112
	122	93	76	138	166	108	121	97	81	148	65	111	4	19	85	159	68	58	0				
8/15	86	71	51	48	89	94	46	81	67	49	80	37	55	61	36	57	52	92	60	82	76	72	44
	42	91	62	50	90	40	78	53	58	47	85	70	4	69	43	54	84	93	38	8	64	6	18
	77	95	66	59	83	73	17	87	3	75	65	88	79	14	151	117	32	22	123	30	33	162	144
	9	121	108	139	142	24	34	20	157	159	138	143	29	140	163	150	175	114	31	12	35	145	28
	27	26	16	98	102	103	133	161	21	25	107	153	45	156	23	125	141	56	166	5	1	170	119
	68	134	41	74	179	2	129	169	101	99	109	127	168	176	11	0	122	110	113	146	132	165	19
	13	39	7	164	106	172	154	149	10	173	131	167	63	147	155	100	171	158	160	15	178	148	152
	104	124	177	97	130	118	137	111	126	120	105	115	136	112	96	135	116	174	128				
9/15	175	60	133	11	5	4	70	97	131	80	42	136	50	104	32	75	176	87	109	61	39	107	0
	172	23	90	54	160	48	173	27	100	129	14	7	142	20	103	38	126	157	144	21	64	44	79
	105	146	49	93	1	84	81	145	18	15	106	91	12	169	63	71	125	37	120	138	17	113	31
	130	140	8	25	74	134	115	9	171	46	68	33	116	2	179	52	92	36	78	164	177	24	72
	122	118	162	121	16	73	45	53	77	110	30	66	29	76	158	148	111	94	43	83	139	10	56
	98	114	117	152	174	47	62	128	85	155	178	26	96	41	82	150	143	58	69	127	86	13	141
	35	101	149	108	3	154	51	95	132	135	163	137	28	102	123	112	151	167	59	19	156	119	153
	168	55	65	34	6	159	170	57	67	40	89	147	165	22	99	124	88	161	166				
10/15	16	163	92	56	111	141	65	118	78	55	5	148	19	153	75	128	32	178	22	156	99	124	4
	168	20	115	87	122	9	166	27	155	94	134	38	137	67	161	90	127	43	171	64	162	98	133
	34	138	73	154	100	58	103	169	23	117	88	50	13	175	68	39	102	54	37	149	29	150	104
	59	3	139	69	110	77	131	42	142	25	158	80	47	35	143	72	151	84	57	8	176	61	46
	41	51	10	173	63	107	125	48	11	177	24	30	91	76	109	140	74	114	82	120	1	79	66
	119	93	159	36	174	26	112	101	123	44	145	60	157	97	45	33	167	70	152	85	126	40	135
	62	108	95	49	31	147	71	113	89	132	6	144	18	105	83	130	2	172	17	164	81	52	7
	179	28	160	136	121	14	146	15	106	86	129	12	170	21	116	96	53	0	165				
11/15	12	15	2	16	27	50	35	74	38	70	108	32	112	54	30	122	72	116	36	90	49	85	132
	138	144	150	156	162	168	174	0	14	9	5	23	66	68	52	96	117	84	128	100	63	60	127
	81	99	53	55	103	95	133	139	145	151	157	163	169	175	10	22	13	11	28	104	37	57	115
	46	65	129	107	75	119	110	31	43	97	78	125	58	134	140	146	152	158	164	170	176	4	19
	6	8	24	44	101	94	118	130	69	71	83	34	86	124	48	106	89	40	102	91	135	141	147
	153	159	165	171	177	3	20	7	17	25	87	41	120	47	80	59	62	88	45	56	131	61	126
	113	92	51	98	136	142	148	154	160	166	172	178	21	18	1	26	29	39	73	121	105	77	42
	114	93	82	111	109	67	79	123	64	76	33	137	143	149	155	161	167	173	179				
12/15	83	93	94	47	55	40	38	77	110	124	87	61	102	76	33	35	92	59	74	11	138	72	67
	37	10	95	139	131	44	57	97	53	142	0	136	9	143	86	100	21	15	75	62	19	65	129
	101	79	22	68	73	23	18	81	98	112	8	128	103	25	43	126	54	90	28	109	46	91	41
	82	113	134	52	105	78	27	135	96	56	140	64	66	89	34	120	108	63	45	69	121	88	39
	29	133	106	117	127	32	42	58	71	118	51	84	85	80	104	132	111	30	26	48	50	31	141
	116	123	114	70	107	178	145	173	36	144	130	176	171	175	125	99	162	159	20	164	115	169	172
	165	161	151	119	122	152	157	4	137	148	153	170	154	166	13	150	16	167	174	163	49	6	168
	147	146	1	149	158	179	12	5	160	177	60	24	156	7	155	17	3	2	14				
13/15	146	91	63	144	46	12	58	137	25	79	70	33	134	148	66	38	163	118	139	130	72	92	160
	23	133	153	128	86	152	106	53	93	61	5	158	172	121	135	44	149	168	0	124	143	27	30

151	114	113	43	138	89	159	17	120	136	102	81	170	176	142	104	21	78	155	8	52	95	62
40	174	6	131	48	18	1	179	34	123	77	26	84	157	85	56	147	67	76	162	10	51	103
140	87	175	115	4	101	69	80	169	75	49	97	154	83	14	2	132	96	16	37	166	109	54
42	28	32	171	119	55	94	65	20	165	3	47	90	117	88	177	11	59	68	73	41	150	111
127	100	110	31	167	13	122	145	71	22	173	116	126	141	29	39	178	57	125	36	19	7	156
107	9	98	74	45	161	112	50	99	24	35	164	64	129	15	60	82	108	105				

표 B-4 256QAM ($N_{inner} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	112	78	104	6	59	80	49	120	114	27	113	3	109	44	69	164	91	137	39	31	21	127	151
	8	47	176	117	68	122	148	79	73	7	166	51	50	116	66	152	61	29	107	22	154	118	94
	24	35	55	38	88	54	2	15	19	67	101	74	169	138	41	162	175	136	62	161	121	163	115
	135	123	25	140	156	58	33	119	111	146	129	150	147	97	18	60	4	81	168	43	105	36	65
	13	5	108	145	23	70	20	173	159	100	128	172	170	1	37	83	102	103	157	139	179	32	144
	92	131	75	155	14	9	149	63	11	134	53	99	17	57	90	30	98	64	40	87	158	77	93
	124	46	171	141	133	85	177	132	26	160	42	34	82	96	48	10	142	125	178	153	72	45	89
	52	28	126	143	167	76	86	130	110	174	16	165	56	84	95	0	106	12	71				
3/15	136	28	85	38	40	89	133	117	3	58	154	77	14	179	96	101	26	169	37	83	162	165	24
	66	109	126	10	155	70	157	105	175	67	158	32	42	147	140	30	7	92	59	119	56	0	5
	90	174	13	47	76	88	86	108	27	18	12	8	61	145	75	125	112	69	120	137	116	20	178
	98	176	29	68	168	124	21	35	150	131	159	163	84	23	123	65	103	93	99	102	31	64	74
	46	94	80	129	142	128	148	111	134	173	60	118	2	170	135	1	115	143	95	177	73	43	11
	114	91	78	107	172	25	36	164	149	153	110	44	146	82	127	45	33	50	41	52	156	34	4
	79	141	138	122	53	160	81	16	100	130	71	121	132	9	22	113	6	152	15	171	17	57	49
	151	161	63	55	139	166	97	19	51	72	167	106	48	144	87	104	62	54	39				
4/15	13	121	137	29	27	1	70	116	35	132	109	51	55	58	11	67	136	25	145	7	75	107	45
	21	127	52	90	22	100	123	69	112	155	92	151	59	5	179	44	87	56	139	65	170	46	0
	124	78	166	8	61	97	120	103	4	19	64	79	28	134	93	86	60	135	126	53	63	14	122
	17	150	76	42	39	23	153	95	66	50	141	176	34	161	26	106	10	43	85	131	2	147	148
	144	54	115	146	101	172	114	119	3	96	133	99	167	164	9	142	68	149	94	83	16	175	73
	38	143	159	130	84	169	18	138	102	72	47	32	160	82	81	168	30	12	173	156	158	125	98
	62	178	48	163	117	110	91	37	80	105	31	174	111	49	113	108	74	157	128	24	118	40	88
	177	154	6	162	129	77	36	165	20	89	140	15	33	104	152	71	171	57	41				
5/15	39	45	128	84	143	148	2	75	43	50	130	87	137	151	7	71	55	51	133	90	140	149	6
	177	37	124	99	83	23	159	0	176	41	121	96	89	30	161	18	172	60	49	134	104	139	166
	14	179	62	48	129	105	146	160	16	174	33	54	132	112	145	150	9	77	34	117	92	82	136
	165	4	67	36	44	101	81	141	156	3	175	58	47	91	102	32	158	13	178	63	118	100	85
	26	167	1	173	38	116	131	107	138	162	8	72	42	115	98	108	24	152	17	171	64	123	94
	110	28	147	19	169	61	46	97	106	144	164	5	70	59	53	127	88	31	153	10	73	66	119
	126	111	29	155	15	170	57	120	125	80	142	168	11	68	56	52	95	103	27	154	21	78	40
	122	93	86	25	163	20	79	35	114	135	109	22	157	12	69	65	74	76	113				
6/15	99	100	15	107	54	76	153	174	61	0	36	71	62	137	108	114	65	98	151	19	112	109	152
	117	35	93	43	90	154	73	150	165	23	16	91	5	169	175	120	149	26	59	49	56	156	136
	110	80	58	55	40	103	159	83	127	111	155	167	11	52	116	142	133	1	2	96	77	86	122
	6	131	29	51	21	17	45	126	12	3	168	41	30	37	64	164	78	8	118	113	39	48	140
	14	60	82	134	25	33	50	84	28	105	123	145	7	27	34	92	115	147	74	10	68	102	67
	63	101	18	66	129	24	4	119	87	42	170	143	121	38	57	95	148	89	81	158	171	32	22
	69	53	130	104	161	75	141	9	47	79	162	146	124	157	70	106	31	132	166	128	138	125	44

	13	85	88	135	144	173	163	20	46	97	94	139	172	72	160	176	177	178	179				
7/15	24	157	0	43	126	172	135	65	32	18	114	42	162	67	104	61	23	11	4	96	163	75	109
	58	79	154	3	95	168	73	103	60	84	148	113	40	164	173	143	49	29	156	7	89	132	179
	138	53	85	12	117	36	122	66	107	64	28	147	2	90	131	70	144	55	26	15	112	35	128
	176	106	59	80	19	6	92	129	174	99	62	82	13	121	41	127	71	139	63	25	151	9	39
	159	69	142	52	77	21	119	38	167	178	101	56	87	155	5	91	166	169	146	50	81	20	111
	88	165	177	108	47	27	149	115	33	161	72	102	57	86	16	110	97	123	68	100	48	31	14
	8	93	130	170	133	44	78	150	118	94	158	76	134	46	83	152	1	37	160	171	136	54	22
	17	116	34	125	175	105	45	30	153	10	98	124	74	137	51	120	141	140	145				
8/15	85	3	148	161	96	99	154	13	78	160	61	36	21	141	121	115	82	1	59	72	43	135	168
	139	46	10	56	67	108	134	111	105	66	89	137	130	104	143	113	11	84	157	32	73	90	38
	117	146	53	2	60	93	91	71	114	19	47	4	26	75	109	41	50	153	54	163	31	24	106
	42	170	62	80	164	65	128	12	142	167	155	88	8	22	131	158	33	178	145	70	9	51	69
	102	140	173	147	83	165	30	126	100	138	171	103	45	159	27	74	97	122	120	16	52	162	132
	124	94	133	172	149	86	77	25	68	177	64	174	15	0	125	63	35	34	40	179	20	44	7
	55	28	101	150	110	18	119	5	29	76	107	136	112	144	48	81	57	49	92	95	118	17	156
	166	23	129	79	37	175	152	87	6	58	127	98	123	39	14	116	169	176	151				
9/15	58	70	23	32	26	63	55	48	35	41	53	20	38	51	61	65	44	29	7	2	113	68	96
	104	106	89	27	0	119	21	4	49	46	100	13	36	57	98	102	9	42	39	33	62	22	95
	101	15	91	25	93	132	69	87	47	59	67	124	17	11	31	43	40	37	85	50	97	140	45
	92	56	30	34	60	107	24	52	94	64	5	71	90	66	103	88	86	84	19	169	159	147	126
	28	130	14	162	144	166	108	153	115	135	120	122	112	139	151	156	16	172	164	123	99	54	136
	81	105	128	116	150	155	76	18	142	170	175	83	146	78	109	73	131	127	82	167	77	110	79
	137	152	3	173	148	72	158	117	1	6	12	8	161	74	143	133	168	171	134	163	138	121	141
	160	111	10	149	80	75	165	157	174	129	145	114	125	154	118	176	177	178	179				
10/15	45	31	67	35	159	157	177	2	44	23	73	148	163	118	176	4	14	97	142	37	143	149	179
	3	12	32	140	42	167	166	41	126	13	30	144	57	113	147	173	6	52	24	39	64	80	112
	104	174	11	151	71	109	162	79	171	127	46	92	38	132	81	120	100	1	53	88	76	60	103
	139	99	125	48	93	135	161	77	110	107	121	18	95	69	63	83	111	170	7	16	98	141	61
	86	116	172	130	49	25	40	65	87	108	101	5	21	89	75	43	82	146	105	128	17	29	106
	34	160	155	175	124	15	28	134	62	119	145	72	10	58	91	74	36	68	150	8	9	54	26
	137	56	165	115	114	0	47	27	22	20	168	154	102	123	50	94	66	33	85	59	164	131	51
	90	70	138	84	117	178	122	19	96	156	55	78	158	169	129	133	152	136	153				
11/15	27	68	35	117	138	83	127	10	60	73	47	115	155	81	170	9	65	66	52	112	150	77	171
	161	22	20	39	106	147	90	126	165	23	16	45	113	154	86	173	158	24	71	40	107	136	94
	128	163	31	72	33	101	134	80	175	7	61	19	49	111	135	92	130	6	62	74	43	116	133
	89	129	8	28	15	34	105	146	84	174	4	32	75	44	118	132	96	169	159	58	18	42	100
	141	87	131	157	63	11	48	108	151	79	177	168	26	17	36	102	137	95	122	1	25	21	50
	120	153	97	121	0	55	14	46	114	152	91	178	3	30	13	37	103	145	82	125	166	57	76
	51	99	144	85	123	162	56	12	53	119	139	78	179	5	64	70	54	110	148	93	172	164	29
	69	38	109	143	88	124	160	59	67	41	104	149	98	176	2	167	156	140	142				
12/15	51	122	91	111	95	100	119	130	78	57	65	26	61	126	105	143	70	132	39	102	115	116	6
	14	3	21	71	134	2	0	140	106	7	118	23	35	20	17	50	48	112	13	66	5	75	42
	129	107	30	45	137	114	37	87	53	85	101	141	120	99	88	117	64	28	135	138	108	113	58
	97	38	124	86	33	74	32	29	128	67	104	80	127	56	34	89	94	49	55	93	136	68	62
	54	40	81	103	121	76	44	84	96	123	154	98	82	142	46	169	131	72	47	69	125	31	83
	36	59	90	79	52	133	60	92	139	110	27	73	43	77	109	63	41	168	147	161	165	175	162
	164	158	157	160	150	171	167	145	151	153	9	155	170	146	166	149	15	159	11	176	152	156	144
	148	172	178	24	22	179	4	163	174	173	19	10	177	12	16	1	8	18	25				
13/15	59	85	108	128	49	91	163	3	58	16	106	126	74	141	167	35	57	82	30	123	68	95	160
	42	62	21	102	131	52	142	157	10	55	79	24	130	73	92	179	2	61	11	104	122	45	140

159	43	148	19	23	111	76	135	169	39	63	77	25	117	75	94	155	5	145	14	26	127	46
138	158	38	64	86	105	118	50	137	175	7	144	84	22	113	54	98	172	9	146	17	27	114
51	139	156	37	147	78	103	115	66	97	168	34	60	83	107	121	48	93	174	33	65	87	99
124	71	136	154	0	150	20	101	112	70	96	170	1	149	80	28	125	53	90	173	6	153	13
29	116	72	88	165	8	143	12	31	119	47	89	164	40	151	81	109	110	44	134	162	36	152
15	100	129	67	133	166	41	56	18	32	120	69	132	161	4	177	176	178	171				

표 B-5 1024QAM ($N_{inner} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	157	25	107	160	37	138	111	35	29	44	15	162	66	20	49	126	89	147	159	174	142	26	146
	10	164	152	57	110	83	167	169	16	6	172	62	173	7	145	4	67	115	50	39	72	79	74
	40	132	42	30	163	161	55	143	63	117	86	121	2	28	69	150	24	177	43	158	27	21	128
	46	118	114	127	135	92	76	19	94	179	3	52	101	137	84	73	108	91	120	47	1	102	58
	68	82	59	119	64	31	61	105	103	151	124	70	8	155	90	166	41	45	178	113	140	75	148
	109	100	125	11	116	34	36	176	170	156	136	171	122	78	87	106	123	149	17	99	175	18	9
	165	153	12	81	77	60	93	104	13	5	88	96	141	133	154	144	48	97	23	14	98	53	134
	112	65	0	130	32	168	33	131	22	38	56	80	95	71	85	139	129	51	54				
3/15	113	153	13	8	103	115	137	69	151	111	18	38	42	150	179	130	148	6	4	31	44	68	145
	126	106	24	100	93	21	35	143	57	166	65	53	41	122	7	29	25	136	162	158	26	124	32
	17	168	56	12	39	176	131	132	51	89	101	160	49	87	14	55	127	37	169	110	83	134	107
	46	33	114	108	82	125	109	95	174	62	164	144	16	121	58	80	2	163	159	157	90	104	23
	172	112	19	133	102	75	45	86	63	22	54	105	155	77	178	70	98	40	118	84	78	0	99
	123	5	34	71	96	175	10	30	72	28	74	154	61	91	85	135	152	15	88	165	60	52	149
	147	59	116	120	3	64	140	67	94	27	9	81	43	11	167	139	92	129	20	117	128	50	119
	47	1	156	142	170	171	48	177	66	161	79	73	76	173	97	36	141	146	138				
4/15	114	133	4	73	8	139	7	5	177	88	66	11	24	74	49	45	167	81	117	137	46	22	165
	51	68	110	6	1	16	132	130	143	169	2	20	140	94	21	91	126	172	27	162	34	113	142
	166	115	106	160	84	136	175	0	26	151	69	174	59	159	161	170	52	164	80	108	3	23	101
	33	125	111	63	124	98	40	145	9	39	155	149	147	67	76	48	120	119	53	54	138	179	156
	127	13	152	129	123	141	109	89	121	50	10	37	104	144	86	178	96	148	128	56	64	153	95
	12	105	41	154	99	25	171	92	17	134	19	61	32	85	102	14	71	146	163	173	118	57	18
	36	42	78	31	97	55	58	116	90	168	43	72	15	112	93	60	38	103	87	158	35	29	176
	150	77	79	122	47	28	135	100	83	65	131	75	157	62	70	44	30	107	82				
5/15	128	4	162	8	77	29	91	44	176	107	149	1	150	9	119	99	71	124	104	41	62	5	118
	50	174	54	111	40	156	92	46	11	17	52	47	97	179	24	153	145	129	2	12	88	101	139
	114	69	96	32	134	55	167	132	123	136	112	102	159	31	87	141	15	61	84	98	37	63	20
	85	53	7	39	117	170	138	116	126	161	120	57	13	76	6	121	155	175	38	158	35	86	78
	10	103	166	95	125	172	67	30	177	73	151	169	163	23	108	43	81	157	58	105	65	26	122
	135	146	72	142	34	133	0	148	89	168	60	109	83	18	27	131	70	56	48	64	93	68	127
	21	75	110	80	14	49	82	143	115	178	154	100	59	74	152	51	137	140	36	42	19	25	94
	45	164	16	113	79	22	28	66	106	130	171	147	90	144	165	3	173	160	33				
6/15	66	21	51	55	54	24	33	12	70	63	47	65	145	8	0	57	23	71	59	14	40	42	62
	56	2	43	64	58	67	53	68	61	39	52	69	1	22	31	161	38	30	19	17	18	4	41
	25	44	136	29	36	26	126	177	15	37	148	9	13	45	46	152	50	49	27	77	60	35	48
	178	28	34	106	127	76	131	105	138	75	130	101	167	117	173	113	108	92	135	124	121	97	149
	143	81	32	96	3	78	107	86	98	16	162	150	111	158	172	139	74	142	166	7	5	119	20
	144	151	90	11	156	100	175	83	155	159	128	88	87	93	103	94	140	165	6	137	157	10	85
	141	129	146	122	73	112	132	125	174	169	168	79	84	118	179	147	91	160	163	115	89	80	102

	104	134	82	95	133	164	154	120	110	170	114	153	72	109	171	176	99	116	123				
7/15	117	61	46	179	24	161	142	133	11	6	121	44	103	76	22	63	136	151	33	8	123	60	105
	175	18	160	138	147	10	0	125	57	49	75	21	154	140	150	9	169	124	55	48	173	23	157
	97	129	30	7	122	54	99	74	19	153	94	128	15	170	87	59	51	80	111	64	137	146	13
	2	83	62	45	176	108	71	91	131	34	168	82	56	102	72	26	155	92	132	31	166	119	36
	101	178	113	67	98	152	14	5	118	41	104	177	114	70	96	134	32	162	84	40	100	174	110
	158	93	149	27	4	86	38	53	77	115	159	143	130	35	163	89	58	106	73	20	66	90	127
	16	3	85	37	107	172	116	156	95	144	17	165	81	43	50	78	109	68	135	126	29	167	120
	39	47	171	112	69	141	145	28	1	88	42	52	79	25	65	139	148	12	164				
8/15	77	48	82	51	57	69	65	6	71	90	84	81	50	88	61	55	53	73	39	13	79	75	41
	18	38	89	49	93	36	64	47	40	42	76	70	56	3	72	2	54	52	145	19	78	80	63
	87	67	86	10	1	58	17	14	175	91	68	85	94	15	43	74	60	66	37	92	4	9	16
	83	46	44	102	30	112	122	110	29	20	105	138	101	174	33	137	136	131	166	59	34	62	125
	28	26	45	24	23	21	157	98	35	95	22	32	103	27	113	31	119	173	168	118	120	114	149
	159	155	179	160	161	130	123	172	139	124	153	0	109	167	128	107	117	147	177	96	164	152	11
	148	158	129	163	176	151	171	8	106	144	150	169	108	162	143	111	141	133	178	134	146	99	132
	142	104	115	135	121	100	12	170	156	126	5	127	154	97	140	116	165	7	25				
9/15	42	36	135	126	3	17	82	87	172	32	65	70	143	131	10	1	85	147	31	176	66	47	97
	128	8	9	146	73	162	164	57	64	139	91	5	110	150	83	18	27	48	45	133	132	111	124
	89	78	177	19	46	50	102	103	122	4	74	161	175	34	60	58	136	100	115	118	81	75	28
	21	40	61	140	138	113	112	157	151	23	30	69	41	94	96	7	109	152	149	33	179	71	43
	92	105	12	13	154	159	178	24	44	49	107	98	16	2	76	155	35	168	62	56	129	141	116
	123	160	77	25	170	54	39	90	95	121	11	72	153	169	167	51	67	104	134	0	117	79	80
	26	29	37	55	99	142	108	114	86	88	166	163	59	63	101	93	119	15	144	145	165	22	52
	53	130	137	125	6	158	84	20	174	38	68	127	106	14	120	148	156	171	173				
10/15	100	22	60	121	40	44	164	170	176	101	88	26	35	4	21	173	140	145	175	174	81	28	72
	112	132	106	42	56	151	147	82	49	91	64	179	89	160	52	139	17	97	63	116	131	154	71
	109	96	135	146	55	38	166	117	65	127	120	129	15	136	74	23	98	43	123	130	69	99	143
	161	46	51	94	61	83	67	156	33	144	148	163	47	92	2	122	24	86	75	108	152	14	77
	7	10	29	19	104	128	142	1	79	107	162	0	118	66	54	153	141	9	85	37	32	114	53
	134	41	158	178	138	76	50	78	84	172	48	133	168	125	13	169	25	16	8	124	159	167	58
	5	11	68	95	27	110	93	62	102	137	126	150	87	105	113	30	119	6	103	57	31	149	80
	70	45	165	111	73	36	157	171	3	20	18	90	12	59	39	115	34	177	155				
11/15	33	73	90	107	99	94	53	151	124	8	12	117	21	58	158	77	72	59	123	2	125	157	50
	62	109	75	42	146	118	153	85	10	131	70	32	41	24	143	113	1	93	162	20	35	74	45
	149	161	173	4	28	23	127	148	34	61	96	144	171	140	119	16	126	39	40	57	165	106	172
	139	81	47	164	92	63	105	108	170	3	135	101	121	68	6	111	65	147	150	122	7	84	46
	22	103	86	169	134	44	175	167	89	128	27	31	56	43	102	156	160	141	67	9	110	159	133
	78	154	176	174	5	82	11	25	80	130	163	88	36	166	137	104	48	129	87	95	55	49	145
	178	0	98	64	54	100	37	79	69	38	177	136	114	17	52	19	30	97	51	168	132	138	83
	76	13	18	115	71	91	179	112	155	15	14	26	60	29	116	66	120	142	152				
12/15	91	19	11	106	14	40	20	67	32	22	31	23	78	68	79	141	117	95	88	136	52	121	1
	133	4	2	21	122	38	12	69	111	81	82	58	46	112	60	33	73	53	92	75	48	47	110
	80	76	138	87	85	65	130	57	102	83	64	86	100	39	49	125	108	119	6	118	35	61	71
	30	45	94	26	116	98	37	55	44	70	25	7	34	114	135	128	137	84	51	28	97	27	89
	29	62	50	139	56	109	77	59	127	142	96	105	99	90	13	124	120	115	126	143	149	74	41
	178	129	18	131	42	165	101	134	36	140	132	103	72	164	93	54	166	43	123	113	0	154	10
	63	107	162	157	66	104	17	147	167	174	179	3	173	160	155	161	152	156	177	24	170	9	159
	16	15	148	5	146	163	172	175	151	169	176	150	153	171	158	168	144	8	145				
13/15	49	2	57	47	31	35	24	39	59	0	45	41	55	53	51	37	33	43	56	38	48	32	50
	23	34	54	1	36	44	52	40	58	122	46	42	30	3	75	73	65	145	71	79	67	69	83

85	147	63	81	77	61	5	26	62	64	74	70	82	149	76	4	78	84	80	86	66	68	72
6	60	154	103	95	101	143	9	89	141	128	97	137	133	7	13	99	91	93	87	11	136	90
88	94	10	8	14	96	104	92	132	142	100	98	12	102	152	139	150	106	146	130	27	108	153
112	114	29	110	134	116	15	127	125	123	120	148	151	113	126	124	135	129	109	25	28	158	117
105	115	111	131	107	121	18	170	164	20	140	160	166	162	119	155	168	178	22	174	172	176	16
157	159	171	161	118	17	163	21	165	19	179	177	167	138	173	156	144	169	175				

표 B-6 4096QAM ($N_{inner} = 64800$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 180$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137
	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179				
2/15	14	129	71	96	171	36	144	64	162	4	86	128	113	7	105	131	2	133	106	79	11	152	26
	118	158	126	17	55	45	111	138	84	6	52	167	38	20	101	31	120	5	112	74	69	121	9
	154	15	146	116	63	1	114	83	124	109	39	75	123	57	49	30	21	40	43	77	157	44	13
	99	34	147	166	56	155	176	95	102	119	161	37	159	97	68	122	163	89	61	107	22	10	127
	87	103	179	172	66	59	8	145	88	132	110	54	47	153	25	32	73	42	148	150	28	91	18
	24	19	53	136	48	76	35	151	173	149	142	160	94	117	169	165	141	80	67	170	164	82	65
	60	135	168	23	100	134	90	98	125	85	137	81	41	156	50	3	29	16	72	177	0	78	62
	139	93	46	12	175	130	51	178	92	115	174	27	70	58	33	104	140	108	143				
3/15	136	20	44	36	17	120	89	142	66	35	42	116	14	119	117	29	47	125	11	158	74	25	37
	175	41	145	100	131	173	179	16	77	112	40	58	23	82	168	106	83	34	49	122	2	157	107
	79	137	53	96	33	70	19	38	121	90	118	126	165	109	154	140	10	178	143	92	63	176	146
	134	177	139	3	113	172	9	50	138	61	93	94	88	132	105	151	170	86	12	1	7	56	59
	101	155	95	54	85	13	39	15	76	130	97	110	174	72	150	55	73	99	111	162	26	21	156
	28	160	149	133	104	81	69	84	4	6	147	48	115	169	127	161	71	68	80	91	98	8	57
	171	135	52	5	141	65	75	163	43	144	167	159	129	46	31	30	166	0	148	128	102	103	60
	32	18	51	87	114	64	22	164	24	123	27	62	124	152	78	108	67	153	45				
4/15	91	52	36	30	35	6	121	29	150	47	163	2	89	39	65	157	64	122	101	40	84	69	90
	129	10	9	15	162	21	171	43	44	132	158	104	4	72	169	177	103	76	28	78	53	1	151
	161	88	148	42	160	109	100	126	138	108	38	25	3	112	17	124	155	172	134	86	119	94	145
	178	68	26	130	140	115	152	139	37	22	102	14	118	11	98	154	61	146	164	107	131	159	63
	93	7	79	5	137	165	59	77	55	80	117	13	173	144	85	153	66	106	49	34	48	41	143
	142	27	136	18	111	175	123	147	114	19	125	166	149	113	46	31	141	120	57	74	8	20	96
	170	128	97	16	60	110	156	45	82	105	62	99	23	92	32	50	73	56	167	95	24	168	33
	116	75	127	81	67	179	174	70	12	58	87	176	0	51	135	83	133	54	71				
5/15	146	89	57	16	164	138	91	78	90	66	122	12	9	157	14	68	112	128	74	45	28	87	158
	56	61	168	18	161	95	99	139	22	65	130	166	118	150	49	142	44	36	1	121	6	46	29
	88	47	0	58	105	43	80	64	107	21	55	151	8	145	163	7	98	123	17	11	153	136	52
	3	13	34	160	102	125	114	152	84	32	97	33	60	62	79	37	129	38	165	71	75	59	144
	127	132	104	53	162	103	120	54	155	116	48	77	76	73	113	119	179	177	41	19	92	109	31
	143	178	108	39	140	106	40	5	25	81	176	101	124	126	72	111	4	173	156	134	86	174	2
	170	35	175	137	15	24	69	96	30	117	67	171	149	169	63	23	20	167	27	147	51	10	82
	131	85	110	94	135	172	148	50	154	42	70	115	26	83	141	100	133	93	159				
6/15	66	21	51	55	117	24	33	12	70	63	47	65	145	8	0	57	23	71	59	14	40	42	15
	56	2	43	64	58	67	53	68	61	39	52	69	1	22	31	161	38	30	19	17	18	4	41
	25	44	136	29	36	26	126	177	62	37	148	9	13	45	46	152	50	49	27	77	60	35	48
	178	28	34	106	127	76	131	105	138	75	130	101	167	54	173	113	108	92	135	124	121	97	149
	143	81	32	96	3	78	107	86	98	16	162	150	111	158	172	139	74	142	166	7	5	119	20
	144	151	90	11	156	100	175	83	155	159	128	88	87	93	103	94	140	165	6	137	157	10	85
	141	129	146	122	73	112	132	125	174	169	168	79	84	118	179	147	91	160	163	115	89	80	102

	104	134	82	95	133	164	154	120	110	170	114	153	72	109	171	176	99	116	123				
7/15	59	122	161	93	37	112	111	62	42	102	119	72	60	144	34	120	46	31	129	172	149	94	65
	9	0	76	13	61	3	70	40	78	127	35	145	28	48	162	92	73	6	134	66	160	133	101
	4	5	87	106	79	104	168	163	170	57	83	44	54	110	30	50	82	10	148	98	41	22	96
	49	90	100	29	39	175	38	109	91	74	159	139	177	71	47	146	63	86	45	123	33	138	51
	89	88	167	80	142	108	69	7	103	115	99	135	36	11	166	169	8	165	68	173	140	95	179
	2	125	105	1	116	150	174	15	75	64	176	81	55	130	151	156	53	171	16	113	24	117	154
	157	164	143	12	56	152	20	85	84	77	158	107	32	153	147	132	124	52	121	58	118	137	114
	97	19	155	67	25	17	126	23	43	27	21	136	131	26	14	18	128	141	178				
8/15	77	48	82	51	57	69	65	6	71	90	84	81	50	88	61	55	53	73	39	13	79	75	41
	18	38	89	49	93	36	64	47	40	42	76	70	56	3	72	2	54	52	145	19	78	80	63
	87	67	86	10	1	58	17	14	175	91	68	85	94	15	43	74	60	66	37	92	4	9	16
	83	46	44	102	30	112	122	110	29	20	105	138	101	174	33	137	136	131	166	59	34	62	125
	28	26	45	24	23	21	157	98	35	95	22	32	103	27	113	31	119	173	168	118	120	114	149
	159	155	179	160	161	130	123	172	139	124	153	0	109	167	128	107	117	147	177	96	164	152	11
	148	158	129	163	176	151	171	8	106	144	150	169	108	162	143	111	141	133	178	134	146	99	132
	142	104	115	135	121	100	12	170	156	126	5	127	154	97	140	116	165	7	25				
9/15	67	79	72	175	1	92	63	65	36	73	18	3	43	78	5	40	82	20	15	76	28	84	59
	91	93	54	58	60	2	19	66	44	85	48	0	50	166	89	41	24	83	75	55	64	52	98
	39	141	34	74	33	45	99	46	10	69	94	101	56	9	97	96	37	14	31	70	106	113	80
	62	100	13	32	88	57	127	53	68	146	61	7	107	71	51	161	81	49	86	95	103	30	25
	126	87	22	47	27	171	102	6	132	77	90	38	167	4	35	26	118	140	104	128	179	124	109
	159	42	110	21	105	148	142	134	23	117	122	160	12	154	114	156	151	145	169	11	139	177	129
	155	178	138	176	147	121	136	165	170	133	149	150	174	168	125	116	115	164	29	119	153	157	162
	173	112	144	172	123	137	16	120	131	111	135	163	17	130	152	108	8	158	143				
10/15	36	21	117	71	38	108	42	61	13	88	97	68	2	67	50	64	95	63	100	9	82	51	45
	78	31	18	103	39	119	25	40	28	72	11	73	86	131	84	111	24	58	60	81	37	89	1
	93	56	69	96	35	57	116	130	55	74	41	169	54	14	26	65	83	165	107	0	52	144	75
	101	8	115	118	85	48	112	80	90	32	173	76	33	16	77	164	104	46	20	98	109	29	114
	7	110	99	53	133	70	87	106	145	4	113	27	59	34	5	102	148	142	79	19	44	159	174
	155	136	94	43	49	152	161	66	3	121	135	147	17	157	30	153	154	137	168	92	149	171	10
	177	134	143	176	179	105	172	47	146	160	23	175	141	91	140	163	132	6	126	124	12	170	167
	151	125	139	150	15	129	162	120	166	156	62	158	178	128	127	22	122	123	138				
11/15	77	97	3	44	119	72	83	116	40	0	111	8	68	43	24	102	49	92	65	31	93	60	17
	76	89	118	70	87	15	67	22	59	95	46	38	125	48	58	140	104	73	47	14	120	1	50
	80	63	62	45	9	25	114	19	82	54	150	121	130	123	37	55	23	98	81	122	103	85	126
	101	78	5	128	148	57	12	107	36	2	109	52	39	66	115	42	156	90	51	91	29	84	18
	144	10	94	64	100	86	71	27	30	32	110	33	113	131	35	34	112	26	108	16	61	56	75
	41	117	69	172	96	149	127	124	173	13	74	105	53	161	146	174	79	88	28	129	134	139	136
	145	170	135	158	154	162	7	169	99	106	137	165	143	4	175	138	133	171	168	147	167	141	163
	176	179	142	11	177	153	151	159	132	20	164	6	157	178	21	166	155	160	152				
12/15	110	16	64	100	55	70	48	26	60	71	93	1	59	88	97	136	67	94	90	72	49	23	41
	92	9	35	37	113	101	111	8	52	56	19	134	151	84	126	159	63	44	65	139	31	57	103
	22	116	172	38	95	36	46	141	114	4	106	149	85	86	66	51	121	105	109	87	6	135	127
	47	123	39	10	148	43	131	147	45	143	5	108	81	2	140	120	132	76	58	137	18	29	125
	17	30	32	156	133	78	91	161	104	174	53	61	50	74	77	33	171	138	28	69	112	119	12
	102	20	167	99	122	117	24	98	115	124	42	7	79	75	128	82	68	80	3	11	54	96	40
	129	142	107	73	175	14	83	150	165	118	89	130	15	163	34	166	173	146	168	153	154	177	62
	145	0	178	155	157	179	144	158	152	13	25	176	162	169	164	27	21	160	170				
13/15	87	50	6	42	82	54	96	0	62	124	109	126	23	64	53	20	41	111	145	135	68	2	122
	128	107	7	28	14	125	136	154	10	92	99	84	86	151	108	24	94	148	29	123	13	88	52

35	61	102	132	95	70	40	129	101	36	51	150	142	152	121	131	116	97	104	31	59	137	83
112	113	57	77	32	93	49	58	117	78	1	149	37	11	100	85	79	72	66	130	18	63	55
91	46	146	21	143	44	110	75	138	16	76	45	114	144	119	38	140	65	30	133	153	33	89
71	115	105	90	56	25	103	147	73	60	47	118	27	69	9	74	48	19	39	43	34	81	139
3	164	106	134	5	67	80	141	120	98	155	8	156	162	163	165	26	161	168	176	159	170	4
127	22	173	157	171	178	158	17	174	179	167	12	172	166	160	177	169	175	15				

B.2. $N_{\text{inner}} = 16200$ 에서의 그룹 인터리빙 순열 ($N_{\text{group}} = 45$)표 B-7 QPSK ($N_{\text{inner}} = 16200$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 45$)																						
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
2/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	1
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	
3/15	15	22	34	19	7	17	28	43	30	32	14	1	11	0	3	9	10	38	24	4	23	18	27
	39	29	33	8	2	40	21	20	36	44	12	37	13	35	6	31	26	16	25	42	5	41	
4/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	1
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	
5/15	35	7	29	11	14	32	38	28	20	17	25	39	19	4	1	12	10	30	0	44	43	2	21
	5	13	34	37	23	15	36	18	42	16	33	31	27	22	3	6	40	24	41	9	26	8	
6/15	7	4	0	5	27	30	25	13	31	9	34	10	17	11	8	12	15	16	18	19	20	21	22
	23	1	35	24	29	33	6	26	14	32	28	2	3	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
7/15	3	7	1	4	18	21	22	6	9	5	17	14	13	15	10	20	8	19	16	12	0	11	2
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
8/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	1
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	
9/15	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
10/15	1	4	5	6	24	21	18	7	17	12	8	20	23	29	28	30	32	34	36	38	40	42	0
	2	3	14	22	13	10	25	9	27	19	16	15	26	11	31	33	35	37	39	41	43	44	
11/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	1
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	
12/15	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	1
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	44	
13/15	26	10	12	38	28	15	0	44	34	24	14	8	40	30	20	13	42	32	22	11	9	36	25
	7	5	37	27	4	16	43	33	23	2	18	39	29	19	6	41	31	21	3	17	35	1	

표 B-8 16QAM ($N_{inner} = 16200$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 45$)																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
2/15	5	33	18	8	29	10	21	14	30	26	11	23	27	4	7	6	24	44	38	31	34	43	13	
	0	15	42	17	2	20	12	40	39	35	32	1	3	41	37	9	25	19	22	16	28	36		
3/15	18	16	5	29	26	43	23	6	1	24	7	19	37	2	27	3	10	15	36	39	22	12	35	
	33	4	17	30	31	21	9	11	41	0	32	20	40	25	8	34	38	28	14	44	13	42		
4/15	34	3	19	35	25	2	17	36	26	38	0	40	27	10	7	43	21	28	15	6	1	37	18	
	30	32	33	29	22	12	13	5	23	44	14	4	31	20	39	42	11	9	16	41	8	24		
5/15	3	33	39	2	38	29	0	10	25	17	7	21	44	37	8	34	20	1	4	31	11	42	22	
	13	12	28	26	43	30	14	16	23	24	15	5	18	9	36	6	19	32	40	41	35	27		
6/15	12	13	15	30	27	25	11	34	9	4	31	22	6	32	7	21	17	3	1	26	10	33	19	
	2	18	5	28	35	8	16	29	23	14	0	20	24	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
7/15	19	3	32	38	16	17	29	33	14	10	6	2	20	15	40	39	12	22	23	34	31	13	44	
	43	36	24	37	42	0	9	4	21	5	35	26	41	7	28	11	25	8	18	1	30	27		
8/15	36	5	22	26	1	13	3	33	9	6	23	20	35	10	17	41	30	15	21	42	29	11	37	
	4	2	38	44	0	18	19	8	31	28	43	14	34	32	25	40	12	16	24	39	27	7		
9/15	4	6	19	2	5	30	20	11	22	12	15	0	36	37	38	39	26	14	34	35	16	13	18	
	42	7	10	25	43	40	17	41	24	33	31	23	32	21	3	27	28	8	9	29	1	44		
10/15	27	11	20	1	7	5	29	35	9	10	34	18	25	28	6	13	17	0	23	16	41	15	19	
	44	24	37	4	31	8	32	14	42	12	2	40	30	36	39	43	21	3	22	26	33	38		
11/15	2	4	41	8	13	7	0	24	3	22	5	32	10	9	36	37	29	11	25	16	20	21	35	
	34	15	1	6	14	27	30	33	12	17	28	23	40	26	31	38	39	18	19	42	43	44		
12/15	3	6	7	27	2	23	10	30	22	28	24	20	37	21	4	14	11	42	16	9	15	26	33	
	40	5	8	44	34	18	0	32	29	19	41	38	17	25	43	35	36	13	39	12	1	31		
13/15	12	7	20	43	29	13	32	30	25	0	17	18	9	1	41	42	6	33	28	14	16	11	39	
	40	15	4	23	5	2	24	22	38	10	8	19	34	26	36	37	27	21	31	3	35	44		

표 B-9 64QAM ($N_{inner} = 16200$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 45$)																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
2/15	7	11	4	38	19	25	2	43	15	26	18	14	9	29	44	32	0	5	35	10	1	12	6	
	36	21	33	37	34	3	31	20	16	40	23	41	22	30	39	13	24	17	42	28	8	27		
3/15	19	34	22	6	29	25	23	36	7	8	24	16	27	43	11	35	5	28	13	4	3	17	15	
	38	20	0	26	12	1	39	31	41	44	30	9	21	42	18	14	32	10	2	37	33	40		
4/15	41	34	32	37	5	8	13	15	30	31	22	25	42	20	23	17	1	40	44	12	6	43	7	
	29	33	16	11	0	35	4	14	28	21	3	24	19	18	36	10	38	26	2	39	27	9		
5/15	25	44	8	39	37	2	11	7	0	12	4	31	33	38	43	21	26	13	28	29	1	27	18	
	17	34	3	42	10	19	20	32	36	40	9	41	5	35	30	22	15	16	6	24	23	14		
6/15	31	12	39	32	30	24	28	15	38	23	27	41	0	6	17	37	42	20	11	4	40	2	3	
	26	10	7	13	25	1	18	8	5	14	36	35	33	22	9	44	16	34	19	21	29	43		
7/15	2	14	10	0	37	42	38	40	24	29	28	35	18	16	20	27	41	30	15	19	9	43	25	
	3	6	7	31	32	26	36	17	1	13	5	39	33	4	8	23	22	11	34	44	12	21		
8/15	36	6	2	20	43	17	33	22	23	25	13	0	10	7	21	1	19	26	8	14	31	35	16	
	5	29	40	11	9	4	34	15	42	32	28	18	37	30	39	24	41	3	38	27	12	44		
9/15	21	5	43	38	40	1	3	17	11	37	10	41	9	15	25	44	14	27	7	18	20	35	16	
	0	6	19	8	22	29	28	34	31	33	30	32	42	13	4	24	26	36	2	23	12	39		
10/15	14	22	18	11	28	26	2	38	10	0	5	12	24	17	29	16	39	13	23	8	25	43	34	
	33	27	15	7	1	9	35	40	32	30	20	36	31	21	41	44	3	42	6	19	37	4		
11/15	31	20	21	25	4	16	9	3	17	24	5	10	12	28	6	19	8	15	13	11	29	22	27	
	14	23	34	26	18	42	2	37	44	39	33	35	41	0	36	7	40	38	1	30	32	43		
12/15	17	11	14	7	31	10	2	26	0	32	29	22	33	12	20	28	27	39	37	15	4	5	8	
	13	38	18	23	34	24	6	1	9	16	44	21	3	36	30	40	35	43	42	25	19	41		
13/15	9	7	15	10	11	12	13	6	21	17	14	20	26	8	25	32	34	23	2	4	31	18	5	
	27	29	3	38	36	39	43	41	42	40	44	1	28	33	22	16	19	24	0	30	35	37		

표 B-10 256QAM ($N_{inner} = 16200$)

Code Rate	Order of group-wise interleaving $\pi(j)$ ($0 \leq j < 45$)																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
2/15	31	3	38	9	34	6	4	18	15	1	21	19	42	20	12	13	30	26	14	2	10	35	28	
	44	23	11	22	16	29	40	27	37	25	41	5	43	39	36	7	24	32	17	33	8	0		
3/15	5	22	23	26	29	27	16	1	4	25	41	21	12	2	6	8	7	19	44	42	39	40	43	
	35	10	28	13	15	37	32	3	24	36	38	11	18	33	30	14	9	34	20	0	17	31		
4/15	38	20	0	34	33	41	14	30	44	7	37	8	4	9	43	15	19	32	23	5	22	26	10	
	12	3	31	36	21	24	11	16	18	17	29	35	42	13	40	1	28	2	25	6	39	27		
5/15	4	23	3	6	18	5	0	2	7	26	21	27	39	42	38	31	1	34	20	37	40	24	43	
	25	33	9	22	36	30	35	11	10	17	32	13	12	41	15	14	19	16	8	44	29	28		
6/15	17	13	25	24	14	21	1	37	2	3	11	22	18	5	10	23	12	4	26	16	38	36	33	
	39	0	6	7	31	32	34	27	35	15	9	30	28	19	8	20	29	40	41	42	43	44		
7/15	13	16	4	12	44	15	8	14	0	3	30	20	35	21	10	6	19	17	26	39	7	24	9	
	27	5	37	23	32	40	31	38	42	34	25	36	2	22	43	33	28	1	18	11	41	29		
8/15	41	2	12	6	33	1	13	11	26	10	39	43	36	23	42	7	44	20	8	38	18	22	24	
	40	4	28	29	19	14	5	9	0	30	25	35	37	27	32	31	34	21	3	15	17	16		
9/15	5	7	9	22	10	12	3	43	6	4	24	13	14	11	15	18	19	17	16	41	25	26	20	
	23	21	33	31	28	39	36	30	37	27	32	34	35	29	2	42	0	1	8	40	38	44		
10/15	28	20	18	38	39	2	3	30	19	4	14	36	7	0	25	17	10	6	33	15	8	26	42	
	24	11	21	23	5	40	41	29	32	37	44	43	31	35	34	22	1	16	27	9	13	12		
11/15	8	13	0	11	9	4	36	37	16	3	10	14	24	20	33	34	25	2	21	31	12	19	7	
	5	27	23	26	1	18	22	35	6	32	30	28	15	29	17	39	38	40	41	42	43	44		
12/15	28	21	10	15	8	22	26	2	14	1	27	3	39	20	34	25	12	6	7	40	30	29	38	
	16	43	33	4	35	9	32	5	36	0	41	37	18	17	13	24	42	31	23	19	11	44		
13/15	9	13	10	7	11	6	1	14	12	8	21	15	4	36	25	30	24	28	29	20	27	5	18	
	17	22	33	0	16	23	31	42	3	40	39	41	43	37	44	26	2	19	38	32	35	34		

C. 성상도 정의 및 그림

C.1. 성상도 정의

적용된 성상도의 정의를 포함하고 있다. 표 C-1은 QPSK, 표C-2 ~ 표C-7은16QAM에서 256QAM까지 NUC를 위한 위치 벡터를 정의하고, 표C-8 ~ 표C-11은 1024QAM에서 4096QAM까지 NUC를 위한 위치 벡터를 요약한다.

표 C-1 모든 부호율에 대한 QPSK 정의

Input data cell y	Constellation point z_s
00	$(1 + 1i)/\sqrt{2}$
01	$(-1 + 1i) / \sqrt{2}$
10	$(+1 - 1i) / \sqrt{2}$
11	$(-1 -1i) / \sqrt{2}$

표 C-2 부호율 2/15~7/15 에 대한 16QAM 정의

w/CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
w0	0.7062+0.7075i	0.3620+0.5534i	0.3412+0.5241i	0.3192+0.5011i	0.5115 +1.2092i	0.2592+0.4888i
w1	0.7075+0.7062i	0.5534+0.3620i	0.5241+0.3412i	0.5011+0.3192i	1.2092+0.5115i	0.4888+0.2592i
w2	0.7072+0.7077i	0.5940+1.1000i	0.5797+1.1282i	0.5575+1.1559i	0.2663+0.4530i	0.5072+1.1980i
w3	0.7077+0.7072i	1.1000+0.5940i	1.1282+0.5797i	1.1559+0.5575i	0.4530+0.2663i	1.1980+0.5072i

표 C-3 부호율 8/15~13/15 에 대한 16QAM 정의

w/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
w0	0.2535+0.4923i	0.2386+0.5296i	0.4487+1.1657i	0.9342+0.9847i	0.9555+0.9555i	0.9517+0.9511i
w1	0.4923+0.2535i	0.5296+0.2386i	1.2080+0.5377i	0.9866+0.2903i	0.9555+0.2949i	0.9524+0.3061i
w2	0.4927+1.2044i	0.4882+1.1934i	0.2213+0.4416i	0.2716+0.9325i	0.2949+0.9555i	0.3067+0.9524i
w3	1.2044+0.4927i	1.1934+0.4882i	0.6186+0.2544i	0.2901+0.2695i	0.2949+0.2949i	0.3061+0.3067i

표 C-4 부호율 2/15~7/15 에 대한 64QAM 정의

w/CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
w0	0.6474+0.9831i	0.5472+1.1591i	0.5008+1.2136i	1.4327+0.3305i	1.4521+0.3005i	0.1567+0.3112i
w1	0.6438+0.9829i	0.5473+1.1573i	0.4994+1.2194i	1.0909+0.2971i	1.2657+0.8178i	0.1709+0.3037i
w2	0.6471+0.9767i	0.5467+1.1599i	0.5313+1.1715i	1.2484+0.7803i	1.0666+0.2744i	0.2093+0.6562i
w3	0.6444+0.9762i	0.5479+1.1585i	0.5299+1.1788i	0.9762+0.5715i	0.9500+0.5641i	0.3315+0.6038i
w4	0.9839+0.6475i	1.1578+0.5478i	1.2107+0.5037i	0.3309+1.4326i	0.3011+1.4529i	0.3112+0.1567i
w5	0.9778+0.6474i	1.1576+0.5475i	1.2209+0.5008i	0.2979+1.0923i	0.8202+1.2651i	0.3037+0.1709i
w6	0.9835+0.6434i	1.1591+0.5475i	1.1715+0.5299i	0.7829+1.2477i	0.2750+1.0676i	0.6562+0.2093i
w7	0.9777+0.6433i	1.1591+0.5475i	1.1802+0.5270i	0.5739+0.9763i	0.5656+0.9499i	0.6038+0.3315i
w8	0.4659+0.6393i	0.3163+0.5072i	0.2744+0.4762i	0.3901+0.2112i	0.3553+0.1948i	0.2959+1.4877i
w9	0.4643+0.6386i	0.3163+0.5072i	0.2729+0.4762i	0.5317+0.2475i	0.3569+0.2094i	0.8427+1.2612i
w10	0.4661+0.6353i	0.3163+0.5072i	0.2773+0.4791i	0.3945+0.2289i	0.5596+0.2431i	0.2389+1.0228i
w11	0.4639+0.6350i	0.3163+0.5072i	0.2773+0.4791i	0.5236+0.2894i	0.5410+0.3002i	0.5559+0.8912i
w12	0.6378+0.4671i	0.5087+0.3163i	0.4762+0.2729i	0.2108+0.3911i	0.1946+0.3566i	1.4877+0.2959i
w13	0.6352+0.4673i	0.5087+0.3163i	0.4762+0.2729i	0.2475+0.5327i	0.2094+0.3579i	1.2612+0.8427i
w14	0.6385+0.4656i	0.5087+0.3163i	0.4791+0.2773i	0.2287+0.3955i	0.2430+0.5607i	1.0228+0.2389i
w15	0.6353+0.4653i	0.5087+0.3163i	0.4791+0.2758i	0.2898+0.5246i	0.3004+0.5417i	0.8912+0.5559i

표 C-5 부호율 8/15~13/15 에 대한 64QAM 정의

w/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
w0	1.4827+0.2920i	0.1305 + 0.3311i	0.1177 + 0.1729i	1.4443 + 0.2683i	1.4480 + 0.2403i	1.4319 + 0.2300i
w1	1.2563+0.8411i	0.1633 + 0.3162i	0.1601 + 0.3212i	0.7471 + 1.2243i	0.6406 + 1.1995i	1.0762 + 0.9250i
w2	1.0211+0.2174i	0.1622 + 0.7113i	0.1352 + 0.7279i	1.1749 + 0.7734i	1.0952 + 0.9115i	0.6290 + 1.1820i
w3	0.8798+0.5702i	0.3905 + 0.6163i	0.3246 + 0.6148i	0.7138 + 0.8201i	0.6868 + 0.8108i	0.6851 + 0.8072i
w4	0.2920+1.4827i	0.3311 + 0.1305i	0.4192 + 0.1179i	0.1638 + 1.0769i	1.0500 + 0.1642i	1.0443 + 0.1688i
w5	0.8410+1.2563i	0.3162 + 0.1633i	0.4033 + 0.2421i	0.2927 + 1.4217i	0.7170 + 0.1473i	1.0635 + 0.5305i
w6	0.2174+1.0211i	0.7113 + 0.1622i	0.7524 + 0.1581i	0.1462 + 0.7457i	1.0519 + 0.5188i	0.7220 + 0.1540i
w7	0.5702+0.8798i	0.6163 + 0.3905i	0.5996 + 0.4330i	0.4134 + 0.7408i	0.7146 + 0.4532i	0.7151 + 0.4711i
w8	0.3040+0.1475i	0.2909 + 1.4626i	0.2902 + 1.4611i	1.0203 + 0.1517i	0.1677 + 1.0405i	0.2099 + 1.4205i
w9	0.3028+0.1691i	0.8285 + 1.2399i	0.8180 + 1.2291i	0.6653 + 0.1357i	0.2402 + 1.4087i	0.1190 + 0.6677i
w10	0.6855+0.1871i	0.2062 + 1.0367i	0.2036 + 1.0575i	0.9639 + 0.4465i	0.1369 + 0.7073i	0.2031 + 1.0551i
w11	0.6126+0.3563i	0.5872 + 0.8789i	0.5641 + 0.8965i	0.6746 + 0.4339i	0.4044 + 0.7057i	0.3722 + 0.7548i
w12	0.1475+0.3040i	1.4626 + 0.2909i	1.4453 + 0.2907i	0.1271 + 0.1428i	0.1374 + 0.1295i	0.1438 + 0.1287i
w13	0.1691+0.3028i	1.2399 + 0.8285i	1.2157 + 0.8186i	0.3782 + 0.1406i	0.4185 + 0.1357i	0.1432 + 0.3903i
w14	0.1871+0.6855i	1.0367 + 0.2062i	1.0447 + 0.2242i	0.1311 + 0.4288i	0.1325 + 0.3998i	0.4298 + 0.1384i
w15	0.3563+0.6126i	0.8789 + 0.5872i	0.8497 + 0.6176i	0.3919 + 0.4276i	0.4122 + 0.4120i	0.4215 + 0.4279i

표 C-6 부호율 2/15~7/15 에 대한 256QAM 정의

w/Shape	NUC_256_2/15	NUC_256_3/15	NUC_256_4/15	NUC_256_5/15	NUC_256_6/15	NUC_256_7/15
w0	0.5553 + 1.1262i	0.5229 + 1.1810i	0.2975 + 1.0564i	0.1524 + 0.3087i	0.1430 + 0.3078i	0.1170 + 0.3003i
w1	0.5673 + 1.1336i	0.5384 + 1.1625i	0.5862 + 0.9617i	0.1525 + 0.3087i	0.1430 + 0.3077i	0.1171 + 0.3003i
w2	0.5593 + 1.1204i	0.5148 + 1.1943i	0.2909 + 1.0696i	0.1513 + 0.3043i	0.1413 + 0.3003i	0.1204 + 0.3233i
w3	0.5636 + 1.1321i	0.5288 + 1.1751i	0.5796 + 0.9689i	0.1513 + 0.3043i	0.1414 + 0.3002i	0.1204 + 0.3233i
w4	0.5525 + 1.1249i	0.4985 + 1.2202i	0.2953 + 1.3357i	0.1682 + 0.3004i	0.1637 + 0.2973i	0.1454 + 0.2877i
w5	0.5637 + 1.1320i	0.5111 + 1.1973i	0.7488 + 1.2365i	0.1682 + 0.3005i	0.1636 + 0.2973i	0.1453 + 0.2877i
w6	0.5598 + 1.1181i	0.4889 + 1.2357i	0.3004 + 1.5114i	0.1663 + 0.2964i	0.1604 + 0.2905i	0.1566 + 0.3074i
w7	0.5659 + 1.1274i	0.5045 + 1.2113i	0.8151 + 1.3816i	0.1663 + 0.2964i	0.1603 + 0.2905i	0.1565 + 0.3074i
w8	0.5579 + 1.1381i	0.5222 + 1.1817i	0.3004 + 1.0535i	0.1964 + 0.6584i	0.1768 + 0.6686i	0.1427 + 0.6856i
w9	0.5617 + 1.1471i	0.5370 + 1.1640i	0.5847 + 0.9631i	0.1965 + 0.6583i	0.1793 + 0.6679i	0.1562 + 0.6826i
w10	0.5593 + 1.1346i	0.5133 + 1.1950i	0.2931 + 1.0659i	0.1967 + 0.6652i	0.1769 + 0.6707i	0.1422 + 0.6584i
w11	0.5672 + 1.1430i	0.5303 + 1.1751i	0.5825 + 0.9668i	0.1968 + 0.6652i	0.1793 + 0.6700i	0.1529 + 0.6560i
w12	0.5533 + 1.1355i	0.4971 + 1.2216i	0.2953 + 1.3189i	0.3371 + 0.5987i	0.3506 + 0.5961i	0.3840 + 0.5856i
w13	0.5632 + 1.1421i	0.5126 + 1.1995i	0.7466 + 1.2168i	0.3370 + 0.5987i	0.3484 + 0.5974i	0.3723 + 0.5931i
w14	0.5567 + 1.1325i	0.4882 + 1.2371i	0.2960 + 1.4654i	0.3414 + 0.6039i	0.3523 + 0.5975i	0.3651 + 0.5660i
w15	0.5641 + 1.1363i	0.5045 + 1.2128i	0.8297 + 1.3539i	0.3413 + 0.6039i	0.3501 + 0.5987i	0.3559 + 0.5718i
w16	1.1309 + 0.5597i	1.1795 + 0.5251i	1.0637 + 0.2960i	0.3087 + 0.1524i	0.3078 + 0.1430i	0.3003 + 0.1170i
w17	1.1405 + 0.5660i	1.1625 + 0.5384i	0.9617 + 0.5811i	0.3087 + 0.1525i	0.3077 + 0.1430i	0.3003 + 0.1171i
w18	1.1348 + 0.5588i	1.1914 + 0.5133i	1.0732 + 0.2931i	0.3043 + 0.1513i	0.3003 + 0.1413i	0.3233 + 0.1204i
w19	1.1491 + 0.5638i	1.1744 + 0.5296i	0.9682 + 0.5818i	0.3043 + 0.1513i	0.3002 + 0.1414i	0.3233 + 0.1204i
w20	1.1245 + 0.5615i	1.2209 + 0.4993i	1.3619 + 0.2997i	0.3004 + 0.1682i	0.2973 + 0.1637i	0.2877 + 0.1454i
w21	1.1333 + 0.5627i	1.2002 + 0.5148i	1.2249 + 0.7546i	0.3005 + 0.1682i	0.2973 + 0.1636i	0.2877 + 0.1453i
w22	1.1284 + 0.5578i	1.2342 + 0.4882i	1.5427 + 0.3106i	0.2964 + 0.1663i	0.2905 + 0.1604i	0.3074 + 0.1566i
w23	1.1436 + 0.5636i	1.2142 + 0.5052i	1.3969 + 0.8523i	0.2964 + 0.1663i	0.2905 + 0.1603i	0.3074 + 0.1565i
w24	1.1196 + 0.5620i	1.1803 + 0.5229i	1.0615 + 0.2945i	0.6584 + 0.1964i	0.6686 + 0.1768i	0.6856 + 0.1427i
w25	1.1347 + 0.5665i	1.1640 + 0.5399i	0.9631 + 0.5818i	0.6583 + 0.1965i	0.6679 + 0.1793i	0.6826 + 0.1562i
w26	1.1379 + 0.5611i	1.1921 + 0.5133i	1.0710 + 0.2924i	0.6652 + 0.1967i	0.6707 + 0.1769i	0.6584 + 0.1422i
w27	1.1440 + 0.5638i	1.1758 + 0.5303i	0.9675 + 0.5825i	0.6652 + 0.1968i	0.6700 + 0.1793i	0.6560 + 0.1529i
w28	1.1221 + 0.5594i	1.2209 + 0.4971i	1.3255 + 0.2975i	0.5987 + 0.3371i	0.5961 + 0.3506i	0.5856 + 0.3840i
w29	1.1318 + 0.5686i	1.2024 + 0.5148i	1.1979 + 0.7495i	0.5987 + 0.3370i	0.5974 + 0.3484i	0.5931 + 0.3723i
w30	1.1302 + 0.5619i	1.2349 + 0.4889i	1.4560 + 0.3040i	0.6039 + 0.3414i	0.5975 + 0.3523i	0.5660 + 0.3651i
w31	1.1386 + 0.5662i	1.2150 + 0.5045i	1.3269 + 0.8414i	0.6039 + 0.3413i	0.5987 + 0.3501i	0.5718 + 0.3559i
w32	0.3394 + 0.5381i	0.2740 + 0.4771i	0.2493 + 0.5585i	0.3183 + 1.5992i	0.2071 + 1.6690i	0.1683 + 1.7041i
w33	0.3397 + 0.5360i	0.2762 + 0.4801i	0.2960 + 0.5344i	0.3186 + 1.5991i	0.4482 + 1.6210i	0.4972 + 1.6386i
w34	0.3387 + 0.5324i	0.2733 + 0.4757i	0.2450 + 0.5417i	0.2756 + 1.3848i	0.2080 + 1.3641i	0.1495 + 1.3560i
w35	0.3400 + 0.5335i	0.2748 + 0.4779i	0.2873 + 0.5191i	0.2759 + 1.3847i	0.3307 + 1.3397i	0.3814 + 1.3099i
w36	0.3374 + 0.5306i	0.2703 + 0.4742i	0.2049 + 0.3922i	0.9060 + 1.3557i	1.0341 + 1.3264i	1.0862 + 1.3238i
w37	0.3405 + 0.5343i	0.2725 + 0.4764i	0.2173 + 0.3806i	0.9058 + 1.3559i	0.8297 + 1.4630i	0.8074 + 1.5101i
w38	0.3379 + 0.5324i	0.2696 + 0.4727i	0.1990 + 0.3755i	0.7846 + 1.1739i	0.8178 + 1.1114i	0.8534 + 1.0644i
w39	0.3400 + 0.5317i	0.2718 + 0.4749i	0.2107 + 0.3645i	0.7843 + 1.1741i	0.7138 + 1.1809i	0.6568 + 1.1958i
w40	0.3397 + 0.5370i	0.2740 + 0.4779i	0.2493 + 0.5599i	0.2257 + 0.9956i	0.1957 + 0.9674i	0.1552 + 0.9481i
w41	0.3400 + 0.5383i	0.2755 + 0.4793i	0.2975 + 0.5351i	0.2259 + 0.9956i	0.2170 + 0.9629i	0.2200 + 0.9352i
w42	0.3381 + 0.5347i	0.2725 + 0.4757i	0.2450 + 0.5439i	0.2276 + 1.0326i	0.1977 + 1.0341i	0.1577 + 1.0449i
w43	0.3382 + 0.5347i	0.2748 + 0.4779i	0.2887 + 0.5213i	0.2278 + 1.0326i	0.2288 + 1.0277i	0.2548 + 1.0255i
w44	0.3379 + 0.5342i	0.2711 + 0.4734i	0.2056 + 0.3937i	0.5446 + 0.8635i	0.5458 + 0.8224i	0.5609 + 0.7800i
w45	0.3389 + 0.5332i	0.2725 + 0.4764i	0.2187 + 0.3820i	0.5445 + 0.8636i	0.5276 + 0.8342i	0.5060 + 0.8167i
w46	0.3402 + 0.5347i	0.2696 + 0.4720i	0.1998 + 0.3762i	0.5694 + 0.8910i	0.5916 + 0.8709i	0.6276 + 0.8501i
w47	0.3384 + 0.5340i	0.2711 + 0.4742i	0.2122 + 0.3667i	0.5692 + 0.8911i	0.5651 + 0.8883i	0.5452 + 0.9052i
w48	0.5350 + 0.3394i	0.4771 + 0.2740i	0.5607 + 0.2486i	1.5992 + 0.3183i	1.6690 + 0.2071i	1.7041 + 0.1683i

w49	0.5363 + 0.3397i	0.4786 + 0.2762i	0.5381 + 0.2960i	1.5991 + 0.3186i	1.6210 + 0.4482i	1.6386 + 0.4972i
w50	0.5342 + 0.3389i	0.4764 + 0.2725i	0.5439 + 0.2442i	1.3848 + 0.2756i	1.3641 + 0.2080i	1.3560 + 0.1495i
w51	0.5384 + 0.3380i	0.4771 + 0.2748i	0.5220 + 0.2865i	1.3847 + 0.2759i	1.3397 + 0.3307i	1.3099 + 0.3814i
w52	0.5329 + 0.3363i	0.4734 + 0.2703i	0.3908 + 0.2049i	1.3557 + 0.9060i	1.3264 + 1.0341i	1.3238 + 1.0862i
w53	0.5330 + 0.3387i	0.4757 + 0.2725i	0.3813 + 0.2173i	1.3559 + 0.9058i	1.4630 + 0.8297i	1.5101 + 0.8074i
w54	0.5311 + 0.3389i	0.4734 + 0.2696i	0.3740 + 0.1998i	1.1739 + 0.7846i	1.1114 + 0.8178i	1.0644 + 0.8534i
w55	0.5332 + 0.3380i	0.4742 + 0.2711i	0.3653 + 0.2100i	1.1741 + 0.7843i	1.1809 + 0.7138i	1.1958 + 0.6568i
w56	0.5313 + 0.3397i	0.4771 + 0.2740i	0.5643 + 0.2486i	0.9956 + 0.2257i	0.9674 + 0.1957i	0.9481 + 0.1552i
w57	0.5324 + 0.3400i	0.4779 + 0.2762i	0.5410 + 0.2967i	0.9956 + 0.2259i	0.9629 + 0.2170i	0.9352 + 0.2200i
w58	0.5339 + 0.3402i	0.4764 + 0.2725i	0.5475 + 0.2435i	1.0326 + 0.2276i	1.0341 + 0.1977i	1.0449 + 0.1577i
w59	0.5360 + 0.3405i	0.4771 + 0.2748i	0.5257 + 0.2880i	1.0326 + 0.2278i	1.0277 + 0.2288i	1.0255 + 0.2548i
w60	0.5285 + 0.3397i	0.4742 + 0.2703i	0.3937 + 0.2049i	0.8635 + 0.5446i	0.8224 + 0.5458i	0.7800 + 0.5609i
w61	0.5317 + 0.3379i	0.4749 + 0.2725i	0.3850 + 0.2187i	0.8636 + 0.5445i	0.8342 + 0.5276i	0.8167 + 0.5060i
w62	0.5319 + 0.3381i	0.4734 + 0.2696i	0.3762 + 0.1998i	0.8910 + 0.5694i	0.8709 + 0.5916i	0.8501 + 0.6276i
w63	0.5327 + 0.3395i	0.4749 + 0.2711i	0.3689 + 0.2114i	0.8911 + 0.5692i	0.8883 + 0.5651i	0.9052 + 0.5452i

표 C-7 부호율 8/15~13/15 에 대한 256QAM 정의

w/Shape	NUC_256_8/15	NUC_256_9/15	NUC_256_10/15	NUC_256_11/15	NUC_256_12/15	NUC_256_13/15
w0	0.0995 + 0.2435i	0.0899 + 0.1337i	0.0754 + 0.2310i	0.0593 + 0.2193i	1.1980 + 1.1541i	1.2412 + 1.0688i
w1	0.0996 + 0.2434i	0.0910 + 0.1377i	0.0768 + 0.2305i	0.0690 + 0.3047i	0.9192 + 1.2082i	1.2668 + 0.8034i
w2	0.1169 + 0.3886i	0.0873 + 0.3862i	0.0924 + 0.4136i	0.0663 + 0.4879i	1.2778 + 0.8523i	0.9860 + 1.1758i
w3	0.1179 + 0.3883i	0.0883 + 0.3873i	0.1043 + 0.4125i	0.1151 + 0.4474i	1.0390 + 0.9253i	1.0365 + 0.9065i
w4	0.1192 + 0.2345i	0.1115 + 0.1442i	0.0829 + 0.1135i	0.1689 + 0.2163i	0.6057 + 1.2200i	1.2111 + 0.5135i
w5	0.1192 + 0.2345i	0.1135 + 0.1472i	0.0836 + 0.1149i	0.1971 + 0.2525i	0.7371 + 1.4217i	1.4187 + 0.6066i
w6	0.1953 + 0.3558i	0.2067 + 0.3591i	0.2682 + 0.3856i	0.3096 + 0.3796i	0.6678 + 1.0021i	1.0103 + 0.4879i
w7	0.1944 + 0.3563i	0.1975 + 0.3621i	0.2531 + 0.3906i	0.2489 + 0.3933i	0.8412 + 0.9448i	1.0380 + 0.6906i
w8	0.1293 + 0.7217i	0.1048 + 0.7533i	0.0836 + 0.7817i	0.0790 + 0.7970i	1.2128 + 0.5373i	0.6963 + 1.3442i
w9	0.1616 + 0.7151i	0.1770 + 0.7412i	0.2052 + 0.7608i	0.2340 + 0.7710i	1.0048 + 0.5165i	0.7089 + 1.1122i
w10	0.1287 + 0.6355i	0.1022 + 0.5904i	0.0838 + 0.6034i	0.0723 + 0.6395i	1.4321 + 0.6343i	0.1256 + 1.4745i
w11	0.1456 + 0.6318i	0.1191 + 0.5890i	0.1394 + 0.5961i	0.1896 + 0.6163i	1.0245 + 0.7152i	0.8331 + 0.9455i
w12	0.4191 + 0.6016i	0.4264 + 0.6230i	0.4861 + 0.6331i	0.5090 + 0.6272i	0.6384 + 0.6073i	0.6615 + 0.6012i
w13	0.3916 + 0.6198i	0.3650 + 0.6689i	0.3661 + 0.7034i	0.3787 + 0.7126i	0.8175 + 0.5684i	0.6894 + 0.7594i
w14	0.3585 + 0.5403i	0.3254 + 0.5153i	0.3732 + 0.5159i	0.4079 + 0.5049i	0.6568 + 0.7801i	0.8373 + 0.5633i
w15	0.3439 + 0.5497i	0.2959 + 0.5302i	0.3095 + 0.5511i	0.3088 + 0.5677i	0.8311 + 0.7459i	0.8552 + 0.7410i
w16	0.2435 + 0.0995i	0.3256 + 0.0768i	0.3030 + 0.0811i	0.0675 + 0.0626i	0.1349 + 1.4742i	1.2666 + 0.1027i
w17	0.2434 + 0.0996i	0.3266 + 0.0870i	0.3017 + 0.0853i	0.3475 + 0.0595i	0.1105 + 1.2309i	1.4915 + 0.1198i
w18	0.3886 + 0.1169i	0.4721 + 0.0994i	0.4758 + 0.0932i	0.5482 + 0.0626i	0.0634 + 0.9796i	1.0766 + 0.0945i
w19	0.3883 + 0.1179i	0.4721 + 0.1206i	0.4676 + 0.1242i	0.4784 + 0.1124i	0.1891 + 1.0198i	0.9007 + 0.0848i
w20	0.2345 + 0.1192i	0.2927 + 0.1267i	0.2425 + 0.1081i	0.1674 + 0.0751i	0.4142 + 1.4461i	1.2454 + 0.3064i
w21	0.2345 + 0.1192i	0.2947 + 0.1296i	0.2447 + 0.1115i	0.2856 + 0.1132i	0.3323 + 1.2279i	1.4646 + 0.3600i
w22	0.3558 + 0.1953i	0.3823 + 0.2592i	0.3837 + 0.2813i	0.4134 + 0.3028i	0.4998 + 0.9827i	1.0570 + 0.2995i
w23	0.3563 + 0.1944i	0.3944 + 0.2521i	0.3959 + 0.2642i	0.4235 + 0.2289i	0.3467 + 1.0202i	0.9140 + 0.2530i
w24	0.7217 + 0.1293i	0.7755 + 0.1118i	0.7929 + 0.0859i	0.8258 + 0.0840i	0.0680 + 0.6501i	0.5461 + 0.0679i
w25	0.7151 + 0.1616i	0.7513 + 0.2154i	0.7652 + 0.2324i	0.7936 + 0.2483i	0.2016 + 0.6464i	0.5681 + 0.1947i
w26	0.6355 + 0.1287i	0.6591 + 0.1033i	0.6365 + 0.0872i	0.6788 + 0.0783i	0.0719 + 0.8075i	0.6874 + 0.0537i
w27	0.6318 + 0.1456i	0.6446 + 0.1737i	0.6207 + 0.1757i	0.6501 + 0.2025i	0.2088 + 0.8146i	0.7375 + 0.1492i
w28	0.6016 + 0.4191i	0.5906 + 0.4930i	0.6149 + 0.5145i	0.6246 + 0.5211i	0.4809 + 0.6296i	0.6290 + 0.4553i
w29	0.6198 + 0.3916i	0.6538 + 0.4155i	0.6987 + 0.3934i	0.7241 + 0.3961i	0.3374 + 0.6412i	0.6007 + 0.3177i
w30	0.5403 + 0.3585i	0.4981 + 0.3921i	0.5063 + 0.4029i	0.5144 + 0.4089i	0.4955 + 0.8008i	0.7885 + 0.4231i

w31	0.5497 + 0.3439i	0.5373 + 0.3586i	0.5526 + 0.3356i	0.5918 + 0.3146i	0.3431 + 0.8141i	0.7627 + 0.2849i
w32	0.1665 + 1.6859i	0.1630 + 1.6621i	0.1598 + 1.6262i	0.1631 + 1.5801i	1.2731 + 0.1108i	0.0816 + 1.1632i
w33	0.4919 + 1.6211i	0.4720 + 1.5898i	0.4733 + 1.5637i	0.4806 + 1.5133i	1.0794 + 0.0977i	0.0830 + 0.9813i
w34	0.1360 + 1.3498i	0.1268 + 1.3488i	0.1307 + 1.3502i	0.1260 + 1.3365i	1.5126 + 0.1256i	0.2528 + 1.2315i
w35	0.3914 + 1.2989i	0.3752 + 1.2961i	0.3877 + 1.2983i	0.3750 + 1.2897i	0.9029 + 0.0853i	0.2502 + 1.0100i
w36	1.0746 + 1.3096i	1.0398 + 1.2991i	1.0328 + 1.2617i	1.0324 + 1.2029i	0.5429 + 0.0694i	0.0732 + 0.6827i
w37	0.7987 + 1.4940i	0.7733 + 1.4772i	0.7675 + 1.4398i	0.7737 + 1.3837i	0.6795 + 0.0559i	0.0811 + 0.8293i
w38	0.8585 + 1.0504i	0.8380 + 1.0552i	0.8496 + 1.0508i	0.8350 + 1.0529i	0.5628 + 0.1945i	0.2159 + 0.6673i
w39	0.6419 + 1.1951i	0.6242 + 1.2081i	0.6297 + 1.1967i	0.6147 + 1.1949i	0.7326 + 0.1410i	0.2359 + 0.8283i
w40	0.1334 + 0.9483i	0.1103 + 0.9397i	0.0910 + 0.9531i	0.0929 + 0.9596i	1.2283 + 0.3217i	0.4302 + 1.4458i
w41	0.2402 + 0.9271i	0.2415 + 0.9155i	0.2649 + 0.9198i	0.2768 + 0.9260i	1.0269 + 0.3261i	0.5852 + 0.9680i
w42	0.1323 + 1.0786i	0.1118 + 1.1163i	0.1080 + 1.1340i	0.1095 + 1.1349i	1.4663 + 0.3716i	0.4528 + 1.2074i
w43	0.2910 + 1.0470i	0.3079 + 1.0866i	0.3214 + 1.0926i	0.3250 + 1.0941i	0.9085 + 0.2470i	0.4167 + 1.0099i
w44	0.5764 + 0.7648i	0.5647 + 0.7638i	0.5941 + 0.7527i	0.6086 + 0.7556i	0.6160 + 0.4549i	0.5035 + 0.6307i
w45	0.4860 + 0.8252i	0.4385 + 0.8433i	0.4371 + 0.8528i	0.4514 + 0.8566i	0.7818 + 0.4247i	0.5359 + 0.7954i
w46	0.6693 + 0.8561i	0.6846 + 0.8841i	0.7093 + 0.8880i	0.7161 + 0.8933i	0.5938 + 0.3170i	0.3580 + 0.6532i
w47	0.5348 + 0.9459i	0.5165 + 1.0034i	0.5235 + 1.0090i	0.5294 + 1.0121i	0.7600 + 0.2850i	0.3841 + 0.8207i
w48	1.6859 + 0.1665i	1.6489 + 0.1630i	1.6180 + 0.1602i	1.5809 + 0.1471i	0.0595 + 0.0707i	0.0576 + 0.0745i
w49	1.6211 + 0.4919i	1.5848 + 0.4983i	1.5540 + 0.4734i	1.5253 + 0.4385i	0.1722 + 0.0706i	0.0581 + 0.2241i
w50	1.3498 + 0.1360i	1.3437 + 0.1389i	1.3411 + 0.1336i	1.3380 + 0.1363i	0.0599 + 0.2119i	0.1720 + 0.0742i
w51	1.2989 + 0.3914i	1.2850 + 0.4025i	1.2883 + 0.3955i	1.2837 + 0.4026i	0.1748 + 0.2114i	0.1753 + 0.2222i
w52	1.3096 + 1.0746i	1.2728 + 1.0661i	1.2561 + 1.0337i	1.2476 + 0.9785i	0.4134 + 0.0701i	0.0652 + 0.5269i
w53	1.4940 + 0.7987i	1.4509 + 0.7925i	1.4311 + 0.7676i	1.4137 + 0.7196i	0.2935 + 0.0705i	0.0611 + 0.3767i
w54	1.0504 + 0.8585i	1.0249 + 0.8794i	1.0362 + 0.8626i	1.0246 + 0.8681i	0.4231 + 0.2066i	0.1972 + 0.5178i
w55	1.1951 + 0.6419i	1.1758 + 0.6545i	1.1845 + 0.6419i	1.1771 + 0.6494i	0.2979 + 0.2100i	0.1836 + 0.3695i
w56	0.9483 + 0.1334i	0.9629 + 0.1113i	0.9546 + 0.0957i	0.9782 + 0.0985i	0.0638 + 0.5002i	0.4145 + 0.0709i
w57	0.9271 + 0.2402i	0.9226 + 0.2849i	0.9163 + 0.2834i	0.9383 + 0.2922i	0.1905 + 0.4966i	0.4266 + 0.2100i
w58	1.0786 + 0.1323i	1.1062 + 0.1118i	1.1282 + 0.1128i	1.1455 + 0.1158i	0.0612 + 0.3552i	0.2912 + 0.0730i
w59	1.0470 + 0.2910i	1.0674 + 0.3393i	1.0838 + 0.3340i	1.0972 + 0.3418i	0.1810 + 0.3533i	0.2982 + 0.2177i
w60	0.7648 + 0.5764i	0.7234 + 0.6223i	0.7329 + 0.6204i	0.7446 + 0.6273i	0.4630 + 0.4764i	0.4766 + 0.4821i
w61	0.8252 + 0.4860i	0.8211 + 0.4860i	0.8428 + 0.4615i	0.8573 + 0.4721i	0.3231 + 0.4895i	0.4497 + 0.3448i
w62	0.8561 + 0.6693i	0.8457 + 0.7260i	0.8680 + 0.7295i	0.8767 + 0.7377i	0.4416 + 0.3397i	0.3334 + 0.5025i
w63	0.9459 + 0.5348i	0.9640 + 0.5518i	0.9959 + 0.5426i	1.0059 + 0.5518i	0.3083 + 0.3490i	0.3125 + 0.3601i

표 C-8 부호율 2/15~7/15 에 대한 1024QAM 정의

u/ CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
u0	0.3317	0.2382	0.1924	0.1313	0.1275	0.0951
u1	0.3321	0.2556	0.1940	0.1311	0.1276	0.0949
u2	0.3322	0.2749	0.2070	0.1269	0.1294	0.1319
u3	0.3321	0.2558	0.2050	0.1271	0.1295	0.1322
u4	0.3327	0.2748	0.3056	0.3516	0.3424	0.3170
u5	0.3328	0.2949	0.3096	0.3504	0.3431	0.3174
u6	0.3322	0.2749	0.2890	0.3569	0.3675	0.3936
u7	0.3322	0.2558	0.2854	0.3581	0.3666	0.3921
u8	0.9369	0.9486	0.7167	0.6295	0.6097	0.5786
u9	0.9418	0.8348	0.7362	0.6301	0.6072	0.5789
u10	0.9514	0.7810	0.7500	0.6953	0.7113	0.7205
u11	0.9471	0.8348	0.7326	0.6903	0.7196	0.7456
u12	0.9448	0.9463	0.9667	0.9753	0.9418	0.9299
u13	0.9492	0.8336	0.9665	1.0185	1.0048	1.0084
u14	0.9394	0.9459	1.1332	1.2021	1.2286	1.2349
u15	0.9349	1.4299	1.4761	1.4981	1.5031	1.5118

표 C-9 부호율 8/15~13/15 에 대한 1024QAM 정의

u/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
u0	0.0773	0.0638	0.0592	0.0502	0.0354	0.0325
u1	0.0773	0.0638	0.0594	0.0637	0.0921	0.0967
u2	0.1614	0.1757	0.1780	0.1615	0.1602	0.1623
u3	0.1614	0.1756	0.1790	0.1842	0.2185	0.2280
u4	0.3086	0.3069	0.2996	0.2760	0.2910	0.2957
u5	0.3085	0.3067	0.3041	0.3178	0.3530	0.3645
u6	0.4159	0.4333	0.4241	0.4040	0.4264	0.4361
u7	0.4163	0.4343	0.4404	0.4686	0.4947	0.5100
u8	0.5810	0.5765	0.5561	0.5535	0.5763	0.5878
u9	0.5872	0.5862	0.6008	0.6362	0.6531	0.6696
u10	0.7213	0.7282	0.7141	0.7293	0.7417	0.7566
u11	0.7604	0.7705	0.8043	0.8302	0.8324	0.8497
u12	0.9212	0.9218	0.9261	0.9432	0.9386	0.9498
u13	1.0349	1.0364	1.0639	1.0704	1.0529	1.0588
u14	1.2281	1.2234	1.2285	1.2158	1.1917	1.1795
u15	1.4800	1.4646	1.4309	1.3884	1.3675	1.3184

표 C-10 부호율 2/15~7/15 에 대한 4096QAM 정의

u/CR	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15
u0	0.2826	0.2038	0.1508	0.1257	0.1041	0.0810
u1	0.2885	0.2038	0.1468	0.1257	0.1041	0.0808
u2	0.2944	0.2155	0.1456	0.1257	0.1087	0.0807
u3	0.2885	0.2155	0.1479	0.1257	0.1089	0.0810
u4	0.2944	0.2155	0.1491	0.1257	0.1094	0.1456
u5	0.3003	0.2155	0.1444	0.1257	0.1094	0.1457
u6	0.2944	0.2097	0.1491	0.1257	0.1094	0.1456
u7	0.2885	0.2038	0.1508	0.1257	0.1109	0.1456
u8	0.2944	0.2796	0.3368	0.3599	0.3319	0.3059
u9	0.3003	0.2912	0.3368	0.3599	0.3319	0.3060
u10	0.3003	0.3029	0.3334	0.3484	0.3348	0.3056
u11	0.3003	0.2970	0.3363	0.3484	0.3348	0.3056
u12	0.2944	0.2970	0.3386	0.3484	0.3657	0.4043
u13	0.3003	0.3029	0.3357	0.3484	0.3657	0.4042
u14	0.2944	0.2796	0.3340	0.3599	0.3657	0.4036
u15	0.2885	0.2796	0.3374	0.3599	0.3657	0.4036
u16	0.9714	0.7222	0.6448	0.6112	0.5875	0.5684
u17	0.8596	0.7397	0.6569	0.6112	0.5876	0.5682
u18	0.7889	0.7455	0.7101	0.6969	0.5876	0.5700
u19	0.8478	0.7339	0.6979	0.7026	0.5877	0.5704
u20	0.8242	0.7397	0.6974	0.6969	0.6648	0.7155
u21	0.7771	0.7513	0.7124	0.6969	0.6651	0.7186
u22	0.8360	0.7455	0.6575	0.6112	0.6968	0.7425
u23	0.9184	0.7339	0.6465	0.6112	0.7018	0.7385
u24	1.1657	1.3046	1.3549	1.4052	0.9102	0.9163
u25	0.9479	1.0833	1.1931	1.2281	0.9102	0.9089
u26	0.8419	0.9785	1.0117	1.0054	0.9780	0.9771
u27	0.9302	1.0134	0.9857	0.9482	0.9842	1.0012
u28	0.9950	0.9901	0.9689	0.9425	1.1892	1.1766
u29	0.8713	0.9610	0.9967	0.9939	1.2411	1.2355
u30	1.0185	1.0658	1.1683	1.1882	1.4707	1.4381
u31	1.4660	1.6424	1.6391	1.6566	1.7274	1.6851

표 C-11 부호율 8/15~13/15 에 대한 4096QAM 정의

u/CR	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
u0	0.0501	0.0415	0.0397	0.0253	0.0262	0.0176
u1	0.0553	0.0478	0.0397	0.0285	0.0262	0.0487
u2	0.0562	0.0592	0.0659	0.0844	0.0828	0.0781
u3	0.0562	0.0592	0.0659	0.0848	0.0842	0.1080
u4	0.1677	0.1656	0.1443	0.1460	0.1337	0.1399
u5	0.1687	0.1663	0.1453	0.1460	0.1389	0.1713
u6	0.1687	0.1663	0.1819	0.2078	0.1887	0.2053
u7	0.1718	0.1663	0.1826	0.2078	0.2018	0.2378
u8	0.2963	0.2861	0.2591	0.2708	0.2466	0.2720
u9	0.2963	0.2863	0.2591	0.2708	0.2675	0.3076

u10	0.2963	0.2877	0.3128	0.3360	0.3096	0.3412
u11	0.2968	0.2877	0.3128	0.3360	0.3393	0.3754
u12	0.4234	0.4144	0.3872	0.4051	0.3796	0.4156
u13	0.4240	0.4178	0.3872	0.4052	0.4118	0.4522
u14	0.4248	0.4204	0.4549	0.4742	0.4506	0.4893
u15	0.4248	0.4204	0.4549	0.4742	0.4897	0.5260
u16	0.5584	0.5352	0.5290	0.5417	0.5296	0.5643
u17	0.5590	0.5370	0.5302	0.5446	0.5712	0.6051
u18	0.5679	0.5673	0.6069	0.6118	0.6136	0.6469
u19	0.5729	0.5683	0.6081	0.6209	0.6586	0.6885
u20	0.7078	0.6848	0.6911	0.6857	0.7060	0.7336
u21	0.7090	0.6848	0.6969	0.7107	0.7544	0.7790
u22	0.7610	0.7694	0.7787	0.7734	0.8043	0.8255
u23	0.7640	0.7838	0.8012	0.8174	0.8624	0.8776
u24	0.8966	0.8808	0.8802	0.8791	0.9152	0.9254
u25	0.8979	0.9039	0.9248	0.9425	0.9718	0.9749
u26	1.0135	1.0050	1.0037	1.0131	1.0325	1.0276
u27	1.0393	1.0619	1.0861	1.0904	1.1017	1.0870
u28	1.1817	1.1797	1.1870	1.1787	1.1756	1.1474
u29	1.2459	1.2898	1.2894	1.2766	1.2541	1.2121
u30	1.4232	1.4381	1.4122	1.3852	1.3405	1.2835
u31	1.6336	1.6223	1.5629	1.5162	1.4431	1.3644

C.2. 성상도 그림

적용된 성상도의 그림을 보여준다.

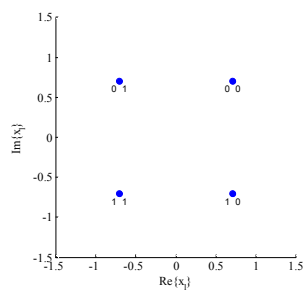


그림 C-1 QPSK 성상

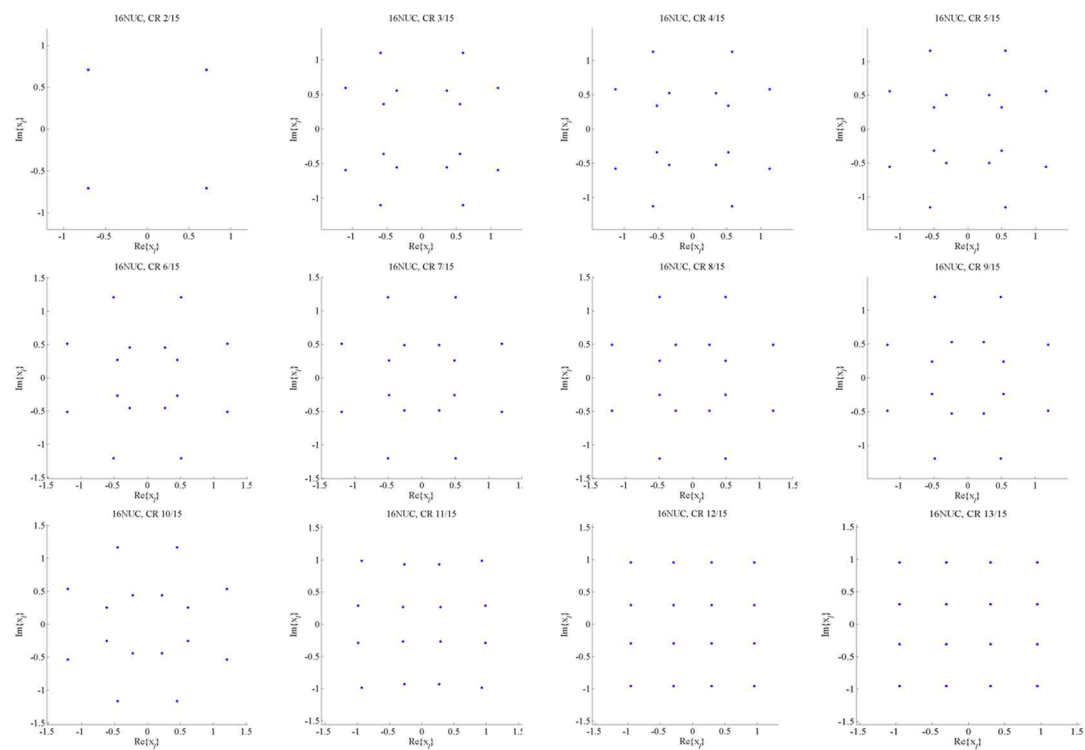


그림 C-2 16QAM 성상

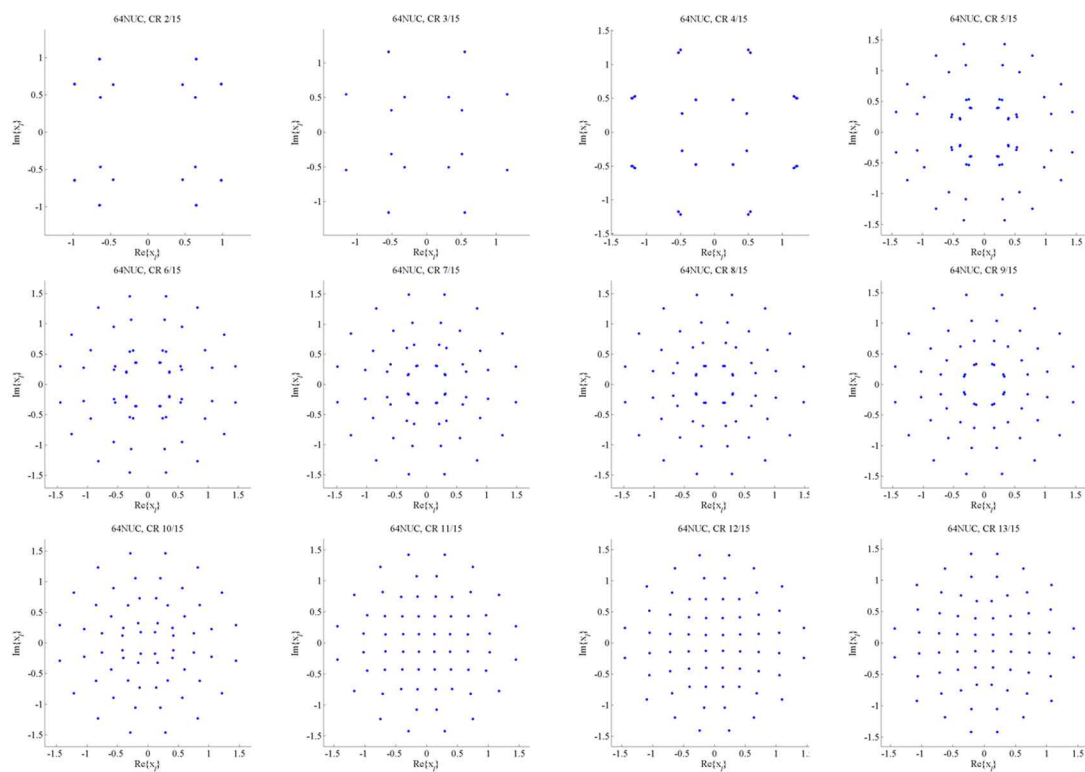


그림 C-3 64QAM 성상

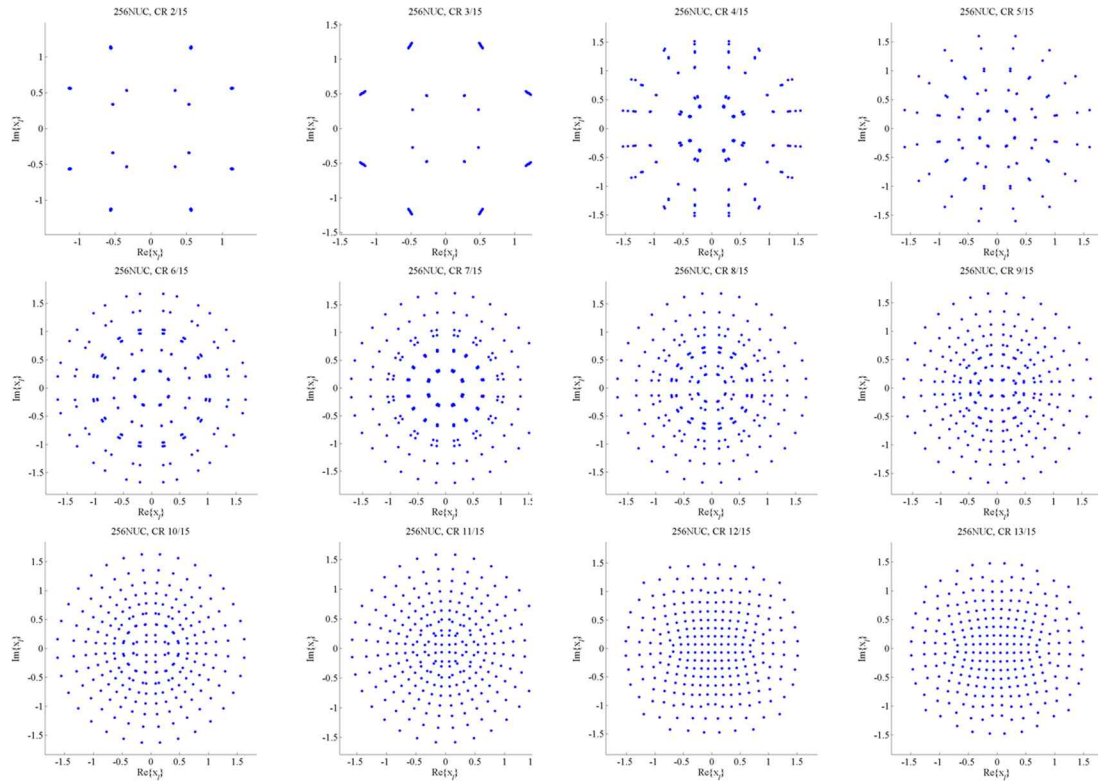


그림 C-4 256QAM 성상

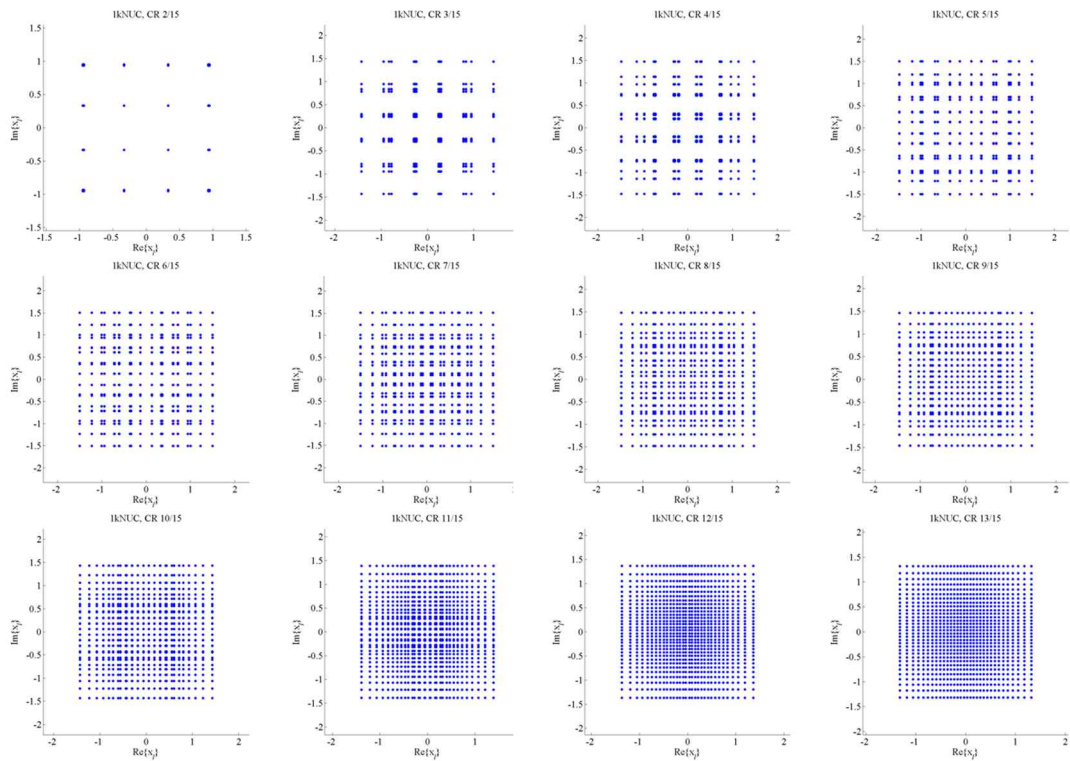


그림 C-5 1024QAM 성상

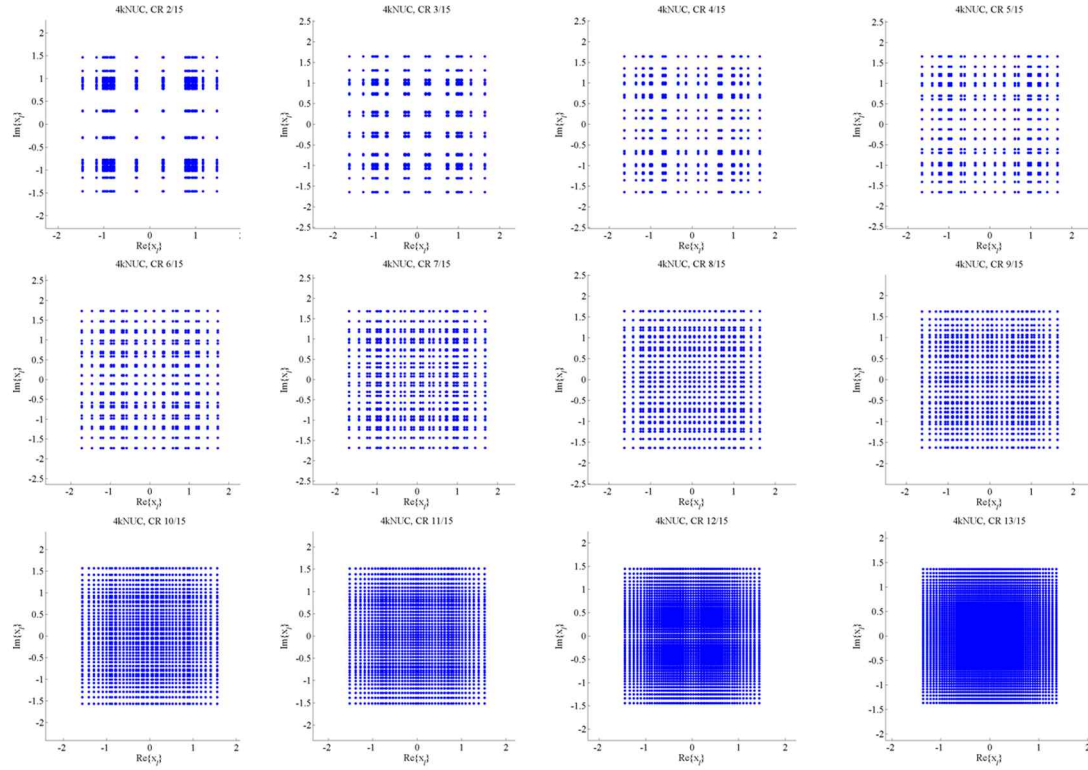


그림 C-6 4096QAM 성상

C.3. 성상도 라벨링

아래 4개의 표는 NUC의 비트 라벨링을 정의한다. 실수부와 허수부는 동일한 비트 라벨링이 적용되어야 한다.

표 C-12 1024QAM의 실수부를 위한 성상 매핑

$y_{1,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{7,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{9,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	-U15	-U14	-U13	-U12	-U11	-U10	-U9	-U8	-U7	-U6	-U5	-U4	-U3	-U2	-U1	-U0
$y_{1,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{7,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{9,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	u0	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10	u11	u12	u13	u14	u15

표 C-13 1024QAM 의 허수부를 위한 성상 매핑

$y_{0,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{6,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{8,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Im}(z_s)$	$-u_{15}$	$-u_{14}$	$-u_{13}$	$-u_{12}$	$-u_{11}$	$-u_{10}$	$-u_9$	$-u_8$	$-u_7$	$-u_6$	$-u_5$	$-u_4$	$-u_3$	$-u_2$	$-u_1$	$-u_0$
$y_{0,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{6,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{8,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Im}(z_s)$	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}

표 C-14 4096QAM 의 실수부를 위한 성상 매핑

$y_{1,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{7,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	$-u_{31}$	$-u_{30}$	$-u_{29}$	$-u_{28}$	$-u_{27}$	$-u_{26}$	$-u_{25}$	$-u_{24}$	$-u_{23}$	$-u_{22}$	$-u_{21}$	$-u_{20}$	$-u_{19}$	$-u_{18}$	$-u_{17}$	$-u_{16}$
$y_{1,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{3,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{7,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	$-u_{15}$	$-u_{14}$	$-u_{13}$	$-u_{12}$	$-u_{11}$	$-u_{10}$	$-u_9$	$-u_8$	$-u_7$	$-u_6$	$-u_5$	$-u_4$	$-u_3$	$-u_2$	$-u_1$	$-u_0$
$y_{1,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{5,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{7,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}
$y_{1,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{3,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{5,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{7,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{9,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{11,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$\text{Re}(z_s)$	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}

표 C-15 4096QAM 의 허수부를 위한 성상 매핑

$y_{0,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{6,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
$y_{10,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$Im(z_s)$	$-u_{31}$	$-u_{30}$	$-u_{29}$	$-u_{28}$	$-u_{27}$	$-u_{26}$	$-u_{25}$	$-u_{24}$	$-u_{23}$	$-u_{22}$	$-u_{21}$	$-u_{20}$	$-u_{19}$	$-u_{18}$	$-u_{17}$	$-u_{16}$
$y_{0,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{2,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{6,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$Im(z_s)$	$-u_{15}$	$-u_{14}$	$-u_{13}$	$-u_{12}$	$-u_{11}$	$-u_{10}$	$-u_9$	$-u_8$	$-u_7$	$-u_6$	$-u_5$	$-u_4$	$-u_3$	$-u_2$	$-u_1$	$-u_0$
$y_{0,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{4,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$y_{6,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$Im(z_s)$	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{14}	u_{15}
$y_{0,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{2,s}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{4,s}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$y_{6,s}$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$y_{8,s}$	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
$y_{10,s}$	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
$Im(z_s)$	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{27}	u_{28}	u_{29}	u_{30}	u_{31}

D. 연속 파일럿 패턴

D.1. 레퍼런스와 추가 CP 인덱스

표 D-1, 표 D-2와 표 D-3은 각각 공통 CP 셋 CP_{32} , CP_{16} 와 CP_8 의 절대 부반송파 인덱스를 정의한다. 표 D-4는 FFT 모드와 분산 파일럿 패턴에 따른 추가 CP 셋의 절대 부반송파 인덱스를 정의한다.

이 부록에 규정된 부반송파의 인덱스는 절대 부반송파 인덱스 또는 상대 부반송파 인덱스를 사용한다. 절대 부반송파 인덱스는 모든 C_{red_coeff} 값에 대하여 최대 전송 부반송파 개수에 맞추어 인덱스를 적용한다. 이때, 범위는 0 부터 $NoC_{max} - 1$ 을 갖는다. 상대 부반송파 인덱스는 C_{red_coeff} 값에 따라 결정되는 부반송파 개수에 맞추어 인덱스를 적용한다. 즉, 범위는 0 부터 $NoC - 1$ 을 갖는다. 실제 전송되는 부반송파의 범위를 벗어나는 절대 부반송파 인덱스에 해당하는 연속 파일럿은 전송되지 않는다.

표 D-1 공통 CP 셋 절대 부반송파 인덱스 (CP_{32})

236	316	356	412	668	716	868	1100	1228	1268	1340	1396	1876	1916	2140	2236	2548	2644	2716	2860
3004	3164	3236	3436	3460	3700	3836	4028	4124	4132	4156	4316	4636	5012	5132	5140	5332	5372		
5500	5524	5788	6004	6020	6092	6428	6452	6500	6740	7244	7316	7372	7444	7772	7844	7924	8020		
8164	8308	8332	8348	8788	8804	9116	9140	9292	9412	9436	9604	10076	10204	10340	10348	10420			
10660	10684	10708	11068	11132	11228	11356	11852	11860	11884	12044	12116	12164	12268	12316					
12700	12772	12820	12988	13300	13340	13564	13780	13868	14084	14308	14348	14660	14828	14876					
14948	15332	15380	15484	15532	15604	15764	15788	15796	16292	16420	16516	16580	16940	16964					
16988	17228	17300	17308	17444	17572	18044	18212	18236	18356	18508	18532	18844	18860	19300					
19316	19340	19484	19628	19724	19804	19876	20204	20276	20332	20404	20908	21148	21196	21220					
21556	21628	21644	21860	22124	22148	22276	22316	22508	22516	22636	23012	23332	23492	23516					
23524	23620	23812	23948	24188	24212	24412	24484	24644	24788	24932	25004	25100	25412	25508					
25732	25772	26252	26308	26380	26420	26548	26780	26932	26980	27236	27292	27332	27412						

절대 부반송파 인덱스 CP_{32} 의 공통 CP 셋은 절대 부반송파 수의 절반으로부터 계산된다. (즉, 절대 부반송파 인덱스 236부터 13780은 CP_{32L} 으로 나타낸다.) 남은 CP_{32} 의 공통 CP 셋은 CP_{32R} 으로 나타내며, 다음과 같은 수식에 의하여 나타낼 수 있다.

$$CP_{32,R}(k) = 27648 - CP_{32,L}(95 - k)$$

$$CP_{32} = [CP_{32,L}, CP_{32,R}]$$

여기서 $k = 0, 1, \dots, 95$ 이다.

표 D-2 공통 CP 셋 절대 부반송파 인덱스 (CP_{16})

118	178	334	434	614	670	938	1070	1274	1358	1502	1618	1730	1918	2062	2078
2318	2566	2666	2750	2894	3010	3214	3250	3622	3686	3886	3962	4082	4166	4394	4558
4646	4718	5038	5170	5210	5342	5534	5614	5926	5942	6058	6134	6350	6410	6650	6782
6934	7154	7330	7438	7666	7742	7802	7894	8146	8258	8470	8494	8650	8722	9022	9118
9254	9422	9650	9670	9814	9902	10102	10166	10454	10598	10778	10822	11062	11138	11254	11318
11666	11758	11810	11974	12106	12242	12394	12502	12706	12866	13126	13190	13274	13466	13618	13666

절대 부반송파 인덱스 CP_{16} 의 공통 CP 셋은 8.1.4.1절에서 설명된 방식으로 계산한다.

표 D-3 공통 CP 셋 절대 부반송파 인덱스 (CP_8)

59	167	307	469	637	751	865	1031	1159	1333	1447	1607	1811	1943	2041	2197	2323	2519	2605	2767	2963	30
29	3175	3325	3467	3665	3833	3901	4073	4235	4325	4511	4627	4825	4907	5051	5227	5389	5531	5627			
5833	5905	6053	6197	6353	6563	6637	6809														

절대 부반송파 인덱스 CP_8 의 공통 CP 셋은 8.1.4.1절에서 설명된 방식으로 계산한다.

표 D-4 FFT 모드와 분산 파일럿 패턴 조합에 의한 분산 파일럿과 겹쳐지는
추가 CP 셋

Pilot Pattern	FFT mode		
	32K	16K	8K
SP3_2	6939	3471	1731
SP3_4	6939	3471	1731
	11562	5778	2886
	22929	11469	5733
SP4_2	6932	3460	1732
SP4_4	6932	3460	1732
	11560	5768	2888
	22924	11452	5724
SP6_2	6942	3462	1734
SP6_4	6942	3462	1734
	11556	5772	2892
	22938	11466	5730
SP8_2	6920	3464	1736
SP8_4	6920	3464	1736
	11536	5776	2896
	22904	11448	5720
SP12_2	6924	3468	1740
SP12_4	6924	3468	1740
	11544	5784	2904
	22932	11460	5748
SP16_2	6928	3472	1744
SP16_4	6928	3472	1744
	11552	5792	(2912)
	22896	11440	(5744)
SP24_2	6936	3480	1752
SP24_4	6936	3480	1752
	11568	5808	2832
	22920	11496	5736
SP32_2	6944	3488	(1696)
SP32_4	6944	3488	See Table D-5
	11584	(5824)	
	22880	(11488)	

C_{red_coeff} 가 홀수인 경우에는 표 D-4의 괄호에 해당하는 상대 부반송파 인덱스는 사용되지 않는다.

SP32_4의 분산 파일럿 패턴을 가지는 8K FFT 모드의 경우, C_{red_coeff} 에 따른 추가 CP 셋은 표 D-5와 같이 정의된다.

표 D-5 8K FFT 모드에서 SP32_4 를 위한 부가 분산 파일럿과 겹쳐지는 CP
상대 부반송파 인덱스

C_{red_coeff}				
0	1	2	3	4
1696 2880 5728	none	1696	1696 2880	1696 2880 5728

E. 분산 파일럿 패턴

E.1. SISO 분산 파일럿 패턴

분산 파일럿 패턴은 다음 그림과 같다.

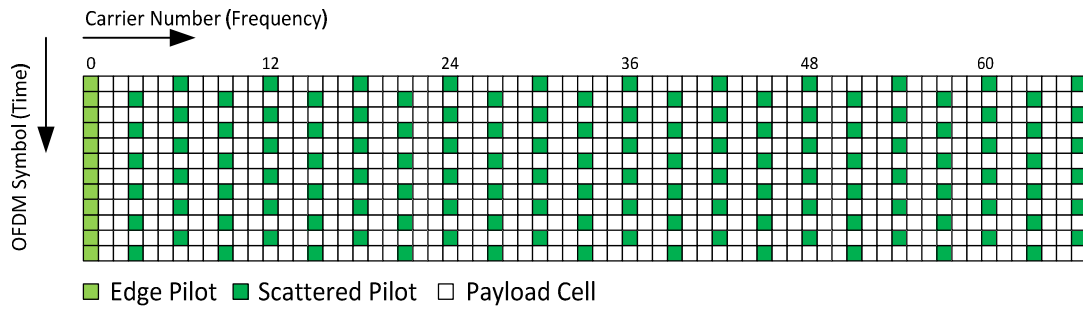


그림 E-1 분산 파일럿 패턴 SP3_2 (SISO, $D_x = 3$, $D_y = 2$)

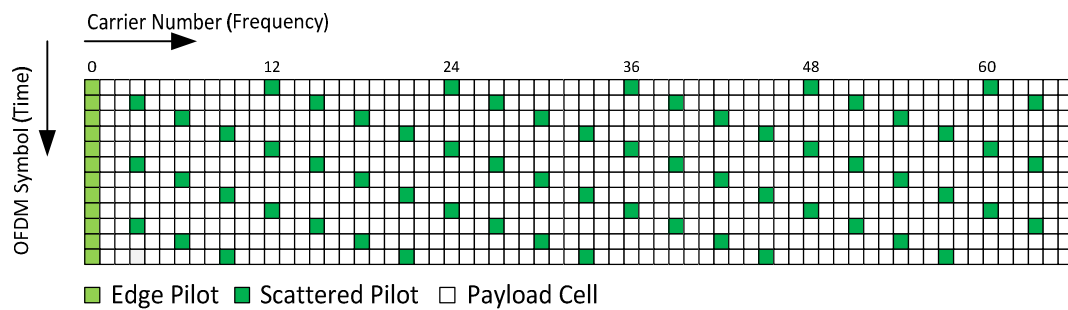


그림 E-2 분산 파일럿 패턴 SP3_4 (SISO, $D_x = 3$, $D_y = 4$)

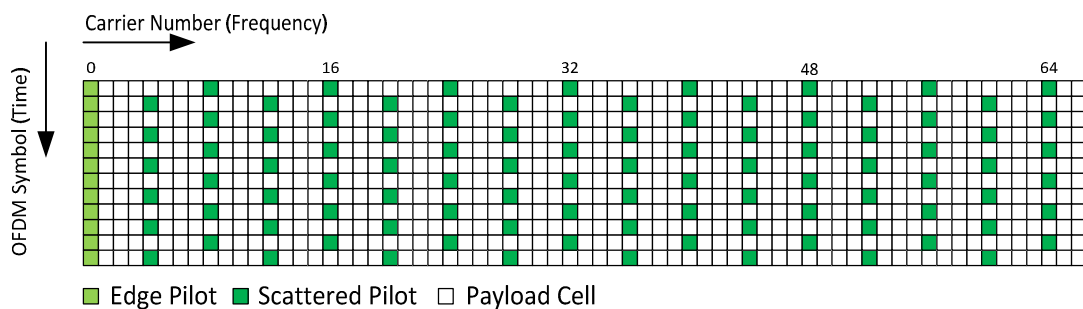
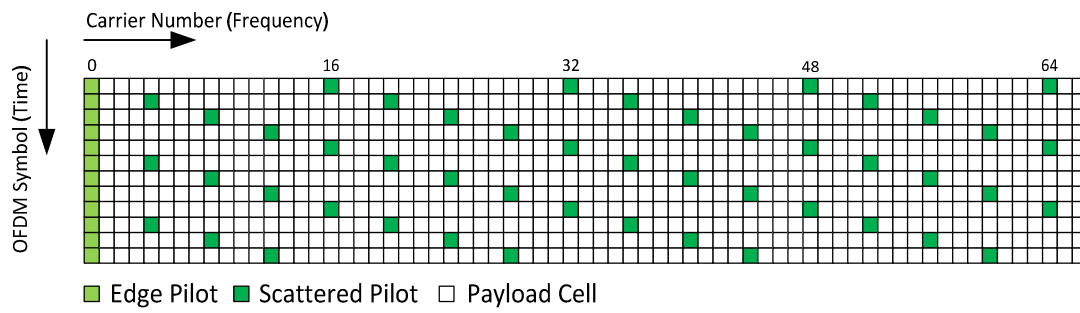
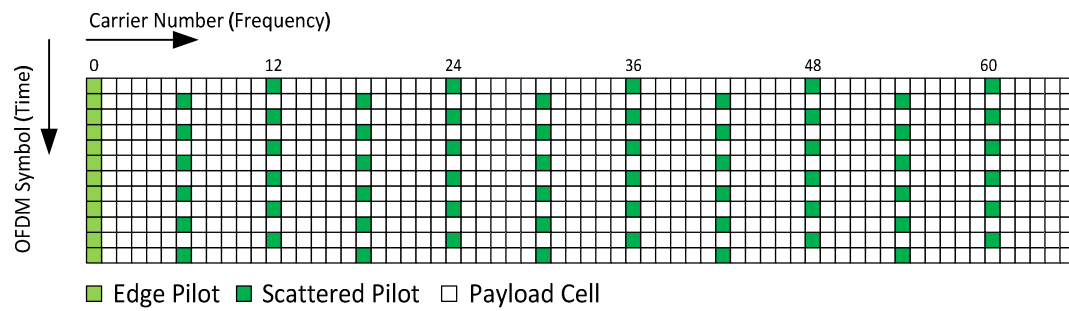
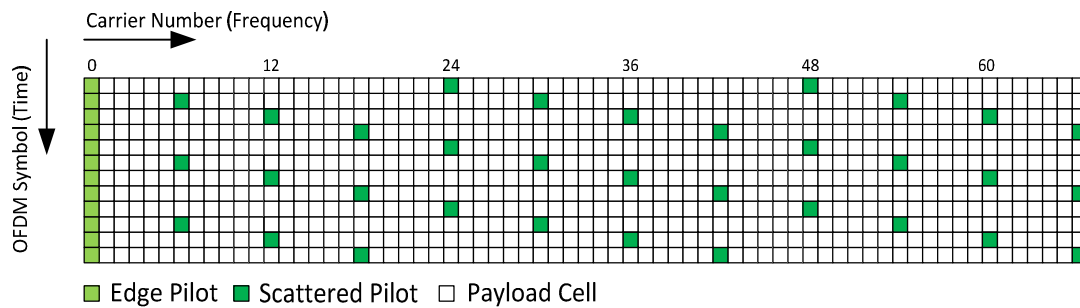
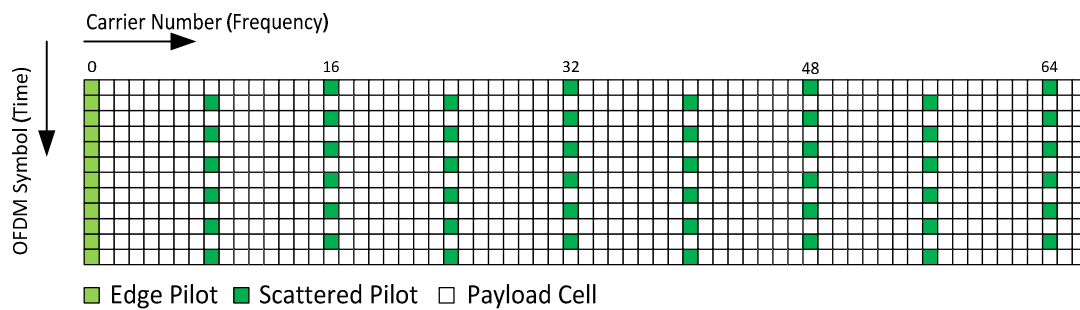
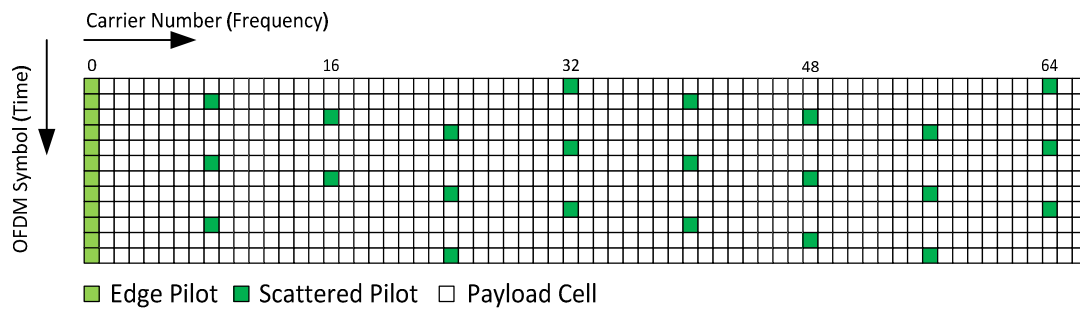
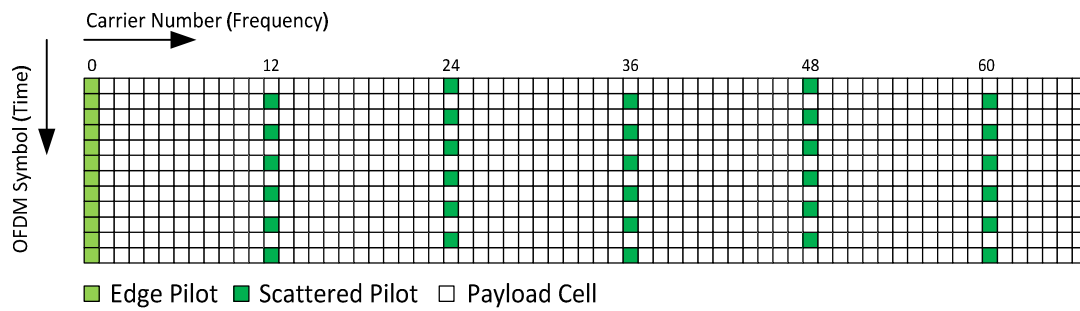
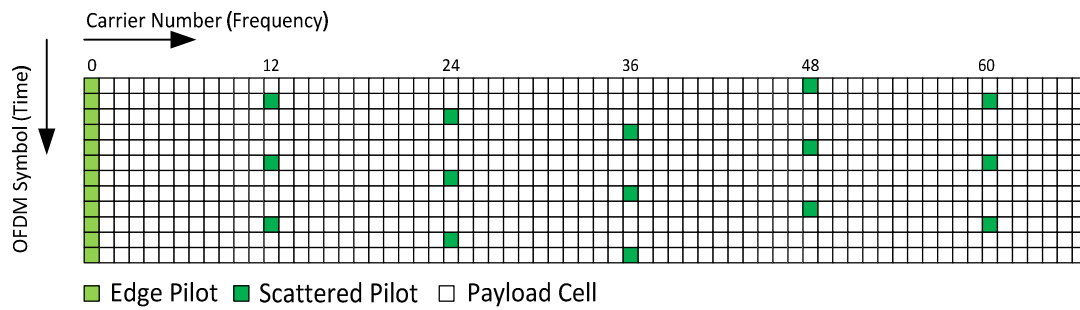
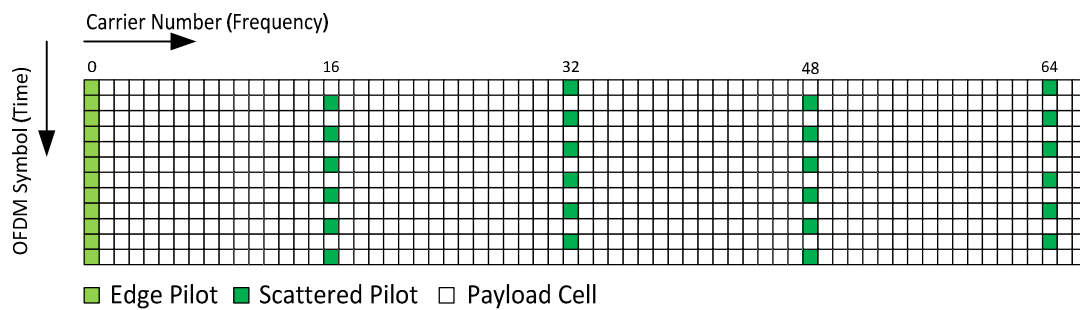
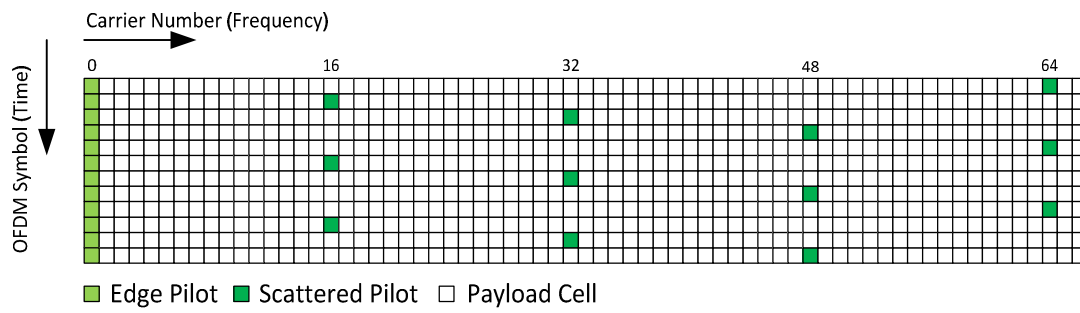
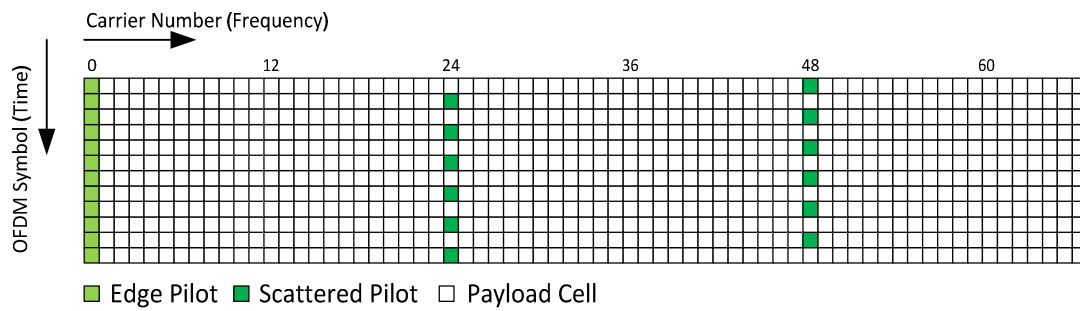
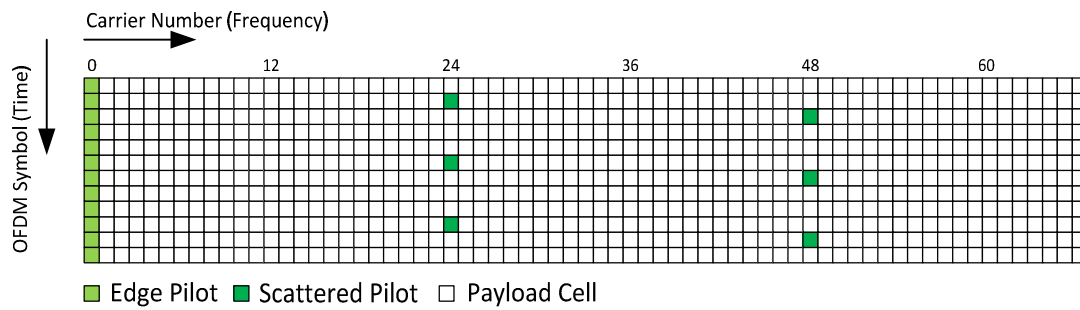
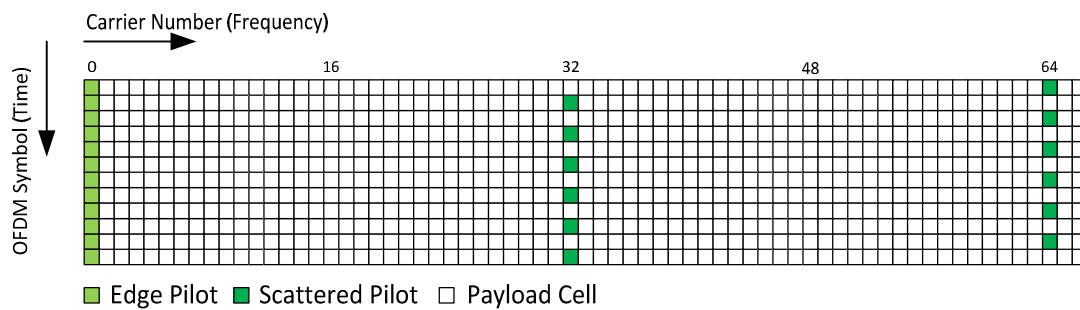


그림 E-3 분산 파일럿 패턴 SP4_2 (SISO, $D_x = 4$, $D_y = 2$)

그림 E-4 분산 파일럿 패턴 SP4_4 (SISO, $D_x = 4$, $D_y = 4$)그림 E-5 분산 파일럿 패턴 SP6_2 (SISO, $D_x = 6$, $D_y = 2$)그림 E-6 분산 파일럿 패턴 SP6_4 (SISO, $D_x = 6$, $D_y = 4$)그림 E-7 분산 파일럿 패턴 SP8_2 (SISO, $D_x = 8$, $D_y = 2$)

그림 E-8 분산 파일럿 패턴 SP8_4 (SISO, $D_x = 8$, $D_y = 4$)그림 E-9 분산 파일럿 패턴 SP12_2 (SISO, $D_x = 12$, $D_y = 2$)그림 E-10 분산 파일럿 패턴 SP12_4 (SISO, $D_x = 12$, $D_y = 4$)그림 E-11 분산 파일럿 패턴 SP16_2 (SISO, $D_x = 16$, $D_y = 2$)

그림 E-12 분산 파일럿 패턴 SP16_4 (SISO, $D_x = 16$, $D_y = 4$)그림 E-13 분산 파일럿 패턴 SP24_2 (SISO, $D_x = 24$, $D_y = 2$)그림 E-14 분산 파일럿 패턴 SP24_4 (SISO, $D_x = 24$, $D_y = 4$)그림 E-15 분산 파일럿 패턴 SP32_2 (SISO, $D_x = 32$, $D_y = 2$)

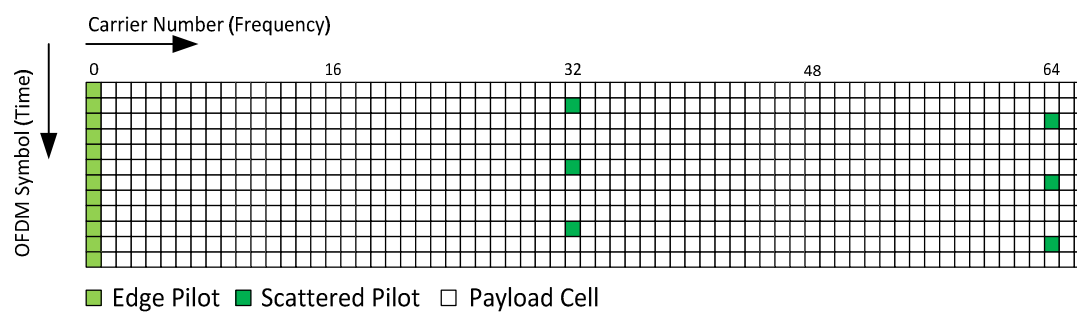


그림 E-16 분산 파일럿 패턴 SP32_4 (SISO, $D_x = 32$, $D_y = 4$)

F. 톤 예약 부반송파 색인

F.1. 톤 예약 색인

톤 예약은 첫번째 프리앰블 심볼에는 사용하지 않는다. 톤 예약을 사용하는 경우에 심볼 타입과 D_x 에 따라서 톤 예약의 색인을 선택한다. 표 F-1은 심볼 타입과 D_x 에 따라 정해지는 톤 예약의 색인 테이블을 나타낸다.

표 F-1 심볼 타입과 D_x 에 따른 톤 예약의 색인 테이블

	Preamble symbol			Subframe boundary symbol		Data symbol
Symbol index	$l = 0$	$0 < l < N_P$				
D_x	All	3, 4	6, 8, 12, 16, 24, 32	3, 4	6, 8, 12, 16, 24, 32	
Set of carriers reserved for PAPR	N/A	⌘ F-3	⌘ F-2	⌘ F-3	⌘ F-2	⌘ F-2

이 부록에 규정된 부반송파의 색인은 절대 부반송파 색인을 사용합니다. 절대 부반송파 색인은 모든 C_{red_coeff} 값에 대하여 가능한 최대 전송 부반송파 개수에 맞추어 색인을 적용한다. 따라서 범위는 0 부터 $NoC_{max} - 1$ 를 갖는다.

표 F-2 $D_x=3$ 또는 $D_x=4$ 를 갖는 부프레임 경계 심볼과 프리앰블 심볼을 제외한 모든 심볼(첫번째 프리앰블 심볼 제외)에서 PAPR 을 위한 톤 예약의 색인

FFT (# of Reserved tones)	TR Carrier Indices
8k (72)	250, 386, 407, 550, 591, 717, 763, 787, 797, 839, 950, 1090, 1105, 1199, 1738, 1867, 1903, 1997, 2114, 2260, 2356, 2427, 2428, 2444, 2452, 2475, 2564, 2649, 2663, 2678, 2740, 2777, 2819, 2986, 3097, 3134, 3253, 3284, 3323, 3442, 3596, 3694, 3719, 3751, 3763, 3836, 4154, 4257, 4355, 4580, 4587, 4678, 4805, 5084, 5126, 5161, 5229, 5321, 5445, 5649, 5741, 5746, 5885, 5918, 6075, 6093, 6319, 6421, 6463, 6511, 6517, 6577
16k (144)	421, 548, 589, 621, 644, 727, 770, 813, 857, 862, 1113, 1187, 1201, 1220, 1393, 1517, 1821, 1899, 1924, 2003, 2023, 2143, 2146, 2290, 2474, 2482, 2597, 2644, 2749, 2818, 2951, 3014, 3212, 3237, 3363, 3430, 3515, 3517, 3745, 3758, 4049, 4165, 4354, 4399, 4575, 4763, 4789, 4802, 4834, 4970, 5260, 5386, 5395, 5402, 5579, 5716, 5734, 5884, 5895, 6073, 6123, 6158, 6212, 6243, 6521, 6593, 6604, 6607, 6772, 6842, 6908, 6986, 7220, 7331, 7396, 7407, 7588, 7635, 7665, 7893, 7925, 7949, 8019, 8038, 8167, 8289, 8295, 8338, 8549, 8555, 8660, 8857, 8925, 9007, 9057, 9121, 9364, 9375, 9423, 9446, 9479, 9502, 9527, 9860, 9919, 9938, 10138, 10189, 10191, 10275, 10333, 10377, 10988, 11109, 11261, 11266, 11362, 11390, 11534, 11623, 11893, 11989, 12037, 12101, 12119, 12185, 12254, 12369, 12371, 12380, 12401, 12586, 12597, 12638, 12913, 12974, 13001, 13045, 13052, 13111, 13143, 13150, 13151, 13300
32K (288)	803, 805, 811, 901, 1001, 1027, 1245, 1258, 1318, 1478, 1507, 1509, 1556, 1577, 1655, 1742, 1978, 2001, 2056, 2110, 2164, 2227, 2305, 2356, 2408, 2522, 2563, 2780, 2805, 2879, 3010, 3019, 3128, 3389, 3649, 3730, 3873, 4027, 4066, 4087, 4181, 4246, 4259, 4364, 4406, 4515, 4690, 4773, 4893, 4916, 4941, 4951, 4965, 5165, 5222, 5416, 5638, 5687, 5729, 5930, 5997, 6005, 6161, 6218, 6292, 6344, 6370, 6386, 6505, 6974, 7079, 7114, 7275, 7334, 7665, 7765, 7868, 7917, 7966, 8023, 8055, 8089, 8091, 8191, 8374, 8495, 8651, 8690,

	8755, 8821, 9139, 9189, 9274, 9561, 9611, 9692, 9711, 9782, 9873, 9964, 10011, 10209, 10575, 10601, 10623, 10690, 10967, 11045, 11083, 11084, 11090, 11128, 11153, 11530, 11737, 11829, 11903, 11907, 11930, 11942, 12356, 12429, 12484, 12547, 12562, 12605, 12767, 12863, 13019, 13052, 13053, 13167, 13210, 13244, 13259, 13342, 13370, 13384, 13447, 13694, 13918, 14002, 14077, 14111, 14216, 14243, 14270, 14450, 14451, 14456, 14479, 14653, 14692, 14827, 14865, 14871, 14908, 15215, 15227, 15284, 15313, 15333, 15537, 15643, 15754, 15789, 16065, 16209, 16213, 16217, 16259, 16367, 16369, 16646, 16780, 16906, 16946, 17012, 17167, 17192, 17325, 17414, 17629, 17687, 17746, 17788, 17833, 17885, 17913, 18067, 18089, 18316, 18337, 18370, 18376, 18440, 18550, 18680, 18910, 18937, 19047, 19052, 19117, 19383, 19396, 19496, 19601, 19778, 19797, 20038, 20357, 20379, 20455, 20669, 20707, 20708, 20751, 20846, 20853, 20906, 21051, 21079, 21213, 21267, 21308, 21355, 21523, 21574, 21815, 21893, 21973, 22084, 22172, 22271, 22713, 22905, 23039, 23195, 23303, 23635, 23732, 23749, 23799, 23885, 23944, 24149, 24311, 24379, 24471, 24553, 24585, 24611, 24616, 24621, 24761, 24789, 24844, 24847, 24977, 25015, 25160, 25207, 25283, 25351, 25363, 25394, 25540, 25603, 25647, 25747, 25768, 25915, 25928, 26071, 26092, 26139, 26180, 26209, 26270, 26273, 26278, 26326, 26341, 26392, 26559, 26642, 26776, 26842
--	--

표 F-3 Dx=3 또는 Dx=4 를 갖는 부프레임 경계 심볼과 프리앰블 심볼(첫번째 프리앰블 심볼 제외)에서 PAPR 을 위한 톤 예약의 색인

FFT Size	TR Carrier Indices
8k(72)	295, 329, 347, 365, 463, 473, 481, 553, 578, 602, 742, 749, 829, 922, 941, 1115, 1123, 1174, 1363, 1394, 1402, 1615, 1657, 1702, 1898, 1910, 1997, 2399, 2506, 2522, 2687, 2735, 3043, 3295, 3389, 3454, 3557, 3647, 3719, 3793, 3794, 3874, 3898, 3970, 4054, 4450, 4609, 4666, 4829, 4855, 4879, 4961, 4969, 5171, 5182, 5242, 5393, 5545, 5567, 5618, 5630, 5734, 5861, 5897, 5987, 5989, 6002, 6062, 6074, 6205, 6334, 6497
16k (144)	509, 739, 770, 890, 970, 989, 1031, 1033, 1121, 1223, 1231, 1285, 1526, 1559, 1603, 1615, 1690, 1771, 1903, 1910, 1958, 2033, 2146, 2225, 2302, 2306, 2345, 2447, 2477, 2561, 2578, 2597, 2635, 2654, 2687, 2891, 2938, 3029, 3271, 3479, 3667, 3713, 3791, 3977, 4067, 4150, 4217, 4387, 4501, 4541, 4657, 4733, 4742, 4963, 5011, 5149, 5311, 5362, 5491, 5531, 5609, 5722, 5747, 5798, 5842, 5881, 5959, 5983, 6059, 6166, 6178, 6214, 6230, 6382, 6557, 6625, 6811, 6881, 6994, 7261, 7535, 7546, 7711, 7897, 7898, 7918, 7997, 8125, 8398, 8483, 8530, 8686, 8731, 8855, 9001, 9026, 9110, 9206, 9223, 9325, 9466, 9493, 9890, 9893, 10537, 10570, 10691, 10835, 10837, 11098, 11126, 11146, 11198, 11270, 11393, 11629, 11657, 11795, 11867, 11909, 11983, 12046, 12107, 12119, 12353, 12482, 12569, 12575, 12662, 12691, 12739, 12787, 12902, 12917, 12985, 13010, 13022, 13073, 13102, 13141, 13159, 13225, 13255, 13303

32K (288)	793, 884, 899, 914, 1004, 1183, 1198, 1276, 1300, 1339, 1348, 1444, 1487, 149 0, 1766, 1870, 1903, 1909, 1961, 2053, 2092, 2099, 2431, 2572, 2578, 2618, 271 9, 2725, 2746, 2777, 2798, 2891, 2966, 2972, 3023, 3037, 3076, 3257, 3284, 332 6, 3389, 3425, 3454, 3523, 3602, 3826, 3838, 3875, 3955, 4094, 4126, 4261, 434 9, 4357, 4451, 4646, 4655, 4913, 5075, 5083, 5306, 5317, 5587, 5821, 6038, 605 3, 6062, 6137, 6268, 6286, 6490, 6517, 6529, 6554, 6593, 6671, 6751, 6827, 684 5, 7043, 7111, 7147, 7196, 7393, 7451, 7475, 7517, 7750, 7769, 7780, 8023, 808 1, 8263, 8290, 8425, 8492, 8939, 8986, 9113, 9271, 9298, 9343, 9455, 9476, 963 7, 9821, 9829, 9913, 9953, 9988, 10001, 10007, 10018, 10082, 10172, 10421, 10 553, 10582, 10622, 10678, 10843, 10885, 10901, 11404, 11674, 11959, 12007, 1 2199, 12227, 12290, 12301, 12629, 12631, 12658, 12739, 12866, 12977, 13121, 13294, 13843, 13849, 13852, 13933, 14134, 14317, 14335, 14342, 14407, 14651, 14758, 14815, 14833, 14999, 15046, 15097, 15158, 15383, 15503, 15727, 1588 1, 16139, 16238, 16277, 16331, 16444, 16490, 16747, 16870, 16981, 17641, 177 10, 17714, 17845, 18011, 18046, 18086, 18097, 18283, 18334, 18364, 18431, 18 497, 18527, 18604, 18686, 18709, 18731, 18740, 18749, 18772, 18893, 19045, 1 9075, 19087, 19091, 19099, 19127, 19169, 19259, 19427, 19433, 19450, 19517, 19526, 19610, 19807, 19843, 19891, 20062, 20159, 20246, 20420, 20516, 20530, 20686, 20801, 20870, 20974, 21131, 21158, 21565, 21635, 21785, 21820, 2191 4, 21926, 22046, 22375, 22406, 22601, 22679, 22699, 22772, 22819, 22847, 229 00, 22982, 22987, 23063, 23254, 23335, 23357, 23561, 23590, 23711, 23753, 23 902, 24037, 24085, 24101, 24115, 24167, 24182, 24361, 24374, 24421, 24427, 2 4458, 24463, 24706, 24748, 24941, 25079, 25127, 25195, 25285, 25444, 25492, 25505, 25667, 25682, 25729, 25741, 25765, 25973, 26171, 26180, 26227, 26353, 26381, 26542, 26603, 26651, 26671, 26759, 26804, 26807, 26827
------------------	--

G. 부트스트랩을 위한 프리앰블 파라미터

표 G-1 preamble_structure 시그널링의 의미

preamble_structure	FFT Size	GI Length (samples)	Preamble Pilot D_x	L1-Basic FEC Mode
0	8192	192	16	L1-Basic Mode 1
1	8192	192	16	L1-Basic Mode 2
2	8192	192	16	L1-Basic Mode 3
3	8192	192	16	L1-Basic Mode 4
4	8192	192	16	L1-Basic Mode 5
5	8192	384	8	L1-Basic Mode 1
6	8192	384	8	L1-Basic Mode 2
7	8192	384	8	L1-Basic Mode 3
8	8192	384	8	L1-Basic Mode 4
9	8192	384	8	L1-Basic Mode 5
10	8192	512	6	L1-Basic Mode 1
11	8192	512	6	L1-Basic Mode 2
12	8192	512	6	L1-Basic Mode 3
13	8192	512	6	L1-Basic Mode 4
14	8192	512	6	L1-Basic Mode 5
15	8192	768	4	L1-Basic Mode 1
16	8192	768	4	L1-Basic Mode 2
17	8192	768	4	L1-Basic Mode 3
18	8192	768	4	L1-Basic Mode 4
19	8192	768	4	L1-Basic Mode 5
20	8192	1024	3	L1-Basic Mode 1
21	8192	1024	3	L1-Basic Mode 2
22	8192	1024	3	L1-Basic Mode 3
23	8192	1024	3	L1-Basic Mode 4
24	8192	1024	3	L1-Basic Mode 5
25	8192	1536	4	L1-Basic Mode 1
26	8192	1536	4	L1-Basic Mode 2
27	8192	1536	4	L1-Basic Mode 3
28	8192	1536	4	L1-Basic Mode 4
29	8192	1536	4	L1-Basic Mode 5
30	8192	2048	3	L1-Basic Mode 1
31	8192	2048	3	L1-Basic Mode 2
32	8192	2048	3	L1-Basic Mode 3
33	8192	2048	3	L1-Basic Mode 4
34	8192	2048	3	L1-Basic Mode 5
35	16384	192	32	L1-Basic Mode 1
36	16384	192	32	L1-Basic Mode 2
37	16384	192	32	L1-Basic Mode 3
38	16384	192	32	L1-Basic Mode 4
39	16384	192	32	L1-Basic Mode 5
40	16384	384	16	L1-Basic Mode 1

preamble_structure	FFT Size	GI Length (samples)	Preamble Pilot D_x	L1-Basic FEC Mode
41	16384	384	16	L1-Basic Mode 2
42	16384	384	16	L1-Basic Mode 3
43	16384	384	16	L1-Basic Mode 4
44	16384	384	16	L1-Basic Mode 5
45	16384	512	12	L1-Basic Mode 1
46	16384	512	12	L1-Basic Mode 2
47	16384	512	12	L1-Basic Mode 3
48	16384	512	12	L1-Basic Mode 4
49	16384	512	12	L1-Basic Mode 5
50	16384	768	8	L1-Basic Mode 1
51	16384	768	8	L1-Basic Mode 2
52	16384	768	8	L1-Basic Mode 3
53	16384	768	8	L1-Basic Mode 4
54	16384	768	8	L1-Basic Mode 5
55	16384	1024	6	L1-Basic Mode 1
56	16384	1024	6	L1-Basic Mode 2
57	16384	1024	6	L1-Basic Mode 3
58	16384	1024	6	L1-Basic Mode 4
59	16384	1024	6	L1-Basic Mode 5
60	16384	1536	4	L1-Basic Mode 1
61	16384	1536	4	L1-Basic Mode 2
62	16384	1536	4	L1-Basic Mode 3
63	16384	1536	4	L1-Basic Mode 4
64	16384	1536	4	L1-Basic Mode 5
65	16384	2048	3	L1-Basic Mode 1
66	16384	2048	3	L1-Basic Mode 2
67	16384	2048	3	L1-Basic Mode 3
68	16384	2048	3	L1-Basic Mode 4
69	16384	2048	3	L1-Basic Mode 5
70	16384	2432	3	L1-Basic Mode 1
71	16384	2432	3	L1-Basic Mode 2
72	16384	2432	3	L1-Basic Mode 3
73	16384	2432	3	L1-Basic Mode 4
74	16384	2432	3	L1-Basic Mode 5
75	16384	3072	4	L1-Basic Mode 1
76	16384	3072	4	L1-Basic Mode 2
77	16384	3072	4	L1-Basic Mode 3
78	16384	3072	4	L1-Basic Mode 4
79	16384	3072	4	L1-Basic Mode 5
80	16384	3648	4	L1-Basic Mode 1
81	16384	3648	4	L1-Basic Mode 2
82	16384	3648	4	L1-Basic Mode 3
83	16384	3648	4	L1-Basic Mode 4
84	16384	3648	4	L1-Basic Mode 5
85	16384	4096	3	L1-Basic Mode 1
86	16384	4096	3	L1-Basic Mode 2

preamble_structure	FFT Size	GI Length (samples)	Preamble Pilot D_x	L1-Basic FEC Mode
87	16384	4096	3	L1-Basic Mode 3
88	16384	4096	3	L1-Basic Mode 4
89	16384	4096	3	L1-Basic Mode 5
90	32768	192	32	L1-Basic Mode 1
91	32768	192	32	L1-Basic Mode 2
92	32768	192	32	L1-Basic Mode 3
93	32768	192	32	L1-Basic Mode 4
94	32768	192	32	L1-Basic Mode 5
95	32768	384	32	L1-Basic Mode 1
96	32768	384	32	L1-Basic Mode 2
97	32768	384	32	L1-Basic Mode 3
98	32768	384	32	L1-Basic Mode 4
99	32768	384	32	L1-Basic Mode 5
100	32768	512	24	L1-Basic Mode 1
101	32768	512	24	L1-Basic Mode 2
102	32768	512	24	L1-Basic Mode 3
103	32768	512	24	L1-Basic Mode 4
104	32768	512	24	L1-Basic Mode 5
105	32768	768	16	L1-Basic Mode 1
106	32768	768	16	L1-Basic Mode 2
107	32768	768	16	L1-Basic Mode 3
108	32768	768	16	L1-Basic Mode 4
109	32768	768	16	L1-Basic Mode 5
110	32768	1024	12	L1-Basic Mode 1
111	32768	1024	12	L1-Basic Mode 2
112	32768	1024	12	L1-Basic Mode 3
113	32768	1024	12	L1-Basic Mode 4
114	32768	1024	12	L1-Basic Mode 5
115	32768	1536	8	L1-Basic Mode 1
116	32768	1536	8	L1-Basic Mode 2
117	32768	1536	8	L1-Basic Mode 3
118	32768	1536	8	L1-Basic Mode 4
119	32768	1536	8	L1-Basic Mode 5
120	32768	2048	6	L1-Basic Mode 1
121	32768	2048	6	L1-Basic Mode 2
122	32768	2048	6	L1-Basic Mode 3
123	32768	2048	6	L1-Basic Mode 4
124	32768	2048	6	L1-Basic Mode 5
125	32768	2432	6	L1-Basic Mode 1
126	32768	2432	6	L1-Basic Mode 2
127	32768	2432	6	L1-Basic Mode 3
128	32768	2432	6	L1-Basic Mode 4
129	32768	2432	6	L1-Basic Mode 5
130	32768	3072	8	L1-Basic Mode 1
131	32768	3072	8	L1-Basic Mode 2
132	32768	3072	8	L1-Basic Mode 3

preamble_structure	FFT Size	GI Length (samples)	Preamble Pilot D_x	L1-Basic FEC Mode
133	32768	3072	8	L1-Basic Mode 4
134	32768	3072	8	L1-Basic Mode 5
135	32768	3072	3	L1-Basic Mode 1
136	32768	3072	3	L1-Basic Mode 2
137	32768	3072	3	L1-Basic Mode 3
138	32768	3072	3	L1-Basic Mode 4
139	32768	3072	3	L1-Basic Mode 5
140	32768	3648	8	L1-Basic Mode 1
141	32768	3648	8	L1-Basic Mode 2
142	32768	3648	8	L1-Basic Mode 3
143	32768	3648	8	L1-Basic Mode 4
144	32768	3648	8	L1-Basic Mode 5
145	32768	3648	3	L1-Basic Mode 1
146	32768	3648	3	L1-Basic Mode 2
147	32768	3648	3	L1-Basic Mode 3
148	32768	3648	3	L1-Basic Mode 4
149	32768	3648	3	L1-Basic Mode 5
150	32768	4096	3	L1-Basic Mode 1
151	32768	4096	3	L1-Basic Mode 2
152	32768	4096	3	L1-Basic Mode 3
153	32768	4096	3	L1-Basic Mode 4
154	32768	4096	3	L1-Basic Mode 5
155	32768	4864	3	L1-Basic Mode 1
156	32768	4864	3	L1-Basic Mode 2
157	32768	4864	3	L1-Basic Mode 3
158	32768	4864	3	L1-Basic Mode 4
159	32768	4864	3	L1-Basic Mode 5
160-255	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

H. MISO

H.1. MISO 주파수 영역 계수

표 H-1 $N_{MISO}=64$ 일 때, 시간영역 임펄스 응답 벡터

n	M=2		M=3			M=4			
	h_1	h_2	h_1	h_2	h_3	h_1	h_2	h_3	h_4
0	-0.0082-0.0031i	0.0570+0.0402i	-0.0202-0.0157i	-0.0351-0.0356i	0.0436+0.0054i	0.0240-0.0409i	-0.0263-0.0479i	-0.0233-0.0047i	-0.0233-0.0047i
1	0.0041-0.0092i	-0.0200+0.0170i	-0.0397-0.0295i	0.0087-0.0039i	0.0171-0.0086i	0.0012-0.0723i	-0.0301-0.0107i	0.0235+0.0189i	0.0235+0.0189i
2	-0.0192-0.0795i	-0.0538+0.0115i	0.0051-0.0108i	-0.0400-0.0028i	-0.0079-0.0112i	-0.0192-0.0187i	0.0333-0.0063i	0.0180+0.0330i	0.0180+0.0330i
3	-0.0321+0.0025i	-0.0197-0.1022i	0.0365-0.0003i	0.0228+0.0060i	0.0037-0.0093i	0.0487+0.0256i	0.0204+0.0289i	-0.0042-0.0688i	-0.0042-0.0688i
4	-0.0234+0.0615i	-0.0244-0.0409i	-0.0195-0.0111i	0.0347-0.0134i	0.0549-0.0019i	0.0508-0.0429i	-0.0105+0.0583i	0.0140-0.0162i	0.0140-0.0162i
5	-0.0257-0.0544i	0.0925+0.0289i	-0.1033+0.0267i	-0.0351-0.0292i	-0.0391+0.0219i	-0.0400-0.0598i	-0.0649-0.1346i	-0.0297+0.0627i	-0.0297+0.0627i
6	-0.0599-0.0362i	-0.0082+0.0075i	-0.0409+0.0354i	-0.0091-0.0239i	-0.0306-0.0150i	-0.0299+0.0292i	-0.0243-0.0626i	-0.0144-0.0526i	-0.0144-0.0526i
7	-0.0472+0.0203i	0.0795+0.0501i	-0.0243-0.0359i	-0.1048-0.0459i	0.0398+0.0042i	0.0171-0.0085i	0.0599-0.0728i	-0.0466+0.0299i	-0.0466+0.0299i
8	0.0925-0.0460i	0.0124-0.0371i	-0.0291-0.0020i	0.0814-0.0157i	-0.0360+0.0737i	-0.0452-0.0488i	0.0119+0.0809i	0.0060+0.0085i	0.0060+0.0085i
9	0.0217-0.0165i	0.0266+0.0384i	0.0027+0.1260i	0.0278+0.0517i	0.0432-0.0191i	-0.1012+0.0784i	0.0566+0.0771i	0.0173+0.1123i	0.0173+0.1123i
10	-0.1060+0.0672i	-0.0644-0.0211i	0.0495+0.0905i	-0.0310+0.0042i	0.0182+0.0303i	0.0182+0.0737i	-0.0317-0.1009i	-0.0095-0.0079i	-0.0095-0.0079i
11	0.0356+0.0135i	-0.0565+0.0211i	0.0206-0.0591i	0.0082-0.0551i	-0.0421-0.0442i	0.0460-0.0497i	0.0592+0.0811i	0.0554+0.0071i	0.0554+0.0071i
12	-0.0765-0.0388i	0.0711+0.0100i	-0.0658+0.0847i	-0.1074-0.1147i	-0.0423+0.0888i	-0.1181+0.0534i	-0.1045-0.1392i	0.0341-0.0753i	0.0341-0.0753i
13	-0.1158+0.1144i	0.0186+0.0228i	0.0361+0.0878i	0.0709+0.0104i	0.0681-0.0220i	-0.0447+0.1291i	-0.1084+0.0149i	-0.0615+0.0015i	-0.0615+0.0015i
14	0.0197+0.1516i	0.1920-0.0084i	0.1156-0.0646i	0.0134-0.0183i	-0.1486-0.0084i	0.1023-0.0167i	0.0758-0.0852i	-0.1283+0.0457i	-0.1283+0.0457i
15	-0.0359+0.0376i	0.0029-0.0932i	-0.1034-0.0663i	0.0391+0.0550i	0.1086-0.0260i	-0.0501-0.1357i	0.0799-0.0393i	0.0546-0.1677i	0.0546-0.1677i
16	-0.0932+0.0818i	0.1438+0.0361i	-0.1042-0.0011i	0.2130+0.1695i	-0.0102+0.0763i	-0.0843-0.1035i	0.2092+0.1991i	-0.0932+0.2335i	-0.0932+0.2335i
17	-0.0454+0.1093i	-0.0405+0.0996i	0.0373+0.0515i	-0.2063+0.0635i	-0.0520-0.0592i	-0.0382-0.0540i	-0.1139-0.0389i	-0.1123+0.0290i	-0.1123+0.0290i
18	0.0692-0.0114i	-0.1229+0.1549i	-0.1169-0.0665i	-0.0821+0.0257i	0.0022-0.0342i	-0.0657-0.1025i	-0.0529-0.0304i	0.1421+0.0877i	0.1421+0.0877i
19	-0.0801-0.0271i	-0.0177-0.1009i	-0.1598-0.0456i	-0.1664-0.1884i	-0.0331+0.0601i	-0.0362-0.0847i	-0.0902-0.1026i	0.0467-0.1229i	0.0467-0.1229i
20	-0.1156-0.0505i	0.0610-0.0604i	0.0191-0.0271i	0.0600+0.0789i	-0.0826+0.0136i	0.0219-0.0437i	0.0859+0.0258i	0.0059+0.0987i	0.0059+0.0987i
21	0.2071-0.0987i	0.3258-0.0067i	0.0155-0.0469i	0.1633+0.1717i	0.1155+0.2692i	0.0146-0.0333i	0.1311+0.1771i	0.0374-0.0089i	0.0374-0.0089i
22	0.0217+0.1298i	0.0486+0.1430i	-0.0536+0.1606i	-0.1040+0.1295i	0.0776-0.2126i	-0.1189+0.1498i	0.0212+0.0289i	-0.0469-0.1116i	-0.0469-0.1116i
23	0.0305+0.1189i	0.0057+0.0169i	-0.0881+0.1063i	0.1314-0.0204i	0.0330-0.0684i	-0.1678+0.0733i	0.1347-0.0075i	-0.0315+0.0372i	-0.0315+0.0372i
24	0.1325+0.1816i	-0.0468+0.0400i	0.0136+0.1160i	-0.1336+0.0564i	0.0150-0.0269i	-0.0205+0.0349i	-0.0492+0.1194i	-0.0329+0.0249i	-0.0329+0.0249i
25	0.0220+0.1673i	-0.0580+0.1502i	-0.0165+0.0980i	-0.0383+0.1788i	-0.1286+0.0254i	-0.0220+0.1345i	-0.0598+0.0809i	-0.1220+0.1634i	-0.1220+0.1634i
26	0.2034-0.1647i	0.0839+0.2601i	0.3054-0.0506i	-0.1792+0.2524i	-0.0529-0.3026i	0.2133-0.0547i	-0.0676+0.2751i	0.0901-0.0367i	0.0901-0.0367i
27	0.1139+0.0092i	-0.0909-0.0273i	0.1229+0.1970i	-0.0639+0.0308i	0.0871+0.1886i	0.1213+0.1973i	-0.0033+0.0489i	0.1698+0.1548i	0.1698+0.1548i
28	-0.0065+0.2120i	0.0683+0.0433i	-0.1988+0.2747i	-0.0327+0.0499i	-0.0810+0.0120i	-0.1696+0.3086i	-0.1294+0.1162i	-0.0707-0.0577i	-0.0707-0.0577i
29	0.0406+0.0205i	-0.1055+0.0668i	0.0473+0.0365i	-0.0426-0.0327i	0.0934-0.0558i	-0.0591-0.0141i	-0.1280+0.0001i	-0.1228+0.0759i	-0.1228+0.0759i
30	-0.0667+0.0071i	-0.2471-0.0933i	-0.0451+0.1114i	-0.1421-0.0480i	0.1699-0.0469i	0.0167+0.0481i	-0.0536-0.1314i	0.2568+0.0969i	0.2568+0.0969i
31	-0.2077-0.2282i	0.0682+0.2381i	-0.1865-0.1219i	0.0324+0.1438i	0.1644-0.1603i	-0.1727-0.1232i	0.0334+0.1431i	-0.0160+0.0148i	-0.0160+0.0148i
32	-0.1265+0.0798i	0.0195-0.1981i	-0.0820-0.0034i	0.0780-0.0666i	-0.1104+0.0125i	-0.0513+0.0157i	0.0520+0.0127i	0.1090-0.0340i	0.1090-0.0340i
33	0.0276+0.1123i	-0.0465+0.0036i	-0.1170+0.0836i	-0.1150-0.0442i	0.0423-0.0163i	-0.1042+0.1508i	-0.0859-0.0728i	-0.0061+0.2155i	-0.0061+0.2155i
34	-0.0043+0.1419i	-0.0331+0.0257i	0.0354+0.0839i	0.1399+0.0277i	0.0720+0.0480i	0.0128+0.0261i	-0.0147+0.0550i	0.0134+0.0477i	0.0134+0.0477i
35	0.0147-0.0002i	0.1589+0.0603i	0.2146+0.0002i	0.0795+0.0892i	0.0027-0.0066i	0.1502+0.0075i	0.1340+0.2318i	0.0510+0.0546i	0.0510+0.0546i
36	0.0066-0.0353i	0.0641+0.1233i	0.1105-0.1351i	-0.0085-0.0374i	-0.0916+0.0016i	0.1558-0.0742i	-0.0182-0.0708i	-0.0063+0.0183i	-0.0063+0.0183i
37	-0.1775+0.1532i	0.0678+0.1191i	-0.0920+0.0875i	0.0953+0.0980i	-0.0783+0.2550i	-0.1810+0.0746i	0.0938+0.1883i	-0.0733+0.1909i	-0.0733+0.1909i
38	-0.0491+0.0762i	0.0271-0.2271i	-0.0300-0.1244i	0.1254-0.1780i	-0.1807-0.1094i	0.0573-0.0604i	0.0505-0.0878i	-0.0475+0.1187i	-0.0475+0.1187i
39	-0.1185-0.1370i	0.0877+0.1282i	-0.1987-0.0400i	-0.1259+0.0849i	0.0347+0.1010i	-0.1213-0.1572i	-0.0316+0.0609i	-0.0415+0.1335i	-0.0415+0.1335i
40	0.1381+0.1197i	-0.1054+0.0719i	0.0853+0.0506i	-0.1303+0.0004i	-0.0434+0.1560i	-0.0473+0.2651i	-0.1373+0.0291i	0.0628+0.1182i	0.0628+0.1182i
41	0.0402-0.1385i	0.1926-0.0134i	-0.1360-0.1131i	0.1888+0.0584i	0.0427+0.1170i	-0.1701-0.1300i	0.2823+0.0664i	-0.0947+0.0036i	-0.0947+0.0036i
42	-0.0414-0.0215i	0.0272-0.0083i	0.0036+0.0701i	-0.1031-0.0692i	-0.0744-0.0089i	-0.0475+0.0891i	0.0269-0.0262i	0.0648-0.2780i	0.0648-0.2780i
43	0.0425-0.2408i	0.0126+0.0324i	0.1415-0.1823i	-0.0871-0.0654i	-0.1619-0.0234i	0.0860-0.1701i	-0.0174-0.0057i	-0.0856+0.0200i	-0.0856+0.0200i
44	0.0778+0.1461i	0.1290-0.0779i	-0.0022+0.1309i	-0.0039-0.0491i	0.1864+0.1523i	0.0287-0.0118i	0.0651-0.0408i	0.0757+0.0776i	0.0757+0.0776i
45	-0.2283+0.0223i	0.1207-0.0885i	-0.1185-0.1542i	-0.0021+0.0591i	0.1173-0.0573i	-0.2152-0.1151i	0.1702+0.0152i	0.0913-0.1074i	0.0913-0.1074i
46	0.0196+0.0578i	-0.0827-0.1182i	0.0331-0.0297i	-0.1821-0.1699i	-0.0136+0.0547i	0.0911-0.0229i	-0.1067-0.1807i	-0.0469-0.0884i	-0.0469-0.0884i
47	-0.0309-0.1078i	-0.0020-0.0275i	-0.0268-0.0252i	-0.0221+0.0450i	-0.0126-0.0084i	0.0227+0.0191i	-0.0661-0.0909i	0.0390-0.2093i	0.0390-0.2093i
48	0.0340+0.0156i	0.0280-0.0564i	0.1085+0.1090i	-0.1060+0.1698i	-0.0269+0.0097i	0.0164+0.0224i	-0.1148+0.1257i	0.0610-0.1203i	0.0610-0.1203i
49	0.0431-0.0505i	-0.1056-0.0500i	-0.1165-0.0823i	0.0634+0.0286i	0.1539+0.0925i	-0.0265-0.0111i	-0.0864-0.0229i	0.0021+0.1465i	0.0021+0.1465i
50	-0.0656-0.1008i	-0.1652-0.0210i	0.0427-0.0327i	0.0531+0.0341i	-0.0388+0.0407i	-0.0469-0.0784i	-0.0557-0.0173i	-0.0649+0.0788i	-0.0649+0.0788i
51	0.0719+0.1280i	-0.0103+0.1312i	-0.0317-0.0209i	0.0299+0.0984i	-0.0974+0.1576i	-0.0250+0.1309i	-0.0489+0.1720i	-0.2232+0.0983i	-0.2232+0.0983i
52	-0.0367-0.0387i	-0.0025+0.0292i	-0.0064+0.0446i	0.0960-0.0295i	-0.0565+0.0087i	-0.0179-0.0898i	0.0189+0.0422i	0.0063-0.0601i	0.0063-0.0601i
53	0.0549+0.0875i	0.0094-0.0186i	-0.0394+0.0371i	0.1152-0.0318i	-0.1553-0.1074i	0.0119+0.0266i	0.1237+0.0095i	-0.0743-0.1217i	-0.0743-0.1217i
54	-0.0199-0.0339i	0.0529+0.0211i	0.0534-0.0665i	-0.0462-0.0994i	0.0834+0.0164i	0.0177-0.0294i	0.0096+0.0209i	-0.0850+0.0442i	-0.0850+0.0442i
55	0.0247-0.0080i	0.0285+0.0582i	0.0524+0.0609i	-0.0231-0.0581i	0.1502-0.0071i	0.0367-0.0083i	-0.0192-0.0478i	0.0500-0.0122i	0.0500-0.0122i
56	-0.0482-0.0159i	0.0386-0.0935i	-0.0057-0.0144i	-0.0681+0.0278i	0.1019+0.1022i	-0.0132-0.0501i	0.0511-0.0060i	0.0083+0.0355i	0.0083+0.0355i
57	0.0474-0.0310i	0.0283-0.0598i	0.0164+0.0052i	-0.0226+0.0018i	0.0256+0.0919i	0.0458-0.0252i	0.0123+0.0400i	0.0793+0.0643i	0.0793+0.0643i
58	-0.0262+0.0055i	-0.0550+0.0053i	-0.0345-0.0144i	-0.0124-0.0168i	-0.0529+0.0828i	-0.0354+0.0197i	-0.0456-0.0497i	0.0799+0.0421i	0.0799+0.0421i
59	-0.0185-0.0061i	0.0113-0.0073i	0.0396+0.0416i	-0.0306+0.0504i	-0.0240+0.0590i	0.0074+0.0287i	-0.0084+0.0188i	-0.0598+0.0669i	-0.0598+0.0669i
60	0.0547+0.0236i	-0.0100-0.0336i	-0.0661+0.0017i	-0.0153+0.0185i	-0.0182-0.0699i	0.0374+0.0192i	-0.0052+0.0608i	-0.0535-0.0376i	-0.0535-0.0376i
61	-0.0084+0.0174i	-0.0605+0.0318i	0.0363+0.0182i	0.0665-0.0023i	-0.0049-0.0340i	0.0393-0.0109i	0.0208-0.0086i	-0.0449-0.0622i	-0.0449-0.0622i
62	0.0030+0.0153i	-0.0212+0.0315i	0.0092-0.0382i	-0.0147-0.0080i	0.0299-0.0039i	-0.0036-0.0001i	0.0235-0.0157i	0.0532-0.0191i	0.0532-0.0191i
63	-0.0339-0.0449i	0.0100+0.0136i	0.0467+0.0337i	-0.0025-0.0243i	-0.0036-0.0072i	-0.0159-0.0341i	-0.0051+0.0114i	0.0824-0.0414i	0.0824-0.0414i

표 H-2 $N_{MISO}=256$ 일 때, 시간영역 임펄스 응답 벡터

n	M=2		M=3			M=4			
	h_1	h_2	h_1	h_2	h_3	h_1	h_2	h_3	h_4
0	0.0045+0.0013i	-0.0073+0.0104i	0.0093+0.0035i	-0.0061+0.0171i	0.0090-0.0232i	0.0004+0.0031i	-0.0095+0.0115i	0.0211+0.0237i	0.0211+0.0237i
1	-0.0108-0.0006i	0.0166-0.0106i	-0.0144-0.0004i	0.0228-0.0183i	-0.0063+0.0283i	-0.0165+0.0023i	0.0214+0.0144i	-0.0070+0.0292i	-0.0070+0.0292i
2	0.0279+0.0059i	0.0135+0.0047i	0.0299-0.0033i	0.0092-0.0013i	0.0035-0.0104i	0.0245-0.0058i	0.0091-0.0007i	0.0116+0.0123i	0.0116+0.0123i
3	0.0071+0.0211i	0.0036-0.0299i	0.0160+0.0102i	-0.0034-0.0253i	-0.0032+0.0081i	0.0167+0.0009i	-0.0083-0.0244i	-0.0091+0.0070i	-0.0091+0.0070i
4	0.0110+0.0023i	-0.0134-0.0009i	0.0199+0.0220i	-0.0078+0.0053i	0.0186+0.0177i	0.0120+0.0131i	-0.0058+0.0098i	0.0220+0.0165i	0.0220+0.0165i
5	0.0030+0.0203i	-0.0218+0.0179i	-0.0067+0.0215i	-0.0151+0.0060i	0.0051-0.0115i	-0.0032+0.0200i	-0.0153+0.0044i	-0.0054-0.0128i	-0.0054-0.0128i
6	0.0056-0.0249i	0.0187-0.0170i	0.0100-0.0293i	0.0271-0.0174i	0.0117+0.0091i	-0.0019-0.0154i	0.0193-0.0141i	0.0086+0.0114i	0.0086+0.0114i
7	0.0092-0.0039i	0.0149-0.0003i	0.0134-0.0010i	0.0351+0.0050i	-0.0202-0.0270i	0.0200+0.0029i	0.0248+0.0116i	-0.0135-0.0310i	-0.0135-0.0310i
8	-0.0148-0.0216i	-0.0432+0.0004i	-0.0009-0.0266i	-0.0410+0.0009i	-0.0039+0.0029i	0.0042-0.0238i	-0.0403+0.0087i	-0.0046+0.0073i	-0.0046+0.0073i
9	0.0227+0.0006i	0.0045-0.0103i	0.0204-0.0031i	0.0096+0.0047i	0.0039-0.0035i	0.0157-0.0064i	0.0065-0.0029i	-0.0007-0.0182i	-0.0007-0.0182i
10	-0.0354+0.0028i	-0.0252+0.0062i	-0.0355-0.0003i	-0.0122+0.0075i	-0.0183-0.0057i	-0.0295-0.0042i	-0.0225+0.0106i	-0.0266+0.0079i	-0.0266+0.0079i
11	0.0068-0.0218i	0.0069-0.0264i	0.0197-0.0093i	0.0137-0.0335i	0.0455+0.0020i	0.0148-0.0095i	0.0148-0.0256i	0.0448+0.0005i	0.0448+0.0005i
12	-0.0016+0.0243i	0.0301-0.0145i	0.0086+0.0150i	0.0226+0.0110i	-0.0392+0.0015i	0.0146+0.0196i	0.0306+0.0029i	-0.0357+0.0075i	-0.0357+0.0075i
13	0.0215+0.0011i	-0.0007-0.0090i	0.0244-0.0167i	-0.0041-0.0116i	0.0321+0.0336i	0.0070-0.0012i	-0.0124-0.0195i	0.0398+0.0369i	0.0398+0.0369i
14	0.0128+0.0190i	-0.0085-0.0159i	0.0133+0.0135i	-0.0114-0.0232i	0.0056+0.0009i	0.0049+0.0226i	-0.0092-0.0208i	0.0146-0.0004i	0.0146-0.0004i
15	-0.0170-0.0274i	0.0549-0.0085i	0.0090-0.0159i	0.0509+0.0034i	-0.0306-0.0043i	0.0121-0.0134i	0.0573-0.0050i	-0.0320-0.0088i	-0.0320-0.0088i
16	0.0130+0.0133i	-0.0089-0.0140i	0.0168+0.0208i	0.0064-0.0086i	-0.0091-0.0140i	0.0223+0.0167i	0.0105-0.0097i	-0.0078-0.0245i	-0.0078-0.0245i
17	-0.0228-0.0192i	0.0317+0.0104i	-0.0210-0.0375i	0.0288+0.0066i	-0.0241+0.0136i	-0.0111-0.0337i	0.0427+0.0125i	-0.0258+0.0186i	-0.0258+0.0186i
18	0.0310+0.0146i	0.0254+0.0035i	0.0229+0.0021i	0.0295+0.0044i	0.0288-0.0617i	0.0202-0.0008i	0.0247+0.0039i	0.0122-0.0585i	0.0122-0.0585i
19	-0.0464+0.0068i	0.0057+0.0023i	-0.0420+0.0048i	0.0101+0.0048i	-0.0103+0.0207i	-0.0357+0.0115i	0.0036+0.0034i	-0.0119+0.0227i	-0.0119+0.0227i
20	-0.0146-0.0082i	-0.0407+0.0112i	-0.0246+0.0031i	-0.0181+0.0293i	-0.0092-0.0465i	-0.0241+0.0010i	-0.0098+0.0298i	-0.0018-0.0460i	-0.0018-0.0460i
21	-0.0008-0.0058i	0.0213+0.0073i	-0.0080-0.0268i	0.0283+0.0201i	0.0419+0.0171i	-0.0029-0.0266i	0.0317+0.0124i	0.0422+0.0184i	0.0422+0.0184i
22	0.0175-0.0200i	-0.0034+0.0153i	0.0371-0.0356i	0.0050+0.0085i	-0.0087-0.0099i	0.0274+0.0347i	0.0046+0.0082i	-0.0073-0.0089i	-0.0073-0.0089i
23	0.0024+0.0210i	-0.0092-0.0131i	-0.0136+0.0227i	-0.0110-0.0237i	-0.0135-0.0068i	-0.0138+0.0159i	-0.0107-0.0248i	-0.0126-0.0086i	-0.0126-0.0086i
24	-0.0225-0.0259i	0.0175-0.0359i	-0.0170-0.0142i	0.0366-0.0282i	0.0237+0.0160i	-0.0062-0.0129i	0.0394+0.0321i	0.0212+0.0121i	0.0212+0.0121i
25	-0.0081+0.0521i	0.0068-0.0005i	-0.0045+0.0480i	0.0072+0.0156i	-0.0426-0.0066i	-0.0062+0.0346i	0.0025+0.0164i	-0.0488-0.0056i	-0.0488-0.0056i
26	-0.0164-0.0158i	0.0384-0.0283i	-0.0071-0.0366i	0.0320-0.0332i	0.0563-0.0275i	-0.0111-0.0339i	0.0374-0.0319i	0.0524-0.0306i	0.0524-0.0306i
27	0.0399+0.0106i	0.0472-0.0463i	0.0288+0.0179i	0.0196-0.0537i	-0.0581+0.0043i	0.0195+0.0310i	0.0079+0.0462i	-0.0643+0.0008i	-0.0643+0.0008i
28	-0.0185+0.0221i	0.0095-0.0010i	-0.0264+0.0225i	0.0318-0.0046i	0.0345-0.0152i	-0.0181+0.0247i	0.0337-0.0101i	0.0315-0.0157i	0.0315-0.0157i
29	-0.0036-0.0069i	0.0449+0.0161i	0.0237-0.0035i	0.0559+0.0270i	-0.0210+0.0039i	0.0279-0.0055i	0.0577+0.0256i	-0.0223-0.0032i	-0.0223-0.0032i
30	0.0136-0.0067i	0.1051+0.0253i	0.0027-0.0245i	0.1062+0.0272i	-0.0105+0.0159i	0.0034-0.0307i	0.0958+0.0245i	-0.0123+0.0214i	-0.0123+0.0214i
31	0.0455-0.0925i	-0.0274+0.0124i	0.0570-0.0796i	-0.0388+0.0178i	0.0426+0.0036i	0.0588-0.0812i	-0.0413+0.0127i	0.0434+0.0052i	0.0434+0.0052i
32	0.0238+0.0229i	0.0293-0.0257i	-0.0026+0.0246i	0.0426-0.0314i	-0.0281+0.0163i	-0.0080+0.0307i	0.0530-0.0345i	-0.0231+0.0217i	-0.0231+0.0217i
33	-0.0113-0.0309i	-0.0134+0.0156i	0.0161-0.0355i	0.0089+0.0377i	0.0215-0.0323i	0.0104-0.0341i	-0.0017+0.0302i	0.0270-0.0297i	0.0270-0.0297i
34	0.0486+0.0256i	0.0053+0.0121i	0.0537+0.0316i	0.0225+0.0198i	-0.0262+0.0474i	0.0543+0.0322i	0.0160+0.0250i	-0.0221+0.0443i	-0.0221+0.0443i
35	-0.0266-0.0014i	0.0281-0.0126i	-0.0233-0.0263i	0.0222+0.0202i	0.0091+0.0464i	-0.0239-0.0256i	0.0101+0.0312i	0.0056+0.0435i	0.0056+0.0435i
36	0.0609-0.0451i	-0.0056+0.0137i	0.0668-0.0349i	0.0023+0.0194i	-0.0014-0.0165i	0.0737-0.0372i	-0.0038+0.0149i	-0.0002-0.0108i	-0.0002-0.0108i
37	-0.0094+0.0148i	-0.0692-0.0589i	-0.0130+0.0105i	-0.0601-0.0445i	-0.0202-0.0010i	-0.0150+0.0085i	-0.0561-0.0541i	-0.0257-0.0058i	-0.0257-0.0058i
38	-0.0168-0.0255i	0.1044-0.0731i	0.0028-0.0168i	0.0963-0.0611i	-0.0209-0.0709i	0.0014-0.0074i	0.0918-0.0501i	-0.0278-0.0707i	-0.0278-0.0707i
39	-0.0434+0.0156i	-0.0079-0.0032i	-0.0471-0.0035i	-0.0236-0.0244i	-0.0302+0.0489i	-0.0607-0.0073i	-0.0360+0.0266i	-0.0369+0.0560i	-0.0369+0.0560i
40	-0.0064-0.0473i	0.0135+0.0164i	-0.0180-0.0164i	-0.0036+0.0153i	0.0063-0.0627i	-0.0182-0.0675i	0.0022+0.0090i	0.0098-0.0661i	0.0098-0.0661i
41	0.0249+0.0037i	0.0163+0.0300i	0.0146-0.0098i	0.0120+0.0385i	-0.0171+0.0505i	0.0246+0.0110i	0.0212+0.0352i	-0.0130+0.0416i	-0.0130+0.0416i
42	-0.0279+0.0322i	0.0539-0.0584i	-0.0399+0.0276i	0.0571-0.0499i	-0.0339-0.0098i	-0.0361+0.0162i	0.0541-0.0472i	-0.0414-0.0028i	-0.0414-0.0028i
43	0.0254+0.0327i	0.0336+0.0218i	0.0364+0.0317i	0.0250+0.0444i	0.0145+0.0195i	0.0417+0.0262i	0.0411+0.0436i	0.0282+0.0239i	0.0282+0.0239i
44	-0.0539+0.0010i	0.0577+0.0849i	-0.0817-0.0368i	0.0264+0.1035i	0.0267-0.0250i	-0.0793-0.0438i	0.0226+0.1087i	0.0148-0.0251i	0.0148-0.0251i
45	0.0388-0.0333i	0.0275+0.0792i	0.0265-0.0181i	0.0474+0.0883i	-0.0936-0.0208i	0.0282-0.0134i	0.0453+0.0905i	-0.0901-0.0192i	-0.0901-0.0192i
46	-0.0175+0.0221i	0.0076+0.0362i	-0.0291+0.0104i	-0.0033+0.0433i	0.0327+0.0580i	-0.0271+0.0225i	0.0125+0.0543i	0.0346+0.0590i	0.0346+0.0590i
47	-0.0027+0.0341i	-0.0318+0.0028i	-0.0115+0.0348i	-0.0500+0.0338i	-0.0453-0.0261i	-0.0082+0.0245i	-0.0285+0.0339i	-0.0529-0.0171i	-0.0529-0.0171i
48	-0.0651+0.0130i	0.0068-0.0110i	-0.0526+0.0168i	-0.0017+0.0269i	0.0377-0.0197i	-0.0516+0.0234i	-0.0091+0.0193i	0.0401-0.0214i	0.0401-0.0214i
49	-0.0144-0.0090i	-0.0429+0.0708i	-0.0236-0.0148i	-0.0472+0.0554i	-0.1004+0.0349i	-0.0201-0.0263i	-0.0279+0.0665i	-0.1002+0.0356i	-0.1002+0.0356i
50	0.0138+0.0292i	0.0552+0.0007i	0.0075+0.0208i	0.0348-0.0027i	0.0878-0.0337i	0.0029+0.0384i	0.0298+0.0005i	0.0908-0.0431i	0.0908-0.0431i
51	0.0051-0.0164i	-0.0155-0.0319i	-0.0096-0.0143i	-0.0051-0.0271i	0.0121-0.0175i	-0.0074-0.0198i	-0.0094-0.0321i	0.0073-0.0057i	0.0073-0.0057i
52	0.0316-0.0102i	-0.0311-0.0200i	0.0194-0.0003i	-0.0375-0.0075i	0.0215+0.0272i	0.0063+0.0011i	-0.0423+0.0058i	0.0238+0.0227i	0.0238+0.0227i
53	0.0151-0.0249i	0.1112+0.0758i	-0.0019-0.0297i	0.1114+0.0689i	0.0574+0.0202i	-0.0095-0.0239i	0.1175+0.0629i	0.0621+0.0123i	0.0621+0.0123i
54	-0.0074+0.0144i	0.0359+0.0300i	-0.0099-0.0034i	0.0183+0.0028i	0.0233+0.0823i	-0.0131+0.0117i	0.0007+0.0022i	0.0217+0.0780i	0.0217+0.0780i
55	0.0317-0.0189i	-0.0004+0.0000i	0.0373+0.0004i	0.0039-0.0187i	0.0185-0.0212i	0.0365+0.0050i	-0.0003-0.0056i	0.0150-0.0200i	0.0150-0.0200i
56	0.0506+0.0009i	0.1122+0.0658i	0.0504+0.0041i	0.0969+0.0775i	0.0251+0.0704i	0.0614-0.0123i	0.0961+0.0775i	0.0298-0.0636i	0.0298+0.0636i
57	0.0413+0.0186i	-0.0340+0.0650i	0.0396+0.0078i	-0.0375+0.0498i	-0.0387-0.0211i	0.0199+0.0308i	-0.0342+0.0347i	-0.0417-0.0142i	-0.0417-0.0142i
58	-0.0218-0.0459i	-0.0472+0.0367i	-0.0280-0.0447i	-0.0777+0.0331i	-0.0156+0.0313i	-0.0288-0.0496i	-0.0584+0.0244i	-0.0049+0.0294i	-0.0049+0.0294i
59	-0.0635-0.0790i	0.0490+0.0665i	-0.0684-0.0761i	0.0574+0.0589i	-0.0131-0.0118i	-0.0569-0.0490i	0.0618+0.0488i	-0.0120-0.0143i	-0.0120-0.0143i
60	0.0002-0.0665i	0.0144-0.0037i	0.0013-0.0687i	0.0109-0.0109i	-0.0195-0.0356i	-0.0029-0.0749i	0.0094-0.0103i	-0.0142-0.0272i	-0.0142-0.0272i
61	-0.0110+0.0071i	0.0780-0.0095i	-0.0266+0.0135i	0.0641-0.0317i	0.0014+0.0456i	-0.0351+0.0013i	0.0690-0.0288i	-0.0087+0.0500i	-0.0087+0.0500i
62	-0.0320+0.0072i	0.0143+0.0539i	-0.0276+0.0057i	-0.0058+0.0511i	0.0110+0.0026i	-0.0374+0.0085i	-0.0118+0.0348i	0.0184+0.0114i	0.0184+0.0114i
63	-0.0526-0.0819i	-0.0611-0.0106i	-0.0436-0.0795i	-0.0697-0.0182i	-0.0485+0.0302i	-0.0520-0.0930i	-0.0829-0.0168i	-0.0512+0.0293i	-0.0512+0.0293i
64	0.0762-0.0814i	-0.0369+0.0393i	0.0698-0.0933i	-0.0316+0.0295i	0.0904+0.0699i	0.0676-0.0855i	-0.0220+0.0329i	0.0972+0.0890i	0.0972+0.0890i
65	0.0174+0.0191i	0.0945-0.0140i	0.0147+0.0168i	0.0957-0.0					

102	0.0449+0.1164i	-0.0138+0.0048i	0.0361+0.1303i	-0.0186+0.0019i	0.0001-0.0607i	0.0527+0.1480i	-0.0240+0.0075i	0.0050-0.0549i	0.0050-0.0549i
103	-0.0837+0.0089i	0.0307-0.0880i	-0.0722+0.0055i	0.0252-0.0790i	0.0362+0.0672i	-0.0622-0.0033i	0.0306-0.0892i	0.0306-0.0892i	0.0392+0.0657i
104	0.0767-0.0548i	0.0652+0.0565i	0.0765-0.0633i	0.0650+0.0691i	-0.0078-0.0508i	0.0701-0.0610i	0.0711+0.0671i	-0.0081-0.0568i	-0.0081-0.0568i
105	0.0749+0.0176i	-0.0290-0.1216i	0.0801+0.0101i	-0.0285+0.1187i	-0.0297+0.0046i	0.0942+0.0181i	-0.0231-0.1139i	-0.0231+0.0137i	-0.0231+0.0137i
106	-0.0111-0.0612i	-0.0985+0.0166i	-0.0155-0.0604i	-0.1006+0.0184i	0.0222+0.0018i	-0.0106-0.0759i	-0.0977+0.0218i	0.0250-0.0043i	0.0250-0.0043i
107	0.0415+0.0154i	-0.0584+0.0611i	0.0460-0.0040i	-0.0675+0.0707i	0.0378+0.0158i	0.0476+0.0020i	-0.0753+0.0668i	-0.0278+0.0171i	-0.0278+0.0171i
108	-0.0571+0.0488i	0.0113+0.1151i	-0.0541+0.0487i	0.0096+0.0992i	0.0262+0.0463i	-0.0402+0.0468i	0.0236+0.1099i	0.0166+0.0358i	0.0166+0.0358i
109	0.0505+0.1136i	0.0194+0.0388i	0.0762+0.1252i	0.0079+0.0400i	-0.0882-0.0328i	0.0710+0.1213i	0.0064+0.0485i	-0.0774+0.0310i	-0.0774+0.0310i
110	0.0158+0.0007i	-0.0285+0.0831i	0.0262-0.0261i	-0.0326+0.0988i	0.0488-0.0531i	0.0390-0.0065i	-0.0175+0.1053i	0.0484-0.0477i	0.0484-0.0477i
111	-0.0648+0.0715i	-0.0233+0.0246i	-0.0705+0.0612i	-0.0202+0.0068i	-0.0234-0.0290i	-0.0622+0.0677i	-0.0145+0.0059i	-0.0226-0.0205i	-0.0226-0.0205i
112	0.0750+0.0274i	0.0403-0.0920i	0.0666+0.0218i	0.0375-0.0783i	-0.0133+0.0278i	0.0692+0.0101i	0.0530-0.0856i	-0.0268+0.0262i	-0.0268+0.0262i
113	-0.1055-0.0100i	-0.0303+0.0736i	-0.0930-0.0127i	-0.0111+0.0627i	-0.1071+0.0391i	-0.0946-0.0057i	-0.0101+0.0664i	-0.1065+0.0432i	-0.1065+0.0432i
114	-0.0026+0.0536i	0.0705-0.0641i	-0.0211+0.0416i	0.0643-0.0670i	0.0277+0.0094i	-0.0317+0.0370i	0.0534-0.0607i	0.0427-0.0003i	0.0427-0.0003i
115	0.0586+0.0059i	0.0103-0.0475i	0.0489+0.0103i	0.0061-0.0695i	0.0234+0.0454i	0.0522+0.0168i	0.0027-0.0533i	0.0213+0.0455i	0.0213+0.0455i
116	0.0467+0.0333i	-0.1161-0.0656i	0.0547+0.0219i	-0.1313-0.0666i	-0.0869-0.0849i	0.0450+0.0263i	-0.1386-0.0592i	-0.0832-0.0728i	-0.0832-0.0728i
117	0.0458-0.0547i	0.0182-0.0046i	0.0406-0.0510i	0.0041+0.0003i	-0.1123+0.0835i	0.0403-0.0497i	0.0098-0.0105i	-0.1055+0.0820i	-0.1055+0.0820i
118	-0.0488+0.0044i	-0.0357-0.0162i	-0.0610-0.0032i	-0.0214-0.0243i	0.0058+0.0668i	-0.0698-0.0020i	-0.0293-0.0176i	0.0307+0.0616i	0.0307+0.0616i
119	0.0052-0.1456i	-0.0784-0.0139i	0.0174-0.1520i	-0.0860-0.0068i	0.0248-0.0445i	0.0136-0.1523i	-0.1022-0.0058i	0.0310-0.0445i	0.0310-0.0445i
120	-0.0093-0.0251i	0.0477-0.0928i	-0.0048-0.0278i	0.0457-0.0899i	-0.0160+0.0586i	-0.0092-0.0333i	0.0386-0.0929i	-0.0474+0.0516i	-0.0474+0.0516i
121	-0.0297-0.1343i	-0.0445+0.0424i	-0.0312-0.1294i	-0.0288+0.0457i	0.0533+0.1065i	-0.0302-0.1293i	-0.0250+0.0395i	0.0457+0.1129i	0.0457+0.1129i
122	-0.1614+0.0594i	0.1160-0.0114i	-0.1835+0.0412i	0.1070-0.0230i	-0.0375+0.0816i	-0.1819+0.0251i	0.1014-0.0147i	-0.0388+0.0792i	-0.0388+0.0792i
123	0.0151-0.0335i	-0.0406+0.0022i	0.0143-0.0269i	-0.0502-0.0085i	0.1120-0.0408i	0.0168-0.0055i	-0.0455-0.0205i	0.1166-0.0501i	0.1166-0.0501i
124	-0.0481-0.0023i	-0.0588+0.0083i	-0.0468-0.0009i	-0.0755-0.0086i	0.0768+0.0141i	-0.0513+0.0073i	-0.0699-0.0078i	0.0675+0.0185i	0.0675+0.0185i
125	0.1284-0.0284i	0.1201+0.0709i	0.1080-0.0278i	0.1177+0.0525i	-0.1202-0.0365i	0.0941-0.0179i	0.1111+0.0509i	-0.1232-0.0267i	-0.1232-0.0267i
126	0.0053+0.0053i	0.0719-0.0576i	-0.0166+0.0021i	0.0503-0.0514i	-0.0703-0.0366i	-0.0100-0.0069i	0.0550-0.0562i	-0.0747-0.0479i	-0.0747-0.0479i
127	0.0109+0.0756i	0.0269-0.0645i	0.0001-0.0837i	0.0223-0.0592i	-0.0003-0.0631i	0.0060+0.0862i	0.0116-0.0573i	-0.0015-0.0661i	-0.0015-0.0661i
128	0.0179-0.0187i	-0.0094-0.0132i	0.0418+0.0247i	0.0022-0.0192i	-0.0174-0.0283i	0.0444+0.0322i	0.0005-0.0406i	-0.0185-0.0200i	-0.0185-0.0200i
129	-0.0849+0.0130i	-0.0260+0.0080i	-0.0937+0.0054i	-0.0135-0.0044i	-0.0231-0.0272i	-0.0899+0.0144i	-0.0107-0.0072i	-0.0255-0.0336i	-0.0255-0.0336i
130	0.0319-0.0024i	0.0712+0.0184i	0.0022-0.0310i	0.0899+0.0276i	0.0753-0.0495i	-0.0003-0.0191i	0.0956+0.0168i	0.0772-0.0365i	0.0772-0.0365i
131	0.0061-0.0114i	-0.0098-0.0490i	0.0079-0.0270i	-0.0168-0.0333i	0.0223+0.1358i	0.0013-0.0402i	-0.0160-0.0290i	0.0150+0.1393i	0.0150+0.1393i
132	-0.0199+0.0393i	0.0169-0.0200i	-0.0614+0.0397i	0.0201-0.0270i	-0.0420+0.0580i	-0.0732+0.0329i	0.0138-0.0271i	-0.0412+0.0707i	-0.0412+0.0707i
133	0.0817+0.0911i	0.0203+0.0482i	0.0787+0.0843i	0.0118+0.0374i	-0.0073+0.0303i	0.0754+0.0799i	0.0265+0.0422i	0.0105+0.0223i	0.0105+0.0223i
134	0.0037+0.0060i	-0.0081+0.1039i	-0.0033+0.0474i	-0.0057+0.1278i	0.0350-0.0312i	0.0019+0.0442i	0.0136+0.1175i	-0.0414-0.0247i	-0.0414-0.0247i
135	-0.1555+0.1231i	-0.0098+0.0478i	-0.1693+0.1235i	-0.0035+0.0442i	-0.0489-0.0041i	-0.1632+0.1292i	0.0113+0.0467i	-0.0508-0.0152i	-0.0508-0.0152i
136	0.0104-0.0311i	0.0522-0.1121i	0.0122-0.0349i	0.0435-0.0966i	-0.0194-0.0817i	-0.0033-0.0291i	0.0348-0.0961i	-0.0168-0.0904i	-0.0168-0.0904i
137	0.0484-0.0483i	0.0408+0.0629i	0.0367-0.0324i	0.0481+0.0619i	0.0573+0.0646i	0.0383-0.0287i	0.0489+0.0669i	0.0574+0.0713i	0.0574+0.0713i
138	-0.0707-0.0378i	-0.0345+0.0585i	-0.0448-0.0390i	-0.0270+0.0647i	0.0364-0.0137i	-0.0484-0.0328i	-0.0121+0.0693i	0.0329-0.0123i	0.0329-0.0123i
139	-0.0296-0.0045i	-0.0329+0.0637i	-0.0475-0.0173i	-0.0510+0.0171i	0.0049+0.0492i	-0.0322-0.0234i	-0.0607+0.0727i	-0.0088+0.0524i	-0.0088+0.0524i
140	0.0104-0.0154i	0.0160-0.0203i	-0.0027-0.0088i	0.0150-0.0242i	-0.1662-0.0627i	-0.0061-0.0265i	0.0182-0.0324i	-0.1721-0.0558i	-0.1721-0.0558i
141	-0.0072-0.0372i	-0.0493-0.0943i	-0.0096-0.0209i	-0.0541-0.0933i	-0.0128-0.0749i	-0.0050-0.0108i	-0.0608-0.0964i	-0.0176-0.0641i	-0.0176-0.0641i
142	-0.0587+0.0054i	0.0236-0.0585i	-0.0452-0.0022i	0.0074-0.0543i	0.0567-0.0294i	-0.0351+0.0002i	0.0113-0.0474i	0.0461-0.0371i	0.0461-0.0371i
143	-0.0199+0.2233i	-0.0631+0.0471i	-0.0217+0.0201i	-0.0476+0.0423i	0.0623+0.1011i	-0.0227+0.2009i	-0.0469+0.0469i	0.0703+0.1032i	0.0703+0.1032i
144	0.0575-0.0194i	0.0101-0.0456i	0.0453-0.0255i	0.0045-0.0336i	-0.0303+0.0183i	0.0349-0.0280i	0.0054-0.0206i	-0.0320+0.0071i	-0.0320+0.0071i
145	-0.0081-0.0201i	-0.0138+0.0179i	0.0117-0.0240i	-0.0098+0.0224i	0.0269+0.0697i	0.0191-0.0241i	-0.0110+0.0124i	0.0412+0.0825i	0.0412+0.0825i
146	-0.0102+0.0222i	-0.0227-0.0014i	-0.0084+0.0352i	-0.0402-0.0055i	-0.0031+0.0668i	-0.0037+0.0320i	-0.0400-0.0097i	0.0114+0.0560i	0.0114+0.0560i
147	0.0369+0.0553i	0.0072+0.0436i	0.0314+0.0585i	0.0088+0.0368i	0.0580-0.0482i	0.0299+0.0478i	0.0029+0.0327i	0.0612-0.0583i	0.0612-0.0583i
148	-0.0254+0.0855i	0.0784-0.0961i	-0.0147+0.0617i	0.0933-0.0768i	0.0086+0.0708i	-0.0168+0.0554i	0.1017-0.0656i	-0.0033+0.0810i	-0.0033+0.0810i
149	-0.0859+0.0052i	-0.0035-0.0955i	-0.0818+0.0112i	-0.0030-0.0857i	0.0217+0.0084i	-0.0853+0.0271i	-0.0125-0.0844i	0.0267+0.0067i	0.0267+0.0067i
150	0.0024-0.1180i	0.0078-0.0019i	0.0153-0.1124i	0.0169+0.0099i	-0.0453+0.0194i	0.0122-0.1058i	0.0095+0.0143i	-0.0649+0.0093i	-0.0649+0.0093i
151	-0.0433-0.0601i	0.0166-0.0644i	-0.0542-0.0647i	-0.0096-0.0692i	-0.0693-0.0918i	-0.0472-0.0635i	-0.0060-0.0671i	-0.0820-0.0942i	-0.0820-0.0942i
152	0.0338-0.0535i	0.0060-0.0507i	0.0387-0.0697i	0.0046-0.0480i	-0.0003-0.0054i	0.0330-0.0822i	0.0098-0.0611i	-0.0005-0.0039i	-0.0005-0.0039i
153	0.0082+0.0065i	0.0093-0.0139i	0.0013-0.0080i	-0.0241-0.0164i	-0.0853-0.0203i	-0.0081-0.0194i	-0.0325-0.0162i	-0.0726-0.0264i	-0.0726-0.0264i
154	0.0114+0.0212i	0.0398+0.0278i	0.0163+0.0258i	0.0245+0.0362i	-0.0377+0.0002i	0.0177+0.0373i	0.0254+0.0433i	-0.0392-0.0038i	-0.0392-0.0038i
155	0.0669+0.0914i	0.0575-0.0057i	0.0604+0.0081i	0.0285+0.0048i	-0.0319-0.1253i	0.0732-0.0810i	0.0294+0.0107i	-0.0386-0.1308i	-0.0386-0.1308i
156	-0.0076-0.0434i	-0.0053-0.0052i	-0.0043-0.0310i	-0.0206-0.0028i	0.0039-0.0257i	-0.0119-0.0275i	0.0319+0.0160i	0.0072-0.0195i	0.0072-0.0195i
157	-0.1692-0.0465i	0.0534-0.0198i	-0.1639-0.0362i	0.0289-0.0211i	-0.0704+0.0516i	-0.1534-0.0349i	0.0346-0.0148i	-0.0786+0.0574i	-0.0786+0.0574i
158	0.0061-0.0173i	-0.0734+0.0097i	0.0066-0.0128i	-0.0816-0.0201i	0.0259+0.0011i	0.0106-0.0138i	-0.0849+0.0119i	0.0202-0.0029i	0.0202-0.0029i
159	-0.0372+0.0321i	-0.1609+0.0359i	-0.0273+0.0416i	-0.1449+0.0270i	0.0336-0.0439i	-0.0240+0.0397i	-0.1517+0.0193i	0.0342-0.0378i	0.0342-0.0378i
160	0.0847+0.0183i	-0.0013-0.1555i	-0.0722+0.0292i	-0.0024-0.1677i	-0.0019+0.1157i	-0.0689+0.0332i	-0.0099-0.1525i	-0.0011+0.1198i	-0.0011+0.1198i
161	-0.0148+0.0309i	-0.0824+0.0782i	-0.0326+0.0257i	-0.0629+0.0872i	0.0170+0.1459i	-0.0435+0.0261i	-0.0549+0.0977i	0.0202+0.1299i	0.0202+0.1299i
162	-0.1216-0.0398i	0.0067+0.0088i	-0.1075-0.0301i	0.0209-0.0268i	0.0538+0.0024i	-0.1036-0.0213i	0.0163-0.0293i	0.0584+0.0041i	0.0584+0.0041i
163	0.0472-0.0588i	-0.0857+0.0026i	0.0540-0.0550i	-0.0689-0.0030i	-0.0130+0.0329i	0.0646-0.0473i	-0.0692-0.0100i	-0.0159+0.0202i	-0.0159+0.0202i
164	-0.0243+0.0721i	-0.0223+0.0247i	-0.0210-0.0760i	-0.0246+0.0289i	0.0025+0.0075i	-0.0205-0.0833i	-0.0214+0.0268i	0.0091+0.0178i	0.0091+0.0178i
165	-0.0627+0.0034i	0.0467+0.0719i	-0.0843+0.0032i	0.0570+0.0683i	0.0163-0.0529i	-0.0855+0.0084i	0.0630+0.0659i	0.0185-0.0474i	0.0185-0.0474i
166	-0.0449-0.0218i	-0.0371-0.0235i	-0.0484-0.0353i	-0.0236+0.0091i	0.0152+0.1191i	-0.0499-0.0329i	-0.0328+0.0053i	0.0144+0.1223i	0.0144+0.1223i
167	0.0586-0.0129i	0.1241-0.0040i	0.0611-0.0004i	0.1468-0.0052i	0.0377+0.0726i	0.0729-0.0157i	0.1390-0.0042i	0.0401+0.0643i	0.0401+0.0643i
168	-0.0841-0.1519i	-0.0691-0.0179i	-0.0873-0.1528i	-0.0256-0.0040i	-0.0924-0.1429i	-0.0129+0.0032i	0		

211	-0.0238+0.0300i	-0.0089+0.0010i	-0.0296+0.0323i	-0.0233-0.0243i	0.0236-0.0113i	-0.0288+0.0223i	-0.0229-0.0278i	0.0188-0.0027i	0.0188-0.0027i
212	0.0270-0.0398i	0.0143+0.0550i	0.0311-0.0309i	0.0148+0.0589i	0.0058-0.0313i	0.0145-0.0327i	-0.0030+0.0476i	0.0091-0.0166i	0.0091-0.0166i
213	0.0298+0.0227i	0.0341+0.0227i	0.0226+0.0182i	0.0122+0.0175i	0.0267-0.0149i	0.0238+0.0242i	0.0127+0.0214i	0.0185-0.0087i	0.0185-0.0087i
214	-0.0142+0.0130i	-0.0066-0.0270i	-0.0110+0.0048i	-0.0142-0.0128i	-0.0090+0.0204i	-0.0043+0.0048i	-0.0086-0.0198i	-0.0185+0.0229i	-0.0185+0.0229i
215	-0.0046-0.0189i	0.0312-0.0149i	-0.0075-0.0243i	0.0437-0.0276i	0.0159+0.0128i	-0.0117-0.0185i	0.0357-0.0229i	-0.0081+0.0080i	-0.0081+0.0080i
216	0.0017-0.0298i	0.0246-0.0301i	-0.0034-0.0296i	0.0127-0.0329i	0.0109+0.0014i	-0.0012-0.0296i	0.0305-0.0416i	0.0103+0.0002i	0.0103+0.0002i
217	0.0026-0.0097i	0.0039+0.0004i	0.0066-0.0163i	0.0097+0.0065i	0.0308+0.0018i	0.0078-0.0234i	-0.0011+0.0044i	-0.0278-0.0017i	-0.0278-0.0017i
218	0.0260-0.0108i	0.0133-0.0151i	0.0301-0.0276i	0.0053-0.0199i	-0.0089+0.0047i	0.0232-0.0268i	0.0051-0.0390i	-0.0086+0.0020i	-0.0086+0.0020i
219	0.0105+0.0164i	-0.0198+0.0153i	-0.0012+0.0204i	-0.0337+0.0096i	-0.0033+0.0279i	-0.0131+0.0102i	-0.0337+0.0131i	-0.0058+0.0267i	-0.0058+0.0267i
220	0.0120-0.0159i	-0.0092-0.0096i	0.0144-0.0319i	-0.0270-0.0152i	-0.0257+0.0005i	0.0147-0.0376i	-0.0243-0.0181i	-0.0254-0.0042i	-0.0254-0.0042i
221	0.0331-0.0039i	-0.0429-0.0106i	0.0366-0.0166i	-0.0427-0.0096i	-0.0130-0.0374i	0.0345-0.0043i	-0.0384+0.0004i	-0.0116-0.0383i	-0.0116-0.0383i
222	-0.0298-0.0136i	0.0097-0.0737i	-0.0130-0.0112i	0.0130-0.0695i	0.0131+0.0205i	-0.0098-0.0122i	0.0128-0.0635i	0.0108+0.0329i	0.0108+0.0329i
223	0.0280+0.0142i	0.0046-0.0130i	0.0272+0.0151i	0.0180-0.0115i	-0.0130+0.0354i	0.0235-0.0001i	0.0252-0.0093i	-0.0202+0.0263i	-0.0202+0.0263i
224	0.0106+0.0348i	0.0129-0.0058i	0.0137+0.0274i	0.0152-0.0091i	-0.0193-0.0178i	0.0117+0.0275i	0.0063+0.0004i	-0.0184-0.0273i	-0.0184-0.0273i
225	-0.0280+0.0100i	0.0170-0.0132i	-0.0393+0.0249i	-0.0013-0.0065i	-0.0342+0.0057i	-0.0366+0.0143i	0.0024+0.0111i	-0.0317+0.0100i	-0.0317+0.0100i
226	-0.0124-0.0233i	-0.0002+0.0411i	-0.0048-0.0319i	-0.0011+0.0314i	0.0141-0.0183i	-0.0001-0.0301i	-0.0090+0.0421i	0.0196-0.0292i	0.0196-0.0292i
227	0.0088+0.0097i	-0.0181+0.0117i	0.0107+0.0053i	-0.0328+0.0188i	0.0017-0.0167i	0.0227+0.0184i	-0.0289+0.0131i	-0.0052-0.0148i	-0.0052-0.0148i
228	-0.0110-0.0159i	-0.0175+0.0156i	-0.0056-0.0216i	-0.0220+0.0128i	-0.0351+0.0126i	-0.0073-0.0195i	-0.0206+0.0193i	-0.0308+0.0140i	-0.0308+0.0140i
229	0.0194-0.0227i	0.0171-0.0348i	0.0226-0.0259i	0.0021-0.0353i	-0.0064-0.0034i	0.0278-0.0195i	-0.0057-0.0389i	-0.0090-0.0070i	-0.0090-0.0070i
230	0.0193+0.0144i	-0.0171+0.0149i	0.0116+0.0031i	0.0068-0.0003i	0.0078-0.0102i	0.0095-0.0022i	0.0056-0.0005i	0.0127-0.0124i	0.0127-0.0124i
231	0.0087+0.0212i	-0.0010-0.0102i	0.0016+0.0153i	0.0081-0.0041i	-0.0159+0.0141i	-0.0081+0.0198i	-0.0024+0.0033i	-0.0128+0.0053i	-0.0128+0.0053i
232	-0.0011-0.0032i	-0.0067+0.0091i	0.0231-0.0165i	-0.0087+0.0017i	-0.0029-0.0209i	0.0206-0.0085i	-0.0068+0.0040i	-0.0087-0.0211i	-0.0087-0.0211i
233	0.0008-0.0128i	0.0035+0.0365i	0.0008-0.0113i	0.0058+0.0142i	0.0256-0.0014i	-0.0043-0.0150i	-0.0015+0.0212i	0.0289+0.0034i	0.0289+0.0034i
234	-0.0143+0.0075i	-0.0154-0.0095i	-0.0108+0.0108i	-0.0212-0.0038i	-0.0088+0.0150i	0.0038+0.0112i	-0.0220-0.0047i	-0.0091-0.0004i	-0.0091-0.0004i
235	0.0067+0.0023i	-0.0002+0.0072i	0.0191+0.0025i	0.0021-0.0034i	-0.0086-0.0279i	0.0204+0.0041i	0.0031+0.0026i	-0.0156-0.0245i	-0.0156-0.0245i
236	0.0048-0.0023i	0.0148-0.0097i	-0.0050+0.0091i	0.0088-0.0018i	-0.0030-0.0175i	-0.0062-0.0044i	0.0070-0.0146i	0.0092-0.0066i	0.0092-0.0066i
237	0.0019+0.0119i	-0.0171+0.0066i	-0.0096+0.0202i	-0.0041+0.0040i	0.0255-0.0158i	-0.0074+0.0108i	-0.0035-0.0004i	0.0224-0.0202i	0.0224-0.0202i
238	0.0062-0.0109i	0.0117-0.0174i	0.0193-0.0312i	0.0154-0.0112i	0.0069-0.0032i	0.0211-0.0214i	0.0091-0.0077i	0.0037+0.0032i	0.0037+0.0032i
239	0.0046-0.0070i	-0.0061-0.0079i	0.0156-0.0061i	-0.0038+0.0045i	-0.0011+0.0091i	0.0184-0.0080i	0.0033+0.0068i	0.0033+0.0121i	0.0033+0.0121i
240	0.0029+0.0001i	-0.0015-0.0015i	-0.0002-0.0026i	0.0004-0.0105i	-0.0081-0.0122i	0.0038+0.0089i	-0.0061-0.0087i	-0.0031-0.0144i	-0.0031-0.0144i
241	-0.0022+0.0163i	0.0070-0.0044i	0.0108+0.0230i	-0.0160-0.0010i	-0.0012-0.0213i	0.0050+0.0260i	-0.0139-0.0002i	-0.0002-0.0118i	-0.0002-0.0118i
242	-0.0295+0.0057i	-0.0049+0.0038i	-0.0212+0.0071i	-0.0099-0.0058i	0.0165+0.0158i	-0.0251+0.0103i	-0.0114+0.0032i	0.0163+0.0145i	0.0163+0.0145i
243	-0.0101-0.0004i	-0.0119-0.0071i	-0.0185-0.0032i	-0.0224+0.0001i	0.0004-0.0053i	-0.0140-0.0046i	-0.0124-0.0053i	0.0008-0.0097i	0.0008-0.0097i
244	0.0114+0.0042i	-0.0049-0.0088i	0.0123-0.0045i	-0.0095-0.0042i	-0.0204-0.0001i	0.0102-0.0027i	-0.0035-0.0025i	-0.0129-0.0002i	-0.0129-0.0002i
245	-0.0068-0.0129i	0.0226-0.0010i	-0.0010-0.0055i	0.0204+0.0067i	-0.0004-0.0044i	-0.0022+0.0001i	0.0208+0.0024i	-0.0003-0.0054i	-0.0003-0.0054i
246	0.0088-0.0014i	-0.0028+0.0009i	0.0232-0.0064i	0.0001+0.0198i	0.0019-0.0211i	0.0288+0.0004i	0.0006+0.0152i	0.0086-0.0256i	0.0086-0.0256i
247	0.0313+0.0246i	0.0186-0.0140i	0.0365+0.0228i	0.0130+0.0022i	0.0152-0.0104i	0.0359+0.0226i	0.0058+0.0051i	0.0285-0.0079i	0.0285-0.0079i
248	0.0066+0.0117i	0.0041+0.0084i	0.0001+0.0158i	-0.0015+0.0081i	0.0322+0.0028i	-0.0069+0.0128i	-0.0016+0.0084i	0.0262+0.0063i	0.0262+0.0063i
249	-0.0040+0.0040i	-0.0156+0.0193i	0.0126+0.0173i	-0.0116+0.0104i	-0.0033+0.0097i	0.0070+0.0100i	-0.0100+0.0088i	-0.0029+0.0076i	-0.0029+0.0076i
250	-0.0100+0.0104i	-0.0136-0.0069i	-0.0084+0.0106i	-0.0090-0.0136i	-0.0019+0.0100i	-0.0129+0.0045i	-0.0045-0.0140i	0.0045+0.0081i	0.0045+0.0081i
251	-0.0125-0.0134i	-0.0173-0.0058i	-0.0184-0.0067i	-0.0215-0.0125i	0.0099-0.0165i	-0.0151-0.0074i	-0.0190-0.0092i	0.0050-0.0155i	0.0050-0.0155i
252	-0.0138-0.0121i	0.0017+0.0120i	-0.0067-0.0112i	0.0023+0.0051i	0.0045-0.0186i	-0.0007-0.0046i	0.0034+0.0046i	-0.0008-0.0144i	-0.0008-0.0144i
253	0.0010+0.0004i	-0.0063+0.0088i	0.0002+0.0045i	-0.0128+0.0100i	0.0165+0.0075i	-0.0020+0.0061i	-0.0031+0.0174i	0.0179+0.0127i	0.0179+0.0127i
254	-0.0000+0.0090i	0.0119+0.0029i	-0.0115+0.0071i	0.0076+0.0087i	0.0158+0.0100i	-0.0150+0.0070i	0.0075+0.0059i	0.0155+0.0098i	0.0155+0.0098i
255	-0.0002-0.0013i	0.0166+0.0096i	0.0020-0.0006i	0.0229+0.0085i	-0.0073+0.0084i	-0.0005-0.0001i	0.0212+0.0115i	-0.0062+0.0095i	-0.0062+0.0095i

I. 채널 본딩

I.1. 시스템 개요

채널 본딩은 하나의 PLP 데이터 스트림을 2개 이상의 RF 채널을 통해 전송하는 기법으로 다음과 같은 특징을 가진다.

- 하나의 RF 채널 용량을 초과하는 서비스 전송이 가능하다. 즉, 전체 서비스 데이터율을 증대시킨다.
- 다수개의 RF 채널을 이용한 주파수 다이버시티 성능 제공이 가능하다.
- 지상파 UHDTV 물리계층 시스템에서는 2 개의 RF 채널만을 고려한 기법을 고려하며 2 개의 채널이 서로 인접하지 않을 수 있다.
- RF 1 and RF2 사용은 L1-Detail 시그널링에서 **L1D_rf_id** 를 통해 구분된다.
- 채널 본딩은 선택적 기술이며, MIMO 와 결합되어 사용되지 않는다.

그림 I-1은 채널 본딩 블록도를 보인다.

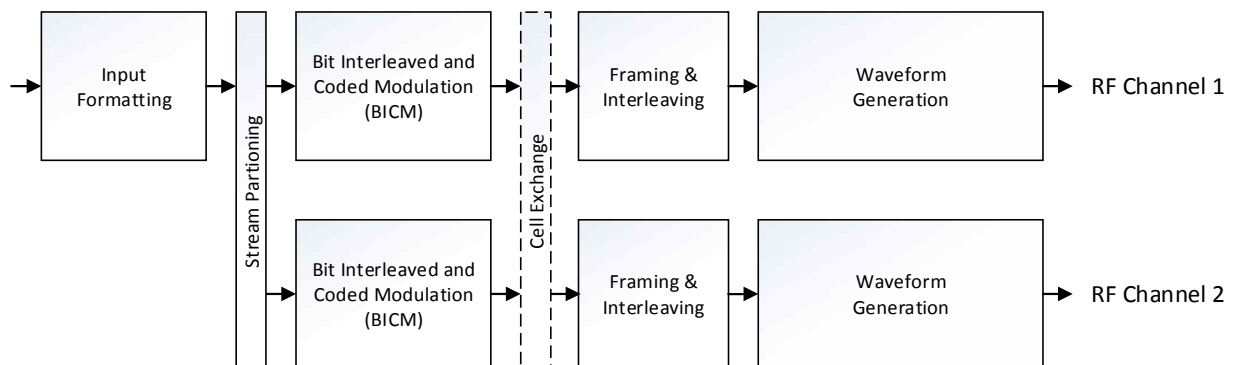


그림 I-1 채널 본딩 블록도

그림 I-2는 채널 본딩을 위한 송신부 블록도를 보인다. 그림에 대한 설명은 다음과 같다.

- 채널 본딩 모드에서 PLP 데이터 패킷은 입력 포매팅 블록을 통과하며, 기저패킷의 기저 헤더가 삽입된다.
- 채널 본딩 모드가 적용되면 기저대역 헤더 확장 카운터 (baseband header extension **counter**)가 항상 사용되며 (5.2.2.3 절 참조), 다른 RF 채널로부터 수신된 패킷을 순차적으로 정렬할 수 있게 한다.
- 스트림 분배기 (Stream Partitioner) 출력 데이터는 독립된 서로 다른 RF 채널에 통해 전송된다.
- 채널 본딩은 기본적인 채널 본딩과 SNR 평균 채널 본딩 등 2 가지 동작 모드를 지원하며, **L1D_plp_channel_bonding_format** 을 통해 선택 적용된다.

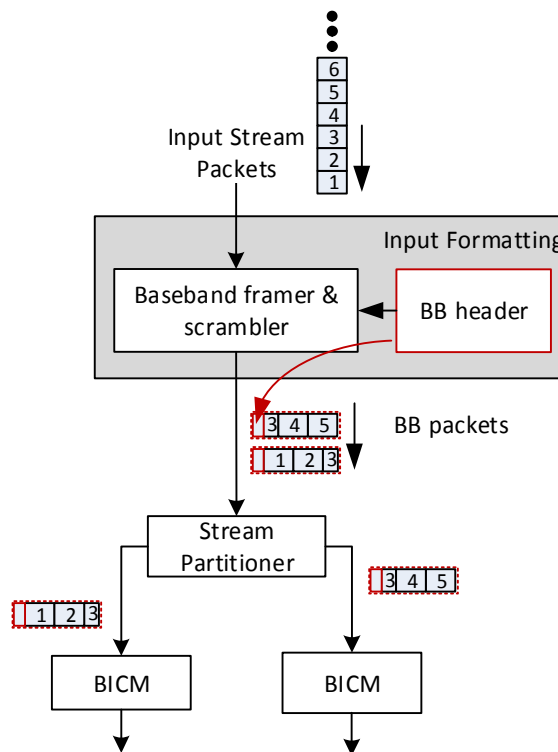


그림 I-2 채널 본딩을 위한 송신부 블록도

I.2. 일반 채널 본딩

일반 채널 본딩 모드에서는 (**L1D_plp_channel_bonding_format** = 00) 그림 I-1에서 보이는 셀 교환 (cell exchange) 블록을 적용하지 않는다. 즉 입력 포매팅과 스트림 분배기 이후 두 채널간 상호 연관성은 없으며, 각 RF 채널은 대역폭, 변조, 부호, FFT 크기,

보호구간 크기 등 서로 다른 파라미터로 독립적으로 설정 가능하다. 또한 수신부에서 스트림 합성에 따른 하드웨어 부담을 최소화 시키기 위해 RF 채널 전송 데이터율에 따라 스트림 분배기에서 기저대역 패킷량을 적절히 조절한다. 만일 2개의 RF 채널에 전송되는 데이터율이 동일하면 스트림 분배기에서 기저대역 패킷량을 동일하게 분배한다.

I.3. SNR 평균 채널 본딩

SNR 평균 채널 본딩 모드에서는 (**L1D_plp_channel_bonding_format** = 01) 2 RF 채널을 통한 주파수 다이버시티 성능 제공을 위해 그림 I-1의 셀 교환 블록이 BICM 처리 후 적용한다. 일반 채널 본딩 모드와 달리 SNR 평균 채널 본딩에서는 각 RF 채널 전송 데이터율은 동일하다. 그림 I-3은 셀 교환 입출력 블록도를 보인다.

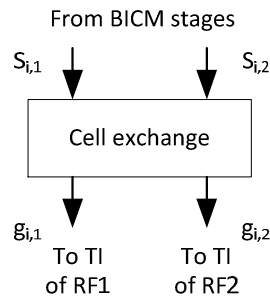


그림 I-3 셀 교환 입출력 블록도

다음은 셀 교환 블록에서 입출력 관계를 행렬 관점에서 설명한다.

$$\begin{pmatrix} g_{i,1} \\ g_{i,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{i,1} \\ s_{i,2} \end{pmatrix}, \text{ 짝수 } i \text{ 번째 셀에 적용}$$

$$\begin{pmatrix} g_{i,1} \\ g_{i,2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} s_{i,1} \\ s_{i,2} \end{pmatrix}, \text{ 홀수 } i \text{ 번째 셀에 적용}$$

여기서 $s_{i,1}$ ($i = 0 \dots N_{\text{cells}}-1$)과 $s_{i,2}$ 는 입력 셀을 나타내며, $g_{i,1}$ 과 $g_{i,2}$ 은 출력 셀을 나타낸다.

J. MIMO

J.1. 시스템 개요

MIMO 기술은 단일 RF 채널에서 서로 다른 2개의 데이터 스트림을 전송하는 공간 다중화 (spatial multiplexing) 기법을 적용하여 채널 용량을 증대 시킬 수 있으며, 공간 다이버시티 (spatial diversity) 기법을 적용하여 채널에 대한 강인성을 증대 시킬 수 있다. 특히 공간 다중화 이득은 SIMO (Single-input Multiple-Output)/MISO (Multiple-input Single-Output)와 달리 MIMO 기술을 통해서만 획득되며, 추가적인 전송 전력 증가 없이 단일 안테나를 통한 전송 채널 용량 한계를 극복한다. 그림 J-1은 MIMO전송 시스템으로 다음과 같은 특징을 지닌다.

- MIMO 는 선택 (optional) 기술로 분류된다.
- 2X2 MIMO 안테나 시스템으로 송수신부에 각각 2 개의 안테나를 고려한다.
- 송수신부는 수평/수직 2 개 극성을 가지는 교차 편파 (cross-polarized) 안테나를 사용한다.
- 그림 J-1 에서 2 개 데이터 스트림 생성은 MIMO 역 다중화 (demux) 블록을 통해 수행되며, 두 스트림간 상호 코딩은 MIMO 프리코더 (precoder) 블록을 통해 수행된다.
- 각 데이터 스트림은 SISO 전송 시스템에서 사용된 FEC 부호, 비트 인터리버, 성상매핑, 주파수 인터리버, 시간 인터리버 등 대부분 동일한 구성요소를 가진다.
- MIMO 시스템을 위한 파일럿 패턴은 SISO 파일럿 패턴을 기반으로 새롭게 확장되어 적용된다.

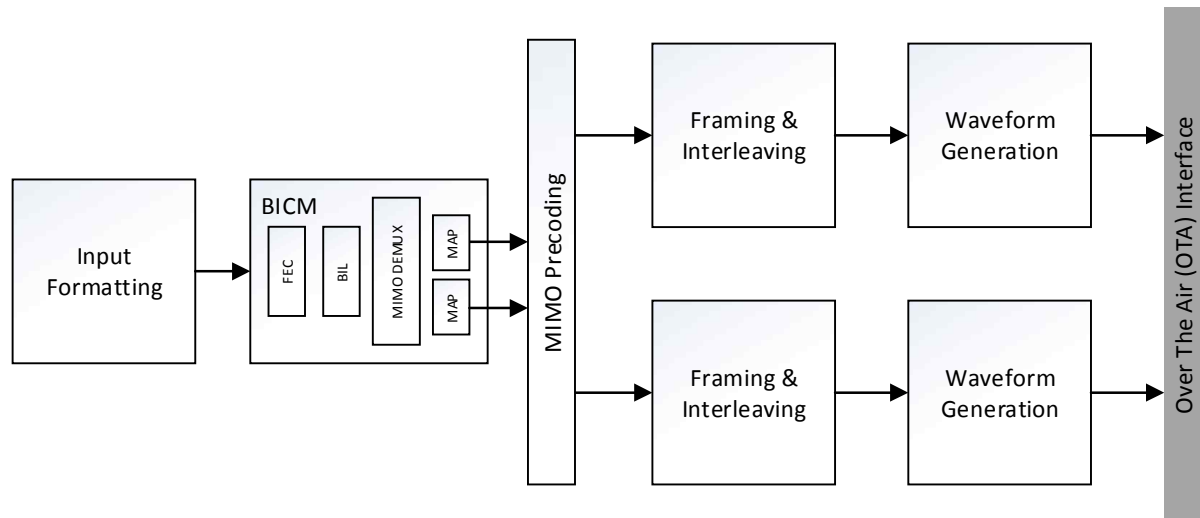


그림 J-1 MIMO 전송 시스템

MIMO 신호처리 기법은 부트스트랩, 프리앰블, 시그널링에는 적용되지 않으며, 단지 데이터 신호에 대해서만 적용된다. 또한 MIMO 기술은 ACE 기법과 LDM 기법과 같이 사용되지 않는다.

J.2. FEC 부호화

6.1에서 기술된 FEC 부호를 동일하게 이용한다.

J.3. 비트 인터리빙

6.2에서 기술된 비트 인터리빙 기법을 이용한다.

J.4. MIMO 역다중화

MIMO 역다중화 기법은 비트 인터리버 출력 비트를 2개의 성상 매퍼에 분산하여

전달하며, FEC 프레임 크기 (예, $N_{inner} = 16200/64800$)에 상관없이 홀수 번째 비트는 첫 번째 전송 안테나 부분에 전달되며, 짝수 번째 비트는 두 번째 전송 안테나 부분에 전달된다.

J.5. 성상 기법

6.3절에 기술된 동일한 성상도를 이용하며 2개의 송신 안테나에 동일한 성상을 적용한다. MIMO L1 시그널링은 성상도 차수를 전송하는 SISO 시스템과 다르게 표 J-1에 나타나는 셀 유닛 당 비트 수 (bpcu) 정보를 전송한다.

표 J-1 셀 유닛 당 비트 수 (bpcu)

Bits per Cell Unit (bpcu)	MIMO Modulation	
	Tx1	Tx2
4	Tx1	QPSK
	Tx2	QPSK
8	Tx1	16QAM
	Tx2	16QAM
12	Tx1	64QAM
	Tx2	64QAM
16	Tx1	256QAM
	Tx2	256QAM
20	Tx1	1024QAM
	Tx2	1024QAM
24	Tx1	4096QAM
	Tx2	4096QAM

J.6. MIMO-LDM 을 위한 성상 기법

지상파 UHDTV 물리계층 시스템에는 적용되지 않는다.

J.7. MIMO 프리코더

MIMO 프리코더는 한 쌍의 셀 심볼 (X_{2i}, X_{2i+1})을 입력 받아 동작하며, 동시에 프리코딩된 한 쌍의 셀 심볼 (S_{2i}, S_{2i+1})을 출력한다. 다음으로 프리코딩된 셀 심볼 S_{2i} 과 S_{2i+1} 은 각각 첫 번째 전송 안테나와 두 번째 전송 안테나에 전달된다. 그림 J-2는 MIMO 프리코더 입출력 블록도를 나타낸다. MIMO 프리코더는 부트스트랩과 프리앰블에는 적용되지

않으며, 단지 데이터 심볼에만 적용된다.

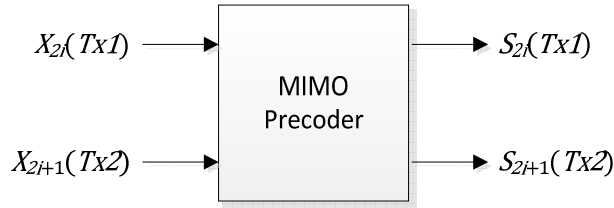


그림 J-2 MIMO 프리코더 입출력 블록도

그림 J-3는 스트림 결합 (Stream Combining), I/Q 편파 인터리빙 (IQ Polarization Interleaving), 위상 호핑 (Phase Hopping)등 3개의 블록으로 구성된 MIMO 프리코더의 세부 블록도 구성을 나타낸다.

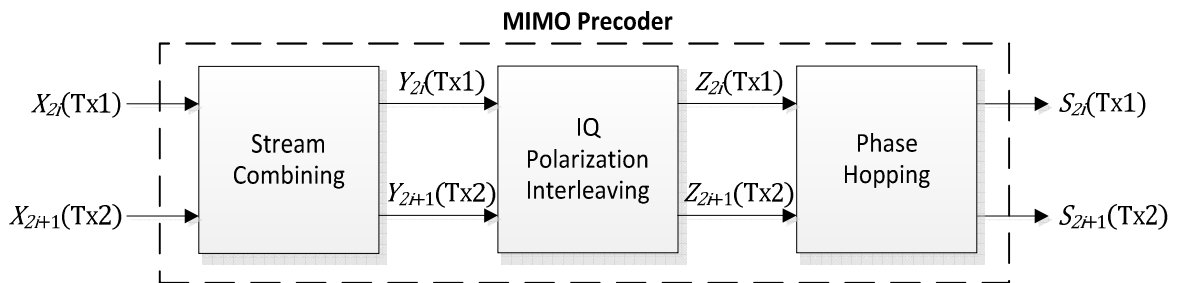


그림 J-3 MIMO 프리코더의 세부 블록도 구성도

그림 J-3의 각 세부 블록은 PLP 수준에서 선택적으로 동작될 수 있으며, 각 블록간 입출력 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_{2i}(Tx1) &= Z_{2i}(Tx1) = Y_{2i}(Tx1) = X_{2i}(Tx1) \\
 S_{2i+1}(Tx2) &= Z_{2i+1}(Tx2) = Y_{2i+1}(Tx2) = X_{2i+1}(Tx2)
 \end{aligned}$$

다음은 그림 J-3의 각 세부 블록에 대한 구체적인 입출력 동작에 대한 설명이다.

J.7.1. 스트림 결합

스트림 결합 동작은 다음과 같이 행렬 연산을 통해 수행된다.

$$\begin{bmatrix} Y_{2i}(\text{Tx1}) \\ Y_{2i+1}(\text{Tx2}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{2i}(\text{Tx1}) \\ X_{2i+1}(\text{Tx2}) \end{bmatrix}$$

여기서 θ 는 회전각을 의미하며, 각 PLP에서 사용된 부호율과 변조 차수에 따라 다르게 설정 및 적용된다. 표 J-2 부호율과 성상 차수에 따른 회전각을 정의한다.

표 J-2 부호율과 변조 차수에 따른 회전각

MIMO Code Rate	MIMO Modulation Order					
	4bpcu (QPSK pairs)	8bpcu (16QAM pairs)	12bpcu (64QAM pairs)	16bpcu (256QAM pairs)	20bpcu (1kQAM pairs)	24bpcu (4kQAM pairs)
2/15	0°	0°	0°	0°	0°	0°
3/15	0°	0°	0°	0°	0°	0°
4/15	0°	0°	0°	0°	0°	0°
5/15	0°	0°	0°	0°	0°	0°
6/15	5°	0°	0°	0°	0°	0°
7/15	5°	0°	0°	0°	0°	0°
8/15	20°	0°	0°	0°	0°	0°
9/15	20°	0°	0°	0°	0°	0°
10/15	35°	0°	0°	0°	0°	0°
11/15	35°	5°	0°	0°	0°	0°
12/15	35°	5°	0°	0°	0°	0°
13/15	45°	5°	0°	0°	0°	0°

J.7.2. I/Q 편파 인터리빙

I/Q 편파 인터리버는 한 쌍의 입력 셀에 대해 각 셀의 I 성분과 Q 성분을 상호 교환함으로써 간단히 동작된다. 다음은 동작 수식부를 나타낸다.

$$\begin{aligned} Z_{2i}(\text{Tx1}) &= \text{Re}\{Y_{2i}(\text{Tx1})\} + j \cdot \text{Im}\{Y_{2i+1}(\text{Tx2})\} \\ Z_{2i+1}(\text{Tx2}) &= \text{Re}\{Y_{2i+1}(\text{Tx2})\} + j \cdot \text{Im}\{Y_{2i}(\text{Tx1})\} \end{aligned}$$

J.7.3. 위상 호핑

위상 호핑은 2번째 안테나를 통해 전송되는 신호의 위상을 회전시키는 동작으로 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} S_{2i}(\text{Tx1}) &= Z_{2i}(\text{Tx1}) \\ S_{2i+1}(\text{Tx2}) &= e^{j\phi^{(i)}} \cdot Z_{2i+1}(\text{Tx2}) \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} S_{2i}(Tx1) \\ S_{2i+1}(Tx2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\phi(i)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{2i}(Tx1) \\ X_{2i+1}(Tx2) \end{bmatrix}$$

여기서 ϕ 는 위상 회전각을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\phi(i) = \frac{2\pi}{N}i, (N = 9), i = 0, \dots, \frac{N_{\text{cells}}}{2} - 1$$

여기서 N_{cells} 은 FEC 프레임당 셀 개수를 나타내며, 위상 회전은 매 FEC 입력에서 '0'으로 초기화되며 매 한 쌍의 셀에 대해 $2\pi/9$ 만큼씩 증가된다

J.8. 시간 인터리버

MIMO에서 각 경로에 적용되는 시간 인터리버 동작 및 크기는 7.1절에서 설명된 SISO 시스템 시간 인터리버와 동일하며, MIMO 프리코딩 후 적용된다.

J.9. 프레임

MIMO에 적용되는 프레임은 다음과 같다.

- TDM (7.2.7.3 절)
- FDM (7.2.7.5 절)
- TFDm (7.2.7.6 절)

J.10. 주파수 인터리버

MIMO에서 각 경로에 적용되는 주파수 인터리버 동작 및 크기는 7.3절에서 설명된 SISO 시스템 주파수 인터리버와 동일하다.

J.11. 파일럿 패턴

J.11.1. 파일럿 안테나 인코딩

MIMO에서 적용되는 파일럿은 분산 파일럿, 연속 파일럿, 엣지 파일럿, 부프레임 경계 파일럿 등 그룹 1과 그룹 2로 구성되며, 이때 각 그룹은 각 안테나에 상응한다. 여기서, 그룹 1에 적용하는 파일럿 패턴은 SISO 시스템과 동일하며, 그룹 2에 적용되는 파일럿은 SISO시스템에서 적용된 파일럿을 변형하여 적용한다. 다음은 MIMO에 적용될 수 있는 파일럿 안테나 인코딩 알고리즘을 보이며, 각 프레임에서 하나의 알고리즘만 적용된다.

- Walsh-Hadamard 인코딩
- 널 파일럿 (Null Pilots) 인코딩

J.11.1.1. Walsh-Hadamard 인코딩

Walsh-Hadamard 인코딩을 이용한 MIMO 분산 파일럿, 연속 파일럿, 엣지 파일럿, 부프레임 경계 파일럿 설계에서 그룹 1에 적용하는 파일럿 패턴은 SISO 시스템과 동일하게 적용하고, 그룹 2에 적용하는 파일럿 패턴은 그룹 1의 파일럿 부호를 반전시켜 적용한다.

다음은 그룹 1 분산 파일럿 패턴을 기반한 그룹 2의 분산 파일럿을 생성하는 방법이다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 \cdot (-1)^{\frac{k}{D_X}} \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right)$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

다음은 그룹 2의 연속 파일럿을 생성하는 방법이다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 \cdot (-1)^{k/D_X} \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \quad \text{for } k \bmod D_X = 0$$

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2 \cdot A_{CP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \quad \text{otherwise}$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

여기서 분산 파일럿과 겹치지 않는 연속 파일럿에 대해서는 그룹 1과 동일하게 부호를 반전시키지 않는다. 반면에 분산 파일럿과 겹치는 연속 파일럿에 대해서는 겹치는 분산 파일럿의 부호를 반전 시킨다.

다음은 그룹 2의 엣지 파일럿을 생성하는 방법으로 홀수 번째 OFDM 심볼에 대해서 그룹 1의 엣지 파일럿의 부호를 반전시켜 사용한다.

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} &= 2 \cdot (-1)^l \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \\ \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0\end{aligned}$$

그룹 2의 부프레임 경계 파일럿을 생성하는 방법은 다음과 같이 분산 파일럿 생성 방법과 동일하게 적용된다.

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} &= 2 \cdot (-1)^{\frac{k}{D_X}} \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \\ \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0\end{aligned}$$

J.11.1.2. 널 파일럿 인코딩

널 파일럿 인코딩은 분산 파일럿, 연속 파일럿, 엣지 파일럿, 부프레임 경계 파일럿 등에 적용되며, 그룹 1과 그룹 2중 교대로 한쪽 그룹에만 파일럿을 삽입하는 방법으로 Walsh-Hadamard 인코딩을 이용한 파일럿 형성에서 발생하는 파일럿 간 중첩 현상이 없다. 이때 삽입된 파일럿의 크기는 Walsh-Hadamard 인코딩 방법과 비교 시 3dB 더 크다.

다음은 분산 파일럿 패턴 생성시 그룹 1에서 널 파일럿 생성을 보인다.

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} &= \sqrt{2} \cdot \left(1 + (-1)^{\frac{k}{D_X D_Y} + \frac{(D_Y-1)l}{D_Y}}\right) \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right) \\ \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} &= 0\end{aligned}$$

아래 수식은 그룹 2에서 널 파일럿 생성을 보인다.

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = \sqrt{2} \cdot \left(1 + (-1)^{\frac{k}{D_X D_Y} + \frac{(D_Y-1)l}{D_Y} + 1}\right) \cdot A_{SP} \cdot \left(\frac{1}{2} - r_{l,k}\right)$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

J.11.2. 파일럿 기법

표 J-3 은 SISO 에서 정의된 분산 파일럿 패턴을 기반하여 MIMO에서 적용되는 분산 파일럿 패턴 12가지를 정의한다. 표 J-3 에서 MP $\mathbf{a}_\mathbf{b}$ 는 $\mathbf{a} = D_X$ $\mathbf{b} = D_Y$ 를 의미한다. 그림 J-4부터 J-15와 그림 J-16부터 J-27은 각각 Walsh-Hadamard 인코딩과 널 파일럿 인코딩에서의 분산 파일럿 패턴을 도식화하여 보인다.

표 J-3 MIMO 파일럿 패턴

MIMO Pilot Scheme	Equivalent SISO Pilot Scheme	D_X	D_Y
MP3_2	SP3_2	3	2
MP3_4	SP3_4	3	4
MP4_2	SP4_2	4	2
MP4_4	SP4_4	4	4
MP6_2	SP6_2	3	2
MP6_4	SP6_4	3	4
MP8_2	SP8_2	8	2
MP8_4	SP8_4	8	4
MP12_2	SP12_2	12	2
MP12_4	SP12_4	12	4
MP16_2	SP16_2	16	2
MP16_4	SP16_4	16	4

표 J-4는 FFT 크기, 보호구간 조합에 따른 분산 파일럿 패턴을 정의하며, N/A는 사용되지 않는 조합을 의미한다.

표 J-4 FFT 크기, 보호구간 조합에 따른 분산 파일럿 패턴

GI Pattern	Samples	8K FFT	16K FFT	32K FFT
GI1_192	192	MP16_2, MP16_4, MP8_2, MP8_4	MP16_2, MP16_4	MP16_2
GI2_384	384	MP8_2, MP8_4, MP4_2, MP4_4	MP16_2, MP16_4, MP8_2, MP8_4	MP16_2
GI3_512	512	MP6_2, MP6_4, MP3_2, MP3_4	MP12_2, MP12_4, MP6_2, MP4_4	MP12_2
GI4_768	768	MP4_2, MP4_4,	M8_2, M8_4, MP4_2, MP4_4	MP16_2, MP8_2
GI5_1024	1024	M3_2, MP3_4,	MP6_2, MP6_4, MP3_2, MP3_4	MP12_2, MP6_2
GI6_1536	1536	N/A	MP4_2, MP4_4,	MP8_2, MP4_2
GI7_2048	2048	N/A	MP3_2, MP3_4,	MP6_2, MP3_2
GI8_2432	2432	N/A	MP3_2, MP3_4,	MP6_2, MP3_2
GI9_3072	3072	N/A	N/A	MP_2
GI10_3648	3648	N/A	N/A	MP3_2,
GI11_4096	4096	N/A	N/A	MP3_2
GI12_4864	4864	N/A	N/A	MP3_2

J.11.2.1. Walsh-Hadamard

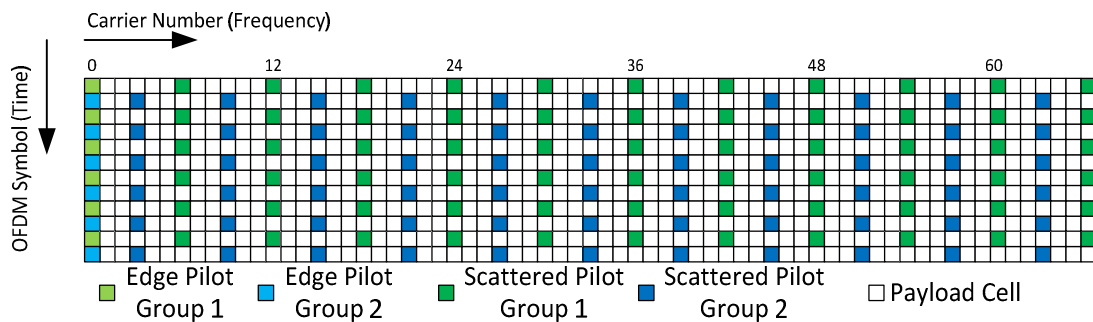


그림 J-4 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP3_2

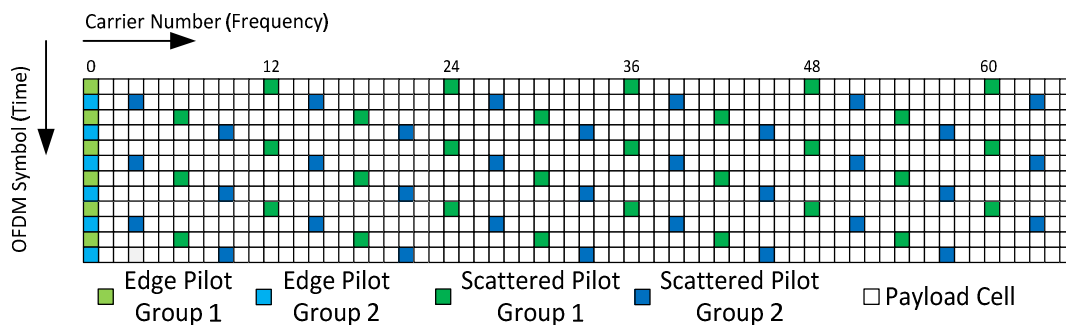


그림 J-5 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP3_4

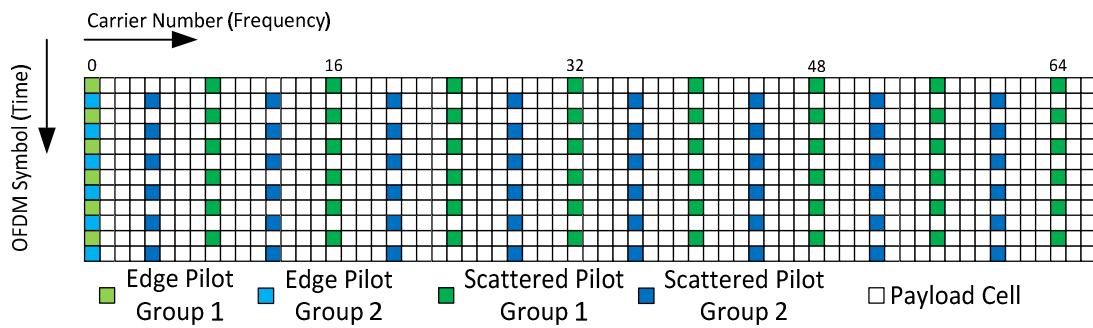


그림 J-6 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP4_2

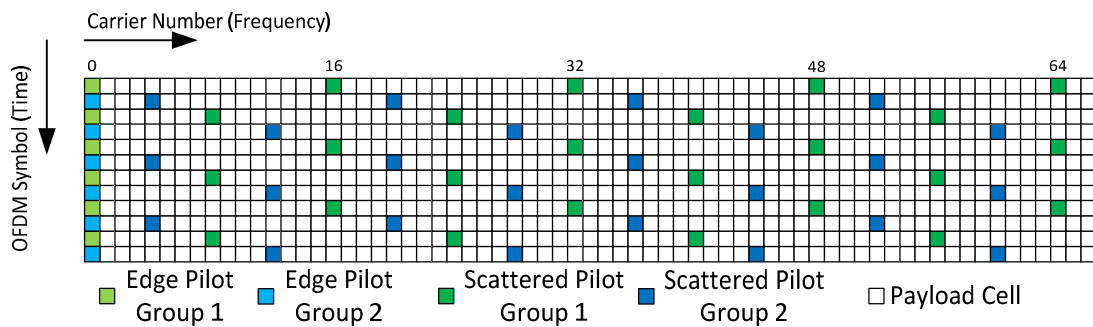


그림 J-7 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP4_4

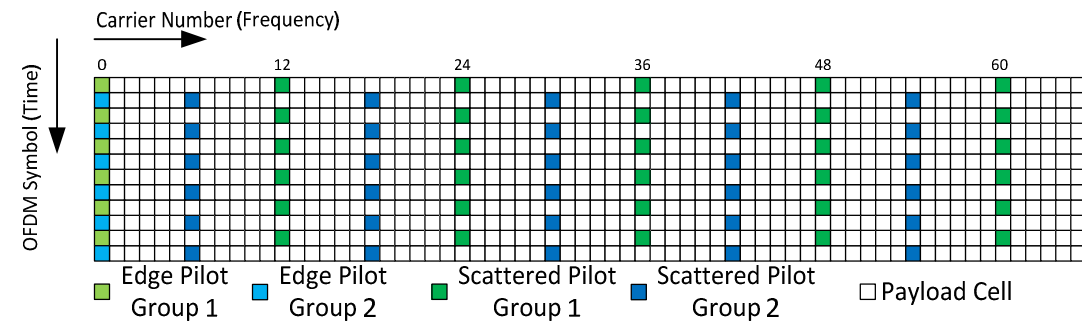


그림 J-8 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP6_2

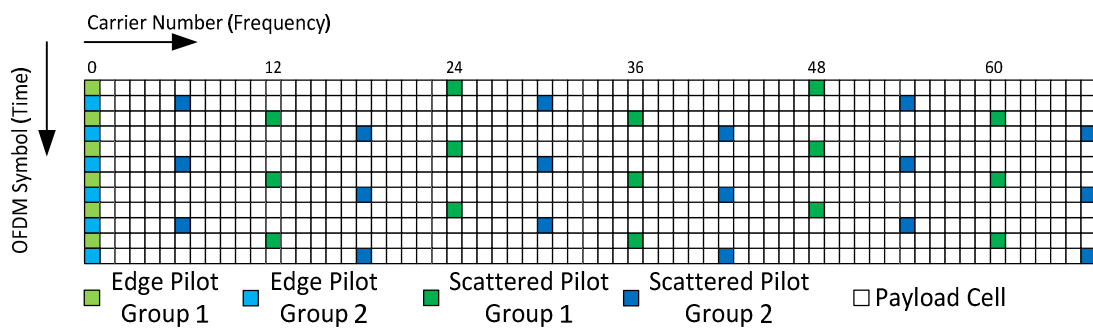


그림 J-9 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP6_4

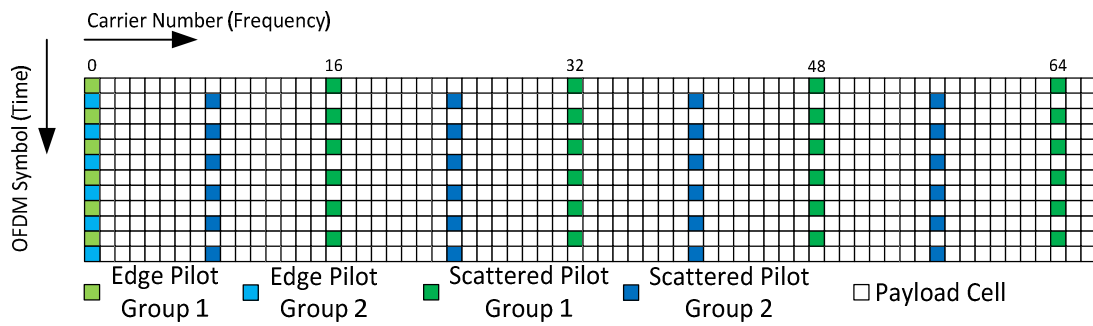


그림 J-10 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP8_2

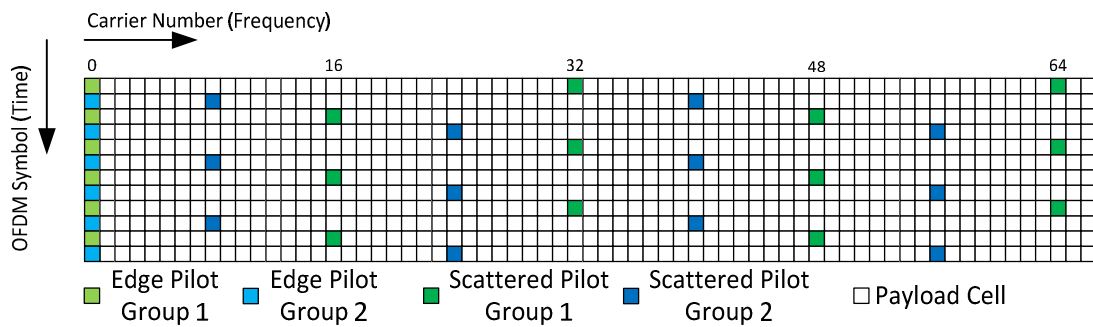


그림 J-11 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP8_4

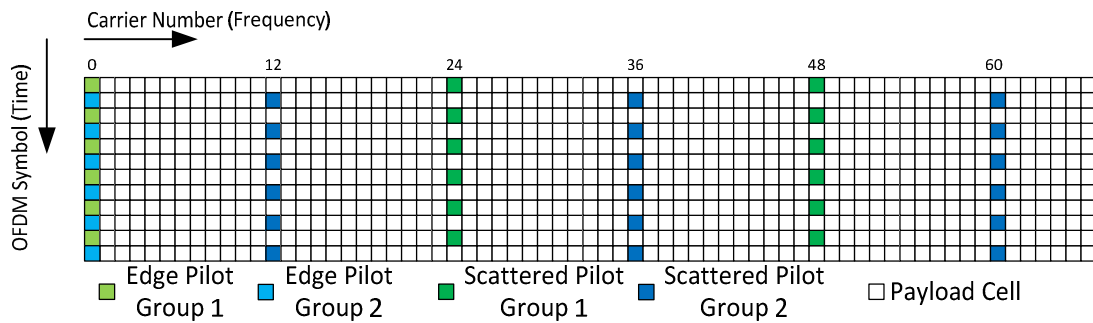


그림 J-12 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP12_2

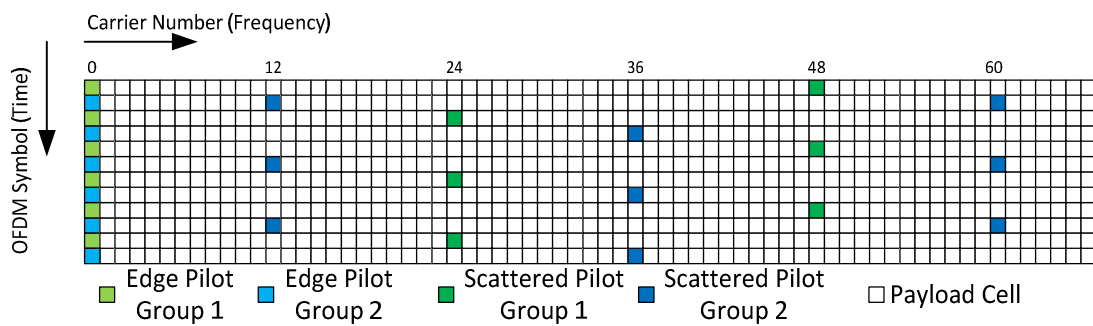


그림 J-13 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP12_4

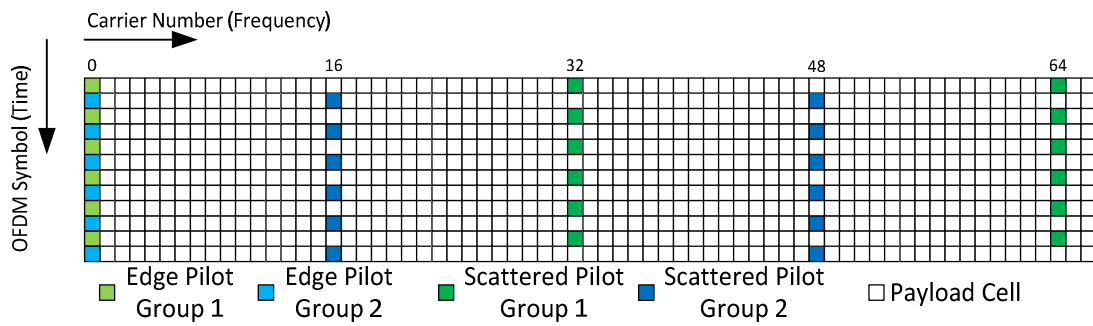


그림 J-14 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP16_2

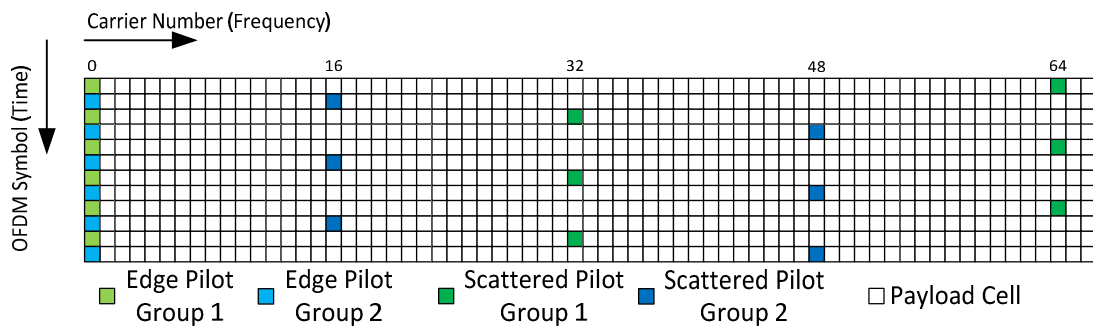


그림 J-15 Walsh-Hadamard 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP16_4

J.11.2.2. 널 파일럿

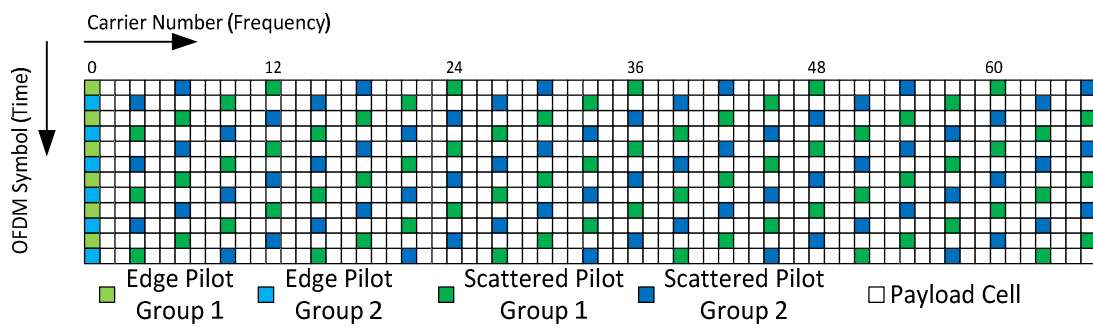


그림 J-16 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP3_2

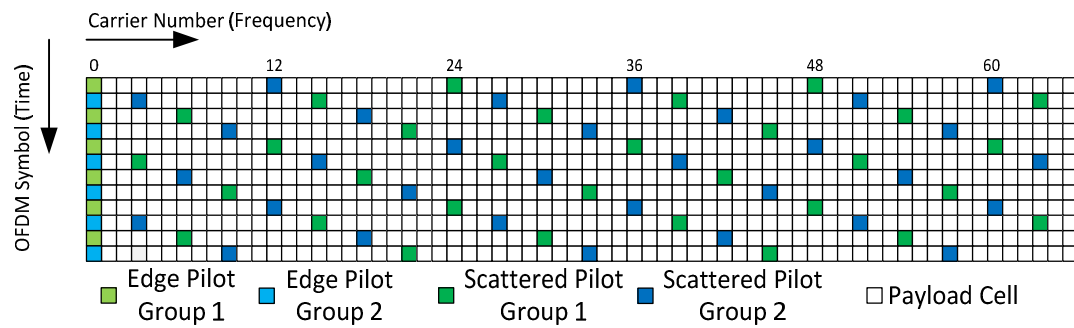


그림 J-17 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP3_4

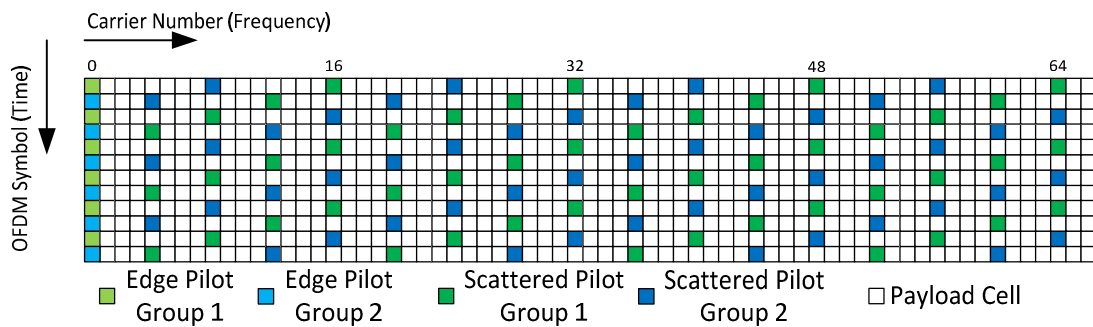


그림 J-18 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP4_2

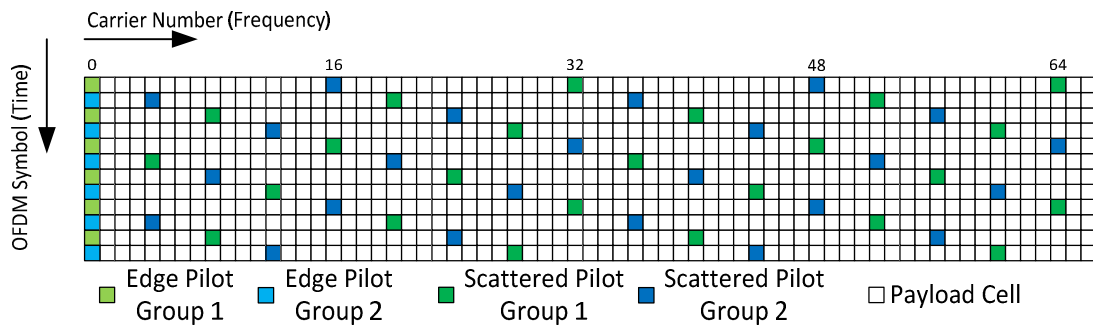


그림 J-19 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP4_4

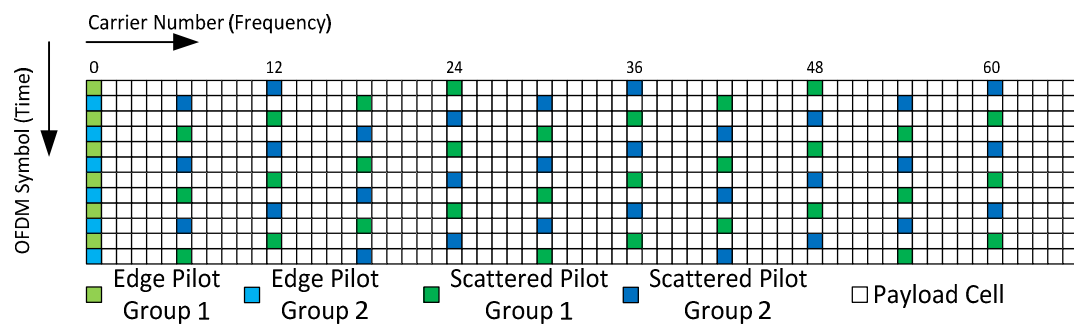


그림 J-20 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP6_2

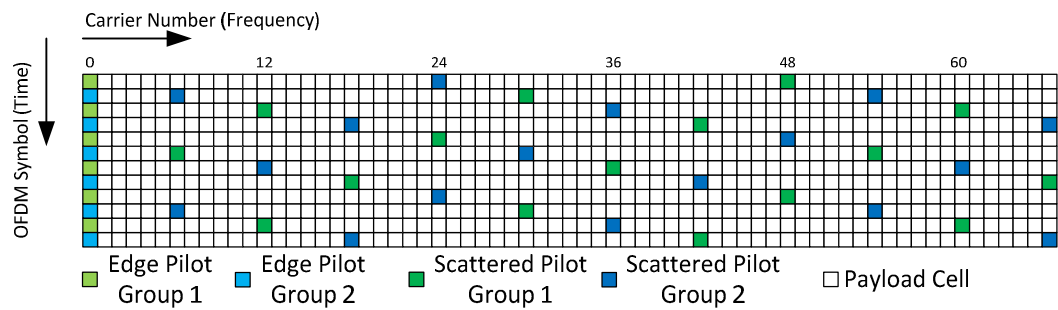


그림 J-21 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP6_4

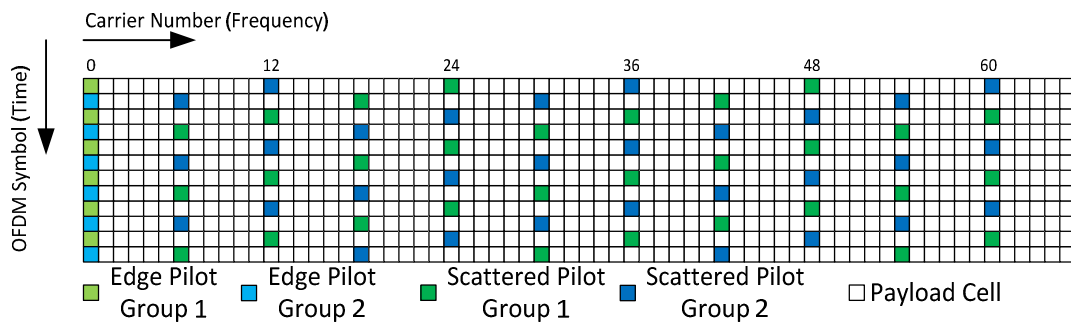


그림 J-22 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP8_2

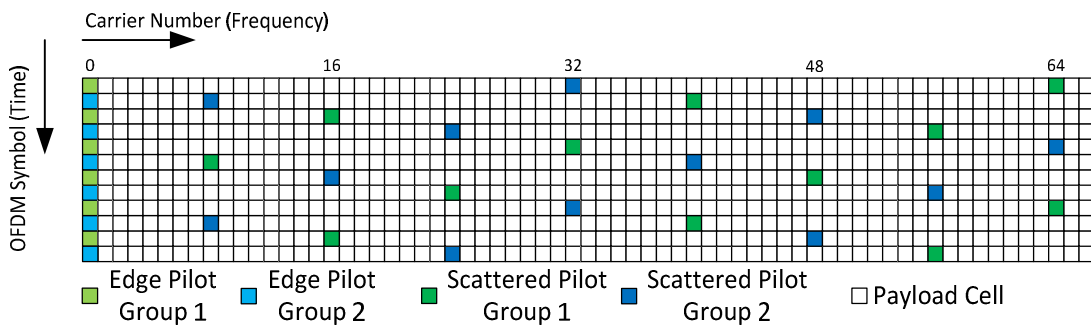


그림 J-23 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP8_4

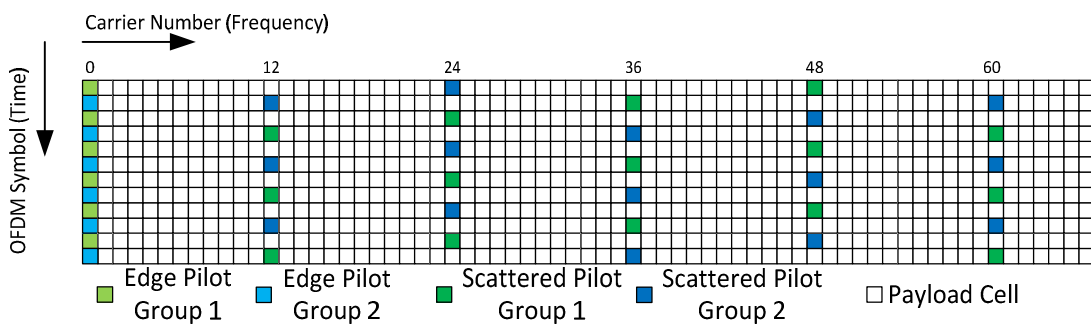


그림 J-24 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP12_2

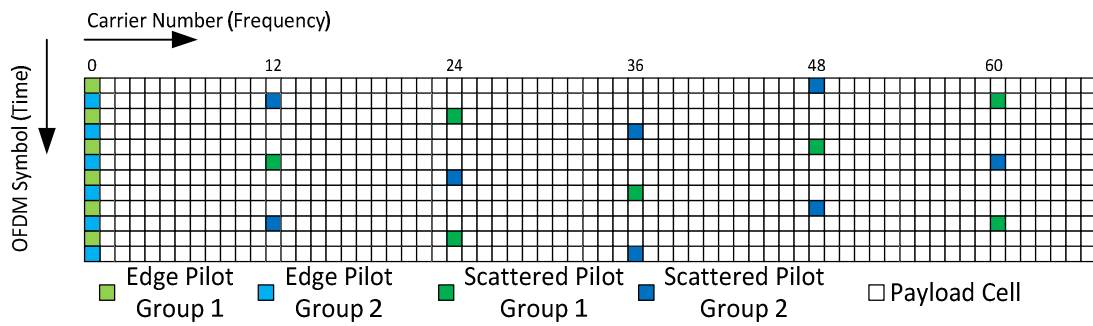


그림 J-25 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP12_4

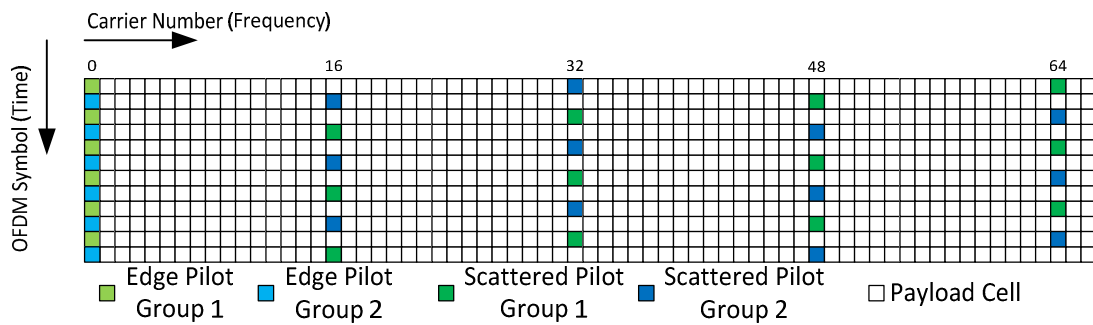


그림 J-26 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP16_2

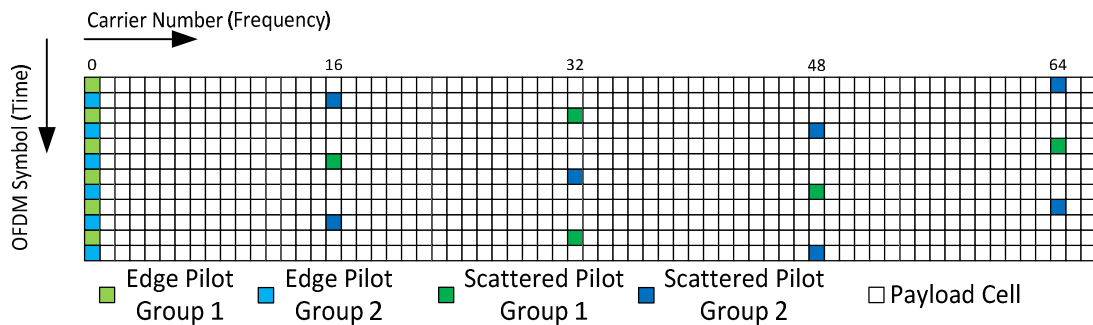


그림 J-27 널 파일럿 인코딩 MIMO 분산 파일럿 패턴: MP16_4

K. PAPR 알고리즘

K.1. PAPR 알고리즘

PAPR을 감소시키기 위해서 사용되는 특정 알고리즘은 TX 장비 제조업체가 자신의 장비에 구현하기 가장 적합한 방법을 사용한다. 참고로, K.2 절은 톤 예약에 대한 가능한 알고리즘 (TR)을 설명하고, K.3 절은 ACE에 대한 가능한 알고리즘을 설명한다.

K.2. TR 알고리즘

톤 예약 방법은 신호의 피크를 감소시키기 위해 N_{TR} 개의 예약 톤 세트를 가지고 있다.

다음 정의는 TR 알고리즘 설명에 사용된다.

n : 샘플 색인, $0 \leq n < N_{FFT}$

i : 톤 예약 방법의 반복 횟수

x_n : 톤 예약 방법에서 기저대역 시간영역 입력의 n 번째 샘플

x'_n : 톤 예약 방법에서 기저대역 시간영역 출력의 n 번째 샘플

$c_n^{(i)}$: 톤 예약 방법의 i 번째 반복 실행에서 시간영역 피크 제거 신호의 n 번째 샘플

$r_k^{(i)}$: 부반송파 색인이 k 인 예약 톤의 i 번째 반복 실행에서의 변조 신호

p_n : 아래 수식에 의해서 정의되는 기준 커널 신호의 n 번째 샘플

$$p_n = \frac{1}{N_{TR}} \sum_{k \in S_l} e^{j \frac{2\pi m(k-K_c)}{N_{FFT}}}$$

여기서, l 은 OFDM 심볼의 색인이고, S_l 은 l 번째 OFDM 심볼을 위한 예약 톤의 집합이고, $K_c = (K_{\max} + K_{\min})/2$ 는 DC 부반송파를 나타내는 색인이다.

기준 커널 신호는 예약 톤 색인의 부반송파 위치에 1을 삽입하고 역 푸리에 변환으로 계산된다.

PAPR 알고리즘에 대하여 설명한다.

- 초기화

피크 감소 신호에 대한 초기 값은 0으로 설정된다.

$$c_n^{(0)} = 0, \quad 0 \leq n < N_{FFT}$$

$$r_k^{(0)} = 0, k \in S_I$$

- 반복 수행

1) i 는 1 부터 시작한다.

2) i 번째 반복 에서 $x_n + c_n^{(i-1)}$ 의 최대 크기 값을 찾고, 이때 최대 값은 크기 $y^{(i)}$ 와 위상 $m^{(i)}$ 로 나타낸다.

$$\begin{cases} y^{(i)} = \max_n |x_n + c_n^{(i-1)}| \\ m^{(i)} = \arg \max_n |x_n + c_n^{(i-1)}| \end{cases}, \quad \text{for } n = 0, 1, \dots, N_{FFT} - 1,$$

$y^{(i)}$ 는 정해진 클리핑 크기(V_{clip})보다 작거나 같으면, i 에서 1를 감소하고 9 번째 단계로 이동한다.

3) 피크가 제거될 수 있는 방향의 단위 크기 신호 $u^{(i)}$ 를 계산한다.

$$u^{(i)} = \frac{x_{m^{(i)}} + c_{m^{(i)}}^{(i-1)}}{y^{(i)}}$$

- 4) 각 예약 톤에서 다음과 같이 허용된 최대 값 $A_{\max} = \frac{5\sqrt{10} \times N_{\text{TR}}}{\sqrt{27K_{\text{total}}}}$ 을 초과하지 않는 예약 톤 진폭을 적용할 수 있는 최대 크기 교정값 $\alpha_k^{(i)}$ 를 계산한다

$$\alpha_k^{(i)} = \sqrt{A_{\max}^2 - \text{Im}\left\{v_k^{(i)*} r_k^{(i-1)}\right\}^2 + \text{Re}\left\{v_k^{(i)*} r_k^{(i-1)}\right\}}$$

$$\text{where } v_k^{(i)} = u^{(i)} \exp\left(-\frac{j2\pi(k-K_C)m^{(i)}}{N_{\text{FFT}}}\right)$$

- 5) 모든 예약 톤이 A_{MAX} 를 초과하지 않는 범위 내에서 최대 교정값 $\alpha_k^{(i)}$ 을 찾는다.

$$\alpha^{(i)} = \min\left(y^{(i)} - V_{\text{clip}}, \min_{k \in S_l} \alpha_k^{(i)}\right)$$

만약, $\alpha^{(i)} = 0$ 이면, i 에서 1를 감소하고 9 번째 단계로 이동한다.

- 6) 순환 시프트 $m^{(i)}$ 와 크기를 기준 기준 커널 신호에서 감산하여 피크 제거 신호 $c_n^{(i)}$ 를 업데이트한다.

$$c_n^{(i)} = c_n^{(i-1)} - \alpha^{(i)} u^{(i)} p_{(n-m^{(i)}) \bmod N_{\text{FFT}}}$$

- 7) 각각의 예약 톤에 대해서 주파수 영역에서 계수값을 업데이트한다.

$$r_k^{(i)} = r_k^{(i-1)} - \alpha^{(i)} v_k^{(i)}$$

- 8) 반복 횟수 i 가 반복의 최대 허용 수보다 작은 경우에 i 를 1 증가하고 2 번째 단계로 이동한다. 그렇지 않으면, 9 번째 단계로 이동한다.

- 9) 반복 수행을 종료한다. 송신 신호는 데이터 신호에서 피크 제거 신호를 가산하여 얻어진다.

$$x'_n = x_n + c_n^{(i)}$$

K.3. ACE 알고리즘

ACE(active constellation extension)을 위해 2개 타입의 알고리즘이 제안되었고, 이는 성상도 차원 및 FEC 부호율에 따라 결정된다. 1차원 성상도 알고리즘은 K.3.1장에, 2차원 성상도 알고리즘은 K.3.2. 장에 설명되어있다. 아래 표 K-1은 변조과 부호율 조합에 따라 적용되는 ACE 알고리즘의 차원을 나타낸다.

표 K-1 변조과 부호율 조합에 따른 ACE 알고리즘 차원

부호율/ 성상도	2/15	3/15	4/15	5/15	6/15	7/15	8/15	9/15	10/15	11/15	12/15	13/15
QPSK	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
16QAM	1D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	1D	1D	1D
64QAM	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D
256QAM	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D	2D
1024QAM	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D
4096QAM	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D	1D

ACE 알고리즘은 시간 영역 신호 x_{ACE} 를 만들고, 주파수 영역 값 $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N_{FFT}-1}]$ 을 IFFT를 통해 시간 영역의 원 신호 $x = [x_0, x_1, \dots, x_{N_{FFT}-1}]$ 로 구한다.

K.3.1. 1 차원 ACE 알고리즘

1차원 ACE 알고리즘은 1차원 성상도에 쓰인다.

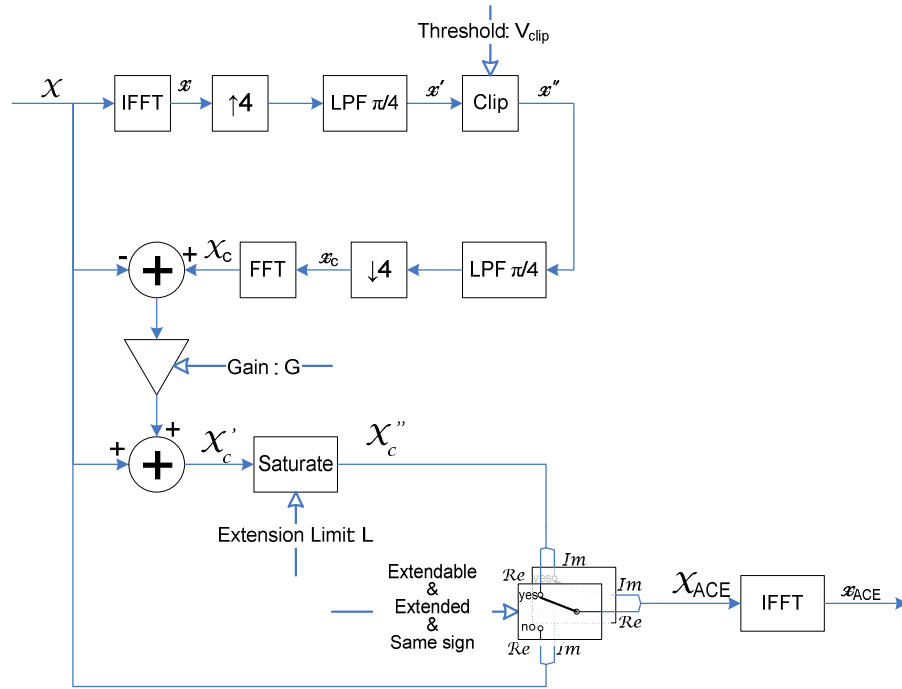


그림 K-1 1 차원 성상도를 위한 ACE 알고리즘의 구현 예

$x' = [x'_0, x'_1, \dots, x'_{N_{FFT}-1}]$ 는 x 의 4배 오버샘플링과 저역통과 필터링으로 얻어진다.

$x'' = [x''_0, x''_1, \dots, x''_{N_{FFT}-1}]$ 는 x' 에 클리핑 연산자를 적용하여 얻어진다.

클리핑 연산자는 다음과 같이 정의된다.

$$x'_k = \begin{cases} x'_k, & \text{if } |x'_k| \leq V_{\text{clip}} \\ V_{\text{clip}} \cdot \frac{x'_k}{|x'_k|}, & \text{if } |x'_k| > V_{\text{clip}} \end{cases}$$

클리핑 임계치 V_{clip} 는 ACE 알고리즘 관련 파라미터다.

$x_c = [x_{c0}, x_{c1}, \dots, x_{cN_{FFT}-1}]$ 는 x' 으로부터 저역통과 필터링 및 1/4 다운샘플링으로 얻어진다.

x_c 는 FFT 연산을 통해 x_c 로부터 구한다.

x'_c 는 다음과 같이 x_c 과 x 의 조합으로부터 구한다.

$$X'_c = X + G \cdot (X_c - X)$$

확장 이득 G 는 ACE 알고리즘의 파라미터다.

X'_c 는 최대치 L 값보다 크지 않은 각 값으로부터 실수와 허수를 구분한 포화 연산자를 사용하여 X'_c 로부터 구한다.

$$Re\{X'_{c,k}\} = \begin{cases} Re\{X'_{c,k}\}, & \text{if } |Re\{X'_{c,k}\}| \leq L; \\ L, & \text{if } Re\{X'_{c,k}\} > L; \\ -L, & \text{if } Re\{X'_{c,k}\} < -L; \end{cases}$$

$$Im\{X'_{c,k}\} = \begin{cases} Im\{X'_{c,k}\}, & \text{if } |Im\{X'_{c,k}\}| \leq L; \\ L, & \text{if } Im\{X'_{c,k}\} > L; \\ -L, & \text{if } Im\{X'_{c,k}\} < -L; \end{cases}$$

최대치 L 는 ACE 알고리즘의 파라미터다.

X_{ACE} 는 X , X'_c 값으로부터 실수와 허수의 구분한 값으로 구성되어 있다.

$$Re\{X_{ACE,k}\} = \begin{cases} \text{if } Re\{X_k\} \text{ is extendable} \\ Re\{X'_{c,k}\}, & \text{AND } |Re\{X'_{c,k}\}| \leq |Re\{X_k\}| \\ & \text{AND } Re\{X'_{c,k}\} \cdot Re\{X_k\} > 0 \\ Re\{X_k\}, & \text{else} \end{cases}$$

$$Im\{X_{ACE,k}\} = \begin{cases} \text{if } Im\{X_k\} \text{ is extendable} \\ Im\{X'_{c,k}\}, & \text{AND } |Im\{X'_{c,k}\}| \leq |Im\{X_k\}| \\ & \text{AND } Im\{X'_{c,k}\} \cdot Im\{X_k\} > 0 \\ Im\{X_k\}, & \text{else} \end{cases}$$

x_{ACE} 는 IFFT 연산을 통해 X_{ACE} 로부터 구한다. 다음 2가지 경우에 해당 셀이 확장 가능하게 새롭게 정의된다.

- (1) 활성화된 셀 중에서 각 구성요소의 절대값이 해당 셀의 변조 성상도와 관련된 최대값보다 크거나 같을 경우
- (2) 각 구성 값이 부프레임 경계 심볼 내의 더미 셀(dummy cell) 또는 널 셀(null cell) 일 경우

이득 G 값은 1 단위로 1에서 31 사이의 범위에서 선택해야 한다. 클리핑 임계치 V_{clip} 는 시간 영역 신호의 표준 편차에서 0.1 dB 단위로 0dB과 12.7 dB 사이의 범위에서 선택해야 한다. 최대 확장 값 L 은 0.1 단위로 0.7과 2.4 사이의 범위에서 선택해야 한다.

K.3.2. 2 차원 ACE 알고리즘

2차원 ACE 알고리즘은 2차원 성상도에 쓰인다.

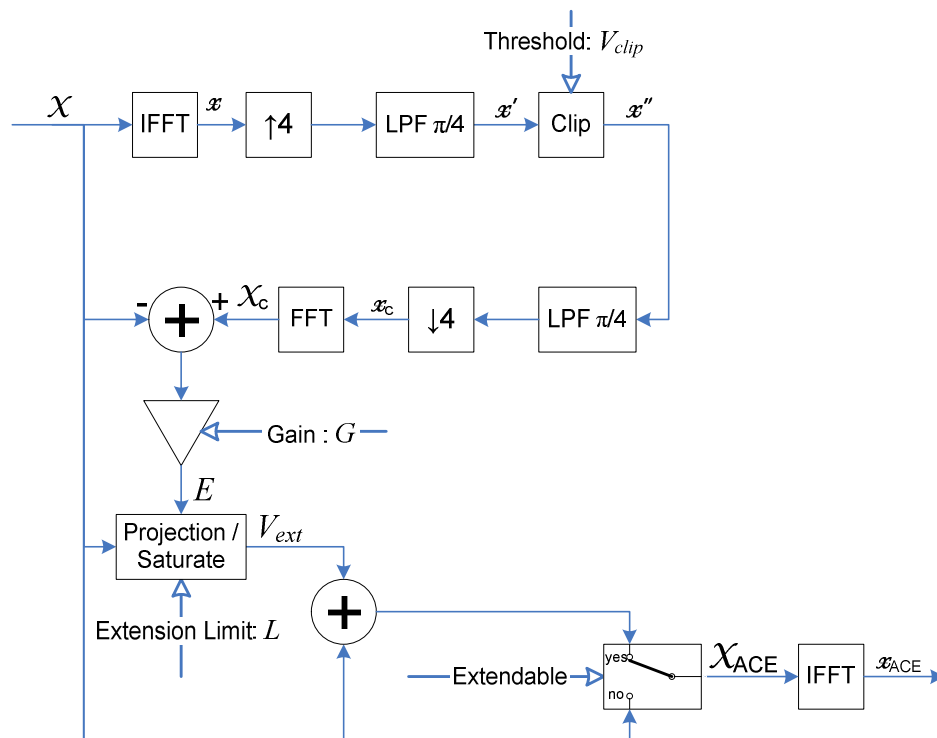


그림 K-2 2 차원 성상도를 위한 ACE 알고리즘의 구현 예

$x' = [x'_0, x'_1, \dots, x'_{N_{FFT}-1}]$ 는 4배 오버샘플링과 저역통과 필터링으로 얻어진다.

$x' = [x'_0, x'_1, \dots, x'_{N_{FFT}-1}]$ 는 x' 에 클리핑 연산자를 적용하여 얻어진다.

클리핑 연산자는 다음과 같이 정의된다.

$$x'_k = \begin{cases} x'_k, & \text{if } |x'_k| \leq V_{\text{clip}} \\ V_{\text{clip}} \cdot \frac{x'_k}{|x'_k|}, & \text{if } |x'_k| > V_{\text{clip}} \end{cases}$$

클리핑 임계치 V_{clip} 는 ACE 알고리즘 관련 파라미터다.

$x_c = [x_{c0}, x_{c1}, \dots, x_{cN_{FFT}-1}]$ 는 x' 으로부터 저역통과 필터링 및 1/4 다운샘플링으로 얻어진다.

X_c 는 FFT 연산을 통해 x_c 로부터 구한다.

오차 벡터 E 는 다음과 같이 X_c 과 X 의 조합으로부터 구한다.

$$E = G \cdot (X_c - X)$$

확장 이득 G 은 ACE 알고리즘 관련 파라미터다.

확장 벡터 V_{ext} 는 다음과 같이 구한다.

$$\arg(V_{\text{ext},k}) = \begin{cases} \frac{\theta}{2}, & \text{if } -90^\circ < \varphi_{e,k} < 90^\circ; \\ -\frac{\theta}{2}, & \text{if } -90^\circ < \varphi_{e,k} < 90^\circ; \\ \varphi_{e,k}, & \text{else} . \end{cases}$$

$$|V_{\text{ext},k}| = \begin{cases} |E_k|, & \text{if } (|E_k| \leq L - |X_k|) \text{ AND } \left(\frac{\theta}{2} < \varphi_{e,k} < 90^\circ\right) \\ L - |X_k|, & \text{if } (|E_k| > L - |X_k|) \text{ AND } \left(-90^\circ < \varphi_{e,k} < -\frac{\theta}{2}\right) \\ 0, & \text{else} \end{cases}$$

φ_e 는 참조 기호 X 와 오차 벡터 E 변수 사이의 각도를 나타낸다.

각도 θ 는 ACE 블록의 입력 파라미터이고, 2차원 성상도 값과 부호율에 따라 변한다. 그 값은 표 K-2와 같다.

표 K-2 2 차원 성상도에서 ACE 알고리즘의 각도 θ (단위 : 도)

부호율/ Cont.	2/ 15	3/ 15	4/ 15	5/ 15	6/ 15	7/ 15	8/ 15	9/ 15	10/ 15	11/ 15	12/ 15	13/ 15
16QAM	NA	33.26°	35.6°	38.5°	44.14°	44.1°	44.49°	44.49°	42.1°	NA	NA	NA
64QAM	22.96°	39.36°	41.26°	19.01°	21.17°	22.49°	22.28°	22.49°	22.4°	19.75°	18.42°	16.81°
256QAM	36.67°	40.26°	19.11°	22.47°	8.38°	11.23°	11.23°	10.93°	11.22°	10.63°	8.8°	8.34°

X_{ACE} 는 다음과 같이 신호 X 에 확장 벡터 V_{ext} 를 더하는 방식으로 구한다.

$$X_{ACE,k} = \begin{cases} X_k + V_{ext,k}, & \text{if } X_k \text{ is extendable} ; \\ X_k, & \text{else} . \end{cases}$$

x_{ACE} 는 IFFT 연산을 통해 X_{ACE} 로부터 구한다. 다음 2가지 경우에 해당 셀이 확장 가능하게 새롭게 정의된다.

- (1) 활성화된 셀 중에서 각 구성요소의 절대값이 해당 셀의 변조 성상도와 관련된 최대값보다 크거나 같을 경우
- (2) 각 구성 값이 부프레임 경계 심볼 내의 더미 셀(dummy cell) 또는 널 셀(null cell) 일 경우

이득 G 값은 1 단위로, 1에서 31 사이의 범위에서 선택해야 한다. 클리핑 임계치 V_{ϕ} 는 시간 영역 신호의 표준 편차에서 0.1 dB 단위로 0dB과 12.7 dB 사이의 범위에서 선택해야 한다. 최대 확장 값 L 은 0.1 단위로 0.7과 2.4 사이의 범위에서 선택해야 한다.

K.3.3. 2 차원 ACE 성상도 다이어그램

아래 그림은 2차원 ACE 알고리즘이 적용된 2차원 성상도 형태를 나타낸다.

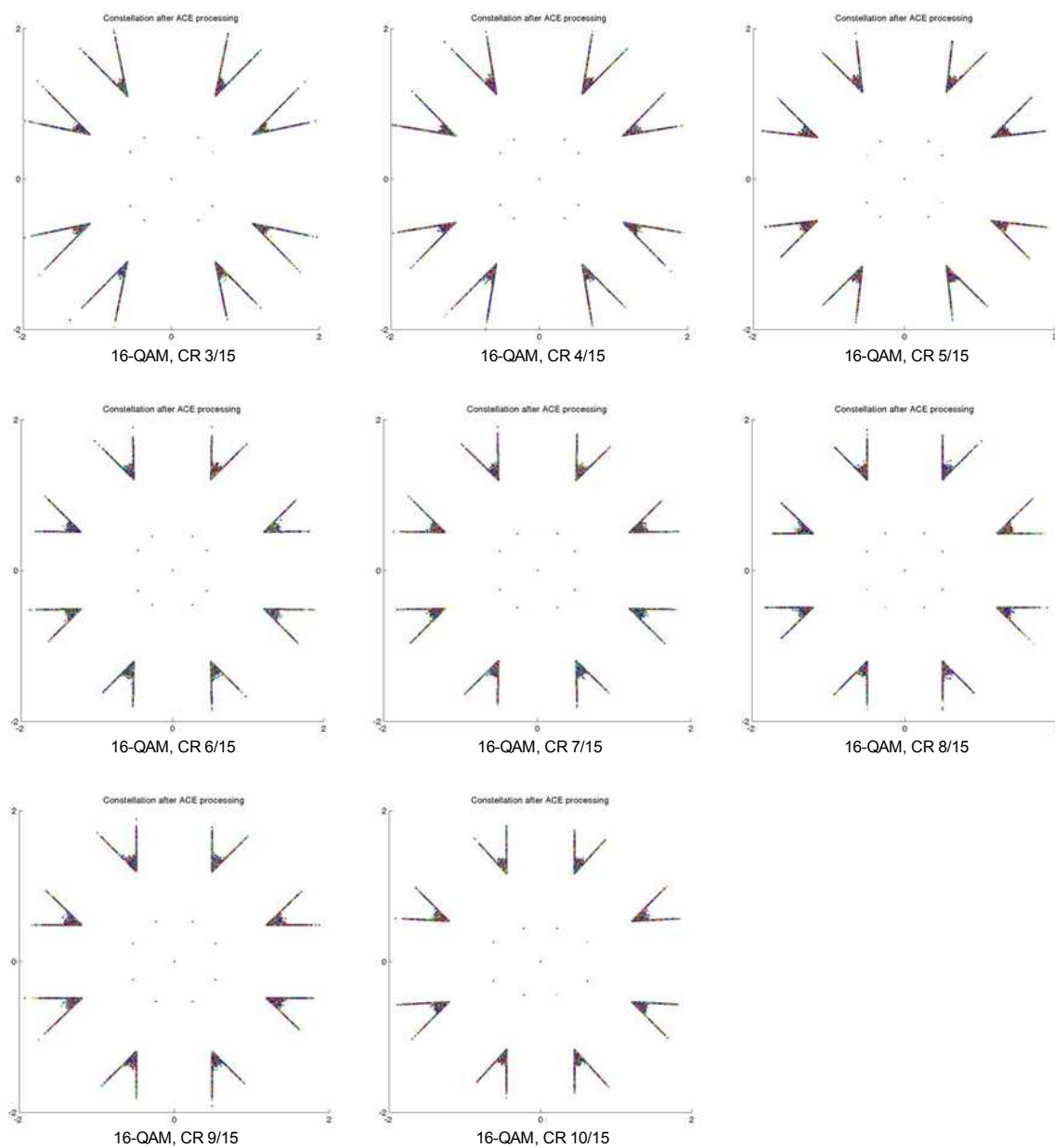


그림 K-3 ACE 알고리즘이 적용된 16QAM의 성상도 형태

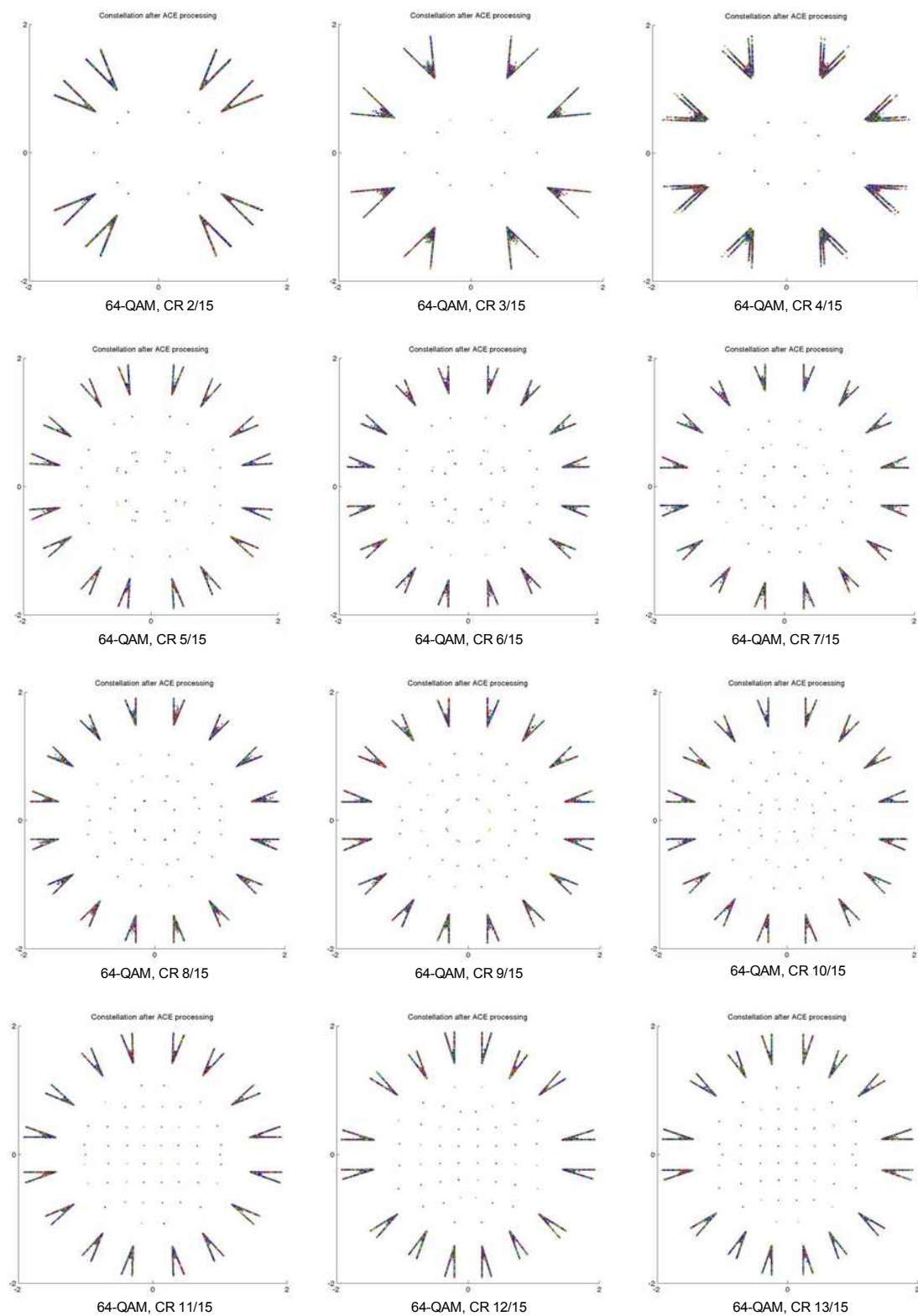


그림 K-4 ACE 알고리즘이 적용된 64QAM의 성상도 형태

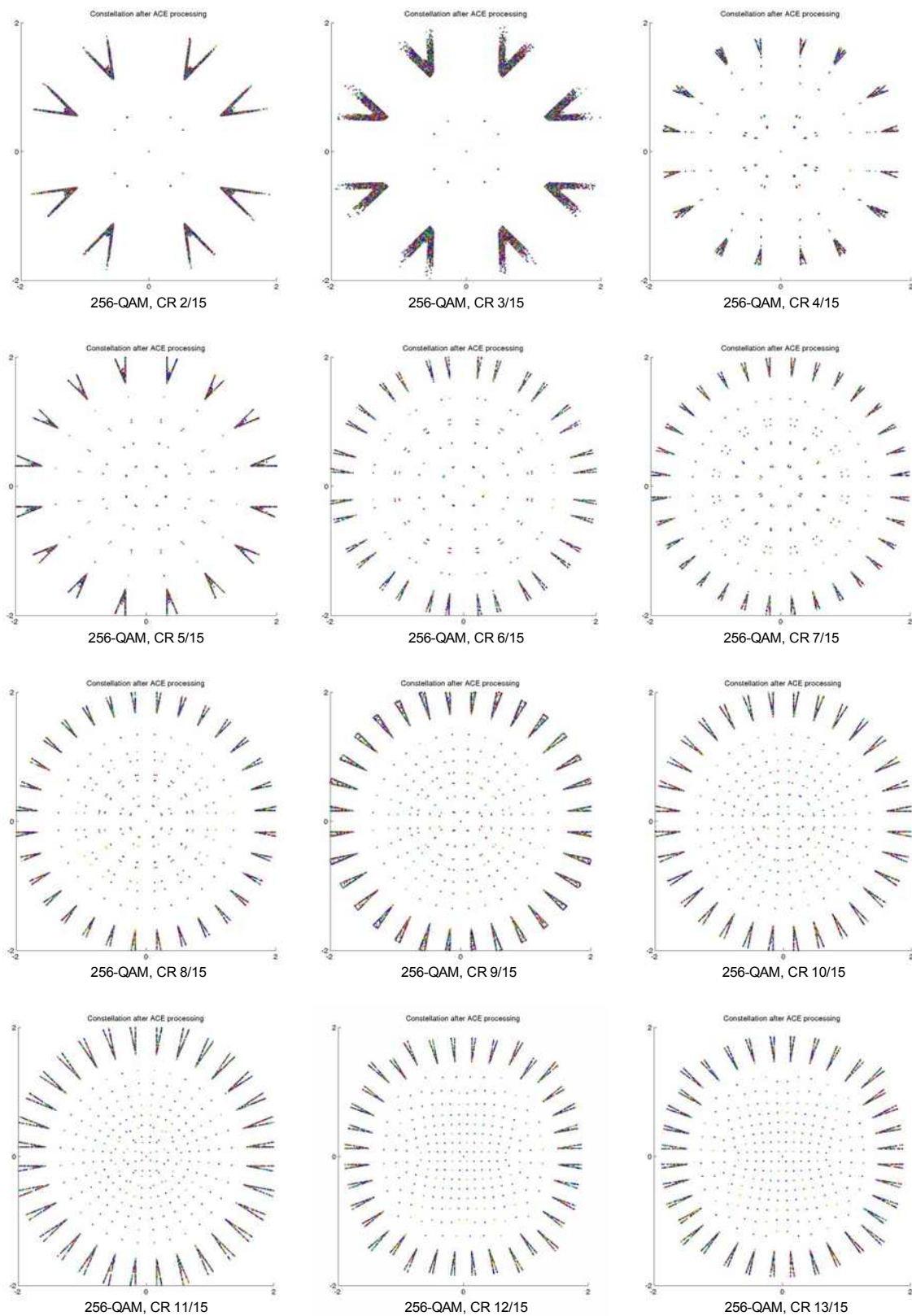


그림 K-5 ACE 알고리즘이 적용된 256QAM의 성상도 형태

차세대방송표준포럼단체표준(국문)

지상파 UHDTV 방송 송수신 정합 – 파트 4. 물리계층

(Transmission and Reception for Terrestrial UHDTV Broadcasting Service) – Part 4. Physical Layer

발행인 : 차세대방송표준포럼 의장

발행처 : 차세대방송표준포럼

06130 서울특별시 강남구 테헤란로 7 길 22 신관 1108 호

Tel : 02-568-3556, Fax : 02-568-3557

발행일 : 2016. 03. 30
