

# 5G NR-Unlicensed의 물리 계층 표준 규격과 기술 분석

정 소 연\*, 조 익 현\*, 최 수 한°

## Analysis of Physical Layer Standard Specifications and Technologies for 5G NR-Unlicensed

Soyeon Jung\*, Ikhyun Cho\*, Suhan Choi°

요 약

본 논문은 비면허대역(Unlicensed Spectrum) 서비스를 위해 3GPP Release 16에서 표준화된 5G NR(New Radio)-Unlicensed(NR-U)의 물리 계층 규격과 기술에 대해 분석한다. 특히, Release 15에서 표준화된 기본적인 NR과 비교하여 NR-U를 위해 개선된 기술에 대해서도 함께 고찰한다. 좀 더 구체적으로, NR-U를 위한 타겟 스펙트럼, NR-U의 물리 계층에서 수행되는 채널 접속 절차, 데이터 전송, 제어 신호 전송, 초기 접속 절차 등에 대해 분석한다.

**키워드** : 5G NR(New Radio), NR-U, 비면허대역(Unlicensed Spectrum), 3GPP, 물리 계층

**Key Words** : 5G NR, NR-U, unlicensed spectrum, 3GPP, physical layer

### ABSTRACT

This paper analyzes the physical layer specifications and technologies for 5G NR-U (New Radio-Unlicensed) which was standardized in 3GPP Release 16 for unlicensed spectrum services. In particular, the enhanced technologies of NR-U, compared with the basic NR standardized in Release 15, are also examined. More specifically, targeted spectrum for NR-U, channel access procedure, data transmission, control signaling, and initial access procedure, etc. performed in the physical layer of NR-U are analyzed.

### I. 서 론

2019년, 5세대 이동통신(5G)이 처음 상용화된 이후 [1] 2023년까지도 5G 기술을 활용하여 많은 종류의 서비스를 지원하기 위해 다양한 기술들이 논의되고 있다. 특히 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 Release 15에서 면허대역(Licensed Spectrum)을 가정하고 표준화된 5G NR(New Radio) 기술을 비면허대역

(Unlicensed Spectrum)에서도 사용할 수 있도록 하기 위해 기존의 NR에서 향상된 NR-U(New Radio-Unlicensed) 기술을 Release 16에서 표준화하였다.[2] 비면허대역은 면허대역과 달리 누구나 별도의 사용료 없이 범용으로 이용할 수 있도록 허용되어 있다.[3] 따라서, 비면허대역에서는 여러 다양한 송수신기들이 한정된 주파수 자원을 공유하며 통신하기 위해 채널 점유 시간(COT: Channel Occupancy Time), PSD(Power

\* 이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00590, 5G 다중 대역을 지원하는 산업용 스물셀 시스템 개발)

• First Author : Dankook Univ., Department of Computer Science and Engineering, jungsy@dankook.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Dankook Univ., Department of Mobile Systems Engineering, suhanc@dankook.ac.kr, 정회원

\* Dankook Univ., Department of AI-based Convergence, 32174315@dankook.ac.kr

논문번호 : 202305-112-B-RN, Received May 31, 2023; Revised June 27, 2023; Accepted June 27, 2023

Spectral Density) 제한과 같은 규제들이 존재한다.<sup>[2]</sup> 이러한 규제들로 인해 기존 Release 15의 NR 표준을 그대로 NR-U에 적용할 수 없으므로 NR-U를 위한 새로운 표준 기술이 필요하게 되었다.<sup>[4]</sup>

4G 기술인 3GPP LTE(Long Term Evolution)에서는 UP(User Plane) 전송 용량을 늘리기 위해 비면허대역을 사용하는 LTE-LAA(Licensed Assisted Access)에 대한 표준화가 Release 13에서 이루어졌다. LTE-LAA는 면허대역에 PCC(Primary Component Carrier)를 사용하면서 비면허대역에 SCC(Secondary Component Carrier)를 사용하는 CA(Carrier Aggregation) 기술이다. 즉, 비면허대역만을 단독으로 사용할 수 없기 때문에 LAA로 명명되었다. 5G NR-U에서는 LTE-LAA와는 다르게 비면허대역만을 사용하는 독립형(SA: Stand-Alone) 시나리오 지원을 위한 새로운 접근이 시도되었다.<sup>[2]</sup>

독립형 시나리오는 면허대역을 운용하는 통신 사업자에 대한 의존성을 낮추고 사용자들에게 보안성, 신뢰성, 낮은 지연 시간을 제공할 수 있으므로 Industry 4.0의 발판이 될 수 있다.<sup>[2]</sup> 3GPP NR-U 표준화에서는 독립형 시나리오 뿐만 아니라 비면허대역을 사용하는 다양한 통신 시나리오가 고려되었으며, 스마트 시티, 자율주행, 드론 등 다양한 산업에서 NR-U의 사용이 추진되고 있다.<sup>[5]</sup>

본 논문은 3GPP Release 16에서 표준화된 NR-U 기술 중 주로 물리 계층(Physical Layer) 관련 내용에 대해 분석하고 설명한다. 특히, 비면허대역을 고려하지 않고 Release 15에서 표준화된 NR을 비면허대역에서 사용하기 위해 개선되거나 새롭게 도입된 기술 및 규격 내용을 분석한다.

본 논문의 이후 내용의 구성은 다음과 같다. II장의 본문 1절에서는 NR-U가 운영될 수 있는 전개 시나리오에 대한 내용을 다룬다. 이후 2절에서는 NR-U와 관련된 물리 계층의 하향링크(DL: Downlink) 및 상향링크(UL: Uplink) 신호와 채널에 관한 규격을 분석하며, 3절에서는 NR-U를 위해 물리 계층에서 수행되는 채널 접속(Channel Access), 향상된 초기 접속(Initial Access) 절차, 향상된 HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest), 향상된 Configured Grant, 광대역(Wideband) 동작에 대해 설명한다. 마지막으로 본 논문의 결론을 III 장에서 언급한다.

## II. 본 론

NR-U는 면허 대역에서 사용하기 위해 만들어진 5G

NR 무선 접속(Radio Access) 기술을 비면허대역에서 사용하기 위해 기본적인 NR에 다양한 기능을 추가하거나 변경한 것이다. 그러므로 기본적인 작동은 NR과 비슷하게 이루어진다.

먼저 Release 16의 NR-U에서 목표로 하는 주파수 대역은 표 1과 같이 n46(5.150 ~ 5.925 GHz)과 n96(5.925 ~ 7.125 GHz)이며 TDD(Time Division Duplexing) 방식을 고려한다. 기존에는 5 GHz 대역만이 NR-U의 타겟 스펙트럼(Targeted Spectrum)이었으나 5 GHz 대역은 DFS(Dynamic Frequency Selection)로 인하여 대역의 사용이 제한적이므로 6 GHz 대역으로의 확장이 도모되었다. 이를 위해 Release 16에서는 5 GHz와 6 GHz 모두에서 운용이 가능하도록 표준화가 진행되었다. 그러므로 이후 설명될 기술들은 5 GHz와 6 GHz에서의 운용을 가정하고 있다.

이후 2.1 절에서는 이러한 주파수 대역에서 운용되는 NR-U의 전개 시나리오들에 대해 알아 본다. 이어서 2.2 절에서는 NR-U에서 고려된 물리 계층의 신호와 채널에 대해 분석하고, 2.3 절에서는 NR-U를 위한 물리 계층의 절차에 대해 살펴 본다.

표 1. NR-U 타겟 스펙트럼[6]  
Table 1. NR-U Targeted spectrum.

NR operating band	UL operating band	DL operating band	Duplex Mode
n46	5.150 GHz ~ 5.925 GHz	5.150 GHz ~ 5.925 GHz	TDD
n96	5.925 GHz ~ 7.125 GHz	5.925 GHz ~ 7.125 GHz	TDD

### 2.1 NR-U Deployment Scenarios

5G 이전 기술인 4G LTE를 비면허대역에서 사용하기 위해 표준화된 LTE-LAA라는 기술과 비교할 때, NR-U는 면허대역을 필요로 하지 않고 비면허대역만을 사용하여 독립적으로 운용이 가능하다는 특징을 가지고 있다. 독립적인 운용 이외에도 LTE 또는 NR의 면허대역과 함께 운용이 가능하며 구체적인 NR-U의 전개 시나리오(Deployment Scenarios)는 그림 1에서 확인할 수 있다.<sup>[7]</sup>

시나리오 A는 NR과 NR-U의 CA으로 구현된다. NR이 PCell(Primary Cell)을 담당하고 NR-U가 SCell(Secondary Cell)을 담당한다. 시나리오 A는 좀더 구체적으로 시나리오 A.1과 시나리오 A.2로 나누어진다. A.1은 SCell에서 NR-U가 DL만을 지원하고 A.2는 SCell에서 NR-U가 DL와 UL 모두를 지원한다는 차이가 있다. CA이 사용될 때 비면허대역을 FR(Frequency Range) 1의 면허대역보다 고주파로 사

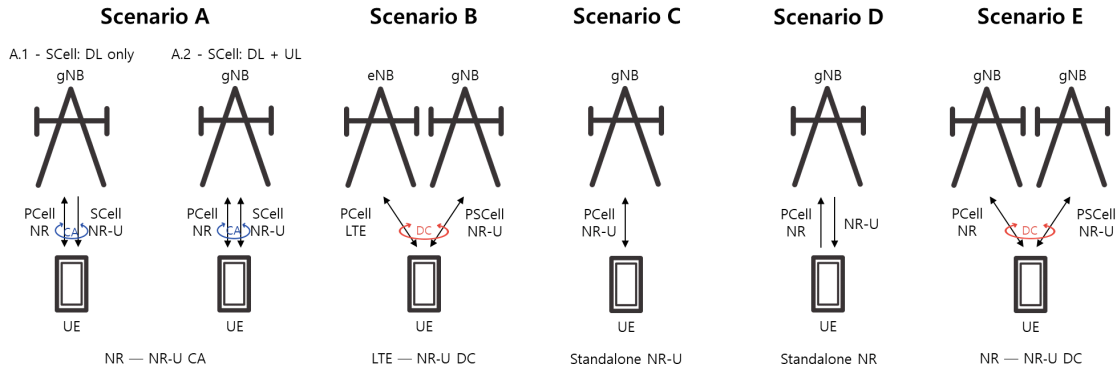


그림 1. NR-U 전개 시나리오  
Fig. 1. NR-U Deployment Scenarios.

용하여 데이터(data) 트래픽(traffic) 양이 많은 특정 스몰 셀(small cell)에 서비스를 제공할 수 있다.

시나리오 B는 면허대역을 사용하는 LTE와 NR-U의 DC(Dual Connectivity)로 구현된다. 이때 LTE가 PCell을 구성하고 NR-U가 PSCell(Primary Secondary Cell)을 구성한다. LTE와 NR-U 모두 DL과 UL에서의 사용이 가능하다. LTE는 저주파의 좁은 대역폭을 사용하는 데 반해 NR-U는 LTE보다 고주파의 넓은 대역폭을 사용하므로 LTE만 사용했을 때보다 빠른 데이터 송수신이 가능한 시나리오이다.

시나리오 C는 NR-U의 독립형으로 비면허대역만을 독립적으로 사용하는 시나리오이다. LTE 기술을 기반으로 표준화가 진행되었던 LTE-LAA에서는 지원되지 않았던 시나리오이며, 향후 면허대역에 지원받지 않으면서 비면허대역을 사용하는 Industrial IoT(Internet of Things) 등의 환경에서 효율적으로 쓰일 가능성이 높은 시나리오이다.

시나리오 D는 NR를 이용한 UL과 NR-U를 이용한 DL를 구현하는 시나리오이다. DL과 UL가 각각 별도의 주파수를 사용하는 Single Cell Architecture이다. 일반적으로 DL 데이터의 양이 UL의 데이터 양보다 많기 때문에 비교적 고주파인 비면허대역의 광대역을 활용함으로써 DL의 많은 데이터 양을 해결할 수 있다.

시나리오 E는 NR과 NR-U의 DC로 구현된 시나리오이다. NR이 PCell을 구성하고 NR-U가 PSCell을 구성한다. LTE와 NR-U의 DC로 구현되는 시나리오 B와 비슷하게 FR 1 면허대역의 작은 대역폭에 대한 한계를 고주파의 넓은 대역폭을 가진 NR-U가 해결할 수 있다.

## 2.2 Physical Layer Signals and Channels

NR-U의 다양한 전개 시나리오들에 대한 지원을 위

해 NR 무선 프로토콜(radio protocol)의 각 계층의 규격들이 조금씩 개선되었다. 본 절에서는 NR-U를 위해 물리 계층에서 사용되는 신호와 채널(Channel)에 대해 알아본다. 먼저 초기 접속 과정에서 사용되는 신호와 채널에 대한 내용을 시작으로 하여 DL과 UL의 신호 및 채널에 대해 살펴본다.

### 2.2.1 Initial Access Signals and Channels

IDLE 상태인 RRC(Radio Resource Control)\_IDLE 상태에 있던 단말(UE: User Equipment)은 데이터 전송을 하기 위해서 ACTIVE 상태인 RRC\_CONNECTED 상태로 전환해야 한다. 이때, 단말은 랜덤 액세스(Random Access) 절차를 수행한다. 이 랜덤 액세스를 통해서 단말은 5G 기지국(gNB: gNodeB)과 UL 동기를 맞추고 기지국으로부터 C-RNTI(Cell-Radio Network Temporary Identifier)를 할당받게 된다.

이 랜덤 액세스 절차의 첫 단계로 UE가 gNB에게 보내는 프리앰블(preamble) 시퀀스(sequence)에 새로운 길이가 도입되었다. SCS(Sub Carrier Spacing)의 크기에 따라 각각 15 kHz SCS에 대해서는 1151 length, 30 kHz SCS에 대해서는 571 length가 도입되었다. 새로운 프리앰블 시퀀스 길이의 도입으로 비면허대역을 사용할 때 적용되는 PSD 제한에 대한 규제를 만족시키면서 최대 전송 전력으로 전송할 수 있게 되었고 비면허대역에서 요구되는 OCB(Occupied Channel Bandwidth)에 대한 규제도 충족할 수 있게 되었다.

기존의 프리앰블 전송을 위해 사용되는 대역폭은 좁고 전송 전력도 낮기 때문에 랜덤 액세스 절차가 진행 중임에도 불구하고 다른 UE가 사용 중인 채널을 모니터링(monitoring)하게 된다는 문제점이 있었다. Release 16에서 1151, 571 length로 길어진 프리앰블은

표 2. 3GPP Release 15와 Release 16의 프리앰블 길이 차이  
Table 2. Difference in preamble length of 3GPP Release 15 and Release 16.

	Release 15	Release 16
Short Preamble	139	571 139 (with repetition)
Long Preamble	839	1151

이러한 가능성을 줄일 수 있다.

새로운 프리앰블 시퀀스 길이가 도입되면서 기존에 사용되던 839 length는 비면허대역으로 운용되는 셀에서는 사용될 수 없게 되었다. 다만 139 length는 시퀀스의 반복을 통하여 사용될 수 있다. 표 2에서 Release 15와 Release 16에서 사용되는 프리앰블 길이의 차이를 확인할 수 있다.<sup>18,9)</sup>

2.2.2 DL Signals and Channels

본 절은 NR-U를 위해 추가 또는 변경된 물리 계층의 다양한 DL 신호와 채널들에 관해 설명한다. 향상된 DCI(Downlink Control Information) format 2\_0, 새롭게 도입된 search space set group switching, PDSCH(Physical Downlink Shared Channel) mapping type B에 추가된 DM-RS(Demodulation-Reference Signal) 위치, 여러 개의 모니터링 위치 구성이 가능해진 search space에 대해 분석한다.

i) Enhanced DCI 2\_0

PDCCH(Physical Downlink Control Channel)를 통해 전송되는 DCI는 그 쓰임에 따라 포맷(format)이 구분된다. 이 중 여러 UE에게 슬롯(slot) 포맷을 알리기 위해 사용되는 DCI format 2\_0을 통해 전달되는 정보는 아래와 같다.<sup>10)</sup>

- slotFormatCombToAddModList  
: Slot Format Indicator 전송
- availableRB-SetsToAddModList-r16  
: available RB set Indicator 전송
- co-DurationsPerCellToAddModList-r16  
: COT duration Indicator 전송
- searchSpaceSwitchTriggerToAddModList-r16  
: search space set group switching flag 전송

위와 같이 DCI format 2\_0은 슬롯 포맷, 채널 점유 지속 기간, available RB(Resource Block) set, search space set group switching과 같은 정보를 UE에게 전달

하기 위해서 사용된다. UE는 시간 영역(time domain)에서 남은 COT에 대한 정보를 COT duration Indicator를 통해 알 수 있다. 만약 UE에게 COT duration Indicator가 전달되지 않는 경우에는 SFI(Slot Format Indicator)를 통해서 남은 COT를 파악할 수 있다. 주파수 영역(frequency domain)에서의 COT에 대한 정보는 available RB set Indicator를 통해 UE에게 전달된다. 이 외에도 비면허대역의 운용에서 소비 전력을 줄이기 위해 사용되는 search space set group switching의 적용 여부도 해당 DCI를 통해 전달된다.

ii) Search Space Set Group Switching

Search Space 유형에는 크게 CSS(Common Search Spaces)와 USS(UE-specific Search Spaces) 두 가지가 있다.<sup>11)</sup> 각 UE에게 Type 3-PDCCH CSS set 또는 USS set으로 최대 2개의 group을 구성하여 각각의 group에 인덱스(index)를 제공할 수 있다. UE는 COT를 획득하기 위해 굉장히 빈번한 PDCCH 모니터링이 필요하다. 하지만 COT를 획득한 이후에도 이와 같은 모니터링을 지속한다면 불필요한 전력이 소모된다. 이를 방지하고자 Release 16에서는 COT를 획득한 이후 필수적인 PDCCH에 대해서만 모니터링을 수행하기 위해 search space set group switching이 도입되었다. 이와 같은 switching은 다음 세 가지 방법으로 수행될 수 있다.

첫 번째 방법은 DCI 2\_0의 explicit bit를 사용하는 것이다. 일반적으로 사용되는 방법으로 DCI format 2\_0에 활성화할 search space group에 대한 정보가 들어있는 인덱스를 전달하는 explicit bit를 사용하는 것이다. DCI format 2\_0에는 search space set group switching flag를 나타내는 field가 있어 switching flag 값에 따라 모니터링하는 group이 전환된다. explicit bit 값에 상관없이 타이머가 종료되거나 COT가 종료되면 switching 이전 상태로 돌아간다.

이러한 방법에 대한 예시를 그림 2에서 확인할 수

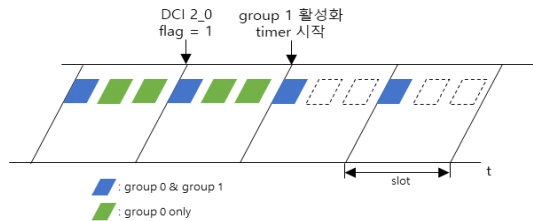


그림 2. DCI format 2\_0 값을 통한 search space set group switching  
Fig. 2. Search Space set group switching by bit value of DCI format 2\_0.

있다. 아래 그림에서 파란색으로 표시된 자원에는 group 0과 1에 대한 내용이 있으며 초록색으로 표시된 자원은 group 0에 대한 내용만을 가진다. 이때 DCI 2\_0의 flag 값으로 1이 들어오면 다음 슬롯에서 group 1만을 활성화하고 해당 타이머가 시작된다. UE는 group 1이 속한 파란색 자원에 대해서만 모니터링을 수행한다.

두 번째 방법은 search space group 중 하나의 유효한 PDCCH 복호화 발생으로 수행된다. 그림 3과 같이 UE가 자신에게 유효한 PDCCH를 탐지하면 다음 슬롯에서 group switching이 실행되고 group 1만을 활성화하는 타이머가 시작된다. switching 이후 타이머가 종료되기 전에 유효한 PDCCH가 재발견된다면 타이머는 초기화 후 다시 시작되며 추가적인 switching은 일어나지 않는다.

마지막으로 타이머 만료에 의해서도 switching이 일어날 수 있다. 첫 번째 방법인 DCI format 2\_0을 이용하여 switching이 일어날 때와 두 번째 방법인 유효한 PDCCH 탐지로 switching이 일어날 때 모두 타이머는 시작된다. 그림 4와 같이 해당 타이머가 종료되면 비활성화된 group에 대한 블라인드 복호화가 다시 활성화된다.

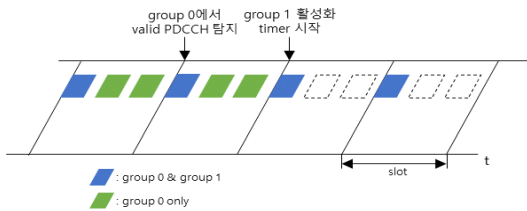


그림 3. 유효한 PDCCH 탐지 후 search space set group switching  
Fig. 3. Search Space set group switching after valid PDCCH detection.

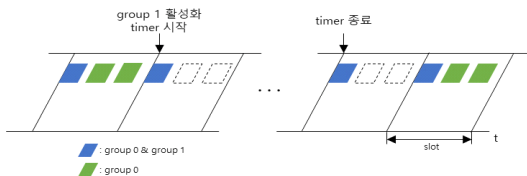


그림 4. 타이머 종료에 의한 search space set group switching  
Fig. 4. Search Space set group switching by expired timer.

iii) Additional DM-RS Positions

비면허대역 운용에서는 LBT(Listen Before Talk)와 같은 요구사항을 적용하기 위해 비 슬롯(non-slot) 기반

의 PDSCH 전송을 위해 만들어진 PDSCH mapping type B 방식이 아주 유용하다. Release 15에서는 PDSCH mapping type B에 대하여 OFDM 심볼(symbol)의 길이가 2, 4, 6, 7인 경우만 지원되었으나 Release 16에서는 OFDM 심볼의 길이가 2~13 심볼일 때 모두 지원되며 이와 함께 DM-RS 매핑이 가능한 위치 또한 추가되었다. 시간 영역에서 DM-RS가 사용할 수 있는 추가적인 길이와 위치를 지원함으로써 더욱 유연한 스케줄링이 가능하게 되었고 이는 LBT가 성공되었을 때 DM-RS가 바로 전송될 수 있는 가능성을 높여주었다.

표 3에서 왼쪽은 Release 15에서의 PDSCH mapping type B에 대한 DM-RS positions를 보여주며 오른쪽은 Release 16에 대한 DM-RS positions를 보여준다.<sup>18,9)</sup> 왼쪽 Release 15에서 PDSCH 심볼의 길이가 2, 4, 6, 7일 때 DM-RS는 PDSCH의  $l_0$  또는 4번째 심볼에 매핑 될 수 있다. 이때  $l_0$ 는 첫 번째 DM-RS 심볼의 위치이며 PDSCH mapping type B에서는 0으로 설정된다. 이에 반해 오른쪽 Release 16에서는 PDSCH 심볼의 길이가 2부터 13일 때 다양한 위치가 지원되는 것을 확인할 수 있다.

비면허대역 운용에서 유용하게 사용될 수 있는 비 슬롯 기반 PDSCH mapping type B 방식의 DM-RS는 슬롯 경계가 아닌 PDSCH가 시작되는 첫 번째 OFDM 심볼에서 시작된다. 그러므로 이러한 규격 개선을 통한 DM-RS 위치에 대한 유연성 증가가 필요 되었다. DM-RS의 이와 같은 개선은 면허대역 운용에서도 동일하게 적용되었다.

표 3. Release 15와 Release 16의 PDSCH DM-RS positions  
Table 3. PDSCH DM-RS positions in Release 15 and Release 16.

Duration in symbols	DM-RS positions							
	PDSCH mapping type B							
	dmrs-AdditionalPosition							
	Release 15				Release 16			
	0	1	2	3	pos 0	pos 1	pos 2	pos 3
2	$l_0$	$l_0$			$l_0$	$l_0$	$l_0$	$l_0$
3	-	-			$l_0$	$l_0$	$l_0$	$l_0$
4	$l_0$	$l_0$			$l_0$	$l_0$	$l_0$	$l_0$
5	-	-			$l_0$	$l_0, 4$	$l_0, 4$	$l_0, 4$
6	$l_0$	$l_0, 4$			$l_0$	$l_0, 4$	$l_0, 4$	$l_0, 4$
7	$l_0$	$l_0, 4$			$l_0$	$l_0, 4$	$l_0, 4$	$l_0, 4$
8	-	-			$l_0$	$l_0, 6$	$l_0, 3, 6$	$l_0, 3, 6$
9	-	-			$l_0$	$l_0, 7$	$l_0, 4, 7$	$l_0, 4, 7$
10	-	-			$l_0$	$l_0, 7$	$l_0, 4, 7$	$l_0, 4, 7$
11	-	-			$l_0$	$l_0, 8$	$l_0, 4, 8$	$l_0, 3, 6, 9$
12	-	-			$l_0$	$l_0, 9$	$l_0, 5, 9$	$l_0, 3, 6, 9$
13	-	-			$l_0$	$l_0, 9$	$l_0, 5, 9$	$l_0, 3, 6, 9$
14	-	-			-	-	-	-

iv) Replicated Configuration of Search Space  
하나의 캐리어가 주파수 영역에서 넓은(예: 20 MHz

이상) 채널 대역폭을 사용하는 경우 하나의 채널 대역폭 내에서 여러 개의 RB set이 사용될 수 있다. 이 경우 CORESET(Control Resource Set)과 한 단말기의 search space는 여러 개의 모니터링 위치로 구성될 수 있다. 이는 각 RB set마다 각각의 LBT 결과를 처리하고 UE가 여러 개의 RB set을 쉽게 모니터링할 수 있도록 지원하기 위함이다.

이처럼 하나의 채널 대역폭 내에서 여러 개의 RB set이 구성되는 경우 각 RB set 내에서 CORESET의 위치를 그림 5와 같이 다른 RB set에 동일하게 복제하여 사용할 수 있다. 이를 통해 UE는 각 RB set에서 제어 채널(Control Channel)에 대한 개별적인 모니터링을 좀 더 빠르고 효율적으로 할 수 있다.

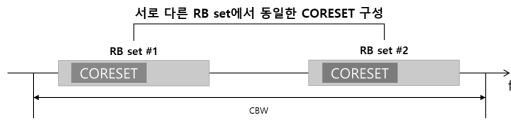


그림 5. 서로 다른 RB set에서 동일한 CORESET 구성  
Fig. 5. Same configuration of CORESET in different RB sets.

2.2.3 UL Signals and Channels

이 절에서는 NR-U를 위해 물리 계층의 UL에서 추가되거나 변경된 신호와 채널들에 대한 내용을 다룬다. 새롭게 도입된 PRB(Physical Resource Block) 인터레이스 구조, PUCCH(Physical Uplink Control Channel)를 통해 전송되는 RB들의 확장, SRS(Sounding Reference Signal) 전송 위치의 개선, 하나의 DCI를 통한 여러 개의 연속적인 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel) 스케줄링 방법과 관련된 표준 기술에 대해 분석한다.

i) PRB Interlace Structure

NR을 비면허대역에서 운용하는 경우 PSD가 제한되는 규제가 있고 일부 지역에서는 이 규제가 의무화되었다. PSD에 대한 규제는 대역폭 당 최대 전송 전력에 제한이 있는 것이다.

일반적으로 전송되는 페이로드(payload)가 작고 채널 대역폭(CBW: Channel BandWidth)의 일부만 전송에 사용되는 경우 데이터를 전송하기 위해 사용되는 대역폭(BW: bandwidth)은 작아지고 PSD 규제에 따라 가능한 최대 송신 전력은 더욱 낮아진다. 규제를 만족하는 낮은 송신 전력은 커버리지(coverage)를 작아지게 한다. 그러므로 PSD 규제를 만족하면서 송신 전력을 최대화하기 위해서는 넓은 대역폭으로 페이로드가 퍼지도록

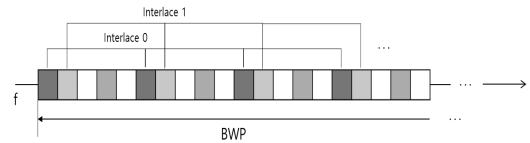


그림 6. BWP 인터레이스 구조  
Fig. 6. Interlace structure in BWP.

해야 한다. 이를 위해 그림 6과 같은 주파수 영역에서 인터레이스(interlace) 전송 방식을 사용함으로써 송신 전력을 높게 하여 커버리지에 대한 한계를 해결할 수 있다. 이러한 설계 방식을 통하여 NCB(Nominal Channel Bandwidth)의 특정 비율 이상이 사용되어야 하는 OCB에 대한 규제 또한 충족할 수 있다.

Release 16에서는 위와 같은 OCB와 PSD에 대한 규제에 PUCCH와 PUSCH 모두에 대해 PRB 인터레이스 구조를 도입하였다. 인터레이스되는 PRB의 개수는 SCS의 크기에 따라 다르다. 15 kHz SCS인 경우 M = 10의 인터레이스, 30 kHz SCS인 경우 M = 5의 인터레이스가 지원되며, 이때 M의 값은 인터레이스되는 PRB의 주기를 의미한다. 이에 따라 15 kHz SCS에서는 최대 10개, 30 kHz SCS에서는 최대 5개의 인터레이스 구조가 만들어질 수 있으며 하나의 인터레이스는 M개의 주기마다 반복되는 RB set에 의해 형성된다.

ii) Extended RBs for PUCCH

앞 절에서 Release 16 규격은 PUSCH 뿐만 아니라 PUCCH 전송에 인터레이스 구조가 지원될 수 있도록 개선되었음을 확인하였다. PUSCH와 달리 PUCCH는 심볼의 길이, 비트(bit)의 수에 따라 5가지의 포맷으로 나누어진다.<sup>[7,9]</sup>

표 4는 PUCCH 각 포맷의 OFDM 심볼의 개수 및 전송되는 제어 정보 비트의 수, 특징을 나타낸다. 포맷별 특징에 따라 인터레이스 전송의 구성과 다중화(multiplexing) 지원 방법이 다르게 도입되었다. 5가지

표 4. PUCCH 포맷별 특징과 설명  
Table 4. Character and descriptions for each PUCCH formats.

PUCCH format	Length in OFDM symbols	Number of bits	Description
0	1 - 2	≤2	Short PUCCH 최대 2 bit 전송
1	4 - 14	≤2	Long PUCCH 최대 2 bit 전송
2	1 - 2	>2	Short PUCCH 2 bit 이상 전송
3	4 - 14	>2	Long PUCCH UE multiplexing 지원하지 않음
4	4 - 14	>2	Long PUCCH 최대 4개의 UE까지 multiplexing

PUCCH 포맷 중 format 4는 넓은 커버리지에서 사용하기 위해 도입된 포맷으로 작은 커버리지 운용을 목표로 하는 비면허대역에서는 사용되지 않는다. 그러므로 format 4를 제외한 나머지 format의 인터레이스 구조와 다중화 방법에 대하여 설명한다.

먼저 PUCCH format 0과 1은 하나의 인터레이스 RB set 전송을 지원한다. 앞에서 설명한 것과 같이 SCS의 크기에 따라 적용되는 PRB의 주기가 다르다. 15 kHz SCS의 경우 10개 또는 11개의 RB들이  $M = 10$ 을 주기로 할당되며, 30 kHz의 경우 10개 또는 11개의 RB들이  $M = 5$ 를 주기로 할당된다.

그림 7은 30 kHz SCS으로 10개의 RB이  $M = 5$ 의 형태로 인터레이스 구조가 구성되는 것을 예시로 보여 주고 있다. 이 예시에서는 인터레이스 구조를 통하여 하나의 데이터를 50개의 PRB로 퍼지도록 한다.

다음으로 PUCCH format 2는 Release 15에서도 여러 개의 RB 전송이 가능했으나 최대 16개의 연속적인 RB만을 지원하였다. 이후 Release 16에서 하나 또는 두 개의 인터레이스 매핑이 지원되도록 확장되었다. PUCCH format 0, 1과 동일하게 SCS의 크기에 따라 PRB가 할당되는 주기는 달라진다. 그러나 format 2에서는 최대 2개의 인터레이스 매핑이 지원되기 때문에 1개의 인터레이스일 때 10개 또는 11개의 RB, 2개의 인터레이스일 때 20개 또는 22개의 RB가 전송될 수 있다. 하나의 인터레이스를 구성할지 두 개의 인터레이스를 구성할지는 페이로드 크기에 따라 구분되며 페이로드의 크기가 작을수록 하나의 인터레이스가 효율적

이다. 이는 목표 전송률을 충족해야 한다는 규제로 인하여 데이터의 비트 수가 적을수록 사용되는 RB의 개수가 적어야 하기 때문이다.

1개의 인터레이스 전송이 사용될 때 2 또는 4 length의 OCC(Orthogonal Cover Code)를 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 심볼에 적용하여 여러 UE의 데이터가 다중화될 수 있게 하였다. 주파수 영역에서 OCC를 사용하여 다중화 용량을 증가시킴으로써 자원을 효율적으로 사용하고 OCC에 대한 규제를 충족할 수 있다. 그러나 2개의 인터레이스가 사용될 때는 이러한 다중화는 지원되지 않는다. 다중화하지 않아도 사용되는 RB의 개수가 많으므로 이러한 다중화가 필요하지 않기 때문이다.

그림 8은 PUCCH format 2 구조의 예시를 나타내고 있다. 30 kHz SCS으로 하나의 인터레이스당 10개의 PRB이  $M = 5$ 의 주기로 구성되어 있다. 총 20개의 PRB에 데이터가 할당되므로 OCC를 적용하지 않아도 목표 전송률을 충족할 수 있다.

마지막으로 PUCCH format 3 또한 format 2와 같이 페이로드의 크기에 따라 1개 또는 2개의 인터레이스 전송을 지원한다. 다만 앞의 format 0, 1, 2와 달리 format 3에서는 11개 RB의 인터레이스 전송 지원이 불가능하다. 이는 셀 가장자리에 위치한 UE가 PUCCH를 전송할 때 format 3가 사용되고 NR에서 셀의 가장자리의 UE에게 데이터를 전송할 때 DFT-s-OFDM(Discrete Fourier Transform-spread-OFDM)을 적용하기 때문이다. DFT-s-OFDM은 DFT 부호기(encoder) 및 복호기

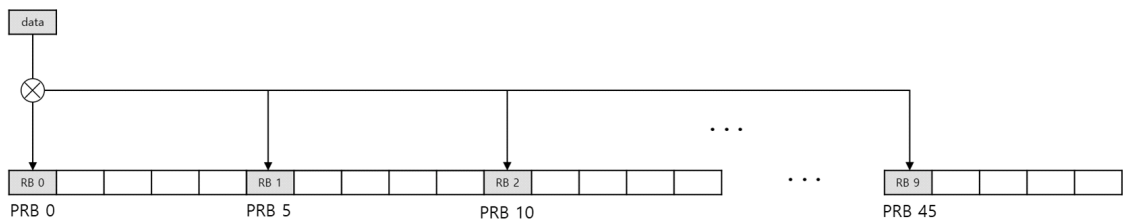


그림 7. PUCCH format 0 또는 1의 인터레이스 구조 예시 (30 kHz SCS, 10개의 RB,  $M = 5$ )  
 Fig. 7. Example of interlaced structure in case of PUCCH format 0 or 1(30 kHz SCS, 10 RBs,  $M = 5$ ).

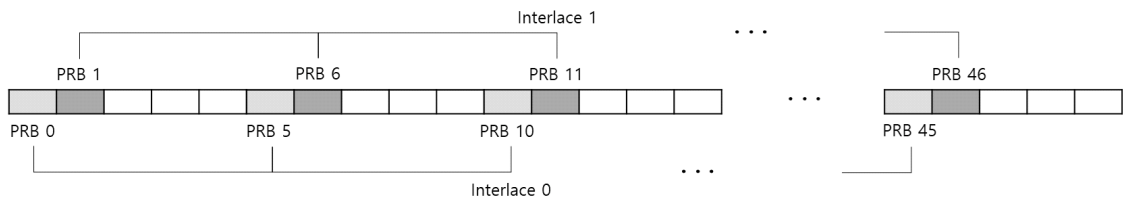


그림 8. PUCCH format 2의 인터레이스 구조 예시 (30kHz SCS, 10개의 RB,  $M = 5$ , 2개의 인터레이스)  
 Fig. 8. Example of PUCCH format 2 interlaced structure (30 kHz SCS, 10 RBs,  $M = 5$ , two interlaces).

(decoder)의 복잡성을 낮추기 위해 RB의 개수가 2 또는 3 또는 5의 배수인 경우에만 사용될 수 있도록 설계되었다. 그러므로 11개의 RB는 사용될 수 없으며 하나의 인터레이스 구조일 때 10개 또는 2개의 인터레이스 구조일 때 20개의 RB들이 사용될 수 있다.

이러한 format 3의 DFT-s-OFDM의 사용은 OCC를 사용함에 있어서도 format 2와 같은 주파수 영역 OCC의 사용을 불가능하게 한다. 그러므로 format 3에서는 시간 영역에서 수행되는 pre-DFT OCC를 적용함으로써 다중화를 구현하였다.

iii) SRS Transmission on Every OFDM Symbols  
비면허대역을 운용하는 데에 있어서 추가적인 채널 접속 절차를 피하고자 데이터 전송과 동시에 UL 채널의 특성을 파악하기 위한 UL sounding을 수행하는 것이 효율적이다. UL 채널의 특성을 파악하기 위해 사용되는 SRS는 Release 15에서 한 슬롯의 마지막 6개 심볼 내에서만 전송될 수 있었다. 이후 Release 16에서 한 슬롯 내의 모든 OFDM 심볼에서 SRS 전송이 가능하도록 확장되었다. 이는 SRS의 용량 및 커버리지를 향상시키며 비 슬롯 기반으로 LBT가 수행되는 비면허대역 운용에서의 자원 할당에 대한 유연성을 증가시켰다. SRS의 전송 가능 위치에 대한 개선은 면허대역 운용에서도 동일하게 적용되었다.

iv) Multiple Contiguous PUSCH(s) by Single DCI  
Release 16에서는 UE가 DCI를 복호화하는 시간을 줄이기 위해 하나의 DCI를 사용하여 여러 개의 연속적인 PUSCH 스케줄링을 할 수 있도록 했다. PUSCH 스케줄링에 사용되는 TDRA(Time Domain Resource Allocation) 테이블이 각 행에 최대 8개의 PUSCH를 나타낼 수 있도록 확장되었다. 각 행에는 슬롯 오프셋

(offset)인  $K_2$ , SLIV(Start and Length Indicator Value) 및 매핑 유형에 대한 정보가 있다. 추가로 스케줄링이 된 PUSCH의 수는 DCI에서 알려주는 TDRA 테이블의 행에 표시된 유효한 SLIV의 개수에 의해 설정된다.

그림 9에서와 같이 각 행에서 인덱스별로 서로 다른 PUSCH 형식을 가지고 있으며 DCI를 통하여 인덱스값을 전달받아 여러 개의 PUSCH를 스케줄링할 수 있다.<sup>[12]</sup>

### 2.3 Physical Layer Procedures

이 절에서는 NR-U를 위해 물리 계층에서 수행되는 여러 절차에 관해 서술한다. COT를 획득하기 위해 수행되는 채널 접속, UE가 gNB와의 동기화를 위해 수행하는 초기 접속 절차, UE가 데이터 수신 이후 수행하는 HARQ 전송 방식에 대해 개선된 규격에 분석한다. 또한 향상된 CG 전송과 비면허대역의 광대역 운용에 대해서도 알아본다.

#### 2.3.1 Channel Access Procedures

비면허대역 운용은 하나의 채널을 여러 UE가 공유하여 사용하기 때문에 채널 접속 절차가 필요하다. Release 16의 NR-U는 COT 획득을 위해 2가지 채널 접속 운용 방식을 지원한다. LBE(Load-Based Equipment)에 사용되는 동적 채널 접속(Dynamic Channel Access)과 FBE(Frame-Based Equipment)에 사용되는 반 정적 채널 접속(Semi-Static Channel Access)이 있다.

먼저 위의 2가지 채널 접속 운용 방식 중 첫 번째인 동적 채널 접속 방식의 경우 상황에 따라 아래 4가지 중 하나의 유형을 사용한다.

#### Type 1

Cat 4 LBT with a contention window

#### Type 2

Type 2A: Cat 2 LBT within a 25  $\mu$ s sensing interval

Type 2B: Cat 2 LBT within a 16  $\mu$ s gap

Type 2C: Cat 1 LBT with a gap of no more than 16  $\mu$ s without channel sensing

첫 번째 Type 1 LBT의 경우 Cat(Category) 4 LBT라고도 하며 CW(Contention Window)를 통해 gNB 및 다른 UE들과 경쟁하여 COT를 획득한다. gNB와 UE 모두 Cat 4 LBT로 COT를 획득하기 위한 시행자(initiator)가 될 수 있다. 시행자는 gNB 또는 UE들과의 경쟁을 위해 백오프(back-off)를 수행함으로써 채널의

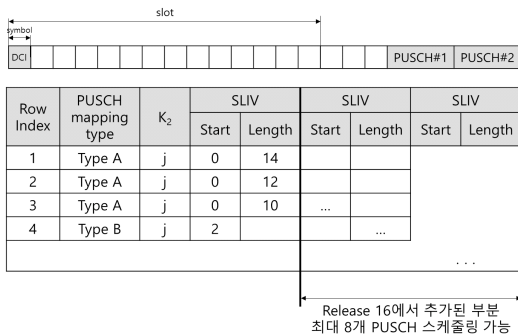


그림 9. 연속적인 PUSCH 스케줄링을 위한 TDRA  
Fig. 9. TDRA for contiguous PUSCH scheduling.



표 5. CAPC별 Defer Period 및 CW  
Table 5. Defer Period and CW values for different Priority Classes.

CAPC	$m_p$	$CW_{min, p}$	$CW_{max, p}$	$T_{m, cot, p}$	Allowed $CW_p$ sizes
1	1	3	7	2 ms	(3, 7)
2	1	7	15	3 ms	(7, 15)
3	3	15	63	8 or 10 ms	(15, 31, 63)
4	7	15	1023	8 or 10 ms	(15, 31, 63, 127, 255, 511, 1023)

사용 가능 여부를 평가한다. 백오프를 수행하는 CW와 채널의 유휴 상태(Idle State)를 감지하는 defer period는 표 5에서와 같이 CAPC(Channel Access Priority Classes)에 따라 적용되는 값이 달라진다.<sup>[13]</sup>

Cat 1 LBT와 Cat 2 LBT는 Type 2 LBT에 속한다. gNB 또는 UE는 Type 2 LBT를 통해 서로 다른 조건에서 다른 경쟁자가 획득한 COT를 공유하여 사용할 수 있다. COT를 공유하는 두 전송 버스트(burst) 사이 간격(gap)의 크기에 따라 Type 2 LBT는 3가지 종류로 나누어진다.

Type 2 LBT 중 첫 번째는 Type 2A로 Cat 2 LBT에 속한다. 두 전송 버스트 사이의 간격이 25  $\mu$ s 이상일 때 사용된다.

두 번째는 Type 2B로 Type 2A와 함께 Cat 2 LBT에 속한다. 두 전송 버스트 사이의 간격이 16  $\mu$ s일 때 사용되며 이 간격 동안 해당 채널은 다른 경쟁자들에게 유휴 상태로 탐지되어야 한다.

세 번째는 Type 2C로 Cat 1 LBT라고도 한다. 두 전송 버스트 사이의 간격이 16  $\mu$ s보다 작아야 하며 전송 버스트는 최대 584  $\mu$ s까지 전송할 수 있다.

Type 2 LBT에 대한 예시를 그림 10에서 볼 수 있다. gNB가 먼저 Type 1 LBT를 통하여 COT를 획득하여 DL 데이터 전송에 사용한다. 이후 UE가 Type 2 LBT의 종류에 따라 일정 시간의 gap 이후 데이터를 전송함으로써 COT sharing을 수행할 수 있다.

이처럼 동적 채널 접속에서 COT를 획득하기 위해서는 Type 1 LBT를 사용하며 Type 2 LBT는 다른 조건에서 다른 경쟁자가 획득한 COT를 공유할 경우 사용된다. 이와 같은 규격에서 SSB(Synchronization Signal Block)의 전송과 non-unicast 환경에서 제어 신호 및

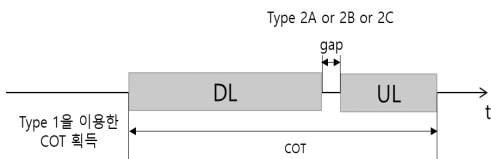


그림 10. Type 2 LBT를 통한 COT sharing의 예시  
Fig. 10. Example of COT sharing using Type 2 LBT.

데이터의 전송을 포함하는 DB(Discovery Burst)의 전송은 예외적인 경우로 분류되며 일부 제한에 따라 Type 2A LBT를 사용하여 COT를 획득할 수 있다.

두 번째 채널 접속 방식인 반 정적 채널 접속은 다른 비면허대역 기술이 사용되지 않는 환경에서 사용될 수 있다. 해당 절차에서 COT는 그림 11에서 보이는 것과 같이 주기적인 COT 시작점을 가진다.

gNB와 UE 모두 채널 경쟁을 수행하는 경쟁자가 될 수 있었던 동적 채널 접속과 달리 반 정적 채널 접속에서는 gNB만이 고정된 프레임(frame)의 경계에서 채널을 차지하기 위한 경쟁을 할 수 있다. COT를 시작하기에 앞서 9  $\mu$ s 이상의 유휴 상태를 감지해야만 채널을 사용할 수 있다. 또한 두 COT 시작점 사이 시간의 최대 95%만을 사용할 수 있다.

UE는 gNB의 DL 전송이 동일한 COT에서 수행되어 프레임 경계 이전에서 종료되었다고 감지하는 경우에만 HARQ 전송을 위해 COT sharing을 시도할 수 있다. COT sharing은 그림 11과 같이 채널을 사용하는 시간 간격이 최대 16  $\mu$ s인 경우 동적 채널 액세스와 유사한 방식으로 진행된다.

또한, 그림 11과 같이 반 정적 채널 접속이 COT 시작점에 대한 후보들을 가지고 있으며 DL 이후 COT sharing을 통하여 UL 전송을 수행할 수 있다.

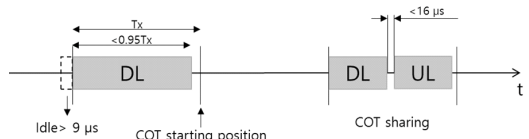


그림 11. 반 정적 채널 접속 절차의 예시  
Fig. 11. Example of semi-static channel access procedure.

### 2.3.2 Enhancements to Initial Access Procedures

UE는 새로운 셀에 들어온 후 gNB와의 동기화를 위해 초기 접속 절차를 수행한다. 본 절에서는 NR-U를 위해 초기 접속 절차에서 향상된 부분에 대해서 알아본다. 좀 더 구체적으로 말하면, 새롭게 도입된 DB 개념, 향상된 SSB 전송에 관해 설명한다.

#### i) Discovery Burst

DB는 SSB와 SIB(System Information Block) 1과 같은 중요한 정보를 전송하기 위해 Release 16에서 도입된 개념이다. UE가 셀에 대한 접근 가능 여부를 평가할 때 사용하는 SIB1이 SSB의 전송 시간과 가깝게 붙어 있을 때, SSB와 SIB1 둘 모두를 전송하는 하나의

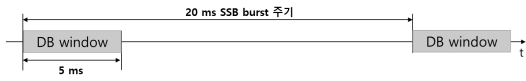


그림 12. DB window와 구조  
Fig. 12. DB window and structure.

채널 접속을 가능하게 하는 것이 더 효율적이다. SSB와 SIB1을 전송하는 PDSCH와 이러한 PDSCH를 스케줄링하는 PDCCH의 조합을 DB라고 한다.

Release 16의 CORESET#0은 Release 15에서 사용했던 대부분의 구성 그대로 재사용되었다. 주파수 영역에서 CORESET#0은 항상 30 kHz SCS으로 48개의 RB를 가지며 시간 영역에서 최대 2개의 OFDM 심볼을 사용할 수 있다.

UE는 DB가 전송되는 정확한 시간을 알 수 없다. 그러므로 SSB와 SIB1의 전송을 예상할 수 있는 time window인 DB window를 도입하였다. 그림 12에서와 같이 DB window는 시간 영역에서 최대 5 ms까지 사용할 수 있다.

이러한 DB window를 통하여 전송되는 SSB는 NR의 sub 7 GHz 대역에서 최대 8개까지 20 ms마다 전송될 수 있다. 이 8개의 SSB들은 모두 다른 방향을 가지는

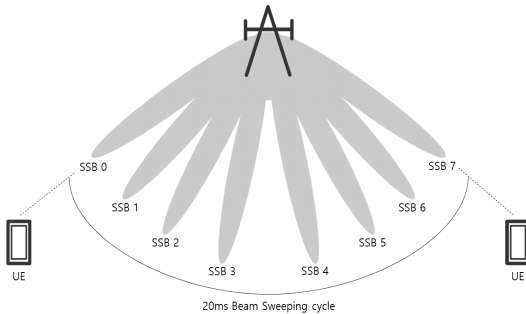


그림 13. 20 ms 빔 스위핑에 사용되는 8개의 SSB  
Fig. 13. 8 SSBs in 20 ms Beam Sweeping.

빔에 하나씩 할당되며 전체 셀 커버리지 확보를 위해 순차적으로 빔이 돌아가는 빔 스위핑(Beam Sweeping)에 지원된다. 그림 13에서처럼 빔 스위핑의 한 주기에서 일어나는 SSB들은 QCL(Quasi-Colocation) 관계가 없다. 그러나 다른 주기의 같은 위치에 대한 빔에 대해서는 QCL 관계가 있다고 가정되며 SSB 인덱스값을 통해 이를 판단할 수 있다.

ii) Enhancements for SSB Transmissions

한편 비면허대역 운용에서 SSB는 LBT의 실패로 전송되지 못하는 경우가 발생할 수 있다. Release 16에서 SSB 전송에 대한 신뢰성을 높이기 위해 아래 2가지 개선이 이루어졌다.

첫 번째는 DB 전송을 위한 Type 2A LBT의 사용이다. DB의 듀티 사이클(duty cycle)이 1/20 이하이며 동작 시간 또한 1 ms 이하인 경우, UE는 DB 기간이 짧고 낮은 빈도로 발생한다고 판단한다. 그러므로 채널 감지 간격이 다른 LBT 유형에 비해 길지만 충돌 가능성이 낮은 Type 2A LBT를 사용한다. Type 2A LBT를 통해 채널을 확실히 점유함으로써 SSB 전송의 성공 가능성을 높여줄 수 있다.

두 번째는 DB window에 SSB 전송 후보 위치를 확장한 것이다. 30 kHz SCS에서 최대 20개, 15 kHz SCS에서 최대 10개의 후보 위치가 지원된다. 그림 14에서 30 kHz SCS의 20개 후보 인덱스에 대한 위치를 확인할 수 있다. 이처럼 전송 후보 위치를 확장한 것은

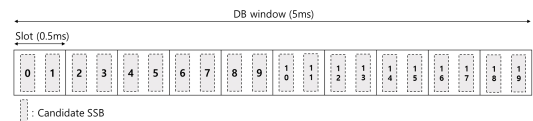


그림 14. 30 kHz SCS에서 20개의 SSB 후보 인덱스  
Fig. 14. 20 SSB candidate index in 30kHz SCS.

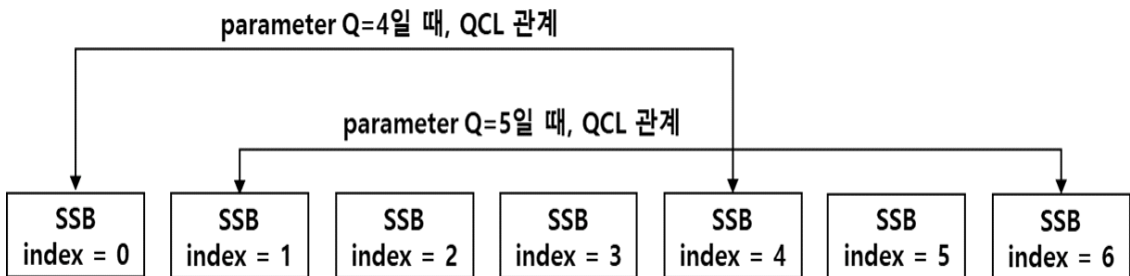


그림 15. SSB들 사이 QCL 관계의 예시  
Fig. 15. Example of QCL relations between SSBs.

Release 15보다 전송 기회를 증가시키기 위함이다.

DB window 내에서 정확한 전송 타이밍은 보장될 수 없으며 SSB에 time shift가 적용될 때, QCL 관계를 표시하기 위하여 PBCH(Physical Broadcast Channel) DM-RS 시퀀스 인덱스를 사용한다. 이 인덱스 값을 특정 매개변수 Q(parameter Q)로 나누었을 때 나머지가 동일한 SSB들 간에 QCL 관계를 갖는 것으로 판단할 수 있다. 이때 Q는 서빙 셀(serving cell)에 대한 시스템 정보를 통해 UE에게 알려진다. 그림 15에서와 같이 각 SSB별로 DM-RS 시퀀스 인덱스를 가지며 Q가 4로 지정되어 있을 때 인덱스 0과 4의 SSB, 인덱스 1과 5의 SSB가 QCL 관계를 갖는다고 판단할 수 있다.

### 2.3.3 HARQ Enhancements

비면허대역 운용에서 LBT의 실패에 따라 HARQ ACK/NACK 전송 실패 또한 일어날 수 있다. 이러한 HARQ 전송 실패에 대한 안정화를 위하여 Release 16에서는 다음과 같은 3가지의 방법이 도입되었다. 첫 번째는 Non-Numerical K1 Indication으로 COT 종료로 인한 HARQ ACK/NACK 전송 누락을 대비하기 위해 도입되었다. 두 번째 향상된 (Type 2) Dynamic Codebook과 세 번째 One-Shot (Type 3) Codebook은 UE의 ACK/NACK 재전송을 지원하기 위해 도입되었다.<sup>[10]</sup>

#### i) Non-Numerical K1 Indication

비면허대역의 운용은 제한된 COT에 따라 하나의 COT 내 모든 HARQ 프로세스의 전송을 보장하지 않

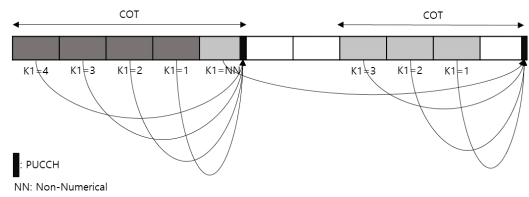


그림 16. NN-K1을 이용한 HARQ 타이밍 지시  
Fig. 16. Indicating HARQ timing using non-numerical K1.

는다. 이러한 상황에서 HARQ 전송 누락을 대비하여 PDSCH에 대한 ACK/NACK 정보를 보내는 타이밍인 K1에 숫자가 아닌 later라는 값을 도입하였다. UE는 later라는 K1을 가진 PDSCH의 ACK/NACK가 다음 COT에서 전송될 수 있도록 해당 값을 대기시킨다.

그림 16에서처럼 gNB는 K1을 전송하여 HARQ 전송 위치를 지시한다. 이때 later라는 non-numerical K1을 사용함으로써 HARQ ACK/NACK를 다음 COT에서 전송하도록 지시할 수 있다. UE 또한 K1의 값이 later인 PDSCH의 HARQ ACK/NACK는 전송하지 않고 대기시킨다. 이후 다음 PDSCH에서 적절한 K1이 표시되고 UL가 스케줄링 될 때, 대기해 두었던 ACK/NACK 값을 함께 전송한다.

#### ii) Enhanced (Type 2) Dynamic Codebook

기존 Dynamic Codebook에서 사용되었던 DAI(Downlink Assignment Index)는 2 비트로 제한된 크기로 인해 최대 4개의 데이터만 구분할 수 있었다. 구분되는 데이터의 개수를 확장하기 위해 PDSCH

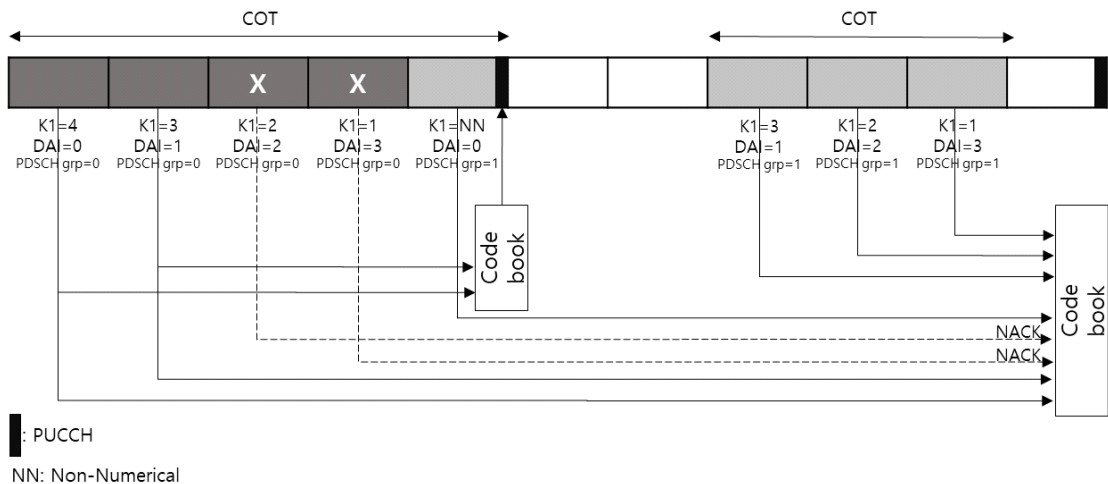


그림 17. PDSCH group을 이용한 HARQ feedback  
Fig. 17. HARQ feedback using multiple PDSCH groups.

group이라는 개념이 도입되었다. 최대 2개의 PDSCH group을 구성할 수 있으며 DAI는 group 별로 각각 계산되므로 UE는 해당 데이터의 group 인덱스 및 DAI를 알 수 있다. 이처럼 향상된 Dynamic Codebook을 통하여 PUCCH 전송 시 PDSCH의 두 그룹 모두에 대한 HARQ ACK/NACK 정보를 한꺼번에 전송할 수 있다.

그림 17에서와 같은 상황을 통해 향상된 Dynamic Codebook을 확인할 수 있다. UE는 연속적인 PDSCH 전송에서 데이터의 손실과 전송 지연을 구분할 수 없다. 따라서 일정 시간 내에 데이터가 도착하지 않는다면 손실로 판단하는 것을 원칙으로 한다. 그림 17에서 UE는 일정 시간이 지나도 DAI 2와 3의 데이터가 수신되지 않았으므로 첫 번째 COT의 마지막에 수신한 PDSCH group 0의 DAI 0과 1 대한 ACK/NACK 정보만을 전송한다. gNB는 자신이 전송한 모든 데이터에 대한 HARQ가 모두 도착하지 않았으므로 복호화를 잠시 보류한다. 다음 COT에서 gNB는 PDSCH group 1과 함께 이전 COT에서 전송되었던 group 0에 대한 HARQ를 요청한다. UE는 PDSCH group 0의 DAI 2와 3 데이터의 손실을 판단하고 향상된 Dynamic Codebook을 통하여 PDSCH group 0과 1 모두에 대한 HARQ 정보를 전송한다.

iii) One-Shot (Type 3) Codebook

Type 2의 Dynamic codebook은 전송되는 데이터의 크기에 따라 변화가 가능한 codebook으로 성능이 좋지만, 생성 및 전송에 대한 복잡도가 높다. 반면에 RRC 신호로 크기가 주어지고 HARQ 프로세스(process)의 순서대로 ACK/NACK 비트들이 배치되는 One-Shot Codebook은 비교적 성능은 낮지만 간단하게 생성이 가능하고 낮은 복잡도를 갖는다.

Type 1 codebook의 경우 동일한 시점에 피드백이 될 수 있는 PDSCH의 후보 위치들에 대해서만 HARQ 비트들이 생성된다. 이에 반해 Type 3 codebook은 RRC 신호로 설정된 모든 HARQ 프로세스에 대해서 HARQ 비트들을 전송할 수 있다. 모든 HARQ 정보를 한 번에 수신할 수 있는 특징은 제한된 COT를 갖는 비면허대역에서 유용하게 사용될 수 있다.

2.3.4 Configured Grant Enhancement

Release 16에서 UE가 CG(Configured Grant)-PUSCH 자원을 사용하여 TB(Transport Block)의 재전송을 수행하는 것이 허용되었다. 이는 CG-UL 전송을 강화하기 위해 개선된 규격이다. TB의 재전송 지원을 위해 표 6과 같이 CG-UCI(Uplink Control

표 6. CG-UCI 필드와 비트 수  
Table 6. CG-UCI Field and Bitwidth

Field	Bitwidth
HARQ process number	4
Redundancy Version	2
New Data Indicator	1
COT sharing information	Variable

Information)에 HARQ 프로세스의 ID(Identifier), NDI(New Data Indicator), RVID(Redundancy Value ID)를 포함하여 전송한다. 또한 UE는 CW를 통하여 채널을 획득하는 Cat 4 LBT를 사용하여 CG-UL 전송을 위한 COT를 얻을 수 있다. 이때 DL 전송이 필요하다면 gNB는 UE의 전송이 끝난 후 COT sharing을 통해 채널을 획득한다. CG-UCI에는 COT sharing에 대한 정보가 포함되어 COT sharing에 대한 지시를 수행한다.<sup>[10]</sup>

CG가 구성될 때 gNB는 UL 전송에 대한 CG-DFI(Downlink Feedback Information)를 통하여 HARQ 피드백을 전송할 수 있다. DCI format 0\_1이 DFI flag 값에 따라 CG-DFI를 전달하기 위해서 사용된다.

TB의 재전송 지원과 함께 TB의 반복 전송 또한 개선하기 위해 Release 16에서 PUSCH repetition Type B가 추가되었다. 이전에는 슬롯 단위로 TB의 반복 전송이 수행되는 Type A만이 존재하였다. 이와 달리 Type B에서는 하나의 슬롯 내에서 심볼 단위로 반복 전송이 수행된다. 이는 COT가 제한된 비면허대역의 운용에서 효율적으로 사용될 수 있다.

그림 18과 같이 UE는 TB의 중복 전송 수를 나타내는 repK가 1보다 큰 값으로 설정되고 여러 개의 active configuration으로 구성되어 있다면, UE는 연속된 슬롯이 아닌 동일한 configuration 내의 가장 빠른 연속 전송 후보에서 TB의 반복 전송을 수행한다. UL 심볼 사이에 DL 심볼이 존재하여도 이후 UL 심볼에서 이어서 반복 전송을 수행하며, 슬롯 경계에서도 심볼 단위의 반복 전송을 수행할 수 있다. K 번의 반복 전송이 완료되면 CG-DFI를 통해 ACK를 나타내는 피드백이 수신되면 이러한 반복 전송을 종료한다.

2.3.5 Wideband Operation

비면허대역은 기본적으로 LBT가 수행되는 대역폭인 20 MHz 단위로 운용되지만, 많은 양의 데이터 전송을 위한 20 MHz 이상의 광대역 운용 또한 가능하다. 이를 위해 RB set이 도입되었고 광대역에서의 BWP에

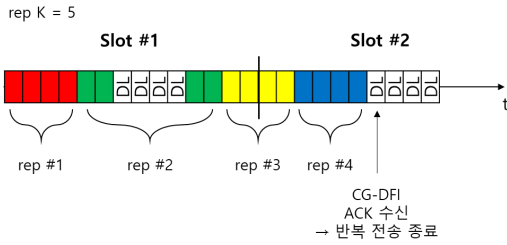


그림 18. CG-PUSCH 자원을 사용한 TB 반복 전송  
Fig. 18. TB Repetition in CG-PUSCH resource

대한 규격이 개선되었다.

i) RB Set Introduction

Release 16에서 하나의 약 20 MHz channel을 구성하는 RB set이라는 개념이 새롭게 도입되었다. 이러한 RB set은 PUSCH 자원 할당에 사용된다. PUSCH는 연속적인 RB set 또는 인터레이스 되는 RB set으로 정의될 수 있다. 이 중 연속적인 RB set들은 RB set 간 intra-cell guard band를 가지도록 RRC에 의해 주파수 자원이 정의된다. 만약 intra-cell guard band가 구성되지 않는다면 미리 정해진 기본값(default value)들이 적용된다.

표 7에서 intra-cell guard band에 대한 값이 지시되지 않았을 때 적용되는 기본값을 확인할 수 있다.<sup>[14]</sup> 먼저 광대역이 아닌 10 MHz와 20 MHz에서 intra-cell guard band는 적용되지 않는다. 표 7에 정리된 것과 같이 15 kHz SCS로 구성되는 40 MHz CBW의 경우 105 RB로 RB set 1과 RB set 2가 구성된다. 두 RB set 사이에는 6개의 RB가 guard band를 구성하여 전체 216개의 RB로 40 MHz의 CBW를 사용할 수 있다. 15 kHz의 SCS로 구성할 수 있는 최대 CBW는 50 MHz이므로 60 MHz와 80 MHz는 해당 사항이 없다. 30 kHz SCS로 구성되는 40 MHz CBW 또한 50개의 RB로 RB set 1, RB set 2가 구성되고 두 RB set 사이에 6개의 RB를 guard band로 사용한다.

표 7. 광대역 운용의 nominal intra-cell guard band  
Table 7. Nominal intra-cell guard band in Wideband operation.

SCS (kHz)	40 MHz	60 MHz	80 MHz
15	105-6-105 (216)	N/A	N/A
30	50-6-50 (106)	50-6-50-6-50 (162)	50-6-50-5-50-6-50 (217)

ii) Bandwidth Larger than 20 MHz on DL/UL BWP

DL에서 20 MHz보다 큰 대역폭의 BWP(Bandwidth Part)는 RB set의 구성에 상관없이 subset에 대한 LBT 성공 시, gNB는 DL 데이터와 신호를 전송할 수 있다.

이와 달리 UL에서 20 MHz보다 큰 대역폭의 BWP는 UL 전송이 스케줄링 또는 CG 되고 그 사이에 0이 아닌 intra-cell guard band가 적용된 모든 RB set에 대하여 LBT가 성공했을 때 UL 데이터와 신호를 전송할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 3GPP 5G NR을 비면허대역에서 사용할 수 있도록 표준화된 NR-Unlicensed에 대해 자세히 분석하고 설명하였다. 특히, 비면허대역을 고려하지 않고 표준화된 기본적인 5G NR의 Release 15 규격과 비교할 때, 비면허대역의 특성과 규제 사항을 만족시키기 위해 기존 NR에서 변경되고 새롭게 도입된 규격 내용 중 특히 물리 계층에 대해 집중적으로 분석하였다. 다양한 시나리오 환경에서 NR-Unlicensed를 사용하기 위해서는 제한된 시간 자원을 효율적으로 사용하기 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

NR-Unlicensed를 위해서는 본 논문에서 분석된 물리 계층은 물론 상위 계층인 MAC, RLC, PDCP, RRC에서도 많은 부분이 개선되고 새로운 방식이 도입되었다.<sup>[15,16]</sup> 또한 3GPP Release 16의 비면허대역은 5 GHz와 6 GHz 대역을 타깃 스펙트럼으로 하며 해당 주파수의 특성이 고려되어 여러 규격들이 정의되었다. 이후 Release 17에서는 새로운 비면허대역으로 n263(57 ~ 71 GHz)을 도입하여 71 GHz 대역에서의 비면허대역 NR 운용에 대한 표준화가 이루어졌다.<sup>[17]</sup>

후속 연구를 통하여 비면허대역 운용을 위한 5G NR의 상위 계층 규격의 변화와 Release 17에서 도입된 고주파 비면허대역을 기반으로 한 규격의 특징을 확인할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] 이현중, 최형진, “6G 비전 글로벌 동향,” *KICS Inf. and Commun. Mag.*, vol. 39, no. 9, pp. 18-24, Aug. 2022.

[2] R. Bajracharya, R. Shrestha, and H. Jung, “Future is unlicensed: Private 5G unlicensed network for connecting industries of future,”

*Sensors*, vol. 2020, no. 10, May 2020.  
(<https://doi.org/10.3390/s20102774>)

[3] 손영욱, 김성원, 최성현, “2.4 / 5 GHz 비면허 대역 무선랜 통신 기술,” *정보와 통신 열린강좌*, vol. 33, no. 12, pp. 10-18, Nov. 2016.

[4] S. Yoon and Y.-C. Ko, “A standard and research trend on the standalone 5G NR-Unlicensed systems,” in *KICS Winter Conf.*, pp. 863-864, Feb. 2022.

[5] 과학기술정보통신부, *5G+ 스펙트럼플랜 확장·발표*(2019), from <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&nttSeqNo=2360371&bbsSeqNo=94&mId=113&mPid=112>.

[6] 3GPP Technical Report, 21.916, *Release 16 Description, V16.1.0*, Jan. 2022.

[7] 3GPP Technical Specification, 38.300, *NR and NG-RAN Overall description, V16.10.0*, Oct. 2022.

[8] 3GPP Technical Specification, 38.211, *Physical channels and modulation, V15.2.0*, Jul. 2018.

[9] 3GPP Technical Specification, 38.211, *Physical channels and modulation, V16.10.0*, Jul. 2022.

[10] 3GPP Technical Specification, 38.212, *Multiplexing and channel coding, V16.3.0*, Nov. 2020.

[11] 3GPP Technical Specification, 38.213, *Physical layer procedures for control, V16.9.0*, Apr. 2022.

[12] 3GPP Technical Specification, 38.214, *Physical layer procedures for data, V16.2.0*, Jul. 2020.

[13] 3GPP Technical Specification, 37.213, *Physical layer procedures for shared spectrum channel access, V16.5.0*, Apr. 2021.

[14] 3GPP Technical Specification, 38.101-1, *User Equipment (UE) radio transmission and reception, V16.5.0*, Nov. 2020.

[15] 3GPP Technical Specification, 38.321, *Medium Access Control (MAC) protocol specification, V16.10.0*, Oct. 2022.

[16] 3GPP Technical Specification, 38.304, *User Equipment (UE) procedures in idle mode and in RRC Inactive state, V16.8.0*, Aug. 2022.

[17] 3GPP Technical Report, 21.917, *Release 17 Description, V17.0.1*, Jan. 2023.

정 소 연 (Soyeon Jung)



2021년 2월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 졸업  
2022년 3월~현재 : 단국대학교 컴퓨터학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 통신이론, 무선통신, 비면허대역

조 의 현 (Ikhyun Cho)



2023년 2월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 졸업  
2023년 3월~현재 : 단국대학교 인공지능 융합학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신, 무선통신, 비면허대역, V2X

최 수 한 (Suhan Choi)



1994년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사  
1996년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 공학석사  
2006년 8월 : Univ. of Michigan, Ann Arbor 공학박사

1996년 2월~1996년 12월 : 삼성종합기술원 주임연구원  
1997년 1월~2010년 8월 : 삼성전자 책임연구원  
2010년 9월~2016년 8월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 조교수  
2016년 9월~2022년 8월 : 단국대학교 모바일시스템공학과 부교수  
2022년 9월~현재 : 단국대학교 모바일시스템공학과 교수  
<관심분야> 통신이론, 정보이론, 이동통신, 3GPP 표준, 해상 및 수중 네트워크 등  
[ORCID:0000-0002-6588-2986]