

5G 무선 표준기술 동향

권기범

(주)아이티엘 표준연구실장

2018년 9월, NG-RAN(Next Generation Radio Access Network)과 5GC(5th Generation Core Network)로 구성되는 차세대(5G) 통신 시스템의 독자운용(StandAlone: SA)을 지원하는 최초의 표준이 제정되었다. 이전에 5G 시스템 중 하나인 LTE 기반 종속운용(Non-StandAlone: NSA) 표준이 제정되었으나(2018년 3월) LTE 네트워크가 없다면 운용이 불가하기 때문에 반쪽 짜리 표준이었다. 2019년 4월 현재, 국내 이동통신 3사는 앞서 언급한 2018년 9월 표준을 기반으로 세계 최초 5G 상용화를 성공적으로 시작하였다.

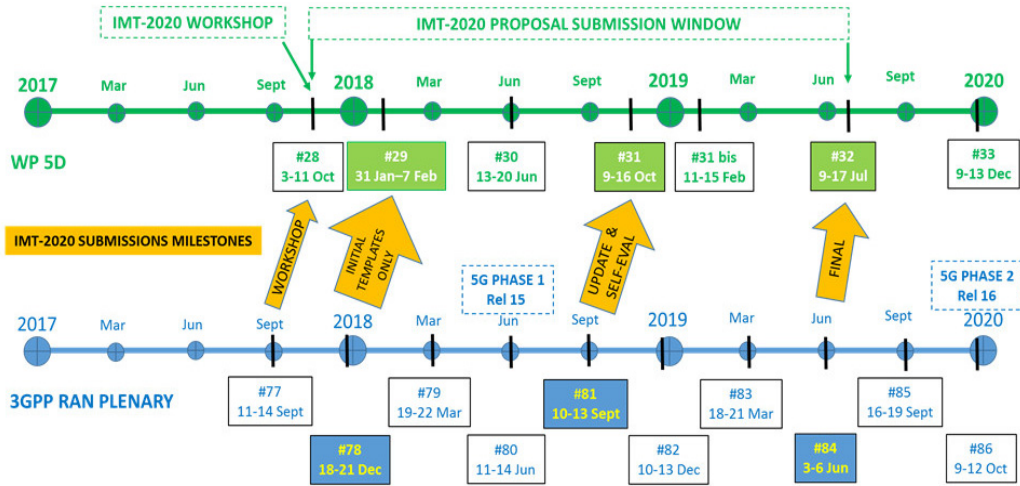
본 고에서는 독자가 5G에 대해 기본적인 이해를 가지고 있다고 가정하고, 추후 5G 기술이 어떠한 방향으로 진행되고 있는지에 대해 살펴본다. 이를 위해 사실상 유일한 글로벌 5G 표준단체인 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 논의 중인 5G 표준, 그 중에서도 RAN 관련 표준에서 논의 중인 기술들을 중점적으로 살펴본다.

I. 서론

2019년 4월 현재, 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 5G 시스템에 포함되는 NR(New Radio)과 LTE의 무선접속기술(Radio Access Technology: RAT)로 각각 구성된 RIT(Radio Interface Technology)와 위의 2가지 무선접속기술들을 모두 포함하는 SRIT(Set of RIT)를 구성하여 ITU-R(ITU Radio communication Sector)로부터 IMT-2020(International Mobile Telecommunications-2020) 시스템으로 인정받기 위한 문서작업에 한창이다[1],[2]. 이 문서는 3GPP에서 제정한 Release 15 버전의 표준에 포함된 기술들을 기반으로 하며 2020년 3월에 확정(freezing)될 Release 16 표준기술들을 반영하는 방식으로 작성된다. 하지만 [그림 1]과 같이 RIT와 SRIT 제출기한이 2019년 12월까지이기 때문에 최종 Release 16 표준이 제정되기 전에

* 본 내용은 권기범 실장 ☎ 02-3463-9725, kkwon@gooditl.com)에게 문의하시기 바랍니다.

** 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.



* 현 그림에서 5G PHASE 2 Rel 16 종료 시점은 2020년 3월로 변경되었다.
 (자료) RP-172789

[그림 1] IMT-2020(5G)관련 3GPP의 ITU-R 일정표

Release 16에 포함하기로 합의된 표준기술에 대한 개념 및 작동원리와 기본절차 등과 같은 상위개념에 대해 먼저 합의하고 이를 기반으로 RIT 및 SRIT가 작성될 것으로 예상된다. 따라서 ITU-R에서 공식적으로 인정하는 최초의 5G 이동통신시스템은 위와 같이 Release 15 및 16 표준에 반영된 기술들로 구성되어질 것이다. 본 고에서는 현재까지 진행된 5G 표준에 대해 각 Release별로 반영된 기술들을 중심으로 살펴보고, 추후 Release 17 표준은 어떠한 기술들이 포함될 것인지에 대해 예상하고자 한다. 먼저 II장에서는 5G 시스템의 기본이 되는 Release 15 표준, 그 중에서도 NR 시스템에 대해 집중적으로 살펴보고, III장에서는 Release 16 표준에서 현재 논의되고 있는 기술들을 SI(Study Item)/WI(Work Item) 수준으로 구분하여 각각에 대해 살펴본 후, IV장에서는 Release 17에서 논의될 것으로 예상되는 기술들의 방향성과 각 후보 기술들에 대해 살펴본다. V장에서는 본 고의 결론을 제시한다.

II. Release 15 표준 동향

1. NR Release 15 표준기술

NR 시스템은 원래 일반적인 용어로 차세대임을 나타내기 위해 사용되었던 new radio의 약자였

다. 하지만 현재는 NR 자체가 약자가 아닌 하나의 시스템에 대한 용어로 확정되어 사용되고 있다. 이 같은 NR 시스템은 유래에서도 알 수 있듯이 LTE와는 다른 새로운 무선통신 시스템을 지향하고 있으며 LTE와 하위 호환성(backward compatibility)보다 상위 호환성(forward compatibility)을 중요 설계이념으로 하고 있다. 기본적으로 IMT-2020에서 정의한 eMBB, URLLC, mMTC 등의 서비스 지원과 성능 요구사항들을 만족시키면서, 추후 새로운 기술의 간편한 도입을 위한 확장성과 기존 LTE에서 지원하지 못하는 밀리미터파 대역을 지원하는 프레임 형태를 갖추고 있다.

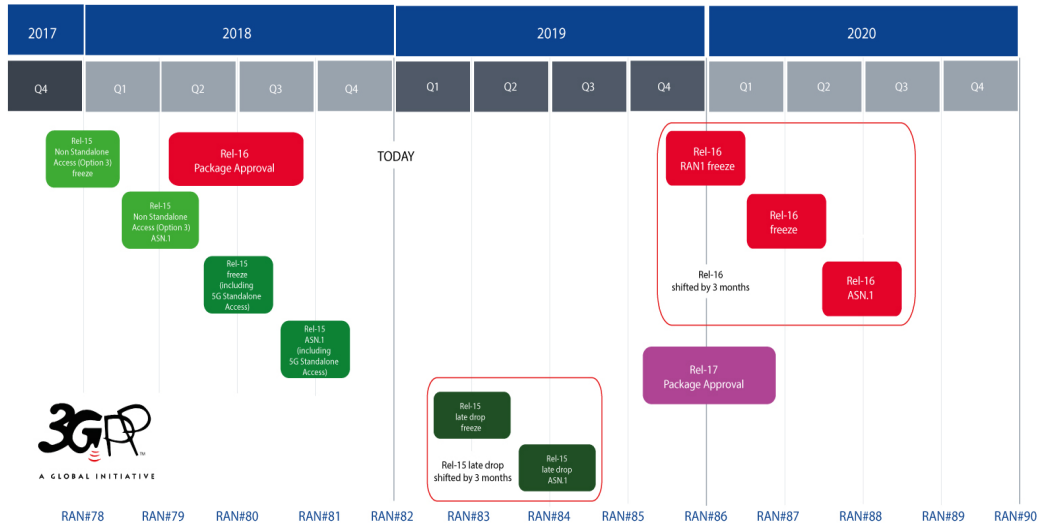
[표 1] LTE와 NR 시스템의 비교

구분	LTE	NR
주파수대역	6GHz 이하	6GHz 이하(FR1), 24.25GHz 이상(FR2)
대역폭	1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz	FR1: 5, 10, 15, ..., 100MHz FR2: 50, 100, 200, 400MHz
부반송파간격	15kHz	FR1: 15, 30, 60kHz FR2: 60, 120, [240]kHz
TTI	1ms	1, 0.5, 0.25, 0.125ms 2, 4 and 7 symbols(tens us)
프레임구조	Type 1: FDD Type 2: TDD	Unified framework of FDD/TDD with bi-directional slot
MIMO	Up to 4 layers 다양한 전송모드 (OL/CL-MIMO SFBC, SM)	Up to 8 layers 단일전송모드(LTE TM9 유사) Multi-beam operation
참조신호 (Reference Signaling)	CRS, CSI-RS, SRS, DMRS	DMRS, CSI-RS(for BM, tracking, mobility, CSI), SRS, PTRS
채널코딩	Turbo Coding, TBCC	LDPC, Polar Code
Waveform	DL: CP-OFDM UL: DFT-s-OFDM	DL: CP-OFDM UL: CP-OFDM + DFT-s-OFDM
Initial Access	단일 빔	다중빔 지원(SS블록, 다양한 PRACH 구조 지원)
지원 서비스	eMBB, IoT	eMBB, URLLC
광대역지원	반송파집성(CA)	광대역 Carrier, BWP

<자료> 김태중, 권종형, 김하성, 박병성, 육영수, 권기범, 이상욱, 이정훈, "3GPP 표준화 현황: Rel-15 규격 및 Rel-16 주요 이슈", 5G포럼 이슈리포트 Vol.6, 2018. 12.

2. NR Release 15 표준 일정에 따른 특징

Release 15는 [그림 2]와 같이 크게 3가지 구간(phase)으로 구분할 수 있다.

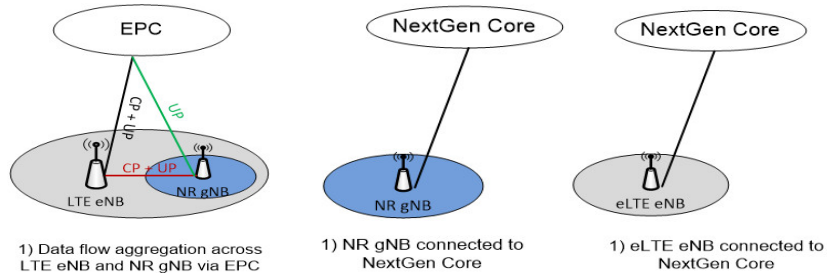


- * Release 15는 2017년 3월에 Release 16은 2018년 6월에 시작되었다.
 - * Release 15 내 해당 phase의 종료시점을 나타낸 것이다. 연한 초록색: early drop, 초록색: normal drop, 진 초록색(빨간색 테두리): late drop
 - * 빨간색(빨간색 테두리): Release 16 종료 계획
- (자료) 3GPP 홈페이지(www.3gpp.org)

[그림 2] Release 15 및 16 일정표

첫 번째는 NSA라고 불리는 early drop이다. NSA는 기존 4세대 무선 접속 기술인 LTE와 이에 대응되는 코어 네트워크인 EPS(Evolved Packet System)를 기반으로 차세대 무선 접속 기술인 NR을 접목시킨 것으로 2018년 3월에 구현 가능한 첫 번째 표준이 제정되었다. NSA는 [그림 3]의 왼쪽 그림과 같이 LTE 기지국인 eNB와 NR 기지국인 gNB가 동시에 하나의 단말(User Equipment: UE)에게 무선 서비스를 지원하는 형태인 EN-DC(LTE-NR Dual Connectivity) 구조(architecture)를 지원하는 표준을 개발하는 것을 목표로 하였다. 이러한 NSA 표준은 기존에 LTE 시스템을 도입하고 있는 대다수의 통신사업자들에게 빠르게 NR 기반 서비스를 시작할 수 있게 해줄 수 있는 장점을 가지지만 NR 시스템의 단독 운용이 불가능하고, 기존 EPS를 재사용하기 때문에 네트워크 측면에서는 기존 4세대 통신시스템의 성능에서 개선된 점이 없다는 단점을 가지고 있었다. 또한, NR 물리계층의 경우, NSA든 SA든 동일한 무선전송기술이 사용되기 때문에 early drop을 위해 6개월 단축된 일정 내에 NR 표준규격을 완성해야 했었기 때문에 극히 일부이긴 하지만 표준내용에 모호성이 완전히 제거되지 않아 추후 이에 대한 수정 및 보완작업이 오랜 기간 동안 진행되었다.

두 번째는 SA라 불리는 normal freezing이다. [그림 3]의 가운데 그림과 같이 NR 시스템이



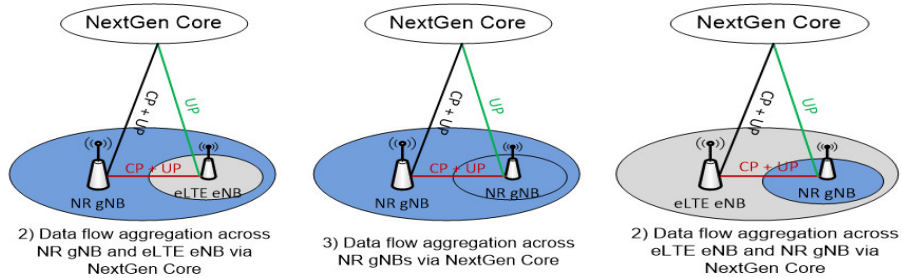
* 왼쪽 그림이 EN-DC(option3)으로 early drop에서 완료된 표준이 지원한다.
 * 가운데 그림이 SA(option2), 오른쪽 그림이 LTE-5GC(option5)으로 normal freezing에서 완료된 표준이 지원한다.
 (자료) TR 38.804, Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects, V14.0.0

[그림 3] Release 15 내 early drop/normal freezing 별 지원 가능 네트워크 구성 옵션

비로소 단독으로 운용될 수 있는 첫 번째 규격으로 새로운 차세대 코어 네트워크인 5GS와 결합되어 동작하는 것을 목표로 2018년 6월에 첫 표준이 제정되었으며 3GPP에서는 5G 표준 제정이 완료되었음을 선언하였다.¹⁾ 2019년 4월 현재 우리나라 이동통신사업자 3사가 동시에 세계 최초로 5G 상용화를 진행하기 위해 개발한 장비들 대부분이 바로 이 표준을 근간으로 하고 있다. 따라서 이후에 추가로 업데이트되는 표준내용들은 장비 구현 시 하위 호환성을 가져야 한다는 요구사항에 대해 논의가 진행되었다[4][5]. 이는 크게 두 가지 목적을 가지고 있을 것으로 해석될 수 있다. 첫 번째는 표준의 기본 원칙인 최소 요구사항에 입각하여 불필요한 표준수정의 난립을 막는다는 것이다. 두 번째는 5G 장비를 개발하는 회사입장에서 최초 버전이 아닌 보완을 거친 최신 표준 내용을 기반으로 구현해야 더욱 안정적인 구현이 가능할 것이라는 인식으로 인한 장비 개발 지연을 방지하기 위한 것이다. 이는 우리나라의 세계최초로 5G 상용화 일정과 무관하지 않다.

세 번째는 [그림 4]와 같이 무선 접속 네트워크 구축의 확장성을 높이기 위한 추가 옵션을 지원하는 late drop이다. Release 15에 대한 로드맵 논의 시에는 추가되지 않았던 내용이었으나, 우리나라 및 미국의 통신사업자 등 빠르게 5G 네트워크를 구축하고자 했던 사업자들에 의해 표준화 우선 순위에서 밀렸던 옵션들이 모두 포함되었다. 또한, 특히 밀리미터파 주파수 대역을 통한 5G 서비스를 고려하고 있던 사업자들의 요구에 의해 기존 Release 15 논의에 포함되지 않았던 [그림 4]의 가운데 그림과 같은 NR-NR DC(혹은 NR-DC라고도 한다) 구조 지원이 추가되었다. 하지만 정상적인 Release 16의 일정에 대한 영향을 최소화하기 위해 표준의 범위를 축소하였음에도 불구하고 합의된 6개월의 기간 내에 완료하지 못해 3개월 연장된 2019년 3월에 완료되었으며 구현 가능한 최초 표준은 2019년 6월에 공표될 예정이다.

1) 구현 가능한 최초 표준은 2018년 9월에 공표된 ASN.1 등 세부구현을 위한 내용이 모두 포함된 표준들이다.



* 왼쪽 그림이 NE-DC(option4), 가운데 그림이 NR-DC, 오른쪽 그림이 NGEN-DC(option7)이다.

(자료) TR 38.804, Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects, V14.0.0

[그림 4] Release 15 내 late drop 지원 가능 네트워크 구성 옵션

III. Release 16 표준 동향

1. NR Release 16 표준기술

Release 15에서 NR 시스템에 대한 기본 구조 및 필수 요소기술들을 포함하여 표준으로 제정하였기 때문에 Release 16에서는 5G가 지원하고자 했던 서비스들을 고려하여 기본 NR 시스템을 기반으로 추가로 요구되는 기술들에 대해 논의를 진행하고 있다. Release 16 표준 종료 시점은 Release 15 late drop의 논의가 3개월 연장됨에 따라 [표 2]와 같이 3개월 연장된 2020년 3월이 되었다. 이에 따라 기존에 합의된 Release 16에서 완료목표이던 주요 WI들의 최종 종료 시점이 2020년 3월로 변경되었다. RAN을 기준으로 Release 16에서 논의 중인 SI 및 WI는 [표 2]와 같다.

[표 2] Release 16 주요 SI 및 WI

제목	leading WG	기간	비고
5G V2X with SL[10]	RAN1	2019.3 ~ 2020.3	LTE와 NR 시스템간 연동/상호운용포함
DC/CA enhancement[16]	RAN2	2018.6 ~ 2019.12	
NR-U[9]	RAN1	2018.12 ~ 2019.12	
Non Terrestrial Network[12]	RAN2	2018.6 ~ 2019.12	비 지상/지상 네트워크 간 연동 포함
IIoT[13]	RAN2	2019.3 ~ 2020.3	IIoT 관련 이슈들 중 무선 이슈만 포함
IAB[8]	RAN2	2018.12 ~ 2019.12	

제목	leading WG	기간	비고
MIMO[20]	RAN1	2018.12 ~ 2019.12	Rel-15에 포함되지 못한 기술들 위주
UE power consumption[17]	RAN1	2018.6 ~ 2019.6	
Positioning[14]	RAN1	2019.3 ~ 2020.3	NR 시스템 기반(사이드링크는 미포함)
Two step RACH[19]	RAN1	2018.12 ~ 2019.12	
SON/MDT[18]	RAN3	2018.6 ~ 2019.6	
CLI + RIM[21]	RAN1	2018.12 ~ 2019.12	
URLLC PHY enhancement[22]	RAN1	2019.3 ~ 2020.3	

2. NR Release 16 주요 기술별 동향

가. Enhancement NR(mobility/MR-DC/UE power consumption/positioning 등)

Release 15에서 기본기능은 완성되었으나 성능 향상을 위해 더 많은 기술도입이 필요한 부분에 대한 아이템들이다. 밀리미터파 대역간 핸드오버와 같이 이동성 성능 향상이 필요한 상황을 지원하기 위해 Release 15때부터 논의되었던 Conditional Handover 방식 등을 포함하는 이동성 향상 기술, LTE-NR간 또는 NR-DC와 같이 다양한 무선접속 네트워크 구조에서의 성능 개선 및 cross-carrier 스케줄링 지원을 위한 MR-DC/CA(Carrier Aggregation) 향상기술과 기존 LTE에도 있었으나 NR 시스템을 위해 개선된 NR 단말 저전력 소모 기술, 위치측위 기술 등이 논의되고 있다.

나. 5G V2X(Vehicle to everything) with Sidelink

LTE에서 처음으로 도입된 셀룰러 기반 차량통신기술은 차량안전을 위해 ETSI에서 제정한 ITS 메시지의 송수신을 목적으로 설계되었다. 이후 이와 같은 차량안전 목적 이외에 자율주행, 차내 엔터테인먼트, 군집주행 등 다양한 차량관련 통신 서비스에 대한 지원을 위해 Release 15에서 LTE 기반으로 표준을 제정하였으나, 5G에서 요구하는 서비스 요구사항을 만족시킬 수 없었다. 이를 지원하기 위해 네트워크 서비스 지역 외에서도 차량통신을 가능하게 하는 단말간 통신 방식인 사이드링크(Sidelink)를 NR에 도입하고, LTE와 NR 시스템 모두를 포함하고 상호동작하는 V2X 통신기술을 도입하기 위한 논의를 진행하고 있다.

다. IIoT(Industrial Internet of Things)²⁾

5G의 주요 설계철학 중 하나는 타 산업계와의 연계 및 융합을 통해 창출되는 새로운 서비스의

2) NPN, CAG 포함

지원이다. 예를 들어, 스마트 공장, 스마트 시티, 자율주행 서비스 등이 있다. 이러한 새로운 패러다임의 서비스를 지원하기 위해 Release 15 표준 대비 더욱 강화된 URLLC(Ultra Reliability Low Latency Communication) 요구사항을 만족시킬 필요성이 대두되었다. 이를 위해 TSN(Time Sensitive Network) 구현을 위한 요소기술들과 새로운 이더넷 헤더 압축 기술과 같은 융합기술과 타 산업계의 네트워크와의 연계를 위해 NPN(Non-Public Network), CAG(Closed Access Group) 등의 개념을 도입하고 이를 지원하는 기술들을 논의하고 있다.

라. IAB(Integrated Access & Backhaul)

LTE에서는 고가의 유선 매설비용이 들지 않는 저렴한 비용으로 네트워크의 서비스 지역 확장 및 특정 지역에 대한 용량 증대 등을 목적으로 릴레이(relay) 기술을 표준으로 도입하였으나 의도와는 달리 기대만큼 성능이 나오지 않아 시장에서는 실패했다. 하지만 도입목적은 달성하고자 하는 수요는 지속적으로 있었기 때문에 NR에서는 이러한 수요에 대응하기 위해 멀티 홉을 지원하는 무선 백홀 개념을 기반으로 릴레이와 같이 일반 단말과의 무선 접속을 지원하는 새로운 개념으로 IAB 노드를 정의하였다. 이를 도입하기 위해 새로운 무선접속계층에 대한 새로운 구조를 설계하고 NR 시스템에서 지원해야 할 서비스들의 QoS를 만족시킬 수 있도록 세부기술들에 대해 활발히 표준화 논의를 진행 중이다.

마. NTN(Non Terrestrial Network)

일반적으로 셀룰러 네트워크는 지상의 기지국과 지상의 단말 간의 통신을 위해 설계되었으며 일부 고층빌딩을 고려한 설계가 포함되기도 하였다. 하지만, 위성, 비행기, 드론과 같이 기존의 지상이 아닌 공중에서의 통신에 대한 수요가 발생함에 따라 이를 지원하기 위해 위성을 기지국으로 하는 비 지상 네트워크(Non Terrestrial Network)를 구성하기 위한 방안에 대해 논의가 진행 중이다. 기본적으로 위성 네트워크를 통해 지상의 단말 또는 공중의 단말에게 셀룰러 서비스를 지원하며 지상의 네트워크와의 이동성 지원 또한 가능하다. 드론과 같은 무인항공기가 기지국의 역할을 하는 것도 포함되지만, 단말 형태의 무인항공기 지원에 대한 논의는 SA에서 논의 중인 UAV(Unmanned Area Vehicle) 아이템과 관련된 이슈가 RAN에서 표준화가 필요한 경우 추후 Release에서 별도로 다룰 것으로 예상된다.

바. NR-U(Unlicensed)

LTE에서 이미 도입되었던 비면허 대역 LTE 무선전송 방식을 기반으로 하여 NR에서도 비면허 대역 NR 무선전송 방식을 도입하기 위한 것이다. LTE 방식과 차이점은 기존 LTE 방식과 같이

면허대역의 지원기반 모드뿐만 아니라 비면허 대역 단독 운용 모드(standalone)와 DC를 추가로 지원한다는 점과 NR 시스템에서 새롭게 도입된 물리계층의 프레임워크, 빔 운용 기술, 주파수 대역 제어 기술 등을 그대로 비면허 대역에 적용할 수 있다는 점이다. 현재 SI를 마무리하고 WI를 진행 중이다.

IV. Release 17 표준 동향

2019년 3월에 있었던 RAN 총회에서 Release 17은 2021년 6월까지로 결정되었다. 또한, RAN 의장은 Release 17 논의를 시작하기에 앞서 다음과 같은 사항들을 제안하였다[6].

- 차기회의(2019년 6월)에서 하루를 할애하여 초기 Release 17에 대한 모든 제안에 대해 발표를 진행한다.
- 2019년 12월에 RAN WG 1/2/3에 대한 SI/WI들에 대해 최종 승인한다(RAN4는 2020년 3월에 진행).
- 특정 기술에 대한 SI/WI의 레포처(rapporteur)는 중립적 위치에서 작업한다. 즉, 어떤 회사의 입장이나 제안에 대해 표현하지 않으며, 레포처쉽(rapporteurship)은 특정회사의 연구량이 많든지, 리더쉽을 가지고 있다는 것을 나타내지 않는다.
- Release 17 아이템 논의를 위한 이메일 논의의 사회자(moderator) 또한 위와 동일한 의미를 가진다.

위와 같은 논의가 나오게 된 배경은 3GPP 내에서 특정 기술에 대한 SI/WI의 레포처를 맡고 있는 회사가 이와 관련된 표준을 이끌어가고 있는 회사라는 이미지를 가지고 있다는 점 때문이었다. 현재의 3GPP는 사실상 전 세계 유일의 글로벌 이동통신 표준으로서 그 중요도가 날로 높아지고 있다. 이로 인해 각 회사마다 주요 기술들이 포함된 SI/WI에 대해 레포처쉽을 가지는 것에 대해 경쟁이 심화되었고 이로 인한 소모적인 논쟁과 신경전이 거듭되었다. 물론 이와 같은 RAN 의장의 제안에 의해 이와 같은 의식이 단번에 없어지지는 않겠지만 의미 있는 제안이라 판단된다.

한편, 위와 같은 Release 17 논의 일정에 따라 2019년 6월을 목표로 3GPP 내 주요 기업들은 나름대로의 청사진을 가지고 이미 3GPP 내 회원사들을 대상으로 오프라인 논의에 돌입하였다. 아직까지는 확정된 아이템들은 없지만 큰 흐름들은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 5G 서비스 요구사항 추가에 따른 기존 NR 시스템의 기능 및 성능 강화
- 사이드링크, 비 지상 네트워크 등 다양한 연결성(connectivity)을 지원하면서 QoS를 유지할

- 수 있는 새로운 기능 추가
- 다양화된 IoT 기기들을 통합하여 운용할 수 있는 망구조 및 기능

V. 결론

2019년 4월 3일, 우리나라 이동통신 3사는 세계 최초로 5G 상용화에 성공하였다. 혹자는 세계 최초에 대해 큰 의미를 두지 않는 경우도 있다. 하지만 어떠한 일이든 최초는 중요한 것이며, 다른 이들도 5G 서비스를 처음 시작할 때 겪을 수 있는 여러 가지 문제점을 미리 확인하고 이를 보완함으로써 남들보다 더 나은 서비스와 제품들을 출시할 수 있기 때문에 경쟁력 확보 측면에서 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

5G는 이제 첫 번째 표준이 나오고 제품으로 구현이 막 시작된 상태이다. 아직 개선될 여지가 많이 남아 있으며 5G를 제대로 활용할 수 있는 킬러 애플리케이션에 대한 연구는 이제 시작단계이다. Release 17과 그 이후를 준비하면서 세계 최초의 5G 상용화를 진행했던 열정으로 더욱 연구에 박차를 가해야 할 때다.

[참고문헌]

- [1] 3GPP homepage, "Submission of initial 5G description for IMT-2020," 2018. 1.
- [2] 3GPP homepage, "Workshop on 3GPP submission towards IMT-2020," 2018. 10.
- [3] 김태중, 권종형, 김하성, 박병성, 육영수, 권기범, 이상욱, 이정훈, "3GPP 표준화 현황: Rel-15 규격 및 Rel-16 주요 이슈", 5G포럼, 이슈리포트 Vol.6, 2018. 12.
- [4] R2-1902299, "Interoperability of Release 15 specifications," TTA, KT, LG Uplus, SKT, LGE, ITL, 2018. 11.
- [5] RP-190314, "Operator view on 5G NR," SK telecom, KT, LG Uplus, Verizon, 2019. 3.
- [6] RP-190563, "Preparing for Release-17," 2019. 3.
- [7] TR 38.304, "Study on New Radio Access Technology; Radio Interface Protocol Aspects," 2017. 3.
- [8] RP-182882, "Integrated Access and Backhaul for NR," 2018. 12.
- [9] RP-182878, "NR-based Access to Unlicensed Spectrum," 2018. 12.
- [10] RP-190766, "5G V2X with Sidelink," 2019. 3.
- [11] RP-181726, "New Radio (NR) Access Technology," 2018. 9.
- [12] RP-181228, "Study on NR non-terrestrial network," 2018. 6.
- [13] RP-190728, "NR Industrial Internet of Things," 2019. 3.
- [14] RP-190752, "NR Positioning Support," 2019. 3.
- [15] RP-181433, "NR mobility enhancements," 2018. 6.

- [16] RP-182076, "DC and CA enhancements," 2018. 9.
- [17] RP-181463, "Study on UE Power Saving in NR," 2018. 6.
- [18] RP-182105, "Study on RAN-centric Data Collection and Utilization for LTE and NR," 2018. 9.
- [19] RP-182894, "2-step RACH for NR," 2018. 12.
- [20] RP-182863, "Enhancements on MIMO for NR," 2018. 12.
- [21] RP-190700 "Cross Link Interference(CLI) handling and Remote Interference Management(RIM) for NR," 2018. 12.
- [22] RP-190726, "Physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency communication (URLLC)," 2019. 3.