

5G Network Slicing 동향 및 향후 전망

| 작 성 | KT 옥기상 (ksok@kt.com)

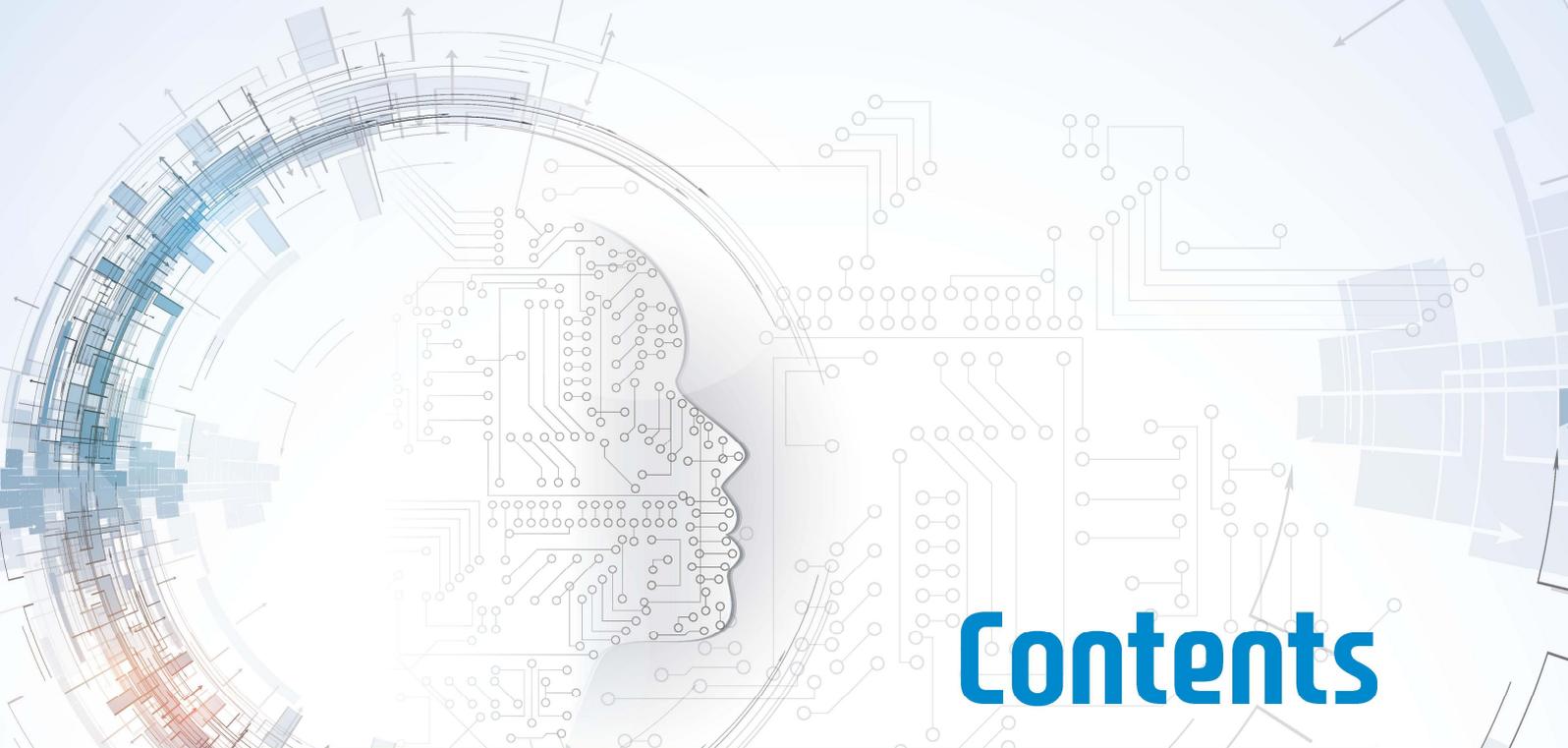
- 『AI Network Lab 인사이트』는 인공지능, 클라우드, 5G 등 4차 산업혁명의 핵심인 지능정보기술과 네트워크 신기술에 대한 동향을 간략하고 심도 있게 분석한 보고서입니다.
- 본 연구보고서는 과학기술정보통신부의 방송통신발전기금조성사업, 한국정보화진흥원의 미래네트워크선도시험망 구축운영사업의 연구과제 결과이며, 한국정보화진흥원/경기도경제과학진흥원과 공동 기획하였습니다.
- 본 보고서의 내용의 무단 전재를 금하며, 가공인용할 때는 반드시 출처를 『한국정보화진흥원(NIA)』이라고 밝혀 주시기 바랍니다.

발행처 한국정보화진흥원

발행인 문용식

기획 한국정보화진흥원 지능형인프라본부 인프라기획팀

보고서 온라인 서비스 www.nia.or.kr



Contents

보고서 요약

(1) 보고서 요약	5
------------------	---

보고서 주요 내용

(1) 5G 주요 특성	6
(2) 5G Network Slicing 개념 및 표준화 동향	8
(3) 5G Network Slicing 유형별 구현 기술	11
(4) 5G Network Slicing 가치와 향후 전망	15

참고문헌	17
------------	----

개요

- 본고에서는 5G의 주요 특성을 간단히 소개하고, 5G의 핵심 요소인 5G Network Slicing에 대해 설명한다.
- 먼저 5G 요구사항과 관련 기술을 간단히 살펴보고, 다음으로 5G Network Slicing의 개념을 설명하고, Network Slicing과 관련된 표준화 동향을 살펴본다. 그리고 Network Slice 유형에 대해 설명하고, 유형별 주요 구현 기술을 살펴본다. 마지막으로 Network Slicing의 가치와 향후 전망으로 본고를 마무리하고자 한다.

보고서 요약

(1) 5G 주요 특성

5G의 요구 사항은 데이터 처리 최고속도(20Gbps), 처리 지연시간(1ms), km²당 최대 연결 단말 수(100만개) 그리고 IoT 단말 등을 고려한 에너지 효율성(10배) 등에 있어서 기존과 확연히 차이가 난다.

(2) 5G Network Slice 개념

Network Slice는 물리적으로 하나의 네트워크를 통해 단말에서 라디어 액세스, 전송 그리고 5G Core 장비를 포함하여 End-to-End로 논리적으로 분리된 네트워크를 만들어 서로 다른 특성을 갖는 다양한 서비스들에 대해 그 서비스에 특화된 전용 네트워크를 제공하는 것이다.

5G Network Slice 유형은 크게 초고속 Slice(eMBB), 초저지연 & 고신뢰 Slice(uRLLC), 초연결 Slice(mMTC)로 정의한다.

(3) Network Slice 유형별 구현 기술

초고속 Slice 구현 기술로는 넓은 주파수, Massive MIMO, 빔포밍, NFV 기술이 있다. 초저지연/고신뢰 Slice 구현 기술로는 ULCL을 이용한 UPF 오프로드, 5G Core 장비의 Edge Cloud로 전진배치 기술이 있다.

초연결 Slice는 가변적 채널대역폭 할당 기술로 효율적 주파수 활용이 가능하다.

(4) Network Slice 가치 및 향후 전망

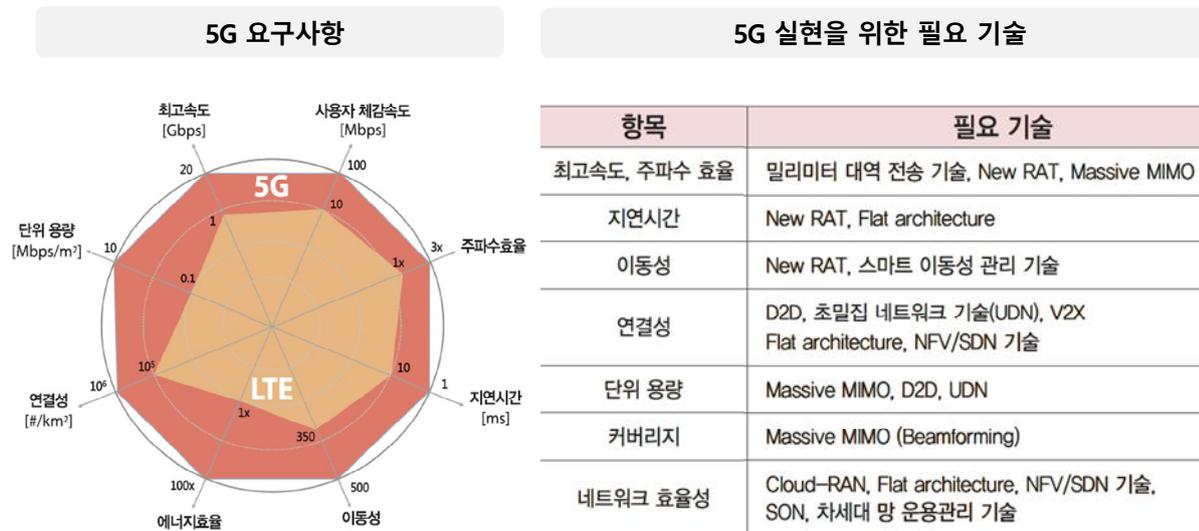
초저지연 및 초연결, 초고속의 5G Network Slicing은 산업분야에 적용되어 기존 4차 산업을 가속화 할 것으로 기대된다. 5G Network Slicing의 본원적 가치는 조만간 제공될 28GHz 주파수 대역의 5G SA에서 본격적으로 제공될 것으로 기대된다.

주요 내용

(1) 5G의 주요 특성

최근 ICT 분야를 관통하는 화두는 인공지능(AI)이라고 할 수 있다. 이러한 AI는 4차 산업과 연계되어 우리의 산업을 크게 바꿀 것으로 기대하고 있다. AI를 기반으로 한 4차 산업시대에는 다양한 장비와 로봇이 상호 연결되어, AI기반 통제시스템에 따라 운용될 것이다. 즉, 통신의 이용 주체가 사람에서 기계장비나 로봇이 되는, MCT 시대(mechatronics communication Technology)가 될 것으로 예상된다. 사람보다 더 많은 다양한 기계들이 좁은 지역에서 다양한 특성에 따라 촘촘히 상호 연결될 것이다.

이러한 요구사항을 만족할 수 있도록 설계 개발된 것이 5G 이동통신(5th Generation Mobile Network)이라고 할 수 있다. 예를 들면, 4G가 스마트폰이 주인공인 시대였다면, 5G는 로봇, 자율주행 자동차, 스마트 팩토리 등 다양한 분야의 센서들이 서로 연결되어 새로운 서비스를 만들어 낼 수 있다. 5G의 요구 사항은 아래에서 보는 것처럼 데이터 처리 최고속도, 처리 지연시간, 단위면적당 최대 연결 단말의 숫자, 단위면적당 처리 용량, 그리고 IoT 단말 등을 고려한 에너지효율성 등에 있어서 기존 LTE와 확연히 차이가 난다.



[그림1] 5G 요구사항 및 요소 기술

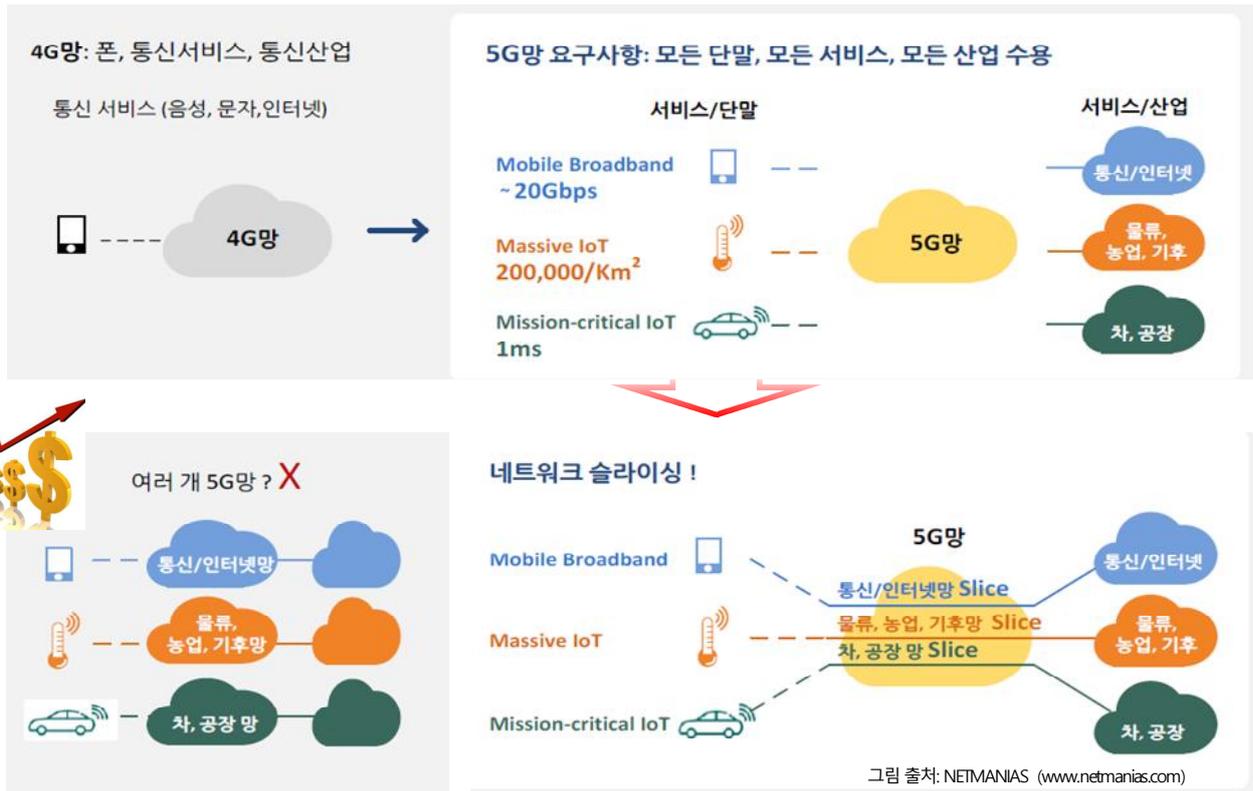
이와 관련하여 ITU(국제전기통신연합)은 2017년에 5G 이동통신(IMT-2020) 기술의 핵심 요구사항을 제정한 보고서를 발표했다[1]. 5G 요구사항을 실현하기 위해 분야별로 다양한 기술들이 적용되며, 뒷장에서 좀 더 자세히 설명한다. 예를 들면, 최고속도를 실현하기 위해 넓어진 주파수 대역폭뿐만 아니라 동일한 전파 자원을 동시에 여러 사용자 그룹을 대상으로 서비스 할 수 있도록 하는 Massive MIMO(Multi Input Multi Output)기술, 이를 가능하게 기지국 안테나가 특정한 공간에 있는 사용자 그룹을 향해 전파를 집중해서 전송하는 Beamforming 기술 등이 필요하다[2].

(2) 5G Network Slicing 개념 및 표준화 동향

•5G Network Slicing 개념

앞에서 언급한 5G 요구사항들을 모두 만족하는 네트워크를 필요로 하는 경우도 있겠지만, 경우에 따라 초고속, 저지연 또는 높은 연결성만을 필요로 할 수 있다. 즉 8개의 5G 요구사항을 모두 만족하는 네트워크는 높은 연결성만을 요구하는 사용자에게는 불필요한 기능을 제공하는 비싼 네트워크라고 할 수 있다. 이처럼 다양한 요구사항에 따라 최적의 네트워크를 쉽고 비용 효율적으로 제공할 수 있는 방법이 필요하다. 이처럼 요구 사항에 따른 맞춤형 네트워크를 효과적으로 제공할 수 있는 개념이 네트워크 슬라이싱(network slicing)이다[3,4].

네트워크 슬라이싱은 물리적으로 하나의 네트워크를 통해 단말(Device)에서 Radio Access Network(RAN), 전송(Transport) 그리고 코어 장비(Core)를 포함하여 End-to-End로 논리적으로 분리된 네트워크를 만들어 서로 다른 특성을 갖는 다양한 서비스들에 대해 그 서비스에 특화된 전용 네트워크를 제공해주는 것이다. 각 네트워크 슬라이스는 자원을 보장받으며, 각 슬라이스가 서로 분리되어 있어 특정 슬라이스내에 오류나 장애가 발생해도 다른 슬라이스의 통신에는 영향을 주지 않는다[5].



[그림2] 네트워크 슬라이싱 개념

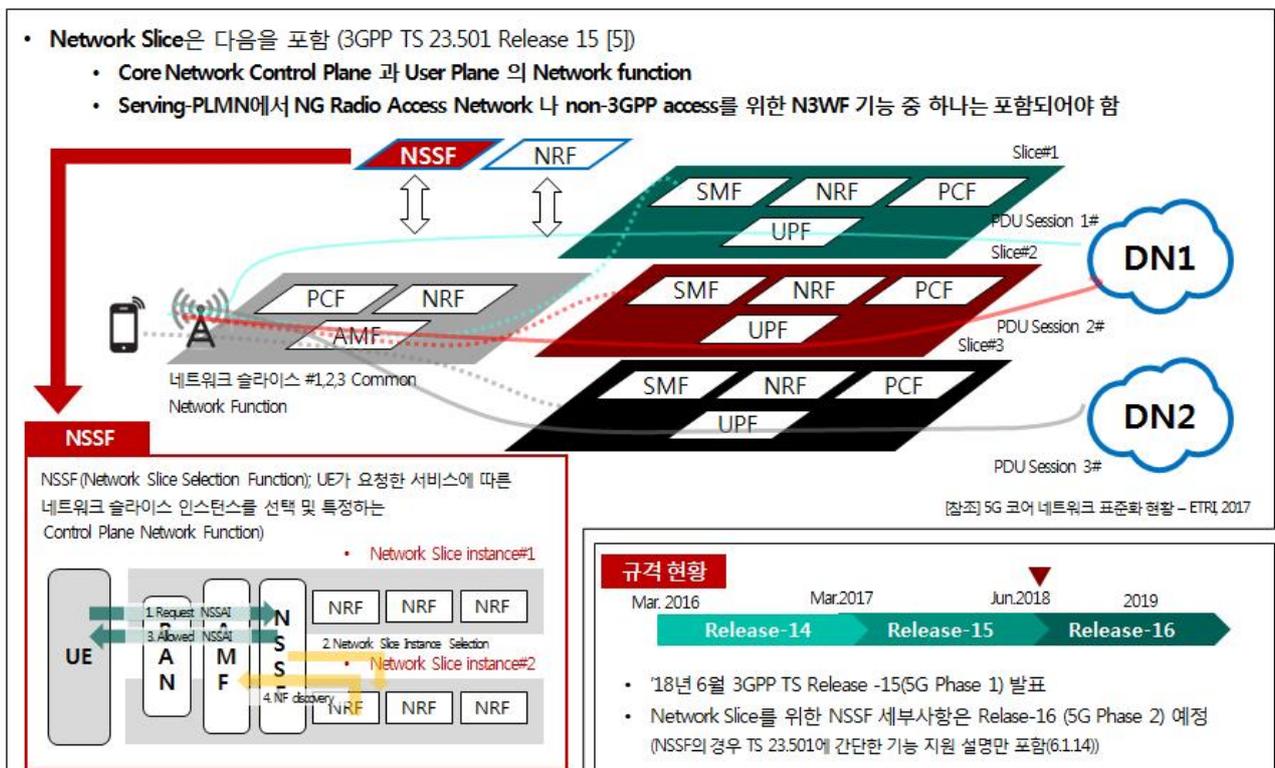
•3GPP Network Slice 정의 및 표준화

3GPP는 “네트워크 슬라이스는 네트워크 기능(Capability)과 특성(Characteristic)을 제공하는 논리적인 네트워크로써, 연결을 위한 코어 네트워크의 제어 플레인(Core Network Control Plane)과 실제 사용자의 트래픽이 전달되는 사용자 플레인(User Plane)으로 구성되며, 차세대 무선 액세스 네트워크(NG Radio Access Network)와 WiFi 등을 포함한 non-3GPP 규격의 접근을 위한 N3WF 기능을 포함해야 한다.”고 정의하고 있다.

3GPP 규격은 복수 개의 네트워크 슬라이스에 동시 연결 구조 및 NSSF(Network Slice Selection Function), 슬라이스 식별자(Slice ID) 등의 기능에 대한 표준화가 진행되고 있다. 사용자 단말은 제공받는 서비스에 따라 복수 개의 네트워크 슬라이스에 동시에 접근할 수 있으며, 사용자 단말은 최대 8개까지 동시에 접속이 가능하도록 되어 있다. 사용자 단말이 특정 네트워크 슬라이스 인스턴스로부터 서비스를 제공받기 위해서는 사용자 단말에서 요청하는 서비스 요구사항 정보를 5G 시스템에 전달한다. 5G에서 새롭게 정의된 NSSF(Network Slice Selection Function) 기능을 통해 코어 네트워크에서는 적절한 네트워크 슬라이스

인스턴스를 선택한다. 네트워크 슬라이스 인스턴스의 기능과 속성을 기술하는데 사용되는 정보로써 NSSAI(Network Slice Selection Assistance Information)을 정의하였으며, SST(Slice/Service Type)과 SD(Slice Differentiator) 정보를 포함한다[4].

SST는 요청하는 서비스 유형을 기술하며, 현재 eMBB, uRLLC, mMTC 등으로 정의되어 있다. SD 정보는 슬라이스 인스턴스의 구체화된 속성을 기술하여 동일 SST의 다른 속성을 지원하는 네트워크 슬라이스 인스턴스를 선택하는데 사용된다.



[그림3] 3GPP 네트워크 슬라이싱 정의 및 표준화 현황

•End-to-End Network Slicing

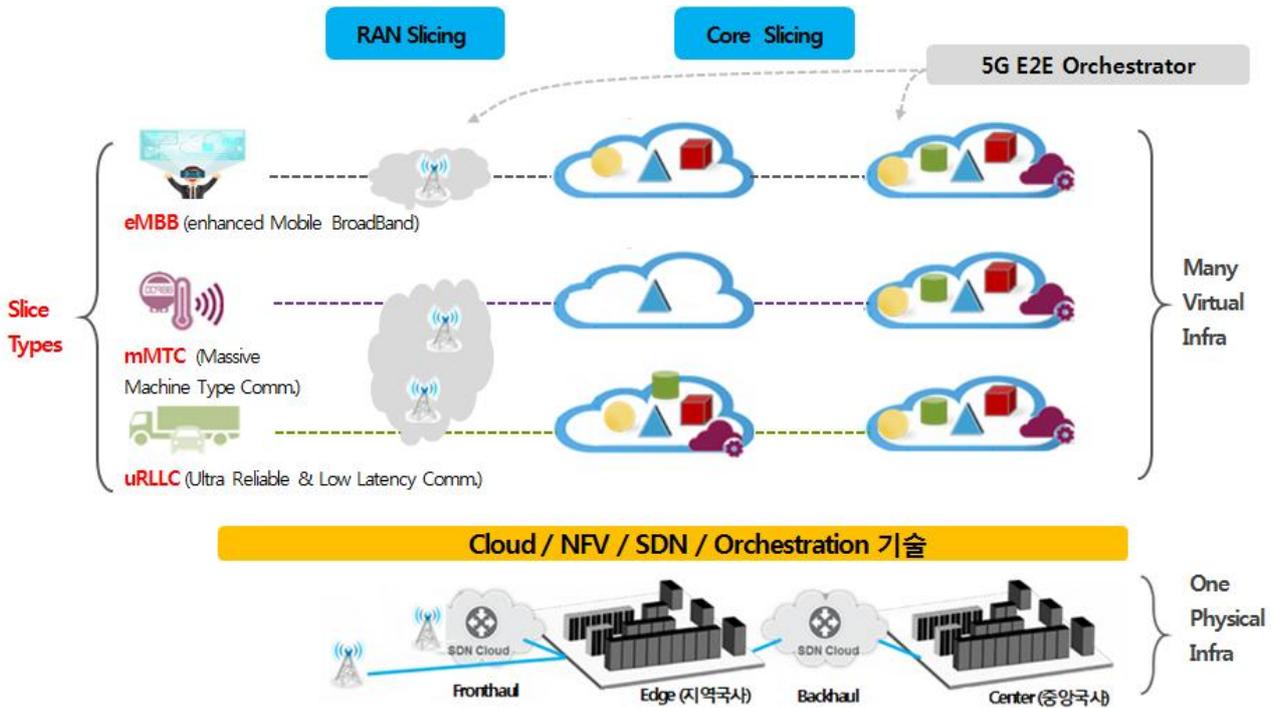
Network Slice는 특성에 따른 맞춤형 네트워크로써, 다른 Slice에 영향을 받지 않아야 한다. 이를 위해서는 그 특성에 맞게 Radio 구간과 전송 구간, Core 구간이 구성되어야 하며, Slice들은 서로 분리되어야 Slice간의 영향을 배제할 수 있다.

각 구간별 분리를 통해 상호 간섭을 배제하는 기술은 다음과 같다. 첫째, Edge와 Center Edge로 구성되는 분산 컴퓨팅 상에서 Cloud 및 NFV 등의 가상화 기술을 기반으로 5G 코어 Slice를 분리 제공할 수 있다.

둘째, 5G RAN Slice는 주파수 대역(3.5GHz, 28GHz)과 시간의 분할을 통해 분

리 제공할 수 있다. 셋째, 기지국을 중심으로 하는 RAN 구간과 Edge를 중심으로 하는 Core 구간을 서로 연결하기 위한 전송 구간은 Fiber 및 채널 분리, 그리고 전 통적 네트워크 가상화(VLAN, QinQ 등) 기술을 통해 분리 제공할 수 있다.

또한 각 구간별 Slice를 구성하고, 구간사이의 연결은 5G E2E Orchestrator를 통해 신속 용이하게 제공할 수 있다.



[그림4] Network Slice 유형 및 E2E Network Slice 제공 구조, 기술

현재 국내 통신 3사는 3.5GHz 주파수 대역을 사용하여 5G 서비스를 제공하고 있다. 통신 3사는 3.5GHz 대역에서는 약 100MHz 대역폭을 사용하여 서비스를 제공하고 있다.

	KT	SKT	LGU+
3.5GHz	3.50~3.60 (100MHz)	3.60~3.70 (100MHz)	3.42~3.50 (80MHz)
28GHz	26.5~27.3 (800MHz)	28.1~28.9 (800MHz)	27.3~28.1 (800MHz)

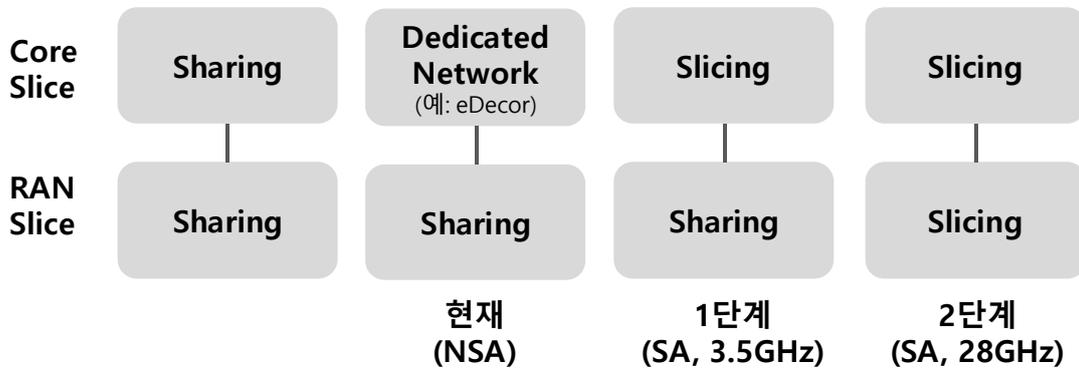
[표1] 국내 통신 3사 5G 주파수 현황

100MHz의 제한된 대역폭에서 각 Slice별로 별도 주파수 대역을 할당하는 것은 현실적인 어려움이 있다. 따라서 구간별 Network Slice중 Core 장비를 중심으로 Core Slice를 우선 제공하며, RAN 구간은 Slice간 Sharing을 기본으로 5G QoS Profile에 정의된 우선순위 및 지연 등의 속성을 기반으로 자원을 Scheduling한

다.

국내 통신 3사는 28GHz의 고주파수 대역에서는 각각 800MHz 대역폭을 확보하고 있다. 따라서 완전한 RAN Slice 제공은 5G SA(Stand-Alone) 구조에서 28GHz 대역이 상용화되는 단계에서 가능할 것으로 예상된다.

RAN Slicing을 위해서는 주파수 대역을 100MHz 대역폭 단위로 할당할 수 있다. 이 경우, 전체 800MHz 대역폭을 사용할 경우, 8 개의 RAN Slice 분리가 가능하다. RAN Slicing 관련해서는 주파수 대역의 효율성 측면과 전체적인 성능 감소 및 관리 기능의 복잡도 증가, 슬라이스 조합/구성 및 Orchestration 구현 등의 이슈가 있다[6].



[그림5] E2E Network Slice 제공을 위한 구간별 Slice 제공 단계

(3) Network Slice 유형별 구현 기술

Network Slice 유형은 앞에서 언급한 바와 같이 eMBB, uRLLC, mMTC로 구분된다. 각 Network Slice 유형별 특성을 구현하기 위해 RAN, Core 및 전송, 3개의 네트워크 구간에서 적용될 수 있는 구현 기술은 아래와 같이 요약할 수 있다.

[표2] Network Slice 유형별 구현 기술

Slice Type		RAN	Core	전송
eMBB		- 무선주파수 대역제어 - Massive MIMO - Beamforming - MPTCP (4G/5G/WiFi)	- 전용 Core 및 Scaling	- 전용회선 속도 제어
uRLLC	Latency	- 단말단위 5QoS 제어	- Core/Edge 전진배치 - ULCL기반 UPF 오프로딩 - Edge Cloud (MEC)	
	Reliability	- RAN Duplication	- Core/Edge 다중화	- 전송경로 다중화
mMTC		- 가변채널 대역 할당		

•eMBB Network Slicing 기술

5G 서비스에서 제공하는 고속 통신(eMBB) Slice 특성은 증강현실(AR)이나 가상현실(VR) 뿐만 아니라 이를 모두 포함하는 확장현실(XR) 서비스는 물론, 4K/8K UHD 서비스, 홀로그램 서비스 등과 같은 대용량 멀티미디어 서비스를 가능하게 한다.

이를 위해 5G는 기존 LTE 대비 넓은 주파수 대역을 이용한다. 현재 통신 3사는 5G를 위해 900MHz (3.5GHz 기반 100MHz, 28GHz 기반 800MHz)의 주파수 대역을 확보하고 있으며, 이는 기존 LTE의 주파수 대역이 100~200MHz 인 것을 비교하며 매우 넓은 주파수 대역임을 알 수 있다. 대역폭 기준으로 LTE 대비 5G는 4.5~9배 정도의 차이가 있으며, 비례적으로 데이터 전송 속도가 증가하게 된다.

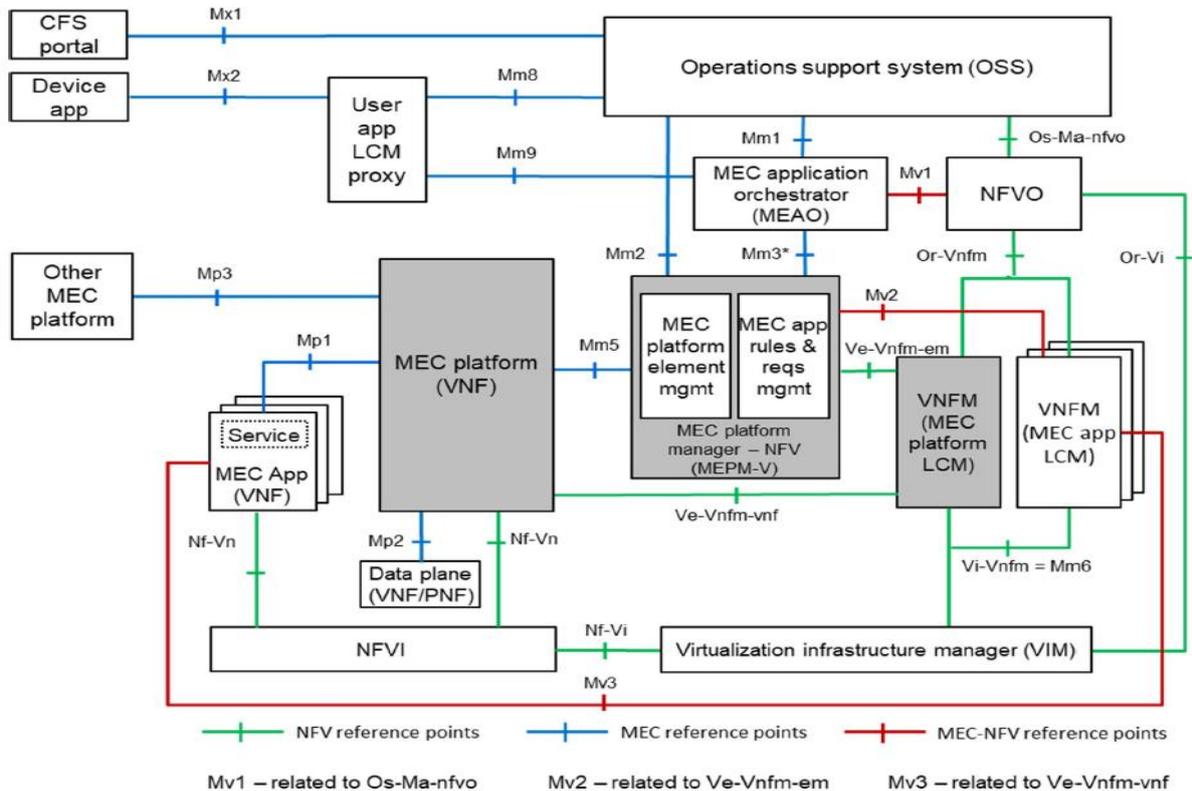
5G에서는 넓어진 주파수 대역폭 이외에도 안테나의 집적도와 전파를 송신하는 방향성을 제어하는 기술을 통해서 고속 통신을 실현할 수 있다.

대표적으로 안테나의 집적도를 높이는 기술인 Massive MIMO는 Multiple Input Multiple Output으로 다중 입출력이 가능한 안테나 시스템을 말한다. 즉, 이동통신에서 기지국과 사용자 단말기에 다수의 안테나를 사용하여 다중 경로로 신호를 송수신하여 간섭을 줄이고 전송용량과 전송속도를 증가시키는 기술이다. 그리고 앞에 Massive라는 수식어가 붙으면 최소 100개 이상의 안테나를 사용한다는 의미를 담는다. 이런 MIMO는 여러 개의 정보를 다수의 송신 안테나를 통해서 전송하여 전송속도를 향상시키는 공간 다중화(spatial multiplexing), 다수의 송신 안테나로 똑같은 정보를 중복 전송하고 수신 안테나에서 이들 신호를 결합하고 오류를 제어하는 공간 다이버시티(spatial diversity), 안테나에서 송수신되는 전파(빔)를 원하는 방향으로 보내서 간섭을 줄이고 신호를 원하는 사용자에게 도착하게 하는 빔포밍(beamforming)이 포함되어 있다. 이중 빔포밍은 기지국 안테나가 특정한 공간에 있는 사용자 그룹을 향해 전파를 집중해서 송신하는 기술을 말한다[7].

Massive MIMO와 빔포밍 이외에도 통신 속도를 올리기 위해서 5G와 4G, 그리고 WiFi를 함께 이용할 수 있다. 즉, 다운로드나 업로드시 이들 통신 네트워크를 함께 병합하여, 데이터를 나눠서 동시에 송수신함으로써 속도를 향상시킬 수 있다. 이는 5G의 속도 뿐만 아니라 커버리지 제약을 해결할 수 있는 방법이다. 이런 경우 서로 다른 네트워크를 통합 제어할 필요가 발생하는데, 이때 사용되는 기술이 다중 경로 전송 제어 프로토콜(MPTCP : Multi Path TCP)이다.

5G 초고속 slice를 실현하기 위해서는 앞에서 설명한 주파수 대역폭과 안테나 관련 기술들을 통한 Radio access network (RAN) 기술 이외에도 5G Core를 제어하는 기술이 필요하다.

5G Core는 Cloud상에서 네트워크 장비를 가상화하는 NFV(Network Function Virtualization) 기술을 기반으로 하고 있다. 이를 통해 트래픽 용량의 증가에 따라 5G Core의 용량을 쉽게 조절(Scaling)할 수 있다. 이러한 가상 네트워크 기능(Virtual Network Function)을 Cloud상에 쉽게 설치하고 구성하기 위해 이를 제어하는 시스템인, NFV Orchestrator가 필요하다. NFV Orchestrator는 다수 제조사의 VNF를 제어할 수 있어야 하며, 이를 위해 VNF와 NFV Orchestrator간 연동 규격의 표준화가 중요한 부분이다. ETSI(유럽통신표준기수) NFV ISG를 중심으로 가상 인프라 상에서 VNF 개체의 생성에서 증설, 삭제까지 전체 라이프 사이클 관리를 위해 VNF 및 VNF Manager, NFV Orchestrator에 대한 참조 구조를 정의하고, 이들간 연동 규격을 정의하고 있다. 또한 5G Core VNF를 통해 연결하고자 하는 서비스 응용들이 구동되는 MEC (Mobile Edge Computing)와 연결을 위한 참조구조 및 연동규격을 정의하고 있다[8].



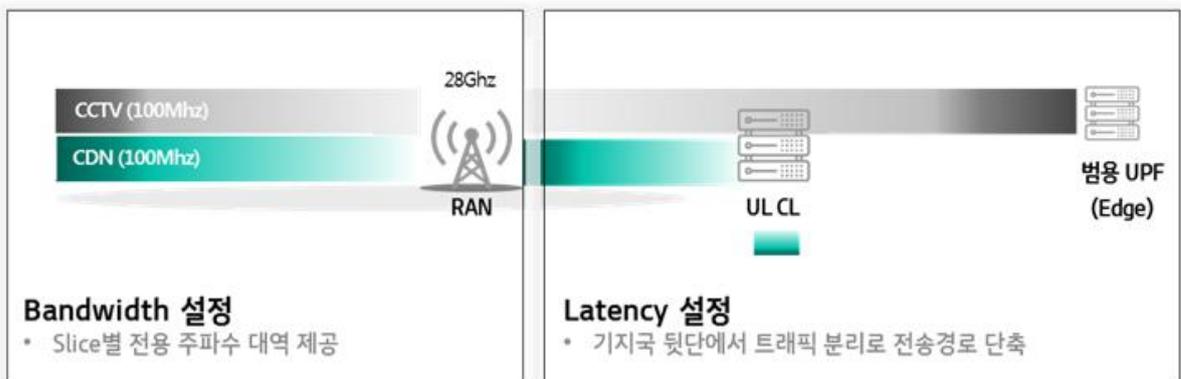
[그림6] ETSI MEC & MANO Reference Architecture

•초저지연 및 고신뢰 (uRLLC) Network Slicing 기술

5G 초저지연 및 고신뢰 (uRLLC) slice는 실시간성을 필요로 하는 자율주행 자동차 또는 공장에서 사용되는 로봇 등의 제어에 필수적이다. uRLLC Slice 구현 기술로 5G Core의 UPF 오프로딩 기술과 Edge Cloud 기술이 대표적이다.

5G는 Cloud상에 가상화 기술을 기반으로 하지만, 비디오, 이미지 등 데이터 병렬성이 높은 라지 패킷, 또는 웹서핑, 채팅 등 비정형 데이터 타입의 스몰 패킷이 불규칙적으로 결합된 트래픽의 처리에는 비효율적인 CISC 기반 범용 CPU 구조와 NIC 메모리~PCI3~CPU~메인 메모리를 오가면 빈번한 풀링(Pooling)과 인터럽트(Interrupt)가 발생하는 x86 기반 아키텍처는 성능 측면에서 비효율적이다. 이를 해결할 수 있는 방안으로 L3 이터넷 플로우 엔진을 탑재한 smart NIC 카드의 FPGA에 ULCL (Uplink Classifier) 로직을 구현하는 방법이 있다. 이를 통해 풀링을 없애고, 고속 병렬 처리를 제공하며, 플로우 숫자가 늘어나도 와이어 스피드 (wire speed)에 가까운 선형적 처리량 증가를 보장한다[9].

이렇게 경량으로 구현된 기능은 아래 그림과 같이 기지국 뒷단에 설치하여 기지국에서 통신센터 Edge까지의 전송될 필요 없는 트래픽은 ULCL 장비에서 분리함으로써(local breakout) 전송 경로를 단축할 수 있다. 통산 기지국에서 통신센터 Edge까지 전송 시간은 이들간 거리에 따라 차이가 있지만 2~4msec가 소요되며, 이런 전송 시간을 제거함으로써 저지연을 실현할 수 있다.

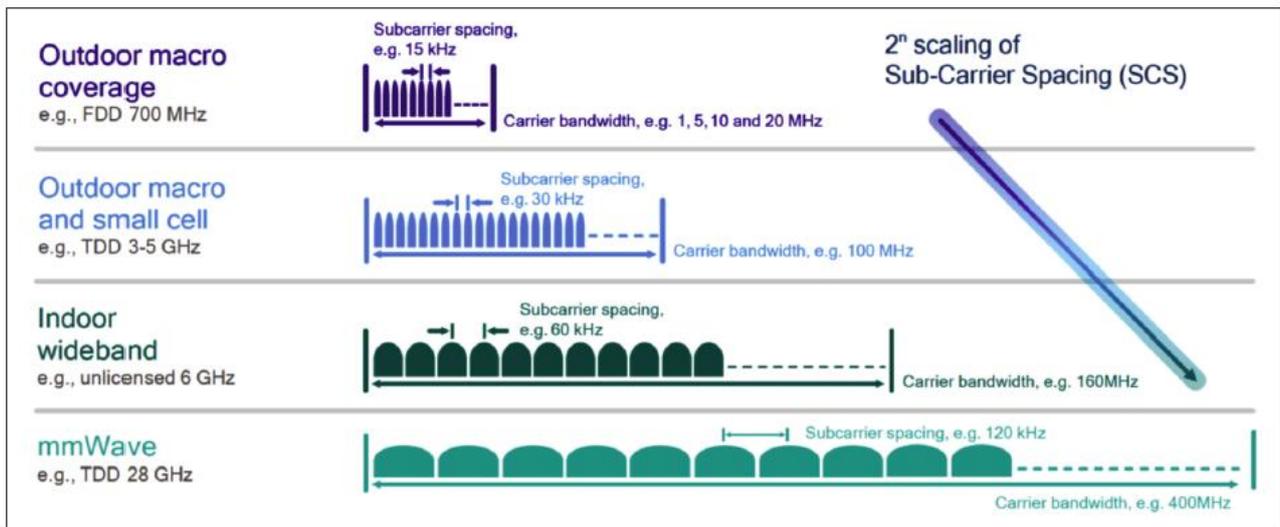


[그림7] UL-CL를 통한 UPF 오프로딩 방법

5G Core 장비들을 기존 중앙센터에서 최종 사용자와 지리적으로 가까운 5G Mobile Edge Cloud에 위치함으로써 기존의 전송 지연을 단축할 수 있다.

•대용량 (mMTC) Network Slicing 기술

스마트 센서 및 IoT 응용 분야 등에서 km^2 당 백만개의 장비들을 연결할 수 있는 초연결 Network Slice 제공을 위해서는 기존 LTE에서 처럼 20MHz의 고정적 대역폭이 아니라 채널 대역폭을 가변적으로 이용하여 다양한 단말을 효과적으로 수용할 수 있다. 가변적 채널대역폭 할당(Scalable Numerology) 기술은 15KHz로 고정된 OFDM 부반송파를 2^n 비율로 확장하여 다양한 통신 속도를 필요로 하는 서비스를 지원하도록 하고 있다[10].



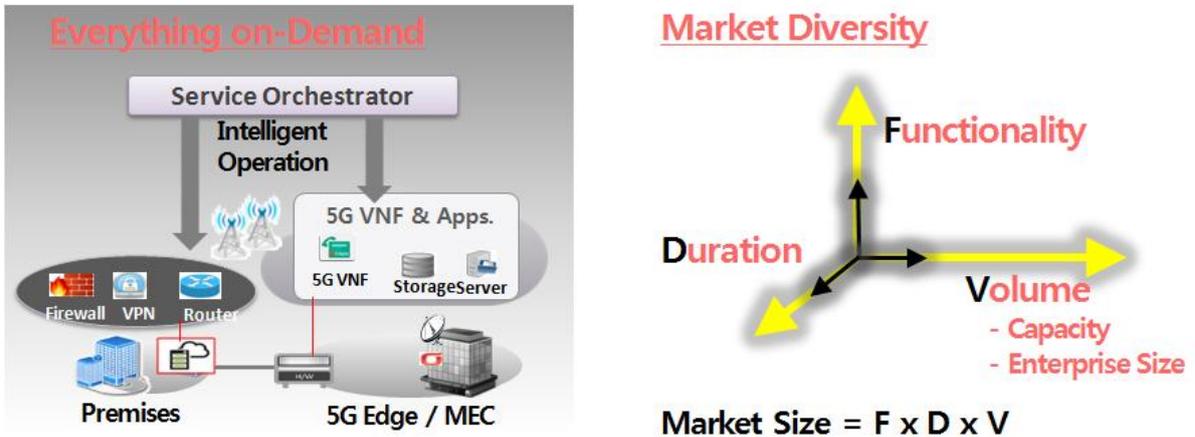
[그림8] 가변적 채널 대역폭 할당 개념

(4) Network Slicing 가치 및 향후 전망

5G의 대표적인 Use Case로 AR/VR 게임 등을 위한 Mobile Broadband, 자율주행 자동차 및 공장제어 로봇 등을 위한 Mission critical IoT 등은 Mobility, Charging, Security, Police Control, Latency, Reliability 등의 측면에서 속성과 망 요구 사항이 상이하다. 이러한 다양한 고객의 니즈를 만족할 수 있는 통신 서비스를 제공할 수 있는 가장 효과적인 방법이 가상화를 기반으로 한 Network Slicing이라고 할 수 있다.

5G Network Slicing은 Radio 액세스 장비를 포함한 Core 장비를 Cloud상에서 소프트웨어로 구동되는 가상화를 기반으로 한다. 이를 통해 마치 PC에서 프로그램 설치하는 것처럼 네트워크 인프라를 구성할 수 있으며, 제어 시스템의 자동화 및 지능화를 통해 신속하게 제공할 수 있다. 이를 통해 기존 수 개월 또는 수 주일이 소요되는 일들이 수 일 또는 시간에 가능하게 된다.

신속하고 손쉽게 통신 서비스를 제공할 수 있게 됨에 따라 기존에는 불가능한 초단기의 무선 전용회선 서비스를 사용할 수도 있다. 또한 5G VNF Scaling을 통해 용이하게 용량을 조절할 수 있다. 그리고 Edge Cloud기반 가상화를 통해 저지연 Cloud나 네트워크 보안 등의 다양한 부가 서비스를 손쉽게 제공할 수 있다.



[그림9] 가상화에 따른 시장 규모의 변화

5G는 초저지연 및 초연결 등의 특성을 고려하면, 각 산업 분야에서 큰 변화를 줄 것으로 예상된다. 예를 들면, 온도나 흔들림 등을 측정하는 다양한 센서들과 제조 공정상의 제어로봇, 재료를 이송하는 자율 이송 차량(Automatic Guided Vehicle), 대용량의 영상을 전송하는 CCTV나 현장 작업자를 위한 AR Glass 등이 존재하는 Smart Factory 분야가 주요 Use Case로 논의되고 있다. Smart Factory에는 초고속 Slice, 초저지연 Slice와 초연결 Slice들이 제공되어야 각 니즈를 충족할 수 있다.

현재 국내 통신 3사는 3.5GHz의 비교적 제한된 주파수 대역폭을 기반으로 LTE와 결합하여 서비스를 제공하는 5G NSA(Non-Stand Alone)를 기반으로 서비스를 제공하고 있다. 하지만 조만간 28GHz의 광대역 주파수를 기반은 5G SA(Stand Alone) 서비스가 제공될 예정이다. 여러 가지 앞에 언급된 5G Network Slicing의 본원적 가치는 조만간 제공될 28GHz 주파수 대역의 5G SA에서 본격적으로 제공될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU, "Key Features and requirements of 5G/IMT-2020 networks," 2018년, www.itu.int
- [2] 김학용, "5G 서비스 구현 기술의 이해," [Broadcasting and media magazine v.24 no.3](#), 2019년, pp.10-23
- [3] NGMN Alliance, "Description of Network Slicing Concept," Next Generation Mobile Networks, Deliverable,2016.10.
- [4] 이승익, 신명기, "5G 네트워크 슬라이싱 기술," OSIA S&TR Journal, Dec. 2016.
- [5] 유창모, 손장우, "5G 핵심기술 - E2E Network Slicing: 뭐고, 왜 필요하고, 어떻게 만드나?," 2015년, www.netmanias.com
- [6] 송평준, "5G Network Slicing," KRN2018, 2018.
- [7] "이동통신 5G 시대의 핵심기술 MIMO, 제대로 알아보자," <https://post.naver.com>
- [8] ETSI ISG NFV, <http://etsi.org/technologies/nfv>
- [9] 이문원, 박선례, "5G UPF 오프로드 기반 MEC 기술동향," TTA저널, Vol. 183, May 2019.
- [10] 퀄컴 코리아, "5G NR에 담긴 5가지 혁신 기술," 2018.