

5G Networks and Beyond

(Day 3. Private 5G와 테스트베드)

2023년 4월

안종석

james@jslab.kr

- **Day 1: 5G 네트워크 개요**
- **Day 2: Enhanced Mobile Broadband**
- **Day 3: Private 5G와 테스트베드**
- **Day 4: 5G 네트워크 인프라 가상화 기술**
- **Day 5: Cloud Native 5G 인프라**
- **(별도) Day 4~5 실습교재**

➤ Day 3: Private 5G와 테스트베드

- Review Day 1 / Day 2
- 기업을 위한 이음5G
- 이음 5G 기술 5G 특화망 → 이음(e-Um) 5G
- 제조사 솔루션과 설계 및 구축
- 5G 네트워크 테스트베드

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G-SA Starter Kits (예)



Source: <https://campusgenius.com/en/campusgenius-5g-starterkit-available-now/>

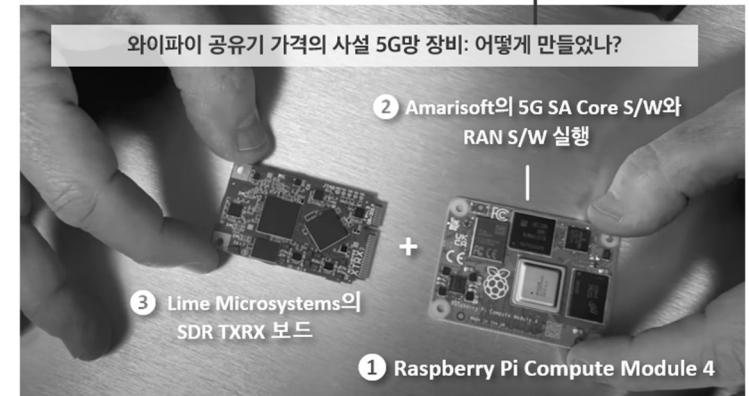
Source: <https://www.x4000.com/5gstarterkits>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Vodafone의 중소기업향 Private 5G 솔루션

- 5G Network in a Box:



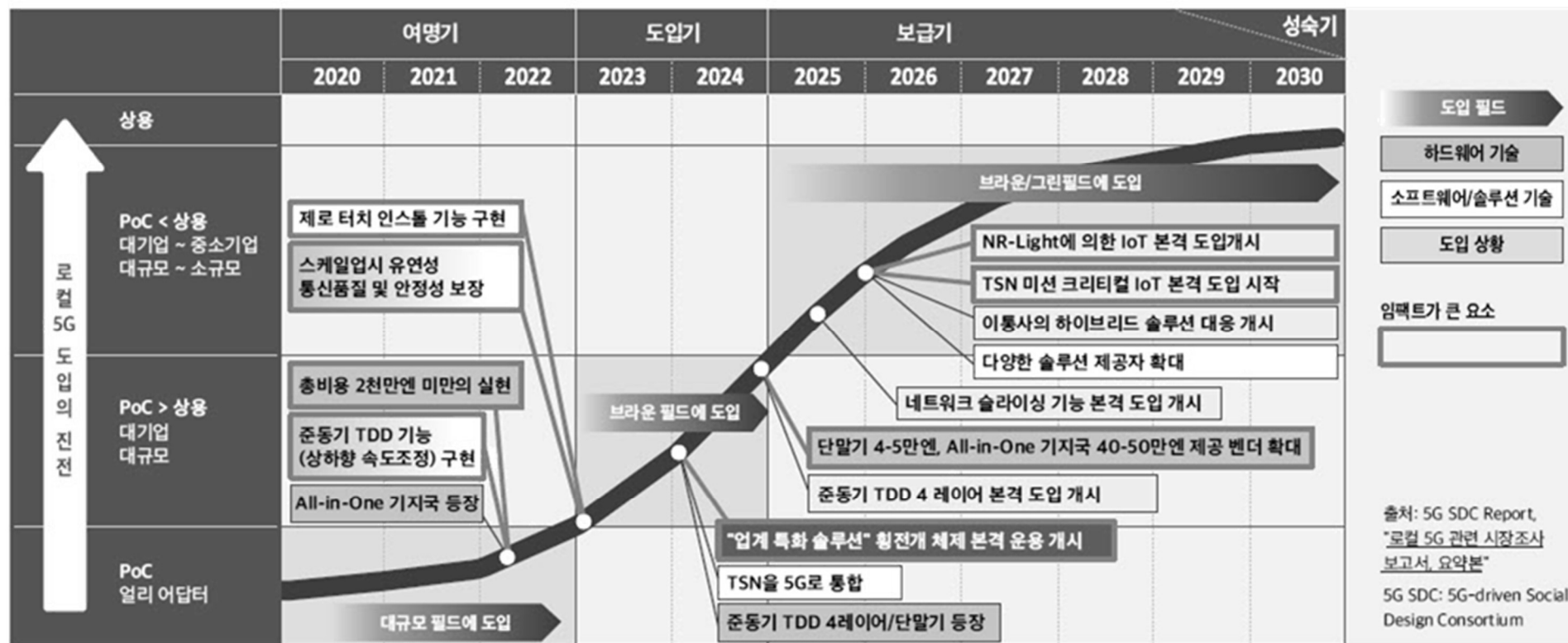
Source: <https://campusgenius.com/en/campusgenius-5g-starterkit-available-now/>

Source: <https://www.x4000.com/5gstarterkits>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 일본의 로컬 5G 보급 로드맵

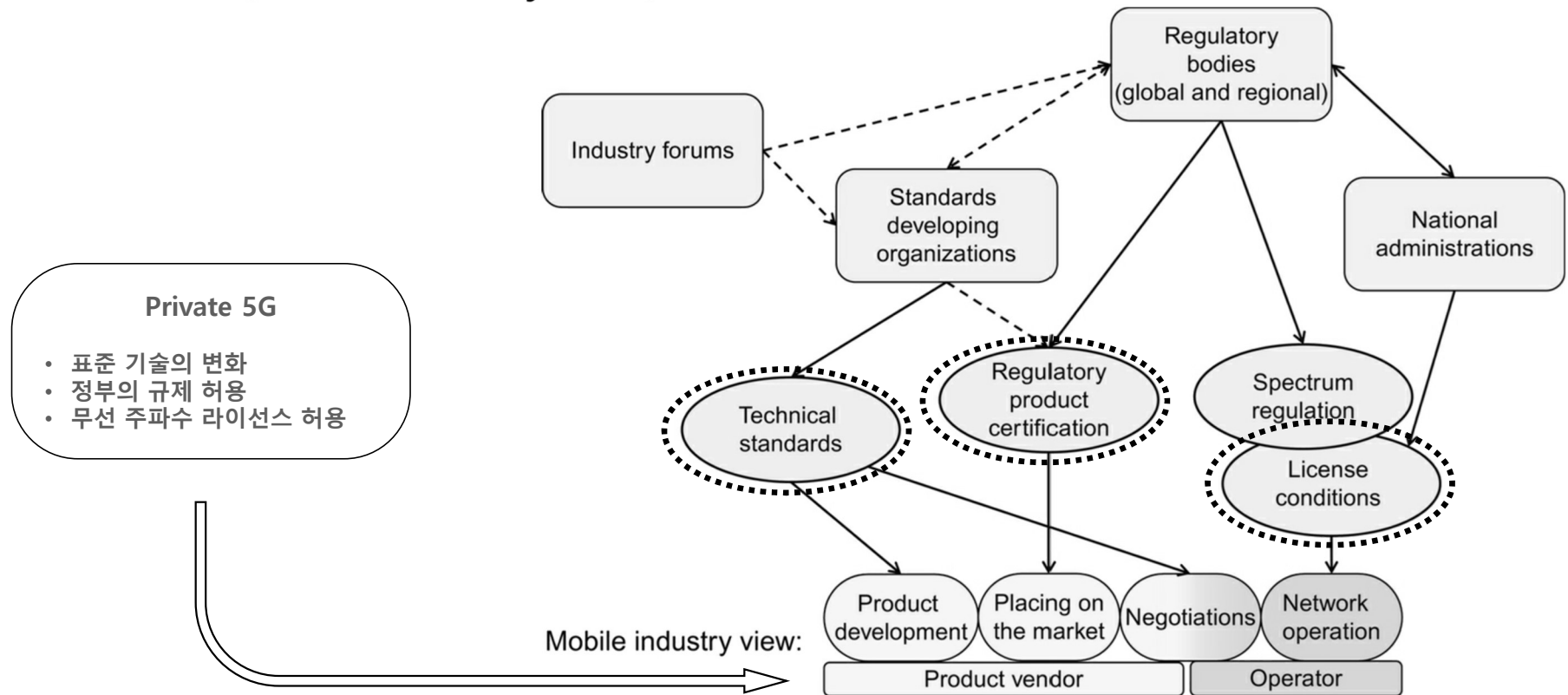


Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=oneshot&no=15645>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 모바일 산업 (Mobile Industry View)



Source: The Next Generation Wireless Access Technology Second, Edition Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Sköld



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G: Green building and manufacturing (Colt)

- 건축 (Constructory construction site)
- 창고 (Logistics)
- 스타디움 (Stadium)
- 역 (Station)
- 병원 (Hospital)
- 공장 (Factory)
- 항구 (Harbor)
- 공항 (Airport)



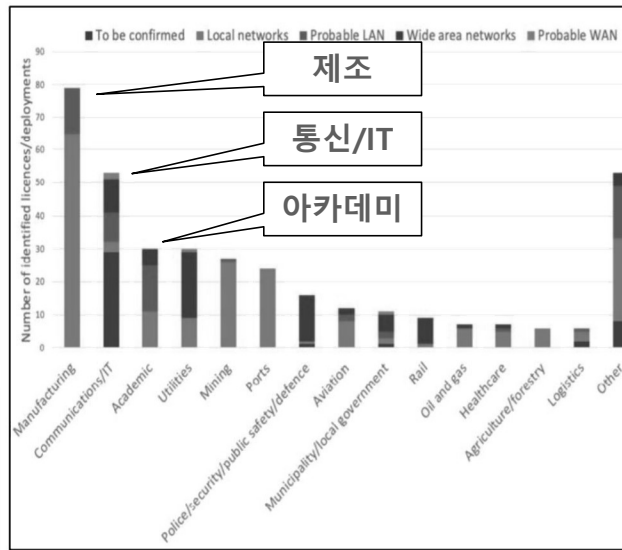
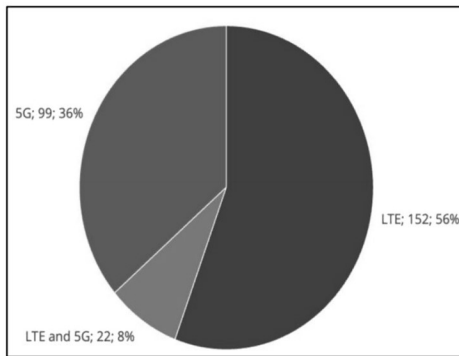
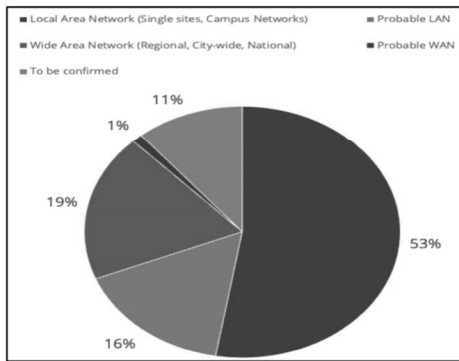
Source: <https://chicagopopular.com/private-5g-according-to-colt-discovering-the-first-use-cases-of-the-multinational/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private Networks의 기회 (예: Intel)

Private Network Deployments by Type, Technology and Sector



*GSA : Private Mobile Networks Report (August 2021)

Enterprise Data and Connectivity Survey

1. On Premise Compute/ Storage
 - 96% : important/very important
2. Move data between Cloud/DC/Edge
 - 96% : important/very important
3. Plans to adopt in 12 – 24 months
 - 77% : 5G with MNO
 - 25% : 5G undecided on frequencies
 - 34% : Wi-Fi6 ; 92% have Wi-Fi today
 - 35% : CBRS

*IGR Survey Summary, April 2021
300 US Respondents (CIO/CIO/IT Manager) >500 employees completes in the survey.

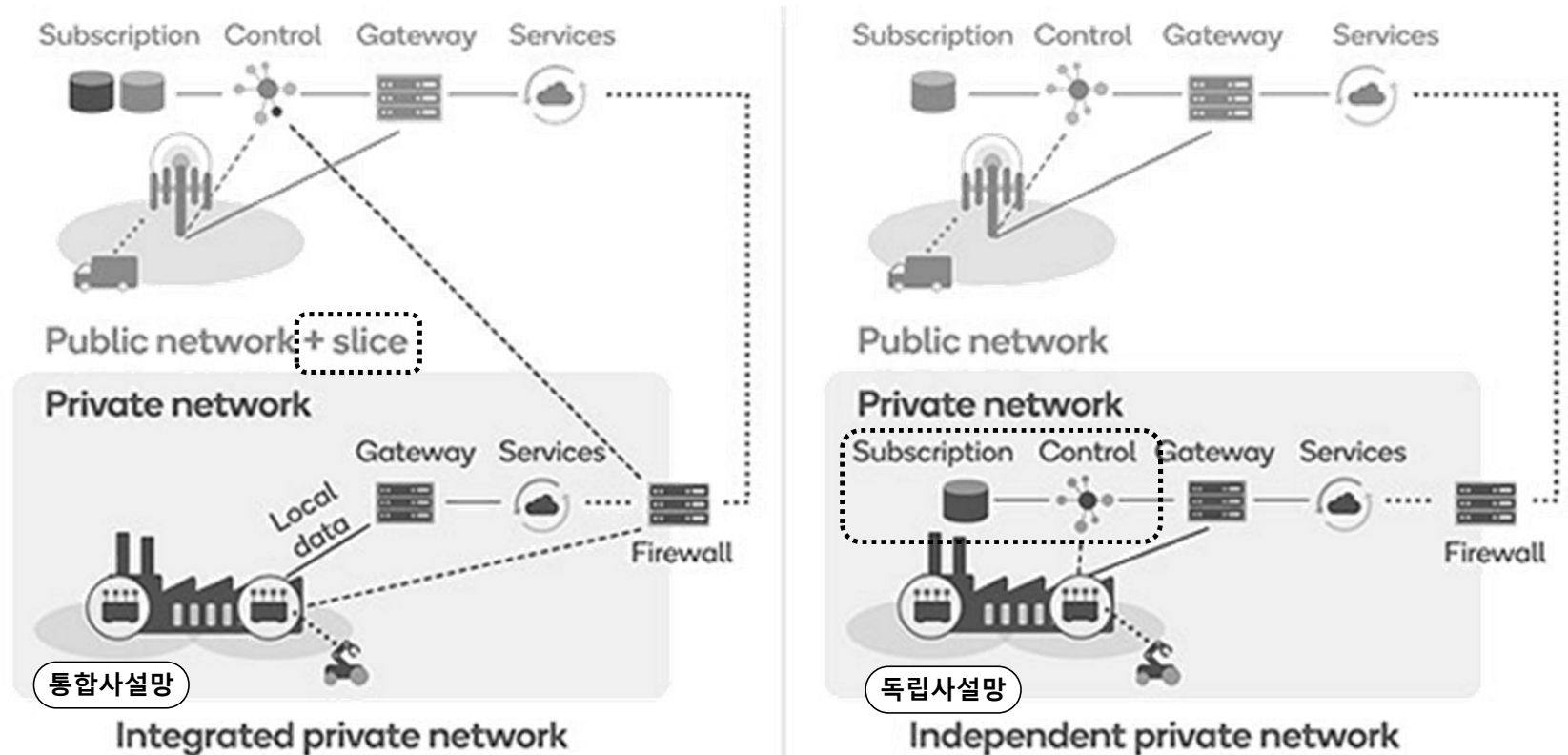
MNO는 Mobile Network Operator로 통신망을 통해 독자적인 이동통신서비스를 제공하는 사업자



Source: 인텔

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G private network architectures and opportunities for enterprise



Source: <https://www.qualcomm.com/news/onq/2020/10/transforming-enterprise-and-industry-5g-private-networks>



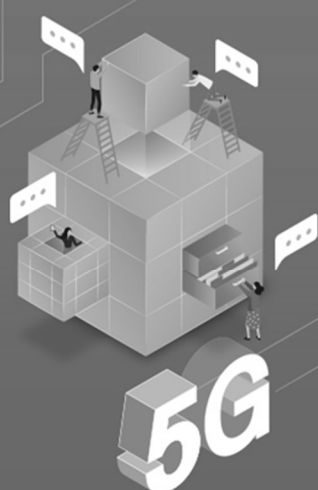
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 이음5G

- 5G 특화망 정책 (21년 1월)
- 5G 특화망 주파수 공급 (21년 6월)

이음 5G란?

- 건물, 공장 등 특정 구역에 한하여 사용할 수 있는 맞춤형 5G 네트워크
- '21. 12월, 공고를 통해 명칭 변경 (5G 특화망 -> '이음(e-UM)5G')
- 초고속 (eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC)의 5G 특징과 사물과 사회까지 이어준다는 의미 반영



(' 21.1월) 5G 특화망 정책방안

	구축주체	서비스 제공대상	도입방식
Type 1	수요기업	수요기업 한정	수요기업이 자가망 설치자 신고
Type 2	수요기업	수요기업+ 협력사, 방문객 등	수요기업이 기간통신사업자 등록
Type 3	제3자 등	수요기업+ 협력사, 방문객 등	제3자가 기간통신사업자 등록

(' 21.6월) 5G 특화망 주파수 공급방안

대역(폭)	주요 내용			
28GHz (600MHz)	26.5	28.9	29.56GHz	
4.7GHz (100MHz)	4.5	4.72	4.82	5.06GHz

Source: <https://www.kca.kr/contentsView.do?pagelD=www216>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 이음5G 기반 융합서비스



이음 5G 기반 5G 융합서비스 공공부문 선도적용 사업 개요

추진 분야
공공의료, 물류, 안전, 항공, 에너지 등

참여 가능 기업 및 기관
이통3사, 네트워크 장비·단말 제조사, SI기업, 클라우드 기업, 서비스·솔루션 업체, 포털·CP, 수요기관(공공부문) 등


활용 인프라
이음 5G (주파수 지정 또는 할당)

Source: <https://www.etnews.com/20220310000198>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

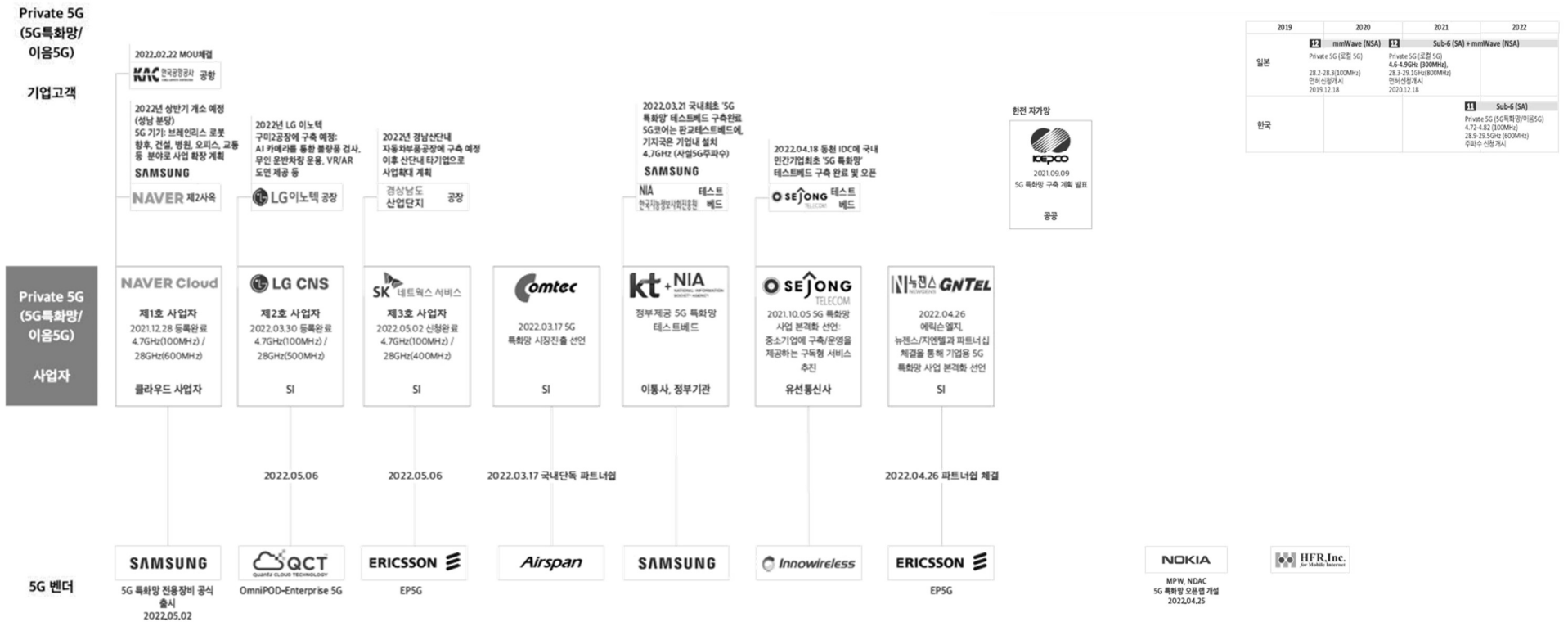
❖ 이음 5G 망 구성요소

5G망 구성요소	기능명	역할
5G Core Control Plane (5G 코어 제어부) 5GC CP	AMF	5G 네트워크에 등록되는 단말의 이동성 관리 기능 수행
	SMF	5G 네트워크의 세션 제어 기능
	PCF	컨트롤 플레인 기능의 정책을 제공하고 통합 정책 프레임워크 지원
	NSSF	Network Slice 선택을 돕기 위한 정보 및 Slice의 구성 정보를 제공하는 역할을 수행
	AUSF	인증서버 기능(단말 인증 및 키 관리)
	UDM	액세스 권한 부여, 사용자 등록 및 데이터 네트워크 프로필을 위한 가입 데이터 관리
	UDR	가입 데이터, 정책 데이터, 노출을 위한 구조화 데이터, 애플리케이션 데이터 등과 같은 정보 저장 및 제공
5G Core User Plane (5G 코어 데이터부)	UPF UPF	패킷 전송 기능, 외부 네트워크 연결 기능, 데이터 사용량 수집 및 통보 기능, 트래픽 과금을 위한 사용 보고 기능 등을 제공
5G RAN (5G 기지국) 	CU	UE와 기지국 간의 통신 프로토콜인 RRC(Radio Resource Control) 시그널링 메시지 처리를 제어. 패킷 데이터 처리
	DU	디지털 데이터 처리 장치: Base band를 처리, 모뎀(디지털↔아날로그 변환조), 오류시 재전송/HARQ 기능 수행
	RU	이동 통신의 무선 접속망에서 셀사이트에 위치하는 원격 무선 신호 (RF) 처리 장치 (UE와 전파를 송수신)
5G UE 디바이스	폰, CPE	5G 단말로 각종 디바이스에 연결되어 데이터와 상하향 통신 수행
MEC		저지연/대용량 응용들을 위해, 클라우드에서 제공되던 컴퓨팅을 이용자/사물/데이터원에 가까운 에지에서 수행하는 개념

Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/eum5g/1753/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 한국/일본의 Private 5G 실증/구축/상용서비스: 기업고객 - Private 5G사업자 - 5G벤더 매핑



Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=oneshot&no=15444>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ '22년도 공공부문 실증 사업

구분	주관기관	수요처	대표 서비스
공공 의료	KT	분당서울대병원	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 전동 휠체어 및 무인 이송 서비스 - 환자·보호자의 원격 호출로 환자 앞까지 자동주행·대기가 가능한 전동 휠체어 및 감염 예방을 위한 비대면 이송 로봇
물류	SKT	한국식품산업클러스터진흥원/ 경남로봇랜드재단	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인공지능(AI) Vision기반 자동물류 적재로봇 및 통합제어 - 공공물류 단지 내 AI 무인로봇을 활용하여 비정형적 물품을 관리, 보관, 적재하여 물류처리 효율성 및 운영 안전성 증대
에너지	한국 전력공사	한국전력공사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행 로봇과 사물인터넷 활용 변전소 무인점검 - 4족 무인 로봇과 IoT를 활용하여 설비 진단, 출입침투 감지, 현장 상황을 실시간으로 관제센터에 전송하여 위험요소 차단
안전	아이티 공간	한국산업단지공단(경기반월)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Massive IoT 활용 전기/설비/환경/유해가스 감시 시스템 - CCTV 및 센서를 활용하여 안전장치 착용 상태를 분석하거나 유해가스 감지 및 안내하여 위험요소 최소화
항공 (국방)	KT	해군본부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자율주행차량및인공지능영상분석활용 활주로안전관리및조류탐지 - 활주로에 인공지능기반 영상분석(조류감지, 화재 감지, 보안시설 접근금지 등)카메라 설치와 다목적로봇차량을 통해 안전보안 확보
자유	이에스이	한국수자원공사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가상융합(XR) 및 디지털트윈 활용 스마트 정수장 운영관리 체계 - 증강현실을 통하여 기존에 확인 불가능했던 정수장 정보를 실시간 이미지데이터화하여 점검자들의 안전 확보 및 점검 효율화
	한국수력원자력	한국수력원자력	<ul style="list-style-type: none"> ○ 360카메라가상현실·인공지능 활용 실시간 재난상황 지휘 통제 - 재난 발생 시 대규모 현장 인력 대상의 비상지휘통신 서비스와 원전 현장에 고화질 영상, 인공지능분석 등을 통해 현장 상황 가상현실 중계 서비스

Source: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mid=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181840>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ '22년도 민간부문 실증 사업

구분		주관기관	수요기관	주요 서비스
5세대 (5G) 기업간거래(B2B) 서비스 활성화	민간 의료	네이블 커뮤니케이션즈	이화여자대학교 산학협력단(이대목동병원)	<ul style="list-style-type: none"> 컴퓨터단층촬영(CT) 데이터 활용 삼차원 기반 가슴수술 증강현실 가이드 - 환자의 상태를 증강현실로 투영하여 정확한 수술 위치를 시각화하여 의사에게 제공
	제조	KT	한국항공우주산업	<ul style="list-style-type: none"> KF-21 제조설계시험 데이터 페이퍼리스 환경구축 - 제조공정 자료의 디지털화를 통해 방위산업 분야 업무환경의 편의성효율성증진 및 무선보안 강화
28GHz 산업융합 확산	교육 (의료)	KT	삼성서울병원	<ul style="list-style-type: none"> 28GHz 기반 삼차원 홀로렌즈 활용 의료 교육훈련 - 삼성서울병원 내 의료진/의대생 대상 수술·응급술기지도·인공호흡기 등 실습 교육훈련 서비스
	문화	스마트미디어 산업진흥협회	호텔롯데 롯데월드	<ul style="list-style-type: none"> 28GHz 기반 몰입·실감형 가상체험 어트랙션 - 롯데월드 내 아트란티스 이용고객 대상으로 모션 센싱 기반 평행현실 체험서비스

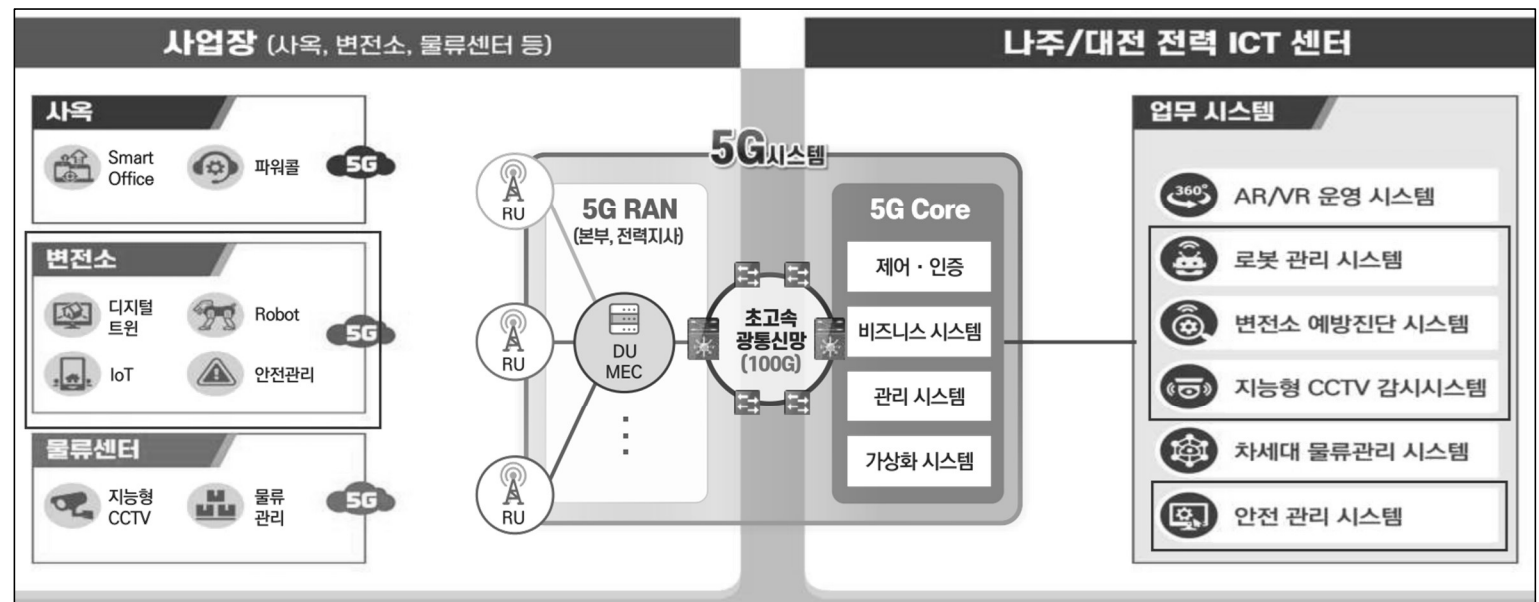
Source: <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mPid=113&mPid=112&pageIndex=1&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=3181840>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Korea Electric Power Corporation (KEPCO) (1 of 2)

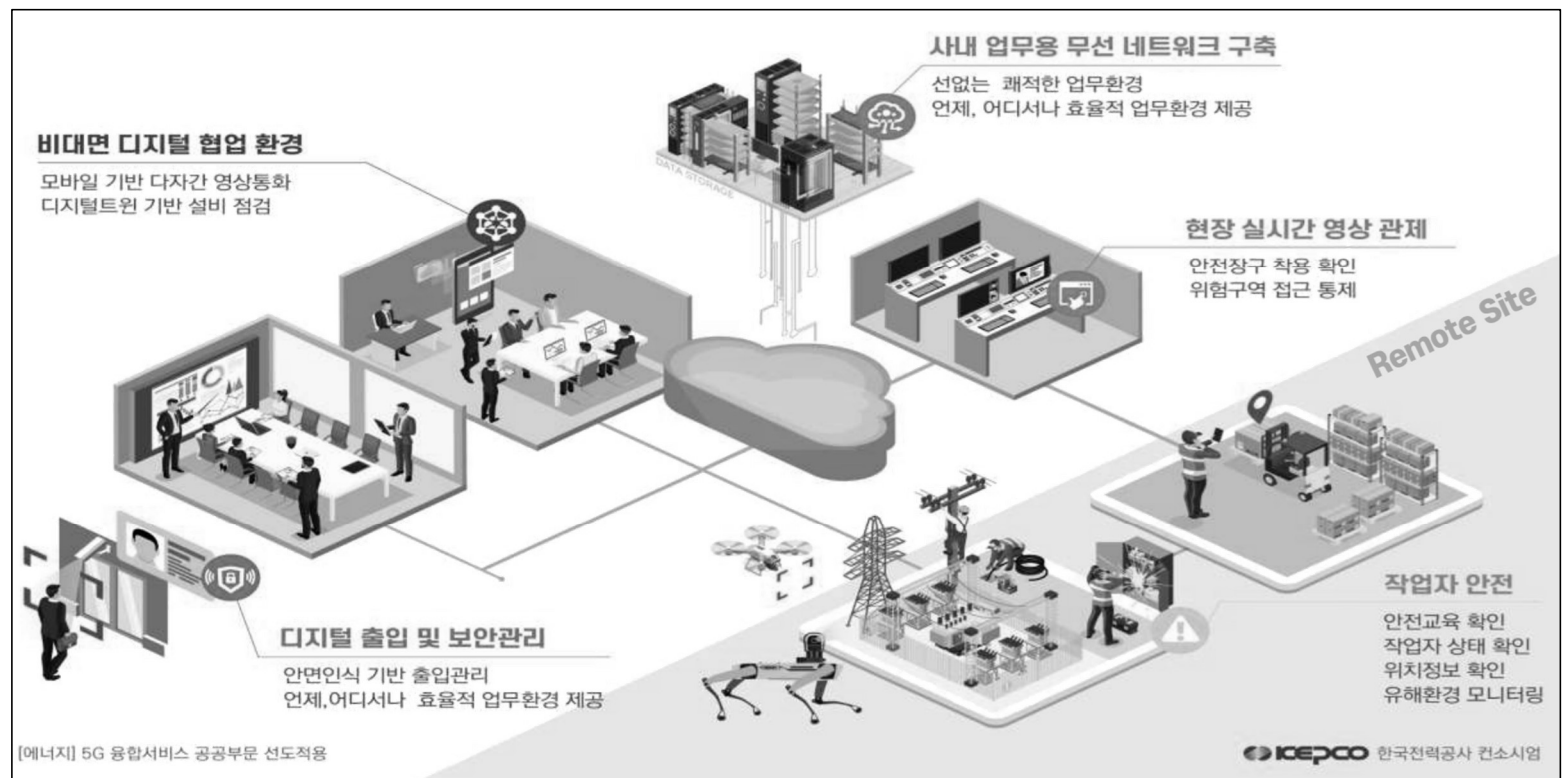
- 4.7GHz (100MHz), '22.10.06
- 4족 보행 로봇을 활용한 무인 점검, CCTV, IoT 센서 등을 연계한 디지털 트윈 기반 관제 등을 통해 실시간 변전소 상태 진단, 고장 분석, 수명 예측 서비스를 제공



Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40022>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Korea Electric Power Corporation (KEPCO) (2 of 2)



Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40022>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) (1 of 2)

- 4.7GHz (100MHz), '22.11.28
- 원전 안전관리 및 재난 대응에 통신망을 활용하기 위해 화재로 인한 유선망 장애 발생 시 사설 5G망으로 자동 전환되도록 이중화, 재난 발생 시에는 원전 현장 상황에 최적화된 고화질 영상과 AI 분석을 통한 VR 현장 상황 중계 서비스로 신속하게 대응

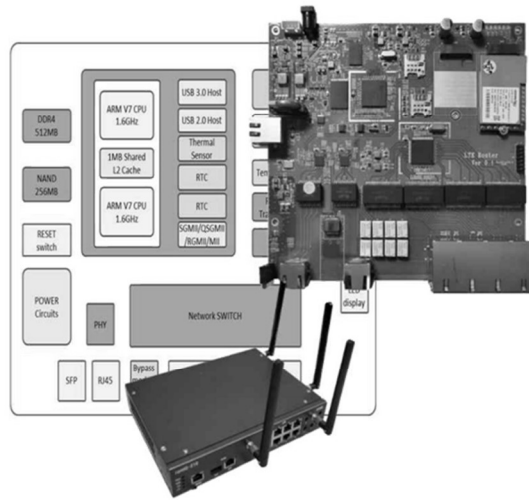


Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40038>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) (2 of 2)

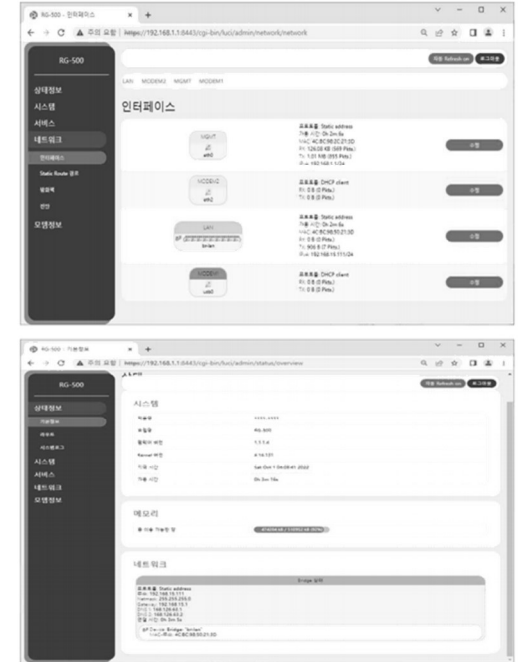
메인보드(라우터) 개발



일체형 전송장비



관리용 SW



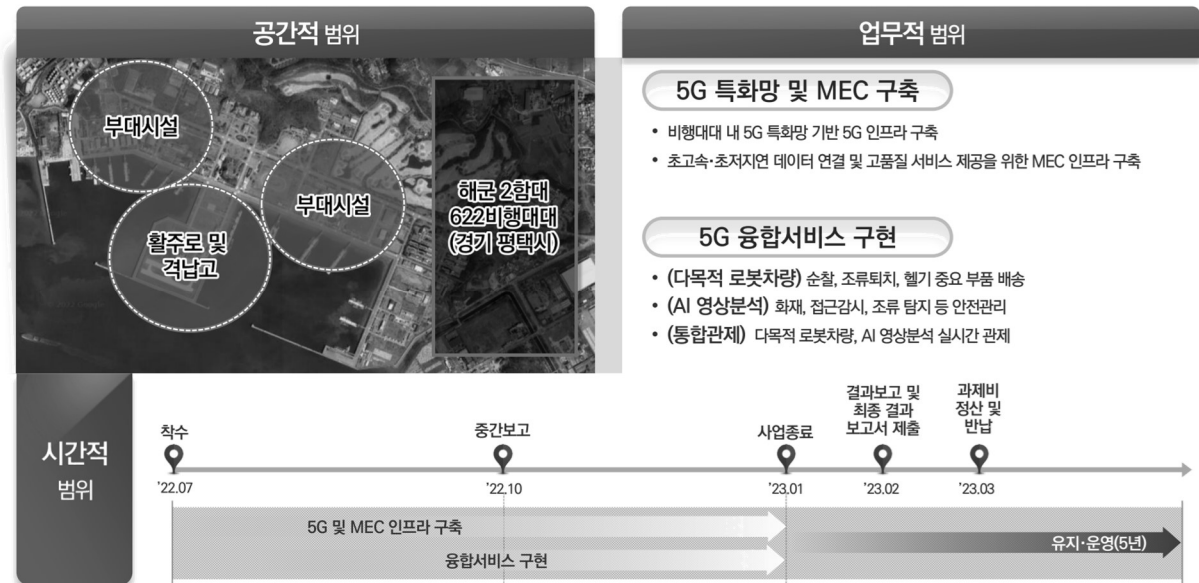
Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40038>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Republic of Korea Navy Headquarters (1 of 4)

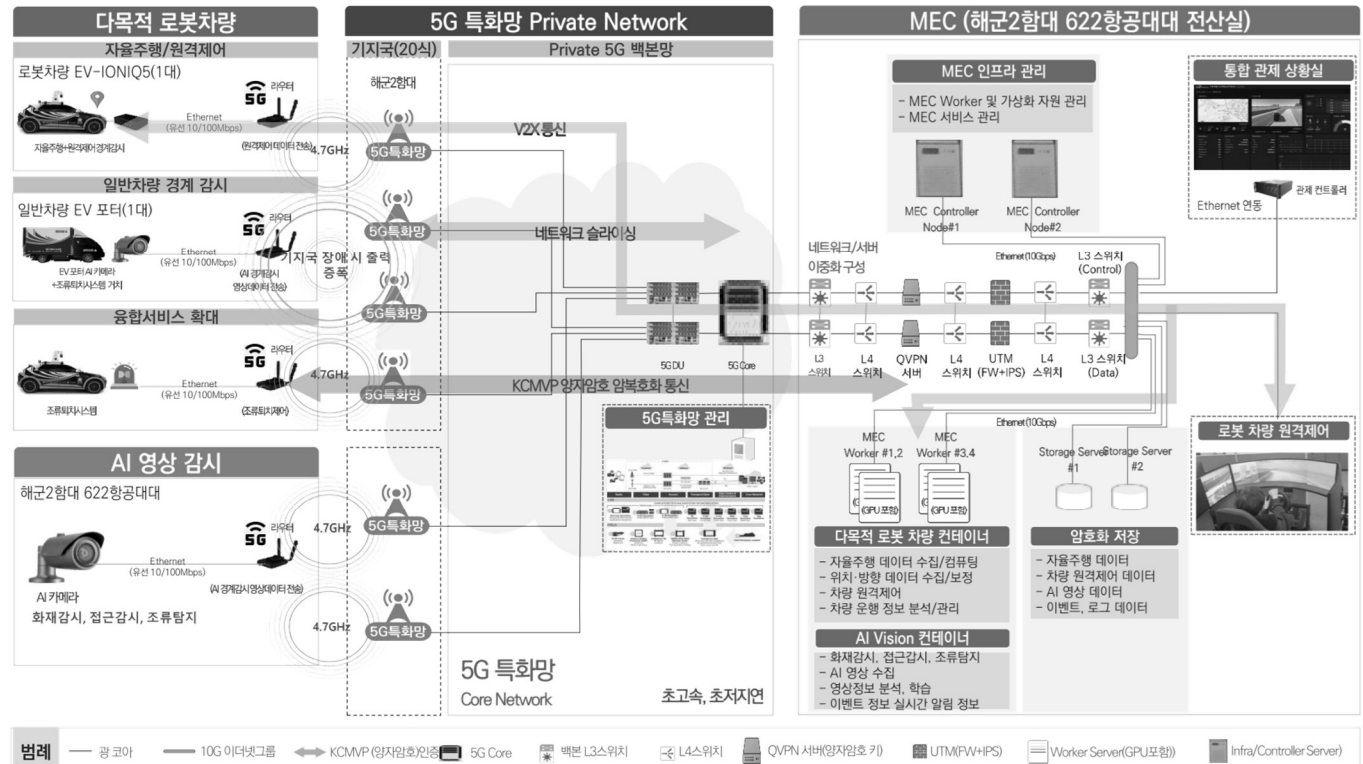
- 4.7GHz (100MHz), '22.10.06
- 다목적 로봇 차량의 원격 제어 및 관제를 통한 항공 자재 운송, 조류 퇴치, 화재 예방, 침입자 접근 제한, AI 기반 시설물 안전 관리, 조류 탐지 등의 서비스를 제공합니다.



Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40035>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Republic of Korea Navy Headquarters (2 of 4)



Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40035>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Republic of Korea Navy Headquarters (3 of 4)

Q-VPN

MEC

QRNG 탑재 (양자암호 생성기)

VPN 서버

VPN 통신 터널 (KCMVP)

양자암호 통신 터널

5G 라우터

5G 양자암호 통신 절차

- 1 VPN(KCMVP) 채널 구성
- 2 양자암호 키 교환 (VPN 서버 ↔ 5G 라우터)
- 3 VPN(양자암호) 채널 구성
- 4 데이터 보안 통신

VPN 서버 CC인증 완료 (KCMVP, 양자암호 적용)

VPN 성능 최적화

VPN 서버 트래픽 분산을 위해 L4 스위치를 양단에 배치하여 VPN 성능 최적화

L4

QVPN

L4

UTM

L4

MEC

Q-VPN 및 무선 라우터 장비

모델명/제조사	Ahnlab TrusGuard 5000B/안랩
CPU, RAM	20 Core(10Core *2), 64GB
Storage	SSD 64GB, HDD 2TB
Size(HxWxD)	438x88x571
Power	Redundant

모델명/제조사	MXR-5GLax-T6 / 맥서스
Modem	Qualcomm SDX62 5G
Memory	RAM 1GB / FLASH 256MB
Dimension	230 X 158 X 40(L*W*H)
Power In/Out	AC100~240 VAC, 50/60Hz

Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40035>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

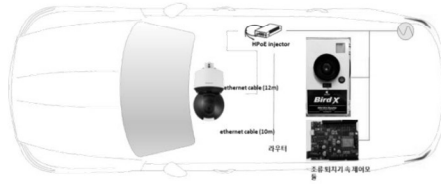
❖ Republic of Korea Navy Headquarters (4 of 4)

• 항공 지원 Mobility

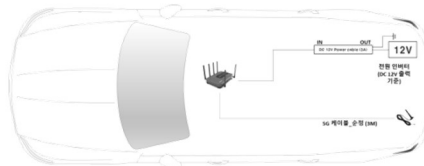
□ 다목적 로봇차량 주요 센서 레이아웃



□ AI 카메라, 조류퇴치기 설치



□ 5G 라우터 설치



□ 다목적 로봇차량

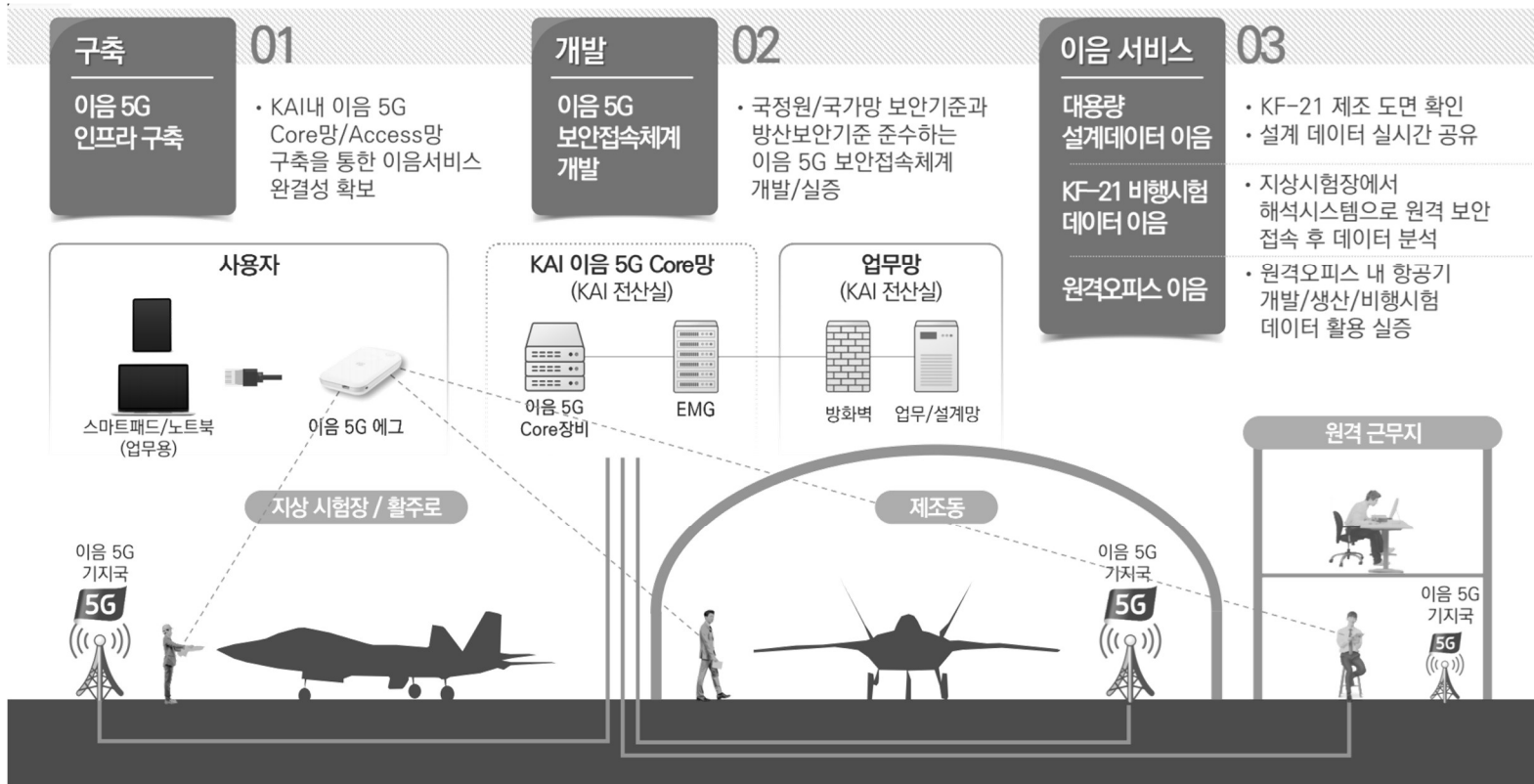


Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40035>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Korea Aerospace Industries, LTD. (KAI)



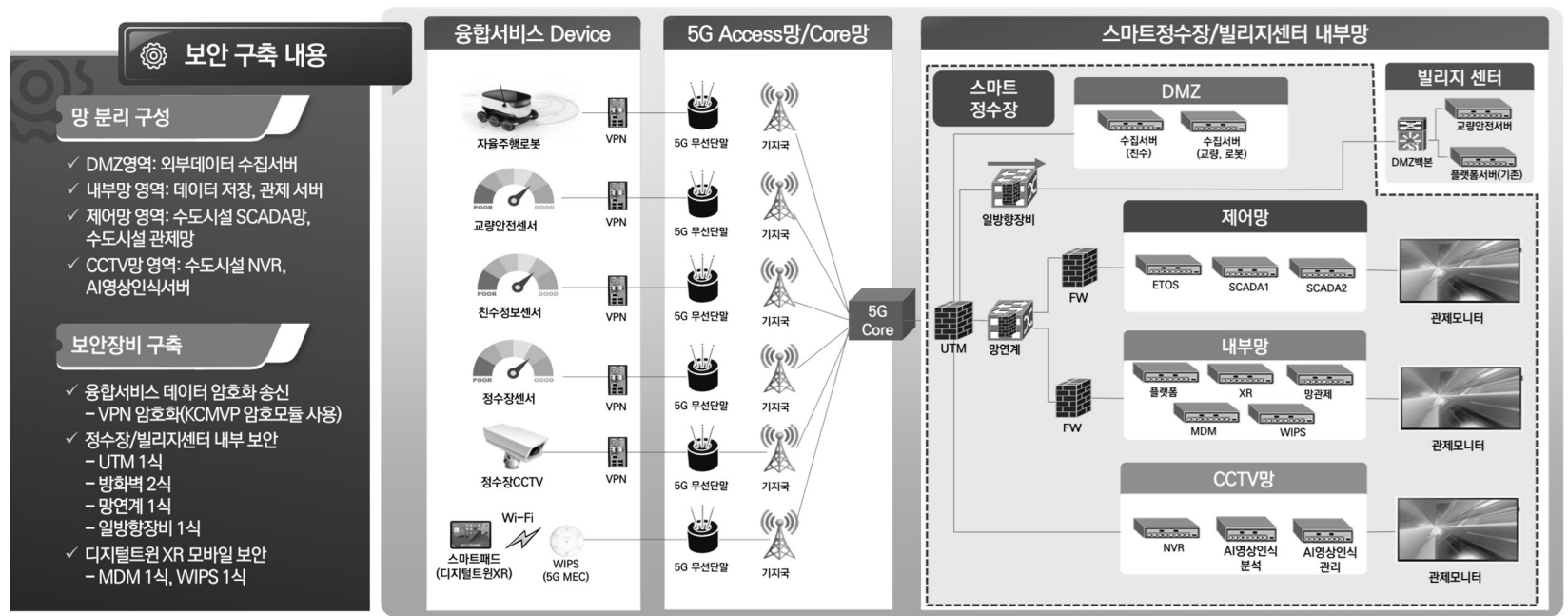
Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40040>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Smart City (1 of 3)

국정원 보안성 검토결과 100% 준수하여 인프라 구축 및 서비스에 철저한 보안 정책 적용



과학기술정보통신부 Ministry of Science and ICT NIA 한국지능정보사회진흥원 NATIONAL INFORMATION SOCIETY AGENCY

이에스이 컨소시엄

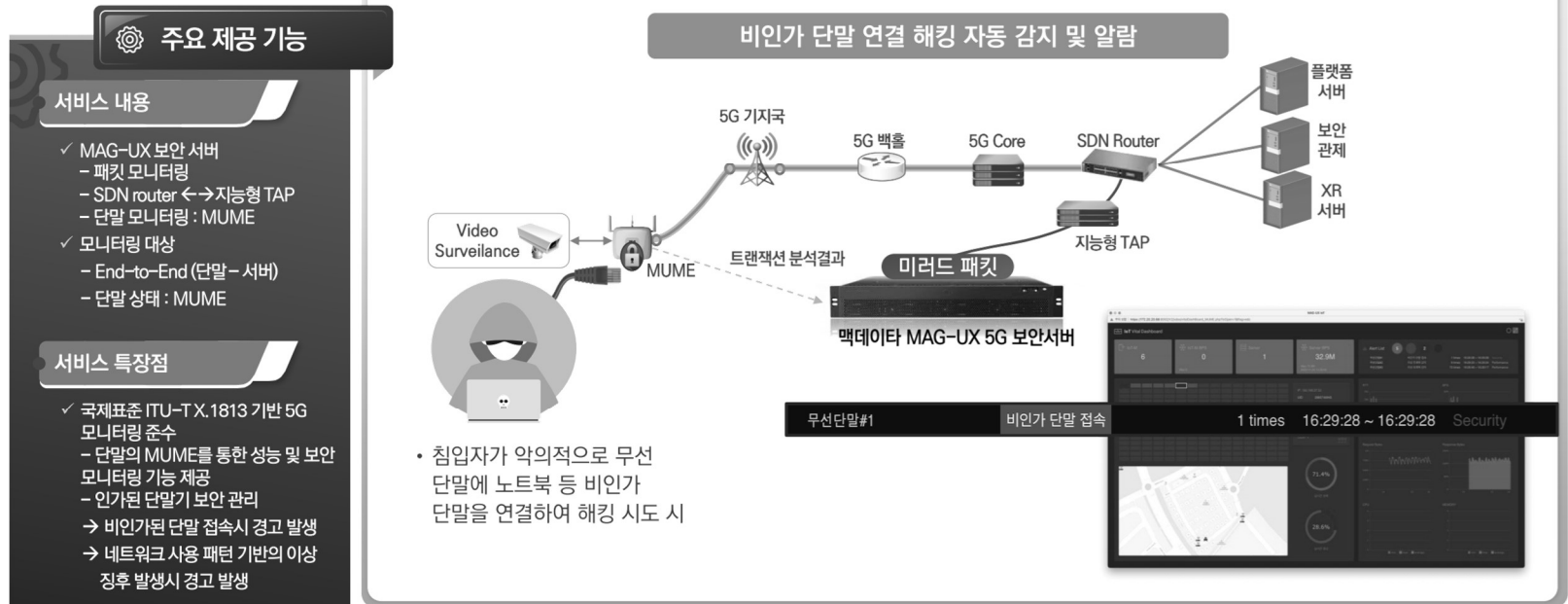
Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40037>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Smart City (2 of 3)

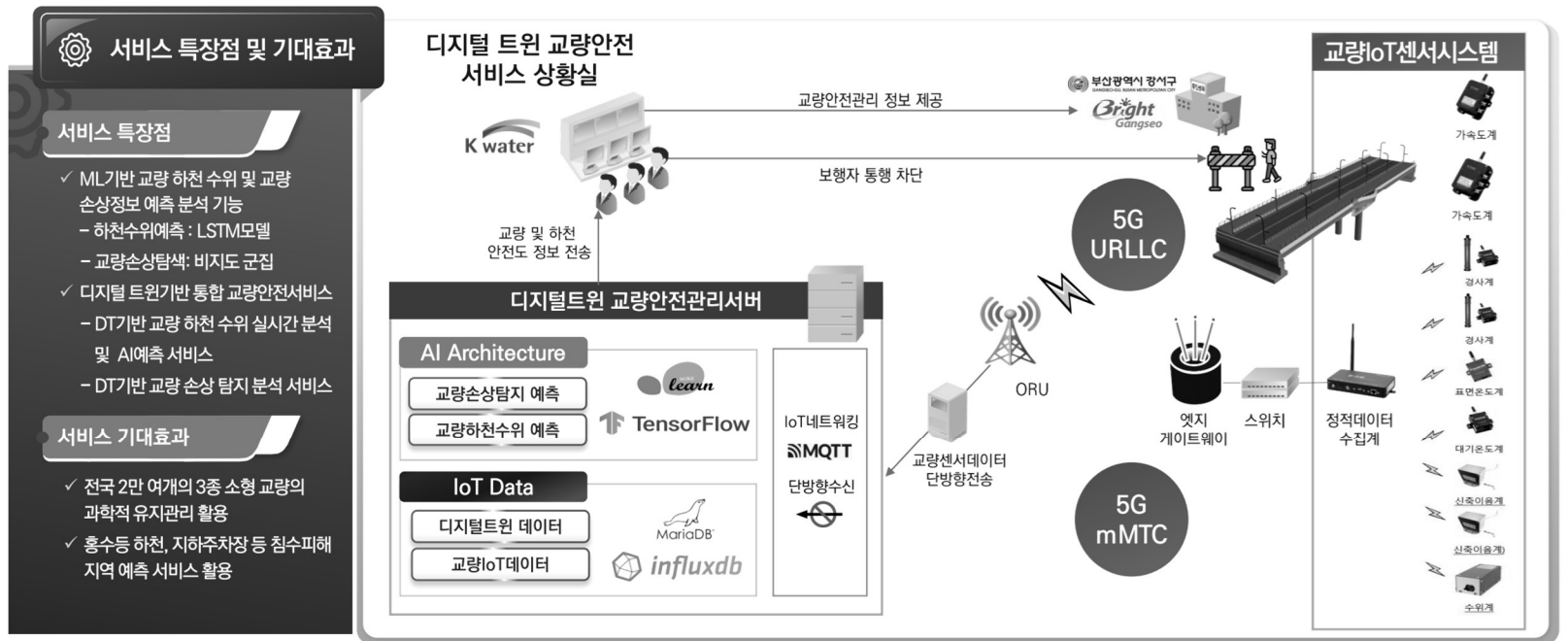
5G 특화망 End-to-End 실시간 트래픽 성능 및 보안 모니터링



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Smart City (3 of 3)

AI기반 엣지컴퓨팅 기술을 통한 초저지연 서비스 및 디지털트윈 기술기반 교량안전 예측 분석



서비스 특징점 및 기대효과

서비스 특징점

- ✓ ML기반 교량 하천 수위 및 교량 손상정보 예측 분석 기능
 - 하천수위예측 : LSTM모델
 - 교량손상탐색: 비지도 군집
- ✓ 디지털 트윈기반 통합 교량안전서비스
 - DT기반 교량 하천 수위 실시간 분석 및 AI예측 서비스
 - DT기반 교량 손상 탐지 분석 서비스

서비스 기대효과

- ✓ 전국 2만 여개의 3종 소형 교량의 과학적 유지관리 활용
- ✓ 홍수등 하천, 지하주차장 등 침수피해 지역 예측 서비스 활용

과학기술정보통신부 Ministry of Science and ICT NIA 한국지능정보사회진흥원 NATIONAL INFORMATION SOCIETY AGENCY

이에스이 컨소시엄

Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=attach&no=40037>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Local Spectrum as a Key Enabler (예: Bosch)

Local Spectrum Licenses

- Local spectrum allocations as a key enabler & driver
- Crucial for the future competitiveness of an economy

Spectrum Needs

- 3 - 5 GHz
- 26 / 28 GHz
- >30 GHz

- Sufficient bandwidth to support multiple use cases
- In one of the standard bands → equipment availability
- mmWave spectrum alone is not sufficient

Example: Germany

<ol style="list-style-type: none"> 1 3.7 - 3.8 GHz 2 24.25 - 27.5 GHz 	}	<p>Fee [€] = 1000 + B [MHz] * t [years] * f * (6a₁ [km²] + a₂ [km²])</p> <p><small>a₁: populated areas, a₂: rural areas, f= 5 (for 3.7-3.8 GHz) or 0.63 (for 24.25 - 27.5 GHz)</small></p>
		<p>Example: 450 000 m², populated area, 3.7 - 3.8 GHz, 10 years</p> <p>→ ~€ 1 450 / year</p>

약 200 만원

✓ **Lessons Learned:**

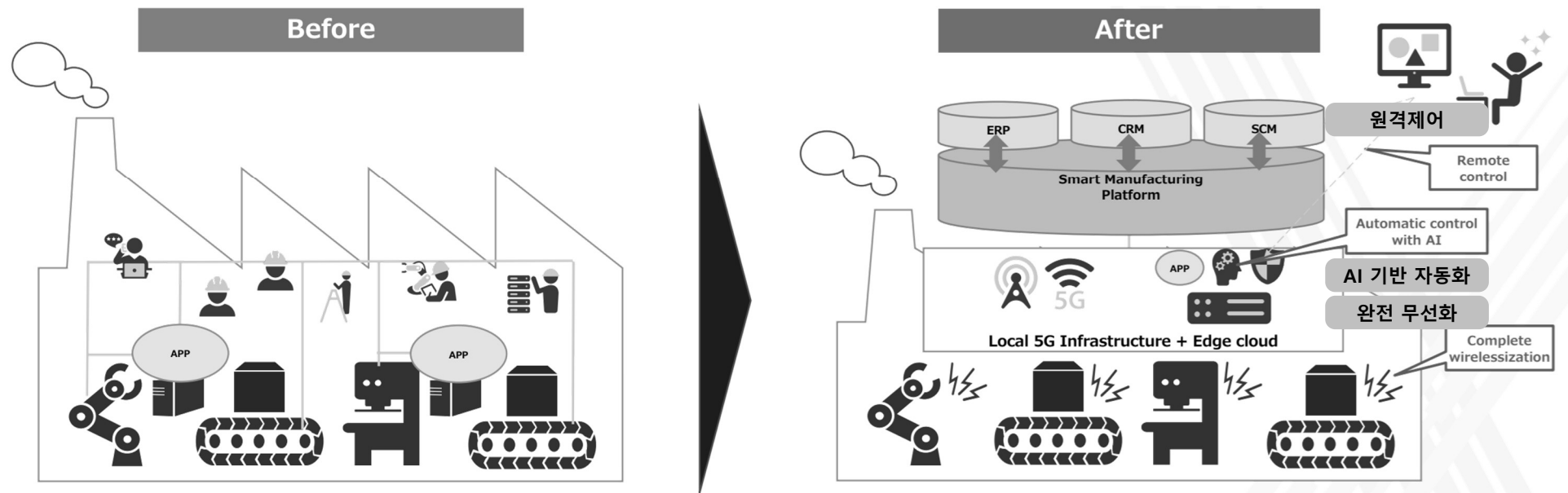
- Reasonable costs
- Unbureaucratic application
- Quick processing
- No expert know-how required

→ Enterprise-friendly framework 😊



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ OT Network Transitions (예: NTT Communications Corporation)



- Laying wired NWS for collecting operational facility data in a factory is a challenge.
- Managing disparate legacy applications is difficult.
- Employees basically need work onsite.

- Highly reliable and high-quality data collection are realized by using wireless technology such as Local 5G.
 - Moreover, remote control of production machines and transportation devices such as AGV can be expected.
- Centralized application management is enabled by introducing the edge cloud.
 - Moreover, it facilitates the adoption of AI solutions.
- Integration of OT and IT will accelerate unmanned factory.









DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G & Open RAN (예: Bosch)

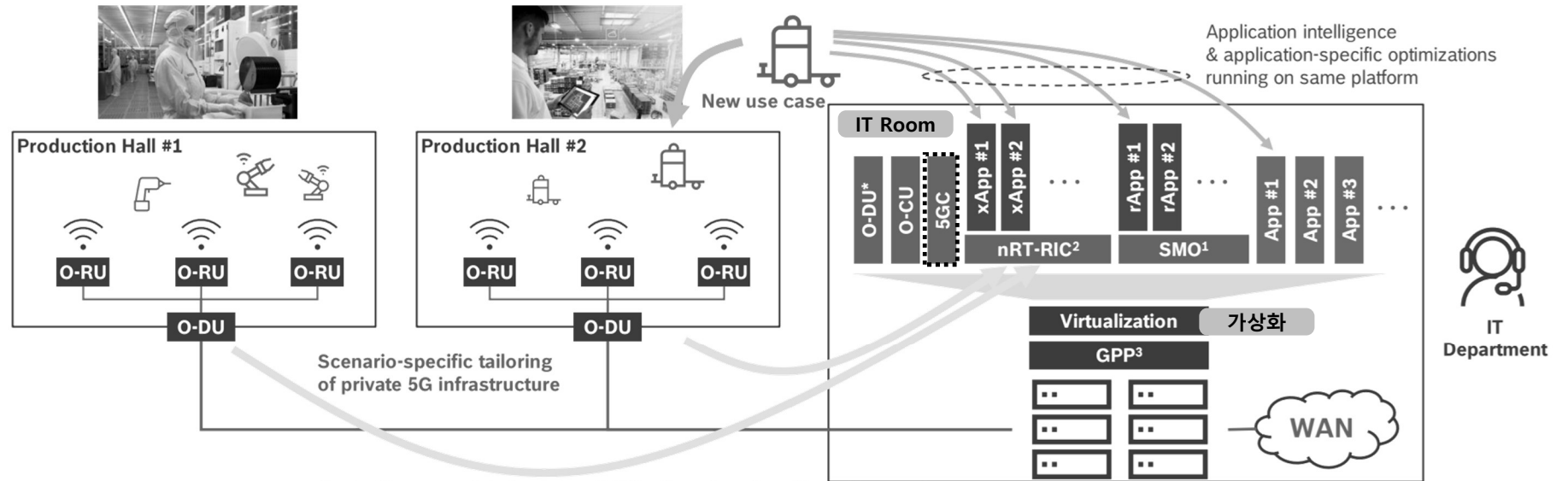
Open RAN

+

Private Networks

Open RAN may perfectly address the specific needs & challenges of private 5G networks for vertical applications

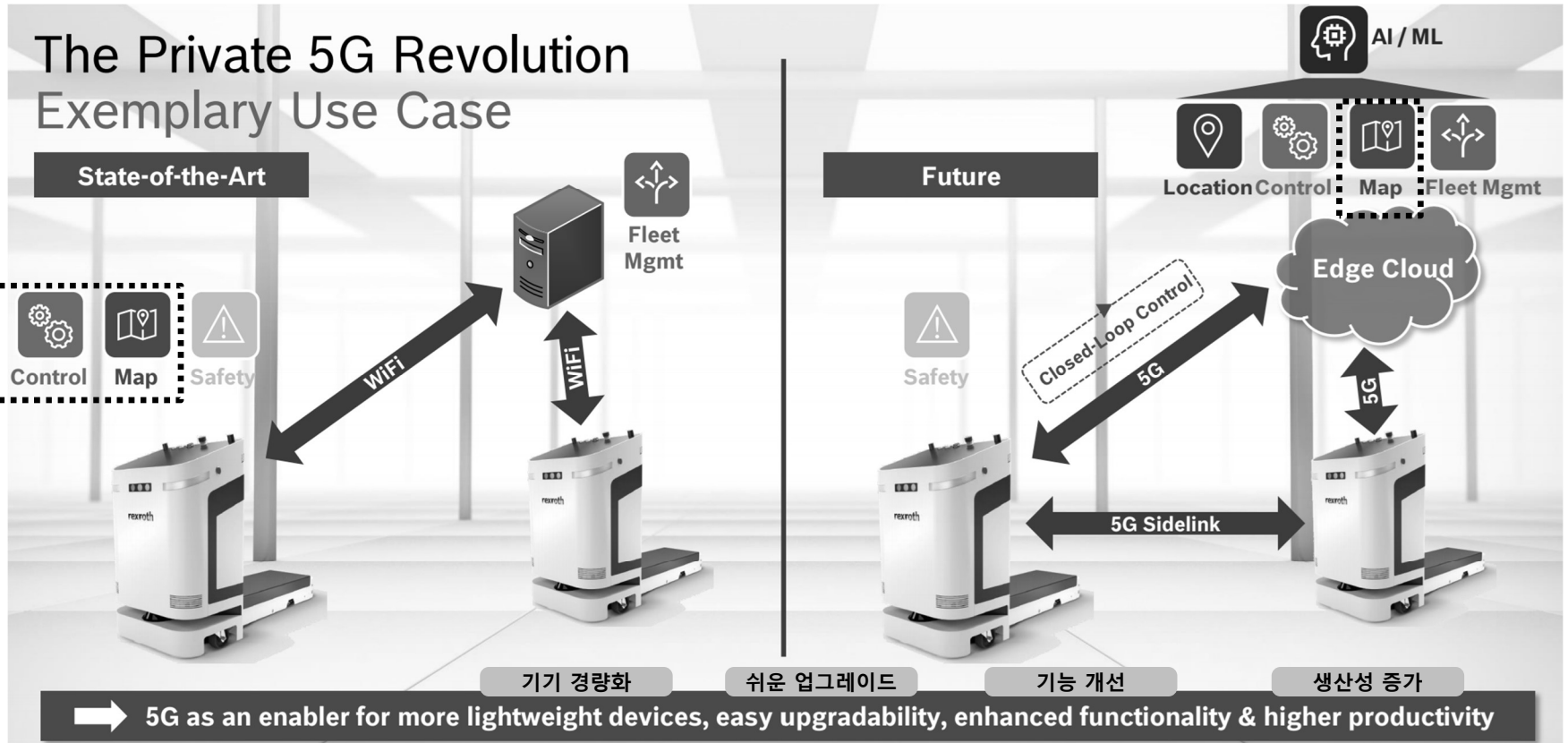


16 CR/ADT1 · Andreas Mueller | 29 September 2021 ¹Service Management & Orchestration ²RAN Intelligent Controller ³General Purpose Processor
 © Robert Bosch GmbH 2021. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G (예: Bosch)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G Use Cases for DoD (Department of Defense)

- Enterprise private 5G networks for National applications are very similar to commercial networks
- Most military-related tasks are "behind the lines"
- More challenges in forward-deployed use cases
- Opportunities to both use 5G as writ, as well as contribute ideas to future standards



Virtual/Augmented Reality Military Planning/Training/Rehearsal		Unattended Sensing, Tipping & Cueing	Mobile Cloud Computing
Video Calling Virtual Meeting	Fixed Wireless	Ultra High Definition Video	
Wearables	Distributed Situational Awareness	Smart DOD Posts, Camps, Bases, Stations	Vehicle to Infrastructure
	Health Status Monitoring		Depot Automation
DOD Installation First Response	Remote Surgery	Vehicle to Warfighter	Vehicle to Vehicle Ship to Ship
			Instant Translation

DoD에서 Private 5G 기술이 필요



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G Use Cases for DoD (Department of Defense)

- Military vehicles and equipment
- Military vehicular networking includes both manned and unmanned vehicles
- Largely mirrors civilians needs – but infrastructure may not always be available
- Need to be able to
 - Collect data in real time and data analytics
 - Automated repair
 - Tool and equipment tracking
 - Provide remote engineering support and connect maintenance personnel

low SWaP (Size, Weight, and Power, and Cost)

Storage



Stock readiness

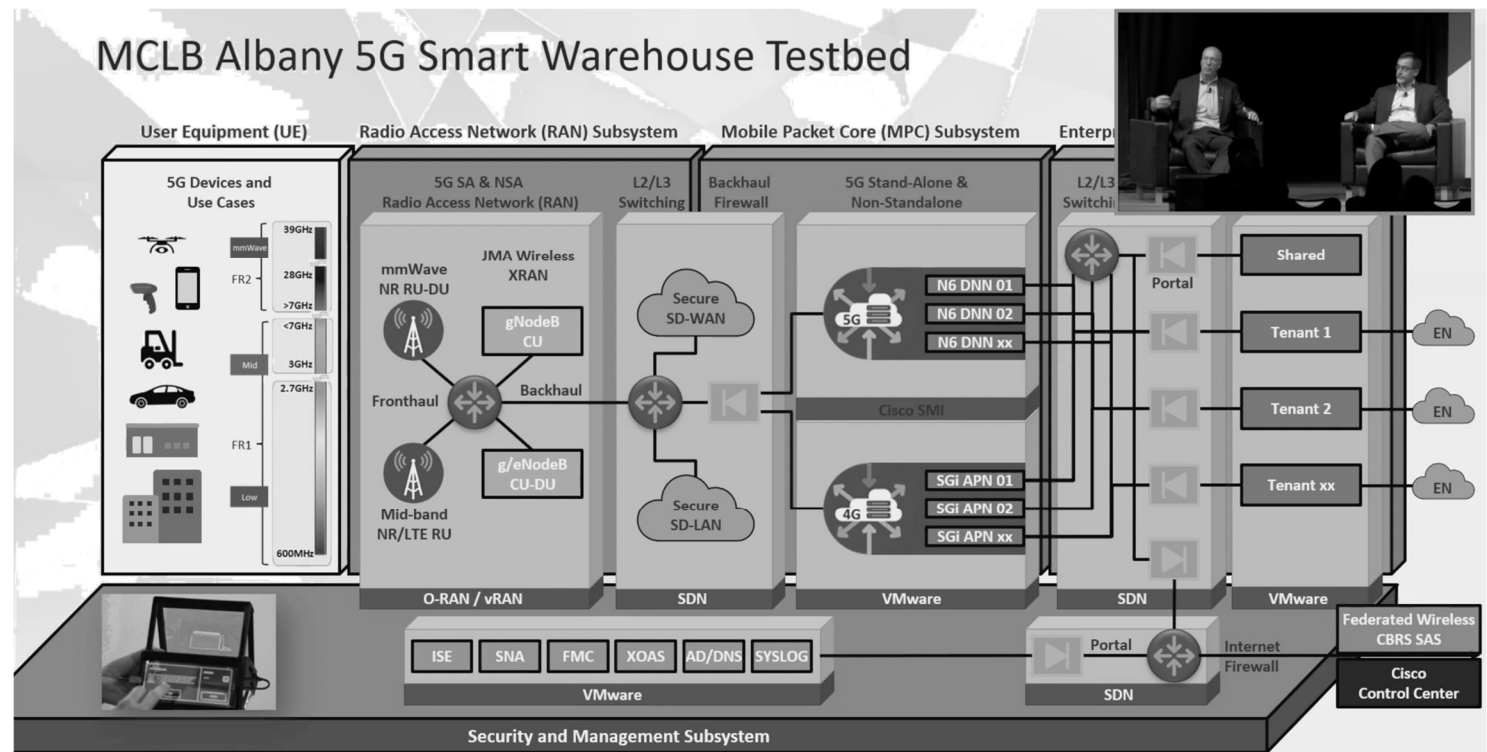


Maintenance



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

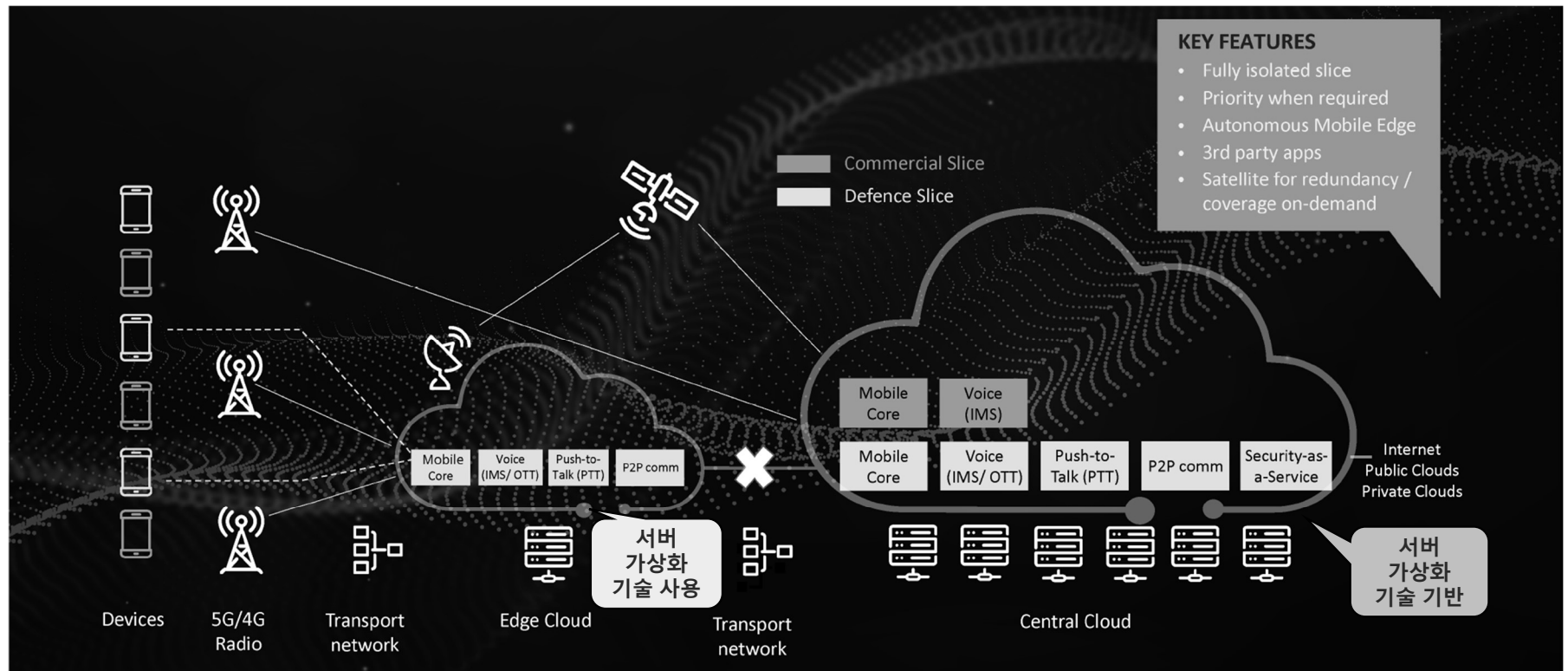
❖ U.S. Military partners with wireless industry for 5G test bed



Source: <https://wia.org/u-s-military-partners-with-wireless-industry-for-5g-test-bed/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Implementation of a Dedicated Network Slice (with the Norwegian Defense)



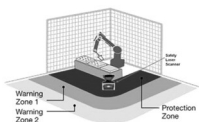
Source: <https://datarespons.com/5g-is-a-game-changer-for-the-military/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Common Use Cases in Manufacturing (예: ONF)

AGV (Automatically Guided Vehicles)



1. Automation

AGV

AGV Use case requires seamless handovers as the vehicle moves across radio coverage areas

Parameter	Values	Flexibility
UL/DL Data rate	50 Kbps	Reliability
RTT	10 ms	Low latency
Velocity	2 m/s	Seamless mobility
		URLLC

Safety Scanner

Safety scanner is used in the factory floor to scan for any intrusion to the pre-designated areas in the factory floor.

Parameter	Values	Efficiency
UL/DL Data rate	<1 Mbps	Reliability
RTT	32 ms	Low latency
Velocity	1 m/s	URLLC

Improvement area Network requirement 5G Capability

2. Positioning

Localization for tool configuration

Configuration of tools which requires positioning of the tool

Parameter	Value	Efficiency
UL/DL Data rate	50 Kbps – downlink, 1 Mbps - uplink	Positioning accuracy
Location accuracy	30 cm*	URLLC

3. Remote Monitoring

AR/VR/Worker assistance

AR/VR device is used to assist factory workers operating machinery in the factory floor.

Parameter	Values	Productivity
UL/DL Data rate	3 Mbps	Capacity
RTT	50 ms	eMBB

Digital Twin

Digital representation of physical entity

Parameter	Values	Flexibility
UL/DL Data rate	3 Mbps	Productivity
RTT	50 ms	Reliability
		eMBB

4. Collaborative Robots

Tool changer

Tool changer robots performing synchronous operations

Parameter	Values	Efficiency
UL/DL Data rate	50 Kbps	Productivity
RTT	2 ms	Reliability
		Low latency
		URLLC
		mMTC

PLC to device communication

PLC communicating with multiple devices for end-to-end usecase orchestration

Parameter	Values	Efficiency
UL/DL Data rate	100 Kbps	Productivity
RTT	2 ms	Reliability
		Low latency
		URLLC
		mMTC

5. Over-the-air installation

Software downloads

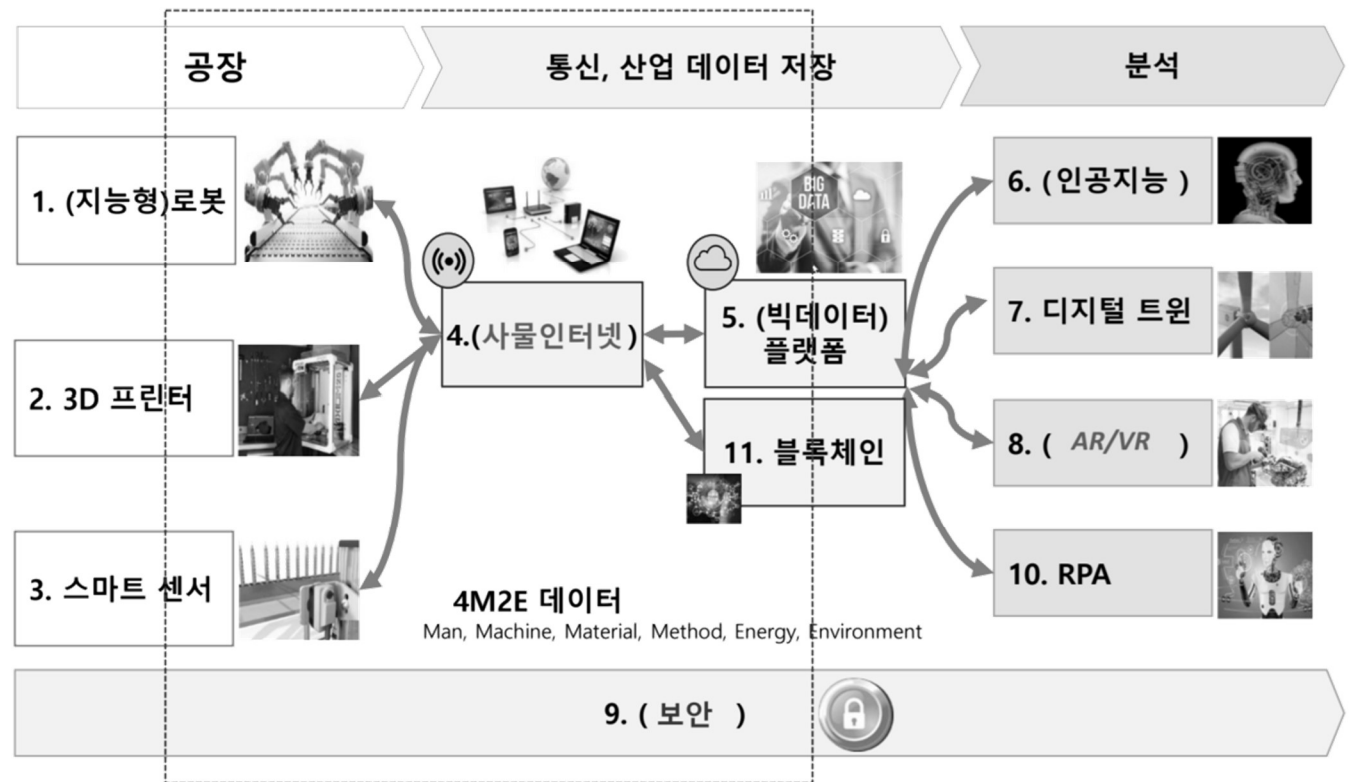
Software download for over the air upgrade of the systems

Parameter	Values	Flexibility
UL/DL Data rate	1 Gbps	Productivity
RTT	100 ms	Capacity
		eMBB



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 데이터 연결, 분석 기반의 제조 지능화 및 제조 디지털 전환 11대 핵심 기술



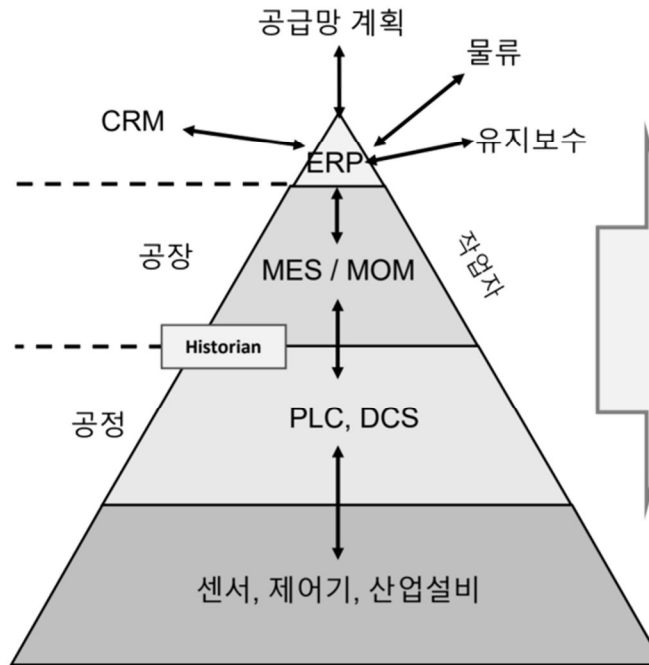
Source: 스마트공장을 위한 5G 기술의 활용, 이순열, 아이투㈜ 산업지능연구소



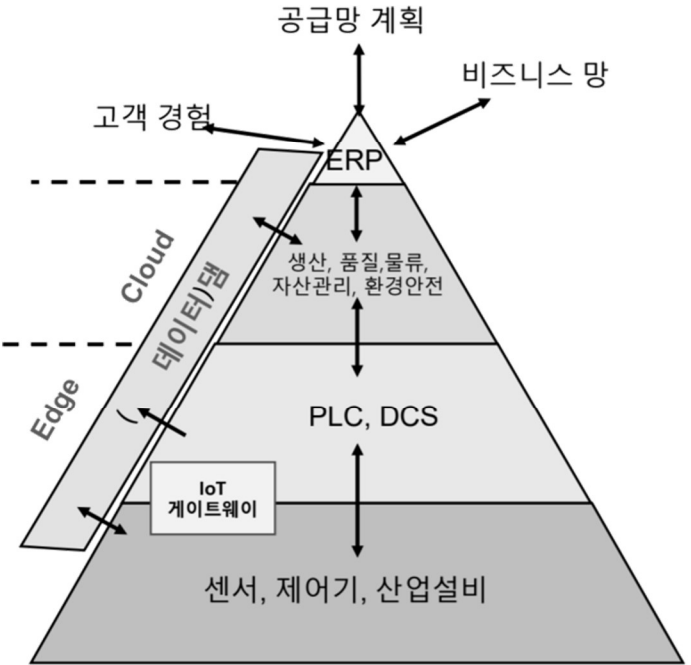
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 디지털 제조 아키텍처

전통적 시스템 아키텍처



디지털 생산 플랫폼

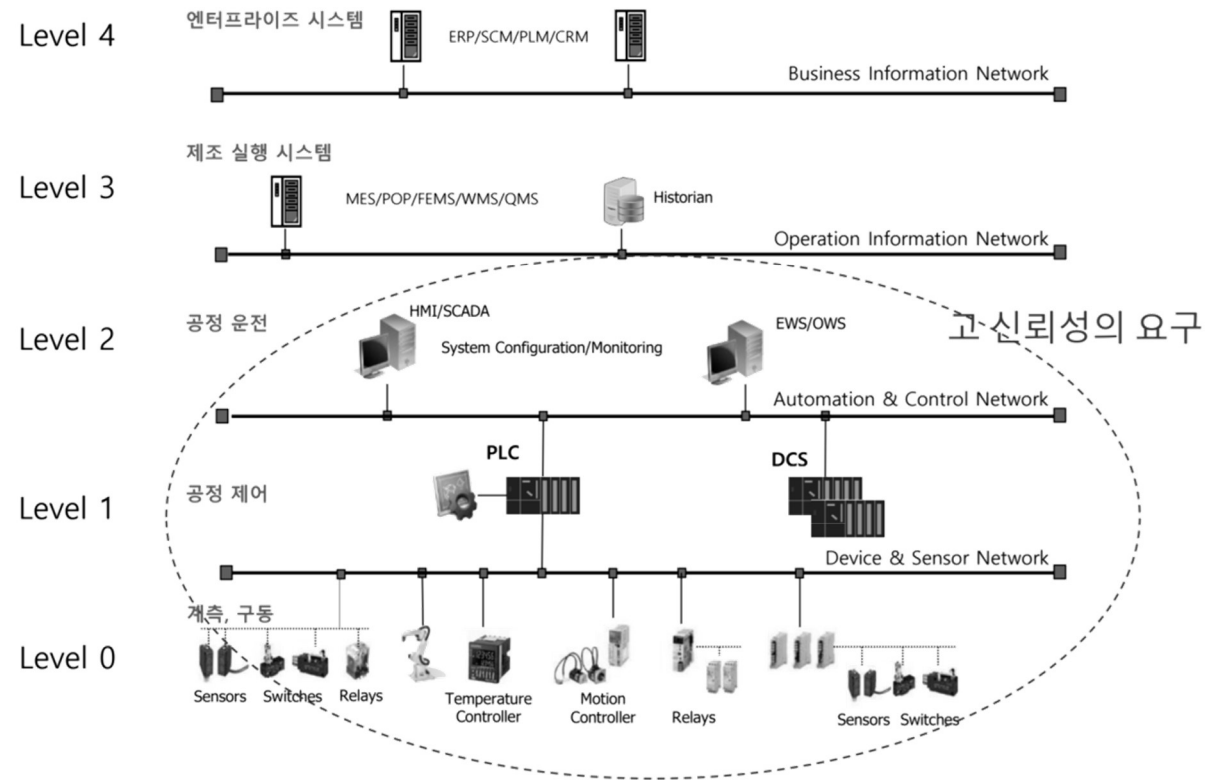


Source: 스마트공장을 위한 5G 기술의 활용, 이순열, 아이투(주) 산업지능연구소



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ ISA(International Society of Automation)의 ISA-95 참조 모델

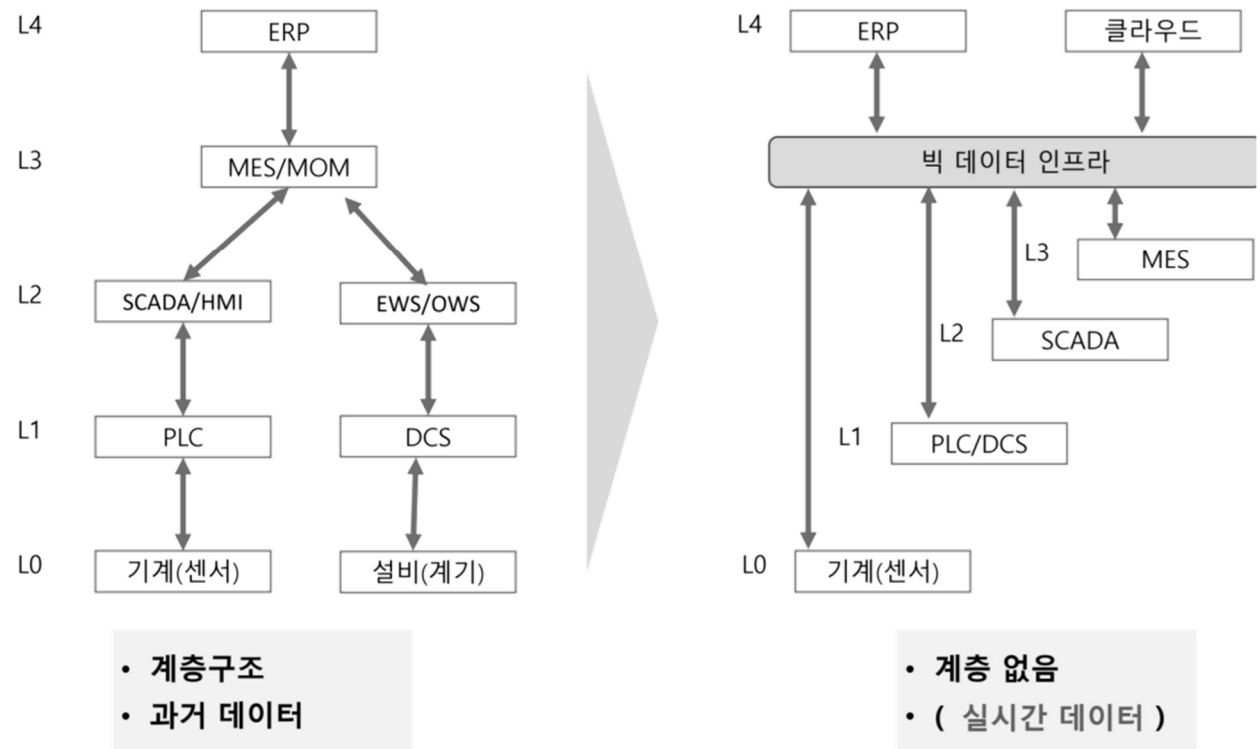


Source: 스마트공장을 위한 5G 기술의 활용, 이순열, 아이투㈜ 산업지능연구소



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 네트워크 컨버전스 (데이터 수집 인프라)



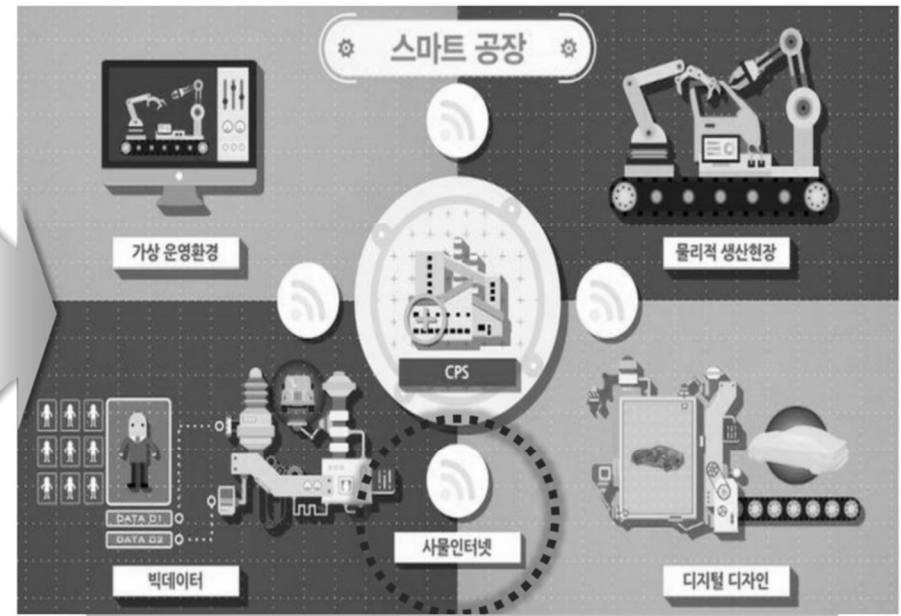
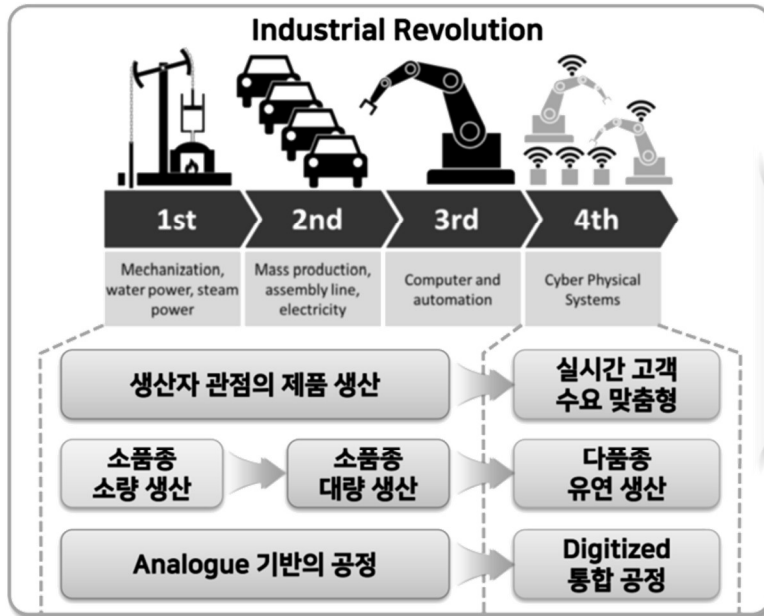
Source: 스마트공장을 위한 5G 기술의 활용, 이순열, 아이투㈜ 산업지능연구소



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 산업용 사물인터넷 (IIOT)

- 스마트공장 = 제품의 기획, 설계, 생산, 유통, 판매 등 전 생산 과정을 ICT 기술로 통합하여 지능화 및 자동화하고, 최소 비용.시간으로 고객맞춤형 제품을 생산하는 공장 (스마트공장추진단)



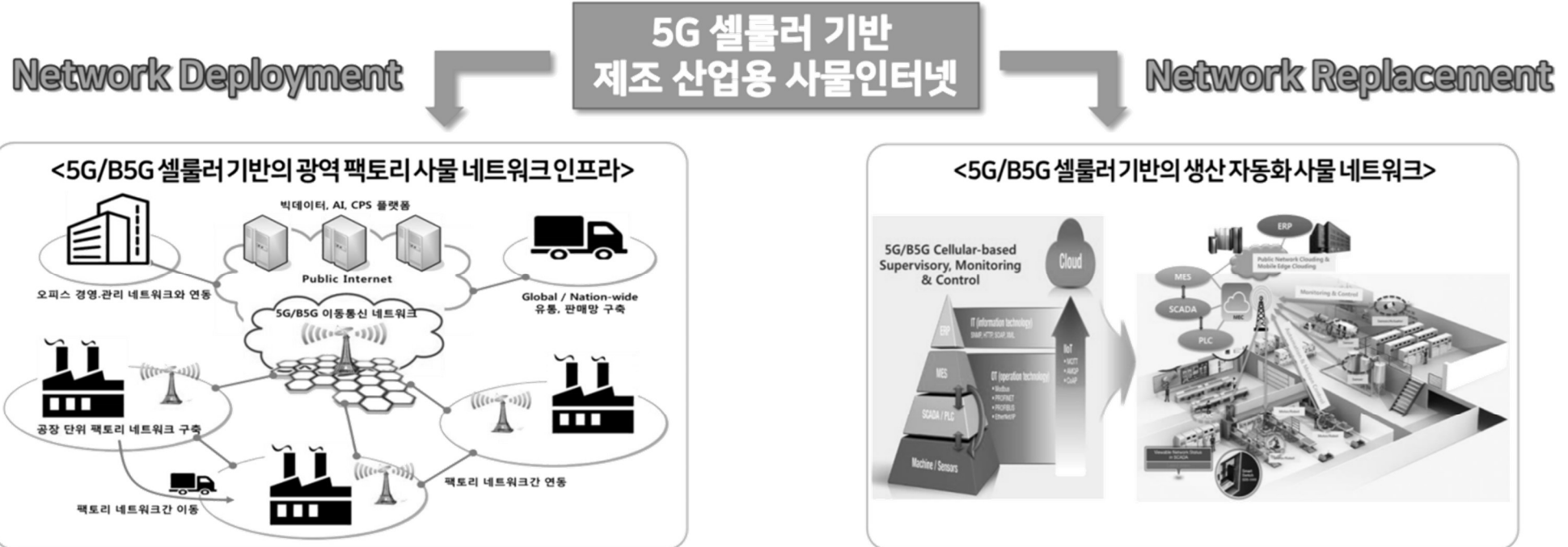
제조 전체 과정의 사람과 사물(예. 각종 디바이스, 시스템, 응용 Platform 등) 유기적으로 연결하는 산업용 사물인터넷이 필수 요소

Source: 신재승, 셀룰러사물인터넷연구실, 한국전자통신연구원



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 5G 셀룰러 기반 제조 산업용 사물인터넷
 - Network Deployment / Network Replacement



Source: 신재승, 셀룰러사물인터넷연구실, 한국전자통신연구원

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ ABI Research: VMware and Red Hat Come Out on Top in ABI Research's 5G Telco Cloud Native Platforms Competitive Ranking.

- **Market Leaders:** VMware, Red Hat
- **Mainstream:** Nokia, ZTE, Canonical, Huawei, Google, Ericsson, Wind River
- **Followers:** AWS, Microsoft Azure

엔터프라이즈 제조사의 5G를 위한 클라우드 네이티브 플랫폼 제공

ABI Research, New York, New York - March 01, 2022


Source: https://www.abiresearch.com/press/vmware-and-red-hat-come-out-on-top-in-abi-researchs-5g-telco-cloud-native-platforms-competitive-ranking/?utm_source=Cision



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 이음5G 장비

제조사별 이음5G 장비 특징


ERICSSON 


에릭슨 프라이빗5G(EP5G)
 코어 네트워크와 라디오 제품군 선별해 패키지와, 전자자원관리(ERP)나 공장자동화(OA) 등과 연동 쉽도록 개방형 응용프로그램개발환경(API) 제공

NOKIA

MPW 아키텍츠
 기업이 코어를 비롯한 5G 솔루션을 모듈 형태로 내부에 구축하고 직접 운영하는 방식. 5G SA 원박스 코어 형태나 원격지 코어 배치, 퍼블릭 클라우드 코어 등으로 구축 가능

클라우드 기반 5G 코어
 노키아디지털자동화센터(NDAC)
 기업 내 5G 네트워크를 구축하고 노키아가 무선망 운용·관리(OAM) 서비스를 제공




SAMSUNG 

컴팩트 코어
 x86 기반 범용 서버에 설치 가능한 원박스형 특화망 코어 장비, 가입자 관리와 데이터 속도 제어, 인증, 라우팅 등 핵심 네트워크 기능 탑재

액세스부
 6GHz 이하 대역은 실내용 링크허브 제공, 6GHz 이상 대역에서는 일체형 콤팩트 매크로(실외용)와 링크셀(실내용) 제공

삼성전자 프라이빗 5G 솔루션



Source: <https://www.etnews.com/20220405000071>

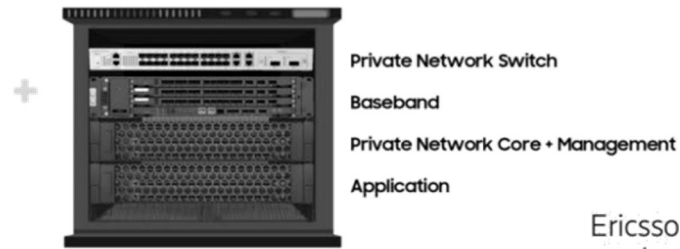


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

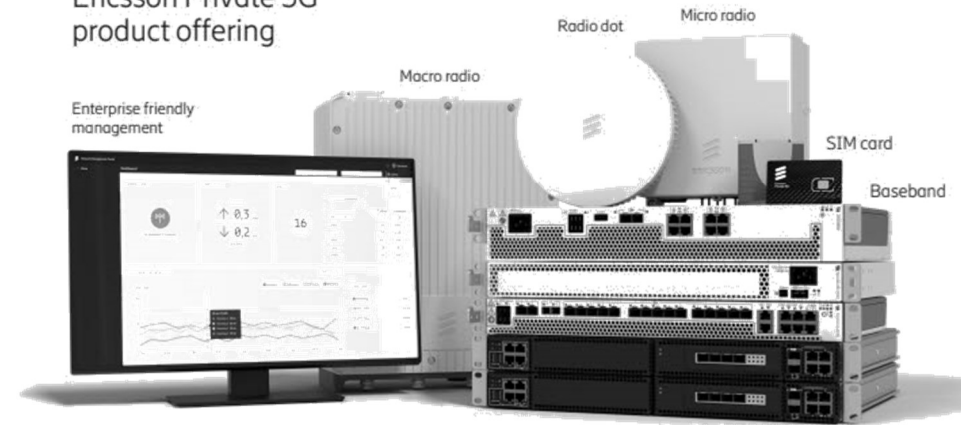
❖ 이음5G 장비



삼성전자 프라이빗 5G 솔루션



Ericsson Private 5G product offering



Source: <https://www.etnews.com/20220405000071>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

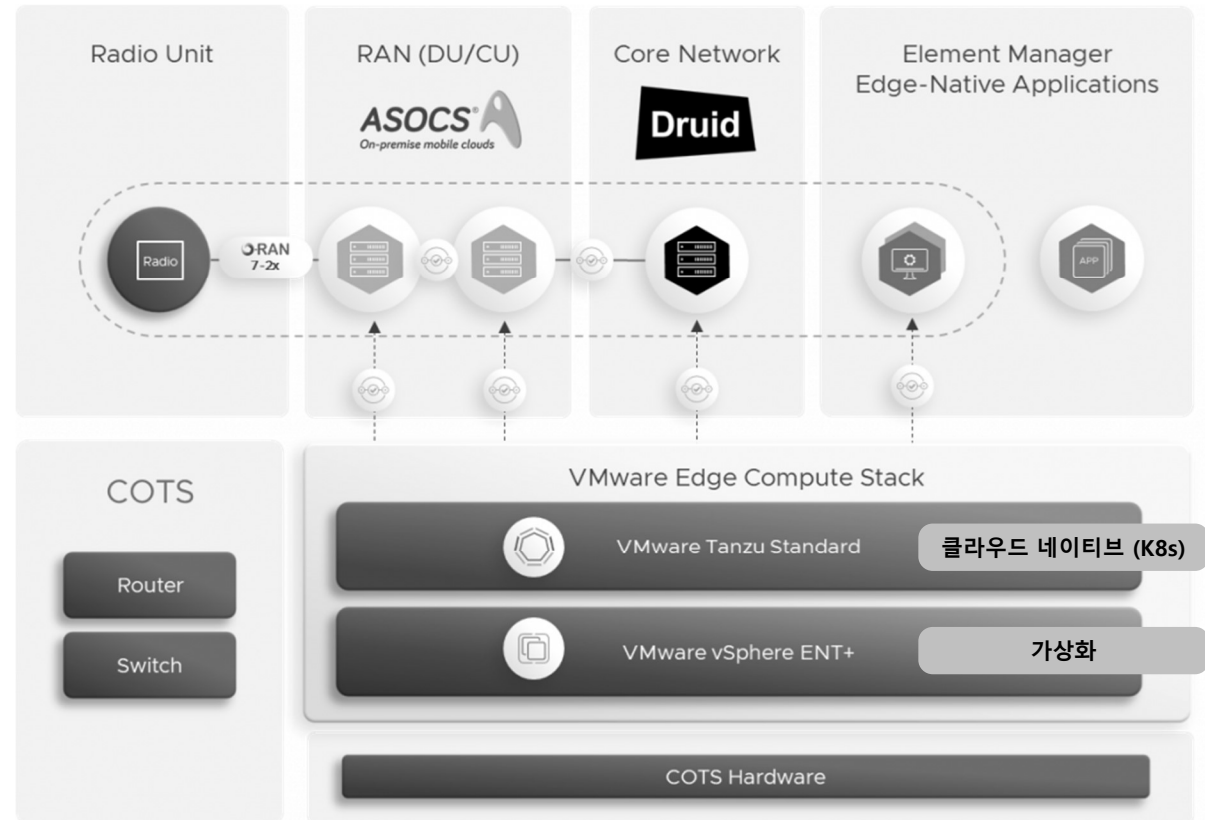
❖ 엔터프라이즈 제조사의 Private 5G Network 적용 모델: VMware (예)

	이동 예지 Nomadic Edge	엔터프라이즈 예지 Enterprise Edge	텔코 예지 Telco Edge
	Coverage & safety	Ultra low latency & security	Reliability & performance
Deployment	Backpack, Cellular on Wheels	Customer On-Premise	Distributed CSP Clouds
Use Cases	First Responders, Rural Capacity, Drones, Events, Popup Retail	Smart Factory, AR/VR, Health, AGV, Mining, Robotics, Asset Tracking	Smart City, Smart Home, Ambulance, Environment/Energy, Logistics
Geography	20 + sq. miles	1 + sq. miles	100 + sq. miles
Connectivity	< 80ms 1 Gbps < 500 attach	< 10ms 10+Gbps < 10K attach	< 20ms 200+ Gbps M+ attach
Services	Location, Voice, Video	Location, Voice, Video, MEC, AI/ML	Location, Video, MEC, CDN
Spectrum	Shared, Unlicensed	Shared, Licensed	Licensed



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G at the Enterprise Edge (예: VMware)



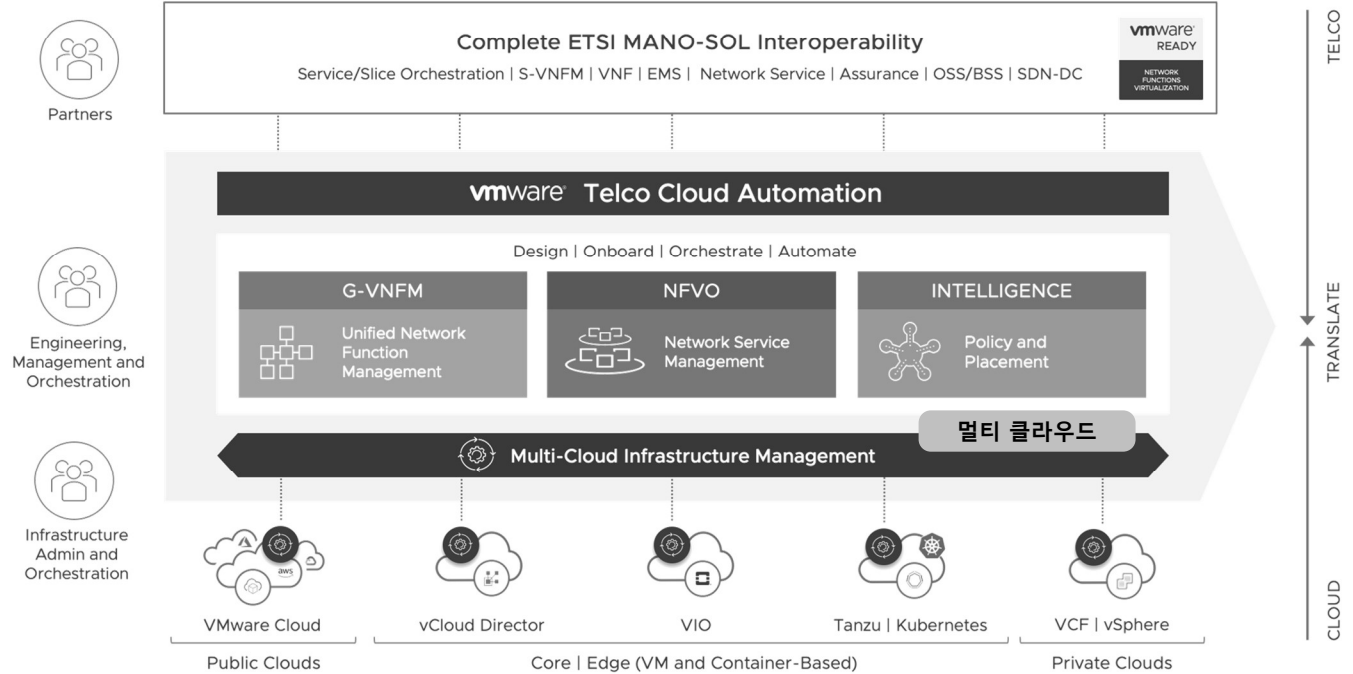
Source: <https://blogs.vmware.com/telco/private-5g/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 오픈소스 수용 제조사의 Telco Cloud 정책 (예: VMware)

- 오픈스택(OpenStack), 쿠버네티스(Kubernetes) 수용 자동화
- 오픈소스 기반 파트너 생태계 형성

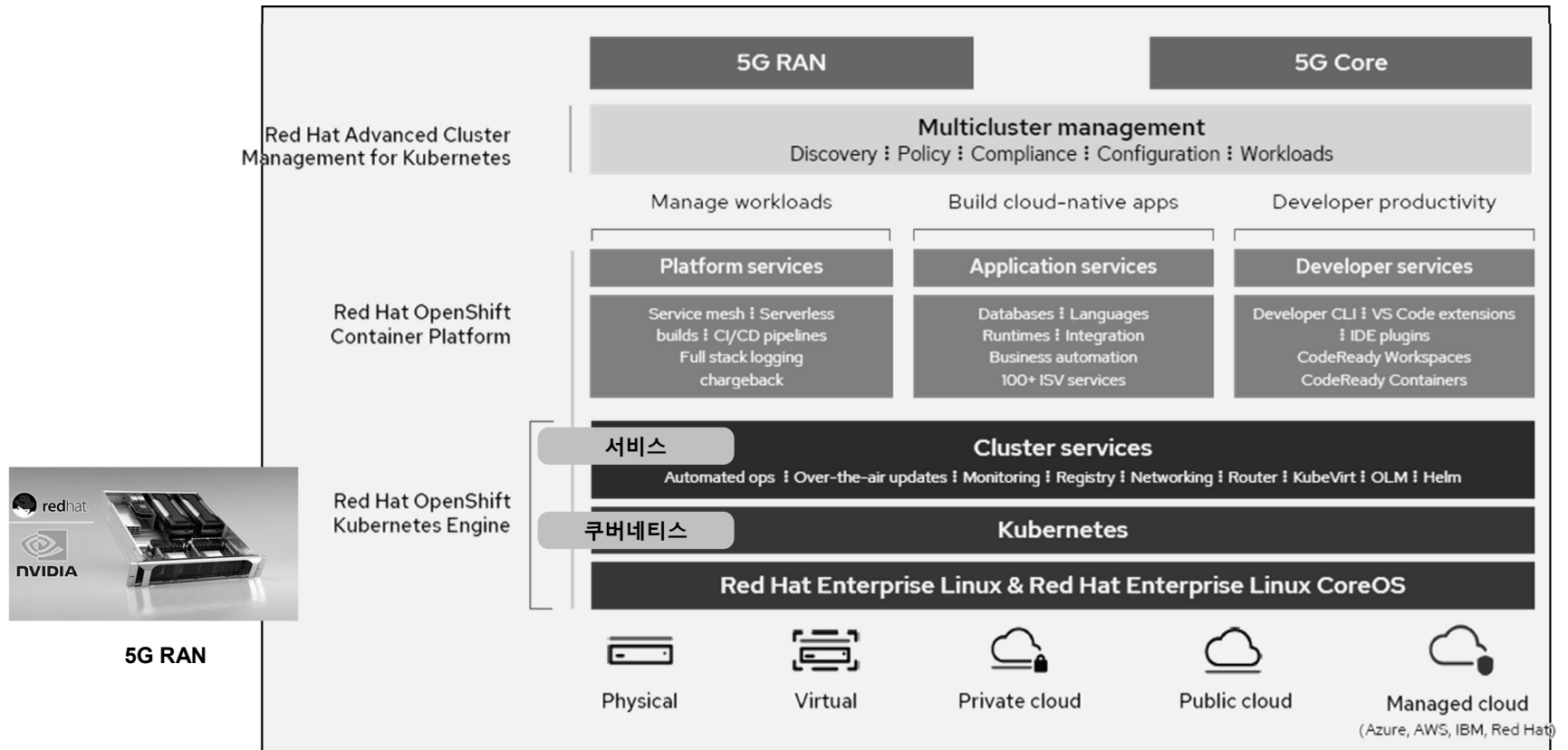


Source: <https://blogs.vmware.com/telco/introducing-telco-cloud-automation/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Red Hat OpenShift as a 5G NFV platform

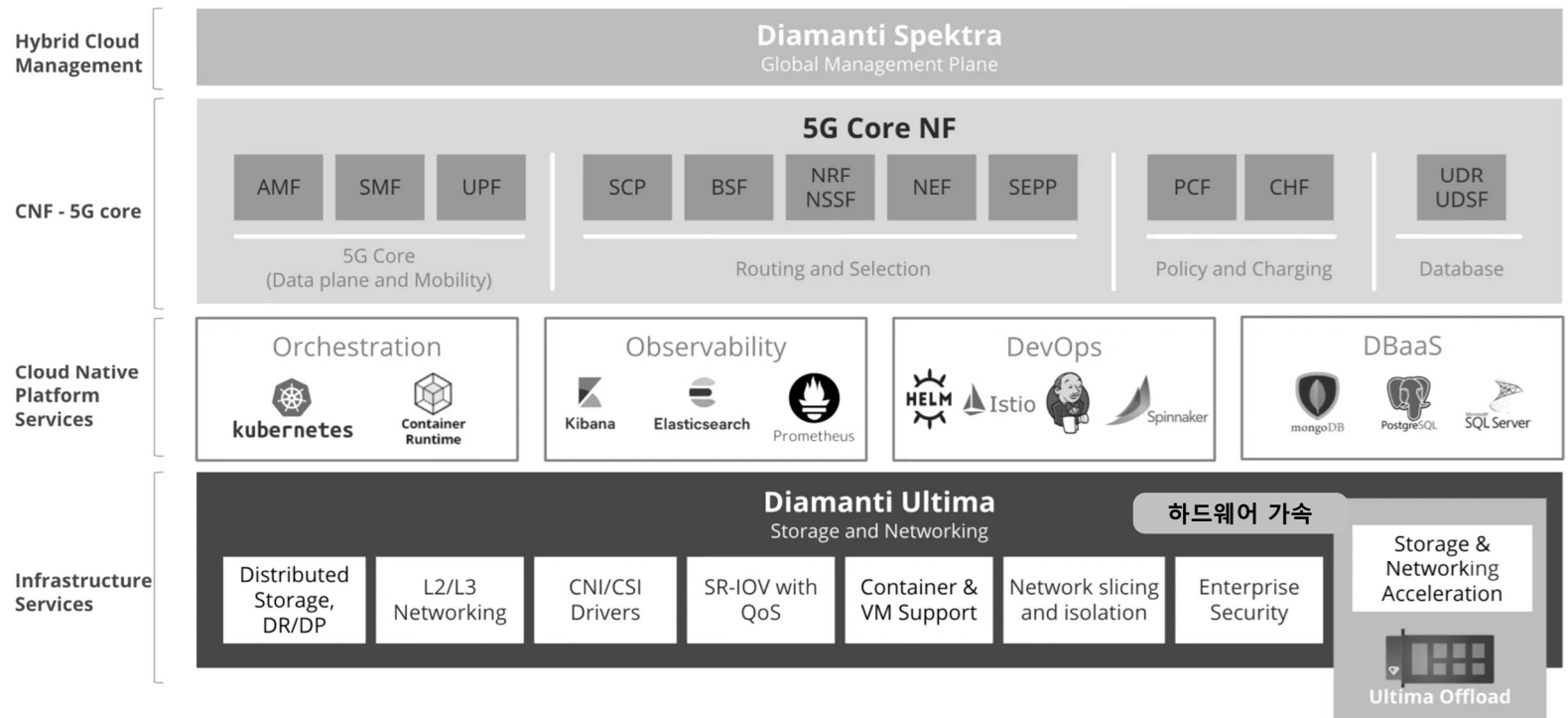


Source: Red Hat



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Full Stack for running 5G core (예: Diamanti)

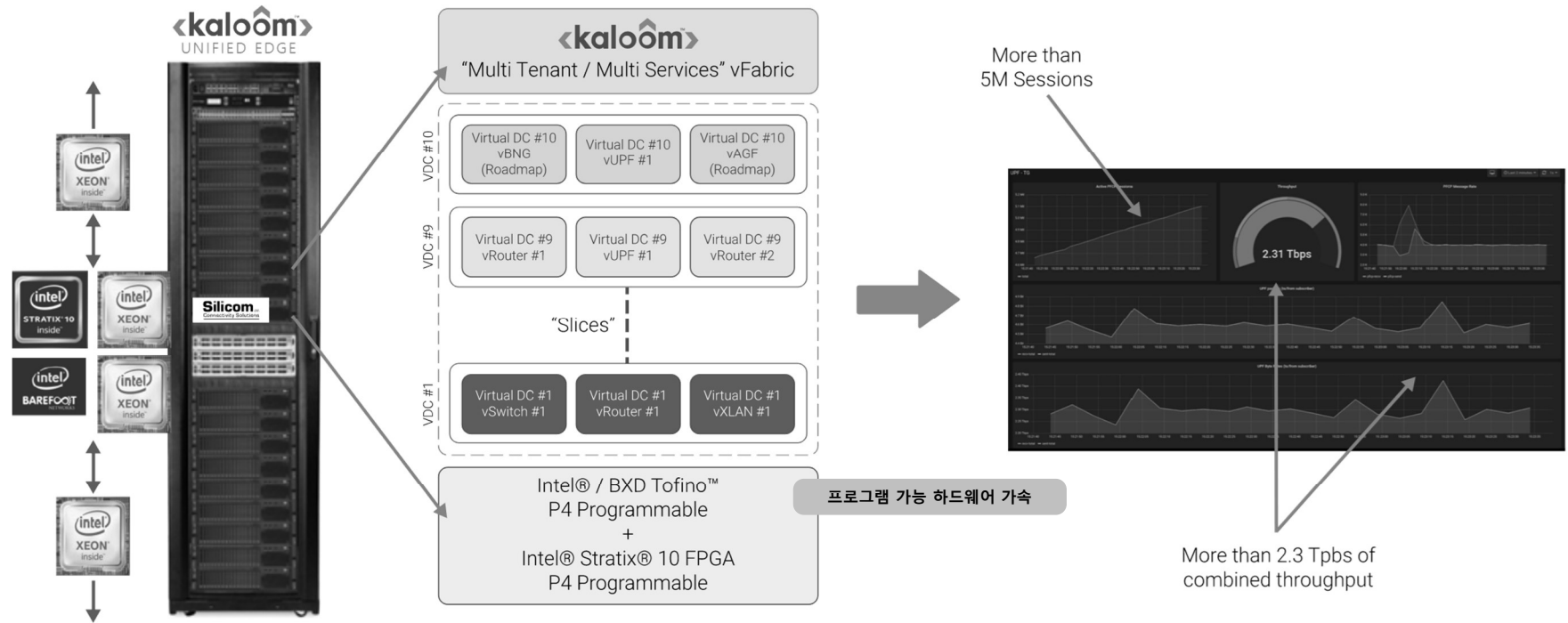


Source: <https://diamanti.com/tutorial-5g-core-on-diamanti/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Data Plane 가속 (예): 엣지를 위한 컨테이너 플랫폼의 P4 사용

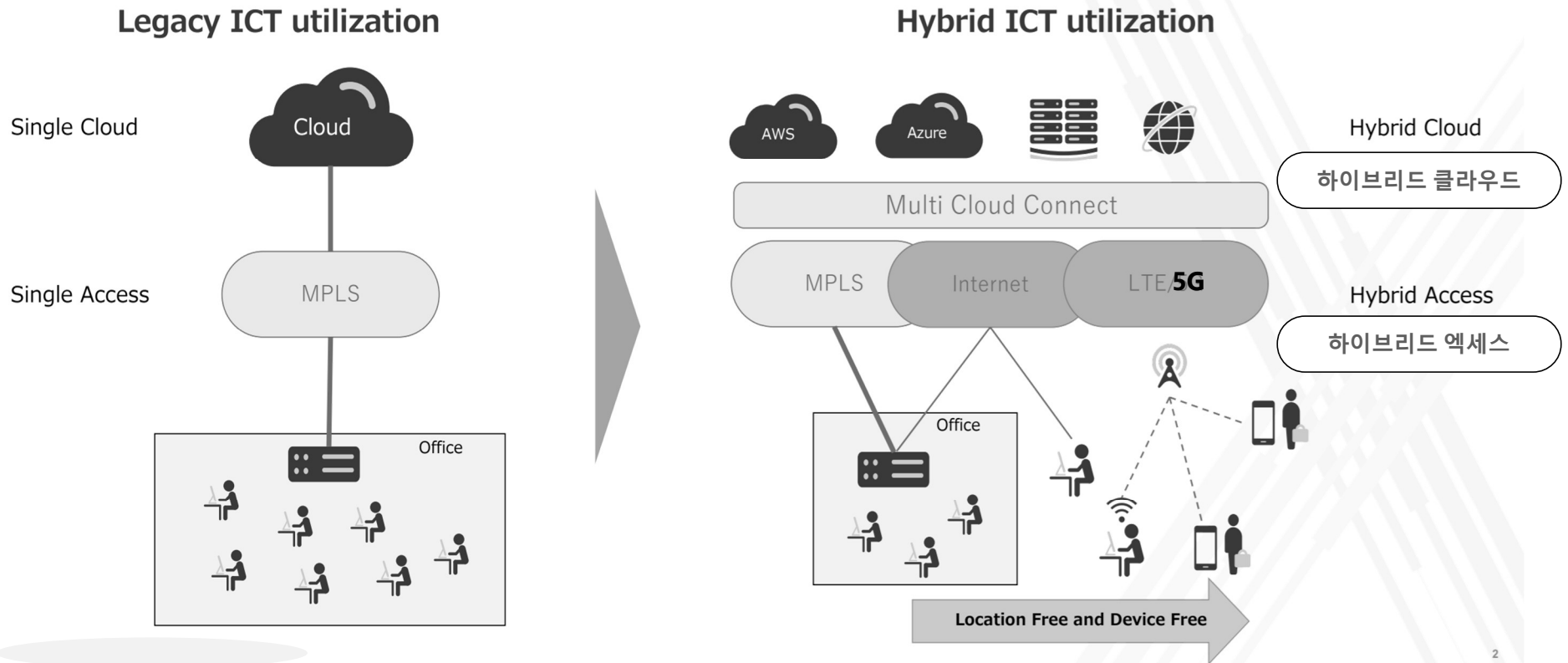


Source: <https://www.kaloôm.com/partners/intel/fpga>



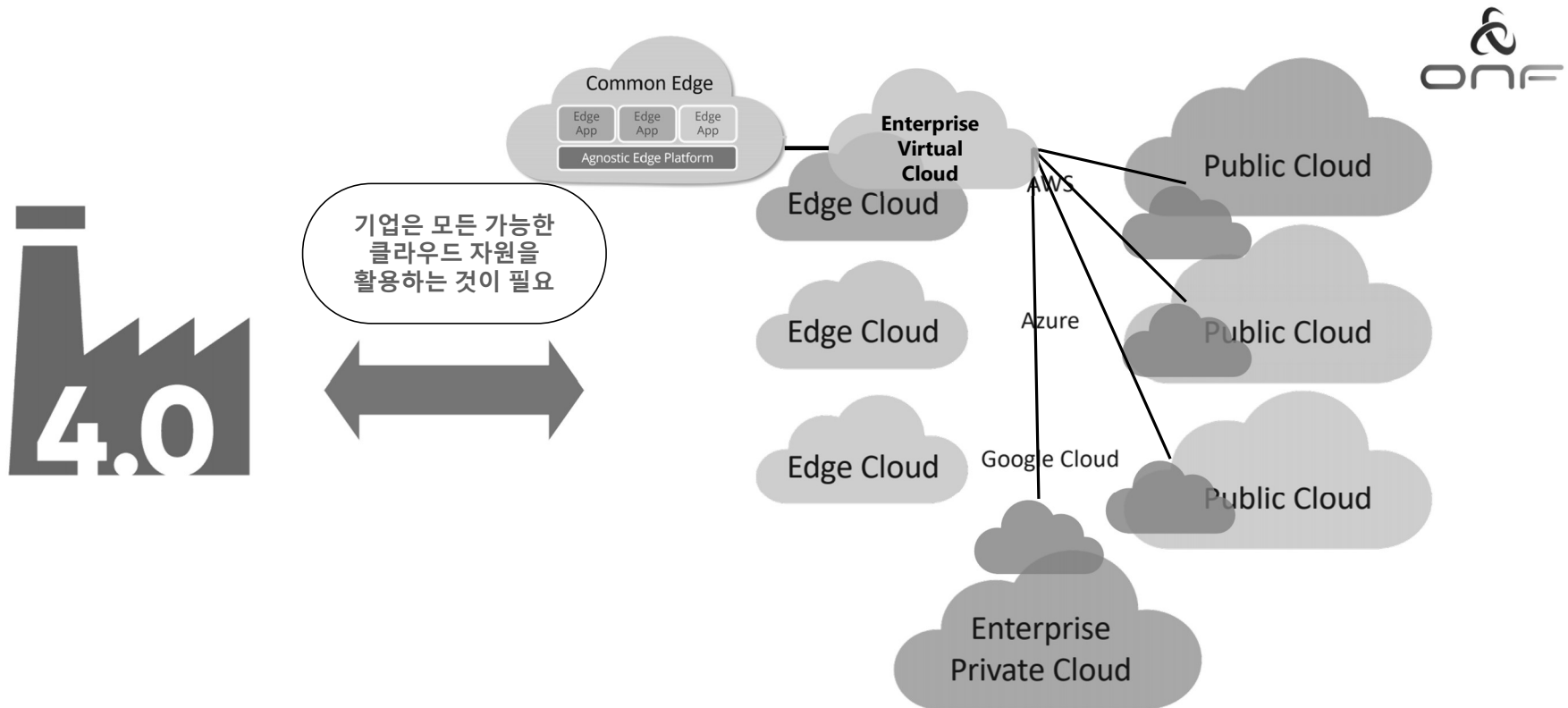
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Enterprise Network Transitions (예: NTT Communications Corporation)



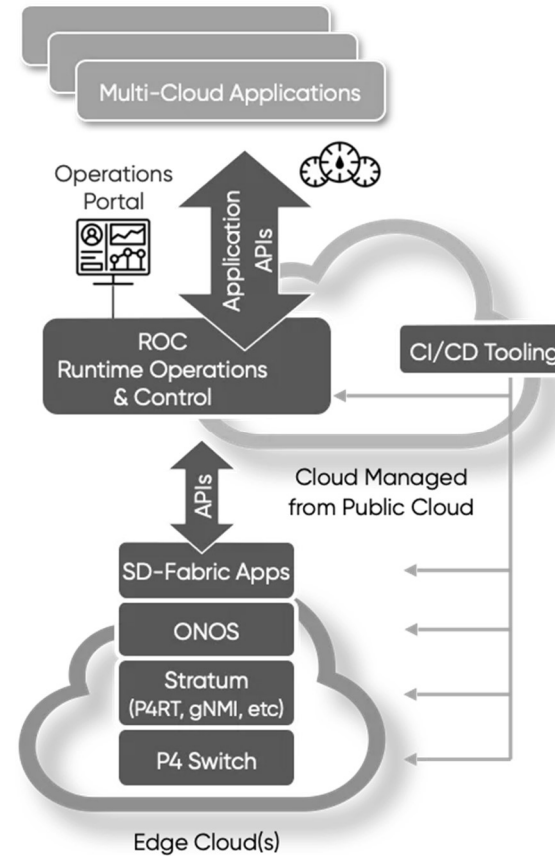
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 멀티클라우드는 뉴노멀 (ONF: Enterprise Multi-Cloud is the New Normal)
 - Can't afford to be tied to just a single hyperscaler – 하나의 'Virtual Cloud' 필요



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ SD-Fabric Architecture

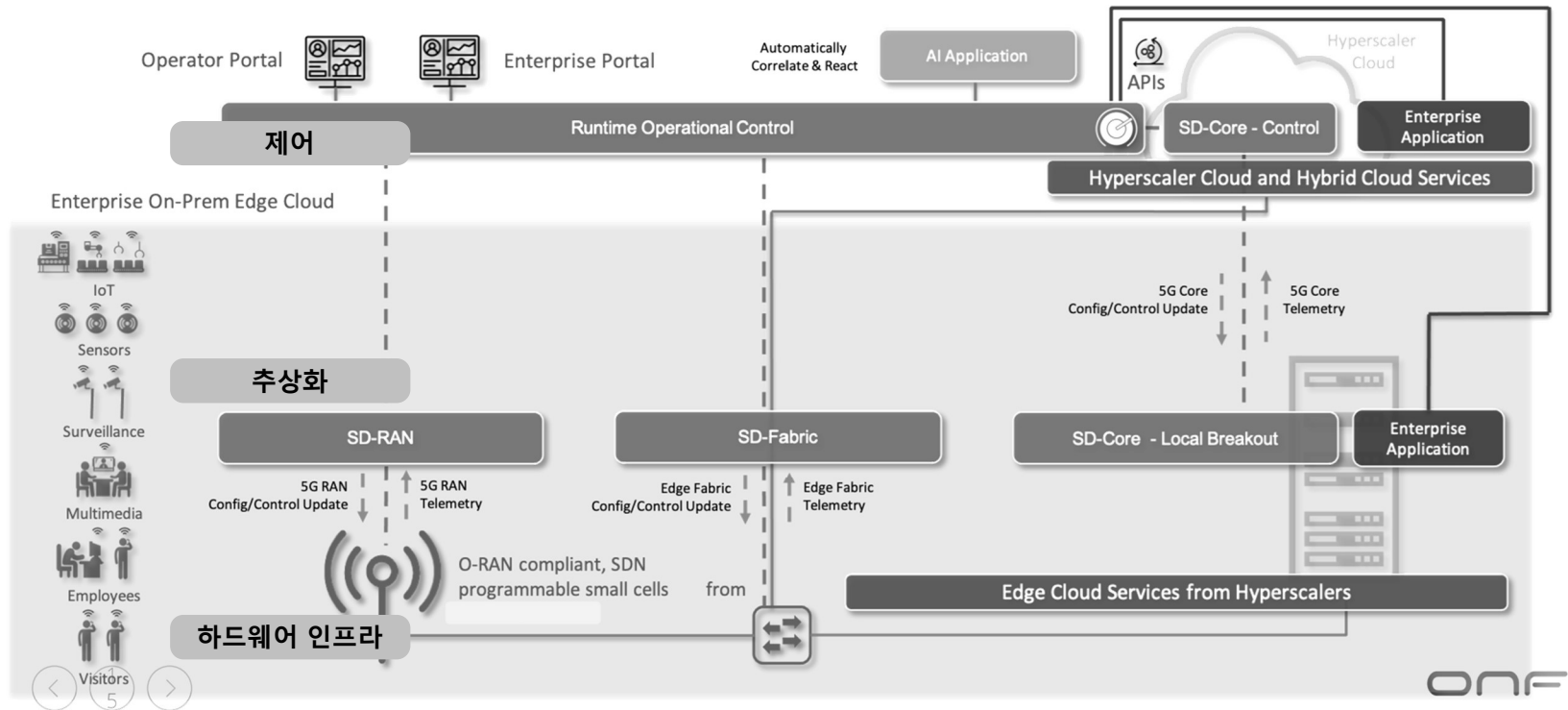


Source: <https://opennetworking.org/sd-fabric/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Aether: 엔터프라이즈의 DT을 위한 5G 커넥티드 에지 플랫폼 오픈소스



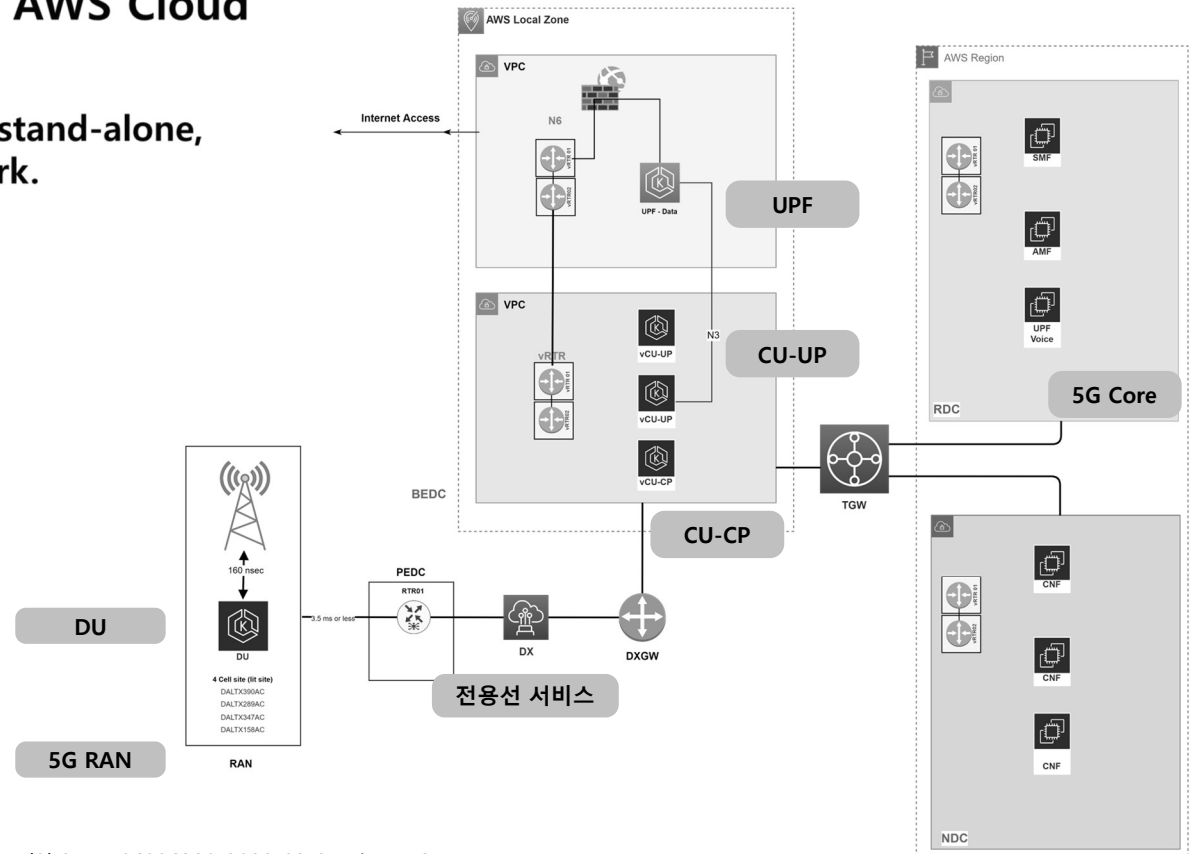
Source: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2020/12/Spotlight-OPs-1.pdf>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Deploying DISH's 5G Network in AWS Cloud

- AWS의 RAN 연계
- DISH Network is deploying the first stand-alone, cloud-native, autonomous 5G network.



Source: <https://d2908q01vomqb2.cloudfront.net/c5b76da3e608d34edb07244cd9b875ee86906328/2022/02/27/Figure-3a.png>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Microsoft Extends Enterprise Chops to Operators.

- Microsoft, as part of its deal with AT&T, also gained roughly 100 engineers from the operator. The enlarged team is now working to build AT&T's Network Cloud technology into Microsoft's standard hybrid-cloud product and a telco-centric platform for AT&T and other operators to deploy.

MS 하이브리드 클라우드 제품의 AT&T를 위한 플랫폼 제공

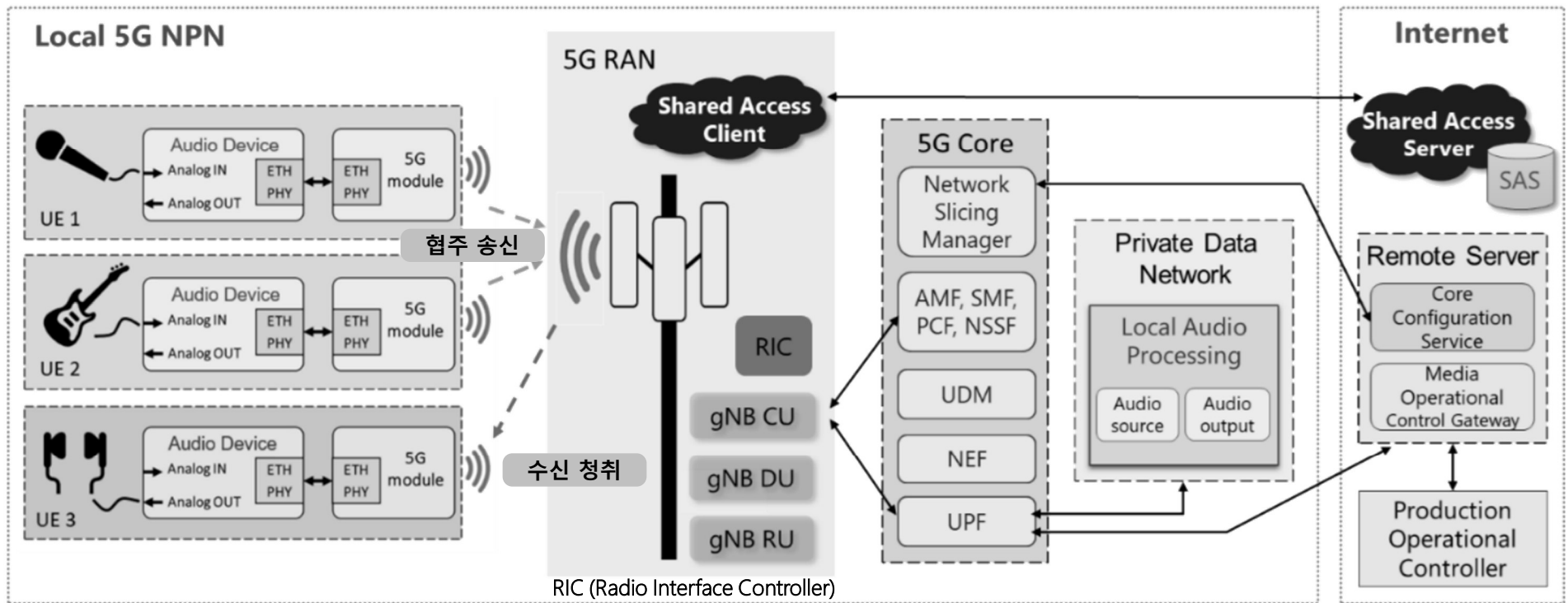
- The combination of AT&T and Microsoft's efforts in this space is unique because it marks "the first time that a tier-one operator has embraced commercial hybrid cloud technology to run mobility network workloads," wrote Haki, a former longtime Verizon executive.
- Microsoft's 5G strategy links the private Azure Edge Zones service it announced in 2020, Azure IoT Central, virtualized evolved packet core (vEPC) software it gained by acquiring Affirmed Networks, and CNFs it brought on board when it acquired Metaswitch Networks.

MS의 통신장비 제조사 인수



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Architecture of the live audio production use case (UC1)

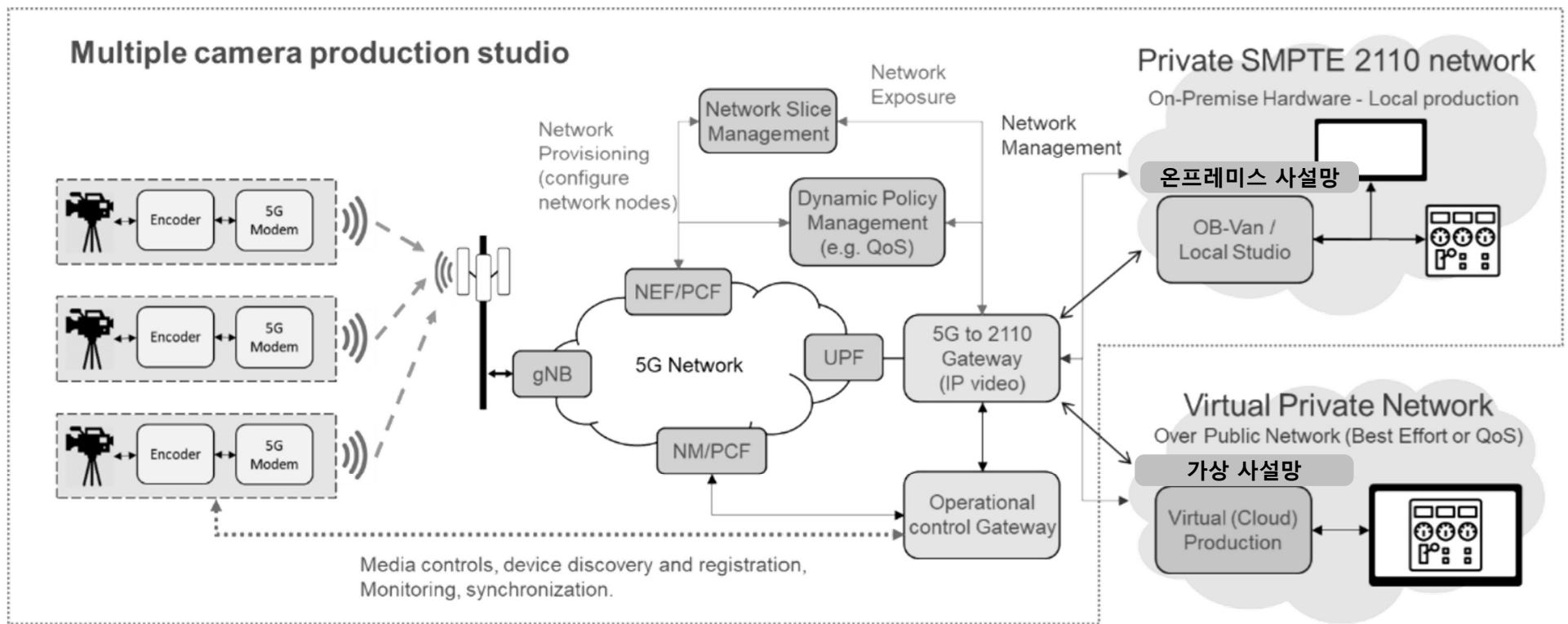


Source: 5GPPP Architecture Working Group, 5G Architecture White Paper



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Architecture of the multiple camera wireless studio use case (Private 5G)

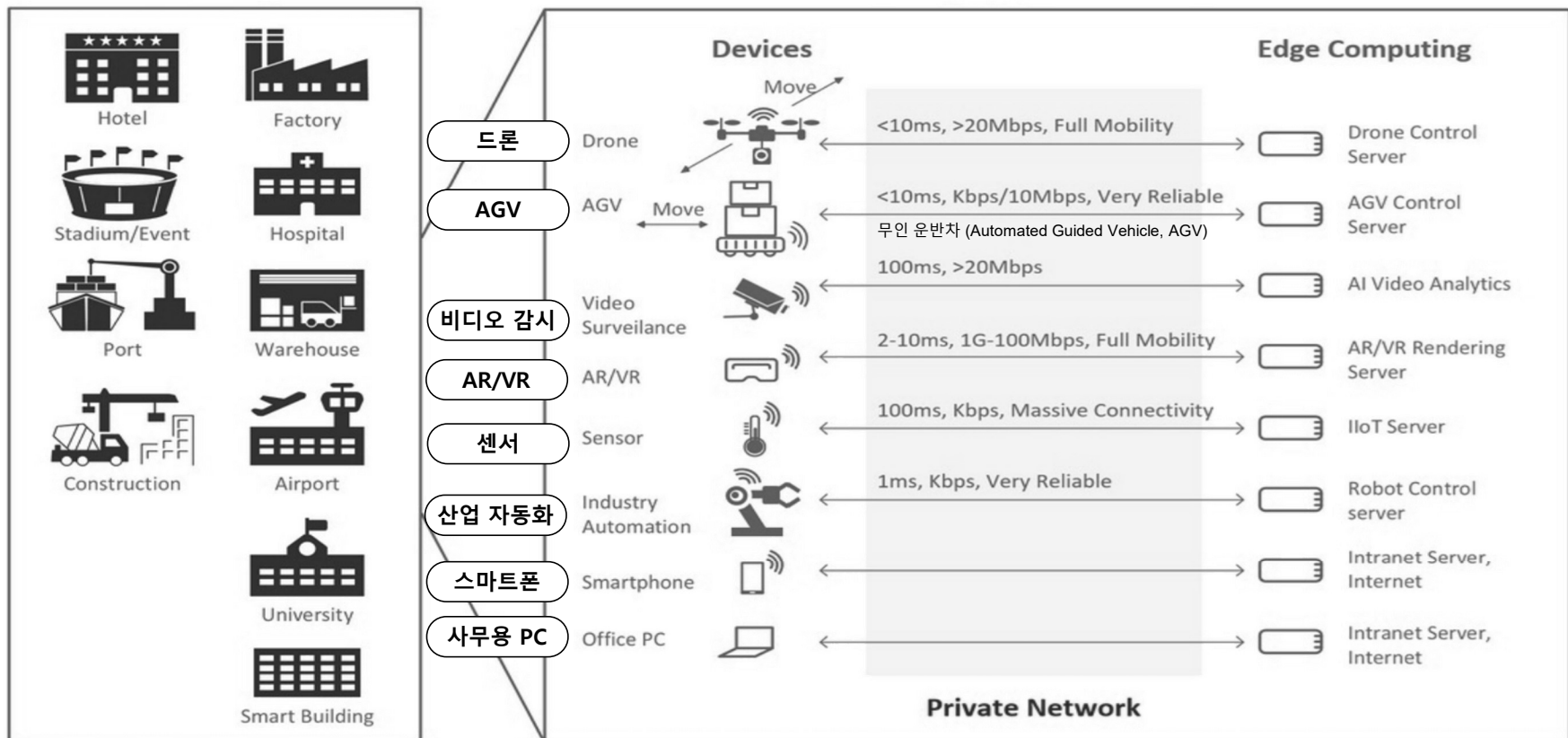


Source: 5GPPP Architecture Working Group, 5G Architecture White Paper



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

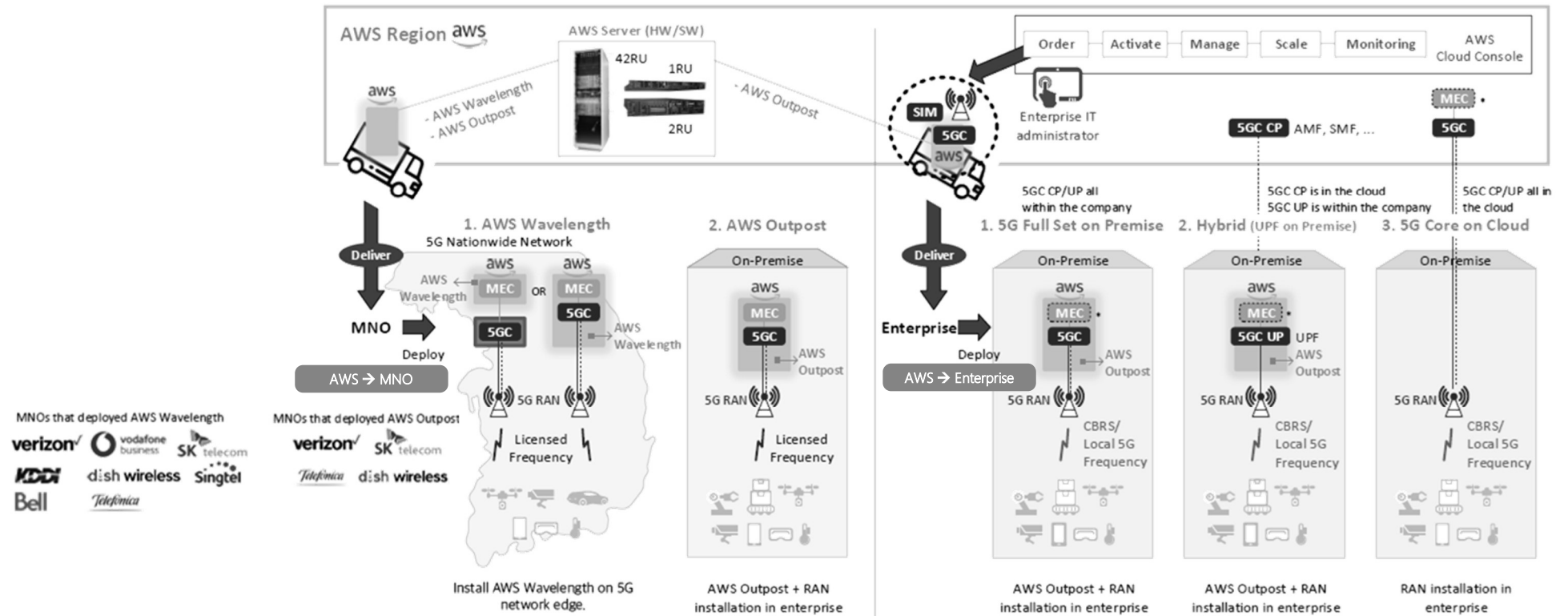
❖ Industry Digital Transformation and requirements for the communication connection



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ AWS Private 5G for enterprises and AWS Wavelength for mobile operators

Source links: [AWS re:Invent 2021, 2021.11 >>](#), [AWS, Next-Generation Mobile Private Networks Powered by AWS, 2021.01 >>](#), [AWS, Private Mobile Edge Computing and 5G, 2021.03 >>](#)

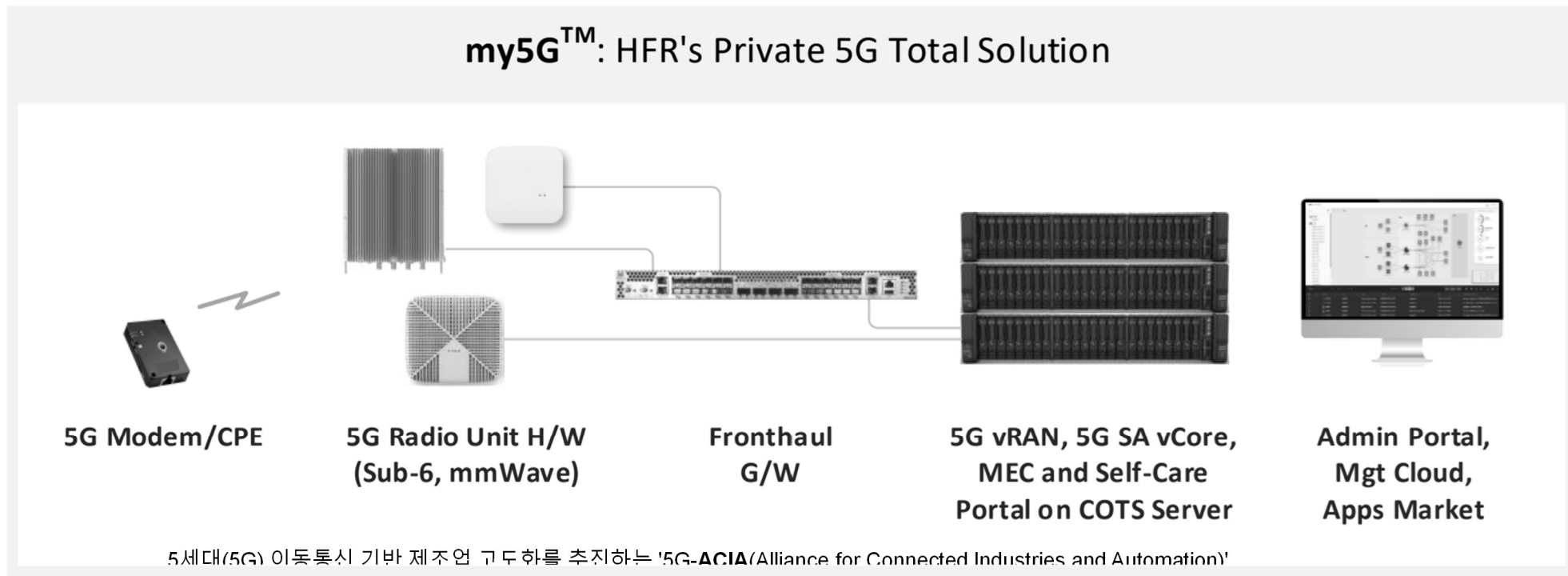


Source: <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=onshot&no=15352>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ HFR's my5GR™ Solution: Private 5G Total Solution

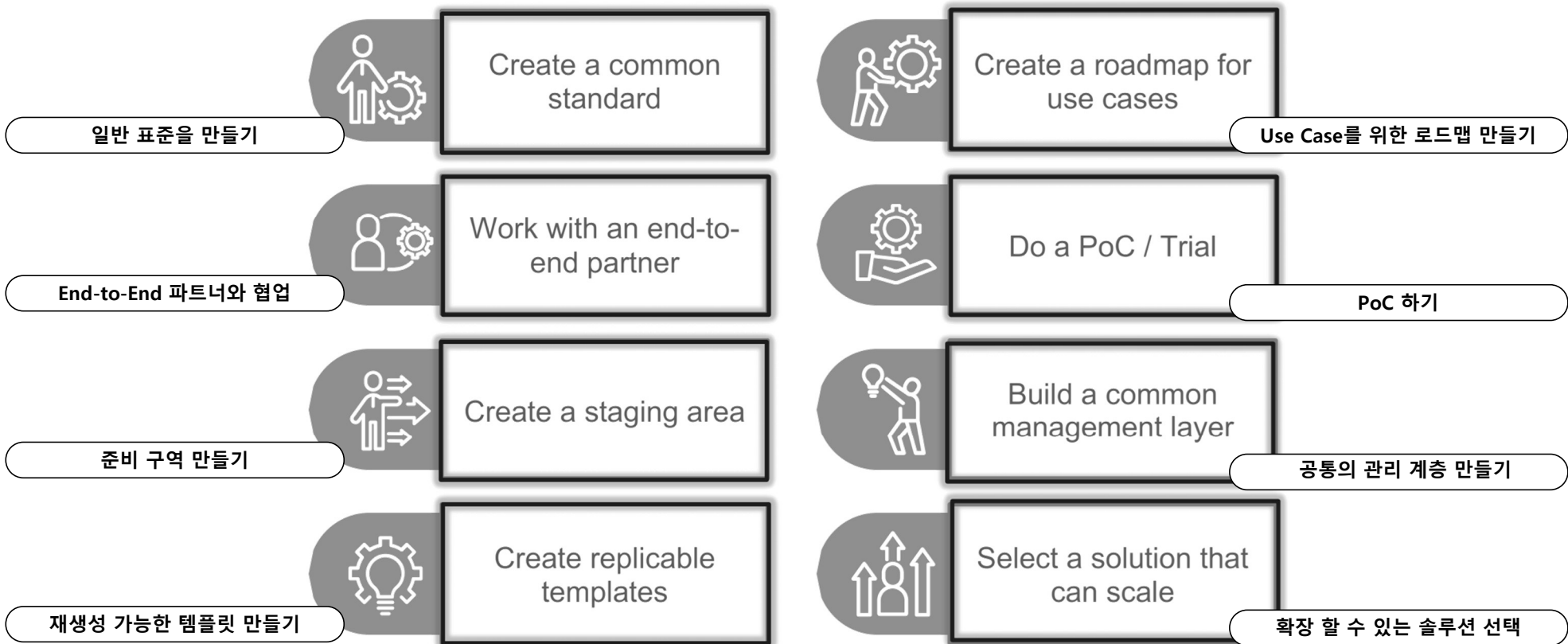


Source: <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=blog&no=15161>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

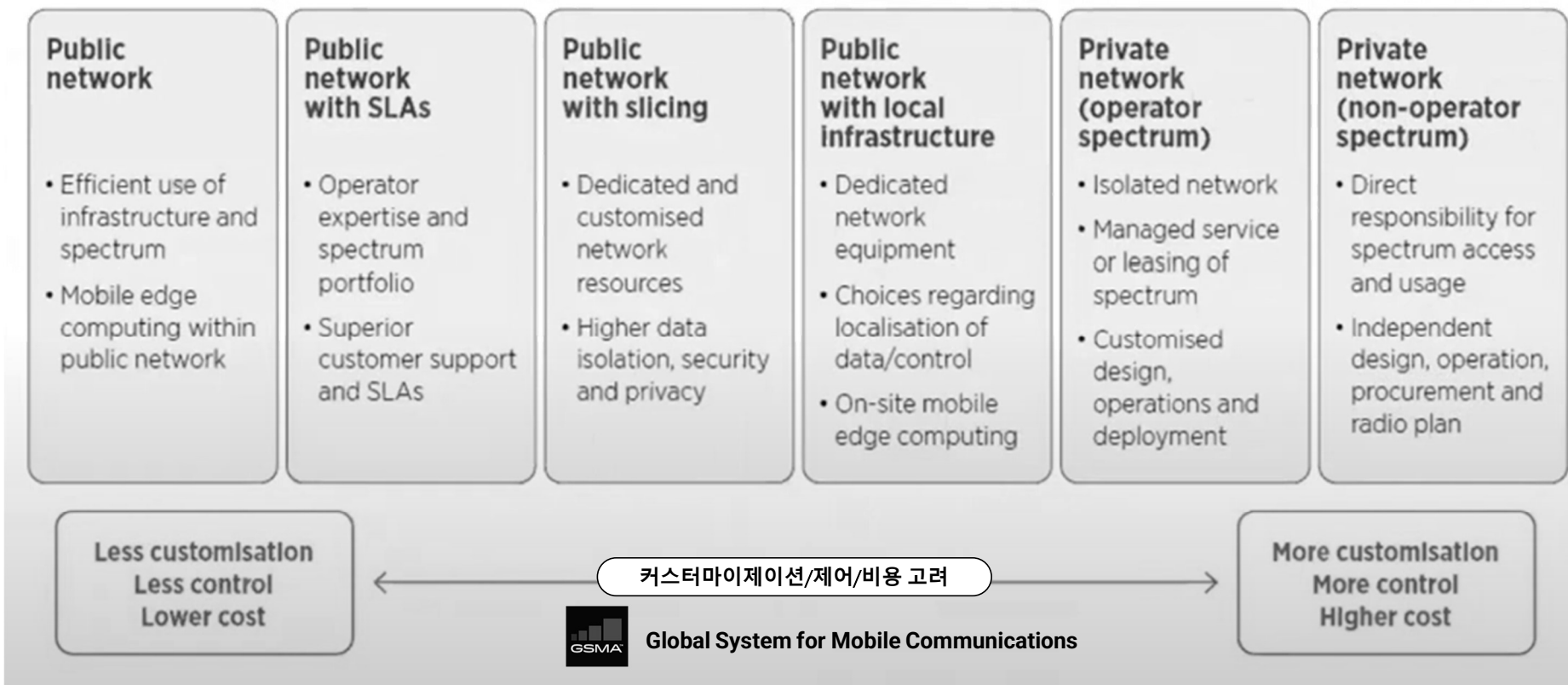
❖ 엔터프라이즈를 위한 가이드라인 (Guidelines for enterprises) 예: ONF



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

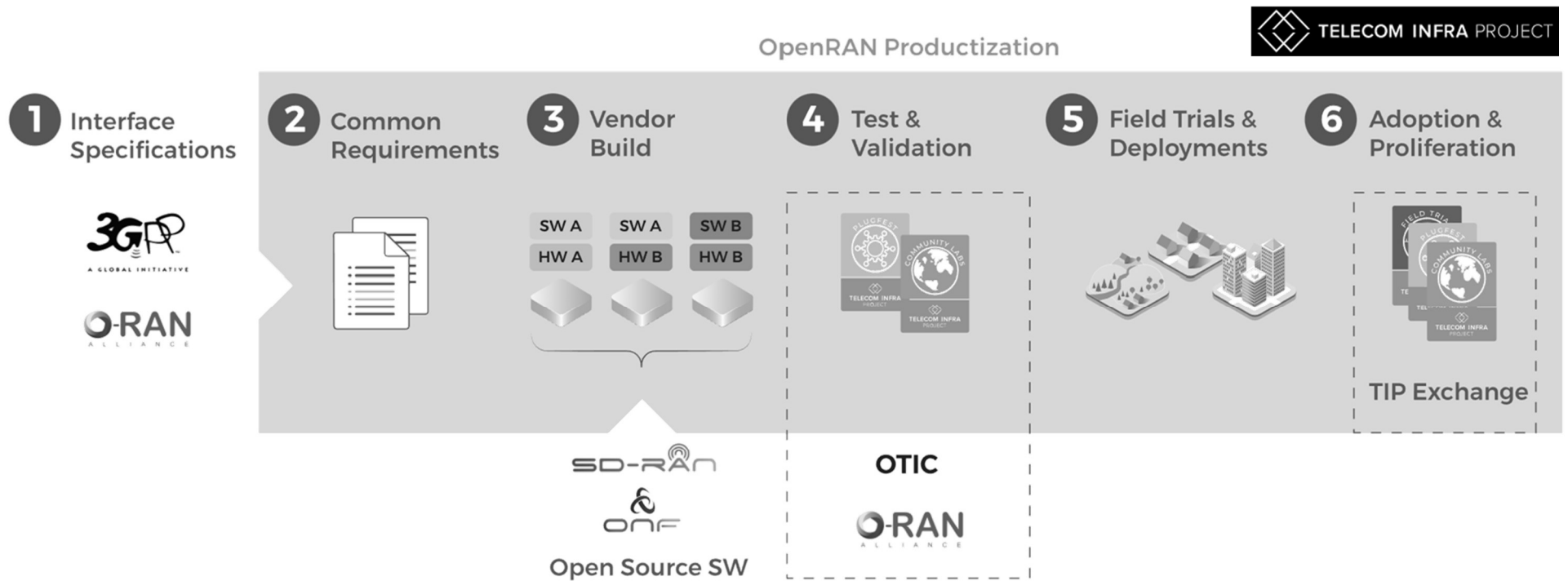
❖ 커스터마이제이션/제어/비용 (예: GSMA Intelligence, GSMA IoT Programme)

Group Special Mobile Association (GSMA)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ OpenRAN and Industry Collaboration



Source: <https://telecominfrastructure.com/openran/>



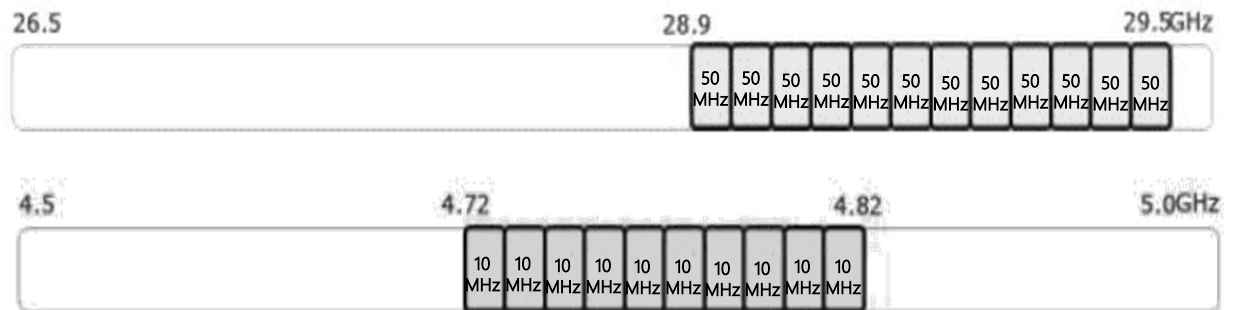
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 28GHz대역은 600MHz폭(28.9~29.5GHz)을 50MHz폭 12개 블록으로 나누어 수요기업의 신청에 따라 적정 대역폭을 공급
- ❖ 6GHz이하(Sub-6GHz) 대역은 업계의 수요를 고려해 일부 지역에서만 사용하고 있는 기존 무선국 등과 주파수를 공동 사용하는 방식으로 4.7GHz 대역 100MHz폭(4.72~4.82GHz)을 확보하였으며, 10MHz폭 10개 구역(블록)으로 나누어 수요기업의 신청에 따라 적정 대역폭을 공급

< 5G 특화망 주파수 대역 표준현황 >

대역	부반송파 간격	지원 대역폭(MHz)
4.7GHz(n79)	30kHz	40, 50, 60, 80, 100
28GHz(n257)	120kHz	50, 100, 200, 400

※ 3GPP 38.101-1 Table 5.3.5-1 Channel Bandwidths for Each NR band('21.10월 기준)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 특화망 사업자가 기간통신사업자로 등록하여 28GHz 대역을 이용해 이동통신서비스를 제공하는 경우 가입자 당 적용되는 서비스 단가를 현행 분기당 2,000원에서 200원으로 1/10 감경된 단가를 적용
- ❖ 자가망 시설자에 대해서도 28GHz 대역에 대한 전파사용료를 현행 기준 대비 대폭 감경하고, 교육·연구 목적의 비영리법인에 대해서는 전파사용료를 면제

할당대가 산정식

$$\text{할당대가} = \text{기준금액} \times (5a_1 + a_2 + 1) \times \text{이용기간} \times \text{대역폭}$$

- 1) 기준금액 : 4.7GHz대역 (100,000원/10MHz폭), 28GHz대역 (50,000원/50MHz폭)
- 2) 면적(a_1 , a_2) : 대도시 지역(a_1), 대도시 외의 지역(a_2) (단위: km², 연면적 기준)
- 3) 이용기간 : 주파수의 총 이용기간(단위: 년)
- 4) 대역폭 : 할당신청 블록수(신청단위 기준) ※ 신청단위: (4.7GHz대역) 10MHz, (28GHz대역) 50MHz

Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=blog&no=15133>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 주요국의 사설 5G 주파수 할당 현황 (Sub-6 and mmWave)

국가	정부기관	주파수 범위	대역폭	주파수 상용화 시점
독일	BNetzA	3.7 - 3.8 GHz	100MHz	2019.11.21 면허신청개시
		24.25 - 27.5 GHz	3.25GHz	2021.01.01 면허신청개시
영국	Ofcom	3.8 - 4.2 GHz	400MHz	2019.12.09 면허신청개시
		24.25 - 26.5 GHz	2.25GHz	2019.12.09 면허신청개시
일본	MIC (총무성)	4.6 - 4.9 GHz	300MHz	2020.12.18 면허신청개시
		28.2 - 28.3 GHz	100MHz	2019.12.24 면허신청개시
		28.3 - 29.1 GHz	800MHz	2020.12.18 면허신청개시
미국	FCC	3.55 - 3.7 GHz (CBRS)	150 MHz	2020.08.25 PAL 경매 완료
한국	과기정통부	4.71 ~ 4.82 GHz	100MHz	2021
		28.9 - 29.5 GHz	600MHz	2021

Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 사설 5G망 확보를 위한 기업의 선택지

	1. 기업이 이동사 사설 5G 서비스를 이용하는 경우 (NTT Docomo, KDDI, Softbank, Rakuten)	2. 기업이 로컬 5G망 직접 구축/운영하는 경우	3. 기업이 로컬 5G 서비스 사업자의 서비스를 이용하는 경우 (NTT Com, NEC, Fujitsu 등)
주파수	Sub-6, mmWave 😊 3.7GHz, 4.5GHz, 28GHz	Sub-6, mmWave 😊 4.6-4.9GHz, 28.2-29.1GHz	Sub-6, mmWave 😊 4.6-4.9GHz, 28.2-29.1GHz
eMBB, uRLLC, mMTC	○ 😊	○ 😊	○ 😊
통신요금	유료 (데이터량 기반) 😞	무료 (와이파이처럼) 😊	무료 (와이파이처럼) 😊
Full Control	△	○ 😊	△
Network Slicing	△	○ 😊	△
전파사용료 납부	불필요 😊	필요 😞	필요 😞
주파수 면허 취득	불필요 😊	필요 (절차가 까다로움) 😞	면허 취득 대행 😊
설계 및 구축 지식	전문지식 필요 없음 😊	전문지식 필요함 😞	매니지드 서비스 😊
설비투자	불필요 😊	큼 (5G RAN/Core 등 구매) 😞	월정액 구독 서비스 😊
운영부하	작음 😊	전문지식 필요함 😞	매니지드 서비스 😊

국내 사업자

Source: <https://www.netmanias.com/ko/?m=view&id=blog&no=15054>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 특화망 기획

1. 사업 계획서 작성
2. 사업의 타당성 확인
3. 제안요청서 작성
4. 시스템 벤더사 선정



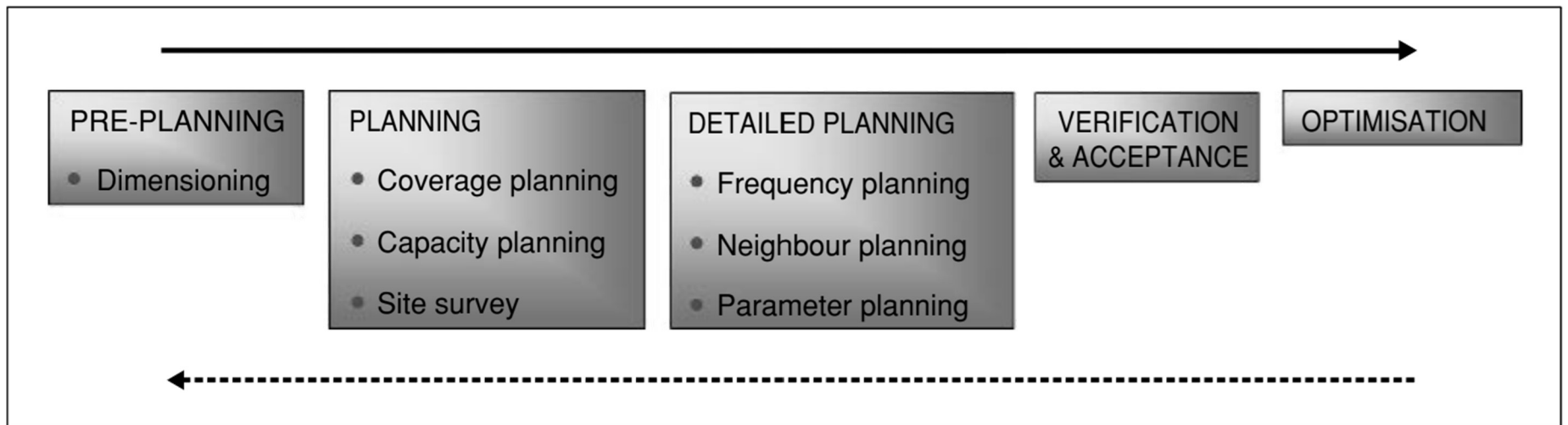
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Network planning process steps (제조사 예)

1. 사전 계획 (규모 조사)
2. 기술 계획 (커버리지, 용량, 실사)
3. 상세 계획 (주파수, 주변 환경, 파라미터)
4. 검증 (검수)
5. 최적화

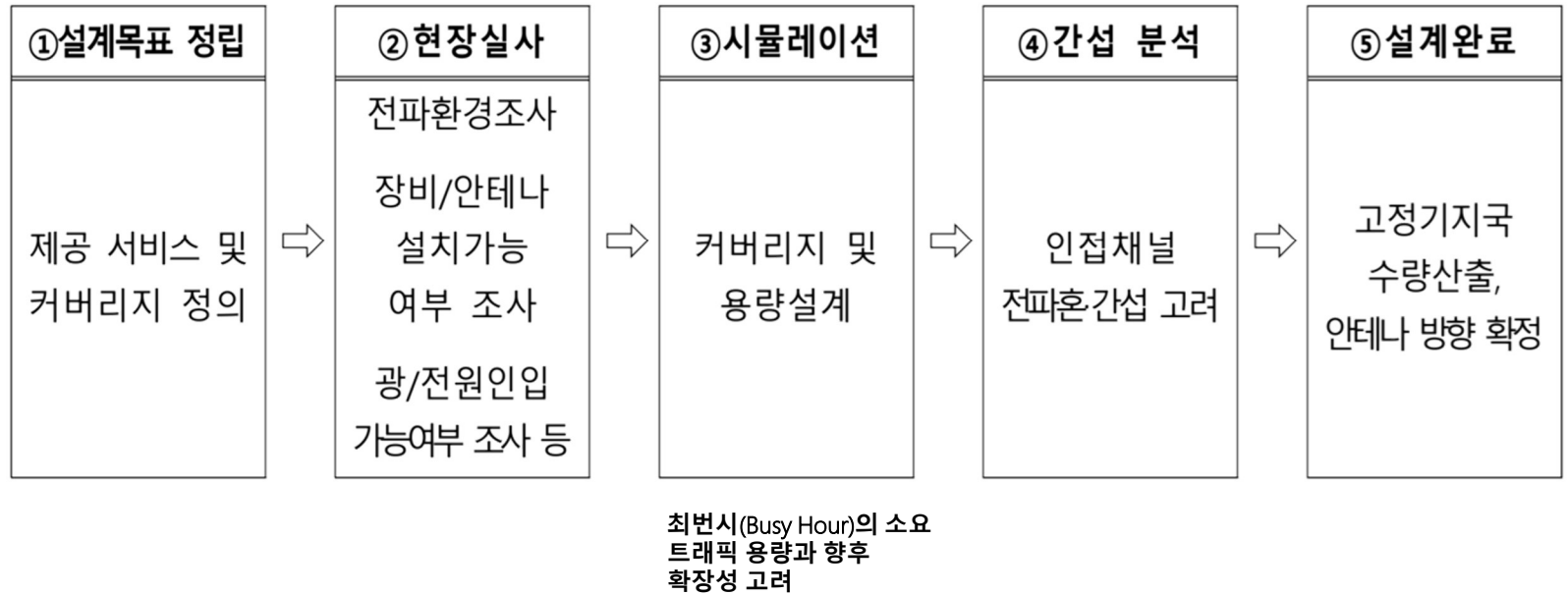


Source: ADVANCED CELLULAR NETWORK PLANNING AND OPTIMISATION, Ajay R Mishra, Nokia Networks



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G 특화망 네트워크 설계 절차(예시)

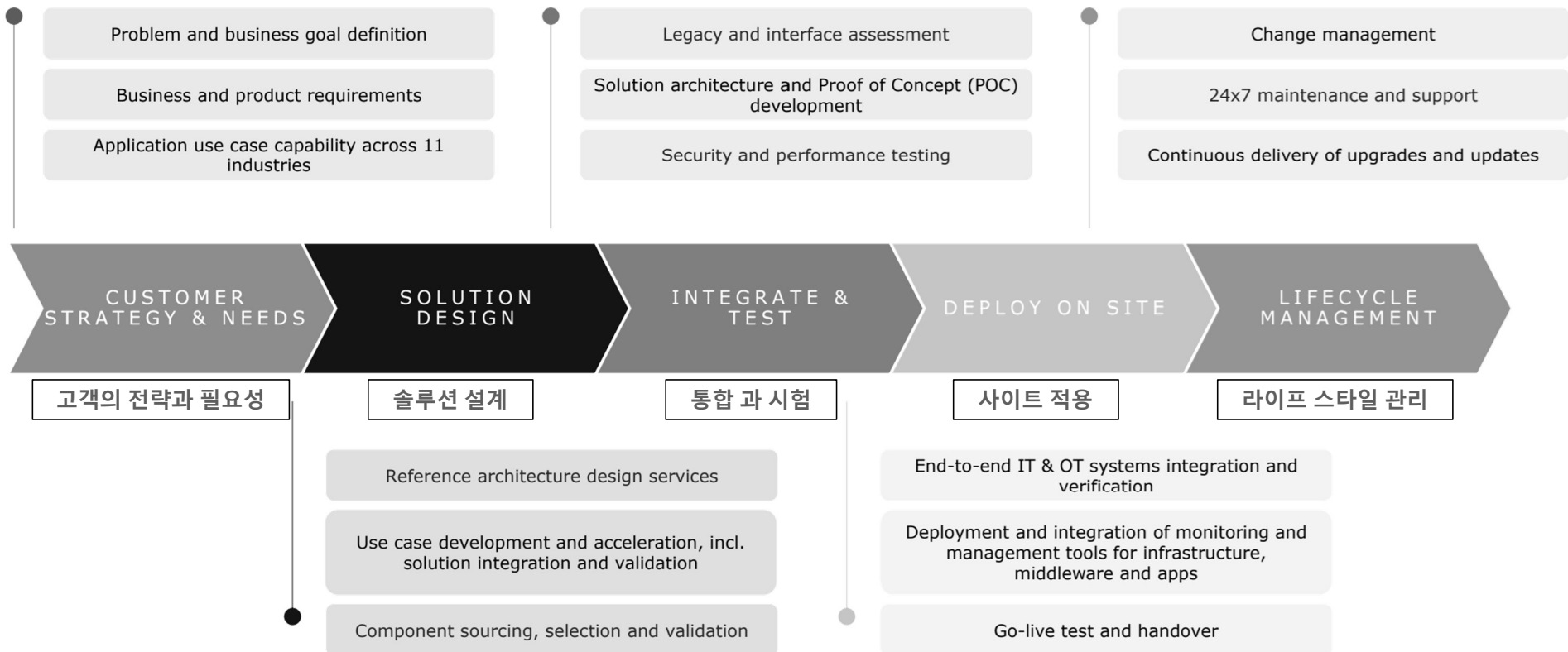


Source: 5G 특화망 가이드라인 , 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 사업 진행 (예): 5G Enabled Digital Transformation Engagement (출처: Capgemini)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G NR 기지국 구축가능 모델

- 기지국 이중화
- 전송망 이중화
- 예비전원 확보
- QoS 보장방안
- 간섭회피 방안
- 성능 강화 확장성

모델 예시	구분	특장점	비고
<p>CPRI De-centralized</p>	분산형 CU/DU	무선 백홀 부담 경감	
<p>eCPRI De-centralized</p>	다중 안테나 기능 분리	대용량 데이터 전송의 부담 경감	
<p>CPRI/eCPRI conversion Centralized</p>	집중형 기지국에 전통적인 RU 사용	무선자원 효율화, mMTC 적합	
<p>eCPRI Centralized</p>	집중형 기지국	무선자원 효율화	
<p>CPRI Disaggregated de-centralized Disaggregated centralized</p>	분산형 DU와 집중형 CU	무선자원 효율화와 대용량 데이터 전송 지원	

Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G코어망 구성방식 비교

구 분	데이터 관리	유지보수 인력	비용절감	보 안	정기 사용료	QoS보장	서비스 지연 최소화
5G코어 독립구축	◎	◎	△	◎	◎	◎	◎
5G코어 일부공유 (CP한정)	○	△	○	○	○	○	◎
5G코어 전부공유	△	△	◎	△	△	○	△

※ ◎ : 매우우수 또는 매우필요, ○ : 우수 또는 필요, △ : 보통

Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 특화망 도입 시 고려해야 할 보안 인증제도

대 상	인 증	담당부처·기관	관계법률
방화벽, IPS, DDOS대응장비, 접근통제 등 20종 보안제품·솔루션	CC인증	과기부, ITSCC	국가정보화법
국제CC인증 제품 및 L3이상 네트워크 장비, 가상화(SDN) 제품 (국가·지자체·공공기관 한)	보안적합성검증	국정원, 국가보안기술연구소	전자정부법
암호화모듈 (국가·지자체·공공기관 한)	KCMVP	국정원, 국가보안기술연구소	전자정부법

Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 무선 서비스 주요 통계지표(예시)

주요 통계지표	설 명
호 접속(RRC) 성공률	접속을 시도하여, 성공한 호의 비율
지연시간(Latency)	5G 특화망 시스템에서의 데이터 전송 지연시간
패킷 손실율(Packet Loss)	단말-서버간의 데이터 송수신시 수신되지 못한 데이터양의 비율
전송속도(Throughput)	단말-서버 구간의 데이터 송·수신 속도
SINR (Signal to Interference Noise Ratio)	트래픽 채널의 신호대 잡음비
BLER(Block Error Rate)	순방향(Downlink), 역방향(Uplink)의 Block Error Rate

Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)

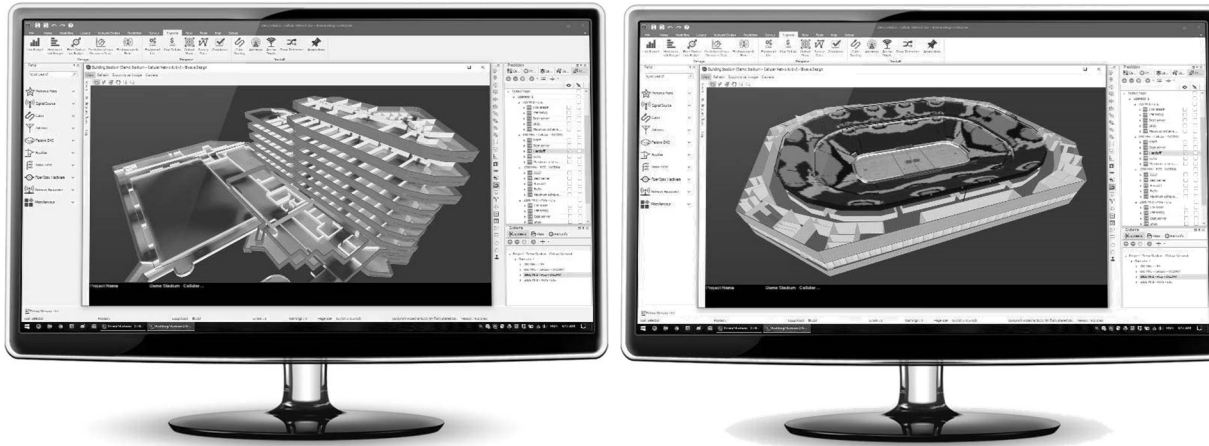


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

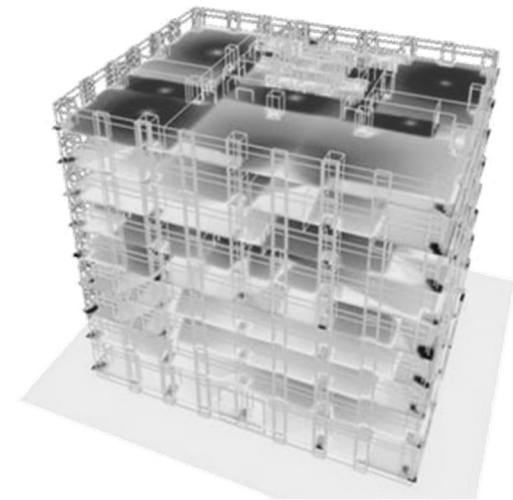
❖ 특화망 설계 도구 (예)

- 기지국 수량 산출
- 특화망 설계 (예: 전문 엔지니어링 용역업자에게 발주)
- 시뮬레이션 툴(iBwave) 사용 커버리지 설계와 현장실사를 통해 사업장 내 전파환경조사
- 장비제원을 고려한 기지국의 치국위치를 최종결정
- 설치에 필요한 접지, 트레이 등의 선로확보 등 정보통신공사 전반에 관한 설계도서를 작성·산출

<https://www.gapwireless.com/manufacturers/consultix/attachment/3d-heatmap/>



Source: <https://ibwave.com/ibwave-design/>



<https://www.gapwireless.com/manufacturers/consultix/attachment/3d-heatmap/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 특화망 설계 (예)

- 장비제원(출력 등) 고려: 필요 기지국 수, 장비형태 산출
- 환경
 - 전고높이
 - LOS



DAS Passive Antenna



도면에 따른 4.7GHz 안테나 소요량 산출 예시

Universal Mode	Region	Country	Operator
OFF	APAC	Republic of Korea	Enterprise
Measurement Unit	Traffic Model	Traffic Growth Analysis	Complexity
Meters	Enterprise	OFF	Few Walls
Macro Level	No Of Floors	Indoor System(s)	Band Type
Low	1	RDS 50	Single Band
Primary Band	Simulation Type	Band 1, Tech 1 Indoor System	Band 1, Tech 1 Technology
Band 1	Downlink + Uplink	RDS 50	NR
Band 1, Tech 1 Carrier Frequency	Band 1, Tech 1 TDD SubFrames	Band 1, Tech 1 MIMO Mode	Band 1, Tech 1 Downlink Bandwidth (MHz)
B79(4700 MHz)	6	4T4R	40
Band 1, Tech 1 Output Power per Antenna (dBm)	Band 1: External Antennas Enabled	Enable NLS Radio Dot Positioning Simulation	Modeling
24.0	OFF	OFF	Dominance
Dominance (dB)	Number of Nodes Deployment	Floor Material	Max Coverage Per Node (m ²)
4.0000	OFF	Heavy Concrete	1500.0000
Max Cable Length (m)	Target Coverage (%)	Cell Border Shifting	VoLTE Capacity Simulation
150.0000	35.00	OFF	OFF
Integrated Indoor Modelling	Integrated Micro Modelling	Uplink Traffic Volume Per Subscriber (GB/Month/Sub)	Downlink Traffic Volume Per Subscriber (GB/Month/Sub)
OFF	OFF	1.2000	2.3000
Gigabit LTE Feature Selection	Carrier Aggregation	CRS Gain	Combined Cell
OFF	OFF	OFF	OFF
Lean Carrier	256 QAM (Downlink)		
OFF	ON		

Number Of Floors	Floor Height (m)	Ceiling Height (m)	User Height (m)	No. Users / Floor	Floor Area (m ²)	Aoi Area (m ²)
1	4.00	2.80	1.50	40	6048.00	6048.00

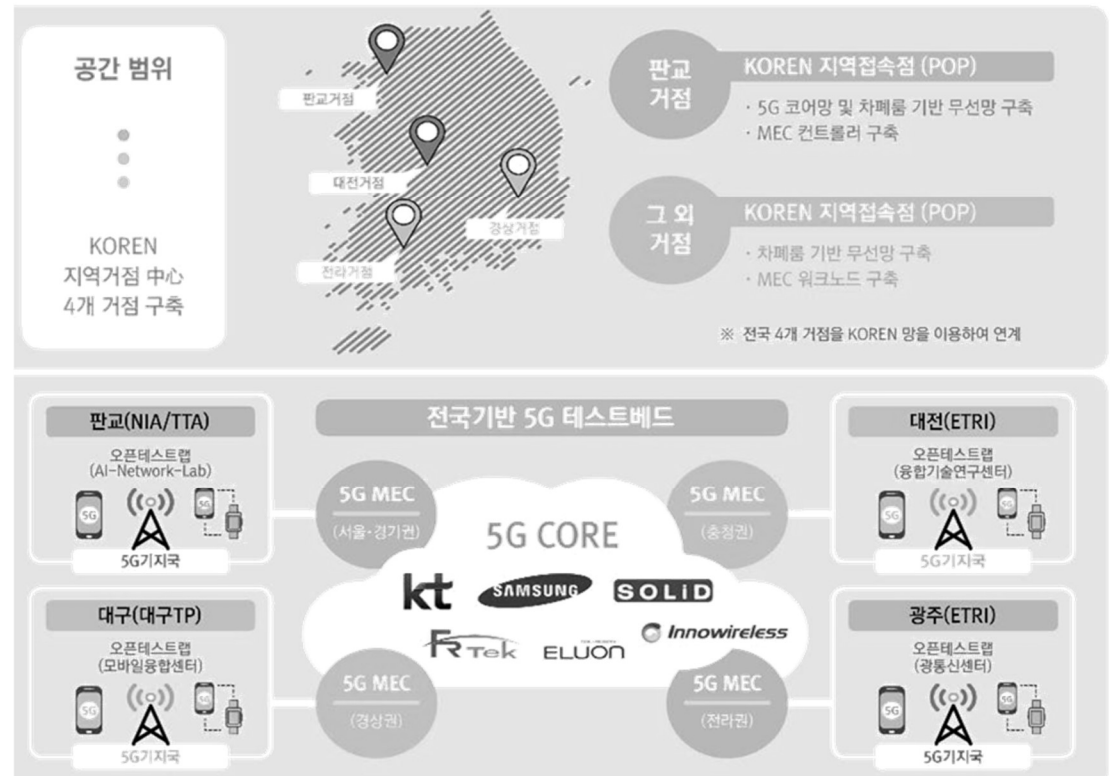
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

'20년부터 중소·벤처기업 등이 실제 5G망 환경에서 융합서비스·인프라·디바이스를 자유롭게 개발·시험·검증할 수 있도록 전국 4개 거점을 중심으로 5G 테스트베드를 구축·운영하고 있습니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G 테스트베드 사업 내용

① 전국 5G 시험망을 기반으로 5G 테스트센터(판교)와 ② 4개 거점(판교, 대전, 광주, 대구) 오픈테스트랩을 통하여 MEC 기반 5G 융합서비스와 ③ 5G 국가망 및 관련 단말·디바이스·장비의 기능·성능, 상호 호환성 등을 시험합니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ OpenStack* EPA (Enhanced Platform Awareness)

- 적용 기능별 성능 개선 분석 (Feature Breakdown and Analysis)
- EPA Features Covered
 - ✓ Host CPU feature request (20~40%)
 - ✓ PCI passthrough (~8%)
 - ✓ HugePages* support (10~20%)
 - ✓ NUMA awareness (~10%)
 - ✓ IO based NUMA scheduling (~25%)
 - ✓ CPU pinning (10~20%)
 - ✓ CPU threading policies (~50%)
 - ✓ OVS-DPDK, neutron (~900%)



Feature Name	First OpenStack* Release	Description	Benefit	Performance Data
Host CPU feature request	Icehouse*	Expose host CPU features to OpenStack managed guests	Guest can directly use CPU features instead of emulated CPU features	~20% to ~40% improvement in guest computation
PCI passthrough	Havana*	Provide direct access to a physical or virtual PCI device	Avoid the latencies introduced by hypervisor and virtual switching layers	~8% improvement in network throughput
HugePages* support	Kilo*	Use memory pages larger than the standard size	Fewer memory translations requiring fewer cycles	~10% to ~20% improvement in memory access speed
NUMA awareness	Juno*	Ensures virtual CPUs (vCPU)s executing processes and the memory used by these processes are on the same NUMA node	Ensures all memory accesses are local to the node and thus do not consume the limited cross-node memory bandwidth, adding latency to memory	~10% improvement in guest processing
IO based NUMA scheduling	Kilo*	Creates an affinity that associates a VM with the same NUMA nodes as the PCI device passed into the VM	Delivers optimal performance when assigning PCI device to a guest	~25% improvement in network throughput for smaller packets
CPU pinning	Kilo	Supports the pinning of VMs to physical processors	Avoids scheduling mechanism moving the guest virtual CPUs to other host physical CPU cores, improving performance and determinism	~10% to ~20% improvement in guest processing
CPU threading policies	Mitaka*	Provides control over how guests can use the host hyper thread siblings	More fine-grained deployment of guests on HT-enabled systems	Up to ~50% improvement in guest processing
OVS-DPDK, neutron	Liberty*	An industry standard virtual switch accelerated by DPDK	Accelerated virtual switching	~900% throughput improvement

EPA 적용시 네트워크와 CPU 처리등의 10% 이상 성능 개선 기대

Source: <https://software.intel.com/content/www/us/en/develop/articles/openstack-epa-feature-breakdown-and-analysis.html>

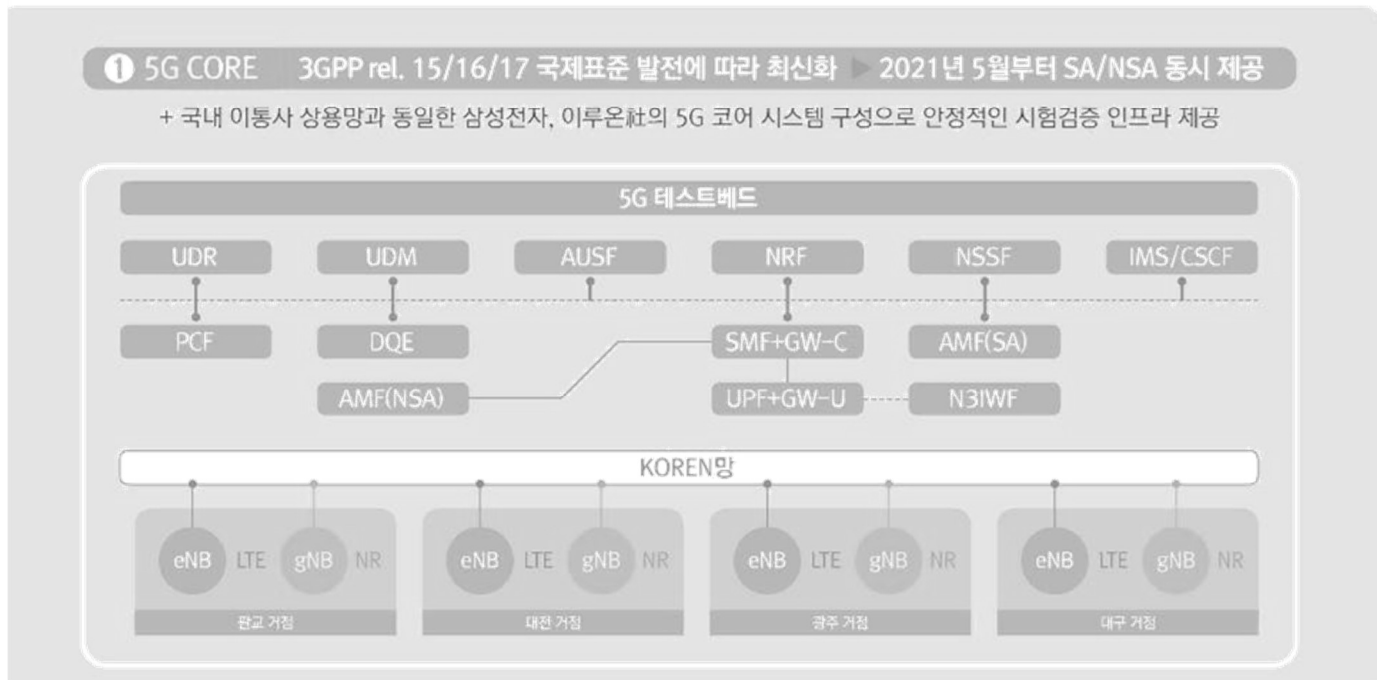


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

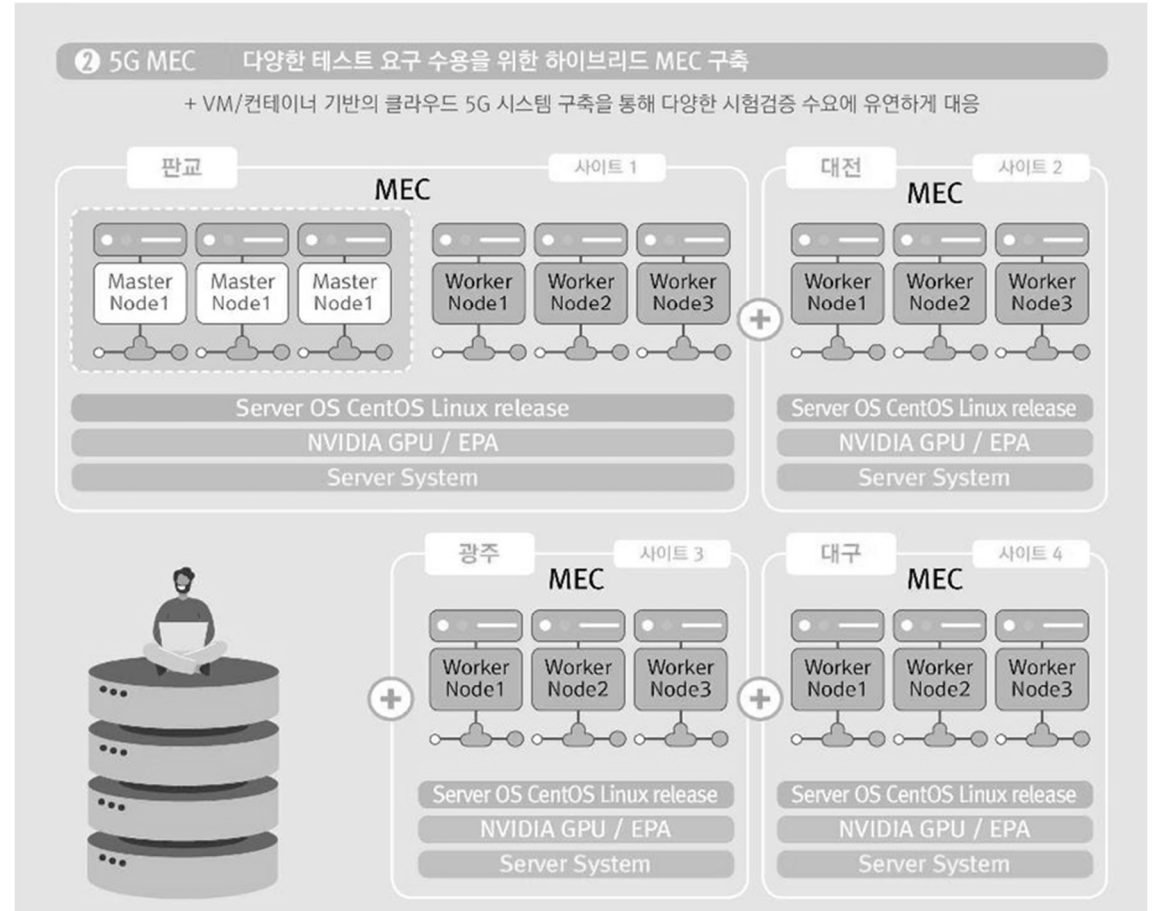
• 5G Core

세계 최초 가상화 기술 국제 표준에 기반한 5G 테스트베드는 2023년까지 KOREN을 기반으로 1개 센터와 4개 거점에 국제표준/기술규격에 따라 단계별로 구축·운영됩니다. 산·학·연이 활용할 수 있도록 코어, MEC, 3.5GHz/28GHz 기지국 5G 오케스트레이션 등을 지원 예정입니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

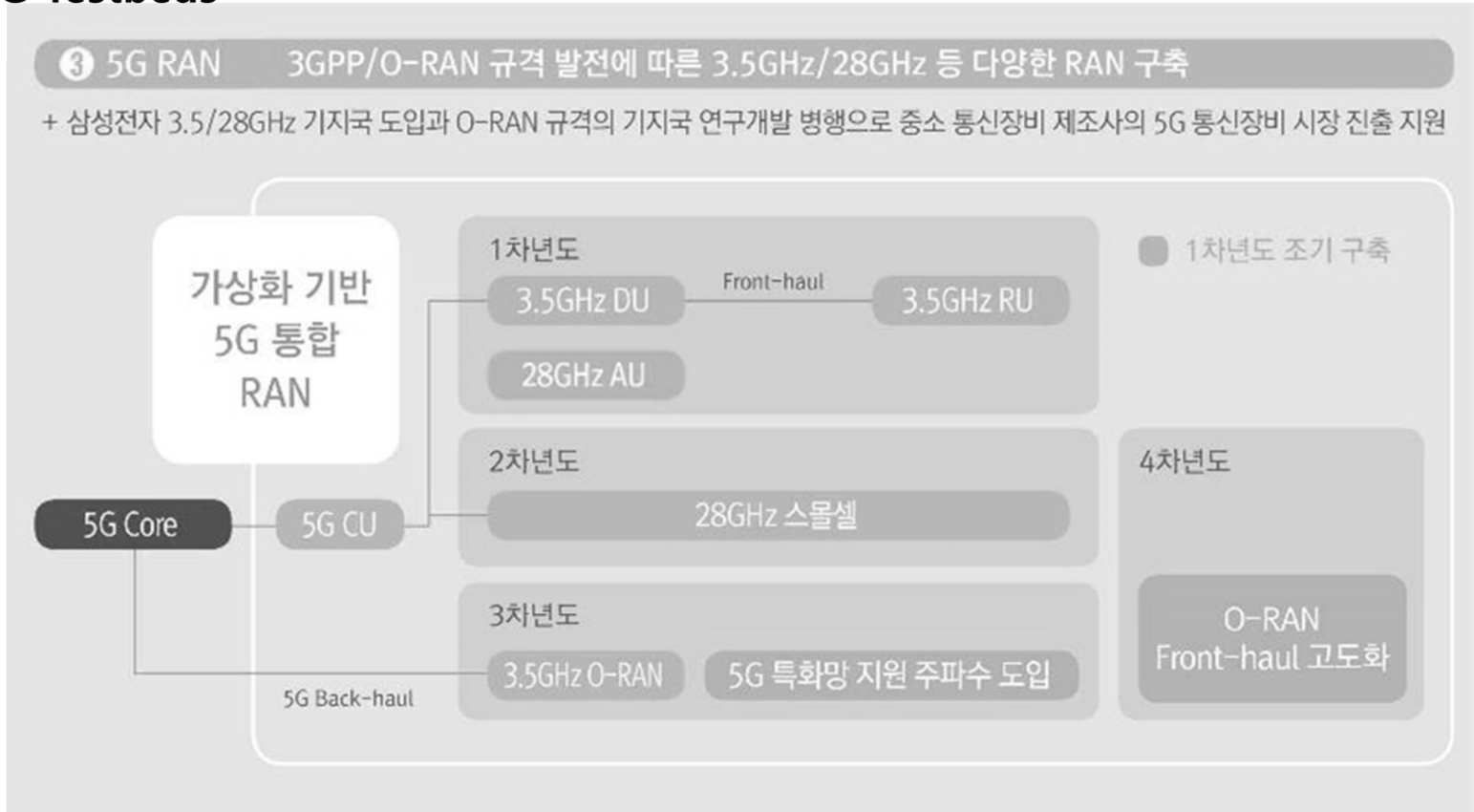
- ❖ KOREN 기반 5G Testbeds
 - 5G MEC



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

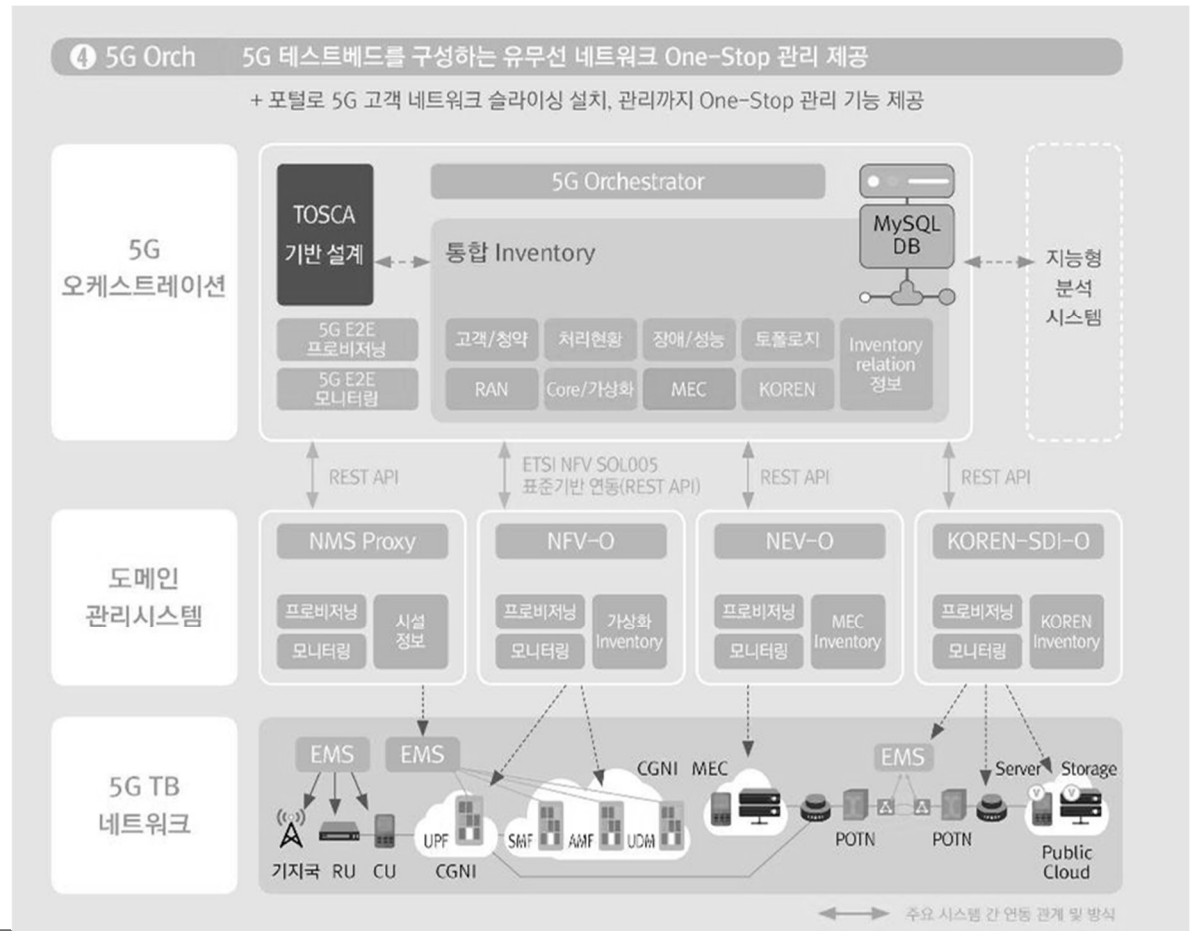
• 5G RAN



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

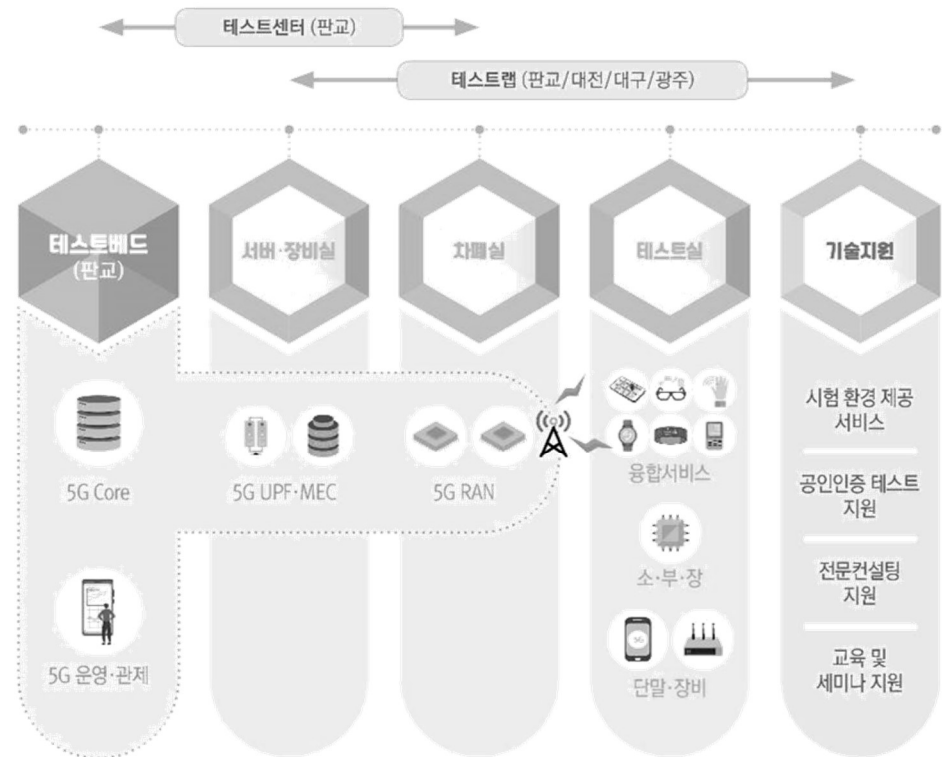
• 5G 오케스트레이션



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ KOREN 기반 5G Testbeds
 - 5G 오픈테스트랩 서비스 개요

5G 오픈테스트랩은 전국 4개 거점에서 ① 시험 환경 제공 서비스, ② 공인인증 테스트 지원, ③ 전문컨설팅 지원, ④ 교육 및 세미나 지원 등을 제공합니다. 이를 통해 맞춤형 시험검증, 기술개발 고도화, 사업화 전략 컨설팅 등 목적에 따라 다양한 방식으로 5G 오픈테스트랩 인프라 및 서비스를 이용할 수 있습니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

- 5G 오픈테스트랩 시험환경 제공 서비스

1. 시험 환경 제공 서비스

Open test lab
Support service
for 5G

5G 오픈테스트랩은 5G 환경에서 서비스, 기술 등을 테스트할 수 있는 전용 공간입니다. 전용공간에서 5G 단말 성능 측정 장비 및 솔루션, 전자파 차폐룸, Fronthaul 회선 서비스 환경 등을 구축해 5G 테스트 환경을 제공합니다.



- ◎ 5G 시험용 단말, 5G 통신 모듈, 5G 단말 제어, 계측장비 등 기술개발 시 필요 장비 구비
- ◎ 5G 관련 고가 장비 공동활용 등 기관 간 연계 추진



- ◎ 판교 거점 : 5G 코어망 구축, MEC 컨트롤러 설치
- ◎ 대전/대구/광주 거점 : DU, MEC 워커노드 구축



- ◎ 시험사무공간, WIFI, 프린터 구비
- ◎ 회의실, 세미나룸, PC 기반 실습 교육장 구성



- ◎ 차폐룸 LTE 1.8GHz, 5G 3.5GHz, 5G 28GHz(AU) 구축
- ◎ 대구 거점 : 5G 및 Private 5G 망 시험 검증 LAB 추가 구축

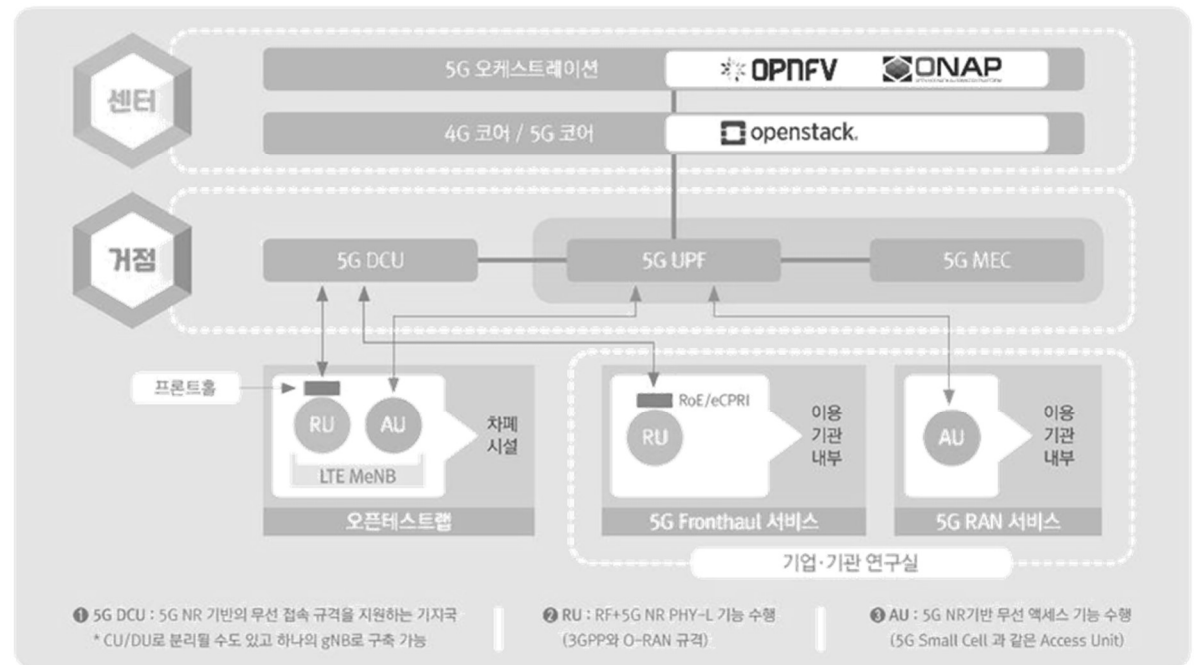


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 5G 오픈테스트랩 시험환경 제공 서비스

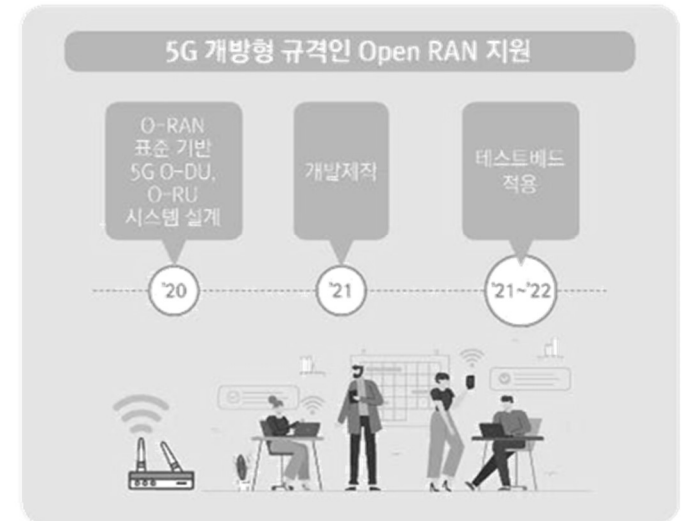
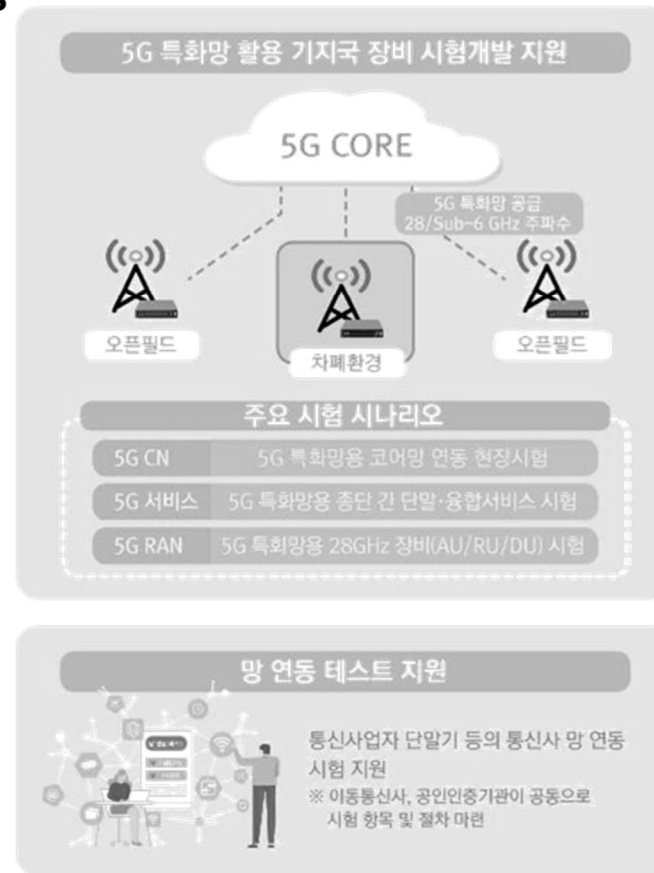
전용공간뿐만 아니라 국가연구개발망(KOREN)과 연계한 5G 전용회선(25M 이상) 서비스를 제공하여 테스트랩을 방문하지 않으시더라도 소속 기업과 기관의 연구실에서 5G 단말, 디바이스, 장비 등 시험검증을 지원합니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 공인인증 테스트 지원



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 컨설팅 지원

5G 모듈 활용 기술지원



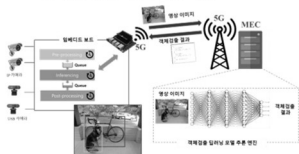
- 보유 5G 모듈 (Sub-6 NSA/SA)
 - Quectel 5G RM500Q-GL 모듈 및 평가보드
 - Waveshare 8200EA-M2 5G HAT 평가보드
 - SIMCOM SIM8200EA-M2 모듈 및 평가보드
 - HUCOM HM-900 모듈 (구매예정)
- 삼성, 애플, LG 5G 단말 보유
- 5G 단말 분석 툴 (구매예정)

5G 프론트홀 광송수신 모듈 기술지원



- 5G 프론트홀 (DU-RU) 광송수신 모듈 망연동 시험 지원
 - 망연동 End-to-End 패킷 전송시험
 - DDMI 분석 결과 제공 (예정)
- 프론트홀 분석/측정 장비 보유
 - VIAVI T-BERD/MTS-5800-100G
 - 5G 프론트홀 패킷 분석/성능 측정

5G MEC SW 개발 기술지원



- 5G MEC 활용 SW 기술개발 및 시험
 - Kubernetes 활용 마이크로서비스 관리 기술
 - 마이크로서비스 동작상태 분석
- 5G MEC 기반 AI 응용서비스 개발 지원
 - AI inference offloading framework

5G MEC 기반 AR/VR 기술지원



- 5G MEC AR/VR 응용서비스 시험 지원
 - PICO Neo2 HMD 보유
 - 고성능 GPU 내장 MEC 서버
 - Nvidia Ampere A40 GPU 내장 서버 보유
 - AR/VR 렌더링 서비스 활용

5G 오픈테스트랩은 5G 융합서비스 기술개발, 시험검증에 필요한 컨설팅을 제공하며 ETRI, TTA 등 국내 최고 시험검증 전문가를 통한 맞춤형 컨설팅 서비스를 제공하고 있습니다. 신규로 시험검증 결과에 대한 디버깅 및 트러블슈팅도 지원하고 있습니다.



- ◎ 맞춤형 시험검증 컨설팅 지원
- ◎ ETRI, TTA, 대구TP 등 국제표준 시험 전문가의 1:1 기술 컨설팅 제공



- ◎ 5G 융합서비스 기술개발 관련 컨설팅 지원
- ◎ 판교 거점 : 5G 응용서비스에 대한 표준 적합성, 보안기술 등
- ◎ 대전 거점 : 5G 관련 산·학·연 연구개발 결과물 등
- ◎ 광주 거점 : 5G 드론 통신, AR/VR, WiFi6 망 연계 Roaming 융합서비스 등
- ◎ 대구 거점 : Private 5G 망 활용 서비스, 스마트시티 연계 서비스 등



- ◎ 5G 오픈테스트랩 연계기관과의 협력을 통한 컨설팅 지원
- ◎ 연계기관 : 로봇진흥원, 지능형자동차부품진흥원 등



- ◎ 시험검증 등 결과에 대한 디버깅 및 트러블슈팅
- ◎ 사업화 전략 수립 관련 컨설팅 지원

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 이용 절차



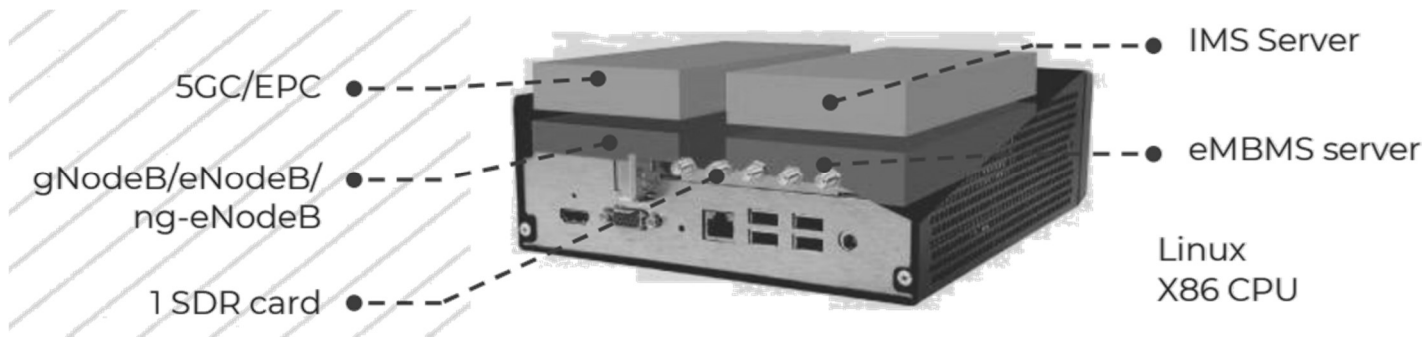
- 5G 오픈테스트랩(판교거점) 담당자**
 - 이찬주 수석 Tel. 031-780-9194 / e-mail : cjlee@tta.or.kr
 - 이병진 책임 Tel. 031-780-9198 / e-mail : bjlee86@tta.or.kr
 (13449) 경기도 성남시 수정구 대왕판교로 815(서흥동)
 판교창조경제밸리 기업지원허브 2층 AI Network Lab
- 5G 오픈테스트랩(대전거점) 담당자**
 - 김정환 책임 Tel. 042-860-5868 / e-mail : ditto@etri.re.kr
 - 강경순 책임 Tel. 042-860-6762 / e-mail : kskang@etri.re.kr
 (34129) 대전광역시 유성구 가정로 218(가정동)
 ETRI 융합기술연구생산센터 2층 ICT 융합테스트베드
- 5G 오픈테스트랩(경상거점) 담당자**
 - 박민우 선임 Tel. 053-602-1844 / e-mail : kknd11@ttp.org
 - 차재민 선임 Tel. 053-602-1805 / e-mail : chajm@ttp.org
 (42716) 대구광역시 달서구 성서공단로 46-17(대천동)
 신기술산업지원센터 3동 2층
- 5G 오픈테스트랩(전라거점) 담당자**
 - 유 학 책임 Tel. 062-970-6530 / e-mail : harkyoo@etri.re.kr
 - 윤광수 책임 Tel. 062-970-6612 / e-mail : yks0604@etri.re.kr
 (61012) 광주광역시 북구 첨단과기로 176번길 11(오룡동)
 ETRI 호남권연구센터 119호
- 5G 테스트베드센터 운영 지원 담당자**
 - 노상수 부장 Tel. 010-2646-0060 / e-mail : sangsoo.noh@kt.com
 - 고정우 연구원 Tel. 010-2659-2013 / e-mail : kjw@eluon.com



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ AMARI UE Simbox Series

- Supported number of cells 1
- Number of active UEs Up to 500 UEs
- Transmission modes 1 (single antenna) to 10 (MIMO 2x2)
- Modulation schemes Up to 1024QAM in DL and 256QAM in UL



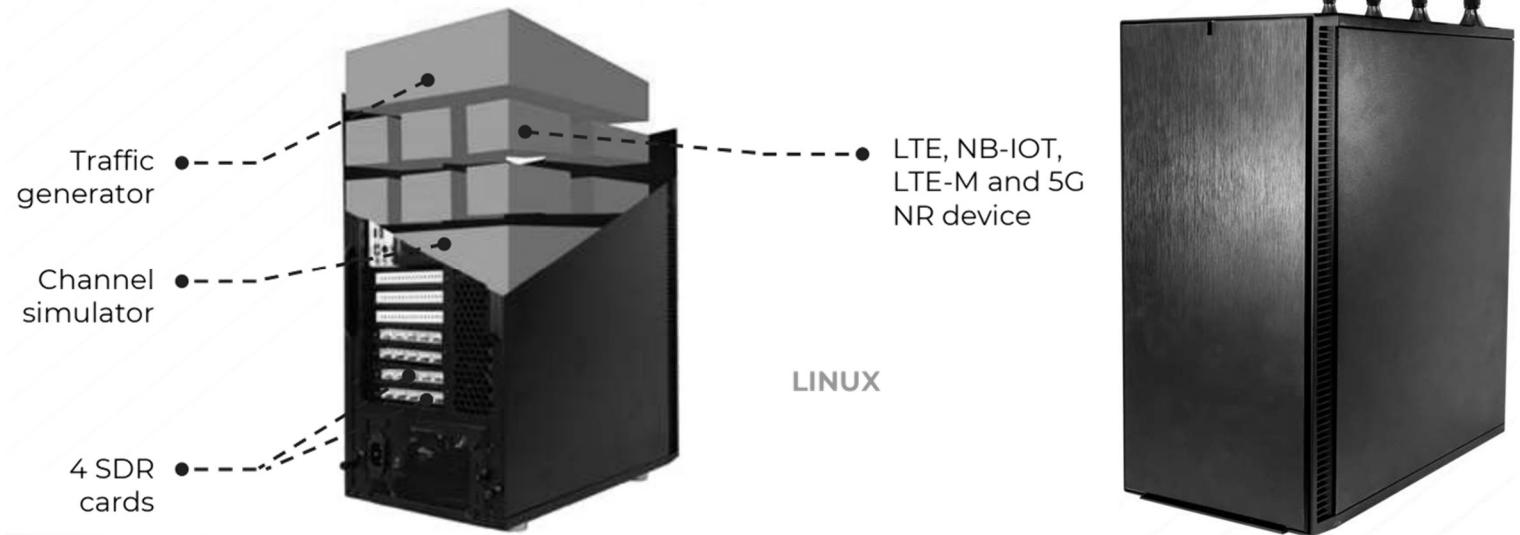
Source: <https://www.amarisoft.com/products/test-measurements/amari-lte-callbox/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Amarisoft Call box Mini

- Supported number of cells 1
- Number of active UEs Up to 500 UEs
- Transmission modes 1 (single antenna) to 10 (MIMO 2x2)
- Modulation schemes Up to 1024QAM in DL and 256QAM in UL

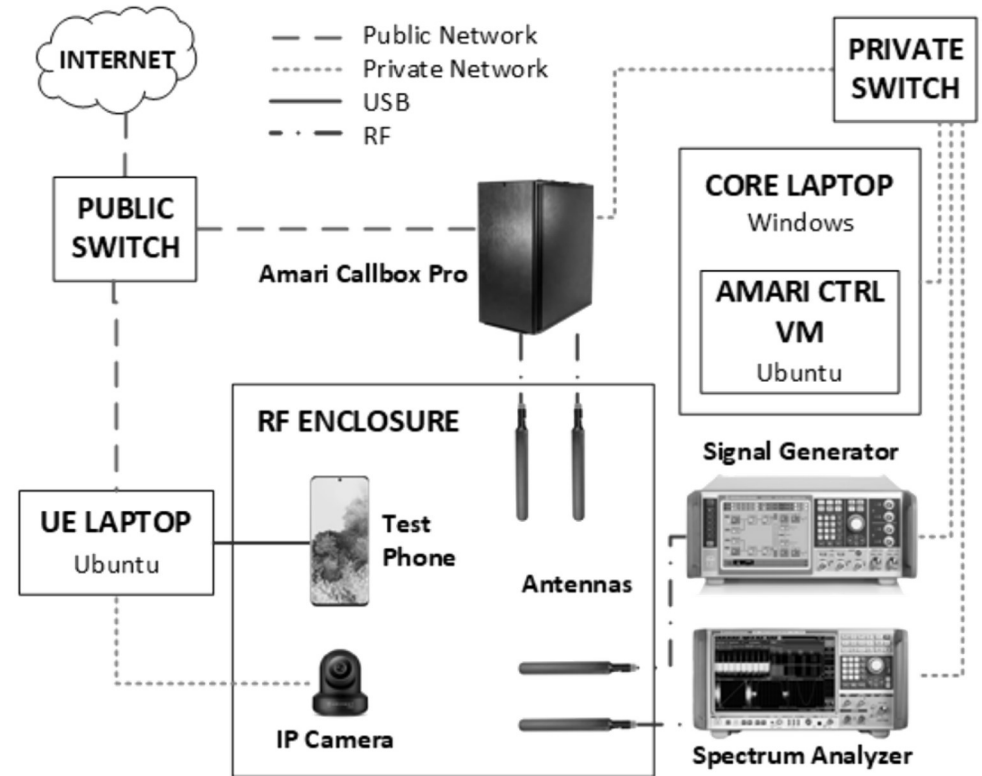


Source: <https://www.amarisoft.com/products/test-measurements/amari-ue-simbox/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Overview of Indoor System Architecture (IEEE)

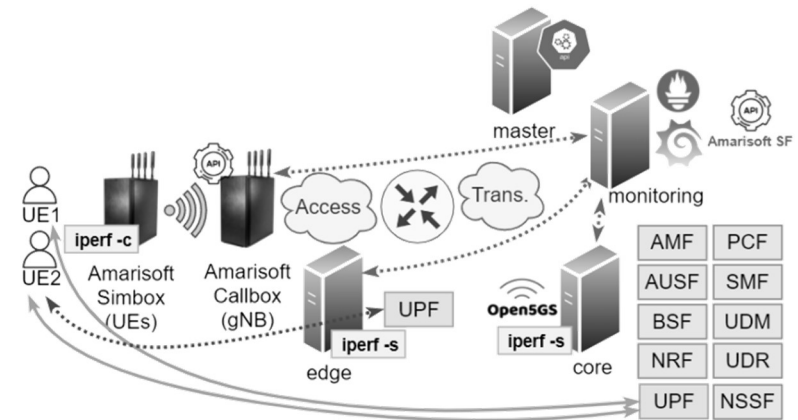
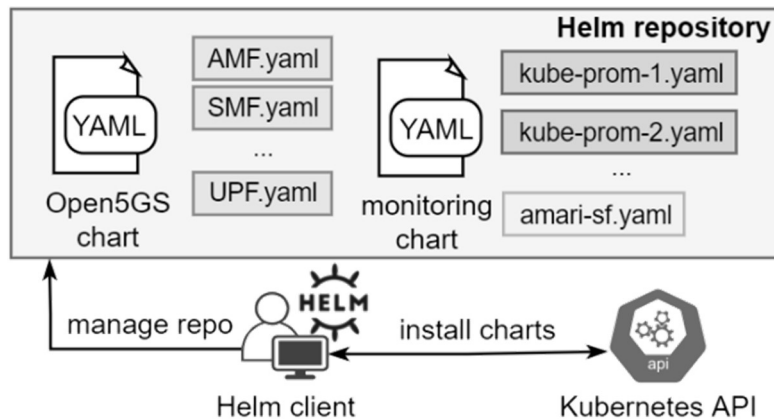


Source: Development of a Data-Driven Mobile 5G Testbed: Platform for Experimental Research (2021 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ **Cloud-native 5G experimental platform with over-the-air transmissions and end-to-end monitoring of active UEs Up to 500 UEs**
 - **Helm and Kubernetes flowchart:** The Open5GS chart is composed of the NF templates in blue (e.g., AMF), whereas the monitoring chart includes templates for kube-Prometheus in red and the Amarisoft sampling function in yellow
 - **MEC-enabled 5G testbed:** Data planes are shown in green (dashed arrow for the MEC data plane). Monitoring connections are represented with red dashed arrows.

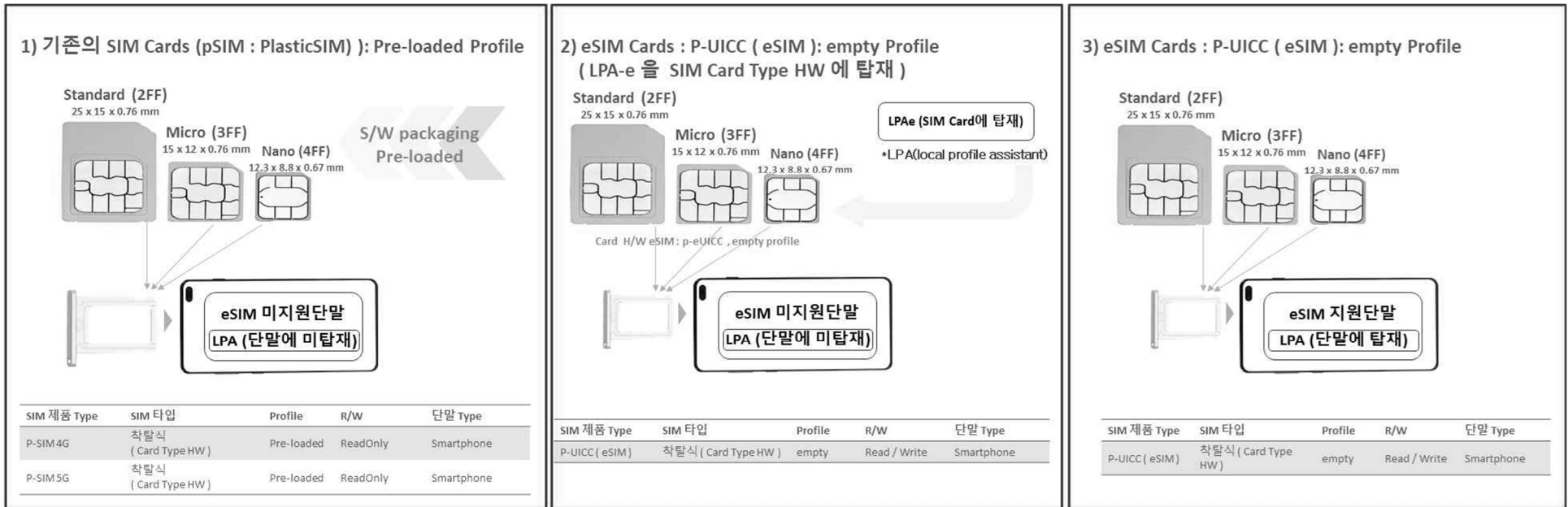


Source: https://arxiv.org/pdf/2207.11936.pdf?fbclid=IwAR2CjT8A2FlzQI9BXxv6h3TO-SjZclxj8nr6XhNnVMmywJTKe3PGHsD1_M

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ SIM/eSIM 제품 종류

- 1) 기존 SIM
- 2) eSIM (eSIM 미지원 단말, eSIM 지원 단말)



Source: 5G 특화망 가이드라인 , 과기정통부/KCA (2021. 10.)

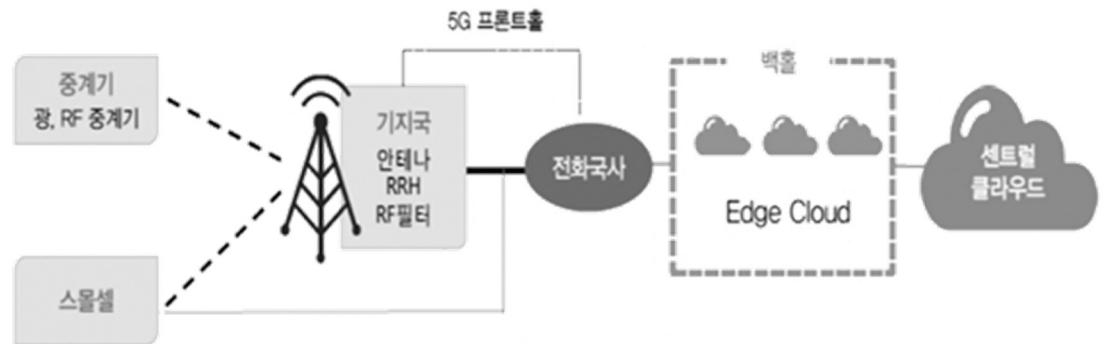


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G 네트워크 구조와 제조사

- 5G 코어(Access Network) 부문은 토탈 솔루션을 보유한 대기업 중심으로 시장이 형성
- 중소기업은 스몰셀 장비 등 작은 시장에서 활동

분류	스몰셀	안테나	중계기/DAS	매크로 기지국
주요 기업	콘텔라 주니 이노와이어리스 유니캐스트 유캐스트	담스테크 선우커뮤니케이션즈 에이스테크(글로벌 5위)	에이스테크놀로지 기산텔레콤 솔리드	삼성 유캐스트(LTE) (외)에릭슨 (외)화웨이 (외)노키아



Source: <https://m.blog.naver.com/drryuhk/221898589988>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 통신장비 제조사 HUCOM Wireless (예)

- Qualcomm 사의 최신 Chipset 인 X55 5G 전용 Chipset.(SDX55-0 최상위 버전 사용)
- 적용대상 : Robot / Smart Factory / Router / CCTV 등 관련 협력업체 적용 개발 중.
- 5G Sub 6 Module SKT & LG U+ 인증 완료. (2020년 10월)
- mmWave Module LG U+ 인증 완료 / SKT 인증 진행 중.

5G NR Multimode (Gen 2)



- 3GPP Rel 15 modem
- + Standalone Multimode modem
- + All RAT-2G to 5G-NR & GPS
- + SA and NSA Sub-6
- + NSA mmWave
- + Sub-6GHz 5G FDD and TDD
- + 5G core network Opt. 3 and 2
- + 4G: 20-layer DL/ 2CA UL
- + HPUE Support for 4G and sub-6 5G
- + High Power mmW Support (45+ dBm)
- + PC5 Support
- + mmWave CPE with QTM527



Sub 6 Module



mmWave Module

Model		HM-900
5G NR	5G NR	3GPP Release 15 NSA/SA
	Sub-6G	N77 / N78 / N79
	mmWave	N257/N258/N260/N261(Optional)
LTE	LTE-FDD	Band 1/3/5/7/8
DL 4*4 MIMO		Band 1/3/5/7/8
WCDMA		Band 1
Interface		PCIE 3.1 , USB3.1
Module interface		M.2



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 콘텔라

• 5G vCore, CU/DU

제품 사양 5G (v)Core & 5G CU/DU

5G (v)Core

최대 수용 가입자수	200,000
동시 수용 가입자 수	20,000
인터페이스	1G, 10G or 25G Optic
Throughput	UL 20Gbps, DL 20Gbps, 25G Network, Non-QoS 기준
제공기능	AMF/SMF/UDM(with AUSF)/PCF/UPF/EMS/DB
형태 및 사이즈	범용 HW, 용량에 따른 HW 변경 가능
사용 HW 스펙	DL 380 G10
기반 Platform, SW	Docker Container
기타	20 CU 연동, Network Slice



5G CU/DU

Device Type	(CU/DU)
3GPP Standard	3GPP 5G NR Rel15
Frequency Band	4.7GHz (4.72 - 4.82GHz)
Duplex Mode	TDD
Network Architecture	SA
Data Throughput	DL: 3, UL: 0.8
Modulation(Max)	256 QAM
MAX Bandwidth	100MHz
SCS	30kHz
TTI duration(ms)	0.5
Active UEs	32('22), 64(~'23)
Network Interface	N2, N3, Netconf, ORAN(7-2x)
Fronthaul Interface	eCPRI (ORAN 7-2x)
Synchronous	GPS, IEEE1588, SynE

제품 사양 mmWave Small Cell

Device Type	Integrated Type (All-In-One)
3GPP Standard	3GPP 5G NR Rel15
Frequency Band	28GHz (26.5 - 29.5 GHz)
Duplex Mode	TDD
Network Architecture	SA
Data Throughput	DL: 1.6 Gbps, UL: 0.75 Gbps
Modulation(Max)	256QAM
MAX Bandwidth	400MHz
SCS	120kHz
MIMO	2x2
Antenna(Tx/Rx)	128T128R
TTI duration(ms)	0.125
Active UEs	16('22), 32('23)
No. of Cell	1Cell
Network Interface	N2, N3, Netconf
Fronthaul Interface	eCPRI (ORAN 7-2x)
Synchronous	GPS, IEEE1588, SyncE
Radio Conformance	3GPP TS38.104, 3GPP TS38.141-2



Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 이노와이어리스
 - 5G Small Cell Solutions

QUCELL® 5G Small Cell Solutions

QUCELL® can meet different requirements with various products. QUCELL® 5G solutions support mmWave and Sub6, NSA and SA. QUCELL® 5G solutions offer private, high capacity and secure 5G networks for various scenarios – smart factories, office buildings, hospitals, universities, stadiums, shopping malls and so on.



Source: 5G 특화망 가이드라인 , 과기정통부/KCA (2021. 10.)

Item	QUCELL® 5G mmWave All-in-One Type (CU+DU+RU)	QUCELL® 5G Sub6 All-in-One Type (CU+DU+RU)
Type		
Frequency	5G mmWave NR	5G Sub 6 NR
Transmit Power	48dBm (EIRP)	30dBm (EIRP)
Bandwidth	Max. 400 MHz	Max. 100MHz
RF Antenna	Internal-128 Tx / 128 Rx (64dual-pole)	Internal-2 Tx / 2 Rx
Synchronization	IEEE1588v2 / GPS	IEEE1588v2 / GPS
Interface	Backhaul - 10Gbps Ethernet x 1 port - SFP+ (for optical) x 1 port (Option) Management - 1Gbps Ethernet x 1 port	Backhaul - 2.5Gbps Ethernet x 1 port - SFP+ (for optical) x 1 port (Option) Management - 1Gbps Ethernet x 1 port
Power Input	AC-DC adapter	AC-DC adapter
Size	285 X 285 X 60 (W x H x D, mm)	240 x 240 x 55 (W x H x D, mm)
IP Grade	IP30	IP30
Mount Type	Wall Mount	Ceiling Mount (optional. Wall Mount)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 유캐스트

- mmWave Small Cell, Sub6GHz Small Cell



- CU (Central Unit) / DU (Digital Unit) / RU (Radio Unit) integrated
- Standard : 3GPP Release 15
- 5G NR NSA
- EN-DC
- Sync. : GPS or IEEE1588v2



- CU / DU / RU integrated
- Standard : 3GPP Release 15
- 5G NR SA
- Max 128 connected, 64 active users
- Sync. : GPS or IEEE1588v2

ITEM	Specification	Remark
Frequency (Band)	28GHz (n257) : 26.5~29.5GHz	
Maximum Tx Power	EIRP 50dBm (64QAM)	
Bandwidth	800MHz (2*400MHz or 8*100MHz)	
Modulation	QPSK/16QAM/64QAM	
Antenna	128T/128R	MIMO 2x2
Backhaul	10Gbps SFP+	802.3 10GBase-X
Power	AC adaptor : AC 100~240V, 50/60Hz DC 12V	Using AC/DC adaptor
Power Consumption	<75W	
Size (mm)	275(W) x 275(D) x 50(H)	
Weight	3.5 Kg	
Temperature	-5 ~ +40°C	
Installation	Wall Mount	

ITEM	Specification	Remark
Frequency (Band)	Sub 6GHz	n78, n79, and etc.
Maximum Tx Power	EIRP 50dBm (64QAM)	
Bandwidth	100MHz	
Modulation	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM	
Antenna	2T/2R	MIMO 2x2
Backhaul	2.5Gbps NBase-T Ethernet	802.3 10GBase-X
Power	AC adaptor : AC 100~240V, 50/60Hz DC 12V	Using AC/DC adaptor,
Power Consumption	<25W	
Size (mm)	200(W) x 200(D) x 62(H)	
Weight	2.5 Kg	
Temperature	-5 ~ +40°C	
Installation	Wall Mount, Ceiling	

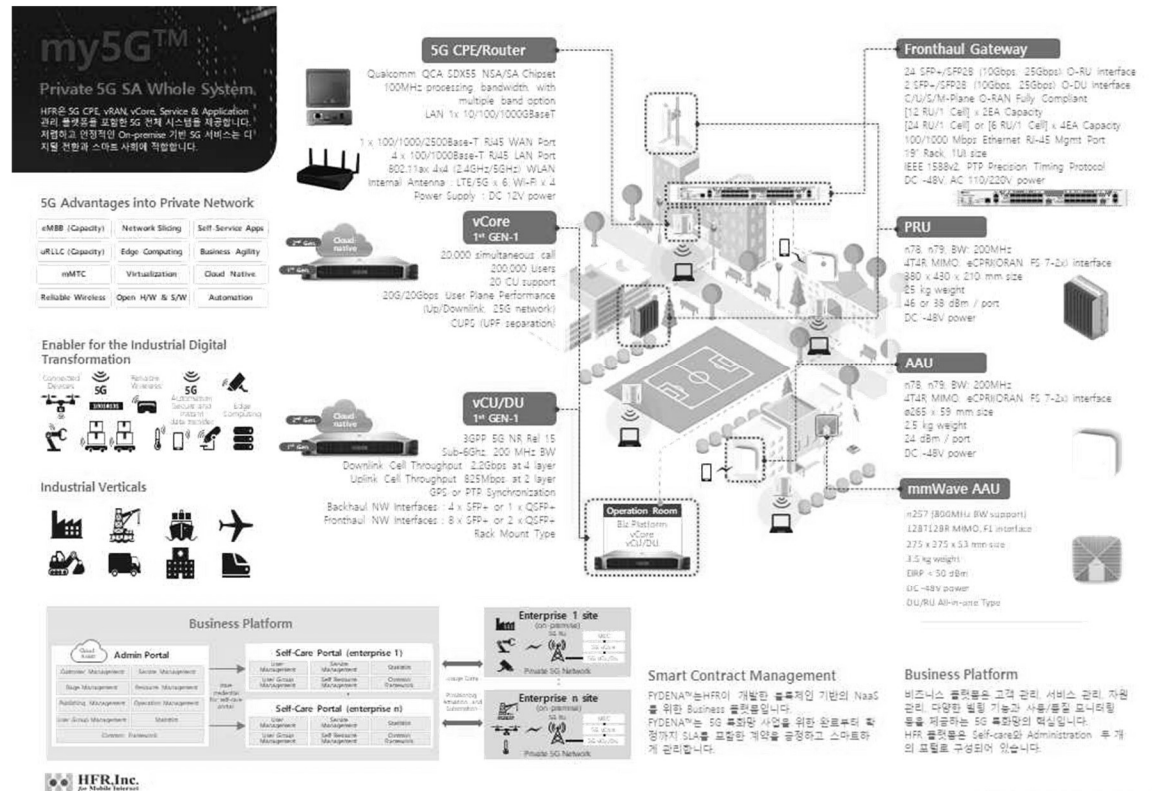
Source: 5G 특화망 가이드라인 , 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G 특화망 솔루션 (예): 에치에프알

- vCore, vCU/DU, CPE
- Fronthaul Gateway
- PRU
- AAU
- mmWave AAU



Source: 5G 특화망 가이드라인 (과기정통부/KCA (2021. 10.))



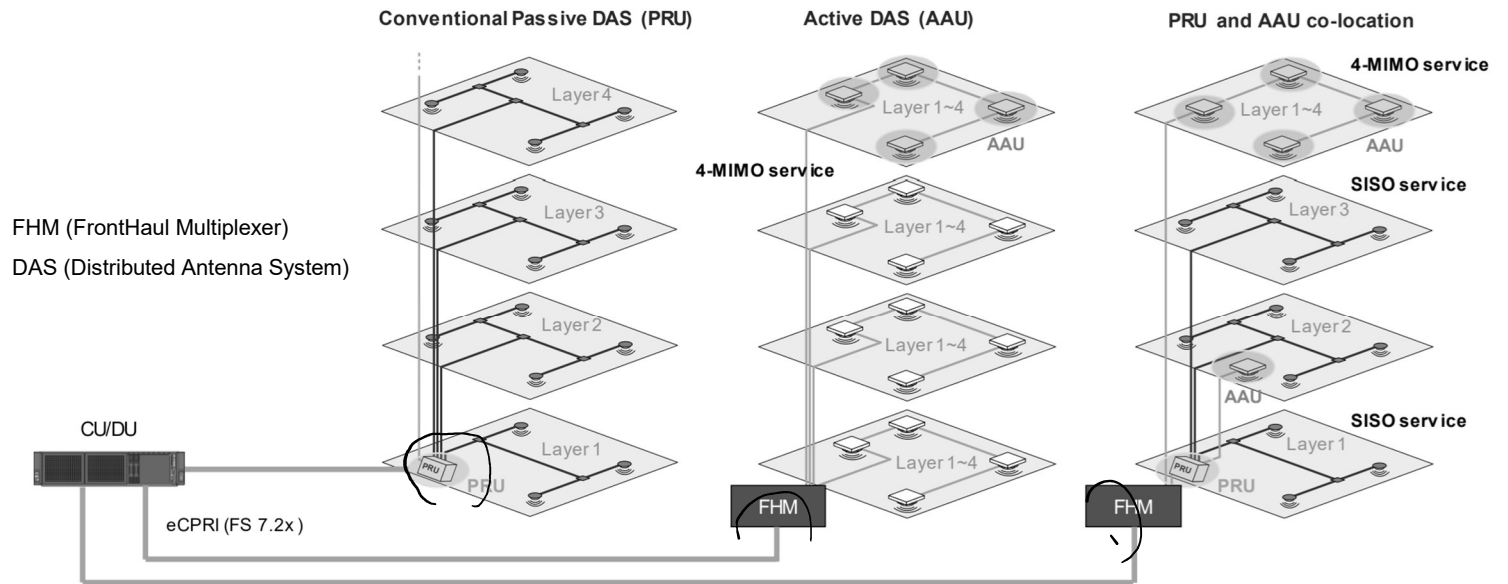
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G 특화망 솔루션 구축(예): 에치에프알 CU/DU & O-RU

인빌딩 분산 전개 예시

망 구성 별 소요 Throughput 검토

- 인빌딩 Radio Unit 분산은 Capacity와 Coverage를 고려하여 효율적인 구조 선택
- HFR 장비는 ORAN 7.2x 인터페이스 지원. 고객사 Radio 장비와 IOT 및 수용 가능
- FHM 장비는 Shared 셀 (단일 셀) 기능 지원. 간섭을 회피하면서 서비스 5G 서비 coverage 확장 가능

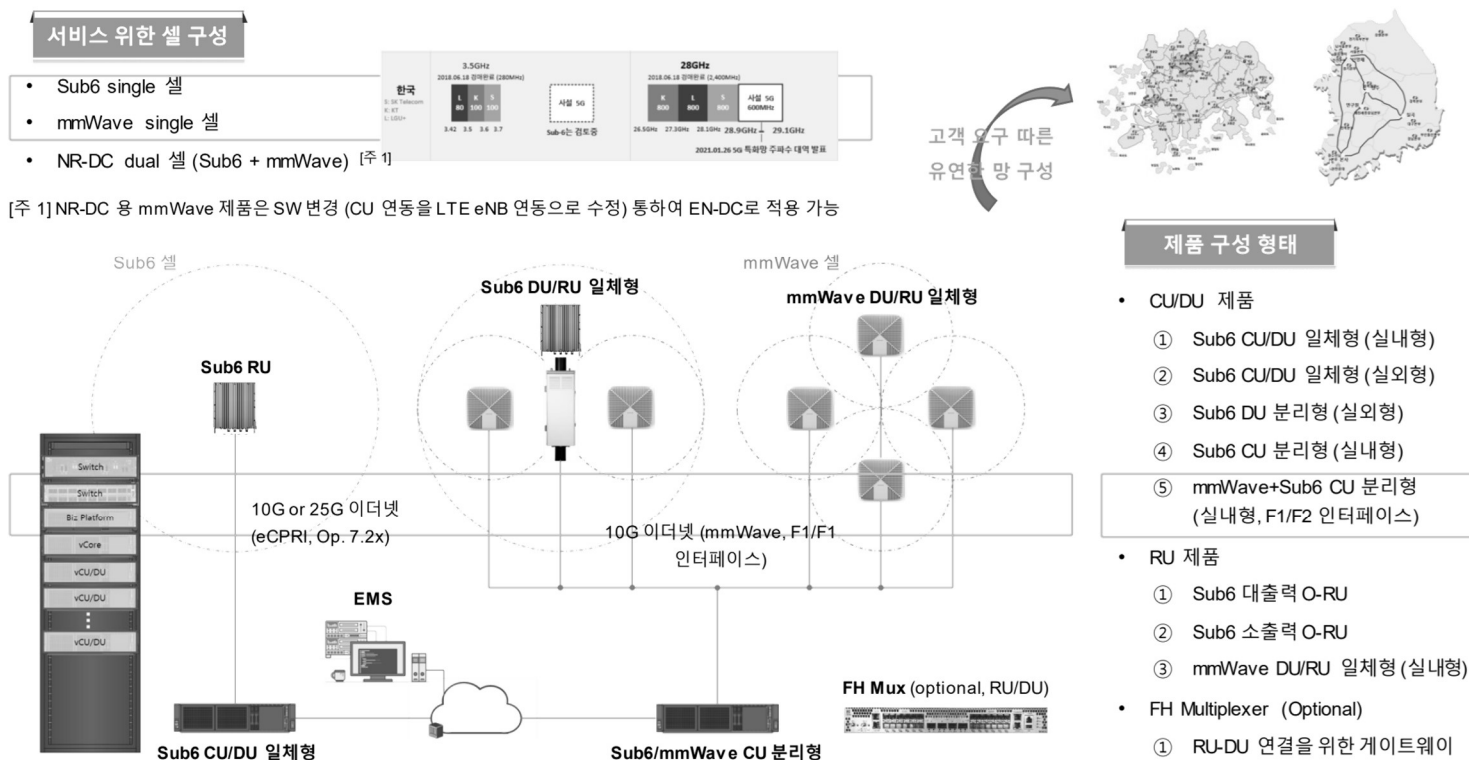


Source: www.hfrnet.com



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 통신장비 제조사 HFR 5G NR RAN 솔루션 (예)



Source: <https://www.hfrnet.com/front/main/mainPage>

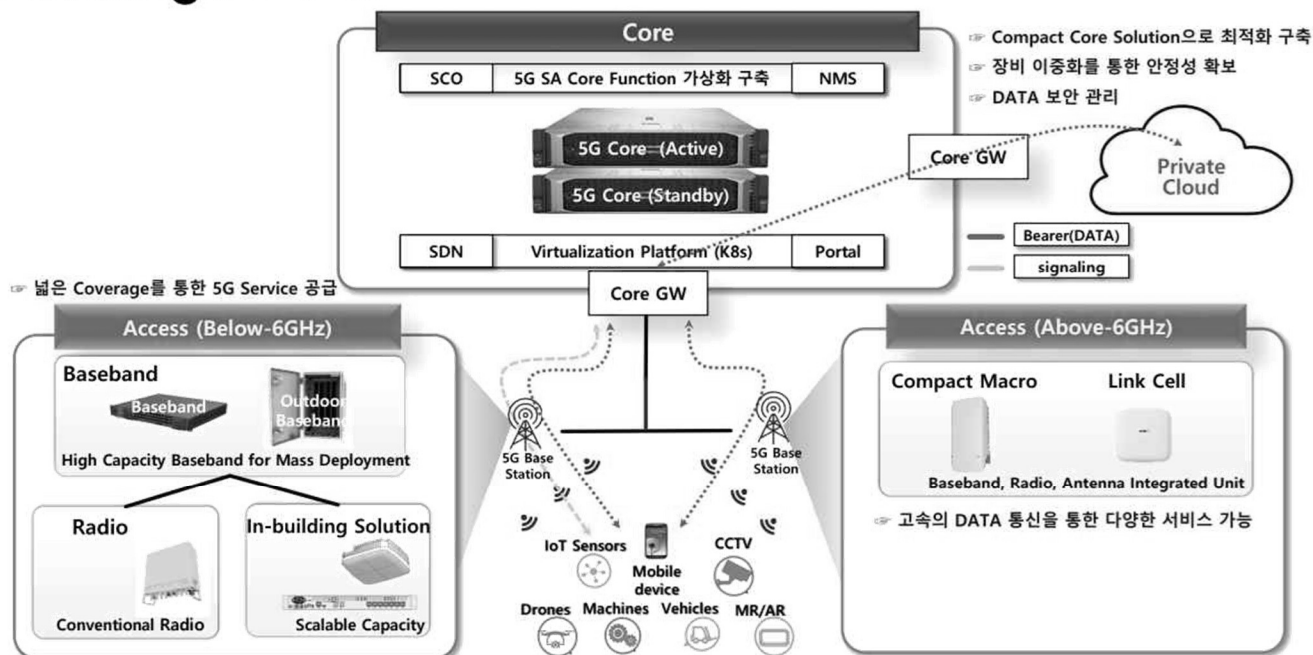
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 삼성

- Core, Access

Samsung 5G 구성도

SAMSUNG



© Samsung Electronics. All Rights Reserved. Confidential and Proprietary.

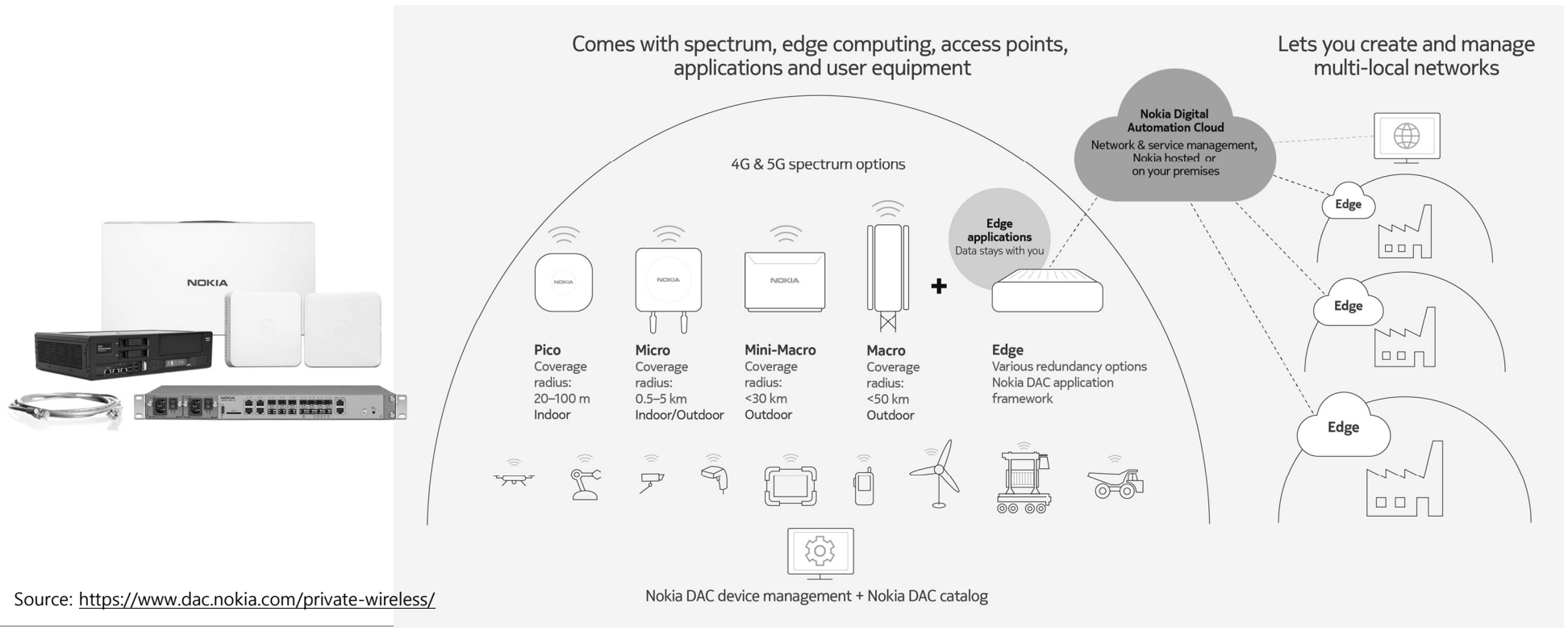
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 노키아(Nokia)

- An end-to-end platform that makes private wireless networking and automation easy



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

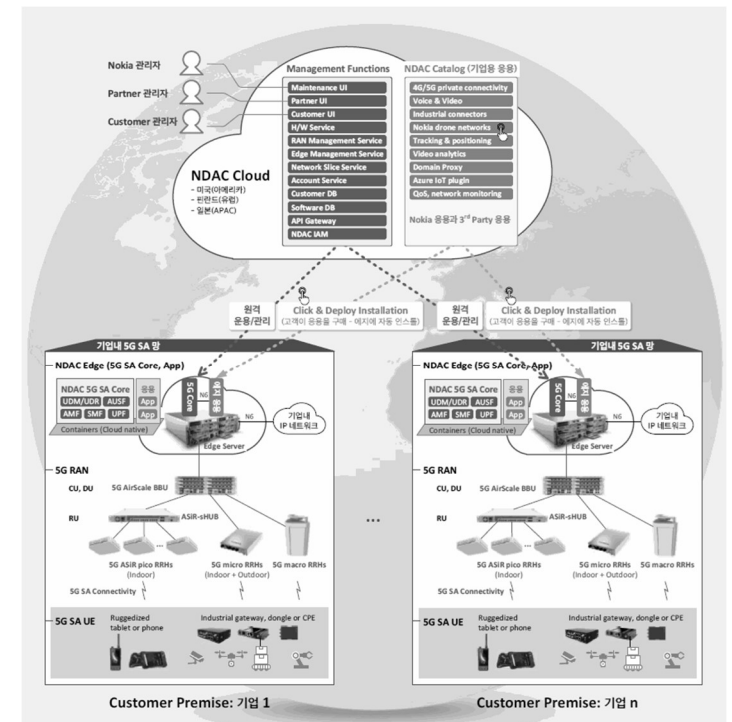
❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 노키아(Nokia)

• Nokia Private Wireless Solution

1. Nokia Digital Automation Cloud (DAC), Plug and Play
2. Nokia Modular Private Wireless (MPW)



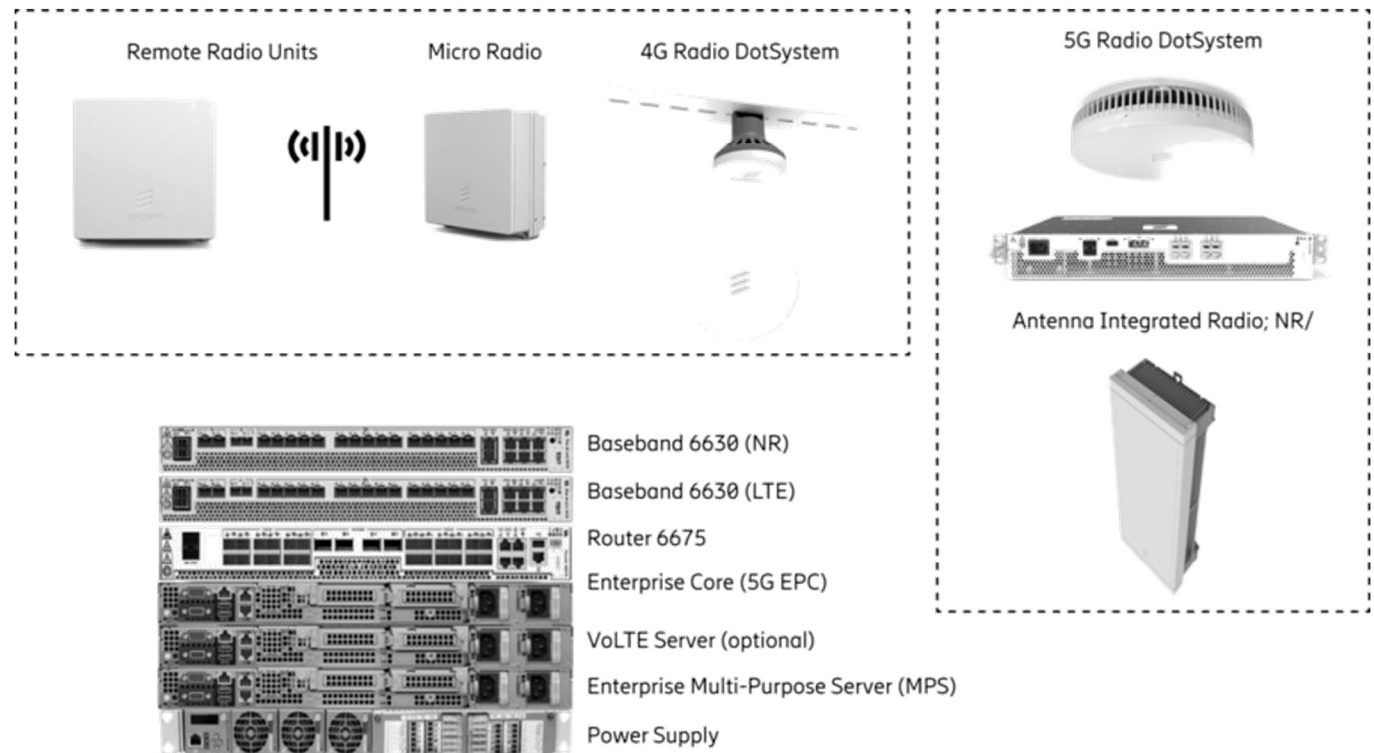
Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/vendors/1550/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 에릭슨(Ericsson)

• Private Networks



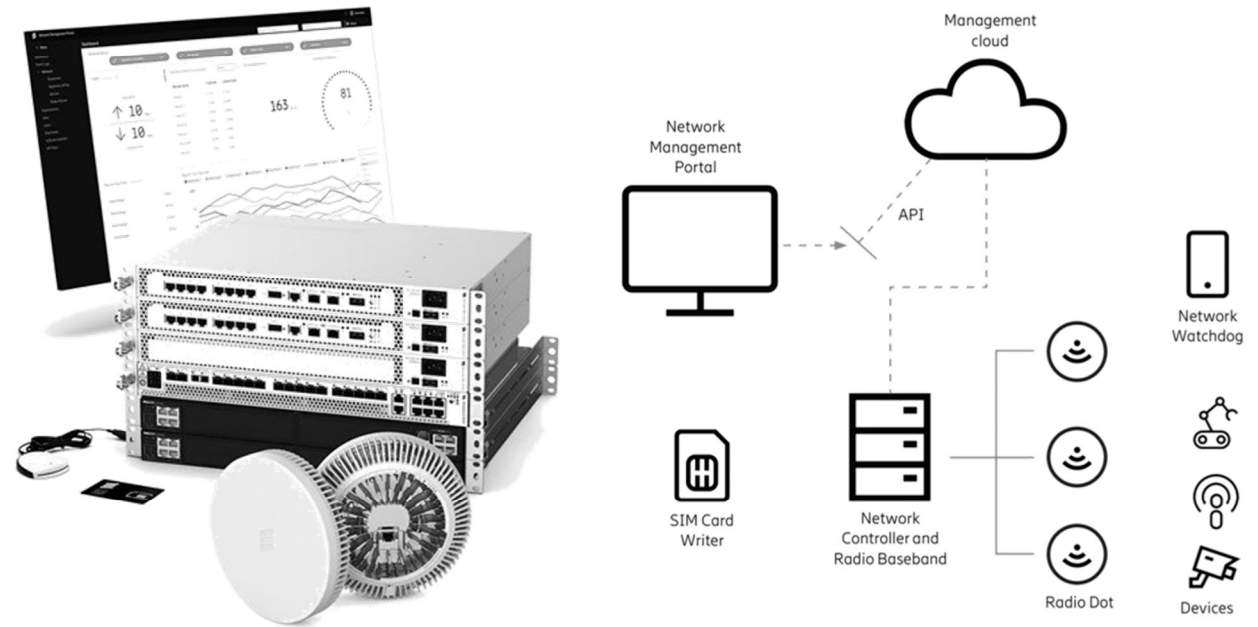
Source: <https://www.ericsson.com/en/portfolio/iot-and-new-business/dedicated-networks/private-networks>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 에릭슨(Ericsson)
 - Private Networks

Ericsson: Dedicated Networks 5G SA Trial Kit (Industry Connect with Radio Dot)



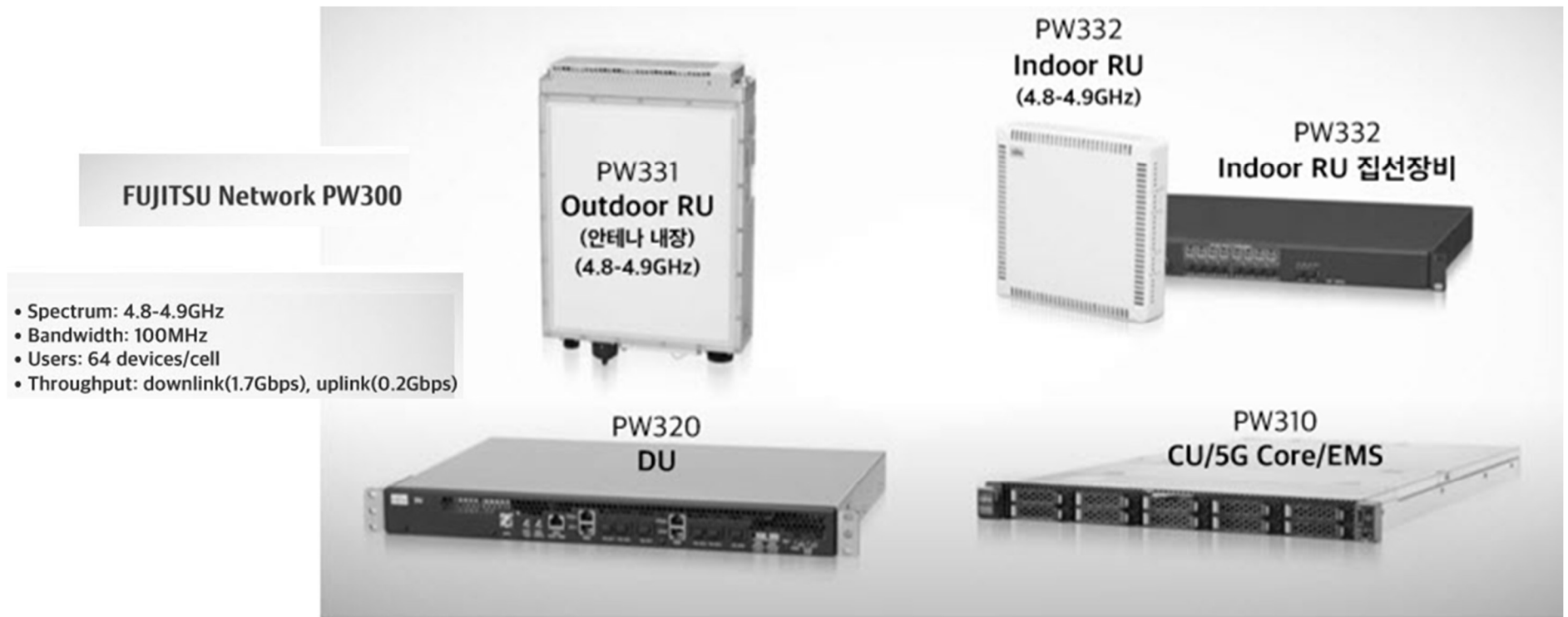
Radio Dot (Antenna), Indoor RU (IRU), Baseband, CU, 5G SA Core
Ericsson Management Cloud, Network Management Portal, SIM Card Writer

Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/vendors/1549/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Fujitsu의 Private 5G 장비

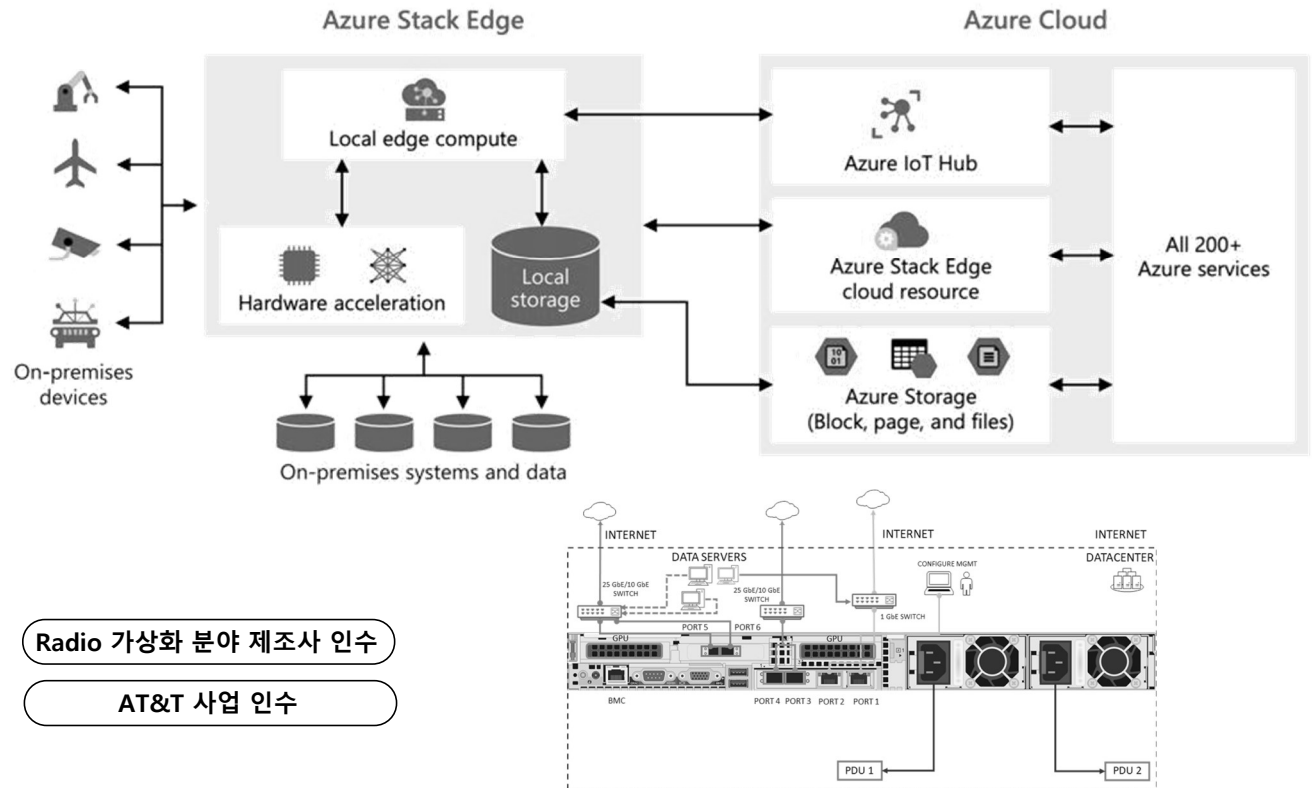


Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/vendors/1549/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Azure Stack Edge



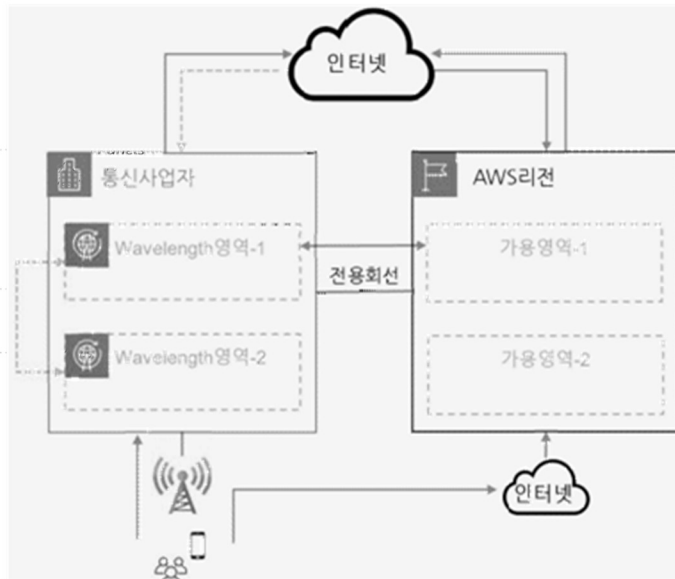
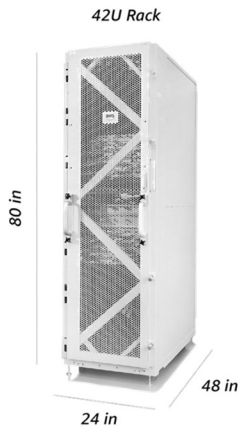
Source: <https://docs.microsoft.com/ko-kr/azure/databox-online/azure-stack-edge-gpu-deploy-install>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ AWS Outpost Wavelength: 통신사업자 내에 구축된 AWS 인프라 서비스

- Wavelength는 통신사 내에 설치된 가용영역
- 일반 가용 영역과 다르게, Wavelength 영역 사용하기 위해서는 사용 신청(Opt-in) 과정이 필요
- AWS 서비스 중에 제한된 일부 서비스만 사용 가능
- 서비스는 인터넷을 통해서 직접 접근이 불가하며, 통신사 망을 통해서만 서비스 가능
- Wavelength 영역 간에는 통신이 불가



이제 AWS Wavelength Zone를 이용할 수 있습니다. 초대를 요청하려면 아래 정보를 제출해 주세요. 요청이 수락되면 시작하는 방법에 대한 지침을 보내 드리겠습니다.

• Wavelength Zone 액세스를 요청하기 위한 이동 통신 사업자를 선택해 주세요(대당하는 항목 모두 선택).

• AWS Wavelength에 대한 사용 사례:

• 사용 사례를 설명해 주세요.
 예를 들어 "AWS Wavelength를 사용하여 AWS/AZ의 지연 시간 민감도 기능을 향상시키고, 서랍을 수직 공간에서 수평 공간으로 확장하고 싶습니다. 소규모 분산 데이터 센터를 위한 시간 및 리소스 절약의 이점이 있는 AWS 인프라 및 서비스에 액세스하기 위한 비용 절감이 중요할 수 있는 임베디드 애플리케이션을 실행하는 데 필요한 컴퓨팅 용량은 어느 정도인가?"

• Wavelength Zone에서 사용할 서비스를 선택하는 데 필요한 컴퓨팅 용량은 어느 정도인가?
 예를 들어 "평균 5개월 동안 CPU 기반 인스턴스 10개에서 50개까지의 컴퓨팅 시간을 사용할 수 있는 Wavelength Zone에서 애플리케이션을 실행하고 싶습니다."

• Wavelength Zone에서 로컬로 사용할려는 AWS 서비스는 무엇인가?
 Amazon EC2
 Amazon Elastic Block Store(EBS)
 Application Load Balancer(ALB)
 Amazon Elastic Container Service
 Amazon Elastic Kubernetes Service
 Amazon ElastiCache
 Amazon Managed Streaming for Apache Kafka
 기타

• 이메일 주소:

• 이름:

• 성:

• 회사 이름:

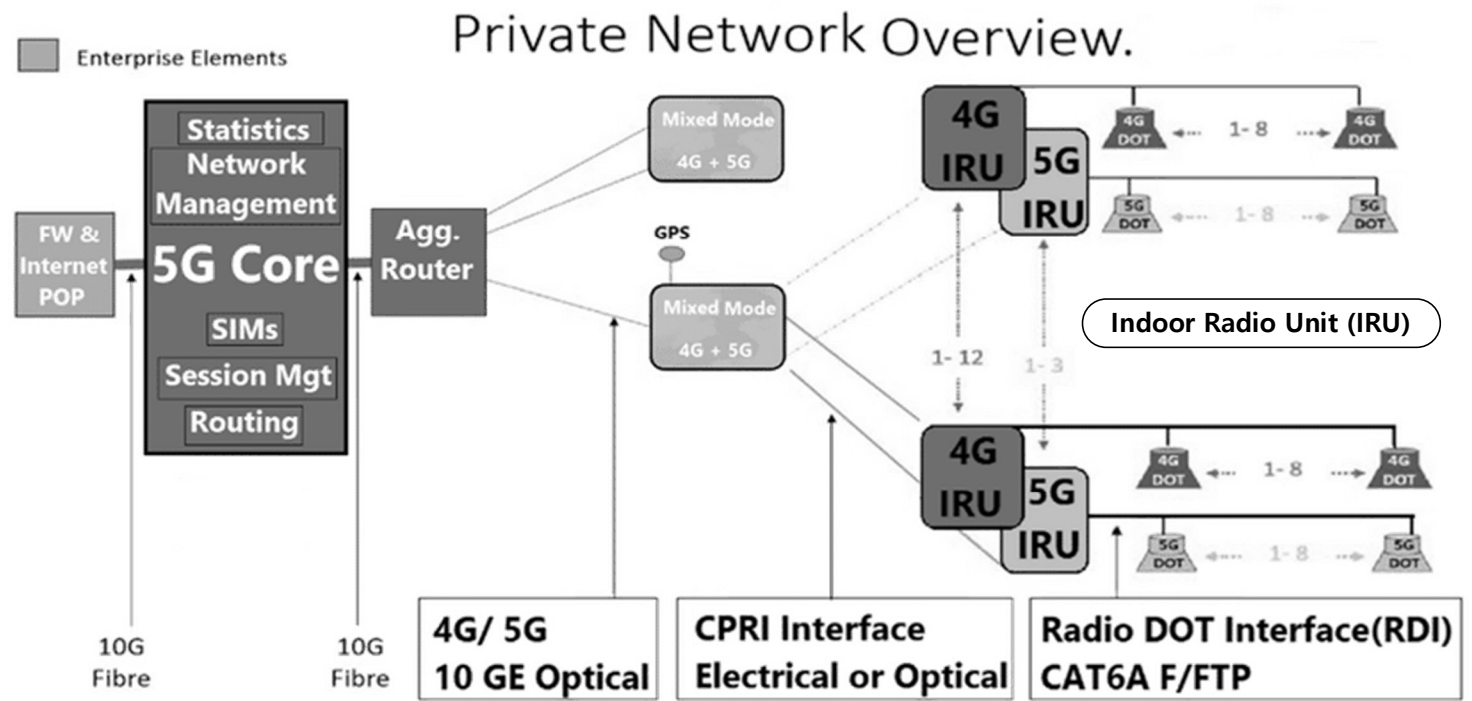
• AWS 계정 ID:

• 국가/지역:



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G infrastructure supporting Industry 4.0.

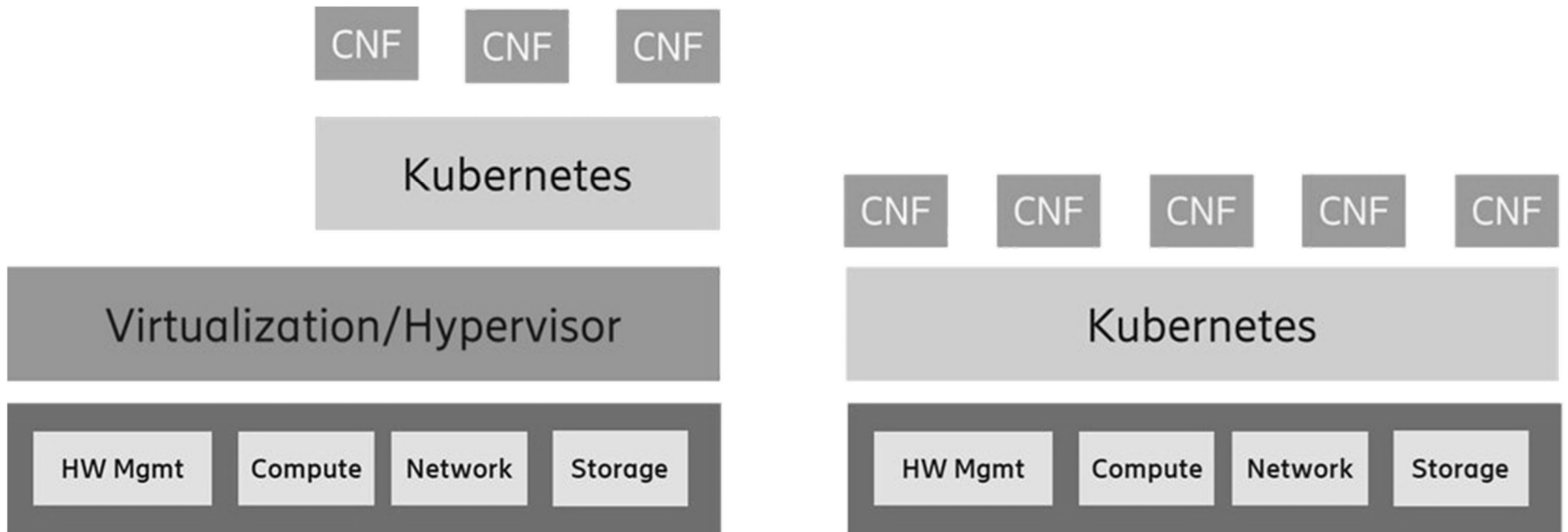


Source: https://www.researchgate.net/figure/Private-5G-infrastructure-supporting-Industry-40_fig3_342210096



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Kubernetes over virtualized infrastructure versus bare metal infrastructure

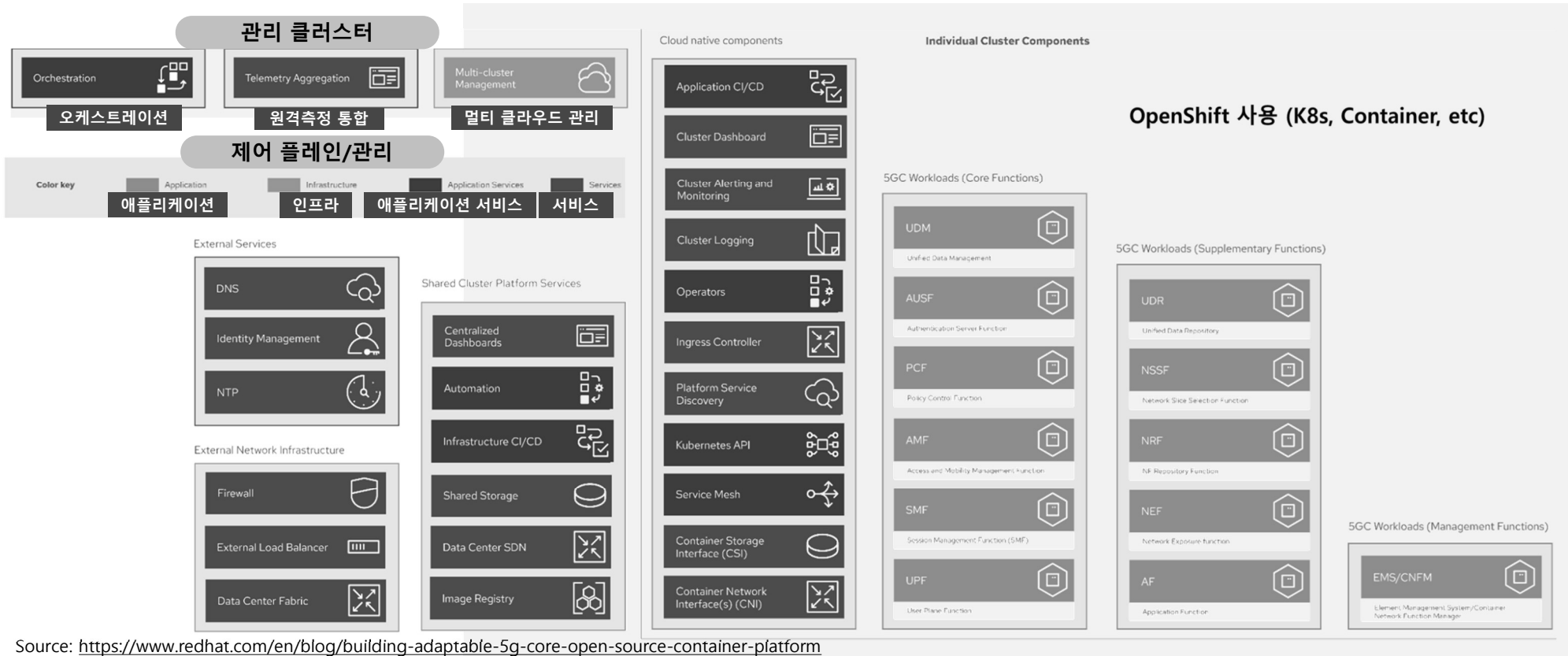


Source: <https://www.ericsson.com/en/blog/2022/5/kubernetes-over-bare-metal-cloud-infrastructure-why-its-important-and-what-you-need-to-know>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) Red Hat: The common architectural elements to provide conceptual guidance.



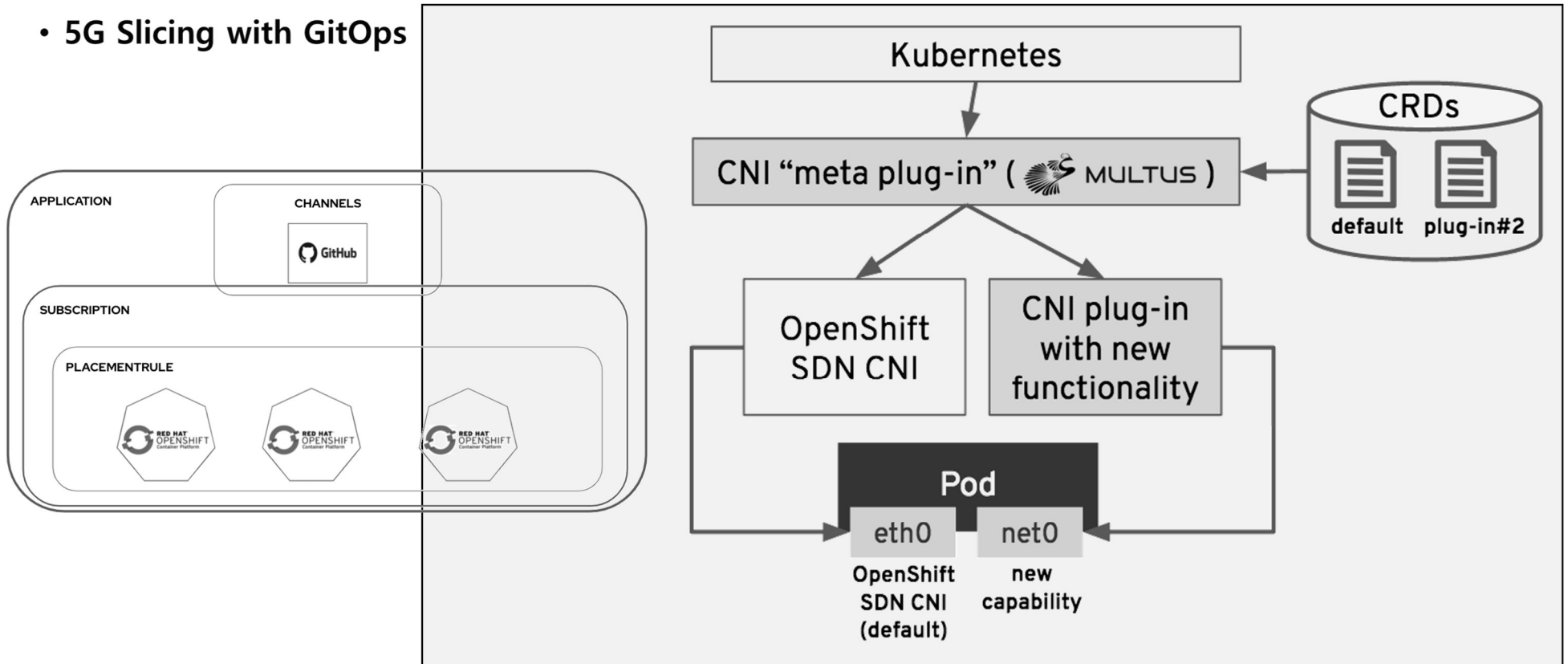
Source: <https://www.redhat.com/en/blog/building-adaptable-5g-core-open-source-container-platform>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) Red Hat: Single Node OpenShift for Edge

- 5G Slicing with GitOps



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 쿠버네티스의 스케줄링

- 노드 라벨 설정 명령어 (예): `kubectl label nodes <NODE_NAME> disktype=ssd`

```
- matchExpressions:
  - key: kubernetes.io/e2e-az-name
    operator: In
    values: matchExpression에 여러
      - e2e-az2 개 조건이 정의될 시, 모든
      - e2e-az2 조건을 만족해야 Pod 생성
  - key: kubernetes.io/region
    operator: In
    values:
      - ap-northeast-1
      - ap-northeast-2
```

```
nodeSelectorTerms:
- matchExpressions:
  - key: kubernetes.io/e2e-az-name
    operator: In
    values:
      - e2e-az2
      - e2e-az2
  - matchExpressions:
    - key: disktype
      operator: In
      values:
        - ssd
        - hdd
```

2개 이상의
matchExpressions
정의 시, 하나의
matchExpressions
만족해도 됨

```
# Container Spec
spec:
  affinity:
    nodeAffinity:
      preferredDuringSchedulingIgnoredDuringExecution:
      - weight: 50
        preference:
          matchExpressions:
            - key: disktype
              operator: In
              values:
                - ssd
  containers:
    - name: kubernetes-dev
```

weight 값은 1에서
100까지의 값을 사용할 수
있으며, 이 값은 할당 가능한
노드들을 최종적으로 선정한
뒤, 최종적으로 Pod를 할당할
각 노드에 대해 점수를 매길
때 사용

```
# Container Spec
spec:
  nodeName: ip-10-43-0-30.ap-northeast-2.compute.internal
  containers:
    - name: kubernetes-dev
      image: alicek106/pycharm-remote-builder:latest
```

특정 노드 선택

```
# Container Spec
spec:
  nodeSelector:
    disktype: ssd
  containers:
    - name: kubernetes-dev
      image: alicek106/pycharm-remote-builder:latest
```

라벨 'ssd'를 가진 노드에 Pod가 스케줄링
(노드 이름에 종속적이지는 않도록 nodeName 대신
nodeSelector를 사용)

```
# Container Spec
spec:
  affinity:
    nodeAffinity:
      requiredDuringSchedulingIgnoredDuringExecution:
      nodeSelectorTerms:
      - matchExpressions:
        - key: kubernetes.io/e2e-az-name
          operator: In
          values:
            - e2e-az1
            - e2e-az2
  containers:
    - name: kubernetes-dev
```


키가 kubernetes.io/e2e-az-name 이고 값이 e2e-
az1, e2e-az2 인 라벨을 가지는 노드에 Pod를 할당

Source: http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=alice_k106&logNo=221511412970&parentCategoryNo=&categoryNo=20&viewDate=&isShowPopularPosts=false&from=postView



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 비즈니스(예): Ananki의 소프트웨어 정의 Private Enterprise 5G+ (Powering Industry 4.0 Innovations)

<p>O-RAN compliant white box small cells</p>  <p>Bringing economics of the cloud to your private 5G network Ananki provides the radios, or works with radios from certified third-party partners</p>	<p>Simple to Deploy</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Simple subscription-based for 5G connectivity-as-a-service - Pay for just the coverage you need ✓ 7x24 support for deployment and operations ✓ Backed by enterprise class SLAs ✓ Developer assist to empower creation of 5G-powered applications
<p>Ananki provides the SIMs - just plug them into your devices</p>  <p>* eSIMs are supported too</p>	<p>Dashboards Give You Visibility and Control Once the Network is Operational</p>  <p>Application and deep network visibility and analytics plus connected device status at your fingertips via a secure web portal</p>

제품 (Products)



Small Cells



State-of-the-art 5G connectivity stack delivered as a Service (SaaS)



Private SIM Cards for your devices



Enterprise Dashboards & APIs



Sea Ports, Oil & Gas, Mining, Airports, Manufacturing, Energy, Warehousing, Stadium, Retail, Healthcare, Campus

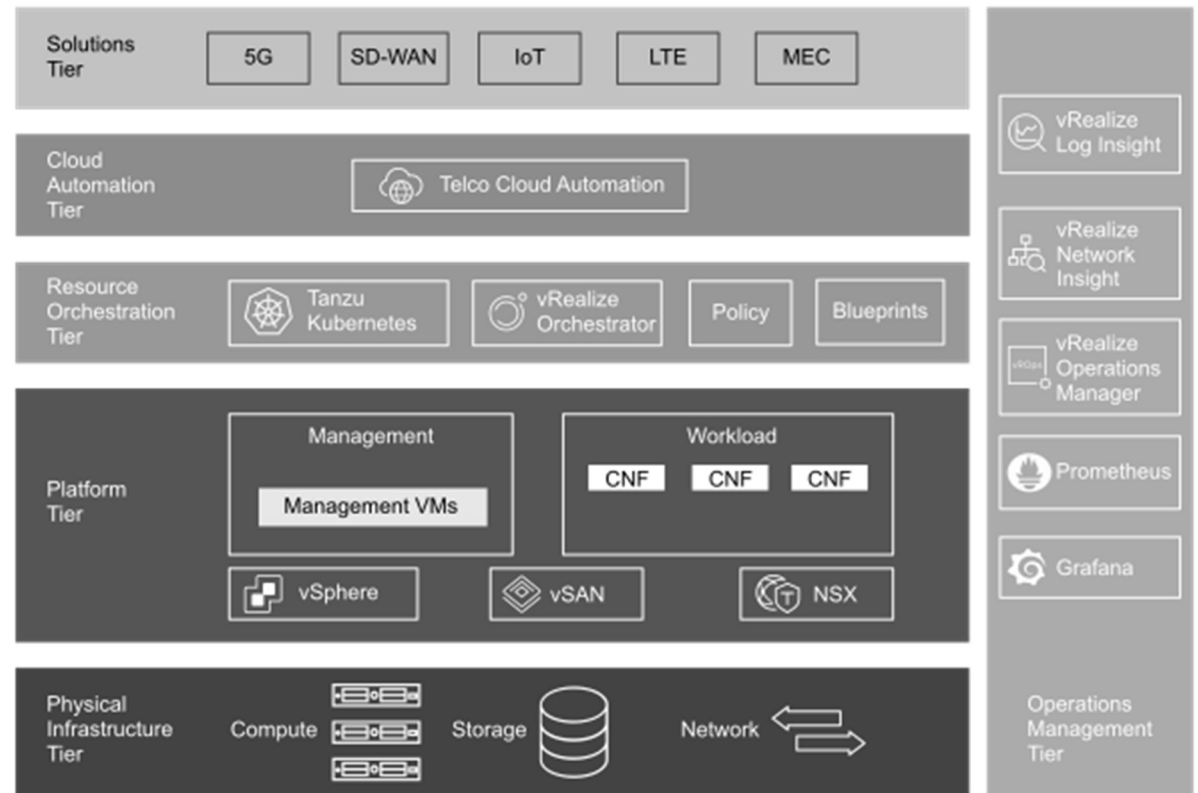
Software defined private 5G is the key to these next-generation solutions

Source: <https://ananki.io/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) VMware: Architecture Overview



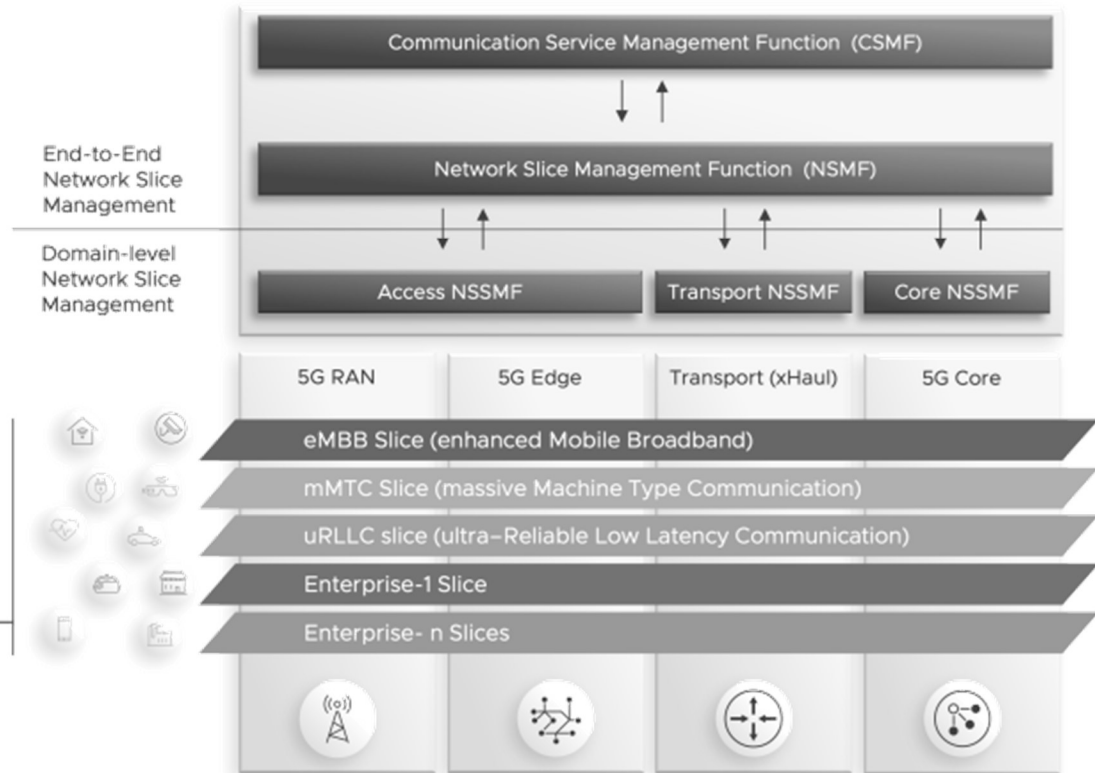
Source: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Telco-Cloud-Platform---5G-Edition/2.0/telco-cloud-platform-5g-edition-reference-architecture-guide-20/GUID-B035B0EC-A7CB-41ED-9D06-3B3051D9C7A1.html>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) VMware: 5G Network Slicing Concepts

- 종단간 네트워크 슬라이스 관리
- 도메인 수준 네트워크 슬라이스 관리
- 유형별 차별화 서비스 제공



- ESXi (Hypervisor)
- vCenter
- NSX (SDN)
- Tanzu (K8s)

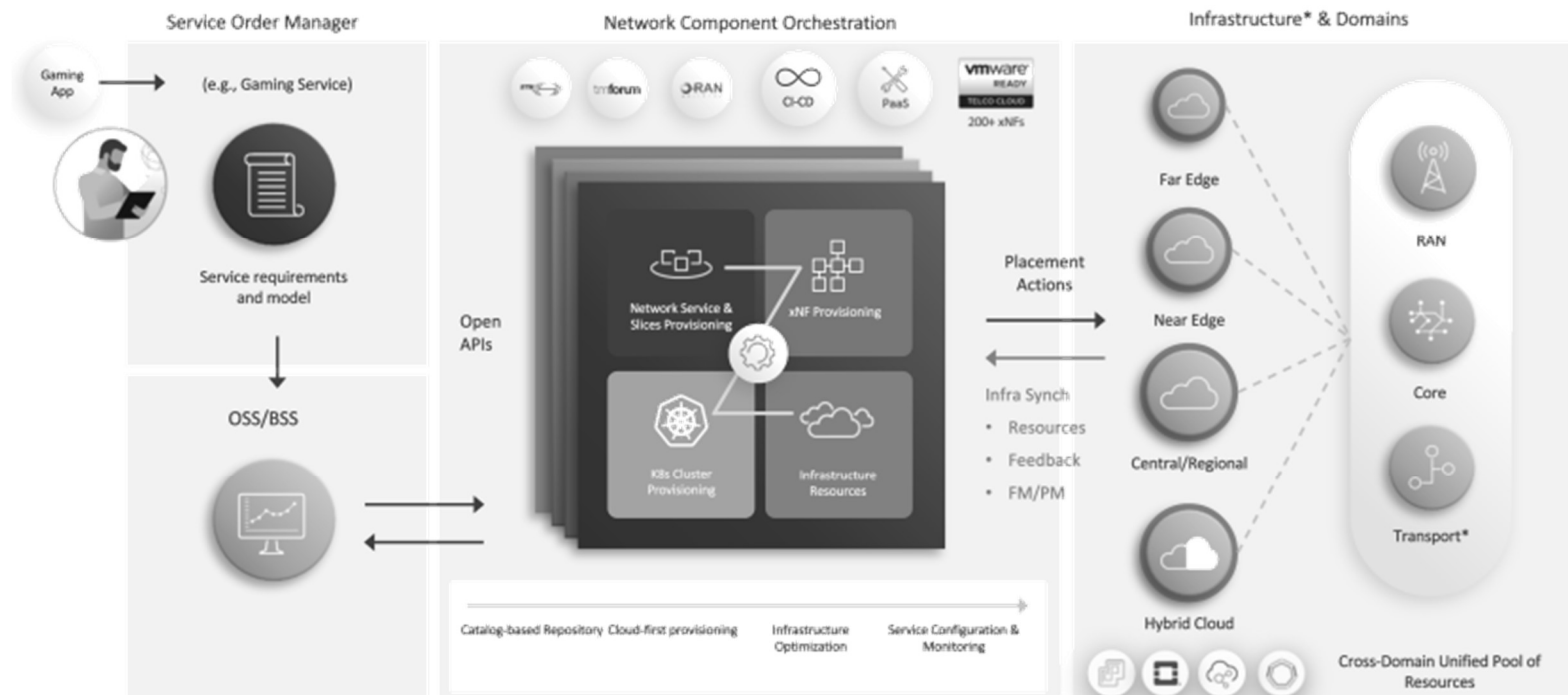
Differentiated service offerings based on use case requirements

Source: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Telco-Cloud-Automation/2.0/com.vmware.tca.userguide/GUID-63A822DB-066E-4146-B8C1-72864A6D9DF3.html>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ 제조사(예) VMware: Streamline and standardize way network resources are exposed to the OSS layer and the consumers of the network slices



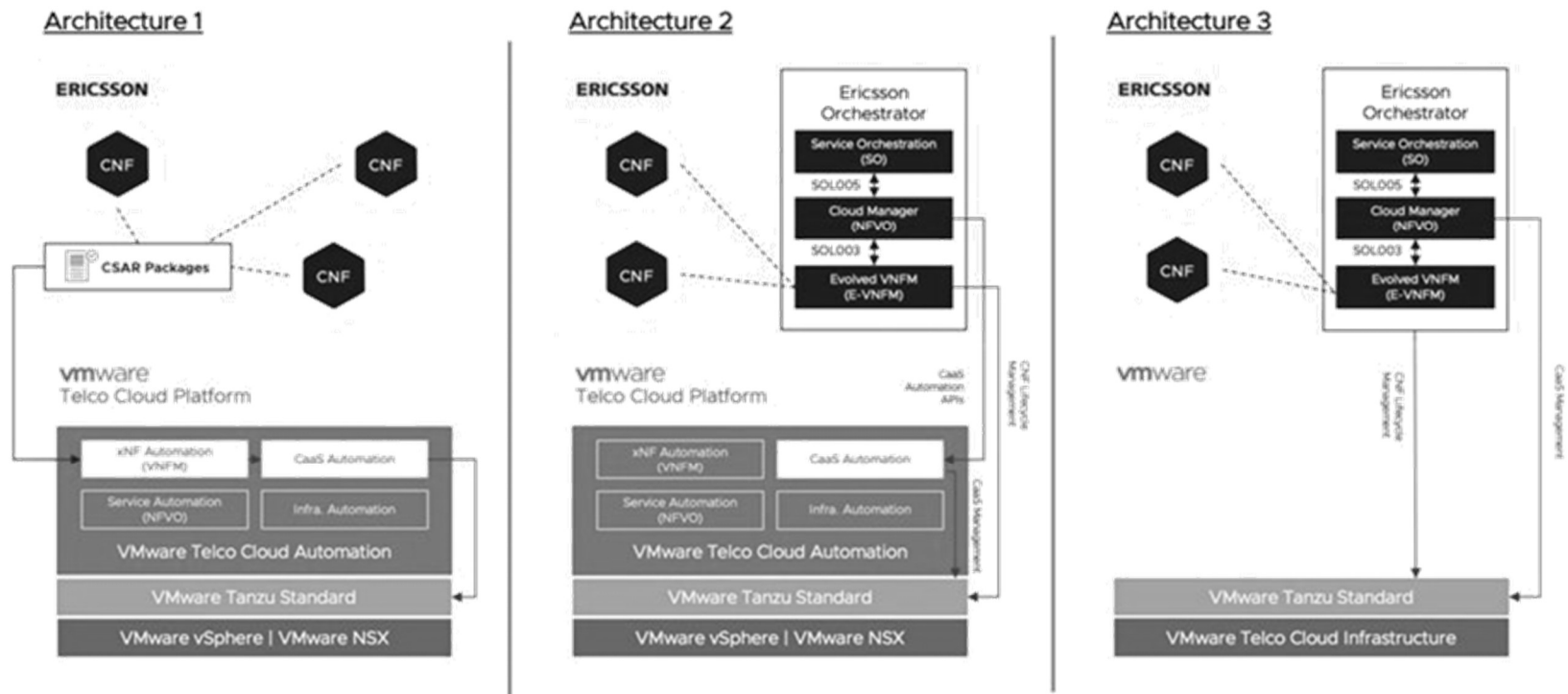
- ESXi (Hypervisor)
- vCenter
- NSX (SDN)
- Tanzu (K8s)

Source: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Telco-Cloud-Automation/2.0/com.vmware.tca.userguide/GUID-63A822DB-066E-4146-B8C1-72864A6D9DF3.html>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) VMware: VMware Validates Ericsson Cloud Native 5G Core



- ESXi (Hypervisor)
- vCenter
- NSX (SDN)
- Tanzu (K8s)

Dan Meyer | Executive Editor April 26, 2022 11:00 AM

Source: <https://www.sdxcentral.com/articles/news/vmware-validates-ericsson-cloud-native-5g-core/2022/04/>

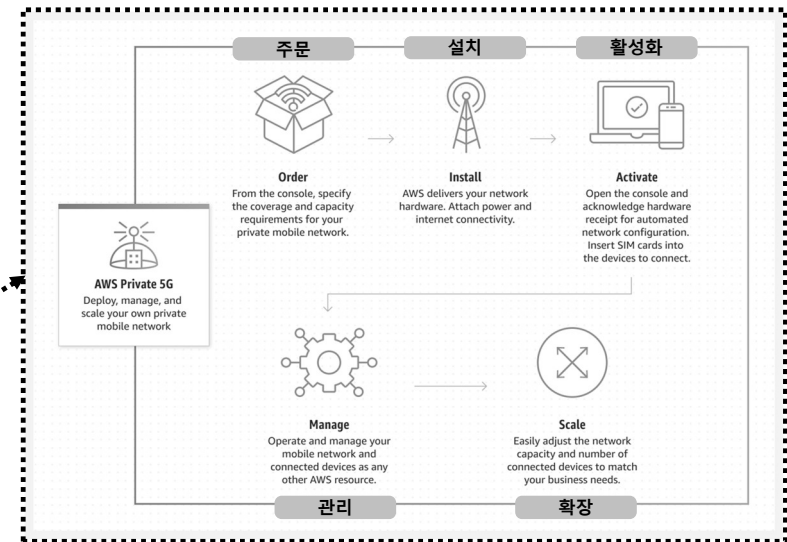
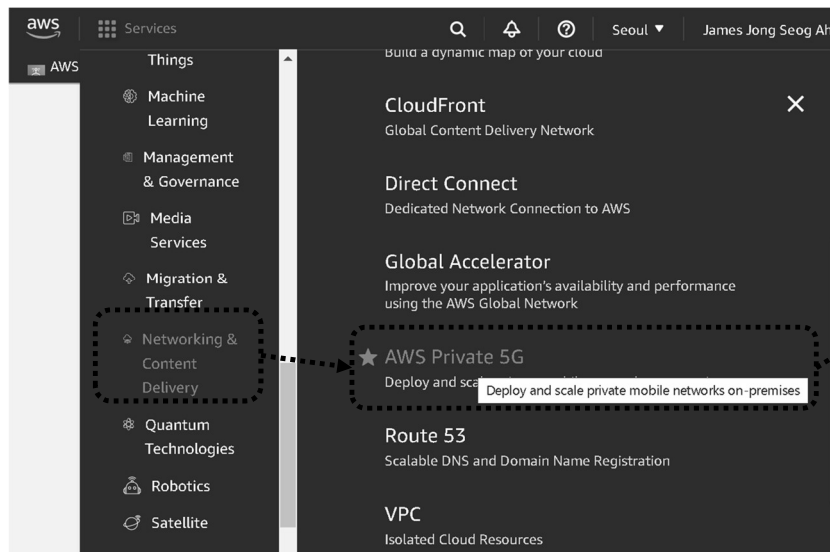


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 아마존 AWS Private 5G 서비스

• AWS가 신청 기업으로 AWS Private 5G망 세트를 배송 (3개의 선택 옵션 제공)

- 1) 5G 코어 UPF는 기업내, Control Plane(AMF, SMF,...)은 AWS 클라우드(Region 또는 Local Zone)
- 2) 기업내에는 RU만 두고 나머지는 모두 AWS 클라우드에 두는 경우
- 3) 5G망 Full Set를 기업내에 설치



Source: <https://ap-northeast-2.console.aws.amazon.com/console/home?region=ap-northeast-2#>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 아마존 AWS Private 5G 서비스 Price

- Example 1: IoT devices in a manufacturing facility

	Cost calculation	Total cost
AWS Private 5G radio unit	1 x \$7,200 x 2	\$14,400
Data transfer intra-Region	13 GB x \$0.02 x 2	\$0.52
	60-day cost	\$14,400.52

- Example 2: Video streaming from security cameras at a construction site

	Cost calculation	Total cost
AWS Private 5G radio unit	1 x \$7,200 x 2	\$14,400
	60-day cost	\$14,400

- Example 3: Higher education campus—Outdoor coverage for staff

	Cost calculation	Total cost
AWS Private 5G radio unit	1 x \$7,200 x 2	\$14,400
Data transfer out, under the global monthly AWS Free Tier	100 GB x \$0.00 x 2	\$0
Data transfer out to web services and to tablets	2,760 GB x \$0.09 x 2	\$496.80
	60-day cost	\$14,896.80

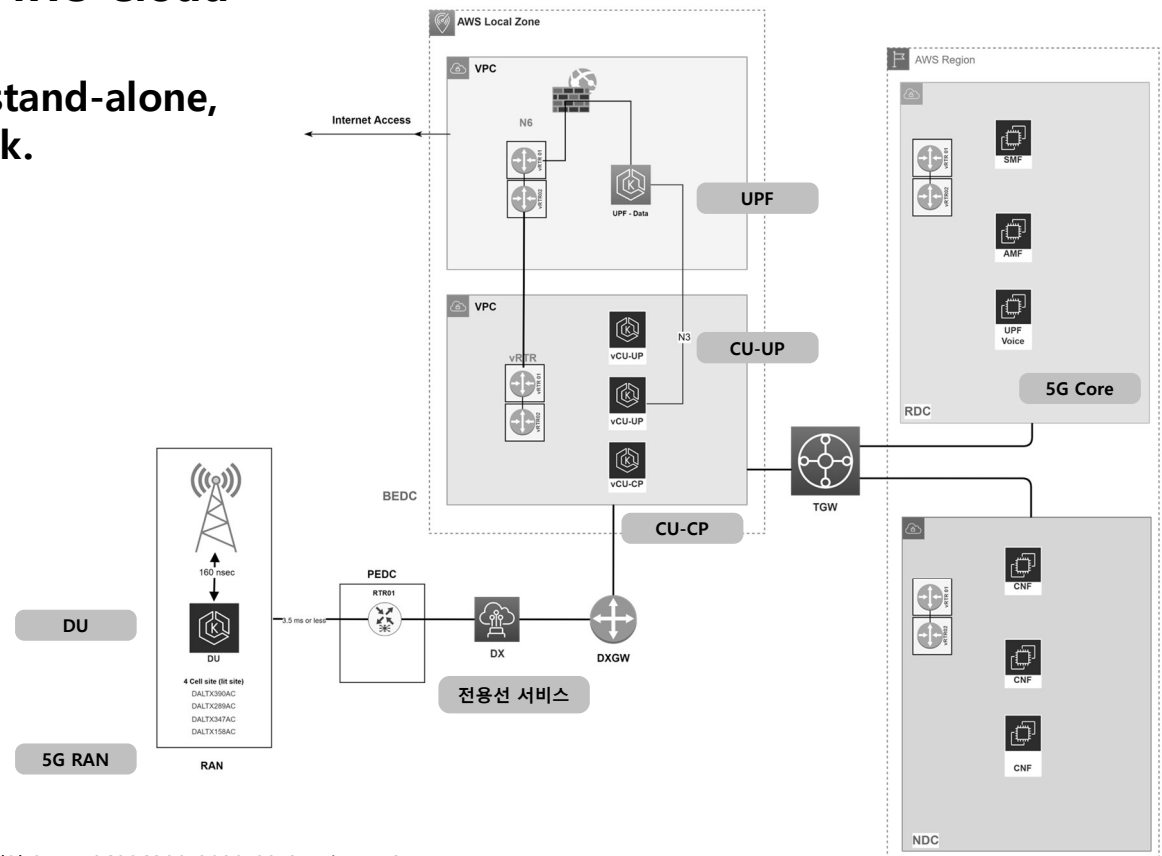
Source: <https://ap-northeast-2.console.aws.amazon.com/console/home?region=ap-northeast-2#>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Deploying DISH's 5G Network in AWS Cloud

- AWS의 RAN 연계
- DISH Network is deploying the first stand-alone, cloud-native, autonomous 5G network.

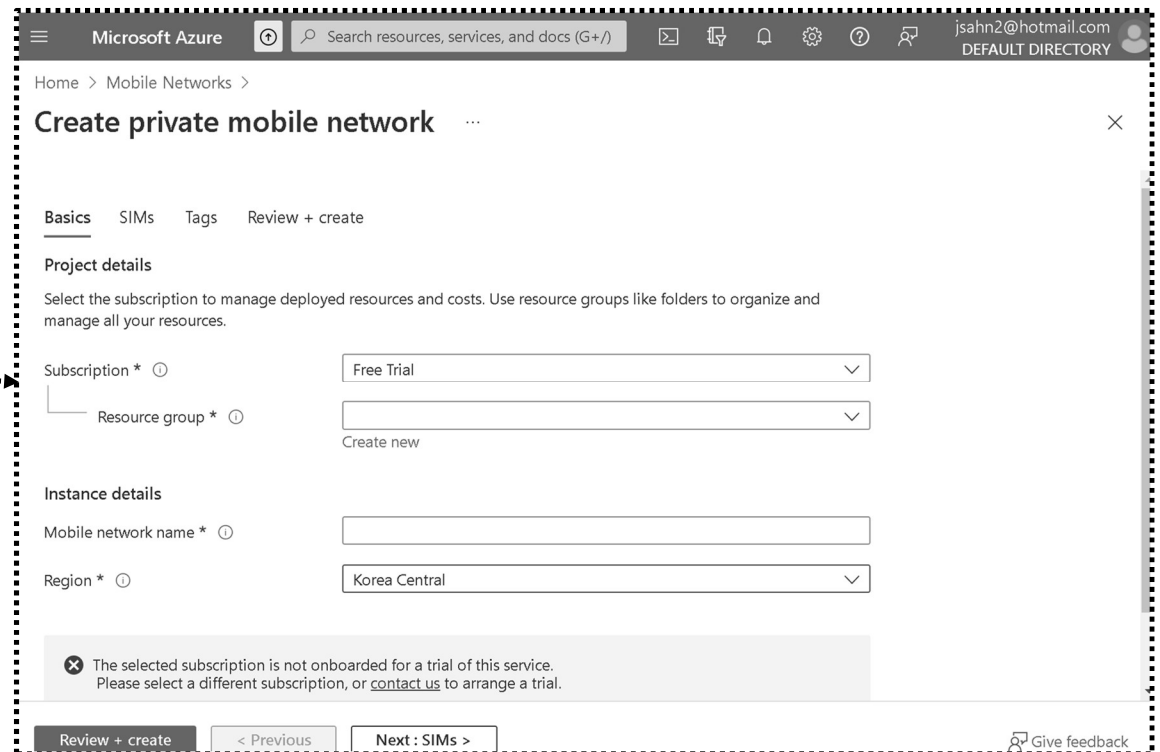
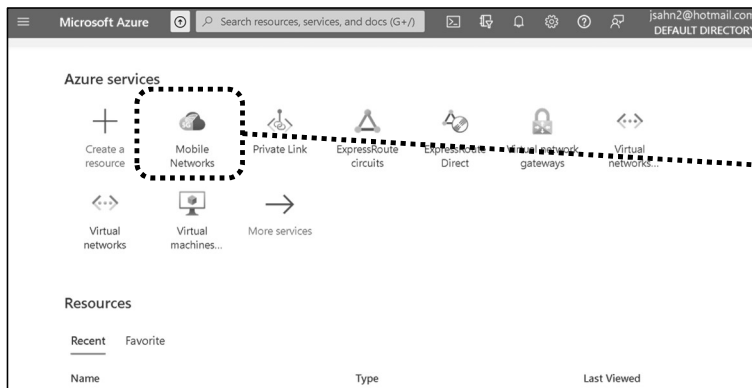


Source: <https://d2908q01vomqb2.cloudfront.net/c5b76da3e608d34edb07244cd9b875ee86906328/2022/02/27/Figure-3a.png>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 마이크로소프트 Azure 'private mobile network'



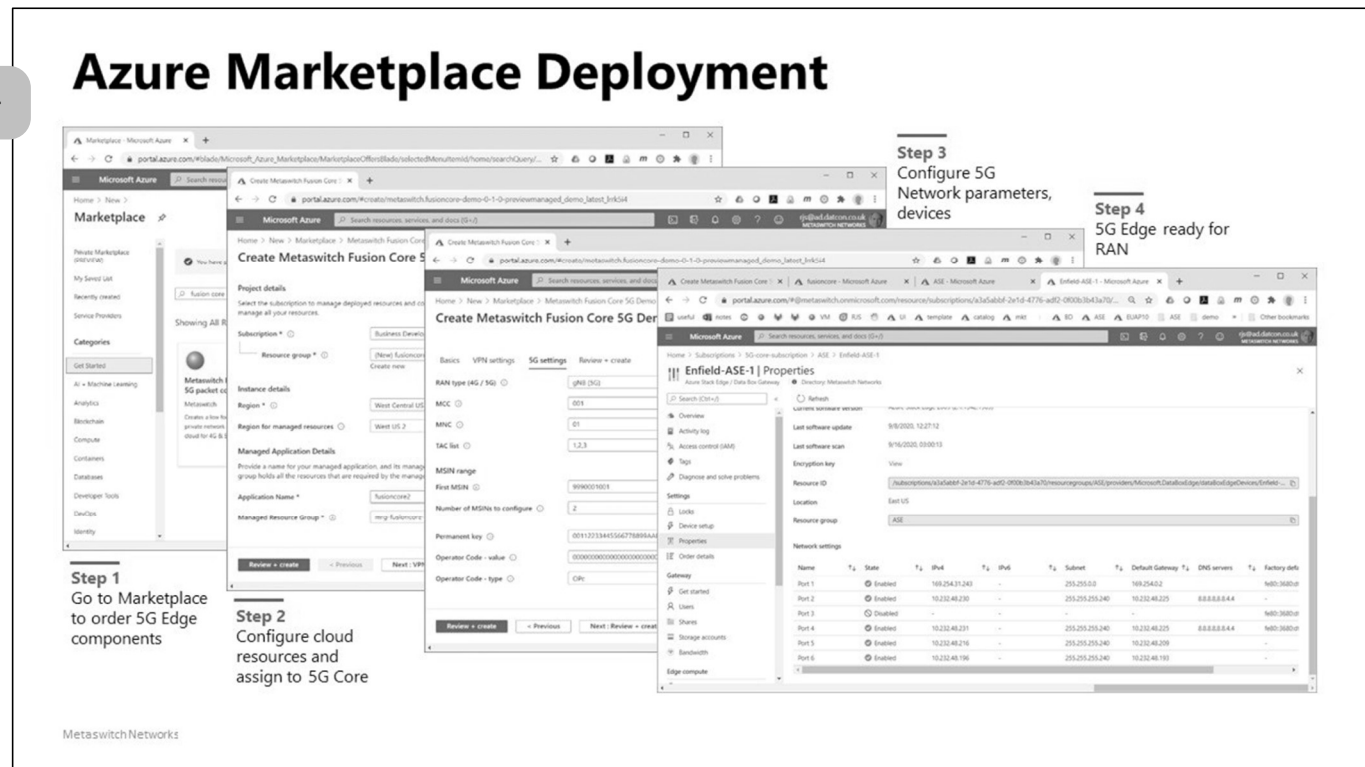
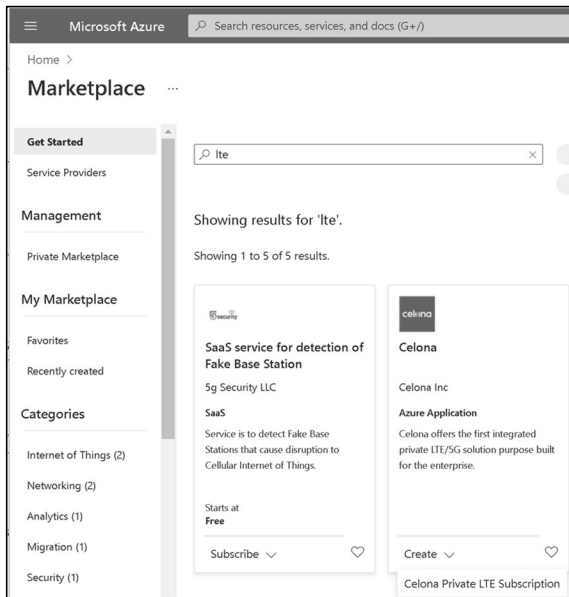
Source: <https://portal.azure.com/#view/HubsExtension/BrowseResource/resourceType/Microsoft.MobileNetwork%2FmobileNetworks>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) Fusion Core - 5G Packet Core @ Azure Marketplace

Azure 마켓플레이스에서 5G or LTE코어 다운로드 적용

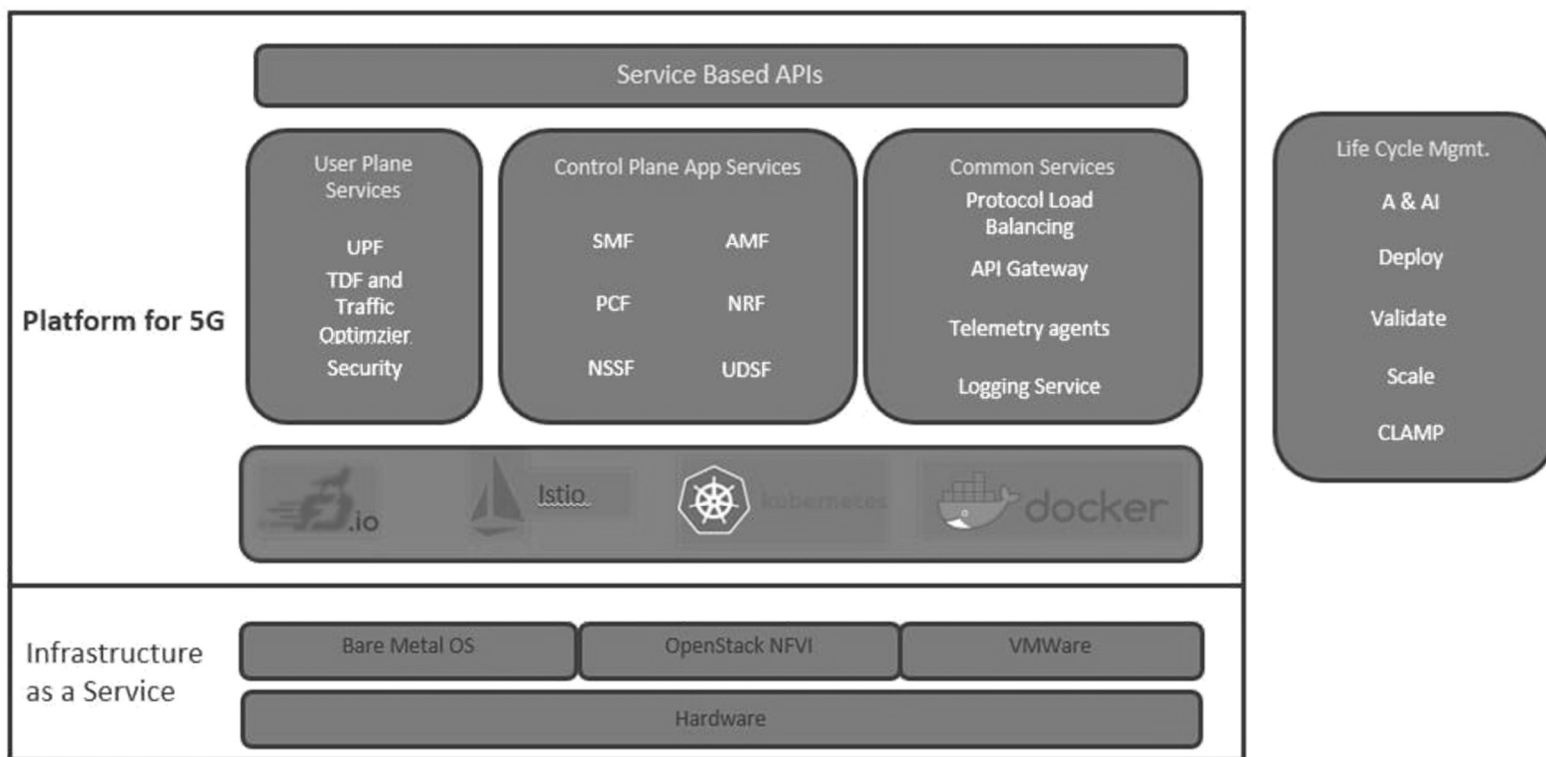


Source: https://azuremarketplace.microsoft.com/ko-kr/marketplace/apps/metaswitch.fusioncore_0-1-0?tab=Overview



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 오픈소스/제조사 (예): 5G SA deployments in Core and Edge network



Source: <https://techblog.comsoc.org/category/5g-network-slicing/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Drivers for Kubernetes over bare metal infrastructure

- 클라우드 네이티브 기반 5G 애플리케이션
- CNCF 커뮤니티의 산업계 드라이브
- 새로운 5G Use Case의 분산 클라우드 인프라
- 클라우드 네이티브 Telco 애플리케이션의 최적화 인프라



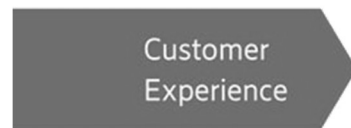
Source: <https://www.ericsson.com/en/blog/2022/5/kubernetes-over-bare-metal-cloud-infrastructure-why-its-important-and-what-you-need-to-know>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Benefits of Kubernetes on bare metal infrastructure

- 사용자 경험 (Customer Experiences)
- TCO (Total Cost Ownership)
- 자동화 (Automation)
- 성능 (Performance)



Simplified deployment and network operations

- Faster and more efficient lifecycle management
- Fewer teams involved - streamlining management and operations
- Reduced complexity during fault isolation and troubleshooting



Higher resource utilization and efficiency

- Better hardware utilization with low infrastructure overhead, small footprint
- No licensing fee for virtualization software
- Efficient for resource constrained edge deployments



Automated lifecycle management and seamless introduction of CI/CD

- Automated continuous integration with seamless introduction to continuous delivery
- Centralized automated remote lifecycle management and operations



High performance, specialized workloads

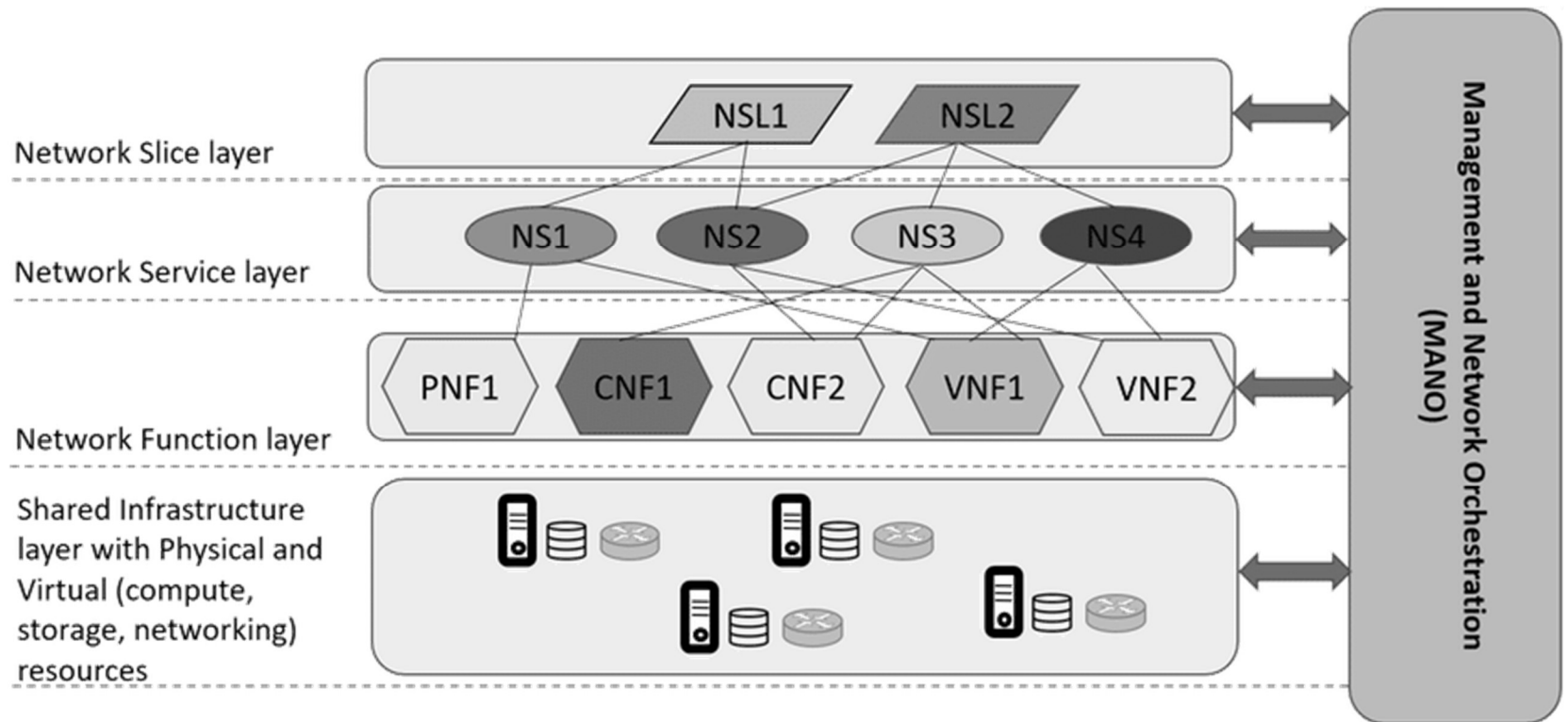
- Support for GPUs and network acceleration technologies
- More predictable application performance
- Easier introduction of new features

Source: <https://www.ericsson.com/en/blog/2022/5/kubernetes-over-bare-metal-cloud-infrastructure-why-its-important-and-what-you-need-to-know>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Multi-layered architecture of network slice provisioning in 5G



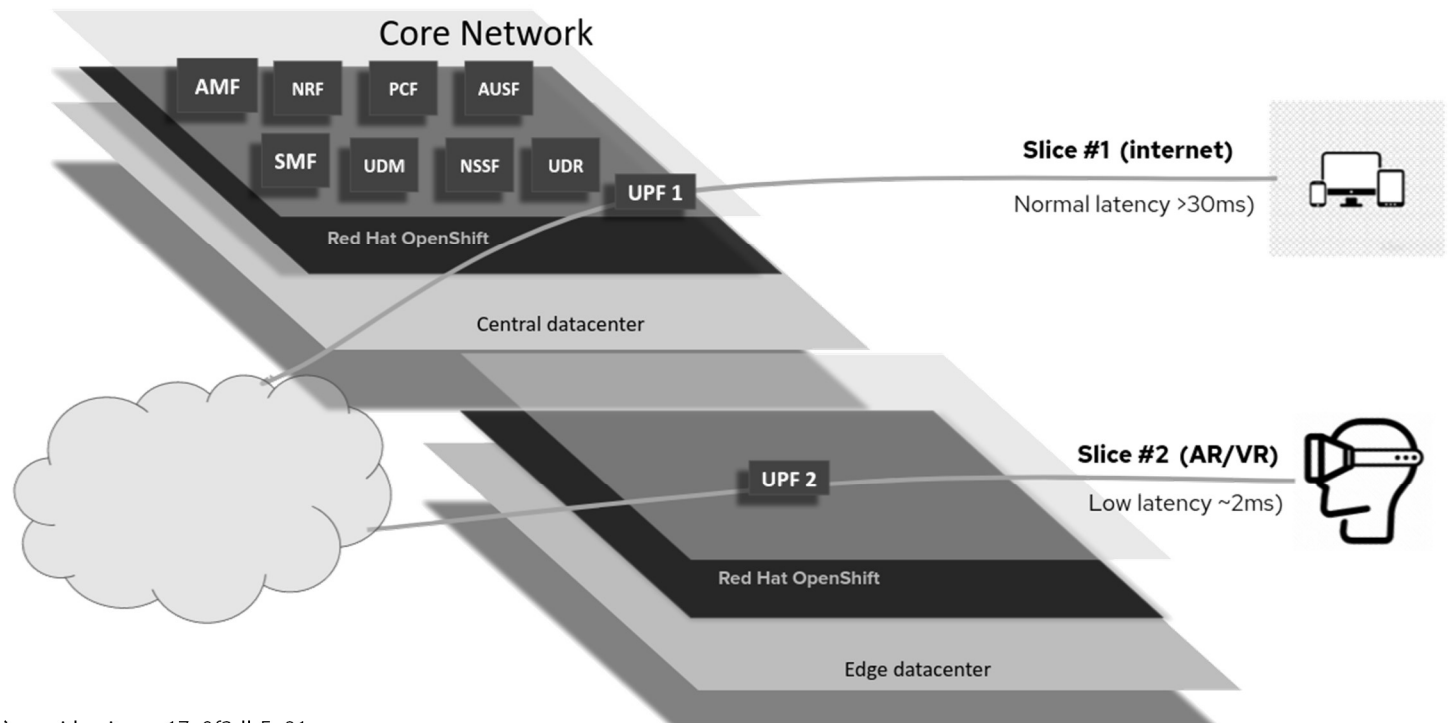
Source: https://www.researchgate.net/figure/Multi-layered-architecture-of-network-slice-provisioning-in-5G-via-the-composition-of_fig1_350993520



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G Network Slicing

- 5G Slicing with GitOps

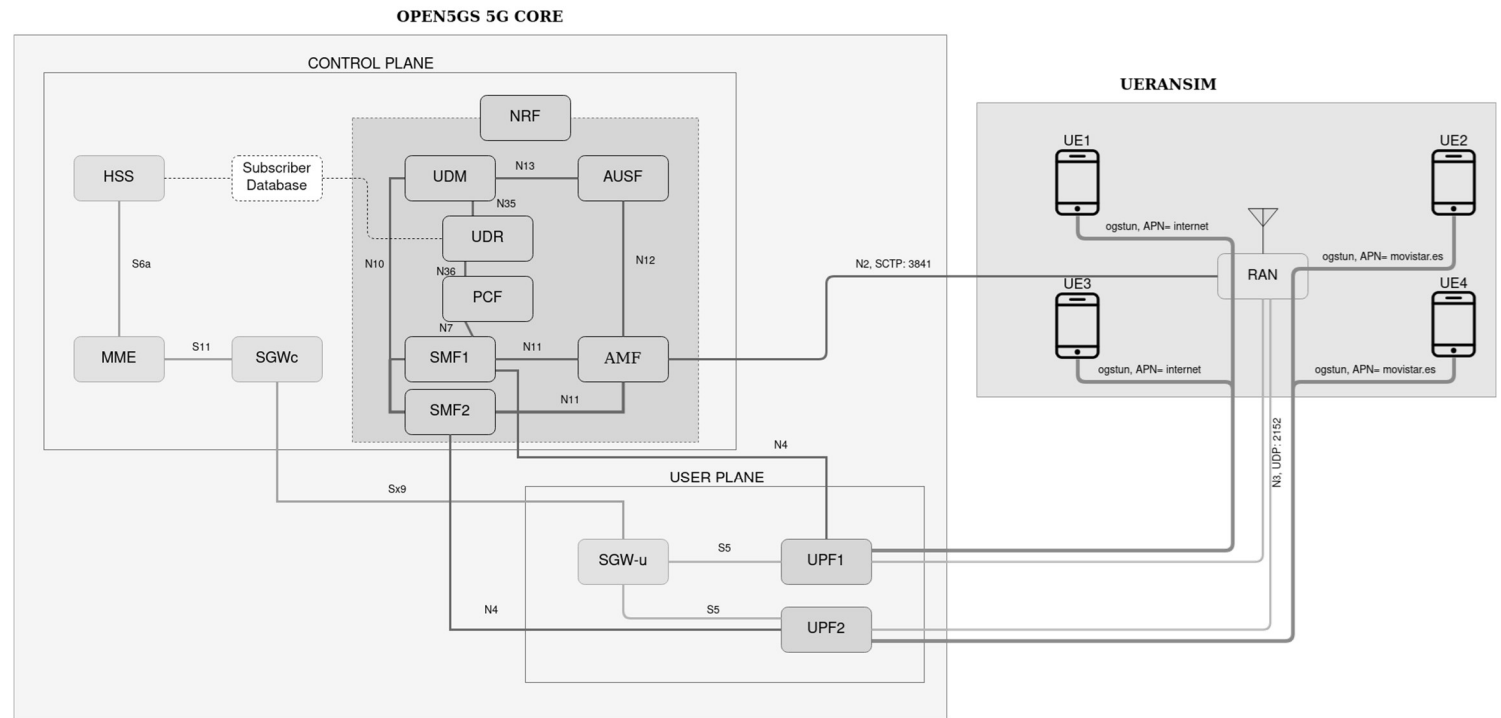


Source: <https://medium.com/@anil.sonmez/5g-slicing-with-gitops-17a9f2db5e81>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

- ❖ Selection of UPF and SMF by slice (5G 네트워크 가상화 실습 참조)
 - iperf Slicing Test Architecture



Source: VIRTUALIZED CELLULAR NETWORKS WITH NATIVE CLOUD FUNCTIONS, Iria Míguez González

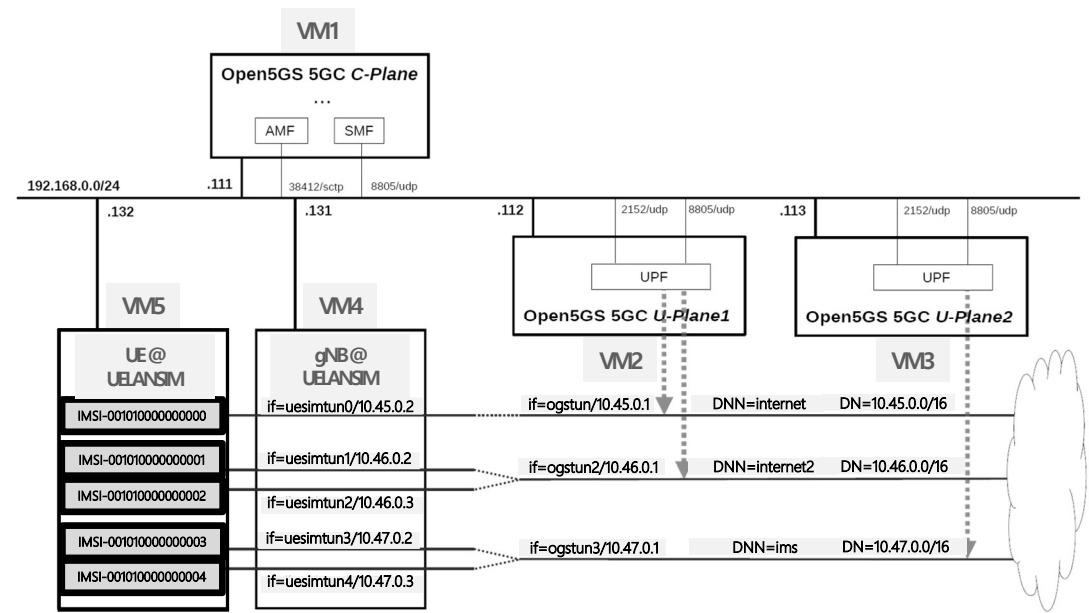


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ '5G 네트워크 가상화 실습' 구성 Overview of Open5GS 5GC Simulation Mobile Network

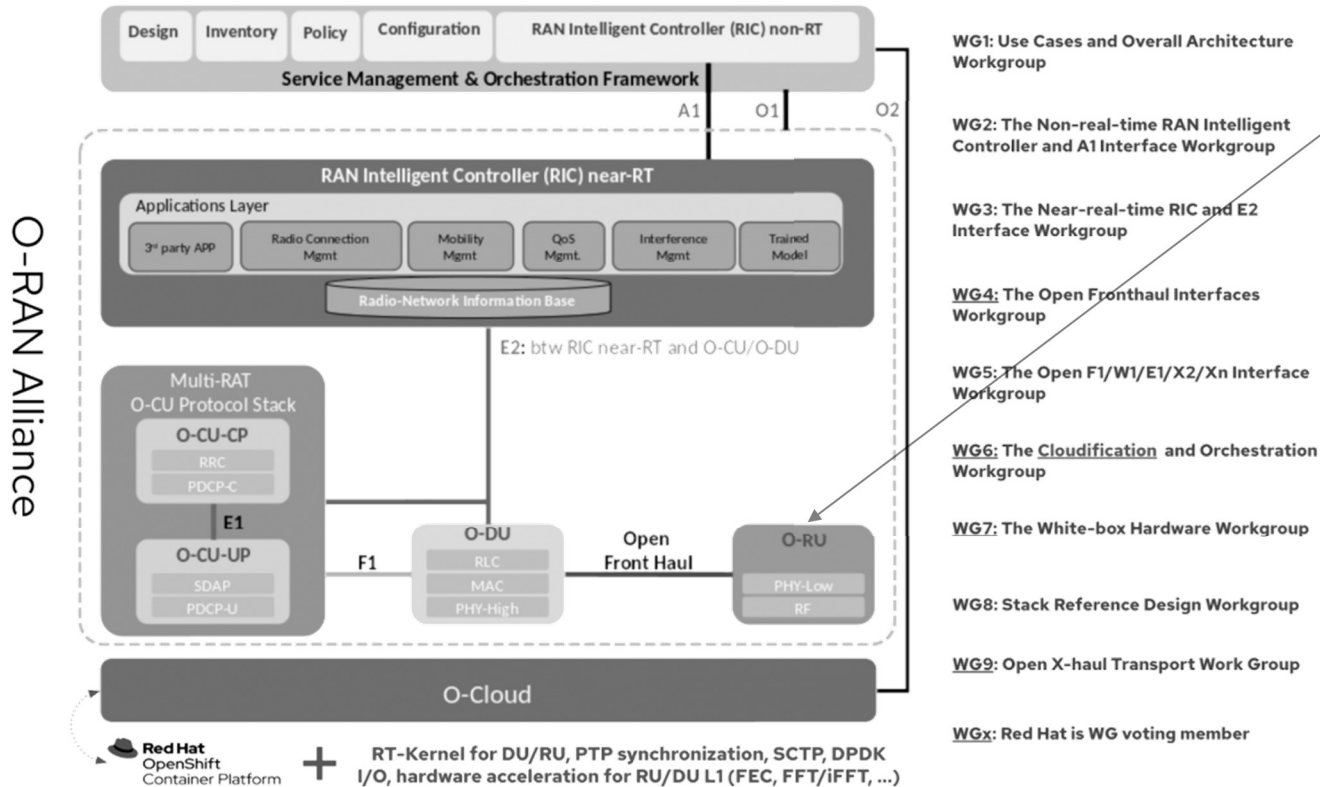
- 5 VMs
 - C-Plane have multiple U-Planes.
 - U-Plane have multiple DNs.
 - Multiple UEs connect to same DN.

VM	SW & Role	IP address	OS	vRAM	HDD (Min)
VM1	Open5GS 5GC C-Plane	192.168.0.111/24	Ubuntu 20.04	1GB	20GB
VM2	Open5GS 5GC U-Plane1	192.168.0.112/24	Ubuntu 20.04	1GB	20GB
VM3	Open5GS 5GC U-Plane2	192.168.0.113/24	Ubuntu 20.04	1GB	20GB
VM4	UERANSIM RAN (gNodeB)	192.168.0.131/24	Ubuntu 20.04	1GB	10GB
VM5	UERANSIM UE	192.168.0.132/24	Ubuntu 20.04	1GB	10GB



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ AI/ML @ O-RAN



YANG models that help manage the radio units feature more than 6,000 parameters, with less than 3% of them mandatory, and network vendors also implement custom protocols.

- WG1:** Use Cases and Overall Architecture Workgroup
- WG2:** The Non-real-time RAN Intelligent Controller and A1 Interface Workgroup
- WG3:** The Near-real-time RIC and E2 Interface Workgroup
- WG4:** The Open Fronthaul Interfaces Workgroup
- WG5:** The Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface Workgroup
- WG6:** The Cloudification and Orchestration Workgroup
- WG7:** The White-box Hardware Workgroup
- WG8:** Stack Reference Design Workgroup
- WG9:** Open X-haul Transport Work Group
- WGx:** Red Hat is WG voting member

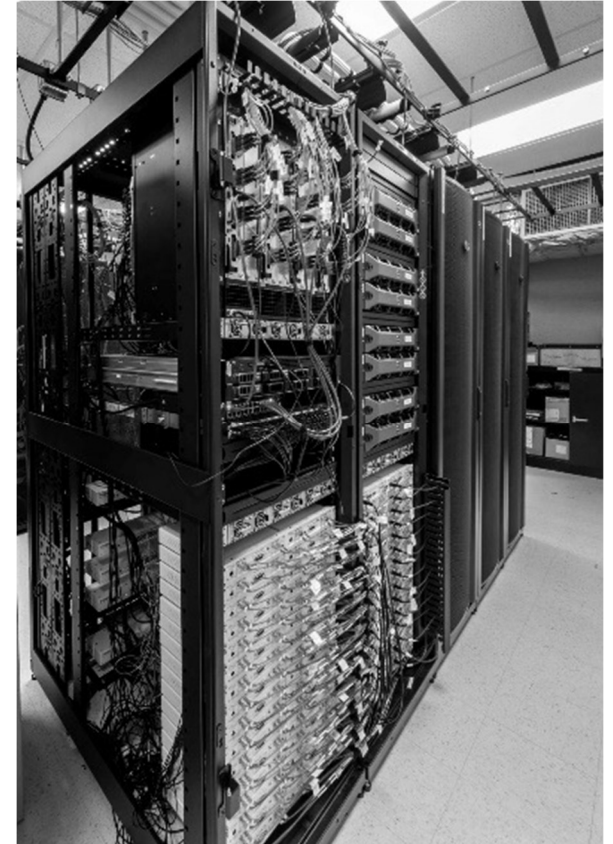
Source: https://www.redhat.com/en/blog/open-ran-and-o-ran-brief?fbclid=IwAR0V6fivK9xv2LEkXNTvjBeOSRVYB0cej4Q_zV6teY2Oh_GrVWmWDMS07js



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ AI/ML @ O-RAN

- O-RAN 구성
- 256 software-defined radios
- 25.6 GHz of emulated bandwidth, 52 TB/s RF data
- 21 racks of radios, 171 high-performance servers w/ CPUs, GPUs
- Massive computing capabilities (CPU, GPU, FPGA):
 - > 900 TB of storage
 - 320 FPGAs
 - 18 10G switches
 - 19 clock distribution systems
 - 52 TB/s of digital RF data



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ RIC

- Near-RT RIC
- Non-Real time RIC

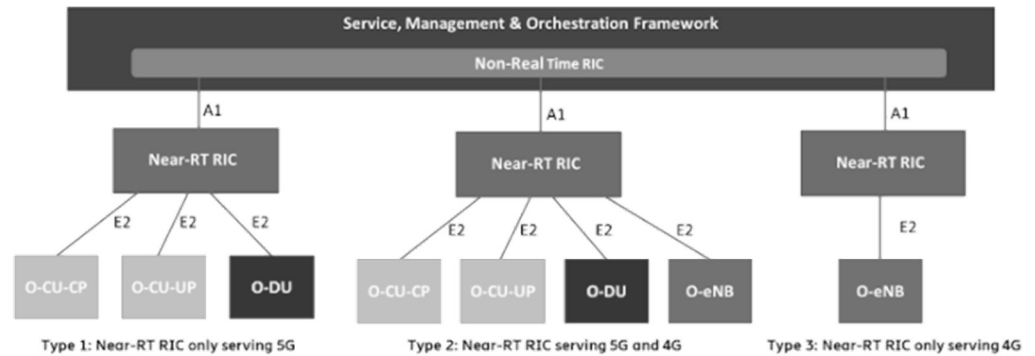


Figure 5: Centralized Near-RT RIC Serving 4G and 5G Simultaneously

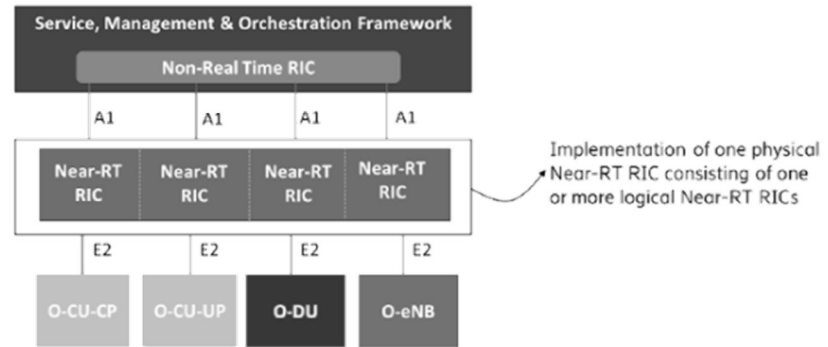


Figure 6: Distributed Near-RT RIC

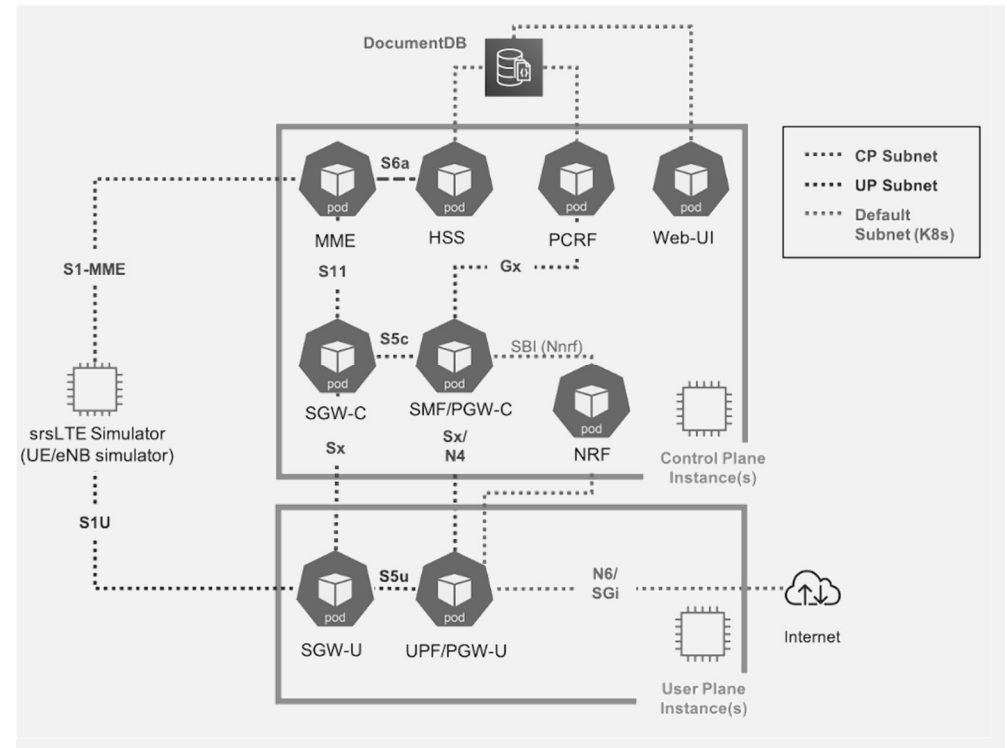
Source: https://www.redhat.com/en/blog/open-ran-and-o-ran-brief?fbclid=IwAR0V6fivK9xv2LEkXNTvjBeOSRVYB0cej4Q_zV6teY2Oh_GrVWmWDMs07js



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Mobile core network implementation on Amazon Elastic Kubernetes Service

Network Function	Role
MME	Mobility Management Entity
HSS	Home Subscriber Server
PCRF	Policy and Charging Rules Function
SGW-c	Serving Gateway Control Plane
SGW-u	Serving Gateway User Plane
SMF+PGW-c	Session Management Function + PDN Gateway Control Plane
UPF+PGW-u	User Plane Function + PDN Gateway User Plane
NRF	Network Repository Function (it is only for NF registration of 5G functions)
Web-UI	GUI to configure subscriber and its profile for HSS/PCRF

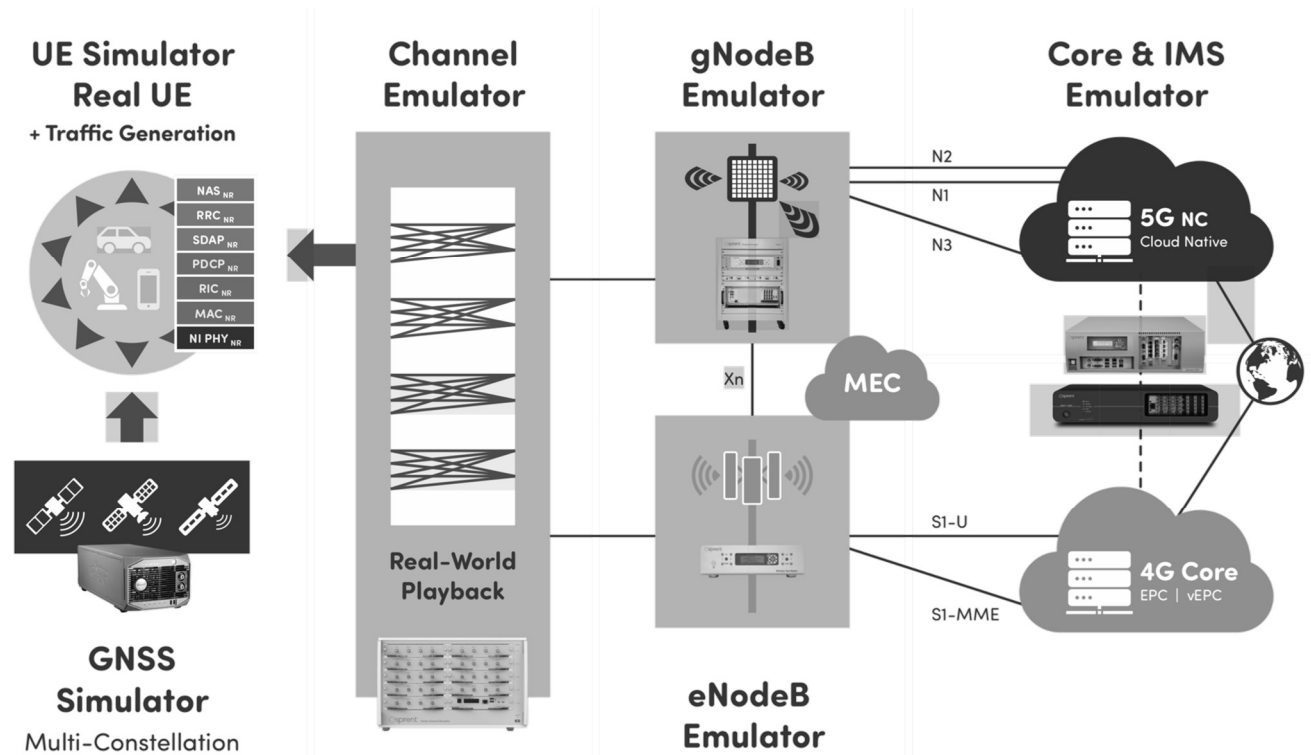


Source: <https://aws.amazon.com/blogs/opensource/open-source-mobile-core-network-implementation-on-amazon-elastic-kubernetes-service/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G Network Digital Twin(s)



Source: <https://cmt.ee.org/futuredirections/2022/06/12/5g-network-digital-twins/?fbclid=IwAR1sGoJ66vhguExYNAtnBM5izfwV05jpDjfbL4Dj-9-gWxZagyrEVarZaak>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G 네트워크 인프라 구성 (시험/개발/구축 기능 연계)

The screenshot shows the KubeSphere Workbench interface. On the left sidebar, the 'default' cluster is selected, and the 'Projects' menu item is highlighted with a dashed box labeled 'Namespace'. The main area displays a table of services in the 'default' namespace:

Service Name	Namespace	IP Address	Port	Protocol	Creation Time
webui-service	default	10.233.35.142	30500	TCP	2022-07-01 01:38:08
udr-nudr	default	10.233.2.107	-	-	2022-07-01 01:38:08
udm-nudm	default	10.233.48.151	-	-	2022-07-01 01:38:08
smf-nsmf	default	10.233.49.167	-	-	2022-07-01 01:38:08
pcf-npcf	default	10.233.61.136	-	-	2022-07-01 01:38:08
nssf-nssf	default	10.233.34.190	-	-	2022-07-01 01:38:08

Annotations in the image include:

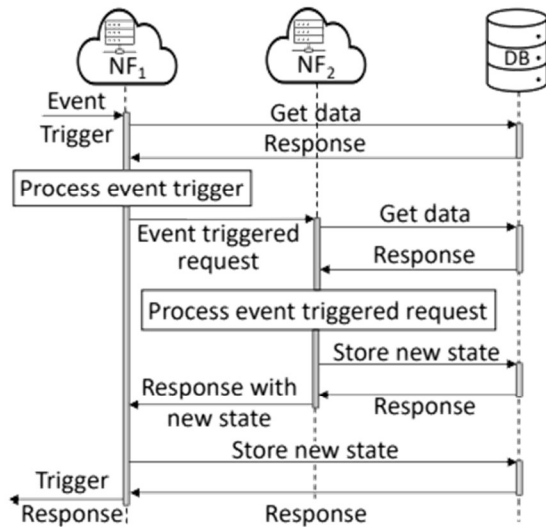
- 'Namespace' pointing to the 'default' cluster and 'Projects' menu item.
- '노출 Port' (Exposed Port) pointing to the '30500/TCP' column for the 'webui-service'.
- '노출 Port 지정' (Exposed Port Designation) pointing to the 'Edit External Access' option in the service's context menu.



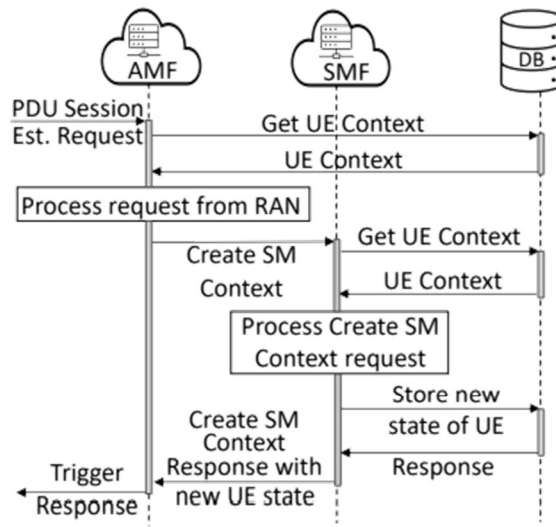
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ The Cost of Stateless Network Functions in 5G

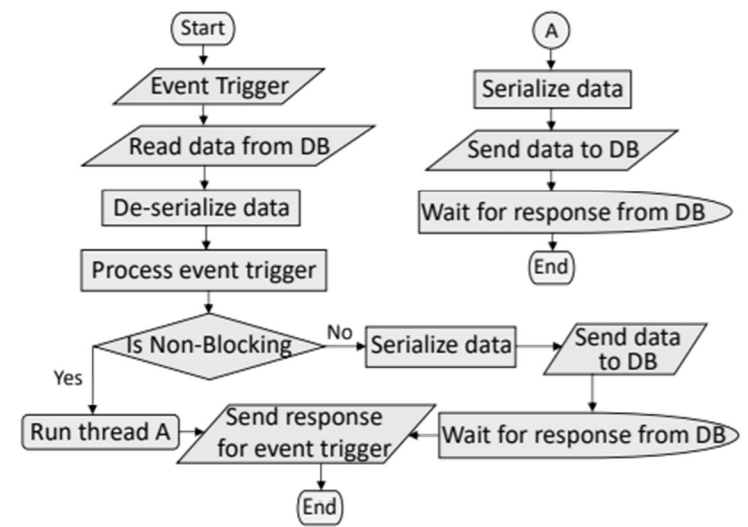
- Transactionally-stateless paradigms



(a) Transactional statelessness



(b) Sharing among AMF and SMF



(c) Non-blocking paradigm

Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvyJYz8l3Ld6GX0K1nKsCtROy7J_ztRDZ_K6UcCR52AZUV519I



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ The Cost of Stateless Network Functions in 5G

- 다른 NF 연결 SMF 트랜잭션
- Stateful과 Stateless
- Stateless 최적화

	NF	Transaction
1	AMF	Create SM Context
2	AMF	Update SM Context
3	AMF	Release SM Context
4	AMF	N1/N2 Message Transfer
5	UPF	PFCP Session Establishment
6	UPF	PFCP Session Modification
7	UPF	PFCP Session Deletion

Table 1: SMF transactions with other NFs

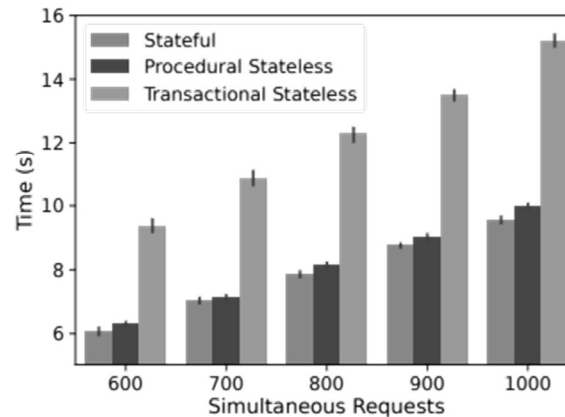


Figure 3: Stateful and stateless paradigms

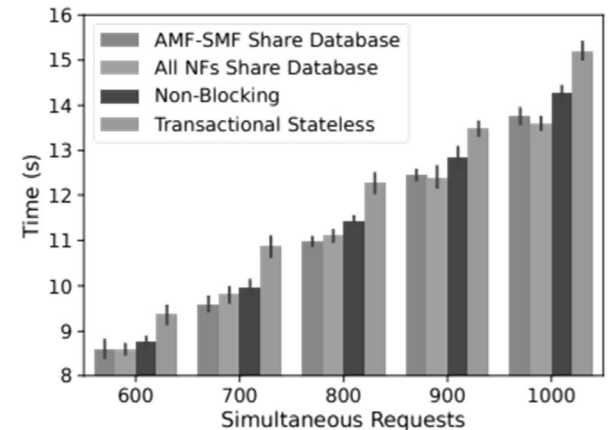


Figure 4: Transactionally-stateless optimizations

Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvyJYz8l3Ld6GX0K1nKsCtROy7J_ztRDZ_K6UcCR52AZUV519I



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ The Cost of Stateless Network Functions in 5G

- mongoDB의 처리시간
- CPU와 큐 길이 (1000 세션)
- AMF/SMF/UPF

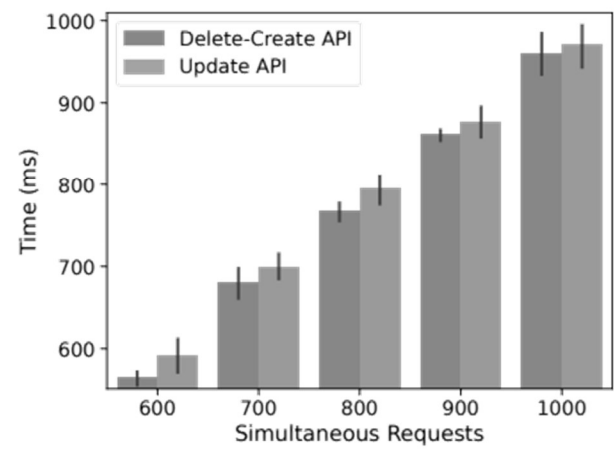


Figure 5: Time spent by mongoDB with update and delete-create

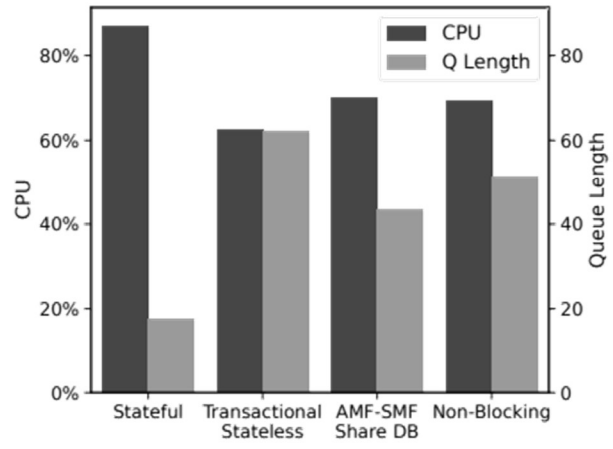


Figure 6: CPU and queue length at 1000 sessions

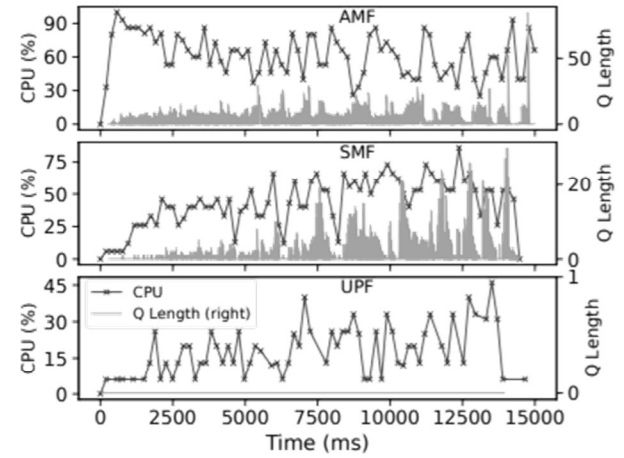


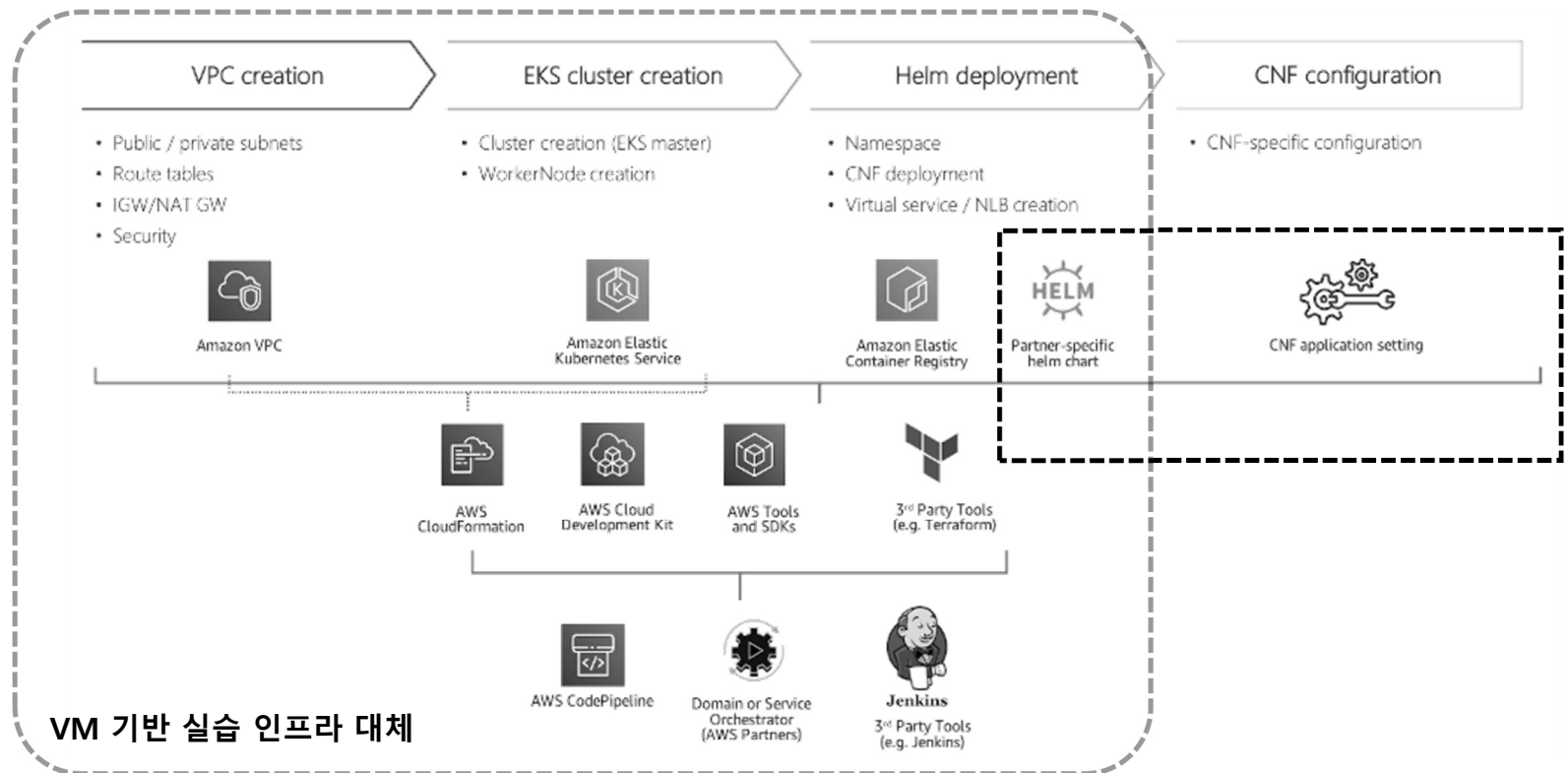
Figure 7: Time series of CPU and queue length at 1000 sessions

Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvyJYz8l3Ld6GX0K1nKsCtROy7J_ztRDZ_K6UcCR52AZUV519I



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Mobile core network implementation on Amazon Elastic Kubernetes Service



Source: <https://aws.amazon.com/blogs/opensource/open-source-mobile-core-network-implementation-on-amazon-elastic-kubernetes-service/>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Capabilities of SDRs and their integration with RAN software

SDR	TX/RX Channels	Frequency Range	Instantaneous Bandwidth (up to)	RAN Software	Target
bladeRF	1	[300 MHz, 3.8 GHz]	28 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
bladeRF 2.0 micro	2	[47 MHz, 6 GHz]	56 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
Iris	2	[50 MHz, 3.8 GHz]	56 MHz	OAI	DAS node, small cell, cell tower
LimeSDR	4 TX, 6 RX	[100 kHz, 3.8 GHz]	61.44 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
USRP B205mini-i	1	[70 MHz, 6 GHz]	56 MHz	srsLTE	DAS node
USRP B210	2	[70 MHz, 6 GHz]	56 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
USRP N310	4	[10 MHz, 6 GHz]	100 MHz	OAI	DAS node, small cell, cell tower, rooftop
USRP X310	up to 2 (daughterboards)	[DC, 6 GHz] (daughterboards)	160 MHz (daughterboards)	OAI, srsLTE	DAS node, small cell, cell tower

Source: Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks: State-of-the-Art and the Road Ahead, Institute for the Wireless Internet of Things, Northeastern University, Boston, MA 02115, USA



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 5G Testbeds (국내 O-RAN 테스트베드 예정 '2023')

Testbed	Technology available	5G Open Source Software	Framework	Scenario
AERPAW	5G and CR for UASs	under development		City-scale outdoor
Arena	5G, CR, massive MIMO	RAN & Core	N/A	Large-scale office
Colosseum	5G, CR	RAN & Core	O-RAN RIC	Large-scale network emulator
CORNET	5G, CR	RAN & Core	N/A	Large-scale indoor
COSMOS	5G, mmWave, CR, optical switching	RAN & Core	O-RAN components	Indoor, city-scale outdoor
Drexel Grid	5G, CR	RAN & Core	N/A	Large-scale indoor
FIT testbeds	5G, CR, IoT, NFV	RAN & Core	OSM	Large-scale indoor
IRIS	5G, CR, Wi-Fi, WiMAX, cloud-RAN, NFV, S-band	RAN & Core	N/A	Indoor
NITOS	5G, CR, Wi-Fi, WiMAX	RAN & Core	N/A	Large-scale indoor and outdoor, office
POWDER-RENEW	5G, CR, massive MIMO, Network Orchestration	RAN & Core	O-RAN RIC	Indoor, city-scale outdoor
5TONIC	5G NFV, network orchestration	N/A	OSM	Data center

Source: Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks; State-of-the-Art and the Road Ahead, Institute for the Wireless Internet of Things, Northeastern University, Boston, MA 02115, USA



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Open frameworks and projects.

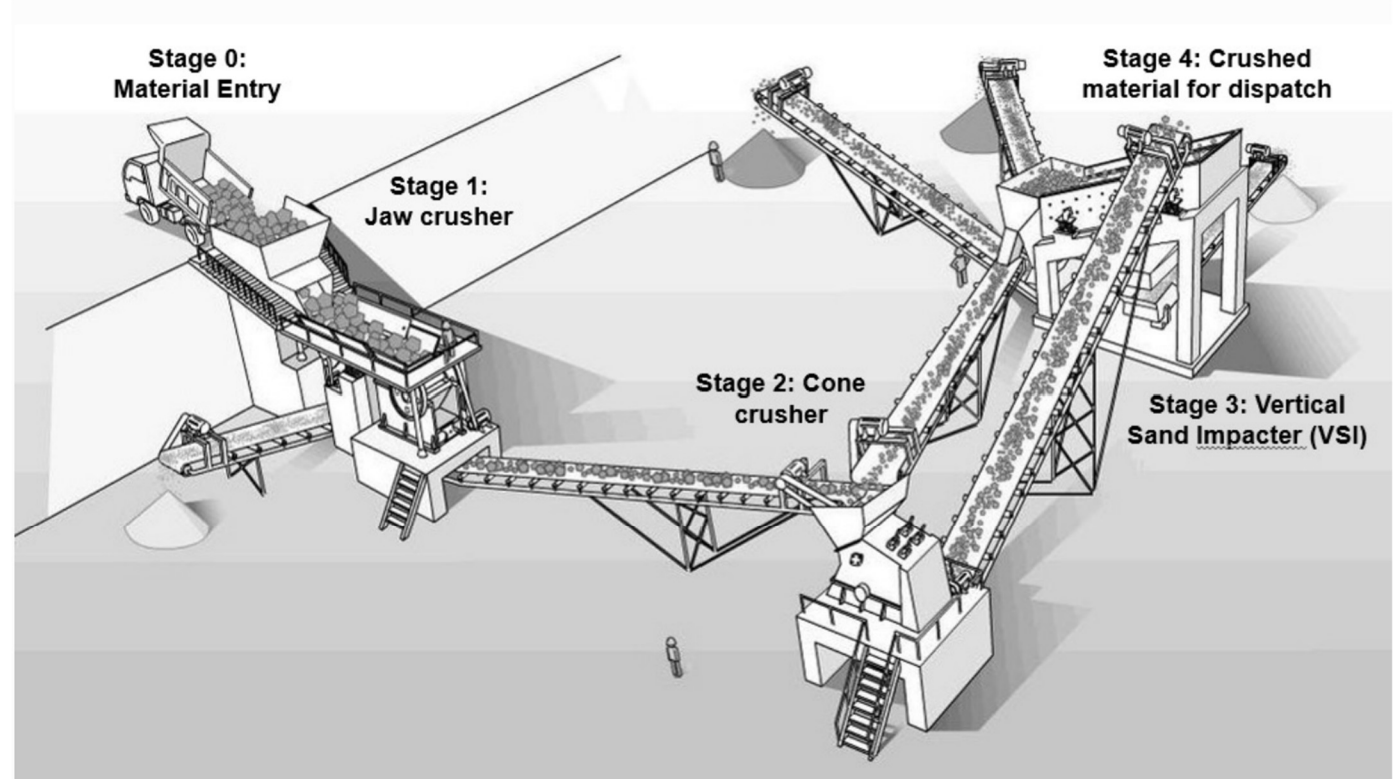
	Framework	Main Focus	Status	License	Main Members	Community Support
	Mobile					
O-RAN	O-RAN [21]	Virtualized, intelligent RAN	available	Apache v2.0, O-RAN Software License v1.0	O-RAN Alliance w/ telecom operators	no
	COMAC [124]	Agile service delivery at the edge	available	Apache v2.0	ONF	mailing list
SD-RAN	SD-RAN [125]	CU/DU control and user planes	under development		ONF	N/A
	Aether [126]	5G/LTE, Edge-Cloud-as-a-Service (ECaaS)	under development		ONF	N/A
	Magma [127]	CN Orchestration	available	BSD	Facebook	mailing list / forum
	OpenRAN [128]	Programmable, disaggregated RAN w/ open interfaces	closed source		TIP	no
	Radio Edge Cloud [129]	O-RAN RIC automated configuration / integration testing blueprint	available	Apache v2.0	Akaino	no
	Aerial [130]	SDK for GPU-accelerated 5G vRAN	early access	proprietary	NVIDIA	N/A
	Slicing					
	5G-EmPOWER [131]	Centralized controlled for heterogeneous RAN	available	Apache v2.0	FBK (in the framework of multiple EU projects)	no
FlexRAN	FlexRAN [132]	Real-time controller for software-defined RAN	available	MIT License	Mosaic5G Consortium	mailing list
	Edge					
	CORD [133]	Data center for network edge	available	Apache v2.0	ONF, AT&T, Google, Telefonica	mailing list
	LL-MEC [134]	Low-latency MEC and network slicing	available	Apache v2.0	Mosaic5G Consortium	mailing list
	LightEdge [135]	MEC services	available	Apache v2.0	FBK (in the framework of multiple EU projects)	N/A

Source: Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks; State-of-the-Art and the Road Ahead, Institute for the Wireless Internet of Things, Northeastern University, Boston, MA 02115, USA



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Stone Crushing Plant at GS Lab



Source: Lab Setup at GS Lab: https://youtu.be/_fOU3a4brPY , Stone Crushing Plant at GS Lab: <https://youtu.be/YWRlXqR0Xnc>



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 오픈 프레임워크와 프로젝트

모바일 (Mobile)					
프레임워크	집중분야	상태	라이선스	Main 멤버	커뮤니티 지원
O-RAN	Virtualized, intelligent RAN	가능	Apache v2.0, O-RAN software license v1.0	O-RAN Alliance w/telecom operators	No
COMAC	Agile service delivery at the edge	가능	Apache v2.0	ONF	Mailing list
SD-RAN	CU/DU control and user planes	개발중		ONF	N/A
Aether	5G/LTE, Edge-Cloud-as-a-Service(ECaaS)	개발중		ONF	N/A
Magma	CN Orchestration	가능	BSD	페이스북	Mailing list/forum
OpenRAN	Programmable, disaggregated RAN w/open interfaces	소스 비공개		TIP	No
Radio Edge Cloud	O-RAN RIC automated configuration/integration testing blueprint	가능	Apache v2.0	Akraino	No
Aerial	SDK for GPU-accelerated 5G vRAN	Early access	proprietary	NVIDIA	N/A

슬라이싱 (Slicing)					
프레임워크	집중분야	상태	라이선스	Main 멤버	커뮤니티 지원
5G-EmPOWER	Centralized controlled for heterogeneous RAN	가능	Apache v2.0	FBK (in the framework of multiple EU projects)	N/A
FlexRAN	Real-time controller for software-defined RAN	가능	MIT License	Mosaic5G Consortium	Mailing list

에지 (Edge)					
프레임워크	집중분야	상태	라이선스	Main 멤버	커뮤니티 지원
CORD (Central Office Re-architected as a Datacenter)	Data center for network edge	가능	Apache v2.0	ONF, AT&T, Google, Telefonica	Mailing list
LL-MEC	Low-latency MEC and network slicing	가능	Apache v2.0	Mosaic5G Consortium	Mailing list
LightEdge	MEC services	가능	Apache v2.0	FBK (in the framework of multiple EU projects)	N/A

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ RAN 소프트웨어 설치 가능한 SDR

SDR	TX/RX channels	Frequency range	Instantaneous bandwidth (up to)	RAN software	Target
bladeRF	1	[300 MHz, 3.8 GHz]	28 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
bladeRF 2.0 micro	2	[47 MHz, 6 GHz]	56 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
Iris	2	[50 MHz, 3.8 GHz]	56 MHz	OAI	DAS node, small cell, cell tower
LimeSDR	4 TX, 6 RX	[100 kHz, 3.8 GHz]	61.44 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
USRP B205mini-i	1	[70 MHz, 6 GHz]	56 MHz	srsLTE	DAS node
USRP B210	2	[70 MHz, 6 GHz]	56 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell
USRP N310	4	[10 MHz, 6 GHz]	100 MHz	OAI	DAS node, small cell, cell tower, rooftop
USRP X310	Up to 2	[DC, 6 GHz]	160 MHz	OAI, srsLTE	DAS node, small cell, cell tower

출처: Survey paper, Computer Networks 182 (2020) 107516, Open, Programmable, and Virtualized 5G Networks: State-of-the-Art and the Road Ahead☆

Leonardo Bonati *, Michele Polese, Salvatore D'Oro, Stefano Basagni, Tommaso Melodia, Institute for the Wireless Internet of Things, Northeastern University, Boston, MA 02115, USA



bladeRF 2.0 micro xA4



Iris V2.1 Transponder Stack



LimeSDR



USRP





**THANK
YOU**

