

5G 네트워크

(Day 3. Private 5G와 테스트베드)

2022년 7월
안종석
james@jslab.kr

1

- Day 1: 5G 네트워크 기술
- 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

2

➤ (별도) Day 4~5 시연/실습

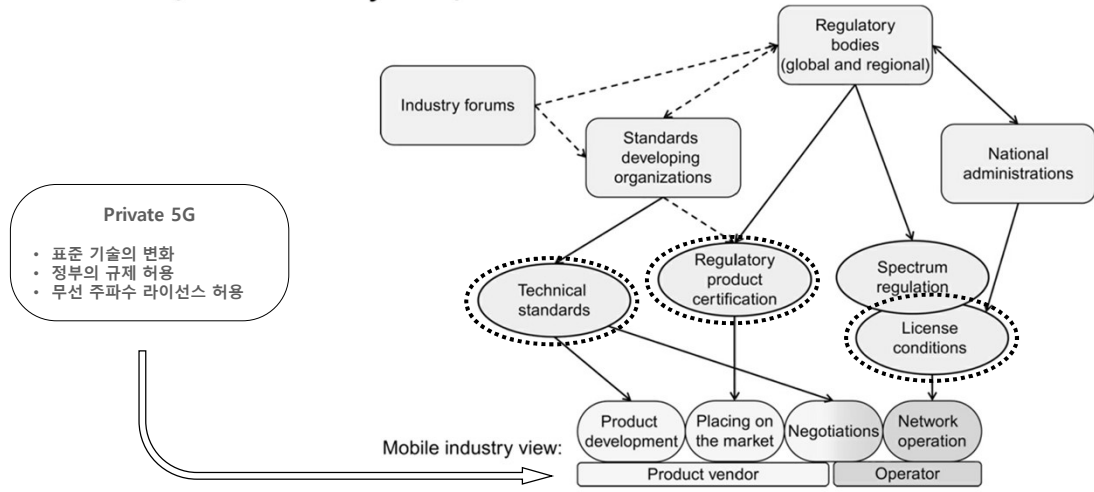
- 개요
- 5 Nodes in One-box Lab (시연)
- 2 Box Lab (실습)
- Cloud Native 5G Network Testbed (실습)

➤ Day 3: Private 5G와 테스트베드

- Review Day 1 / Day 2
- 기업을 위한 5G 특화망
- 5G 특화망 기술
- 제조사 솔루션과 설계 및 구축
- 5G 네트워크 테스트베드

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 모바일 산업 (Mobile Industry View)

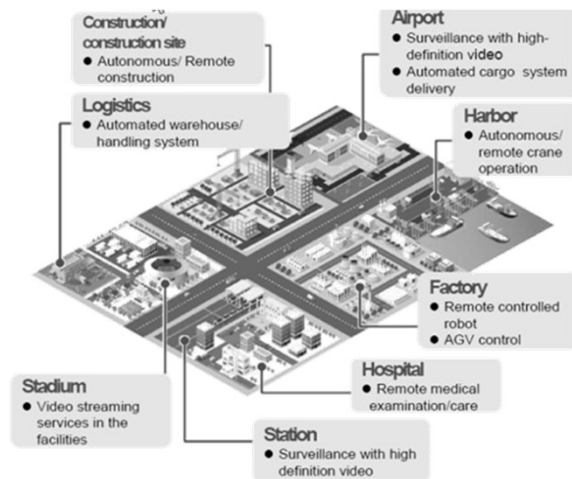


Source: The Next Generation Wireless Access Technology Second, Edition Erik Dahlman Stefan Parkvall Johan Sköld

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)

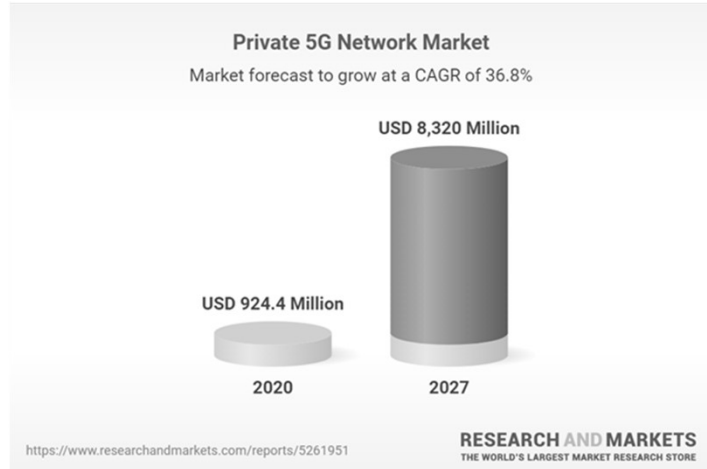


Source: <https://chicagopopular.com/private-5g-according-to-colt-discovering-the-first-use-cases-of-the-multinational/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G Network Market

- CAGR 36.8% 성장 전망



Source: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5261951/private-5g-network-market-share-size-trends>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private 5G

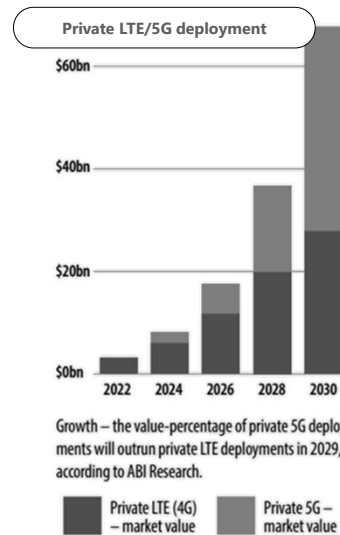
❖ Private LTE/5G

	INDUSTRY	SITES	SIZE
스마트팩토리	Industrial & manufacturing	10,710,000	IM+
창고	Warehouses	3,300,000	
병원/연구소	Hospitals & labs	263,000	100K+
	Water utilities	140,000	
	Mining	54,000	10K+
	Transport venues & ports	50,000	
	Power generation	47,600	
	Military bases	10,000	
	Oil & gas	8,000	1K+
	TOTAL	14,582,600	

Potential venues for private 5G

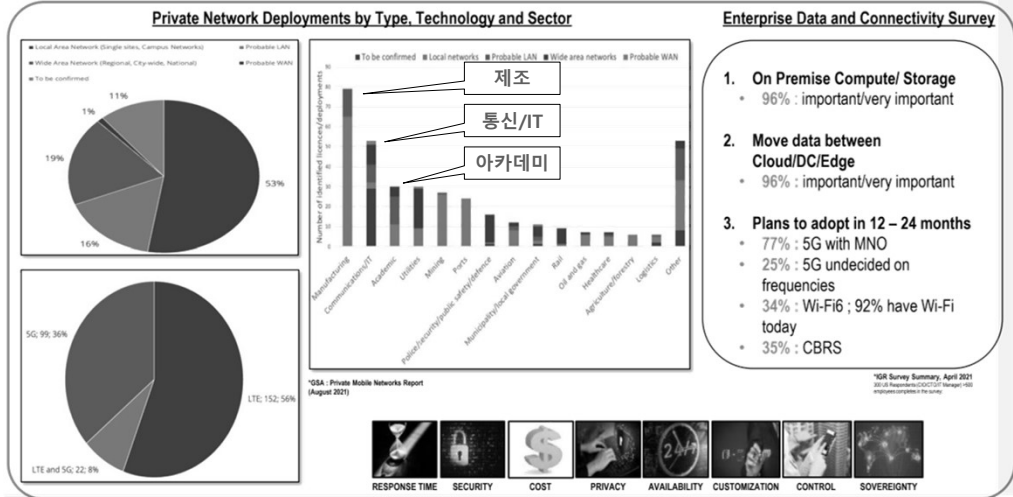
Source: Nokia

Source: 노키아



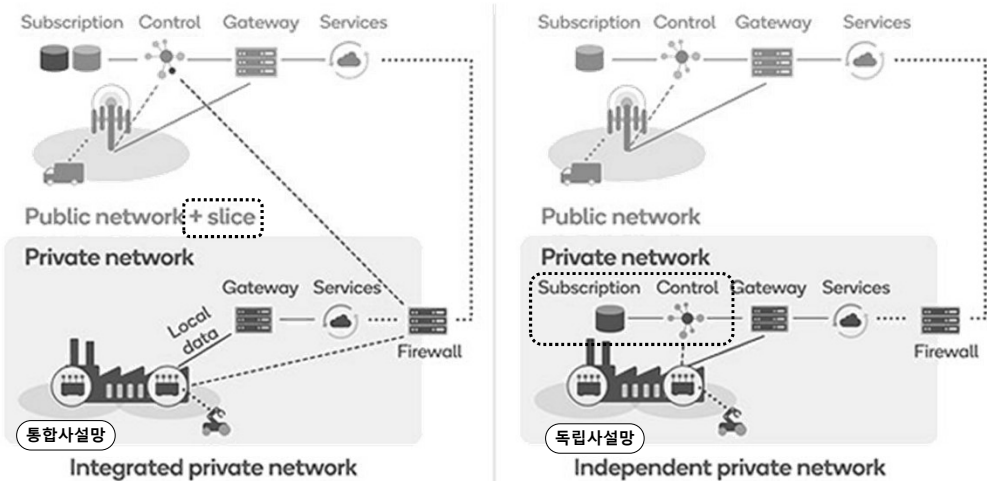
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Private Networks의 기회 (예: Intel)



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, 공모를 통해 명칭 변경 (5G 특화망 -> '이음(e-UM) 5G')
- 초고속 (eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC)의 5G 특징과 사물과 사물까지 이어준다는 의미 반영

('21.1월) 5G 특화망 정책방안			('21.6월) 5G 특화망 주파수 공급방안		
구축주체	서비스 제공대상	도입방식	주요 내용		
Type 1	수요기업	수요기업 한정	수요기업이 자가량 설치자 신고	28GHz (600MHz)	26.5 ~ 28.9 ~ 29.5GHz
Type 2	수요기업	수요기업+협력사, 방위력 등	수요기업이 기간통신사업자 등록	4.7GHz (100MHz)	4.5 ~ 4.72 ~ 4.82 ~ 5.0GHz
Type 3	재3차 등	수요기업+협력사, 방위력 등	재3차가 기간통신사업자 등록		

Source: <https://www.kca.kr/contentsView.do?pagelId=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

13

- ❖ 비즈니스(예): 네이버클라우드, 국내 첫 5G 특화망 사업자 등록...통신망 직접 구축
 - 네이버 2사옥에 구축된 5G로 자율주행 로봇 서비스
 - 네이버랩스 개발 로봇 자율주행 용도 5G 구축

2021년 12월 28일 과기정통부는 5G 특화망을 '이음(e-Um) 5G'라는 새 이름으로 부를 계획이라고 밝혔다.

과기정통부는 한국방송통신전파진흥원과 함께 2021년 11월 29일부터 12월 17일까지 5G 특화망 새 이름 공모전을 진행한 결과 총 3천 300여건이 제출됐고 관련 전문가로 구성된 심사위원회를 거쳐 6개의 당선 명칭을 선정



Source: <https://zdnet.co.kr/view/?no=20211228110405>

JS Lab

13

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

14

- ❖ 비즈니스(예): LG CNS가 5G 특화망을 신청하고 스마트팩토리에 5G를 결합해 디지털 전환 사업을 추진

5G 특화망과 5G 이동통신망 비교

	5G 특화망	5G 이동통신망
서비스 범위	생산 기지, 건물 등	전국
서비스 기업	LG CNS 등 수요기업, 기관	이동통신사업자
서비스 대상	수요기업, 기관, 기업 고객(B2B)	이동통신 가입 소비자(B2C)
주요 활용처	스마트팩토리, 원격제어 등 다양	음성, 데이터 중심
주파수 대역	4.7GHz, 28GHz	3.5GHz, 28GHz



Source: <https://www.inews24.com/view/1456796>

JS Lab

14

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

15

- ❖ 비즈니스(예): LG유플러스는 6일 네트워크 인프라 개선에 활용할 미래 클라우드 기술을 확보하기 위해 아마존웹서비스 코리아와의 네트워크 클라우드 기술 개발
 - 5G 네트워크 인프라에 클라우드 기술 도입
 - DX 기술을 활용한 네트워크 품질 향상 방안 연구
 - AWS의 미래기술의 선제적 실증 등 협력



Source: https://n.news.naver.com/article/014/0004798468?cde=news_my&fbclid=IwAR1NgYO-AXNBk8yzpryN3IS8684BzLRaHD12b8c9AhWUIY7c5aczEC5D71

JS Lab

15

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

16

- ❖ 480억원 투입해 11개 과제 실증: 대한민국 정책브리핑(www.korea.kr)
 - 공공분야 7개·민간 4개 대상...8월 '5G 얼라이언스' 출범 (2022.06.29 과학기술정보통신부)

구분	예산	주요내용	전담기관	
공공	5G융합서비스 공공부문 선도적용	400억원	공공의료, 물류, 안전, 항공, 에너지 + 자유공모 2개 (분야별 55억원 내외)	NIA
민간	5G B2B 서비스 활성화	40억원		
	28GHz 산업융합 확산	40억원	문화, 교육 (분야별 18억원 내외)	NIPA

Source: <https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148902999>

JS Lab

16

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

17

❖ 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 엔터프라이즈 제조사의 5G를 위한 클라우드 네이티브 플랫폼 제공
- **Mainstream:** Nokia, ZTE, Canonical, Huawei, Google, Ericsson, Wind River
- **Followers:** AWS, Microsoft Azure

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

JS Lab

17

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

18

❖ 이음5G 장비

제조사별 이음5G 장비 특징

ERICSSON

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

NOKIA

MPW 아키텍처
기업이 코어를 비롯한 5G 솔루션을 모듈 형태로 내부에 구축하고 직접 운용하는 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

삼성전자 프라이빗 5G 솔루션

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
60% 이하 대역은 실내용 링크허브 제공, 60% 이상 대역에서는 일체형 콤팩트 매크로(실외용)와 링크셀(실내용) 제공



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

JS Lab

18

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 이음5G 장비

Indoor Solution

Link Cell Link HubPro Link Hub

Outdoor Solution

Radio Compact Macro Massive MIMO Radio

삼성전자 프라이빗 5G 솔루션

Private Network Switch
Baseband
Private Network Core + Management
Application

Ericsson Private 5G product offering

Enterprise friendly management Macro radio Radio dot Micro radio SIM card Baseband

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

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

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

Nomadic Edge

이동 예지

Coverage & safety

Enterprise Edge

엔터프라이즈 예지

Ultra low latency & security

Telco Edge

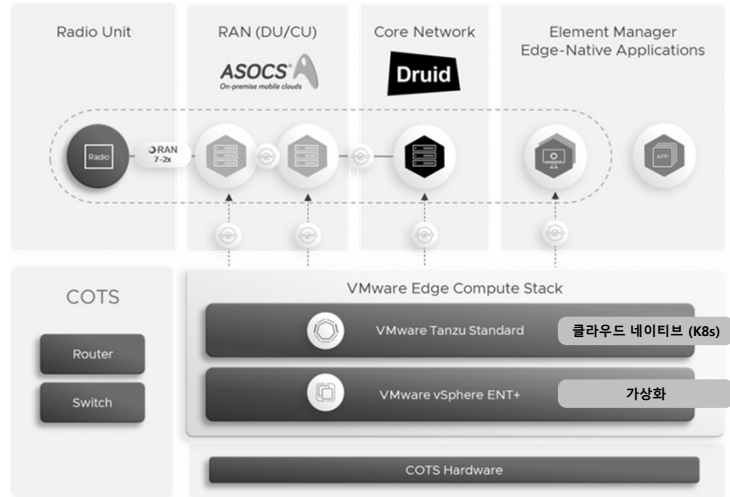
텔코 예지

Reliability & performance

	Nomadic Edge	Enterprise Edge	Telco Edge
Deployment	Backpack, Cellular on Wheels	Customer On-Premise	Distributed CSP Clouds
Use Cases	First Responders, Rural Capacity, Drones, Events, Pop-up 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)

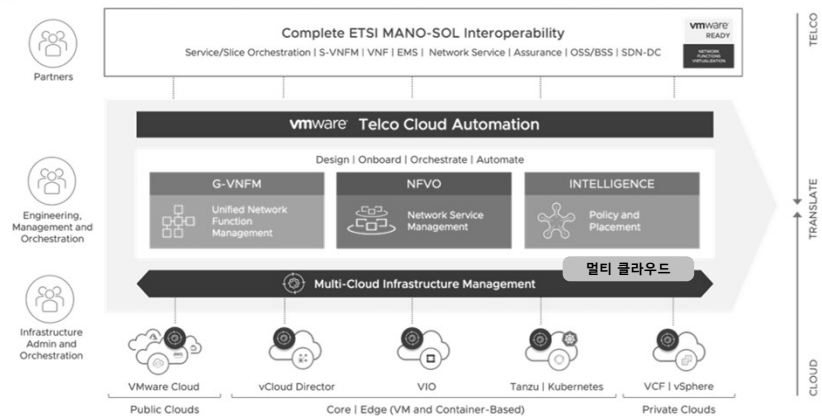


Source: <https://blogs.vmware.com/telco/private-5g/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

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

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

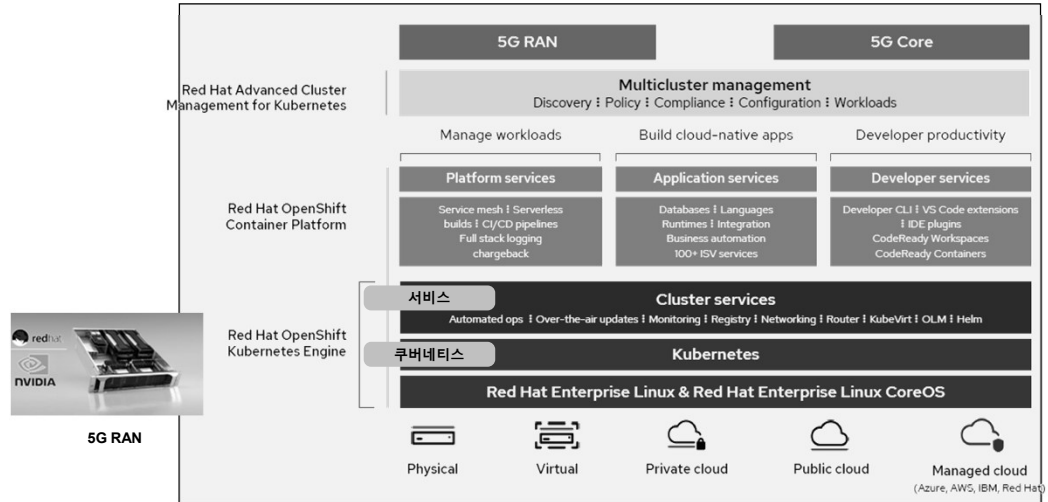


Source: <https://blogs.vmware.com/telco/introducing-telco-cloud-automation/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

23

❖ Red Hat OpenShift as a 5G NFV platform



Source: Red Hat

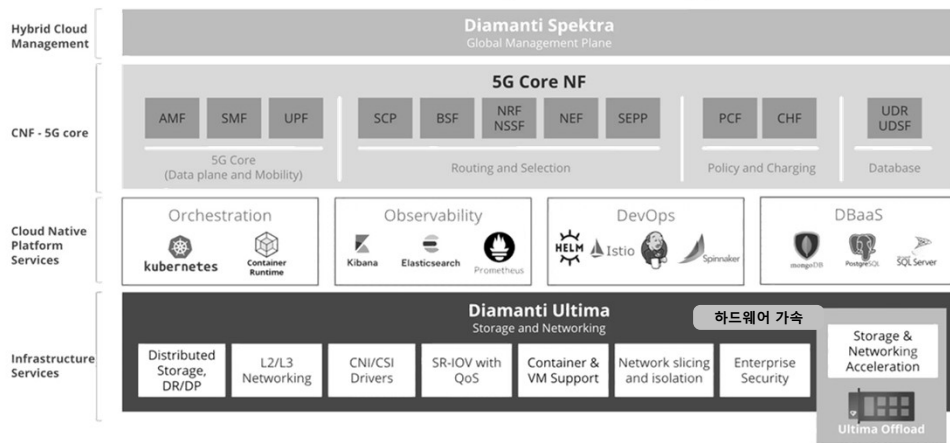
JS Lab

23

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

24

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



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

JS Lab

24

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

25

❖ 이음5G 사업자 SK네트웍스서비스

- 과기정통부는 SK네트웍스서비스가 신청한 400메가헤르츠(MHz) 대역폭의 28.9GHz~29.3기가헤르츠(GHz)와 100MHz 폭의 4.72GHz~4.82GHz 대역 전체를 할당 (2만7868제곱미터(m²)의 센트럴 창원 공장에 이음5G를 도입해 3년간 사용하는 조건으로 480만원의 주파수 할당 대가를 지불)
- 공장에 이음5G를 구축해 자율 이동 로봇(AMR)을 운용, 공장 물류를 자동화 예정
- 디지털 트윈 기반의 관리/관제 서비스로 제조 공정을 실시간 모니터링/시뮬레이션해 유연한 생산 체계 구현



Source: http://it.chosun.com/site/data/html_dir/2022/05/26/2022052601500.html

JS Lab

25

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

26

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

Local Spectrum Licenses

Public network

- 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

1 3.7 - 3.8 GHz

2 24.25 - 27.5 GHz

Fee [€] = 1000 + B [MHz] * t [years] * f * (6a₁ [km²] + a₂ [km²])

a₁: populated areas, a₂: rural areas, f= 5 (for 3.7-3.8 GHz) or 0.63 (for 24.25 - 27.5 GHz)

Example: 450 000 m², populated area, 3.7 - 3.8 GHz, 10 years
→ ~€ 1 450 / year

약 200 만원

✓ **Lessons Learned:**

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

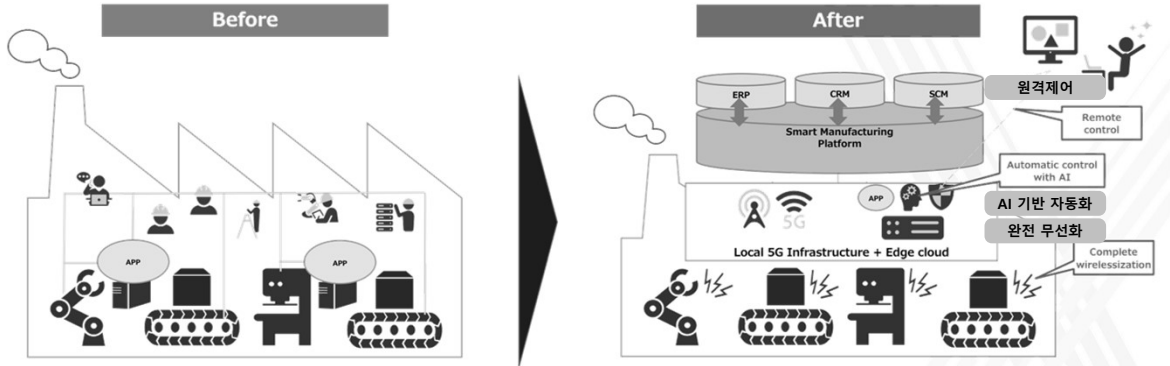
→ Enterprise-friendly framework ☺

JS Lab

26

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ OT Network Transitions (예: NTT Communications Corporation)

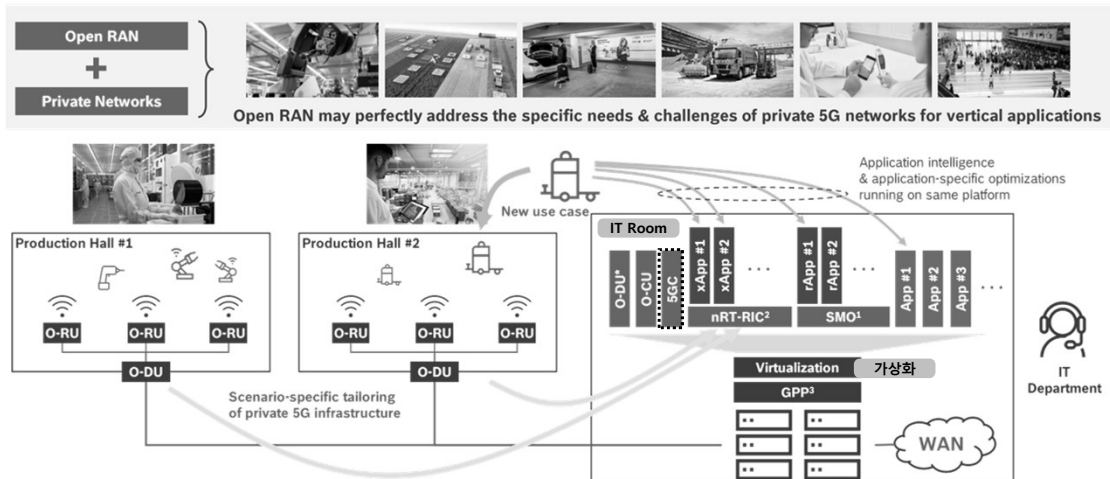


- Laying wired NWs for collecting operational facility data in a factory is a challenge.
- Managing disparate legacy applications is difficult.
- Employees basically need work onsite.

- 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)

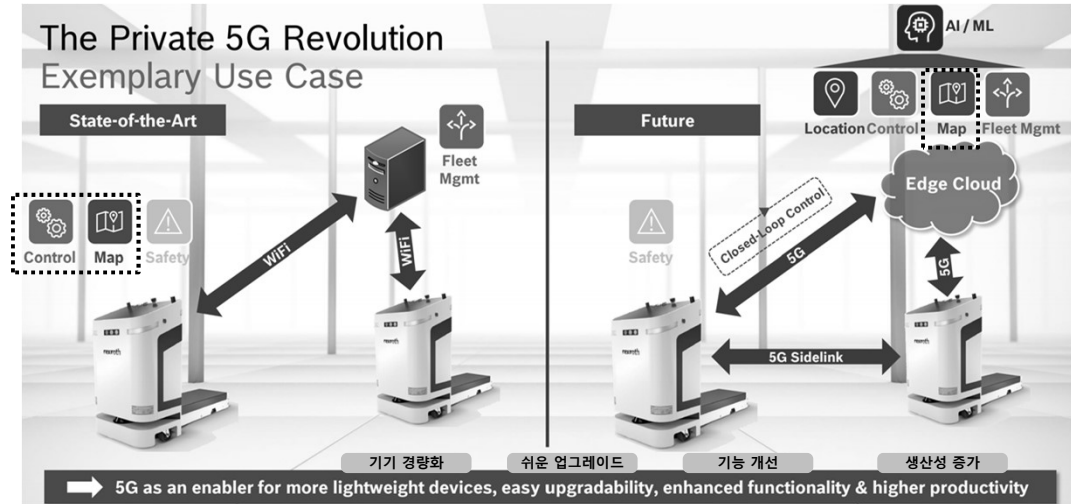


16 CR/ADT1 - Andreas Mueller | 29 September 2021 ¹Service Management & Orchestration ²RAN Intelligent Controller ³General Purpose Processor

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

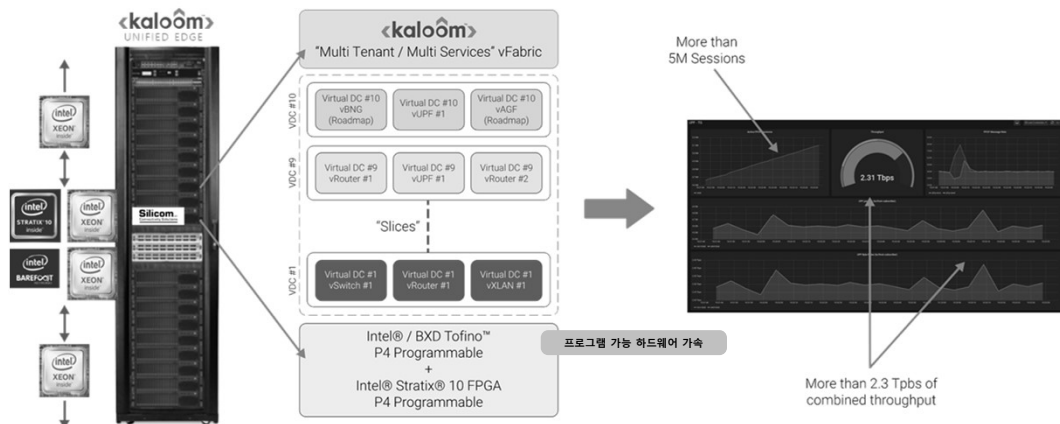
❖ Private 5G (예: Bosch)

The Private 5G Revolution Exemplary Use Case



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

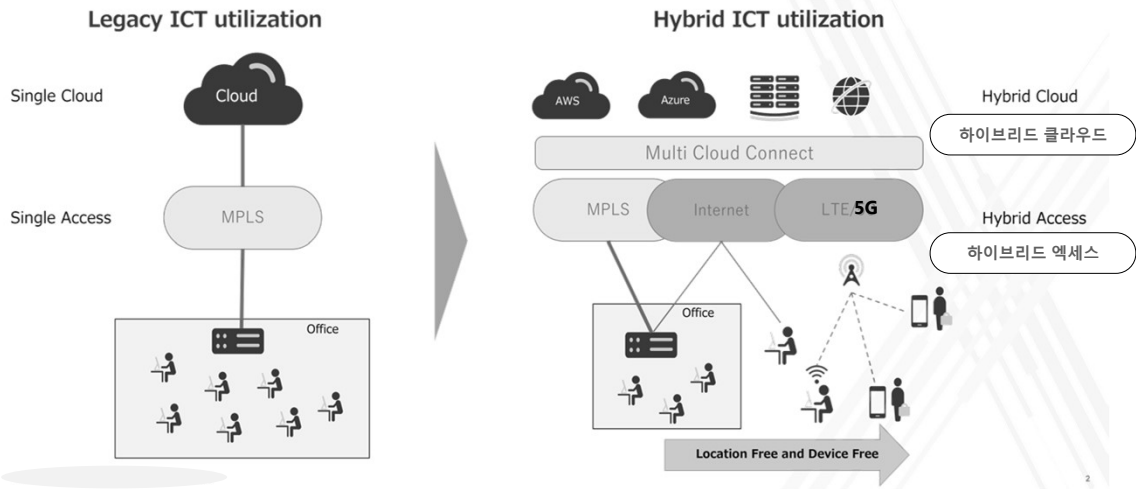
❖ Data Plane 가속 (예): 엣지를 위한 컨테이너 플랫폼의 P4 사용



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

31

❖ Enterprise Network Transitions (예: NTT Communications Corporation)



JS Lab

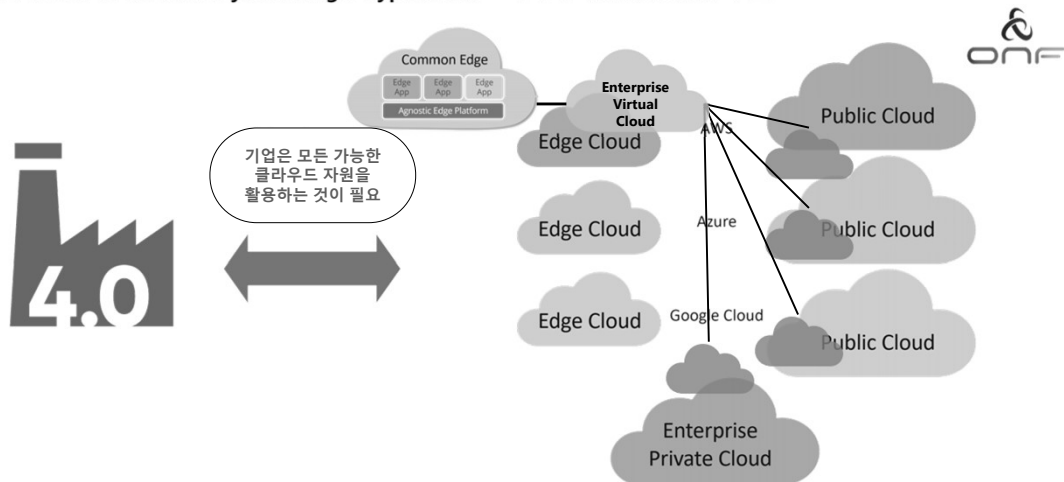
31

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

32

❖ 멀티클라우드의 뉴노멀 (ONF: Enterprise Multi-Cloud is the New Normal)

- Can't afford to be tied to just a single hyperscaler – 하나의 'Virtual Cloud' 필요



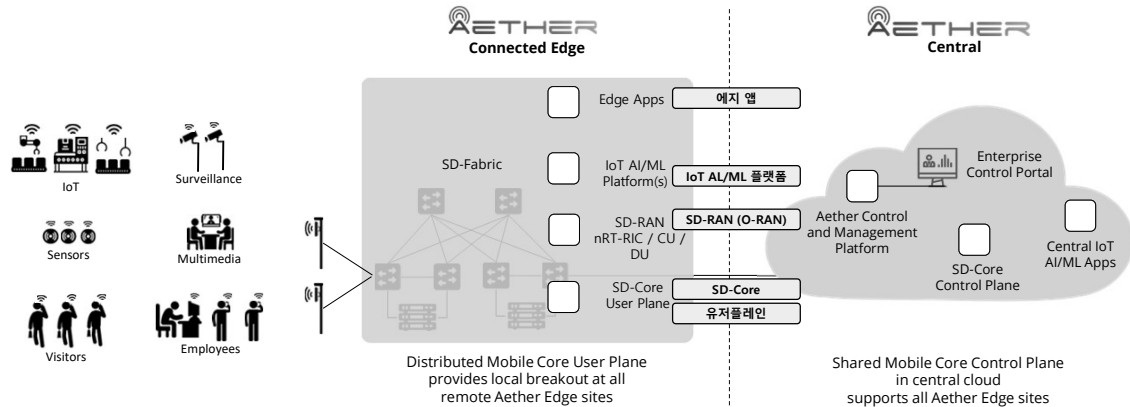
JS Lab

32

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

33

❖ Aether: 5G/LTE Private Edge Cloud



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

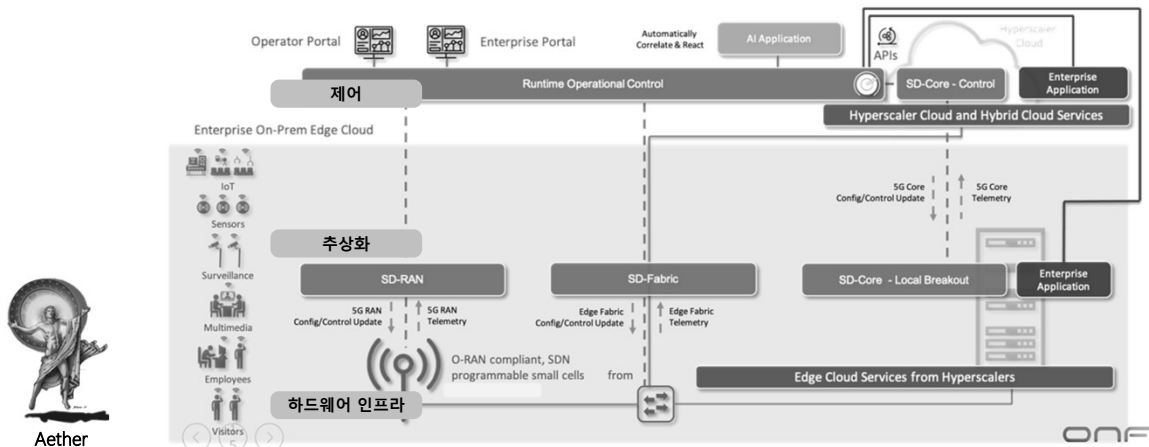
JS Lab

33

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

34

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



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

JS Lab

34

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Common Use Cases in Manufacturing (예: ONF)

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

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

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

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

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

Parameter	Values	Low latency
UL/DL Data rate	100 Kbps	URLLC
RTT	2 ms	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

ONF

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

Warfighter to Warfighter

Warfighter to Machine

Machine to Machine

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

Health Status Monitoring

Vehicle to Infrastructure

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

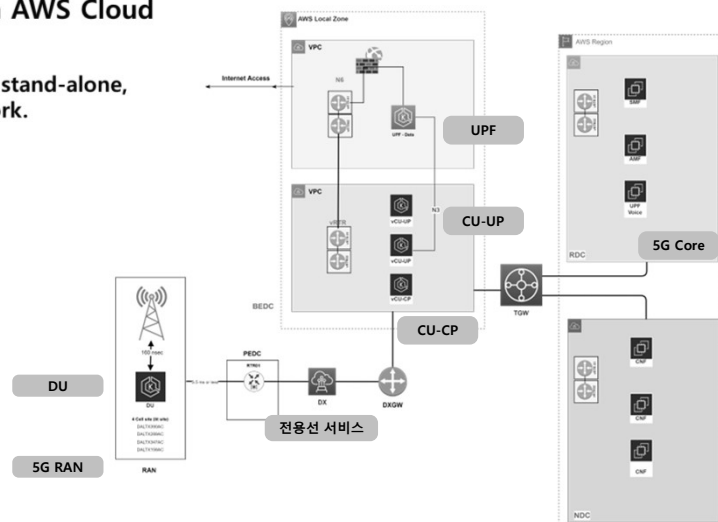
low SWaPC (Size, Weight, and Power, and Cost)



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

39

❖ 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.
- 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.

MS 하이브리드 클라우드 제품의 AT&T를 위한 플랫폼 제공

MS의 통신장비 제조사 인수

Matt Kapko | Senior Editor, March 3, 2022 10:00 PM

Source: <https://www.sdxcentral.com/articles/news/aws-ceo-twists-cloud-giant-all-over-telco-systems/2022/03/>

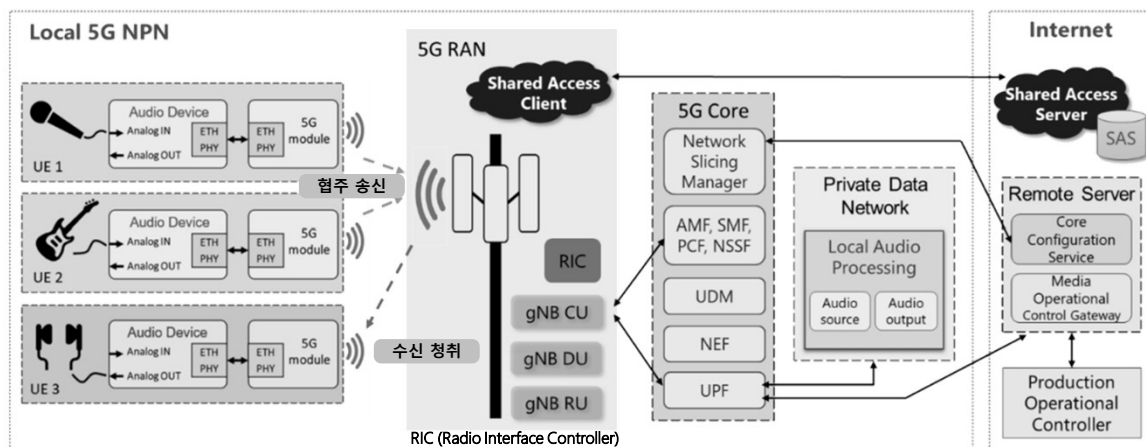
JS Lab

39

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

40

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



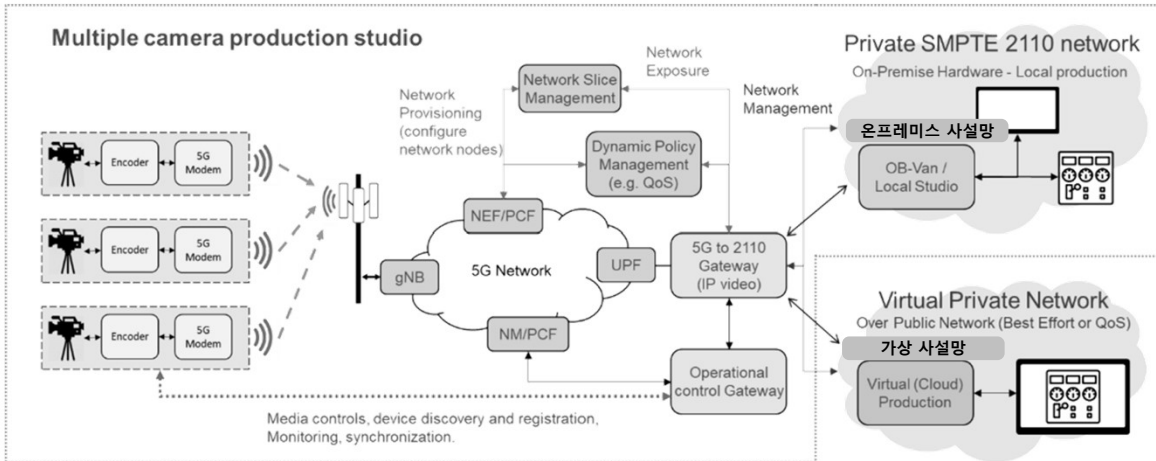
Source: 5GPPP Architecture Working Group, 5G Architecture White Paper

JS Lab

40

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

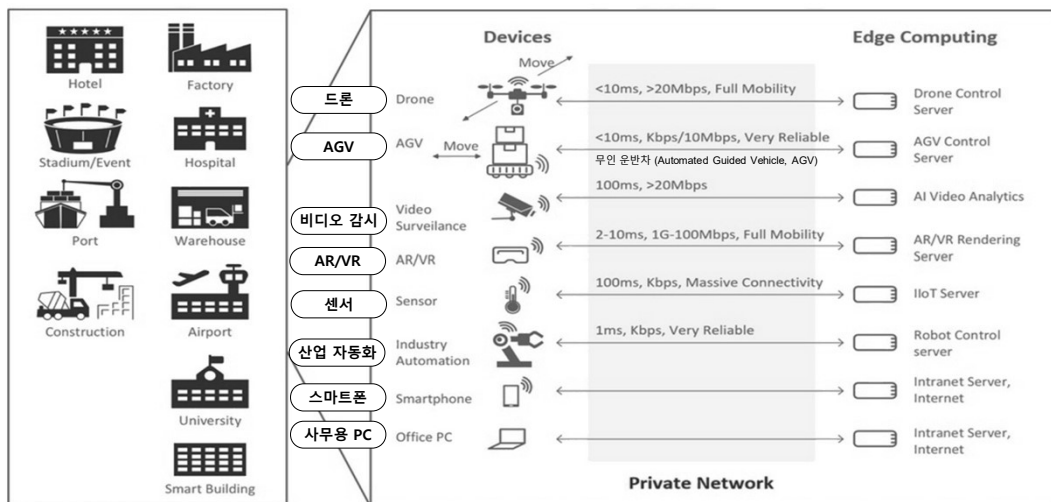
❖ Architecture of the multiple camera wireless studio use case (Private 5G)



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

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Industry Digital Transformation and requirements for the communication connection

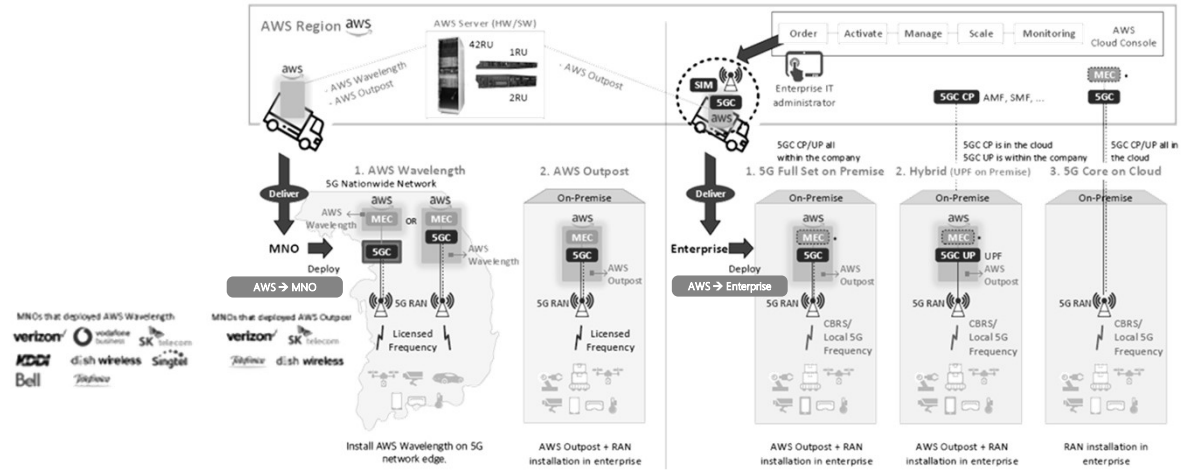


DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

43

❖ 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](#) >>



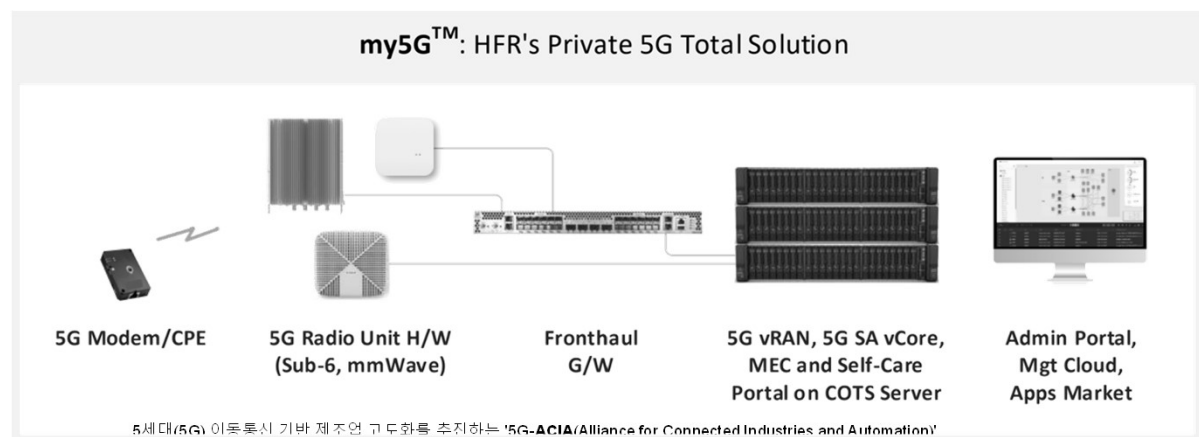
JS Lab

43

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

44

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



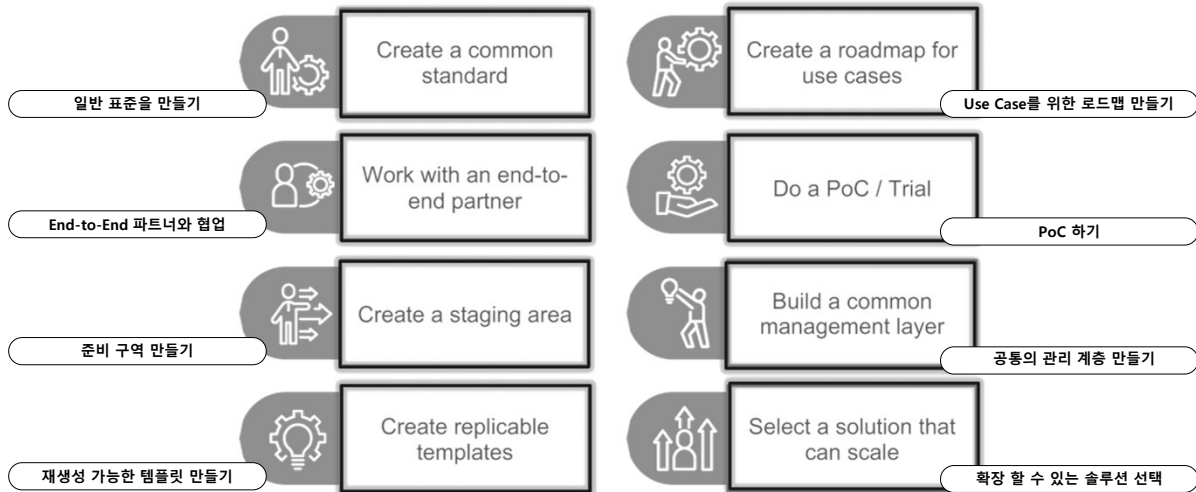
JS Lab

44

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

45

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



JS Lab

45

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

46

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



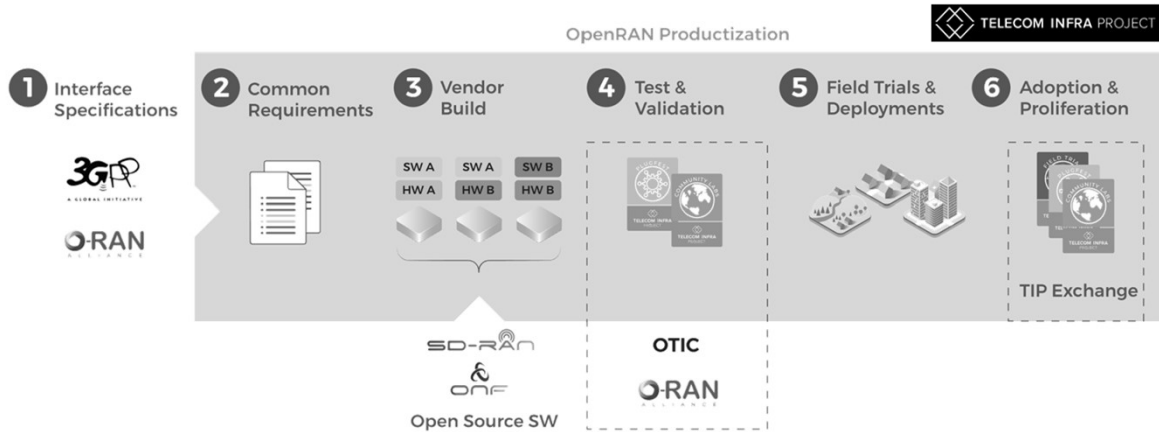
JS Lab

46

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

47

❖ OpenRAN and Industry Collaboration



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

JS Lab

47

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

48

- ❖ 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



JS Lab

48

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

49

- ❖ 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>

JS Lab

49

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

50

❖ 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/>

JS Lab

50

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



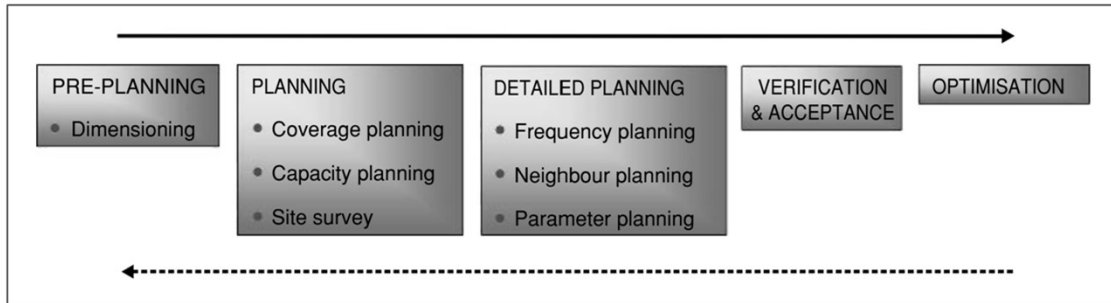
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

53

❖ 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

JS Lab

53

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

54

❖ 5G 특화망 네트워크 설계 절차(예시)



최번시(Busy Hour)의 소요
트래픽 용량과 향후
확장성 고려

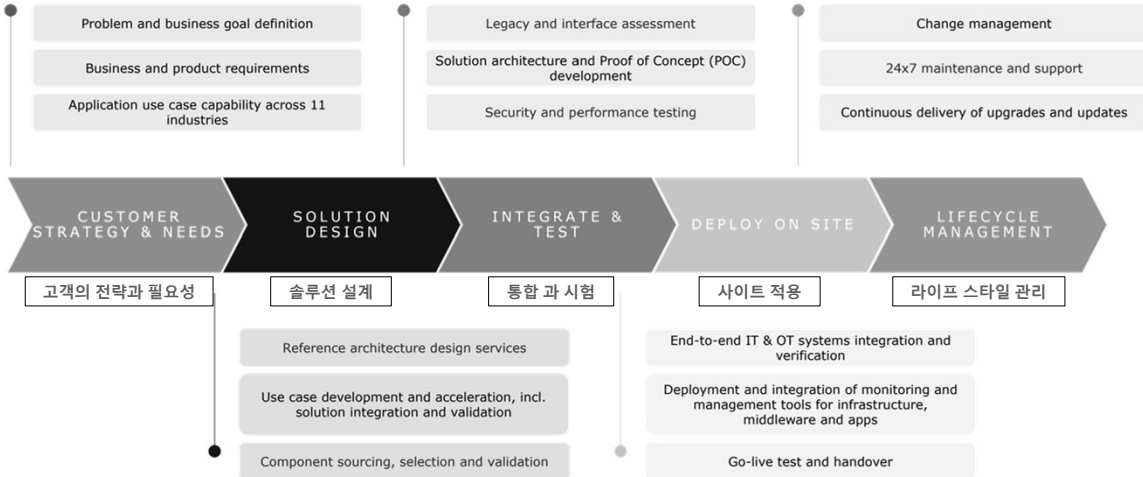
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)

JS Lab

54

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

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

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

57

❖ 5G코어망 구성방식 비교

구분	데이터 관리	유지보수 인력	비용절감	보안	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.)

JS Lab

57

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

58

❖ 특화망 도입 시 고려해야 할 보안 인증제도

대상	인증	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.)

JS Lab

58

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

59

❖ 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.)

JS Lab

59

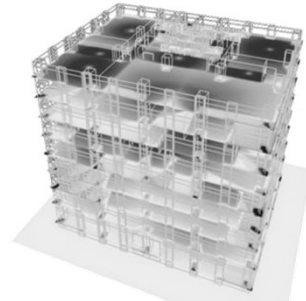
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

60

❖ 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/>

JS Lab

60

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
10m	2	ADS 500	Single Band
Primary Band	Simulation Type	Band 1, Tech 1 Indoor System	Band 1, Tech 1 Technology
Band 1	Downlink + Uplink	ADS 500	5G
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)
879(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	95.00	OFF	OFF
Integrated Indoor Modeling	Integrated Micro Modeling	Uplink Traffic Volume Per Subscriber (GB/Month/Sub)	Downlink Traffic Volume Per Subscriber (GB/Month/Sub)
OFF	OFF	1.2000	2.2000
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)	Ant Area (m ²)
1	4.00	2.80	1.50	40	6048.00	4048.00

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

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ SIM/eSIM 제품 종류

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

1) 기존의 SIM Cards (pSIM : PlasticSIM) : Pre-loaded Profile

SIM 제품 Type	SIM 타입	Profile	R/W	단말 Type
P-SIM 4G	직물식 (Card Type HW)	Pre-loaded	ReadOnly	Smartphone
P-SIM 5G	직물식 (Card Type HW)	Pre-loaded	ReadOnly	Smartphone

2) eSIM Cards : P-UICC (eSIM) : empty Profile (LPA-e 을 SIM Card Type HW 에 탑재)

SIM 제품 Type	SIM 타입	Profile	R/W	단말 Type
P-UICC (eSIM)	직물식 (Card Type HW)	empty	Read / Write	Smartphone

3) eSIM Cards : P-UICC (eSIM) : empty Profile

SIM 제품 Type	SIM 타입	Profile	R/W	단말 Type
P-UICC (eSIM)	직물식 (Card Type HW)	empty	Read / Write	Smartphone

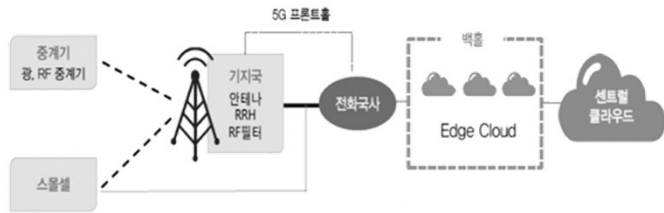
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)

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 OTM527



Sub 6 Module



mmWave Module

Model	HM-900
5G NR	3GPP Release 15 NSA/SA
Sub-6G	N77 / N78 / N79
mmWave	N257/N258/N260/N261(Option)
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-2qs 기준
제공기능	AMF/SMF/UDM(with AUSF)/PCF/UPF/EMS/DB
형태 및 사이즈	범용 HW, 용량에 따른 HW 변경 가능
사용 HW 스택	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, SyncE

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)	128T/128R
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

QUCCELL® 5G Small Cell Solutions

QUCCELL® can meet different requirements with various products. QUCCELL® 5G solutions support mmWave and Sub6, NSA and SA. QUCCELL® 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	QUCCELL® 5G mmWave All-in-One Type (CU+DU+RU)	QUCCELL® 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	

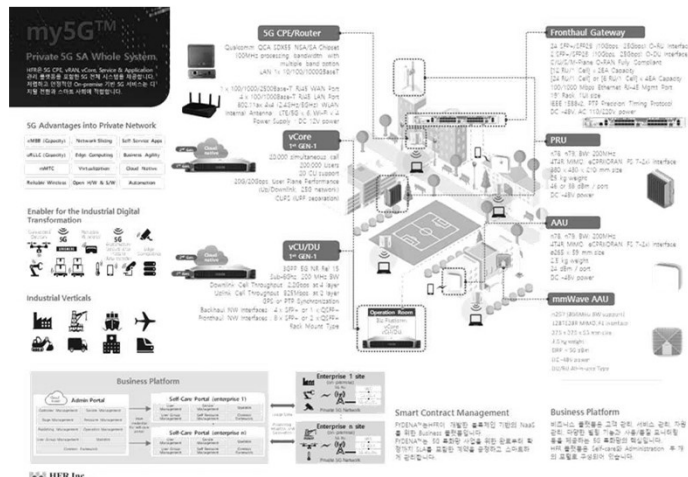
ITEM	Specification	Remark
Frequency (Band)	Sub 6GHz	n78, n79, and etc.
Maximum Tx Power	EIRP 50dBm (64QAM)	
Bandwidth	100MHz	
Modulation	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM	
Antenna	2T/2R	MIMO 2x2
Backhaul	2.5Gbps NBase-T Ethernet	802.3 10GBase-X
Power	AC adaptor : AC 100~240V, 50/60Hz DC 12V	Using AC/DC adaptor.
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.))

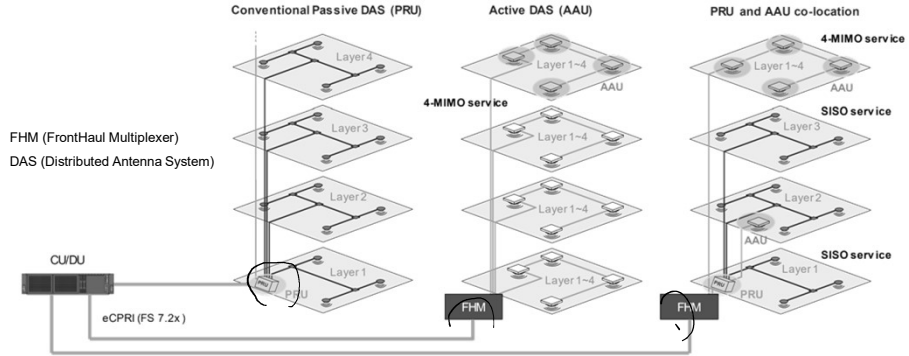
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 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 서비스 coverage 확장 가능



Source: www.hfrnet.com

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

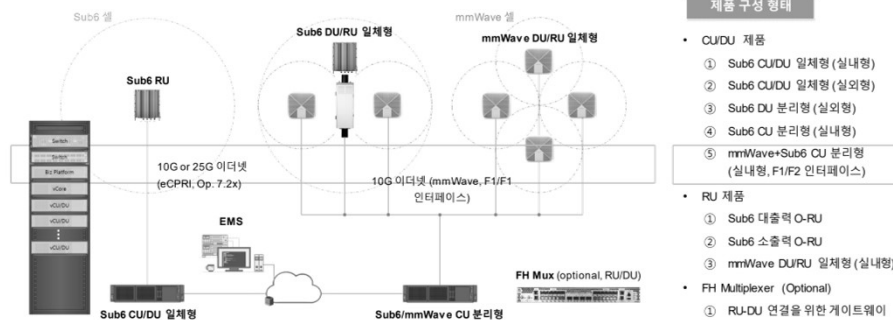
❖ 통신장비 제조사 HFR 5G NR RAN 솔루션 (예)

서비스 위한 셀 구성

- Sub6 single 셀
- mmWave single 셀
- NR-DC dual 셀 (Sub6 + mmWave) | 주1

[주 1] NR-DC 용 mmWave 제품은 SW 변경 (CU 연동용 LTE eNB 연동으로 수정) 통하여 EN-DC로 적용 가능

고객 요구 따른 유연한 망 구성



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

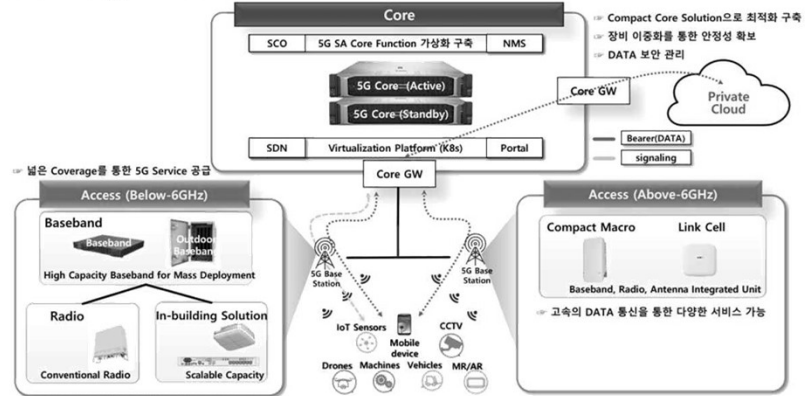
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 삼성

- Core, Access

Samsung 5G 구성도

SAMSUNG



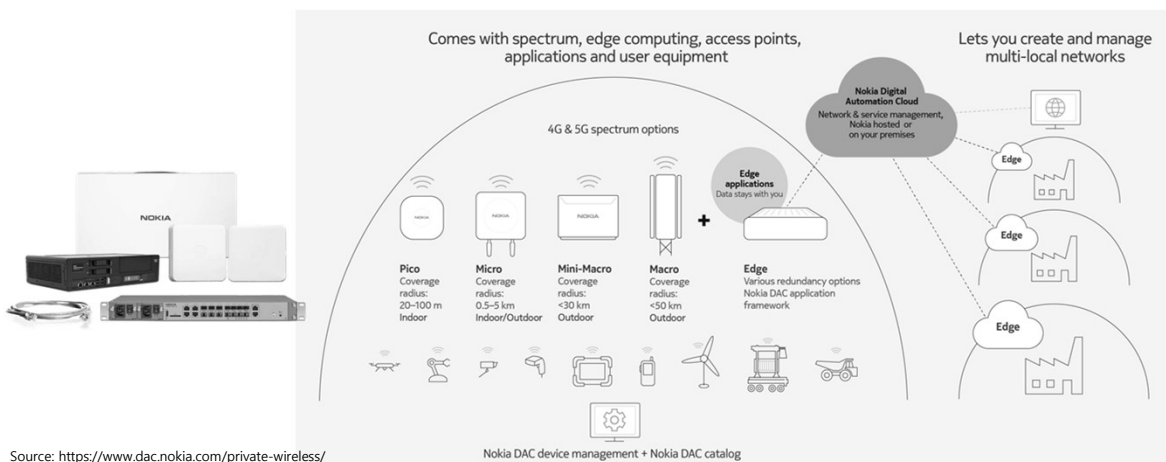
Source: 5G 특화망 가이드라인, 과기정통부/KCA (2021. 10.)

JS Lab

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 노키아(Nokia)

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



Source: <https://www.dac.nokia.com/private-wireless/>

Nokia DAC device management + Nokia DAC catalog

JS Lab

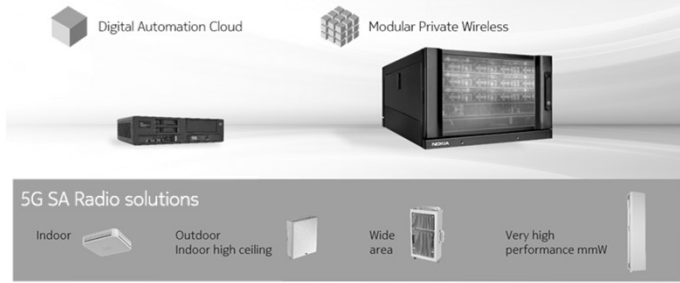
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 벤더별 특화망 솔루션 (예): 노키아(Nokia)

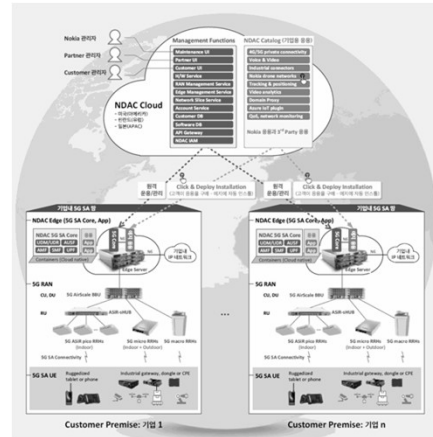
• Nokia Private Wireless Solution

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

5G SA industrial-grade private wireless solutions



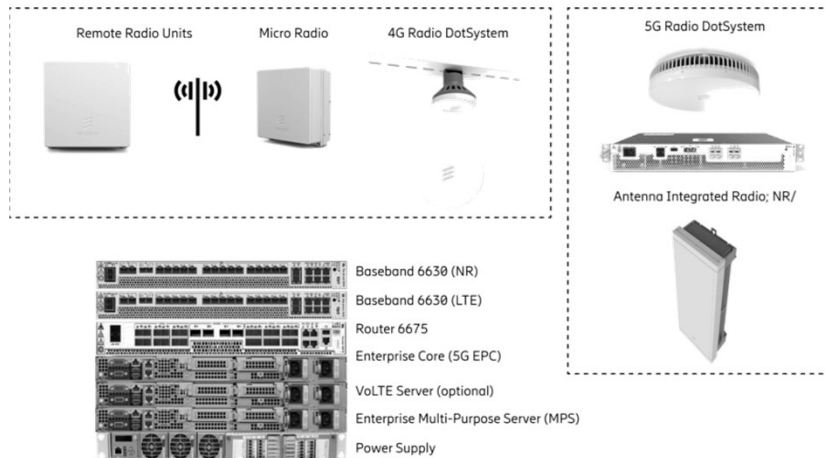
Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/vendors/1550/>



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>



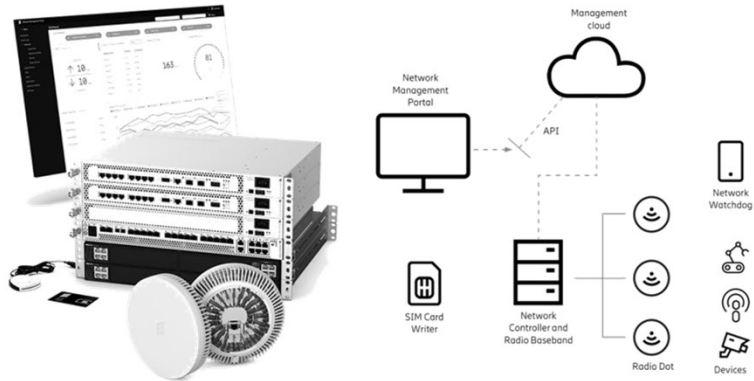
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

75

❖ 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/>

JS Lab

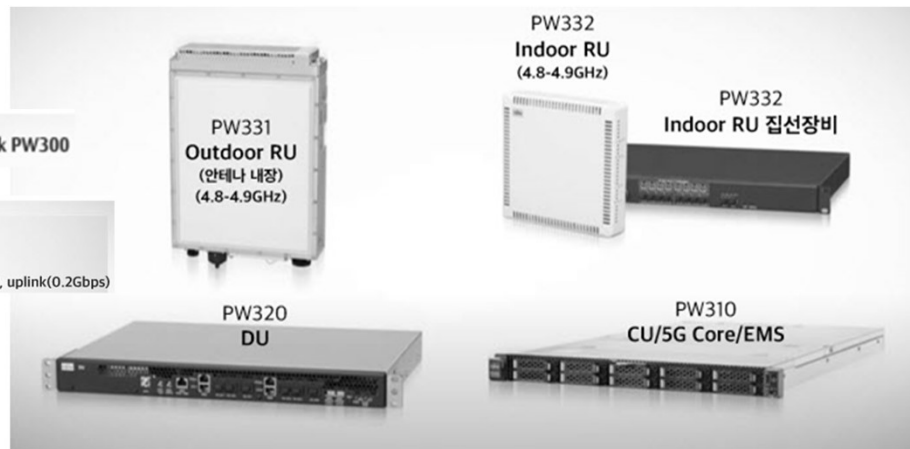
75

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

76

❖ Fujitsu의 Private 5G 장비

- Spectrum: 4.8-4.9GHz
- Bandwidth: 100MHz
- Users: 64 devices/cell
- Throughput: downlink(1.7Gbps), uplink(0.2Gbps)



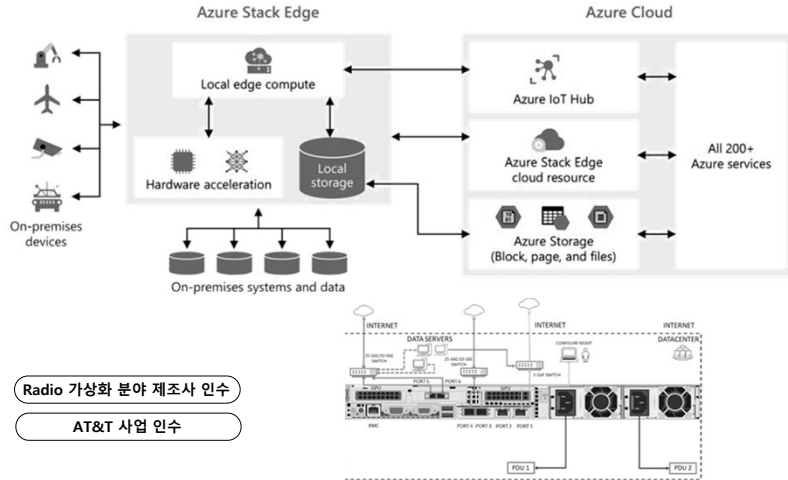
Source: <https://www.netmanias.com/ko/private-5g/vendors/1549/>

JS Lab

76

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Azure Stack Edge

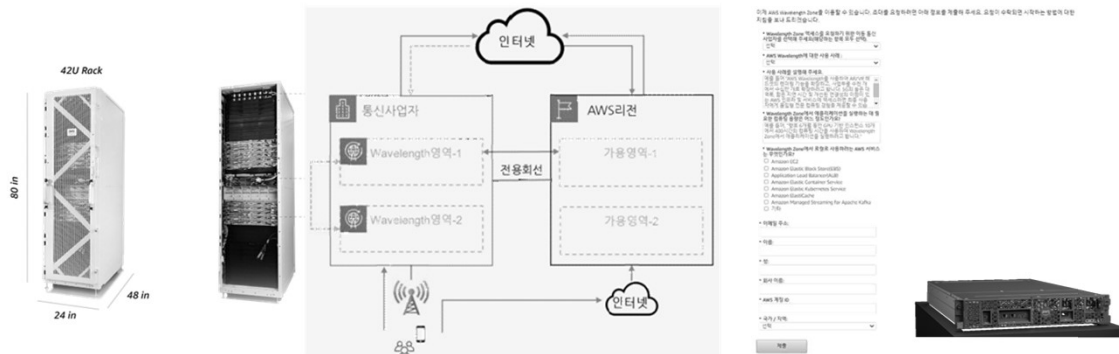


Source: <https://docs.microsoft.com/ko-kr/azure/databox-online/azure-stack-edge-gpu-deploy-install>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

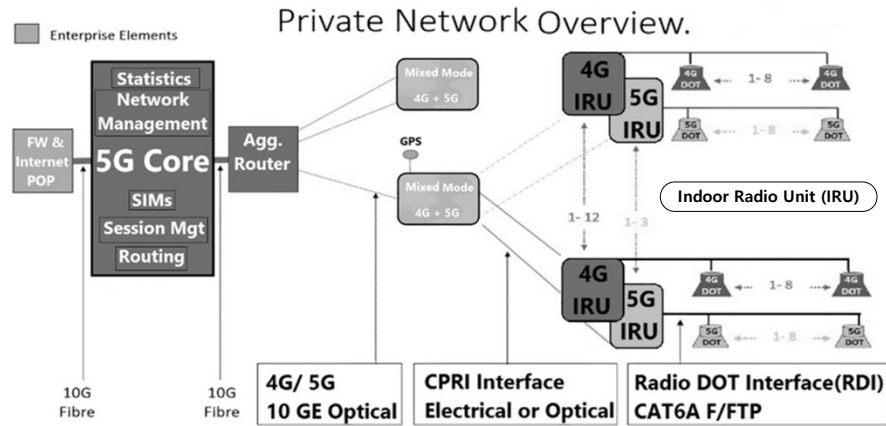
❖ AWS Outpost Wavelength: 통신사업자 내에 구축된 AWS 인프라 서비스

- 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



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

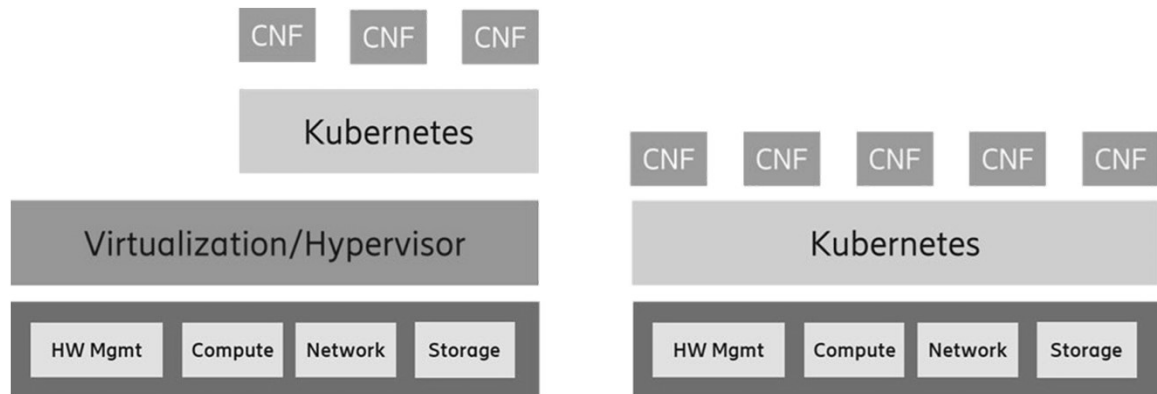
❖ Private 5G infrastructure supporting Industry 4.0.



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.

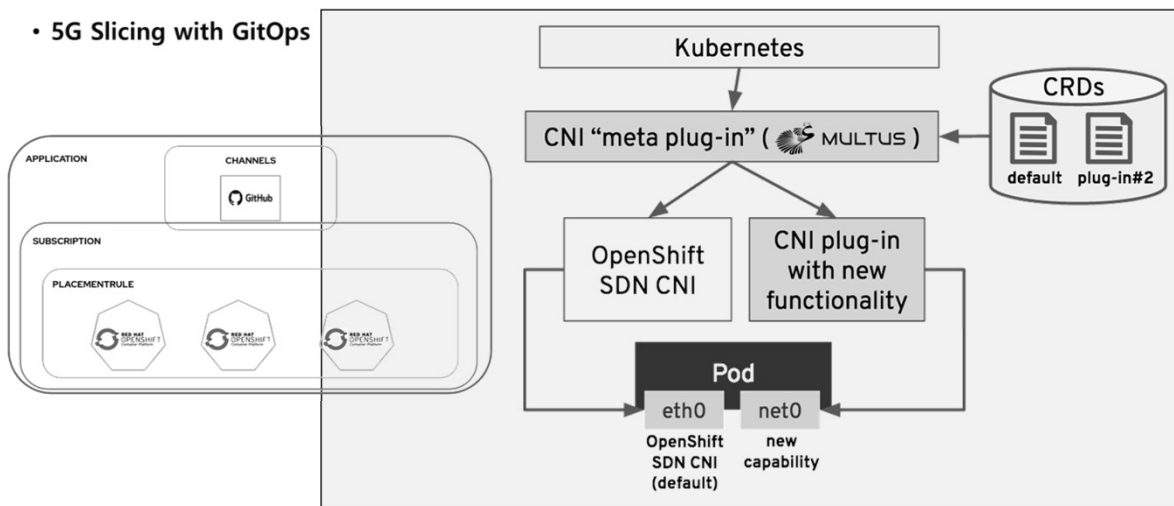


Source: <https://www.redhat.com/en/blog/building-adaptable-5g-core-open-source-container-platform>

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:
    - e2e-az2
    - e2e-az1
    - e2e-az2
  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-az1
  matchExpressions:
    key: disktype
    operator: In
    values:
      - ssd
      - hdd

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

# Container Spec
spec:
  affinity:
    nodeAffinity:
      preferredDuringSchedulingIgnoredDuringExecution:
        - weight: 100
          matchExpressions:
            key: disktype
            operator: In
            values:
              - ssd
        - weight: 1
          matchExpressions:
            key: kubernetes.io/e2e-az-name
            operator: In
            values:
              - e2e-az1
              - e2e-az2
  containers:
    - name: kubernetes-dev
  
```

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)

O-RAN compliant white box small cells



Brings economies of the cloud to your private 5G network
Ananki provides the cells, or works with radio from certified third party partners

Simple to Deploy

- Simple subscription-based for 5G connectivity-as-a-service - Pay for just the coverage you need
- 7*24 support for deployment and operations
- Backed by enterprise class SLAs
- Developer assist to empower creation of 5G-powered applications

Ananki provides the SIMs

- just plug them into your devices



*eSIMs are supported too

Dashboards

Give You Visibility and Control Once the Network is Operational



Application and deep network visibility and analytics plus connected device status at your fingertips via a secure web portal

제품 (Products)



Small Cells



Ananki



Private SIM Cards for your devices



Enterprise Dashboards & APIs

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

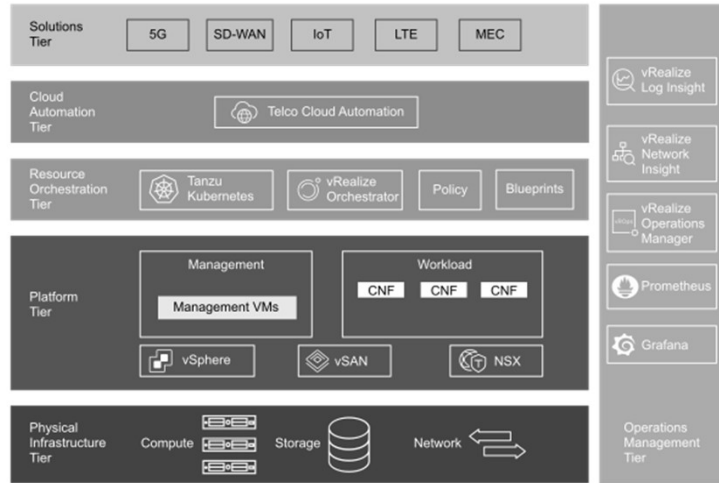


Software defined private 5G is the key to these next-generation solutions

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

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ 제조사(예) VMware: Architecture Overview

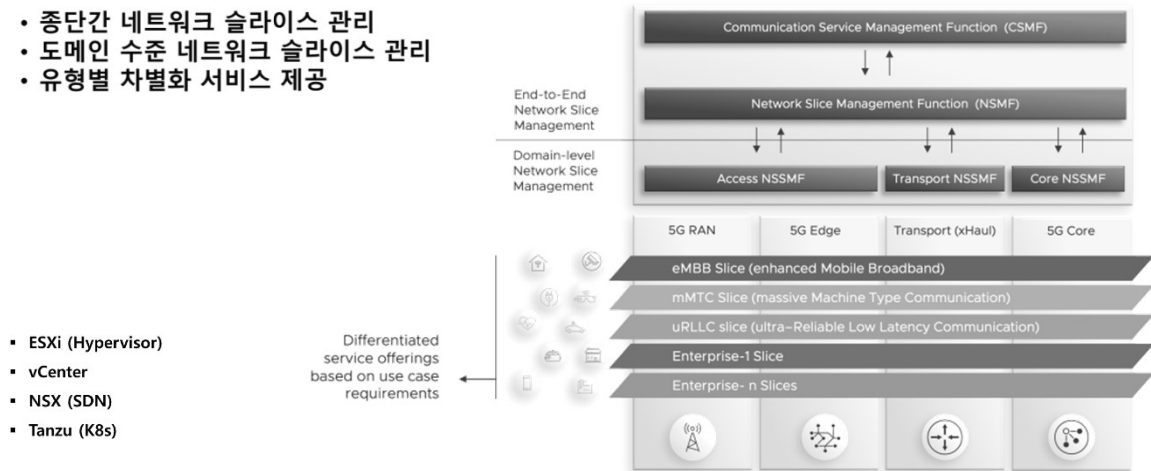


Source: <https://docs.vmware.com/en/VMware-Telco-Cloud-Platform---5G-Edition/2.0/telco-cloud-platform-5g-edition-reference-architecture-guide-20/GUID-B035B0EC-A7CB-41ED-9D06-383051D9C7A1.html>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

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

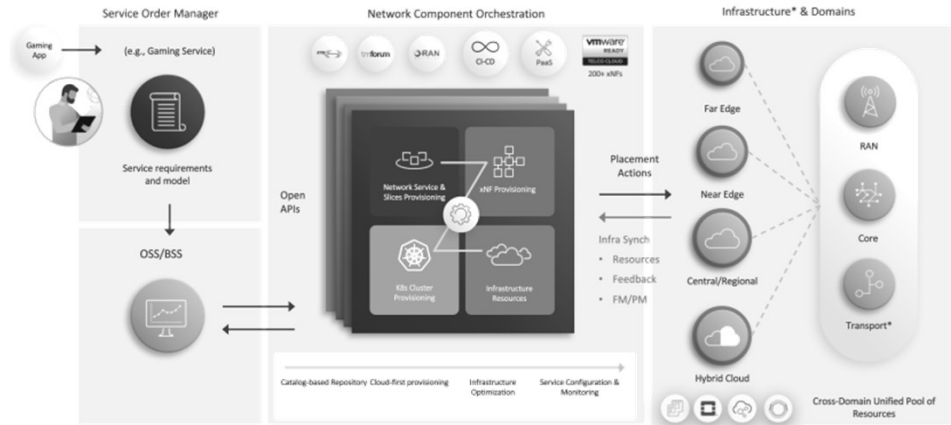
- 종단간 네트워크 슬라이스 관리
- 도메인 수준 네트워크 슬라이스 관리
- 유형별 차별화 서비스 제공



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

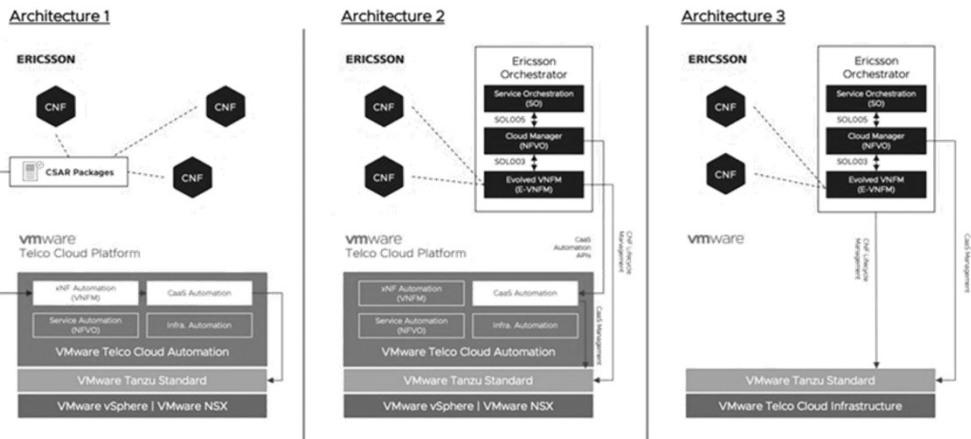


- ESXi (Hypervisor)
- vCenter
- NSX (SDN)
- Tanzu (K8s)

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

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

Azure 마켓플레이스에서 5G or LTE코어 다운로드 적용

Azure Marketplace Deployment

Step 1 Go to Marketplace to order 5G Edge components

Step 2 Configure cloud resources and assign to 5G Core

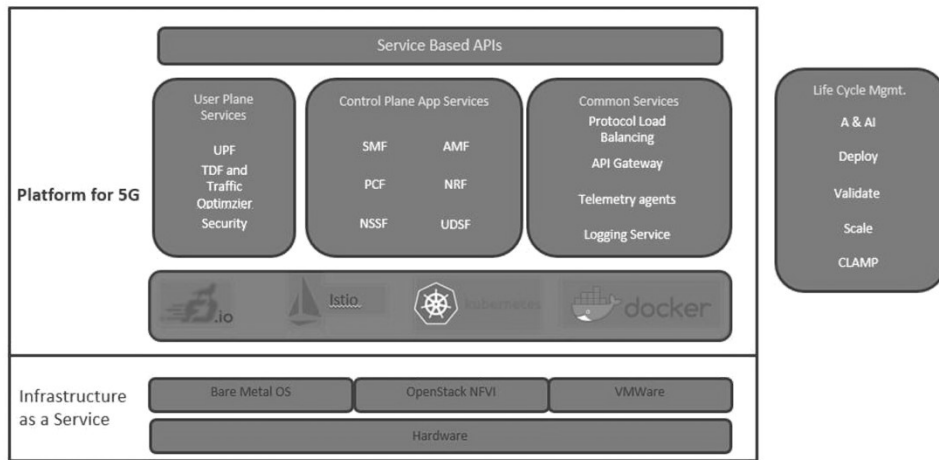
Step 3 Configure 5G Network parameters, devices

Step 4 5G Edge ready for RAN

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

91

❖ 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>

JS Lab

91

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

92

❖ Benefits of Kubernetes on bare metal infrastructure

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



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

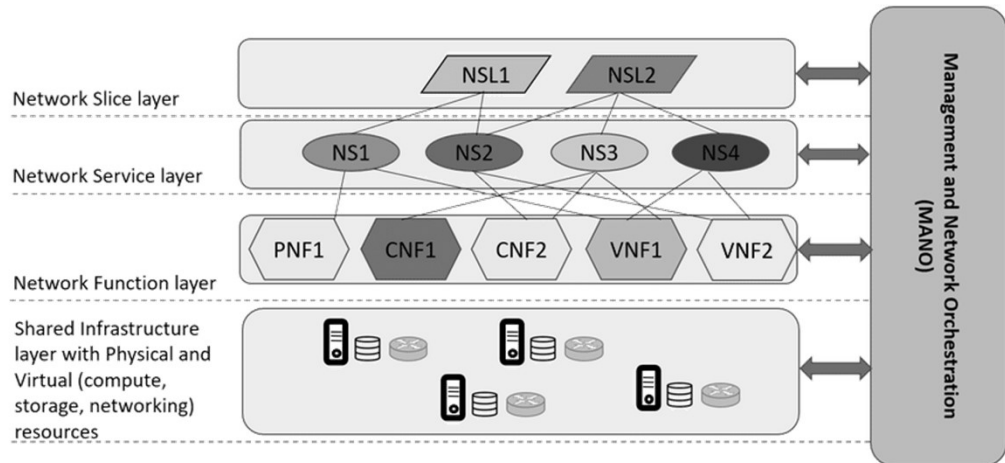
JS Lab

92

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

93

❖ 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

JS Lab

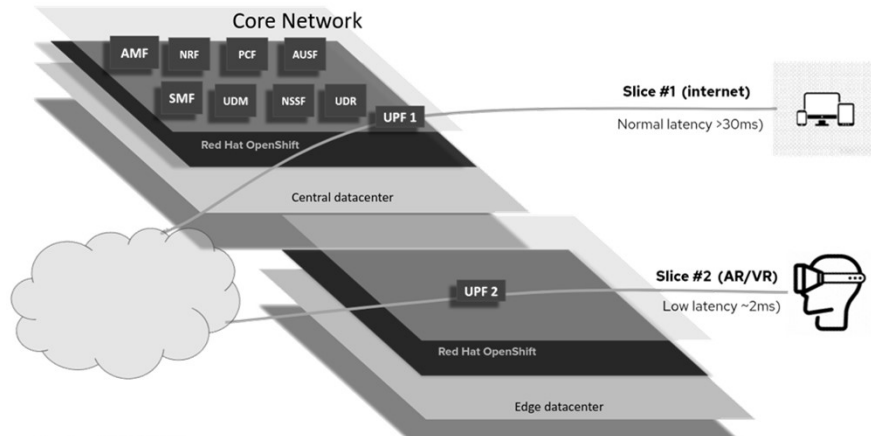
93

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

94

❖ 5G Network Slicing

- 5G Slicing with GitOps



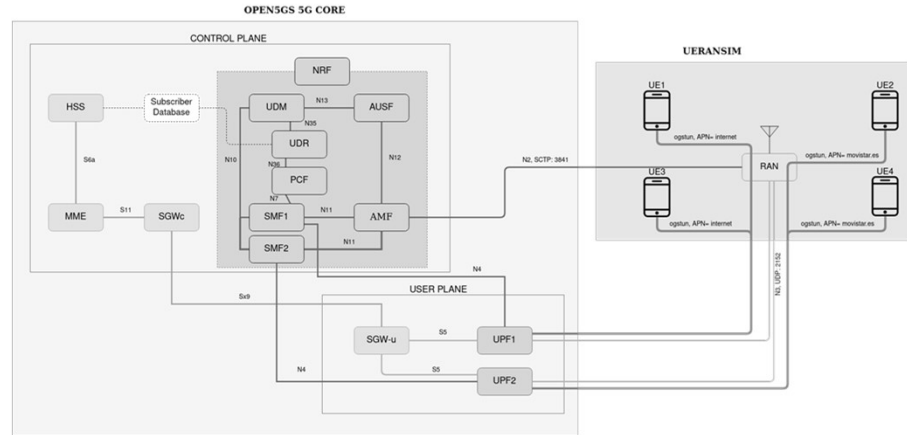
Source: <https://medium.com/@anil.sonmez/5g-slicing-with-gitops-17a9f2db5e81>

JS Lab

94

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

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



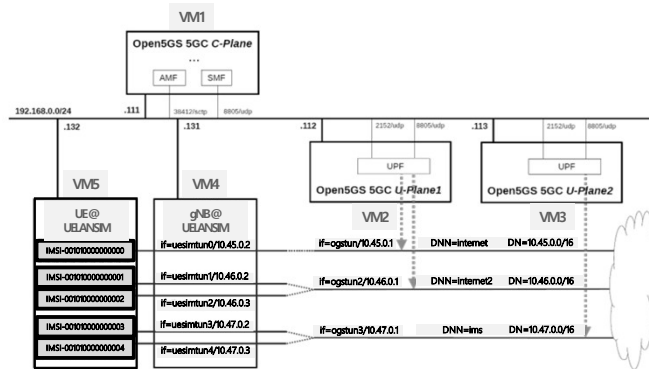
Source: VIRTUALIZED CELLULAR NETWORKS WITH NATIVE CLOUD FUNCTIONS, Iria Míguez González

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

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

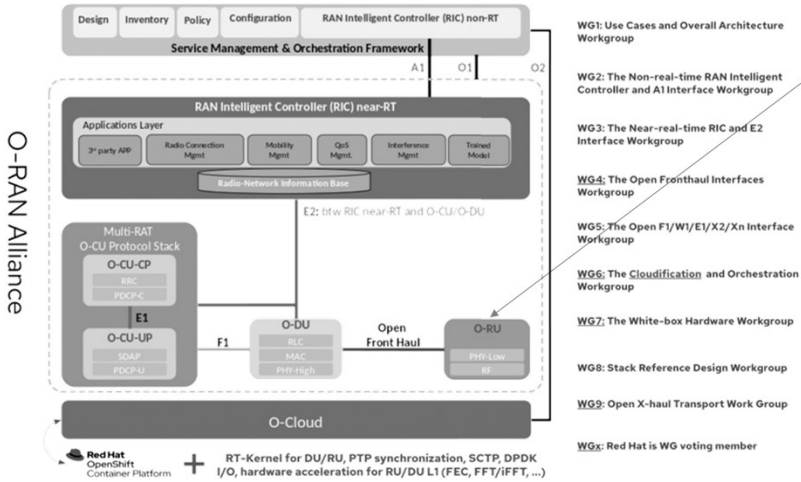
- 5 VMs
 - C-Plane have multiple U-Planes.
 - U-Plane have multiple DNs.
 - Multiple UEs connect to same DN.

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.

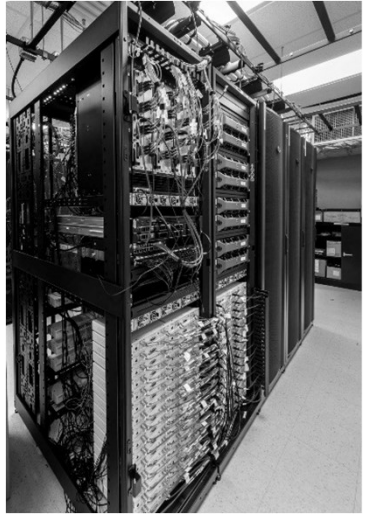
- WG1: Use Cases and Overall Architecture Workgroup
- WG2: The Non-real-time RAN Intelligent Controller and A1 Interface Workgroup
- WG3: The Near-real-time RIC and E2 Interface Workgroup
- WG4: The Open Fronthaul Interfaces Workgroup
- WG5: The Open F1/W1/E1/X2/Xn Interface Workgroup
- WG6: The Cloudification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

Source: https://www.redhat.com/en/blog/open-ran-and-o-ran-brief?fbclid=IwAR0V6fvK9xv2LEkXNTvjBeOSRVYB0cej4Q_zV6teY2Oh_GrVWmWDM507js

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



N Institute for the Wireless Internet of Things at Northeastern

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ RIC

- Near-RT RIC
- Non-Real time RIC

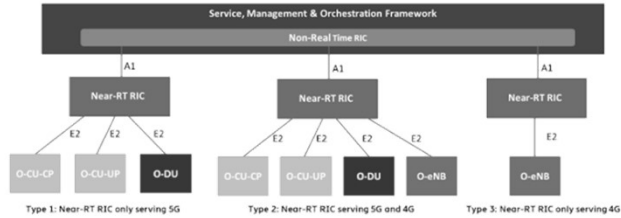


Figure 5: Centralized Near-RT RIC Serving 4G and 5G Simultaneously

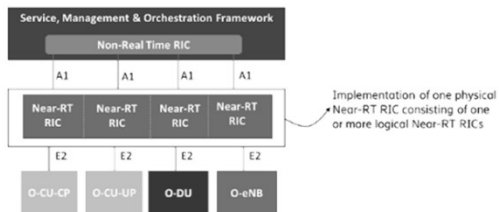


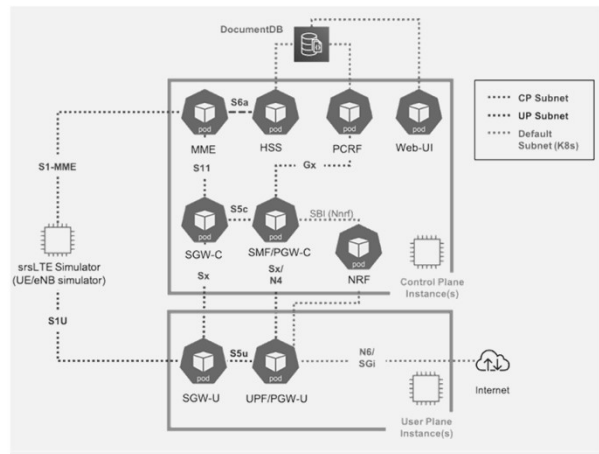
Figure 6: Distributed Near-RT RIC

Source: https://www.redhat.com/en/blog/open-ran-and-o-ran-brief?fbclid=IwAR0V6fivK9xy2LEkXNTvjBeOSRVYB0ceJ4Q_zV6teY2Oh_GrVWmWDM507js

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

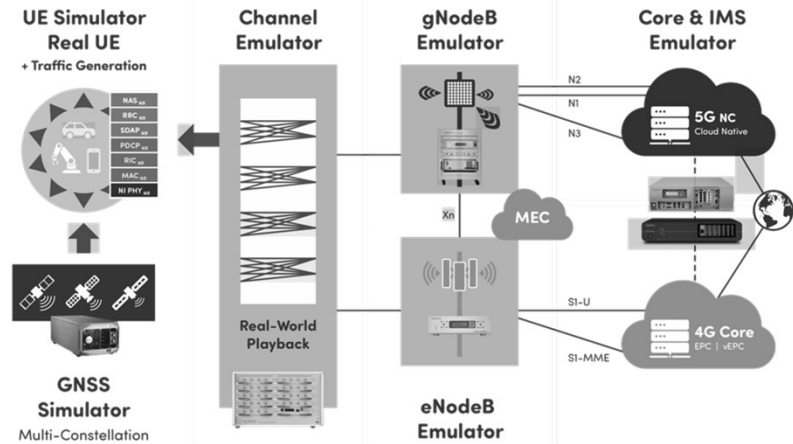


Source: <https://aws.amazon.com/blogs/opensource/open-source-mobile-core-network-implementation-on-amazon-elastic-kubernetes-service/>

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

101

❖ 5G Network Digital Twin(s)



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

JS Lab

101

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

102

❖ 5G 네트워크 인프라 구성 (시험/개발/구축 기능 연계)

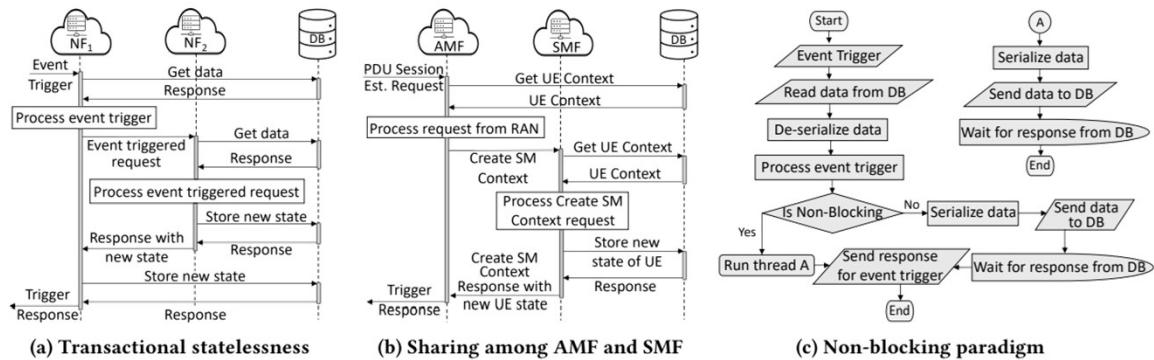
Service Name	IP Address	Port	Protocol	Created At
webui-service	10.233.35.142	30500	TCP	2022-07-01 01:38:08
udr-nudr	10.233.2.107	-	-	2022-07-01 01:38:08
udm-nudm	10.233.48.151	-	-	2022-07-01 01:38:08
smf-nsmf	10.233.49.167	-	-	2022-07-01 01:38:08
pcf-npcf	10.233.61.1	-	-	2022-07-01 01:38:08
nssf-nssf	10.233.34.190	-	-	2022-07-01 01:38:08

JS Lab

102

❖ The Cost of Stateless Network Functions in 5G

- Transactionally-stateless paradigms



Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvYjYz8l3Ld6GX0K1nKsCtROy7J_ztRDZ_K6UcCR52AZUV519l

❖ 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

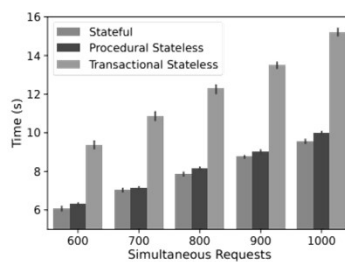


Figure 3: Stateful and stateless paradigms

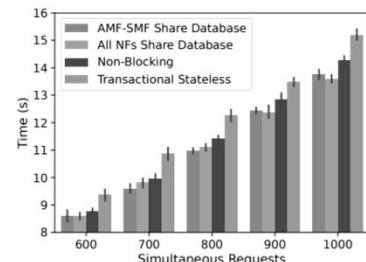


Figure 4: Transactionally-stateless optimizations

Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvYjYz8l3Ld6GX0K1nKsCtROy7J_ztRDZ_K6UcCR52AZUV519l

❖ The Cost of Stateless Network Functions in 5G

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

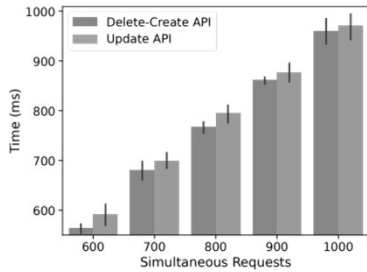


Figure 5: Time spent by mongoDB with update and delete-create

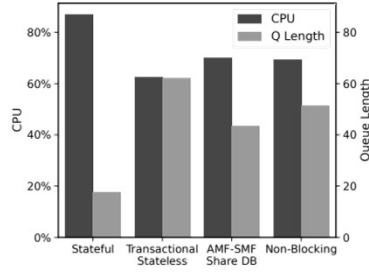


Figure 6: CPU and queue length at 1000 sessions

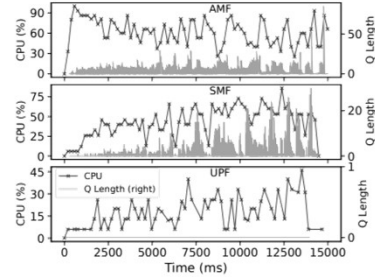
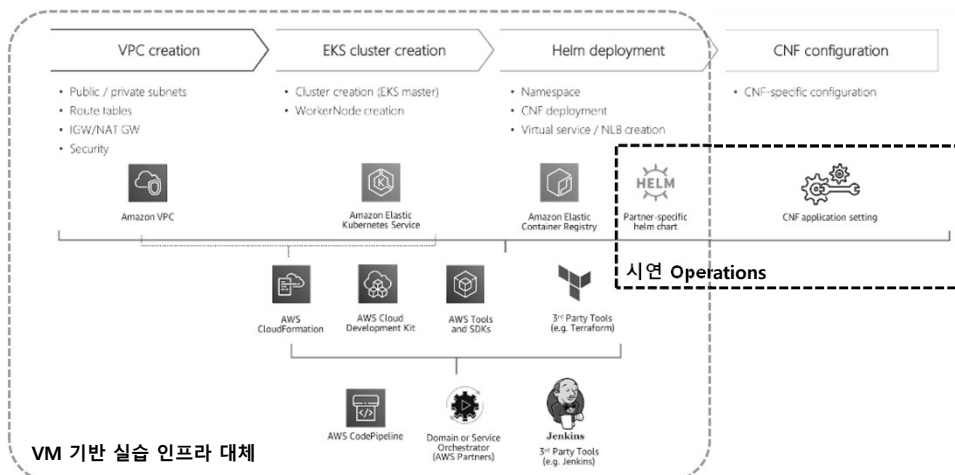


Figure 7: Time series of CPU and queue length at 1000 sessions

Source: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3493425.3502749?fbclid=IwAR08K2ozQDvYjYz8l3Ld6GX0K1nKsCtRoY7J_ztRDZ_K6UcCR5A2AZUV519I

❖ 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

107

❖ 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

JS Lab

107

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

108

❖ 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

JS Lab

108

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Open frameworks and projects.

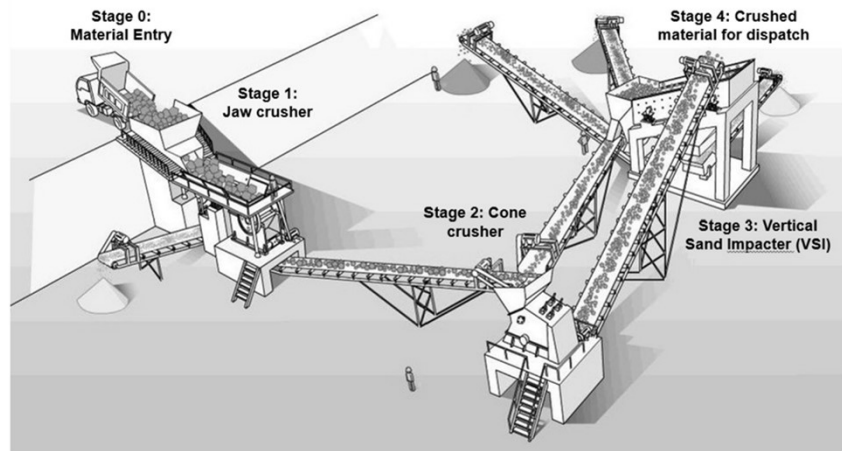
Framework	Main Focus	Status	License	Main Members	Community Support	
Mobile						
O-RAN	O-RAN [21]	Virtualized, intelligent RAN	available	Apache v2.0, O-RAN Software License v1.0	O-RAN Alliance w/ telecom operators	no
	COMAC [124]	Agile service delivery at the edge	available	Apache v2.0	ONF	mailing list
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	Akraino	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

111

❖ 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(EaaS)	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	Akraiho	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

JS Lab

111

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

112

❖ 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

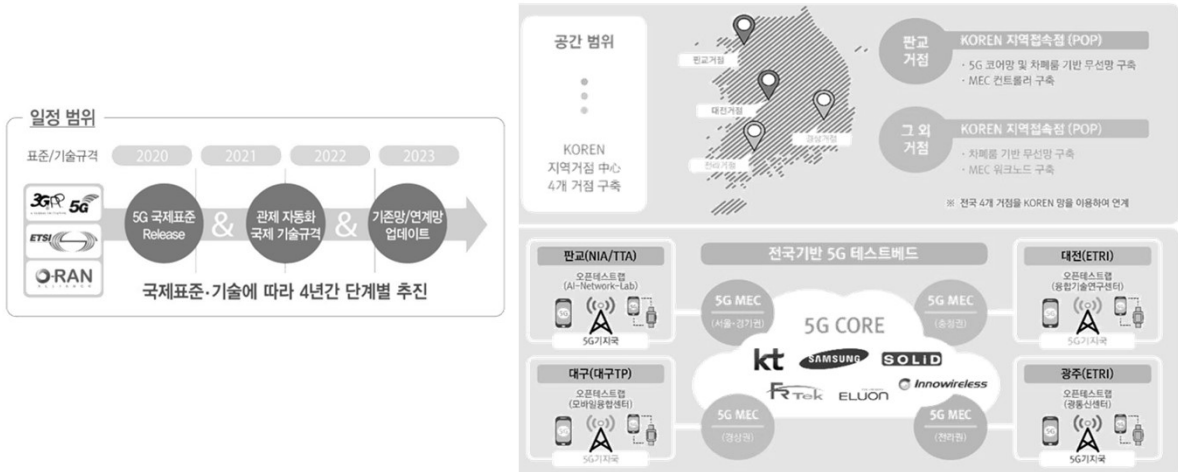
JS Lab

112

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

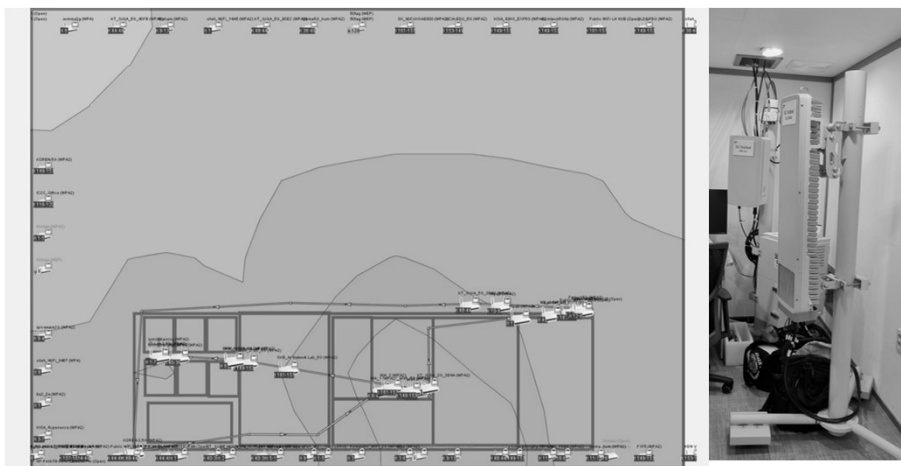
*20년부터 중소·벤처기업 등이 실제 5G망 환경에서 융합서비스·인프라·디바이스를 자유롭게 개발·시험·검증할 수 있도록 전국 4개 거점을 중심으로 5G 테스트베드를 구축·운영하고 있습니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ Shield Room at 5G Test Lab

- Heatmap (벽에 대한 차폐 정도 등의 물리 정보 고려 탐지 위치 조정 필요)



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%)



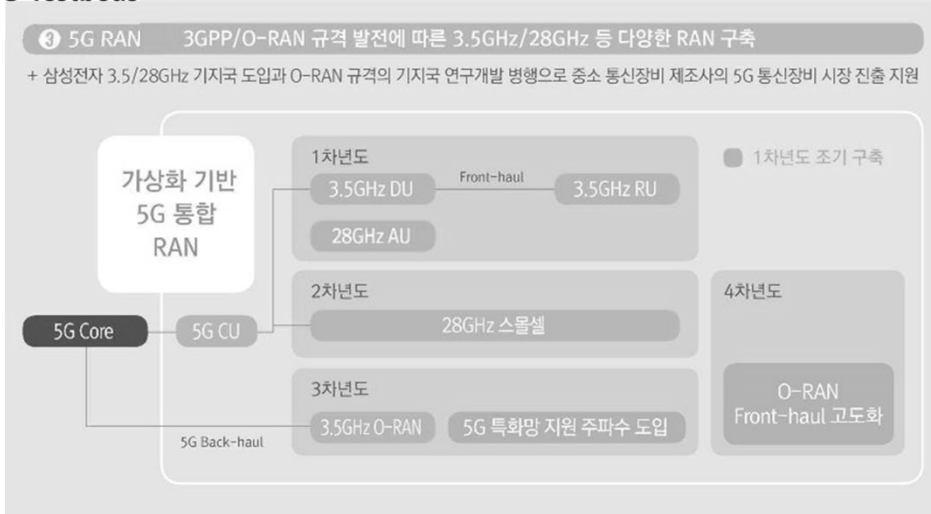
Feature Name	First OpenStack* Release	Description	Benefit	Performance Data
Host CPU feature request	Icehouse*	Expose host CPU features to OpenStack managed guests	Guest can directly use CPU features instead of emulated CPU features	~20% to ~40% improvement in guest computation
PCI passthrough	Havana*	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 (vCPUs) 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	EPA 적용시 네트워크와 CPU 처리량의 10% 이상 성능 개선 기대 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

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

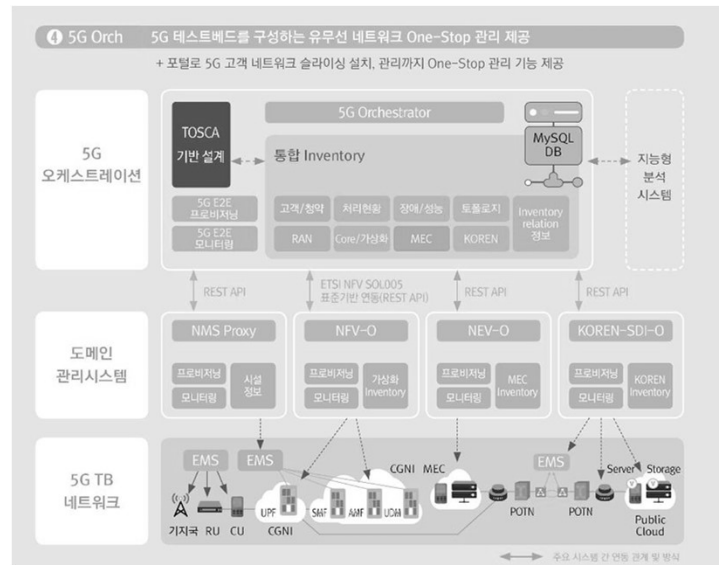
• 5G RAN



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 5G 오케스트레이션



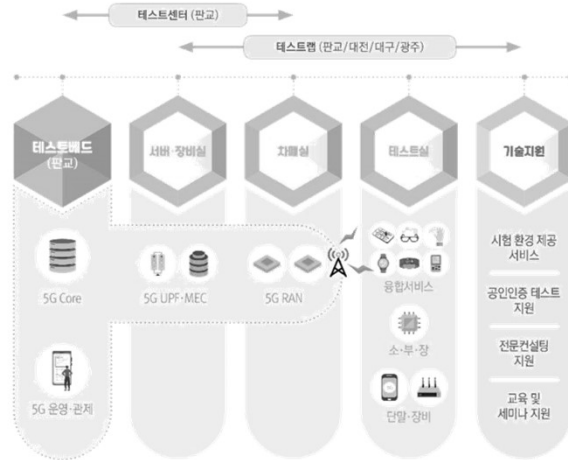
DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

121

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

- 5G 오픈테스트랩 서비스 개요

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



121

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

122

❖ 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 차폐용, Fronthaul 회선 서비스 환경 등을 구축해 5G 테스트 환경을 제공합니다.

	<ul style="list-style-type: none"> • 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
	<ul style="list-style-type: none"> • 판교 거점 : 5G 코어망 구축, MEC 컨트롤러 설치 • 대전/대구/광주 거점 : DU, MEC 워크노드 구축
	<ul style="list-style-type: none"> • 시험사무공간, WIFI, 프린터 구비 • 회의실, 세미나룸, PC 기반 실습 교육장 구성
	<ul style="list-style-type: none"> • 차폐용 LTE 1.8GHz, 5G 3.5GHz, 5G 28GHz(AU) 구축 • 대구 거점 : 5G 및 Private 5G 망 시험 검증 LAB 추가 구축

JS Lab

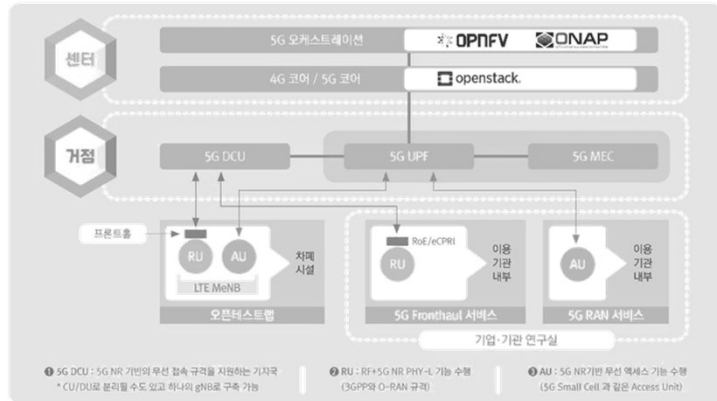
122

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 않으셔도 소속 기업과 기관의 연구실에서 5G 단말, 디바이스, 장비 등 시험검증을 지원합니다.



DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

- 공인인증 테스트 지원

5G 특화망 활용 기지국 장비 시험개발 지원

5G CORE

5G 특화망 공망 28/Sub-6 GHz 주파수

오픈필드 | 지베환경 | 오픈필드

주요 시험 시나리오

5G CN	5G 특화망용 코어망 연동 환경시험
5G 서비스	5G 특화망용 종단 간 단말-융합서비스 시험
5G RAN	5G 특화망용 28GHz 장비(AU/RU/DCU) 시험

망 연동 테스트 지원

통신사업자 단말기 등의 통신사 망 연동 시험 지원
※ 이동통신사, 공인인증기관이 공동으로 시험 항목 및 절차 마련

5G 정부업무망 시험 지원

- 5G 국가망에 적용되는 5G 단말, 스몰셀 장비, 인빌딩 중계기 등 통신장비 시험개발 지원
- 5G 국가망 관련 융합서비스 시험개발 지원

5G 개방형 규격인 Open RAN 지원

O-RAN 표준 기반 5G O-DU, O-RU 시스템 실증

개발채적

테스트베드 적용

20 | 21 | 21-22

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 컨설팅 지원

5G 모듈 활용 기술지원



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

5G 프론트폴 광송수신 모듈 기술지원



- 5G 프론트폴 (DU-RU) 광송수신 모듈 향연동 시험 지원
- 망연동 End-to-End 패킷 전송시험
- DDMI 분석 결과 제공 (예외)
- 프론트폴 분석/측정 장비 보유
- VIAVI T-BERD/MTS-S800-100G
- 5G 프론트폴 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 엔드미터 서비스 활용

5G 오픈테스트랩은 5G 응용서비스 기술개발, 시험검증에 필요한 컨설팅을 제공하며 ETRI, TTA 등 국내 최고 시험검증 전문기관을 통한 맞춤형 컨설팅 서비스를 제공하고 있습니다. 신규로 시험검증 결과에 대한 다변감 및 트러블슈팅도 지원합니다.



- 맞춤형 시험검증 컨설팅 지원
- ETRI, TTA, 대구TP 등 국제요청 시험 전문기관의 1:1 기술 컨설팅 제공



- 5G 유휴서비스 기술개발 관련 컨설팅 지원
- 판교 거점: 5G 응용서비스에 대한 표준 적합성, 보안기술 등
- 대전 거점: 5G 관련 산-학-연 연구개발 결과를 등
- 광주 거점: 5G 드론 통신, AR/VR, WiFi6와 연계 Roaming 유휴서비스 등
- 대구 거점: Private 5G 및 활용 서비스, 스마트시티 연계 서비스 등



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



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

JS Lab

DAY 3: PRIVATE 5G와 테스트베드

❖ KOREN 기반 5G Testbeds

• 이용 절차

E-mail, 전화로 통해 연중 수시 신청 가능

5G 오픈테스트랩 이용절차



- 5G 오픈테스트랩(판교거점) 담당자
- 이찬주 수석 Tel. 031-780-9194 / e-mail : cilee@tta.or.kr
- 이병진 책임 Tel. 031-780-9198 / e-mail : bjee86@tta.or.kr
(13449) 경기도 성남시 수지구 대왕로로 815(사동동) 판교로동점(ETRI) 기업지원센터 3층 ICT 플랫폼서비스
- 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 가성로 218(가성동) ETRI 플랫폼기술연구사업센터 2층 ICT 플랫폼서비스
- 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
(42215) 대구광역시 달서구 성서로 46-170(대천동) 신기술산업지원센터 3층 2층
- 5G 오픈테스트랩(전라거점) 담당자
- 유 학 책임 Tel. 062-970-6530 / e-mail : harkyoo@etri.re.kr
- 율광수 책임 Tel. 062-970-6612 / e-mail : yks0604@etri.re.kr
(61012) 광주광역시 북구 칠곡로 170(만남 111오동동) ETRI 호남연구소센터 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@eluoan.com

JS Lab

