CONTENTS

Vol.42 No.7 | JULY 2025
정보와 통신

학회지 위원회

위원장(상임이사) 오구영(한국정보통신기술협회)
신수용(금오공과대학교)
부위원장(집행이사) 김정헌(한국정보통신기술협회)
이강찬(한국전자통신연구원)
양희철(충남대학교)
김유두(동양미래대학교)
부 편 집 장 (이 사) 마수진(정보통신기획평가원)
김양중(한국공학대학교)
박정환(한국정보통신기술협회)
송유재(영남대학교)
민경식(수원대학교)
정수민(금오공과대학교)
위 원 강승택(인천대학교)
권용환(한국전자통신연구원)
김기형(아주대학교)
김동성(금오공과대학교)
김석찬(부산대학교)
김선우(한양대학교)
김성륜(연세대학교)
김영재(한국정보통신기술협회)
김용구(서울미디어대학원)
김우태(KT)
김재현(아주대학교)
김준수(한국공학대학교)
김평수(한국공학대학교)
박광로(한국전자통신연구원)
박민호(숭실대학교)
서호선(퀄리아[Qualia])
송용수(한국철도기술연구원)
송홍엽(연세대학교)
신원용(연세대학교)
신종원(광주과학기술원(GIST))
오택규(한국정보통신기술협회)
유명식(숭실대학교)
이명훈(국립순천대학교)
이문식(한국전자통신연구원)
이소연(한국전자통신연구원)
이일우(한국전자통신연구원)
이준혁(삼육보건대학교)
이희열(에릭슨코리아파트너스)
임용곤(국민대학교)
장은영(한국전자통신연구원)
정 송(한국과학기술원(KAIST))
조성균(한국전자통신연구원)
최성곤(충북대학교)
최영환(한국전자통신연구원)
한동석(경북대학교)
허 준(고려대학교)
황승훈(동국대학교)

한국통신학회지 (비매품)

2025년 6월 27일 인쇄
2025년 6월 30일 발행

등록번호 : 라-6287
발 행 인 : 허 준
편 집 인 : 오구영, 신수용
편 집 장 : 김정헌, 이강찬, 양희철, 김유두
인 쇄 인 : 박명율
발 행 처 : 사단법인 한국통신학회(http://www.kics.or.kr)
(06296) 서울특별시 강남구 논현로38길 32-3(도곡동)
전화 : 02)3453-5555 | FAX : 02)539-5588
제 작 : 금영인쇄·선진출판
전화 : 02)2275-8561 | E-mail : sjinpub@naver.com

2025년 학술 활동 계획

학술대회/전시회 일정

주제명 : AI 시대 신경망이자 실행 플랫폼, 6G의 표준화

편집위원 : 정용준(TTA)

머리말 ..... 정용준 _02

6G 국가 R&D 추진 현황 및 향후 방향
..... 최성호 _03

ITU-R 6G 기술 및 주파수 국제표준화 연구동향
..... 오성준 _10

3GPP 6G 기술 트렌드 및 표준화 추진 방향
..... 황정우 _17

6G RAN 기술 표준화와 중점기술 연구 동향
..... 지형주 _24

6G네트워크 서비스, 구조 및 중점기술 표준화 연구 동향
..... 고남석, 강유화 _33

오픈랜 동향 및 6G RAN 지능화를 위한 3GPP와 O-RAN의 표준화 협력 현황
..... 김동구, 김광순, 이경한, 송준혁 _42

주제명 : 패스워드리스 및 차세대 인증기술

편집위원 : 염흥열(순천향대)

머리말 ..... 염흥열 _52

인증(Authentication) 기술의 진화와 패러다임 전환
..... 진승헌, 김수형 _53

인증 범위를 기준으로 한 패스워드리스 기술에 대한 구분과 B2B 환경에 최적화된 패스워드리스 기술에 대한 비교 연구
..... 우종현, 정일진 _62

패스워드리스 및 차세대 인증기술
..... 전승주 _69

분산신원관리 기술과 디지털 신원지갑 국제 표준화 동향 및 시사점
..... 박성채, 정혜야, 염흥열 _76

2025년도 임원 명단 ..... _88

2025년도 월별주제 ..... _95

오픈랜 동향 및 6G RAN 지능화를 위한 3GPP와 O-RAN의 표준화 협력 현황

김동구, 김광순, 이경한*, 송준혁**
연세대학교, 서울대학교*, 삼성전자**

요 약

5G를 넘어 6G 시대가 다가오면서 통신 네트워크는 주파수 및 네트워크의 구조의 변화의 필요성과 급격히 증가하는 데이터 트래픽 수요와 서비스 복잡성에 직면하고 있다. 특히 IMT-2030 프레임워크는 기존의 사람 간 통신을 넘어서, 사용자와 엣지디바이스에 AI 서비스를 연결하고, AI-Agent간의 통신까지를 주요 서비스가 될 것이다. 따라서, 이전 세대와 달리 방대한 AI 데이터를 초지연 그리고 효율적으로 처리할 수 있는 강력한 AI-네이티브 네트워크 구조가 필수적이다. 이를 위해서 글로벌 통신 산업은 개방형 RAN 구조인 오픈랜(Open RAN)에 주목하고 있으며, 3GPP와 O-RAN얼라이언스는 RAN 지능화를 위한 표준화를 논의하고 있다.

본 기고에서는 최근 오픈랜 산업 생태계의 동향과 국내 R&D 추진 현황을 분석하고, 3GPP와 O-RAN간의 RAN표준화 역할 분담과 상호협력 전략을 고찰해 보면서, 올해 4월에 있었던, 3GPP와 O-RAN 얼라이언스와의 공동 워크숍에서 국내기업체 주관으로 기고 된 3GPP의 지능화 표준 평면 아키텍처와 O-RAN의 지능화 표준간의 연계안을 살펴보고, 6G 네트워크 초-지능화의 패러다임의 변화를 전망해 본다. 본 기고를 통해 국내 산학연이 글로벌 표준화 주도권을 확보하고 차세대 AI 네트워크 기술 경쟁력을 강화할 수 있는 전략적 시사점을 제시해 본다

Ⅰ. 서 론

5G 및 다가오는 6G 시대에 들어서면서, 네트워크 서비스의 복잡성과 다양성이 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. 특히 IMT-2030 프레임워크에서는, 이런 복잡성과 다양성에 통신과 컴퓨팅 서비스를 최적화하기 위해서, 대규모 데이터를 스스로 획득하여 추론 및 판단을 수행하는 AI-Agent 기술 및 다양한 AI-Agent들을 연결할 수 있는 AI 네트워크를 핵심기술 중의 하나로 제시하고 있다. 사람 간의 통신 중심이었던 기존 통신 서비스에서 벗어나 대규모 AI-Agent 간 통신을 위한, AI 데이터가 효율적이고 초저지연으로 흐르는 새로운 서비스가 등장할 것을 예상하고 있다. Cisco 및 Ericsson Mobility 보고서에 따르면, 2030년까지 글로벌 데이터 트래픽은 현재보다 20배 이상 증가하며, 특히 다양한 AI 기반 애플리케이션이 필요로 하는 데이터는 그 양과 특성이 크게 변화할 것으로 전망한다. 따라서 기존 네트워크 구조로는 한계에 직면하게 되어서, AI 서비스를 사용자와 엣지디바이스에 전달하고, 엣지디바이스에서 생성된 데이터를 효율적으로 수집하는 초-지능형 네트워크 구축이 필수적이다.

해외 일부 이동통신 제조사와 사업자들은 이미, 5G 상용망에서 방대한 운영 데이터를 바탕으로, 인공지능/AI-ML 모델 및 기술을 활용해서, 기지국 파라미터 최적화, 트래픽 예측, 장애 예측 및 무선 접속망(RAN) 및 코어망 운영 전반에 걸친 지능화를 구현하려는 노력이 본격화되고 있으며, 사람이 찾기 어려운 복합 패턴을 학습하여 네트워크 성능을 향상시키고 운영 효율을 높일 수 있는 것으로 입증하고 있다[1]. 예를 들어 트래픽 조율(traffic steering), 성능보장형 네트워크 슬라이싱, 장애 예측 및 에너지 절감 등이 현재는 AI 활용의 대표적인 RAN 최적화 Use Case로 논의되고 있으며, 아직은 개별 벤더 구현 수준에 머물러 있다, 6G가 성공적인 AI 서비스를 제공할 수 있는 네트워크가 되기 위해서는 AI/ML 과 RAN간의 고도화된 결합적 구조로 진화를 해야 하는데, 중국, 미국, 유럽, 일본 등은 범 국가적으로, 이러한 초지능 RAN 기술 확보를 위한 연구 플랫폼 구축을 지원하고 있다.

6G 시대에는 AI-네이티브 구조가 RAN과 Core의 기본 구조이며, 처음부터 AI/ML이 통신 시스템 각 제어 계층 및 네트워크 운영에 근본적인 역할을 하도록 표준화 단계에서 설계되고 있다[2]. 무선 접속 네트워크 지능화를 위한 표준화 이니셔티브는 3GPP와 O-RAN이라는 두 축에서 이루어지고 있다. 이러한 배경에서 이동통신의 두 표준화 단체인 3GPP와 O-RAN Alliance는 RAN 지능화를 위한 표준화를 각기 진행해 왔으며, 이제는 상호 협력을 통해 중복을 피하고

시너지를 극대화하는 방향을 논의 하고 있다. 3GPP는 5G/6G 이동통신 전체 시스템을 다루는 공식 표준화 기구로서, 망 관리, 서비스 요구사항, 인터페이스, 프로토콜 전반에 AI/ML 관련 기능을 포함하고 있으며, 한편 O-RAN Alliance는 글로벌 이동통신사와 제조사 중심의 RAN 부분에 특화된 이동통신 표준화 기구로, 개방형 무선접속망 구현을 목표로 인터페이스 표준과 함께 RAN 내 AI 활용을 위한 아키텍처(예: SMO, RIC 등)를 정의하고 있다. 두 기구 모두 AI의 도입을 통한 운영 자동화와 네트워크 성능 최적화를 목표로 하지만, 역할 분담과 접근 방식에서는 차이가 있다. 본 기고에서는, 오픈랜 최근 현황과 5G에서 6G로 진화하는 과정에서 특별히 3GPP와 O-RAN의 RAN 지능화 관련 표준화 협력 동향을 살펴본다.

Ⅱ. 오픈랜 산업 생태계 동향 및 국내 R&D 추진현황[3]

오픈랜 얼라이언스 (O-RAN)가 설립된 지 7년이 되었다. 그간 O-RAN은 오픈랜 분산화/가상화/지능화에 필요한 기능 및 개방형 인터페이스 표준, 테스트 사양 표준, Plugfest 와 O-RAN OTIC (Open RAN Test and Integration Center)의 실증 및 인증 활성화 통해서 오픈랜 생태계 구축도 지원을 해오고 있다. 2021년 부터 2023년 기간에는, 글로벌 제조사들은 핵심기술 연구개발, 개념 증명(Proofs of Concept), 시험 및 인증 과정을 거쳐, 미국 DISH의 대규모 5G 상용망과 일본의 라쿠텐 모바일의 전국단위의 상용망 구축하는등 북미와 아시아 태평양 지역이 오픈랜 채택과 오픈랜 상용화를 주도하면서, 오픈랜 시장이 성장하였다. 최근에 일본의 소프트 뱅크가 5G 추가 주파수를 할당을 받아서 2025년부터 오픈랜 상용화를 확대할 것으로 기대되고, 유럽은 2025년 이후 본격적으로 확산이 기대된다. 〈그림 1〉은 오픈랜의 주요국과 산업생태계로, 오픈랜 주요 벤더를 보면 기존의 5G NEP에서 약 40여개의 오픈랜 벤더로 다양화되었고, HW/SW를 모두 포함하면 130여개의

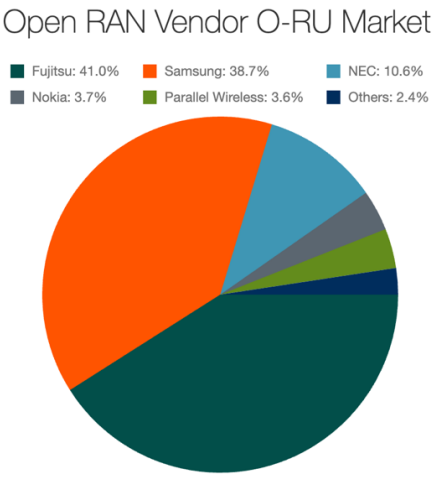


그림 2. Open RAN Vendor O-RU Market Share[4]

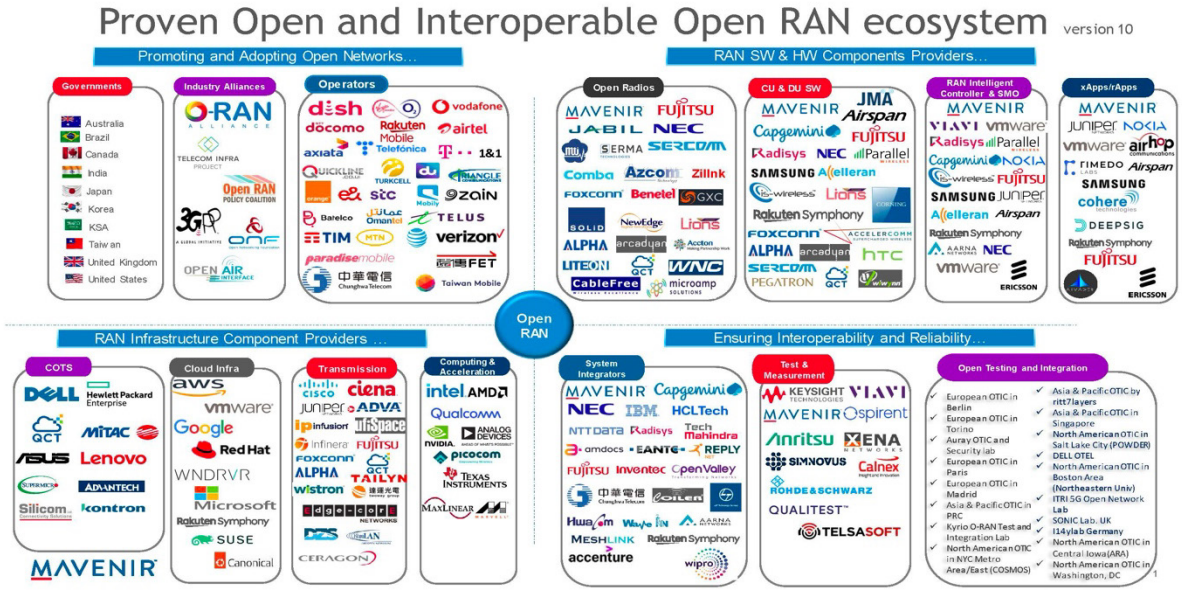


그림 1. 오픈랜 주요국 및 산업 생태계 (출처: Marvenir)

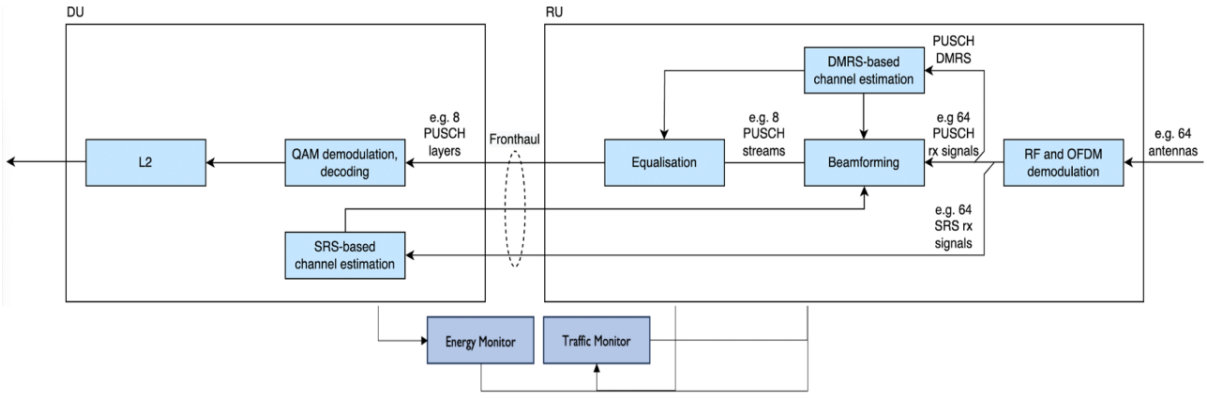


그림 3. Category-B ULPI-Class A 와 지능화 개념

O-RAN 회원사의 오픈랜 산업생태계로 확장되었으며, O-RAN 회원사가 아닌 국내외 오픈랜 산업생태계를 포함하면, 이보다 클 것으로 예상된다.

오픈랜은 O-RAN 호환 무선장치(O-RU)를 공급하는 주요 공급업체를 중심으로 구축되어 왔다. 〈그림 2〉는 2023년 O-RU 시장 점유율이다. 2023년 말 기준으로 삼성전자과 Fujitsu가 전 세계 O-RU 시장의 약 80%를 점유하며 글로벌 시장을 주도했다. Fujitsu는 오픈랜 무선장치 출하량의 약 41%, 삼성전자는 약 39%를 차지하였다. NEC는 일본 라쿠텐 모바일 네트워크 공급을 통해 약 10~11% 점유율로 3위를 차지했다. 나머지 Nokia, Parallel Wireless 등의 업체는 소규모 시험 프로젝트 위주로 제한적인 시장점유율을 보였다.

오픈 프론트홀 표준은 O-RAN 표준에서 많은 제조사들이 참여한 표준으로, RU의 용량에 따라서, 다수의 표준으로 나뉘어졌다. 4TRX/8TRX RU를 위한 Category-A O-FH, 64TRX매시브-MIMO 용 Category-B 가 표준화 되었으며, 특히 매시브-MIMO의 상향링크의 성능을 향상을 위한 ULPI-Class B 와 ULPI-Class A 표준이 완료가 되었다. 특히 Category-B, ULPI-Class A 표준의 RU은, 〈그림 3〉과 같이 CSI (채널스테이드정보) 추정, Equalization, DMRS 의 수행을 모두 O-RU단에서 하기 때문에, 기존 통신사의 고용량의 오픈랜 기지국 로드맵에 부합하기 쉽다. 이와 같은 모든 O-RU R&D 가 국내에서 수행되고 있기 때문에, 향후에 국내 기업들의 O-RU 시장 약진을 기대해 볼 수 있는 부분이다.

2024년부터, 북미의 DISH Network와 일본의 라쿠텐모바일 등 전세계적으로 통신사업자들의 5G 대규모 신규 구축 프로젝트가 마무리 단계에 접어들면서, RAN 시장의 침체가 시작되었고, 오픈 랜 시장도 급격한 침체기를 맞았다. 2024년에는 삼성, NEC, 후지쯔가 RAN 매출 기준으로 보면, 2023년의 〈그림 2〉와 같이 오픈랜 공급업체 상위권을 유지했으나, 전년 대비 출하량은 크게 줄었다. ABI Research에 따르면 2024년 말 기준 전 세계 RAN 투자 중 오픈랜 점유율은 6~8% 수준으로, 2023년 대비 약간의 상승에 그쳤다. 장기적으로 오픈랜 시장은 2028년까지 전체 RAN 시장의 약 25% 이상을 차지할 것으로 예측되며, 2025~2026년부터는 시장이 다시 활기를 되찾을 것으로 예상된다.

2025년 4월에 있었던 3GPP 와 O-RAN 공동 워크숍에서는 6G 프론트홀 표준사양에 대한 논의가 있었다. 3GPP RAN 측에서는 O-RAN 사양(예: O-RU와 open fronthaul 인터페이스)을 직접 인용해 표준에 포함하자는 제안이 있었으나, 이견도 있어서, 타협안으로 3GPP 표준 본문이 아닌 부속서에 O-RAN 호환 요소의 존재를 언급하는 방안 등이 거론되었다. O-RAN 아키텍처에는 무선장치(O-RU) 외에도 가상화 된 기저대역 장치인 분산 유닛(O-DU), 중앙 유닛(O-CU), 그리고 네트워크 자동화를 위한 RAN 지능형 컨트롤러(RIC)가 포함된다. 오픈랜 소프트웨어 부문에서는 Mavenir와 Rakuten Symphony가 주요 기업으로, 특히 Mavenir는 DISH의 5G 네트워크의 vDU/vCU 소프트웨어를 공급하고 있으며 Rakuten Symphony는 독일 1&1 등 신규 네트워크 공급을 맡고 있다.

RIC(Open RAN Intelligence Controller)는 아직 상용 초기 단계로, 2024년까지는 대부분 시험 개발 단계이다. Juniper Network, Ericsson, Nokia, 삼성전자 등 다양한 기업들이 RIC 플랫폼을 개발하고 있으며, O-RAN 표준, 테스트 사항, 구현, Use-case 개발이 향후 몇 년 동안 가장 본격적으로 추진될 부분이다. 또한 2024년 MWC에서 창립한 AI-RAN 얼라이언스을 통해서, AI와 RAN 융합 구현과 Use-case 개발면에서 NVIDIA 와 ARM 이 오픈랜 칩 벤더로 진입을 하기 위해서 장비 벤더와의 적극적인 협력을 하고 있다. 또한

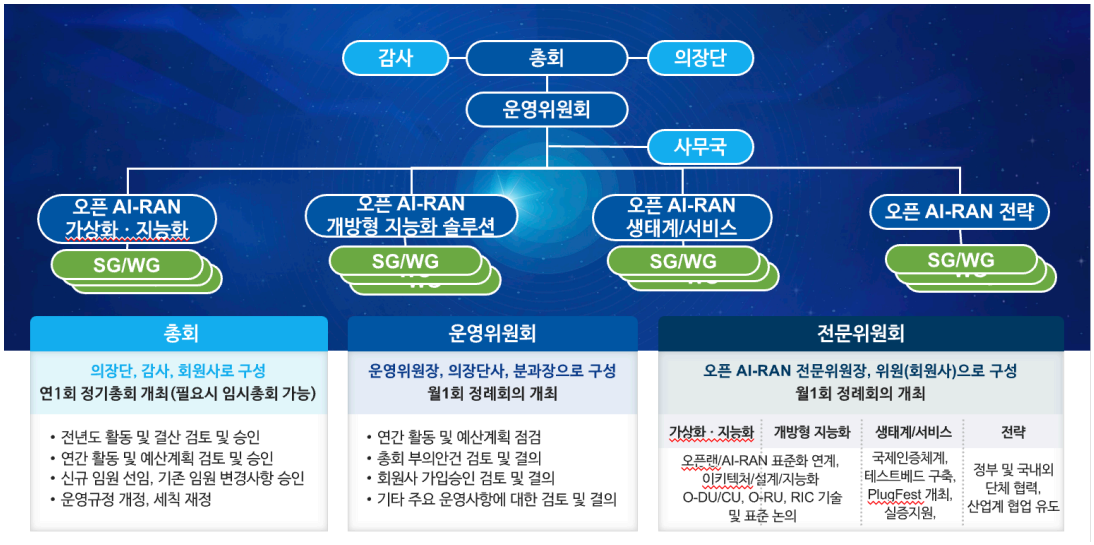


그림 4 과기부 민관합동 오픈랜 인더스트리 얼라이언스(ORIA) 조직

물리계층의 가상화는 64TRX MIMO의 구현이 핵심인데, 관련 가속기 솔루션을 갖고 있는 벤더로는 Intel(vRAN Boost), Qualcomm(X100 인라인 가속 카드), Marvell(OCTEON 10 Fusion), NVIDIA(Grace Hopper Super Chip)등이 있으며, 성능과 비용면에서 서로의 장점을 두고 경쟁을 하고 있다.

선진국들은 AI와 RAN 융합을 위해서, 이미 국가 주도의 대규모 투자와 R&D 확대를 추진을 하고 있으며, 2025년부터는 RAN 지능화 부분의 기술 개발 투자가 시작되고 있다. 미국의 NTIA는 반도체 및 과학법을 통해 약 2조원의 Wireless Innovation 기금을 확보하고 미국 기업 및 대학을 통해 차세대 통신네트워크 기술 개발을 지원해 오고 있다. 2023년에는 NOFO-1 (Notice of Funding Opportunity)을 통해서 17개의 오픈랜 성능 테스트 및 평가 방식 프로젝트에 1.4억 달러를 지원했으며, 2024년엔 NOFO-2[5] 에서는 총 4.2억달러 기금으로 최소 2,500만달러 규모의 O-RU 상용화 개발 프로젝트를 지원을 마치고, 2025년부는 오픈랜의 지능화 기술확보를 위해서 RIC 개발을 본격적으로 지원을 시작했으며, 국내에서도 두개의 기업이 지원을 했다. 또한, 민간기업에서는 AT&T가 에릭슨과 함께 18조원 규모의 오픈랜 상용화 투자를 결정했으며 역시 지능화 부분이 오픈 인터페이스 보다 더 강조가 되고 있다. DARPA 와 NSF는 2018년부터 다수의 기업과 대학이 참여한 차세대 거점 대규모 연구 시험망을 구축해 차세대 통신네트워크 연구를 선도하고 있으며, 미국의 NEU에서는 Open6G 플랫폼을 구축하고 네트워크 지능화 연구를 시작하고 있다.

한국도 차세대통신을 12대 국가전략기술의 하나로 선정하고, 오픈랜 경쟁력과 초지능-네트워크 기술확보를 국가차원에서 추진하고 있으며, 2023년에 민관합동 ORIA를 설립해서, 오픈랜 R&D, 오픈랜 실증사업, Korea-OTIC을 중심으로 생태계 확산을 지원하고 있다. 작년 6월엔 과학기술 정보통신부의 민관합동 오픈랜 인더스트리 얼라이언스(ORIA)의 대표의장사가 3000명의 전문가가 참여하는 O-RAN ALLIANCE 총회 및 표준화 회의를 국내에서 성공적으로 개최하면서 양기관 간의 MoU를 체결하였다. 〈그림 4〉와 같이 ORIA (Open AI-RAN Industry Alliance)는 임무중심의 민관협력 산업단체로, 오픈랜에서 AI-RAN까지 정부의 R&D 전략을 지원하고 있다. 가상화/지능화 위원회, 개방형/지능화 위원회, 오픈 생태계/서비스 위원회, 전략위원회 등 4개의 위원회가 활동을 하고 있다.

결론적으로, 오픈랜과 AI-RAN은 기술적 개방성과 지능화를 바탕으로 차세대 통신 산업의 중요한 패러다임으로 자리 잡고 있다. ORIA 는 오픈랜과 AI-RAN 글로벌 시장 진입과 기술 경쟁력을 확보를 위해서, 체계적이고 지속적으로 R&D 및 생태계 확보를 위한 민관협력을 강화해 나가야 하며, 이를 통해 차세대 네트워크 기술 패권 경쟁에서의 우위를 점할 수 있을 것이다. 다음 절부터는 3GPP 와 O-RAN간의 6G 지능화 표준에 대한 협력 동향에 대해서 알아 본다.

Ⅲ. 3GPP와 O-RAN의 6G 표준 역할분담

3GPP와 O-RAN 얼라이언스는 표준화 범위와 역할에 있어 상호보완적 관계를 형성하고 있다. 3GPP는 이동통신 기술의

표 1. 5G/6G 지능화 표준에 대한 3GPP 와 O-RAN 역할 분담 안

구분	3GPP	O-RAN 얼라이언스
담당영역	5G/6G 이동통신 전체 (단말, RAN, 코어, 서비스관리)	개방형 RAN (다중 벤더 RAN 장비, 인터페이스등)
RAN 지능화	AI/ML을 위한 관리 기능 표준화 (모델 관리, 데이터 수집 등) 및 RAN 프로토콜 확장 등	AI/ML을 활용한 RAN 제어 아키텍처 정의 (SMO, RIC, rApp/xApp 등) 및 구현 가이드
인터페이스	기존 폐쇄형 인터페이스 (예: CPRI fronthaul)도 포함한 전체 인터페이스 규격. 관리 인터페이스는 NRM 기반 모델 (NETCONF/REST) 사용	개방형 인터페이스 (예: Open Fronthaul, E2, A1, O1, O2 등) 규격화. 3GPP 정보 모델과 연동 고려 (O1 인터페이스는 3GPP 관리 모델 준용)
AI 워크플로우 표준화	AI 모델 생애주기 관리(LCM)에 초점 (훈련-배포-추론 단계별 요구사항, 성능 모니터링), 네트워크 데이터 수집 및 모델 배포를 위한 기본 절차 정의	AI 서비스 활용 시나리오에 초점. AI/ML Workflow 명세서에서 RAN 데이터 수집부터 모델 학습/배포/추론의 상세 절차 규정. RIC를 통한 AI-as-a-Service 프레임워크 제공
표준화 산출물 성격	전세계 국제표준 (TS/TR)	3GPP 호환성을 목표로 하며 이동통신 업계 주도의 기술사양 (시장 표준).

전반을 아우르는 핵심 규격(Release)을 정의하면서, 여기에 AI/ML 지원을 위한 기본 아키텍처를 정의한다. 예를 들어 3GPP SA5에서 정의한 AI/ML 관리용 기술규격 TS 28.105는 통신망 전 영역에서 ML 모델의 생애주기 관리 (LCM) (훈련, 배포, 성능 모니터링 등)를 위한 공통 절차와 서비스를 규정하고 있다[1]. 또한 3GPP RAN 그룹에서는 NR 인터페이스상의 AI 활용 (예: 채널 예측, 스케줄링 최적화 등)을 위한 요구사항과 데이터 수집/교환 메커니즘을 연구하고 있다[6]. 반면 O-RAN 얼라이언스는 3GPP가 정한 큰 틀 내에서 RAN 세부 구성요소의 개방형 구현을 목표로 하고 있다. 그래서, O-RAN은 프런트홀 인터페이스 개방, 분산/중앙 유닛 분리(O-CU/O-DU) 등 하드웨어/소프트웨어 분리를 추진함과 동시에, 지능형 제어기(RIC)를 도입하여 멀티 벤더 환경에서도 AI를 활용한 네트워크 최적화 앱(xApp/rApp)을 구동할 수 있는 체계를 개발했다.

올해 4월에 있었던 3GPP와 O-RAN 얼라이언스 공동 워크숍에서는, 3GPP는 전체 6G 아키텍처와 핵심 서비스(무선 접속, 코어, 관리 등)의 통합 규격을 주도하고, O-RAN은 3GPP 프레임워크와 일치하는 형태로 RAN 세부사항(예: 프런트홀, SMO, RIC, 클라우드 인프라 관리)을 보완하는 역할을 담당하는 역할분담이 논의되었다. 〈표 1〉는 이번 공동워크숍에서 논의된 양 기관의 역할 분담으로 개략적으로 비교하였다.

〈표 1〉에서 보듯이 3GPP는 RAN 지능화의 관리/운용 측면에서 공통 기능 요구사항을 정의하고, O-RAN은 이를 실제 RAN 요소에 적용하기 위한 구현 구조를 제시한다. 예를 들면, 성능관리(PM), 구성관리(CM), NWDAF 기반 데이터 분석(MDA) 등 3GPP SA5가 정의한 관리 서비스(MnS: Management Service)들을 O-RAN SMO 상에서 서비스 형태로 구현하여, O-RAN의 rApp들이 이를 소비하거나 생성할 수 있게 하는 지능화 구조이다.

3GPP는 AI 모델 자체나 구체적인 알고리즘보다는 모델의 관리와 성능보장 방법에 집중하고 있는 반면에 O-RAN은 그러한 관리 기능을 활용하여 RAN에 특화된 지능형 제어 앱들을 동작시키는 데 집중 함으로서, 결과적으로 양자 협력을 통해 기존 폐쇄형 RAN 환경에서는 어려웠던 멀티 벤더 지능형 자동화를 실현하고, 중복 투자를 회피하면서도 각자의 강점을 살린 발전 전략이 논의되고 있다.

Ⅳ. SMO 와 RIC 중심의 지능화 구조

본 절에서는 O-RAN의 지능화 표준을 살펴보고, 3GPP의 지능화 표준 관리평면과의 연계에 대해 구체적인 안을 살펴본다. O-RAN이 제시한 서비스 관리 및 오케스트레이션(SMO) 구조는 지능형 RAN의 중추로서, 3GPP 관리평면과의 연계를 고려하여 설계되었다. SMO는 통신사 망의 OSS/BSS와 연동되어 RAN 도메인 관리를 담당하며, Network Slice 관리, O-Cloud 관리, RAN 장비의 FCAPS 관리(Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security), AI Workflow를 수행한다. 또한, Non-RT RIC 기능을 내장하여 AI 기반의 고도화된 서비스를 제공한다. 예를 들어, Non-RT RIC는 네트워크 최적화, 트래픽 관리, 에너지 효율성 향상 등을 통해 지능형 RAN의 성능을 극대화한다. SMO는 서비스 기반 아키텍처(SBA) 원칙을 따르며, 표준화된 서비스 기반 인터페이스(SBI)를 통해 상호 운용성을 가능하게 한다. 이를 통해 SMO는 지능형 RAN의 핵심 역할을 수행하며, 3GPP 관리평면과의 원활한 연계를 통해 네트워크의 효율성과 유연성을 극대화한다. 이러한 구조는 통신사가 AI와 자동화를 활용하여 네트워크 운영을 더욱 효율적으로 관리하고,

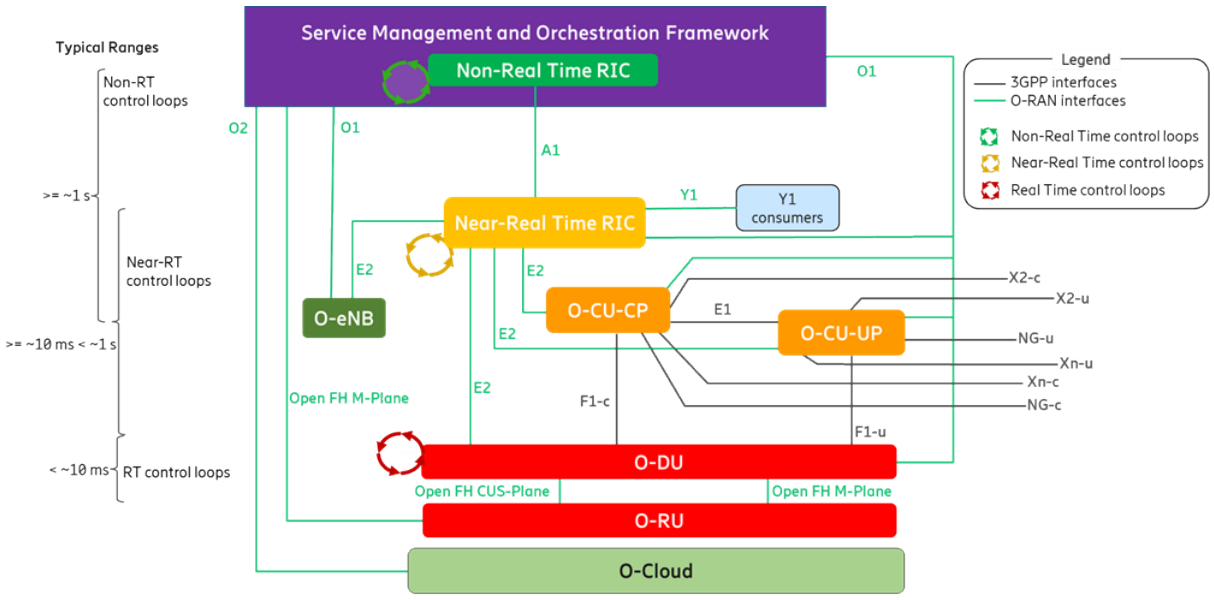


그림 5. O-RAN 아키텍처에서 SMO와 RIC 구성. SMO 내부에 Non-RT RIC, A1 인터페이스로 Near-RT RIC과 연결. SMO는 O1 인터페이스를 통해 RAN 장치들(O-CU, O-DU, O-RU 등)에 관리 명령을 수행하고, Near-RT RIC은 E2 인터페이스를 통해 RAN에 준실시간 제어를 수행

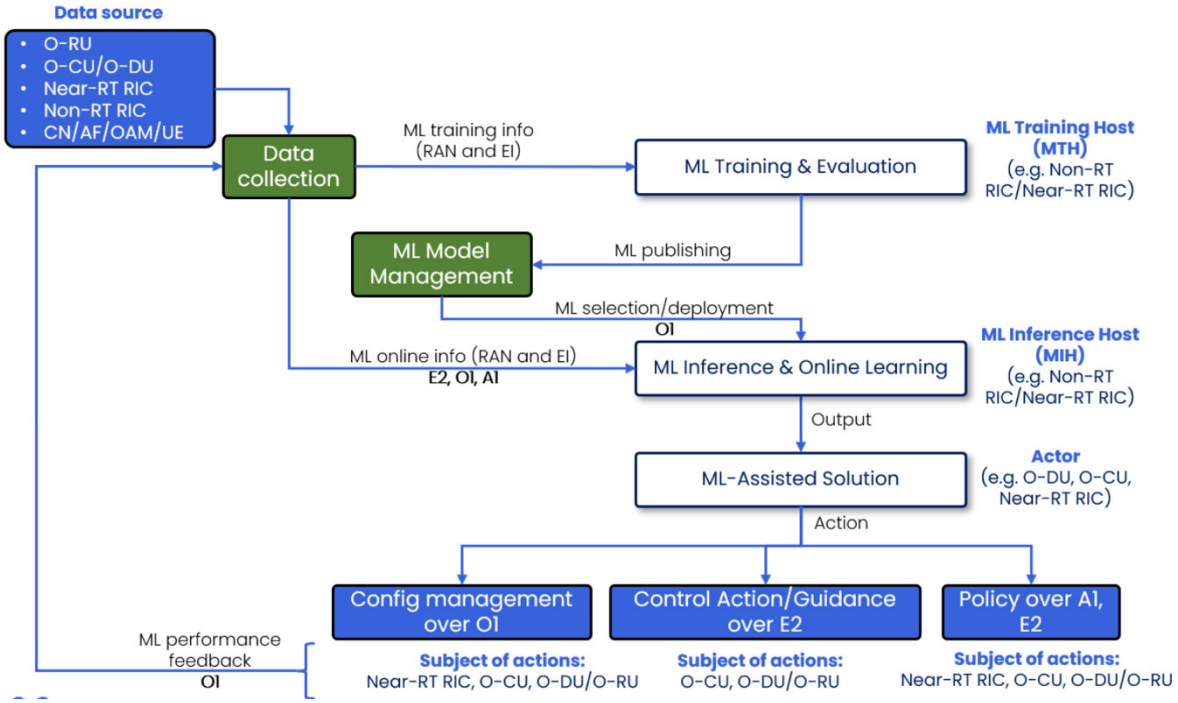


그림 6. O-RAN 지원 AI/ML 워크플로우[7]

사용자 경험을 개선할 수 있는 기반을 제공한다.

〈그림 5〉는 O-RAN 전반적 아키텍처에서 SMO와 RIC의 위치를 나타내었다. 비실시간 RIC (Non-RT RIC)은 SMO 프레임워크 내부에 포함된 논리 기능으로, 1초 이상의 비실시간 범주에서 동작하며 정책 생성, 장기 최적화, 빅데이터 분석 및 AI 모델 학습/관리를 수행한다. 한편, 준실시간 RIC (Near-RT RIC)은 RAN 무선국제어기(O-CU/O-DU)와 가까운 엣지 클라우드에 배치되어 10ms~1초 수준의 빠른 주기로 RAN 자원을 제어/최적화하는 기능을 한다. Near-RT RIC 상에서는 서드파티가 개발한 xApp들이 구동되어 무선 자원 스케줄링,

간섭 제어 등 세분화된 RAN 제어를 담당하며, Non-RT RIC으로 부터 A1 인터페이스를 통해 전달된 정책 지침에 따라 동작하게 된다. Non-RT RIC은 xApp의 동작 결과를 수집 및 분석하여 정책을 지속적으로 조정하거나 필요한 경우 ML 모델을 업데이트하며, 이러한 상향 피드백을 A1 통해 받아서 폐쇄형 제어 루프로 동작을 한다. 요약하면, SMO + Non-RT RIC이 두뇌 역할을 하고 Near-RT RIC이 신경망처럼 RAN 구석구석에 지능형 제어 신호를 전달하는 구조이다.

이러한 SMO/RIC 기반 지능화 구조를 통해 AI/ML-as-a-Service 개념이 RAN에 도입 될 수 있으며, Non-RT RIC은 방대한 RAN 데이터를 수집/분석하여 AI 모델을 학습하고 최적화 정책을 생성한 뒤, 해당 모델의 추론 기능이나 정책을 Near-RT RIC 및 RAN 노드에 서비스 형태로 제공한다. 예를 들어 Non-RT RIC이 학습한 트래픽 예측 모델을 Near-RT RIC의 xApp에 배포하면, xApp은 준실시간 트래픽 제어에 그 모델을 활용하여 예측 기반의 자원할당을 수행하게 된다. 〈그림 6〉은 O-RAN에서 정의된 AI/ML 워크플로우의 개략도이다. 데이터 수집은 O-RU, O-DU, O-CU, RIC 등 RAN 각 요소와 코어망/UE로부터 O1, E2, A1 인터페이스 등을 통해 이뤄지며, 이렇게 모인 데이터는 Non-RT RIC의 ML Training Host에서 모델 학습에 활용된다. 학습된 모델은 ML Model Management 기능을 통해 버전 관리되며, 배포 결정이 내려지면 O1/A1 인터페이스 등을 통해 현장에 모델이 배포된다. ML Inference Host는 배포된 모델을 실시간 추론에 활용하는 기능으로, 일반적으로 Near-RT RIC (혹은 경우에 따라 Non-RT RIC)이 이 역할을 수행하며 xApp/rApp이 그 Actor로서 동작된다. 최종적으로 ML 추론 결과에 따른 제어 액션이 E2 또는 O1 인터페이스를 통해 RAN 장비에 적용되고, 그 성능 영향에 대한 피드백이 다시 데이터로 수집되어 학습 고도화에 반영되는 선순환이 수행된다.

이처럼 SMO/Non-RT RIC을 통한 AI 서비스화는 RAN 운영에서 인간 개입을 최소화하는 자동화 수준을 한층 높여주고, 궁극적으로는 완전 자율 RAN으로 진화될 것으로 예상된다. 나아가 서비스사업자들은 특정 벤더에 종속되지 않고도, O-RAN이 정의한 개방형 인터페이스와 SW 앱 마켓 플레이스를 통해 자체 최적화 앱(rApp/xApp)을 개발·적용하거나 써드파티 솔루션을 도입할 수 있게 될 것이다.

단, 이러한 멀티 벤더 환경에서 상호운용성과 안정성을 확보하려면 3GPP와 O-RAN 과의 용어/정보모델 통일 및 인터페이스 호환이 필수적이다. 실제로 O-RAN 얼라이언스는 3GPP SA5에서 규정한 여러 가지 관리 서비스(MnS)들을 SMO 서비스 구조에 그대로 적용할 수 있는 아키텍처 연구들이 진행되어 왔다. 예를 들어 3GPP에서 정의된 NWDAF나 MDA (management data analytics) 기능들과 일반 관리 서비스(28.532 규격) 등이 O-RAN의 SMO 플랫폼 서비스로 구현되어 rApp에 의해 소비될 수 있도록 표준 조정을 하고 있다. 다음 절에서는, 지난 3GPP 와 O-RAN 공동워크숍에서 삼성전자/Telus/SKT/KDDI/Verizon/Jio의 공동 기고문에서 제안된 3GPP 관리 지능화 프레임워크와 O-RAN RIC 사이 통합 모델안을 살펴 본다.

V. 통합 모델 Mapping-A 와 Mapping-B 아키텍처

최근에 있었던 3GPP와 O-RAN의 합동워크숍 협력 논의에서는 앞으로 다가오는 6G에서 O-RAN의 개방형 Decoupled SMO 중심 구조를 3GPP 관리평면에 어떻게 연결할 것인지가 가장 관심있던 핵심 이슈였는데, 삼성전자가 Telus/SKT/KDDI/Verizon/Jio 공동으로, 두 가지 통합 아키텍처 옵션, 일명 Mapping-A와 Mapping-B를 〈그림 7〉과 같이 제안하였다.

〈그림 7〉의 두가지 Mapping 방식은 O-RAN의 Non-RT RIC (rApp)과 3GPP 관리 서비스(MnS) 간 연동 방식의 차이를 나타내고 있다. Mapping-A는 O-RAN 주도적 방식으로 O-RAN에서 사업자의 요구사항 기반으로 생성된 Use case 를 지원하는 rApp 또는 SMO Service를 지원하기 위해서 3GPP에 요청해서 3GPP의 표준에 O-RAN의 요구사항을 반영하는 방안이다. rApp들이 필요한 데이터나 AI 모델을 SMO를 통해 요청하고 소비만 할 뿐 직접 관리 객체를 표준화 하지는 않는 방안이다. 예를 들어 rApp이 3GPP 6G에서 새로이 정의한 무선 품질 데이터를 요구하면 SMO가 3GPP에서 정의한 관리 객체를 통해서 기지국에서 데이터를 수집(MnS Producer로부터 취득)하여 rApp에 제공하고, rApp은 자체 로직으로 분석하여 사용하지만 망 구성요소를 직접 새로이 표준화 또는 개발하지 않는 연결방식이다. 반면에, Mapping-B는 3GPP에서 O-RAN에 3GPP use case의 지원을 요청하는 방안이다. 이 경우 3GPP는 O-RAN의 관리 서비스의 Consumer의 역할을 한다. 3GPP의 use case를 지원하는 rApp/SMO Service는 3GPP의 관리 서비스의 Producer의 역할을 하고 직접 관리 객체(MnS)를 표준화 해서 생성/수정하거나, 자체 ML 워크플로우를 실행하여 결과를 관리 DB에 반영하는 등 더 큰 자율성을 갖는다.

Mapping-A 모델에서는 O-RAN이 주도적인 방안이어서

사업자 친화적인 방안이다. 사업자가 원하는 rApp과 SMO Service를 지원하기 위해서 O-RAN Alliance 전체적으로 3GPP 와 협력해서 6G 표준 변경이 가능한 구조이다. 반면 Mapping-B는 사업자 중심의 개방형 RAN에 반대해온 RAN 벤더중심의 3GPP 주도 방식으로 3GPP에서 O-RAN에 요구사항을 전달해서 O-RAN에 rApp/SMO Service 표준이 변경이 가능한 구조이다. 두 방식은 서로 배타적이지 않고 향후 두가지 방안은 공존이 가능하다. 앞절에서 언급한 것 처럼, 3GPP 6G 프론트홀에 O-RAN 사양을 직접 언급하는 것에 대해서 이견이 많았던 것처럼, 향후 Mapping-B식 협력을 위해 3GPP와 O-RAN이 어떤 식으로 표준을 조화시킬지 주목할 만 하다.

결론적으로, Mapping-A와 Mapping-B는 점진적 통합과 고도화 통합안의 좋은 방향을 제시하였다. Mapping-A는 표준화 구현 난이도가 낮고 현행 5G 망에 빠르게 적용하기 좋으며, Mapping-B는 6G 시대 AI 네이티브 RAN을 실현하기 위한 장기 청사진이 될 수 있다. 한국의 통신 업계는 현 단계에서 두 옵션을 모두 염두에 두고, 5G 망 고도화에는 우선 Mapping-A 개념을 적용해보면서(패시브 모니터링 및 부분 자동화), 동시에 6G를 대비한 초-지능형 폐쇄루프 제어 기술 역량을 축적해 나가는 투 트랙 전략이 필요하다.

VI. 6G Native AI-RAN 과의 연계

6G 시대에는 RAN의 초-지능화가 선택이 아닌 필수 요소로 자리잡을 전망이다. 3GPP와 O-RAN 얼라이언스도 이를 감안하여 5G-Advanced (Rel-18)부터 미리 표준 기반을 마련해 나가고 있다. 3GPP 측에서는 온디바이스 AI와 분산학습 개념을 도입해서, 단말과 장비 모두의 데이터를 기반으로 한 네트워크의 최적화를 검토하고 있다. 예를 들어 Rel-18 RAN 연구에서 AI/ML 모델의 On-line 학습 가능성이 처음으로 언급되었고, 6G에서는 연합학습(Federated Learning) 등을 통해 중앙 서버에 의존하지 않는 현장학습도 본격적으로 도입하는 방향을 고려하고 있다. 이는 곧 RAN 현장에서 발생하는 이벤트에 AI가 실시간으로 대응하는 자율망으로의 진화를 의미하며, O-RAN의 RIC 구조는 이러한 에지 AI 구현에 핵심적인 역할을 할 수 있다. 3GPP SA2에서도 진화된 NWDAF 개념 하에 Core와 RAN, 단말을 아우르는 Cross-domain AI 아키텍처를 논의 중이며, SA5는 6G를 겨냥한 지능형 통합관리 개념을 연구하고 있다. 한편 O-RAN 얼라이언스는 6G를 대비하여 AI 네이티브 RAN에 필요한 추가 기술(예: RAN 분산러닝 프레임워크, 데이터 라벨링 표준, AI 모델 공유 메커니즘 등)을 선제적으로 규격화를 하고있다. 특히 메타버스, 자동차 통신, 기가 팩토리등 AI 와 인간이 공존하는 6G의 신규 서비스들은 매우 엄격한 요구사항(AI를 위한 데이터의 전송 초저지연, 고신뢰성)을 수반하므로, 네트워크의 AI 기반 예측 및 자율적인 최적화 없이는 충족이 어려울 것이다. 이에 3GPP와 O-RAN은 5G 시대보다 더욱 긴밀한 공조를 통해 6G RAN 구조를 함께 설계하게 될 것으로 예상된다.

양 기구의 표준화 협력 워크숍에서는 "산업계가 중복 투자와

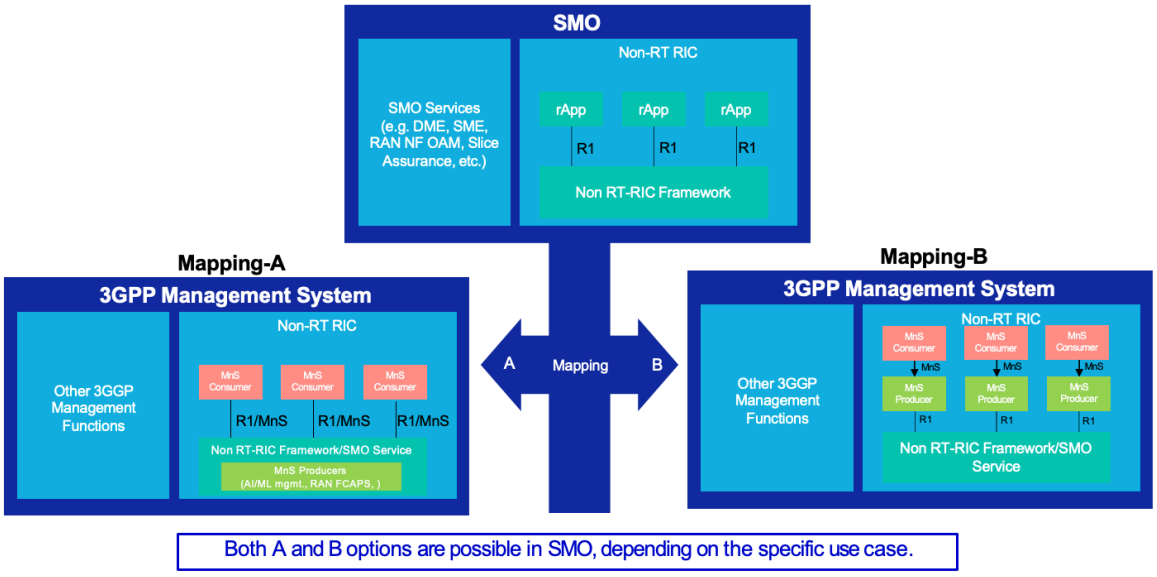


그림 7. Mapping between 3GPP and O-RAN (출처: 3ORW-250031)

단절을 피해야 한다"는 데 폭넓은 공감대가 형성되었다고 볼 수 있다. 구체적으로, 3GPP는 6G RAN의 기본 구조(무선 인터페이스, 스펙트럼, 네트워크 아키텍처 등)를 규정하고 O-RAN 얼라이언스는 3GPP 프레임워크에 부합하는 세부 기능 및 인터페이스(예: 6G 버전의 open fronthaul, 진화된 SMO/RIC, 클라우드 인프라 관리)를 제공하는 이원화 전략이 논의 되었다. 또한 AI 모델과 데이터 구조, 라이프사이클 관리에 있어서도 두 조직이 계속해서 정합성(alignment)을 유지하기로 하여, 6G에서는 관리/제어평면에서 3GPP 사양과 O-RAN 사양이 충돌하지 않고 자연스럽게 접목될 전망이다. 예를 들어 3GPP가 정의한 AI 모델 서식이나 모니터링 지표를 O-RAN에서도 동일하게 채택하고, O-RAN이 제안한 rApp/xApp 구조를 3GPP도 수용하여 표준에 간접적으로 반영하는 방식들이 있을 수 있다. O-RAN 얼라이언스는 AI 중심으로 재구성된 6G RAN에서 자신들의 역할을 선제적으로 자리매김하려 적극적으로 노력을 해오고 있으며, 특히 RAN 지능화 영역에서의 개방형 API와 오케스트레이션 표준을 주도하여 3GPP의 기술을 보완할 것이다. 요컨대 6G 시대에는 3GPP와 O-RAN이 각자의 강점 – 전자는 글로벌 통합 표준화 능력, 후자는 민첩한 기술 실증과 생태계 형성 능력 – 을 결합하여 AI 네이티브 RAN의 실현을 가속화할 것으로 기대된다

Ⅶ. 결 론

본 기고에서는 5G 오픈랜 핵심인 프론트홀 표준, 기술 개발 및 산업생태계 현황과, 6G 네이티브 AI-RAN 구현을 위한 3GPP와 O-RAN의 지능화 표준화 협력을 살펴보았다. RAN 지능화는 5G/6G 시대 통신망 경쟁력의 핵심 요소로 부상하고 있으며, 3GPP와 O-RAN의 협력 표준화는 이를 구현하는 듀얼 엔진이라 할 수 있다. 양 기관의 협력은 미래 통신망의 초지능의 패러다임 전환을 선도할 것이고, 5G 이후 통신망은 더 이상 사람의 세밀한 운영에 의존하지 않고, Physical AI를 연결 할 수 있는 데이터 기반 초지능을 활용한 자율운영으로 나아가야 한다.

한국이 이 분야를 선도하기 위해서는 표준화 전략과 기술 개발, 산학 협력과 제도 개선이 유기적으로 맞물린 종합적 대응이 요구되고 있다. 정부에서도 종합적인 전략을 세우고 있으며, 한국 통신업계와 학계는 이러한 흐름에 선제적으로 대응하여, 표준화 참여를 강화하고. 3GPP SA5, RAN 등의 표준 회의와 O-RAN 얼라이언스의 WG 활동에 국내 전문가들이 적극 참여하여 우리의 요구사항과 아이디어를 반영해야 한다. 또한 표준과 기술 개발 양면에서 주도권을 확보하고, 정부의 민관협력을 통한 수요창출, 제도 개선, 전문 글로벌 인재양성 등 기반조성이 동시에 추진되어야 한다. 3GPP의 글로벌 표준과 O-RAN의 개방형 혁신을 모두 활용하여, 안정성과 민첩성을 겸비한 초-지능형 RAN을 구현하는 데 대한민국 산학연이 핵심적인 역할을 수행하기를 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Yizhi Yao (SI/WI rapporteur, Intel), Hassan Al-kanani (SI/WI co-rapporteur, NEC), Stephen Mwanje (Nokia), "AI/ML Management for 5G Systems,} WG5, 3gpp.org, Sept. 11. 2023

[2] 3ORW-250011, "Views on O-RAN and 3GPP Coordination," KDDI and Samsung, April. 24. 2025

[3] 김동구(연세대학교), 김광순(연세대학교), 최성호(정보통신기획평가원), "차세대통신 게임 체인저 AI-오픈랜을 위한 포괄적인 대응이 필요하다," 한국통신학회지(정보와통신), 제41권, 제 11호, 2024년 10월

[4] ABI Research, https://www.abiresearch.com/news-resources/chart-data/open-ran-o-ru-market-share/

[5] NTIA Round2 Open RU https://www.ntia.gov/program/innovation-fund/grant-programs/round-2-2024

[6] "Overview of AI/ML related Work in 3GPP," Feb. 16. 2025

[7] Marcin Dryjanski, "ML Framework in O-RAN," Rimedolab, Feb. 2023

약 력



김동구

1983년 한국항공대학교 통신공학학사
1992년 University of Southern California EE, 통신공학박사
1992년~1994년 Motorola Cellular Infra Group, CDMA 연구원
2013년~2022년 과기정통부 민관합동 5G포럼 집행위원장/부위원장
2023년~2025년 국가과학기술자문회의 국가전략기술 특별위원회 민간위원 (차세대 네트워크 전략담당)
1994년~현재 연세대대학교 전기전자공학부 교수
2023년~현재 과기정통부 민관합동임무중심 오픈랜인더스트리 얼라이언스 (ORIA) 운영위원장
관심분야: Open RAN, AI RAN, 6G RSMA, MIMO, Full-duplex, V2X, Ocean Cellular IoT



김광순

1994년 KAIST 전기및전자공학과 공학사
1996년 KAIST 전기및전자공학과 공학석사
1999년 KAIST 전기및전자공학과 공학박사
1999년~2000년 UC San Diego 박사후연구원
2000년~2004년 한국전자통신연구원 선임연구원
2004년~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수
관심분야: 6G 이동통신, Extremely Massive MIMO, ORAN/vRAN, 통신/AI/센싱융합



이경한

2002년 KAIST 공학사
2004년 KAIST 공학석사
2009년 KAIST 공학박사
2009년~2012년 KAIST/North Carolina State University 선임연구원/박사후연구원
2012년~2020년 UNIST 전기전자컴퓨터공학부 부교수/조교수
2020년~현재 서울대학교 전기정보공학부 교수/부교수
관심분야: AI-RAN, 데이터센터 네트워크, 네트워크 컴퓨팅, 분산 AI시스템



송준혁

1995년 핀들리 대학교 학사
1997년 시라큐스 대학교 석사
2010년 워싱턴 대학교 공학 석사/박사
1998년~2005년 삼성전자 통신 연구소 책임 연구원
2012년~현재 삼성전자 네트워 사업부 수석 연구원
관심분야: AI Open RAN, AI Orchestration, Post Quantum Security, Automation.