

차세대 무선 접속망의 AI-Native 전환과 표준화 현황에 관한 연구

전보라*, 김선지, 이해영

*한국정보통신기술협회(TTA)

*borajeon25@tta.or.kr, mine224@tta.or.kr, hyeyoung@tta.or.kr

A Study on the AI-Native Transition of Next-Generation Radio Access Networks and Standardization Status

Bora Jeon*, Sun Ji Kim, Hyeyoung Lee

*Telecommunications Technology Association

요 약

본 논문은 6G 시대를 앞두고 'AI-Native 네트워크' 구현을 위해 무선 접속망에서 중요성 및 관심도가 급부상 중인 AI-RAN의 기술 개념과 3GPP, O-RAN ALLIANCE, ITU-T 등 주요 표준화 기구의 AI/ML 연구 현황을 분석한다. 또한 현황을 기반으로 AI-RAN 표준화 주요 과제를 도출하고, 국내 R&D 및 표준화 추진 전략을 제시한다.

I. 서론

기존의 무선 접속망(RAN)은 사용자에게 모바일 광대역 서비스를 제공하기 위한 인프라로 구축되었다. 하지만 다양한 커넥티드 디바이스, 지상-공중-우주 간 융합 등 네트워크 복잡성의 증가, 자율주행, 산업 자동화, 원격 수술 등 초저지연·초고신뢰 서비스의 필요성 강화, 글로벌 탄소중립 정책과 맞물린 지속 가능한 네트워크 구축 및 운영의 중요성이 빠르게 증가하면서 기존 RAN의 혁신적인 변화가 필요한 시점이다.

이에 6G 시대를 앞두고 단순한 고속·고용량을 넘어 통신 네트워크 구조와 기능 전반에 인공지능(AI)을 근본적으로 통합하려는 움직임이 가속화되고 있다. AI를 보조적인 기능으로 탑재하는 것이 아닌 네트워크 설계 초기부터 AI가 내재된 구조를 지향하는 'AI-Native 네트워크'를 강조하며, 무선 접속망에서는 'AI-RAN'이라는 기술 개념이 급부상 중이다.

주요국의 6G 기술 선도권 확보를 위한 전략적 정책을 살펴보면, 미국은 국가과학재단(NSF)과 국방고등연구계획국(DARPA) 등을 통해 AI-RAN 연구개발을 적극 지원하고 있으며, 유럽연합(EU) 역시 호라이즌 유럽의 일환으로 'SNS JU'를 설립하여 AI-Native 네트워크 연구 프로젝트를 추진 중이다. 일본은 'Beyond 5G 연구개발 촉진 사업'에서 AI-Native 네트워크 개념을 명시적으로 포함하며, 네트워크 자율성 향상을 위한 기술들을 제시한다.

이러한 흐름 속에서 우리나라 역시 AI-RAN을 미래 전략기술의 핵심 축으로 인식하고, 관련 연구개발, 표준화 참여, 산업 기반 조성에 있어 더욱 선제 대응이 필요하다. 특히, AI-RAN 기술이 단순히 네트워크 성능 향상을 위한 보조 기술이 아닌 향후 6G 시대의 통신 패러다임을 규정할 핵심 인프라임을 고려할 때, 이를 체계적으로 분석하고 전략적 방향성을 설정하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 AI-RAN 기술 개념에 대한 이해를 바탕으로, 3GPP, O-RAN ALLIANCE, ITU-T 등 주요 표준화 기구별 AI/ML 연구 현황을 분석하여 우리나라의 향후 대응 전략을 제시한다.

II. 본론

1. AI-RAN 개요

AI-RAN은 AI를 RAN 인프라에 완전히 통합하여 네트워크 활용도, 스펙트럼 효율성, 성능 향상과 같은 기존 RAN 대비 혁신적인 이점을 제공할 뿐만 아니라, AI 애플리케이션과 가상화 SW를 포함하여 사업자는 동일한 인프라를 통해 단일 자본 투자로 새로운 AI 서비스 수익 창출 기회를 가능하게 하는 기술이다.

Softbank의 백서에서는 그림 1과 같이 AI-RAN 아키텍처를 정의하며, '24.2월 MWC 2024에서 공식 출범한 AI-RAN Alliance'에서는 아래와 같이 세 가지 주요 개발 영역으로 나누어 연구 중이다.

- 1) AI-for-RAN: 스펙트럼 및 무선 자원 관리 최적화, 예측 유지보수 활성화, 네트워크 이상 탐지 등 RAN 성능 향상을 위한 AI 활용 연구
- 2) AI-and-RAN: 컴퓨터와 통신이 융합된 인프라에서 RAN과 AI 워크로드를 동시에 활용할 수 있도록 연구
- 3) AI-on-RAN: RAN에서 AI 애플리케이션을 실행하기 위해 RAN을 개선하는 솔루션 연구

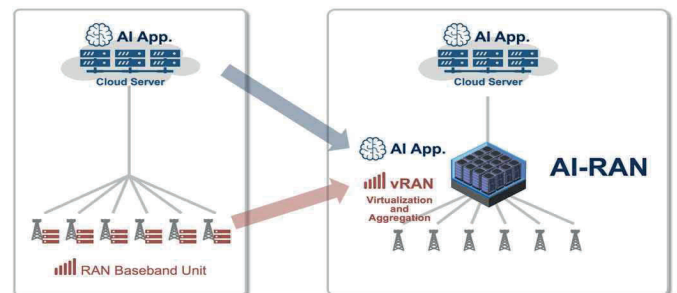


그림 1. AI-RAN 아키텍처 [1]

AI-RAN의 구축의 현실적인 문제를 살펴보면, ▲방대한 인프라 초기 구축 비용, ▲기존 Telco 제반 업무(예: 보증 계약 변경 등) 프로세스 개선, ▲AI 기술개발의 어려움, ▲다른 기업의 AI 모델 도입 시, 개인 정보보호 문제 해결 등이 있다.

2. 주요 표준화 기구별 AI/ML 연구 현황

가. 3GPP

3GPP는 네트워크 아키텍처의 모든 필수 계층에 AI/ML 기능 통합을 위하여 AI/ML 모델 자체 표준화는 제외하고 핵심망(Core Network), 무선 접속망(RAN), 관리 영역(OAM) 전반에 걸쳐 다각적인 연구를 진행하고 있으며, 영역별 AI/ML 표준화 현황은 표 1과 같다.

연구 분야	WGs	내용
① 네트워크 데이터 분석 기능(NWDAF)	SA2	<ul style="list-style-type: none"> Rel-15에서 사업자가 관장하는 네트워크 관리 고도화 및 자원 운영 효율성 지원을 위해 5G 핵심망 제어 평면 기능으로 도입 액세스 및 이동성 관리 기능(AMF), 세션 관리 기능(SMF), 정책 제어 기능(PCF) 등의 요소로부터 데이터 수집 및 분석 후, AI/ML 기능에 피드백하여 운영 최적화하는 '분석 보조 시스템'
② 관리 데이터 분석 기능(MDAF)	SA5	<ul style="list-style-type: none"> Rel-17에서 네트워크 및 서비스 관리에서 자동화 및 지능화를 위해 관리 데이터 분석에 중점을 두고 도입 네트워크 데이터(예: KPI, QoE 보고서, 알람 등)를 처리 및 분석하여 SON 기능/운영자 의사결정에 결과를 제공
③ NG-RAN	RAN3	<ul style="list-style-type: none"> Rel-17에서 RAN에 대한 AI/ML 적용을 주제로 도입 RAN 지능화 기능 프레임워크(Rel-18)와 유스케이스(Rel-17: ▲에너지 절감, ▲부하 밸런싱, ▲이동성 최적화, Rel-19: ▲커버리지 및 용량 최적화(CCO), ▲네트워크 슬라이싱) 개발
④ 무선 인터페이스	RAN1/ RAN2	<ul style="list-style-type: none"> Rel-18에서 AI/ML 기능을 5G NR 무선 인터페이스 구간에 적용하여 본격적으로 표준 개발 무선 인터페이스를 위한 유스케이스(Rel-18: ▲CSI 피드백 향상, ▲빔 관리, ▲위치 정확도 향상) 개발 Rel-19에서 RAN2는 AI/ML 기반 무선 자원 관리(RRM) 측정, 셀 단위 측정, UE-side only에 해당하는 핸드오버 실패/무선 링크 실패(RLF) 예측 연구 시작

표 1. 3GPP AI/ML 표준화 현황 [2]

나. O-RAN ALLIANCE

O-RAN ALLIANCE는 주로 RAN 중심의 지능화에 초점을 맞추어 RAN 내 의사결정 자동화, 최적화, 예측 기능을 강화하며, 이를 위해 두 가지 무선망 지능형 컨트롤러(RIC)를 정의하고 있다.

- Non-RT RIC: 서비스 관리 및 오케스트레이션(SMO) 계층에 위치하며, 대규모 데이터 분석, AI/ML 모델 학습/검증 및 정책 생성
- Near-RT RIC: 무선망(RAN) 구성 요소에 근접해 있으며, 사전 학습된 AI/ML 모델을 추론 노드로 가져와 트래픽 조정, 빔 관리, 이동성 최적화 등 실시간 의사결정 기능 수행

O-RAN ALLIANCE의 AI/ML 프레임워크는 그림 2와 같이 모듈화 및 재사용성을 원칙으로 설계되며, 세부 구성 요소(▲데이터 수집 및 관리, ▲모델 학습 및 배포, ▲AI/ML 수명주기 관리, ▲모델 추론)를 포함한다. 또한 rApp, xApp 형태의 기능 단위 애플리케이션으로 구현된다.

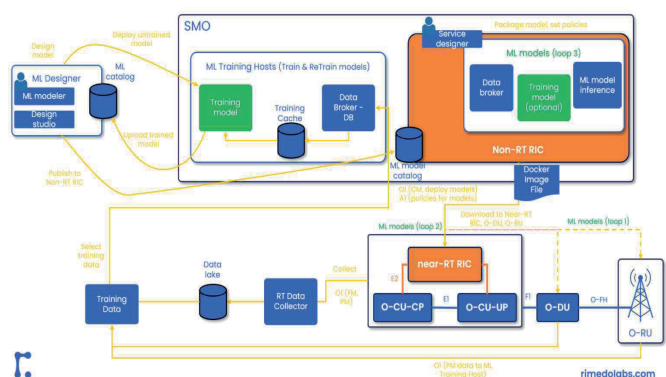


그림 2. O-RAN AI/ML 프레임워크 [3]

다. ITU-T

ITU-T는 3GPP, O-RAN ALLIANCE 대비 통신망에서 AI/ML의 개념 정의 및 상위 레벨 아키텍처 연구를 수행하였다. 2018년 FG-ML5G (Machine Learning for Future Networks including 5G)을 설립하여 기존 통신 시스템이 오버레이 역할을 하는 머신러닝 아키텍처를 정의하고, 뒤이어 FG-AN(Autonomous Networks)을 통해 그림 3과 같이 자율 네트워크 수준 및 아키텍처를 연구하였다. 2024년, FG-AINN (AI-Native Networks)을 신설하여 AI-Native 네트워크 구현을 위한 용어 정의와 기존 AI/ML 적용 표준의 한계 파악, 자율성/신뢰성/데이터 거버넌스 등을 만족하는 AI-Native 네트워크 아키텍처를 연구 예정이다.

Table 7-2 – Network intelligence levels

Network intelligence level	Dimensions				
	Action implementation	Data collection	Analysis	Decision	Demand mapping
L0	Manual network operation	Human	Human	Human	Human
L1	Assisted network operation	Human and System	Human	Human	Human
L2	Preliminary intelligence	System	Human and System	Human	Human
L3	Intermediate intelligence	System	System	Human and System	Human
L4	Advanced intelligence	System	System	System	Human and System
L5	Full intelligence	System	System	System	System

NOTE 1 – For each network intelligence level, the decision process has to support intervention by human being. I.e., decisions and execution instructions provided by a human being have the highest authority.
NOTE 2 – It is to be noted that this table may be used to only determine the network intelligence level for each dimension (and not the overall network intelligence level).

그림 3. ITU-T 자율 네트워크 수준 정의 [4]

III. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 주요 표준화 기구별로 통신망에서의 AI/ML 적용 가능성 및 유스케이스에 관해 연구가 진행 중으로 'AI-RAN' 관련 표준화는 매우 초기 단계라고 볼 수 있다. 'AI-RAN'은 구현 이슈로써 해결해야 하는 부분과 통신 기술로써 표준화해야 하는 부분이 존재하는데, 본 논문에서는 멀티 벤더 환경에서 상호운용성을 보장하고, AI 윤리 및 위험관리 규제 대응을 쉽게 하고자 ▲데이터 관리 프레임워크, ▲AI 모델 인터페이스, ▲E2E AI/ML 프레임워크, ▲AI 모델 수명주기 관리 프로세스, ▲AI 신뢰성 및 설명 가능성 기준 등 AI-RAN 표준화 주요 과제를 제시하고자 한다. 더불어 우리나라가 나아가야 할 전략적 방향으로 RAN 특화용 AI/ML 및 GenAI 모델 개발, AI 스타트업-클라우드/GPU 플랫폼 기업-데이터 기업-장비 제조사 및 사업자가 함께 참여하는 융합 생태계 조성을 제안한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021-0-00092, 주파수 확보 및 공급 기반 기술개발).

참고 문헌

- [1] Softbank, "White Paper AI-RAN: Telecom Infrastructure for the Age of AI", Dec. 2024.
- [2] <https://tw.linkedin.com/in/jessica-chuang-chuhan/en>
- [3] Marcin, D. "ML Framework in O-RAN", Feb. 2023. <https://rimedolabs.com/blog/ml-framework-in-o-ran/>
- [4] ITU-T Y.3173, "Framework for evaluating intelligence levels of future networks including IMT-2020", 2020.