

## O-RAN 표준 동향 및 미래 방향

김경원\*, 김다윗\*, 박성민\*, 박영익\*, 원종현\*, 이장원°

## O-RAN Standardization and Future Direction

Kyeong-Won Kim\*, David Kim\*, Sung-Min Park\*, Young-Ik Park\*,  
Jonghyeon Won\*, Jang-Won Lee°

## 요약

Open radio access network (O-RAN)은 특정 통신 장비 업체의 장비를 독점적으로 사용하는 폐쇄형 구조였던 기존 RAN 기술에서 탈피하여, 개방형 hardware/software (HW/SW) 및 개방형 인터페이스를 사용하여 네트워크 구축의 유연성을 증가시킬 것으로 기대되는 차세대 RAN 기술이다. 또한 O-RAN은 artificial intelligence/machine learning (AI/ML)을 사용하여 RAN 노드의 제어 및 무선 자원 관리 등의 효율성 증대를 목표로 하고 있다. 현재 O-RAN에서는 기존 3rd generation partnership project (3GPP)에서 정의한 컴포넌트와 인터페이스 사용하지만, 이외에도 독자적인 컴포넌트와 인터페이스를 정의하고 있다. 본 논문에서는 O-RAN에서 정의하고 있는 컴포넌트와 인터페이스에 대한 설명을 포함하는 전반적인 O-RAN 표준화 동향을 설명하고, 향후 O-RAN의 미래 연구 방향을 제시한다.

**키워드** : Open radio access network (O-RAN) 아키텍처, O-RAN 컴포넌트, O-RAN 인터페이스

**Key Words** : Open radio access network (O-RAN) architecture, O-RAN component, O-RAN interface

## ABSTRACT

Open radio access network (O-RAN) is a new RAN technology that is expected to increase the flexibility of network deployment using open hardware/software (HW/SW) and open interfaces, breaking away from the traditional closed RAN structures that exclusively used equipment of certain telecommunication equipment vendors. In addition, O-RAN aims to increase the efficiency of controlling RAN nodes and managing radio resource using artificial intelligence/machine learning (AI/ML). O-RAN uses components and interfaces defined by 3rd generation partnership project (3GPP), but also newly defines its own components and interfaces. In this paper, we present the overall trend of O-RAN standardization including descriptions of components and interfaces defined by O-RAN, and present the future research direction for O-RAN.

## I. 서론

통신 기술의 발전에 따른 고용량 데이터 전송 및

스마트 기기의 보급 등으로 인해 모바일 트래픽 양이 급증하고 있다. 이에 따라 모바일 사용자의 요구사항을 충족시키기 위해 네트워크의 투자 및 운영 비용도

※ 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다 (NRF-2019R1A2C2084870).

• First Author : Yonsei University, Department of Electrical & Electronic Engineering, kyeongwon.kim@yonsei.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Yonsei University, Department of Electrical & Electronic Engineering, jangwon@yonsei.ac.kr, 종신회원

\* Yonsei University, Department of Electrical & Electronic Engineering, greenwings@yonsei.ac.kr; ggg3018@yonsei.ac.kr; youngik@yonsei.ac.kr, 학생회원; wonjonghyeon@yonsei.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS202205-109-B-RU, Received May 23, 2022; Revised May 30, 2022; Accepted May 30, 2022

표 1. 용어 및 약어 정리  
Table 1. Summary of terms and abbreviations.

용어/약어	설명
3GPP	3rd Generation Partnership Project
AAL	Acceleration Abstraction Layer
AI/ML	Artificial Intelligence/Machine Learning
BBU	Baseband Unit
COTS	Commercial, Off-The-Shelf
C-Plane	Control Plane
C-RAN	Centralized RAN
CU	Central Unit
D-RAN	Distributed RAN
DU	Distributed Unit
EI	Enrichment Information
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, Security
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPU	Graphics Processing Unit
HW	Hardware
KPI	Key Performance Indicator
Near-RT RIC	Near-Real-Time RAN Intelligence Controller
NFV	Network Function Virtualization
NIB	Network Information Base
Non-RT RIC	Non-Real-Time RAN Intelligence Controller
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
M-Plane	Management Plane
OAM	Operation and Maintenance
O-Cloud	Open Cloud
O-CU	Open CU
O-DU	Open DU
O-RAN	Open RAN
O-RU	Open RU
PRACH	Physical Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
rApp	Non-RT RIC Application
RRH	Remote Radio Head
RU	Radio Unit
SDL	Shared Data Layer
SDN	Software-Defined Networking
SMO	Service Management and Orchestration Framework
SW	Software
S-Plane	Synchronization Plane
U-Plane	User Plane
vRAN	Virtualized RAN
WG	Working Group
xApp	Near-RT RIC Application

증가하고 있다. 특히, 네트워크 관리에 관한 연구에 따르면, 전체 네트워크 관리 및 운용 비용의 약 2/3가 RAN 구성요소의 배치, 관리 및 운영 비용으로 알려져 있다<sup>12)</sup>. 따라서, 네트워크의 운용 경쟁력을 높이기 위해 많은 통신 사업자들이 RAN을 통신 시스템의 가장 주요한 요소 기술 중 하나로 간주하고 있다<sup>13)</sup>.

초기 RAN은 RF 기능 및 무선 신호 컨버터 기능을 수행하는 RRH와 기저대역폭에서 디지털 신호를 처리하는 BBU가 함께 설치되어 운용되는 D-RAN이 사용되었다. 하지만 D-RAN은 기저국 내 높은 발열로 인해 넓은 설치 공간과 냉방시설이 필요했고, 다수의 기저국의 데이터들을 함께 처리하기 어려운 문제가 있다<sup>4,5)</sup>.

이와 같은 D-RAN의 한계를 극복하기 위해 제안된 것이 C-RAN이다. C-RAN은 각 기저국에 RRH를 두고 BBU는 하나의 국사에 집적한다. 이때 각 기저국과 중앙의 BBU는 fronthaul 역할을 하는 광케이블로 연결되어 있다. 그러므로 D-RAN과 비교했을 때 RAN을 운용하는 과정에서의 비용을 최소화할 수 있다<sup>6)</sup>. 또한 C-RAN에서는 다수의 기저국에서 각각 처리해야 하는 데이터를 중앙에서 모두 처리할 수 있기 때문에 인접 셀 간의 무선 자원 상태를 공유하기 쉬워 무선 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있다<sup>7)</sup>. 하지만 모바일 트래픽이 빠르게 증가하고 MIMO 및 edge computing 등 다양한 통신 기술이 발전하며 C-RAN 구조의 BBU에서 처리해야 하는 데이터 양과 fronthaul의 요구 용량이 크게 증가했다<sup>8)</sup>.

이를 해결하기 위해, 일부 BBU의 기능들을 분리해 기저국에 설치하기 위한 function split 연구가 수행되었다<sup>9)</sup>. 이와 더불어, SDN/NFV 등 가상화 기술의 발전으로 네트워크의 주요 기능들을 가상화를 통해 구현하는 vRAN이 등장하였다. vRAN은 RRH와 BBU의 기능들을 CU, DU와 RU로 분리하고, 각 컴포넌트들이 통신 프로토콜 내의 기능들을 분담하여 RAN 내에서의 데이터 처리 및 최적화 효율을 증가시켰다<sup>10)</sup>. 또한 vRAN은 RAN 기능들을 x86 서버 등의 COTS HW에 가상화 기술을 통해 구현함으로써 RAN 구축의 유연성을 높이고 운영 비용을 절감할 수 있었다. 하지만 여전히 각 컴포넌트를 구성하는 HW/SW 및 인터페이스들이 특정 장비 업체에 의해 독점적으로 제공되었고, 이로 인해 네트워크 구축의 유연성 감소 및 네트워크 관리를 위한 과도한 비용 문제가 발생한다는 문제점이 있다<sup>11)</sup>.

최근 네트워크 구축 및 관리의 유연성을 증가시키기 위해 세계 각국의 통신 사업자들을 중심으로 네트

워크 장비의 특정 업체로의 종속성에서 탈피하고, 개방형 HW/SW 및 개방형 인터페이스 등을 RAN에 적용하려는 기술 논의가 시작되었다<sup>12, 13</sup>. 또한 고속 컴퓨팅 기술의 발전으로 AI/ML 기술이 다양한 분야에서 종래에 달성하지 못한 뛰어난 성과를 보이면서, AI/ML 기술을 RAN 노드 제어 및 무선 자원 관리 기술 등에 접목하려는 시도가 활발히 진행되고 있다<sup>14, 15</sup>. 이러한 추세 속에서 세계 각국의 통신 사업자들 및 네트워크 장비 업체 등이 연합해 2018년 8월 O-RAN Alliance를 공식 출범하여 개방형 RAN인 O-RAN이라 불리는 차세대 RAN 기술 개발을 시작했다. 현재 O-RAN Alliance는 전세계 300여 개의 회원 사들로 구성되어 있으며, 개방형 HW/SW 및 개방형 인터페이스를 사용하는 openness와 AI/ML 사용을 통한 RAN 자동화 구축이라는 intelligence를 목표로 O-RAN 표준 제정 및 오픈소스 플랫폼을 개발하고 있다<sup>16</sup>.

O-RAN은 3GPP에서 정의한 컴포넌트와 인터페이스를 사용하지만, 이들 외에도 독자적인 컴포넌트와 인터페이스를 정의하고 있다<sup>17</sup>. 2022년 4월 두번째 O-RAN 공식 표준 Release-002가 발표가 될 만큼 표준화 작업이 많이 진행되었으나, O-RAN에서 정의한 컴포넌트와 인터페이스들에 대한 설명을 포함하는 O-RAN 표준 동향에 관한 논문이 매우 부족한 것이 현실이다<sup>18</sup>. 따라서 본 논문에서는 O-RAN에서 정의한 컴포넌트들과 인터페이스들에 대한 전반적인 기능들을 소개하고 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 O-RAN 표준을 제정하는 O-RAN Alliance 기술위원회 산하의 테크니컬 WG들에 대해서 간단히 살펴보고, 3장에서는 이들이 정의한 컴포넌트들과 인터페이스들의 역할과 기능을 상세하게 설명한다. 4장에서는 향후 O-RAN의 방향성에 대해서 제시하고, 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

## II. O-RAN 기술 표준화 작업

O-RAN 표준은 현재 전 세계 통신 사업자들을 중심으로 결성된 O-RAN Alliance의 기술위원회 감독하에 제정되고 있다. O-RAN Alliance 기술위원회의 표준화 작업의 목표는 O-RAN의 철학인 openness와 intelligence를 포함하도록 RAN 표준을 확장하는 것이며, 현재 총 10개의 테크니컬 WG들이 O-RAN 아키텍처의 서로 다른 기술 영역에 대한 표준화 작업을 진행하고 있다. 각 WG들이 담당하고 있는 기술 영역

표 2. O-RAN Working group  
Table 2. O-RAN Working group.

WG	기술 영역
WG1	Use Cases and Overall Architecture
WG2	Non-RT RIC and A1 Interface
WG3	Near-RT RIC and E2 Interface
WG4	Open Fronthaul Interfaces
WG5	Open F1/W1/E1/X2/Xn Interfaces
WG6	Cloudification and Orchestration
WG7	White-box Hardware
WG8	Stack Reference Design
WG9	Open X-haul Transport
WG10	OAM and O1 Interface

은 표 2와 같으며, 세부 내용은 아래와 같다.

- **WG1:** 전반적인 O-RAN의 아키텍처의 컴포넌트 및 인터페이스와 O-RAN의 구현 옵션 등을 정의하고 있다. 또한 O-RAN에서 목표로 하고 있는 핵심 사용 사례 (Use case)를 제안하고 있다.
- **WG2:** O-RAN의 intelligence 목표하에 새로 정의된 지능형 RAN 컨트롤러 중 비실시간 지능형 무선 자원 관리, 상위 layer 절차 최적화 및 AI/ML 모델 형성을 위한 non-RT RIC의 아키텍처와 기능을 정의하고 있다. Non-RT RIC에서 만들어진 AI/ML 모델 및 무선 자원 관리 policy를 near-RT RIC에 제공하기 위한 A1 인터페이스를 표준화하고 있다.
- **WG3:** O-CU와 O-DU에 해당되는 E2 노드들을 통해 수집된 정보와 non-RT RIC에서 전달받은 policy 및 AI/ML 모델을 바탕으로 근 실시간 지능형 무선 자원 관리 기능을 제공하기 위한 near-RT RIC의 아키텍처와 기능을 정의하고 있으며, E2 노드들과 연결된 E2 인터페이스를 표준화하고 있다.
- **WG4:** 다중 공급 업체에서 제공되는 O-DU와 O-RU 간의 상호운용성을 가능케 하는 open fronthaul 인터페이스를 표준화하고 있다.
- **WG5:** 3GPP에서 정의한 F1/W1/E1/X2/Xn 인터페이스가 다중 공급 업체의 제품에서 작동하도록 하기 위한 상호운용성 시험 표준을 정의하고 있다.
- **WG6:** 기본 하드웨어 플랫폼에서 RAN 컴포넌트를 분리하고 가상화를 하기 위한 클라우드 컴퓨팅 플랫폼인 O-Cloud의 아키텍처와 기능을 정의하고 있으며, 가상화된 RAN 컴포넌트들의 관리 기능을 제공하는 O2 인터페이스를 표준화하고 있다.
- **WG7:** SW와 HW가 분리된 개방형 플랫폼에 대한 참조 설계를 정의하고 있다.

- WG8: O-RAN과 3GPP 표준을 기반으로 하는 O-CU/O-DU에 대한 SW 아키텍처 개발 및 O-CU/O-DU 간 상호운용 시험 표준을 정의하고 있다.
- WG9: O-RAN 전송 네트워크의 제어 및 관리 프로토콜을 표준화하고 있다.
- WG10: 기존 WG1에서 담당했던, SMO에서 제공하는 RAN 관리 및 제어에 관한 OAM의 아키텍처를 정의하고 있으며, RAN 컴포넌트들에게 OAM을 제공하기 위한 O1 인터페이스를 표준화하고 있다.

### III. O-RAN 컴포넌트와 인터페이스

O-RAN 아키텍처는 그림 1과 같이 non-RT RIC를 포함하고 O-RAN 컴포넌트들의 관리 및 제어를 담당하는 SMO와 near-RT RIC, O-CU, O-DU, O-RU에 해당되는 O-RAN 노드들, 가상화된 O-RAN 노드들을 호스팅하는 O-Cloud로 구성된다<sup>[17]</sup>. SMO는 O-RAN에서 정의한 O1, A1, open fronthaul, O2 인터페이스들을 통해 O-RAN 노드들 및 O-Cloud와 연결된다. 또한, E2 인터페이스를 통해 near-RT RIC는 E2 노드들과 연결된다. O-RU는 near-RT RIC와 직접 연결이 되지 않고, O-DU와 open fronthaul 인터페이스를 통해 연결된다.

본 장에서는 O-RAN에서 정의한 O-RAN 아키텍처의 핵심 컴포넌트들과 그들 사이의 인터페이스를 통해 제공되는 service들의 상세를 소개한다.

#### 3.1 SMO & O1 인터페이스

SMO는 O-RAN 아키텍처에서 RAN 도메인 관리 기능을 담당하는 컴포넌트로서, O-RAN 노드들에게

FCAPS와 같은 OAM 기능을 제공한다. 또한 SMO 내부에는 non-RT RIC가 위치해 있으며, SMO는 non-RT RIC에서의 AI/ML 초기 학습에 필요한 데이터 등을 RAN 노드들로부터 수집해 전달한다. 이외에도 RAN 노드들의 가상화를 담당하는 O-Cloud의 infrastructure와 가상화된 O-RAN 노드들의 lifecycle 관리를 담당한다<sup>[17]</sup>.

O1 인터페이스는 SMO가 O-RU와 O-Cloud를 제외한 O-RAN 노드들에게 앞서 언급한 OAM 기능을 제공하는 인터페이스이다. O-RAN에서는 3GPP에서 정의한 OAM 표준을 사용하고 있다<sup>[9]</sup>. O1 인터페이스를 통해 제공되는 대표적인 OAM 기능으로는 O-RAN 노드들의 생성 및 설정 값 변경과 같은 provisioning service, O-RAN 노드들의 오류 발생을 관리하고 처리하는 fault supervision service, O-RAN 노드들이 측정한 RAN 데이터를 수집하는 performance assurance service 등이 있다<sup>[20,21]</sup>.

#### 3.2 O-Cloud & O2 인터페이스

O-Cloud는 near-RT RIC, O-CU, O-DU, O-RU와 같은 O-RAN 노드들의 가상화를 담당하는 클라우드 컴퓨팅 platform이다. O-Cloud platform은 그림 2와 같이 세 개의 계층으로 나눌 수 있다. 가장 아래에는 x86, FPGA, GPU 등 O-Cloud를 구성하는 HW 계층이 있다. 중간 계층은 O-RAN 노드들의 가상화를 담당하는 컨테이너나 가상 머신 등의 cloud stack function과 O-Cloud의 연산 작업을 담당하는 AAL function으로 구성된다. 가장 위에는 가상화된 O-RAN 노드들로 이루어진 상위 계층이 있다<sup>[22,23]</sup>.

O2 인터페이스는 O-Cloud와 SMO를 연결하는 인터페이스이다. O2 인터페이스를 통해 SMO는

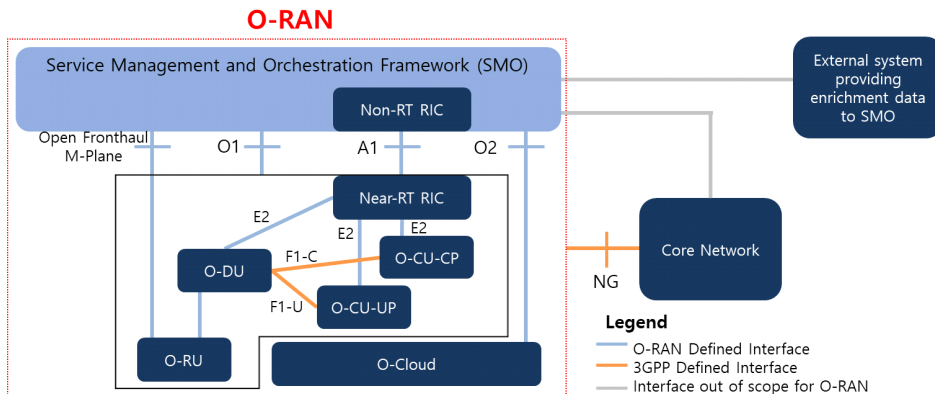


그림 1. O-RAN 아키텍처[17]  
Fig. 1. O-RAN Architecture [17].

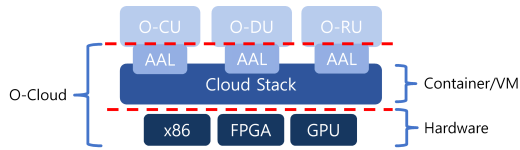


그림 2. O-Cloud platform 아키텍처[22]  
Fig. 2. O-Cloud Platform Architecture [22].

O-Cloud에 FCAPS와 같은 OAM 기능을 제공하며, O-Cloud platform infrastructure와 가상화된 O-RAN 노드들의 lifecycle을 관리한다<sup>[24]</sup>.

### 3.3 Non-RT RIC & A1 인터페이스

Non-RT RIC는 O-RAN의 핵심 철학 중 하나인 AI/ML 기술을 이용하여 네트워크 자동화를 위해 정의된 핵심 컴포넌트 중 하나로, 그림 3과 같이 SMO 내에 위치해 있다. Non-RT RIC는 SMO로부터 수집된 외부 서버 및 RAN 노드 데이터 등을 이용하여 1 sec 이상의 시간 스케일로 RAN 최적화 및 RAN 노드 제어를 담당한다. 또한 near-RT RIC에서 필요로 하는 AI/ML 모델, policy, EI를 생성하여 제공한다<sup>[25]</sup>. Non-RT RIC는 그림 3과 같이 rApps, non-RT RIC framework, R1 인터페이스로 구성된다.

rApp은 Non-RT RIC 내의 기능들을 활용하여 A1 인터페이스를 통해 제공되는 policy 및 EI, O1 인터페이스를 통해 제공되는 RAN 설정 값 생성 등과 같은 RAN 운영과 관련된 부가 service를 제공하는 모듈식 애플리케이션이다. Non-RT RIC framework은 A1 인터페이스와 직접적으로 연결되어 Near-RT RIC에게 RAN 운영에 필요한 AI/ML 모델, policy, EI를 제공하고 rApp에서 필요한 기능들을 제공한다. 마지막으로 R1 인터페이스는 rApp과 non-RT RIC framework를 연결하는 Non-RT RIC 내부 논리 인터페이스이다.

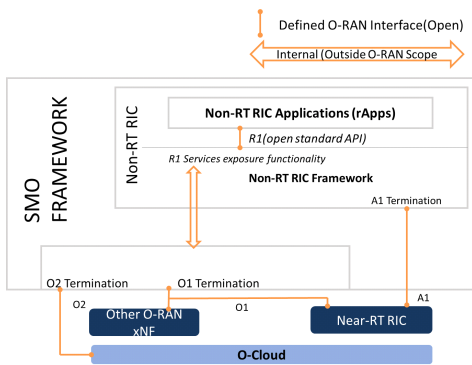


그림 3. SMO 내의 non-RT RIC 아키텍처[25]  
Fig. 3. Non-RT RIC Architecture in SMO [25].

특히, non-RT RIC framework는 다양한 functionality들로 이루어져 있으며, 대표적인 functionality들로 A1 인터페이스를 통해 near-RT RIC에게 제공되는 AI/ML, policy, EI 관리 기능을 제공하는 A1-functionality와 AI/ML 모델 초기 학습과 배치된 모델의 성능을 모니터링하는 AI/ML-functionality가 존재한다.

A1 인터페이스는 non-RT RIC와 near-RT RIC를 연결하는 인터페이스이다. 해당 인터페이스를 통해서 RAN intent에 따라 RAN이 최적화될 수 있도록 non-RT RIC가 near-RT RIC에서 근 실시간으로 작동하는 애플리케이션 및 function들에게 RAN 운영에 필요한 AI/ML, policy, EI를 제공한다<sup>[27]</sup>. 현재 O-RAN에서는 A1 인터페이스를 통해 non-RT RIC가 near-RT RIC에 사용되는 A1 policy를 관리하는 policy 관리 service와 EI를 near-RT RIC에 전송해 주기 위한 EI 관리 service를 정의하였지만, AI/ML 모델 관리 service는 아직 구체적으로 정의되지 않았다.

### 3.4 Near-RT RIC & E2 인터페이스

Near-RT RIC도 non-RT RIC와 마찬가지로 O-RAN의 RAN 노드의 지능형 제어 및 최적화를 목적으로 정의된 컴포넌트로, A1 인터페이스를 통해 non-RT RIC로부터 받은 AI/ML 모델 및 policy를 활용하여 10 msec ~ 1 sec의 시간 스케일로 E2 노드 제어와 무선 자원 최적화를 담당한다. Near-RT RIC는 그림 4와 같이 xApp, near-RT RIC API, platform function으로 구성된다<sup>[28]</sup>.

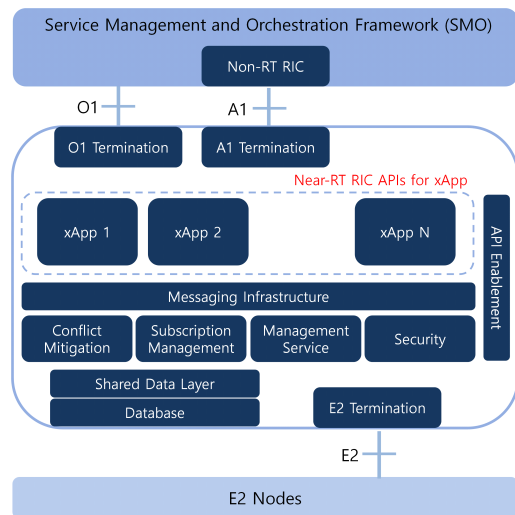


그림 4. Near-RT RIC 아키텍처[28]  
Fig. 4. Near-RT RIC Architecture [28].



xApp은 near-RT RIC에서 구동되기 위해 설계된 애플리케이션으로 근 실시간 정보들을 활용하여 무선 자원 관리, 정보 수집 등과 같은 다양한 부가 서비스들을 제공해 준다. 또한 near-RT RIC에 종속되지 않고 어떠한 third party에 의해서도 제공될 수 있다. Near-RT RIC API는 near-RT RIC와 연결된 인터페이스를 통해 제공되는 service를 xApp이 사용할 수 있도록 한다. 마지막으로 platform function은 xApp의 여러 기능들을 돕기 위한 것으로 대표적인 컴포넌트들과 역할은 아래와 같다.

- Database & SDL: UE와 관련된 정보들이 저장되는 UE-NIB와 RAN과 관련된 정보들이 저장되는 R-NIB, xApp이 Database에 있는 정보들에 쉽게 접근하도록 도와주는 SDL로 구성된 platform function이다.
- Management services: xApp의 life-cycle과 near-RT RIC의 FCAPS를 관리하는 platform function이다.
- xApp subscription management: xApp으로부터 E2 노드와의 연결을 관리하는 platform function이다.
- Conflict mitigation: xApp들 사이에서 충돌이 발생하는 액션들을 중재하는 역할을 담당하는 platform function이다. 예를 들어, 어떤 xApp이 handover 경계를 결정하기 위해 안테나 틸팅을 조절하는 액션을 취할 때 다른 xApp이 handover 경계를 결정하기 위해 measurement offset을 조절하는 액션을 취한다면, 두 액션 사이에 충돌이 발생할 수 있고 이를 해당 platform function을 통해 중재된다.
- Security: 악성 xApp이 무선 네트워크 정보들을 남용하는 것을 막는 등 여러 보안과 관련된 기능을 담당하는 platform function이다.

E2 인터페이스는 near-RT RIC와 E2 노드들을 연결하는 인터페이스이다. 해당 인터페이스를 통해서 near-RT RIC는 E2 노드를 관리 및 제어 기능을 제공하며, E2 노드는 RAN measurement 데이터를 전송한다. E2 인터페이스를 통해 E2 노드들에게 제공되는 기능은 near-RT RIC support function과 near-RT RIC service가 있다<sup>29, 30</sup>. Near-RT RIC support function은 near-RT RIC와 E2 노드들 사이의 연결성 및 E2 노드들의 설정값 관리를 위한 것으로 E2 setup/reset/node configuration update/RIC service update가 있다. Near-RT RIC service는 near-RT RIC가 E2 노드들의 정보를 이용하고, 사용하는 policy 제어 등을 위한 것으로 다음과 같은 4가지 핵심 service들이 있다.

- REPORT service: E2 노드가 특정 event를 감지하면 이와 관련된 정보를 담은 메시지를 near-RT RIC에 보내기 위한 service이다.
- INSERT service: E2 노드가 특정 event를 감지하면 관련된 절차를 일시 중지하고 이와 관련된 정보를 담은 메시지를 near-RT RIC에 보내기 위한 service이다.
- CONTROL service: Near-RT RIC로부터 받은 제어 메시지에 따라 E2 노드가 새로운 절차 또는 이전에 일시 중지된 절차를 다시 수행하기 위한 service이다.
- POLICY service: E2 노드가 특정 event를 감지하면 수행 중인 절차에 near-RT RIC로부터 받은 policy를 적용하기 위한 service이다.

### 3.5 Open Fronthaul 인터페이스

O-RAN에서 PHY 계층은 그림 5와 같이 O-DU와 O-RU에 나뉘어 구현된다. O-DU는 PHY layer의 상위 기능들을 포함하며 O-RU를 제어한다. 그리고 O-RU는 이 외 PHY layer의 하위 기능들을 가지며, 이를 lower layer functional split이라고 한다. 이러한 구조는 fronthaul의 대역폭 요구가 많으나 O-RU의 구현과 확장성 등에서 장점을 갖는다. O-RAN에서는 O-DU와 O-RU 사이의 인터페이스를 open fronthaul 인터페이스라고 하며, 기능에 따라 각각 CUS-Plane<sup>[31]</sup>과 M-Plane<sup>[32]</sup>으로 나뉜다.

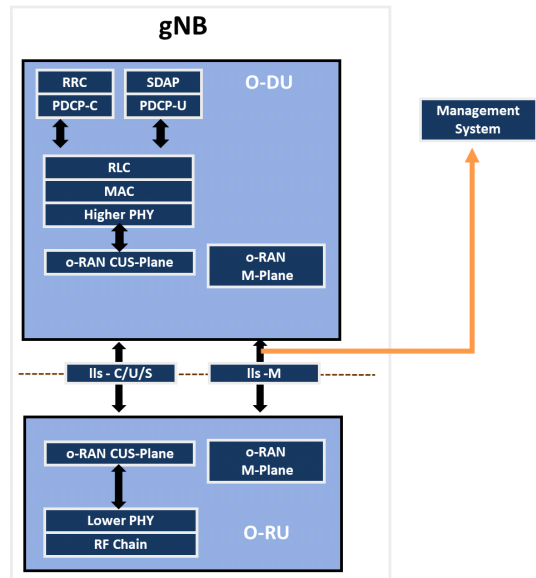


그림 5. Open fronthaul 인터페이스[32]  
Fig. 5. Open fronthaul interface [32].

C-Plane에서는 스케줄링, beamforming, precoding 등 O-DU에서 O-RU를 제어하기 위한 설정이 전송된다. 5G 시스템에서는 다양한 부반송파 간격으로 인해 시간 및 주파수 영역에서 혼합된 numerology가 사용된다. 이러한 혼합된 numerology에 대한 제어를 C-Plane을 통해 진행된다. 이는 상향링크와 하향링크 모두에 적용될 수 있으며 C-Plane 메시지는 O-RU가 이를 지원할 수 있도록 하는 정보가 포함되어 있다.

U-Plane은 데이터 전송을 위한 것으로, IQ 샘플링 데이터가 O-RU와 O-DU 사이의 주파수 영역에서 U-Plane 메시지를 통해 전송된다. 사용자 데이터, PRACH 등 IQ 데이터는 압축되어 전송될 수 있다.

S-Plane은 O-DU와 O-RU 간의 시간, 주파수, 위상에 대한 동기화를 담당한다. 구체적으로, O-RAN은 O-RU에서의 동기화를 지원하기 위해 4가지 다른 동기화 설정을 제공한다. 그 설정에 따라 O-DU에서 O-RU를 동기화하는 과정에서의 마스터, 스위치 등의 구조에 차이가 있다.

O-RAN에서 O-RU를 관리하는 컴포넌트인 SMO, O-DU 등을 O-RU 컨트롤러라고 한다. O-RU 컨트롤러는 M-Plane을 통해 O-RU를 관리한다. M-Plane은 O-RU의 SW 다운로드 및 설치, O-RU의 state들과 파라미터 값 관리, O-RU의 오류 발생을 감지하고 기능을 조정하는 등의 OAM 기능을 O-RU에게 제공한다.

#### IV. O-RAN 미래 연구 방향

##### 4.1 AI/ML

O-RAN에서는 RIC에서 AI/ML 기술을 사용하여 RAN 제어 및 무선 자원 관리를 위한 다양한 사용 사례들을 소개하고 있다<sup>33, 34</sup>. 하지만 제안된 사례들은 RIC와 RAN 노드들이 연결되어 있는 인터페이스를 통해 교환되는 제어 정보와 절차 등에 보편이 필요한 부분이 상당수 존재한다. 특히 O-RAN에서는 AI 인터페이스를 통해 AI/ML 모델을 관리하려는 목표를 가지고 있지만, 구체적인 내용은 아직 제공되지 않고 있다. 또한 AI/ML 모델의 초기 학습과 모델 배치 방법 등과 같은 내용이 구체적이지 않은 부분들도 존재한다. 따라서 AI/ML을 사용한 RAN intelligence를 무선 네트워크에서 구현할 시 예상되는 문제점 및 한계점을 도출하고 구체적인 적용 방안과 성능 개선을 위한 기술 논의가 필요시 된다.

##### 4.2 인증 및 보안

O-RAN 아키텍처는 기존의 네트워크 기능들을 분

리하고 새로운 네트워크 기능, 프로토콜, 인터페이스 등을 정의함으로써 네트워크 성능 및 호환성을 높이고 관리/운영 비용을 줄일 수 있었다. 그러나 새롭게 정의된 네트워크 컴포넌트 및 기능들은 기존 3GPP에서 정의된 RAN 아키텍처에서는 발생되지 않은 새로운 보안 문제를 야기할 수 있다<sup>35, 36</sup>. 예를 들어, O-RAN에서 SMO/RIC와 같은 새롭게 정의된 네트워크 컴포넌트들의 잘못된 인증 처리 문제, A1/E2/O1/O2/fronthaul 인터페이스를 통한 데이터의 암호화 누락 문제 등이 있다. 이를 위해 O-RAN에서 발생할 수 있는 보안 문제들을 분류하고 각 보안 문제에서 달성해야 하는 보안 레벨과 해결 방안에 대한 기술 논의가 필요시 된다.

##### 4.3 상호호환성

O-RAN에서는 RAN 컴포넌트 및 open 인터페이스 표준화를 통해서 다양한 벤더들의 장비들이 활용될 수 있다. 이를 통해, 네트워크의 구축 비용을 낮추고 near-RT RIC와 non-RT RIC에 적용될 다양한 xApp과 rApp의 개발을 촉진시킬 수 있다. 이를 위해 벤더들의 장비 간 상호호환성이 중요하다<sup>37</sup>. 예를 들어, 다양한 벤더들의 장비를 운영하는 네트워크 운영자 입장에서는 벤더들마다 네트워크 장비 안에 입력되는 KPI 또는 측정값 등과 같은 파라미터들에 대한 명명 방식이 다르다면 여러 장비들을 통합적으로 운영함에 제약이 생길 수 있기 때문에 다양한 벤더들 간 파라미터 명명 방식에 대한 통합적 합의를 위한 기술 논의가 필요하다.

#### V. 결 론

O-RAN은 개방형 HW/SW 및 개방형 인터페이스의 사용으로 RAN 구축과 관리의 유연성을 증가시키고, AI/ML 기술 사용으로 RAN 노드 제어 및 무선 자원 관리의 효율성을 증가시킬 수 있는 차세대 RAN 기술이다. 현재 O-RAN Alliance에서 O-RAN 표준을 활발히 제정 중이지만, 아직 초기 단계로 미흡한 부분이 상당수 존재하며 많은 오픈 이슈들이 존재한다. 본 논문에서는 O-RAN의 표준 동향과 O-RAN에서 독자적으로 정의한 핵심 컴포넌트들과 그들 사이의 인터페이스들에 대한 전반적인 내용을 포함하는 O-RAN 표준 기술 동향에 대하여 조사하고, 향후 O-RAN 연구의 방향성을 제시하였다.

## References

- [1] K. Samdanis, X. Costa-Perez, and V. Sciancalepore, "From network sharing to multi-tenancy: The 5G network slice broker," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 7, pp. 32-39, Jul. 2016.
- [2] F. Wilhelmi and L. Giupponi, "On the performance of blockchain-enabled RAN-as-a-service in beyond 5G networks," *arXiv preprint arXiv: 2105.14221*, 2021.
- [3] GSMA, "5G-era Mobile Network Cost Evolution," 2019.
- [4] S. Niknam, A. Roy, H. S. Dhillon, S. Singh, R. Banerji, J. H. Reed, N. Saxena, and S. Yoon, "Intelligent O-RAN for beyond 5G and 6G wireless networks," *arXiv preprint arXiv: 2005.08374*, 2020.
- [5] A. D. L. Oliva, J. A. Hernandez, D. Larrabeiti, and A. Azcorra, "An overview of the CPRI specification and its application to C-RAN-based LTE scenarios," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 2, pp. 152-159, Feb. 2016.
- [6] J. Wu, Z. Zhang, Y. Hong, and Y. Wen, "Cloud Radio Access Network (C-RAN): A primer," *IEEE Netw.*, vol. 29, no. 1, pp. 35-41, Jan./Feb. 2015.
- [7] I. A. Alimi, A. L. Teixeira, and P. P. Monteiro, "Toward an efficient C-RAN optical fronthaul for the future networks: A tutorial on technologies, requirements, challenges, and solutions," *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 20, no. 1, pp. 708-769, 1<sup>st</sup> quarter 2018.
- [8] M. Najafi, V. Jamali, D. W. K. Ng, and R. Schober, "C-RAN with hybrid RF/FSO fronthaul links: Joint optimization of fronthaul compression and RF time allocation" *IEEE Trans. Commun.*, vol. 67, no. 12, pp. 8678-8695, Dec. 2019.
- [9] H.-S. Yoon and K.-W. Choi, "Distributed CPU-less functional split structure and distributed precoding method for cell-free MIMO structure," *J. KICS*, vol. 46, no. 12, pp. 2123-2133, Nov. 2021
- [10] A. Garcia-Saavedra and X. Costa-Perez, "O-RAN: Disrupting the virtualized RAN ecosystem." *IEEE Commun. Stand. Mag.*, vol. 5, no. 4, pp. 96-103, Dec. 2021.
- [11] M. A. Habibi, M. Nasimi, B. Han, and H. D. Schotten, "A comprehensive survey of RAN architectures toward 5G mobile communication system," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70371-70421, May 2019.
- [12] O-RAN Alliance, "O-RAN: Towards an Open and Smart RAN," Tech. Rep., Oct. 2018.
- [13] O-RAN Alliance, "O-RAN Use Cases and Deployment Scenarios," Tech. Rep., Feb. 2020.
- [14] G. Cerar, H. Yetgin, M. Mohorčić, and C. Fortuna, "Machine learning for wireless link quality estimation: A survey," *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 23, no. 2, pp. 696-728, 2<sup>nd</sup> quarter 2021.
- [15] H.-S. Lee, J.-Y. Kim, and J.-W. Lee, "Resource allocation in wireless networks with deep reinforcement learning: A circumstance independent approach," *IEEE Syst. J.*, vol. 14, no. 2, pp. 2589-2592, Jun. 2020.
- [16] O-RAN Alliance, "O-RAN Minimum Viable Plan and Acceleration towards Commercialization," Tech. Rep., Jun. 2021.
- [17] O-RAN Working Group 1, "O-RAN Architecture Description," O-RAN.WG1. O-RAN-Architecture-Description-v03.00, Tech. Spec., 2021.
- [18] S. K. Singh, R. Singh, and B. Kumbhani, "The evolution of radio access network towards open-RAN: Challenges and opportunities," in *Proc. IEEE WCNCW*, pp. 1-6, Apr. 2020.
- [19] 3GPP, "Telecommunication Management; Generic Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS)," Tech. Spec. 28.622-v16.9.0, 2021.
- [20] O-RAN Working Group 10, "O-RAN Operation and Maintenance Interface Specification," O-RAN.WG10. O1-Interface.0-v06.00, Tech. Spec., 2021.
- [21] O-RAN Working Group 10, "O-RAN Operation and Maintenance Architecture,"



O-RAN.WG10. OAM-Architecture-v06.00, Tech. Spec., 2021.

[22] O-RAN Working Group 6, “*Cloud Architecture and Deployment Scenarios for O-RAN Virtualized RAN*,” O-RAN.WG6.CAD-v02.01, Tech. Spec., 2020.

[23] O-RAN Working Group 6, “*Cloud Platform Reference Design*,” O-RAN.WG6.CLOUD-REF-v02.00, Tech. Spec., 2020.

[24] O-RAN Working Group 6, “*O-RAN O2 General Aspects and Principles Specification*,” O-RAN.WG6.O2-GA&P-v01.00, Tech. Spec., 2020.

[25] O-RAN Working Group 2, “*Non-RT RIC Architecture*,” O-RAN.WG2.Non-RT-RIC-ARCH-TS-v02.00, Tech. Spec., 2021.

[26] O-RAN Working Group 2, “*AI Interface: General Aspects and Principles*,” O-RAN.WG2.A1GAP-v02.03, Tech. Spec., 2021.

[27] O-RAN Working Group 3, “*Near-Real-Time RAN Intelligent Controller Architecture*,” O-RAN.WG3.RICARCH-v02.00, Tech. Spec., 2021.

[28] O-RAN Working Group 3, “*Near-Real-Time RAN Intelligent Controller Architecture & E2 General Aspects and Principles*,” O-RAN.WG3.E2GAP-v02.00, Tech. Spec., 2021.

[29] O-RAN Working Group 3, “*Near-Real-Time RAN Intelligent Controller, E2 Application Protocol (E2AP)*,” O-RAN.WG3.E2AP-v02.00, Tech. Spec., 2021.

[30] O-RAN Working Group 4, “*Control, User and Synchronization Plane Specification*,” O-RAN.WG4.CUS.0-v07.00, Tech. Spec., 2021.

[31] O-RAN Working Group 4, “*Management Plane Specification*,” O-RAN.WG4.MP.0-v07.00, Tech. Spec., 2021.

[32] O-RAN Working Group 1, “*Use Cases Detailed Specification*,” O-RAN.WG1.Use-Cases-Detailed-Specification-v07.00, Tech. Spec., 2021.

[33] O-RAN Working Group 1, “*Use Cases Analysis Report*,” O-RAN.WG1.Use-Cases-Analysis-Report-v07.00, Tech. Spec., 2021.

[34] O-RAN Security Focus Group, “*O-RAN*

*Security Protocols Specifications*,” O-RAN.SFG.O-RAN-Security-Protocols-Specifications-v02.00, Tech. Spec., 2021.

[35] O-RAN Security Focus Group, “*O-RAN Security Requirements Specifications*,” O-RAN.SFG.O-RAN-Security-Requirements-Specifications-v01.00, Tech. Spec., 2021.

[36] CPRI Consortium, “*Common Public Radio Interface: eCPRI Interface Specification*,” eCPRI Specifications-v2.0 Tech. Spec., 2019.

김 경 원 (Kyeong-Won Kim)



2016년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 학사  
 2016년 9월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 무선 통신 네트워크, 무선 전력 전송, 기계 학습, 무선 자원 최적화

[ORCID:0000-0003-2066-339X]

김 다 윗 (David Kim)



2019년 2월 : 고려대학교 전기전자공학부 학사  
 2019년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 무선 통신 네트워크, 기계 학습

[ORCID:0000-0002-0907-5856]

**박 성 민 (Sung-Min Park)**



2019년 8월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 학사  
2021년 8월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 석사  
2021년 9월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 통신망 자원 할당,  
통신망 최적화

[ORCID:0000-0001-9720-6002]

**원 중 현 (Jonghyeon Won)**



2020년 8월 : 연세대학교 전기  
전자공학과 학사  
2020년 9월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 통신망 최적화, 무  
인 항공기 네트워크, 기계  
학습

[ORCID:0000-0003-3883-0379]

**박 영 익 (Young-Ik Park)**



2021년 2월 : 경희대학교 전자  
공학과 학사  
2021년 3월~현재 : 연세대학교  
전기전자공학과 박사과정  
<관심분야> 통신망 자원 할당,  
통신망 최적화, 무인 항공기  
네트워크

[ORCID:0000-0003-2210-5551]

**이 장 원 (Jang-Won Lee)**



1994년 2월 : 연세대학교 전자  
공학과 학사  
1996년 2월 : 한국과학기술원전  
기 및 전자공학과 석사  
2004년 8월 : Dept. of ECE  
Purdue University 박사  
2004년 9월~2005년 8월 : Dept.  
of EE Princeton University 박사 후 연구원  
2005년 9월~현재 : 연세대학교 전기전자공학부 조교  
수/부교수/교수  
<관심분야> 통신망 자원 할당, 통신망 최적화, 통신  
망 성능 분석

[ORCID:0000-0002-5627-5914]