

철도 적용을 위한 이음5G 통신 기술

변일무 한국철도기술연구원 책임연구원

1. 머리말

국내 철도는 다양한 통신망을 사용하고 있다. 음성통신 용도로 VHF, TETRA, ASTRO LTE-R을 사용하고 있으며, 이를 LTE-R로 통일하기 위한 작업을 진행하고 있다. 열차 제어 용도로는 Wi-Fi를 주로 사용하고 있으며, 향후 LTE-R을 적용할 계획이다. 선로변 센싱 데이터를 수집하기 위해선 LoRa 및 Zigbee를 활용하기도 하며, 열차 운행 정보의 업로드를 위해 LTE-R, 상용 5G 통신망, Wi-Fi를 사용하고 있다.

이렇게 철도가 다양한 통신망을 동시에 사용하는 이유가 있다. 철도 운영을 위해선 다양한 무선 통신 기반 서비스가 필요하지만, 이전까지는 단일 통신망이 해당 서비스들의 통신 요구사항을 모두 제공해 줄 수 없었기 때문이다. 이에 더해, 최근엔 철도 운영사들이 철도 디지털 전환을 추진하면서 무선 데이터의 수요가 점점 증가하고 있다. 이에 해당 수요를 해결하고 철도 통신망을 통합하기 위해 5G 통신 기술을 철도에 적용하기 위한 연구개발 및 실증이 국내외에서 진행되고 있다. 유럽은 현재 사용 중인 GSM-R을 5G로 대체하기 위한 연구를 진행 중이다. UIC(국제철도연맹, International Union of Railways)는 5G 기반 철도 통신 표준인 FRMCS(Future Railway Mobile Communication Systems)를 제정했고[1]~[3], 최근 FRMCS가 유럽 철도 기술기준인 TSI(Technical Specification for Interoperability)에 반영됐다[4]. 또한, 3GPP 표준 활동이 진행돼 3GPP 표준 기술개발 단계에서 철도의 요구사항을 반영할 수 있도록 했다[5]~[7]. 유럽은 기존 800MHz의 GSM-R 주파수와 1.9GHz의 주파수를 철도용 5G 통신에서 활용할 계획을 수립했다[8].

중국은 Smart Railway 구축을 위한 5G 요소기술 연구를 진행하고 있으며, 2035년까지 5G 통신을 활용해 스마트 철도 네트워크를 구축할 계획이다[9]. 중국은 철도용 5G 주파수대역으로 1.8GHz/1.9GHz와 28GHz/39GHz를 고려하고 있다[10].

일본은 이음5G(5G 특화망)를 철도에 도입하기 위한 다양한 실증 사업을 2021~2022년에 진행했다. 게이큐 급행 전철은 지난 2021년 실증사업을 통해 하네다 공항 제1터미널 역에 이음5G를 구축했다. 이를 바탕으로, [그림 1]과 같이 열차가 정차하는 동안 플랫폼에 설치된 카메라가 철도 차량의 대차 및 차륜 이미지 정보를 서버에 업로드하는 서비스가 구축됐다. 해당 서비스는 서버의 AI가 업로드 영상을 분석해 차륜과 대차 점검을 수행함으로써, 기존과 다르게 검사소가 아닌 역에서 정차 중 정비가 자동으로 이뤄지도록 했다[11]. 또한, 도큐전철은 선로 상태 이상 감지를 위한 선로순시업무 자동화 실증사업을 진행했다[12]. 이를 위해, 열차 선두부에 4K 카메라를 설치하고 열차가 정차하는 동안 서버에 데이터를 업로드할 수 있도록 역사에 이음5G를 구축했다.



자료: 넷매니아, [철도]일본 로컬 5G 실증사례(13): 로컬 5G와 AI 기술을 이용한 철도역에서의 차량감시 고도화, Sep. 2022

[그림 1] 이음5G를 적용한 차량감시 고도화 사례

국내에선 과학기술정보통신부가 2021년 10월 이음5G 주파수를 할당했다. 한국의 이음5G 주파수는 4.7GHz 대역에 10MHz 10개 블록, 28GHz 대역에 50MHz 12개 블록으로 구성돼 있다. 수요기업은 건물, 토지, 시설 등 특정 공간에 이음5G 주파수를 신청해 할당받을 수 있으며, 수요기업의 주파수 수요에 따라 할당되는 주파수 블록의 수는 조정될 수 있다. 이에 따라, 철도 부지 및 선로에서 이음5G를 활용할 수 있게 됐다. 이번 원고에선 이음5G를 철도 분야에 적용하기 위한 시나리오와 주요 기술을 설명한다.

2. 이음5G의 철도 적용 방안

2.1 철도 적용 시나리오별 네트워크 구성 방안

철도 운영사는 이음5G를 통해 다양한 철도 특화 서비스를 제공할 수 있고, 네트워크 구성 방안은 서비스에 따라 변경될 수 있다. 이음5G를 통해 제공할 수 있는 철도 특화 서비스는 <표 1>과 같다[13].

<표 1> 5G 기반 철도 특화 서비스

서비스	설명
철도 차량 운행 데이터 송수신	철도 차량의 운행 정보를 서버로 업로드하는 서비스
선로변 센싱 데이터 송수신	철도 차량에 부착된 카메라로 선로 및 주변 환경을 촬영한 뒤 서버에 업로드하는 서비스
CCTV 영상 전송	객실 내 CCTV 영상을 서버에 업로드하는 서비스와 관제에서 실시간으로 객실 CCTV를 모니터링하는 서비스
AR 기반 철도차량 정비	철도차량기지 및 검수고에서 검수자가 AR 장비를 활용해 차량 검수를 진행하는 서비스
PSD(Platform Screen Door)	제어 철도 차량의 문이 개폐될 때 PSD 문도 연동돼 개폐되도록 하는 서비스
음성통신	기관사와 관제 간 음성통신, 기관사와 기관사 간 음성통신을 제공하는 서비스. 여기서 음성통신은 개별통신과 그룹통신을 모두 제공해야 함
열차제어	열차운행을 제어하기 위한 데이터를 송수신하는 서비스

자료: 한국철도기술연구원, 이음5G-R 네트워크 구성 방법 (기술보고서), TTA, 표준제안 2024-P3141, Jul. 2024. 재구성

<표 1>의 서비스 중 철도차량 운행 데이터, 선로변 센싱 데이터, CCTV 영상 데이터는 철도 운영사에 따라 철도 차량기지에서 업로드되는 경우, 차량기지과 기점 역에서 업로드되는 경우, 실시간으로 서버에 업로드되는 경우가 모두 존재할 수 있다. 증강현실(AR)기반 철도차량 정비는 차량기지 및 검수고에서 데이터 송수신이 발생하고, PSD는 역사에서만 데이터 송수신이 필요하다. 음성통신과 열차제어는 철도 전 구간에서 상시 데이터 송수신이 필요하므로, 해당 서비스 구축을 위해선 이음5G가 전 구간에 구축돼야 한다. 다만, 열차제어가 LTE-R과 PS-LTE의 간섭 구간에서만 이음5G를 사용하는 경우엔, 이음5G가 일부 구간에서만 사용될 수 있다.

제공 서비스에 따른 기지국 설치 지역과 이에 따른 네트워크 구성 방법은 <표 2>와 같다. 철도 차량기지에 이음5G를 구축할 경우엔 이중화가 지원되는 단일 5G 코어로 네트워크를 구성하는 것이 바람직하다. 차량기지에선 철도 차량이 정차한 상태에서 데이터 송수신이 주로 이뤄지므로, 네트워크를 설계할 때 철도차량의 정차 위치, 철도차량의 대기 시간을 고려하는 것이 필요하다.

<표 2> 기지국 설치 지역 분류별 제공 가능 서비스

기지국 설치 지역	데이터 송수신 장소	제공 서비스	네트워크 구성 방법
1개 지역 설치	철도차량기지	철도차량 운행 데이터 송수신, 선로변 센싱 데이터 송수신, CCTV 영상 전송, AR 기반 철도 차량 정비	단일 5G 코어 설치
n개 지역 설치	일부 역사	철도차량 운행 데이터 송수신, 선로변 센싱 데이터 송수신, CCTV 영상 전송	단일 5G 코어 설치, - 1개 CPF, 1개 UPF, 1개 MEC - 1개 CPF, m개 UPF, l개 MEC 지역별 5G 코어 설치 - n개 CPF, n개 UPF, n개 MEC
	모든 역사	철도차량 운행 데이터 송수신, CCTV 영상 전송, PSD 제어	
	LTE-R과 PS-LTE 간섭 지역	열차 제어	
모든 지역	모든 구간	모든 서비스(1~10)	

자료: 한국철도기술연구원, 이음5G-R 네트워크 구성 방법 (기술보고서), TTA, 표준제안 2024-P3141, Jul. 2024. 재구성

일부 역사, 모든 역사 또는 간섭 구간 등에 이음 5G 네트워크를 구성할 경우, 단일 5G 코어를 설치하는 경우와 지역별로 5G 코어를 설치하는 방법을 적용할 수 있다. 단일 5G 코어를 설치하는 경우, 1개 CPF(Control Plane Function)와 1개 UPF(User Plane Function)를 설치하는 방법과 1개 CPF와 다수 UPF를 설치하는 경우로 크게 나눌 수 있다. 다수의 UPF를 설치하면 비용이 증가하는 단점이 있으나 고장에 더욱 강인한 네트워크를 구성할 수 있다. 또한, 이 방법은 U PF별로 에지 클라우드 역할을 수행하는 MEC(Multi-access Edge Computing)를 구축해 백본 네트워크의 데이터 트래픽 부하를 감소시키고 데이터 송수신 지연시간을 감소시키는 장점이 있다.

선로 전 구간에 이음5G를 구축하는 경우엔 단일 5G 코어를 이용해 이음5G 네트워크를 구축하는 것이 이동성 보장 측면에서 장점이 있다. 지역별로 5G 코어를 설치하면 단말이 서로 다른 지역을 통과할 때 로밍을 수행하므로 이동성이 저하되는 단점이 있으나, 한 지역의 고장이 다른 지역으로 전파되지 않는 장점이 있다. 이 방법은 또한, 철도 운영사가 유지보수비용 협상 시 네트워크 운영사 및 제작사로부터 협상력 강화할 수 있다는 강점도 가진다.

2.2 이음5G 철도 적용 기술

이음5G의 철도 도입이 유지보수비용 감소와 유지보수 효율성 증가로 이어지기 위해선, 이음5G가 LTE-R을 제외한 기존 통신인 TETRA, LoRA, Wi-Fi, Zigbee, 자체 18GHz 통신 등을 대체할 수 있도록 설계돼야 한다. 현재 철도에는 LTE-R 용도로 상향 링크의 718~728MHz 대역과 하향 링크의 773~783MHz 대역이 할당돼 있다. 해당 대역은 우수한 전파 특성을 갖지만 대역폭이 작아 전송률에 한계를 갖는다. 반면, 이음5G는 4.7GHz에 100MHz 대역을 가지고 있으므로 LTE-R의 부족한 데이터 용량을 보완할 수 있다. 그러므로 이음5G를 활용해 LTE-R의 부족한 전송률을 보완하고, 나머지 다른 통신 방식을 대체하는 것이 필요하다.

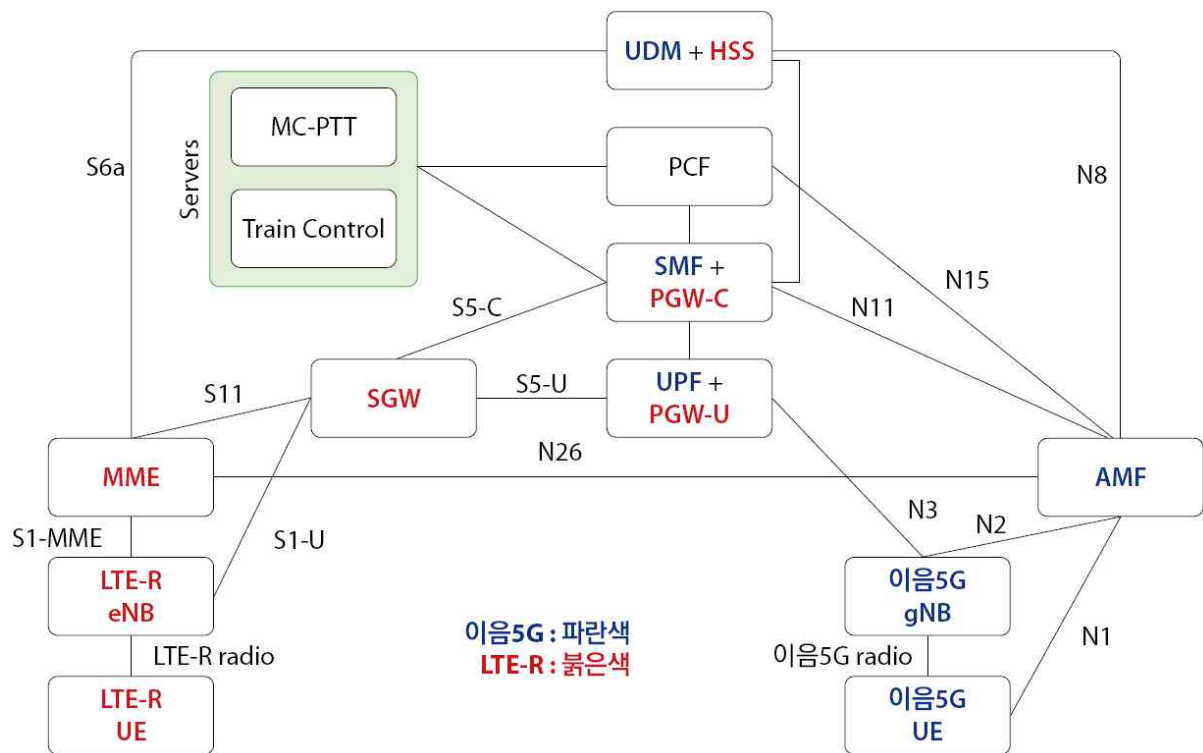
한국철도기술연구원은 2023년부터 철도망을 통합하고 철도특화기능을 제공하기 위한 이음5G-R(Railway) 기술 개발을 진행하고 있다. 이음5G-R은 철도특화기능을 제공하는 이음5G 네트워크를 의미한다. 철도특화기능으로는 LTE-R과의 연동 기술, 철도 환경에 이음5G를 적용하기 위한 기지국 최적화 기술, 철도 특화 네트워크 슬라이싱 기술 등이 있다.

철도특화기능 중 이음5G-R이 LTE-R을 효과적으로 보완하기 위해 필요한 이음5G-R과 LTE-R간 연동 방법은 다음과 같다[13].

- 방법 1: LTE-R이 MCG(Main Cell Group)가 되고 이음5G-R이 SCG(Secondary Cell Group)가 되는 NSA(Non-Standalone)기반 ENDC(E-UTRA/NR Dual Carrier) 연동 방식
- 방법 2: 이음5G-R이 MCG가 되고 LTE-R이 SCG가 되는 NSA기반 NEDC(NR/ E-UTRA Dual Carrier) 연동 방식
- 방법 3: 코어 네트워크가 LTE-R과 이음5G-R를 동시 지원하는 Non-roaming 기반 연동 방식
- 방법 4: 로밍 기반 이음5G-R과 LTE-R 연동 방식
- 방법 5: 연동 서버의 AF(Application Function) 기반 이음5G-R과 LTE-R 연동 방식

방법 1과 2는 LTE-R과 이음5G-R이 밀접하게 연동되는 방식으로, 상용 LTE와 상용 5G의 연동에서 자주 사용되는 방식이다. 방법 3은 [그림 2]와 같이 단일PCF(Policy Control Function)가 LTE-R과 이음5G-R의 인터페이스를 지원해야 하며, 네트워크 장치가 하드웨어를 공유할 수 있는 방식이다. 방법 1~3을 적용하기 위해선 LTE-R과 이음5G-R이 동일한 PLMN ID를 가져야 한다. 하지만, 정부는 이음5G와 LTE-R에 다른 PLMN ID를 할당하므로, 방법 1~3을 적용하기 위해선 서로 다른 PLMN ID에서도 해당 기능을 제공할 수 있는 기술이 개발 및 검증돼야 한다. 방법 4는 이음5G 주파수의 할당 유형에 따라 적용 여부가 달라진다. Type 1 주파수로 구축된 네트워크는 다른 네트워크와의 연동이 금지되므로 Type 1인 경우에는 방법 4를 적용할 수 없다. 반면, Type 2 또는 3 주파수를 할당받은 경우엔 다른 네트워크와의 연동이 가능하므로, 방법 4 적용이 가능하다. 방법5는 주파수 유형에 관계 없이 모두 사용이 가능하다[13].

방법 4 구현을 위해선 로밍 네트워크 구축이 필요하다. 로밍 네트워크는 단말이 원래 가입돼 있던 홈네트워크(Home Network)와 단말이 새롭게 연결된 방문 네트워크(Visited Network)로 구성된다. 로밍 방식에는 홈 경유(Home-routed) 로밍과 LBO(Local Break Out) 로밍이 있다. 홈 경유



[그림 2] 방법 3의 코어 구조

자료: 한국철도기술연구원, 이음5G-R 네트워크 구성 방법 (기술보고서), TTA, 표준제안 2024-P3141, Jul. 2024.

로밍은 서비스 가입자가 홈 PDN(Packet Data Network) 게이트웨이인 H-PGW를 통해 서비스를 제공받도록 하는 로밍 방식이고, LBO 로밍은 가입자가 방문 네트워크의 PDN 게이트웨이를 통해 서비스를 제공하는 방식이다[14].

방법 5인 AF 기반 연동은 [그림 3]과 같이 5G 단말과 LTE 단말이 연동 서버를 통해 통신을 수행하는 것을 의미한다. 로밍과 다르게 5G 네트워크 객체와 LTE 네트워크 객체 간 인터페이스를 통한 정보 교환은 필요 없으며, 서버의 AF가 각 네트워크와의 인터페이스를 통해 통신 서비스 품질을 설정한다. 예를들어, MCPTT(Mission Critical Push-To-Talk)가 연동서버에 설치돼 LTE-R과 이음 5G-R간 그룹통화를 지원하는 경우, 서버에 설치된 MCPTT 애플리케이션은 QoS를 보장하기 위해서 LTE-R의 PCRF(Policy and Charging Rule Function)와의 Rx 인터페이스와 이음 5G-R의 PCF와의 N5 인터페이스를 모두 지원해야 한다.

3. 맺음말

철도 분야는 안전성, 유지보수 및 운영 효율성 향상을 목표로 디지털 전환 연구 개발을 추진하고 있다. 철도 디지털 전환은 필연적으로 데이터 전송량의 증대를 야기하므로, 이를 만족시키기 위해선 기존보다 높은 통신 용량을 제공하는 통신 시스템 구축이 필요하다.

현재 철도엔 700MHz에 하향 링크 10MHz 대역과, 상향 링크 10MHz 대역이 할당돼 LTE-R을 구축하고 있다. 그러나 LTE-R은 10MHz의 상향링크 주파수 대역만을 가지므로 철도 디지털 전환을 위한 데이터 수요를 만족하기 어렵다. 때문에, LTE-R을 보완하기 위해 4.7GHz의 100MHz 대역을 활용하는 이음 5G-R을 철도에 적용하는 것이 필요하다.

이음5G-R은 LTE-R과의 연동 기능을 제공함과 동시에 높은 데이터 전송률을 바탕으로 기존 서비스와 신규 서비스를 모두 수용할 수 있도록 개발돼야 한다. 이를 통해, 기존 파편화된 철도 통신망을 통합함으로써 철도 디지털 전환이 비용 효과적으로 이뤄지게 할 수 있다.

[참고문헌]

- [1] FRMCS Functional Working Group, Future Railway Mobile Communication - System Functional Requirements Specification, UIC, FU-7120, ver1.0.0, Feb. 2023.
- [2] [UIC FMS Telecom On-Board Architecture Workgroup, On-Board FRMCS Functional Requirements Specification, UIC, TOBA-7510, ver1.0.0, Feb. 2023.
- [3] FRMCS AT Working Group, Future Railway Mobile Communication System Requirements Specification, UIC, FW-AT 7800, ver1.0.0, Feb. 2023.
- [4] Railway Interoperability and Safety Committee, Technical specification for interoperability relating to the 'controlcommand and signalling' subsystems, EU, Commision implementing regulation 2023/1695, Aug. 2023.
- [5] SA Working Group 1, Mobile communication system for railways, 3GPP, TS22.289, v18.0.1, Apr. 2024.
- [6] SA Working Group 1, Study on off-network for rail, 3GPP, TR22.990, v18.0.0, Dec. 2021
- [7] SA Working Group 1, Study on Future Railway Mobile Communication System, 3GPP, TR22.989, v20.0.0, Jun. 2024.
- [8] DB Netze, Conclusion Report on 5G FRMCS Field Trials, 5GRail, Deliverable D5.3 Jan. 2024.
- [9] Global Times, China to build smart railway network by 2035 using 5G, BeiDou Navigation Satellite System, Aug. 2020.
- [10] Ruisi He, et. al., "5G for Railways: the Next Generation Railway Dedicated Communications," IEEE Com. Mag. Vol.60, No.12, Dec. 2022, pp130-136.
- [11] 넷매니아, [철도]일본로컬5G실증사례(13):로컬5G와AI기술을이용한철도역에서의차량감시의고도화, Sep. 2022.
- [12] 넷매니아, [철도] 일본 로컬 5G 실증사례(14): 로컬 5G를 활용한 철도역선로순시업무의자동화, Sep. 2022.
- [13] 한국철도기술연구원, 이음5G-R 네트워크 구성 방법 (기술보고서), TTA, 표준제안 2024-P3141, Jul. 2024.
- [14] SA Working Group 2, System architecture for the 5G System, 3GPP, TS23.501, v19.0.0, Jun. 2024.

※ 출처: TTA 저널 제217호