

## 차세대 열차통신네트워크 기술 동향 및 분석

최유나\*, 고경준\*, 변일무°

Technology Trends and Analysis of Next-Generation Train  
Communication Network

Yu-na Choi\*, Kyeong-jun Ko\*, Ilmu Byun°

## 요약

차세대 열차 통신네트워크의 주요 특징은 열차 내 많은 수의 단말을 연결하기 위해 무선 통신 기술이 적용되고, 열차 제어 정보와 같은 안전 관련 정보를 안정적으로 송수신하기 위해 시 민감 네트워크 기능이 추가되는 것이다. 특히 차세대 열차통신네트워크는 승객 안전과 직결되는 열차 제어 정보를 송수신하므로 매우 높은 통신 요구사항을 필요로 한다. 현재의 무선 통신 표준 기술 중 차세대 열차통신네트워크의 통신 요구사항을 모두 만족하는 기술은 없으나, 5G 통신 기술과 IEEE 802.11 Wi-Fi 기술이 가장 근접한 성능을 제공하므로 제공하므로 차세대 열차통신네트워크를 위해서는 이들 표준 기술을 개선하는 것이 필요하다.

**키워드** : 열차통신네트워크, 무선 통신, 시민감 네트워크, 데이터 중심, 열차제어

**Key Words** : train communication network, wireless communication, time sensitive network, drive by data, train control

## ABSTRACT

The main features of next-generation train communication network are that wireless communication technology is applied to connect a large number of devices in the train, and time-sensitive network functions are added to reliably transmit and receive safety-related information such as train control information. In particular, the next-generation train communication network requires very high communication requirements because it transmits and receives train control information directly connected to passenger safety. No technology satisfies all the communication requirements of the next-generation train communication network among the current wireless communication standard technologies, but 5G communication technology and IEEE 802.11 Wi-Fi technology provide the closest performance. Thus, it is necessary to improve these standard technologies for the next-generation train communication network.

## 1. 서론

최근 철도차량의 자동화, 무인화 추세에 따라 철도 차량의 정보통신 시스템이 고도화되고 있다. 고도화가

진행되는 대표적인 장치로는 철도차량 내에 설치되어 열차운행, 기기제어 및 장비 모니터링을 담당하는 TCMS(Train Control Monitoring System)가 있다. TCMS는 열차 제어 이외에도 열차 내 기관사에게 실

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 기본사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Korea National University of Transportation, youna4339@ut.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, ilmubyun@krii.re.kr, 정회원

\* Korea Railroad Research Institute, kkj8000@krii.re.kr, 정회원

논문번호 : 202103-045-C-RN, Received February 26, 2021; Revised April 7, 2021; Accepted April 8, 2021

시간 차량 상태 감지 기능을 제공하며, TCMS에 저장된 상태 정보를 활용하면 유지보수의 효율성을 증가시킬 수 있다.

TCMS가 발전함에 따라 NG-TCMS(Next Generation TCMS)는 현재보다 많은 기능을 제공할 것으로 예상된다. 일례로, 유럽의 철도혁신산업 프로젝트인 Shift2Rail에서 개발하는 NG-TCMS는 시스템 구축 및 유지보수 비용 감소를 위해 공통 컴퓨팅 하드웨어에 기존의 개별 ECU(Electronic Control Unit)가 수행하던 많은 기능을 포함하는 것을 목표로 하고 있다<sup>11</sup>. 이렇게 TCMS의 기능과 역할이 증대됨에 따라 TCMS와 철도차량의 장치들을 연결하는 TCN(Train Communication Network)의 역할과 성능 요구사항이 증가하고 있다.

기존 철도차량에 적용된 TCN은 다양한 유선 통신 방식이 혼용되어 매우 복잡했다. IEC 61375 표준에서 정의한 MVB(Multifunction Vehicle Bus), WTB(Wire Train Bus) 외에도 RS-485, Lonworks, CAN 통신이 사용되었기 때문이다. 이후, IEC TC 9에서는 복잡한 유선 TCN을 이더넷 기반 TCN으로 단순화시키기 위해 IEC 61375-2-5와 61375-3-4에서 각각 ETB(Ethernet Train Backbone)와 ECN(Ethernet Consist Network)을 제정하였다. 이에 따라 현재 제작되는 철도 차량은 이더넷을 중심으로 TCN을 구성하고 있다.

최근에는 철도차량의 OOS(Operator Oriented Service)와 COS(Customer Oriented Service)가 점점 다양해짐에 따라 철도차량 내 통신을 이용하는 장치가 증가하고 있다. 증가된 장치는 유선 TCN의 배선 복잡도를 증가시키고 이로 인해 TCN의 유지보수 비용이 증가하는 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제는 NG-TCMS가 도입되면 더욱 증가할 것이므로 철도차량의 복잡한 TCN 배선을 간소화하기 위해 무선 통신을 TCN에 도입하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 유럽의 Shift2Rail에서는 무선통신을 기반으로 한 NG-TCMS 아키텍처 구상을 완료하고, 이로부터 NG-TCN의 기술 및 요구사항을 정의하였다<sup>12</sup>. 하지만 아직 NG-TCN의 요구사항을 모두 만족하는 무선 통신 기술은 없으므로, 이를 위한 무선 통신 기술을 개발하는 것이 필요하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 현 TCN을 구성하는 기술에 대해서 알아보고, 3장에서는 NG-TCN을 위한 기술 요구사항들을 살펴본다. 4장에서는 무선 통신을 결합한 NG-TCN의 아키텍처를 알아보고, 5장에서는 NG-TCN에 사용 가능한 무선통신

망 후보 기술들과 적합성에 대해서 살펴본다.

## II. TCN 구성요소

TCN(Train Communication Network)은 열차 내 데이터 통신을 담당하는 네트워크로 차량-차량 간의 데이터 통신, 차량 내 데이터 통신을 담당한다. TCN은 ND(Network Device)와 ED(End Device)로 구성된다. ND에는 스위치, 라우터, 게이트웨이가 있으며

표 1. IEC 61375 표준 시리즈  
Table 1. IEC 61375 Standard series

Standard number	Contents
IEC 61375-1	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication network Part 1: Train Communication Network General Architecture
IEC 61375-2-1	Railway applications - Electronic railway equipment - Train Communication Network Part 2-1: WTB - Wire Train Bus
IEC 61375-2-2	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication Network Part 2-2: WTB - Wire Train Bus conformance testing
IEC 61375-2-3	Railway applications - Electronic railway equipment - Train Communication Network Part 2-3: Communication Profile
IEC 61375-2-4	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication Network Part 2-4: Application Profile
IEC 61375-2-5	Railway applications - Electronic railway equipment - Train Communication Network Part 2-5: ETB - Ethernet Train Backbone
IEC 61375-2-6	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication network Part 2-6: Board to Ground Communication
IEC 61375-2-7	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication network(TCN) Part 2-7 : Wireless Train Backbone(WLTB)
IEC 61375-3-1	Railway applications - Electronic Railway Equipment - Train Communication Network Part 3-1: MVB - Multifunction Vehicle Bus
IEC 61375-3-2	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication Network Part 3-2: MVB - Multifunction Vehicle Bus Conformance Testing
IEC 61375-3-3	Railway applications - Electronic Railway Equipment - Train Communication Network Part 3-3: CANopen Consist Network
IEC 61375-3-4	Railway applications - Electronic railway equipment - Train communication network Part 3-4: ECN - Ethernet consist network

ED에는 다양한 응용 장치들이 포함된다.

TCN의 네트워크 구조는 크게 2부분으로 나눌 수 있다. 차량을 연결하는 열차 백본(TB : Train Backbone)과 차량 내의 제어장치를 연결하는 편성차량 네트워크 (CN : Consist Network)이다. 국제 표준화 기구인 IEC TC 9는 TCN 표준을 61375 시리즈로 지정하여 part 2인 61375-2 시리즈는 열차 백본(train backbone), part 3인 61375-3 시리즈는 편성차량 네트워크(consist network)로 표준을 제정하였다. 표 1은 IEC 61375 표준 시리즈를 나타낸 표이다.

IEC 61375 TCN 표준은 버스(bus) 기술과 스위치 (switch) 기술로 분류할 수 있다. 초기에는 MVB, CANopen, WTB와 같은 버스기술이 표준으로 제정되었고, 이에 따라 국내 철도차량 TCN도 초기에는 MVB 와 WTB 같은 버스(bus) 기술로 구성되었다. MVB, WTB는 최대 1.5Mbps의 데이터 전송률을 제공하여 제어 및 진단 데이터 전송에는 사용이 가능하지만 승객의 인터넷 접속, 디지털 음성/영상 전송 등의 COS 요구사항을 충족하지 못하는 한계가 있다<sup>6)</sup>.

철도차량의 열차 모니터링 정보, CCTV, 동영상 등 데이터를 고속으로 전송하기 위한 OOS와 COS 수요가 날로 증가함에 따라 차량 내 대용량 정보전송 서비스를 만족하기 위해 IEC TC 9에서는 스위치 기반의 TCN용 이더넷(Ethernet) 표준을 제정하였다. 이더넷은 대용량 데이터를 초고속으로 전송할 수 있다는 장점에도 불구하고 기존 철도 분야에서는 그 쓰임이 두드러지지 않았지만, IEC TC9의 TCN 표준에 이더넷이 포함된 이후에는 TCN에 이더넷을 적용한 차량들이 상용화되어 제작되고 있다.

## 2.1 열차 백본 (Train Backbone)

백본(Backbone)이란 작은 범위의 네트워크를 상호 연결하여 장거리 데이터 정보교환을 가능하게 하는 통신이다. 열차 백본은 편성차량 네트워크들을 서로 연결하는 역할을 수행하며 철도차량의 분리/결합 시 통신 토폴로지가 변화하는 동적 네트워크의 특징을 가진다. 대표적인 열차 백본으로는 WTB(Wire Train Bus)와 ETB(Ethernet Train Backbone)가 있고, 최근에는 무선 열차 백본인 WLTB(Wireless Train Backbone)가 화물열차용 표준으로 제정되었다. 하지만 아직 무선 통신의 안전성 문제 때문에 여객열차용 WLTB기술은 상용화되지 않았다.

### 2.1.1 WTB (Wire Train Bus)

WTB는 차량과 차량 간의 통신을 담당하는 버스

(bus) 기술이며 Twisted & Shielded wire pair 케이블을 사용하여 1Mbps의 대역폭으로 데이터를 전송한다. 유효거리 860m 안에서 32개의 노드까지 지원하고, 리피터를 사용하여 최대 62개의 노드까지 확장이 가능하다<sup>4)</sup>. 데이터는 25ms 주기로 정보 전송을 한다<sup>5)</sup>. 결정론적 데이터 전송이 가능하다는 장점이 있지만 제한된 비트전송률 때문에 대용량 데이터는 전송에 한계가 있다.

### 2.1.2 ETB (Ethernet Train Backbone)<sup>6)</sup>

열차 백본을 담당하는 이더넷 통신인 ETB는 그림 1과 같이 차량 내 데이터 통신을 담당하는 ECN과 연결되는 ETBN(ETB Node)으로 구성된다. ETB의 물리계층과 데이터 링크 계층은 IEEE 802.3에 따라 동작한다. 이중 물리계층에서는 100Base-Tx의 전이중 방식(Full-duplex)을 사용하며, 네트워크 계층에서 데이터 전송은 IP 프로토콜을 사용한다<sup>3)</sup>.

ETB는 열차가 재구성될 때, 편성차량(Consist)을 파악하여 새로운 열차통신네트워크를 구성하는 것이 중요하다. 이것을 열차조성(Inauguration) 이라고 한다. 열차가 조성될 때마다 차량 내부 통신장치들(ED, ND)은 정보 통신을 할 수 있는 IP주소가 할당되는데, 열차조성이 변경되면 IP주소가 재할당된다<sup>7)</sup>. 다시 말하면, 열차가 늘어나거나 줄어들때 따라 유연하게 네트워크를 재편성하는 작업이 필요하다.

열차조성은 TTDP(Train Topology Discovery Protocol)를 기반으로 한다. TTDP는 IEC 61375-2-5에 정의되어 자동으로 ETBN을 식별하고 네트워크를 재구성하여 차량 편성 변경에 따른 지연시간을 최소화하는 데 사용하는 프로토콜이다<sup>8)</sup>.

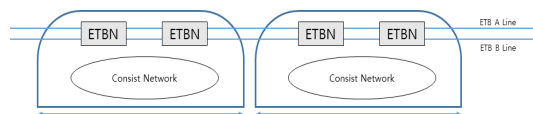


그림 1. 열차용 ETB 적용 예  
Fig. 1. A case of ETB Network for train

### 2.1.3 WLTB (Wireless Train Backbone)

2014년 제정된 WLTB는 화물열차의 열차조성을 편리하게 하기 위해 만들어졌다. 화물칸은 승객칸과 달리 네트워크가 설치되어 있지 않으므로 화물칸을 유선으로 연결하는 것은 추가적인 비용과 시간이 든다. 반면 승객이 없으므로 안전요구조건은 낮아지므로 유선보다 신뢰도가 낮은 무선 통신을 도입하기 용이하다. 그러므로 그림 2와 같이 추진 장치가 있는 화물

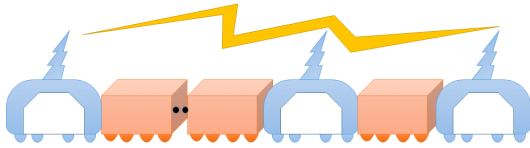


그림 2. WLTB 적용 화물 열차  
Fig. 2. WLTB applied freight train

열차의 기관차들을 무선으로 연결하기 위하여 WLTB 기술이 도입되었다. WLTB가 형성되면 선두 기관차가 추종 기관차에 추진/제동 명령, 상태정보 등을 무선으로 전송할 수 있다.

WLTB는 물리 계층, 데이터링크 계층, 응용 계층으로 나뉜다. 물리 계층은 800MHz 대역의 무선 주파수를 사용하고, 500KHz 대역폭을 갖는 채널 8개로 구성되며 변조 방식으로 CP-FSK를 이용한다. WLTB 통신 노드에는 MAC 계층이 없고, 데이터 전송 시 충돌회피는 주로 응용 계층에서 구현된다. 응용계층은 데이터 전송 타이밍, 중계, 명령 및 상태정보 전달 등의 스케줄링과 다중 홉 릴레이 기능을 제공한다<sup>10)</sup>. WTB와 ETB는 자동 열차조성 기능이 있지만, WLTB는 인접한 통신 노드를 자동으로 식별할 수 없으므로 자동 열차조성을 지원하지 않고 기관사에 의한 수동 열차조성만이 가능하다.

## 2.2 편성차량 네트워크(Consist Network)

편성차량 네트워크는 철도차량 내 장치 간의 통신을 담당하는 네트워크로, 게이트웨이(gateway)를 통해서 열차 백본과 연결된다. 일반적으로 한 칸의 철도차량 또는 하나의 편성으로 묶인 여러 칸의 철도차량이 하나의 편성차량 네트워크로 구성된다. 열차 백본과는 달리 열차 분리/결합 시 토폴로지가 변하지 않는다.

편성차량 네트워크는 일반적으로 MVB(Multifunction Vehicle Bus), CANopen, ECN 기술이 복합적으로 적용되고, 철도차량 내의 출입문 개폐, 냉난방, CCTV 데이터 전송 등 다양한 데이터 전송을 수행한다.

### 2.2.1 MVB (Multifunction Vehicle Bus)

MVB는 그림 3과 같이 차량 제어(도어, 조명, 환기 등) 및 탑승자 정보 등 승객 편의와 관련된 시스템을 담당한다. MVB는 비교적 짧은 거리에서 기본 주기를 반복하며 통신하는 장치로서, 신호의 왜곡이나 중첩이 없다. 통신 속도는 1.5Mbps이며, 프로세스 데이터를 주기적으로 송신한다. 연결 매체에 따라서 ESD(<20m), EMD(<200m), OFG(<2000m) 세 종류의 물리 계층방식으로 구분된다<sup>10)</sup>.

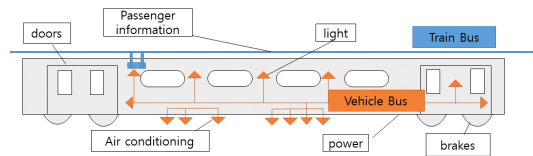


그림 3. 철도차량 내 MVB 구성 예  
Fig. 3. A case of MVB configuration in a rolling stock

### 2.2.2 CANopen

CANopen은 자동화 임베디드 시스템에서 사용하기 위해 개발되어 철도차량에서 제동, 디젤엔진 제어 시스템과 내/외부 조명 제어시스템 등을 담당한다<sup>11)</sup>. 그림 4는 CANopen 네트워크를 간략화한 것이다.

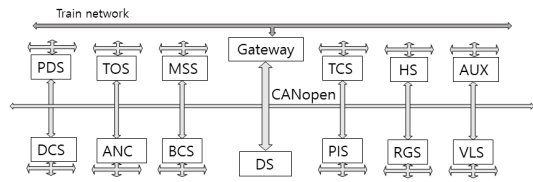


그림 4. 편성차량 네트워크용 CANopen logical network  
Fig. 4. CANopen logical network for consist network

### 2.2.3 ECN (Ethernet Consist Network)

ECN이란 열차 백본과 연결된 IP 기반 네트워크로 철도 차량 내 하위 시스템을 상호 연결하는 통신망이다. ECN은 스위치 이더넷을 기반으로 IEEE 802.3 표준에 따라 동작하며 그림 5와 같이 CS(Consist Switch), ED(End Device) 등으로 구성된다. 여기서 ED는 열차의 하위기능을 담당하는 장치이고, ED까지의 통신 경로는 CS에 의해 제어된다. 한 편성차량(Consist)에는 여러 개의 서로 다른 ECN이 설치될 수

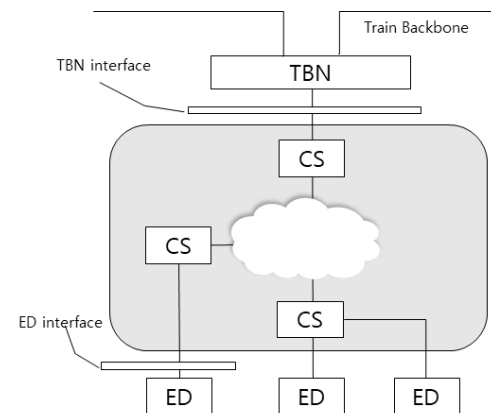


그림 5. ECN 구성 예  
Fig. 5. ECN configuration example

있고, 이들 ECN은 ETBN에 연결된다.

ECN의 주요 기능은 가상 LAN, 이중화(Redundancy) 관리, QoS 보장, 게이트웨이, 열차통신 네트워크 관리 등을 담당한다. 특히 열차조성 시 변화하는 네트워크 관리를 위해 동적 IP 주소 할당, 이음 변환 기능도 수행할 수 있어야 한다.

표 2는 IEC 614375-3-4에서 정의한 데이터 등급(Data Class)별 QoS 요구사항을 정리한 표이다. 애플리케이션을 5종류(supervisory data, process data, message data, stream data, best effort data)로 구분하고, 각각의 요구사항을 나타냈다. QoS 요구사항으로는 사이클 시간(cycle time), 데이터 크기(data size), 지연시간(latency), 지터(jitter)가 사용되었으며, 가장 강한 통신 요구사항을 갖는 Supervisory data의 우선순위를 가장 높게 설정하였다. ECN에서 ED는 데이터 클래스별 QoS를 보장하기 위해 IP 데이터그램의 DSCP 필드에 우선순위를 설정하고, CS는 IEEE 802.1D의 정의에 따라 우선순위 대기행렬을 처리한다<sup>[12]</sup>.

ECN의 토폴로지는 선(Linear)형, 링(Ring)형, 사다리(Ladder)형 등이 있다. 그중 그림 6, 7과 같이 ED를 두 개의 CS에 연결하여 ED의 링크를 이중화하는 방식(Dual Homing)이 높은 신뢰성과 가용성을 보인다. 그러므로 ECN은 주로 링 또는 래더형 토폴로지를 사

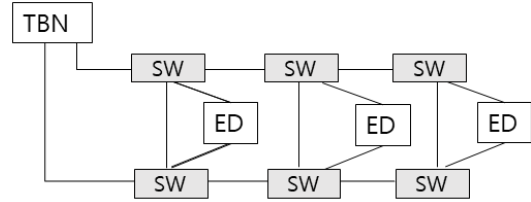


그림 7. ECN의 사다리형 토폴로지  
Fig. 7. Ladder topology of ECN

용하여 견고하고 안정적인 열차통신네트워크를 형성한다<sup>[3]</sup>.

### III. NG-TCN 기술 요구사항

이번 장에서는 Shift2Rail에서 NG-TCN을 위해 제시한 DbD(Drive-by-Data)에 대해서 살펴보고, DbD의 기반이 되는 핵심 기술인 TSN(Time Sensitive Network)에 대해 살펴본다. 또한, NG-TCN 무선 기술 요구사항에 대해서 살펴본다.

#### 3.1 Drive-by-Data

무선 통신 기반 열차 제어를 위해서는 결정론적 지연(deterministic latency)을 보장하는 통신이 필수적이다. 여기서 ‘결정론적 지연’은 데이터의 송수신이 목표 지연시간 안에 목적지에 도달하는 것을 보장한다는 의미이다. 그러나 ETB와 ECN 등의 이더넷 기반 철도차량 네트워크는 결정론적 통신을 담보하지 않는다는 점에서 기술적 한계가 있다.

DbD(Drive-by-Data)는 Shift2Rail에서 정의한 NG-TCMS를 가능하게 하는 네트워크 서비스이다. DbD는 NG-TCMS가 열차 내 분산된 하드웨어 장치를 이용해서 임베디드 클라우드(embedded cloud)처럼 동작할 수 있도록 확정적 지연시간(deterministic latency)을 보장하는 TSN기반 NG-TCN을 제공하는 것과 NG-TCN에 IMP(Integrated Modular Platform)와 FDF(Functional Distribution Framework) 미들웨어를 지원하는 기능을 추가한 통신 서비스이다.

DbD 기능을 갖춘 NG-TCN은 다음과 같은 네트워크 서비스를 제공할 수 있어야 한다<sup>[13]</sup>.

- 데이터 통신과 관련된 서비스 기능 (시간 트리거, 속도 제한)
- 열차조성에 따른 토폴로지 변경 기능
- 시간 동기화

표 2. ECN의 QoS 파라미터<sup>[12]</sup>  
Table 2. QoS parameters of ECN<sup>[12]</sup>

Service Parameter	Data Class				
	Process data	Message data	Stream data	Best Effort Data	Supervisor Data
cycle time	<20ms	not applicable	not applicable	not applicable	<10ms
data size	<1,500bytes	<1,500bytes	<1,500bytes	<1,500bytes	<1,500byte
latency	<10ms	<100ms	<125ms	-	<10ms
jitter	<10ms	-	<25ms	-	<10ms
priority level(CS)	2	3	3	4	1

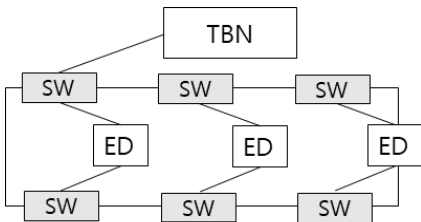


그림 6. ECN의 링형 토폴로지  
Fig. 6. Ring topology of ECN

### 3.2 TSN (Time Sensitive Network)

TSN은 시 민감(Time Sensitive)하고 미션 크리티컬(Mission Critical)한 트래픽을 정해진 시간 안에 송수신하기 위한 네트워크로 표준 이더넷 네트워크에서 결정론적 통신을 구현할 수 있는 DbD의 핵심 기술이다.

TSN을 구현하기 위해 중요한 기술 중 하나는 네트워크 장치들 간의 정확한 시간 동기화(Synchronization) 기술이다. 시간 동기화는 IEEE 1588 정밀시간 전송 프로토콜을 기반으로 하며, TSN이 적용된 NG-TCN의 열차 백본은 지터 20μs 이하(±2 μs)이어야 하고 편성차량 네트워크는 지터 10μs 이하(±1μs)를 만족해야 한다<sup>[14]</sup>. 그리고 synchronized clock은 열차조성 이후에 네트워크를 재구성하더라도 1초 이상 걸리면 안된다<sup>[14]</sup>.

TSN에서는 일반적인 트래픽이 어떠한 이유로 지연되는 경우라도 시 민감 트래픽을 우선으로 전송할 수 있어야 한다. 이를 위해 TSN은 데이터 등급(data class)당 데이터 송신 속도를 제한할 수도 있다. 또한, TSN은 전송 채널의 독립적인 이중화로 예정된 트래픽 전송의 신뢰성을 높인다. 그리고 TSN적용

NG-TCN은 통신이 방해받는 시간이 열차 백본에서 1초, 편성차량 네트워크에서 0.1초를 넘어서면 안된다<sup>[14]</sup>.

TSN 내부 표준 기술에는 <IEEE 802.1AS-Rev - Precise Time Synchronization>, <IEEE 802.1Qbv - Scheduled Traffic>, <IEEE 802.1CB - Frame Replication and Elimination> 등이 있다. TSN은 현재 시민감한 데이터를 적은 지연시간 또는 지연 확정적으로 전달할 수 있다는 점에서 스마트 팩토리 등의 4차 산업혁명 분야에서 주목을 받고 있다.

### 3.3 기술 요구사항

NG-TCN은 유무선 통신이 적용된 TCN에 결정론적 통신을 지원하는 TSN 기능을 추가하는 것을 목표로 한다.

#### 3.3.1 WLTB (Wireless Train Backbone) 요구사항<sup>[14]</sup>

표 3은 현재 네트워크 사용량을 고려하여 도출한 NG-TCN에서 요구되는 네트워크 성능이다. 이 수치는 정확한 요구사항 값은 아니고, NG-TCN이 충족해야 할 최소 요건이다. WLTB는 통신 호환성을 위해

표 3. WLTB 요구사항<sup>[14]</sup>  
Table 3. WLTB requirements<sup>[14]</sup>

Scope		TCMS				OMTS		
		Process Data		Message Data	Supervisory Data	Streaming Data		Best Effort Data
Data Class	Time Sensitive	Normal				Audio	Video	
Data Size		≤ 1432 [acc. IEC61375-2-3]	≤ 1432 [acc. IEC61375-2-3]	≤ 65388 [acc. IEC61375-2-3]	Not relevant	N/A	N/A	≤ 4 GB
Data Rate Needed	Current Use	N/A	10Mbps	10Mbps	10Mbps	≤ 3.2 Mbps (100 Kbps audio channel, one per consist)	≤ 32 Mbps 1 Mbps video stream [no needs for HD]	≤ 4 GB
	NG-TCN	≤100Mbps	≤100Mbps	≤10Mbps	≤10Mbps		≤ 256 Mbps (one stream rear-/side-/internal view per consist 8Mbps video stream [HD])	Not relevant
Cycle Time	Current Use	N/A	40ms	N/A	Not relevant	N/A	N/A	≥ 10Mbps
	NG-TCN	≥ 1 ms	≥ 10 ms	N/A	50ms	N/A	N/A	N/A
Latency	Current Use	N/A	Between 3x CycleTime and 7x CycleTime	250ms	250ms	≤ 100 ms	≤ 500 ms	N/A
	NG-TCN	TL = ∑ TSn(Example: n=128 → TL = 15.92ms)	TL = 2*∑ TSn	≤ 500 ms	TL = 2*∑ TSn		≤ 100 ms	≤ 100 ms
Jitter	Current Use	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Not relevant
	NG-TCN	± 1%	± 50%	Not relevant	Like process data (normal)	For synchronized A/V Stream: ≤ 80ms difference (lipsynch); minimal jitter		Not relevant

NG-TCN 요구사항을 따른다.

표 3은 TCMS와 OMTS(On-board Multimedia and Telematics)에 현재 사용되는 네트워크 성능과 차 세대에 요구되는 네트워크 성능을 나타낸 표이다. 현재 TCMS의 요구사항은 사이클 시간 10ms 이상, 지연시간 30ms 이상, 데이터 전송률 43Mbps (30Mbps / 70%)이다<sup>14)</sup>. OMTS는 지연시간 100ms 이상, 데이터 전송률 50Mbps (35.2Mbps / 70%)이다<sup>14)</sup>.

향후 NG-TCN이 DbD기능을 지원하기 위해서는 데이터 전송률, 지연시간, 지터의 요구 성능이 훨씬 더 까다로워진다. NG-TCMS 예상 값은 사이클 시간 1ms 이상, 지연시간 15.92ms 이상, 지터 ±1% 이하, 데이터 전송률 240Mbps이다. NG-OMTS는 지연시간 100ms 이상, 데이터 전송률 269.2Mbps 이다.

### 3.3.2 WLCN (Wireless Consist Network) 요구사항

WLCN은 표 4와 같이 지연시간 4~250ms, 트래픽 당 최대 100Mbps 속도를 요구한다<sup>14)</sup>. 현재 TCMS는 10Mbit / s의 대역폭이 요구되지만, 추후 새롭고 빠른 기술이 도입될 가능성과 OOS에서도 무선 기술을 사용할 것을 염두에 둔 값이다. 또한 TSN 기능과 결정 론적 액세스를 제공하고, 차량당 최대 40개의 노드를 지원 가능해야 한다<sup>14)</sup>.

WLCN은 차량 기능에 따라서 세부사항이 달라진다. 차량 내부 장치들의 TSN, 시간 동기화, 인터페이스, 프로토콜 등 자세한 요구사항은 Shift2Rail에서 정의하고 있다<sup>14)</sup>.

표 4. WLCN 요구사항<sup>14)</sup>  
Table 4. WLCN requirements<sup>14)</sup>

Requirements	
Max. Bit rate	~100 Mbpsper Traffic type
Max.Latency	4 - 250 ms
Medium Access	Deterministic
Communication	30m(1 car)
Max.number of nodes	40 nodes/ car
Protection againstinterference interference	

## IV. NG-TCN 아키텍처

이번 장에서는 무선통신을 결합한 NG-TCN의 아

키텍처를 살펴보고, 무선 네트워크를 가능하게 하는 기술들에 대해서 살펴본다.

### 4.1 WLTB (Wireless Train Backbone)

그림 8은 WLTB 아키텍처이다. 그림을 보면 ECN 영역에 WLTCN(WLTB Node)가 존재하여 WLTCN 끼리 단일 및 다중 홉 방식으로 통신한다. 이러한 mesh networking을 통해 인접 WLTCN들은 신뢰성 있는 데이터를 서로 교환할 수 있게 된다.

WLTCN은 WLTB에서 중요한 역할을 담당한다. AETBN(Adapted-ETBN)과 RD(Radio Device)의 두 기능으로 나뉘는데, AETBN은 열차조성을 담당하고, RD는 인접 노드를 발견하는 메커니즘을 가진다. 또한, WLTCN은 열차조성에 필요한 TTDB(Train Topology Database)를 안전하게 CCU에 전달할 수 있어야 한다<sup>14)</sup>.

NG-TCN은 기존 유선 네트워크만큼 TTDP(Train Topology Discovery Protocol)의 성능이 요구된다. 유선 네트워크는 선형 버스 구조로, 열차가 재구성되더라도 이웃한 백본노드의 MAC 주소와 위치를 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 무선 네트워크는 바로 옆 노드의 물리적인 위치를 파악이 어렵다. 원거리 노드 간의 간섭현상이 토폴로지를 파악하는데 변수로 작용하기 때문이다<sup>8)</sup>. 따라서 Safe4RAIL-2에서는 이러한 기능을 지원할 수 있는D2D(Direct Device-to-Device) 통신이 가능한 WLTB 노드를 개발 중에 있다<sup>15)</sup>.

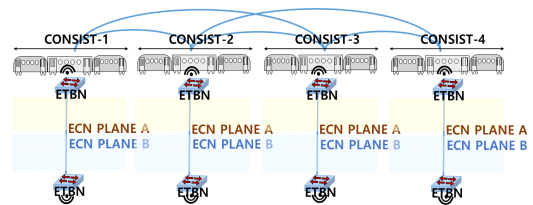


그림 8. WLTB 아키텍처  
Fig. 8. WLTB architecture

### 4.2 WLCN (Wireless Consist Network)

그림 9는 WLCN 아키텍처이다. WLCN은 차량 장치 간의 무선통신을 기반으로 작동한다. WLCN은 열차의 하위기능을 담당하는 시스템이기 때문에 WLTB 보다 더 많은 수의 노드가 필요하고, 더 복잡한 전파 환경에서 정확한 송수신이 가능해야 한다.

WLCN은 두 개의 중복 무선 네트워크로 구성된다. 각 네트워크에는 차량당 하나의 WAP(Wireless Access Point)이 있고, 열차의 하위 기능들을 담당하

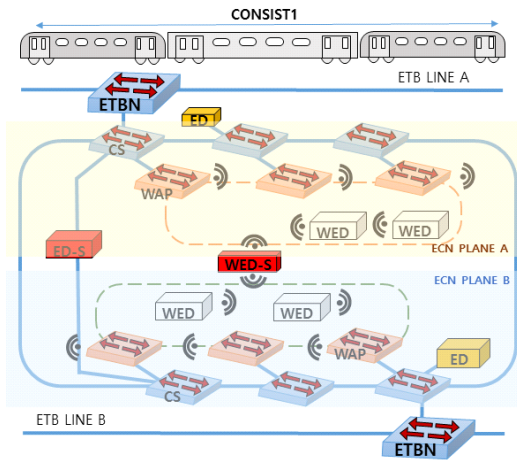


그림 9. WLCN 아키텍처  
Fig. 9. WLCN architecture

는 무선단말장치(WED: Wireless End Devices)와 연결된다. CS(Consist Switch) 장치는 ETB와 유선 연결되어 열차 전체와 통신하고, 열차 내부 네트워크를 담당하는 WAP와도 연결된다. WED중 안전과 관련된 장치인 WED-S(Safe-Wireless End Devices)는 서로 다른 영역(plane)에 동시에 연결되어 통신 신뢰도와 안정성을 높인다<sup>14)</sup>.

WLCN에서 주목해야 할 것은 안전최종장치(ED-S, WED-S)이다. ED-S는 이중으로 연결되어 ED 간의 비신뢰적인 전송 시스템을 보완하는 역할을 한다. ED-S는 SIL 4까지 지원하는 높은 신뢰성을 요구한다. 따라서 ED-S는 ED와 같은 통신 채널에서 독립적으로 통신이 이루어져야 한다<sup>14)</sup>. 또한, ED-S는 열차조성 결과를 보고받아야 한다. 이는 ED-S가 블랙채널에서 IP주소를 잘못 지정한 오류를 막는 역할을 하기 때문이다. 따라서 WLCN은 무선 단말장치의 높은 신뢰성과 이를 보완하는 WED-S의 우수한 성능이 요구된다<sup>14)</sup>.

NG-TCN은 현재 유선 ECN에 SIL4 및 TSN 기능을 갖춘 WAP/WED 장치를 확장한 아키텍처를 구상하고 있지만, 최종적으로는 무선으로만 통신하는 WLCN을 목표로 하고 있다. CS와 ED는 없어지고 WAP, WED, WED-S가 차량편성 네트워크의 주축이 되는 것이다.

### V. 무선 통신망 후보 기술과 적합성

이번 장에서는 NG-TCN 기술 및 요구사항을 바탕으로 WLTB, WLCN에 적용 가능한 무선 통신망 후

보 기술들과 적합성에 대해서 살펴본다.

#### 5.1 WLTB 후보 기술<sup>14)</sup>

표 5는 WLTB의 주요 요구사항과 후보 기술의 통신 성능을 비교한 표이다. 표 5에 서술된 후보 기술과 WLTB 요구 사항을 비교한 결과는 아래와 같다.

1) LTE V2X : 이 기술은 최대 27Mbps 데이터 속도와 50-100ms 지연시간을 제공하므로 TCMS 및 OMTS 요구사항을 만족하지 못한다. 하지만 LTE V2X는 무선 스케줄링과 UE 간의 직접 통신을 지원한다. 따라서 전송범위가 작은 교차로, 기차역, 창고 같은 곳에서 사용이 가능할 것으로 보인다.

2) ITS-G5 : 이 기술은 Wi-Fi를 통해 장치끼리 통신하고, LTE V2X와 유사한 기능을 제공한다. 최대 27Mbps의 데이터 속도를 제공하고, LTE V2X와 비교했을 때 1-20ms 지연시간이 적다는 장점이 있다. 그러나 LTE V2X와 달리 ITS-G5는 결정론적 지연시간을 제공하는 무선 스케줄링을 제공하지 않는다.

3) Wi-fi: 이 기술은 IEEE 802.11 시리즈의 물리적 계층이 구현된 버전에 따라 데이터 속도 및 지연시간이 다르지만, 일반적으로 최대 2.4Gbps의 데이터 속도와 1-20ms의 지연시간을 허용한다. 결정론적 지연시간을 제공하지 않으며, MAC 계층을 수정한 802.1s를 실행함으로써 D2D통신을 제공할 수 있다.

4) VLC (Visible Light Communication) : 이 기술은 최대 60Mbps의 데이터 속도, 20-40ms의 지연시간 및 최대 20m의 전송 범위를 지원한다. 최근 연구에서 VLC를 사용한 coupler에서 최대 100Mbps 데이터 속도를 만족했으나 이는 매우 짧은 거리에서만 해당된다<sup>16)</sup>.

5) BLE (Bluetooth Low Energy) : 이 기술은 블루투스 에너지의 소비를 줄이기 위해서 개발되었다. 이 기술은 50-100ms에서 최대 2Mbps의 데이터 속도와 지연시간을 제공한다. 하지만 BLE는 디폴트(default)를 실행하는 주파수 호핑 덕분에 높은 견고성과 결정론적 동작을 제공한다.

6) IEEE 802.11BD : 이 기술은 IEEE 802.11p에서 발전한 것으로, 훨씬 더 빠른 데이터 속도를 제공한다. 밀리미터파형(mmWave)과, 전자방해잡음(EMI)에 대



표 5. WLTB 후보 기술<sup>14)</sup>  
Table 5. Candidate technologies of WLTB<sup>14)</sup>

Requirements		LTEV2X	ITS-G5	WI-FI	VLC	BLE	DOT11BD	NRV2X
Max.Bit rate	100 Mbps per traffic type	27 Mbps	27 Mbps	(1) < 2.4 Gbps (2) < 6.5 Gbps (mmWave)	LED dependent up (2 Mbps - 60 Mbps)	up to 2Mbps	estimation: (1) < 2-3Gbps (2) < 20 Gbps	estimation: (1) < 2-3Gbps (2) < 20 Gbps
Max. Latency	16 - 500ms	50 - 100 ms	1 - 20 ms	(1) 1 - 20 ms (2) 5-250 ms	20 - 40 ms	50 ms - 1000 ms	estimation: (1) 1 - 20ms (2) 5 - 250ms	estimation: prob. 1 - 20ms
Medium Access	Deterministic	Mode 3: Deterministic Mode 4: NonDeterministic	Non-Deterministic	Non-Deterministic	Non-Deterministic	Deterministic	Non-Deterministic	Non-Deterministic & Deterministic
Communication Range	Upto 820m	300 m - 1000 m	300m-1000m	(1) > 200m (2) < 2m	5m - 20m	50 m - 200 m	estimation: < 1000 m	estimation: < 1000 m
Group Communication	Multicast /Group			(2) DOT11y		Clustering	Multicast/ groupcast	clustering (mode 2(d))
Mesh Capabilities	Up to 32 nodes		Geonet/ 1609.3	DOT11s		inter-cluster	Geonet/ 1609.3	
Fre.reuse	1 / Car	2 - 3		ISM, mmWave	Directional	ISM	Carrier aggregation (Mx10Mhz)	mmWave
Protect. against interferences				(1) DSSS+Freq Hopping (2) BeamForming	Beam Forming	Freq. Hopping	Beam Forming	Beam Forming

항하는 보호막을 갖춘 빔 포밍을 제공한다. 결정론적 동작을 제공하지는 않지만, TSN 연구와 IEEE 802.11의 호환성이 성공한다면 결정론적 동작을 제공할 수 있다.

7) NR V2X : 이 기술은 5G 특징을 갖는 LTE V2X 기술의 진화이다. 5G는 매우 안정적인 낮은 지연시간과 빠른 데이터 속도를 제공한다. NR V2X의 최종 데이터 속도, 지연시간은 명확하게 나오지 않았지만 5G에서 작동할 것이라는 점을 고려할 때 데이터 속도는 최대 Gbps에 도달할 수 있으며 지연시간은 1-20ms를 만족할 것이다. 또한, 다양한 작동 모드(ex. 멀티캐스트/그룹, mmWave)를 지원할 수 있다.

5.2 WLCN 후보 기술<sup>14)</sup>

표 6은 WLCN의 주요 요구사항과 후보 기술의 통신 성능을 비교한 표이다. 표 6에 서술된 후보 기술과 WLCN 요구 사항을 비교한 결과는 아래와 같다.

1) ZigBee, WirelessHART, UWB: 해당 기술들은 WLCN에 적합하지 않다. ZigBee는 WLCN의 프로세스 데이터 및 감독 데이터 요구사항을 만족하지 않는

다. WirelessHART는 WLCN의 지연시간 요구사항을 초과한다. UWB는 WLCN의 프로세스 데이터 및 비디오 스트리밍에 필요한 처리량을 만족하지 않는다. 결정론적 매체 액세스가 없어 주로 애플리케이션 범위, 짧은 실내 범위용으로 설계된다.

2) ECHORING: 이 기술은 짧은 지연시간 덕분에 저지연 트래픽에 사용할 수 있지만, 이는 소규모 네트워크(6-9개 노드)에만 해당한다. 그리고 이러한 비트 전송은 오디오 스트리밍 애플리케이션에만 적합하다. 따라서 WLCN의 모든 노드를 만족하기 위해서는 여러 개의 ECHORING 네트워크가 필요하다.

3) WISA: 이 기술은 결정론적 매체 액세스를 가지고 있고, 낮은 지연시간 측면에서 WLCN에 적합한 기술이다. 그러나 낮은 데이터 전송률(1Mbps)로 인해 WLCN에는 적합하지 않다.

4) Wi-Fi: 이 기술은 고성능 및 비결정론적 기술이다. 이는 오디오/비디오 데이터 스트리밍 및 Best Effort Data와 같이 중요하지 않고 데이터 속도가 높은 트래픽에 적합하다. 하지만 중요 트래픽을 전송하

표 6. WLCN 후보 기술<sup>[14]</sup>  
Table 6. Candidate technologies of WLCN<sup>[14]</sup>

Candidate technology	Max.Bit rate	Max. Latency	Medium Access	Communication Range	Max.Numberof nodes	Protect. against interferences	TSN
	~ 100 Mbps per traffic type	4 - 250 ms	Deterministic	30 m (1 car)	40 nodes / car		Supports TSN (in roadmap)
LTE	50 Mbps (UL) 150 Mbps (DL)	50 - 300 ms	Yes	400 m	200 / cell	dedicated band + MRO	No
ZigBee	250 kbps	> 80 ms (25-50 nodes)	No	100 m	65000	DSSS	No
Wireless HART	250 kbps	15 - 60 ms (50-100 nodes)	Yes	100 m	Hundreds	DSSS + Freq. Hopping	No
UWB	27 Mbps	N/A	No	20m	N/A	Wideband Transmission	No
Wi-Fi	1.73 Gbps	1 - 20 ms	No	200 m	Hundreds	IEEE 802.11s: DFS (5 GHz)	No
ECHORING	10 kbps (9 nodes) 1 Mbps (5 nodes) 5 Mbps (2 nodes)	1 - 10 ms (6-9 nodes) 1 - 200 ms (11 nodes)	Yes	30 m	11 (simulated)	Freq. Hopping + Cooperative ARQ + Evolved Failure Tolerance Mechanisms + Adaptation of Error Handling Strategy	No
WSAN/ WISA	4 x 1 Mbps (UL) 1 Mbps (DL)	5 ms (typ.)	Yes	50 m	120	FDD + Freq. Hopping	No
SHARP	54 Mbps	550 $\mu$ s	Yes	200 m	20	No	Yes
5G	620 Mbps (UL) 578 Mbps (DL)	10 - 300 ms	Yes	400 m	200 / cell	Dedicated Band + MRO	No
WirelessHP	480 Mbps	N/A	N/A	25 m	N/A	No	No
Wi-Fi6	4.8 Gbps	N/A	N/A	200 m	N/A	BSS Coloring	No

기 위해서는 결정론적 MAC 계층을 추가해야 한다.

5) LTE: 이 기술은 결정론적 매체 액세스를 제공하지만, 스트리밍 데이터 트래픽에 대해 충분한 데이터 속도를 만족하지 않는다. 프로세스 데이터(4ms) 및 갑독 데이터(8ms)에 필요한 낮은 지연시간을 충족하지 못한다.

6) 5G: 이 기술은 비트전송률을 높이고 지연시간을 10ms로 줄인 LTE의 향상된 버전이다. WLCN의 모든 트래픽 유형을 처리하기 위해 지연시간 등 정확한 수치는 정해지지 않았고, 프로토콜의 소프트웨어 의존 영향 값 등을 확인해야 한다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 NG-TCMS를 지원하기 위한 TSN 기반 NG-TCN에 대해 알아보았다. NG-TCN은 미래 철도차량의 복잡한 배선 문제를 해결하기 위해 기존

의 유선 기반 TCN과는 다르게 무선 통신 기술을 적극적으로 활용하는 것이 특징이며, 이를 위해 다양한 연구에서 WLTB와 WLCN의 요구사항과 아키텍처가 제안되었다.

그러나 현재까지 NG-TCN에 적합한 단일 무선 네트워크는 존재하지 않는 것으로 보인다. IEEE 802.11n 또는 IEEE 802.11g은 현재 TCMS의 대역폭 등의 요구사항을 만족하지만 TSN 기능을 지원하지 않기 때문이다<sup>[14]</sup>. 또한, 5G가 NG-TCN의 유력한 후보 기술이 될 수 있는 것을 확인했으나 개선(enhancement)이 필요할 것으로 보인다. 5G가 유력한 이유는 철도 통신에서 중요한 것은 신뢰성 있는 데이터 전송과 저지연성인데, 5G의 주요 기능 중 URLLC, eMBB 및 mMTC가 이를 만족할 수 있을 것으로 예상하기 때문이다. 예를 들면, 미션 크리티컬 제어에는 URLLC가 활용될 수 있으며, 대량의 철도차량 센서를 통합하는 것에는 mMTC가, 승객에게 미래의 멀티미디어 서비스를 제공하는 것에는 eMBB가 적용될 수 있기 때문이다.

우리나라를 포함한 철도 선진국들은 NG-TCN용 무선 통신 기술 개발을 진행하고 있으나, 세계적으로 철도차량 내부 무선기술은 연구개발 초기 단계이므로 NG-TCN 용 무선기술은 확정되지 않은 상태이다. 그러므로 5G 또는 IEEE 802.11 표준을 개선하는 기술을 확보하여 NG-TCN용 기술을 선점하는 것이 필요하다.

### References

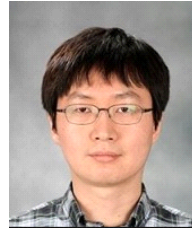
- [1] M. Jakovljevic, et. al., “D1.2 System Integration Requirements Document for Next-Generation TCMS,” Safe4Rail Report, Mar. 2017.
- [2] A. Arriola, *Technical Seminar on Advanced Architectures and Components for Next-Generation TCMS*, Jan. 21, 2020, Brussels, Retrieved Sep. 30, 2020, from <https://safe4rail.eu/downloads/technical-seminar-brussels/02b-Safe4RAIL-2-project.pdf>
- [3] H.-C. Hwang, H.-Y. Lee, B.-K. Cho, and J.-H. Kwak, “International standardization of intelligent broadband communication of train,” in *Proc. KSR Conf.*, pp. 1027-1034, Oct. 2011.
- [4] S. Choi and J. Shon, “A protocol analysis platform for the WTB redundancy in train communication network(TCN),” *The Trans. KIEE*, vol. 62 no. 1, pp. 23-29, Mar. 2013.
- [5] J. Härrri, et al., “Wireless technologies for the next-generation train control and monitoring system,” *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, Dresden, Germany, Oct. 2019.
- [6] IEC 61375-2-5, *Electronic railway equipment - Train communication network (TCN) - Part 2-5: Ethernet train backbone*, 1st Ed., Aug. 2014.
- [7] J. Kim, J. Park, and H.-C. Hwang, “Configuration of variable network topology for train sequence coupling based on IEC-61375 TCN,” *The Korean Soc. Railway*, pp. 88-93, Nov. 2013.
- [8] S. Kang and J. Park, “Train topology discovery protocol(TTDP) over dual-band WLAN-Based train communication network,” *J. KICS*, vol. 42, no. 5, pp. 1102-1109, May 2017.
- [9] IEC TR 61375-2-7, *Electronic railway equipment - Train communication network (TCN) - Part 2-7: Wireless Train Backbone (WLTB)*, 1rd Ed., Apr. 2014.
- [10] W. Jeong, et al., “Development of IEC-61375 MVB-based door control unit(DCU) of the train,” *The Korean Soc. Railway*, pp. 83-87, Nov. 2013.
- [11] IEC 61375-3-3, *Electronic railway equipment - Train communication network (TCN) - Part 3-3: CANopen Consist Network (CCN)*, 1rd Ed., Jun. 2012.
- [12] IEC 61375-3-4, *Electronic railway equipment - Train communication network (TCN) - Part 3-4: Ethernet Consist Network (ECN)*, 1st Ed., Mar. 2014.
- [13] N. Simanić-John, et al., “D1.9 Final Drive-by-Data Concept Design,” Safe4RAIL Report, Oct. 2018.
- [14] Igor Lopez, et al., “D1.1 - Specification of evolved Wireless TCMS,” Shift2Rail project, Dec. 2019.
- [15] A. Arriola, et al., “Safe4RAIL-2: Advanced architectures and components for the Next-Generation train control and monitoring System,” in *Proc. 8th Transport Res. Arena TRA 2020*, Helsinki, Finland, Apr. 2020.
- [16] M. Nogami, N. Nakamura, and K. Saito, “Contactless electrical coupler providing large capacity transmission by visible light communication technology,” *12th World Congr. Railway Res.*, Tokyo, Japan, Oct.-Nov. 2019.

**최 유 나 (Yu-na Choi)**



2018년 3월~현재: 한국교통대학교 철도전기전자공학과 졸업 예정  
<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학  
[ORCID:0000-0003-1106-9321]

**변 일 무 (Ilmu Byun)**



2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학 학사  
2007년 2월: 연세대학교 전기전자공학 석사  
2013년 2월: 연세대학교 전기전자공학 박사  
2013년 1월~2017년 11월: LG 전자 차세대표준연구소  
2017년 11월~현재: 한국철도기술연구원 선임연구원  
<관심분야> 5G URLLC, Channel coding, Time Sensitive Network  
[ORCID:0000-0003-1241-4756]

**고 경 준 (Kyeong-jun Ko)**



2006년 2월: 서울대학교 전기공학부 학사  
2012년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사  
2013년 9월~현재: 한국철도기술연구원 선임연구원  
<관심분야> 통신공학, 기계학습, 빅데이터

[ORCID:0000-0001-7575-864X]