

# 5G 기반 철도 통신망의 트래픽 전송 성능

김영동\*

Traffic Transmission Performance of Railway Communication Network based on 5G

Young-Dong Kim\*

요약

최근 들어 5G 상용통신의 보급으로 이동통신기술은 새로운 시대를 맞이 하고 있다. 현재 도시지역을 중심으로 5G 이동 통신 서비스가 제공되고 있으나 조만간 전국을 대상으로 서비스가 확대될 것으로 전망된다. mmWave 기술을 기반으로 하는 5G 이동통신은 초기 단계로 일반인 대상으로 하는 음성 및 인터넷 서비스 중심으로 전개되고 있으나 전국망 구축이 완료되면 산업통신으로 확장될 것으로 예상된다. 이 산업 통신분야의 대표적인 예가 철도통신 시스템이다. 따라서 본 논문에서는 5G 이동통신을 기반으로 하는 철도통신망의 트래픽 전송 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석한다. 이 분석 결과를 기반으로 5G 기반 철도통신망의 구축 조건을 살펴본다.

ABSTRACT

Recently, mobile communication technology has new eras with supply of 5G commercial communication. 5G mobile communication service is currently supplied with city area, services will be quickly expanded to entire area of country. This mmWave based 5G mobile communication is under spreading for human communication with voice and Internet service. After completion of construction of this human communication, this technology will be expanded to industrial communications. Railway communication system is an example of this industrial communications. In this, performance of traffic transmission for railway communication network based on this 5G railway communication networks will be analyzed with computer simulations. Construction requirements of 5G railway communication networks will be suggested with this analysis results.

키워드

Railway, Communication, 5G, Performance, Simulation  
철도, 통신, 5세대, 성능, 시뮬레이션

## 1. 서론

밀리미터파인 mmWave 기술을 기반으로 구축되는 5G 이동통신은 구축 초기인 현재 일반인을 대상으로 하는 음성 서비스 또는 인터넷 서비스 등을 주로 하

고 있으나 전국망 구축이 완료되면 산업통신으로 확장이 시도될 것으로 예상된다.

5G 통신의 특징 중의 하나인 UDN( Ultra Desnsity Network)의 일반화를 비롯하여 IoT( Internet of Things), USN( Ubiquitous Sensor

\* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과

• 접수일 : 2021. 10. 25  
• 수정완료일 : 2021. 11. 20  
• 게재확정일 : 2021. 12. 17

• Received : Oct. 25, 2021, Revised : Nov. 20, 2021, Accepted : Dec. 17, 2021

• Corresponding Author : Young-Dong Kim  
Dept. of Electric Railway Convergence Science  
Email : ydkim@dyu.ac.kr

Network), CAN(Controller Area Network) 등의 통신 기술의 고도화를 통한 기술의 진보가 철도통신 등의 산업 분야 통신 영역에도 도입 및 활용될 것으로 보인다[1-2].

철도통신은 KTX(: Korea Train Express)이나 SRT(: Super Rapid Train)와 같은 고속 철도 시스템 뿐 아니라 대량 수송 수단으로서 도시 철도 시스템의 운행, 관제 정비 등에 열차와 관제센터, 열차와 역사, 열차와 열차 및 기기와 기기 간의 각종 신호의 송수신을 비롯하여 철도 종사자를 업무를 지원하는 각종 정보의 송수신을 위하여 필수적 요소로 자리잡고 있어 산업통신의 대표적인 분야라 할 수 있다[3].

현재의 철도통신은 3G(Generation) 통신 시대를 거쳐 4G인 LTE-R(: Long Term Evolution-Railway)로 전환 중에 있다. 국내 철도 통신의 경우 경강선에서 LTE-R을 시범적으로 운영하는 등 LTE-R 기반 철도 통신의 도입을 확대하고 있다[1][2].

한편, 5G 통신은 4G인 LTE까지와는 달리 좁은 기지국, 빈번한 이동, 다수의 사용자 등을 전제로 하고 있어 고속 이동을 전제로 다수의 사용자들의 일정한 수준의 방향성 이동을 의미하는 철도 통신의 특징과 다소 상치되므로 이와 같은 특징을 갖는 5G 통신을 철도 통신에 도입하기 위해서는 발생 가능한 기술적 문제점들에 대한 체계적 분석이 필요하다[5].

따라서 본 논문에서는 차세대 철도 통신 기술로 도입이 예상되는 5G를 기반으로 하는 철도통신에 대하여 통신망 관점에서 트래픽 전송 성능을 분석하고 고찰함으로써 철도 통신의 5G 기반으로 전환 및 고도화에 도움을 주고자 한다.

이를 위해서 본 논문에서는 5G 통신에서 사용되는 mmWave 기술을 토대로 5G 철도통신망에 대하여 살펴보고 그 성능을 분석한다. 성능 분석은 NS-3를 기반으로 하는 컴퓨터 시뮬레이션을 사용한다.

본 논문은 II장에서 철도통신망, III장에서 시뮬레이션 및 성능분석을 기술하고 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 철도통신망

고속 철도의 발달에 따라 위치기반 항법시스템 및 CBTC(Communication Based Train Control)와 같은

통신기반 열차제어체계가 철도시스템의 매우 중요한 요소가 되고 있다[4-5].

대부분의 열차제어체계는 LTE-R과 같은 이동통신 기술을 사용하여 구축되고 있다. 최근들어 5G 이동통신의 보급이 가속화됨에 따라 철도통신 역시 5G 통신 기반으로 진화할 것으로 예상된다.

철도통신이 5G 이동통신을 기반으로 전환할 경우 열차 이동간에 초고속 통신이 가능하게 되어 열차운영 및 역사관리 등을 위한 각종 트래픽의 전송품질이 향상 되어 열차제어체계 등의 고도화에 도움을 줄 것으로 생각된다.

그림 1은 대표적인 철도통신망으로 운영중인 열차가 인터넷을 통하여 관제센터와 연결된 구조를 보여준다[6]. 그림에서 열차제어정보는 인터넷을 통하여 열차와 관제센터간에 이동한다. 필요에 따라 열차와 열차, 열차와 역사간에도 이동이 가능하다. 승객을 위한 통신 서비스도 가능하다.

그림 1의 철도통신망은 5G 이동통신을 기반으로 구축될수 있으며 이 경우 열차 및 기지국의 통신설비가 5G 이동통신기능을 갖추어야 한다.

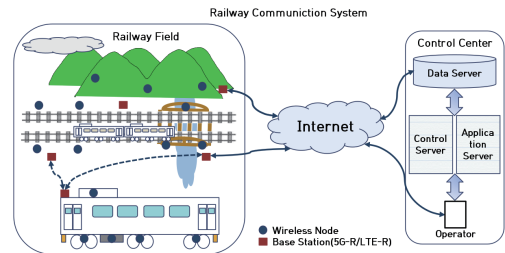


그림 1. 철도 통신망

Fig. 1 Railway communication network

철도통신망이 제공할 수 있는 통신 서비스는 그림 2와 같이 모니터링, 관리, 유지보수 등의 열차운영서비스, 신호전송, 방송, VR(: Virtual Reality) 등의 관리서비스 영상, 멀티미디어, e-티케팅 등의 승객 서비스 등으로 구성된다[7]. 이 서비스들은 빅데이터, 딥러닝, AI(: Artificial Intelligence) 및 블록체인 등의 지원을 받아 고도화 될 수 있는데 이를 원활하게 지원하기 위해서는 통신 기능이 5G 이동통신을 기반으로 할 필요가 있다.

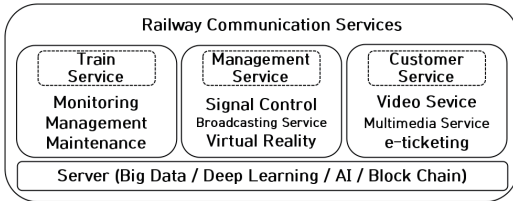


그림 2. 철도 통신 서비스  
Fig. 2 Railway communication services

### III. 시뮬레이션 및 성능분석

#### 3.1 시뮬레이터 구성

본 논문에서는 철도통신의 고도화를 위해 필수적인 5G 이동통신 기반 철도통신망의 트래픽 전송성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석한다. 시뮬레이터는 NS-3[8]를 기반으로 5G 통신기능을 추가한 mmWave 모듈[9]을 사용하여 구현하였다.

#### 3.2 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 일정 길이의 철도 궤도를 따라 구축된 이동통신 기지국과 원격지의 관제 서버 및 궤도를 따라 이동하는 열차간의 5G 이동통신 환경을 대상으로 한다.

이동중의 열차가 기지국과 연결되어 원격지의 관제 센터로 연결되고 열차에서 전송하는 음향 정보를 기지국을 거쳐 관제 센터로 전송하는 상황을 대상으로 전송성능을 측정한다.

본 연구의 시뮬레이션서 사용한 주요 파라미터는 표 1과 같다.

시뮬레이션에서는 MPEG( Moving Picture Experts Group)에서 사용하는 스트리밍 오디오 트래픽을 전송 대상으로 하였으며 표 2[10]와 같은 규격으로 생성하였다.

스트리밍 오디오 전송에 사용된 전송대역은 64Kbps로 하였으며 이는 시뮬레이터에 설정한 전체 백본 전송대역 100Gbps의 일부에 해당한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Network Scale	0.5/1/2/3[km]
Node Number	1 UE(Train) / 1 eNB
Train Mobility	Fixed Speed Movement
Train Speed	100/200/300/400/500[km/h]
MAC	5G
Traffic	MPEG Streaming Audio
Packet Size	188 Bytes
Protocol	UDP

표 2. 스트리밍 오디오 생성 모델

Table 2. Streaming audio generation model

Frame	Time(Sec)	Size(Byte)
PDF	Weibull	Normal
$\mu$	0.1457	2740
$\sigma$	0.0933	118.9

#### 3.3 성능분석

시뮬레이션은 표 1에 제시된 시뮬레이션 파라미터를 기반으로 표 2의 규격으로 생성된 스트리밍 오디오를 이동 중인 열차에서 기지국을 거쳐 서버로 전송하는 상황에 대하여 열차 운영속도와 네트워크 규모에 따라 수행하였다.

시뮬레이션 시간은 열차 이동 속도와 네트워크 규모에 따라 달리 설정 되도록 하였는데 이는 열차가 정해진 규모의 네트워크를 정해진 속도로 1회 이동하는 것을 반영한 것이다.

시뮬레이션에서 측정한 전송성능 네트워크 수준의 전송성능인 패킷처리율, 전송지연 및 패킷손실율로 그림 3~11에 각 성능 파라미터 별로 구분하여 제시하였다.

그림 3은 열차속도 변화에 따른 패킷처리율이다. 패킷처리율은 대체로 80kbps 내외로 나타났는데 이는 트래픽에 할당된 64kbps와 전송제어에 사용된 부가 트래픽 16kbps가 합하여져 나타난 결과이다. 열차의 속도가 증가함에 패킷처리율의 변동이 증가하는 것으로 나타났다.

그림 4와 5는 패킷처리율의 평균으로 그림 4는 열차속도에 따른 평균 처리율이고 그림 5는 네트워크 규모에 따른 평균 처리율이다. 그림 4와 5에 따르면

열차속도가 증가하면 패킷처리율이 다소 낮아지는 것으로 나타났고 네트워크 규모가 2km까지는 패킷처리율이 증가하였고 3km에서는 낮아지는 것으로 나타났다. 패킷처리율의 최대 변동폭은 약 8.7% 정도였다.

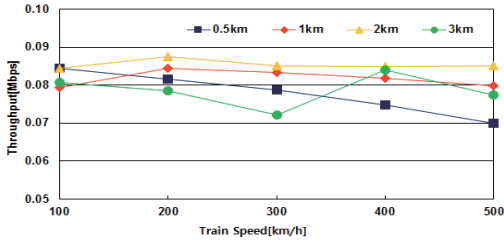


그림 3. 패킷처리율  
Fig. 3 Packet throughput

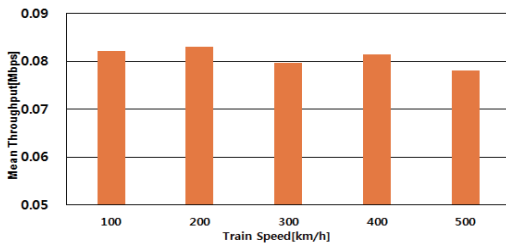


그림 4. 평균처리율(1)  
Fig. 4 Mean throughput(1)

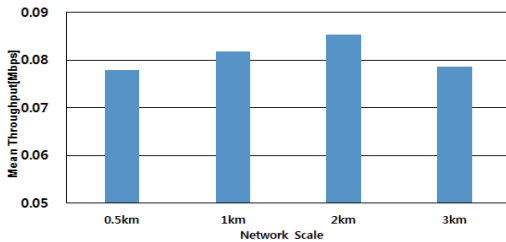


그림 5. 평균처리율(2)  
Fig. 5 Mean throughput(2)

그림 6~8는 종단간 전송지연과 관련된 결과이다. 그림 6에서 전송지연은 평균 0.58ms로 매우 양호한 것으로 나타났다. 그림 7에서 열차속도가 증가함에 따라 지연은 다소 증가하였다. 그림 8에서 네트워크 규모에 따라서는 약간의 변동이 있었고 그 변동폭은 11.4%였다. 종단간 전송지연 요구조건은 200ms이하이다.

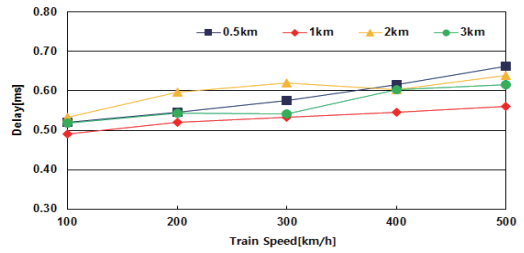


그림 6. 종단간 지연  
Fig. 6 End-to-end delay

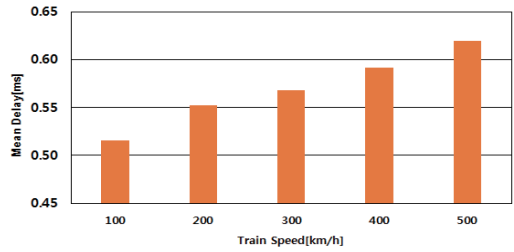


그림 7. 평균 지연(1)  
Fig. 7 Mean delay(1)

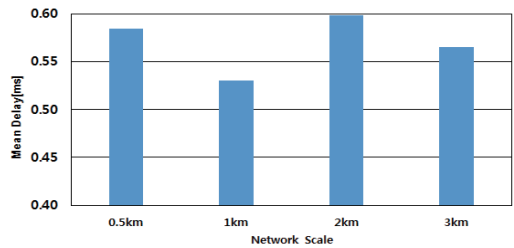


그림 8. 평균 지연(2)  
Fig. 8 Mean delay(2)

그림 9~11는 패킷손실율과 관련된 결과이다. 그림 9과 그림 10에서 열차의 속도가 증가함에 따라 패킷손실율이 낮아지는 것으로 나타났다. 평균 패킷손실율은 약 21%로 나타났다. 그림 11에서 네트워크 규모에 따른 패킷손실율은 증가하였다. 500m 규모의 네트워크에서는 약 4%의 패킷손실율을 보였으나 3km 규모에서는 38%의 패킷손실율을 보였다. 패킷손실율 요구조건은 5%이하이다.

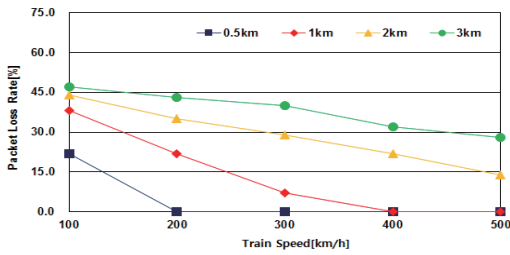


그림 9. 패킷손실율  
Fig. 9 Packet Loss Rate

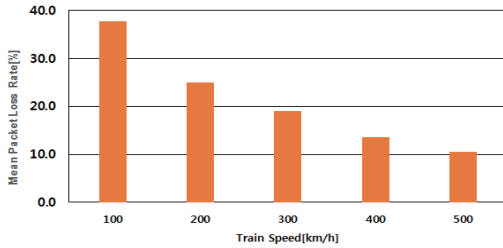


그림 10. 평균 패킷손실율(1)  
Fig. 10 Mean packet loss rate(1)

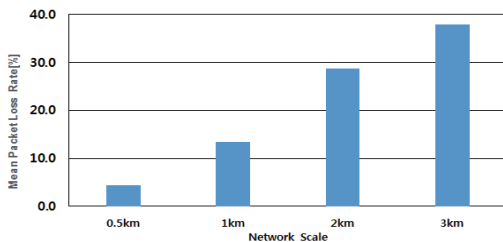


그림 11. 평균 패킷손실율(2)  
Fig. 11 Mean packet loss rate(2)

### 3.4 철도 통신망 구축 조건

3.3절에 제시한 시뮬레이션 결과를 이용한 성능분석에 따르면 패킷처리율은 트래픽 발생 속도 64Kbps에 제어 트래픽 16Kbps 정도가 추가되어 80kbps로 나타나 대체로 만족한 수준이었고 전송지연은 평균 0.58ms로 전송품질 요구조건 200ms를 만족하는 매우 양호한 수준이었다. 반면에 패킷처리율은 네트워크 규모 500m를 제외한 다른 측정에서는 모두 전송품질 요구조건 5%를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

따라서 5G 이동통신을 사용한 철도통신망을 구축할 경우 네트워크 규모는 500m 내외가 적절하며 열

차속도 즉 이동노드의 이동속도는 본 논문에서 고려 대상에서 제외된 핸드 오더 등의 성능을 고려하여 적절한 기준으로 운영되어야 한다.

본 논문의 결과는 제한적 조건에서 수행한 시뮬레이션 결과를 토대로 한 것으로 다양한 조건을 반영한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 반영한 분석이 필요하며 이에 따라 네트워크 규모, 열차속도, 이동 트래픽의 종류, 트래픽의 양 등을 적절하게 반영하여 철도통신망을 구축하고 운영하여야 한다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 장차 도입될 것으로 예상되는 5G 이동통신을 기반으로 한 철도통신망의 전송성능을 패킷처리율, 전송지연 및 패킷손실율 등의 네트워크 전송성능 관점에서 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석하였다.

스트리밍 오디오 트래픽을 기준으로 전송성능을 분석하였는데 패킷처리율은 적절한 수준을 보였고 전송지연은 매우 양호하였으며 패킷손실율은 매우 높은 것으로 나타났다.

따라서 5G 이동통신을 기반으로 한 철도통신망을 구축할 경우 적절한 규모의 네트워크로 구축할 필요가 있으며 전송품질 요구 조건에 적합하게 운영하여야 한다.

본 논문에서 제시한 분석은 한정된 조건에서 수행한 시뮬레이션 결과를 토대로 한 것으로서 다양한 철도 운영환경을 반영한 시뮬레이션 수행 및 그 결과들을 반영한 추가적이고 심층적인 분석이 필요하다.

본 논문의 결과는 철도통신망 구축에서 트래픽 설계 및 운용, 철도통신망 시뮬레이션 등에 활용될 수 있다.

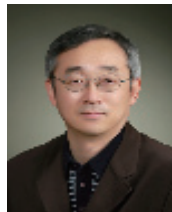
### 감사의 글

본 논문은 2019년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

## References

- [1] Y. Kim, "Transmission Performance of Application Traffics on High Speed Railway Communications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 12, Dec. 2017, pp. 771-76.
- [2] Y. Kim, "Trends of Mobile Communication Technologies for Electric Railway System," In *Proc. International Conference on Future Information & Communication Engineering*, 2016, Dandong, Vietnam, June 2016, pp. 359-362.
- [3] E. Park "Railway Communication Policy Proposal for Interoperability Implementation of Railroad Line on North-South Korean Railway," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 5, Oct. 2019, pp. 797-804.
- [4] M. Chae, S. Cho and K. Shin, "Development of Real Trajectory-based Simulator to Verify the Reliability of the Integrated Navigation System for Trains," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 16, no. 1, Feb. 2021, pp. 135-144.
- [5] D. Franco, M. Aguado, and N. Toledo, "An Adaptive Train-to-Ground Communication Architecture Base on 5G Technological Enabler SDN," *J. of Electronics*, vol. 8, no. 6, June 2019, pp. 34-45.
- [6] Y. Kim, "Transmission Performance of Sensor Network based on LTE-R," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 3, June 2020, pp. 473-478.
- [7] Y. Kim, J. Kim, S. Lee, and E. Park, "Smart Railway Communication Network Structure," In *Proc. of Conference of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Gunsan, Korea, Oct. 2021, pp. 357-359.
- [8] K. Wehrle, M. Günes and J. Gross, *Modeling and Tools for Network Simulation*, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2010, pp.15-34.
- [9] M. Mezzavilla, S. Dutta, M. Zhang, M. Akdeniz, and S. Rangan, "5G mmWave Module for the ns-3 Network Simulator," In *Proc. of the 18th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation on Wireless and Mobile Systems*, Cancun, Mexico, Nov. 2015, pp. 283-290.
- [10] W. Campo-Munzo, E. Astiza-Hoyos, and L. Munoz-Sanabria, "Traffic Modelling of Video-on-demand service through NS-3," *J. of DYNA*, vol. 84, no. 202, Sept. 2017, pp.55-64.

## 저자 소개



### 김영동(Young-Dong Kim)

1984년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1986년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1990년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

※ 관심분야 : 통신프로토콜, MANET, VoIP, LTE-R, 수중통신, 시뮬레이션, ICT 융합 등