

## 화물열차 분산제어시스템 개발에 관한 연구

이강미\*, 이재호, 윤용기  
한국철도기술연구원 지능형제어통신연구팀

### A study on the wire reduction design and effect analysis for the train vehicle line

Kangmi Lee\*, Jaeho Lee, Yong-Ki Yoon

Control & Communication Research Team,  
Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute

**요약** 본 논문에서는 철도화물 물류 효율화를 위한 유선 분산제어시스템과 무선 분산제어시스템 구성방안을 제안하고, 유선 분산제어시스템에 대한 검증은 수행하였다. 검증조건은 화물차량 50량을 연결하여 부산신항에서 진례역까지 21km를 평균속도 약 100km/h로 왕복 운행하였다. 검증결과는 분산중편에 의하여, 제어차와 피제어차의 견인출력과 제동출력이 분산됨을 확인하였다. 이와 같은 분산제어 적용시 기존 화물수송의 2배이상의 물류효율성향상을 기대할 수 있다. 다만, 유선 분산제어시스템의 경우 케이블 포설 및 유지보수가 어려우며, 화물차량의 편성 변경조성이 불가능한 단점이 있다. 유선 분산제어시스템의 검증을 통하여 국내 화물차량에 분산제어시스템 적용가능성을 확인하고, 이를 발전시켜 무선분산제어시스템 적용하기 위함이다. 무선 분산제어시스템 적용을 위하여, 검증구간에 ISM 대역에 대한 전파환경분석을 수행하였고, 그 결과, 해당 구간에 ISM 대역에 Wifi 기술 적용이 가능함을 확인하였다. 또한 대상 차량에 신규 설치되는 WDP(Wireless Distributed Power) 장치 적용을 위하여 추진/제동/종합제어장치와의 송수신 제어신호에 대하여 정의하였다. 무선 분산제어시스템의 경우, 적용과 운용의 편의성이 보장되지만, 차량의 제어를 무선에 의존함에 따라 신뢰도와 비상시 안전대책 수립이 선행되어야 한다.

**Abstract** In this paper, we propose wired and wireless distributed control systems designed to improve the freight logistics efficiency and verify wired distributed control systems. The verification condition required that 50 cargo vehicles be connected and operated to travel 21 km from Busan Sinhang station to Jinlye Station at an average speed of about 100km/h. The verification results show that the traction output and braking output of the control and controlled cars are dispersed by the wired distributed control system. The application is expected to more than double the efficiency of the logistics compared to the existing freight transportation system. However, in the case of the wired distributed control system, cable installation and maintenance are difficult, and it is impossible to change the combination of freight vehicles. Through the verification of the wired distributed control system, the applicability of distributed control systems to freight vehicles in Korea was confirmed and the system was further developed to produce a wireless distributed control system. In order to apply the wireless distributed control system, a propagation environment analysis for the ISM band was performed in the testbed and, as a result, it was confirmed that Wifi technology using the ISM band could be utilized. In order to use the WDP (Wireless Distributed Power) devices newly installed in the target vehicles, the transmission / reception control signals associated with the propulsion / braking / total control devices are defined. In the case of wireless distributed control systems, the convenience of their application and operation is guaranteed, but reliability and emergency safety measures should because of the dependence of the control of the vehicle on radio signals.

**Keywords :** Freight, ISM, wave, Distributed power, TCN(Train communication Network)

본 논문은 국토교통과학기술진흥원 철도차량 배선절감 효과분석 및 성능평가 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Kangmi Lee(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5433 email: kmlee246@krii.re.kr

Received October 13, 2017

Revised November 8, 2017

Accepted December 8, 2017

Published December 31, 2017

## 1. 서론

최근 철도운송의 중요성이 또 다시 증가하고 있다. 국제유가의 상승, 효율적 에너지자원의 필요성, 저비용 고부가가치의 국제물류구조 등 때문이다.

특히, 2007년 12월 채택된 “발리로드맵(Bali road-map)”은 국제운송시장에서의 운송수단 선택에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다. 한국정부는 동북아 물류 중심국의 기능을 수행하기 위해 다양한 물류정보화 사업을 추진하여 왔으나, 철도화물운송은 그러한 국가사업으로부터 큰 혜택을 받지 못해 왔다[1]. 철도화물 수송분담율은 톤 기준 2001년 6.3%에서 2014년 3.6%로 지속적으로 감소하고 있는 상황이며 도로 비영업용 자동차 수송실적 포함 시 2.0% 수준에 불과한 실정이다[2]. 유럽의 경우, 철도에 대하여 수송비용, 시설투자비용등에 대한 정부의 지원을 추진하고 있는데 반해, 국내는 화물물류에 대한 실질적인 제도적 지원이 미미한 상황이다.

GE社는 400MHz 대역의 무선기술을 적용한 화물차량의 분산제어기술을 중국, 아프리카, 인도 등에 적용하고 있으며[3], Wabtec社은 유선기술(Trainline)을 적용한 화물철도 분산제어기술을 호주 등에 적용운행 중에 있다[4].

분산제어란, 장대편성된 화물열차에 동력차량을 분산 배치하고, 각 차량의 견인/제동력은 분산시켜 집중제어와 동일한 견인력 출력대비 대비 분산된 제동력으로 인하여 차량의 동특성을 향상시킬 수 있다. 국내의 화물열차의 경우, Fig.1 (a)와 같이 동력차량에 무동력화차를 동력차량의 용량이하로 연결하여 운행하고 있다. 즉, 동력차량의 성능에 따라 화물운송이 제한적이므로, 국내의 경우 33량 이상의 장대 화물열차를 견인하기 위해서는 기관차 2대를 직렬로 연결하여 운행해야하지만, 화차의 경우 공기에 의한 답면제동만이 가능하므로, 긴 열차의 길이 때문에 제동을 위한 공기 충전시간 및 제동시간 지연 등의 문제로 운영이 불가능했다(case 2).

본 논문에서는 철도물류 활성화를 위한 기술적 접근(Technical)방식으로, 국내 한국철도공사에서 운영하고 있는 8500호대 전기기관차를 대상으로 Fig 1 (c)와 같은 분산제어시스템을 적용을 위한 차량 시스템 구성 및 제어 프로토콜 개발에 관하여 기술하고자 한다.

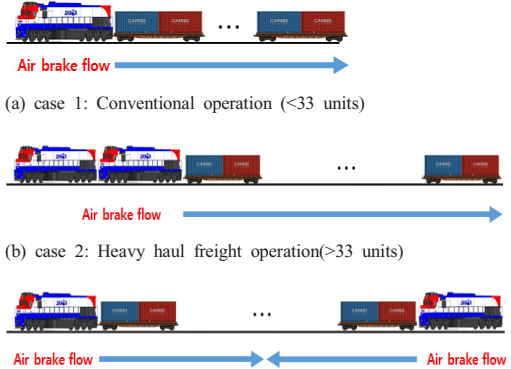



Fig. 1. Example for freight operation in Korea

## 2. 본론

### 2.1 대상 차량

대상차량은 한국철도공사에서 운영하고 있는 신형 전기기관차 8500호대 제작 차량으로 상세 제원은 table 1 과 같다.

Table 1. ID 8500 vehicle technical specifications

Type	Description
Electric feeding	AC 25,000V 60Hz
braking	Electric/air braking
power of traction	450kN
control	VVVF-IGBT
Signal	ATS/ATP
network	TCN 2.0 (MVB, WTB)
Appenance	

### 2.2 차량 견인/제동 인터페이스 구성

8500호대 차량의 견인/제동과 관련된 장치는 Fig. 2 와 같이 기관사 견인명령취급을 위한 주간제어기(Master controller), 견인기(PCC, Power converter), 제동취급을 위한 제동핸들(Braking Handle), 제동기(Braking Unit) 과 차량을 종합제어 하는 종합제어장치(CCU, Car

Computer unit)로 구성된다. CCU는 MVB(Multifunction vehicle Bus)로 PPC와 braking unit와 추진/제어명령 및 상태정보를 송수신한다. 8500호대는 IEC61375 TCN(Train communication Network) WG43 part 2[5,6,7], part 3-1[8]에 따른 backbone과 consist를 WTB(wire Train Bus), MVB로 구성하였다. 즉, 중련시 차량간 통신은 WTB, 차량내 통신은 MVB방식으로 구성된다. 또한 견인지령은 0~5V 아날로그 입력(AI), 견인 On/OFF는 디지털 입력(DI)이고, 전기 및 공기제동지령은 CAN 통신이 사용된다.

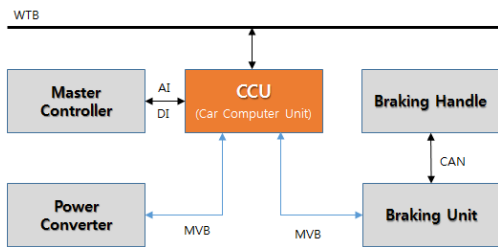


Fig. 2. Block diagram for traction & braking I/F of the wireless distributed control system

### 2.3 분산제어 구성방안 및 확인 사항

#### 2.3.1 유선 분산제어시스템

유선 분산제어시스템의 경우, 8500호대 전기기관차의 Backborn WTB를 유선으로 연결하고자 하는 차량까지 연장한다. 단, WTB의 제한거리 860m 이상시, Repeater를 설치하여 신호감쇄를 대비할 수 있다. 유선 분산제어시스템의 경우, 단독 집중제어와 CCU의 기능변경이 필요치 않기 때문에 운행에 다음의 최소 항목만을 확인한다.

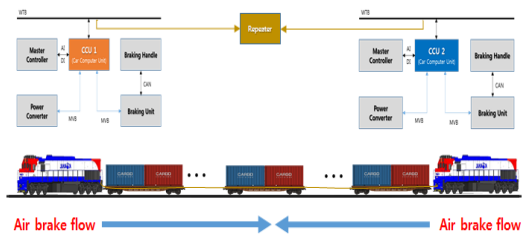


Fig. 3. System diagram for wire distributed control system

- 중련통신상태
- 팬터그래프 제어(상승/하강)기능
- MCB 투입기능
- 제동관 압력제어기능
- 제동기능(제동핸들 단계별 제동시험)
- 비상제동기능

#### 2.3.2 무선 분산제어시스템

무선 분산제어시스템의 경우, 8500호대 전기기관차의 Backborn WTB와 분산제어용 무선장치와 연결하고, 무선장치는 연결하고자 하는 차량까지 통신가능한 RSSI(Received signal strength indication)를 유지할 수 있어야한다. 무선 분산제어시스템의 경우, 운행구간에서 통신방식 선정, 추진/제동 장치와의 인터페이스 및 안전 확보 방법이 연구되어야한다.

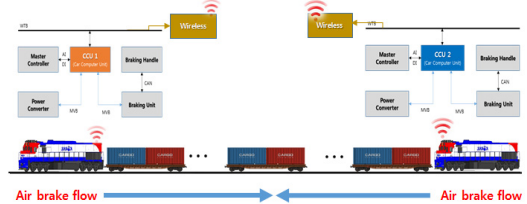


Fig. 4. System diagram for wireless distributed control system

#### 2.3.3 검증구간에 대한 전파환경분석

무선 분산제어시스템 설계를 위하여, GE社는 400MHz 대역의 통신 방식으로 원거리 통신에 유리하지만, 터널 및 곡선부에서의 성능저하로 인하여 터널 진/출입부에 리피터를 설치하여 운행중에 있다. GE社의 분산제어시스템은 1960년대부터 개발되어 기가대역의 통신방식 적용이 고려되지 않았다.

국내에서는 CBTC(Communication based Train Control), KRTCS(Korea Railroad Train Control System)의 개발을 통하여, ISM 대역(2.4G/5GHz) 및 LTE-R을 이용한 차상-지상간 통신에 의한 무인열차제어시스템개발에 성공하여 실용화운행 중에 있다. 국내 무인운행중인 신분당선이 그 사례이다. 따라서 본 연구에서는 2.4/5GHz 및 LTE-R을 적용한 무선분산제어시스템을 적용하고자 한다.

8500호대 기관차에는 table3와 같은 측정환경을 구축하고 부산신항역에서 진례역 약 21km 구간을 4개의 구간으로 나누어 평균운행속도 100km/h으로 주행하면서


ISM 대역에 대한 무선환경을 분석하였다. 측정장비로 사용한 AirMagnet Spectrum XT은 RF신호 간섭으로 인한 직접적인 영향 즉, WLAN 성능에 영향을 주는 interference 장비 검색(Wi-Fi and non-Wi-Fi), AirMagnet Wi-Fi Analyzer은 채널별 AP/STA 개수, 간섭 및 노이즈 확인 하기 위한 것으로 AirMagnet Spectrum XT 설정은 다음과 같다.

- Frequency Range : 2402 ~ 2494 MHz / 5160 ~ 5330 MHz / 5490 ~ 5710 MHz / 5735 ~ 5835 MHz
- 분해능(레졸루션)대역폭 : 156.3KHz
- 최대입력 : 0dBm
- 스위프 시간 : 1.92 sec (20MHz당 64msec)

Table 2. Radio Channel

Band	Frequency	Channel
2.4 GHz	2.400 ~ 2.480 GHz	1~13
5 GHz	5G-A 5.150 ~ 5.250 GHz	36, 40, 44, 48
	5G-B 5.250 ~ 5.350 GHz	52, 56, 60, 64
	5G-C 5.470 ~ 5.650 GHz	100, 104, 108, 112, 116, 120, 128
	5G-D 5.725 ~ 5.825 GHz	149, 153, 157, 161

Table 3. Radio propagation plan for ISM

Type	Description
band	ISM(2.4G/5GHz)
tool	AirMagnet Wi-Fi Analyzer AirMagnet Spectrum XT
Target line	

분석결과 AP/STA 사용 채널 현황은 table 4와 같이 2.4GHz 대역은 11번 채널을 사용하는 4개의 테스트 AP를 제외하고, 열차 선로 근처의 공단이나 통신사에서 설치한 AP들이 대부분을 차지하며, 보이는 STA도 거의 없어 전체적인 무선 환경이 양호함을 확인하였다.

Table 4. AP/STA Channel on test line

Ch	1 section		2 section		3 section		4 section	
	AP	STA	AP	STA	AP	STA	AP	STA
CH.1	29		10		15		26	
CH.2	4		6	1	1	1	5	1
CH.3	3		2					
CH.4	1				2			
CH.5	4		7		6		2	
CH.6	4		8		5		2	
CH.7			1		2			
CH.8	2		2					
CH.9	4		8	2	7	2	4	
CH.10								
CH.11	5		7		10		6	
CH.36	2		2		1		1	
CH.44	2						2	
CH.52	1						1	
CH.60	1						1	
CH.149	2		2		2		3	
CH.161	2		2		3		3	

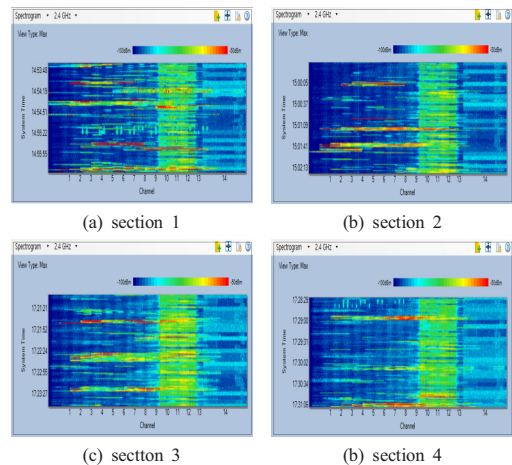


Fig. 5. 2.4GHz propagation strength

2.4GHz의 경우 Fig.5와 무선 신호의 세기측정결과 테스트 AP인 “Compex Systems”가 11번 채널에서 실제 무선 통신을 하고 있으며, 그 외의 채널은 대부분 -90dBm에서 -100dBm 가량의 신호 세기로 누적 분포됨을 확인하였다.

5GHz의 경우, Fig. 6.7.8.9와 같이 전 구간에서 Noise Floor는 5G-A/B 밴드는 -100 미만이지만, 5G-C 밴드는 부분적(128~140)으로 -95에 형성되어있어 있다. 5G-A/B/C 대역은 거의 사용되지 않으며, 5G-D 대역은 테스트 AP로 인한 무선 통신만이 확인되었다.

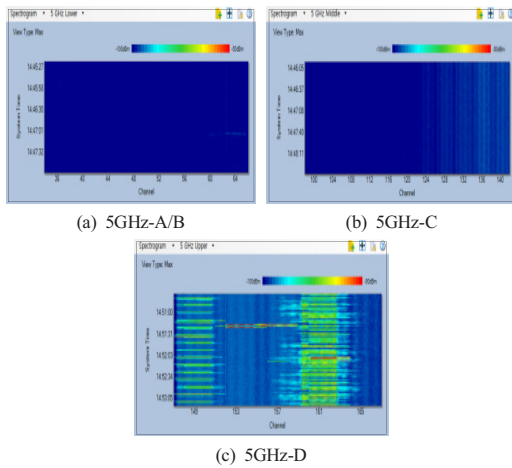


Fig. 6. 5GHz propagation strength in section 1

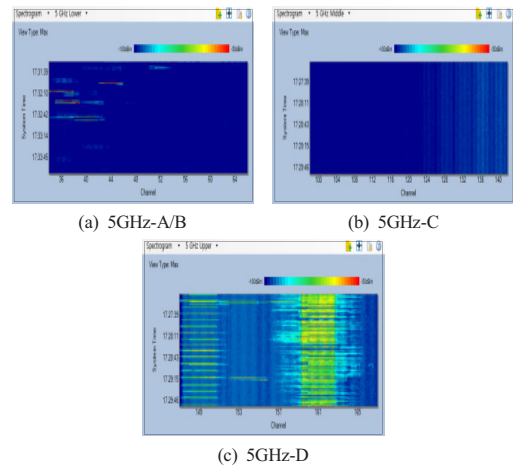


Fig. 9. 5GHz propagation strength in section 4

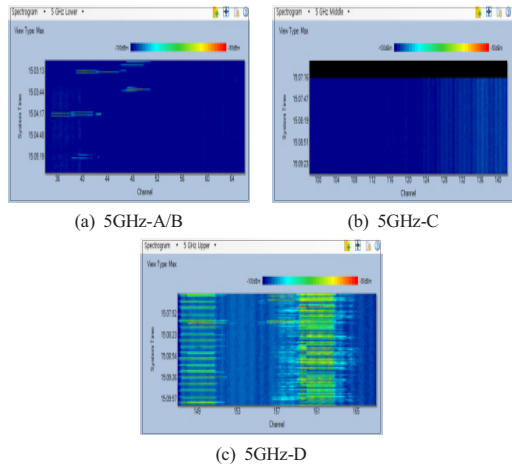


Fig. 7. 5GHz propagation strength in section 2

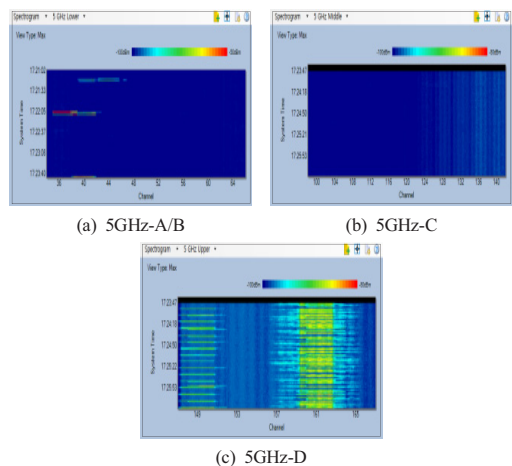


Fig. 8. 5GHz propagation strength in section 3

### 시험구간의 전파환경결과

- 1) 2.4GHz/5GHz 대역은 모든 구간에서 전 채널 양호
- 2) 2.4GHz 대역은 탐지되는 AP가 비교적 많지만, 대부분이 신호세기가 낮고 열차 운행 중 단발성으로 탐지되는 AP로 무선에 직접적인 영향 없음.
- 3) 5GHz 대역은 5G-D 밴드 149, 161 채널의 테스트 AP(Complex Systems, Crewave) 만 사용,
- 4) 2.4GHz 및 5GHz의 사용률(Duty Cycle)은 낮거나 거의 없음.
- 5) 2.4GHz 및 5GHz의 노이즈는 -90dBm 미만 충족.
- 6) 영향을 줄 수 있는 non-Wi-Fi 장비 탐색 안됨.

측정결과를 바탕으로 시험구간에 ISM 대역을 이용한 무선장치를 활용한 분산제어시스템의 검증할 것이다. 단, LTE의 경우, 상용망을 활용한다.

### 2.4 무선 분산제어시스템 구성방안

앞서 Fig. 4와 같이 운영하기 위한 무선 분산제어시스템의 상세 구성도는 Fig 10과 같다.

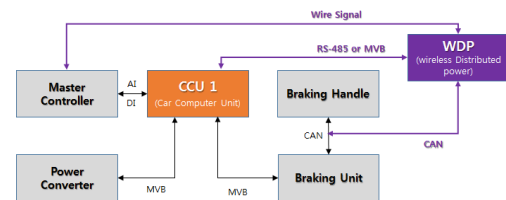


Fig. 10. Wireless distributed powered system I/F

2.3.1 무선 분산제어시스템 프로토콜 개발

기존 차량에 추가되는 WDP(Wireless Distributed Power) 장치를 위하여 Fig 10과 같이 CCU, Braking unit, Master controller와의 인터페이스가 요구되며, CCU, Braking unit와는 통신 프로토콜에 대한 개발이 필요하다. 본 논문에서는 분산제어를 위하여 요구되는 payload를 table 5와 같이 정의한다.

Table 5. Payload(control data) for Wireless distributed power

Interface	description
WDP<->Braking unit	braking(electric/air) input speed, braking data, operation distance, master car data, pantograph data
WDP<->CCU	

3. 결론

본 논문에서는 유선 분산제어시스템과 무선 분산제어시스템 구성방안을 제안하고, 유선 분산제어시스템에 대한 검증을 수행하였다.

Fig. 11은 유선 분산제어시스템의 현차검증을 위하여 차량에 설치된 제어선(b)과 연결된 편성내 유선 중계기(c)이다. 검증은 화물차량 50량을 연결하여 부산신항에서 진례역까지 21km를 왕복운행하였다. 검증결과 Table 6, Fig 12와 같이 분산제어에 잘 수행됨을 확인하였다. 분산제어 적용시 기존 화물수송의 2배이상의 물류 효율성향상을 기대할 수 있다. 다만, 유선 분산제어시스템의 경우 케이블 포설 및 유지보수가 어려우며, 화물차량의 편성 변경조성이 불가능하다. 따라서 유선 분산제어시스템의 검증을 통하여 국내 화물차량에 분산제어시스템 적용가능성을 확인하고, 이를 발전시켜 무선분산제어시스템 적용하기 위함이다. 무선 분산제어시스템의 경우, 차량의 제어를 무선에 의존함에 따라 신뢰도와 비상시 안전대책 수립이 선행되어야한다.

유선 분산제어시스템 결과

1. 유선분산제어시스템 구성
2. 시험 구간 ISM 대역 전파환경 분석 결과 모든 구간 통신채널 상태 양호
3. 화물열차 증편제어를 위한 데이터: 제동, 추진, 속도, 거리, 판토크라프 상태

4. 유선분산제어검증 결과, 테스트 구간(21km) 정상 제어확인

본 논문에서는 무선 분산제어시스템을 적용하기 위하여 검증구간의 전파환경을 분석하고, 8500호대 차량에 신규설치하기 위한 시스템 구성 및 프로토콜 개발을 수행하였다. 향후 무선 분산제어시스템 적용을 위한 무선 장치 상세 연구내용 및 검증에 대한 연구가 추가 논문에서 작성될 계획이다.

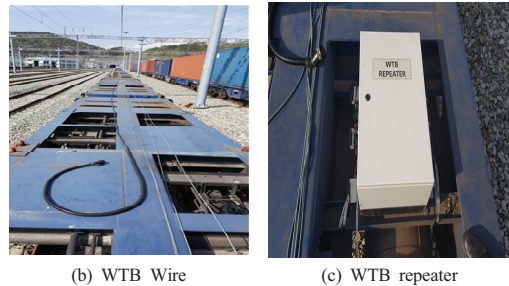
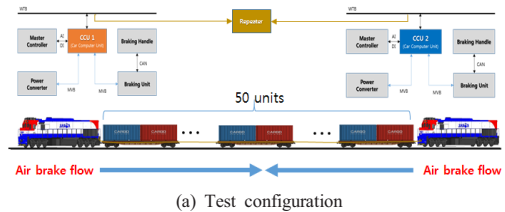


Fig. 11. test condition for wire distributed power

Table 6. Result for wire distributed power

test item	Pass or Fail
communication condition	Pass
pantograph fuction	Pass
MCB fuction	Pass
air pressure control	Pass
braking fuction	Pass
emergency fuction	Pass

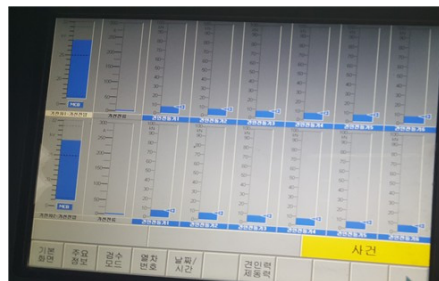


Fig. 12. test result for wire distributed power

## References

- [1] J. H. Yang et al, "A Study on the Development of Logistics Information Technology for Revitalization of Railway Transports ", vol.7, No.4, p.p125-151, korea electronic trade 2009.
- [2] Y. J. KIM, "Comparative Study on Rail Freight Policies of Various Countries", vol.19, No.5, the korean society for railway, 2016.
- [3] <https://www.ge.com>
- [4] <https://www.wabtec.com/business-units/wabtec-rail>
- [5] IEC 61375 WG 43 Electronic Railway Equipment - Train Communication Network - Part 2-1: WTB - Wire Train Bus
- [6] IEC 61375 WG 43 Electronic railway equipment - Train Communication Network (TCN) -Part 2-3: TCN communication profile
- [7] IEC 61375 WG 43 Electronic railway equipment - Train Communication Network (TCN) - Part 2-4 :TCN Application profile
- [8] IEC 61375 WG 43 Electronic Railway Equipment - Train Communication Network - Part3-1: MVB - Multipurpose Vehicle Bus

### 윤 용 기(Yong-Ki Yoon)

[정회원]



- 1996년 2월 : 충북대학교 전기공학과 (전기공학석사)
- 2014년 2월 : 한양대학교 전기전자 및 제어공학부(박사수료)
- 1995년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

열차제어시스템, 이동패쇄, 자동운전

### 이 강 미(Kangmi Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 충북대학교 전자공학회 (공학석사)
- 2016년 8월 : 아주대학교 기계공학과 (공학박사 수료)
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량 전장품, 철도차량 동력학

### 이 재 호(Jaeho Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 대학원 메카트로닉스학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원 겸임교수
- 1995년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

열차제어, 철도위치검지, RAMS