

철도차량 배선절감 방안 및 효과분석에 관한 연구

이강미*, 김성진
한국철도기술연구원 지능형제어통신연구팀

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

Kangmi Lee*, Seong Jin Kim
Control & Communication Research Team,
Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute

요약 철도는 대규모 승객 수송과 운행서비스를 제공하는 공공교통수단으로 시스템의 신뢰성과 안전성의 확보가 최우선적으로 요구된다. 철도차량의 배선은 제어신호선과 통신선으로 분류되며, 제어신호선은 차량주행 및 안전기능과 관련된 입출력 신호를, 통신은 방송 등 승객서비스에 대한 입출력신호에 사용되고 있다. 철도차량 신뢰성 확보 방안 중 한 가지 방법으로 차량내 전장장치간 제어신호의 입출력 인터페이스로 train line을 적용됨에 따라, 제어회로 구성을 위하여 릴레이, 컨택터 등의 전기기계식 소자가 다수 적용되어 있다. 실제로 편성 내 차량제어논리가 수 천 접점으로 구성됨에 따라 접점 불량 등 고장시 오류확인이 어렵고, 실시간 상태확인이 불가능함에 따라 정기적인 유지보수에 많은 인력과 시간이 투입되어야만 한다. 본 논문에서는 국내 철도차량내 주행 및 안전기능과 관련된 전장품의 제어기간 제어신호선 설계현황(종류, 복잡도)을 분석하고, 설계를 단순화하여 제작양산성과 유지보수 효율성을 향상시키기 위한 3가지 제어배선절감 방안을 제안하였다. 적용결과 국내 4량 1편성의 전동차에 적용시, 약 35% 이상의 배선절감 효과를 확인하였다.

Abstract The railway is a public transportation system that provides large-scale passenger transportation and service, whose reliability and safety is the top priority. The wiring of railway vehicles is classified into train control lines (train lines) and communication lines. The train lines are used for input / output signals related to vehicle driving and safety functions, and the communication lines are used for the input / output signals for passenger services such as broadcasting. In order to measure the reliability of railway vehicles, a train line is applied to the input / output interface of the control signals between the electric control devices in the vehicle, and there are many electromechanical devices such as relays and contactors for the control logic. In fact, since the vehicle control circuit is composed of several thousand contacts, it is difficult to check for errors such as contact failure, and it is impossible to check the real-time status, so a lot of manpower and time is required for regular maintenance. Therefore, we analyze the current state of the train line design of the electric equipment used for driving and services in domestic railway cars and propose three wiring reduction methods to improve it. Based on the analysis of domestic electric vehicles, it was confirmed that the wiring reduction effect is 35% or more.

Keywords : Railway vehicle, Train line, TCN(Train communication Network), Logic circuit, maintenance

1. 서론

철도는 대규모 승객 수송과 운행서비스를 제공하는 공공교통수단으로 시스템의 신뢰성과 안전성의 확보가

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@krrri.re.kr

Received September 28, 2017

Revised (1st October 26, 2017, 2nd November 2, 2017)

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

최우선적으로 요구된다. 철도차량시스템은 25년 운행이 후 정밀점검을 통하여 추가운영 여부를 판단하게 되는데 25년의 차량시스템 수명을 확보하기 위하여 신뢰성 있는 설계개발과 체계적인 유지보수가 시스템 수명을 확보하는 필수요인이라 할 수 있다[1]. 철도차량은 주행장치, 동력장치, 차체, 부속장치, 제동장치, 제어장치 등으로 구성되면, 각 장치는 제어신호선과 다양한 통신방식으로 인터페이스 된다. 차량내 배선은 설치 및 운영/유지보수에 인력과 시간이 다수 소요된다. 실제로 도시철도 차량의 경우 편성 중 Mc car의 경우, 열차운행제어를 위한 2500~3000접점 내외로 구성된 제어신호선의 점접상태, 장치 동작상태 등 확인을 위하여 일상, 월상, 분기, 연간 유지보수 수행한다.[2] 본 논문에서는 2장에서 국내 철도차량의 배선 현황(종류,기능)을 기술하고, 3장에서 철도차량의 제어신호선에 대하여 배선현황 분석 및 배선절감 방안 도출하고 4장 결론으로 배선절감의 기대효과에 대하여 기술한다.

2. 철도차량 배선현황 분석

2.1 철도차량 배선 종류 및 기능

국내의 경우, 2000년 중반 이후 열차종합제어장치의 로직 제어회로를 통하여 일부 전기회로를 전자화하여 복잡도를 낮추었지만, 운전실의 경우, Fig 1과 같이 P/B(Powering/Breaking), CAM S/W 등의 조작시 운전 데스크에서 배전반, 배전반에서 해당 전장품까지 즉, 차량 내부 제어회로를 구성하기 위한 복잡한 전기회로가 현재까지 구성되어 운영되고 있다. 이는 전장품 개량 필요시, 구성된 전기회로를 변경하기 위하여 해당 차량의 운행중단이 필수불가결하고 복잡한 전기회로 개보수에 따른 인적오류에 대한 위험원이 존재하는 등 차량 유지보수에 어려움이 있다.

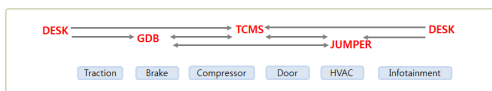


Fig. 1. Train Control flow

*제어정보 : 견인/제동제어(C/I, SIV, ECU), 차량운행 제어(lights, doors, heating)

*진단정보 : 장비 추진/제동/운행 서비스를 제공하기 위하여, 차량제어신호(DIO, AIO), 통신선으로 제어 회로를 구성하여 고장, 유지보수 정보 등 관련된 운전명령을 수행

*승객 편의정보 : 다음역 정보, 연계, 불편요인, 좌석 예약 등

국외의 경우, 철도차량의 온보드 시스템의 HW 전자화, 플랫폼화, 통신화를 통한 통합 제어 및 전장시스템 I/O 감시 · 진단을 적용하고 있다. Mors Smitt社 (Wabtec company)의 IRP는 릴레이 panel과 소프트웨어 프로그램을 위한 FPGA를 결합함으로써 철도차량 내에서 전기제어가 필요한 여러 가지의 제어모듈을 동시에 구현할 수 있는 기술 제시하고 있으며, Siemens社는 콜롬비아의 Metro Medellin, 벨기에의 Belgian Train 등에 냉난방 공조설비 및 도어/전조등 제어관련부분을 자체 로직회로로 구현하고 있다. Leroy社는 바로셀로나 메트로에 제동 감시를 위한 감시모듈을 RTE로 구성하여 활용되고 있다. 즉, 기존의 릴레이, contactor 등의 전기소자를 적용한 제어회로에서 프로세서 및 입출력카드를 적용한 제어기로 개발 적용되고 있다. 따라서 기존 DC100V 제어신호선을 활용한 점접제어에서 철도차량 통신(TCN, Train Communication Network)을 중심으로 차량운행제어/감시가 수행되고 있다.

* 국외 철도차량 개발 방향 : 전자통신기술 적 제어기 전자화, 통신화, 모듈화, 표준화, 상호호환성
-적용기술 : TCN(IEC 61375, Train Communication Network) I/F, Graphic base SW
-관련규격 : 관련 IEC 준용, 품질인증 강화(IRIS), 안전보증활동(RAMS)

Fig 2는 현재 철도차량내 배선현황이고, Fig.3 는 차량내 제어회로의 전자화 및 통신인터페이스 기술개발을 통하여 발전하게 될 철도차량내 인터페이스이다. 즉, 차량내 운전실, 제어배전반을 전자화하고, 차량간 점퍼케이블을 무선화하며, 이 제어기간을 TCN 단일 네트워크로 연결함에 따라 차량전장시스템에 대한 실시간 모니터링이 가능하여 운영측면에서 유지보수 효율을 향상시킬 수 있으며, 신뢰성 데이터 확보를 통한 차량의 가용도를 향상시킬 수 있다.

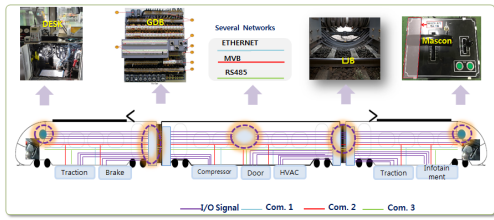


Fig. 2. Wire type between vehicle controller<as is>

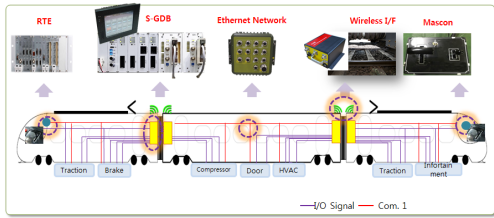


Fig. 3. Wire type between vehicle controller<To Be>

국토교통부 주관으로 국내에서도 철도차량의 전기신호의 전자화와 IEC 61375 철도차량 단일 네트워크 기술 적용을 위한 연구가 진행 중에 있다.[3]

Fig.4는 국내 운행 중인 전동차를 대상으로 차량제어 인터페이스에 대한 개요도를 작성한 것이다.

차량은 추진/제동 등 주행과 방송/냉난방 등의 승객서비스를 제공하기 위하여 DC100V 제어신호선(Train line or Train control line), 통신선(Train communication line), 아날로그선, 전원선으로 구성되어있다.

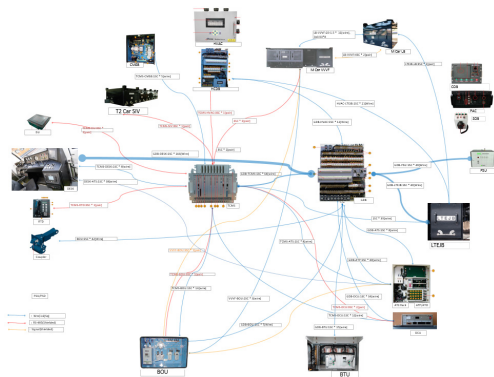


Fig. 4. Wire type between vehicle controller

2.1.1 Train control line

Train control line은 주로 DC 100V 제어신호선으로

차량의 주행 및 비상신호전송시 적용된다. 주로 주행명령입력, 주행/제동 장치 입출력, 차량의 안전프구성을 위하여 적용된다.

2.1.2 Train communication line

차량내 통신방식은 Table 1과 같이 프로젝트, 운영사, 제작사, 차종 및 동일 차량내에서도 장치별도 상이하여 다양한 프로토콜이 혼재되어 사용되고 있다[2].

Table 1. Current states of domestic train network

Type	Speed	project
SPC	1Kbps, Multi-drop bus	Korail (Ansan/Bundang line)
SL-NET	2Mbps, Ring loop token ring	SMRT line 7 2th
GEC	38.4Kbps, Multi-drop bus	SMRT line 7 1th
FIP	1Mbps, Multi-drop bus	Busan line 2 Incheon line 1
LON Works	1.5Mbps, Multi-drop bus	Daegu line 2 Gwangju/Daejeon metro
Tonard	1Mbps, Ring loop token ring	KTXI
MVB	1.5Mbps, Multi-drop bus	Incheon line2, KTX II

CAN, LONWORK, S-L NET, FIP, DINBUS, MVB, TORNADO 등 다양한 네트워크 통신망을 구성하여 열차를 제어하고 그 상태를 모니터링하고 있다. 최근 CCTV 등 동영상 등 대용량 정보를 고속으로 전송하기 위한 Ethernet 망을 구성하고 있다.

Table 2. TCN Standard description

Number	Description
IEC 61375 part 1	TCN General Architecture
IEC 61375 part 2-1	WTB(Wire Train Bus)
IEC 61375 part 2-2	WTB conformance Test
IEC 61375 part 2-3	communication profile
IEC 61375 part 2-4	Application profile
IEC 61375 part 2-5	ETB Ethernet Train Backbone
IEC 61375 part 2-6	On-board to Ground Comm.
IEC 61375 part 2-7	Wireless Train Backbone
IEC 61375 part 2-8	ETB conformance Test
IEC 61375 part 3-1	Multipurpose Vehicle Bus
IEC 61375 part 3-2	MVB Conformance Test
IEC 61375 part 3-3	CCN(CANopen Consist Network)
IEC 61375 part 3-4	ECN(Ethernet Consist Network)

Table 2와 같이 TCN은 IEC TC9 WG 43에서 철도차량운영사와 제작사, 네트워크 전문회사로 구성된 전

문가 그룹이 네트워크의 안전성과 신뢰성 향상을 위한 대용량, 고속 그리고 네트워크 확장성을 위한 규격을 활발하게 제정되고 있다. 국내 KTX 차량 도입과 함께 유럽의 철도차량 네트워크(TCN, Train Communication Network)에 대한 국내 기술개발이 시작되었다. 국내에서는 KTX를 기점으로 개발된 차량에는 MVB, WTB 방식의 TCN이 적용되고 있다. 최근 표시기, 안내기, CCTV 과 같은 인포테인먼트 장치의 요구가 증가하고 함에 따라 이더넷기반의 차량 통합네트워크 즉, IEC 61375 2-5, 3-4이 적용연구가 수행되고 있다. 즉, 철도제어용 네트워크 적용을 위해서는 산업용 이더넷이 지원하지 못하는 실시간 보장을 위한 TRDP(Train Realtime Discovery Protocol) 및 TTDP 등의 라이브러리가 연구 진행 중에 있다[6].

2.2 국내 전동차 Train line 분석 결과

국내 전동차 4량 1편성을 대상으로 제어선을 분석하였다. 4량 1편성의 경우, Tc CAR 2대, M CAR 2대로 구성되었다. 일반 전동차의 장치구성은 Table 3과 같이 차량 type에 따라 상이하다.

Table 3. Vehicle configuration

Main component	vehicle type			
	Tc1	Tc2	M1	M2
ATP ANTENNA JUNCTION BOX	○	○		
WATER TANK	○	○		
ODOMETER JUNCTION BOX	○	○		
TWC, CTS/M ANTENNA JUNCTION BOX	○	○		
LOW TENSION JUNCTION BOX	○	○	○	○
SIV	○	○		
SUPPLY RACK MODULE	○	○		
HIGH TENSION EARTH BOX	○	○	○	○
BOU MODULE	○	○	○	○
PRESSURE SWITCH MODULE	○	○		
BATTERY CONTROL BOX	○	○		
BATTERY BOX WITH BATTERY	○	○		
AIR RESERVOIR (50L)	○	○	○	○
ANTI SKID VALVE	○	○	○	○
SPEED SENSOR JUNCTION BOX	○	○		
ADAPTER BOX	○	○		
RERAILER MOUNTING BED	○	○		
MDS BOX			○	○
FILTER REACTOR			○	○
LB BOX			○	○
VVVF INVERTER BOX			○	○
DVRe BOX			○	○
EXTENSION SUPPLY CONTACTOR BOX				○
PANTO CONTROL MODULE				○

Train line은 주행/제동신호 입력과 주행/제동 실행을 위한 DC 100V 제어신호선으로 분석 결과는 Fig5와 같이 각 차량의 GDB(제어배전반), DESK, LTJB(저압연결)에 배선이 집중되는 것을 확인하였다. 3장에서는 제어배선이 가장 집중된 GDB를 대상으로 배선의 IN/OUT을 현황을 분석하여 현재 배전반 설계의 개선점을 도출하고, 4장에서는 도출된 배선절감 방안을 GDB에 적용 후 예상되는 배선 IN/OUT를 설계하여 그 효과를 분석하였다.

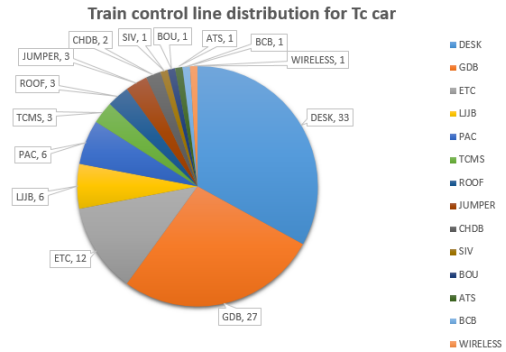


Fig. 5. Tc1/Tc2 CAR Wire distribution

3. 차량 배선현황 분석 및 배선절감 방안

철도차량의 배선은 차종별, 제작사별로 상이하다. 따라서 본 논문에서는 국내에서 운영 중인 도시철도 전동차의 GDB(제어배전반)를 대상으로 배선현황을 분석하고 설계보완점을 도출하고자 한다.

본 논문에서는 기존 설계 개선을 위한 엔지니어링 관점에서 기존 회로 부하와 무관한 범위에서 분석을 수행하였다. 분석대상은 도시철도 2호선 차량 GDB로, 릴레이, 컨택터, 스위치 등으로 구성되어, 운전실 제어신호가 GDB를 통하여 각 장치로 분배된다.

분석 결과 첫째, 입력력 배선의 중복설계이다. Fig. 6은 도시철도차량의 Tc차량 GDB이고, Fig. 7은 GDB의 ACMK, ACMGR 릴레이 결선도, Table 4는 입력력 분석 예이다. 릴레이 ACMK의 접점 D285_TB5, D285_Dd08_A는 D283_ACMK-14 또는 D283_Dd07_C이 Active이고 D284_TB5이 Active 일 때 동작한다. 따라서, ACMK 동작과 관련된 중복접점인 D281A는 ACMK 릴레이 입력접점으로 사용되고 ACMGR 릴레이의 출력에 사용된

다. 이와 같은 점점 중복 사용시에도 배선을 중복설치함에 따라 차량내에 배선을 증가시키는 원인이 된다. 이와 같은 설계는 Fig.8와 같이 ACMK 릴레이의 동작 시퀀스를 PLC 로직화 하여 배선절감이 가능하다.

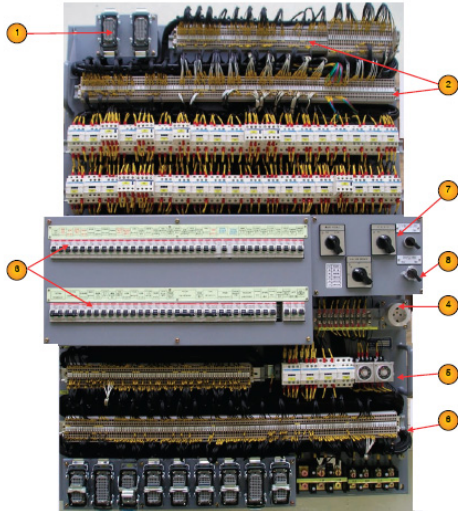


Fig. 6. TC car GDB(General Distributed board)
 1) connetor 2) terminal block 3) MCB 4) socket outlet
 5) control relay 6) time relay 7) cam sw 8) select sw

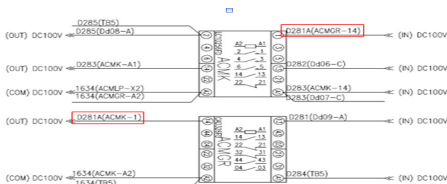


Fig 7. Wiring Analysis of the GDB in TC car

Table 4. Relay IN/OUT Analysis in TC car GDB

Relay	Input	Input COM	Output (A)	Output (B)	Output (C)	Output VCC	Other
ACMK	D283 (ACMK-14)	1634 (ACMLP-X2)	D285 (Dd08-A)			D281A (ACMGR-14)	D285 (TB5)
	D283 (Dd07-C)	1634 (ACMGR-A2)	D283 (ACMK-A1)			D282 (Dd06-C)	
ACMGR	D284 (TB5)	1634 (ACMK-A2)	D281A (ACMK-1)			D281 (Dd09-A)	
		1634 (TB5)					

1) Input : relay (+) input, 2) Input COM : relay (-) input, 3) Output (A) : A contact relay output, 4) Output (B) : B contact relay output, 5) Output (C) : C contact relay output, 6) 7) Output VCC : relay output power 8) Other : relay output over two

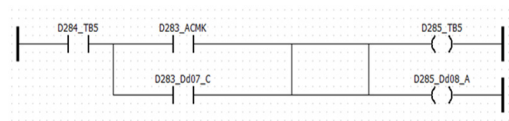


Fig. 8. Logic diagram for ACMK relay

분석결과 둘째, TC, M1, M2 CAR 차량의 GDB내 Ground 및 Power 배선의 별도사용이다. Fig.9의 사례를 볼 때, 릴레이 ADLpR, RDLpR, DOR1의 (COM)DC100V과 출력 신호의 (IN)DC100V, (IN)AC380V는 공유하여 사용 가능하다.

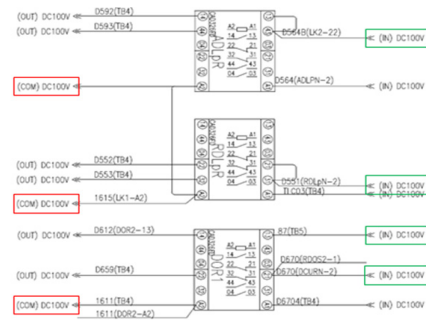


Fig. 9. Wiring Analysis of the GDB in TC car

단, 출력 신호의 용량 이내 사용 가능하며, 개발 후 별도의 검증을 수행하여야한다. 전원 (IN)DC100V의 용량이 1kW라고 가정하면 출력도 전원 용량 이내 사용 가능하다.

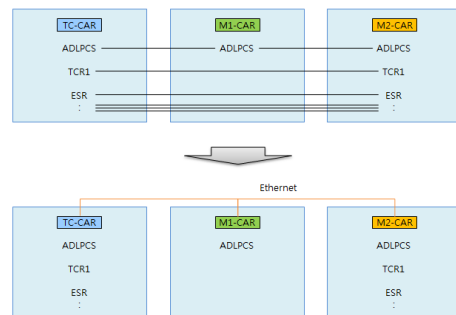


Fig. 10. Design for common input Signal

분석결과 셋째, Fig.10과 같이, 등구류와 같이 일부 접점은 차량 1편성내 접점이 병렬 배선으로 설계된다. 예를 들면 ADLPCS 접점은 철도차량내 등구류에 관련

된 점점으로, 동일 편성내 각 차량의 제어신호선이 연결되어 동작하기 위하여, 각 차량의 GDB ADLPCS 점점과 병렬 연결된다. 10량 1편성 도시철도 차량의 경우, 20m가 차량이 10량이 1편성이 되므로, 1100m(200+180+160+140+120+100+80+60+40+20)이상이 된다. 이와 같은 설계를 Fig. 10과 같이 네트워크로 연결하게 되면, 배선의 길이는 200m로 1/5 절감이 된다. 즉, TC CAR의 입력 배선 중 M1 CAR 또는 M2 CAR에서도 동일하게 사용되는 배선은 공통으로 설계하여, 기존에 DC100V 제어신호선으로 각 차량에 연결된 Train line은 차량 TCN을 통하여 제어기의 DI로 각 차량에 입력되어 동작된다.

본 논문에서는 운행 중인 도시철도 차량을 대상으로 배선설계를 분석하여 제작양산성과 운영유지보수 향상을 위한 배선절감 설계방안을 3가지 도출하였다. 이와 같은 방법은 앞서서도 기술하였지만, 부하에 영향이 없고, 출력 신호의 용량 이내 사용 가능하며, 개발 후 별도의 검증을 수행하여야한다.

- 배선절감 방안 1 : 입력신호 공통설계
- 배선절감 방안 2 : 전원, Ground 공통설계
- 배선절감 방안 3 : 차량내 입출력간 중첩배선 공통설계

4 배선절감 적용 결과

4.1 배선절감 적용 결과

기존 배선반 릴레이 사용시 각 Input마다 Input COM 단자가 필요하나, 로직회로를 사용할 경우 공통 Input COM 1개의 배선으로 처리 가능하고(배선절감 방안1,2), 16채널의 DI 카드를 사용할 경우 Input COM을 16개마다 1개씩 사용하게 되어 배선을 절감이 가능하다.(배선절감 방안3). 3장의 배선절감 방안을 도시철도 전동차 2호선의 4량 1편성 차량의 GDB에 적용할 때, 배선절감 전 470개 배선이 절감 후에는 304개로 약 35%가 절감됨을 확인하였다[3].

4.2 차량 회로설계 로직화

기존 철도차량 제어회로를 전자화 하기 위하여, 본 연구에서는 IEC61131-3기반의 PLC를 적용하였다. Fig 11와 같이 기존 차량 설계를 분석하여, 이를 LD(Ladder diagram)를 활용하였고, 이를 ST program으로 변환하여

제어기 로직을 구성하였다. 현재 배선절감을 위한 제어기를 개발 중에 있으며, 이는 대상 장비에 대한 시스템 요구사항서를 바탕으로 하드웨어 및 소프트웨어가 설계되고 검증될 계획이다.

다만, 철도차량에서는 철도차량기술기준에 의하여, 차량내 안전관련 제어기는 IEC62278, IEC62425, IEC 62279에 근거한 안전보증활동을 의무화 하고 있어 설계부터 검증에 이르는 전 수명단계에 이를 적용할 계획이다.

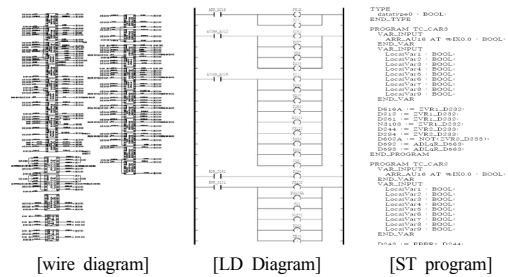


Fig. 11. Design for control logic

4. 결론

본 논문에서는 철도차량의 추진/제동 등 주행과 방송/냉난방 등의 승객서비스를 제공하기 위하여 기기 구성 및 인터페이스 시스템(배선)에 대한 분석을 수행하고, 설계 보완사항을 제안하였다. 또한, 설계보완사항을 실제 국내 운행 중인 4량 1편성 차량의 인터페이스(배선)설계에 반영하여 35%이상의 배선절감 효과를 분석하였다. 철도차량의 로직화는 운영측면에서 제어신호의 실시간 모니터링이 가능하고, 차량의 제어시퀀스 변경시 부품이나 회로 변경없이 로직변경만으로 수정이 가능하여 운영/유지보수가 향상될수 있고, 제작특면에서 차량의 경량화, 공간축소, 제작양산성 향상되는 장점이 있다.

본 논문의 결과를 기반으로 도시철도 차량내 제어배선반의 전자화(스마트 배선반) 개발에 대한 추가적인 연구가 수행될 예정이다.

References

[1] I. S. Chung et, "The Study on the Demonstration Test of Quantitative Reliability Requirements for Rolling Stocks

”, vol. 11, no. 3, pp. 233-239, the korean society for railway, 2008.

- [2] S. J. KIM et, “Train vehicle wireless Interface & SW Logic control R&D Plan”, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2014.
- [3] K. M. LEE et, “Train vehicle wireless Interface & Wire Reduction R&D”, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2016.

이 강 미(Kangmi Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

철도차량 전장품, 철도차량 동력학

김 성 진(Seong Jin Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한국과학기술원 전기 및전자공학과 (전기및전자공학과석사)
- 2011년 8월 : 한국과학기술원 전기 및전자공학과 (전기및전자공학과박사)
- 2011년 9월 ~ 2013년 3월 : 포항 산업과학연구원 선임연구원
- 2013년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

열차 위치검지, 로봇 제어, 칼만 필터