

철도차량 내부장치간 무선연계 및 배선절감 기술 성능평가를 위한 시험 인프라 구축과 운영방안의 수립

Establishment of Test Infrastructure and Operation Planning for Rolling-stock wiring Reduction Technology Testing and Performance Evaluation

서경수^{*†}, 김영규^{*}, 김홍봉^{*}, 박세영^{*}, 김영배^{**}, 강우철^{***}, 김태인^{***}

Kyoung-soo Seo^{*†}, Young-gyu Kim^{*}, Hong-bong Kim^{*}, Se-Young Park^{*}

Young-bae Kim^{**}, Woo-chul Kang^{***}, Tea-in Kim^{***}

Abstract Rolling stock wiring reduction technology study is aimed at reduction more than 30% of rolling stock internal wiring for improve reliability and environmental resistance, and also analog control method sequential switching circuit are change to the solid state switch and communication system through the digital control logic circuit. These wiring saving technologies are applied a variety of techniques such as the wireless communication between the rolling stock car, logic circuit design, internal network, etc. so it needs a precise and effective performance evaluation. In this paper, we present overall plan and decision for rolling stock wiring reduction technology performance evaluation, and It's includes an overall decision for evaluating the performance comprehensively. Such as testing railway selection, selection for testing train, calculate operation cost for testing, determination for inspection and maintenance period.

Keywords : Rolling stock, Wiring reduction, Operation of test-bed, Performance Evaluation, Safety verification

초 록 철도차량 내부 장치간 무선연계 및 배선절감 연구는 철도차량의 순차 아날로그 제어 방식 내부배선을 디지털 제어방식 로직회로에 의한 무접점 스위치 및 통신방식으로 전환하기 위한 것으로 기존 배선을 30%이상 절감시키며 장치의 신뢰성 및 내환경성 그리고 차량 유지보수성을 향상시키는 것을 목적으로 한다. 배선절감 기술 연구는 차량의 로직회로 설계, 차량 내 네트워크, 차량 간 무선통신 등 다양한 기술이 적용되며 이러한 기술적 용에 따라 정밀하고 효과적인 성능평가가 필요하다. 본 논문에서는 차량 내부간 무선연계 및 배선절감 기술의 성능평가를 위한 시험선과 시험차량의 선정부터 비용산출, 개조 등 시험 인프라 구축과 함께 시험선 운영의 전반적인 계획 및 방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 철도차량, 배선절감, 시험선 운영, 성능평가, 안정성 검증

1. 서 론

철도차량 내부 기기들의 제어를 위해 사용되는 장치와 배선반은 아날로그 접점 구조를 기반으로 하는 순차 제어 방식으로 많은 배선 수와 복잡한 구조로 인해 유지보수와 고장원인 분석 그리고 차량 운영에 있어 효율을 떨어뜨리는 주된 원인이 되고 있다.

† 교신저자: 서울메트로 도시철도연구원(lifetide@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 도시철도연구원

** 서울메트로 차량처

*** 서울메트로 군자차량사업소

2000년대 중반 이후 서울메트로가 운영하고 있는 2호선 VVVF전동차에 TCMS(전동차 종합제어관리장치)가 적용 되면서 차량 일부 회로를 전자화시켜 배선의 복잡도를 낮추는 방법이 다양하게 시도되고 있으나 운전실 및 차량 내 배선이 집중되는 제어 배선반의 경우 아날로그 순차제어 방식의 전기회로가 아직까지 주된 방식으로 사용되고 있다. 따라서 차량 내 과도한 배선설치에 따른 복잡성으로 운행 중 이상이 발생할 경우 고장분석을 어렵게 하며 부품점검 및 교환과 같은 유지보수 작업 시에도 작업자의 오배선으로 인한 2차 고장을 유발하는 등 유지보수 효율을 저하시키는 근본적인 원인이 되고 있다.

이러한 운영 및 유지보수 효율 저하는 차량 노후화에 따라 더욱 심각해지고 있어 그 어려움을 인식하고 있으나 해결방법인 차량 내부장치간 제어신호의 로직화 및 디지털 네트워크화를 통한 배선절감 기술은 기술기준 수립 및 제도화 미비로 현재까지 실용화 수준의 기술개발이 이루어지고 있지 않은 실정이다. 이러한 인식하에 철도차량의 제작양산성과 운영 및 유지보수가 용이하고 차량상태의 종합적인 모니터링이 가능하여 안전을 확인할 수 있는 통합적 차량제어를 위한 차량 내부장치간 무선연계 기술과 배선절감 기술이 연구되고 있다. 무선연계 및 배선절감 기술은 디지털 기반의 로직회로, 차량 내부장치간 제어신호의 네트워크화, 차량 간 무선 통신 등 다양한 IT 기술이 철도차량 기술에 종합적으로 적용됨에 따라서 정밀하고 효과적인 성능평가가 필요하다.

본 논문에서는 “철도차량 내부장치간 무선연계 및 배선절감 기술개발” 연구단 과제 연구결과물인 배선절감 로직회로 H/W 및 S/W, 차량 내 네트워크인 IEC 61375 기반 TCN(Train Communication Network) 차상 네트워크, 차량과 차량 간 무선 네트워크 송수신기 등의 연구결과물과 기술을 정밀하고 효과적으로 평가하기 위해 시험용 차량에 적용 및 시험선로를 선정하여 시험인프라를 구축하고 이를 효율적으로 운영하기 위한 전반적인 운영 계획과 방안에 대하여 제시하고자 한다.

2. 시험 인프라 구축 및 운영방안 수립

2.1 배선절감 기술 연구개발

철도차량 내부 장치간 무선연계를 통한 배선절감기술은 차량 내부장치간 제어신호의 디지털화, 통신 인터페이스 적용기술 개발을 통한 운영과 유지보수 효율성을 향상하기 위한 것으로 Fig. 1과 같이 1세부 로직제어회로 개발, 2세부 TCN(Train Communication Network)기술개발, 3세부 차량내 통신기반 주간제어기 개발, 4세부 차량간 무선전송기술 개발의 연구과제로 구성되어 있다.

배선절감 기술은 기존 철도차량의 아날로그 기반 순차회로 방식 제어회로를 디지털 기반의 로직 제어회로로 개선하여 설계제약 요인과 복잡도를 낮춰 유지보수와 운영 효율성의 추구를 위한 것으로 차량의 경량화가 가능해지고 차량 내부의 통신인터페이스를 지원하도록 하여 모니터링과 제어를 통합시킬 수 있어 철도차량시스템을 기존 차원에서 한 단계 끌어올릴 수 있는 중요한 기술이 될 것이다.



Fig. 1 R & D framework for Rolling Stock Wireless Connection and Wiring Reduction Technology Development.[4]

배선절감기술 개발에 따라 철도차량의 배선수량과 복잡도를 30%이상 줄이며 배선별/접점별 자동점검이 가능하고 무접점 스위치에 의한 신뢰성 및 내환경성을 향상시킬 수 있다. 또한 모듈형 플랫폼 채용을 통해 접점 및 기능 확장이 용이해져 차량 종류별 입출력 카드 교체 및 프로그램 수정만으로 비교적 간단하게 기능을 추가하거나 변경할 수 있어 차량운영의 유연성과 차량기능의 확장성을 향상시킬 수 있다.

2.2 시험인프라 구축

연구단 과제 중 1세부 과제인 “배선절감 기술 성능평가를 위한 시험선 선정 및 운영 연구”는 시험 요구조건 파악을 시작으로 현황 분석, 시험선로 구축계획 수립, 시험차량 및 시험선로 선정, 차량개조 및 시험선로 구축, 시험인프라 운영전략의 수립과정을 거쳐 최종적으로 시험인프라 운영을 통해 배선절감 기술의 효율적인 성능평가를 목표로 한다.

시험인프라 선정을 위해 고려해야 하는 사항으로 첫 번째, 배선절감 개발기술의 성능분석 및 적용성의 정밀하고 효과적인 평가가 가능해야 하고 두 번째, 개발기술의 현차 적용에 있어 TCMS와 같은 차량정보시스템 인터페이스의 활용이 가능해야 하며 세 번째, 시험차량의 개조 시 관련된 기술자료의 습득이 용이해야 하고 마지막으로 시험선로 구축 비용과 운영에 따른 비용이 과다하게 발생되지 않아야 한다.

시험인프라는 개발된 기술을 적용할 시험차량과 시험차량을 운영할 시험선로로 구성된다.

시험차량 선정에 있어 가장 중요하게 고려되어야 할 점은 배선절감기술이 실용화 될 시점에서 기술적으로 가장 유사한 차량의 선정이며 시험선로 선정에서 중요하게 고려되어야 할 것은 성능평가의 효과성과 동시에 시험선로 운영으로 발생하는 기존 차량기지 운영기능의 간섭과 같은 상충관계를 최소화 할 수 있도록 하는 것이다.

시험차량 선정은 앞에서 기술한 조건과 차량제어방식, TCMS(전동차 종합제어관리장치)의 채용여부, 신호방식 등과 운영 시 발생비용 등을 종합적으로 고려하여 서울메트로 성수지선을 운행하는 4량 VVVF전동차(ATP/ATO 신호방식) 1개 편성을 선정하였다. 시험선로의 선정에 있어 시험조건을 고려하여 기존 차량의 구내이동, 입/출고 등 차량기지 운영에 간섭을 최소화 할 수 있도록 Fig. 2과 같이 서울메트로 군자차량사업소 구내의 선로로 선정하였다.

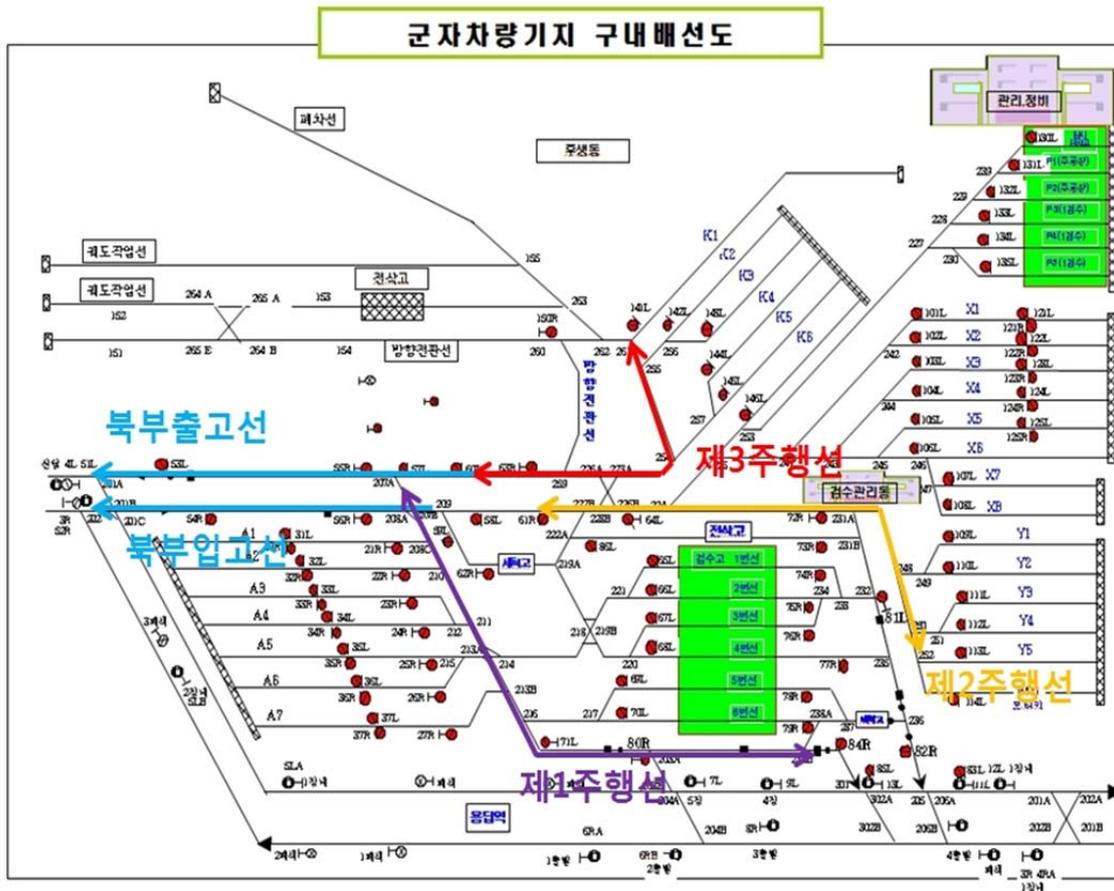


Table. 1 Testing track configuration.

구 분	구 성
시험선 #1	북부입/출고선 + 제1주행선
시험선 #2	북부입/출고선 + 제2주행선 + Y1~5 유치선
시험선 #3	북부입/출고선 + 제3주행선 + K1~5 유치선

2.3 시험인프라 운영방안

2.3.1 시험인프라 연차별 운영계획 및 운영 기간

시험선 구축 및 운영은 연구 기간 중 2차년도 부터 4차년도 까지 3년에 걸쳐 이루어지며 각 단계는 Table. 2 와 같다. 4차 년도에는 시험차량 개조 튜닝 및 구내시운전 시험 2개월, 본선시운전 시험 3개월, 시험차량 복원 1개월 순으로 약 6개월 간 수행될 계획이다.

Table. 2 Annual plan for test infrastructure build and operation.

년 차	내 용
2차 년도 (2016.6. ~ 2017.2.)	○ 시험선 인프라 구축 계획 수립 - 시험차량 및 시험선로 구축 계획 수립, 시험 인프라 운영계획 수립
3차 년도 (2017.3. ~ 2018.2.)	○ 시험선 인프라 구축 - 시험차량 개조 설계, 시험 인프라 구축
4차 년도 (2018.3. ~ 2019.2.)	○ 성능평가 시험 (인프라 운영) - 시험차량 개조, 성능시험 및 유지보수, 기술 실용화 전략 수립

2.3.2 시험차량 운용 방안

개발품의 성능평가 시험은 기지구내 시험선로에서의 시험과 본선시험으로 구성되며 구내 시험 시 차량사업소의 전동차 입/출고에 지장을 주지 않고, 차량기지 내 전차선 단전시간을 피해 13:00~16:00로 계획하였으며 차량기지 내 시험운전 속도는 서울메트로 운전취급규정 84조(구내운전구간의 속도)에 따라 25km/h 이하로 제한 한다. 본선시운전은 성수지선(신설동~성수)구간을 하루 4회 왕복하는 것으로 계획하였다. 시험선로 운영 중 본선차량 고장발생으로 차량 부족 발생시 시운전차량이 예비차량으로써 투입할 수 있도록 개발품을 기존 장치와 병렬로 설치한다. 따라서 시험선로 운영 중에는 개발품을 통해 차량이 제어되고 본선 예비차로 투입 시에는 개발품 철거 없이 기존 회로에 의해 차량이 제어 될 수 있도록 하여 시험차량 운영으로 인한 차량기지 운영기능의 방해를 최소화 하도록 계획하였다.

2.3.3 시험선 운용비용

시험선 운영비용은 전동차 전력비, 전동차 유지보수비, 승무원 인건비, 전동차 임차료로 구분, 항목별로 합산하여 전체 비용을 산정하였으며 추정된 총 운영비용은 Table.3과 같다.

Table. 3 Operation cost for test infrastructure operation (Line #2 sungsoo branch route testing).

항 목	금 액	항 목	금 액
차량 전력비	1,245,056원	승무원 인건비	5,499,320원
차량 유지보수비	17,044,887원	차량 임차료 (4량)	73,337,492원
합 계	97,126,755원 (부가가치세 포함 시 106,839,430원)		

2.3.4 시험차량 검사 및 유지보수

시험인프라 운영 중 차량 기동점검 및 도착점검은 시험일 마다 시행 하며 시운전 기간에는 평시의 일일평균 주행거리에 크게 미치지 못하므로 전동차 검사주기는 기간 검사주기를 적용하며 검사계획은 매월 1회 수립하도록 한다. 시험선 운영 중 전동차의 검사 및 유지보수는 기존 장치와 개발품으로 나누어 Table. 4 처럼 각 검사주기에 따라 시행한다.

Table. 4 Inspection period and plan for testing Train.

구 분	검 사
튜닝 및 구내시운전 기간	일상검사(3일 주기)
본선시운전 기간	도착점검, 일상검사, 월상검사 시행
배전반 로직회로 개발품	연구 참여 기관별 시행

3. 결론 및 향후 연구과제

철도차량 내부장치간 무선연계 및 배선절감 기술 연구는 차량의 성능개선과 운영의 효율성을 증대시키기 위한 연구로 본 논문에서는 개발기술의 성능평가를 위한 시험인프라 구축과 운영방안에 대하여 논의하였다. 개발된 기술의 효과적인 평가를 위해 서울메트로 성수지선 VVVF전동차의 시험차량 선정 및 군자차량사업소 구내에 시험인프라를 구축하기로 계획하였다. 시험인프라 운영 시 복수(3개)의 시험선로를 구성하고 차량에 개발품 설치하는 기존 장치와 병렬로 설치하여 성능평가에 따른 기존 차량사업소 운영기능의 제약이 최소화 되도록 고려 하였다. 시험인프라 운영기간 중의 차량 유지보수 계획도 발생 비용과 성능평가의 효과성 등을 다각도로 검토하여 기간 검사주기를 적용하여 계획을 수립 하였다.

본 연구의 시험인프라 구축 및 운영방안 수립을 통해 배선절감 개발기술의 성능을 효과적으로 평가하고 나아가 IT 기술을 철도차량에 적용하기 위한 핵심기술을 확보할 수 있을 것이다. 향후에는 본 논문에서 논의한 것과 같이 시험인프라의 구축과 운영에 따른 기존 차량기지 운영기능의 제약 발생과 성능평가의 상충을 최소화하고 동시에 평가 요구조건을 충족하여 성능평가가 효과적으로 수행 될 수 있도록 운영 방안과 전략 수립에 대한 보다 세부적인 연구가 지속되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 국토교통부에서 지원한 “철도차량 내부장치 간 무선연계 및 배선절감 기술개발” 연구단 과제 중 “철도차량 배선절감 효과분석 및 성능평가” 1세부 과제에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] International Electrotechnical Commission (IEC) 61375-1 Standard (1999) Train Communication Network: Part (1) General Architecture (2) Real-time Protocol (3) Multifunction Vehicle Bus (4) Wire Train Bus (5) Train Network Management (6) Train Communication Conformance Testing.
- [2] C. Schafers, G. Hans, IEC 61375-1 and UIC 556 - International Standards for Train Communication Network, in Proceedings of the 51st IEEE Vehicular Technology Conf., Japan, May 2000, pp. 1581-1585.
- [3] J.H. Lee, et al. (2012) Korea Railroad Research Institute(KRRI), Urban Railway Train Control System Performance Evaluation Final Report, Research report.
- [4] Korea Railroad Research Institute (2016) Annual Plan Report for “Development of Technology on wireless interfaces between internal equipments and wiring reduction for railway vehicles” , Korea Railroad Research Institute(KRRI) Report.
- [5] K.Y. Eum, et al. (2012) Test Bed Implementation for Performance Evaluation of High Speed Railway Infrastructure, Korea Railroad Research Institute(KRRI).
- [6] Seoul Metro (2010) Maintenance Instruction Manual for Line#2 VVVF Hyundai Rotem DV(280R)
- [7] Seoul Metro (2015) Electricity Usage and Fare Analysis Report, Seoul Metro Report.
- [8] Seoul Metro (2016) Il-san Line Train Maintenance Operation Cost Analysis Report, Seoul Metro Report.
- [9] Seoul Metro Driving Management Regulation Code.
- [10] Seoul Metro Rolling Stocks Regulation Code.
- [11] S.J. Lee, et al. (2014) Ministry of Land Infrastructure and Transport, Rail-vehicle wireless device-to-device connection control and soft logic technology development project final report, Research Report.