

화물열차 적재화물의 균형제어 및 안전모니터링기술 적용 연구

A Study on the Applying of Balancing Control and Safety Monitoring Technology of Cargo on the Freight Train

한 성 호[†] · 한 영 재^{*} · 이 석^{*} · 김 영 훈^{*}

(Seong-Ho Han · Young-Jae Han · Suk Lee · Young-Hoon Kim)

Abstract - Recently, in order to improve the efficiency of freight transportation on existing lines, a new freight train model is needed to develop urgently. The weight balance of the cargo for the freight vehicle is very important for the stability of the running train and the safe transportation of the cargo. For achieving the cargo weight balance, we proposed a Cargo Balancing Control(CBC) system on the Freight vehicle equipped in between under frame of car body and bogie system. The Cargo Safety Monitoring(CSM) system was designed to supervise status of the Cargo on freight train. The monitoring system can display real time status data from sensors and various signals effectively. We suggested that this paper is a very useful approach for keeping the safety of running freight trains on existing lines.

Key Words : Freight train, Weight balance, Cargo balancing control, Cargo safety monitoring

1. 서 론

화물운송수요의 급격한 수요 증가와 고부가가치 화물의 안전한 수송을 위해 새로운 형태의 기능이 탑재된 화물열차 기술의 개발이 시급히 요구되고 있다. 전자부품 및 의료기기 수송의 경우 고부가 가치 대상화물로 분류되므로 대상 화물의 신속한 수송뿐만 아니라 안전한 이동 또한 매우 중요한 사항이다. 기존의 화물열차의 경우 단순히 컨테이너 화물칸의 적재 공간 확보기능 이외에는 특별한 전원 투입과 관련한 다양한 서비스 제어기능이 적용되고 있지 않다. 이러한 이유는 도로 및 트럭의 물류운송수단에 비해 매우 낮은 철도물류의 시장점유율과 수익 경쟁력으로 인해 초래되는 현상으로 첨단화물열차의 기술개발 투자에도 매우 부정적인 환경요소중의 하나라고 볼 수 있다. 따라서, 철도물류가 다른 물류운송 수단과 비교하여 보다 높은 경쟁력을 확보하기 위해서는 다양한 서비스 기능이 고려되는 화물열차기술개발이 절실히 필요하다[1, 2]. 현재 운행하고 있는 화물열차의 서비스 기술 수준으로는 트럭운송 서비스와의 새로운 물류산업 경쟁구도에서 상대적 우위를 차지하기는 매우 어렵다. 최근 물류회사들은 다양화된 소량의 택배화물과 신선물류와 같은 고부가 가치의 화물수송을 요구하고 있어 화물 열차칸에도 전원공급에 따른 제어 및 모니터링 장비들이 장착할 필요가 있다[3-5].

특히 화물열차가 기존선로에서 속도를 향상하면서 안전하게 수송하기 위해서는 화물칸 내 화물의 무게 균형 유지가

매우 중요하다. 차체내의 적재화물의 무게균형을 제어하고, 화물의 진동을 제어하기 위한 차량제어기술이 매우 유용할 수 있다. 이러한 기술은 그림 1과 같이 일반적으로 열차 성능향상을 위해 차량에 적용되는 능동 피드백 제어 기술의 응용사례라고 볼 수 있다. 대표적인 예로서는 기존의 여객열차에 많이 적용되고 있는 능동제어기술과 유사한 것이다[6, 7].

자연계의 파라미터인 각속도, 가속도, 속도 및 위치를 적절히 제어함으로 차체의 횡 · 종 방향 가속도를 제어하여 기존선로 구간에서의 승객의 진동저감 및 승차감 향상은 물론 주행안전성 향상과 속도향상을 획득할 수 있다.

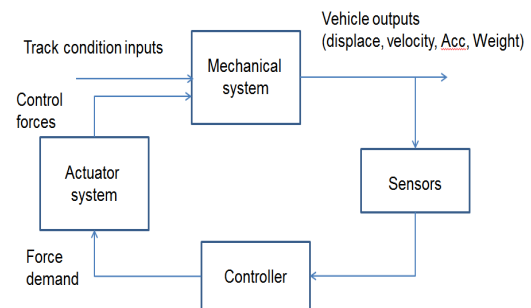


그림 1 일반적인 열차구동제어 피드백 개념도

Fig. 1 General concept of train deriving feedback control

본 논문에서는 화물차량의 안전한 수송을 위해 필요한 차체 화물무게 균형제어를 위해 적재화물균형제어기술(CBC : Cargo Balancing Control)과 화물 안전상태 모니터링기술(CSM : Cargo Safety Monitoring)을 제안하고자 한다. CBC 방법은 화물열차의 하부 주행장치인 대차시스템에 구동 제어를 장착하여 화물칸에 적재된 화물의 진동, 좌우, 중앙 하중을 감지하여 열차의 고속 주행시에도 균형을 유지

[†] Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail : shhan@krri.re.kr

^{*} Korea Railroad Research Institute, Korea

접수일자 : 2017년 11월 15일

최종완료 : 2017년 11월 21일

해 줌으로써 화물열차의 주행안정성을 확보하고 적재화물의 흔들림을 최소화 할 수 있도록 고안한 것이다. 또한 제안된 CSM 방법은 화물열차의 적재화물의 안전 수송을 확보하고자 화물열차 내에 모니터링 장치를 설치하여 실시간으로 화재 및 체결 이상 유무를 확인할 수 있는 방법이다. 이러한 기술이 향후 현차에 적용된다면 고 부가가치의 화물의 수송 수요를 트럭으로부터 전환 시킬 수 있어 철도화물의 시장 확대에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

2. 화물열차 적재 화물 운송기술

2.1 화물열차의 편성 구성 개념

화물열차의 운행방식은 크게 화물전용열차 방식과 여객과 화물을 혼용 편성하여 운영하는 복합열차방식이 있다. 그림 2는 화물전용열차의 기본편성 구성 예를 나타낸 것이다.

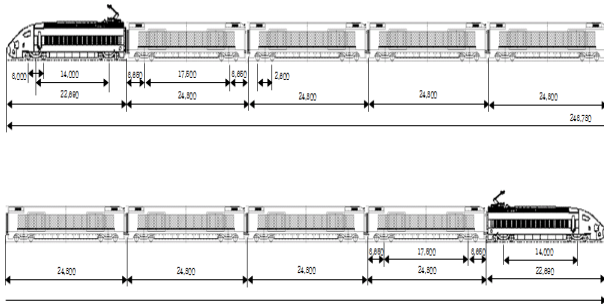


그림 2 화물전용 열차의 기본 구성도
Fig. 2 Basic configuration of dedicated freight train

화물전용열차가 8량 1편성으로 구성될 경우 선두부 차량 (Front car)과 후두부 차량(Rear car)에 주제어기가 각각 1개씩 설치된다. 또한, 화물을 탑재하는 각 차량에는 로컬제어기가 각 1개씩 설치된다. 각 차량에 있는 로컬제어기는 관련된 모든 데이터는 주제어기로 통신을 통해 실시간으로 전송된다. 열차종합제어장치(TMS : Train monitoring system)는 주행방향을 기준으로 첫 번째 차량의 주제어기와 RS422 통신을 통해 상호 인터페이스하며 열차의 운행을 총괄적으로 책임지는 열차핵심제어 장치이다.

2.2 화물열차의 적재 화물 모델링

화물차량의 적재화물(ULD : Unit Load Device)을 차량내 적재하는 것을 가정하였으며, 총 14개의 유닛을 적재할 수 있는 공간을 확보하였다. 화물열차의 최대 적재화물 용량은 량당 15톤이며, 적재중량변화에 대응할 수 있는 구조를 가져야 한다. 개별 ULD의 규격은 1180mm(W) x 1280mm(L) x 1650mm(H) 이며 , ULD 무게는 1개당 750Kg ~ 990Kg 이 내로 가정하였다.

그림 3은 ULD의 질량 분포와 화물열차의 주행 안전성에 관한 모델링 구성방안을 나타낸 것이다.

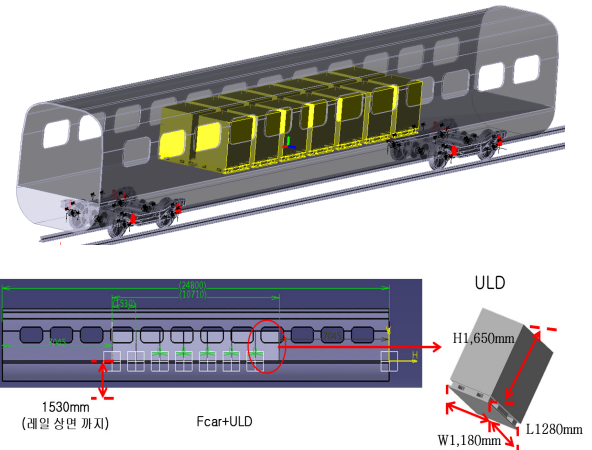


그림 3 화물열차의 적재 화물 모델링
Fig. 3 Cargo modeling of dedicated freight train

3. 제안된 적재 화물 균형제어 및 안전상태 모니터링 기술

3.1 적재 화물 균형제어장치(CBC) 기술

화물열차의 적재화물 균형제어장치(CBC)는 크게 주제어기와 로컬제어기에 구분되어 구현된다. 그림 4는 CBC시스템의 제어 흐름도를 나타낸 것이며, 그림 5는 CBC장치의 구성 개념도를 나타낸 것이다.

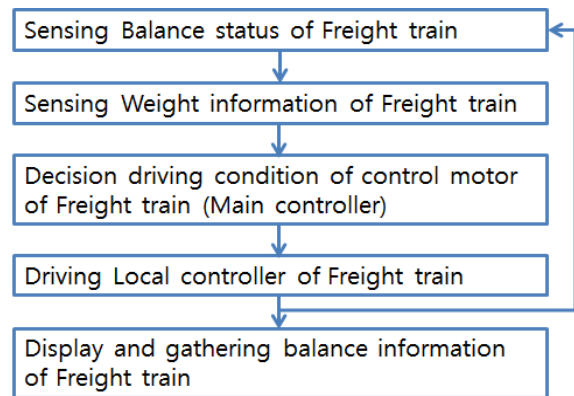


그림 4 적재 화물 균형제어장치(CBC)의 제어 흐름도
Fig. 4 Control flow chart of Cargo Balancing control device

선두차에 있는 주제어기는 가속도 센서와 타코메타 속도 측정을 이용하여, 균형제어 각을 계산하여 각 개별 차량에 있는 로컬제어기로 전송한다. 로컬제어기는 각각의 개별 차량 간에 RS422 통신을 경유하여 인접한 차량과 상호 연결되어 있다. CBC시스템의 주제어기는 RS422 통신을 이용하여 가속도 센서와 각 차량의 로컬제어기로부터 중량분포 검측데이터를 받아들이고, 필요한 균형제어 명령 신호를 TMS로 보고한다. 가속도 감지기는 바퀴 축 방향의 횡측 가속도를 측정하기 위해 앞뒤 차량의 대차 프레임에 장착된다. 각 차량에는 열차의 중량을 측정할 수 있는 중량측정부가

좌·우 2개씩, 전, 후, 중앙에 각 1개씩 모두 7개를 설치하여 적재화물의 무게정보를 실시간으로 감지한다. 측정된 중량분포 데이터는 주제어기와 로컬제어기 간에 데이터를 송수신하여 균형제어 명령 값을 계산하여 제어를 수행한다.

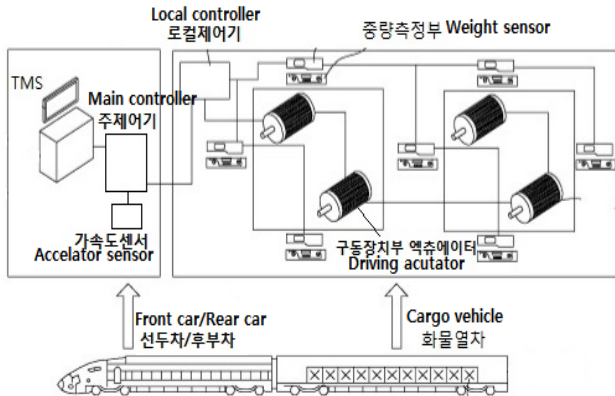


그림 5 적재 화물 균형제어장치(CBC)의 구성 개념도
Fig. 5 System configuration of Cargo Balancing control device

열차의 가속도 감지 신호는 열차의 주제어기 내에서 처리되어지고 로컬제어기를 통해 각 화물열차당 구동장치부의 액추에이터 4개를 동작시키기 위한 균형제어 명령 신호로서 사용된다. 각각의 구동 액추에이터는 요구명령에 따라 목표 위치로 이동하며 차량에서 실제 동작 위치정보를 피드백 받아 동작 오차 값의 차이에 대한 보정을 실시한다.

시스템 작동 시 로컬제어기는 위치 감지기 정보와 화물칸의 중량측정센서를 사전 점검한다. 구동장치부는 자신의 결정된 위치 값들과 함께 작동하며 비교와 감시를 통해 상태 점검을 실시한다. 로컬제어기 간에는 안전성 확보를 위한 폐회로가 서로 연결되어 한 개의 제어기가 고장 시에도 전체적인 구동장치부의 제어회로가 차단될 수 있도록 조치하도록 하는 자동 정위치 복귀기능을 갖추도록 하였다.

그림 6은 CBC 구동장치의 차량내 설치 개념도를 나타낸 것이다. CBC 구동장치부의 기술사양 및 기능사양을 다음 표 1과 같이 정리하였다[8].

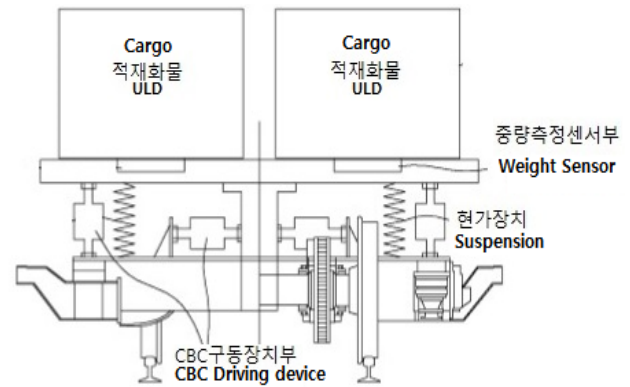


그림 6 CBC 구동장치의 차량내 설치 개념도
Fig. 6 Concept drawing of installation of CBC driving device

표 1 CBC 구동장치부 전기장치 요구사항

Table 1 Requirement specification of electric device of CBC

Hardware requirement spec.	Software requirement spec.
(1) Nominal operating voltage : DC 110V	(1) Convert DC 110V power to two 3 phase motor current systems
(2) Max. operating voltage : DC 137.5V	(2) Processes defined protocols via RS422 interface between vehicles
(3) Min. operating voltage (Full) : DC 97.5V	(3) Electrical interface between the two actuators
(4) Min. operating voltage (Part) : DC 67.2V	(4) Monitoring of over current of the inverter
(5) Max. input current (110VDC) : 330A	(5) Temperature monitoring of motor and inverter
(6) Avg. input current : 60A	(6) Process RS232 service interface
	(7) Storage detected error
	(8) Forward a balanced control sensor signal to main/local controller.
	(9) Send status signal of electric equipment of deriving device
	(10) Processes the defined protocol to TMS interface via RS482.

3.2 적재 화물 안전상태 모니터링(CSM) 기술

고부가 가치 화물의 운송을 위해서는 열차의 내부 환경조건을 승객에 준하는 환경 조건으로 유지해야 한다. 따라서 화물 열차에 장착되는 전력 설비는 차량내 적재화물의 원활한 구동에 충분한 전력 용량을 확보해야 한다. 그림 7은 화물열차의 안전상태 모니터링시스템의 구성 개념을 나타낸 것이다. 화물 열차의 선두차 및 후부차에 있는 운전실에는 차량도어의 개폐 및 이상 유무, 이송설비의 구동 및 이상 유무, 화물 적재량의 적정 무게 배분 및 이상 유무, ULD 체결 장치의 구동 및 이상 유무, 차량내 이상 유무를 관리하기 위한 CCTV 화면 및 상태, 균형제어장치의 이상 유무 등 적재 화물과 관련된 정보를 현시할 수 있는 장치를 갖추어야 한다[9, 10].

또한, 적재화물을 탑재한 차량의 안전상태 모니터링에 있어서 필요한 기능요구사항은 적재화물의 상태를 실시간으로 무인 감시기능, 적재화물의 체결상태 확인기능, 적재화물에 화재가 발생하거나 차량 내에 화재 발생 상황을 감시 기능, 적재화물 중 유해가스 등을 발생시킬 화물이 있을 경우 유출 등의 문제가 발생하는지 감시기능을 갖추어야 한다. 추가적으로 차량의 운습도 상태 확인기능, 적재화물의 중량이 과중량이 되지 않도록 확인기능, ULD에 화물정보를 담고 있는 RFID가 있을 경우 좀더 정확한 상태확인 모니터링을 위하여 수신할 수 있는 장치기능, 열차 운전자가 화물차량에 이상이 발생했을 경우 상황확인할 수 있는 운전실 장치기능의 지원이 요구된다.

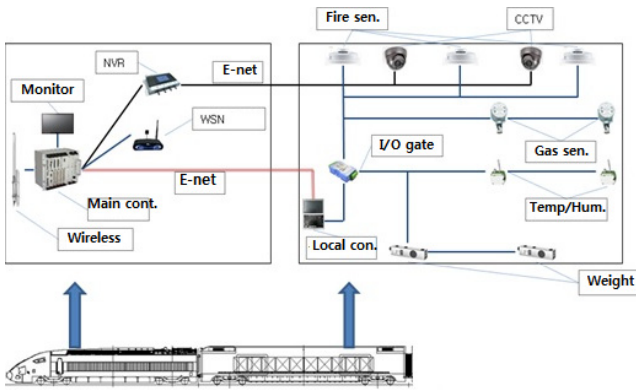


그림 7 CSM 시스템의 구성도
Fig. 7 Configuration diagram of the CSM system

선두차/후부차에 있는 주제어기의 안전상태 모니터링 장치 구성은 그림 8과 같이 제안하였으며, 세부 기능 요구사항은 다음과 같다.

- 모니터링 통합제어장치 기능
 - (1) 화물차량의 정보 통합 관리
 - (2) 차량제어장치와 유무선 연계 및 데이터 취합
 - (3) 영상시스템 제어
 - (4) 기지서버와 무선 데이터 전송
 - (5) 화물안전 상태 이상 시 전후 상황 데이터 저장(영상 포함)
- 운전자 모니터링 장치 기능
 - (1) 운전자에게 화물차량 상태 정보 전달
 - (2) 화물안전 상태 이상 시 영상정보 현시 및 상황 안내
 - (3) 운전자 필요시 실시간 화물차량 상황 현시

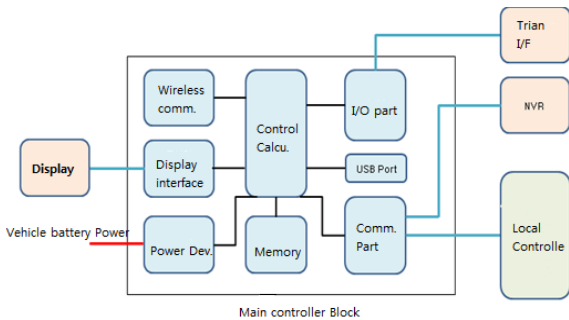


그림 8 선두차와 후부차 CSM 주제어기의 장치 기본 구성
Fig. 8 Configuration of main control of CSM on Front car & Rear car

화물적재이 탑재되는 차량 칸의 경우 안전상태 모니터링 장치는 로컬제어기를 통해 그림 9와 같이 구성되며, 세부 장치별 기능요구사항은 다음과 같이 정의하였다.

- 안전상태 모니터링 차량제어 장치
 - (1) 화물차량의 정보 관리
 - (2) 화물안전 상태 확인을 위한 각종 센서 정보 취합
 - (3) 적재된 ULD 정보 이력관리(ULD에 RFID 기능이 있는 경우)
 - (4) 화물 입출고시 영상제어로 화물적재 상황 정리

- (5) 모니터링 통합제어장치로 모든 상태정보 전달
 - 안전상태 모니터링 차량제어 장치
 - (1) 각 화물차량 외부에 적재화물 상황 현시
 - (2) 화물안전 상태 이상 발생 시 영상 및 상황 현시
 - (3) 관리자 필요시 화물차량 상황 현시
 - CCTV(영상정보)
 - (1) 적재화물 체결 상황 감시(이미지 제어로 화물 흔들림 감시)
 - (2) 적재화물 입출고시 화물배치 상황 감시
 - (3) 적재화물의 균형제어 상태 안내
 - (4) 적재화물 이상 발생시 운전자에 경고 및 화면 현시
 - (5) 운전자 요청시 화면 현시
 - 화재감지기
 - (1) 적재화물 및 차량화재 감시
 - (2) 열 및 연기 모두 감시
 - (3) 화재발생시 경고음 발생 및 차량제어장치를 통하여 운전자에 상황 안내
 - 가스감지기
 - (1) 적재화물 및 차량의 유독가스 감시
 - (2) 유독가스 발생시 경고음 발생 및 차량제어장치를 통하여 운전자에 상황 안내
 - 온습도감지기
 - (1) 화물차량의 온습도 감시
 - (2) 온습도 이상 발생시 경고음 발생 및 차량제어장치를 통하여 운전자에 상황 안내
 - 중량센서
 - (1) 화물차량의 입출고시 중량확인
 - (2) 과중량 적재 발생시 경고음 발생 및 차량제어장치를 통하여 운전자에 상황 안내

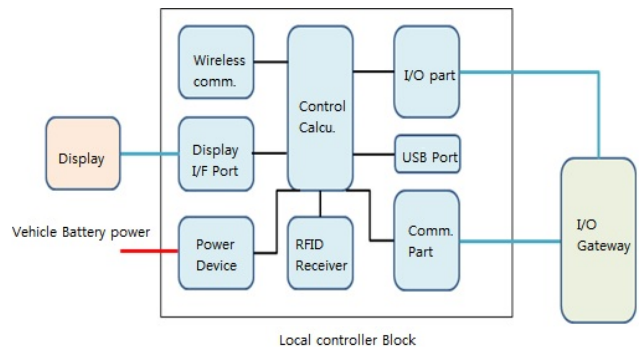


그림 9 화물적재차량의 CSM 로컬 제어기 장치 기본구성
Fig. 9 Configuration of local control of CSM on Freight car

4. 결 론

고 부가가치 화물의 수송을 안전하게 수행하기 위해서는 기존의 화물열차의 기능향상이 필요하다. 다양한 화주의 물류 서비스 향상을 위해서는 화물차량에도 전기장치의 도입을 통한 제어기능의 구현기술개발이 필요하다. 특히 기존선로에서의 적재화물 이송은 선로의 불규칙성으로 인해 특별히 안전성과 신뢰성을 확보해야 한다. 이를 위해서는 적재화물의 균형을 안정적으로 유지시켜주는 적재화물 균형제어장

치(CBC)의 도입이 요구된다. 또한 열차 주행중 적재화물의 다양한 운용환경조건을 모니터링하고 안전 수송을 확보할 수 있는 안전상태 모니터링장치(CSM)가 필요하다.

본 논문에서는 화물차량에 적재되는 화물의 배치 무게를 계측하여 차체가 균형을 유지하도록 제어하는 적재화물균형 제어기술(CBC)과 적재화물의 실시간 안전성 확보 모니터링 장치(CSM) 기술을 소개하였다. CBC 방법은 화물간의 적재 화물의 전후, 좌우, 중앙 무게를 검지하여 열차의 주행 시에도 차체의 흔들림 없이 주행안정성을 확보해 주고 적재화물의 흔들림을 최소화 할 수 있어 기존선로에서의 화물운송 서비스 질 향상을 가능하게 해준다. 또한 화물의 안정상태 유무를 실시간으로 모니터링하기 위하여 실시간 안전상태 모니터링시스템인 CSM장치를 연계 구성하고 세부장치별 요구기능사양을 정의하였다. 향후, 제안된 기술에 대하여 시험차량을 선정하고 현차 적용 및 시험운전 성능검증연구를 지속적으로 수행한다면, 화물철도 시장의 새로운 물류서비스 물동량 증대에 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] "Technology Development Planning Research Report for High speed freight train transportation system (CTX)," *KRRI research report*, February 2012.
- [2] MOCT, Study on the implementation of Railway Logistic scheme for the Future, *Summary report*, 2007.
- [3] Korail, JR Logistic, Oversea business trip report for improvement railway logistics infra, 2011.
- [4] EuroCAREX Homepage([Http://www.eurocarex.com/](http://www.eurocarex.com/)), EURO CAREX presentation, 2012.
- [5] Katsuji Iwasa, Rail Freight in Japan - The Situation Today and Challenges for Tomorrow, *Japan Railway & Transport Review*, 26, 2001. 2.
- [6] MOCT, R&D High speed railway system reliability and efficient operation, *1·2 Year Stage, Yearly Report*, 2004.
- [7] S. H. Han, S. G. Lee, Y. J. Han "A study on the main circuit system of Tilting EMU train," *Summer Conference of The Korean Institute of Electrical Engineers*, July 2004.
- [8] "The Performance Test of Railway and Technology Development for Evaluation," *KRRI research report*, 2007.
- [9] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation," *WCRR*, pp. 279-286, 1997.
- [10] Y. J Han, K. H. Kim, S. W. Kim, S. S. Kim, Y. M.

kim, "A Study on Measurement System for Performance Evaluation of TTX(Tilting Train eXpress) Network," *ITC-CSCC*, pp. 637-638, 2007.

저 자 소 개



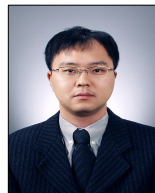
한 성 호(韓成浩)

1991년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 1996년 숭실대학교 공과대학원 전기공학과(시스템 및 제어전공) 졸업(박사). 1996년 7월~현재 한국철도기술연구원 수석연구원
E-mail : shhan@krri.re.kr



한 영 재(韓咏材)

2004년 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과 졸업(박사). 2016년 고려대학교 대학원 기술경영학과 졸업(박사). 1995년 9월~현재 한국철도기술연구원 책임연구원
E-mail : yhkim@krri.re.kr



이 석(李錫)

2012년 2월 한국과학기술원 산업공학과(산업공학전공) 졸업(박사)
2005년 12월~현재 한국철도기술연구원 책임연구원
E-mail : slee@krri.re.kr



김 영 훈(金永勳)

2013년 2월 아주대학교 공과대학원 산업공학과(산업공학전공) 졸업(박사)
1994년 9월~현재 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 물류시스템연구실 선임연구원
E-mail : yhkim@krri.re.kr