

지상신호설비의 유지보수 효율화를 위한 집중화 및 전자화 연구

백종현^{1*}, 김용규¹, 이강미¹
¹한국철도기술연구원

The Study on Centralization & Electronic for Maintenance Efficiency of Ground Signaling System

Baek Jong Hyen^{1*}, Kim Yong Kyu¹ and Lee Kang Mi¹
¹Korea Railroad Research Institute

요 약 국내 철도 신호시스템은 전자화로 발전하고 있으며 이 중 연동장치의 전자화는 57%에 이르고 있고, 선로변 장치 중 건널목 보안장치는 통합시스템으로 개발이 완료되어 있다. 그러나 기존선 전 구간의 폐색장치는 전자화 및 통합화가 되어있지 않아 건설과 유지보수 측면에서 많은 보완점을 가지고 있다. 현재 국내 기존선에 사용되고 있는 ABS와 경부 및 호남선에 설치중인 LEU는 동일한 장소에서 동일한 열차의 신호정보에 의해 열차를 제어하고 있음에도 불구하고 각각 별개의 시스템으로 분리되어 설치되어 있기 때문에 동일한 정보를 각각 별개로 나누어 송수신하여 열차를 제어하고 있다. 따라서 종래의 ABS와 LEU에서는 램프검지부나 전원부 등과 같이 중복 설치된 부품이 많기 때문에 전체적인 제품의 제조 원가가 높아질 뿐만 아니라, 시공비 역시 2중으로 소요되고 유지보수에도 많은 인력과 비용을 투자해야 하는 등의 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 사용 중인 ABS에 통신 및 전자기술을 접목시켜서 집중형 전자폐색제어장치를 개발하기 위한 내용을 제시하고 있으며, 해당역 관내 폐색장치를 집중감시 및 관리를 하고 ATP 시스템의 지상장치인 LEU와 연계하여 정보 전송이 가능하도록 하고자 한다.

Abstract The train control system used in Gyeongbu-line is classified in ATC, IXL and CTC. Domestic railway signaling systems are being developed by electrification. In these systems the electrification of interlocking reaches 57% and the safety equipments of railway crossings in trackside devices have completed their development into an integrated system. Block systems of all the existing sections have not yet electrified and integrated so that they need a number of complement in terms of construction and maintenance. For ABS currently used in existing domestic lines, and LEU being installed in Gyeongbu and Honam lines, although a train is controlled by the signaling information of the same train in the same location, the system is separately installed so that the same information is separately divided and transmitted at the each distinct system. Therefore, in the conventional ABS and LEU, there are a lot of duplicate installed compartments such as lamp detection and a power supply unit. Hence, we have a lot of problems: for maintenance, a lot of manpower and costs need to be invested and the overall manufacturing costs get higher, as well as the construction costs by duplicate. Therefore, this paper suggest design to develop an integrated electronic Block Control Unit by the integration of the currently used ABS, and communication and electronic technology. We are to monitor and manage the block systems in the corresponding station by integrating. And we are to transmit information together with LEU, which is an ATS wayside transmitter.

Key Words : ABS(Automatic Block System), ATP(Automatic Train Protection), Signalling System, Maintenance

본 논문은 국토해양부 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발” 연구과제로 수행되었음.

*교신저자 : 백종현(jhbaek@krii.re.kr)

접수일 10년 05월 04일

수정일 (1차 10년 05월 26일, 2차 10년 06월 09일)

계재확정일 10년 08월 10일

1. 서론

폐색장치는 고속철도 및 국철 등에서 열차의 안전운행을 책임지는 가장 중요한 역간 제어장치로서, 국내에서는 계전기를 이용한 폐색제어 방식이 주종을 이루어 왔다. 일본에서는 전자화된 폐색장치 및 집중형 전자폐색제어 장치를 개발하여 현장설치 시험 중이고, 유럽에서는 폐색장치의 전자화에 대해 검토하고 있는 단계이며, 국내의 한국철도공사 및 한국철도시설공단에서도 이러한 전자폐색제어장치의 국산화 개발에 많은 관심을 보여 왔다[1,2].

이러한 필요성에 따라 본 논문에서 제시하고자 하는 집중형 전자폐색제어장치는 계전기 로직에 의해 아날로그 방식으로 제어되고 있는 기존의 자동폐색장치(ABS) 제어기능을 CPU에 의해 디지털 전자제어방식으로 제어할 수 있도록 하는 한편, ATP 차상신호시스템의 지상장치로서 역간에 설치되어 열차제어정보를 차상으로 전송하는 ATP 차상신호시스템의 선로변제어유닛(LEU : Lineside Electronic Unit)를 모듈화한 후, 이를 ABS와 하나로 통합하여 하나의 현장출력장치로 구성하고 광모뎀을 이용하여 장거리 네트워크를 구성하여 지역 내 열차 운행 정보를 공유함으로써 이에 대한 열차 추적방식의 폐색 운영을 구현하고자 한다[3-5].

2. 폐색장치의 개요

열차는 충돌이나 추돌사고가 없도록 항상 일정한 간격을 유지하면서 운행되어야 하며 이를 위하여 지상신호시스템에서는 폐색구간을 두고 한 폐색구간에는 한 개의 열차만 운행할 수 있도록 하고 있다. 이에 따라 열차운행 제어를 위하여 모든 역과 역 사이에는 폐색장치를 설치하고 운용하고 있다. 폐색장치는 운행하는 열차에 운전조건을 지시하여 안전운전 및 수송능률을 최대화 하는 장치로서 우리나라에는 철도 개통과 함께 기계연동장치를 설치하고 정차장간을 1폐색구간으로 하는 통표폐색식을 사용하였다. 그러나 통표를 주고받음에 따른 열차속도 제한 등 불편함이 많아 전기 색정법에 의한 연동폐색식으로 개량되었다. 이 후 역간을 한 폐색구간으로 하여 1개의 열차만 운행하던 것을 여러 편성의 열차가 운행할 수 있도록 하기 위하여 1942년 경부선 영등포~대전 간에 자동폐색장치를 처음으로 설치하였다[6,7].

자동폐색식은 궤도회로를 이용하여 열차에 의해 자동으로 신호를 제어하는 폐색장치이며, 폐색구간 시점에 설치된 폐색신호기에서 열차가 그 구간에 있을 때에는 정지신호를 현시하고 열차가 없을 때에는 제한 또는 진행

신호를 현시하도록 한다. 이와 같이 신호와 폐색을 일원화하여 인위적인 조작이 불가능하며 정차장과 정차장사이에 신호기를 건식하게 되므로 폐색구간을 여러 개로 분할할 수 있다.

복선의 자동폐색식은 열차 방향이 일정하므로 대향 열차에 대해서는 생각할 필요가 없고 후속 열차에 대해서만 신호를 제어하면 되지만 단선 자동폐색식은 대향 열차와의 안전을 유지하기 위하여 방향 색정회로를 설치하여 방향 색정회로를 취급하지 않으면 폐색신호기는 정지신호를 현시하게 된다. 그러나 방향색정회로를 취급하면 취급방향의 폐색신호기는 진행신호를 현시하고 반대 방향의 신호기는 정지신호를 현시한다. 즉, 대향 열차에 대해서는 정차장사이가 1폐색 구간이 되게 후속열차에 대해서는 자동 폐색신호기에 의하여 폐색구간이 복선구간과 같이 분할하게 되는 것이다[3-7].

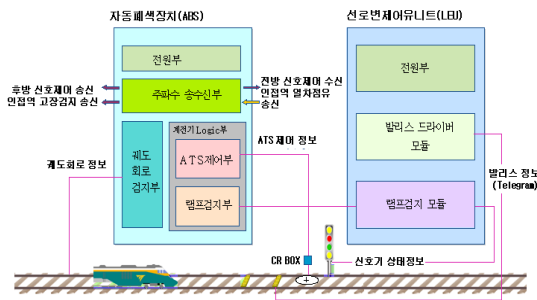
국철 구간에서 운용하고 있는 자동폐색장치는 폐색 신호기와 역간 궤도회로 및 ATS (Automatic Train Stop) 등이 연결되어 열차의 진행방향에 따라 폐색 신호기의 현시를 자동으로 제어하며 역구내 연동장치와 연결되어 폐색의 안전측 동작기능을 수행하고 있다. 또한 신호 현시와 각 신호조건에 따라 ATS 장치의 제어기능도 부가되어 있다. 이러한 자동폐색장치는 궤도회로와 신호제어 및 주파수 송·수신 유닛으로 구성되며 정전이나 송전 선로 장애시를 대비하여 전원공급을 2중화 하여 자동 절체 회로를 구성하고 있다[4,7].

3. 국내 자동폐색장치의 현황 및 분석

그림 1의 현장사진 및 그림 2의 구성도와 같이 국내 기존선에 사용되고 있는 ABS는 역과 역 사이를 다수의 폐색구간으로 분할하고, 각 폐색구간별로 궤도회로를 이용하여 폐색신호기를 자동으로 제어함으로써 열차의 운행 밀도를 높일 수 있도록 하는 제어장치이다. 또한 ATP 시스템에는 지상의 신호정보를 차상으로 전송하기 위한 LEU가 필요하며, LEU는 대부분 ABS의 옆에 설치되어 열차의 제어에 필요한 현장의 정보를 차상으로 전송한다. 유사한 기능을 수행하는 ABS와 LEU는 폐색구간을 기점으로 제어가 이루어지기 때문에 같은 장소에 설치되는 것이 보통이며, 또한 동일한 신호정보 즉, 폐색구간에서의 램프의 신호정보에 의해 제어된다는 공통점이 있다 [3,4,8,9].



[그림 1] 기존 시스템 현장설치 사진



[그림 2] 기존 ABS 및 LEU 시스템 구성도

그러나 현재 사용되고 있는 ABS와 경부 및 호남선에 설치중인 LEU는 동일한 장소에서 동일한 열차의 신호정보(램프신호정보)에 의해 열차를 제어하고 있음에도 불구하고, 각각 별개의 시스템으로 분리되어 설치되어 있기 때문에 동일한 정보를 각각 별개로 나누어 송수신하여 열차를 제어하고 있다. 따라서 종래의 ABS와 LEU에서는 램프검지부나 전원부 등과 같이 중복 설치된 부품이 많기 때문에 전체적인 제품의 제조 원가가 높아질 뿐만 아니라, 시공비 역시 2중으로 소요되고 유지보수에도 많은 인력과 비용을 투자해야 하는 등의 문제가 있다. 더군다나 제품을 구성하는 부품 및 구성품의 증가에 따라 장애의 발생 빈도도 증가하고, 발생된 장애의 복구도 늦어지게 된다[4,6].

따라서 본 논문에서 개발하고자 제시하고 있는 집중형 전자폐색제어장치는 ABS의 제어부를 디지털화한 후, ABS와 LEU의 기능을 하나의 장치로 통합하여 구성하고, 통합된 하나의 장치에서 두 가지 기능을 동시에 수행할 수 있도록 함으로서 다음과 같은 기대효과를 가질 수 있다.

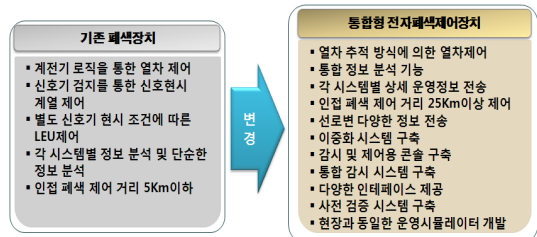
- 모듈 통합에 따른 장치구조의 간소화로 제품의 제조 원가 절감
- 장치 구조의 단순화로 인하여 설치 및 유지보수에

소요되는 인력 및 시간을 현저히 감소시킴으로서 비용 절감

- 신호설비 전자화에 따른 열차 안전운행을 보다 확실하게 확보
- 장치의 원격집중감시가 가능해 짐에 따라 유지보수의 효율성 향상
- 장치의 동작 상태에 대한 지속적인 감시를 통해 장애분석 및 예방 가능

4. 집중형 전자폐색제어장치의 설계

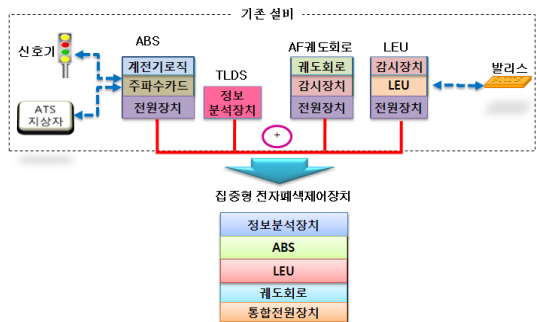
기존에 사용되고 있는 ABS와 본 논문에서 제안하고 있는 집중형 전자폐색제어장치의 차이점을 비교하여 그림 3에서 보여주고 있으며 집중형 전자폐색제어장치의 설계 및 개발 방향은 다음과 같다.



[그림 3] ABS와 집중형 전자폐색제어장치의 차이점

4.1 선로변 장치들의 통합화

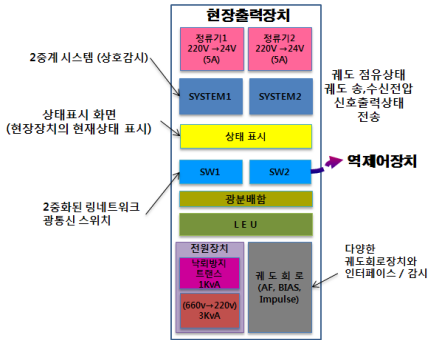
본 논문에서 제안하고 있는 집중형 전자폐색제어장치의 첫 번째 설계 방향은 앞서서도 제시하였지만 기존 선로변에 ABS, AF(Audio Frequency) 궤도회로, TLDS(Track circuit Level Detection System) 및 LEU 등으로 분산되어 있는 시스템 랙과 전원을 하나의 시스템 랙으로 통합 수용하는 것이며 그림 4와 같다[5].



[그림 4] 기존설비의 통합화

4.2 선로변 장치들의 전자화

집중형 전자폐색제어장치의 두 번째 설계 방향은 그림 5와 같은 전자화이다. 이를 통해 열차추적논리에 의한 열차제어가 가능해지기 때문에 열차운행의 효율성 및 밀도가 향상될 수 있으며 TLDS 기능을 현장출력장치에 내장하여 현재 상태를 표시할 수 있을 뿐 아니라 억제어장치로 다양한 정보전송이 가능해진다. 또한 전자화에 따라 보다 쉬운 2중계 구현으로 안전성을 향상시킬 수 있다.



[그림 5] 현장설비들의 전자화

4.3 유지보수성 향상

집중형 전자폐색제어장치의 세 번째 설계 방향은 그림 6과 같은 현재 시스템 상태 정보의 표시이다.



[그림 6] 시스템 상태 정보 표시 화면

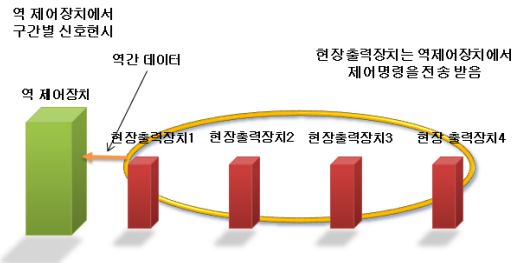
그림 6에서 보여주듯이 시스템 상태, 통신상태, 열차 점유상태, 정·역방향 운행 및 궤도 전압상태같이 폐색 구간 전체에 대한 상태 정보를 억제어장치화면에 표시함으로써 현장에 나가지 않고도 현장출력장치의 상태를 파악할 수 있을 뿐 아니라 감시 데이터는 3개월분(전자연동기준)을 저장하고 사용자가 다운로드 및 문서로 출력할 수 있으며 재생할

수 있는 기능을 부가함으로써 유지보수의 효율화를 이룰 수 있을 것이다. 또한 작업구간 설정 등 폐색 구간 내에 특이사항이 있으면 억제어장치의 제어 콘솔에서 해당 구간의 통과상한 속도까지 제어할 수 있을 것이다.

4.4 네트워크 제어에 의한 집중화

집중형 전자폐색제어장치의 네 번째 설계 방향은 네트워크 통신에 의한 제어의 집중화이며 이에 대해서는 그림 7에서 보여주고 있다.

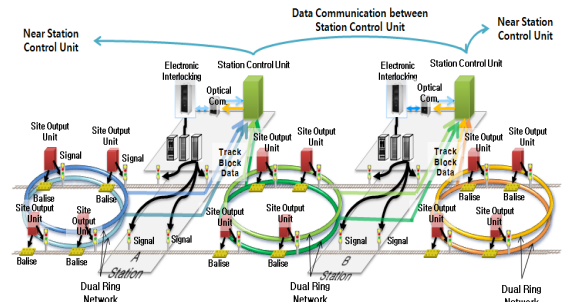
기존의 ABS는 주파수를 이용해서 궤도정보, 고장정보 등을 1개의 주파수로 전송하여 추가적인 정보의 전송이 불가능하나, 본 논문에서 제안하고 있는 집중형 전자폐색제어장치는 광통신 링 네트워크를 통해 제어정보, 궤도정보, 감시정보 등을 동시에 전송한다. 또한 ABS는 직전 폐색장치의 신호현시정보를 받아 신호를 현시하였으나, 집중형 전자폐색제어장치는 억제어장치에서 열차 추적논리에 따라 제어할 수 있도록 한다.



[그림 7] 네트워크 제어에 의한 집중화

4.5 집중형 전자폐색제어장치의 시스템 구성

앞에서 제시된 집중형 전자폐색제어장치의 설계 방향을 통합하여 보여주고 있는 것이 그림 8과 같은 집중형 전자폐색제어장치의 시스템 구성이다.



[그림 8] 집중형 전자폐색제어장치의 시스템 구성

본 논문에서 제시하고자 하는 위의 그림 8과 같은 시스템 구성에 따른 역제어장치 및 현장출력장치의 기능은 다음과 같다.

1) 역제어장치

- 역제어장치는 열차 추적 논리에 의해 각 폐색 구간별 속도제어, 연동처리, 열차운행 안전성을 검사하고, 폐색 장치의 신호제어를 한다.
- 역제어장치는 대기 2중계로 구성되어 상호감시하며, 사용계 장애 발생시 자동으로 대기계로 절체되어 열차 운행에 영향을 주지 않는다.
- 링 네트워크 스위치 2중계로 구성되어 있으며 한 개의 네트워크 스위치 장애발생시 자동으로 회선이 절체되어 열차운행에 지장을 주지 않는다.
- 인접역 역제어장치와는 기존의 역간 통신망(광단국 T1/E1급)을 이용하여 통신라인을 구성한다.
- 통신데이터 안전성 검증을 위하여 기본적인 이더넷 프레임 검증 이외에 별도의 프로토콜에 의해 2중으로 검증을 한다.
- 역제어장치는 현장 정보의 변화를 감지한 후 200ms 이내에 적합한 출력을 발생한다.
- 제어콘솔로 역제어장치와 현장출력장치의 상태를 감시하고, 역간에 선로 점검 등 특이사항 발생시 속도제한 제어를 한다.

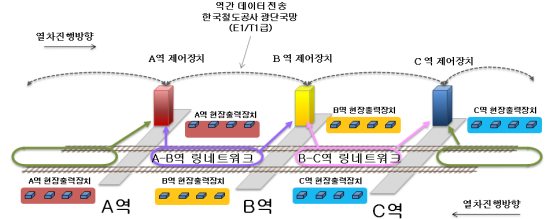
2) 현장출력장치

- 현장출력장치는 대기 2중계로 구성되어 있어 사용계에 이상이 발생해도 열차 운행에 지장을 주지 않고 자동으로 대기계로 절체된다.
- 현장출력장치 CPU는 역제어장치와의 통신, 역제어장치의 출력명령에 대한 출력, 그리고 자기 장치의 상태 감시를 담당한다.
- 궤도회로 2중 입력(CPU 1계, 2계간 비교), 단 출력은 사용계에서 출력한다.
- 현장출력장치는 ATS, LEU와 인터페이스하여 신호현시계열에 맞는 출력을 하고, 건널목 지장물 검지장치와 인터페이스하여 비상정지 입력을 받는다.
- 광통신 방식을 사용하여 25km이상의 장거리 폐색을 구현한다.
- 궤도 랙, 폐색 랙, LEU 랙으로 분산되어 있는 랙을 통합하여 1개의 랙에 수용한다.
- 역제어장치 장애 시는 인접역 역제어장치에서 현장출력장치를 제어하고, 인접역 역제어장치도 장애 시에는 궤도회로 점유 정보만을 이용하여 안전측으로 동작한다.

- 현장출력장치는 상, 하선 별도로 운영되나 필요에 따라서는 양방향으로 운영한다.
- 통신상태, 입출력상태, 궤도회로 전압 등 모든 동작 상태를 표시한다.

3) 네트워크 구성

- 역제어장치 사이에는 폐색구간의 열차정보 교환을 위해서 기존의 철도공사 광단국 망(E1/T1급)을 사용한 통신회선으로 연결한다.
- 역제어장치 장애 시 인접역 역제어장치에서 현장출력장치를 제어하기 위해서 인접역간 링 네트워크를 그림 9와 같이 연결한다.



[그림 9] 집중형 전자폐색제어장치의 네트워크 구성

5. 결론

본 논문에서는 국가연구개발사업으로 추진 중인 사업의 일환으로 개발되는 전자폐색제어장치의 기본설계에 대해 제시하였으며, 시스템 제작 후 공장 기능시험 및 환경시험 등의 공인 인증시험을 거쳐 약 1년 동안의 현장설치 시험까지 완료할 계획으로 추진 중이다.

앞에서도 제시하였듯이 전자폐색제어장치는 기계실에 설치되는 역제어장치와 선로변에 설치되는 현장출력장치로 구분된다. 역제어장치의 경우 기계실에 위치하여 해당역 관내의 상, 하선 폐색 구간내의 열차 이동에 대한 신호 제어를 수행하며 현장 장치의 운영을 감시하는 장치이고, 현장출력장치는 역제어장치로부터 제어명령을 수신하여 이에 따라 신호현시를 하며 ATS 또는 ATP LEU로 정보 전송을 한다.

이러한 집중형 전자폐색제어장치는 ABS의 제어부를 디지털화한 후, 선로변에 분산 설치되어 있는 ABS, 궤도회로 및 LEU의 기능을 하나의 시스템 랙으로 통합하여 구성하고, 통합된 하나의 시스템 랙에서 기능을 동시에 수행할 수 있도록 함으로서 모듈 통합에 따른 장치구조의 간소화로 제품의 제조원가를 약 30% 절감시킬 수 있고, 장치 구조의 단순화 및 장치의 원격집중감시가 가능

해 짐에 따라 장치의 설치 및 유지보수에 소요되는 비용과 인력 및 시간을 현재의 50M/M에서 5M/M로, 10% 수준으로 현재저 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 또한 장치의 동작 상태에 대한 지속적인 감시에 의해 장애분석 및 예방 등의 기대효과를 가질 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Y. Fukuta, G. Kogure, T. Kunifujii, H. Sugahara, R. Ishima, M. Matsumoto, "Novel Railway Signal Control System Based on the Internet Technology and Its Distributed Control Architecture", IEEE ISADS, March, 2007.
- [2] Nakamura, T. & Ihara, K, "The present situation and problems of train traffic control systems(in Japanese)", IEEJ Journal, Vol.124, No.5, pp.279-283, 2004.
- [3] 백종현, 이창구, "기존선 속도 향상을 위한 발리스를 이용하는 열차간격제어 기술에 대한 연구" 한국산학기술학회논문지 제10권 제2호. pp.256-263, 2009.
- [4] 김용규, 백종현, "기존선 속도 향상을 위한 신호보안 체계 최적구축방안 연구" 한국철도기술연구원 철도기술연구개발사업(국토해양부) 최종연구보고서, 2007.
- [5] "철도신호용어편람" 철도청, 한국철도신호기술협회 용어편람. pp.210-211.
- [6] 김용규, 백종현의, "고속선 신호설비 유지보수 기술자문 연구보고서" 한국철도공사, 2007.
- [7] 김영태 "신호제어시스템" 테크미디어, pp.446-469, 2003.
- [8] 김용규, 백종현, 박재영, "궤도회로의 유지보수 효율화를 위한 동조 유니트 특성 분석" 한국산학기술학회 논문지 제10권 제12호. pp.3594-3599, 2009.
- [9] A. Mirabadi, N. Mort, F. Schmid, "Application of Sensor Fusion to Railway Systems", Proceedings of the IEEE/SICE/RSJ International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, pp.185-192. 1996.

백 종 현(Jong-Hyen Baek)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

김 용 규(Yongkyu Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 단국대학교 전자공학과 석사
- 1993년 9월 : DEA in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 7월 : Ph.D in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France

- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측

이 강 미(Kang-Mi Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 충북대학교 전기전자공학부 학사
- 2005년 2월 : 충북대학교 전자공학과 석사
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 주임연구원

<관심분야>

전자통신, 자동제어, 시스템엔지니어링