

열차 차축검지 신뢰성 향상을 위한 근접센서 방식 Axle Counter 적용 연구

박재영*, 최진우¹
¹우송대학교 철도시스템학과

A Study of the Apply Proximity Sensor for Improved Reliability Axle Detection

Jae-Young Park¹*, Jin-Woo Choi¹

¹Division of Railroad System Engineering, Woosong University

요 약 철도 신호제어시스템에서 열차의 위치 및 점유 유무를 검지하기 위하여 궤도회로 이외에 axle counter 적용 사례가 증가하고 있는 추세이다. 이에 본 연구에서는 열차검지 및 차축계수의 신뢰성을 높이기 위해 axle counter의 센서 방식을 지자기 센서 방식과 근접센서 방식을 비교하였으며, 그에 따른 차이점과 결과를 제시하였다. 또한, 정확한 차축검지를 위한 센서부의 취부조건 등을 고려한 설치에 대해 현장 경험을 기반으로 적용된 결과를 제시한다.

본 연구에서는 차축검지의 신뢰성 향상을 위해 센서의 위상차를 판단할 수 있도록 설계 변경한 결과 차축검지 기능뿐만 아니라 다양한 기능까지(열차의 방향검지, 열차속도검지 등) 수행할 수 있는 확장성을 확보하였다. 또한 열차의 종별, 무게 등의 특성에 종속되지 않았으며, 자체적으로 제작한 차축검지를 위한 모의차축 이송장치와 Test Bed를 구축하여 Lab. 테스트를 수행한 결과 350km/h의 속도에서도 차축 검지의 누락이 발생하지 않았음을 확인하였다.

이를 통해 열차의 검지뿐만 아니라 통과하는 열차의 속도와 편성 수, 선로전환기 통과 시 철사쇄정 조건 그리고 건널목 장치에도 적용할 수 있는 기반을 마련하였으며, 향후 철도 신호제어 시스템 전반에 확대 적용하게 되면 열차안전운행에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

Abstract This In the railway signaling system, applications of axle counter in addition to track circuit goes on increasing for detecting train position. Consequently, this paper compares sensor methods of axle counter with between geo-magnetism method and proximity sensor method. And it presents differences and results, to improve reliabilities of train detection and axle counting. Also, this article presents an applied result which is based on field experience, with regard to installation, considering attachment condition of sensor part for accurate axle counting.

This study acquires expandability that is able to perform not only axle counting function but also various other functions (direction detection of train, speed detection of train, and so on). It was a result of a change of design in order to judge phase difference of sensors, to improve reliability of axle counting. Furthermore, it does not subordinate to characteristics (type, weight of train). And it is confirmed that the omission of axle counting was not occurred in 350km/h. This was the result of Lab test after the construction of transfer equipment of trial axle and Test Bed for axle counting. Both of them are self-productions.

Through this, it prepares foundation which is able to apply not only to train detection but also to speed of passing trains, formation number of trains, detector locking condition - when the train passes the section of switch point, and level crossing devices. Furthermore, it would be judged to contribute safety train operation if proximity sensor method applies to the whole railway signaling system from now on.

Keywords : axle counter, train occupancy, proximity sensor, geomagnetic sensor

*Corresponding Author : Jae-Young Park(Woosong Univ.)

Tel: +82-10-5315-3141 email: pjy6573@daum.net

Received June 29, 2015

Revised (1st July 14, 2015, 2nd July 30, 2015, 3rd August 3, 2015)

Accepted August 6, 2015

Published August 31, 2015

1. 서론

Axle counter는 철도선로의 일정구간 입구의 열차 차축수와 출구의 차축수를 계산하여 열차의 유무 및 완전 통과 여부를 확인한 후 판정하는 장치이다.

일반적인 철도구간에서 열차의 점유를 판단하기 위해서는 궤도회로가 설치되었으나, 도시철도 시스템(중량전철, 경량전철 등)에 도입되고 있는 CBTC(Communication Based Train Control)기반의 철도시스템에서는 궤도회로보다 axle counter 적용 사례가 증가하고 있는 추세이다.

Axle Counter는 일정구간(Section)의 입구에서의 차축수와 출구에서의 차축수를 비교하는 것이 가장 기본적인 기능으로 차축수가 동일할 경우에는 정상으로 판단되며, 동일하지 않을 경우 비정상 상태로 판단하여 다양한 안전관련 행위를 취할 수 있도록 지원하는 기능을 가진다.[8]

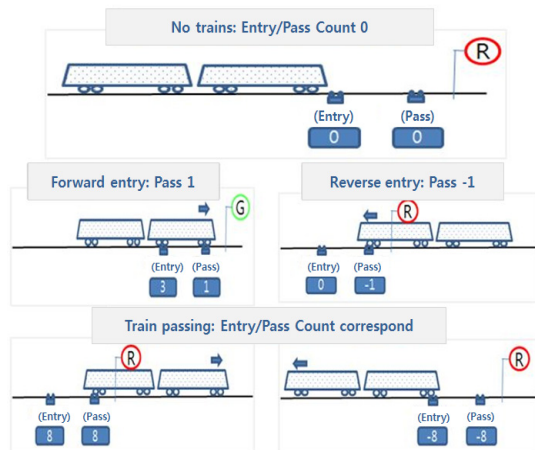


Fig. 1. Principle of Axle Counter

이러한 axle counter의 구성은 레일에 장착되는 차축검지 헤더(센서부)와 차축검지 헤더로부터 입력되는 신호를 axle counter로 장거리 전송하기 위하여 광통신 또는 모뎀 통신기능을 갖춘 차축검지장치로 구성된다. axle counter의 검지 헤더(센서부)는 레일의 내측에 설치되어 열차 차륜의 후렌지를 검지하는 방식이 적용되는 것이 일반적이며, ‘자기 임펄스 발생기 구조’를 가지고 있어 주자석과 부자석으로 구성되어 있다. 임펄스 발생에 의해 열차의 유무를 판단하고 차축을 계산하는 방식

이기 때문에 다양한 외부환경 등으로 인해 검지에 대한 신뢰도가 저하되는 경향이 발생되고 있으며, 안전성을 위해 현장에서 Reset(초기화)해야 하는 문제로 인해 열차운행 및 유지보수에 많은 시간이 소요되고 있는 실정이다.[2]

이에 본 연구에서는 열차검지 및 차축계수의 신뢰성을 높이기 위해 axle counter의 센서 방식을 지자기 센서 방식과 근접센서 방식을 비교하였으며, 그에 따른 차이점과 결과를 제시하고자 한다.

또한, 정확한 차축검지를 위한 센서부의 취부조건등을 고려한 설치에 대해 현장 경험을 기반으로 적용된 결과를 제시한다.

본 논문에서 제시되는 지자기센서 방식과 근접센서 방식은 모두 현장시험을 수행한 결과를 기반으로 기술되었으며 서울메트로 도시철도 차량과 모터카만을 적용한 결과이다.

2. 본론

2.1 Axle Counter Header 비교

본 논문에서는 Axle Counter에 적용되는 센서의 방식을 지자기센서와 근접센서 모두를 적용하여 신뢰성 및 성능시험 결과를 제시한다.

일반적으로 지자기센서의 가장 간단한 것은 자침으로서, 지자기의 방향을 직접 알 수 있을 뿐 아니라, 진동주기로부터 크기를 알 수 있다. 자침 이외에도 보다 감도 높게, 보다 간편하게 지자기를 검출하기 위해서 많은 센서가 개발되고 있다. 회전 코일을 사용한 자기의(磁氣儀), 강자성체의 자기포화 현상을 이용한 포화철심형(fluxgate)자력계, 양성자(proton)의 핵자기 공명을 이용한 양자 자력계, 루비듐이나 세슘 원자의 제만효과를 이용한 광(光) 펄핑 자력계, 초전도현상을 이용한 SQUID 등이 있어 장점을 살려 사용되고 있다.[5]

다른 방식인 근접센서는 검출면에 접근하는 물체, 혹은 근방에 존재하는 물체의 유무를 전자계의 힘을 이용하여 기계적 접촉 없이 검출하는 방식으로 발전회로에서 정파의 고주파를 발진하다가 감지물체가 센서 감지면 근방에 접근하면 발진회로의 발진 진폭이 변화되고 이 변화를 통해 검출하는 방식이다. 이러한 근접센서 방식은 하드웨어의 고장율이 매우 낮으며, 그 활용도가 매우 높은 방식이다.

2.1.1 지자기 센서

지자기 센서가 적용된 Axle Counter Header의 동작 원리는 지구 고유의 N극과 S극을 이용한 자력의 양을 측정하게 된다. 즉 자계장내에 자성 물체가 존재할 경우 자력선의 왜곡이 발생되며, 왜곡은 자계의 크기와 밀도를 증가시키게 되는데 이러한 변화된 양에 의해 열차의 존재를 확인하고 차축을 카운트하게 된다.

지자기 센서를 이용한 Axle Counter header의 시험에 앞서 열차 차륜 하단부 차륜 돌출부(차축 중심부에서 10mm 지점)의 가우스 변화량을 측정한 결과는 아래 Fig.2와 같다.

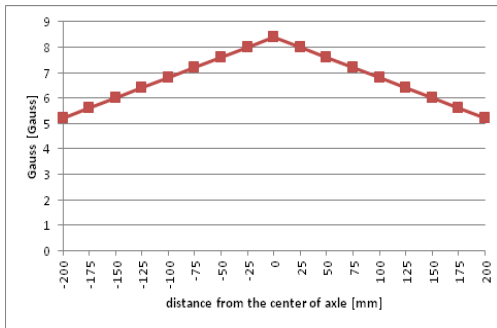


Fig. 2. Gauss according to the center of axled

Fig. 2에서와 같이 차륜과 가장 근접한 중심부에서 가우스 값의 최고치가 도출되었음을 확인할 수 있다.

지자기 센서가 적용된 Axle Counter Header는 열차의 차륜이 Header에 근접(27.5 ~ 36mm)하여 통과할 때까지의 독립적인 하나의 펄스 형태의 파형을 얻을 수 있다. 이렇게 수집된 신호를 처리하여 가공하면 차축검지가 가능하게 된다.

지자기 센서는 Fig. 3와 같이 현장에 설치되어 시험이 진행되었다. 좌측의 그림은 검지를 위한 센서부에 대한 사진이며, 우측의 그림은 선로 내측의 처리부 설치 사진이다.



Fig. 3. Installation of the axle counter header

지자기 센서의 가우스변화량을 측정하기 위해 자체적인 측정프로그램을 적용하여 검지되는 차축의 수와 실시간 가우스변화량을 측정하였다. Fig. 4에서와 같이 정상 검지일 경우 가우스변화량이 동일하게 측정되며, 비정상일 경우에는 가우스변화량이 일치하지 않게 측정되었다.



Fig. 4. Method of Gauss measure

지자기 센서를 이용한 Axle Counter 현장시험 결과 초퍼 차량과 VVVF차량에 대해 시험되었으며, 이에 대한 검지 결과 Fig. 5와 같이 도출되었다.



Fig. 5. Test results of axle detecting(Left:chopper, Right:VVVF)

상기의 결과에서 확인된 바와 같이 열차 차축의 자계 변화량만 존재해야 차축검지가 가능하지만, 지자기 센서는 차량 자체 주변에서 발생하는 다른 차륜이나 차량 자체의 자계 변화량까지 감지하여 정확한 카운트가 이루어지지 않았다.

지자기 센서의 민감도를 조정하거나 노이즈 필터링 기술을 적용하였지만 자계 변화량이 큰 경우로 인해 완

벽한 검지를 수행할 수 없어 적용할 수 없었다.

2.1.2 근접 센서

본 논문에서 칭하는 근접센서란 기계적인 접촉에 의한 검지방식이 아니라 검지하고자 하는 물체가 가까이 근접했을 때 검지 대상 물체의 유무를 판별하는 비접촉 방식의 센서를 일컫는다.[3]

이러한 정의에 따르면 2.1.1절의 자자기 센서도 근접센서라 할 수 있겠으나, 본 연구와 논문에서는 범위에 해당되지 않는 별도의 센서로 정의하였다.

근접센서의 동작원리는 Header(센서) 안의 코일에서 발생하는 고주파 자계 내에 검지물체(자성금속)가 접근하게 되면 전자유도 현상에 의해 근접 물체 표면에 유도전류가 흘러 검지물체 내에 에너지 손실이 발생하게 된다. 패러데이 전자기 유도법칙 공식은 아래와 같다.[6]

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

ϵ : 기전력, N : 전선 감긴 횟수, Φ : 자기선속

이 유도전류에 의해 에너지 손실이 발생하게 되면 검지코일에서 발생하는 발진 진폭이 감쇄 또는 정지하게 되는데, 이 진폭의 변화를 이용하여 검출물체의 유무를 판별하는 것이다.[7]

본 연구에서의 적용된 근접 센서는 센서 외형에 비자성체 재질에 자기진단용 미세하게 특정주파수의 구형파형을 입력하여 자기장을 형성하며, 외부 금속 물체가 근접하면 가우스가 급격하게 변하며 자기진단 파형과 합성되어 출력한다. 전원은 DC24V 입력을 외부에서 받아 DC5V 로 변환하여 센서에 공급하며, 입출력 선로는 양질의 실드선을 사용하여 외부 잡음으로부터의 보호와 전자파 방출하지 않도록 차단한다.

근접 센서의 가장 중요한 요소중의 하나가 검지거리이다. 검지거리는 근접센서 검지의 축을 기준으로 검지물체가 접근하면 센서 검지 출력이 동작하는데, 검지물체의 표면에서 센서의 표면까지의 거리를 검지 거리라고 한다.[8]

본 연구에서 적용된 근접센서의 검지 거리는 센서의 성능한계(15mm~50mm)와 선로의 건축한계를 적용하여 선로와 최대한 평행에 가까운 높이에 해당되는 22mm와 성능한계 최대치인 50mm를 적용하였다.

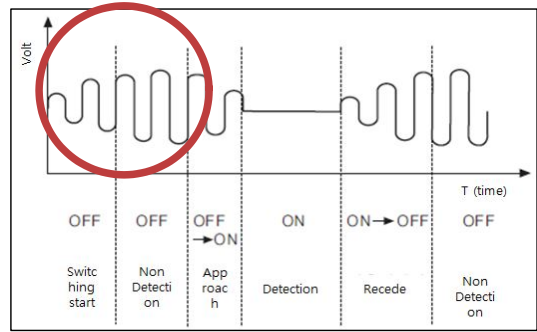


Fig. 6. Principles of the proximity sensor

근접 센서부는 Fig. 7에서와 같이 내부에 전원을 공급받는 전원부와 센서 그리고 케이스로 구성된다.

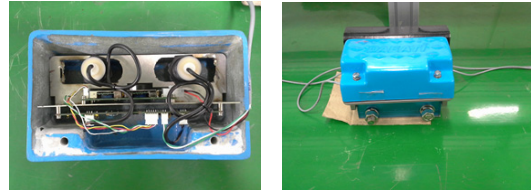


Fig. 7. Proximity sensor

현장시험에 대한 결과 분석을 위해 센서 데이터를 오실로스코프를 이용하여 Fig. 8과 같은 파형(전압 변화치)을 수집하였다.

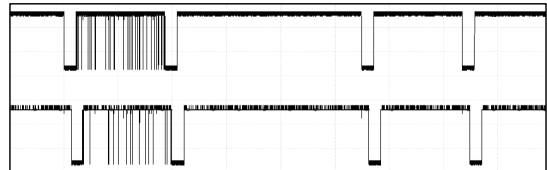


Fig. 8. Output waveform of the detecting header

Fig. 8에서 표기된 원형 안의 파형을 살펴보면 근접센서에서도 열차의 다른 차측 또는 차량에서 발생하는 노이즈가 검지되었음을 확인할 수 있다.

이에 저대역 통과필터를 적용하여 노이즈 신호를 제거한 결과 정확한 차측 데이터만을 추출할 수 있었으며, 데이터의 정확도와 신뢰도가 높아진 만큼 열차의 방향까지도 확인할 수 있었다.

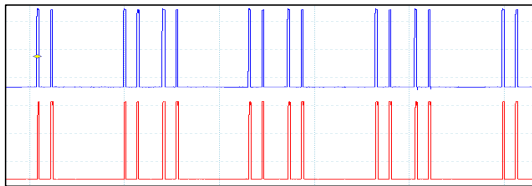


Fig. 9. Output waveform of the detecting header using LPF

시험된 열차 차량은 VVVF차량, GEC 초퍼차량, 멜코 초퍼차량 등이 검지되었으며, 각 차량마다 발생하는 노이즈는 상이하였다. 따라서 이러한 노이즈를 제거할 수 있는 최적의 필터링 기술이 적용되어야 한다.

또한 Axle Counter Header 내부의 근접센서는 아래와 같이 위상차를 검지할 수 있도록 설계/구현되어 검지 출력에 의한 열차의 이동방향을 판별할 수 있다.

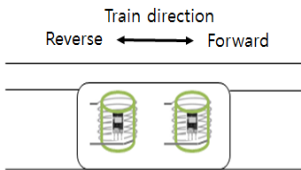


Fig. 10. Move direction decision of Axle Counter

Fig. 10에서와 같이 근접센서의 구성으로 센서 1의 신호가 우선 검지되는 경우 정방향으로 판단할 수 있으며, 반대의 경우 역방향으로 열차의 운행방향을 판단할 수 있다.

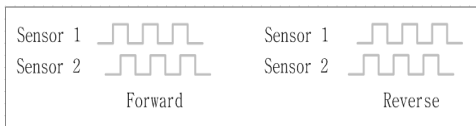


Fig. 11. Move direction decision concept



Fig. 12. Distance of proximity sensor

2.2 설치에 대한 고찰

상기에서 언급한 근접센서가 적용된 차축검지장치를 설치하여 안정적으로 차축검지를 하기 위하여 차축검지 헤더를 설치할 때 고려해야 할 몇 가지 시험 결과들을 기술한다.

2.2.1 차륜의 좌우 롤링 현상

열차가 레일 위를 통과할 때 차륜의 기울기 때문에 레일의 좌우로 롤링을 하게 된다. 이 때문에 후렌지가 좌우로 쏠림 현상이 나타날 수 있다. 이때 후렌지가 센서의 검지 거리를 벗어나게 되면 차축검지헤더는 차륜을 검지하지 못하게 되어 차축계수기는 차축을 놓치게 된다. 이렇게 되면 열차 점유 감시 구간을 열차가 완전히 벗어났는데도 불구하고, 계속 차량 점유 상태로 남게 된다.

유지보수용 차량인 모터카의 차륜 검지 시험을 진행하였다. 모터카의 차륜은 일반 영업차의 차륜과 동일한 사이즈이다. 그러나 트레일러에 있는 차륜의 직경은 다를 수 있다. 시험에서 사용한 트레일러의 차륜의 직경은 350mm이다. 그러므로 직경 860mm과 직경 350mm의 차륜을 동시에 시험한 것이다.

직선 구간에 차축검지헤더를 설치하여 모터카를 운행하면서 레일 차륜의 레일 위에서 좌우 위치와 차축검지헤더의 열차 검지 출력을 모니터링 하였다. 차륜의 직경에 따른 차축 검지 차이는 보이지 않았다. 그러나 직선구간에서도 차륜의 기울기를 갖는 특성으로 인하여, 레일 위를 열차가 항상 일정하게 운행하는 것이 아니고, 좌우로 롤링 하면서 지그재그 운동을 하게 된다.

Fig.13은 모터카를 일시 정지하였을 때 레일밖으로 튀어나온 차륜의 길이를 측정한 것으로 좌우 편차가 심한 것을 알 수 있다.



Fig. 13. Axle range out of rail

본 연구에서는 차륜의 후렌지 영역을 하단에서 검지하거나 차륜의 레일 밖으로 튀어나오는 영역을 검지하여 차축검지를 하기 위해 레일 양측에 센서를 설치하여 차축검지 신뢰도를 향상시켰다.



Fig. 14. Installation axle counter sensor

2.3 차축검지 시험 결과

근접 센서를 적용한 검지장치를 2.2절에서 기술한 바와 같이 레일 양측에 설치한 후, 1차적으로 모터카를 이용하여 차축검지 시험을 수행하였다. Fig.15의 좌측그림은 차축검지에 대한 시험결과로서 진입측 검지(파란선)와 통과측 검지(빨간선)에 대해 총 100회 반복적인 시험을 수행한 결과 100% 검지되었다. 우측그림은 열차 점유상태를 확인한 시험결과로서 열차가 진입된 이후 검지 여부를 확인하여 100% 검지결과를 도출하였다.[4]

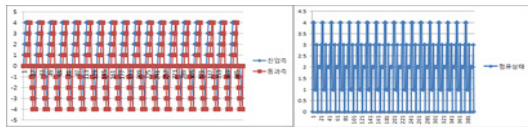


Fig. 15. Results of Axle counting

3. 결론

본 논문은 최근 국내 철도신호시스템 적용 사례가 증가하고 있는 Axle Counter의 센서에 대한 연구내용을 제시하였다.

연구 진행된 Axle Counter의 센서는 지자기 센서와 근접 센서이며, 우선적으로 고려된 지자기 센서는 주위 환경의 영향으로 차축을 판단하기 어려울 정도의 노이즈로 인해 실제 적용이 어려웠다. 이에 근접센서로 변경한 결과 정확하게 차축을 검지할 수 있었으나 철도차량의

좌우 롤링현상으로 인해 부정확하거나 누락되는 경우가 발생함을 확인하였다. 이에 기존의 선로 한쪽에 센서를 설치하는 방식과 달리 롤링현상에 대응할 수 있도록 선로 양측면에 근접센서를 이중화함으로써 차축검지의 정확도를 대폭 향상시켰다.

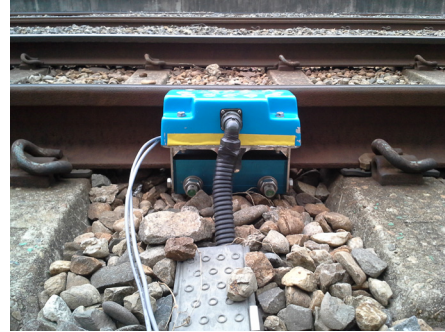


Fig. 16. Axle counter sensor

이러한 센서의 위상차를 판단할 수 있도록 설계 변경한 결과 차축검지 기능뿐만 아니라 다양한 기능까지(열차의 방향검지, 열차속도검지 등) 수행할 수 있는 확장성을 확보하였다. 또한 열차의 종별, 무게 등의 특성에 중속되지 않았으며, 자체적으로 제작한 차축검지를 위한 모의차축 이송장치와 Test Bed를 구축하여 Lab. 테스트를 수행한 결과 350km/h의 속도에서도 차축 검지의 누락이 발생하지 않았음을 확인하였다.



Fig. 17. Imitation axle moving system for test



Fig. 18. Test Bed for Axle Counter test

본 연구에서는 기존의 방식에서 적용된 자기 임펄스 방식과 지자기 방식에서 나타난 차축검지의 신뢰성을 대폭 향상시킬 수 있는 근접 센서 방식을 적용하였으며 이에 대한 현장시험 결과 또한 매우 우수함을 확인할 수 있었다. 이를 통해 열차의 검지뿐만 아니라 통과하는 열차의 속도와 편성 수, 선로전환기 통과시 철사쇄정 조건 그리고 건널목 장치에도 적용할 수 있는 기반을 마련하였으며, 향후 철도 신호제어 시스템 전반에 확대 적용하게 되면 열차안전운행에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Gong Jian, "Application of Electronic Axle Counter Equipment in Engineering, Railway Signalling & Communication, 2011-06
- [2] I.C Yeo, S.C Noh, Y.H Kim "Shape optimization of the train wheel detecting sensor according to a magnetic field gradient", The Korean society for Railway, 2014.
- [3] JJ Yoo, DH Kim, JH Park "Design and Implementation of Auto-Mobile Detection and Speed Calculation Algorithm using Magnetic Sensor Node" KIISE 2010.
- [4] R&D Project, "Developed for extra signal systems to prevent accidents caused by driving the train manually" Final Report, 2014.
- [5] SH Son, HS Shin, BH Song, JY Jung "Traffic Flow Modeling using Magnetic Sensor based Vehicle Detection System and R, KIISE 2013.
- [6] SY Jo "Biaxial Accelerometer-based Magnetic Compass Module Calibration and Analysis of Azimuth Computational Errors Caused by Accelerometer Errors" Institute of Control, Robotics and Systems 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2014.13.9008>
- [7] TY Kim, CJ SO "On-line Magnetic Distortion Calibration Method for a Magnetometer" Institute of Control, Robotics and Systems 2012.
- [8] Y.T Kim, "Railway Signalling Control System" Tech Media, 2003.

박 재 영(Jae-Young Park)

[정회원]



- 1996년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 (공학박사)
- 1970년 2월 ~ 2004년 12월 : 철도청 서울신호제어사무소장
- 2005년 1월 ~ 2007년 2월 : 한국철도공사 오송고속철도전기사무소장
- 2007년 3월 ~ 2015년 5월 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측

최 진 우(Jin-Woo Choi)

[정회원]



- 1985년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 졸업
- 2013년 2월 : 우송대학교 철도대학원 철도전기정보통신공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 박사과정 재학
- 1990년 1월 ~ 1999년 12월 : LG 산전
- 2000년 1월 ~ 현재 : 대이티아이(주) 대표이사
- 2004년 6월 ~ 현재 : 한국철도대학 산학협력단 산학협의회 위원
- 2004년 7월 ~ 현재 : (사)한국도시철도협회 이사
- 2012년 2월 ~ 현재 : SW공제조합 이사

<관심분야>

RAMS, CBTC, 안전관제