

이종 철도신호시스템을 위한 기존 자동열차정지 연동로직의 보완

정락교¹, 김백현^{1*}, 강석원¹, 변윤섭¹, 박건원²
¹한국철도기술연구원, ²서울메트로

Complement of the Interlocking Logic of ATS for Heterogenous Railway Signaling Systems

Rag-Gyo Jeong¹, Baek-Hyun Kim^{1*}, Seok-Won Kang¹, Yeun-Sub Byun¹,
Geon-Won Park²

¹Korea Railroad Research Institute

²Seoul Metro

요약 철도 신호시스템은 철도의 건설·운영 경험을 토대로 안전성 및 유지보수성을 극대화할 수 있도록 발전해 왔다. 전기적으로 궤도를 일정구간별로 구분하여 제어하는 폐색기반의 차량간격 제어를 통해 시스템의 안정적인 운영을 도모함과 동시에 효율적인 운영을 위한 시스템의 모니터링 강화가 지속적으로 이루어 졌다. 운영환경의 변화에 맞게, 기존의 ATS(Automatic Train Stop) 시스템과 새로운 ATP/ATO(Automatic Train Protection/Automatic Train Operation) 시스템이 병행으로 운영 중에 있다. 신호시스템을 병행 운영함에 있어서, 기존 ATS시스템은 잦은 신호설비의 개량으로 인해 연동도표 및 로직의 조건에 대한 보완이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 이종 신호시스템 중 기존 ATS시스템의 연동조건 및 보완개선을 통해 시스템 안전성 및 운영 효율성을 도모하였다. 신호기 ON/OFF으로 반대선 신호에 영향을 주지 않도록 신호현시의 점유 조건이 추가되었으며, 위치 및 쇄정에 대한 추가적 변경으로 보안성을 향상시켰다. 또한 불필요한 조건을 삭제하고 세분화된 신호현시를 생성하여 열차의 접근성을 향상시켜 운영 효율성을 향상시켰으며, 한층 강화된 시스템으로 운영할 수 있도록 개선하였다. 이와 같은 활동을 통해 기존 ATS시스템의 잦은 신호설비의 개량으로 인한 연동도표 표기와 관련한 보완사항을 개선하였으며, 열차의 안전운행과 밀접한 보안도 향상 측면에 있어서의 뚜렷한 효과를 얻었다.

Abstract The railway signaling system has evolved to maximize its safety and maintainability based on the experiences in the construction and operation of railway systems. The newly developed systems was established to cope with the changes in an operating environment. In the process of a transition to the new system, both the existing ATS (Automatic Train Stop) and new ATP/ATO (Automatic Train Protection/Automatic Train Operation) systems are operating simultaneously in parallel. In this situation, modifications of the conditions of the interlocking diagram and logic are necessarily required on the existing ATS systems due to the frequent improvements in signaling equipment. This paper reports the enhancement of safety and operational efficiency of the system through an improvement of the security and the interlocking conditions of the existing ATS systems. The independent display of signals for each track was ensured to avoid giving the effect of On/Off signals for the selected track on the opposite side, and the security was improved by adjusting the position and interlocking conditions. In addition, the increased traffic density of railway systems was achieved by removing the unnecessary conditions and detailed signal display, which resulted in enhanced operational efficiency

Keywords : ATO(Automatic Train Operation), ATP(Automatic Train Protection), ATS(Automatic Train Stop), Interlocking Logic, Railway Signaling

본 논문은 한국철도기술연구원“수요응답형 순환교통시스템(PRT) 핵심기술개발” 과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Baek-Hyun Kim(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5443 email: bhkim@krri.re.kr

Received September 1, 2016

Revised (1st September 22, 2016, 2nd October 5, 2016)

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

1. 서론

철도 신호시스템은 철도의 건설·운영 경험을 토대로 안전과 운영 유지보수의 편리성을 극대화할 수 있도록 발전해 왔으며, 아울러 경제성을 확보하기 위한 다양한 활동이 진행되어 왔다. 특히 전기적으로 궤도를 일정구간별로 구분하여 제어하는 폐색기반의 차량간격 제어를 통해 시스템의 안정적인 운영을 도모함과 동시에 효율적인 운영을 위한 시스템의 모니터링 강화가 지속적으로 이루어 졌다. 최근, 기술의 발달에 따라 신호시스템의 모니터링 기능뿐만 아니라, 자동방호와 자동운전으로 열차 운영의 효율성을 높이는 새로운 기술과 기법들이 개발되었다. 더불어, 통신기술과 역 설비장치가 포괄 연계되어 열차 운영에 필요한 정보 및 승객이 이용할 수 있는 정보를 바탕으로 승객의 이동 편리성을 향상시키는 추세로 진화하고 있다. 또한, 수송력의 증가와 시스템의 노화 해소와 같은 근본적인 해결방안을 모색하기 위하여, 운영 환경의 변화에 맞게 새로운 시스템의 도입이 진행되고 있고, 기존의 시스템과 새로운 시스템이 혼용되어 시스템 구축이 이루어져 운영 중에 있다.

이에 국내도시철도에서도 30여 년간 운영되어 온 서울메트로 2호선에서 기존 신호시스템에 새로운 신호시스템을 부가하여 중첩하여 혼용하도록 구성되어졌다. 기존 신호시스템인 ATS(Automatic Train Stop, 자동열차정지)에 ATP/ATO(Automatic Train Protection/Automatic Train Operation, 자동열차보호/자동열차운전)을 새롭게 설치하여 한층 안전성을 강화한 ATC(Automatic Train Control, 자동열차제어)시스템으로 개선하였으며, 기존 차량과 신규차량이 공존하는 시스템으로 모든 기존차량의 수명이 다하면 궁극적으로는 ATC 시스템으로 자연스럽게 절체 된다. ATC시스템은 차상신호방식(Distance to Go)으로 열차 운전이 기관사의 개입을 최소화하는 자동운전 구현과 조밀한 차량간격제어가 가능하도록 구현되어 열차운영의 효율과 안전성이 극대화되도록 한다.

시스템의 중첩사용에 따른 기존 시스템(ATS) 또는 새로운 시스템(ATP/ATO) 간의 주파수 간섭에 따른 영향여부를 실제 적용현장에서 시험으로 확인하였다[1~4]. 또한, 시스템 교체 및 운영 환경을 고려한 운영시나리오 작성과 운영사례의 분석을 통하여 타당성 및 효과를 입증하였다. 더불어, 이중시스템의 운영에 따라 기존 시스템의 신호현시에 영향을 주어 오동작을 야기하는 인

자를 분석하여, 역간정보 인터페이스를 실선으로 연결하여 신뢰성을 증대시켰고,궤도정보처리의 점유/비 점유를 상태를 개선하여 시스템이 안전측으로 동작하도록 실현하였다[5~7]. 이중 신호시스템의 운영에 따른 기존 ATS시스템의 지속적이고 잦은 신호설비개량으로 ATS 연동도표 표기와 관련하여 보완이 필요하였으며, 본선 분기부 장내 진입시 반대선 진로상황에 따라 신호현시가 영향을 받을 수 있음에 따라 노선 전체에 대한 전수조사 및 개선을 통한 신뢰성과 안전성, 운영효율성 강화가 필요하였다. 이에 본 논문에서는 신호기 ‘ON/OFF’에 대한 개선책으로 반대선 신호의 영향을 신호현시의 점유조건으로 추가하였고, 위치, 쇄정 추가 및 변경 등의 조건 강화를 통한 보안도 향상을 도모하였다. 또한 안전성 검토를 통해 신호현시의 세분화와 더불어 불필요한 조건의 삭제 및 완화로 효율성을 극대화할 수 있도록 열차 접근성 향상을 도모하였다.

2. 이중 철도 신호시스템의 혼용

기존 ATS 철도 신호시스템은 철도의 건설·운영 경험을 토대로 안전과 운영 유지보수의 편리성을 극대화하기 위한 방향으로 확대 발전해 왔다. 다음 표 1의 기존 ATS 시스템 및 개량 ATP/ATO 시스템 비교와 같이, ATS 시스템은 속도중심제어로 열차안전확보 거리와 열차간 운행간격이 크고, 제동은 단단계 수동감속으로 Free, 80, 60, 40, 25, 0km/h의 단계로 이루어진다. 이에 반해 개량 ATP/ATO시스템은 거리 중심 제어로 상호안전거리 확보와 열차간 운행간격이 짧은 고밀도 운전이 가능하며, 자동감속으로 한 번에 제동이 이루어진다. 또한, 탄력적 열차운영 및 고밀도 운전으로 선로용량 증대 및 열차운행효율 향상을 도모할 수 있으며, ATO 시스템

Table 1. Comparison between existing ATS and new ATP/ATO railway signaling system

	existing ATS	new ATP/ATO
Control	<ul style="list-style-type: none"> • Speed step method - absolute safety distance - large headway 	<ul style="list-style-type: none"> • Distance to go method - relative safety distance - high density operation
Brake	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-level manual deceleration - Free, 80, 60, 40, 25, 0km/h 	<ul style="list-style-type: none"> • On-step automatic deceleration - Current speed to 0km/h
Effects	<ul style="list-style-type: none"> • Improvement of transport capability by flexible operation • Increment of track capacity by high density operation 	

의 채택으로 자동운전 또는 1인 운전가능이 가능해지는 효과를 얻을 수 있다.

현재 서울메트로 2호선의 신호시스템은 기존 TTC에 의해 현장설비가 제어되는 방식으로 운영되고 있으며, 신규 TTC는 기존 TTC와는 별도의 통신라인을 설치하여 운영하고 있다. 모든 열차에 차상 ATP/ATO 장치가 설치되기 전까지는 기존 TTC와 신규 TTC가 동시에 운영될 계획이다. 그림 1과 같이 기존 ATS 열차와 신규 ATP/ATO 열차를 동시에 운영하기 위해, TTC 설비는 기존의 ATS 장치를 위한 진로와 신규 ATC 장치를 위한 진로를 동일하게 설정한다. 이는 기존 TTC와 신규 TTC 설비간 진로제어 및 열차운행 스케줄 등의 정보를 공유하여, 동일한 진로가 설정되도록 함으로써 가능하다.

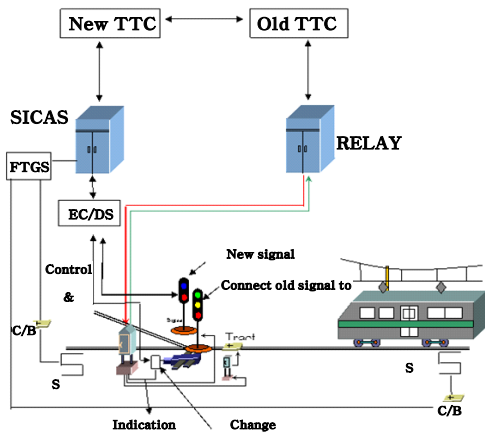


Fig. 1. Overlapping use of existing and new TTC facilities

기존 TTC 설비에서 진로를 제어하는 경우에는 반드시 신규 TTC 설비에 진로제어 정보를 전송하여, 설정하고자 하는 방향으로 선로전환기가 선행되어 설정되도록 하고 있다. 이는 선로전환기 제어가 신형 연동장치에서만 설정이 가능하고, 기존 연동장치는 선로전환기의 상태 정보만 공유하여 연동로직을 구성하기 때문이다. 안전운행 확보를 위하여 운전사령은 현장설비 제어 후, 기존설비와 신규 설비간 표시정보를 확인하며, 시스템에서 출력되는 알람정보에 주의하여야 한다. 신규 TTC 설비는 기존 TTC 설비로부터 현장 설비의 선로전환기 및 궤도회로 등과 관련된 상태정보를 수신하여 저장된 정보와 비교하고, 만일 정보가 불일치하는 경우에는 운전사령에게 알람을 전송한다.

서울메트로 2호선은 자동열차정지장치로 신호시스템(그림 2의 좌측부분 참조)을 구축·개통하여 본격적인 지하철 안전운행 시대를 열었으며, 30여 년간 열차 안전운행에 기여하였다. 그러나, 장기간의 사용에 따른 장치 노후화에 대한 방안 및 열차의 운행효율 향상을 위하여 신호시스템의 개량이 요구되어졌으며, 2006년에 이르러 자동열차운전(ATO)기능을 지원하는 차상신호장치가 기존의 지상신호장치에 중첩되어 설치되었다(그림 2의 우측 부분 참조). 기존 ATS시스템과 연동되는 모든 차량이 내구 연한을 넘겨 폐기 될 때까지 상이한 두 종류의 신호시스템은 중첩 설치되어 병행으로 운영된다.

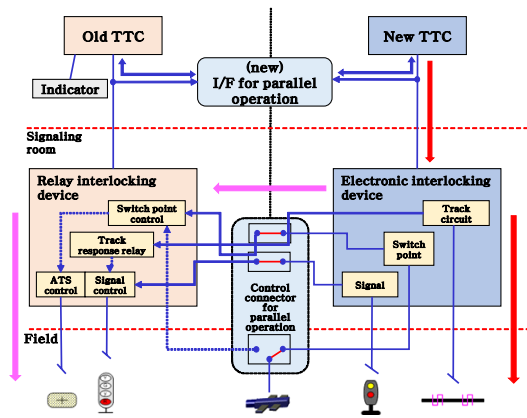


Fig. 2. Diagram of overlapping railway signal systems

3. ATS 연동도표 및 개선

기존 ATS 시스템과 신규 ATP/ATO 시스템을 혼용함에 있어서, 기존 ATS시스템은 갖은 신호설비의 개량으로 인해 연동도표 표기와 관련한 보완사항이 발생하였다. 또한, 본선의 분기부 구역에서 장내 진입시 반대선의 진로 상황에 따라 신호현시가 영향을 받음에 따라 연동로직의 조건에 대한 수정이 필요하게 되었다. 아울러 ATS 연동도표의 조건내용을 정확하게 파악하여 수정하고, 변경된 연동조건이 연동도표에 적용되었는지 전수확인 필요하게 되었으며, 구현된 기능은 도면에 명기할 필요가 있었다.

첫 번째 연동도표 개선 유형은 신호기 ‘on/off’ 개선으로 반대편 신호에 의한 영향을 개선하였다. 그림 3에서와 같이 ‘2RB’는 반대선의 ‘6H’ 진로 취급으로 오버

랩 케도가 점유되고, '201AT' 케도에 열차가 점유시 연관성이 없는 반대선의 '2RB' 신호기에 Y(주의) 상태로 현시되었다가 열차가 통과한 후 R(정지) 상태 현시로 신호가 영향을 받았다.

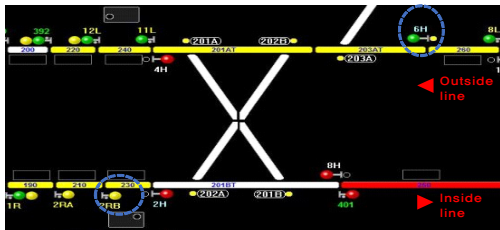


Fig. 3. Indication of signal interference effect on the other side track of 2RB

신호기를 개선하기 전에는 다음 그림 4의 연동조건에 나타난 바와 같이 반대편 신호에 의한 선로전환기 쇄정으로 '2RB'의 쇄정조건을 만족해야만 신호가 현시되었다. 개선 방법으로는 '210T' 점유 조건을 추가하여 신호기 외방에 열차가 접근하는 시점에 신호가 현시되도록 하였다.

210T(2RAT)-230T(2RB)	CAUTION	2RB	202 201	230T(2RBT) 201BT
----------------------	---------	-----	---------	------------------

(a)

210T(2RAT)-230T(2RB)	CAUTION	2RB	202 201	230T(2RBT) 201BT	210T
----------------------	---------	-----	---------	------------------	------

(b)

Fig. 4. Interlocking conditions reformed for 'on/off' signal indication
(a) Before reformation (b) After reformation

그림 5는 '2RB' 반대선 신호의 영향을 개선하기 위해 '210T(오버랩 케드)' 점유조건을 추가하여 오버랩 케드 점유에 의한 선로전환기 쇄정시에만 신호가 현시되도록 수정하였다.

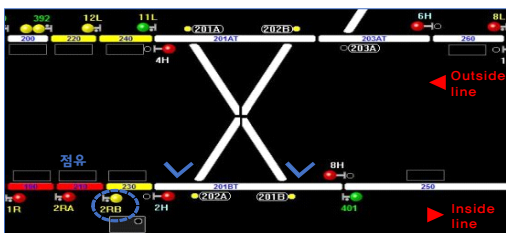


Fig. 5. Indication of reformed signal on the other side track of 2RB

두 번째 개선 사항은 열차의 위치, 쇄정 추가 및 변경 등과 조건 강화를 통해 보안도의 향상을 도모하였다. 개선이 필요한 사례를 살펴보면, 다음 그림 6과 같이 202 선로전환기가 고장으로 불일치하는 상태에서도 ATS 열차가 출발되는 상황이 발생할 수 있으며, Y선 출고시에 10D와 마주하며 역방향으로 현시되는 문제점이 있다.

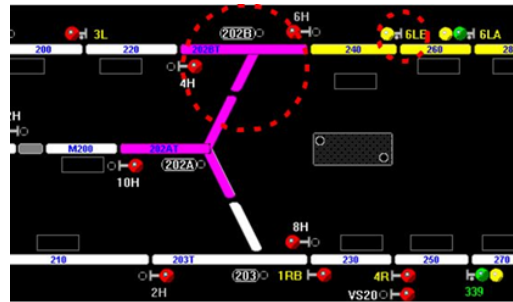
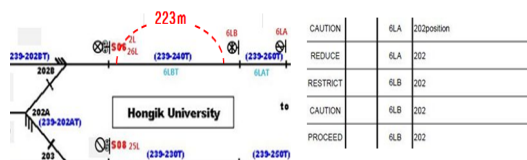


Fig. 6. Inconsistency of railway switch-point(#202)

그림 7 (a)는 쇄정 및 위치조건이 없는 개선전의 조건을 나타낸 것이고, 그림 7 (b) 좌측의 6LA CAUTION (주의)는 6LB에서 비상제동시의 열차의 제동에 필요한 거리는 98m이며, 케도블록의 길이가 223m으로서 제동에 충분한 거리를 확보하고 있으므로 202 Position (위치 조건)을 추가하고 6LB는 202 쇄정을 추가하였다.

6LA	Auto	
6LB		

(a)



(b)

Fig. 7. Enhancement of railway interlocking security
(a) Before enhancement (without interlocking condition)
(b) After enhancement (with interlocking condition)

그림 8에서와 같이 선로전환기가 불일치되는 상태에서 신호 현시되는 현상을 개선하였고, Y선 출고시에 10D와 마주하며 현시되는 현상을 개선하였다.



(a)



(b)

Fig. 8. Enhancement of signaling condition
(a) Indication of position condition
(b) Indication of interlocking condition

세 번째 개선 사항은 효율성 향상 측면에서 안전성 검토를 통한 불필요한 조건 삭제 및 완화로 열차의 접근성 향상을 도모하는 방안으로, 그림 9에서와 같이 ATS 시스템과 ATO 시스템의 신호체계 상이로 인해 평상시 ‘R(정지)’로 표시되는 불필요한 궤도조건으로 열차의 접근성이 저하시키는 현상을 개선하기 위한 방안이다.

RESTRICT	286	18H	286T 284T	Traffic Light Ahead
CAUTION			286T 284 CAUTION	
REDUCE			286T 284 REDUCE	

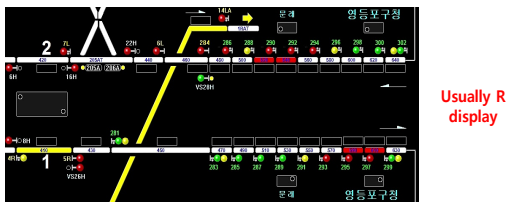


Fig. 9. Display of forward signal according to unnecessary track condition

이를 해결하기 위한 방안으로, 그림 10에서와 같이 CAUTION(주의) 480T 460T로 궤도조건을 완화하여 평상시 ‘Y(주의)’로 표시되도록 개선하였다.

CAUTION	286		480T(286T) 460T(284T) or VS28(284) RESTRICT
PROCEED			480T(286T) VS28(284) REDUCE

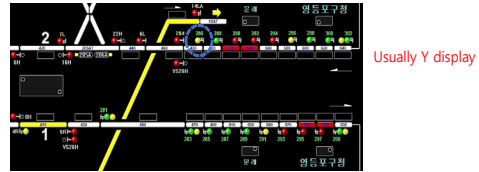


Fig. 10. Enhancement of signal(Y) indication by mitigation of interlocking condition

네 번째 개선 방안으로 후방신호기 연동과 신호 현시 세분화의 방법으로 열차 접근성을 향상시켰다. 그림 11에 나타난 바와 같이 개선전에는 ‘204BT 8LT 203AT’의 세 개의 궤도 조건으로 하위신호 없이 PROCEED를 현시한다. 그림 14에서는 2개 궤도회로 방호조건으로 신호를 생성하고 8L전방 6A, D 현시조건 포함하여 ‘Y(주의)’를 현시하여 열차의 접근성을 향상시킨 것이다.

PROCEED	7L	16H (16A)	204 205	204BT 8LT 203AT
D				

(a)

Signal Generation by protecting condition of 2 track circuits

CAUTION	시	16A(7L)	204 205	204BT 260T(8LT) or 8L RESTRICT	CAUTION creation (relay interlocking restore)
PROCEED	시	16A(7L)	204 205	204BT 8L PROCEED	

(b)

Fig. 11. Enhancement method by generating signal condition
(a) Before enhancement (b) After enhancement

그림 12에 나타난 바와 같이 CAUTION 신호가 현시되어 한 개 궤도의 열차 접근성을 향상시켰으며, 전방 8L 현시 조건의 추가로 PROCEED 조건을 강화하도록 개선하였다.

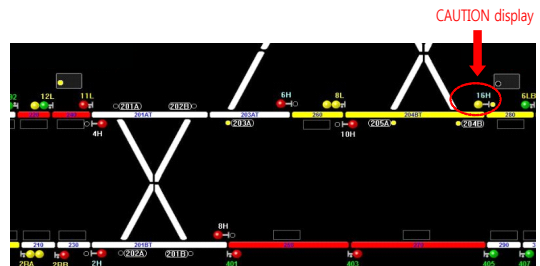


Fig. 12. Enhancement of signal indication

신호시스템의 중첩사용에 있어서 기존 ATS 연동로직에 대한 개선으로 인한 효과를 살펴보면, 보안도 향상 42건, 신호기 on/off 개선 14건, 효율성 향상 6건, 후방신호기 연동 4건, 신호현시 생성 2건의 순으로 열차의 안전운행과 밀접한 보안도 향상측면에 있어서의 뚜렷한 개선 효과를 보였다.

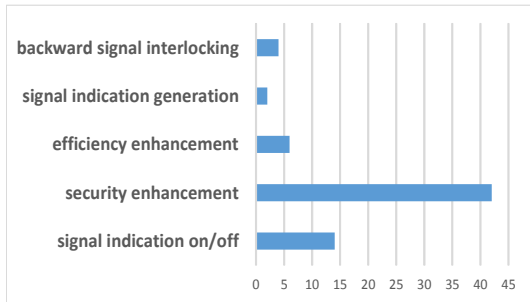


Fig. 13. Reformation of interlocking logic of ATS for heterogenous railway signaling systems

4. 결론

철도신호시스템의 운영에 있어서 보안도 및 안전도를 향상시키기 위해서는 전체적으로 단일 시스템으로 교체하여 사용하는 가장 좋은 방법이다. 다만, 운영 현장조건에 적합하게 상이한 시스템을 중첩 설치하여 병행으로 사용하다가, 전체적으로 신규 시스템으로 대체하도록 진행하는 것이 일반적이다. 기존 시스템을 완전히 폐기하는 단계에서는 신규 시스템에 대한 문제는 크게 우려할 사항이 아니며, 기존 ATS 시스템을 한층 강화된 시스템으로 활용하기 위한 방안이 요구된다. 본 연구에서는 이중 신호시스템 중 기존 ATS시스템의 연동조건 및 보안 개선을 통해 궁극적으로 시스템 안전성 및 운영 효율성을 도모하였다. 신호기 ON/OFF으로 반대선 신호에 영향이 가지 않도록 신호현시의 점유조건을 추가하였고, 위치, 쇄정 추가 변경으로 보안성을 향상시켰다. 또한 불필요한 조건을 삭제하고 세분화된 신호현시를 생성하여 열차의 접근성을 향상시켜 운영 효율성을 향상시켰으며, 한층 강화된 시스템으로 운영할 수 있도록 개선하였다.

References

- [1] R. G. Jeong et al., "Railway Signalling System between New ATP/ATO System and Conventional System Compatibility Review for Seoul Metro 2 Line", *Korea Railroad Research Institute R&D Report*, Nov. 2008.
- [2] R. G. Jeong, B. H. Kim, J. K. Kim, Y. K. Kim, "An Analysis of Parameter for Re-signal System", *Autumn Conference of the Korean Society for Railway*, Oct. 2008.
- [3] R. G. Jeong, B. H. Kim, E. J. Jeong, "A Study on the Interference of Harmonic Frequency during the Change of Urban Transit's Signalling Systems", *Journal of academia-industrial technology*, vol. 11, no. 2, pp. 469-475, Feb. 2010.
- [4] Y. H. Kho, S. H. Yoon, K. H. Choi, "Analysis of EMI Between Overlapped Railway Signalling Systems and Its Countermeasure", *Trans. of the KIEE*, vol. 58, no. 6, pp. 1116-1122, June 2009.
- [5] K. H. Choi, Y. H. Kho, S. H. Yoon, "A Study on the EMI between ATS and ATP/ATO System", *The Korean Society of Automotive Engineers, Con.*, 2009
- [6] R. G. Jeong, B. H. Kim, S. W. Kang, Y. H. Kho, "Study on the Design of Operation Scenario for Replacement of a Railway Signaling System", *Korean Institute of Electrical Engineers, Con.*, vol. 63, no. 8, pp. 1064-1025, Aug. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.8.1064>
- [7] R. G. Jeong, B. H. Kim, S. W. Kang, Y. H. Kho, "Prevention of the malfunction of the ATS signaling system by parallel operation with ATC", *Korean Institute of Electrical Engineers, Con.*, vol. 64, no. 7, pp. 1019-1025, Jul. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.7.1019>

정 략 교(Rag-Gyo Jeong)

[정회원]



- 2005년 2월 : 인하대학교 전기공학 과 (공학박사)
- 1990년 12월 ~ 1994년 12월 : 한진중공업 사원
- 1995년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>
전기전자, 열차제어

김 백 현(Baek-Hyun Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>
전자통신, 열차제어

박 건 원(Gun-Won Park)

[정회원]



- 1995년 2월 : 충주산업대학교(학사)
- 2016년 2월 : 서울과학기술대학교 철도전문대학원(공학석사)
- 1995년 1월 ~ 현재 : 서울메트로 신호 차장

<관심분야>
열차제어, 정보통신

강 석 원(Seok-Won Kang)

[정회원]



- 2012년 5월 : 미국 Texas A&M University at College Station 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 1월 ~ 2008년 7월 : 르노삼성자동차 중앙연구소 사원
- 2012년 5월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>
N/MEMS, 마이크로 열전달

변 윤 섭(Yeun-Sub Byun)

[정회원]



- 2012년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>
전기전자, 자동제어