

# 하이브리드 궤도회로를 이용한 지하철 정위치정차에 대한 연구

정호형\* · 고양옥\*\* · 이창룡\*\*\* · 이기서\*\*\*\*

Study on Precise Positioning using Hybrid Track Circuit system in Metro

Ho-Hung Jung\* · Yang-Og Ko\*\* · Chang-Long Li\*\*\* · Key-Seo Lee\*\*\*\*

## 요 약

본 논문에서는 하이브리드 궤도회로를 이용한 정위치 정차시스템에 대한 가능성에 대해 연구하였다. 하이브리드 궤도회로는 UHF대역의 RFID시스템을 이용하고 실시간 운영체제를 기반으로 철도차상시스템과의 통신이 가능한 차세대 철도신호시스템의 한 부분이다. 본 논문에서 사용된 UHF대역 RFID 시스템은 원형편파의 태그와 리더 안테나가 사용되고 일체형 리더기는 송신출력 25dBm에서 우수한 인식회수를 얻었다. 현재 수동 운행중인 지하철 차량에 이 시스템을 적용하여 정위치 정차를 하게 되면 기존 수동운전에서 기관사의 실수로 역을 지나거나 PSD(Platform Screen Door)와 열차출입문이 Mismatch 되는 현상을 방지할 수 있다.

## ABSTRACT

We have studied on the possibility of precise positioning using hybrid Track Circuit system. Hybrid Track Circuit uses RFID which replaces UHF. Hybrid Track Circuit is a part of next generation railroad signal system which is available to communicate with a railway on board system based on a realtime operating system. If applicate on a current hand operating subway, phenomenon caused by driver's mistake such as passing a stop without stopping or mismatch error between PSD and train door should be prevented.

## 키워드

Precise Positioning, Railway Signal, Hybrid Track Circuit, RFID  
정위치 정차, 철도신호, 하이브리드 궤도회로, RFID

## 1. 서 론

철도운영의 핵심인 열차속도 향상과 안전거리확보를 위하여 궤도회로는 절대적으로 필요한 설비이다. 하지만 국내철도 궤도회로방식과 열차제어방식은 운영기관마다 다양한 설비를 구성하고 있으며, 과도한

설비로 인하여 유지보수 포인트가 많고 시스템 이해와 보수자 노력이 수명주기 동안 요구되어 시스템 관리에 어려움을 호소하고 있다. 또한 안전성 확보라는 명목하에 도시철도를 운영하는 기관에서는 전량 해외 시스템에 의존하기도 한다. 이러한 결과로 해외기술에 종속되어 시스템 추가 또는 예비품 구매 시 고가의

\* 교신저자 : 서울메트로 기술연구원(metro2line@daum.net)

\*\* 서울메트로 기술연구원

\*\*\* 광운대학교 대학원 박사수료

\*\*\*\* 광운대학교 로봇학부 교수

접수일자 : 2013. 02. 19

심사(수정)일자 : 2013. 03. 15

게재확정일자 : 2013. 03. 22

예산이 필요하기도 하다. 국내에서는 교류전철화구간에서는 임펄스궤도회로, 도시철도에서는 AF(Audio Frequency)궤도회로를 많이 사용하고 있으며, 고속철도에서는 UM(Universal Module)71궤도회로를 사용하고 있다. 위와 같은 궤도회로는 고정폐색(Fixed Block)방식으로 사용되고 있다. 궤도회로를 구성하기 위해서는 초기투자비가 과다하게 요구되는데 이는 운영을 시작하면서 기관의 부채로 작용하여 투자비 회수에 많은 어려움이 예상된다.

따라서 본 논문에서는 국내기술로 개발되고 있는 가상이동폐색방식의 하이브리드 궤도회로를 이용한 시뮬레이션 환경을 구성하여 RFID안테나와 태그 기술을 이용하여 기존 지하철 정위치 정차 방안과 비교하여 분석하고자 한다[1-2].

## II. 관련연구

### 2.1. 하이브리드 궤도회로

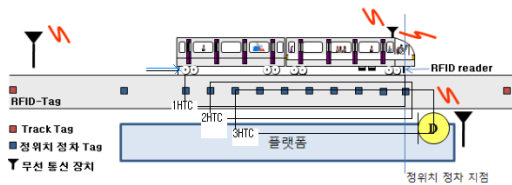


그림 1. 하이브리드 궤도회로 시스템  
Fig. 1 Hybrid track circuit system

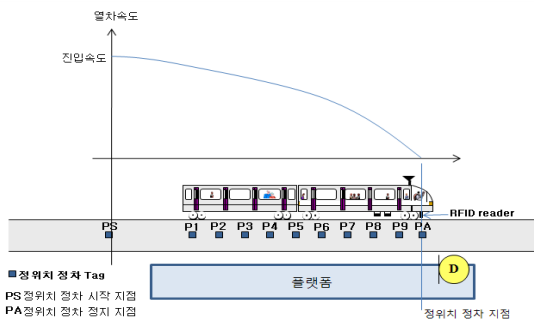


그림 2. 열차속도 프로파일  
Fig. 2 Train velocity profile

하이브리드 궤도회로 시스템은 철도신호시스템에서

궤도회로에 대응되는 부분으로서 궤도회로의 가장 기본적인 위치검지기능을 탑재하고 유도루프코일, 엑슬 카운터, 발리스, 타코미터와 같이 가상블록을 소프트웨어적으로 구현하여 정위치 정차 기능과 같은 철도 신호시스템에서 이슈화가 되어 있는 부분을 해결할 수 있다. 이 시스템은 전방과 후미에 각각 900MHz의 특수 안테나를 설치하여 침묵위의 Passive태그를 읽기, 쓰기 하여 시스템의 기능을 수행한다. 또한 기존의 ATO(Automatic Train Operation)/ATP(Automatic Train Protection)시스템과 연동이 되어 기존에 운행 중인 차량, 현재 개발하고 있는 차세대 전동차 시스템에도 설치가 가능하다[3].

그림 1, 2와 같이 하이브리드 궤도회로를 이용하면 전방과 후미에 위치한 안테나를 통하여 실시간으로 태그에서 읽어온 지상의 정보를 열차의 ATO장치와 ATP장치에 전달하여 열차제동장치에 연속적인 데이터를 전송하여 속도프로파일을 생성하여 열차구동장치에 전달한다.

### 2.2. 정위치정차를 위한 방안

지하철 정위치 정차기능은 ATO시스템을 탑재하고 운행중인 열차에서 사용되고 있다. 정확한 정위치정차를 위하여 지하철에서는 정차위치로부터 일정한 거리를 사이에 두고 4개의 Marker Coil을 설치하여 열차가 Marker Coil을 통과할 때 받은 데이터를 차상시스템에 전달하여 열차의 속도를 제어하여 정해진 위치에 정차한다.

기존 철도신호설비는 승강장의 선로에 하나의 궤도회로로 설치되어 하나의 폐색구간을 구성하기 때문에, 승강장 진입 전에 지상자로부터 얻은 진입속도(60km/h)가 정차지점까지 계속 현시되어 기관사가 착오로 승강장을 지나쳐 운전하는 경우가 종종 발생하였다. 이를 해결하기 위하여 ATS(Automatic Train Stop) 및 ATC(Automatic Train Control)시스템에서 열차운행 시 하나의 승강장 궤도회로에 대해 2 이상의 궤도회로를 형성하여 2 이상의 서로 다른 운전정보를 순차적으로 전송함으로써 열차의 과주를 방지하는 시스템을 제시하였다. 하지만 이 방법은 열차과주 방지에 효과는 있으나 정위치 정차에 대한 근본적인 해결방법은 아니다.[4]

기존의 정위치정차 장치는 Marker Coil의 개수가

한정적 이었지만 하이브리드 궤도회로는 태그의 가격  
우세로 충분히 촘촘하게 설치가 가능하여 실제속도가  
기존시스템에서 생성한 속도프로파일을 더욱 근접하  
게 추적할 수 있다.



그림 3. 트랜스폰더  
Fig. 3 Transponder



그림 4. 정위치정차장치상자  
Fig. 4 Wayside precise positioning

CBTC(Communication Based Train Control)시스템  
의 정위치 정차는 열차의 역 구간 진입 시, 차상 DB  
상의 정차 위치 데이터와 차상장치가 산정한 열차 위  
치값에 의해 속도를 감속하여 정위치정차 지상자까지  
저속 운동을 하고, 정위치정차 지상자위에서 정확히  
정차 한다. 하지만 CBTC시스템은 그림3, 4와 같은 궤  
도회로 외의 추가적인 정위치정차장치가 필요하다.

하이브리드 궤도회로는 열차의 위치를 기본으로 운  
영체제가 실려 있어 위의 문제점들을 어플리케이션형  
태로 쉽게 해결이 가능하다. 때문에 열차의 위치인식  
기능을 수행하는 RFID리더의 읽기/쓰기 기능이 정위  
치 정차기능의 가능성을 결정한다고 생각해도 무방하  
다[5][6][7].

### III. 정위치 정차를 위한 RFID시스템

#### 3.1. RFID 통신

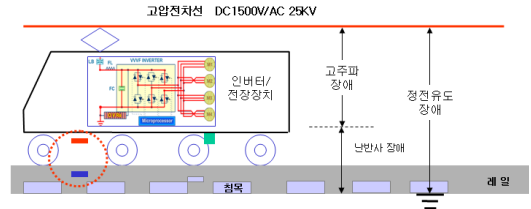


그림 5. 철도환경에서의 간섭요인  
Fig. 5 Interference factor at railway environment

그림 5와 같이 지하철환경은 일반적인 RFID통신환  
경보다 매우 열악한 외적인 환경요소를 가지고 있다.  
그림 5와 같이 열차는 속도를 가지는 이동체이고 속  
도가 비선형적이며, 고주파장애, 유도장애와 같은  
EMI간섭과 차량하부의 금속면으로 인한 난반사간섭  
과 다양한 무선 시스템으로 인한 주파수 간섭 등 전  
기적인 요인과 환경적인 온도, 습도, 고도 및 기후 변  
화요인과 물과 기름과 같은 여러 산업현장 요인들이  
혼합되어 RFID 시스템의 성능을 저하 시킨다.

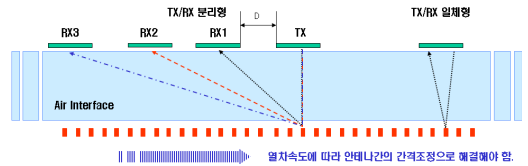


그림 6. 열차의 속도에 대한 인식방법  
Fig. 6 Recognition methods of train velocity

그림 6과 같이 열차는 다양한 속도를 가지고 이동  
을 한다. UHF 대역 RFID 시스템은 리더에서 출력된  
신호를 리더 안테나를 통해 신호가 전달이 되고 전달  
된 신호는 무선 환경을 거쳐 태그에 전달이 되고 태  
그에 대한 정보는 다시 리더 안테나를 통해 리더기로  
정보가 전달이 된다[3]. 철도환경에서도 마찬가지로  
철도차량은 속도를 가지는 이동체이기 때문에 리더  
안테나에서 송신된 신호가 태그에 전달하여 태그 신  
호를 받는다. 그러나 철도차량은 이동을 하기 때문에  
태그의 신호가 리더 안테나에 도착하기 전에 이동을  
하게 되면 태그의 신호를 인식을 하지 못한다. 이런

환경에서 UHF 대역 RFID 시스템이 동작하기 위하여 차량속도와 태그와 리더 안테나 사이의 거리를 확인하여야 한다. 일반적인 RFID 시스템에서 이동체에 대한 인식속도는 다음과 같은 수식으로 사용하여 계산을 할 수가 있다. 여기서, 안테나와 태그의 거리를 1000 m, 75kbps의 데이터 전송속도 기준에서 신호처리 시간을 7.064ms로 하여 식(1)과 같이 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{인식속도} &= \frac{\text{안테나의 교신영역을 통과하는거리}}{\text{상위계층리틀미포함 태그액세스할시간}} \\ &= \frac{1000}{7.064\text{ms}} \\ &= 140\text{Km/h} \end{aligned} \quad (1)$$

계산식에서와 같이 철도차량환경에서 인식할 수 있는 속도는 140km/h(75kbps 기준)이다. 그래서 140km/h 일 때는 일체형 리더 시스템을 사용하고 고속 일 때는 송·수신 분리 시스템을 사용하여야한다. 그림 5는 철도환경에서의 차량에 대한 간섭 요인을 나타낸다.

철도 차량 환경에서의 간섭요인은 고주파 장애와 정전유도장애로 인한 EMI간섭과 금속면에 따른 난반사 간섭이 있다. 고주파 장애는 차량하부에 여러 가지 전자제품으로 인해 발생하는 장애를 말한다. 정전유도 장애는 고압전선과 지면에 발생하는 장애를 말한다. 난 반사 간섭은 차량하부의 금속성분으로 인해 발생하는 간섭을 말한다[8][9][10][11][12]. 이런 간섭을 제거할 수 있는 방법을 태그 안테나 구조적인 부분과 안테나의 편파 기술을 통해 해결할 수 있는 방법을 연구하여야 한다. 철도 환경에서의 사용 가능한 태그 안테나 구조는 간접구조형태의 안테나를 사용하여야 한다. 안테나의 구조는 급전방법에 따라 분류를 한다. 안테나 급전방법은 직접급전 하는 방법과 간접급전방법으로 사용한다. 직접급전방법은 방사체에 바로 연결하여 신호를 인가하는 방법이고 간접급전방법은 전자계 커플링(coupling)으로 방사체에 신호를 전달한다. 간접급전방식의 안테나 구조는 직접급전방법에 비해 안테나 대역폭을 확장 시킬 수 있고 외부 온도나 이물질에 안테나의 성능변화가 없다는 장점을 가지고 있다[13][14][15][16]. 안테나의 편파는 원형편파와 선형편파가 있고 원형편파는 다양한 환경에서 인식률이 높다는 장점을 가지고 있다. 안테나 편파에 대한 수식은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} PLF &= |\hat{P}_w \cdot \hat{P}_a|^2 \\ &= |\cos \Psi_p|^2 \text{ (dimensionless)} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\hat{P}_w$ ,  $\hat{P}_a$ 는 E-plane과 H-plane에서의 출력파워의 단위벡터이고,  $\Psi_p$ 는 두 단위벡터 사이의 각도이다.

계산식에서와 같이 안테나의 편파에 대한 편파손실은 원형편파일 경우 편파손실이 적음을 알 수가 있다.

### 3.2. 실험실 테스트

정위치 정차기능의 가능성을 확인하기 위하여 실험실에서 아래와 같은 실험을 진행하였다.

기존 철도환경과 비교하여 실험실 시뮬레이션환경은 서보모터를 이용한 회전운동으로 열차의 이동을 표시한다.

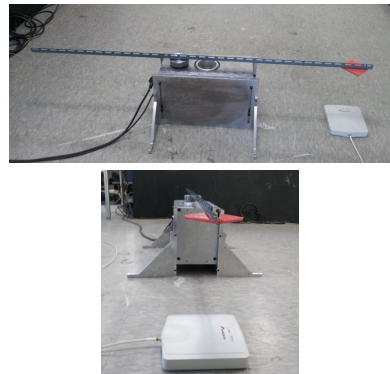


그림 7. 시험테스트 장비  
Fig. 7. Valuation test equipment

날개와 지면과의 높이는 50 cm 정도 이격을 시켰다. 이 높이는 실제 차상과 지상과의 높이를 나타낸다. 모터는 최대속도 5,000 rpm을 가지는 CSDP Plus (Rockwell Co., Ltd.) 장비를 사용하였다. 리더는 송·수신 분리와 송·수신 일체형을 동시에 구현 가능한 U9-2000(kic systems사)을 사용하였다. 리더의 최대 송신출력은 30dBm이다. 리더 안테나는 선형편파 안테나와 원형편파 안테나를 사용하였고 안테나의 이득은 6dBi이다. 특수태그는 선형태그와 원형태그 2종을 사용하여 테스트를 진행하였다.[17-18]

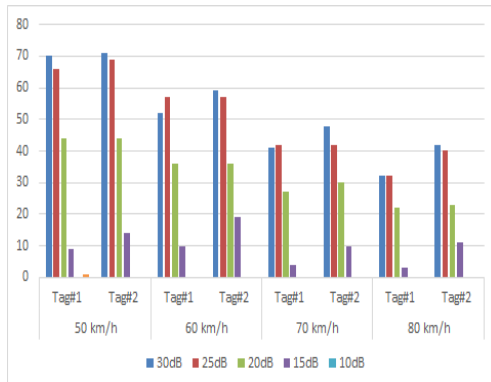


그림 8. 원형편파 안테나를 이용한 선형태그인식횟수  
 Fig. 8 Number of linear tag recognition using circular polarization antenna

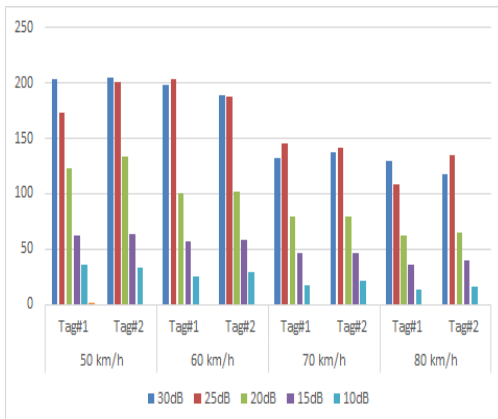


그림 9. 원형편파 안테나를 이용한 원형태그인식횟수  
 Fig. 9 Number of circular tag recognition using circular polarization antenna

그림 8과 그림 9에 원형편파 안테나를 리더 안테나로 사용하여 선형편파 태그 및 원형편파 태그의 인식 성능을 테스트한 결과를 나타내었다. 테스트 결과 원형편파 태그의 인식횟수가 높게 나타났다. 이것은 원형편파 태그가 태그를 회전시키는 테스트 환경에서 선형편파를 가지는 리더 안테나와의 편파 불일치에 따른 편파손실이 적기 때문으로 생각된다. 모든 회전 속도에서 리더 송신출력이 증가함에 따라 인식횟수가 증가하였고 25dBm에서 최대값을 나타내었다. 또한 테스트 진행 시, 25dBm 이상의 리더 송신출력에서는

리더안테나에서 발생된 신호가 태그에 직접 인가되지 않고 벽이나 구조체 등의 테스트 환경부분에 반사되어 신호가 감지되는 난반사 현상이 발생하였다

표 1, 2는 본 실험에서 사용된 RFID 태그, 안테나 사양이다.

표 1. RFID 태그 사양  
 Table 1. RFID tag specification

ItemsSeries	specification		Note
	Linear	Circular	
Frequency	902~928 MHz	900~930 MHz	
Data transfer rate	512kbit/s	512kbit/s	
User data	96bit	96bit	min.
Modulation	OOK/PR-ASK	OOK/PR-ASK	
Distance	1.5m	2.5m	
Size	108x108x8 mm	95x25x3.2mm	
Weight	125g	16g	
Temperature	-80 °C~+120 °C	-80 °C~+120 °C	
IP degree	IP67	IP67	

표 2. RFID 안테나 사양  
 Table 2. RFID antenna specification

Items /Series	specification	
	Linear	Circular
Frequency Range	900~928 MHz	900~928 MHz
Polarization	Linear	Circular
V.S.W.R	1.25:1 Typical	1.25:1 Typical
Gain	7.5 dBi Typical	7.5 dBi Typical
Isolation	Min 30 dB Typical	
3dB Beamwidth	Min 60 °	Min 65 °
Material (Radome)	Aluminum/ PC	PC/ABS
Connector	SMA-Female	SMA-Female
Reading Range	6m 이상	
Size	250 x 250 x 40 mm	250 x 250 x 40 mm
Purpose	Gate Type (Logistics)	Gate Type (Logistics)

#### IV. 결론

본 논문은 하이브리드 웨도회로를 이용한 정위치정차 시스템의 가능성에 대하여 연구를 하였다. 시험 테스트 베드에서 RFID안테나는 원형편과 안테나와 원형편과 태그를 이용하였을 때 높은 인식횟수를 얻었다. 기존 열차는 60km/h의 속도로 200m구간을 4개의 Marker Coil로 정위치 정차를 하였지만 실험실 테스트에 의하면 60km/h의 속도로 200m구간을 일정한 속도로 달려도 25dBm에서 80개의 태그를 최소 57회에서 203회까지 인식이 가능하다. 이것은 정위치 정차를 위한 Marker Coil의 약 15배에서 50배에 해당하다 [19][20]. 따라서 이 시스템을 사용하면 지상에서 더욱 정밀한 위치정보를 얻어 올수 있다. 그러나 실제 철도 환경에서는 복잡한 차량환경에 의한 난반사 간섭이 예상되기 때문에 향후 실제 환경에서의 테스트가 필요하다.

#### 감사의 글

본 논문은 국토해양부 미래철도 연구개발사업의 연구비지원(12PRTD-C061738-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

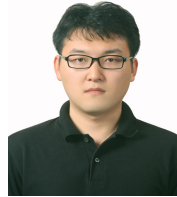
#### 감사의 글

본 논문은 2012년도 광운대학교 교내연구비에 의해 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] 이창룡, 이인현, 오세화, 이기서, "철도신호시스템에서 하이브리드 웨도회로에 관한 연구" 한국전자통신학회 학술대회논문지, 5권, 2호 pp. 211-214, 2011.
- [2] 정호형, 김철구, 고양욱, 고영환, 이기승, 이기서 "하이브리드 웨도회로를 이용한 열차 정위치 정차시스템에 대한 고찰" 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 1591-1596, 2012.
- [3] 이창룡, 이인현, 오세화, 이기서 "RCM적용을 위한 차상 ATP 장치의 기능 FMEA", 한국전자통신학회학술대회논문지, 4권, 2호, pp. 211-214, 2011.
- [4] 고영환, 이종호, 박경규, 오구식, 김표 "승강장에 서 열차과주방지 신호시스템 적용에 대한 연구" 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 509-514, 2012.
- [5] 강민수, 정의봉, 이기서, "RFID기반 철도차량 최적 인식을 측정에 관한 연구" 한국철도학회 논문집, 10권, 6호, pp. 633-639, 2007.
- [6] 강민수, 손영일, 이기서, "RFID 기반 육송물류거점정보 시스템 구축에 관한 연구" 한국철도학회 논문집, 11권, 3호, pp. 286-293, 2008.
- [7] K. Finkenzeller, RFID handbook, 2nd edition, John Wiley & Sons, England, 2003.
- [8] H.-W Son, G.-Y Choi, and C.-S Pyo "Design of wideband RFID tag antenna for metallic surfaces," Electron. Lett., Vol. 42, pp. 263-265, 2006.
- [9] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "Effects of metallic plate size on the performance of microstrip patch-type tag antennas for passive RFID," IEEE/Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 6, pp. 518-520, 2007.
- [10] P. Raunonen, L. Sydanheimo, L. Ukkonen, M. Keskilammj, and M. Kivikoski, "Folded Dipole Antenna Near Metal Plate," 2003 IEEE International Antennas and Propagation Symposium, 2003.
- [11] L. Ukkonen, L. Sydanheimo, and M. Kivikoski, "A Novel Tag Design Using inverted-F Antenna for Radio Frequency Identification of Metallic Objects," IEEE/Sarnoff Symposium, pp. 91-94, 2004.
- [12] M. Huynh and W. Stutzman, "Ground plane effects on planar inverted-F antenna performance," IEE Proceedings. Microwaves, Antenna and Propagation., Vol. 150, pp. 209-213, 2003.
- [13] H.-W Son and C.-S Pyo "Design of RFID tag antenna using an inductively coupled feed," Electron. Lett., Vol. 41, pp. 994-996, 2004.
- [14] H. Choo, and H. Ling, "Design of electrically small planar antennas using inductively coupled feed," Electron. Lett., Vol. 39, pp. 1563-1565, October 2004.
- [15] H. Furuuchi, H. Morishita, H. Ide, Z. Tanaka, and K. Fujimoto, "A balance-fed loop antenna system for handsets," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 1, pp. 6-9, 1999.

- [16] K. Ogawa, H. Iwai, and Y. Koyanagi, "A balance-fed planar built-in antenna," Antenna and Propagation and EM Theory, ISAPE 2000. 5th International Symposium, pp. 680-683, 2000.
- [17] 김신웅, 김영식, "900MHz UHF대역 RFID 응용을 위한 Integer-N PLL 주파수 합성기 설계", 한국전자통신학회논문지, 4권, 4호, pp. 247-252, 2009.
- [18] 이한영, "이동형 RFID시스템에서 태그 인식 속도향상을 위한 고속태그 충돌방지 알고리즘", 한국전자통신학회논문지, 5권, 4호, pp. 486-493, 2010.
- [19] 윤학선, 이기서, 양동인, 오세화, 정호형, 류승균, "무선 Mesh를 이용한 열차제어시스템 데이터 전송 기술개발에 관한 연구", 한국전자통신학회 논문지, 7권, 1호, pp. 149-156, 2012.
- [20] 오세화, 양동인, 정호형, 이창룡, 이기서, "무인운전을 위한 도시철도 종합관계센터에 대한 연구", 한국철도학회 학술발표대회논문집, pp. 824-832, 2012.



### 이창룡(Chang-Long Li)

2008년 燧台대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

2008년~현재 광운대학교 대학원 제어계측 공학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : 철도신호시스템, 안전시스템



### 이기서(Key-Seo Lee)

1977년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

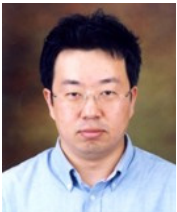
1979년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1986년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

1981년~현재 광운대학교 정보제어공학과 교수

※ 관심분야 : RAMS, 철도신호

## 저자 소개



### 정호형(Ho-Hung Jung)

1993년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

1996년 인하대학교 대학원 자동화공학과 졸업(공학석사)

2011년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

1993년~현재 서울메트로 기술연구원

※ 관심분야 : RFID 시스템, 철도신호



### 고양옥(Yang-Og Ko)

2013년 한양사이버대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

1993년~현재 서울메트로 기술연구원

※ 관심분야 : 철도신호, 통신