

## RFID 시스템 이용한 열차 위치검지용 빔폭 가변형 RFID 리더안테나

### Design of Beam-forming Reader Antenna for Train Position Detection using RFID

안치형 · 조봉관 · 류상환 · 오순수\*

Chi-Hyung Ahn · Bong-Kwan Cho · Sang-Hwan Ryu · Soon-Soo Oh

**Abstract** This paper presents a 4x1 beam-forming reader antenna system for a new type of RFID based train position detection technology. The required beamwidth of the reader antenna is analytically expressed for different train speeds. The proposed antenna system consists of four rectangular patch elements and two switching couplers which are designed, without any impedance matching networks, for two different antenna modes. The switching coupler is a rectangular quadrature coupler with Pin diodes connecting its center line and the ground plane. The beamwidth of the antenna when the diodes are off and on is 18° and 39°, respectively. The proposed antenna system will be used for a real train test in the near future.

**Keywords** : Train position detection, RFID, Reader antenna, Beamwidth, Tag

**초 록** 본 논문은 RFID기술기반의 새로운 저비용 고정밀 열차위치검지기술을 위하여 빔폭 가변형 4x1 리더안테나 시스템의 설계를 제안하였다. 또한, 열차 구간별 속도 변화에 따라 제안된 리더안테나의 요구되는 빔폭 계산을 수행하였다. 열차속도에 의한 제안된 안테나 시스템은 사각패치형태의 방사소자들을 스위칭 커플러를 이용하여 임피던스 변환없이 두개의 모드로 동작하도록 설계되었다. 스위칭 커플러는 사각 quadrature coupler의 중심선에 Pin Diode를 그라운드와 연결하여 다이오드의 ON/OFF 설정으로 빔폭 가변을 스위칭 하도록 하였다. 설계된 안테나는 다이오드 OFF에 18°와 다이오드 ON에 39°의 빔폭을 확인 하였다. 본 논문에서 설계된 리더안테나 시스템은 향후 실제 차량 시험을 통하여 철도환경에서 보다 정밀한 열차위치검지기술 확보를 위하여 유용하게 사용될 예정이다.

**주요어** : 열차위치검지, RFID, 리더안테나, 빔폭, 태그

## 1. 서 론

열차위치검지기술은 근접 열차간 추돌방지 등의 철도 안전성 향상뿐만 아니라 다양한 열차운행 조건에 따른 철도 효율성 및 승객 편의성 향상을 위한 핵심 기술이다. 기존의 궤도회로와 차륜센서를 이용한 위치검지기술은 제한된 위치정밀도 및 시간에 따른 상대오차 증가로 인하여 고정밀 열차운행을 위한 한계성을 가지고 있다[1]. 최근 철도 기술은 검증된 IT 기술의 적용으로 기존의 안정성 중심의 고가 시스템을 저가의 고효율 시스템으로 변화하는 추세이다. 특히 RFID 기술을 적용한 다양한 어플리케이션의 위치검지기술들을 이용하여 철도환경에서 저가의 고효율 시스템 구축이 제안 되었다[2-11]. 하지만 기존의 RFID 위치검지기술은 대부분 능동형 태그를 사용하는 형태로 기존의 고가 능동형 태그의 대체품 개발에 집중되어 있다. 본 논문에서는 새로운 형태의 리더안테나 개발을 통하여 저가의 상용 태그 사용이 가능하도록 하였으며, 이로부터 전체 시스템 설치비용과 선로상 태그의 유지보수 비용을 최소화 할 수 있는 저비용 고정밀 RFID 적용 위치검지기술 컨셉을 바탕으로 하였다. 제안된 시스템은 열차 속도 및 선로상에 설치된 상용 태그의 간격에 따라 리더안테나의 빔폭을 가변할 수 있도록 설계하는 것이다. 즉, 열차 속도에 따른 리더안테나의 최소 빔폭 계산식과 4x1 배열 안테나 소자를 이용하여 이중모드 빔폭을 갖는 안테나 설계를 본 논문에서 제안하였다. 또한 안테나의 이중모드를 위하여 스위칭 커플러를 이용하여 효율적인 빔폭 가변이 가능하도록 하였다. 3D EM 시뮬레이션을 통하여 설계된 안테나 시스템은 커플러 상에 설치된 다이오드의 ON/OFF 특성에 따라 방사소자가 2개 또는 4개로 작동되며 각각 39°, 18°의 빔폭 특성을 확인 하였다. 설계된 안테나는 향후 실차 시험을 통하여 철도환경에서 보다 정밀한 위치검지기술로 활용 할 예정이다.

\*Corresponding author. Tel.: +82-62-230-7061, E-mail : ssoh@chosun.ac.kr.

© 2015 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2015.18.2.105>

## 2. 본 론

### 2.1 RFID 안테나에 의한 수신 전력

Fig. 1과 같이 열차 속도 감지용 RFID 리더 안테나는 열차의 하부에 설치를 하고 태그 안테나는 선로를 따라 설치된다. 본 논문에서는 리더안테나를 일반적인 900MHz 대역 패치 안테나 형태로 하고 열차하부에서 선로까지 최소거리가 약 70cm인 경우를 고려 하였다. 이 경우 두 안테나는 Far field 영역에 놓이게 되어 각 안테나에 수신되는 전력 값을 Friis Transmission Equation을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다[12].

$$P_{r,tg} = P_{t,rd} G_{tg}(\theta) G_{rd}(\theta) \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \tag{1}$$

$$P_{r,rd} = P_{t,rd} G_{tg}(\theta) G_{rd}(\theta) \sigma \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \tag{2}$$

위 수식에서  $P_{r,tg}$ 와  $P_{r,rd}$ 는 태그와 리더 안테나의 수신전력,  $P_{t,rd}$ 와  $P_{l,rd}$ 는 태그와 리더 안테나의 송신전력,  $G_{tg}(\theta)$ 와  $G_{rd}(\theta)$ 는 태그와 리더 안테나의 이득,  $\lambda$ 는 사용 주파수의 파장,  $R$ 은 두 안테나 사이의 거리를 의미한다. 수식 (1)은 초기 리더안테나에 의한 송신전력이 태그 안테나에 수신되었을 때 수신전력의 크기를 안테나 특성과 거리에 의하여 표현한 식이다. 이때 두 안테나 사이의 거리가 짧고, 안테나 각각의 이득이 크면 태그에서 수신되는 전력이 커지는 것을 알 수 있다. 식 (2)는 송신된 리더 안테나 전력이 태그에 의해 반사되어 다시 리더 안테나로 돌아오는 리더의 수신 전력 크기를 표현한 것이다. 이때  $\sigma$ 는 레이더 단면적(radar cross section)이라 불리며, 송신전력이 태그에 의하여 재 방사될 때 태그의 크기와 모양에 의한 수신전력 값의 변화를 수치화한 값이다.

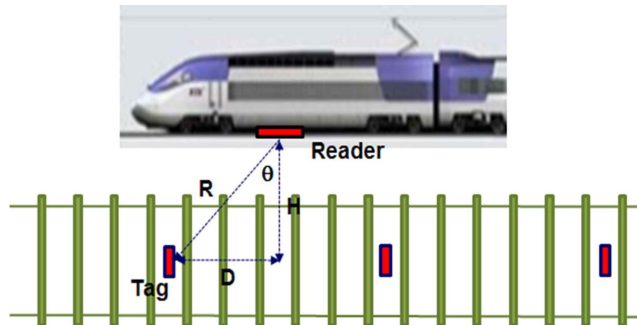


Fig. 1 RFID antenna setup on railway.

### 2.2 열차속도에 의한 요구되는 빔폭

송신된 리더 안테나로부터의 신호세기가 태그에서 반사되어 리더기 시스템의 수신전력으로 수신되어 리더시스템이 인식하기 위해서는 아래 식 (3)과 같이 반사되어온 리더안테나의 수신 전력( $P_{r,rd}$ )이 리더 시스템의 최소 요구 전력( $P_{min,rd}$ )보다 커야 한다.

$$P_{r,rd} \geq P_{min,rd} \tag{3}$$

식 (2)을 식 (3)에 대입하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{t,rd} G_{tg}(\theta) G_{RD}(\theta) \sigma \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \geq P_{min,rd} \tag{4}$$

$$R \leq \sqrt[4]{P_{t,rd} G_{tg}(\theta) G_{RD}(\theta) \sigma \frac{\lambda^2}{(4\pi)^3 P_{min,rd}}} \tag{5}$$

Fig. 1에서 열차가 주행 중 선로상에 위치한 Tag를 하나씩만 인식하게 한다면 다음과 같이 표현할 수 있다.

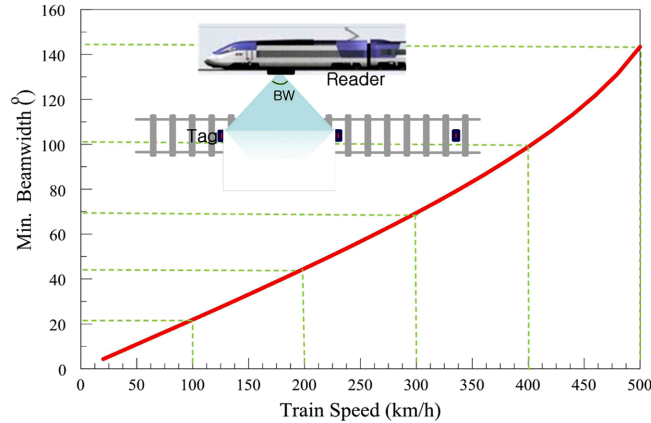


Fig. 2. Minimum beamwidth condition of RFID reader antenna.

Table 1. RFID system

Parameters					
Transmitted power (W)	Minimum required power (mW)	Tag gain (dBi)	Reader antenna gain (dBi)	Radar cross section (m <sup>2</sup> )	Tag separation distance (m)
1	0.2	1.2	6.0	0.1	0.7

$$V_T = 2D/t_{prc}, \quad D = R \sin \theta \quad (6)$$

여기서  $V_T$ 는 열차의 주행 속도,  $2D$ 는 태그의 이격 거리,  $t_{prc}$ 는 리더 시스템의 처리 속도를 의미한다. 식 (6)을 식 (5)에 대입하면 열차 속도에 따른 리더안테나의 최소 빔폭 조건을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\theta \geq \sin^{-1}(V_T \cdot t_{prc} / A) \quad (7)$$

Fig. 2는 식 (7)을 이용하여 Table 1과 같은 특성의 시스템에 대한 리더안테나의 최소요구 빔폭을 그래프화 한 것이다. 열차 속도  $V_T$ 가 변화함에 따라 리더가 태그를 인식할 수 있는 최소 빔폭을 확인할 수 있다. 예로 속도가 100km/h 인 경우 Fig. 2의 결과로부터 최소 빔폭이 약 21° 요구되며, 속도가 증가하여 300km/h 인 경우 리더 안테나의 빔폭이 70° 이상 되어야 함을 알 수 있다. 또한, 식 (7)로부터 시스템 처리속도  $t_{prc}$ 도 매우 중요한 빔폭 결정 요소가 된다는 것을 알 수 있다. 즉, 시스템 처리속도가 작아 질수록 요구되는 빔폭도 작아지게 된다.

### 2.3 빔폭 가변형 리더 안테나 설계

열차 속도에 따른 빔폭 가변형 RFID 안테나 제작을 위하여 제시된 안테나 타입은 900MHz 대역의 사각패치 안테나소자를 기반으로 4×1 어레이 형태로 설계 되었다.

#### 2.3.1 단일 안테나 설계

빔폭 가변형 리더 안테나 설계를 위하여 Method of Moments(MoM) 기반의 상용 소프트웨어인 ANSYS Designer를 사용하였다[13]. Fig. 3은 제안된 단일 안테나의 구조를 보여 준다. 안테나 제작을 위하여 설계 시 비유전율 2.2인 Taconic TLY-5 기판 정보를 이용하였다. 안테나는 일반적인 사각패치 형태로 방사소자 크기가 170×108mm<sup>2</sup>로 설계 되었다. 안테나포트와 방사소자 사이에 임피던스 매칭을 위하여 quarter-wave transformer를 삽입하였다. Fig. 4는 단일 안테나의 반사계수 결과로 관심 주파수 대역인 917MHz에서 약 -25dB 값을 보여준다. Fig. 5는 안테나의 방사패턴을 보여준다. 안테나의 이득은 917MHz에서 7.0dBi, 3dB 빔폭은 H-plane에서 68°, E-plane에서는 76°를 확인하였다.

#### 2.3.2 스위칭 커플러 설계

앞절에서 설계된 단일 안테나를 연결하여 4×1 배열안테나를 설계하였다. 이때 배열안테나의 빔폭 가변을 위하여 각각 2개의 방사소자와 4개의 방사소자 동작이 가능하도록 1/4λ 스위칭 커플러를 사용하였다[14]. Fig. 6은 커플러 대칭선 위로 Pin Diode가 접지면과 연결된 모습을 보여준다. 이때, 다이오드의 동작이 OFF인 경우 커플러 Output port 2와 3 모두 신호크

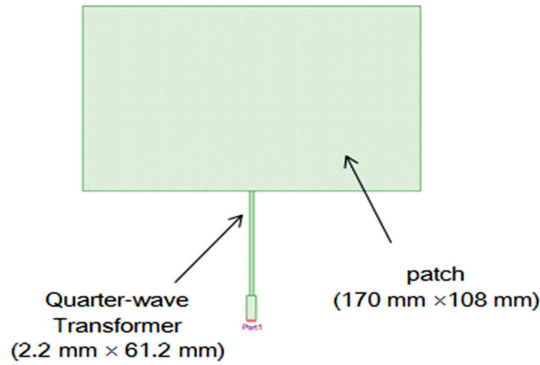


Fig. 3. Single antenna structure.

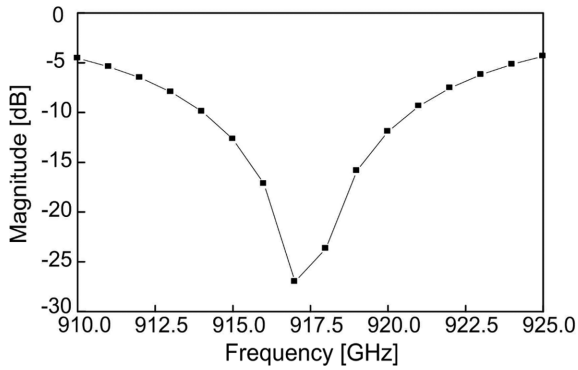


Fig. 4. Reflection coefficient of single antenna.

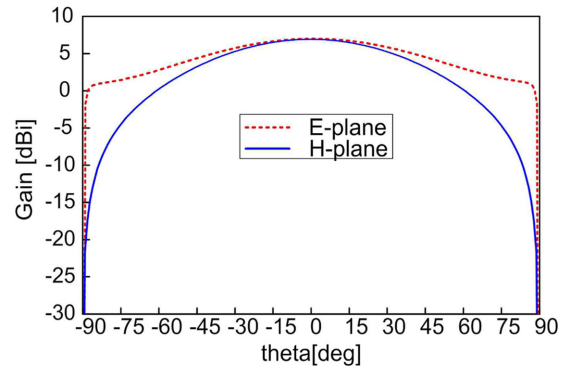


Fig. 5. Radiation pattern of single antenna.

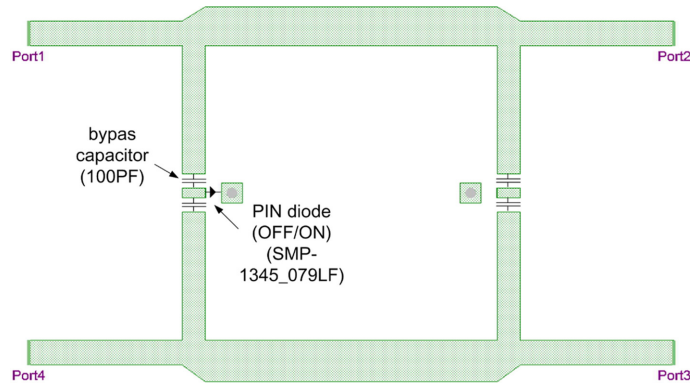


Fig. 6. Switching coupler structure.

기가 균등하게 전달 될 수 있도록 하고, 다이오드 동작이 ON인 경우 커플러의 Output port 중 한쪽으로만 신호전달이 되도록 설계 하였다. Fig. 7(a)에서 커플러의 Pin Diode가 OFF인 경우 주파수 915MHz에서  $S_{21}=-3.3\text{dB}$ ,  $S_{31}=-2.9\text{dB}$  값으로 Port 2와 3에서 거의 균등한 크기의 신호가 분배되는 것을 확인 하였다. 이때 두 Port에서  $-0.4\text{dB}$  차이는 Pin Diode의 자체기생소자 및 다이오드의 스위칭 동작을 위해 제작된 DC block 회로의 영향으로 고려 된다. 이때, Input port에서는  $S_{11}=-29\text{dB}$ 와 Isolated port에서는  $S_{41}=-34\text{dB}$  값을 확인하였다. 커플러의 Pin Diode가 ON인 경우 Fig. 7(b)와 같이 주파수가 915MHz에서  $S_{21}=-0.5\text{dB}$ ,  $S_{31}=-17.7\text{dB}$  값으로 대부분의 신호가 Output port 2에 전달되는 것을 확인하였다. 또한, Input과 Isolated port에서 각각  $S_{11}=-25\text{dB}$ ,  $S_{41}=-22.1\text{dB}$  값을 확인하였다. 위와 같이 설계된 스위칭 커플러는 Pin Diode의 ON/OFF 스위칭을 통하여 신호가 전달되는 아웃풋을 결정할 수 있다.

2.3.3 4x1 배열 안테나 설계

본 논문에서는 앞절에서 설계된 단일 안테나와 스위칭 커플러를 결합하여 Fig. 8과 같이 4x1 스위칭 배열 안테나구조를 제안한다. 방사소자는 단일 안테나 4개로 구성되고 각 두쌍의 안테나들은 Pin Diode 가 연결된 1/4λ 커플러와 결합되어 있

다. 이때 두개 커플러의 Input port는 전력 분배기로 연결하였고, 나머지 두개의 Isolated port는 50Ω load로 연결 하였다. Fig. 9는 Pin Diode가 OFF인 경우 배열 안테나 특성 결과를 보여준다. Fig. 9(a)의 전류분포 결과로부터 커플러의 Input port를 지나는 모든 신호가 4개의 안테나에 고르게 분포되는 것을 알 수 있다. 이때 배열 안테나의 반사계수와 방사패턴 특성은 Fig. 9(b)와 (c)로부터 917MHz에서  $S_{11}=-34.5\text{dB}$ ,  $BW=18^\circ$ ,  $\text{Gain}=12.3\text{dBi}$  값을 확인하였다. Fig. 10은 설계된 Pin Diode가 ON인 경우 배열 안테나의 특성을 보여준다. 주파수 917MHz에서 전류분포가 가운데 두개의 안테나 소자에에만 집중되는 것

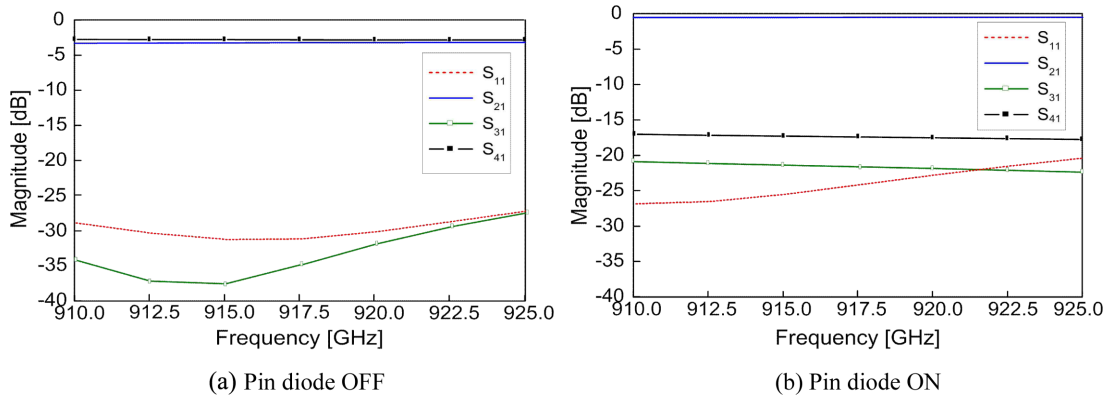


Fig. 7. Results of switching coupler.

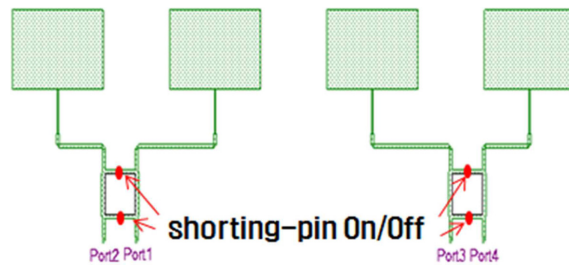
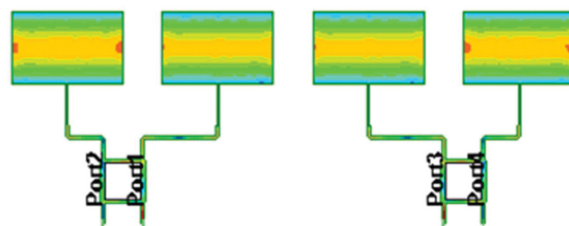


Fig. 8. 4×1 array antenna structure.



(a) Current distribution

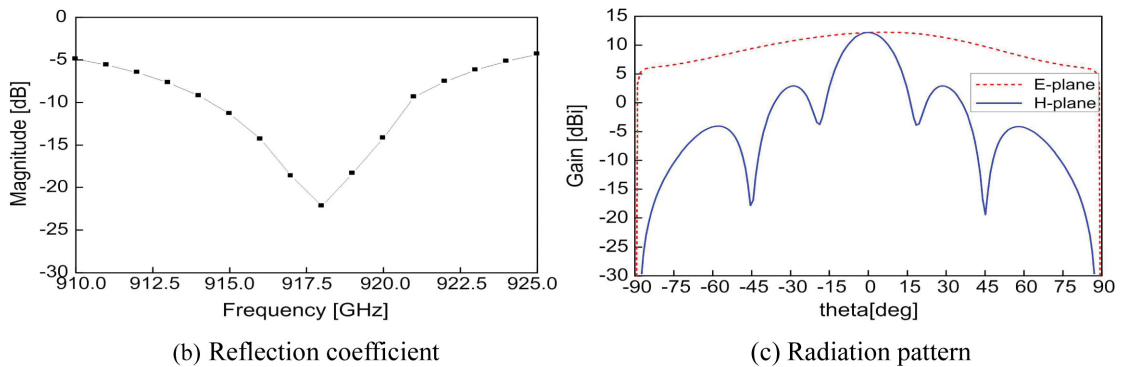


Fig. 9. 4×1 array antenna (Diode-OFF) result.

으로부터 스위칭 커플러의 특성이 올바르게 작동되는 것을 확인할 수 있다. 반사계수  $S_{11}=-24.7\text{dB}$ , 방사 패턴 특성  $BW=39^\circ$  과  $\text{Gain}=9.3\text{dBi}$ 로부터 다이오드가 OFF인 경우에 비하여 빔폭이 약 2배 증가하고, 이득이 약 2배 감소함을 확인하였다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 RFID 시스템을 이용하여 저비용 고정밀 열차위치검지기기술을 제안하였다. 선로에 설치된 저가의 상용 태그를 열차 속도에 따라 정밀하게 인식하기 위하여 열차상에 설치된 리더안테나의 빔폭을 가변할 수 있도록 설계하였다. 이를 위하여 우선적으로 열차 속도에 의한 리더안테나의 빔폭 계산식을 제안하였다. 또한,  $4\times 1$  배열 안테나에 스위칭 커플러를 연결하여 선택적인 빔폭 가변이 가능하도록 하였다. 스위칭 커플러의 다이오드 동작에 의하여 설계된 배열 안테나의 빔폭이  $39^\circ$ 와  $18^\circ$ 로 가변되는 것을 확인 하였다. 위의 안테나는 MoM 기반의 상용소프트웨어를 이용하여 설계되었으며, 향후 실제 차량 시험을 통하여 보다 정밀한 열차위치검지기기술 확보를 위하여 이용될 예정이다.

### 후 기

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업 “신개념 무선통신 열차제어시스템 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

### References

- [1] K.H. Shin, J.H. Lee (2012) Position Detection Technology in Railway Transportation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(1), pp. 16-21.
- [2] B.K. Cho, S.H. Ryu, J.H. Kim (2013) Train control system using RFID and WLAN, *2013 The Korean Institute of Communications and Information Sciences Summer Conference*, Jeju, Korea, pp. 842-843.
- [3] J.H. Kim, B.K. Cho, B.S. Lee, H.W. Lee, *et al.* (2013) Antenna Design for High Speed RFID system, *Antennas and Propagation Society International Symposium 2013 IEEE*, Orlando, USA, pp. 1738-1739.
- [4] B.K. Cho, H.C. Hwang, J.H. Kim, and S.H. Ryu (2013) RFID System Response Test for Position Detection of 420km/h High-Speed Train, *International Conference on ICT Convergence 2013*, Jeju, Korea, pp. 972-973.
- [5] S.H. Ryu, B.K. Cho, J.H. Kim (2013) Challenging-Research for Creating New Growth Engines, *KRRI 2013-019*, pp. 274-350.
- [6] B.K. Cho (2014) RFID Antenna for Position Detection of Train, *LNEE Vol. 309*, pp. 903-908.
- [7] C.H. Ahn, B.K. Cho, J.H. Kim, S.H. Ryu, *et al.* (2014) Beam-width Condition of RFID reader antenna for train location detection, *2014 Summer conference of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Jeju, Korea, pp. 281.
- [8] C.H. Ahn, B.K. Cho, S.S. Oh, S.H. Ryu (2014) Train location detection using RFID technology, *2014 Fall conference of the Korean Society of Urban Railway*, Seoul, Korea, pp. 213.
- [9] C.H. Ahn, B.K. Cho, S.H. Ryu (2014) Optimizing train operations with RFID technology, *2014 Smart Rail congress*.
- [10] E.K. Lee, Y.M. Yoo, C.G. Park, M. Kim, *et al.* (2009) Installation and Evaluation of RFID Readers on Moving Vehicles, *Proceedings of the sixth ACM international workshop on VANET working*, Beijing, China, pp. 99-108.
- [11] H.D. Chon, S. Jun, H. Jung, S.W. An (2004) Using RFID for Accurate Positioning, *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), pp. 32-39.
- [12] C. A. Balanis (2005) Antenna Theory: Analysis and Design, *Wiley*, pp. 94-104.
- [13] ANSYS Designer, Ansys, 2014.
- [14] D. M. Pozar (2011) Microwave Engineering, *Wiley*, 2(1), pp. 317-358.

【 Received 3 February 2015; Revised 16 February 2015; Accepted 10 March 2015 】

**Chi-Hyung Ahn:** chahn@krii.re.kr

KRRI (Korea Railroad Research Institute) 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

**Bong-Kwan Cho:** bkcho@krii.re.kr

KRRI (Korea Railroad Research Institute) 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

**Sang-Hwan Ryu:** shryu@krii.re.kr

KRRI (Korea Railroad Research Institute) 176, Cheoldobangmulgwan-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, 437-757, Korea

**Soon-Soo Oh:** ssoh@chosun.ac.kr

Department of Electronic Engineering Chosun University, 309 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 501-759, Korea