

# 하이브리드 궤도회로 시험방법 및 절차에 관한 연구

권부석\* · 정호형\*\* · 이기서\*\*\* · 이창룡\*\*\*\*

Study on Test methods and Procedures of Hybrid Track Circuit

Bu-Seok Kwon\* · Ho-Hung Jung\*\* · Key-Seo Lee · Chang-Long Li

## 요약

본 논문에서는 하이브리드 궤도회로(Hybrid Track Circuit : HTC)의 실용화를 위한 시험방법과 그 절차에 대하여 연구하였다. 침목이나 도상 등 다양하고 특수한 선로 환경과 RFID 태그와 리더기, 안테나 구조를 고려한 시험방법을 제시함으로써 하이브리드 궤도회로의 서울메트로 구간 시범설치와 고속열차 구간 적용 연구에 활용이 가능하다. 또한 하이브리드 궤도회로 개발 프로젝트의 산출물 간 인터페이스와 설치방법 및 시험절차 등 안전하고 신뢰성 높은 결과를 도출하기 위한 방법을 제시하였다.

## ABSTRACT

In this paper We study on test methods and procedures for Hybrid Track Circuit's practicalization. It's possible to apply to HTC's Seoulmetro and high-speed train by proposing test method considering special rail environment and RFID tag and leader, antenna We also present the test methods and procedures for safe and reliable of interface among the Hybrid track circuit devices

## 키워드

RFID, Hybrid Track Circuit, Balise, Railway  
알에프아이디, 하이브리드 궤도회로, 발리스, 철도

## 1. 서론

RFID(Radio Frequency IDentification)는 IC칩과 무선을 통해 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는 인식 기술을 지칭한다. RFID는 판독 및 해독 기능을 하는 판독기(Reader)와 정보를 제공하는 태그(Tag)로 구성되는데, 유통, 물류, 기록관리 등 굉장히 다양한 분야에 활용 및 확장되고 있다.

RFID 기술의 철도 분야 적용은 이미 유럽에서 유로-발리스(Euro-Balise)라는 이름으로 상용화 되어

있으며 유럽연합과 국제철도연맹의 후원 아래 유럽 27개 국가가 지속적인 연구를 진행하고 있다[1].

그러나 국내 RFID 기술들의 철도분야 응용은 국내 철도시장의 협소로 기업들이 기술개발투자를 꺼려하고 있다. 이러한 당면 과제를 해결하기 위한 기술개발 정책의 일환으로 하이브리드 궤도회로 개발 연구가 시작되었으며 장치에 대한 검증과 안전성 평가가 진행 중이다. 하이브리드 궤도회로 개발의 목표는 소프트웨어와 UHF 대역의 RFID 리더 안테나 기술을 결합하여 TAG를 이용한 새로운 ATO (Automatic Train Operation) /

\* 서울메트로 기술연구원(fa2200@seoulmetro.co.kr)

\*\* 서울메트로 기술연구원(metro2line@seoulmetro.co.kr)

\*\*\* 교신저자(corresponding author) : 광운대학교 로봇학부 교수 \*\*\*\* 광운대학교 대학원 박사수료

접수일자 : 2013. 12. 10

심사(수정)일자 : 2014. 02. 25

게재확정일자 : 2014. 03. 10

ATP(Automatic Train Protection) / ATC(Automatic Train Control)용 궤도회로 방식을 제시하여 첨단기술인 무선통신기반열차제어 방식 등에 적용함으로써 철도신호 기술의 해외의존도를 탈피하고 철도신호시스템의 핵심기술을 국산화하는 것이다.

본 논문에서는 현재 진행 중인 하이브리드 궤도회로 개발 연구의 시제품의 현장 적용을 위한 Test-bed 구축 및 실차시험 전 모터카를 이용한 시험방법과 그 절차에 대하여 분석하고자 한다.

## II. 하이브리드 궤도회로 개요

궤도회로란 철도의 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 레일 위를 달리는 열차의 차축에 의한 레일 양단의 단락(Shunt)을 이용하여 열차의 유무를 감지하고 운행 열차에 ATC 정보를 전달하는 철도신호 보안장치이다.

그러나 하이브리드 궤도회로는 기존의 궤도회로와는 성격이 전혀 다르다. 레일을 전기적인 회로로 사용하는 기존의 궤도회로와는 달리, RFID기술을 사용하며 폐회로를 구성하지 못하며 선로에 설치된 특수태그(Passive 태그)와 차상간의 정보전송으로 열차위치를 검지하는 방식이다. 따라서 하이브리드 궤도회로의 현장 적용 시험에는 기존의 궤도회로가 가지고 있는 폐회로 특성을 갖추도록 하이브리드 궤도회로 보장이 필요하다[2].

### 2.1. 하이브리드 궤도회로의 구성

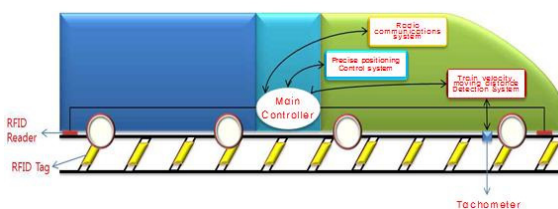


그림 1. HTC 시스템  
Fig. 1 Hybrid track circuit System

하이브리드 궤도회로는 레일 침목위에 설치된 Passive 태그와 태그로부터 올라오는 정보를 인식하

는 철도 차량의 전두부와 후미에 설치된 900MHz리더와 안테나, 그리고 안테나의 정보를 분석하는 HTC 콘트롤러의 3가지 설비로 구성되어 있다[3].

차량의 안테나에서 전력파를 송신하면 태그는 전력파를 전원으로 하여 태그의 위치 정보를 안테나를 통해 전송한다. 안테나를 통해 수신된 정보는 차량에 설치되어 있는 HTC Control Box를 통해 차량의 기존 ATC/ATP 시스템과 호환성을 가지며, 열차 위치를 파악하는 것이다[3].

### 2.2. 철도환경을 고려한 설계

RFID 시스템에서 판독기와 다수의 태그간의 하나의 동일 채널을 이용하기 때문에 동시에 전송되는 각각의 태그들의 신호가 서로 충돌을 일으키게 되며 이러한 충돌로 인하여 RFID 시스템의 성능을 저하시키게 된다. 그러므로 다수의 태그가 같은 처리 공간에 있을 때 태그들을 예러 없이 정확하게 인식하는 문제가 아주 중요하다[4].

또한 철도 환경은 다른 무선 환경보다 매우 열악한 환경적인 요소를 가지고 있다. 그렇기 때문에 철도 환경에서 RFID 기술을 접목시키는 부분이 매우 어렵다. 철도 차량의 변속 요인과 고주파 장애 및 유도 장애 등과 같은 EMI 간섭, 다양한 무선 시스템으로 인한 주파수 간섭 등 전기적인 요인, 철도 환경의 온도와 습도 등의 기후 변화요인 등이 RFID 시스템의 성능을 저하 시킨다[5].

따라서 차상에 설치되는 RFID 리더 안테나에 사용되는 재료와 부품은 고강도의 금속재질의 재료를 사용하여 외부의 열악한(부식 및 변형) 환경 변화에 의한 변형 방지 및 특히 충격 및 진동으로부터 내구성을 갖도록 제작하였다.

일반적인 리더기 안테나는 원형편과 안테나를 사용하고 리더기와 안테나가 개별적으로 존재를 한다. 그러나 본 개발에서는 원형편과 및 선형편과 안테나를 설계 및 개발하고, 안테나와 리더기를 하나의 시스템으로 구현한 일체형 리더 및 안테나는 송수신 겸용으로 사용하는 한개 안테나와 3개의 수신전용 안테나를 개발하였다. 리더기는 4채널로 제작되었으며 이는 태그를 읽기 위한 범위를 확장하고, 태그 인식률을 개선하기 위함이다[6].

안테나를 설치하기 위한 취부대는 리더기

(Antenna)의 크기와 지상 태그(Tag)와의 높이, 수평, 각도, 등 여러 가지 요소들을 감안하여 설계하였다. 시험에 사용되는 차량의 크기 및 높이 등의 규격이 상이하더라도 차상안테나인 리더기의 원활한 설치를 위해 리더기가 부착되는 취부대는 1cm 단위로 높이 조절이 가능하도록 제작하였으며 구조는 최대한 단순한 형태의 모형으로 제작하였다[6].

### III. 현장 설치 및 시험 구성

하이브리드 궤도회로 시제품의 현장 적용 시험을 위해서 고려해야 할 사항으로는 시험 구간의 주파수 간섭 최소화 및 다양한 속도의 측정이 가능하고 차량의 탈선 방지, 설치와 철거 작업 시간 등이 있으며 본 사항을 만족할 수 있는 최적의 시험 환경 조건을 고려하여 분석하고자 한다.

또한 하이브리드 궤도회로는 유럽에서 사용하는 유로-발리스와 구조나 성능이 거의 유사하기 때문에 유로-발리스의 RAMS조건, 기능사양, 환경조건, Test 방법 등을 참고하여 따르도록 하여야 한다.

#### 3.1. 유로-발리스의 기준 시험 체계

유로-발리스의 테스트 규격서는 모든 유로-발리스 데이터 송신 방식의 일치성 및 적합성을 보증하기 위해 요구되는 특정 검증 방법을 정의한 것이다.

또한 발리스의 상세한 기능적 그리고 비 기능적 시험 요구사항을 명확히 밝히고 있으며 유로-발리스의 현장시험 조건은 업-링크 발리스 시험조건과 차상장치의 기준시험장치 조건으로 나눌 수 있다.

현장시험 시 표 1.과 표 2.의 주변 환경 조건은 최대한 가능하도록 유지되어야 한다. 그 환경 조건에 만족되지 않는다면 그 조건들을 충족할 수 있는 보정 절차를 통한 보완이 필요하다.

표 1. 업-링크 발리스 시험 환경 조건

Table 1. The environmental conditions of up-link balise test

Ambient temperature	25°C ± 10°C
Relative humidity	25% to 75%
Atmospheric Pressure	86kPa to 106kPa

Debris in the air-gap	None
Tele-powering mode	CW
EMC noise within the Up-link frequency band	Negligible

표 2. 차상장치 시험 환경 조건  
Table 2. The environmental conditions of on-board equipment test

Ambient temperature	25°C ± 10°C
Relative humidity	25% to 75%
Atmospheric Pressure	86kPa to 106kPa
Debris in the air-gap	None
Tele-powering mode	CW
EMC noise within the Up-link frequency band	Negligible

주변 환경으로부터의 있을 수 있는 영향을 최소화 하기 위해 시험 중인 안테나장치와 발리스 주위에 금속물질이 없어야하며 이 공간의 최소한의 크기가 아래의 그림 2에 명시되어 있다. 발리스의 밑으로 0.4m (위로 0.7m) 내에는 어떠한 금속판도 없어야하며, 단지 몇 개의 금속 지지대만 발리스 밑 0.7m내에 허용된다.

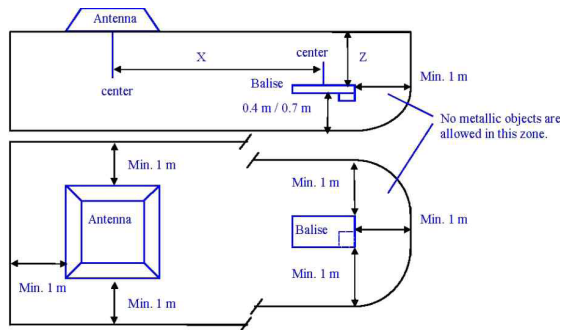


그림 2. 시험 중인 시스템 주변의 자유공간 (free space)의 정의

Fig. 2 Definition of "free space" around the sub-system under test

#### 3.2. 지상 Test Bed 구축

먼저 하이브리드 궤도회로의 설치를 위한 지상 테

스트 베드는 궤도회로의 구성을 위해 레일과 침목에 설치되는 신호제어 케이블과 이동통신을 위한 기지국 및 터널의 폐쇄성으로 인한 동일한 대역의 연속적인 주파수 간섭의 피해를 최소화할 수 있는 구간을 우선적으로 고려하였다.

또한 테스트에 사용하는 차량은 96년도에 제작한 H07C형 모터카(L=5500mm, W=2500mm, H=3150mm, T=10ton, HP=130)를 사용하였는데 충분한 테스트 거리 확보가 필요하며 테스트 거리는 가속거리, 태그설치거리, 제동거리로 구분할 수 있다[7].

먼저 가속거리를 구하기 위해서 식(1)의 힘의 공식을 적용하였다.

$$F = m \times a \tag{1}$$

힘의 공식을 차량의 성능 계산에 적합한 단위로 바꾸어 견인력, 차량중량, 가속도의 관계식을 디젤동력차 기준으로 점착견인력을 적용 시  $F$ 는 1초당 디젤동력차의 견인력(26,410.4Kg/t),  $m$ 은 질량(10,000Kg),  $a$ 는 가속도(Km/h/s)라 할 때 식(2)와 같다.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{26410.4Kg/t}{10000Kg} = \frac{2.641}{t} Km/h/s \tag{2}$$

식(2)의 Km를 M, h를 s의 단위로 변환하여 계산하면 가속도는 식(3)과 같이 표현된다.

$$a = \frac{2.641}{t} \times \frac{1000M}{3600} = 0.734M/t \tag{3}$$

식(4)는 등가속도를 이용한 거리를 구하는 공식으로  $S$ 는 이동거리,  $v_1$  은 최종속도(Km/h),  $v_0$  는 최초속도(Km/h),  $t$ 는 시간(s)을 나타낸다.

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \tag{4}$$

따라서 최초속도 0Km/h, 최종속도 70Km/h, 가속시간을 20초라고 가정하고 식(3)에서 도출한 가속도 결과 값을 식(4)에 적용하였을 때 모터카의 가속에 필요한 최소 거리는 146.8M라는 결과가 나온다.

다음으로 제작된 100개의 태그설치 거리는 최소 1M부터 최대 5M까지 시험을 예상하여 5M간격 기준

으로 설치 시 500M로 환산하였다.

마지막으로 모터카 제동거리는 식(5), (6)과 같이 공주거리(제동이 작용하기 까지 거리)  $S1$ 과 실제동거리(제동이 작용하고 정지까지의 거리)  $S2$ 의 합으로 표현된다.

$$S1 = \frac{1000 \times V_f}{60 \times 60_f} \times T(s) \tag{5}$$

$V$ 는 제동 시 처음속도(Km/h),  $T$ 는 공기 제동의 공주시간(비상 시 약 2초로 환산)을 나타낸다.

$$\begin{aligned} S2 &= \frac{\frac{1000W_f}{9.8_f} \times \frac{V_f}{3.6_f}}{2F_f} \\ &= \frac{3.9368 \times (1 + A) W V_f^2}{F_f} \\ &= \frac{4.17 W V_f^2}{F_f} \\ &= \frac{4.17 W V_f^2}{P2 \times U_f} \end{aligned} \tag{6}$$

$F = P2 \times U$ ,  $A$ 는 디젤 동력차의 회전축 관성계수(0.06),  $V$ 는 제동 시 처음속도(Km/h),  $P2$ 는 총 제동력(24,696Kg),  $W$ 는 모터카 총중량(TON),  $U$ 는 평균 마찰계수(70Km/h시 0.143)를 나타낸다.

따라서 모터카 최고속도인 70Km/h 주행 시 제동거리는 식(7)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} S1 &= \frac{V_f}{3.6_f} \times T = \frac{70_f}{3.6_f} \times 2 = 38.8M, \\ S2 &= \frac{4.17 \times W \times V_f^2}{F_f} \\ &= \frac{4.17 \times 18 \times 70^2_f}{24696 \times 0.143_f} = 104.1M, \\ S &= S1 + S2 = 142.9M, \end{aligned} \tag{7}$$

따라서 테스트에 필요한 최소 거리는 가속거리 146.8M, 태그설치거리 500M, 제동거리 142.9M로 총 789.7M가 필요하다.

위와 같은 사항들을 고려하여 본 연구에서는 하이브리드 궤도회로의 도시철도 구간 내 현장 적용을 위해 2호선 잠실철교(강변~잠실나루) 구간으로 결정하였다. 시험 구간은 곡선 구간이 없어 태그의 간격을 일정하게 취부하여 안테나의 인식률을 최대화 할 수 있으며 콘크리트 도상위에 RC침목으로 이루어져 모터카의 진동에 의해 태그의 위치가 틀어짐을 최소화 할 수 있다. 또한 직선 구간이고 잠실철교의 구배를 고려했을 때 모터카의 최고 속도(70Km/h) 운행이 가능하며 그림 3과 같이 1,589M로 충분한 테스트 거리가 확보될 수 있다.

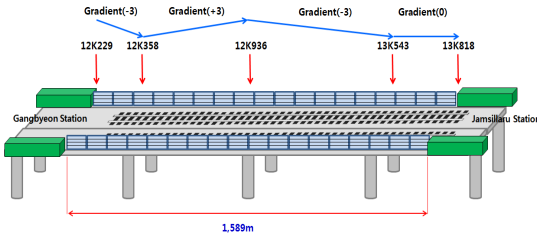


그림 3. 서울메트로 2호선 시험 구간  
Fig. 3 A test bed of seoulmetro line no. 2

### 3.3. 차상 안테나의 설치 및 구성

차상신호안테나(CAU)의 위치설정은 안테나 전송시스템의 기능오류를 피하기 위하여 매우 중요하다. 설치 요구사항은 레일에 관계된 3개의 기준 축으로 정의된 좌표축 시스템을 사용한다. CAU 설치 요구사항은 다음 그림에 정의된 기준 축에 관련된 CAU 기준점 위치에 의해 명시되었다[8-9].

표 3. 기준축 설치 조건  
Table 3. Mounting conditions of reference axis

	Lateral distance between a central axis and a base Z line of Antenna	
nominal position	0mm	0mm
permissible tolerance	±10mm	±10mm

dynamic position	maximum ±150mm	maximum ±150mm

표 4. 수평축 설치 조건  
Table. 4 Mounting conditions of horizontal axis

	Gradient of antenna	Yawing of antenna	Pitching of antenna
nominal position	0mm	0mm	0mm
permissible tolerance	±1°	±1°	±1°
dynamic position	maximum ±3°	maximum ±3°	maximum ±3°

차상안테나의 취부형태 및 설치방법은 차량의 특성과 침목의 형태에 따라 다르며 차량과 지상의 원활한 정보인터페이스를 위해 규정된 설치범위에 들어와야 하며 일반적으로 차량의 전두부와 후두부에 설치하며 형태는 다음 그림 4와 같다[8].



그림 4. 차상안테나 설치 예시  
Fig. 4 Example of CAU installation

아래 그림 5(a), (b)는 하이브리드 궤도회로 시험을 위한 모터카에 설치한 차상안테나와 연결 체결구 설치상태를 나타내었다.

모터카 최단하부와 레일 사이가 9Cm로 낮고 설치

공간이 없기 때문에 차량하부에 설치 불가능하여 차량 전/후반 연결 체결구를 이용한 높이 조절용 기구를 제작하여 사진 5(a), (b)처럼 설치하였다. 차량안테나 설치하는 가시거리를 최대한 확보하고, 지상의 태그와 수직으로 설치하였다[6].

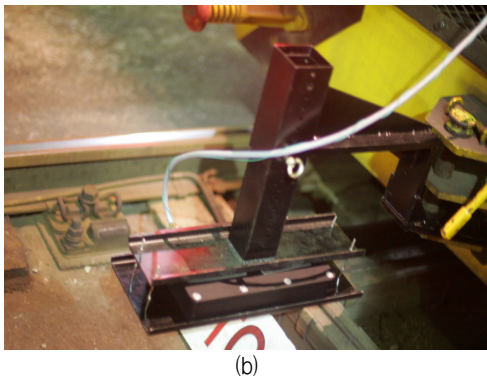
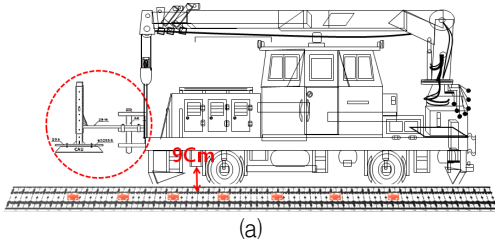


그림 5. 시험용 모터카에 설치한 차상안테나  
Fig. 5 CAU installed on motor car for field test

#### IV. 현장 시험 및 분석

##### 4.1. RFID 시스템 성능테스트

태그가 많은 경우 원하는 태그만을 읽는 것이 어렵다. 일정한 간격으로 떨어진 곳에 태그들이 배치되어 있을 때 원하는 태그 하나만을 읽으려면 리더기의 파워를 세밀히 조절해야 한다. 또는 이와 병행하여 안테나 주변에 차폐체 등을 설치하여 원하는 태그만을 읽을 수 있도록 환경을 구성해야 한다[6].

따라서 잠실철교에서 서울메트로 영업 종료 후 짧은 시간 안에 테스트의 완료를 위해서는 최상의 인식률을 도출할 수 있는 리더기의 세팅이 필요하다. 먼저 리더기의 출력 파워와 안테나 높이에 따른 태그 인식률을 확인하기 위해 테스트가 비교적 여유로운 서울

메트로 신정차량기지 시험선에서 모터카 속도와 리더기의 출력 파워를 변경하면서 시험하였다. 그림 6(a)와 같이 모터카의 속도는 10Km/h 주행 시에는 출력 파워에 관계없이 95%이상의 인식률을 나타내었고 속도가 빨라질수록 출력 파워에 따른 인식률의 차이가 큰 편이었다. 또한 리더기의 출력파워가 높을수록 전체적으로 속도의 변화에 따른 인식률의 차이가 적었다[8].

안테나의 높이는 태그로부터 25cm와 50cm높이로 구분하여 측정하였는데 그림 6(b)와 같이 출력파워 20db를 제외하고 50cm높이의 인식률이 25cm높이의 인식률보다 매우 높은 편이었다[8].

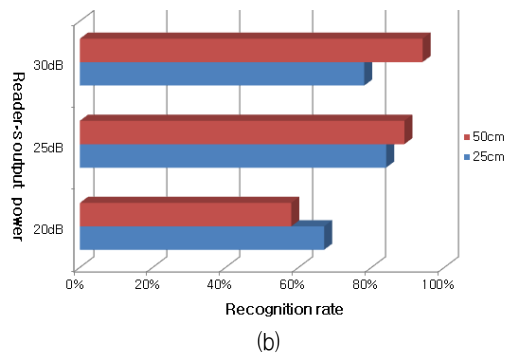
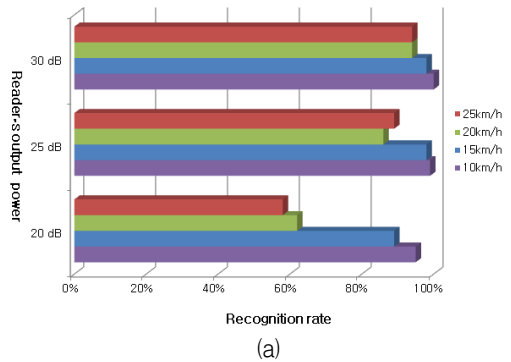


그림 6. RFID 성능 시험 결과  
Fig. 6 Result of RFID performance test

##### 4.2. 현장 테스트

신정차량기지 시험을 통해서 도출한 최적의 인식률 값을 적용하여 리더의 출력파워는 30db, 안테나는 이득 6dBi의 성능을 가지는 일체형 리더기를 사용하였

고 높이는 태그로부터 50cm로 세팅하여 2호선 강변역과 잠실나루역 사이의 직선구간에서 진행하였다. RFID 리더를 모터카에 장착 후 선로 바닥에 태그를 설치하여 모터카의 속도에 따른 태그의 인식 성능을 테스트 하였다.

모터카 속도에 따른 RFID 태그의 인식률에 대한 테스트 결과를 그림 7(a)에 나타내었다. 10Km/h에서 60Km/h까지 5Km/h 단위, 태그의 간격은 1m로 설치한 후 각각의 지정속도를 유지하며 태그를 인식한 결과 45 km/h 이하의 속도에서는 100 %의 태그 인식률을 나타내었다. 그러나 50Km/h와 60Km/h의 속도에서는 각각 99 %와 94 %의 태그 인식률을 나타내었다. 50 km/h 이상의 속도에서 발생하는 인식률 저하를 보완하기 위하여 태그를 2M 및 5M 간격으로 변경하여 테스트 한 결과 그림 7(b)와 같이 5M 간격으로 설치 시 50 Km/h 이상의 속도에서 가장 높은 98 %의 태그 인식률을 나타내어 태그 간격의 조정으로 RFID 시스템의 태그 인식 성능 차이를 확인할 수 있었다

## V. 결 론

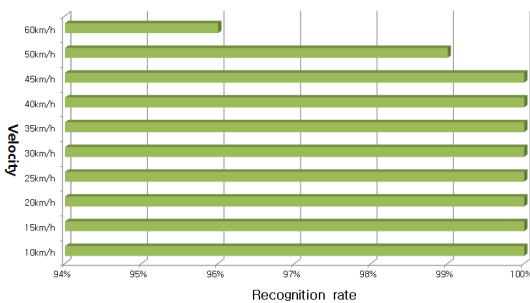
본 논문에서는 철도용 RFID 태그와 리더 안테나를 이용한 하이브리드 궤도회로 시제품의 현장 적용을 위한 테스트베드의 구축, 최상의 측정값을 도출하기 위한 현장시험 방안과 그 절차에 대하여 고찰하였다.

모터카를 이용한 테스트를 통해 지상의 태그 인식률을 높이기 위한 태그와의 안테나 설치 거리 및 리더기 출력과워 값을 알 수 있었고 태그 간 간격 조정으로 속도 변화에 따른 태그 인식률 저하의 보상을 확인할 수 있었다.

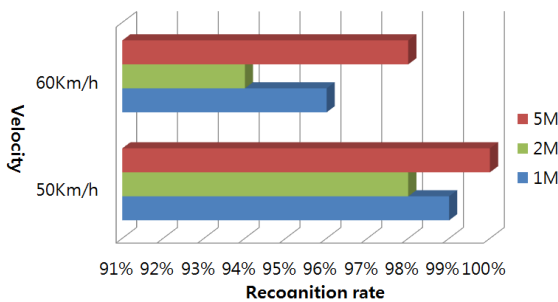
다만 태그 설치 시 간격을 늘릴 수 있으나, 궤도회로는 폐회로를 구성하여야 한다는 면에서 볼 때 태그의 간격이 좁을수록 열차 제어 측면에서 효율성이 높을 것이다. 그리고 50Km/h 이하의 속도에서는 100% 인식률을 나타낸 반면 50Km/h 이상의 속도에서는 인식률의 저하가 있었기 때문에 50Km/h 이상의 속도에서도 100% 인식률 확보를 위해서는 리더기 등 하드웨어의 기술적인 성능 조정이나 구체적인 태그간격 조정에 대하여 지속적인 연구진행에 따라 최적의 태그 수량을 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

또한 모터카를 이용한 시험의 결과 값을 바탕으로 작성된 데이터들은 추 후 전동차 등 영업 운영을 위한 일반 철도 차량에 적용 시에는 각 철도 차량의 제원 및 제동 특성 파악 등 새로운 설정을 통해 최적의 테스트 환경을 구축 시 참고할 수 있다.

본 논문을 통해 도출한 데이터는 발리스와 같이 기존 중앙열차에 사용하던 RFID 기술을 경량열차 및 트램 등에 적용하고 철도환경 표준화 적용 및 하이브리드 궤도회로의 상용화 시 판단할 수 있는 근거 자료로 활용될 수 있을 것이다.



(a)



(b)

그림 7. 현장 태그 인식률 시험  
Fig. 7 Tag recognition test on field

### 감사의 글

본 논문은 2013년도 국토교통부의 미래철도 연구개발 사업 과제(12PRTD-C061739-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었음.

### 참고 문헌

[1] M.-S. Kang, E.-B. Jung, and K.-S. Lee, "A Study on the Optimal Train Recognition Ratio

Instrumentation based on RFID," *J. of The Korean Society of Railway*, vol. 10, no. 6, Dec. 2007, pp. 633-639.

- [2] C.-L. Li, H.-H. Jung, S.-H. Oh, H.-S. Yun, Y.-S. Ko, and K.-S. Lee, "A Study on Hybrid Track Circuit in Railway Signalling System," *Conf. of The Korean Institute of Electronic Communication Science*, Nov. 2011, pp. 211-214.
- [3] C.-L. Li, K.-S. Lee, D.-I. Yang, S.-H. Oh, H.-H. Jung, and J. Kim, "A Study on Safety Analysis of Hybrid Track Circuit," *Conf. of The Korean Society of Railway*, Nov. 2013, pp. 843-847.
- [4] I.-S. Kim and C.-S. Kim, "Anti-Collision Algorithm for High-Speed Tags in Active RFID System," *J. of The Korean Institute of Electronic Communication Science*, vol. 8, no. 12, Dec. 2013, pp. 1891-1903.
- [5] H.-H. Jung, Y.-O. Ko, C.-L. Li, and K.-S. Lee, "Study on Precise Positioning using Hybrid Track Circuit system in Metro," *J. of The Korean Institute of Electronic Communication Science*, vol. 8, no. 3, Mar. 2013, pp. 471-477.
- [6] S.-H. Lee, K.-H. Park, K.-S. Choi, and T.-W. Kim, "Study on the RFID Tag Recognition Ration in the development of Hybrid Track Circuits," *Conf. of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Oct. 2013, pp. 286-288.
- [8] S.-C. Seo, "A Study on the controls of precise position stop in rapid transit trains," *Doctor's Degree Thesis, Seoul National University of Science and Technology*, 2010.
- [9] J.-C. Kim, H.-K. Lee, S.-J. Lee, K.-H. Park, Y.-J. Kim, and T.-W. Kim, "Study on the optimization for the installation of onboard antennas in the development of hybrid track circuits," *Conf. of The Korean Society of Railway*, Nov. 2013, pp. 491-495.
- [10] J.-C. Kim, S.-J. Lee, K.-H. Park, K.-S. Choi, and K.-S. Lee, "Development of the Testing Methods for Hardware Functional Certification of Hybrid Track Circuits," *Conf. of The Korean Society of Railway*, May. 2013, pp. 151-156.

저자 소개

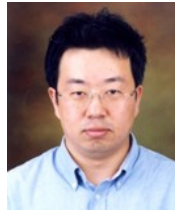
**권부석(Bu-Seok Kwon)**



2005년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2006년~현재 서울메트로 기술연구원

※ 관심분야 : RFID 시스템, 철도신호

**정호형(Ho-Hung Jung)**



1993년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)  
1996년 인하대학교 대학원 자동화공학과 졸업(공학석사)

2011년~현재 광운대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

1993년~현재 : 서울메트로 기술연구원

※ 관심분야 : RFID 시스템, 철도신호

**이기서(Key-Seo Lee)**



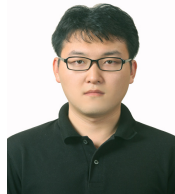
1977년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사)  
1979년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사)

1986년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

1981년~현재 광운대학교 정보제어공학과 교수

※ 관심분야 : RAMS, 철도신호

**이창룡(Chang-Long Li)**



2008년 煙台대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

2008년~현재 광운대학교 대학원 제어계측 공학과 석박사통합과정

※ 관심분야 : 철도신호, RAMS