

철도교통 트랜스폰더 태그의 선로변 설치를 위한 내환경성 연구

Study on Environmental Resistance of Railway Transponder Tag for Wayside Installation

김혜윤* · 박성수** · 양영구* · 이승원*** · 엄기중*** · 이재호†

(Hye Yun Kim · Sungsoo Park · Youngoo Yang · Seung Won Lee · Ki Jung Youm · Jae-Ho Lee)

Abstract – In this paper, we studied the environmental requirements for the railway transponder system. The transponder system is comprised of a reader installed beneath the train, a tag installed on the track, and a portable programmer. Among them, the transponder tag should be designed to withstand harsh environments, such as wide operating temperature range, mechanical shock and vibration, etc. To validate stable and reliable service under railway conditions, we carried out environmental test for transponder tag. We then installed the tags on the Honam high-speed test line.

Key Words : Transponder, Environmental Test, Test Standard, RFID, Simulation

1. 서론

일반적으로 철도교통에서 열차의 위치확인용 선로를 전기적으로 분할하는 궤도회로에 의해 일정구간에 열차가 존재함을 확인하고 있다. 하지만 최근에는 열차운행의 효율성 개선과 열차위치의 정확성, 신뢰성, 실시간성 확보를 위해 타 교통분야에서 적용 중인 항법시스템과 다양한 센서를 열차에 직접 탑재하여 융합하는 연구가 진행되고 있다. 특히, 정확하고 신뢰성 있는 열차의 위치정보는 열차제어 뿐만 아니라 화물운송, 열차운행감시, 승객서비스, 철도 시설물 유지보수 등 다양한 철도교통 분야에서 활용이 기대된다.

고속에서 열차 위치정보의 정밀도를 개선하기 위하여 고정밀 철도교통 위치검지 기술개발[1]에서 절대위치 보정용 센서로 적용하기 위한 철도교통 트랜스폰더 시스템을 개발하는 연구를 수행 중에 있다. 트랜스폰더 시스템은 그림 1과 같이 트랜스폰더 리더, 트랜스폰더 태그, 트랜스폰더 프로그래머 장치로 구성되어 있다. 트랜스폰더 리더는 태그로부터 위치정보를 받아 처리하는

시스템으로 차량 하부에 위치하고, 트랜스폰더 태그는 저장된 위치정보를 리더로 전달하는 시스템으로 선로변에 설치한다. 트랜스폰더 프로그래머는 태그에 다양한 정보를 다운로드하는 휴대장치로 쉽게 이동이 가능하다. 트랜스폰더 시스템을 운영할 때 선로변에 설치되는 트랜스폰더 태그의 경우 외부에 노출되어 환경요구조건이 가장 가혹하므로 시스템에 적합한 환경시험 요구사항을 도출할 필요가 있다.

환경시험은 제품이 저장, 운송, 운용 중 발생할 수 있는 각종 환경조건에 있어 신뢰성을 만족하는지 평가하는 시험으로 온도시험, 진동시험, 충격시험 등이 대표적이다. 환경시험규격은 IEC, EN 등의 국제 규격과 국내규격인 KS에 정의되어 있다. 또한, 트랜스폰더 태그와 유사한 성질을 가진 시스템으로 유럽에서 상용화된 유로발리스 시스템의 자체 규격과, 유로발리스를 국내에 적용하면서 국내 환경에 맞는 환경조건을 명시해 놓은 한국철도시설공단 철도용품 표준규격서 ATP 지상장치에도 환경시험에 대한 규격이 명시되어 있다.

본 논문에서는 IEC, EN, KS, 유로발리스 규격 및 한국철도시설공단 표준규격서 등을 참고하여 규격을 정의하고 트랜스폰더 태그에 적합한 온도시험, 진동시험, 충격시험에 대해 요구사항을

† Corresponding Author: ICT Convergence Research Team, Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute (KRRRI), Korea.

E-mail: prolee@krrri.re.kr

* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

** ICT Convergence Research Team, Metropolitan Transportation Research Center, Korea Railroad Research Institute (KRRRI), Korea.

*** SunwaveTec Co., Ltd, Uiwang, Korea.

Received : March 23, 2015; Accepted : April 27, 2015

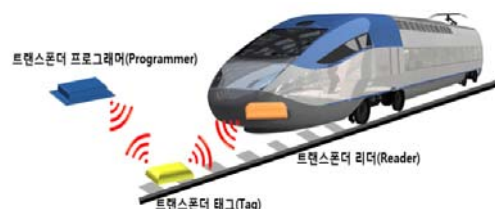


그림 1 철도교통 트랜스폰더 시스템 전체 구성도

Fig. 1 Configuration of Railway Transponder System

도출하였으며, 해당 요구사항을 토대로 환경시험에 대한 시물레이션을 진행하고 호남고속선 일부구간에 설치하여 적용성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 철도교통용 트랜스폰더 설치 환경

개발되는 트랜스폰더 태그는 차상에 설치되는 리더의 위치를 고려하여 선로변 레일 중앙 부분에 설치 될 예정이며, 이는 고속 구간에서 정확한 정보를 얻기 위함이다. 태그의 설치환경은 자갈 궤도의 경우 침목에, 콘크리트 궤도의 경우 콘크리트 상면에 부착할 예정이나 본 연구에서는 400km/h급의 고속테스트를 위해 콘크리트 도상인 호남고속철도 구간에 설치될 예정이므로 시험환경을 콘크리트 궤도로 한정하였다. 콘크리트 궤도는 설치 방법은 그림 2에서 보인 바와 같이, 태그의 손상이나 태그와 정보 송수신하는 리더와의 간격 등을 고려하여 콘크리트에 직접 태그를 부착하지 않고 콘크리트 바닥에 브라켓을 고정하여 설치한 후, 태그를 브라켓에 고정하는 방안으로 구성하였다[2].

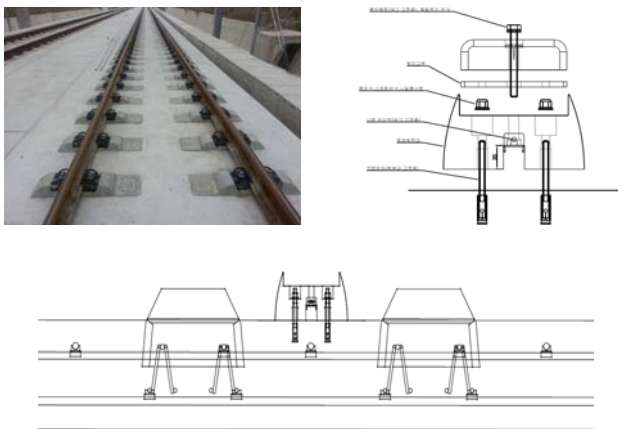


그림 2 호남고속철도 콘크리트 궤도와 브라켓 설치도
 Fig. 2 Transponder tag and bracket designed for installation on Honam high-speed test line



2.2 트랜스폰더 환경시험 규격

IEC, EN과 같은 국제 규격은 범용적인 의미의 표준규격으로 철도차량, 지상장치, 차상장치 등 광범위하게 정의 되어 있어 트랜스폰더 태그의 경우 지상 장치에 해당되는 큰 범위의 규격에서 세부 규격을 찾아 검토하였다.

유로발리스는 트랜스폰더 태그와 설치환경이 비슷하고 기능적인 면에서 유사한 시스템으로 유로발리스 자체 규격(SUBSET-036)에서 환경시험에 대한 내용을 검토하였고, 유로발리스를 국내에 ATP 장치로 적용했을 때 유로발리스 자체 규격을 참고하여 국내환경에 맞게 정의한 한국철도시설공단 철도용품 표

표 1 트랜스폰더 태그와 유로발리스 비교

Table 1 Comparison of Transponder Tag and Eurobalise

	트랜스폰더 태그	유로발리스
		
적용범위	도시/일반/고속철도	일반/고속철도
적용목적	위치검지	ATP 하부시스템
적용속도	≤400km/h	≤500km/h
설치장소	자갈/콘크리트궤도	자갈/콘크리트궤도

준규격서 ATP 지상장치를 토대로 트랜스폰더 태그에 적합한 환경시험 규격을 도출 하였다. 표 1은 유로발리스와 트랜스폰더 태그를 비교한 표이다.

2.2.1 온도시험

온도시험은 사용되는 환경에 따라 저온과 고온에서 시스템의 변형 정도를 측정하는 시험으로 트랜스폰더 태그에 해당하는 범위를 규격별로 정리하여 표 2에 비교하였다.

한국철도시설공단의 규격서는 KS R9191규격을 참고하여 시험한다고 정의되어 있으며, 발리스를 대상으로 극한지의 레일 주변에 설치할 경우(제6종)의 시험조건에 따라 시험한다고 정의되어 있다. 따라서 트랜스폰더 태그의 온도시험은 KS R9191의 제 6종을 바탕으로 진행되어야 하며, 실제 환경시험 시에는 국내 기후 조건을 고려하여 6종의 저온시험을 -40℃로 수정하여 시험하는 것이 적절하다[3-5].

표 2 트랜스폰더 태그 온도시험 규격

Table 2 Temperature Test Standard for Transponder Tag

표준	특성		
IEC	T1	(-25 +40)℃	
	T2	(-40 +35)℃	
	T3	(-55 +40)℃	
유로발리스	Tmin	-40℃	
	Tmax	+85℃	
KS R9191	4종	고온시험(TH)	60±2℃
		저온시험(TL)	-10±3℃
	5종	고온시험(TH)	60±2℃
		저온시험(TL)	-20±3℃
	6종	고온시험(TH)	60±2℃
		저온시험(TL)	-30±3℃

2.2.2. 진동시험

태그의 진동시험은 외부 진동에 의한 가속도와 진동의 정도를 측정하는 시험으로 국제규격 IEC 60068-2-64에 표준화된 시험 스펙트럼이 정의 되어 있고 한국철도시설공단 규격서에도 IEC 60068-2-64 규격을 적용하여 진동 시험을 시행한다고 명시되어 있다. 트랜스폰더 태그는 본 규격에서 거치형 설비(Stationary Installation) 스펙트럼의 카테고리 중 외부에서 유래한 진동이 있는 건물에 해당된다. 그림 3은 주파수에 따른 진동 가속도 스펙트럼을 나타낸 것으로 진동 시험 시 만족해야 하는 범위를 그래프로 표현하였고, 표 3는 그래프에 대한 정량적 수치를 나타낸 것이다[5-8].

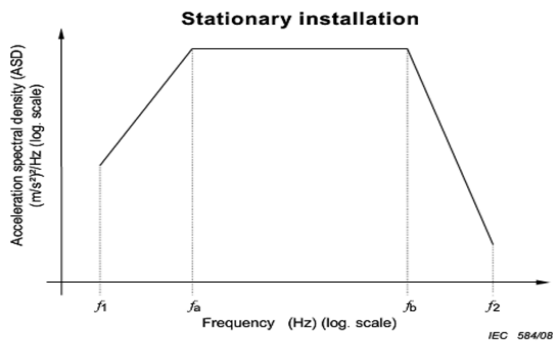


그림 3 트랜스폰더 태그 진동시험 규격 (거치형 설비 스펙트럼)
Fig. 3 Vibration Test Standard for Transponder Tag (Stationary Installation Spectrum)

표 3 트랜스폰더 태그 진동시험 규격 상세 속성 (거치형 설비 스펙트럼)

Table 3 Vibration Test Standard for Transponder Tag (Stationary Installation Spectrum)

표준	특성		
	IEC60068-2-64 (KS C IEC 60068-2-64)	f ₁	Hz
ASDf ₁		(m/s ²) ² /Hz	0.022
f _a		Hz	30~200
SDf _a ,f _b		(m/s ²) ² /Hz	0.20
f ₂		Hz	500
ASDf ₂		(m/s ²) ² /Hz	0.0052
a _{r.m.s} value	m/s ²	7.0	

2.2.3 충격시험

태그의 충격시험은 외부 충격에 의한 가속도와 충격에 의한 변화를 측정하는 시험으로 국제규격 IEC 60068-2-27을 바탕으로 국내규격인 KS C IEC 60068-2-27에 각종 철도 시설 및 장비에 대한 충격시험내용이 정의 되어 있고, 한국철도시설공단의 규격에서도 유로발리스의 KS C IEC 60068-2-27 규격을 적용하

여 시험을 시행한다고 명시되어 있다. 표 4에 트랜스폰더 태그에 해당되는 내용을 정리하였고 이를 바탕으로 충격시험을 진행해야 한다[5,9].

표 4 트랜스폰더 태그 충격시험 규격

Table 4 Shock Test Standard for Transponder Tag

가속도		펄스형태	장비용
첨두가속도 g _n (=m/s ²)	지속시간 (ms)		
15(150)	11	첨두톱니파형	-건고성, 취급, 운반에 대한 일반시험
		정현반파파형	-안전한 내충격성 포장에 들어있으며 도로, 철도, 또는 항공기뿐만 운반되거나 여기에 영구 설치되는 육상 품목
		사다리꼴파형	

2.3 트랜스폰더 태그 재질 검토

트랜스폰더 태그는 크게 태그 기구, 브라켓, 태그와 브라켓을 고정하는 볼트와 너트, PCB, 태그와 브라켓 사이 방진 및 완충을 위한 방진패드, PCB고정용 패드로 구성되었다. 대부분의 부품은 재질의 물성치가 이미 정해져 있지만 태그 기구와 브라켓의 경우 외부 환경에 적합한 재질 검토가 필요하다. 따라서, 태그기구와 브라켓에 한해 3가지 재질에 대한 온도, 진동, 충격시험을 진행하였고 그에 따른 결과를 표 5와 같이 검토하였다.

NYLON66 재질의 1차 시사출은 내충격 및 탄성은 좋으나 사출 성형성 및 고온에서 변형이 심하여 부적합하고, PC와 PBT 재질로 제작된 2차 시사출은 내충격성 및 고온에서 탄성과 성형성은 양호하지만 저온에서 강도 테스트를 진행하였을 때 강도가 저하되는 현상이 발견되어 부적합 하다. PC+PBC+내한재 재질로 제작된 3차 시사출의 경우 강도 및 외관형상 사출 성형성도 양호한 상태이고 충격, 진동, 온도 규격에 따른 시험에서도 양호하였다. 재질 테스트 결과와 환경검토를 적용하여 환경시험 시뮬레이션을 진행하고자 트랜스폰더 태그의 물성치를 표 6에서 나타내었다.

표 5 태그 기구 및 브라켓 재질 비교

Table 5 Comparison of Materials for Tag Body and Bracket

	1차 시사출	2차 시사출	3차 시사출
사진			
재질	Nylon66	PC+PBT	PC+PBT+내한재
내용	내충격 및 탄성은 좋으나 사출성형성 및 고온에서 변형이 심함	저온에서 강도 저하	양호

표 6 트랜스폰더 태그 물성치 비교

Table 6 Description of Material Properties of Transponder Tag

		ASA10% Glass fiber reinforced	SUS304	PCB	EPDM	고무
탄성계수	N/mm	4,200	190,000	2,415	5.00	6.10
포아송비		0.35	0.29	0.35	0.49	0.49
질량밀도	Kg/m ³	1,310	8,000	1,100	860	
항복강도	N/mm ²	55.0	215.0	80.0	17.0	9.2
열팽창계수	/k	0.000085	0.000018	0.000055	0.000080	0.000670
열전도율	W/(m*K)	0.17	16	0.19	0.04	0.14
태그 재질		태그기구, 태그브라켓	볼트, 너트 (태그고정용)	PCB	방진 패드	PCB 고정용

2.4 트랜스폰더 태그 환경시험 규격에 따른 적용성 검토

2.2에서 정의한 트랜스폰더 태그의 온도, 진동, 충격시험에 대한 규격과 2.3에서 검토한 물성치를 기준으로 다음과 같이 시뮬레이션을 진행하였다.

2.4.1 온도시험

트랜스폰더 태그의 온도시험 시뮬레이션은 2.2.1에서 정의한 규격으로 진행하였다. 실제 환경시험에서는 국내 기후조건을 고려하여 저온시험을 -40℃로 시험해야 하지만, 시뮬레이션의 경우 규격의 조건을 기준으로 진행해야 하므로 규격에 명시되어 있는 대로 -30℃로 진행하였다.

운용 시와 동일조건으로 볼트가 완전고정 상태이고 저온, 고온의 온도환경에 노출될 경우를 측정하였을 때 고정볼트(SUS304)는 재질의 항복응력(Stress Value) 이상으로 소성 변형이 진행되었고 그때 변위값은 약 0.1mm이하로 나타났다. 고정 부위의 경우 온도에 의한 수축, 팽창이 불가능하므로 고정부위에 응력이 크게 나타난 것을 표 7에서 확인할 수 있다.

표 7 트랜스폰더 태그 온도시험 시뮬레이션 결과

Table 7 Simulation Result of Temperature Test

	저온(-30℃)	고온(60℃)
열 응력 (Thermal Stress)		
열 변위 (Thermal Displacement)		

2.4.2 진동시험

트랜스폰더 태그의 진동시험은 2.2.2에서 정의한 규격을 적용하여 진행하였다. 태그에 진동이 가해졌을 때 최대응력(maximum stress), 최대변위(maximum displacement), 속도 및 가속도(velocity & acceleration)에 대해 X축, Z축에서의 영향에 대하여 분석하였다.

다음 표 8과 표 9에 그 결과를 보였으며, X축에서의 최대응력은 태그 고정용 너트 부품에서 0.86Mpa, 최대변위는 PCB고정용 RUBBER 부품에서 0.0028mm로 나타났으며, Z축에서의 최대응력은 볼트 부품에서 1.08Mpa, 최대 변위는 PCB부품에서 0.0029mm로 나타났다. 고유진동수 해석 결과를 보면 5차까지 규격 범위 안에 포함되므로 공진이 발생할 가능성이 있지만 시뮬레이션 상 해당 제품은 현재 진동규격에서 3σ인 99.6%까지 안전하다고 볼 수 있다.

표 8 트랜스폰더 태그 진동시험 결과 (I)

Table 8 Simulation Result of Vibration Test (I)

항목		1σ	2σ	3σ
		68.2%	95.4%	99.6%
X축	응력 (N/mm ²)	0.86	1.72	2.58
	변위 (mm)	0.0028	0.0056	0.0084
Z축	응력 (N/mm ²)	1.08	2.16	3.24
	변위 (mm)	0.0029	0.0058	0.0714

표 9 트랜스폰더 태그 진동시험 결과 (II)

Table 9 Simulation Result of Vibration Test (II)

	X-축	Z-축
응력 (gn=15, 최대)		
변위 (gn=15, 최대)		
속도&가속도 (RMS)		

2.4.3 충격시험

트랜스폰더 태그의 충격시험은 2.2.3에서 정의한 규격을 적용하여 진행하였고, 표10에 시뮬레이션 결과를 정리하였다.

표 10 트랜스폰더 태그 충격시험 시뮬레이션
Table 10 Simulation Result of Shock Test

	X-축	Z-축
응력 (gn=15, 최대)		
변위 (gn=15, 최대)		

충격하중을 가하였을 때 X축과 Z축 모두 브라켓과 태그를 고정하는 너트의 좌우에서 약 30Mpa의 최대 응력값이 나타났으나, 이는 SUS304(볼트, 너트) 재질의 항복강도인 215MPa보다 낮으므로 설계 제품은 15gn의 충격 가속도에서 안전하다고 볼 수 있다. 또한 최대 변위는 X축과 Z축 둘다 태그기구부분에서 약 0.270mm 정도의 변위값이 나타났으며, 브라켓에서는 EPDM(방진패드)의 완충효과로 변위값이 나타나지 않았다.

2.4 트랜스폰더 태그 현장설치

시뮬레이션 수행결과 현장 설치 조건이 양호한 것으로 검토되어 이 결과를 기반으로 표 11과 같이 호남고속철도의 테스트베드 구간에 트랜스폰더 태그를 설치하였고, 현재도 정상적인 상태를 유지하고 있음을 확인하였다.

표 11 트랜스폰더 태그 현장설치
Table 11 Installation of Transponder Tag

현장설치	현장설치 직후	설치 후 4개월 후

3. 결 론

본 논문에서는 트랜스폰더 태그의 환경시험 조건을 국제규격, 국내규격, 시스템규격 등으로 나누어 비교하였고, 국내환경에 적

합한 기준을 선정하여 적용기준을 정립하여 선정된 기준과 태그의 현장설치 방안을 기반으로 현장 적용성을 검토하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 온도시험의 경우 소성변형이 있었지만 규격의 범위를 만족하였고, 진동, 충격시험에 경우에도 최대 응력값과 최대 변위값이 규격 범위를 만족함을 확인 할 수 있었다. 이러한 시뮬레이션 결과에 따라 현장 설치조건이 양호한 것으로 검토되어 트랜스폰더 태그를 현장에 설치하였고, 현재도 정상적인 상태를 유지하고 있음을 확인하였다.

본 연구를 통하여 설치 후 발생 가능한 오류를 방지하고 현장 설치에 있어 건설기관의 신뢰를 확보할 수 있다는 결과를 도출하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업인 고정밀 철도교통 위치검지 기술개발 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (15RTRP-B067297-03)

References

- [1] J. Lee, S. Park, and H. Kim, "Study on High-Speed and High-Precision Train Position Detection," 2013 SPRING CONFERENCE OF THE KOREAN SOCIETY FOR RAILWAY, pp. 1361-1365, 2013.
- [2] S. Park, S. Kim, J. Lee, I. Yu, H. Kim, M. Kwon, "Testbed Implementation for Performance Evaluation of Train Positioning System," 2014 AUTUMN CONFERENCE OF THE KOREAN SOCIETY FOR RAILWAY, pp. 446-455, Dec. 1994.
- [3] IEC 62498-3, "Railway applications - Environmental conditions for equipment - Part 3: Equipment for signaling and telecommunications"
- [4] Eurobalise standard, "UNISIG FFFIS for Eurobalise SUBSET-036"
- [5] Korea Rail Network Authority, "Korea Railway Standards Automatic Train Protection Trackside System", 2014.
- [6] IEC 60068-2-64, "Environmental testing Part 2: Test Fh: Vibration, broad-band random"
- [7] KS C IEC 60068-2-64, "Environmental testing - Part 2-64: Tests - Test Fh: Vibration, broadband random and guidance", 2014.
- [8] IEC 60571, "Railway applications - Electronic equipment used on rolling stock"
- [9] IEC 60068-2-27, "Basic environmental testing procedures Part 2: Tests - Test Ea and guidance: Shock"

저 자 소 개



이 재 호(Jae-Ho Lee)

1989년 광운대학교, 대학원 전자공학과 석사, 2005년 고려대학교 메카트로닉스학과 박사, 1995년~현재 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 책임연구원



김 혜 윤(Hye Yun Kim)

2011년 한신대학교 정보통신공학과 학사 졸업
2014년~ 현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정



박 성 수(Sungsoo Park)

2006년 연세대학교 전기전자공학과 학사
2008,12년 연세대학교 전기전자공학과 석사, 박사, 2012~2013년 연세대학교 전기전자공학과 박사후연구원 2013년~현재 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 선임연구원



양 영 구(Youngoo Yang)

1997년 한양대학교 전자공학과 학사
2002년 포항공과대학교 전자전기공학과 박사, 2002년 3~7월 포항공과대학교 전자전기공학과 박사후연구원, 2002년 8월~2005년 2월 Skyworks Solutions Inc. 2005년 3월~현재: 성균관대학교 정보통신공학부 부교수



이 승 원(Seung Won Lee)

1993년 국민대학교 전자공학과 석사
2004년~2006년 (주)이노와이어리스 기술이사
2006년~현재 (주)썬웨이브텍 상무이사



염 기 중(Ki Jung Youm)

2003년 경일대학교 전자공학과 학사
2011년~현재 (주)썬웨이브텍 선임연구원