

도시형자기부상철도 지지애자의 성능 기준을 반영한 형식승인 용품 기술기준 보완 연구

Study on complementary railway supplies technical standard reflecting the performance criteria of maglev insulator

심정욱*[†], 김상헌*, 박진규*, 지해영*, 박찬경**

Jung Wook Sim*[†], Sang Hun Kim*, Jin Kyu Park*, Chan Kyung Park**

Abstract According to the type approval system introduced by the revised Railway Safety Act, The development of technical standards and test specifications for the type approval of domestic railway vehicles and equipment was conducted. However, the scope of application of type approval is set as existing general railway vehicles and supplies, and it is necessary to develop technical standards and test standards for type approval of urban magnetic levitation railway developed through domestic research. As a result, standard revision studies are being conducted on similar technologies between existing railways and magnetic levitation railways. This study investigates and analyzes the detailed provisions of the type approval technical standard corresponding to the insulator, In order to apply the performance criterion of urban magnetic levitation railway, supplementary study on existing general railway technical standard was conducted.

Keywords : Maglev, Railway safety law, Type approval, Technical standard, Insulator

초 록 개정된 철도안전법에 의해 도입된 형식승인 제도에 따라 국내 철도차량 및 용품의 형식승인을 위한 기술기준 및 시험규격 개발 연구가 수행되었다. 다만, 형식승인의 적용 범위는 기존 일반철도 차량 및 용품으로 설정되어 국내 연구를 통해 개발된 도시형자기부상철도의 형식승인을 위한 기술기준 및 시험규격 개발 필요성이 대두되었다. 이에 따라 기존 일반철도와 유사성을 띄는 용품 및 자기부상철도 고유용품에 대한 기술기준 개정 연구가 수행 중이다. 본 연구에서는 도시형자기부상철도 시설 용품 중 하나인 애자에 대응하는 형식승인 기술기준의 세부 조항을 조사 분석하고, 기존 일반철도의 기술기준에 도시형자기부상철도의 성능 기준을 반영하기 위한 기술기준 보완 연구를 수행하였다.

주요어 : 도시형자기부상철도, 철도안전법, 형식승인, 기술기준, 애자

1. 서 론

철도안전법 전면 개정[1]에 따라 하위 법령 및 세부 지침의 보완이 이루어졌으며, 철도 차량 및 용품의 안전 및 신뢰 확보를 위한 형식승인 제도가 도입되었다. 이러한 철도 안전 제도 도입에 대응한 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발 연구[2]가 수행되었다.

† 교신저자: 한국산업기술시험원 시스템융합본부(jwsim@ktl.re.kr)

* 한국산업기술시험원 시스템융합본부

** 한국철도기술연구원 형식승인팀

형식승인은 일반철도, 고속철도, 도시철도 차량 및 시설 용품을 적용범위로 포함하여 해당 용품의 안전 및 성능 확보를 위한 관련 요구사항 규정하며, 국내 연구[3], [4] 수행을 통해 개발된 도시형자기부상철도의 도시철도 도입을 위한 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발의 필요성이 대두되었다.

도시형자기부상철도 용품은 일반철도와 동일 혹은 일부 유사 기술이 적용되는 용품과 자기부상철도의 고유 특성을 띠는 용품으로 구분되며, 이러한 용품의 특성을 고려한 형식승인을 위한 기술기준 및 시험규격의 제·개정 연구[5]를 수행 중이다. 특히 기존 일반철도 용품의 기술기준 및 시험규격의 개정 시에는 기존 일반철도 용품의 형식승인을 위한 세부 조항 및 시험에 대한 자기부상철도 기술의 적용 가능성 조사 분석이 필요하다.

본 연구에서는 전력설비 시스템의 구성 용품인 애자의 형식승인 기술기준을 개정을 위한 기술기준 세부 조항을 검토하여 도시형자기부상철도 애자의 기술 적용을 위해 개정이 필요한 조항을 도출하였다. 해당 조항은 일반철도-도시형자기부상철도 애자의 성능 기준 세부내용 분석 및 검증을 수행하여 기 도출된 기술기준에 도시형자기부상철도 성능 기준을 반영하기 위한 보완 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 자기부상철도 애자의 형식승인 적용을 위한 검증 필요 항목 도출

애자란, 전차선로나 전기기기의 나선 부분을 절연하는 역할 외에도 기계적으로 전차선을 지지하기 위하여 사용되는 절연체로서, 전기적으로 충분한 절연 내력 및 기계적 하중에 대한 강도를 확보하기 위해 설계된다. 애자의 기계적, 전기적 성능과 관련된 기술기준 요구사항 및 자기부상철도 애자의 설계 요구사항을 아래와 같이 조사하였다.

2.1.1 일반철도 애자의 기술기준 요구사항 조사

애자 기술기준[2]에서는 단상교류 25 kV 커티너리 방식에 사용되는 고분자재 애자(현수애자, 장간애자, 지지애자, 인류애자)를 적용범위로 포함하여 애자의 안전 및 성능 확보를 위한 세부 조항을 규정하도록 하였다.

기술기준에 적용되는 각각의 애자는 자동브래킷용, 급전선 현수용, 급전선 지지용, 전차선로 구분용, 인류용 등으로 세분화되며, 각 용도에 따른 애자의 기준 요구사항은 전압계급, 설계 용량, 환경 조건, 성능 기준 등을 고려하여 설정되었다.

기술기준 적용범위에 분류된 각 종류별 애자의 세부 기준은 시스템의 설계 조건 및 운영 환경에 따라 구분하여 애자의 정상 동작 및 성능 확보를 위해 필요한 기계적, 전기적 성능 기준을 제조사-운영사가 제시한 승인 기준으로 적용하였으며, Table 1에 정리된 관련 시험규격에 따라 기술기준에 포함된 기준 요구사항 검증을 수행하도록 하였다.

Table 1 Domestic standard for insulators

Standard number	Standard Name
KRS PW 0014	Polymer Stem Insulator for Electric Railway (T-m)
KRS PW 0055	Polymer Stem Insulator for High speed Railway (T-mx)
KRS PW 0016	Suspension Insulator for Electric Railway (T-s)
KRS PW 0057	Suspension Insulator for High speed Railway (T-sx)
KRS PW 0017	Polymer Strut Insulator (NSP-50)
KRS PW 0056	Polymer Strut Insulator for High speed Railway (NSP-40)
KRS PW 0015	Tension Insulator for Electric Railway (N-a)

Table 1에 포함된 애자 관련 한국철도표준규격 및 국제규격인 UIC, EN, IEC 등의 세부 내용에 따라 애자 기술기준 적용범위로 분류되는 애자(장간애자, 현수애자, 지지애자, 인류애자 등 총 10종)의 안전 및 성능 확보를 위한 기계적, 전기적 성능 요구사항을 규정하였다.

일반철도 애자의 기계적, 전기적 성능 확보를 위해 기술기준에 포함된 요구사항은 아래와 같다.

- 기계적 성능 요구사항 : 인장내하중, 비틀림하중, 인장파괴하중
- 전기적 성능 요구사항 : 상용주파 섬락전압(건조, 주수), 뇌충격전압, 내전압, 무선간섭전압

2.1.2 도시형자기부상철도 애자의 성능 요구사항 조사

도시형자기부상철도 시설의 애자는 제3궤조를 선로의 거더 또는 주행지지대에 고정하는 장치로 사용되며, 이는 일반철도의 집전방식인 가공전선식에 적용되는 애자의 설치 구조 및 형태와 다름을 알 수 있다.



Fig. 1 Insulator installed in Maglev railway line

도시형자기부상철도 실용화사업[3]을 통해 개발된 애자는 옥외용 에폭시 재질을 적용하여 사용절연내력, 내열성, 내수성, 내후성, 기계적, 전기적 특성 등 종합적인 성질을 고려하여 Table 2를 만족하도록 설계[6],[7],[8],[9]되었다.

Table 2 Material Characteristics of Maglev Train insulators

Characteristics	Standard	unit	Performance
Glass transition temperature	IEC 61006	℃	95~105
Coefficient of thermal expansion	DIN 53752	ppm/k	35~38
Flexural strength	ISO 178	N/mm ²	120~130
Impact strength	ISO 179	N/mm ²	9~11
Insulation strength	IEC 60243-1	kV/mm	18~20
HV arc resistance	ASTM D 495	sec	189~193
Tracking	IEC 112	CT1	Solution A >600-0.0
		Solution B >600M-0.0	
Flame Retardant	ISO 11359-2	Below Tg	HB(4mm)(UL94)
			V1(12mm)(UL94)

2.2 도시형자기부상철도 성능 기준 반영을 위한 기술기준 분석 및 요구사항 도출

앞선 2.1에 따라 일반철도 애자의 형식승인 기술기준 세부 요구사항 및 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 조사하였다. 조사된 결과에 따라 일반철도 애자의 기계적 성능 요구사항 중 피로파괴, 인장내하중에 대한 요구사항은 도시형자기부상철도 애자의 설계 당시 고려되지 않은 사항으로 파악되었다. 따라서 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준 반영을 위한 검증 필요 요구사항으로 피로파괴하중, 인장내하중을 도출하였으며, 해당 항목에 대한 일반철도 애자의 성능 기준은 아래의 Table 3에 정리하였다.

Table 3 Detailed requirements of Insulator technical standards

requirement		Tensile load (kN)	Fatigue breaking load (N)
Classification			
Stem Insulator	T-m	58.84	-
	T-ms	58.84	-
	T-mx	45.00	90
Suspension Insulator	T-s1	68.60	137.2
	T-sx	55.00	110
Strut Insulator	NSP-50	39.23	-
	NSP-40	40.00	80
Tension Insulator	T-s2, T-s3	68.60	137.2
	N-a	54.92	-
	Nax	65.00	130

2.3 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준 반영을 위한 검증 수행

2.2항을 통해 도출된 검증 필요 요구사항(피로파괴, 인장내하중)에 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 반영하기 위한 검증을 수행하였다. 검증 수행을 통해 도출된 결과는 일반철도 애자의 형식승인 기술기준에 도시형자기부상철도 애자의 기준 요구사항으로 반영하였다.

2.3.1 피로파괴 기준 적용을 위한 검증 수행

도시형자기부상철도 지지애자의 인장파괴하중은 24.5 kN이며, 일반철도 애자 시험규격의 시험방법[17]에 따라 인장파괴하중치 1/5 ~ 1/3(Max 8.2 kN, Min 4.9 kN)를 시험 수행을 위한 하중 범위로 설정한다. 피로파괴 시험은 그림 피로시험장비와 인장시험 장비를 활용하였으며 피로시험조건은 Table 4와 같다.

Table 4 Test conditions for Fatigue breaking load

Number of repetitions	frequency	Tensile
2,000,000 times	7 Hz	5 mm/min

도시형자기부상철도 지지애자의 피로시험 결과에 따른 애자의 최대 인장은 반복 시험하중의 약 20,000회 재하 시점에서 시험체 전체 길이(100 mm)의 0.25%인 0.25 mm임을 알 수 있다. 또한, 시험 종료 후 애자의 균열, 변형 등은 발생하지 않았다. 따라서, 일반철도 애자의 기술기준에 규정된 피로시험 조항에 따라 도시형자기부상철도 애자의 파괴가 없음을 확인하였으며, 피로시험 이후의 자기부상철도 애자의 인장파괴하중 기준을 적용하도록 한다.

2.3.2 인장내하중 기준 적용을 위한 검증 수행

실용화사업의 제3제조설비 자재시방서[9]의 인장내하중 시험에 따라 인장내하중 시험을 수행하는 도시형자기부상철도 지지애자는 기존 일반철도 애자의 기술기준에 제시된 한국철도표준규격(KRS)의 시험절차 및 조건에 따른 기준 요구사항을 만족하여야 한다.

한국철도표준규격(KRS)의 인장내하중 시험조건은 Table 5의에 따라 인장하중 19.6 kN을 1분간 유지하여 애자의 이상이 없는지 확인하도록 하며, 이 때 인장하중 재하조건은 5 mm/min으로 설정하였다.

시험결과 세 개의 시료 모두 규정 인장파괴하중인 57.5 kN 이상에서 파괴됨을 확인하였다. 각각의 파괴하중은 51.92 kN, 51.40 kN, 52.04 kN으로 도출되었으며, 이는 자기부상철도 애자의 인장내하중인 19.6 kN 조건에서 파괴되지 않음을 확인할 수 있었다.

Table 5 Tension load test results of an maglev insulator

Tensile loading condition	Criteria	result	Breaking load
5 mm/min	Operate without failure	no problem	case-1 : 51.92 kN case-2 : 51.40 kN case-3 : 52.04 kN

위의 시험결과에 따라, 철도 애자의 형식승인 기술기준 인장내하중 기준에 도시형자기부상철도 성능 기준인 19.6 kN를 적용하도록 한다.

3. 결 론

본 연구는 기존 일반철도 용품의 형식승인 기술기준에 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 반영하기 위한 기술기준 세부내용 보완을 목표로 하였다. 연구 수행을 통해 도출된 결과는 아래와 같다.

- 1) 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 형식승인 기술기준에 반영하기 위해 기술기준 보완 필요 항목을 검토하였다.
- 2) 이를 위한 기초자료 분석으로, 일반철도 애자의 기술기준 적용범위에 따른 세부 요구사항 및 실용화사업을 통해 설계 제작된 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 분석하였다.
- 3) 도시형자기부상철도 애자-일반철도 애자는 구조, 설계 용량, 환경조건 등이 상이하므로 일반철도 애자의 기술기준 적용범위에 자기부상철도 애자를 추가 반영하여 관련 성능 기준을 추가하도록 하였다.
- 4) 다만, 기술기준 요구사항에 대응하는 자기부상철도 애자의 성능 기준 항목이 부재인 항목 2 건에 대해서는 형식승인 적용을 위한 검증 필요항목으로(피로파괴, 인장내하중) 설정하여 기술기준 반영을 위한 검증을 수행하였다.
- 5) 피로파괴 및 인장내하중 시험을 수행을 통해 도시형자기부상철도 애자의 성능 기준을 도출하였으며, 도출된 시험 결과는 일반철도 애자의 형식승인 기술기준 반영을 위한 기술 근거로 활용하도록 한다.

도시형자기부상철도의 애자가 추후 국내 도시철도로서 실용화되고 형식승인을 받기 위해 본 연구 결과로 도출된 기술기준 보완사항을 추후 일반철도 애자의 기술기준 개정의 근거자료로 활용할 예정이다.

참고문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport “RAILROAD SAFETY ACT”, Korea Ministry of Government Legislation, 2012
- [2] Chankyung Park, "A study on the improvement of certification system and the readjustment of test standards related with rolling stock/track/environment fields for the parts of railway products", Korea Railroad Research Institute, 2013
- [3] Byungcheon Shin, "Urban Maglev Practical project final report I ~III", Korea Institute of Machinery & Materials, 2009~2013
- [4] Sanghun Kim, "Urban Maglev vehicle standard explanation and understanding", Korea Testing Laboratory, 2013
- [5] Gunyoung Hong, “Experimental study on mechanical performance of urban maglev support insulator”, Spring Conference of The Korea Society for Railway, 2015
- [6] Posco ICT 제3궤조 전차설비 애자 절연거리 검토서, 포스코ICT, 2009
- [7] 도시형자기부상열차 제3궤조설비 자재시방서, 포스코ICT, 2010
- [8] 제3궤조 전차선로 지지금구 신뢰성 향상 보고서, 포스코ICT, 2009
- [9] 도시형자기부상열차 제3궤조설비 자재시방서, 포스코ICT, 2010