

## 도시형자기부상철도 부상장치의 기술기준 및 시험규격 개발 고도화 연구

### Study on advanced Technical specification and Testing standard Development about Urban Maglev Levitation System Products

심정욱\*<sup>†</sup>, 김상헌\*, 박진규\*, 박찬경\*\*

Jung Wook Sim \*<sup>†</sup>, Sang Hun Kim \*, Jin Kyu Park \*, Gun Young Hong \*, Chan Kyung Park \*\*

**Abstract** In order to introduce urban rail foundation of urban maglev railway technical standards and test specifications require the development of railway safety laws urban maglev railway supplies as required by the amendment. In response, under performing the technical specifications, including technical standards and specifications, and uniquely characteristic test research and development of magnetic levitation rail system injuries derived from the urban maglev railways previous studies. This study was carried out advanced research for technology standards and test specifications development of technical standards and test specifications developed based on the findings based on emerging devices reflecting the technical requirements and the unique nature of the injury device is applied to the magnetic levitation urban railway.

**Keywords :** Maglev, Railway Safety Law, Type approval, Technical standards, Testing specification

**초 록** 도시형자기부상철도의 도시철도 도입 기반 마련을 위해서는 철도안전법 개정에 따라 요구되는 도시형자기부상철도 용품의 기술기준 및 시험규격 개발이 필요하다. 이에 대응하여 도시형자기부상철도 선행 연구를 통해 도출된 자기부상철도 부상장치의 기술 사양 및 고유 특성을 포함한 기술기준 및 시험규격 개발 연구를 수행 중이다. 본 연구에서는 도시형자기부상철도에 적용되는 부상장치의 기술 요구사항 및 고유 특성을 반영한 기술기준 및 시험규격 개발 기초 연구 결과를 바탕으로 부상장치의 기술기준 및 시험규격 개발을 위한 고도화 연구를 수행하였다.

**주요어 :** 도시형자기부상철도, 철도안전법, 형식승인, 기술기준, 시험규격

## 1. 서 론

국내 철도는 기술 발전에 비례하여 안전사고도 빈번하게 발생해왔다. 이러한 사고를 방지하기 위한 방안으로 도시철도법과 철도안전법을 운영하였으나, 해당 법의 이원화된 구조로 인해 안전사고 예방 및 사후관리에 대한 문제가 발생하였다. 이를 보완하기 위해 철도안전법이 전면 개정이 시행되었으며 이에 따른 철도 차량 및 용품의 형식승인 제도가 도입되었다. 특히 철도 용품의 경우 형식승인 제도를 통해 해당 용품의 일반 기술 요구사항, 안전 요구사항, 신뢰성/가용성 요구사항 등을 평가하여 철도 용품에 대한 안전성을 확보하도록

† 교신저자: 한국산업기술시험원(jwsim@ktl.re.kr)

\* 한국산업기술시험원

\*\* 한국철도기술연구원

요구하고 있다. 이에 대응하여 국내 개발된 도시형자기부상철도의 도시철도 도입을 위한 도시형자기부상철도 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발 연구가 수행 중이다. 본 연구에서는 자기부상철도 연구과제를 통해 도출된 부상장치의 기술기준 및 시험규격 고도화 연구를 수행하여 추후 도시형자기부상철도의 안전, 신뢰성 확보 및 형식승인 적용을 위한 기술 연구를 수행하였다.

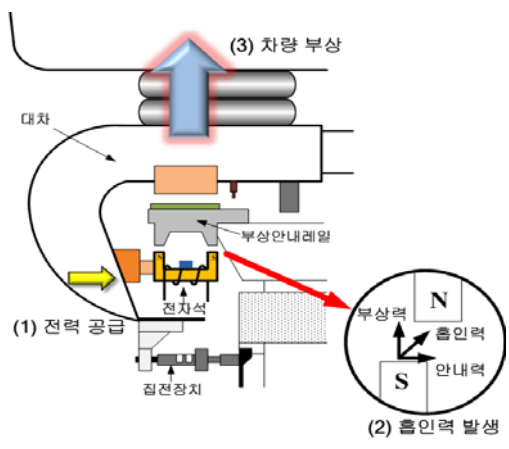
## 2. 본 론

선행 연구를 통해 도시형자기부상철도 부상장치의 구조, 용도, 기술 요구사항 등을 포함한 기술기준 및 시험규격 초안을 개발하였다. 이를 통해 부상전자석, 부상제어장치, 부상/추진레일의 안전 및 신뢰성 확보를 위한 기준 및 관련 시험방법을 요구하였으나, 제한된 기준 사양, 기술 요구사항의 중복성, 불필요한 요구사항 등으로 인한 기술 적용 문제점이 발생, 이를 보완하기 위한 고도화 연구가 필요하다. 따라서 본 연구를 통해 부상장치에 적용된 주요 기술 요구사항을 검토, 이를 형식승인에 적용 시 발생하는 문제점을 도출하여 부상장치의 기술기준 및 시험규격의 수정 보완을 위한 고도화 연구를 수행하였다.

### 2.1 도시형자기부상철도 부상장치의 주요 기술 요구사항

도시형자기부상철도의 부상장치의 구조 및 성능 확보를 위한 주요 기술 요구사항은 아래의 Table 1과 같다.

Table 1 The main technical requirements of Levitation System Device

부상장치 구조	부상장치 주요 기술 요구사항
 <p>Figure 1 Maglev levitation System Structure</p>	<p>자기부상철도는 일반철도와는 달리 부상력을 이용한 차량의 주행 방식을 적용하며, 자기부상철도 차량에 설치된 부상전자석에 외부 전원을 공급하여 전자석과 이에 대응하는 부상/추진레일 강자성체 도체관 사이의 흡인되는 자력을 발생시킨다. 이를 통해 발생된 부상력으로 차량을 주행시키며, 부상제어장치를 통해 자기부상철도 차량-선로 간 부상력 유지에 대한 기술이 자기부상철도의 안전 및 주행 신뢰성 확보를 위한 중요한 요소이다. 따라서, 위의 기술들을 포함한 부상장치 구성용품인 부상전자석, 부상제어장치, 부상/추진레일의 기술 요구사항을 도출하였음</p>

위의 Table 1에 따라 도출된 부상장치의 주요 기술 요구사항을 바탕으로 도시형자기부상철도 부상장치의 각 용품 별 형식승인 기술기준 및 시험규격 초안에 적용된 기술 요구사항은 아래와 같다.

### 2.1.1 도시형자기부상철도 부상전자석 기술 요구사항

부상전자석은 자기부상열차가 레일과 비접촉으로 주행하기 위한 부상력을 발생 시키는 장치로써, 주행 중 어떠한 경우라도 레일과 일정 공극을 유지하기 위한 흡인력이 발생되어야 한다. 특히 부상용 전자석 코일의 온도는 전자석을 연속으로 사용하여도 포화온도까지만 상승을 하므로, 설계 시 절연저하 및 열손상에 의한 코일의 보호 방법 고려가 필수적이다. 또한, 가혹한 환경 조건 및 과도한 사용률로 인한 부상용 전자석의 코일은 과열상태 시 열차가 부상하는 부상력이 감소될 뿐만 아니라 코일에 직접적인 손상을 고려한 기술을 적용하였다.

### 2.1.2 도시형자기부상철도 부상제어장치 기술 요구사항

부상제어장치는 차량의 일정 부상공극을 유지 할 수 있도록 부상용 전자석에 전원을 공급하는 장치로서, 전자석에 위치한 거리센서(gap sensor)를 통해 차량과 궤도와의 이격 상태를 모니터링하며 가속도 센서(acceleration sensor)를 통해 차량의 동적 특성을 피드백 받아 차량 부상을 제어하며 차량의 종합제어장치와 연계하여 진단 및 고장의 감시 기능 등을 적용하였다. 또한 부상상태를 제어하며 부상 상태를 상위 제어기에 전송 및 자기 보호 동작 기능을 포함하였다.

### 2.1.3 도시형자기부상철도 부상/추진레일 기술 요구사항

부상레일은 차량의 안전한 부상, 안내, 주행 및 승차감에 직접적인 영향을 미치며, 또한 차량의 예기치 못한 하강에 의한 내충격 강도 및 기계제동 시 발생하는 마찰에 대한 내마모성 등이 요구하도록 적용하였다. 또한 외부에 설치되는 점을 감안하여 저열팽창 및 내부식성을 고려한 기술 적용을 하였다.

## 2.2 도시형자기부상철도 부상장치 기술기준 및 시험규격 고도화 연구

자기부상철도 부상장치(부상전자석, 부상제어장치, 부상/추진레일)의 기술 요구사항이 포함된 기술기준 및 시험규격 초안은 부상장치의 정상 동작 및 안전, 성능을 확보하기 위한 기술 요구사항을 포함하나, 부적절한 기준 제시/기술 요구사항의 중복성/기술 사양 변경 등에 따른 부상장치의 형식승인 기술 적용에 있어 제한적, 부적합한 기술 사항들이 포함되어 있다. 따라서 부상장치의 형식승인 기술 적용 및 안전성 확보를 위한 기술 검토 및 수정·보완을 통해 세부 기술 요구사항 고도화가 필요하다. 이를 위한 고도화 연구로서 도시형자기부상철도 기술 개발, 운영, 유지보수와 관련된 전문가 자문을 수렴, 부상장치의 기술기준 및 시험규격에 적용된 기술 요구사항의 수정 필요 사항을 도출하였다. 또한, 관련된 자기부상철도 부상장치의 기술 자료를 추가로 검토하여 형식승인 기준 및 규격에 적용된 요구사항을 재검토, 이를 수정 보완하였다. 아래의 Table 2, Table 3, Table 4를 통해 부상장치의 세부 용품인 부상전자석, 부상제어장치, 부상/추진레일에 적용된 주요한 기술 요구사항 및 관련 내용을 설명하였다.

### 2.2.1 부상전자석 기술 요구사항 고도화 연구

**Table 2** The main technical requirements of Levitation magnet

항목	주요 기술 요구사항	세부 기술 내용 설명
코일저항	상온에서 분리된 각 코일의 저항 측정치를 20℃로 환산한 값이 설계기준 값 대비 ± 5% 이내이어야 한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 코일 저항 측정 시험을 통해 열차 운행 중 유지보수 시에도 이상여부를 점검하도록 함</li> <li>- 설계 시 주어진 저항 값이 유지되어야 하며, 코일 저항 값이 범위를 벗어날 경우 요구되는 부상력 발생 성능에 영향을 미칠 수 있음</li> </ul>
코일내부 단락측정	저온 및 고온 환경에서 설계 값을 만족하여야 한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부상전자석의 코일 내부 단락 측정 검사를 실시하여 저온(-35℃) 및 고온(코일 포화온도) 환경에서 전기 코일에 층간 단락이 발생 여부를 확인함</li> <li>- 1차 100 VAC, 60 Hz, 전압변동 ± 0.1 V에서 2차 0.845 VAC/turn의 특성을 가지며, 설계 TURN' s =193일 때 163 ± 2 VAC을 만족하도록 함</li> </ul>
부상력/안내력	발생되는 부상력과 안내력이 만차 조건시의 하중을 지지할 수 있어야 함	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부상전자석이 차량 운행 조건에 적합한지 확인하기 위하여 요구되는 항목임</li> <li>- 부상공극(6~14 mm, 2 mm간격), 안내공극(0~15 mm, 5 mm간격)에서 입력 전류(0~40 A, 5 A 간격)을 조합하여 정상운행 범위 성능을 확인하도록 함</li> </ul>

### 2.2.2 부상제어장치 기술 요구사항 고도화 연구

**Table 3** The main technical requirements of Levitation control device

항목	주요 기술 요구사항	세부 기술 내용 설명
보호동작	입력 과전압, 입력 저전압, 초과 출력 과전압, 초과 출력 과부하, 게이트 드라이브 이상 등에서의 설계된 보호동작이 이뤄지는지를 확인한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DC 입력전압을 인가하지 않고 정격 제어 전원만을 인가한 상태에서 제어기 및 센서류의 동작조건을 보호동작 설계 기준에 따라 시험하여 이상이 없도록 함</li> </ul>
전원변동 및 효율	정상 가동 범위 내에서 기동 및 출력 성능을 만족하여야 한다. 또한 전력 효율을 확보할 수 있도록 한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 차량 운행 중 공급 전원이 항상 일정하지 못하기 때문에 운행 중 발생 가능한 정상 작동 범위 이내에서의 기동 및 출력 성능을 만족하는지 확인하는 시험</li> <li>- 부상제어장치의 전원변동시험을 KS C IEC 60571에 따른 시험 시 리셋등의 필요 없이 계속해서 정상적으로 동작하도록 함</li> </ul>

### 2.2.3 부상/추진레일 기술 요구사항 고도화 연구

**Table 4** The main technical requirements of Levitation/drive Rail

항목	주요 기술 요구사항	세부 기술 내용 설명
기계적 성능	도시형자기부상철도에 적용되는 부상, 추진레일의 항복강도, 인장강도, 연신율을 규정한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 레일의 성능을 보장하기 위해 항복강도, 인장강도, 연신율 등의 부상레일, 추진레일 각각의 기계적 성질을 규정함</li> <li>- 부상레일은 KS D 3752, 추진레일은 KS D 6759에 따라 기계적 성능을 규정함</li> </ul>
화학적 성능	도시형자기부상철도에 적용되는 부상, 추진레일의 재질 별 화학성분을 규정한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부상레일의 경우 바닷가와 인접한 환경을 고려, 염해에 저항할 수 있는 강종으로 선정. 또한, 전자기적 특성, 전자석과의 작용, 용접 특성을 고려하여 화학조성을 규정함</li> <li>- 추진레일은 알루미늄 합금 AL6016을 적용</li> </ul>

### 3. 결 론

본 연구에서는 자기부상철도의 도시철도 도입을 위한 부상장치의 주요 기술 요구사항을 분석하여 새롭게 개정된 철도안전법 형식승인 기술기준 및 시험규격에 자기부상철도 부상장치를 구성하는 부상전자석, 부상제어장치, 부상/추진레일의 형식승인 적용을 목표로 한다.

특히 자기부상철도의 경우, 일반적인 차륜 주행 방식의 철도와는 달리 부상주행을 하기 때문에 부상장치를 구성하는 용품에 대한 기술 요구사항 분석, 이에 대한 형식승인 적용이 필요하다.

해당 기술 내용은 기존 일반철도 용품의 형식승인 기술 요구사항과는 별도로 자기부상철도의 고유한 특성을 지니므로 형식승인 신규 개발 대상으로서 기술 적용을 위한 지속적 연구가 필요하므로, 도시형자기부상철도 연구과제를 통해 자기부상철도 부상장치의 고유 특성을 고려한 형식승인 기술기준 및 시험규격 개발 연구를 지속적으로 추진할 계획이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원(15RTRP-B070556-03)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012) Railway Safety Act.
- [2] S.H. Kim (2013) Improvement of Legislations and Provisions for Practical Operation of Urban Transit Maglev Train, Korea Testing Laboratory.
- [3] C.K. Park (2013) 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.
- [4] Y.S. Kim (2013) Testing Standards and Technical Specifications of Railway Vehicles for Type Approval, Korea Railroad Research Institute.
- [5] G.Y. Hong (2014) A Study on Setting up Urban Maglev Specific Products for Type Approval, Spring Conference of The Korean Society for Railway, pp. 1466-1470.
- [6] J.W. Sim (2014) Requirements Analysis for The Introduction of The Railway Products Type Approval System of Urban Maglev Levitation Magnet, Levitation Control Device, Autumn Conference of The Korean Society for Railway, pp. 189
- [7] J.W. Sim (2015) Consideration on Testing specification Development about Urban Maglev Levitation System Products, Spring Conference of The Korean Society for Railway, pp. 1309-1314.