

저상 고상 승강장 겸용 승강시스템 기술개발에 관한 연구  
- 개념설계 및 시제품의 진동시험 결과를 중심으로 -  
**A Study on the Development of Doorstep Equipment for Both the Low and  
the High Level Platforms**  
**- Focus on Conceptual Design & Prototype's Vibration Test Result -**

박민홍† 이정훈\* 최덕호\* 김철수\*\*  
Min-Heung Park Jeong-Hun Lee Deuck-Ho Choi Chul-Su Kim

**ABSTRACT**

In this study, we review all matters for system application based on the international and the domestic standards. Considering the minimization of bottom frame damage, ease of maintenance, withstanding-environmental performance (condensation or rain), maintenance of airtightness, customer convenience and safety issues in railway vehicle, the conceptual design for doorstep equipment for both the low and the high level platforms is carried out. On the basis of conceptual design, the prototype is manufactured. We perform the vibration test based on the international standard IEC-61373 for securement of the reliability and enhancement of design & production. Finally we would like to describe the test results.

1. 서론

국내 여객을 취급하는 철도역사의 승강장은 간선철도노선의 저상승강장(500mm)과 광역전철구간의 고상승강장(1135mm)으로 구분 운용되고 있다. KTX 및 향후 개발완료 또는 개발예정인 간선열차는 고객 환승에 대한 불편을 감소하기 위하여 본선 및 수도권 전철구간에서의 혼용운용을 고려중이고, 철도 산업의 변화 및 발전에 대처하기 위하여 고상승강장으로의 표준화가 논의되고 있으며, 2018년 동계올림픽이 평창에서 개최됨에 따라 동계올림픽 소요인원 수송대책의 일환으로 인천공항에서 평창까지 철도를 이용하는 방안이 모색되고 있다. 국민의 생활양식이 다양화, 고급화되면서 보다 빠르고 고급화된 교통수단에 대한 요구가 점차 증대되고 있는 시점에서 교통약자를 배려하고 인구 고령화에 대비할 수 있으며 여객의 철도수송 부담률을 증가시킬 수 있는 효율적인 기술개발이 필요한 실정이다. 이런 배경으로 중·고속 열차가 수도권 전철구간(고상승강장)과 본선구간(저상승강장)에서 혼용할 경우를 대비하고 이에 따른 안전운전 및 승객편의를 함께 고려하기 위해 "저상고상 겸용 승강시스템 표준화 적용기술 연구"가 시작 되었다.

본 연구에서는 국내외 관련 법규 및 규격을 바탕으로 시스템 적용에 따른 제반사항을 검토하고, 철도 차량의 바닥 프레임 손상 최소화, 유지보수의 용이성, 내환경성(결로 또는 폭우), 고속운행의 선결조건인 기밀성 유지, 고객 편의성 및 안전문제를 고려하여 저상 고상 승강장 겸용 승강시스템에 대한 개념 설계를 실시하며, 이를 토대로 제작된 시제품에 대하여 신뢰성을 확보하고 보다 개선된 시제품 설계 및 제작을 위해 국제규격 IEC-61373에 의거 진동시험을 수행하여 그 결과를 기술하고자 한다.

† 교신저자, (사)한국철도차량엔지니어링, 기술연구소  
E-mail : ddung7676@naver.com

\* (사)한국철도차량엔지니어링, 기술연구소

\*\* 한국철도대학, 차량기계과

## 2. 본론

본 연구는 승강시스템을 구성하는 도어, 도어엔진, 제어 유닛 등 여러 가지 시스템 중 스텝을 대상으로 하며, 본 기술의 개념은 저상 승강장과 고상 승강장이 혼재되어 운영되고 있는 국내 운영환경에서 저상 승강장 전용 차량이 고상 승강장 진입 시 적용 가능한 저상 고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝) 기술이다.

### 2.1 저상고상 승강장 겸용 승강시스템의 개념설계

개념설계의 주목적은 시스템의 전반적인 기능을 정의하고, 주요부품을 취사선택 하는 것이다. 본 절에서는 스텝과 승강장 설비에 관련된 국내·외 관련 규격, 법규 및 규정을 토대로 검토된 제작/기능요구사항을 정리하고, 이를 토대로 도출된 개념설계를 소개하고자 한다.

#### 2.1.1 제작/기능 요구사항

국내 승강시스템 관련 규격은 승강문 시스템에 관련된 규격인 "KS R 9246 : 전동차용 공기식 출입문 개폐장치"와 "KS R 9247 : 전동차용 전기식 출입문 개폐장치-시험방법", "KRS CB 0001-07(R) : 전동차용 출입문" 등이 존재하며, 스텝과 관련된 규격은 존재하지 않는다. 스텝과 관련된 국외 규격으로는 EN 14752 "Railway Applications-Body-side Entrance Systems" 규격이 있다.<sup>[5]</sup> 국내 승강장 설비에 관한 법규 및 규정은 철도의 건설기준에 관한 규정, 철도차량안전에 관한 규칙, 도시철도 건설규칙, 도시철도 차량안전에 관한 규칙 등이 준수되고 있다.

스텝과 관련된 규격과 승강장 설비에 관한 법규/규정 및 차량에 대한 구조 검토를 토대로 도출된 저상고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝)에 대한 제작/기능 요구사항은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 제작/기능 요구사항
  - 차량의 바닥 프레임 손상 최소화
  - 설치 공간의 최소화(차량 바닥 면 상판 최소의 공간 활용)
  - 시스템 동작의 단순화 및 간편성
  - 경량화 및 내구성(Honeycomb panel 등 경량의 고강도 재질 사용) 확보
  - 유지보수 용이성
  - 내환경성(혹한 및 적설 등 기상영향에 대한 고려)
  - 기밀성능 유지
  - 고객 편의 및 안전(노약자, 장애우 용 휠체어 탑승/하차 가능)
  - 안전시스템(Back-up 기능 : (예) 동력차단시 수동복귀 가능) 적용

#### 2.1.2 저상고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝) 개념설계

세계 각국의 철도승강장은 나라별로 높이가 모두 다르며, 특히 미국, 중국, EU 등에서는 자국 내에서도 4종류 이상의 높이를 갖는 승강장이 존재한다. 이러한 다양한 환경에 적용되는 국내·외 스텝 관련 기술은 특징에 따라 계단식/슬라이딩방식/리프트방식/접이식으로 구분할 수 있다.<sup>[5]</sup> 본 연구에서는 도출된 제작/기능 요구사항을 만족하는 방식으로 슬라이딩 방식을 선택하여 이에 대한 개념설계를 진행하였다.

본 시스템은 철도 차량의 실내 바닥 면과 동일 평면을 이루는 프레임 유닛으로부터 승강장 방향으로 슬라이딩(인출)되는 발판 유닛을 통해 철도 차량에 대한 승객의 승하차가 용이하게 수행될 수 있도록 한다. 발판 유닛을 지지하는 메인프레임 구조는 발판 유닛에 대한 지지력을 강화함으로써 더욱 안전한 구조를 가질 수 있게 한다. 또한, 시스템의 발판 유닛이 단계적으로 슬라이딩(인출)되어 승강장까지 연장되도록 함으로써, 승객이 더욱 편리하고 안전하게 철도 차량으로부터 승하차할 수 있도록 한다. 이러한 제작/기능 요구사항을 만족하는 시스템 구조의 강성 및 내구성을 확보하기 위한 프레임 유닛, 1차 발판 유닛, 2차 발판 유닛, 가이드 레일, 힌지, 핀 등의 구조 및 재질을 확정하였고, 정의된 시스템의 기능을 구현할 수 있는 구동 모터, 타이밍 벨트, 풀리, 롤러, 베어링 등의 부품이 선정되었다. 이를 통해

종합된 슬라이딩 방식의 저상 고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝)의 개념 설계된 모델의 단계적 동작 모습을 그림 1에 나타냈으며, 표 1에 각 단계별 내용을 정리하였다.

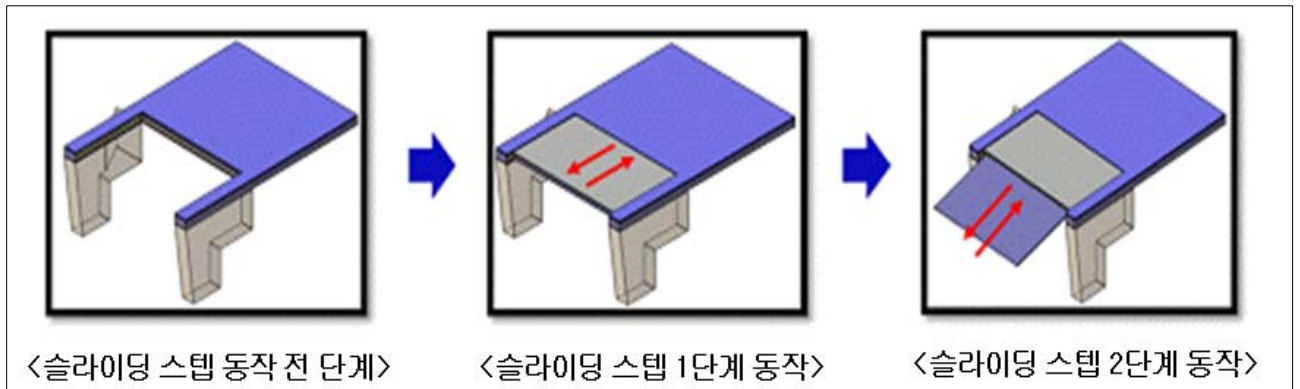


그림 1. 개념 설계 모델의 단계적 동작 모습

표 1. 개념 설계 모델의 동작 단계

구분	슬라이딩 스텝 동작 전 단계	슬라이딩 스텝 1단계 동작	슬라이딩 스텝 2단계 동작
내용	- 저상 승강장 이용 시 스텝 개방상태 유지 (평상시의 스텝과 동일한 상태)	- 열차도어 개방 전 - 열차가 정차하기 전 1단계 진출 완료 및 2단계 동작대기	- 열차 도어 개방 후 2단계 동작 (안전사고 방지 및 교통 약자에게 편의 제공)

개념설계를 토대로 설계된 시작품은 메인프레임, 미들프레임, 1차 발판 유닛, 2차 발판 유닛, 구동 모듈, 가이드 레일, 가이드레일 서포트 브라켓 등으로 구성되며, 그림 2에 개념설계를 바탕으로 제작된 시작품 모델을 나타냈다.



그림 2. 개념설계에 의한 시작품 모델

## 2.2 저상고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝) 시작품에 대한 진동시험

본 절에서는 저상고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝)에 대하여 신뢰성을 확보하고 보다 개선된 시제품 설계 및 제작을 위하여 국제규격 IEC-61373에 의거 수행한 스텝 시작품의 진동시험 결과를 소개하고자 한다. 진동시험의 대상인 스텝은 차체 위 또는 아래에 직접적으로 설치되는 부품으로 규격의 시험 종류 및 방법 "Category 1, Class A"에 해당된다. 수행한 진동시험의 종류와 각각에 해당되는 시험조건 및 시험 확인항목을 표 2에 나타냈다. 참고로 IEC-61373에 공진시험은 존재하지 않지만 설계된 제품의 공진주파수를 시험장비 계측을 통해 확인하고자 공진시험을 추가하였다. 각각의 시험을 수행한 후 동작 시험에 의거한 동작이 규정된 범위 안에 유지되고 시각적 외양과 기계적 보전상태가 변경되지 않을 경우, 시험결과를 합격으로 처리하였다.

표 2. 진동시험의 종류

구분	시험조건				시험 확인 항목
	가속도	주파수	시험시간	시험축	
공진시험	5 m/s <sup>2</sup>	5~150 Hz	총 15 min (각 축당 5 min)	상하 (Z축), 좌우 (X축), 전후 (Y축)	- 부품 이탈 확인 - Screw 풀림 확인 - 기계적인 변형 및 Crack 확인
기능랜덤 시험	Z축 -0.75 m/s <sup>2</sup> rms X축 -0.37 m/s <sup>2</sup> rms Y축 -0.5 m/s <sup>2</sup> rms	5~150 Hz	총 30 min (각 축당 10 min)	상하 (Z축), 좌우 (X축), 전후 (Y축)	- 커넥터 빠짐 확인 - 외관 확인 - 기능 동작 확인(육안확인)
장기수명 시험	Z축 -4.25 m/s <sup>2</sup> rms X축 -2.09 m/s <sup>2</sup> rms Y축 -2.83 m/s <sup>2</sup> rms	5~150 Hz	총 15 h (각 축당 5 h)	상하 (Z축), 좌우 (X축), 전후 (Y축)	① 1차 스텝 동작 확인 ② 2차 스텝 동작 확인
구분	시험조건				시험 확인 항목
	가속도	유지시간	충격횟수	시험축	
충격시험	Z축 -30 m/s <sup>2</sup> rms X축 -30 m/s <sup>2</sup> rms Y축 -50 m/s <sup>2</sup> rms	30 ms	18회 (각 축당 ± 3회씩)	상하 (Z축), 좌우 (X축), 전후 (Y축)	- 상기 시험과 동일함

각각의 시험에 대하여 표 2의 시험조건으로 시험을 진행하였으며, 시험 중, 또는 시험 완료 후에 확인해야 할 항목들을 살펴보고 시험의 이상 유무를 파악하였다. 그림 3과 그림 4는 공진시험, 기능랜덤 시험, 장기수명시험, 충격시험 모습을 나타낸 것이다.



그림 3. 공진시험

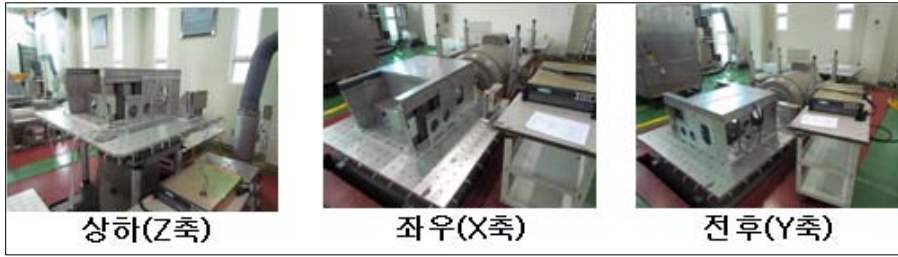


그림 4. 기능랜덤시험, 장기수명시험, 충격시험

### 2.2.1 공진시험

시스템의 공진유무를 조사하여 그 공진 주파수를 구하는 시험으로, 표 2의 시험 조건으로 시험이 진행되었고 시험 결과 및 공진센서에 의해 각 축에서 계측된 공진주파수를 그림 5에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 각 축별 공진시험은 5~150 Hz에서 Control Peak 5 m/s<sup>2</sup>으로 이상 없이 수행되었고, Z축에서 공진주파수 59.46 Hz, X축에서 공진주파수 149 Hz를 찾을 수 있었다. Y축은 공진이 없음을 확인할 수 있다.

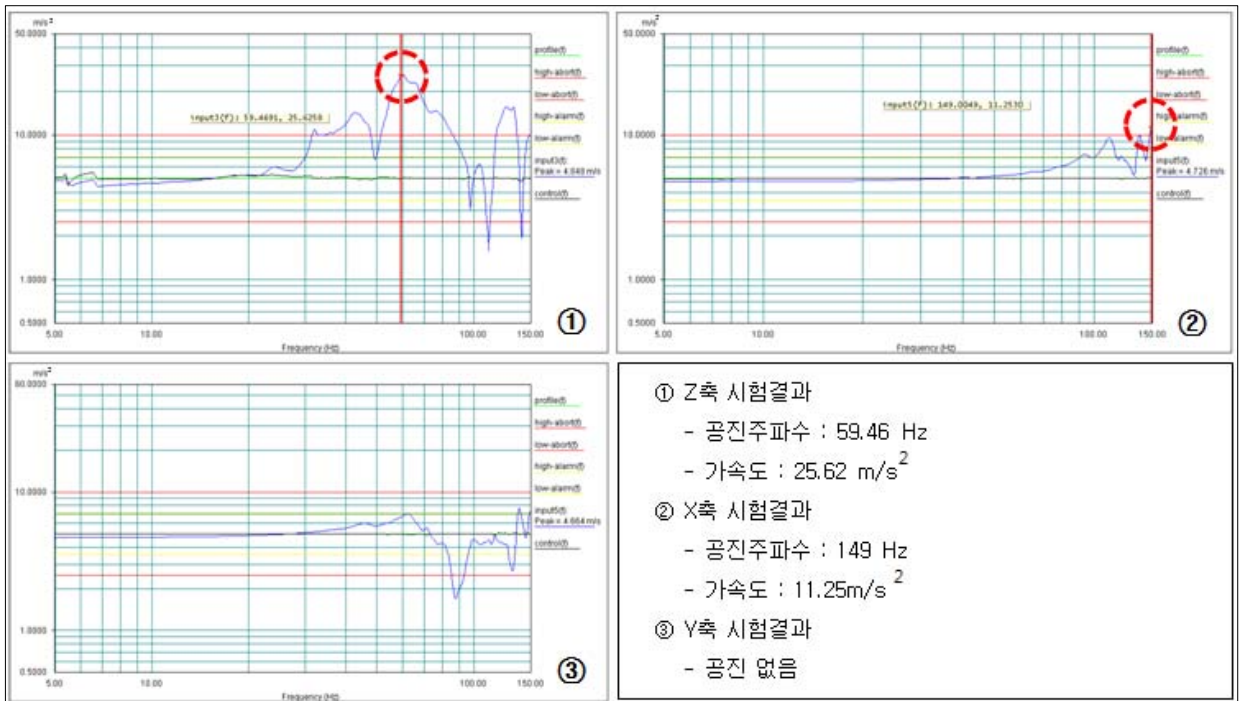


그림 5. 공진시험 결과 및 각 축에서 계측된 공진주파수

### 2.2.2 기능랜덤 시험

기능랜덤 시험은 시험 대상 품이 철도 차량에서 운영될 때 겪는 조건에서 정상 작동할 수 있음을 증명하는 최소한의 시험 단계로 표 2의 시험조건과 Z축(상하), X축(좌우), Y축(전후)에 각각 0.0166 [(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz], 0.0041[(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz], 0.0073[(m/s<sup>2</sup>)<sup>2</sup>/Hz]의 기능랜덤 시험의 가속도 스펙트럼 밀도 (ASD) 수준을 적용하여 시험을 수행한 후, 그 결과를 그림 6에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 각 축의 ASD 값이 규정된 ASD 수준의 ±3 dB(0.5\*ASD~2\*ASD)내에 위치하고 있어 기능랜덤 시험이 잘 진행되었음을 알 수 있고 기능랜덤 시험 중에 실시한 동작확인에서도 표 2의 시험 확인 항목을 확인한 결과 이상이 없었다.

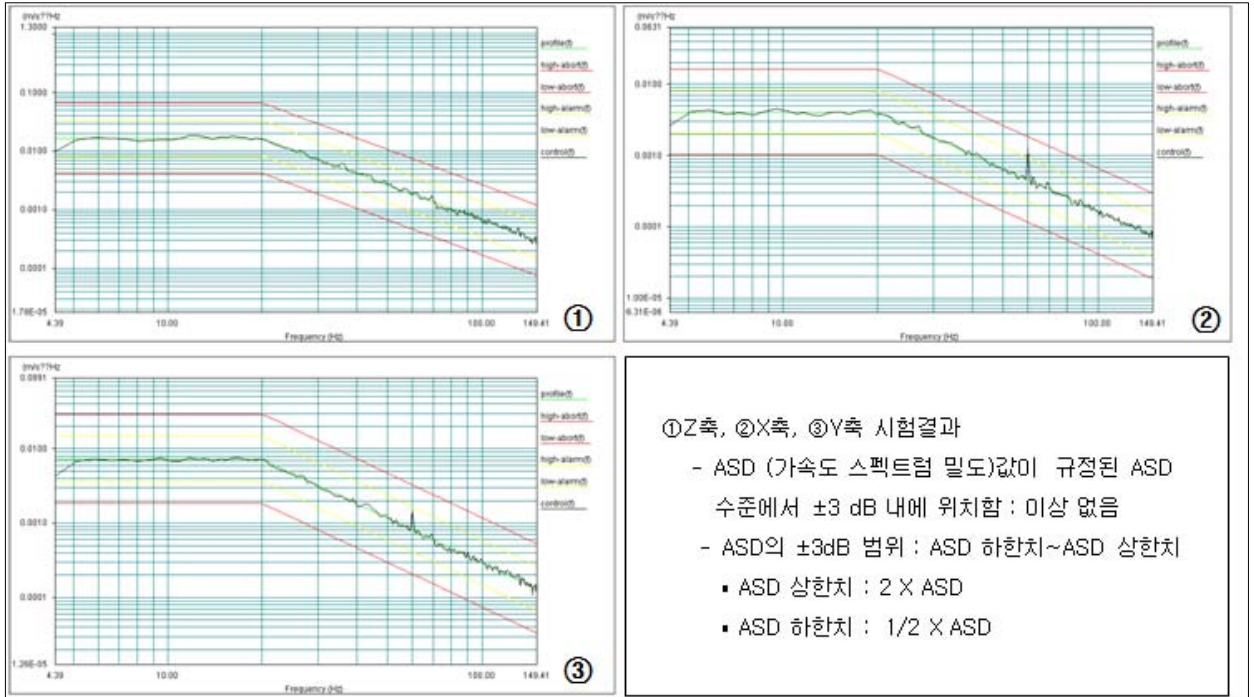


그림 6. 기능랜덤 시험 결과(ASD Spectrum)

### 2.2.3 장기수명 시험

장기수명 시험은 증가된 운영 조건에 대한 장치의 기계적 보전 상태 입증을 목적으로 하는 시험으로 표 2의 시험조건과 Z축(상하), X축(좌우), Y축(전후)에 각각  $0.532[(m/s^2)^2/Hz]$ ,  $0.131[(m/s^2)^2/Hz]$ ,  $0.234[(m/s^2)^2/Hz]$ 의 장기수명 시험 ASD 수준을 적용하여 시험을 수행한 후, 그 결과를 그림 7에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 각 축의 ASD 값이 규정된 ASD 수준의  $\pm 3$  dB( $0.5 \times ASD \sim 2 \times ASD$ )내에 위치하고 있어 장기수명 시험이 잘 진행되었음을 알 수 있고 시험 종료 후 실시한 동작확인에서도 표 2의 시험 확인 항목을 확인한 결과 이상이 없었다.

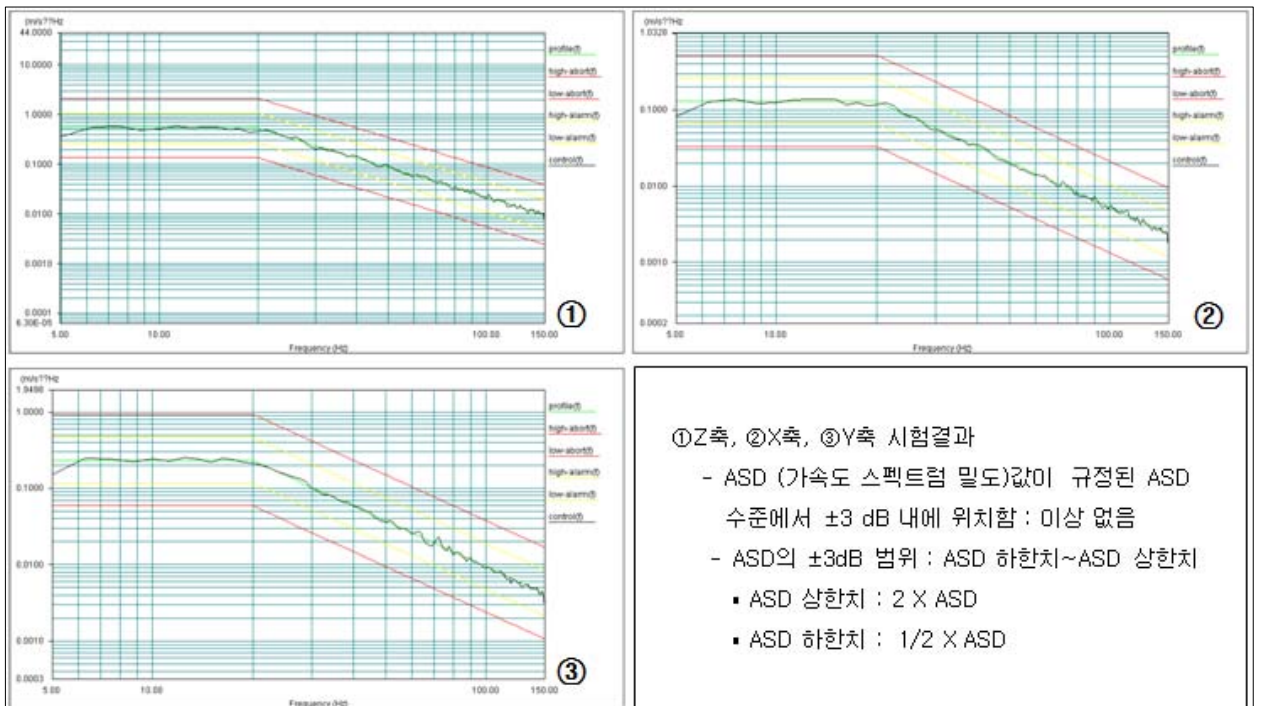


그림 7. 장기수명 시험 결과(ASD Spectrum)

### 2.2.4 충격시험

충격시험은 특수한 운영조건에 대비하기 위한 시험으로 동작 상태에 변화가 없으며 기계적 변형이나 손상이 발생하지 않음을 증명해야 하는 시험이다. 표 2의 시험조건을 적용하여 시험을 수행한 후, 그 결과를 그림 8에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 각 축에서 Positive, Negative 방향으로 1회의 정현파 반주기 단펄스 충격파에 의해 측정된 가속도 값은 모니터링시간 동안 상한치와 하한치 사이에서 측정되어 충격시험이 잘 수행되었음을 확인 할 수 있다. 또한 각 축의 Control Peak 값도 각 축에 적용된 가속도 값과 큰 오차를 보이지 않고 있다. Positive, Negative 방향으로 각 축당 3회씩 총 18회의 충격 시험 기간 동안 정상이었고, 시험 종료 후 시행된 동작확인에서도 표 2의 시험 확인 항목을 확인한 결과 이상이 없었다.

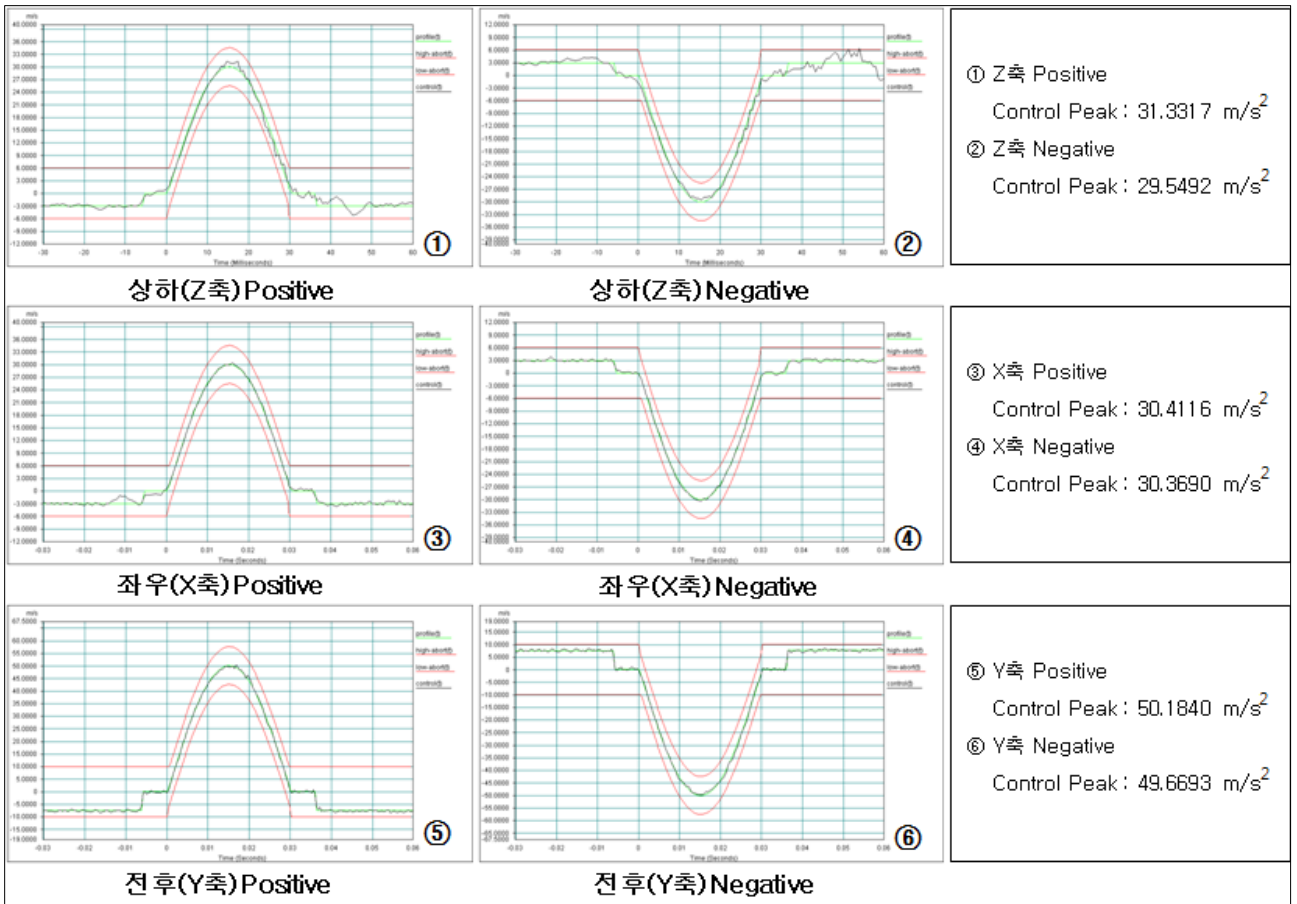


그림 8. 충격시험 결과(시험 펄스 파형 : 정현파 반주기 단 펄스)

### 3. 결론 및 고찰

- 스텝과 관련된 규격과 승강장 설비에 관한 법규/규정 및 차량에 대한 구조 검토를 바탕으로 도출된 저장고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝)에 대한 제작/기능 요구사항을 토대로 철도차량의 바닥 프레임 손상 최소화, 유지보수의 용이성, 내환경성(결로 또는 폭우), 고속운행의 선결조건인 기밀성 유지, 고객 편의성 및 안전문제를 고려하여 저장 고상 승강장 겸용 승강시스템의 방식을 슬라이딩 방식으로 결정하여 이에 대한 개념설계를 실시하였고 시스템(스텝)의 각 단계별 동작을 정의하였다.
- 개념설계에 의해 제작된 시작품에 대하여 신뢰성을 확보하고 보다 개선된 시제품 설계 및 제작을 위해 국제규격 "IEC-61373 Category 1, Class A"에 의거 공진시험, 기능랜덤 시험, 장기수명 시험, 충격시험으로 구성된 진동시험을 수행하였다.
  - 공진시험을 통해 시스템(스텝)의 공진주파수는 Z축(상하)에서 59.46 Hz, X축(좌우)에서 149 Hz

이며 Y축(전후)에서는 공진이 없음을 알 수 있었다.

- 기능랜덤 시험, 장기수명 시험 결과, ASD Spectrum으로 정상적으로 시험이 수행됨을 확인 하였고 시험 중 또는 시험 종료 후 시행한 동작시험에서 부품 이탈, 기계적인 변형과 Crack, 기능 동작 등의 시험확인항목에 이상 없음을 확인하였다.
- 충격시험 결과, Positive, Negative 방향으로 각 측당 3회씩 총 18회의 충격 시험 기간 동안 정상적으로 시험이 수행되었고, 시험 종료 후 시행된 동작확인에서 시험확인항목을 확인한 결과 이상 없음을 확인하였다.

개념설계 모델의 진동시험에서 문제점이 야기될 가능성이 있는 부분으로 시스템에서 힘을 많이 받게 되는 구조적으로 취약한 부분과 시스템 내부에 위치한 공압 실린더부, 가이드 레일, 힌지 등이 예상되었지만 시험결과를 토대로 분석해보면 개념설계를 바탕으로 설계된 시스템과 그 구성이 진동과 충격에 어느 정도의 신뢰성을 갖추었다고 판단이 된다. 구조와 형상의 보완, 최적화 및 재질의 최적화를 통해 향후 설계 제작 될 시제품과 최종적인 시제품이 더욱 보강되고 개선될 예정이다. 이를 통해 스텝 완제품은 진동 및 충격에 강건하고 신뢰성이 확보된 저상고상 겸용 승강시스템(스텝)이 될 것으로 사료된다. 향후 진동시험 결과를 바탕으로 개선된 시작품에 대한 기계적강도 시험, 환경시험, 내구성 시험 등이 실시될 예정이다. 이를 통해 저상고상 승강장 겸용 승강시스템(스텝)의 신뢰성이 많이 향상될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 미래철도기술개발사업의 한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발 연구의 일환으로 국토해양부의 연구지원에 의해 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 국토해양부, "철도의 건설기준에 관한 규정", 2008.
2. 국토해양부, "도시철도건설규칙", 2008.
3. EN 14752 "Railway Applications-Bodyside Entrance Systems", 2005.
4. IEC 61373 "Railway Applications-Rolling stock equipment- Shock and vibration tests", 2010.
5. "저상 고상 플랫폼 겸용 승강시스템 기술개발 기획 최종보고서", 한국철도대학, 2010.
6. 한국표준협회, "KS R 9246 전동차용 공기식 출입문 개폐장치," 2007.
7. 한국표준협회, "KS R 9247 전동차용 공기식 출입문 개폐장치-시험방법," 2007.
8. 한국표준협회, "KRS CB 0001-07(R) 전동차용 출입문," 2007.