

도시철도 승강장 안전발판 시스템 해석에 관한 연구

A Study on urban railway platform safety step system analysis

김민호*, 박민흥*[†], 곽희만*, 김철수**

Min-Ho Kim*, Min-Heung Park*[†], Hee-Man Kwak*, Cheol-Su Kim**

Abstract Recently, there have been frequent occurrences of accidents caused by foot falling between the train and platform in urban railway. The securing of passenger's safety is rising an important social element. In particular, there is a maximum gap of over 260mm between the train and platform in curved platforms, resulting in securing the ease of movement for those such as children, the disabled, elderly in a welfare mobility sense to become an issue. The system that can solve the gap problem & based securing safety of movement convenience for those facing difficulty in urban railway is the platform safety step system. In this study, we conducted analysis of platform safety step system in urban railway by VPD for verification of design- proposal.

Keywords : Safety step, Platform, Urban Railway, Welfare mobility

초 록 최근 수도권 전동차 구간에서 열차와 승강장 사이 발 빠짐 사고가 빈번하게 일어나 사회적으로 승객의 안전 확보가 중요한 요소로 대두되고 있으며 특히, 곡선승강장에서 승강장과 차량의 간격이 최대 260mm 이상 존재하므로 교통복지적인 측면에서 어린이, 장애인, 노인 등 교통약자의 이동편의성 확보에 대한 부분이 이슈가 되고 있다. 도시철도 구간에서 차량과 승강장간 이격거리 문제를 해소할 수 있는 안전성 기반 교통약자를 위한 이동 편의성 확보 시스템은 승강장 안전발판 시스템이다. 본 연구에서는 도시철도 승강장 안전발판 시스템 설계(안) 검증을 위하여 VPD(Virtual Product Development) 기법을 활용한 승강장 안전발판 설계(안) 해석을 수행하였다.

주요어 : 안전발판, 승강장, 도시철도, 교통복지

1. 서 론

현재 우리나라는 교통복지에 대한 국민적, 사회적 공감대가 형성되면서 국민의 대중교통 서비스 요구수준이 다양화되고 세분화됨에 따라 안전성뿐만 아니라 편의성, 쾌적성 등 대중교통에 대한 서비스 요구수준이 높아 지고 있다.

[†] 교신저자: (주)진합 기술연구소(mhpark@jinhap.com)

* (주)진합 기술연구소

** 한국교통대학교 철도차량시스템공학과

이러한 상황에서 최근 수도권 전동차 구간에서 열차와 승강장 사이 승객의 발 빠짐 사고가 빈번하게 일어나 사회적으로 승객의 안전확보에 관심이 높아 지고 있다. 이러한 상황에서 서울특별시 1~8호선의 277개 역사 승강장에서 2011년 1월부터 2013년 6월까지 발생한 승강장의 실족 사상사고 발생 건수는 95건이며, 2.7개월마다 1건씩 실족사고가 발생하는 곡선 승강장도 존재한다.[1] 특히, 곡선승강장에서 승강장과 차량과의 간격이 최대 260mm 이상 존재하므로 교통복지적인 측면에서 어린이, 장애인, 노인 등 교통약자의 이동 편의성 확보에 대한 부분이 이슈가 되고 있다. 도시철도 구간에서 차량과 승강장간 이격거리 문제를 해소할 수 있는 안전성 기반 교통약자를 위한 이동편의성 확보 시스템은 승강장 안전발판 시스템이다. 본 연구에서는 도시철도 승강장 안전발판 시스템 설계(안) 검증은 위하여 VPD (Virtual Product Development) 기법을 활용한 승강장 안전발판 설계(안) 해석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 승강장 안전발판 개념설계

일반적으로 도시철도에서는 지하철 역사의 승강장과 철도차량 간 열차의 원활한 안전주행을 고려하여 승강장의 연단과 차량 출입문 사이의 공간이 존재한다. 하지만 이 공간에서 교통약자뿐 아니라 일반 성인들까지 발 빠짐 사고 등 안전사고가 종종 발생한다. 이러한 상황에서 시스템의 안전성 확보를 위해 진행된 선행 연구에서는 장애인, 노약자 등의 교통약자를 포함한 승객의 안전한 교통 이동권과 시스템의 충돌 안전성 및 유지보수용이성 확보를 위한 승강장과 전동차 사이 공간에 대한 인터페이스 장치로 Fig. 1과 같이 승강장 하단면에 시스템이 위치하여 발판이 상승 하강하는 Pop-up 형태의 접이식 안전발판을 제안하였다.[2]

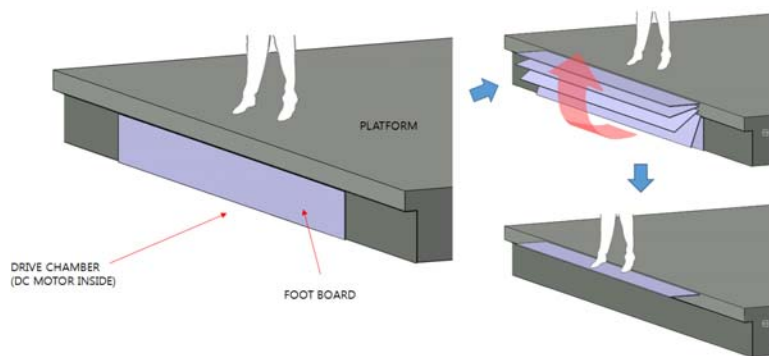


Fig. 1 Concept of operating a folding platform door safety footboard

제안된 승강장 안전발판은 시스템을 보호하는 프레임, 구동모터를 포함하는 구동부, 모터의 회전력을 전달하는 메인링크부, 500kg 이상의 하중을 견디는 스텝 하중지지부, 발판에 해당하는 스텝 플레이트부, 충돌 등의 비상상황에서 시스템의 Fail safety 구현을 위한 임팩트 판넬부 등으로 구성되어있으며 Fig. 2 에 승강장 안전발판의 개념 설계 모델(안)을 나타냈다.

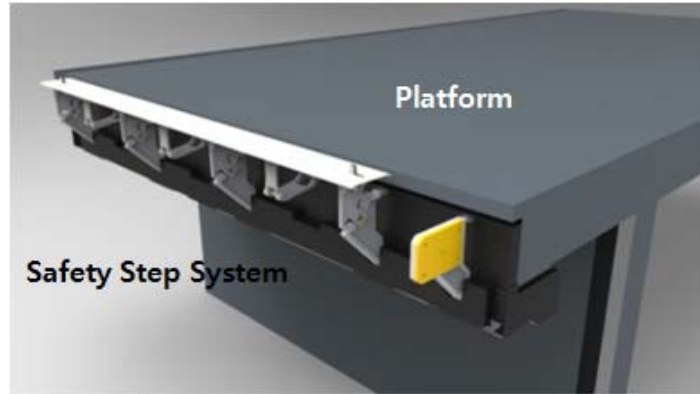


Fig.2 Conceptual Design Model Proposal of Platform Safety Step Equipment

2.2 관련법규 및 기술규격검토

승강장 안전발판과 관련한 법규 및 기술규격을 검토하였다. 철도시설 안전기준에 대한 규칙 제 44조, 철도시설 안전세부기준 제 43조, 도시철도건설규칙 제30조의 2에서는 차량과 승강장 연단의 간격이 10cm가 넘는 부분에는 안전발판 등 승객의 실족사고 방지 설비를 설치해야 함을 규정하고 있고[3-5] 안전발판 설계 공간 검토에 참고가 되는 도시철도정거장 및 환승·편의시설 보완설계지침에서는 승강장 연단과 차량과의 간격은 차량한계로부터 50mm의 간격을 유지하고 승강장 마감높이는 승강장면과 차량 바닥간의 차가 $\pm 15\text{mm}$ 이내여야 함을 규정하고 있다.[6]

승강장 안전발판과 관련된 기술규격은 한국철도표준규격인 KRS SG 0066-14이며 2014년 11월 28일에 제정되었다. 이 KRS 규격에서는 승강장 안전발판의 재료, 형태 및 구조, 제조 및 가공, 성능, 검사 및 시험, 표시 및 포장에 대한 부분을 규정하고 있다.[7] 특히 하중조건에 대하여 프레임의 최대허용 수직분포하중은 1,000kg 이상, 가동발판의 최대허용 수직분포하중은 500kg 이상 견디는 구조를 갖는 시스템이어야 함이 명시되어 있다.

따라서 본 연구에서는 상기 명시된 승강장 부착형 접이식 안전발판 모델의 개념 설계(안)에 대하여 유한요소망을 생성하여 하중조건에 따른 구조해석을 수행하였다.

2.3 승강장 안전발판 유한요소망 생성 및 구조해석

2.3.1 3차원 CAD 형상 및 유한요소망 생성

Fig. 3(a)는 본 연구의 승강장 안전발판 설계(안)의 3차원 CAD 형상을 나타낸 것이다. 이 모델의 3차원 CAD 모델은 CATIA V5로 생성하였으며, 구조해석의 유한요소모델 기본자료로 사용한다. 또한, Fig. 3(b)는 Fig. 3(a)로부터 구조해석을 위한 유한요소망을 생성한 모델이다. 총 노드수(Number of nodes)는 130,790개이고, 총 요소수(Number of elements)는 457,393개이며, 요소는 사면체 4절점(C3D4)과 사면체 8절점(C3D8R), RNODE2D 으로 구성된다.

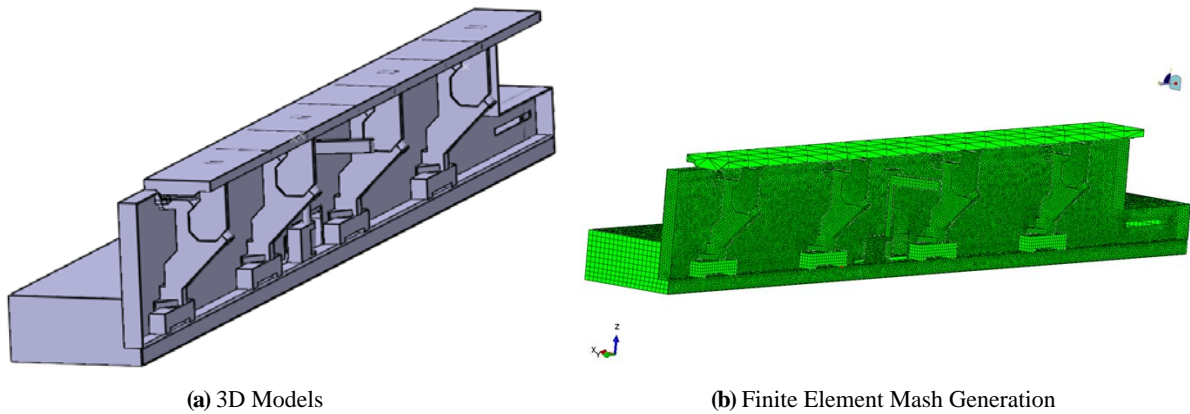


Fig.3 3D Models and Finite Element Mesh Generation of Platform Safety Step

Fig. 4는 안전발판의 가동발판에 작용하는 하중 및 경계조건을 나타냈고, 하중의 전달 경로와 경계조건을 도시하였다. 작용하중은 KRS규격에서 제시한 하중조건에 준하여 가동발판 상승 시 수직분포하중 500kgf로 ‘정 중앙 분포 하중’ 과 ‘가동발판 끝단부 분포 하중’ 으로 구분하여 적용하였으며, 재질은 STS304이다. 해석에 필요한 입력자료로서 사용되는 STS304 재질의 탄성계수(elastic modulus)는 207GPa이고, 프아송비(poisson's ratio)는 0.29이다.

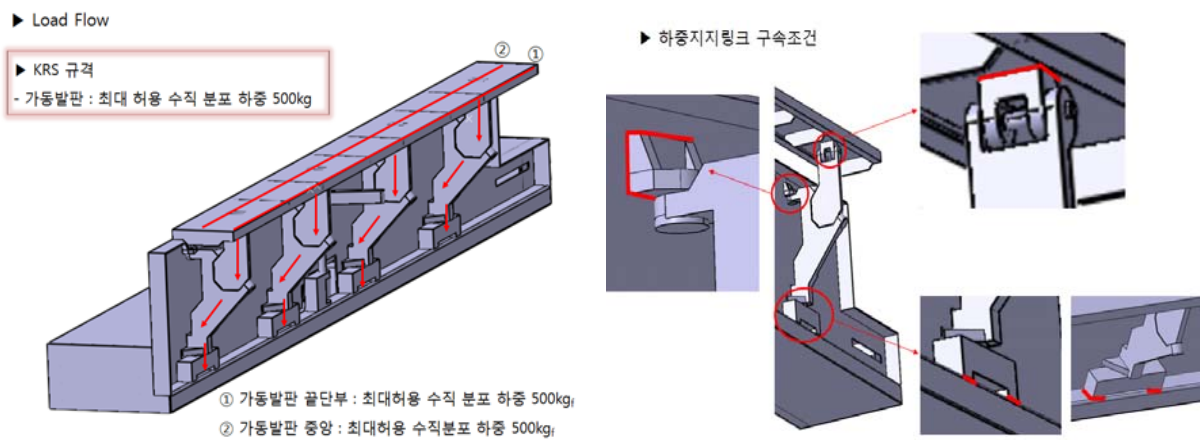


Fig.4 Load and boundary condition and load carrying path

2.3.2 구조해석 결과 및 고찰

승강장 안전발판 시스템의 유한요소 해석결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 취약지점은 발판 으로부터 가장 가까운 쪽의 핀 조인트 접촉부에서 발생하였다. 두 가지 조건(가동발판 끝단부 및 중앙부 하중적용) 하에 최대 Von-Mises 응력은 각각 14.9MPa과 14.7MPa로서 매우 낮은 값으로 나타났으며, 이는 STS304 재질의 항복강도(0.2% proof strength) 215MPa과 비교하면 매우 안전한 값이다.

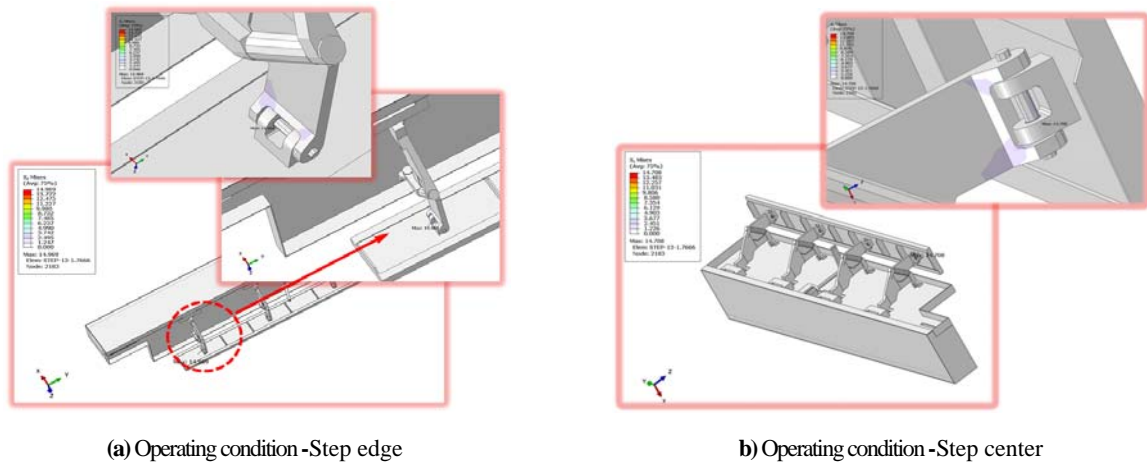


Fig. 5 Finite Element Analysis of results in two different operating conditions

최대 응력이 낮은 값을 갖게 된 원인은 발판에 작용한 전체 하중이 발판 아래 위치한 4개의 하중지지부 구조에 의해 적절히 분산되었고, Fig. 6에서 보는 바와 같이 하중지지부의 하단과 연결되는 메인링크 사이의 자유로운 회전암 구조와 메인링크 - 클러치 연결부위가 완전 체결되지 않은 구조로 인하여 시스템 하단부까지 분산된 작용하중의 전달이 미약하기 때문으로 사료된다.

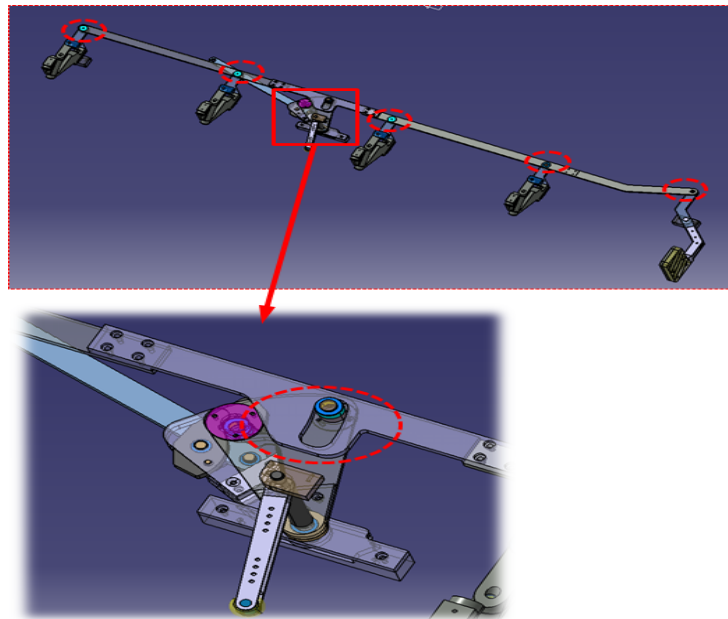


Fig. 6 Main Link & Clutch Ass'y

3. 결 론

본 연구에서는 승강장 부착형 접이식 안전발판 모델 설계(안)에 대하여 VPD기법을 활용한 구조해석을 수행하였으며, 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 유한요소망으로 생성된 모델의 총 노드수(Number of nodes)는 130,790개이고, 총 요소수(Number of elements)는 457,393개이며, 요소 종류는 사면체 4절점(C3D4)과 사면체 8절점(C3D8R), RNODE2D이다. 작용하중은 KRS규격에 준하여 가동발판 상승 시 수직분포하중 500kgf(‘정 중앙 분포하중’과 ‘가동발판 끝단부 분포하중’)을 적용 했으며, 재질은 STS304의 물성치를 사용하여 구조해석을 수행하였다.

(2) 두 가지 하중조건하에서 수행한 구조해석 결과, 안전발판의 취약지점은 발판으로부터 가장 가까운 쪽의 핀 조인트 접촉부에서 발생하였다. 최대 Von-Mises 응력은 14.9MPa과 14.7MPa로서 매우 낮은 값이며 이는 STS304 재질의 항복강도(0.2% proof strength) 215MPa 과 비교하면 매우 안전한 값이다.

(3) 최대 응력이 낮은 값을 갖게 된 원인은 발판에 작용한 전체 하중이 발판 아래 위치한 4개의 하중지지부 구조에 의해 적절히 분산되었고, 하중지지부의 하단과 연결되는 메인링크 사이의 자유로운 회전암 구조와 메인링크 - 클러치 연결부위가 완전 체결되지 않는 구조로 인해 시스템의 하단부까지 분산된 작용하중의 전달이 미약하기 때문으로 사료된다.

향후 안전발판 하중시험을 통해 구조해석 결과의 유효성을 검증할 계획이다.

후 기

본 논문은 철도기술연구사업의 “도시형자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능향상 기술개발(14RTRP-A069839-02)” 연구의 일환으로 국토교통부의 연구지원에 의해 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] K. S. Ryu and J. W. Kim(2013) Basic Research for the Reduction of Risk of Misstep's Accident on Curved Platforms of Urban Railway, Proceedings of the 2013 fall annual meeting for KSR, pp.215-220.
- [2] J. H. Lee, M. H. Park, H. M. Kwak, M. H. Kim, Y. J. Kim(2015) Study on urban train platform safety step system development, Proceedings of the 2015 fall annual meeting for KSR, pp.727-732
- [3] Regulation of Railway Construction Safety Standard(2013) Clause 43 & 44 Article 4, Korea Ministry Government Legislation.
- [4] Railway Construction Safety Detail Standard(2013) Clause 43 Article 4, Korea Ministry Government Legislation.
- [5] Regulation of Urban Railway Construction(2013) Clause 30-2 Article 3, Korea Ministry Government Legislation.
- [6] Urban Railway platform, transfer & conveniences supplement design guidelines(2013) Clause 3. 3.1.2 Article 3, Korea Ministry Government Legislation.
- [7] Korea railway standard (2014) KRS SG 0066-14 Platform Safety Footboard System.