

승강기 출입문 이탈방지장치의 충돌 해석

안승호*, 정현승, 김진성
한국철도기술연구원 철도중대사고연구실

Crash Analysis of Elevator Door Safety Retainers

Seung Ho Ahn*, Hyun Seung Jung, Jin Sung Kim
Railroad Accident Research Department, Korea Railroad Research Institute

요약 본 연구의 목적은 강한 외부 충격에 견딜 수 있는 승강기 출입문 이탈방지장치를 개발하기 위하여 이탈방지장치의 충돌해석을 수행하여 현재의 문제점을 도출하고 이를 개선하는데 있다. 현행 승강기 출입문 이탈방지장치는 사람이 부주의로 부딪혔을 때 출입문 이탈에 의한 추락 사고를 방지하기 위한 수준인 450 J의 운동에너지를 버티도록 설계되어 있다. 그러나, 최근 증가한 전동 스쿠터 충돌에 의한 승강기 출입문 이탈사고를 방지하기 위해서는 더 강한 외부충격에 견딜 수 있는 출입문 이탈방지장치가 요구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 요구를 반영하여 1000 J의 외부충격에 견딜 수 있는 출입문 이탈방지장치를 개발하고자 하였다. 기존의 모델에 대해서 450 J, 1000 J의 충돌 에너지를 가하는 충돌 해석을 각각 수행하여 그 결과를 분석하고 설계의 개선이 필요함을 확인 하였다. 이탈방지장치를 구성하는 가이드슈의 스톱퍼 삽입부의 폭, 가이드슈의 두께, 가이드슈의 삽입 깊이를 주요 설계 파라미터로 선정하고 이의 변화에 따른 충돌해석 결과의 차이를 분석하고 최적의 설계파라미터를 제시하였다.

Abstract This study aims to improve the elevator door safety retainers by performing crash analysis to develop them further to withstand strong external impacts. Current elevator door safety retainers are designed to withstand kinetic energy of 450 J, which is a level appropriate to prevent a fall accident due to door departure when a person inadvertently collides. However, elevator door safety retainers withstanding stronger external impacts are required to prevent an elevator door departure accident due to the recently increasing electric scooter collision. Hence, this study developed an elevator door safety retainer to withstand 1000 J of external impact. Collision analysis applying collision energy of 450 J and 1000 J, respectively, was performed on the existing model, and the results were analyzed. It was concluded from the results that the design needs to be improved. Therefore, this study selected the width of the guide shoe stopper insertion part, the thickness of the guide shoe, and the insertion depth of the guide shoe, which constitute the elevator door safety retainers, as major design parameters. Subsequently, the difference in crash analysis results with a change in these design parameters was analyzed, and the optimal design parameters were presented.

Keywords : Crash Analysis, Elevator Door, Finite Element Analysis, Guide Shoe, Safety Retainers

본 연구는 한국철도기술연구원 "철도역사 승강기 출입문 이탈방지장치 개발"의 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Seung Ho Ahn(Korea Railroad Research Team)

email: ansh0526@krri.re.kr

Received November 12, 2021

Revised December 15, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

1. 서론

외부 충격에 의한 승강기 출입문 이탈 및 추락 사고는 지속적으로 발생하고 있으며, 사고 발생 시 사망으로 이어질 수 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요하다[1,2]. 행정안전부 고시(제 2014-28)에 근거하여 450 J의 충격에 견딜 수 있는 승강기 출입문 이탈방지를 설치하도록 하는 승강기 검사기준이 제안되었다. 450 J의 충돌에너지는 중학생 2명이 시속 10 km로 부딪힐 때 발생하는 값이다.

그러나, 2010년 8월 대전철도역사 사고 이후 2021년 10월 대전 동구 아파트 사고까지 모두 10건의 전동스쿠터 승강기 추락사고가 발생하였다. 이에 따라, 450 J의 충격을 견디는 수준의 출입문 이탈방지는 안전을 보장할 수 없기 때문에 1000 J의 충격을 견딜 수 있는 승강기 출입문 이탈방지에 대한 필요성이 대두되고 있다. 1000 J의 충돌에너지는 110 kg의 전동스쿠터 위에 탑승한 70 kg의 사용자가 12 km/h의 속력으로 충돌할 때 발생하는 값이다. 그러나, 이러한 필요성에도 불구하고 전세계적으로 1000 J의 외부충격에 견딜 수 있는 승강기 이탈 방지장치가 개발된 사례는 없다. 영미의 승강기 안전 규정에서도 1000 J 보다 낮은 수준의 안전 기준을 적용하고 있다[3,4]. 1000 J의 강화된 기준을 갖는 승강기 이탈 방지장치를 개발하기 위해서는 시뮬레이션에 기반한 설계의 개선이 필수적이다. 승강기를 개발함에 있어 해석 시뮬레이션에 기반한 많은 연구가 수행되었다. 승강기의 안정성을 확보하기 위하여 중력 및 승강기에 가해지는 동적 하중을 고려하여 유한요소해석 방법을 적용한 해석 연구가 수행된 바 있다[5,6]. 그러나, 국내외를 통틀어 승강기 이탈방지장치의 해석 시뮬레이션과 관련된 연구는 전무하다.

본 논문에서는 충돌해석 시뮬레이션을 통하여 현행 이탈방지장치의 문제점을 도출하고자 한다. 또한, 주요 설계 파라미터를 선정하고 이에 대한 분석을 통하여 최적의 설계 파라미터를 결정하여 1000 J의 외부충격에 견딜 수 있는 승강기 이탈방지장치를 개발하는 것을 목표로 한다.

2. 모델의 정의

2.1 도어이탈 방지장치

Fig. 1은 본 연구에서 대상으로 한 도어이탈 방지장치

모델이다[7]. Fig. 1(a)는 가이드슈와 스토퍼이다. 가이드슈는 승강기 문의 하단에 부착되고 스토퍼는 승강장실에 부착된다. 승강기 문의 닫혀 있을 때 가이드슈가 스토퍼 사이로 삽입되어 있어 승강기 문의 충격을 받을 때 가이드슈와 스토퍼의 걸림이 유발되어 승강기 문의 이탈을 방지해준다. 승강기 문의 여닫힐 때는 가이드슈와 스토퍼의 간섭이 발생하지 않는다. Fig. 1(b)는 도어의 측면에 부착되어 있는 사이드후크이다. 도어가 충격을 받아 변형이 발생할 때 사이드후크가 잠에 걸리도록 설계되어 문의 이탈을 방지하는데 도움을 준다.

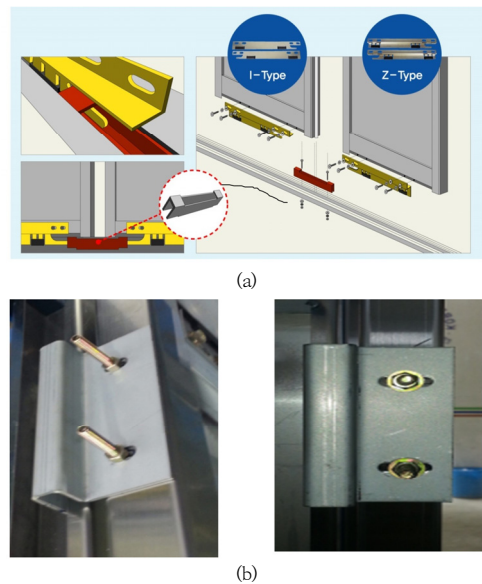


Fig. 1. The geometry of a elevator door safety retainers (a) Guide shoe and stopper, (b) Side hook

2.2 유한요소 모델링

Fig. 2는 도어이탈 방지장치가 장착되어 있는 승강기 도어의 유한요소 모델이다. 도어가 행거에 거치되어 있으며 도어의 상단과 하단에 브라켓이 있다. 도어의 크기는 가로 800 mm, 세로 2100 mm이며 두께는 1.5 mm이다. 도어의 하단 브라켓에 가이드슈가 부착되어 있으며 운용 시 가이드슈의 진동을 막기 위하여 고무가 부착되어 있다. 도어의 측면에 가이드슈가 부착되어 있다. 충돌체는 다음을 참고 하여 모델링 하였다. 450 J의 충돌에너지를 가하는 경우 출입문 조립체 안전기준 제 3조 제 1항 제 8호에 근거하여 45 kg의 질량을 갖는 직경 240 mm의 구가 4.47 m/s로 충돌하는 경우를 가정하였다.

1000 J의 충돌에너지를 가하는 경우 실제 전동스쿠터 충돌의 경우를 가정하여 180 kg의 질량을 갖는 직경 240 mm의 구가 3.33 m/s로 충돌하는 경우를 가정하였다. 충돌 위치는 전동스쿠터의 충돌 높이를 고려하여 250 mm로 설정하였다. 한 쪽 문의 중심에 충돌하는 경우를 가정하였기 때문에 실제 해석에서는 한 쪽 문만 모델링하였다. 상용 유한요소 해석 솔버인 LS-DYNA가 사용되었다. 응력이 집중될 것으로 예상되는 가이드슈, 스토퍼, 사이드 후크, 고무는 1 mm의 크기를 갖는 Constant stress 솔리드 요소를 사용하였으며 도어, 브라켓, 잠, 홀실 등은 5 mm의 크기를 갖는 Belytschko Tsay 셸 요소를 사용하였다. 도어와 가이드슈는 SUS 재질이 적용되었고 사이드후크는 SPCC 재질이 적용되었다. 충돌체는 납의 재질 이고 그 외는 스텔이 사용되었다. 정지마찰계수 0.3, 운동마찰계수 0.2를 적용하였다.

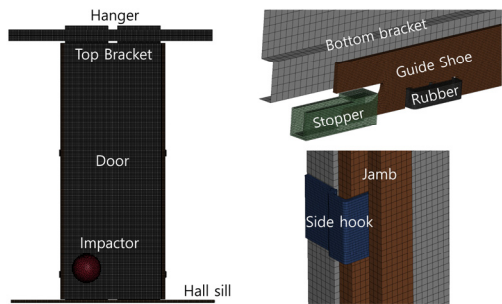


Fig. 2. Finite element model of a elevator door with a elevator door safety retainers

3. 충돌해석 결과 분석

3.1 변형 형상 관측

충돌에너지가 450 J인 경우와 1000 J인 경우에 대해서 각각 충돌해석을 수행하였다. Fig. 3은 충돌 직후 승강기 도어의 변형 형상을 나타낸다. Fig. 4는 충돌 직후 가이드슈와 스토퍼의 변형 형상을 나타낸다. 450 J인 경우 가이드슈가 스토퍼에 걸려 이탈 현상이 관측되지 않았으나, 1000 J인 경우 가이드슈가 심하게 변형되면서 스토퍼에서 이탈이 발생함을 확인할 수 있다. 450 J인 경우 도어의 최대 변형량은 34 mm이며 1000 J인 경우 이탈 직전 최대 변형량은 37 mm이며 충돌체에 의해 이탈 이후 49 mm까지 도어가 변형된다. 사이드후크의 변형량은 450 J인 경우 3.3 mm이며 1000 J인 경우 3.9

mm로 상대적으로 크지 않다.

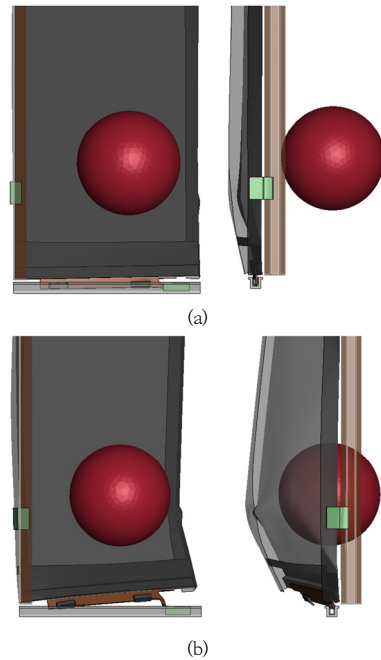


Fig. 3. Deformed shape of a door after impact (a) 450 J, (b) 1000 J

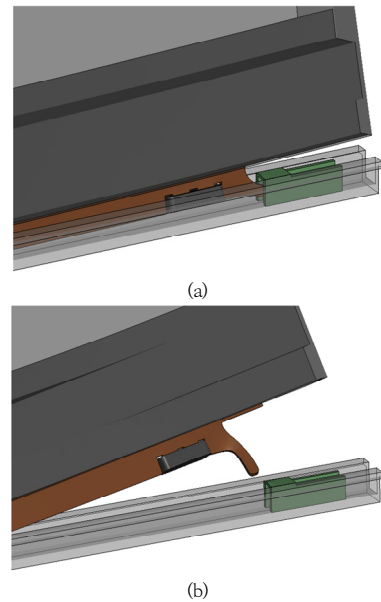


Fig. 4. Deformed shape of a guide shoe and stopper (a) 450 J, (b) 1000 J

3.2 에너지 흡수 변화 관측

Fig. 5는 충돌 과정에서 전체 에너지의 변화를 보여주는 에너지 밸런스 곡선이다. 운동에너지가 내부에너지와 슬라이딩에너지로 변환됨을 알 수 있다. 충돌에너지가 450 J인 경우 27 ms에서 충돌체의 반발이 일어나며 일부 탄성에너지가 변환되어 운동에너지가 다시 증가함을 알 수 있다. 충돌에너지가 1000 J인 경우 45 ms에서 가이드슈의 이탈이 일어나며 이후 도어의 변형이 더 일어나며 운동에너지가 계속 감소함을 관측할 수 있다.

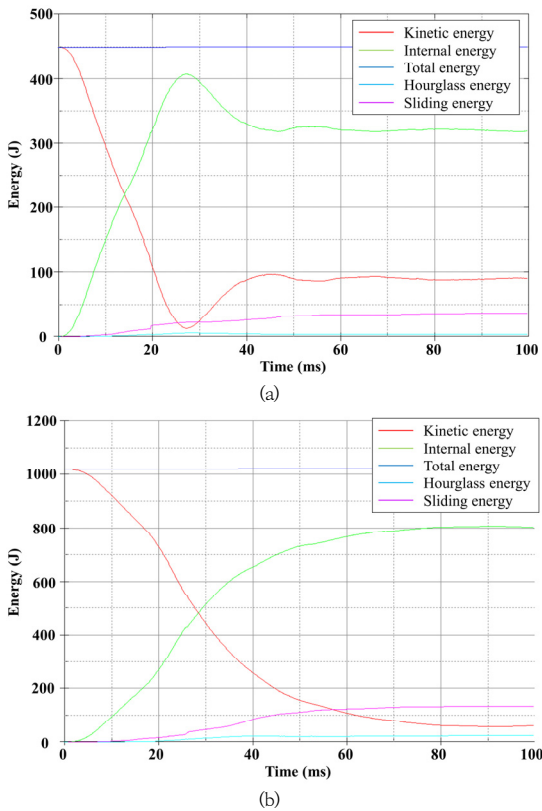


Fig. 5. Energy balance curve at door impact
(a) 450 J, (b) 1000 J

Fig. 6은 충돌 과정에서 주요 부재의 내부 에너지의 변화를 나타낸다. 충돌에너지가 450 J인 경우는 충돌체의 반발 직전인 27 ms에서 흡수한 전체 내부에너지는 406 J이다. 도어의 변형에 의해서 흡수한 에너지가 320 J이고 하부 브라켓이 22 J, 가이드슈가 26 J, 사이드후크가 10 J이다. 충돌에너지가 1000 J인 경우 가이드슈의 이탈 직전인 45 ms에서 흡수한 전체 내부에너지는 700 J이다. 도어의 변형에 의해서 흡수한 에너지가 475 J이

고 하부 브라켓이 32 J, 가이드슈가 130 J, 사이드후크가 30 J이다. 대부분의 충돌에너지가 도어의 변형에 의하여 흡수되고 있음을 알 수 있다. 가이드슈와 사이드후크의 역할은 에너지를 흡수하기 위한 측면보다 도어가 이탈되지 않도록 고정하여 도어의 변형을 최대한 많이 일어나게 하여 많은 충돌에너지를 흡수할 수 있게 도와주는 것임을 알 수 있다.

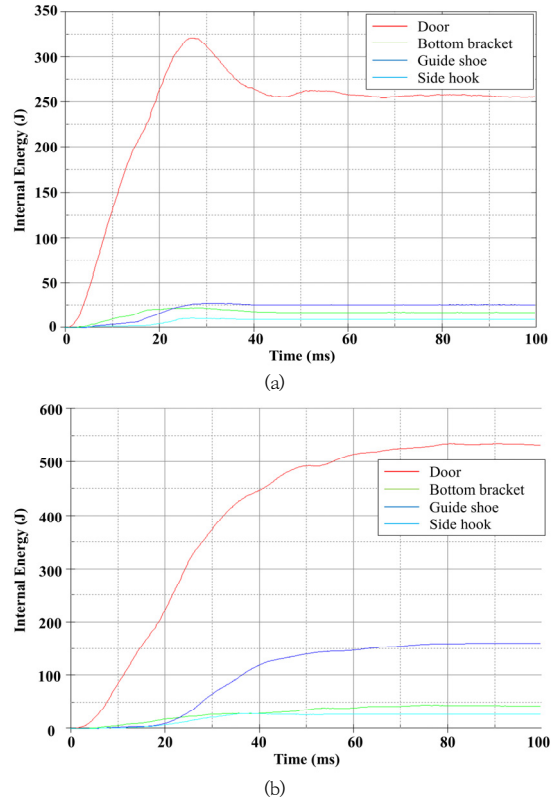


Fig. 6. Internal energy curve of each part at door impact
(a) 450 J, (b) 1000 J

4. 도어이탈 방지장치 설계 파라미터

4.1 주요 설계 파라미터의 선정

도어이탈 방지장치의 핵심 구성품인 가이드슈의 설계 파라미터 변경에 따른 영향력을 확인하였다. Fig. 7은 가이드슈의 주요 설계 파라미터를 나타낸다. 가이드슈의 스톱퍼 삽입부의 폭(W), 가이드슈의 두께(T), 가이드슈의 삽입 깊이(D)를 주요 설계 파라미터로 선정하였다. Table 1은 각 모델의 설계 파라미터 값을 나타낸다. 도

어이탈 방지장치의 운용성 및 제작성을 고려하여 각 파라미터의 변동 값을 결정하였다.

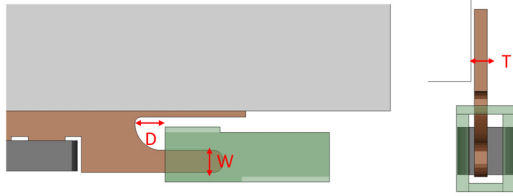


Fig. 7. Main shape parameters of a guide shoe

Table 1. Shape parameters of guide shoes for each model

	W(mm)	T(mm)	D(mm)
Original	8.0	3.0	11.0
Model_W	11.0	3.0	11.0
Model_T	8.0	3.5	11.0
Model_D	8.0	3.0	5.0
Model_WD	11.0	3.0	5.0
Model_WTD	11.0	3.5	5.0

4.2 주요 설계 파라미터의 영향력 분석

Table 2는 파라미터 변경에 따른 각 모델의 충돌해석 결과를 보여준다. 기존 모델, Model_W, Model_T, Model_D의 경우 가이드슈가 이탈되었다. 이탈 직전 잔여 운동에너지는 설계 변경이 없는 기존 모델은 175 J인 반면 Model_D, Model_W, Model_T 순으로 잔여 운동에너지가 많이 감소하였다. 가이드슈의 삽입 깊이와 삽입부의 폭이 중요한 가장 중요한 설계 파라미터임을 알 수 있다. W와 D를 동시에 변동시킨 Model_WD와 T까지 변동시킨 Model_WTD의 경우 가이드슈가 이탈되지 않았다.

Table 2. Crash analysis results for each model

	Guide Shoe	Remaining K.E.(J)
Original	Fail	175
Model_W	Fail	62
Model_T	Fail	133
Model_D	Fail	47
Model_WD	Work	-
Model_WTD	Work	-

Fig. 8는 각 모델의 충돌 과정에서 운동에너지의 변화를 비교한다. Model_WD, Model_WTD는 충돌체의 반발이 이뤄짐에 따라 운동에너지가 최저점에 도달한 이후 다시 증가함을 확인할 수 있다. Model_WTD가 가장 빠른 속도로 운동에너지의 감소가 이뤄지며 60 ms 부근에서 충돌체의 반발이 이뤄짐을 알 수 있다.

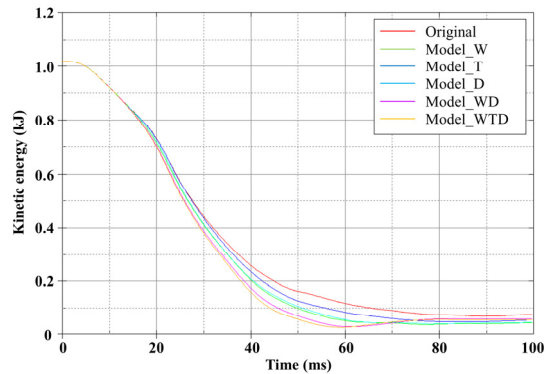


Fig. 8. Comparison of kinetic energy curves for each model

Fig. 9는 WTD_Model의 충돌 직후의 변형 형상을 나타낸다. 충돌 직후 가이드슈가 이탈되지 않고 스톱퍼 내부에 머무름을 알 수 있다. 도어는 40 mm 가량 변형이 발생하였으며 스톱퍼의 들림이 다소 유발된다.

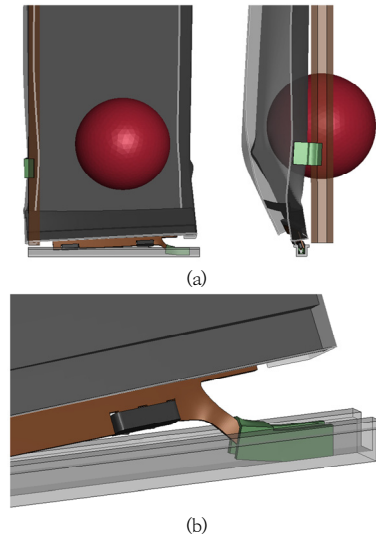


Fig. 9. Deformed shape after impact (a) Door, (b) Guide shoe and stopper

5. 결론

본 연구에서는 1000 J의 충돌에너지를 견딜 수 있는 승강기 출입문 이탈방지장치를 개발하기 위하여 이탈방지장치의 충돌해석을 수행하여 현행 승강기 출입문 이탈방지장치의 문제점을 개선하였다. 본 연구의 주요 결론은 아래와 같다.

- (1) 기존의 모델이 450 J의 충돌에너지에 대해서는 안정적으로 작동하지만 1000 J의 충돌에너지가 가해질 경우 가이드슈가 스톱퍼에서 이탈하는 현상이 유발되어 개선이 필요함이 확인 되었다.
- (2) 설계 파라미터의 영향력 분석을 수행하여 가이드슈의 스톱퍼 삽입부의 폭과 가이드슈의 삽입 깊이가 해석 결과에 가장 큰 영향을 주는 설계 파라미터임을 확인 하였다.
- (3) 충돌에너지가 1000 J인 시험에서 W가 8.0mm이고 D가 11.0mm인 기존 모델에서는 175 J의 잔여 운동에너지가 남는 반면에 W를 11.0mm로 늘리고 D를 5.0mm로 줄인 모델에서는 모든 충돌에너지가 흡수됨을 확인하였다.
- (4) 본 연구 결과는 승강기 출입문 이탈방지장치의 개발을 해석적으로 접근한 최초의 연구라는 점에서 가치가 있다. 또한, 파라미터의 변경이 해석 결과에 미치는 영향력을 활용하여 최적의 승강기 이탈방지장치의 설계안을 제시하는 것이 가능할 것으로 보인다.

References

- [1] O. N. Jeong, Y. S. Yun, O. H. Kwon, "Accident Prevention for the Elevator and Escalator by the Accident Type Analysis." Journal of the Korean Society of Safety Vol. 31. No. 4, pp.15-21, 2016.
DOI : <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.4.15>
- [2] E. S. Kim, S. H. Kim, D. H. Kim, N. K. Park, "Cause Analysis and Measure for Accident of Door Detachment in Elevator Platform." Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 22. No. 6, pp.1-6, 2007.
- [3] Safety Code for Elevators and Escalators: Includes Requirements for Elevators, Escalators, Dumbwaiters, Moving Walks, Material Lifts, and Dumbwaiters with Automatic Transfer Devices, American Society of Mechanical Engineers, 2016.
- [4] Safety rules for the construction and installation of lifts-Lifts for the transport of persons and goods, Part 20 : Passenger and goods passenger lifts, EN. BS, 2014.
- [5] Hubalovsky, S. "Modeling, simulation and visualization of static mechanical properties of frame of elevator cab." International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences Vol. 7. No. 6, pp.666-675, 2013.
- [6] Giagopoulos, D., Chatziparasis, I., and Sapidis, N. S. "Dynamic and structural integrity analysis of a complete elevator system through a Mixed Computational-Experimental Finite Element Methodology",

Engineering Structures, Vol. 160, pp.473-487, 2018.
DOI : <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.01.018>

- [7] ESEMS Website, Door safety retainers, Available From: <http://esems.kr/index.php> (accessed Dec. 15, 2021)

안 승 호(Seung Ho Ahn)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 조선해양공학과 (공학학사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2016년 8월 ~ 2020년 6월 : (주)한화/방산 선임연구원
- 2020년 6월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

최적설계, 철도차량 충돌안전

정 현 승(Hyun Seung Jung)

[정회원]



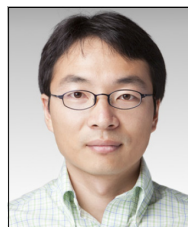
- 2003년 8월 : 서울대학교 조선해양공학과 (공학박사)
- 2003년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원
- 2018년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 KRRIS쿨 교통시스템공학과 전공책임교수

<관심분야>

철도차량 충돌안전, 최적설계

김 진 성(Jin Sung Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학학사)
- 2004년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2010년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2020년 2월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량 충돌안전