

# 캡슐형 고속대차 개발을 위한 인보드 대차 모델 구성 및 동특성 연구

신지환\*, 전창성, 최성훈  
한국철도기술연구원 고속철도연구실

## Dynamic analysis of the inboard bogie for developing a capsule type high-speed bogie

Ji Hwan Shin\*, Chang-Sung Jeon, Sung-Hoon Choi  
High-speed Railroad Systems Research Department, Korea Railroad Research Institute

**요약** 본 논문은 캡슐형 고속대차 개발을 위하여 철도차량의 대차가 윤축 안쪽으로 위치하게 되는 인보드 대차의 개발을 위한 기초 연구에 관한 내용이다. 인보드 대차 개발을 위해 동적 특성 연구를 위한 모델을 SIMPACK 소프트웨어로 구성하였으며, 현가장치 구성 및 계수들과 같은 주요 인자들은 HEMU-430X를 기반으로 하였다. 대차가 윤축 안쪽으로 들어오면서 저하되는 임계속도를 보상하기 위해 요댐퍼의 시리즈 강성과 감쇠계수 최적값을 찾기 위한 과정이 진행되었으며, 인보드 대차 개발에 있어 우선 적용할 차륜 형상 결정을 위한 동특성 분석이 수행되었다. 인보드 대차는 무게 저감을 통하여 에너지 효율 증대를 목적으로 하기에 2차 횡방향 댐퍼와 수직방향 댐퍼를 각각 하나씩만 가지고, 모노링크를 가지는 센터피봇 형태를 고려한 변형 형태의 대차 형식도 고려하였다. HEMU의 대차, 인보드 대차 타입 I, II 총 3가지 형태를 대상으로 동특성 분석을 실시하였다. 2가지 형태의 인보드 대차는 HEMU 대비 임계속도는 다소 낮으며, 주행 안전성 및 특성은 유사하고, 승차감은 비교적 나은 것으로 확인되었다.

**Abstract** The inboard bogie, which is a bogie frame mounted inside the wheelset, was investigated, and the basic concept of that was developed. The major components and factors, such as the configuration of suspension and coefficients, were based on the HEMU-430X train. The dynamic model of the inboard bogie for dynamic performance analysis was configured using SIMPACK software. The inboard bogie based on HEMU has a lower critical speed than HEMU. The optimal series stiffness and damping coefficient of a yaw damper increased the critical speed. Dynamic performance assessments based on EN 14363 were carried out to determine which wheel profiles were suitable for an inboard bogie. One of the major objectives of the inboard bogie is increasing the energy efficiency of railway vehicles. To this end, another type of inboard bogie with single secondary lateral and vertical dampers and a mono link for the center pivot was also considered. Dynamic performance assessments were carried out for HEMU, inboard bogie type I, and II. Those inboard bogies had a lower critical speed than HEMU but were similar in running safety and ride characteristics and had better performance in the comfort index.

**Keywords** : Bogie Design, Dynamic Performance Assessment, EN 14363, High-Speed Train, Simulation

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업(K-500 캡슐형 고속대차 핵심기술개발)의 지원으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Ji Hwan Shin(Korea Railroad Research Institute)

email: jihwan.shin@krri.re.kr

Received September 20, 2022

Accepted November 4, 2022

Revised November 2, 2022

Published November 30, 2022

## 1. 서론

최근 기온 상승과 기상 이변 등의 문제가 이전보다 더 자주 발생하면서 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 대책을 시급히 마련하고 있다. 이에 유럽연합에서는 EU 택소노미(Taxonomy)를 2021년 7월에 발효하여 보다 적극적으로 환경 및 기후 문제에 대응하고 있다[1]. 국내 또한 K-택소노미 발표를 통해 세계적인 흐름에 발맞추고 있다.

21년 국내 분야별 온실가스 배출 비중 조사 자료에서 수송 부문이 차지하는 비율은 14.4%로 적지 않은 수준이다[2]. 다만, 수송 부문에서 고속철도차량이 온실가스 배출로 차지하는 비중은 약 2.4% 수준[3]으로 비교적 낮지만, 앞으로 지속해서 늘어날 것으로 예상하는 이용량을 미루어 보았을 때 탄소 배출 저감을 위한 에너지 효율화를 위한 연구는 필연적이다.

철도차량의 에너지 효율화를 위한 연구는 다양하게 수행되고 있다. 특히 고속철도차량의 경우 높은 속력에 의해 발생하는 주행저항이 에너지 효율에 큰 영향을 미치는데, 이를 해결하기 위해 전두부 형상을 최적화하는 위한 연구가 이루어져 왔다[4,5]. 고속열차의 하부 및 대차에 의한 저항은 편성 차량이 길어지면 전체 저항의 절반 가량을 차지[6]하기 때문에 대차가 위치하는 곳의 차체 하단부와 측면 디자인 또는 대차 전체를 감싸는 형태와 관련된 연구를 통해 주행저항을 줄이려는 노력을 지속하고 있다[6,7-9]. 고속철도차량의 에너지 효율화 향상을 목표로 대차를 커버로 감싸는 캡슐형 형태를 적용하기 위해 대차가 바퀴 안쪽에 위치하는 인보드 대차(inboard bogie) 형태가 고려될 수 있다. 해외에서는 이미 Velaro Novo[7]처럼 인보드 대차를 개발하여 상용화를 진행하고 있으나, 국내에서는 진행되고 있지 않다. 고속철도차량의 에너지 효율을 높이고 국내 고속차량 기술력을 강화하기 위해서 인보드 대차와 같은 새로운 형태의 대차를 개발할 필요성이 있다.

본 연구에서는 인보드 대차의 개발을 위해 기본적인 인자들을 선정하고 다음 동적 모델을 도출하고 동특성 분석을 통하여 대차 개발의 기초가 되는 연구를 수행하였다. 인보드 대차의 기본적인 주요 제원은 국내에서 개발한 HEMU-430X(이하 HEMU) 고속철도차량을 기반으로 하였으며, 현가장치 구성과 각종 계수 등을 참고하였다. HEMU 개발 기간 동안 다양한 최적화 및 성능 개선 검증 연구가 이루어졌으며[10,11], 해당 내용을 인보드 대차 개발에 활용하였다.

인보드 대차 개발을 위한 기초 모델을 이용한 동특성 분석을 통해 주요 인자들의 최적화 작업 및 결과를 도출하였다. 이를 위해 HEMU의 M1 차량을 기본으로 활용하였으며, 인보드 대차가 적용된 경우의 M1 차량을 그 비교 대상으로 하였다. 인보드 대차 모델 구성을 위해 주요 인자들에 의한 영향성을 분석하였으며, 차륜 형상 선정을 위한 해석을 수행하였다. 이러한 해석을 위해 SIMPACK 소프트웨어[12]를 사용하였다. 최종적으로 구성된 인보드 대차와 변형된 형태의 인보드 대차, 그리고 HEMU 총 3가지 비교 대상을 이용하여 동특성 분석을 수행하였으며, 본 연구에서 제안한 인보드 대차의 기본 성능을 검증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 인보드 대차 기본 구성

#### 2.1.1 인보드 대차 모델 작성

인보드 대차의 동특성 연구를 위해 먼저 가장 기본이 되는 인보드 대차의 해석 모델을 구성하였다. 윤축의 질량, 대차의 질량 및 크기 등 파라미터 정보와 대차 프레임 기본적인 크기 수치와 1차 및 2차 현가장치들이 설치되는 위치를 선정하였다. HEMU의 M1 차량의 구동 대차의 대차 프레임이 윤축 안에 위치할 수 있게 크기를 설정하고, 1차 및 2차 현가장치가 서로 간섭이 없는 위치를 선정하였다. 인보드 대차 기본 모델을 구성하기 위한 크기 및 중량과 관련된 기본적인 인자는 Table 1에 표기하였다.

Table 1. Parameters for inboard bogie

Parameter	Value
Wheel diameter	0.92 m
Mass of wheelset	2104 kg
Mass of bogie	3129 kg
Journal distance	1.0 m
Air spring distance	1.3 m
Wheelbase	2.5 m

Fig. 1은 인보드 대차의 해석 모델을 SIMPACK 소프트웨어를 이용하여 구성한 것을 보여준다. 1차 현가장치, 2차 현가장치의 구성은 HEMU와 동일하게 적용하였다. 그리고 차륜경, 차륜 무게, 대차의 무게, 대차의 크기에

영향을 주는 1차 현가장치와 2차 공기스프링의 좌우 거리와 윤거 등과 같은 주요 치수는 Table 1의 수치를 적용하였다. 나머지 횡방향 댐퍼, 2차 수직방향 댐퍼, 요댐퍼, 센터피봇링크는 기존 HEMU의 것과 같게 적용하였다. Fig. 2는 HEMU M1차량에서 대차만 인보드 대차로 적용한 것을 보여준다.

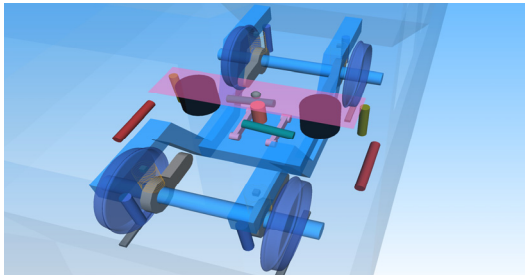


Fig. 1. Overview of the inboard bogie designed using SIMPACK software

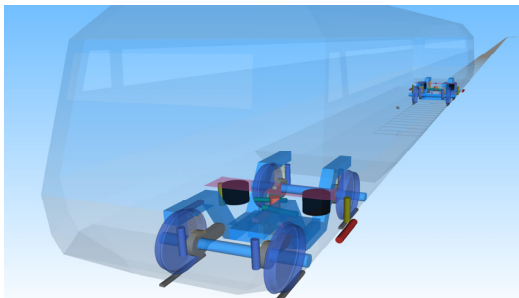


Fig. 2. Overview of the M1 car with inboard bogie

### 2.1.2 인보드 대차 기본 모델 동특성 확인

인보드 대차의 기본 모델을 구성한 후 현가장치의 강성과 감쇠 계수 등을 HEMU의 것과 동일하게 적용하여 임계속도를 확인하였다. 이를 위해 Fig. 3과 같이 초반에 150 m 길이의 불규칙도가 존재하는 선로를 주행하는 차량의 거동 분석을 실시하였다. 주행속도를 높여가면서 Fig. 3의 선로를 통과한 후 차량의 거동이 안정적으로 수렴하는지를 확인하였다. HEMU M1 차량과 인보드 대차가 적용된 M1 차량의 비교를 위해 적용 차륜은 XP55로 동일하였으며, HEMU M1 차량의 경우 임계속도가 800 km/h 이상으로 나왔으나, 인보드 대차를 적용할 경우 임계속도가 550 km/h 까지 감소하는 경향이 확인되었다. 이러한 현상은 HEMU의 대차 대비 인보드 대차의 1차 현가 장치간 거리가 약 1/2 이상으로 줄어들면서, 요방향 강성이 감소하여 발생한 것으로 판단된다.

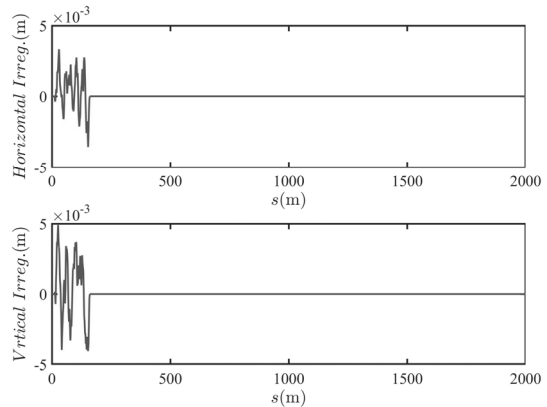


Fig. 3. Configuration of track including initial irregularity for critical speed analysis

### 2.1.3 인보드 대차의 요댐퍼 특성 선정

2.1.2절에서의 결과를 바탕으로 인보드 대차를 적용한 차량의 임계속도를 상승시키기 위해 요댐퍼의 시리즈 강성과 감쇠 계수의 최적값을 찾기 위한 분석을 수행하였다. 기존 HEMU에 적용된 요댐퍼의 시리즈 강성과 감쇠 계수를 동시에 1배, 1.5배, 2.0배, 2.5배 하였으며, 이때의 차량 동적 특성 분석을 통해 적절한 배수를 선정하는 과정을 수행하였다.

요댐퍼 시리즈 강성과 감쇠 계수 변화에 따라 Fig. 3을 이용한 임계속도 분석을 하였다. 결과는 Table 2와 같으며, 배수가 높아지면서 인보드 대차가 적용된 차량의 임계속도가 상승하는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. The critical speed of M1 car with an inboard bogie along a number of times factors of yaw damper

Number of times factors	Critical speed (km/h)
1.0	550
1.5	590
2.0	635
2.5	670

임계속도는 요댐퍼 시리즈 강성과 댐퍼의 감쇠 계수가 커질수록 좋으나, 동적 특성에서의 결과도 함께 비교하기 위해 추가적인 해석을 수행하였다.

직선 구간에서의 동적 특성 분석을 위해 EN 14363[13]의 주행 안전성(Running safety)과 주행 특성(Ride characteristics) 항목을 참고하였다. 분석을 위해 길이 10 km의 선로를 고려하였으며, 선로의 횡방향 및 수직

방향의 불규칙도는 ERII B176 에 의해 정의된 PSD 를 적용하여 구성하였다. Fig. 4는 동적 특성 분석을 위한 10 km 길이의 직선 선로의 횡방향 및 수직방향 선로 불규칙도를 나타낸다.

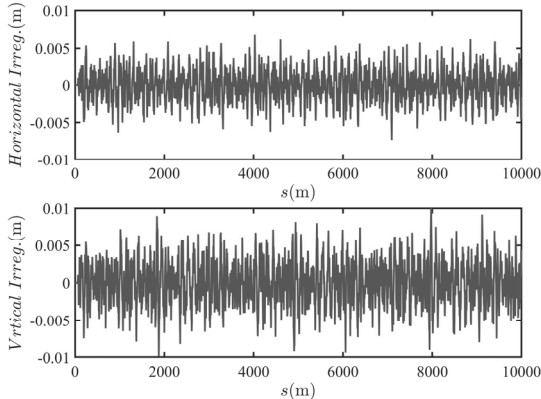


Fig. 4. Track irregularity generated by the PSD function defined by ERII B176

Fig. 4의 직선구간을 400 km/h로 주행하고, 요댐퍼 시리즈 강성과 댐퍼의 감쇠 계수 배수를 동시에 증가시키면서 각 경우에 대한 해석을 실시하였다. 그리고 각 배수에서의 대차 및 차체 가속도, 승차감을 분석하였다. 승차감은 EN 12299 규격[14]을 참고하였으며, ‘Mean comfort standard method’를 적용하여  $N_{MV}$  를 계산하여 나타내었다.

주행 안전성 측면에서의 대차 및 차체 가속도와 주행 특성 측면에서의 차체 가속도는 요댐퍼 시리즈 강성 및 감쇠 계수에 적용되는 배수가 증가하더라도 거의 유사했다. 다만, 승차감은 Table 3에서 볼 수 있듯이 배수 증가에 따라 저하하는 경향을 보였다.

추가로 R6100의 곡선 구간 5 km를 400 km/h로 통과할 때, 요댐퍼 시리즈 강성 과 감쇠 계수 배수에 따른 동특성 분석 및 탈선계수를 분석하였다. 해당 곡선 구간에는 ERII B176 으로 정의되는 PSD 를 적용한 궤도 불규칙도도 포함된다. 탈선계수는 배수가 증가하더라도 거의 변화가 없이 기준치(0.8)를 크게 밑돌았으나, 배수가 2.0 초과 시 차체의 횡방향 가속도가 급격하게 상승하는 경향을 보였다.

직선 및 곡선구간 대상으로 요댐퍼 시리즈 강성과 감쇠 계수의 배수 선정 분석 결과 HEMU 대비 2배수가 적절한 것으로 판단되었다. 해당 값을 적용하면 인보드 대차가 적용된 M1 차량의 임계속도 상승과 동시에 유사한 동특성을 유지하는 것으로 판단된다.

Table 3. Comfort analysis results along multiple factor of yaw damper

Number of times factors	Comfort $N_{MV}$	Assessment
1.0	1.81	Very comfortable
1.5	2.08	Comfortable
2.0	2.30	Comfortable
2.5	2.56	Medium

## 2.2 인보드 대차 차륜 프로파일 선정

2.1.3절에서는 요댐퍼 시리즈 강성과 감쇠 계수 선정을 위해 XP55 차륜 형상을 적용하여 HEMU와 인보드 대차를 비교하였다. 하지만, 철도차량의 임계속도 및 동특성은 차륜 형상에 큰 영향을 받으므로 이에 의한 영향 또한 분석되어야 한다. 이에 따라 앞으로 인보드 대차에 우선 적용할 차륜 형상 선정을 위한 차륜별 동특성 분석을 실시하였다. 차륜 형상은 현재 국내 고속철도에 적용되고 있는 XP55와 GV40을 대상으로 하였다. 이를 위해 Fig. 3을 이용한 임계속도 분석, Fig. 4를 이용한 직선구간 분석, 그리고 R6100 곡선 구간 분석을 수행하였다.

임계속도 분석 결과 XP55, GV40의 적용에 대하여, 각각 635, 700 km/h로 XP55를 적용하였을 때 다소 낮게 나온다. 직선 구간에서의 동적 특성 분석을 수행한 결과는 Fig. 5부터 Fig. 8과 같다. 대차 횡방향 가속도의 경우 500 km/h에서 XP55일 때가 GV40일 때 보다 약 30% 이상 낮은 것으로 분석되었다. 차체 횡방향 가속도의 경우 XP55와 GV40일 때 서로 유사한 편이긴 하나, 전반적으로 XP55가 낮은 값을 가지는 것으로 확인되었으며, 승차감 부분에서도 GV40은 300 km/h 이후 중간 (Medium) 수준을 보이는 것과 달리 XP55는 편안함 (Comfortable) 수준을 보여 비교적 큰 차이가 나는 것으로 분석되었다. XP55가 GV40에 비해 임계속도가 다소 낮게 분석되나, 임계속도 차이에 비해 XP55를 적용시의 동특성과 승차감에서 비교적 더 큰 차이로 우수하므로 인보드 대차에 XP55를 적용하는 것이 적절할 것으로 판단되었다.

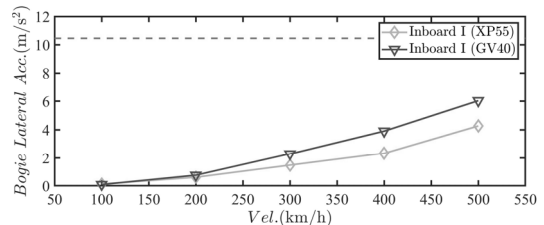


Fig. 5. Comparison of bogie lateral acceleration by XP55 and GV40 wheel profile (running safety criteria)

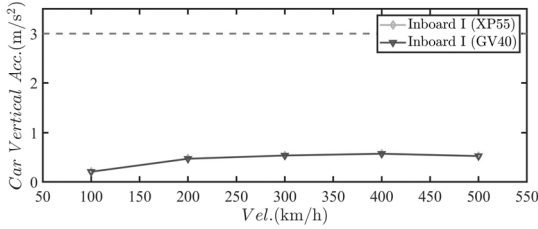
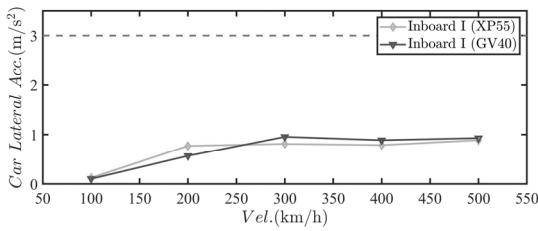


Fig. 6. Comparison of car acceleration by XP55 and GV40 wheel profile (running safety criteria)  
(a) Lateral acceleration (b) Vertical acceleration

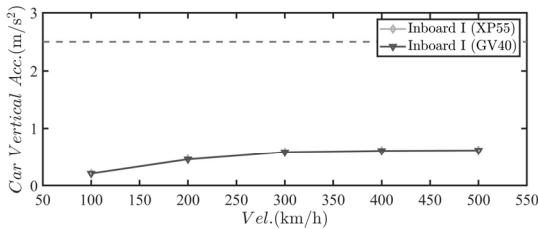
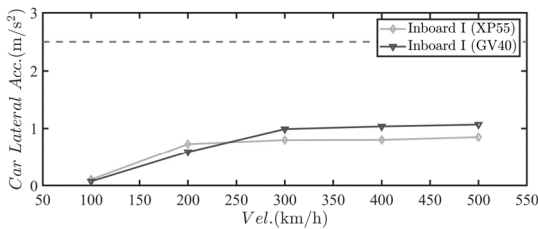


Fig. 7. Comparison of car acceleration by XP55 and GV40 wheel profile (ride characteristic criteria)  
(a) Lateral acceleration (b) Vertical acceleration

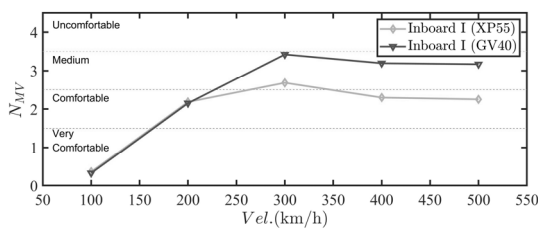


Fig. 8. Comparison of comfort analysis by XP55 and GV40

### 2.3 기존 차량과의 동특성 비교 분석

2.1절과 2.2절에서 기술한 바와 같이 최종적으로 HEMU 대비 요댐퍼의 시리즈 강성과 감쇠계수를 2배로 적용하고, 차륜 형상은 XP55로 적용하는 것이 적절한 것으로 분석되었다.

해당 조건을 기반으로 HEMU M1 차량과의 동특성 비교를 진행하였다. 동특성 비교를 위해 추가로 변형 형태의 인보드 대차를 고려하였다. 이전 내용에서 고려한 인보드 대차는 인보드 대차 타입 I으로 정하고, 본 절에서 추가로 소개할 변형 형태의 대차는 인보드 대차 타입 II로 명명하였다. 인보드 대차를 개발하기 위한 목적 중에는 경량화를 통한 에너지 효율 증대가 있다. 따라서, 인보드 대차 타입 II에서는 2차 횡방향 댐퍼와 2차 수직방향 댐퍼를 각 하나씩만 적용하고 센터 피봇에 적용되는 링크를 모노링크로 변경한 형태를 고려하였다. 또한 요댐퍼의 위치를 대차의 중앙에 위치시켰으며, 이를 Fig. 9에 나타내었다.

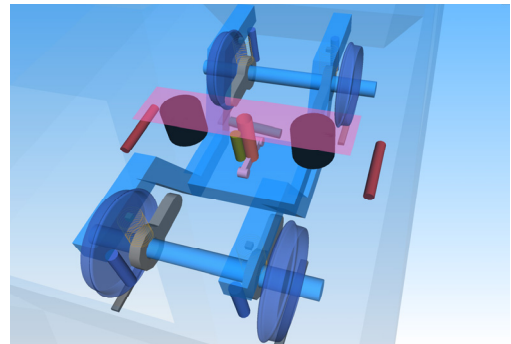


Fig. 9. Overview of the inboard bogie type II designed using SIMPACK software

HEMU, 인보드 대차 타입 1, 그리고 인보드 대차 타입 2의 동특성 분석을 실시하였다. 먼저 Fig. 3의 초기 불규칙도 선로를 이용하여 임계속도를 분석하였으며, 두 가지 타입의 인보드 대차의 임계속도는 각각 635 km/h와 630 km/h로 거의 유사한 것으로 분석되었다.

Fig. 4를 적용한 직선 구간에서의 동특성 분석결과는 Fig. 10 ~ 13까지 나타내었다. 대차의 가속도는 비교 대상 모두 속도에 따라 증가하였으며, HEMU 대비 인보드 타입 대차들이 비교적 낮은 값을 가지는 것으로 확인되었다. HEMU는 인보드 대차들과 비교하여 현가장치의 강성과 감쇠 특성이 다소 높게 설계되어 임계속도는 높으나 가속도는 높은 것이라고 볼 수 있는데, 인보드 대차의 경우 좁아진 현가장치의 좌우 거리에 의해 높은 롤강성 및 요강성의 영향이 완화됨으로써 가속도 측면에서는

더 나은 특성이 나오는 것으로 판단된다. 주행 안전성 측면과 주행 특성 측면에서의 차체 횡방향 및 수직방향 가속도는 비교 대상 모두 거의 유사한 값을 가지는 것으로 확인되었다. 승차감 측면에서는 HEMU와 인보드 대차 타입 I 이 서로 유사한 수준을 보였으며, 인보드 대차 타입 II가 가장 나은 수준을 보였다. HEMU와 인보드 대차 타입 I 이 비슷한 동특성을 보이는 것은 크기와 주요 현가 장치의 위치 등의 차이가 있더라도 인보드 대차의 요댐퍼 시리즈 강성과 감쇠 계수를 2배로 보상 해주었기에 나타난 결과로 판단된다. 승차감 부문에서 인보드 대차 타입 II가 가장 나은 결과를 보이는 것은 요댐퍼의 위치 또는 한 개로 변경되면서 위치가 수정된 2차 횡방향 및 수직 방향 댐퍼들의 영향에 의한 것으로 판단되며, 더욱 정확한 원인 파악은 향후 연구에서 진행할 예정이다.

R6100 곡선 구간에서의 탈선계수 분석 결과에서는 HEMU, 인보드 대차 타입 I, II 모두 기준치 0.8을 크게 밑돌고 유사한 수치를 가지는 것으로 나타났다.

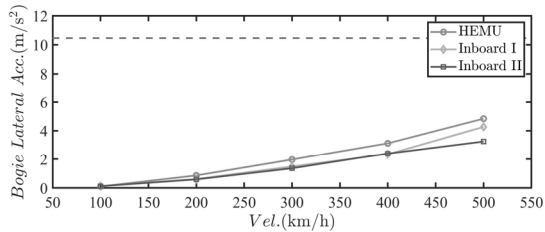


Fig. 10. Comparison of bogie lateral acceleration by HEMU and Inobard bogie type I and II (running safety criteria)

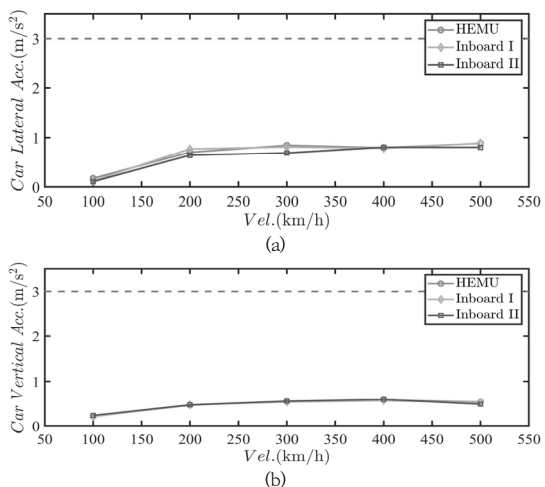


Fig. 11. Comparison of car acceleration by HEMU and Inobard bogie type I and II (running safety criteria)  
(a) Lateral acceleration (b) Vertical acceleration

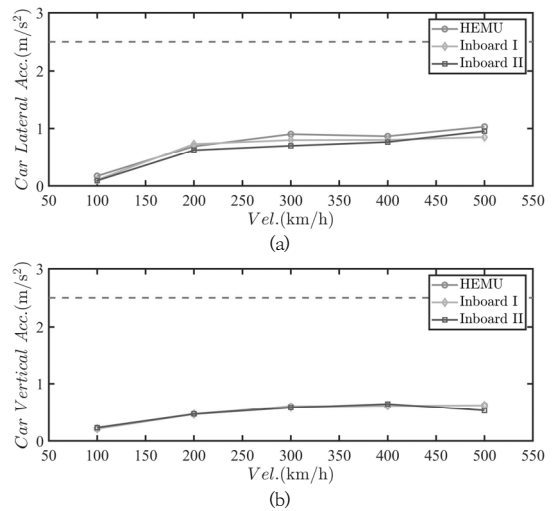


Fig. 12. Comparison of car acceleration by HEMU and Inobard bogie type I and II (ride characteristic criteria)  
(a) Lateral acceleration (b) Vertical acceleration

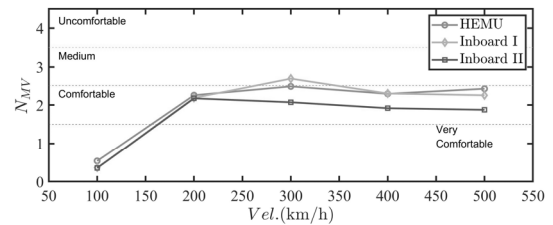


Fig. 13. Comparison of comfort analysis by HEMU and Inobard bogie type I and II

### 3. 결론

본 연구는 인보드 대차 개발을 위한 기본 해석 모델을 소개하고, 이를 이용한 동특성 분석 및 주요 파라미터의 최적값 설정을 수행하였다.

1. HEMU의 현가 파라미터를 그대로 적용한 인보드 대차 모델을 이용한 동특성 분석을 통해 요댐퍼의 시리즈 강성 및 감쇠 계수를 이전 대비 2배수로 적용하는 것이 적절한 것을 확인하였다.
2. 인보드 대차 모델을 이용하여 차륜 형상 비교를 통한 동특성 분석을 통해 XP55를 우선 적용하는 것이 적절하다고 판단하였다.
3. HEMU, 인보드 대차 타입 I, 그리고 인보드 대차 타입 II(현가장치 개수 간소화)에 대하여 인보드 대차 타입 I, II의 경우 HEMU 대비하여 임계속도는 다소 낮으나 동적 특성은 비슷하거나 더 나은

수준을 보이는 것을 확인하였다.

본 연구 내용은 인보드 대차 개발을 위한 기본적인 방향성 선정에 활용되며, 향후 대차 개발 고도화에 기초 자료로써 활용될 예정이다. 향후 연구에서는 인보드 대차 동특성 개선을 위해 1차 및 2차 현가 파라미터를 보다 면밀하게 분석 및 최적화 할 예정이며, 현가장치의 개수와 구성에 대한 추가적인 연구를 수행할 예정이다.

## References

- [1] EU Taxonomy Info portal. envoria, Available From: <https://eu-taxonomy.info/> (accessed Oct. 4, 2022)
- [2] Press release from Republic of Korea Ministry of Environment, Predict of greenhouse gas emission at 2021 in domestic, Available From: <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1533570&menuId=10525> (accessed Oct. 4, 2022)
- [3] Global industry analysts. INC. Bullet train/High-speed rail Global Market Trajectory & Analytics, pp. 50.
- [4] Z. Sun, J. Song, Y. An, "Optimization of the head shape of the CRH3 high speed train", *Science China Technological Sciences*, Vol. 53, No. 12, pp. 3356-3364, Dec. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4163-5>
- [5] R. Li, P. Xu, Y. Peng, J. Peng, "Multi-objective optimization of a high-speed train head based on the FFD method", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 152, pp. 41-49, Mar. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2016.03.003>
- [6] J. Tschepe, C. Nayeri, "Reducing the energy consumption of rail vehicles through aerodynamic optimisation of vehicle and infrastructure", WCR 2022, Birmingham, UK, 6pages, 2022.
- [7] SIEMENS, Velaro Novo, Available From: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfoli/rail/rolling-stock/high-speed-and-intercity-trains/velaro-novo.html> (accessed Oct. 4, 2022)
- [8] J. Wang, G. Minelli, T. Dong, K. He, S. Krajnovic, "Impact of the bogies and cavities on the aerodynamic behaviour of a high-speed train. An IDDES study", *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, Vol. 207, 20pages, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104406>
- [9] W. Liu et al. "Effects of bottom deflectors on aerodynamic drag reduction of a high-speed train", *Acta Mechanica Sinica*, Vol. 38, 15pages, 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10409-021-09058-x>
- [10] C. S. Jeon, Y. G. Kim, J. H. Park, S. W. Kim, T. W. Park, "A study on the dynamic behavior of the Korean next-generation high-speed train", *Journal of Rail and*

*Rapid Transit*, Vol. 230, No. 4, pp. 1053-1065, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409715576355>

- [11] C. S. Jeon, Y. G. Kim, S. W. Kim, S. S. Kim, S. H. Choi, T. W. Park, "A study on tail vibration reduction for the next generation high speed EMU", *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 15, No. 6, pp. 543-549, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.6.543>
- [12] SIMPACK software, Dassault systems, <https://www.3ds.com/ko/products-services/simulia/products/simpack/>
- [13] EN 14363:2016. Railway applications - acceptance of running characteristics of railway vehicles-testing of running behaviour and stationary tests.
- [14] EN 12299:2009. Railway applications - Ride comfort for passengers - Measurement and evaluation.

### 신 지 환(Ji Hwan Shin)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동국대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2020년 2월 : 동국대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2020년 4월 ~ 2020년 7월 : 고영테크놀러지 연구소
- 2020년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량 동역학, 구조물 진동제어

### 전 창 성(Chang-Sung Jeon)

[정회원]



- 1998년 2월 : 서울대학교 대학원 기계공학과 (기계공학 석사)
- 2015년 2월 : 아주대학교 대학원 기계공학과 (기계공학 박사)
- 2000년 1월 ~ 2004년 7월 : 다산네트워크스 주임연구원
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도차량 동역학, 기계공학

최 성 훈(Sung-Hoon Choi)

[정회원]



- 1990년 2월 : KAIST 기계공학과 (기계공학 학사)
- 1992년 6월 : Northwestern University (응용역학 석사)
- 1995년 6월 : Northwestern University (응용역학 박사)
- 1995년 3월 ~ 2000년 6월 : 삼성 종합기술원 CSE 센터
- 2000년 9월 ~ 2002년 10월 : KAIST 기계공학과
- 2002년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

소음/진동, 철도차량 시스템엔지니어링