

초전도 전자석 기자력 및 가이드웨이 불규칙도에 따른 캡슐트레인 대차의 동특성 고찰

이진호*, 임정열, 유원희, 이관섭
한국철도기술연구원 신교통혁신연구소

Investigation on the Dynamic Characteristics of the Capsule Train Bogie according to the Superconducting Magnet Electromagnetic Force and the Guideway Irregularity

Jin-Ho Lee*, Jungyoul Lim, Won-Hee You, Kwansup Lee
New Transportation Innovative Research Center, Korea Railroad Research Institute

요약 본 논문은 초전도 유도 반발식 부상 방식을 사용하는 캡슐트레인 대차의 동특성에 대해서 다룬다. 캡슐트레인 대차의 동특성은 대차에 부착되는 초전도 전자석과 튜브 가이드웨이에 설치되는 전자레일의 설계 사양 및 운영조건에 영향을 받는다. 본 연구에서는 캡슐트레인 대차의 기본 성능시험을 위하여 설계된 초전도 전자석과 전자레일을 대상으로 초전도 유도 반발식 부상을 고려하여 대차 1차 현가 시스템의 특성인 부상 강성 및 안내 강성을 도출하고 이를 바탕으로 대차의 동특성 해석모델을 구축하였다. 그리고 구축된 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 주요 운영조건인 초전도 전자석 기자력 및 가이드웨이 불규칙도에 따른 대차의 동특성을 분석하였다. 분석 결과, 대차의 동특성 향상을 위해서는 적절한 기자력으로 초전도 전자석을 운영하고, 가이드웨이 불규칙도를 낮게 관리하는 것이 필요함을 확인하였다. 또한, 대차에 부착되는 초전도 전자석 사이의 기자력 불균형 및 전자레일이 설치되는 좌우 가이드웨이 불규칙도 불균형은 대차의 전반적인 동특성을 저하시키며, 특히 롤 방향의 대차 동특성을 크게 악화시킴을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the dynamic characteristics of a capsule train bogie that utilizes a superconducting electrodynamic suspension (SC-EDS) levitation. The dynamic characteristics of the capsule train bogie are affected by the design specifications and the operating conditions of the superconducting magnet mounted on the bogie and the electric rail on the tube guideway. In this study, to obtain the designs for the superconducting magnet and the electric rail for basic performance, the levitation and guidance stiffness in the bogie primary suspension system were derived by considering the SC-EDS levitation method. Based on this derivation, a dynamic characteristic analysis model was constructed. Through the simulation that used the constructed model, the dynamic characteristics of the bogie were investigated according to the major operation conditions such as the superconducting magnet's electromagnetic force and the guideway irregularity. The investigation results showed that proper adjustment of the electromagnetic force and a smaller guideway irregularity lead to improved dynamic characteristics of the bogie. It was also found that the imbalance of the electromagnetic force and the guideway irregularity both made the bogie's dynamic characteristics worse, especially the dynamics of the roll direction.

Keywords : Capsule Train Bogie, Dynamic Characteristic, Electrodynamic Suspension, Guideway Irregularity, Superconductor

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업(PK2101A1)의 연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin-Ho Lee(Korea Railroad Research Institute)

email: jinholee@krii.re.kr

Received August 24, 2021

Revised October 5, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

1. 서론

캡슐트레인은 저진공 튜브 내 주행을 통해 최고 1,000 km/h 이상의 속도 구현을 목표로 하는 새로운 교통수단이다[1]. 현재 한국철도기술연구원에서 연구개발 중인 캡슐트레인은 부상 방식으로 초전도 유도 반발식을 채택하고 있는데, 초전도 유도 반발식 부상 방식은 별도의 부상-안내 제어가 필요 없어 차량 시스템이 단순해지고, 부상-안내 공극이 커서 인프라 건설 비용을 감소시킬 수 있는 장점이 있다[2]. 초전도 유도 반발식 부상 방식에서는 Fig. 1과 같이 대차에 부착되는 초전도 전자석과 튜브 가이드웨이 측벽에 설치되는 전자레일과의 상호작용으로 대차와 가이드웨이 사이(1차 현가 시스템)에 부상 및 안내 강성이 발생하게 되는데[3] 이러한 강성은 대차의 동특성에 주된 영향을 미친다[4-6]. 초전도 유도 반발식 부상 방식은 부상 공극의 변화가 크고 부상력에 댐핑 특성이 없기 때문에 주행 안정성 및 승차감이 악화 될 수 있는 단점이 있다[7,8]. 따라서 설계 단계에서 초전도 전자석과 전자레일의 설계 사양 및 가이드웨이의 설계 사양(불규칙도)에 따른 캡슐트레인의 동특성을 사전에 검토할 필요가 있다. 이를 위하여 본 논문에서는 캡슐트레인의 기본 성능시험을 위해 일차로 설계된 초전도 전자석과 전자레일을 대상으로 1차 현가 시스템의 부상 및 안내 강성을 도출하고, 이를 기반으로 대차 동특성 해석 모델을 구축한 뒤, 구축된 모델을 이용하여 주요 운영조건인 초전도 전자석의 주요 설계 사양인 기자력 및 가이드웨이 불규칙도에 따른 대차의 동특성을 분석하였다. 또한, 실제 캡슐트레인 운영 중 발생할 수 있는 불균형 상황(초전도 전자석의 기자력 불균형 및 전자레일이 설치되는 좌우 가이드웨이 사이의 불규칙도 불균형)이 대차 동특성에 미치는 영향도 살펴보았다.

2. 본론

2.1 초전도 전자석 및 전자레일 설계안

Fig. 2는 단거리 시험선에서 캡슐트레인 대차의 기본 동작 성능 확인을 목적을 위해 설계된 대차와 가이드웨이의 구성도를 보여준다[9]. 대차에 부착되는 초전도 전자석 및 가이드웨이에 설치되는 전자레일의 형상과 사양은 각각 Fig. 3, Fig. 4와 같다. 대차는 초전도 전자석 2개, 알루미늄 프레임, 저속 주행용 바퀴 등으로 이루어져 있으며 총 무게는 1.4 톤이다. 1개의 초전도 전자석 모듈

(기자력 320 kAt)은 별도의 냉동기가 필요 없는 고화질 소 냉각 방식의 고온 초전도 코일(운영 온도 40 K 이하) 2개로 이루어져 있으며, 외부는 단열을 위해 진공 용기가 감싸고 있다[10,11]. 1 개의 전자레일 모듈은 알루미늄 코일(24 턴)로 이루어진 상부 및 하부 코일이 8자 형태로 서로 연결되어 있으며 외부는 에폭시 몰딩으로 처리되어 있다. 대차의 초전도 전자석 외부 진공 용기 표면과 전자레일 몰딩 표면까지의 공극은 50 mm로 설정하였다.

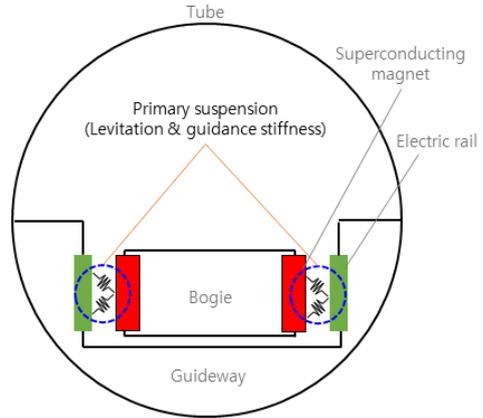


Fig. 1. Primary suspension system of the capsule train bogie

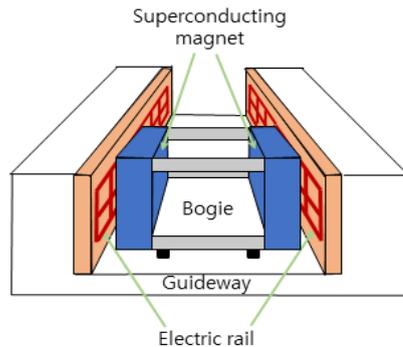


Fig. 2. Configuration of the capsule train bogie and the guideway

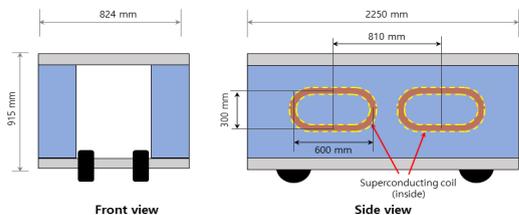


Fig. 3. Specification of the bogie with superconducting magnets

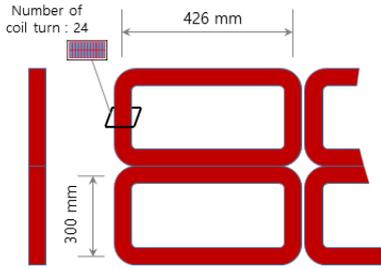


Fig. 4. Specification of the electric rail

2.2 부상·안내 강성 및 동특성 해석모델

Fig. 5는 초전도 전자석과 전자레일이 조합된 구성도를 보여준다. 주행 중인 대차에는 부상력과 대차의 무게가 평형이 이루어지는 지점까지 수직 방향으로 기본 처짐량이 발생하고, 추가적으로 수직 및 수평 방향 가이드웨이 불규칙도로 인해 수직 변동량(Δz)과 수평 변동량(Δy)이 발생하게 된다.

앞서 설명한 대차 및 가이드웨이 시작품에 대해서 초전도 전자석의 기차력이 320 kAt 이고 주행속도가 1,000 km/h 일 경우, 유도 반발 부상 원리에 의해 대차에 발생하는 부상력 및 안내력을 유한 요소 해석[3]을 이용하여 구하면 Fig. 6과 같다. 이 결과에서 알 수 있듯이 부상력과 안내력은 수직 변위(Δz) 및 수평 변위(Δy)에 따라 변하게 된다. Fig. 7은 속도에 따른 부상력과 안내력을 보여주는데 속도가 증가함에 따라 일정 값으로 수렴하는 특성을 보여준다. 이상에서 살펴본 바와 같이 부상력과 안내력은 수직·수평 변위 및 속도에 따라 변하기 때문에 부상·안내 강성 역시 수직·수평 변위 및 속도의 함수임을 알 수 있다.

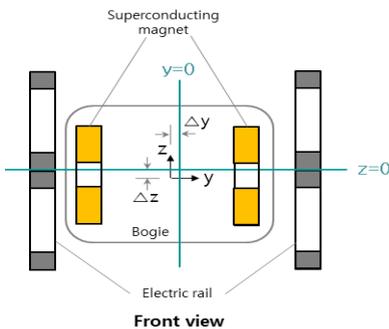


Fig. 5. Arrangement of superconducting magnet and electric rail

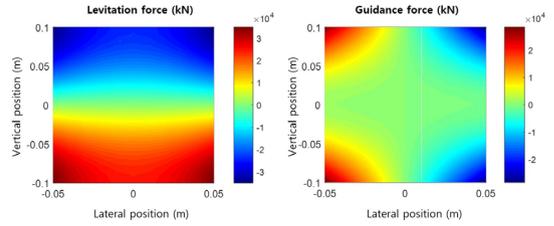


Fig. 6. Levitation and guidance force according to z and y offset



Fig. 7. Levitation and guidance force according to speed (at $\Delta z, \Delta y=30$ mm)

부상 및 안내 강성을 구하기 위하여 다양한 수직(z)·수평(y) 변위 및 속도(v)에 따라 계산된 강성 데이터를 구축한 후, Matlab curve fitting tool을 이용하여 부상 강성(k_{lev}) 및 안내 강성(k_{gud})에 대한 식을 도출하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 각각 부상 강성과 안내 강성에 대한 curve fitting 결과를 보여주는데, 이를 이용하여 부상·안내 강성을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$k_{lev} = 107493 \times e^{-\frac{6.64}{v}} (1 - 101z^2)(1 + 168y^2) N/m \quad (1)$$

$$k_{gud} = 24412 \times e^{-\frac{3.48}{v}} (1 - 100y^2)(1 + 2823z^2) N/m \quad (2)$$

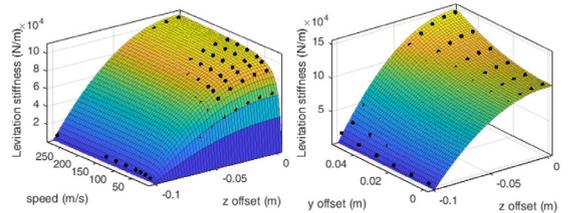


Fig. 8. Levitation stiffness depending on speed, z offset and y offset

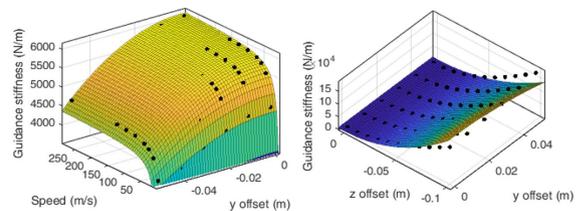


Fig. 9. Guidance stiffness depending on speed, z offset and y offset

Fig. 10은 대차의 동특성 해석을 위한 모델을 나타낸다. z_g 와 y_g 는 각각 수직 및 수평 방향 가이드웨이 불규칙도를 나타내고, z , y , θ , φ 는 각각 대차의 수직, 수평, 롤 및 피치 변위를 나타낸다. 해석에 사용된 파라미터 값은 Table 1에 나타냈는데 2.1절에서 설명한 대차 설계안 사양을 기준으로 하였다. 동특성 해석을 위한 상태변수(x) 및 시스템 상태방정식(\dot{x} 및 w)은 각각 Eq. (3), Eq. (4)와 같다. 여기서 A , B , C 는 각각 시스템 특성 행렬, 입력 행렬, 출력 행렬을 나타내고 u , w 는 각각 입력과 출력 변수를 나타낸다. 입력 변수 u 는 시스템에 작용하는 외란(가이드웨이 불규칙도)인데, 불규칙도 생성을 위해서 기존 철도에서 활용되는 선로 불규칙도 생성 방법[12]을 기본으로 하고, 캡슐트레인과 유사한 일본 자기부상열차의 가이드웨이 불규칙도[13]를 참고하여 Fig. 11과 같은 수직 및 수평 방향의 가이드웨이 불규칙도를 사용하였다. Eq. (1), Eq. (2)와 같이 수직·수평 변위 및 속도에 따라 변하는 부상 강성(k_{lev})과 안내 강성(k_{gud})을 시스템 특성 행렬에 반영하였으며, 해석을 위해서 Matlab simulink S/W를 사용하였다.

$$x = [y, \dot{y}, \theta, \dot{\theta}, z, \dot{z}, \varphi, \dot{\varphi}] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu & (4) \\ w &= Cx \end{aligned}$$

Table 1. The parameters of the capsule train bogie model

m	1,400 kg	I_θ	211 kg·m ²
I_φ	935 kg·m ²	h	-0.014 m
w	0.375 m	b	0.405 m

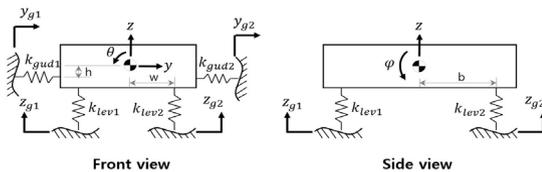


Fig. 10. Dynamic analysis model for the capsule train bogie

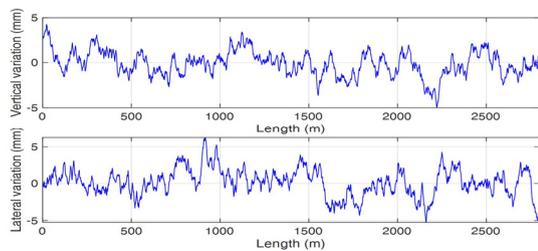


Fig. 11. Guideway irregularity

2.3 해석 및 고찰

Fig. 12는 대차 동특성 해석 결과의 예로써 초전도 전자석의 기자력이 320 kAt 이고, 주행속도가 1,000 km/h 일 때 대차의 수직, 수평, 피치, 롤 방향의 변위를 나타낸다. Fig. 13에 속도별(150, 200, 300, 400, 500, 1,000 km/h)로 대차변위 크기의 RMS(Root Mean Square) 값을 비교해서 나타내는데, 수직 및 수평 변위의 경우 부상이 막 시작된 시점(150 km/h)에서의 변위가 크고, 약 300~500 km/h 속도까지는 변위가 감소하다가 그 이후에는 다시 증가하는 추세를 보인다. 이는 부상 초기에는 부상 및 안내 강성이 충분하지 않아 대차변위가 크게 나타나고, 속도 증가에 따라 강성이 증가하여 변위가 일시적으로 감소했다가 고속으로 주행함에 따라 다시 증가하는 것으로 판단된다. 즉, Fig. 8과 Fig. 9에서 확인할 수 있듯이 부상이 막 시작되는 시점인 150 km/h에서 강성이 매우 작으며 속도 증가에 따라 커져서 속도가 400~500 km/h 이후가 되면 일정해지는데, 강성이 충분하지 않으면 대차변위는 커지게 된다. 또한, 이와는 별개로 속도가 증가하면 대차에 가해지는 충격량이 커져 대차변위는 커지는 경향이 있기 때문에 이와 같은 요인이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 피치와 롤 변위의 경우 400 km/h 전후에서 거동의 특이점이 발생하는데 이는 이 속도 부근에서 피치와 롤 변위와 관련된 고유진동 모드가 존재하는 것으로 판단된다.

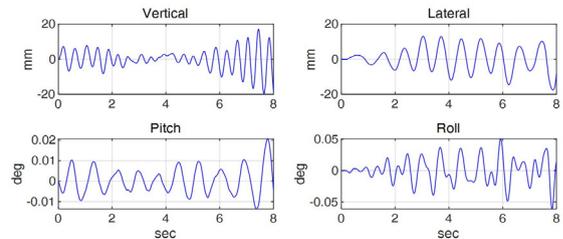


Fig. 12. Dynamic characteristics of the capsule train bogie (320 kAt, 1,000 km/h)

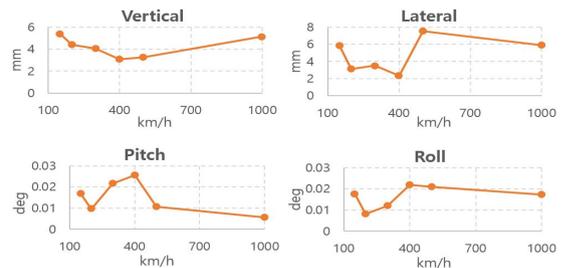


Fig. 13. Dynamic characteristics of the capsule train bogie according to speed (320 kAt)

Fig. 14는 초전도 전자석 기차력에 따른 대차 동특성을 비교한 결과이다. 초전도 전자석 시작품의 설계 기차력(320 kAt) 대비, 10% 감소 및 증가 된 기차력(288 kAt, 352 kAt)에 대한 결과를 비교하였다. 기차력이 변할 경우, 부상-안내력이 변하고 그에 따라 기본 처짐량(Δz) 및 부상-안내 강성 값이 변하며, 이러한 요인이 종합적으로 작용한 결과로 대차의 동특성이 나타나게 된다. 해석 결과, 속도에 따른 대차변위 추세는 288 kAt, 320 kAt, 352 kAt에서 모두 대체로 유사하게 나타나지만, 전체적인 변위의 크기는 Table 2에 정리하여 비교한 것과 같이 320 kAt에서 가장 작음을 알 수 있다. 따라서 초전도 전자석의 기차력이 320 kAt 일 때의 대차 동특성이 288 kAt과 352 kAt에 비해 우수함을 알 수 있다.

Table 2. Average bogie displacement according to electromagnetic force

Electromagnetic force	Average bogie displacement			
	Vertical (mm)	Lateral (mm)	Pitch (deg)	Roll (deg)
288 kAt	4.23	5.48	0.021	0.054
320 kAt	4.22	4.70	0.015	0.016
352 kAt	3.80	7.95	0.016	0.017

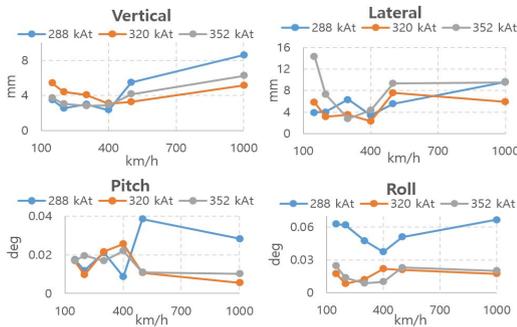


Fig. 14. Dynamic characteristics of the capsule train bogie according to electromagnetic force

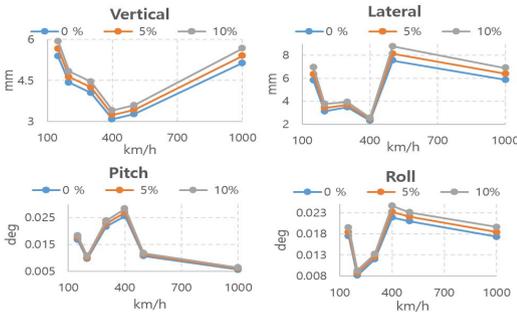


Fig. 15. Dynamic characteristics of the capsule train bogie according to guideway irregularity increase

Table 3. Average percentage of bogie displacement change according to guideway irregularity increase

Guideway irregularity increase	Vertical	Lateral	Pitch	Roll
5%	5.1%	7.8%	5.4%	5.8%
10%	10.1%	16.2%	10.7%	12%

다음으로 가이드웨이 불규칙도 증가에 따른 대차의 동특성을 비교하였다. Fig. 11에서 살펴본 가이드웨이 불규칙도 크기가 시공 오차 등으로 인해 5% 및 10% 증가했을 때 대차의 동특성 결과를 Fig. 15 및 Table 3에 나타내었다. 결과에서 나타나 있듯이 가이드웨이 불규칙도가 커질수록 대차의 변위가 커지는데(즉, 동특성 악화), 특히 대차 수평 방향으로 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

다음은 캡슐트레인 실제 운행 중 대차와 가이드웨이에 발생할 수 있는 불균형 상태가 대차의 동특성에 미치는 영향을 살펴보았다. 먼저 특정 초전도 코일에서의 열손실 등으로 인해 초전도 코일간에 발생할 수 있는 기차력 불균형에 대해 검토하였다. 앞서 설명한 바와 같이 기차력은 부상-안내 강성에 영향을 미치므로, 기차력 불균형이 발생하면 대차의 부상-안내 강성에 불균형이 발생하게 된다. (즉, Fig. 10 Front view에서 $k_{lev1} \neq k_{lev2}$, $k_{gud1} \neq k_{gud2}$ 및 Side view에서 $k_{lev1} \neq k_{lev2}$) 본 연구에서는 정상 기차력(320 kAt) 대비 기차력이 5% 및 10% 감소할 경우 대차 동특성에 미치는 영향을 검토하였다(Fig. 16). 결과에서 볼 수 있듯이, 수직과 수평 변위는 기차력 불균형에 크게 영향을 받지 않는 반면에 회전 변위는 상대적으로 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 특히, 롤 변위의 경우 좌우 10%의 초전도 전자석 기차력 불균형 발생으로 인해 약 27배 증가하였다.

가이드웨이의 경우 좌우 측벽 구조물로 이루어져 있으므로 좌우 구조물의 시공 정밀도 및 전차레일의 설치 정밀도 차이로 인해 불규칙도 불균형이 생길 수 있다. 즉, Fig. 10의 Front view에서 살펴본 좌우 가이드웨이 불규칙도 사이에 불균형($y_{g1} \neq y_{g2}$, $z_{g1} \neq z_{g2}$)을 발생시키고, 이는 대차의 수직, 수평, 롤 변위에 영향을 미치게 된다. 한쪽의 가이드웨이 불규칙도가 정상 불규칙도보다 5% 및 10% 증가하게 될 경우의 대차 동특성을 해석한 결과가 Fig. 17에 나타나 있다. 가이드웨이 불규칙도 불균형은 수직 및 수평 방향 변위보다 롤 변위에 영향을 크게 미침을 알 수 있는데, 10%의 가이드웨이 불균형 발생으로 인해 대차의 롤 변위가 2.4배 증가하였다.

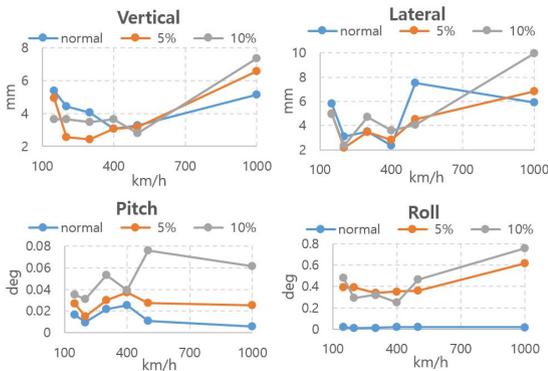


Fig. 16. Dynamic characteristics of the capsule train bogie according to the unbalance of electromagnetic force

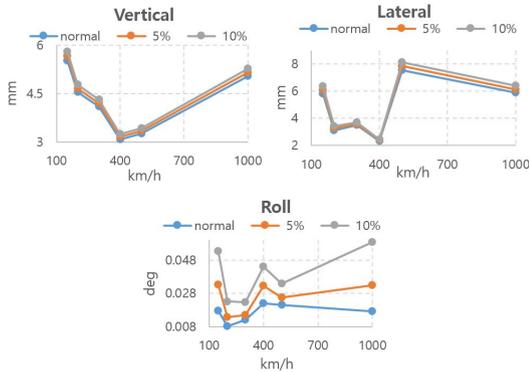


Fig. 17. Dynamic characteristics of the capsule train bogie according to the unbalance of guideway irregularity

3. 결론

본 연구에서는 캡슐트레인 대차의 기본 동작 시험을 위해 설계된 대차 및 가이드웨이 모델을 대상으로 초전도 전자석 기자력과 가이드웨이 불규칙도가 대차의 동특성에 미치는 영향에 대해서 검토하였다. 이를 위하여 먼저 초전도 유도 반발식 부상 원리에 따라 대차와 가이드웨이 사이의 1차 현가 시스템에 발생하는 부상·안내 강성을 도출하고 이를 바탕으로 대차 동특성 해석모델을 구축하였다. 구축된 모델을 이용한 시뮬레이션을 통해 초전도 전자석 기자력 및 가이드웨이 불규칙도 조건에 따른 대차의 동특성을 분석하여 다음과 같은 결과를 확인하였다.

1. 초전도 전자석 기자력의 크기는 대차 동특성에 영향을 미치며, 본 연구에서 검토된 초전도 전자석 및 대차 모델의 경우 기자력이 320 kAt 일 때 대차 동특성이 가장 양호함
2. 가이드웨이 불규칙도의 증가는 대차 동특성을 전반적으로 악화시키며, 대차의 수평 방향 동특성이 상대적으로 크게 악화됨
3. 대차 내 초전도 전자석 기자력의 불균형은 대차의 회전 방향 동특성을 악화시키며, 특히 10%의 기자력 불균형 발생 시 대차의 롤 방향 변위가 27배 증가함
4. 좌우 가이드웨이 불규칙도의 불균형은 대차의 회전 방향 동특성을 악화시키며, 10% 가이드웨이 불규칙도 불균형 발생 시 대차의 롤 방향 변위가 2.4배 증가함

향후에는 가이드웨이 좌우에 서로 상이한 불규칙도가 입력되었을 때의 대차 동특성 분석을 추가로 진행하고, 기자력 변화가 대차 동특성 변화를 일으키는 메커니즘에 대해 분석할 예정이다. 또한, 향후 대차와 가이드웨이를 실제 제작하고 주행시험을 통해서 본 연구결과를 실험적으로 검증할 예정이다. 본 연구결과는 향후 실용화모델 초전도 전자석 및 가이드웨이 설계 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 예상 된다.

References

- [1] E. Musk, Hyperloop Alpha. White paper, 2014.
- [2] H. James, "Technical assessment of maglev system concepts," US army corps of engineers. 1998.
- [3] J. Lim, C. Y. Lee., J. H. Lee, W. You, K. S. Lee, S. Choi, "Design Model of Null-Flux Coil Electrodynamic Suspension for the Hyperloop," *Energies*, 13(19), 5075, 2020.
- [4] S. Ohashi, H. Ohsaki, E. Masada, "Equivalent model of the side wall electrodynamic suspension system," *Electrical Engineering in Japan*, 124(2), 63-73, 1998.
- [5] R. Yoon, BA Negash, W. You, J. Lim, J. Lee, C. Lee, K. Lee, "Capsule Vehicle Dynamics Based on Levitation Coil Design Using Equivalent Model of a Sidewall Electrodynamic Suspension System," *Energies*, 14(16), 4979, 2021.
- [6] E. Suzuki, J. Shirasaki, K. Watanabe, H. Hoshino, M. Nagai, "Vibration reduction methods for superconducting Maglev vehicles." *In Proceedings of*

the 8th World Congress on Railway Research (WCRR 2008), 2008.

- [7] J. He, H. Coffey, "Magnetic damping forces in figure-eight-shaped null-flux coil suspension systems," *IEEE Transactions on Magnetics*, 33(5), pp.4230-4232, 1997.
- [8] K. Higashi, S. Ohashi, H. Ohsaki, E. Masada, "Magnetic damping of the electrodynamic suspension-type superconducting levitation system," *Electr. Eng. JPN.*, 127(2), pp.49-60, 1999.
- [9] Core technology development of subsonic capsule train, Annual Report. Korea Railroad Research Institute, Korea, 2020.
- [10] J. Mun, C. Lee, K. Kim, K. Sim, S. Kim, "Operating thermal characteristics of REBCO magnet for maglev train using detachable cooling system," *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 29, 3603305, 2019.
- [11] C. Lee, J. Lee, J. Lim, S. Choi, J. Jo, K. Lee, Y. Chung, S. Kim, H. Lee, "Design and evaluation of prototype high-*t_c* superconducting linear synchronous motor for high-speed transportation." *IEEE Trans. Appl. Supercond.* 30, 3602205, 2020.
- [12] H. Claus, W. Schiehlen, "Modeling and simulation of railway bogie structural vibrations," *J Vehicle System Dynamics*, 29(S1), pp.538-552, 1998.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00423119808969585>
- [13] K. Watanabe, H. Yoshioka, E. Suzuki, T. Tohtake, M. Nagai, "A Study of Vibration Control Systems for Superconducting Maglev Vehicles(Vibration Control of Lateral and Rolling Motions)," *Journal of System Design and Dynamics*, 1(3), pp.593-604, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1299/jsdd.1.593>

이 진 호(Jin-Ho Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학학사)
- 2000년 2월 : 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)
- 2005년 12월 : University of Florida 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 2009년 12월 : 삼성코닝정밀소재 책임연구원
- 2010년 1월 ~ 2011년 12월 : 국방기술품질원 선임연구원
- 2012년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

메카트로닉스, 기계제어, 진동

임 정 열(Jungyoul Lim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (기계 학사)
- 2010년 8월 : 조지아 공과대학교 기계공학과 (기계 석사)
- 2014년 5월 : 조지아 공과대학교 기계공학과 (기계 박사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

자기부상, 전자기 구동기 및 발전기, 메카트로닉스

유 원 희(Won-Hee You)

[정회원]



- 1993년 8월 : 연세대학교 대학원 기계공학과 (석사)
- 1984년 8월 ~ 1989년 2월 : 국방과학연구소 연구원
- 1993년 12월 ~ 1996년 11월 : 삼성전자 책임연구원
- 1996년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

동력학 및 소음진동 제어

이 관 섭(Kwansup Lee)

[정회원]



- 1995년 2월 : 한국과학기술원(기계공학 석사)
- 2002년 2월 : 모스크바 바우만 공과대학교(제어계측공학 박사)
- 1982년 1월 ~ 1996년 7월 : 국방과학연구소 선임연구원
- 1996년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

제어계측, 초고속 차량