

## 자기부상열차 분기기 선로 구조물의 성능시험 Guideway Evaluation of the Maglev Vehicle Switch System

한종부\*, 박진우\*, 한형석\*\*<sup>†</sup>, 박도영\*\*, 이종민\*\*, 양석조\*

Jong-Boo Han\*, Jin-Woo Park\*, Hyung-Suk Han\*\*<sup>†</sup>, Doh-Young Park\*\*,

Jong-Min Lee\*\*, Seok-Jo Yang\*

**Abstract** In order to be practical maglev vehicle, maglev vehicle is required high reliability and needed rapid railroad switch system. Unlike iron wheel-rail system, maglev bogie was designed to wrap the track. The branch of a maglev system track should move entire track. Because of maglev switch system is large, heavy and expensive. Also it occupies large proportion of railroad accidents. In particular, the maglev does not control the lateral direction. If maglev is not contact the rail, switch system is needed proposed passing speed. In this paper, Developed at Incheon International airport track switch system vibration and characteristics of vehicle is measured and analyzed. Then switch system passing speed is proposed.

**Keywords** : Maglev vehicle, switch, vibration test

**초 록** 자기부상열차가 실용화되기 위해서는 높은 신뢰성이 요구되며, 신속하게 동작하는 궤도분기기가 필요하다. 철제차륜-레일 시스템과 달리 대차가 궤도를 감싸는 구조로 설계된 자기부상열차시스템의 궤도를 분기하려면 고가궤도 전체를 움직여야 하므로 구조물이 크고 무거우며 복잡하고 제작비용이 많이 든다. 또한 철도시스템에서 일어나는 사고 중 분기기가 차지하는 비중이 크다. 특히 자기부상열차의 경우 횡 방향을 능동적으로 제어 않기 때문에 레일과의 접촉을 방지하기 위하여 분기기 통과에 대한 속도 제안이 필요하다. 따라서 본 연구에서 인천공항 선로에 개발된 분기기의 진동 특성 및 차량과의 연성 특성을 측정하고 분석하여, 안정성을 높일 수 있는 분기기 통과 속도를 제안하고자 한다.

**주요어** : 자기부상열차, 분기기, 진동시험

### 1. 서 론

인천공항의 6.2km의 구간에 걸쳐 자기부상열차의 시범노선이 건설되었다. 이 구간에서 차량기지 내부의 분기기를 포함한 총 3곳에 자기부상열차 분기기 선로가 설치되었다.

<sup>†</sup> 교신저자: 한국기계연구원 (hshan@kimm.re.kr)

\* 충남대학교 메카트로닉스 공학과

\*\* 한국기계연구원 자기부상연구실

이중에서 2곳은 자기부상차량이 저속구간에서만 통과하여 문제가 발생하지 않지만, 1곳은 고속구간에도 이용되기 때문에 설치된 분기기 선로의 성능평가가 필요하다. 설치된 분기기 선로는 시저스 분기기로 그림1과 같이 설치되어 있다. 자기부상열차의 분기기 선로는 대차가 선로를 감싸는 자기부상열차의 특성상 선로 자체가 움직여야 하도록 설계되어 있고, 신속한 선로 변경을 위하여 강재 구조로 구성되어 있다.

이러한 분기기 선로 특성은 일반 콘크리트 선로에 비하여 진동측면에서 불리한 구조로 되어있다고 볼 수 있다. 특히 자기부상열차의 전자석은 횡 방향의 제어가 능동적으로 일어나기 때문에 분기기의 선로변경 후 곡선구간 통과 시 차량의 속도가 부상안정성 측면에 큰 요인으로 작용한다. 따라서 본 논문에서는 안정적인 분기기 곡선통과 속도를 제안하기 위하여 분기기 진동시험, 차량과의 상호영향도 분석 등을 통하여 안정적인 통과 속도를 제안하고자 한다. 추후 본 논문의 시험결과를 참고하여 자기부상차량 운용 시 참고할 수 있을 것으로 예상된다.



Fig. 1 Scissors switch

## 2. 본 론

### 2.1 분기기 구조 분석

자기부상열차의 분기기는 그림 2와 같이 단경간 거더2개와 장경간 거더로 구성된 관절형태이며, 그림 3과 같이 박스형 단면 구조를 갖고 있다. 이 관절을 활용하여 2, 3way 분기기와 시저스 분기기로 구분이 된다. 이러한 분기기 구조는 그림4와 같이 거더 자체가 움직여 비연속적 선형레일을 만들게 된다. 비연속적 선형레일은 거더 사이에 변곡점이 생기고, 그 지점에서 대차와 레일의 접촉이 발생할 수 있다. 또한 분기기 전체가 강 구조물로 구성되어 있어 진동 측면에서도 취약한 구조를 가지고 있다.

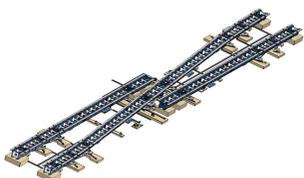


Fig. 2 Concept of scissors switch

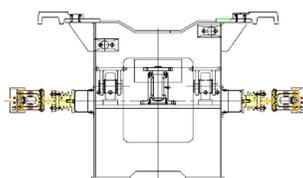


Fig. 3 Cross section of switch



Fig. 4 drive link of bogie



Fig. 5 Short span



Fig. 6 Long span



Fig. 7 drive link of bogie

## 2.2 분기기 진동 분석

강 거더로 구성된 분기기는 콘크리트 거더에 비하여 진동측면뿐만 아니라 거더 처짐에도 취약한 상태이다. 따라서 분기기의 모달 테스트를 통해 고유진동수를 정확히 파악하고, 자기부상열차와 공진 문제를 분석해야 한다. 분기기의 임팩트 시험을 통해 그림 8와 같은 단, 장경간 거더에 대해 고유진동수와 감쇠비를 측정하였다. 여기서 수직 방향 1차 진동 모드를 장경간 거더가 약 14Hz으로 단경간 거더가 약 130Hz에서 검출되었다.

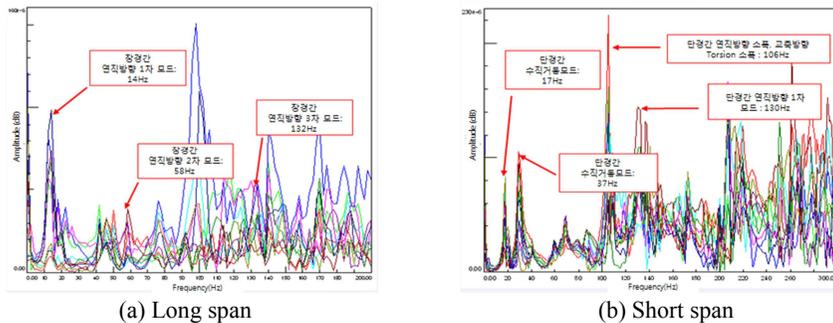


Fig. 8 Vibration mode of switch

## 2.3 차량과의 상호작용 분석

차량과 분기기간의 진동에 의한 상호작용을 평가하기 위하여, 차량의 분기기 통과 시 속도에 따른 분기기 진동, 차량 진동, 분기기 처짐, 차량 부상공극 등을 측정하고 분석하였다. 즉, 이번 실험에서는 분기기와 차량의 공진이 발생할 때 부상공극 및 진동을 평가하여 안정성을 평가하고자 한다. 그림 9는 분기기의 장·단경간 거더에 가속도 센서를 부착하고, 진동 실험과 그 결과를 보여준다. 여기서서는 분기기 곡선에서 실험하였고, 수직방향 가속도를 측정한 결과이다. 실험결과 차량 속도가 증가하면, 분기기 선로의 진동도 같이 증가하는 경향을 보여준다. 하지만 그 값의 크기는 미비했다.

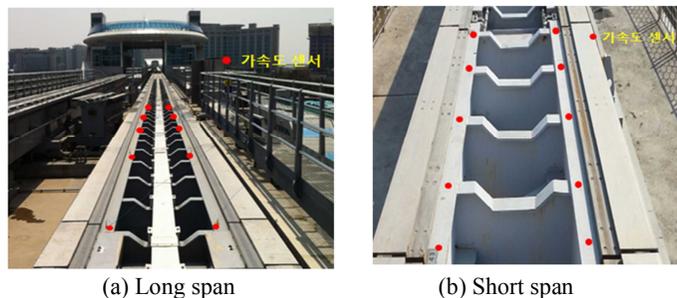


Fig. 9 Vibration test of switch

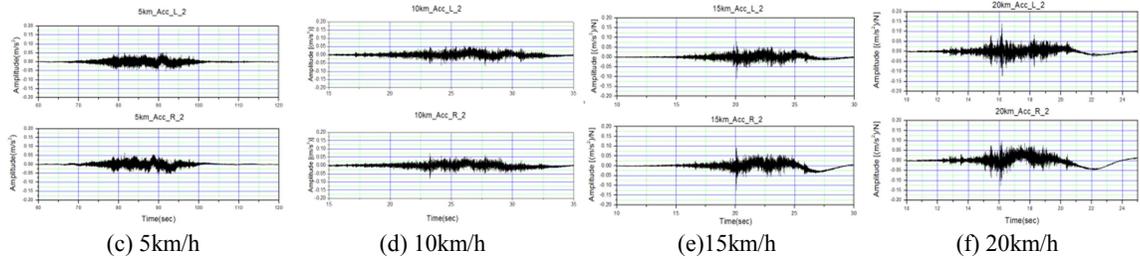


Fig. 10 Vertical acceleration

위 실험에서 차량에는 3축 가속도 센서를 부착하여 차량의 진동을 측정하였다. 차량 속도 값은 정략적 평가를 위하여 승차감 분석에 이용해야 하므로 UIC 513의 기준으로 3축을 모두 측정하였다. 측정결과 그림 11과 같이 분기기의 직선구간에서는 속도에 따라서 차량 진동이 미비하게 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만 분기기 진입 시에는 진동이 약하게 발생하고 있다. 그림 12와 같이 분기기 곡선구간에서는 진행 방향과 수직방향의 진동은 미비하지만 횡 방향의 진동 가속도가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 특히 25km/h의 속도로 통과할 때 매우 크게 나타났다.

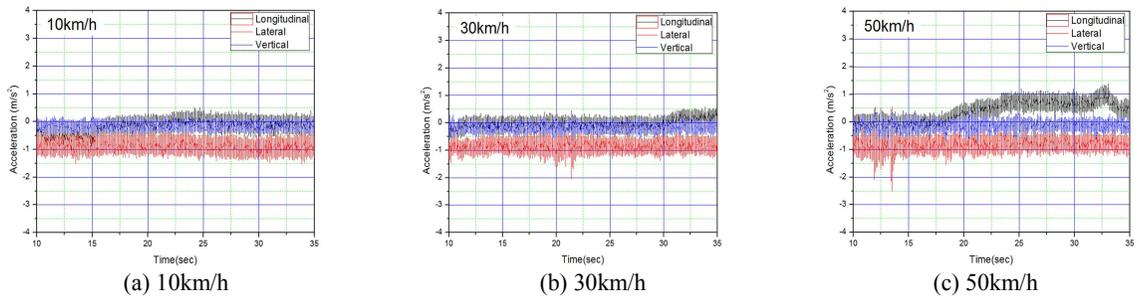


Fig. 11 Acceleration results on straight section of switch

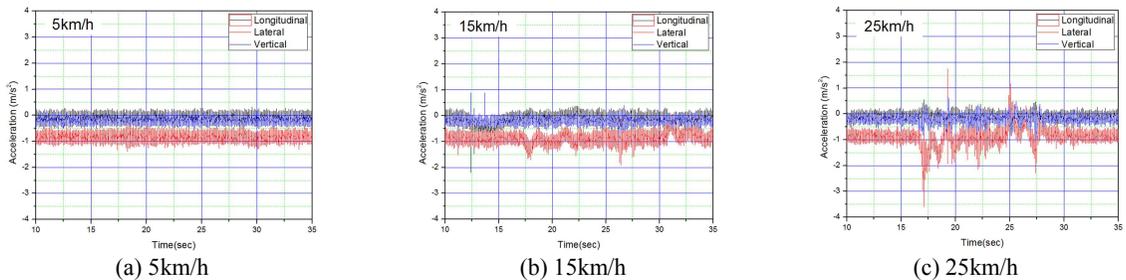


Fig. 12 Acceleration results on curve section of switch

## 2.4 분기기 최고통과속도

인천공항 자기부상열차의 분기기 통과 최고속도를 제안하기 위하여 위 실험 결과와 더불어 부상공극 측면을 고려해 보았다. 부상공극 측정 결과 그림 13~14와 같이 차량의 부상공극은 차량의 속도가 증가 할수록 증가하는 경향을 보여준다. 분기기 직선구간에서는 최고속도 60km/h일 때 최대 부상공극이 약  $\pm 1.75\text{mm}$ 으로 자기부상열차 설계기준( $\pm 3.0\text{mm}$ )을 만족하는 것을 알 수 있다. 분기기 곡선구간에서는 최고속도 약 25km/h일 때 최대 부상공극 값이 약  $\pm 0.65\text{mm}$  으로 설계기준을 만족하는 것을 알 수 있다. 또한 부상공극 측면에서는 분

기기 직선구간과 곡선구간의 영향이 거의 없는 것을 알 수 있다.

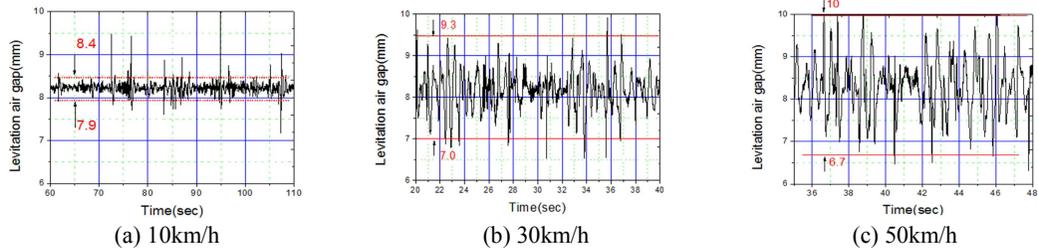


Fig. 13 Vertical air gap results on straight section of switch

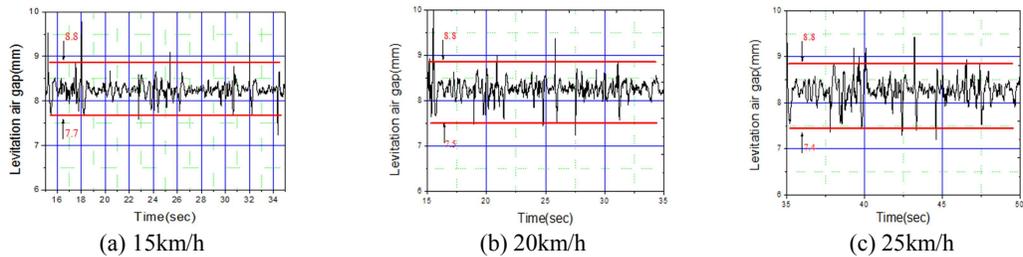


Fig. 14 Vertical air gap results on curve section of switch

### 3. 결론

인천공항의 자기부상열차 분기기 선로에 대한 차량의 통과 최고 속도를 도출하기 위하여 진동 및 차량영향도 시험을 수행하였다. 시험결과 부상공극 측면에서 자기부상차량은 직선구간에서 60km/h, 곡선구간에서 25km/h의 속도가 가능한 것으로 판단된다. 하지만 분기기 곡선구간에서 25km/h의 속도로 통과 시 횡 방향 진동가속도와 차량 승차감지수가 급격히 증가하는 것으로 적절한 판단이 필요하다.

### 후 기

본 논문은 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원 에서 시행한 2012년도 철도기술연구사업(06자기부상B01) 의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사 드립니다.

### 참고문헌

- [1] K. J. Kim, H. S. Han, J. M. Lee and S. J. Yang (2010) Running Safety of an EMS-type Urban Maglev Vehicle Traveling over a Segmented, *Proceedings of the 5th ACMD*, Japan, Kyoto.
- [2] H. J. Shin, J. M. LEE, H. S. Han (2011) Vibration test between Maglev vehicle and switching system , *MAGLEV 2011*, Korea, Dae-Jeon.
- [3] B. Jin, I. Kim, Y. Kim (2007), Proposal of Maglev Guideway Girder by Structural Optimization : Civil Works of Center for Urban Maglev Program in Korea, *ICEMS 2007*, Korea , Seoul.