

# 자기부상열차 가속 순간 부상공극 변화

## Air Gap Change of a Maglev Vehicle at the Moment a Linear Induction Motor Runs

신현재†      한형석\*      김동성\*      김봉섭\*  
Shin, Hyeon-Jae    Han, Hyung-Suk    Kim Dong-sung    Kim Bong-Seup

### ABSTRACT

LIM(Linear induction motor)s are the main type of motors used for urban Maglev vehicles because they are less expensive to operate at a lower speed than linear synchronous motors. An LIM generates an attraction force while running, which perturbs the air gap of the electromagnet. This undesirable air gap variation could result in the mechanical contact of an electromagnet with the reaction plate. For this reason, the magnitude of the air gap variation must be limited within a certain range. The air gap changes when running the 1/2 vehicle under development for testing are analyzed through a test on the test track at KIMM. The results from this study could be used to minimize the air gap variations due to attraction force from LIM.

## 1. 서 론

중저속형 자기부상열차의 추진 장치로 선형유도전동기(Linear Induction Motor)가 주로 이용된다. 선형유도전동기는 추진시 추진력과 더불어 2차측 반발판(Reaction plate or rail)과의 흡인력을 발생시켜 부상제어에 영향을 준다.[1] 그 결과 선형유도전동기의 추진 순간 부상공극 변동이 발생한다. 그런 후 부상제어에 의하여 공칭 부상공극으로 다시 회귀한다. 이러한 부상공극 변동이 클 경우 선형유도전동기와 반발판 사이에 기계적 접촉이 일어날 수 있다. 그러므로 선형유도전동기 추진 순간의 부상공극 변동 크기를 제한하도록 하여야 한다. 본 논문에서는 시험용으로 제작된 1/2 자기부상 차량에 대하여 선형유도전동기 추진 순간 부상공극 변동 크기를 정량적으로 분석하는데 목적이 있다. 부상공극 변동 분석은 실차 주행실험에 의하여 이루어진다. 이러한 연구 결과는 선형유도전동기의 부상공극에의 영향정도를 정량적으로 분석할 수 있게 한다. 더 나아가 부상공극 변동을 줄이기 위한 부상제어기 설계에 이용될 수 있다.

## 2. 선형유도전동기

### 2.1 선형유도전동기 원리

그림 1은 국내외에서 개발된 중저속형 상전도흡인식 자기부상열차의 단면도를 보여주고 있다. 그림1에서와 같이 부상은 가이드레일 하부에 위치한 전자석의 흡인력에 의하여 이루어진다. 추진은 가이드레일 상부에 있는 선형유도전동기의 고정자와 가이드레일의 반발판 사이의 주행방향 반발력에 의하여 이루어진다. 이러한 선형유도전동기의 구조와 전력회로는 그림 2와 그림 3에서 각각 보여주고 있다. 그런데 LIM은 가동시 1차측 고정자(stator)와 2차측 반발판(reaction plate) 사이에 추진력과 더불어 흡인력을 발생시킨다. 그림 4는 LIM의 슬립 주파수 제어시의 주파수 값에 따라서 추진력과 흡입력의 변화를 보여준다.[1] 큰 추진력을 얻고자 하여 낮은 슬립주파수로 제어한다면, 흡입력이 과도하여 부상제어에 큰

† 신현재 : 정회원, 한국기계연구원, 자기부상연구실, 위촉연구원  
E-mail : godnow@kimm.re.kr  
TEL : (042)868-7193 FAX : (042)868-7618  
\* 한국기계연구원

영향을 미치게 되고, 높은 슬립 주파수로 제어한다면, 추진력이 미약하여 원하는 가속력을 얻을수 없게된다.[2] 그러므로 선형유도전동기 흡인력에 의한 부상공극 변동을 허용된 간극 이하가 되도록 슬립 주파수를 제어되어야 하고, 부상제어기는 추진순간에 LIM의 흡입력에 능동적으로 반응해야한다.

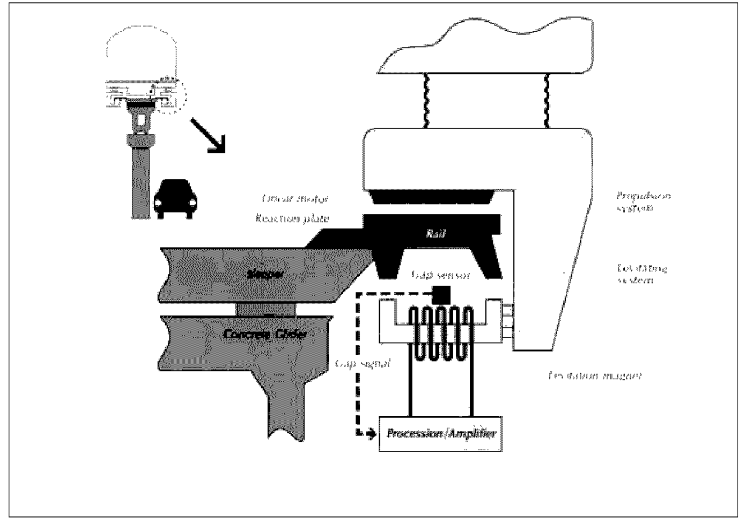


그림 1. 중저속형 상전도흡인식 자기부상열차 단면도

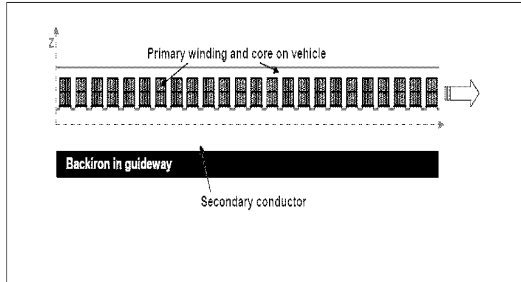


그림 2. LIM의 측면 단면도

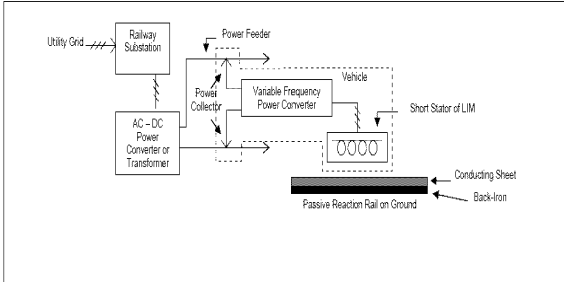


그림 3. LIM의 전력회로 단면도

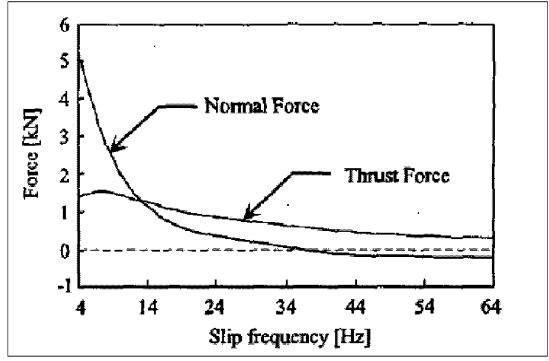


그림 4. LIM의 추진력 및 흡인력 특성[1]

2.2 시험용 1/2 자기부상 차량

그림 4는 2012년 개통을 목표로 건설 중인 도시형 자기부상열차 시범노선을 보여주고 있다. 이 노선에서 운행될 자기부상열차를 그림 5에서 나타내고 있으며 부상, 추진 방식은 그림 1과 동일하다. 이 차량의 성능을 개선하기 위하여 현재 그림 6와 같이 1/2 차량을 제작하여 한국기계연구원 시험선에서 시험

중에 있다. 본 시험차량의 선형유도전동기는 그림 7과 같이 전형적인 선형유도전동기 구조를 갖는다. 주요 규격은 도표 1과 같다.

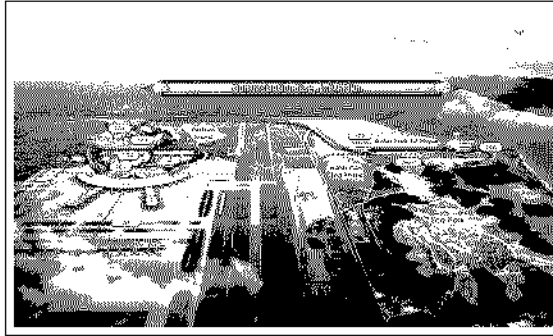


그림 4. 자기부상열차 시범 노선



그림 5. 자기부상열차

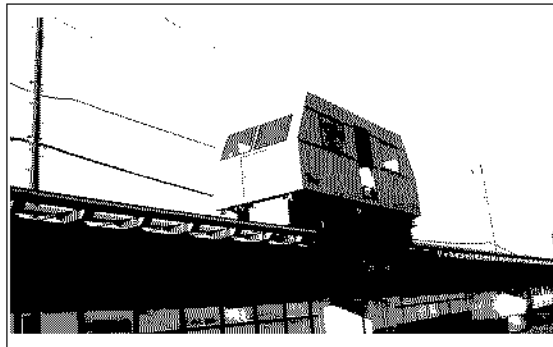


그림 6. 시험용 1/2 자기부상 차량

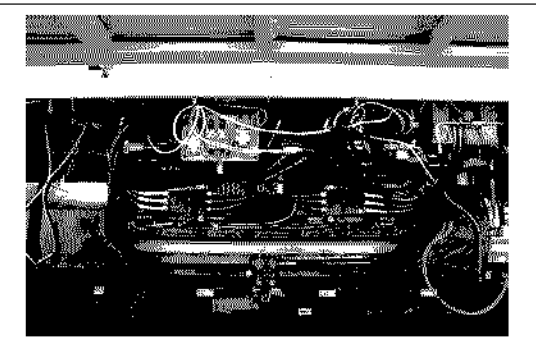


그림 7. 시험차량 선형 유도 전동기

도표 1. 선형유도전동기 주요 규격

극수	길이	추력	흡인력	전류
8	2,476	12,697[N]	24,032[N]	195.5[A]

### 3. 부상공극 변동분석

#### 3.1 실험장치 구성 및 방법

선형유도전동기의 가동에 따른 부상공극 변동을 실험적으로 분석하기 위하여 그림 8과 같이 계측 장치를 구성하였다. 계측 항목은 모든 전자석의 부상공극, 대차 수직 가속도 및 차량 속도이다. 신호 취득은 LMS Test.Lab을 이용한다. 시험 과정은 시험선에서 가속-감속으로 이루어진다.

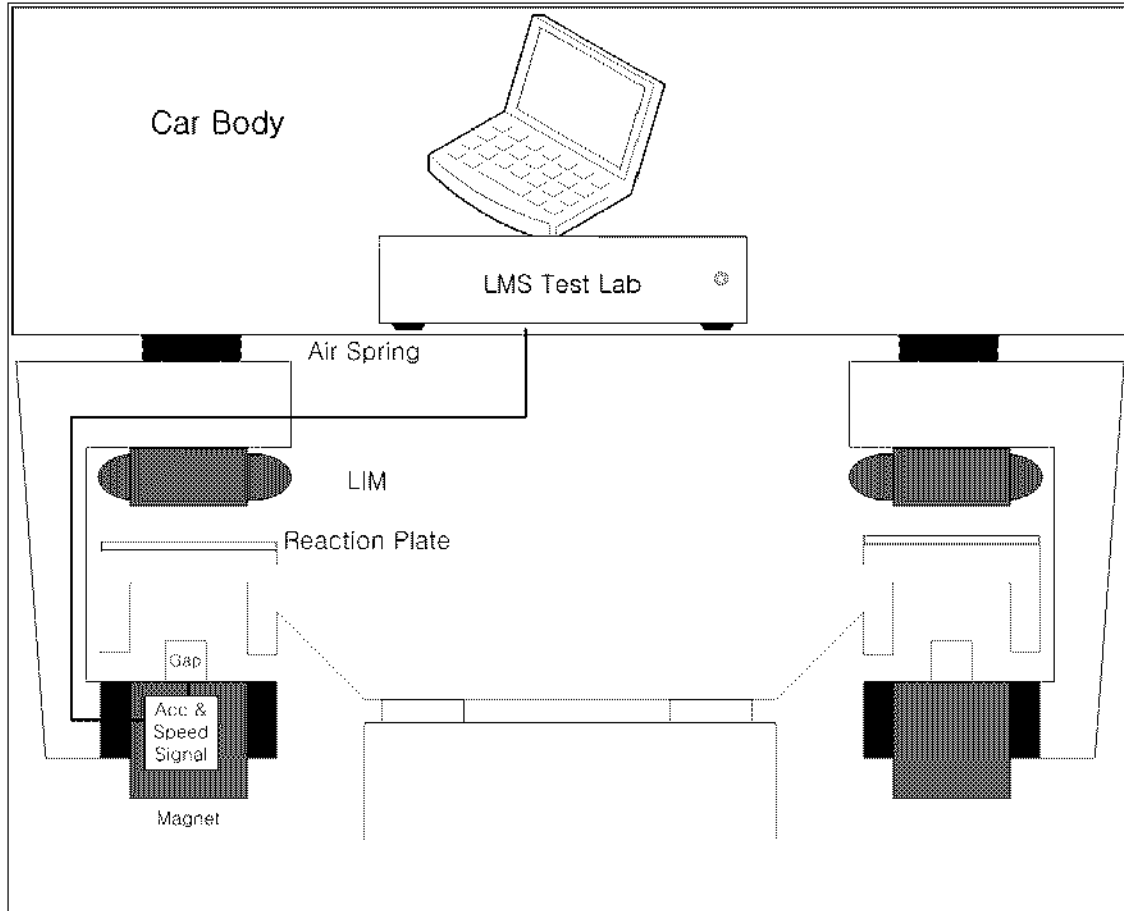


그림 8. 실험장치 구성

### 3.2 실험결과

그림 9는 선형 유도 전동기 가속에 의한 속도, 부상공극, 전자석 수직 가속도 값을 보여주고 있다. 본 차량의 공칭 부상공극은 8mm이다. 실제 주행 중에는 가이드웨이의 불규칙도를 비롯한 각종 외란에 의하여 부상공극 변동이 항상 존재한다.[3] 그림 9에서 볼 수 있듯이 정지상태에서 가속시 부상공극은 변동을 일으킨다. 이런 변동은 물론 다양한 외란에 의하여 발생하지만 정지상태에서 출발하기 때문에 선형유도전동기의 흡인력과 차량의 관성에 의하여 주로 발생할 것이다. 변동의 크기는  $\pm 0.25\text{mm}$ 로 공칭공극의 0.03% 임을 알 수 있다. 그리고, 그림 11은 가속구간의 변화를 세부적으로 보여주고 있다. 이때의 변동은 공칭 공극을 유지한다. 결과적으로 시험용 1/2자기부상 차량에서는 선형 유도전동기의 흡인력이 부상공극 변화에 큰 영향을 주지 못한다. 이러한 변동의 크기는 선형유도전동기의 슬립주파수 제어값에 의해 추진력, 흡인력이 변화한다. 또한 부상공극 제어기에 의하여 결정될 것이다. 일반적으로 제어기는 부상공극, 부상공극 속도, 전자석 수직가속도, 전자석 수직 속도, 전자석 수직 위치 상태를 이용할 수 있다. 각 상태에 대한 계인의 상대적 크기를 설정하여 선형유도전동기에 의한 부상공극 변동을 제한할 수 있다.

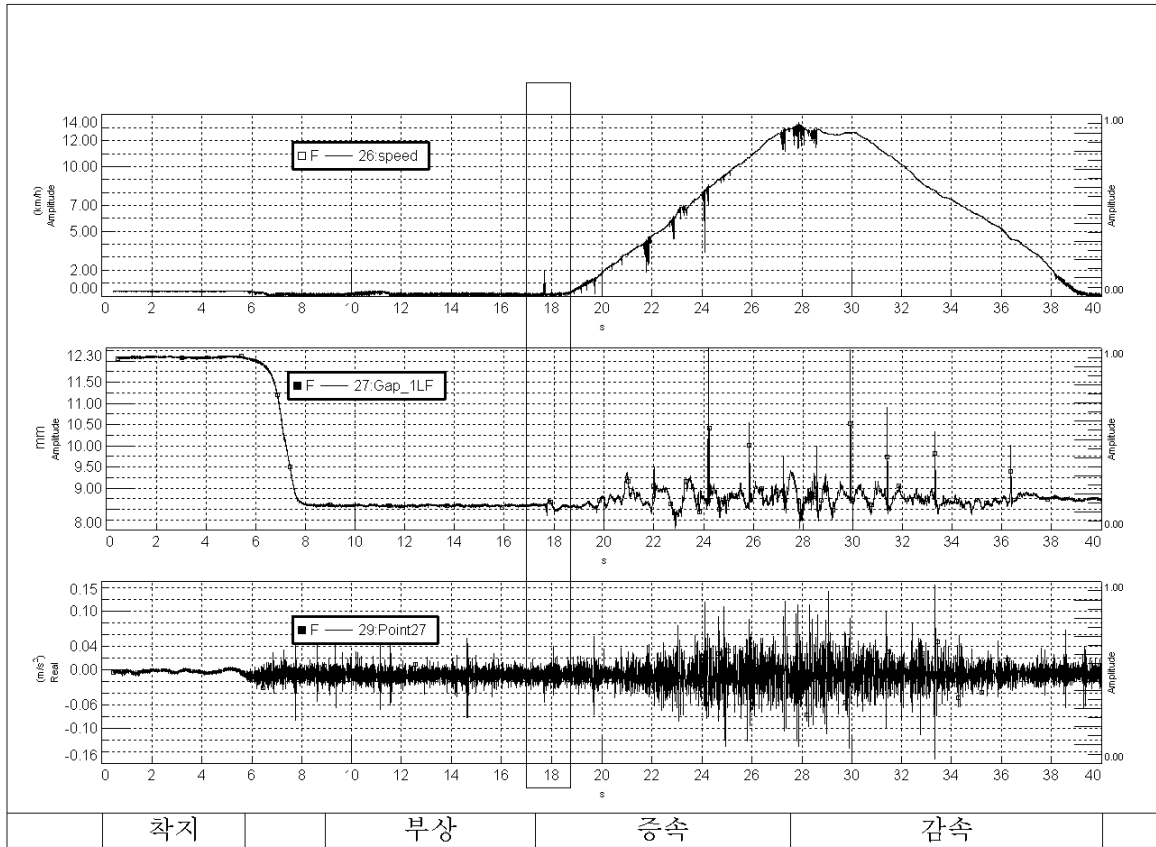


그림 10. LIM 추진시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답

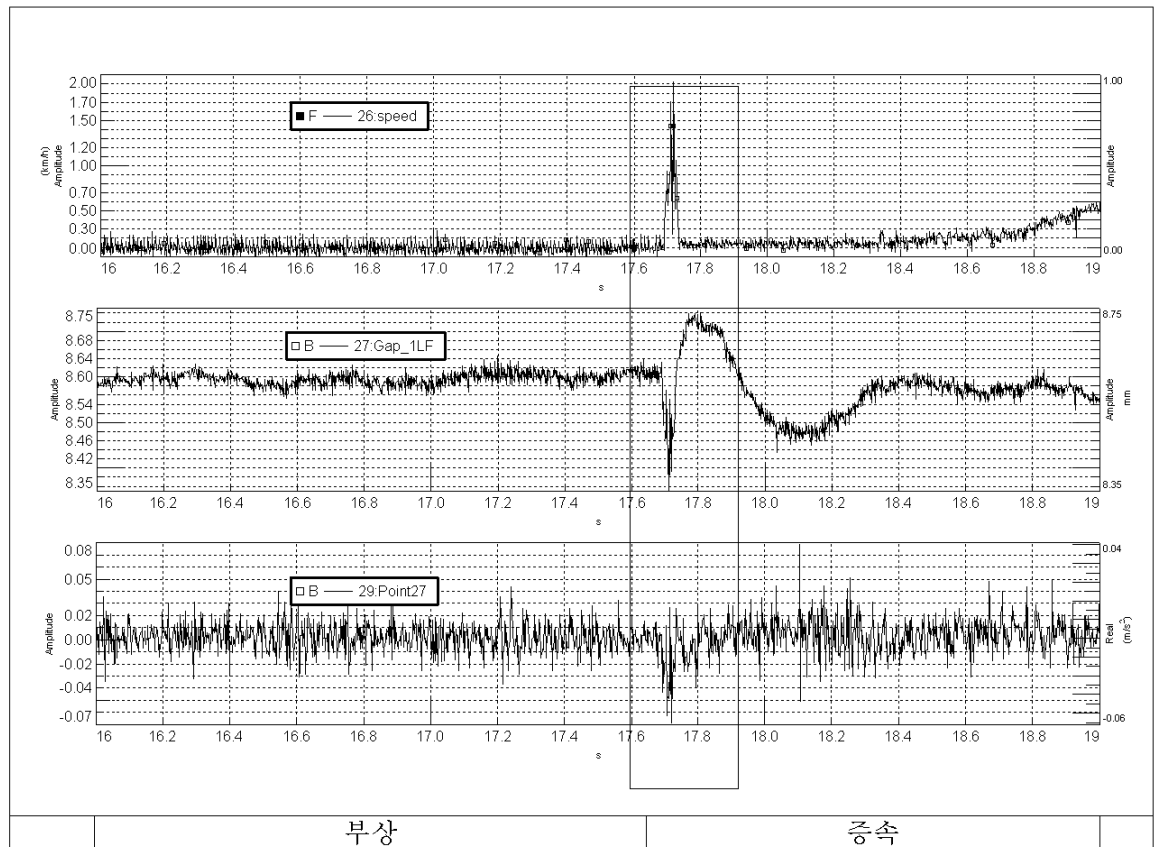


그림 11. LIM 추진 시작시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답

#### 4. 결 론

이상과 같이 선형유도전동기의 가동시에 부상공극 변동의 크기를 실험에 의하여 분석하였다. 그 결과 현재 개발 중인 차량의 정지 상태에서 1.5m/s로 가속시 공칭 부상공극의 약 0.03%의 변동을 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 크기는 최대 허용 가능한 부상공극 변동 크기내의 작은 값으로 부상공극 변동에 큰 영향을 주지 못한다. 슬립 주파수 제어가 적절하게 설정되어 LIM 추진시의 흡입력은 부상제어기의 제어 범위에 있었다. 본 연구는 이러한 과정에 있어서의 실제 응답을 실험에 의하여 분석함으로써 정량적으로 부상제어기의 계인을 최적화하는데 이용될 수 있다.

#### 참고문헌

1. J-H. Kim, and B-G Gu(2003), "Attractive Force Reducing Strategy of LIM for PRT Systems", IEEE
2. 장석명, (1991) "Expo 자기부상열차용 추진시스템 개발을 위한 기본연구", 최종보고서, 충남대학교
3. 자체 보고서 (1997), "Linear Induction Motor", 한국 기계연구원.