

국내 자기부상열차 개발현황

조흥제, 유문현, 이종민
한국기계연구원 신교통기술연구부 / 자기부상열차개발구름

Status of Maglev Development in Korea

Cho, Hung-je, Yoo, Mun-hwan, Lee, Jong-min

Abstract

Maglev Project Team in KIMM has been leading Maglev development in Korea for the past 10 years. In this paper status of development of Maglev in Korea - what has been done so far, problems to be overcome for the actual implementation and future development plan is reported.

1. 서 론

본 자기부상열차개발팀은 심각한 대도시 교통문제를 미래지향적/환경친화적인 새로운 제도교통수단의 개발, 실용화를 통하여 해결하고자 지난 10년간 중저속용 도시형자기부상열차를 개발해오고 있으며 결과로서 기업(구현대정공) 과 공동으로 2 량 1 편성 자기부상열차(UTM-01)을 제작하여 1998 년이후 현재까지 시험운행중이다. 개발된 자기부상열차는, 그러나, 실용화전 단계모델로서 기본적인 성능구현에는 문제가 없으나 대중을 실어 나르는 대중교통수단 역할을 하기에는 시스템의 신뢰성이 전반적으로 부족하고 자기부상시스템을 구성하는 각 Sub. System 기술의 최적화가 이루어지지 못한 상태이다. 실용화 수준의 자기부상열차를 100 % 라 할 때 기 개발된 자기부상열차의 기술적 완성도는 80 % 정도로 추정된다. 자기부상열차는 선로위를 떠서 주행하는 특성상 잘만 개발된다면 다양한 교통수요의 일부분을 담당할 수 있다. 40m 이내의 짧은 곡선주행이 가능하고 7 % 의 언덕등판 능력이 있어 노선기획에 자유로움이 있다. 비접촉식 이므로 차내외 소음 Level을 현저히 낮출 수 있으며 유지보수비용이 상대적으로 적게 든다. 또한 차체가 레일을 감싸고 있는 형태 이므로 탈선의 염려가 없다. 본 발표에서는 기 개발된 UTM-01 의 현황과 실용화를 위해 기술적으로 해결되어야 하는 문제점들을 살펴보고 이러한 문제점들을 해결하기 위한 향후 개발계획에 대하여 언급하고자 한다.

2. 본 론

2.1 UTM-01

그림 1 에 2단계 국책연구사업의 결과로 (구) 현대정공주와 공동으로 개발한 UTM-01 (Urban Transit Maglev)을 보이고 있다. 그림 2 는 주행중 대표적인 Gap 파형을 보이고 있다. 부상 Gap 은 40 Km/h 의 주행속도에서 최대 ± 2.5 mm 의 변동폭 범위내에 있다. UTM-01 은 1998 년 9 월이후 현재까지 약 30,000 km 운행되었다. 그림 3 은 주행중 차내 소음 Level 파형을 보여주고 있다. 정지상태에서 출발하여 3 Notch 로 가속시 차내 소음 Level은 최대 70 dB(A)를 보이고 있다.

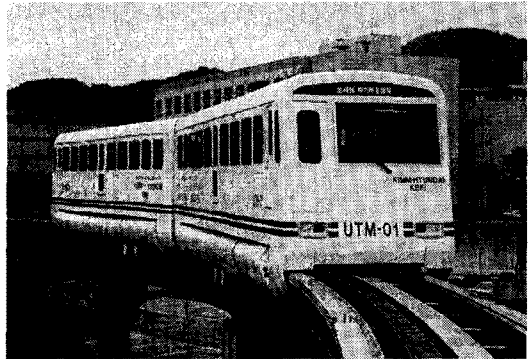


그림 1. 주행성능시험중인 UTM-01

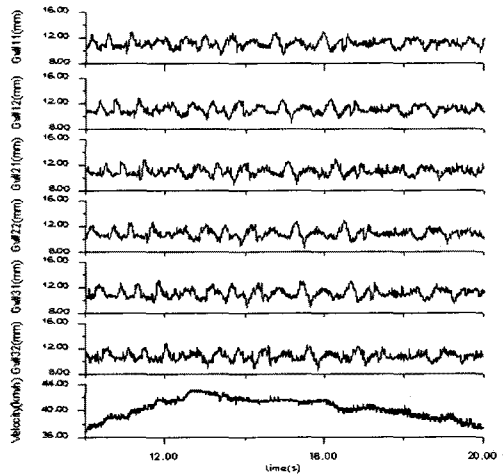


그림 2. 대표적인 부상 Gap 파형

2.2 주행성능시험 결과

지난 수년간의 주행시험 결과 많은 문제점이 노출되었다. UTM-01에서 신뢰성 향상 및 기술의 최적화가 요구되는 주요 부분을 열거하면,
1) 부상/안내 제어기의 절대적인 신뢰성 부족
2) 선형유도전동기(LIM)의 효율

- 3) 주요 전장품 (VVVF,DC/DC, Magnet Driver 등)의 신뢰성 확보/저소음화/경량화
- 4) 짧은 곡선을 원활히 돌아갈 수 있도록 대차/차량의 연결구조 개선
- 5) 차량 및 대차의 경량화

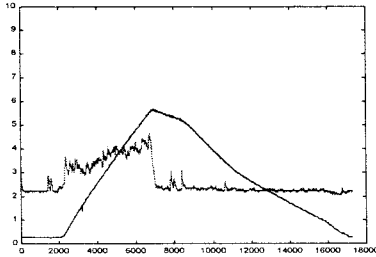


그림 3. 주행중 차내소음 Level. 총축 50dB-100dB
주행속도 : 0 - 50 km/h

2.3. 경전철용 자기부상열차 개발계획

98년 2 단계 과기부 국책연구사업 이후 2000년 부터는 자기부상열차개발은 산업기술연구회의 자체연구 사업으로 전환되어 추진중이다. 본 사업은 2004년까지 지속될 예정으로 최종목표는 UTM-01의 부족한 점을 보완하여 실용화 수준의 경전철용 자기부상열차를 개발하는 것이다. UTM-01 주행시험결과 드러난 문제점에 대하여 본 연구진이 추진하고 있는 개발방향은 다음과 같다.

부상/안내 제어기

선로위를 일정한 Gap으로 떠서 주행하는 특성상 자기부상열차 실용화는 부상/안내제어기의 신뢰성확보 여부에 달려 있다. 자기부상제어는 근본적으로 Unstable한 시스템이므로 절대적인 신뢰성확보는 어떠한 경우에도 항상 일정한 Gap을 유지하는 일은 있을 수 없다. 커다란 외란이 순간적으로 작용할 때, 예를 들면 7% 하향구배에서 40 Km/h 주행중 급 비상브레이크를 잡을 경우 차전체에 큰 Pitching 이 작용한다. 는 순간적으로 큰 Gap 변동폭으로 인하여 Module이 레일에 닿는 경우는 있을 수 있다. 단 레일을 친 후 제어가 발산하지 않고 곧 정상 Gap을 유지하면 되는 것이다.

- 큰 외란에도 불구하고 허용 Gap 변동폭 범위내($\pm 8 \text{ mm}$) 내에서 전구간 Stability 가 보장되는 강인 제어 구현. 강인. 안정성을 확보하는 방법으로서
 - (1) 상태관측기의 감쇄상수와 자연주파수 범위 조정
 - (2) Feedback 제어기형태를 개선하여 강인*안정성 영역을 증대
 - (3) Feedback gain을 조정하여 안정영역의 이득과 범위를 확대
 - (4) 비선형모델 사용을 적극 검토한다.
- 제어에 사용되는 Gap/가속도 Sensor ,Magnet Driver 의 일부가 고장이 나도 부상상태를 유지하도록 하는 고장에 견디는 제어(Fault Tolerant Control) 도입
- 레일단차 통과시 Duel Gap 신호처리 문제 해결
- 부상계를 형성하는 기기들의 핵심 Component 들의 2 중화

- 승차감 향상을 위하여 Flexibel 한 고가계도와 차량의 Dynamics를 제어에 input

그림 4, 5 는 FTC 제어기법을 도입하여 제어한 실험 결과 이 다

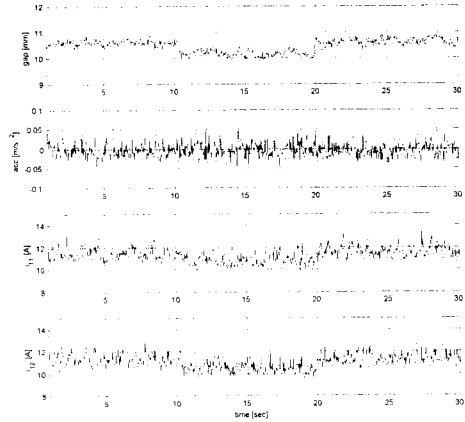


그림 4. Gap Sensor 고장시 제어결과. 위부터 Gap ,가속도,전자석 전류1, 전자석 전류2

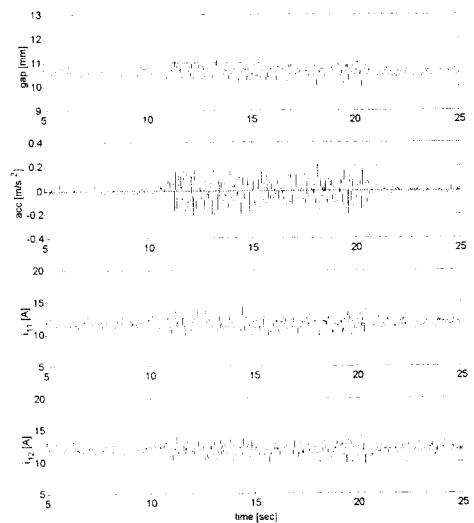


그림 5. 가속도센서 고장시 제어결과. 위부터 Gap, 가속도, 전자석 전류1, 전자석 전류2

위 그림 4,5 파형에서 보듯이 주행중 Gap 센서 또는 가속도 센서의 일부가 고장이 나도 부상이 유지됨을 알 수 있다.

차체

현 UTM-01 은 알루미늄 용접구조로 되어 있으나 알루미늄 압출재를 사용하여 경량화를 기할 것이다. 또한 차상바닥의 높이가 UTM-01 의 경우 Reaction 상면위 1080 mm에서 900 mm 이하로 낮추어 차량의 안정화, 곡선주행성능 향상, 경량화를 기할 것이다.

대차

현 대차의 길이는 3.5 m 이고 무게는 3 ton 이다. 새로 설계된 대차의 길이는 곡선 및 구배주행성능 향상을 위하여 3 m 로 하였고 대차당 무게는 2 ton으로 UTM-01 에 비하여 대폭 경량화 되었다.

또한 비상착지 Roller 의 개선설계를 통하여 곡선에서 부상이 실패하더라도 정비고 회항이 가능하도록 하였으며 비상 브레이크 Pad 의 단면적을 작게하여 짧은 곡선구간에서 비상 브레이크 작동에 의하여 대차의 운동이 과도하게 구속되지 않도록 하였다.

계획중인 경전철용 자기부상열차에서는 기존 UTM-01 이나 HSST 시스템과 달리 차량당 2개의 대차를 사용하고 있다. 이렇게 함으로서 차량의 전체적인 무게를 줄임은 물론 제작비를 상당히 절감할 수 있으며 특히 짧은 곡선운동에 대단한 도움이 된다.

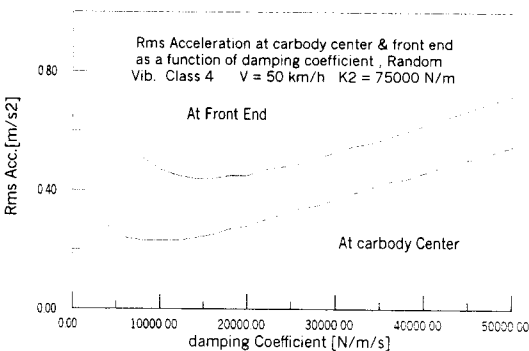


그림 6. 50 km/h 주행중 damping 계수의 변화에 따른 RMS 차상진동가속도.

그림 6은 50 km/h 로 주행중 차상에서의 Rms 진동가속도를 damping coefficient 의 함수로 계산한 것이다. 레일 Model은 FRA class 4 를 사용하였다. 그림 6에서 2 차 suspension damping coeff. C_2 는 9000 N/(m/s) 근처일 때 최상의 승차감을 주고 있다.

선형유도전동기(LIM)

선형유도전동기의 경량화, 고효율화를 위하여 다음 3 가지 방향에서 최적화 설계를 기하였다.

- 1) 정격 전류밀도를 현재보다 높게 설정하여 경량화를 기한다.
- 2) 부상제어가 허용하는 한도 내에서 slip 주파수를 하향 조정하여 추력을 높인다.
- 3) 설계 최적화 및 운전조건을 변경하여 효율 개선

표 1은 이와같은 시도하에 1 차 설계된 LIM Spec.이다.

표 1. LIM 주요 Specification

Description	UTM-01 LIM	경 전 철 용 Maglev
최대추력	3.3 KN	4.5 KN
길이	2.3 m	2.2 m
무게	250 kgf	180 kgf
운행 slip 주파수	12 Hz	10 Hz
최대 가/감속도	0.8 m/s ²	1.0 m/s ²
코일재질	AL	AL
최대전류밀도	4.1 A/mm ²	5.5 A/mm ²

주요전장품 (DC/DC, VVVF, Magnet Driver)

현재 개발이 진행되고 있는 주요 전장품들에 대한 개발 목표는, (1) 경량화 (2) 고신뢰화 (3) 저소음화 (4) 유지보수가 용이하도록 Module 화 이다 저소음화를 위하여 가능한한 자연냉각방식을 택하였고 Switching Carrier 주파수를 현재의 500 Hz에서 10 KHz 로 대폭 상향조정되었다. 또한 기생 인덕탄스(parasitic inductance)를 제거하기 위한 제작,설계기술을 도입하고 차폐를 철저히 하였다. 내환경성을 위하여 $-25^{\circ}C < T_{op} < 80^{\circ}C$ 의 온도범위에서 기기의 동작이 실패하는 일이 없도록 주요 소자를 선택하였다. 전력공급장치에서 가장 무게를 차지하는 부품은 주로 변압용 코일 덩어리들과 Inverter 용 Filter Reactor 이다. 이들에 대하여 기존 설계방법과 다른 새로운 개념이 도입되어 상당한 경량화를 기하였다.

표 2 에 본 연구팀에서 계획하고 있는 경전철용 자기부상열차의 주요 Spec.을 보이고 있다.

경전철용 자기부상열차모델은 그림 7 에 보이고 있다.

추진일정은 다음과 같다.

2001 :

- 대차 설계/제작
- 차량 1 차 설계
- dc/dc converter 개발 및 부상제어기 전구간 stability 확보

2002 :

- 차량 2차설계
- VVVF inverter 및 Magnet Driver 개발
- 부상제어기 성능개선 (계속)

2003 :

- 차량상세설계
- 부상제어기 성능개선(계속)
- 차량제작 착수

2004 :

- 6 월까지 차량제작 완료
- 주행성능시험 및 평가.

표2. 자기부상열차의 주요 Spec. 비교

주요 Spec.	UTM-01	경전철용 Maglev
목적	중량 승객수송	소용량 승객수송
차크기	13.6m(L)*3m(W)* 3.96m(H)	10m(L)*2.8m(W)* 3.6 m(H)
공차무게	22.5 ton	12 ton
만차시 승객	100 인	60 인
최대설계속도	100 km/h	70 km/h
부상방식	상전도 흡인식	상전도 흡인식
추진방식	편측 선형유도전동기	좌 동
대차수	3 개/량	2 개 /량
정격공극	11 mm	10 mm
최대가/감속 도	0.8 m/s2, 비상시 1.2 m/s2	1.0 m/s2, 비상시 1.25 m/s2
최소곡률반경	60 m R	30 mR
대차길이	3.5 m	3.0 m
전력공급	1500 VDC	750 V DC
LIM 공극	11 mm	11 mm
전차석수	24 개/차량	16 개 /차량
LIM 수	6 개 /과량	4 개 /차량

한 project 가 10 년 이상 지속되는 것은 자기부상열차 개발사업이 유일하지 않은가 싶다. 연구개발에 종사하는 사람들에게 가장 아쉬운 것은, 당혹감을 느끼게 하는 것은, 연구개발비의 대소에 불문하고 연구개발의 지속성이 없는 풍토일 것이다. 이런 면에서 자기부상열차개발사업은 귀중한 선례를 남기고 있다.

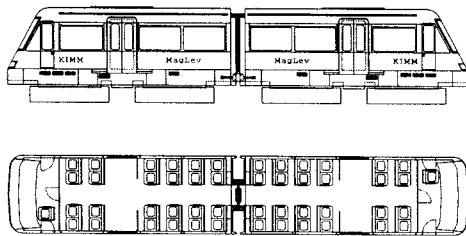


그림 7. 경전철용 자기부상열차 모델 sketch

3. 결 론

일본 HSST 는 2005년 나고야 엑스포행사에 맞추어 8.9 km 노선건설계획을 확정하고 현재 실시 설계중이다. 2002년 1 월부터 본격적인 토목공사가 시작될 예정이다. 또한 중국 상하이에 30 km 길이의 독일 Transrapid를 건설하기로 계약이 성사되었다. 미국도 금년부터 본격적으로 중저속용 그리고 고속용 자기부상열차개발에 착수하였으며 피츠버그에 자기부상열차 People mover를 개발, 설치할 계획인 것으로 전해진다. 전술하였듯이 자기부상열차는 잘만 개발되기만 하면 미래 다양한 교통수요의 일부분을 담당할 수 있을 것으로 본 연구진은 확신하고 있다.

국내 자기부상열차개발사업은 1990 년에 시작한 이래 많은 우여곡절에도 불구하고 견재하고 있다. 아마도