特 輯

자기부상열차 개발을 위한 시스템 엔지니어링기술

김 인 근

(KIMM 자기부상열차사업단)

'59 - '65 서울대학교 기계공학과 (학사)
'67 - '69 미국 콜로라도 주립대학 기계공학과 (석사)
'71 - '77 미국 Dravo Corporation (Senior Engineer)
'77 - '80 미국 와이오밍 대학 유체역학 (박사)
'80 - '90 미국 General Dynamics (Engineering Specialist)
'90 - 현재 한국기계연구원 자기부상열차사업단 단장 (국책「도시형 자기부상열차 개발사업」 총괄연구책임자)

유 문 환

(KIMM 자기부상열차사업단)

'78 연세대학교 전기공학과 (학사)
'78 - '79 (주)경인에너지 발전사업부
'80 - '84 한국원자력연구소(연구원)
'85 - 현재 한국기계연구원 자기부상열차사업단 (선임연구원)

「자기부상열차 개발을 위한 systems engineering」 분야는 자기부상열차사업단(이하 사업단)이 주관하고 있는 「도시형 자기부상열차 개발사업」(중과제) 수행의 중추적인 분야로서, 이 분야에 대한 이해는 현재 국책연구로 진행되고 있는 사업 전반에 대한 이해를 필요로 한다. 따라서, systems engineering에 관한 내용을 상세하게 기술하기에 앞서 현재 진행중인 도시형 자기부상열차 개발 전반에 대하여 먼저 소개하고자 한다.

1. 도시형 자기부상열차 개발

사업단에서는 1994년부터 과기처의 국책연구사업으로「도시형 자기부상열차개발사업」을 주관.수행하고 있다. 본 사업을 위한 협력업체로는 대전 EXPO '93 행사에서 자기부상열차 전시운행을 성공적으로 수행한 바 있는 현대정공이 참여하고 있으며, 협동연구기관으로 한국전기연구소, 그리고 기타 위탁연구기관으로 충남대, 홍익대 등이 참여하고 있다.

도시형 자기부상열차 개발사업은 1989년 12월부터 1993년 7월까지 사업단이 수행한 1단계 국책「자기부상열차 개발사업」의 후속사업으로 진행되고 있다.

1.1 개 요

자기부상열차는 바퀴 없이 전자석의 힘으로 떠서 선형(線型)모터로 추진되는 새로운 궤도교통수단으로서, 전기를 공급받는 집전(集電)장치

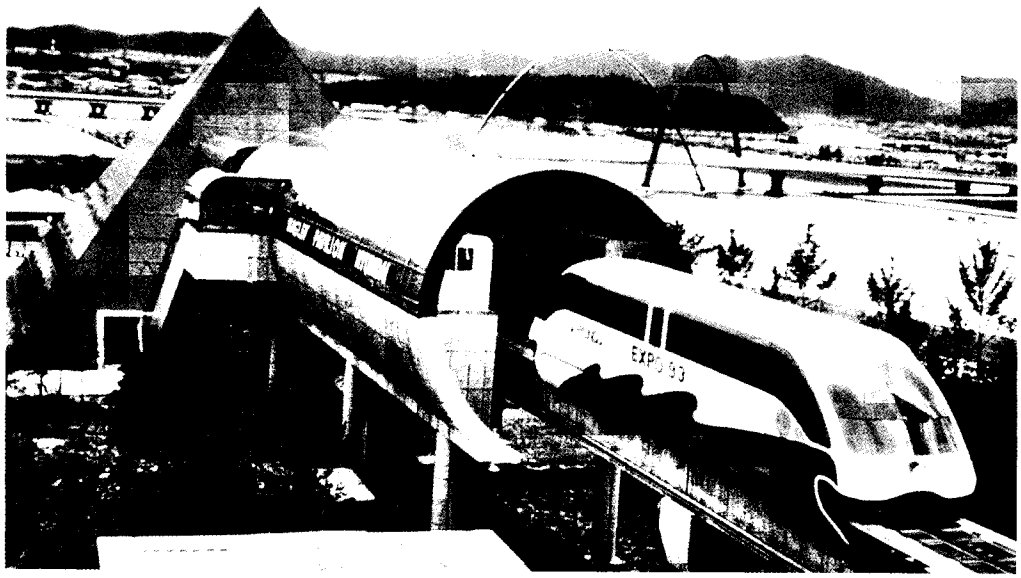

그림 1. 대전 EXPO '93 전시운행 자기부상열차

외에는 아무런 접촉 부분이 없어 기계적 진동이 없이 조용히 주행할 뿐만 아니라 구동 시스템에 회전.왕복 부품이 전혀 없어 시스템의 가동 신뢰성이 높고 보수 유지비가 적은 것이 큰 특징이다.

자기부상열차를 레일로 부터 일정 간격 띄우는 부상방식에 있어서는, 차량 하부에 설치된 일반 전자석으로 레일의 밑면을 끌어당기는 힘을 이용하는 상전도(常電導)흡인방식과, 차량에 탑재된 초전도자석으로 레일 상부의 유도코일에 전류를 발생시키고 이때 생기는 강력한 반발력으로 부상하는 초전도(超電傳)반발방식의 2가지로 구분된다.

현재 세계적으로는 독일이 상전도방식의 고속형인 transrapid 모델 개발을 완료하고 함부르크~베를린 간 290km 노선 건설을 추진중에 있으며; 일본은 초전도방식 MLU 모델의 실용화 준비를 위하여 종래의 큐슈 미야자키 시험선로(7km) 대신에 실용화를 겨냥한 야마나시 신실험선(18km) 건설을 완료하고 주행시험을 착수하는 단계에 있다. 아울러 일본은 우리나라의 도시형 자기부상열차(UTM : Urban Transit Maglev)와 유사한 방식의 HSST 모델 개발을 거의 완료하고 나고야 등지에서 실용화 준비를 진행중이다.

이외에도 러시아, 중국, 이탈리아 등도 소규모이나마 자기부상열차 개발을 진행중이다.

사업단이 추진중인 도시형 자기부상열차 개발사업(2단계 국책연구)의 명칭에 첨가된 「도시형」은 본 사업의 목표가 도시 내 또는 대도시와 인근 지역을 연결하는 경전철용 자기부상열차의 개발에 있음을 의미하며, 따라서 기술 방식도 이러한 자기부상열차에 적합한 중저속, 흡인식, 선형유도전동기 구동(LIM drive) 방식을 채택하고 있다.

본 사업은 사업단의 국책 1단계 연구개발사업

을 통한 기술 축적과 현대정공주식회사의 대전 EXPO'93 자기부상열차 개발·전시운행사업의 경험을 결합하는 산·연 협동연구사업으로서 도시형 자기부상열차의 실용화를 위한 준비사업의 성격을 가지고 추진되고 있다.

국책 2단계 사업을 통하여 개발되는 자기부상열차는

- 최대 120인승, 2량
- 최고속도 : 110km
- 자동운행시스템

으로서, 70km/hr 까지의 주행시험(약 2년)을 거쳐서 그 성능을 입증하도록 계획되어 있다.

도시형 자기부상열차(UTM)의 기술 방식

○ 부 상 : 상전도흡인식 , 11mm 부상
24 magnets , 24 choppers , digital PID 제어,
edge control(bogie의 각 corner gap)

○ 추 진 : LIM 추진 , 수동 및 자동 , 2 LIM / bogie , 13 mm 공극
inverter / 차량 (800kva) , slip freq. 일정제어

○ 제 동 : 전기제동 (지상 brake resistor box)
기계제동 : pneumatic

○ 전원 공급 : 1,500VDC

○ ATS : 과주 보호 (속도 초과 경보)

○ 위치, 속도 : 선로에 설치된 pattern belt 이용

도시형 자기부상열차 실용화모델(UTM)의 기본 사양

순 번	구 분	사 양
1	최고운행속도	110Km/h
2	최대 가속도	0.8m/s^2
3	차량 치수	L 13,000 × W 3,000 × H 3,960
4	차량 중량	자중 : 21톤, 정원 승차시 : 25.5톤
5	열차 편성	2량 1편성
6	승차 정원	60 승 (최대 120 승)
7	지지 방식	1차량 당 3 대씩에 의한 분산지지
8	부상 방식	상전도흡인식(EMS), 전자석 24대/량
9	부상 공극	11 mm
10	안내 방식	전자석 Stagger 배치, 횡방향 제어
11	추진 방식	편측식 선형유도전동기(SLIM)
12	제동 방식	회생(발전)제동, 공기제동
13	Guideway	1.1Km 시험선로 : 60mR, 6% 구배
14	전원공급방식	궤도 양측에 Power Rail 설치
15	공급 전압	1,500 V DC

도시형 자기부상열차 개발사업 추진 경과

◆ 1단계 → 국책연구개발사업 추진 : 자기부상열차 개발사업

- 사업 기간 : 1989. 12 ~ 1993. 7 (4년간)
- 총 사업비 : 정부 45억원 (국책연구비)
- 주　　관 : 한국기계연구원 자기부상열차사업단
- 주요 내용
  * 기반기술개발 및 축소모델 제작 실험
  * 실차형 부상추진장치 개발, 100m 시험선로 설치 시험
  * 대전 EXPO'93 자기부상열차 기술협력 및 감리

◆ 2단계 → 국책(SOC)연구사업 추진 : 도시형 자기부상열차 개발사업

- 사업 기간 : 1994. 5 ~ 1998. 8 (4년간)
- 주　　관 : 한국기계연구원 자기부상열차사업단
  (참여기업 : 현대정공주식회사)
- 목　　표 : 시속 110Km, 최대 120인승 실용화 모델 개발
  * 총사업비 소요 : 78억원(정부 48억원, 기업 30억원)

◆ 시험선로 : 도시형 자기부상열차 시험선로 건설, 가동중

- 총연장 1.1Km, 한국기계연구원 내
- 사업기간 : 1993.1 ~ 1996.12 (4년간)
- 총 사업비 : 정부 73억원 (특수사업)
  * 1997년 중 직선 200m 연장 예정 (정부 28억원 , 부지매입비 포함)

◆ 3단계 : 3~4년 , 속도, 성능, 안전성 개선

1.2 사업 내용

2단계 국책연구사업인 도시형 자기부상열차 개발사업은 4개년 사업으로 성안되었으며 4차년도 사업이 끝나는 1998년 까지는 경전철용 자기부상열차로서의 실용화모델(UTM)을 탄생시키고 이후 계속해서 성능과 안전성 속도 등을 개선해 나갈 계획이다.

본 사업이 성공적으로 수행되면 국내의 중저속 자기부상열차 기술은 실용화 수준에 도달할 수 있을 뿐 아니라 수요자들에게 도시형 자기부상열차 실용화 가능성에 대한 확신을 심어줄 수 있을 것이다.

자기부상열차사업단은 1993년 부터 약 1.1km의 시험선로 건설을 추진해 1996년에 완공, 현재 가동중에 있다.

시험선로는 곡선(60mR), 구배(4% & 6%) 그리고 스위칭(switching) 설비를 갖춤으로서 약 70km/hr 까지의 속도시험이 가능하도록 설계되어 있다.

1997년 중에는 직선구간 끝단에 약 200m 직선구간을 증설함으로서 시속 100km 까지 주행시험 가능토록 할 계획이며, 이 이상의 속도 시험은 실용화 선로에서 수행될 수 있을 것이다.

2단계 국책연구사업이 시작된 시점(1994.5)의 국내 자기부상열차 기술은 부상.추진시스템의 구현과 직선선로에서 1차량의 저속 주행(40~50km)이 가능한 정도의 수준이었으며 국산화, 신뢰도, 효율성 면에서 많은 개선이 요구되고 있었다.

사업 기간 중 자기부상열차사업단과 현대정공은 최대한의 기술 국산화를 이룩하고 기술의 신

도시형 자기부상열차 개발을 위한 과제 구성 LIST (1996)

세 부 과 제	주 요 연 구 내 용
1. 시스템엔지니어링 및 시제품 개발 * 사업단(김인근)	◇ 사업 총괄, 요소기술 간의 Interface - 시스템 설계 총괄 - 요소부품 개발 - 시험평가 총괄 ◇ 시제품 제작 (현대정공) : Bogie , 차량
2. 도시형 자기부상열차 요소성능시험 및 평가 * 사업단(정현갑)	◇ 요소성능시험 - 부상.추진계 - 제어,제동계 - 차체구조요소
3. 도시형 자기부상열차 주행성능시험 및 평가 * 사업단(조홍제)	◇ 주행성능시험 - Bogie, 차량 주행성능 및 ATS 성능시험 - 시험평가기준 등
4. 자기부상열차의 자동운전기술 개발 * 사업단(성호경)	◇ 열차자동운전기술 - 자동운전(PID방식)H/W 구현 및 시험 - 지능제어 Algorithm 개발
5. 중앙제어 및 신호통신시스템 구축 * 장비개발실 (박찬일)	◇ 중앙제어/신호통신 - 신호통신, 감시시스템 구성 - 운행제어 Algorithm 개발
6. 부상 및 추진제어 기술 개발 * 전기연 (김국헌)	◇ 부상 및 추진 제어 - 부상제어시스템 개발 - 추진제어시스템 개발 - Chopper 개선 등

뢰도, 효율성을 높임으로서 자기부상열차가 국내의 기술로 실용화 될 수 있는 기틀을 마련해 가고 있다.

이를 위해 연구개발은 물론 관련 부품과 시스템의 시험평가기술 확립에도 많은 노력을 기울이고 있는 중이다.

연구개발사업은 매년 5~6개의 분야로 편성 추진하고 있으며, 이를 총괄하는 분야가 바로 「시스템엔지니어링 및 시제품 개발」이다.

이 분야에서는 개발되는 hardware(시제품)와 software 기술이 도시형 자기부상열차의 목표와 내용에 맞게 이루어질 수 있도록 하는 systems engineering과 세부과제 및 위탁과제에서 수행되지 않는 업무 등을 수행해 나가고 있다.

도시형 자기부상열차 개발사업은 기계, 전기, 전자, 재료, 제어(control) 등 여러분야의 요소기술과 시험 및 평가기술이 요구되며, 이러한 대형 복합기술의 개발에는 강력한 시스템 엔지니어링이 성공의 관건이 된다.

사업단에서는 2단계사업이 끝나는 1998년 9월 이후 현 단계의 국책연구사업을 약 3년 연장(3단계), 추진할 계획이다.

3단계 사업의 주요내용은

1. 실용화에 대비한 국책시범사업 수행
2. 차량의 속도 증진 및 안전성 강화

본 사업단은 국책사업과 병행, 현존 1.1km 시험선로를 약 200m 연장, 차량의 시험속도를 약 100km/hr 까지 올리기 위한 예산을 확보한 바 있으며 1997년중 시공 예정이다.

도시형 자기부상열차 개발을 위한 세부기술분야

도시형 자기부상열차 개발사업(중과제)에서 매년 5~6개 정도로 구성되는 세부기술분야의 내용은 당해년도의 목표에 따라 약간씩 변화하지만 중과제의 최종 목표 달성에 필요한 내용들로 구성된다.

1996년도 사업은 총 6개 세부기술분야로 편성하여 현재 진행중에 있다.

「System engineering 및 시제품 개발」 분야는 도시형 자기부상열차 개발의 총괄과제로서 다른 세부과제들이 중과제의 총괄 목표에 맞게 진행될 수 있도록 목표관리, 연구관리, 연구결과 확인 및 개선을 추진하는 system engineering과 각 세부과제에 포함되지는 않았으나 시스템 차원에서 필요한 기술들, 그리고 참여기업인 현대정공에서 주관하는 시제품차량 개발 관리 등을 수행한다.

차량 개발분야는 본 특집에서 다른 세부과제들과 마찬가지로 하나의 독립된 분야로 다루게 된다.

「도시형 자기부상열차 요소 성능 시험 및 평가」 분야는 차량 및 선로 system을 구성하는 요소들의 성능 개선을 목표로 한다. 1996년사업으로 수행하는 내용은 magnet 성능 개선, LIM 성능 개선, 집전장치 성능 개선 등을 포함하고 있다. 이러한 요소들은 현재 1차 개발되어 차량에 부착되어 있고 필요한 기능을 수행하고 있으나 전체적인 목표인 prototype system에 요구되는 성능에 도달하기 위해서는 개선이 요구되는 요소들이다. 주 내용은 요소단위에서의 실험연구와 결과 분석, 개선대책 도출 등이다.

「도시형 자기부상열차 주행성능시험 및 평가」 분야는 bogie 또는 차량의 주행성능을 측정하고 이를 평가함으로서 이들의 성능 개선을 주관한다. 차량의 주행 성능은 차량 뿐만 아니라 선로의 조건이 영향을 미치기 때문에 차량과 선로의 static & dynamic interaction도 연구 및 관찰의

대상이 된다. 2 bogie 연계주행시험 그리고 3 bogie 차량의 주행성능시험까지가 주 내용이라고 볼 수 있다.

「자기부상열차의 자동운전기술」 분야는 도시형 자기부상열차를 최종적으로는 완전 자동운전할 수 있도록 하기 위한 기술개발을 주 목표로 한다.

시험선로에는 현재 차량의 위치와 속도를 검출, 신호전송하기 위한 pattern belt가 설치되어 있다. 본 과제는 차량이 주어진 속도 pattern을 가지고 무인자동운전되기 위한 제반 sequential한 control에 필요한 software 및 hardware를 개발한다. 차량이 정지상태에서 부터 출발, 가속, 등속 운동을 한 후 감속, 정지상태에 도달하기 까지 모든 동작이 주어진 속도 pattern에 의해 구동되게 하며 과속시에는 ATP(Automatic Train Protection)와의 연계를 통하여 안전운행이 이루어지도록 한다. 본 연구의 결과는 사업단에서 별도 실험용으로 운용하는 bogie에서의 성능 확인단계를 거쳐서 2nd 차량에서 그 성능이 구현되고 확인될 것이다.

「중앙제어 및 신호통신 시스템 구축」 분야는 차량의 주행중 계속적인 교신을 통하여 차량의 운전실과 control room이 차량의 상태에 관한 information을 공유하도록 하고 control room에서의 자동운전도 가능하도록 시스템을 구성하기 위한 연구를 주내용으로 하고 있다.

이를 위해 선로에 설치된 pattern belt에는 음성통신과 FSK 방식에 의한 data 송수신선이 포함되어 있으며 이에 필요한 장비가 차량 및 control room에 설치된다. 본 과제는 이에 관련된 H/W, S/W 의 개발과 함께 차량의 선로상 위치를 보여주는 monitoring system의 구축도 포함하고 있다.

「부상 및 추진 제어기술」 분야는 자기부상열차의 가장 기본 성능이 되는 부상 controller의 개발을 주 목표로 한다.

협동연구기관인 한국전기연구소 주관으로 진행되며 신뢰성 있는 부상 control system을 개발함으로서 차량 주행중의 제반 조건 즉 기상조건, 선로조건을 포함하는 외란에 견딜 수 있는 신뢰성 있고 robust한 controller를 설계 제작하게 된다.

현재의 부분적인 digital controller를 2단계 사업이 끝나기 전에 full digital system으로 개선하게 될 것이다.

2. 시스템 엔지니어링 및 시제품 기술

2.1 개요

자기부상열차 개발과 같은 대형 복합사업은 systems engineering에서 출발하여 systems engineering으로 끝나게 된다. 사업 총괄은 예산활동에서부터 출발해서 목표관리, 일정관리, 연구관리와 세부과제 간의 interface 관리를 통해서 개발되는 관련 기술들이 사업 목표에 부합되는가를 확인하고 최종적으로는 system integration을 통하여 하나의 system으로서 그 성능을 확인하게 된다.

이러한 systems engineering을 수행하기 위해서 시험 및 평가 장비의 확보를 통해 연구개발을 지원하고 연구관리 및 기술 평가를 통하여 개발되는 기술의 적정성 여부를 판정하고, 마지막으로 꼭 필요한 기술이지만 타 분야에서 수행되지 못하는 내용을 수행함으로서 도시형 자기부상열차 개발사업 전체를 균형 있게 추진할 뿐만 아니라 여러 가지 기술 간의 "윤활유"와 같은 역할을 수행한다.

2.2 차량(Prototype) 개발

1998년까지 2대의 prototype 차량을 제작, 시

험선로에서 충분한 시험을 거쳐서 그 성능을 입증하는 것을 목표로, 현재 UTM-01 1호차량은 제작이 완료되어 시험중에 있고 2호 차량의 설계를 추진중이다. 2호 차량은 요소단위 시험, bogie 단위 시험 및 1호 차량 시험의 결과를 반영하여 많은 성능개선이 이루어질 것이다.

Prototype 차량은 110km/hr의 최고속도와 최대 120인 승차가 가능할 것이나 현재의 시험선로에서는 약 70km/hr까지의 시험이 실시될 예정이다.

차량은 사업단과 현대정공의 협력에 의한 기본설계를 거친 후 현대정공의 상세설계.제작으로 추진되고 있다.

Prototype 차량은 3개의 bogie 와 구체로 구성되어 있다. bogie는 차량의 부상과 추진을 수행하는 기능을 갖고 있기 때문에 대부분의 자기부상기술이 bogie에서 구현되고 bogie의 설계 및 제작 정밀도는 차량 성능에 중요한 영향을 미치게 된다.

약 1년간의 bogie 단위 시험을 통하여 각 요소의 기능을 확인한 바 있고, 1997년 초 진행된 2-bogie 연계시험을 통해서는 bogie 연계시의 제반 동특성 변화와 함께 시험선로와의 상관관계에 대한 data를 정리. 분석한 바 있다.

각 bogie에는 부상을 위한 8개의 magnet과 2개의 LIM이 장착되어 있으며 이들의 구동을 위한 전장품 그리고 controller가 탑재되어 있다.

Bogie는 약 3.5m의 길이와 2.4톤의 중량을 가지며 완성 차량은 약 13m의 길이와 21톤의 공차 중량을 가지고 있으나 2호 차량(1998.3 완성예정)과 실용화 차량으로 발전하기까지는 많은 경량화가 이루어져야 할 것이며 1호 차량에서 고려가 부족했던 maintainability가 많이 보완될 것이다.

제작에 관한 세부내용은 본 특집의 2번째 내용인「도시형 자기부상열차(UTM) 대차 기술」에서 상세하게 다룬다.

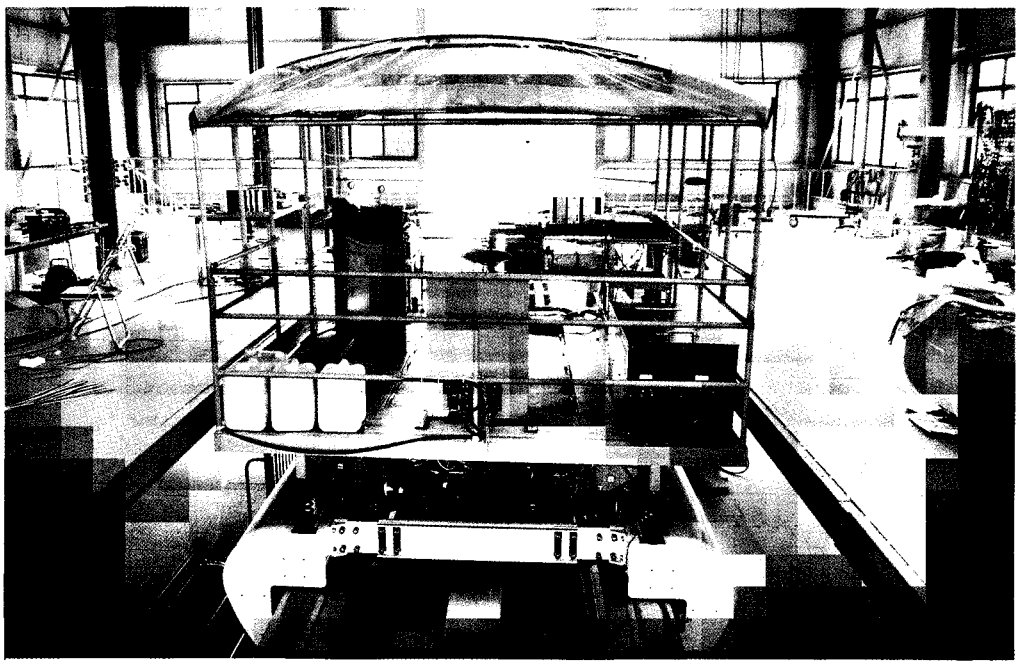

그림 2. 시험중인 bogie의 모습

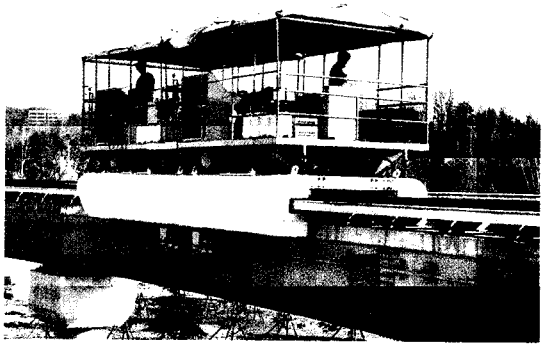

그림 3. bogie 연계시험 장면

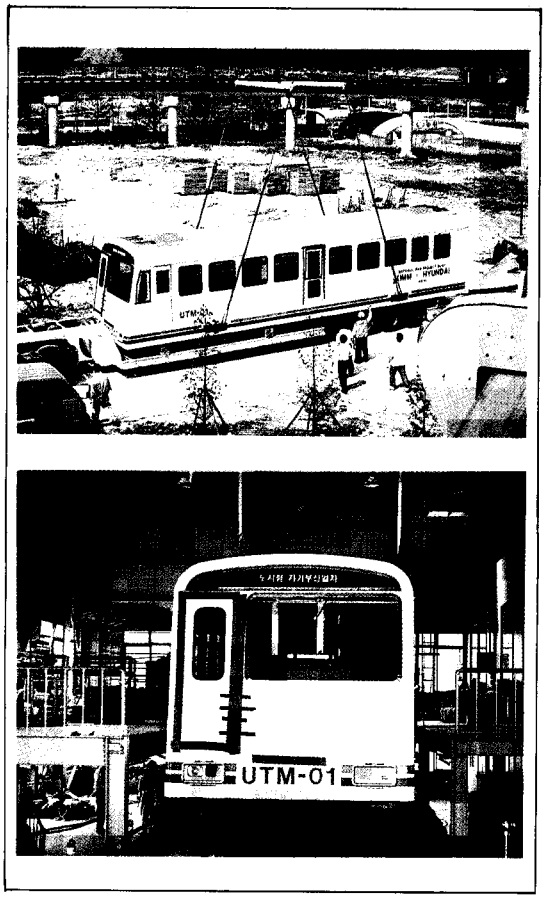

그림 4. UTM-01 의 모습

2.3 시험선로 건설. 운영

궤도차량 기술개발의 기반은 시험선로의 확보에 있다. 차량이 개발되는 과정과 실용화 되기까지는 수많은 시간의 주행시험을 통한 차량의 성능 입증이 필요하며, 이러한 주행시험은 실용화 조건과 유사한 선로에서 이루어져야 한다. 따라서 시험선로는 상당한 속도 시험을 위한 직선구간, 곡선 및 구배 구간, 그리고 switching 기능을 갖추어야 하며, 차량의 보수 및 조립이 가능하도록 설계되어야 한다. 시험선로의 설계는 선로에서 주행하게 될 차량의 static 및 dynamic 특성, 주행속도 profile, 차량과 선로의 상관관계에 대한 상당한 이해가 필요하다. 또한 시험선로는 경제성을 고려한 설계가 이루어져야 한다. 실용화시의 선로 대 차량 시스템의 비용을 분석해 보면 일반적으로 전체 비용의 70~80%를 선로 비용이 차지하게 되며 따라서 경제적인 선로 건설이 실용화 성공의 관건이 된다. 시험선로는 종종 실용화 선로의 prototype가 되며 차량 설계의 중요한 parameter들 즉 magnet의 폭, magnet 간의 간격 및 차량의 폭을 여기서 결정하게 된다.

연구원 내에 설치된 시험선로는 총연장 1.1 km로서 약 400m의 직선구간, 최소반경 60m의 곡선, 4% 및 6%의 구배와 switching 설비 그리고 차량의 조립 및 보수를 위한 격납고 설비를 갖추고 있다. 본 시험선로에서는 곡선구간에서 약 30km/hr, 직선구간에서 약 65km/ hr로 시험차량이 주행하게 된다. 1994년부터 약 2년간의 공사를 거쳐 1996년 6월에 가동에 들어간 본 시험선로는 지금까지 bogie단위 시험 및 bogie 연계시험을 거치면서 차량 뿐만이 아니라 선로의 기능에 대해서도 검증이 이루어진 바 있다.

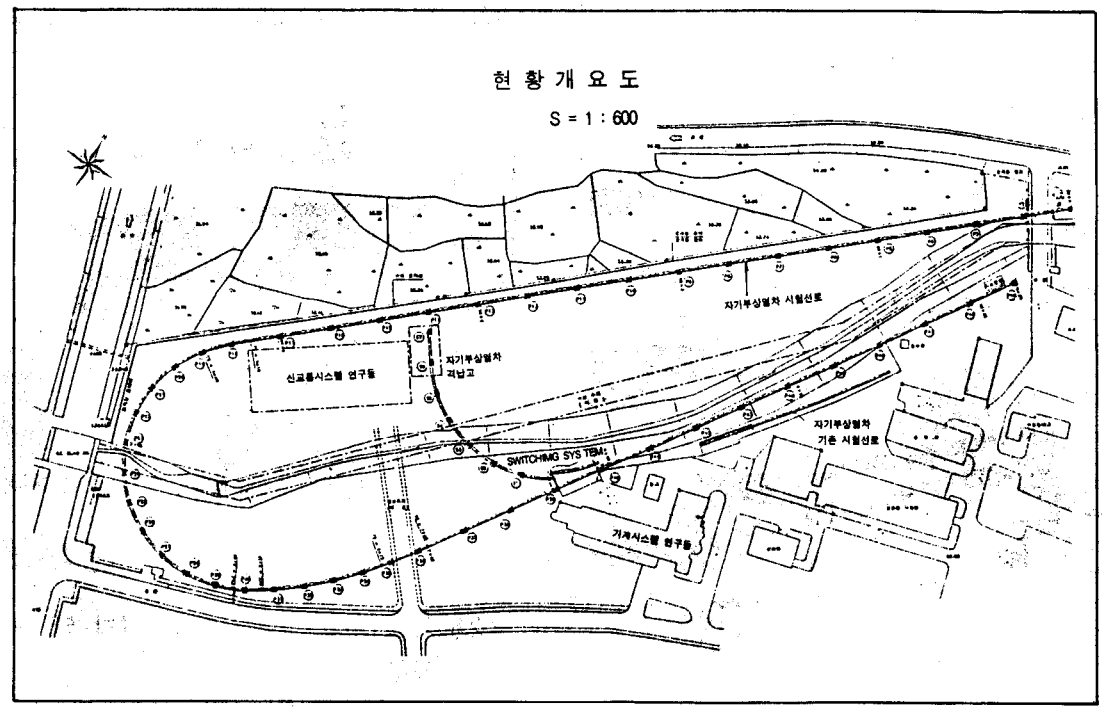

그림 5. 시험선로 layout

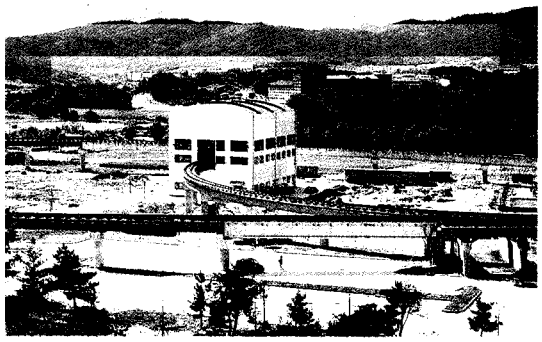

그림 6. 시험선로 전경

2.4 시험연구장비 개발 및 시험 총괄

2.4.1 Single Magnet Tester

자기부상열차의 가장 기본이 되는 기능은 부상이라고 할 수 있다. 이에 필요한 magnet, chopper 및 controller를 차량에 장착하기 위해서는 사전에 그 성능의 확인이 필요하다. 일단 bogie 또는 차량에 조립되면 많은 기계적, 전기적 변수가 추가되기 때문에 개개의 chopper, 개개의 magnet 그리고 controller의 성능을 확인하기가 어려워진다. 따라서 이러한 성능은 single magnet tester에서 확인하게 된다. 그러나 사업단의 연구개발체제상 magnet 개발, chopper 개발, controller 개발이 각 각 다른 연구팀에서 이루어지기 때문에 이러한 시험기는 system engineering 차원에서 개발하고 시험이 수행된다. controller를 설계하는 사람은 chopper 및 magnet의 성능을 이해해야 하고, chopper를 설계하는 사람은 magnet는 물론 controller의 기능을 이해해야 하며, magnet를 설계하는 사람은 control이 용이하도록 설계해야 한다. system engineer는 관련된 information의 brain 역할을 수행함으로서 magnet-chopper-controller 가 하

나의 system으로서 기능을 수행할 수 있게 하며 이의 성능 확인에 필요한 시험기-single magnet tester를 설계.제작.운영하게 된다.

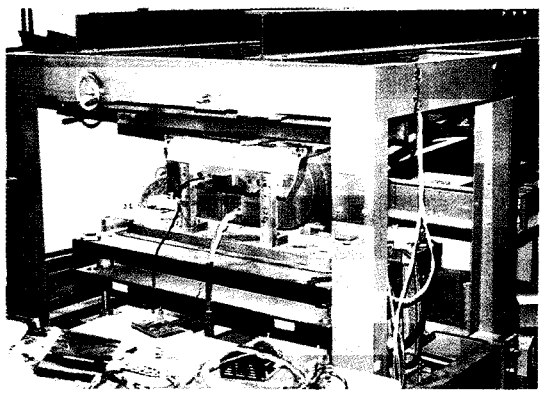

그림7. single magnet tester

2.4.2 Rotary Machine

자기부상열차의 위치 및 속도 검지를 위해서는 pattern belt를 이용한다. 10cm 이내의 위치 정밀도로 측정할 수 있는 pattern belt가 선로상에 설치되며 차량에 설치된 안테나를 통해서 위치와 속도를 측정하게 된다. 이러한 장치들이 실제 차량의 운행을 통해서 그 성능이 확인되기 위해서는 pattern belt의 개발, antenna의 개발, frequency generator 및 위치.속도 연산기능 개발이 필요하다.

rotary machine은 이러한 관련 기능들을 실 조건과 유사한 조건에서 실험할 수 있도록 한다. 2개의 linear induction motor(LIM)에 의해서 구동되는 1.2m의 디스크에는 pattern belt가 장착되며, belt와 일정한 상대위치에 설치된 antenna를 통하여 발생되는 pulse를 연산함으로서 속도 및 위치를 검지한다.

본 시험기는 또한 자동운전기능을 시험할 수도 있다. 본 시험기는 LIM의 구동을 통하여 차량의 정지상태에서 구동, 주행, 감속, 정지 등 여러 기능을 수행함으로서 차량의 자동운전에 필요한 program 개발 및 시험을 가능케 한다.

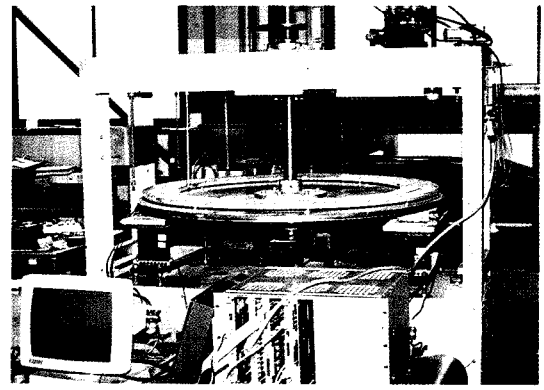

그림 8. rotary machine

2.5 기타 주요 부품(시제품) 개발 및 개선 업무

본 과제에서는 system engineering 기능 및 대형 시험장비 개발 외에도 다른 세부과제에서 수행되지 않는 부분을 보완하기 위한 여러가지 연구개발을 수행해 오고 있다

1996년도 사업으로 수행한 대표적인 내용은 다음과 같으며, 이를 통해 각 세부과제의 수행 지원을 추진해 왔다.

- ○ 차량의 과주보호용 ATP 장치 개발
- ○ 2nd 차량용 chopper 개발
- ○ Gap sensor 개선
- ○ Gap sensor calibrator 개발등

2.5.1 ATP 장비 개발

차량의 주행시험시 발생될 수 있는 문제 중 가장 심각한 문제는 차량의 속도가 궤도 조건이 허용하는 것보다 높을 때 발생한다. 이러한 문제는 직선선로에서 곡선선로 진입시, switching 통과시 그리고 선로의 종단 부분에서 정지가 필요할 때 나타난다. 본 시험선로에서의 주행은

수동 및 자동운전 병행을 계획하고 있으나 수동운전시 운전자의 부주의, 자동운전시 계기의 고장 등에 의한 과속은 치명적인 문제를 발생시킬 수 있으며 ATP(Automatic Train Protection) 장비는 이러한 사고의 예방을 위한 장비이다.

ATP 장비는 지상자와 차상자로 구분된다. 지상자는 과속시 사고 발생 가능성이 있는 선로의 위치에 ATP 지상자를 설치하고 지상자와 차상자의 교신에 의해서 차량 운전자에게 이상신호를 공급하여 차량의 감속을 시작해 간다. ATP 장비는 본 사업단과 샬롬엔지니어링의 협력으로 개발하고 있다.

2.5.2 2nd 차량용 Chopper 개발

차량의 부상을 위한 전력변환장치로는 chopper가 사용된다. 현재 사용되는 chopper는 1 magnet에 1개의 chopper가 사용되도록 설계되어 있기 때문에 차량 당 24개의 chopper가 요구된다. 1 chopper per magnet system은 1993년 대전 EXPO 전시운행시 채용된 방식이나 chopper 중량 면에서 그리고 chopper 점유 공간 면에서 비경제적이기 때문에 system 측면에서의 개선이 요구되었다. 본 연구는 기존의 1 chopper per magnet system을 2 chopper in 1 frame system 으로 재설계하고 chopper의 power supply 부분은 2개의 chopper가 공유하도록 함으로서 차량 당 약 500kg의 중량을 감축하고 그에 상응하는 여유공간을 타 목적에 사용토록 하였다. 새로운 chopper는 현재 single magnet tester에서의 시험을 마치고 시험용 bogie에서의 시험을 준비하고 있다. bogie 시험을 마치면 2nd 차량 설계시 적용할 것이다.

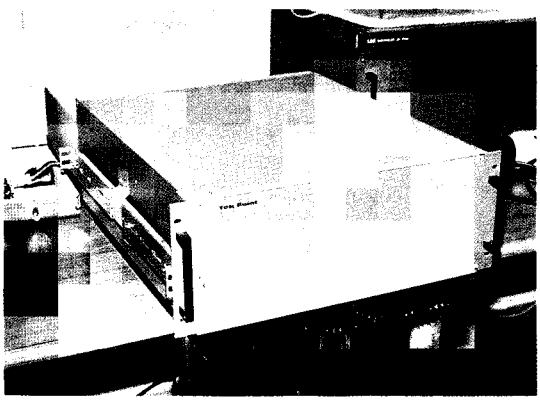

그림 9. 2nd 차량 용 Chopper

2.5.3 gap sensor 개선

시험선로에는 약 20mm부터 50mm 까지의 이음매가 있다. 5m 마다 존재하는 이음매는 대기온도에 의해서 발생하는 선로의 수축·신장에 대비하여 불가피한 것이다. 그러나 선로의 일부를 대향면으로 사용해서 차량을 부상시키는 현재의 부상방식에서는 이음매는 gap sensor의 부상 gap 신호에 급격한 변화를 유발하며 따라서 부상 control을 어렵게 한다. 현재 사용되는 이음매 처리 algorithm은 corner당 2개의 gap sensor를 사용, 이들의 측정값을 적절히 고려하여 사용함으로서 이음매 통과를 원활하게 한다. 2차년도까지 사용한 이 algorithm은 algorithm 상의 문제 보다도 2개의 gap sensor를 정밀하게 설치하기 어렵기 때문에 발생하는 문제가 더욱 많았다.

이러한 문제는 system engineering 차원의 해결 방안이 요구되었고, 검토 결과 새로운 gap sensor unit 가 설계·제작되었다. 제작은 미국의 KAMAN사에 의뢰하였다.

Gap sensor 개조는 실험연구과정에서 문제점을 발굴, 해결하는 사항으로서 해당년도 사업계획 수립시 예측하기 어려운 것이며, 부상 control을 담당하는 세부과제 책임자가 문제 해결을 스스로 해 내기는 어려운 것이다. 그러나 gap sensor 때문에 발생하는 시험의 지연은 다른 세부과제 및 전체 system의 개발을 지연시키는 결과를 초래하는 것으로서, system engineering

과제는 이와 같은 경우에 유효적절하게 대처할 수 있는 것이며 이를 위해서 예산운영상의 융통성(flexibility)를 갖도록 하는 것이 필요하다.

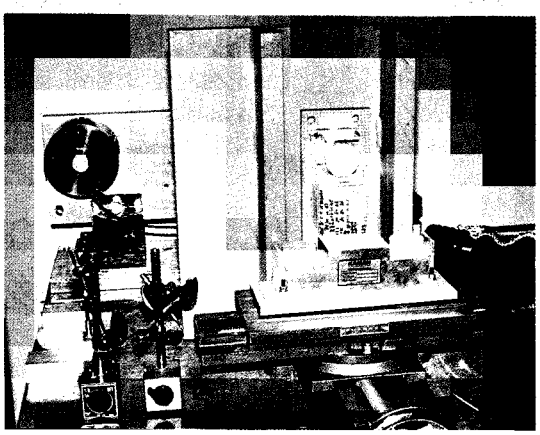

그림 10. Gap Sensor Unit 사진

2.5.4 Gap Sensor Calibrator 제작

자기부상 차량에 사용되는 gap sensor는 때때로 calibration이 요구된다. 종전의 calibrator는 gap sensor 제작자가 공급한 것으로서 사용 대향면의 재질이나 표면처리가 자기부상 시스템에서의 대향면과 상이할 뿐 아니라 개조된 새 gap sensor에는 적용될 수 없었다. 새로 설계·제작된 calibrator는 사용중인 선로의 일부를 사용하였으며 2개의 gap sensor가 동시에 calibrate 될 수 있게 하였다.

3. 후 기

이러한 연구개발사업을 추진하는 데 있어서 가장 문제가 되는 부분은 유능한 systems engineer의 부족이며 이점은 우리나라에서 특히 두드러진 현상이 아닌가 생각된다.

「A Methodology for Systems Engineering」이란 책을 쓴 arther d. hall은 systems engineer가 갖추어야 할 조건으로

1. Demonstrate Affinity to the Systems Point of View
2. Faculty of Objective Judgement and Sound Appraisal
3. Imagination and Creativity
4. Facility in Human Relations
5. Effectiveness as a Broker of Informations

을 제시한 적이 있다.

만약 필자가 상기 조건 이외에 하나의 조건을 첨가한다면 다음과 같다.

6. Capability to Enforce High Standard in System and Technology Level

자기부상열차와 같은 복합대형기술의 개발에서 가장 중요한 것은 systems engineering capability 라고 할 수 있다.

Systems engineering은 system level 그리고 subsystem level에서 이루어지게 되는데, 결국 연구개발에 참여하는 모든 인원이 이러한 system engineering에 대한 이해와 협조에서 출발하며, 최종적으로 시스템 전반을 이해하고 모든 level에서 systems engineering이 원활하게 이루어지도록 하는 총괄 systems engineer (manager)가 필요하다.

System engineering의 첫 번째 조건인 Affinity to the Systems Point of View는 이러한 것을 말하는 것이다.

System engineering은 한사람 이상의 Co-work를 요구한다. 이런 경우에 조건 2와 조건 4는 이러한 Co-work가 이루어지기 위한 최소의 요구조건이 된다.

또한 Co-work에서 전제되어야 할 것은 information 및 기술의 공유이다. 개발에 참여하는 여러 인원들이 상당부분의 기술을 공유하지 않

으면 이해가 생기지 않고 이해가 없이는 협조가 불가능하다. 그래서 systems engineer가 되기 위해서는 information broker 역할을 할 수 있어야 한다. 이러한 사업이 성공하기 위해서는 모든 일들이 상당히 높은 기술수준에서 이루어져야 한다(조건6).

system을 이루는 여러 기술들 중 어떤 부분의 수준이 다른 부분보다 현저히 떨어지면 그 syetem은 성공할 수 없다. systems engineer는 적용되는 기술의 수준이 system에 요구되는 standard에 맞도록 기술개발을 추진해야 한다.

전문분야에 대한 깊은 이해는 물론이지만 관련된 다른 분야에 대한 상당한 이해가 없이는 연구 결과가 하나의 system으로서 integrate 되지 못하게 된다.

시스템엔지니어링을 수행하는 데 있어서 어려운 점이 있다면, 그것은 일반적으로 참여연구원들이 각각 자기의 고유영역에서는 우수한 실력을 갖추고 있으나 시스템엔지니어로서의 훈련이 약하다는 점일것이며, 이러한 문제는 국내에서 시스템엔지니어링이 필요한 모든 분야의 공통된 애로사항일 것이다.

앞으로 대형 복합과제가 보다 성공적인 결실을 맺기 위해서는 시스템인력 관리와 재교육을 위한 제도적인 보완도 병행해 나가야 할 것이다.