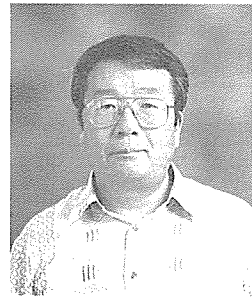


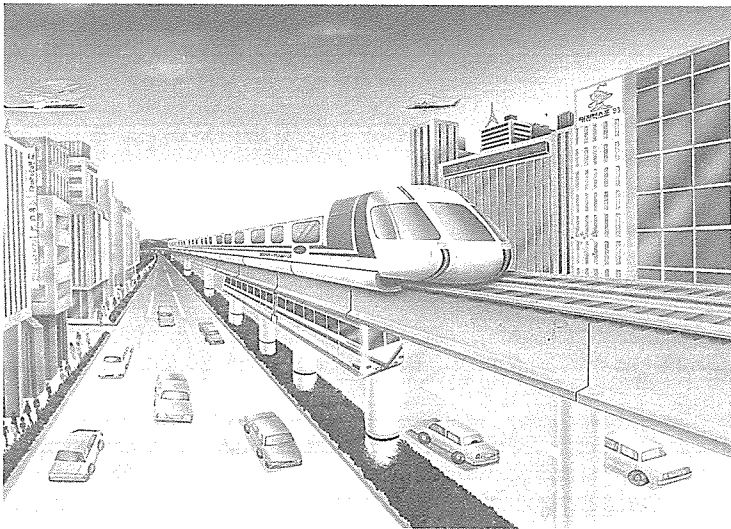
자기부상열차

金 仁 權

(한국기계연구원 자기부상열차사업단 단장)



40人乘 40km저속 시험운행 작년 대전엑스포서 선보여



◇도심 고가도로를 달리는 자기부상열차 개발도

과학기술의 수준을 평가하는 문제, 특히 자기부상열차와 같이 복합적이고 몇 가지 형태의 시스템이 공존하는 상황에서는 간단한 지표로 상대 비교하기는 어려운 것이 현실이며, 시스템기술이 추구하는 최종 목표와 용도의 다양성으로 인하여 평가의 관점에 따라서는 결과가 매우 다르게 나타날 수도 있다. 자기부상열차에는 여러가지 기술방식이 있고 기술방식에 따라 다양한 요소기술

들이 적용되고 있다. 따라서 기술을 평가할 때는 요소기술 개개의 수준도 평가되어야 하지만 하나의 시스템으로써의 평가도 중요하다.

한편, 자기부상열차가 실용화되기 위해서는 기술적인 수준도 문제이지만, 기술과 경제성이 매우 깊은 연관을 가지고 있기 때문에 결과적으로 얼마나 경제적으로 타당한 시스템을 개발했느냐 하는 점도 중요한 평가의 척도가 될

수 있다.

자기부상열차(磁氣浮上列車, Magnetically Levitated Train)는 이미 여러 차례 일반에게 널리 소개된 바와 같이, 바퀴가 없이 전자석의 힘으로 레일로부터 떠서 달리는 열차이기 때문에 잡음과 진동이 거의 없어 21세기의 새로운 대중교통수단으로 각광을 받고 있다.

자기부상열차 실용화모델 개발은 현재 독일(고속형), 일본(중저속형)에서는 완료된 상태이며 우리나라에서도 지난 몇년간의 연구개발로 실용화모델(중저속형) 개발에 성큼 다가서 있는 상황이다.

자기부상열차 개발의 최종 목표는 대중교통수단으로의 실용화이다. 따라서 다른 대중교통수단들과 마찬가지로 시스템의 안전성, 신뢰성이 확보되어야 하고 가능한 한 많은 사람들을 효과적으로 수송할 수 있어야 하기 때문에, 이를 입증하기 위해서는 실용화 조건과 유사한 조건에서 장기간의 시험운전이 필요해진다.

기술의 수준을 평가할 때 있어서 이러한 시험의 중요성을 어떻게 평가하느냐에 따라 그 결과가 달라진다. 우리나라 자기부상기술은 지금 이 시험을 준

비하고 있으며 그 결과에 따라 평가가 달라질 수 있기 때문이다.

〈개발 역사 및 국내외 현황〉 1960년 어느 금요일 오후 미국 부록크헤이븐 국립과학연구소의 제임스 포엘 박사는 뉴욕 롱아일랜드의 혼잡한 도로상에 간혀 꼼짝할 수 없는 상황이 되었다. 포엘은 이때 이러한 교통지옥을 근본적으로 해결하기 위해서는 지금까지와는 다른 혁신적인 궤도교통수단이 있어야겠다고 생각했으며, 연구소에 돌아와 동료과학자인 고든 덴비와 함께 곧 연구에 착수. 초전도자석(超電導磁石: 섭씨 -273도의 절대온도 가까이에서 전기저항이 완전히 없어지는 현상을 이용한 강력한 전자석)을 이용하는 자기부상열차의 기본 개념을 얻어냈다.

자기부상방식의 이론 제안은 이보다 훨씬 더 이전으로 거슬러 올라갈 수 있지만 궤도차량에 대한 아이디어는 이것이 시초로 볼 수 있으며, 이로부터 시작된 미국의 연구는 75년까지 계속되다가 한동안 중단된 후 최근 다시 국제적인 연구개발이 시작되고 있다.

자기부상열차의 연구개발은 미국보다는 훨씬 인구가 조밀한 독일, 일본, 영국 등지에서 꽃을 피우게 되었다. 독일은 69년부터 상전도방식의 자기부상열차 개발을 시작하여 최근 실용화모델인 Transrapid-07 모델(시속 450km 급)의 시험운전을 완료한 바 있으며, 독일 정부는 94년 3월에 함부르크-베를린(290km) 구간의 실용화를 최종 결정한 바 있고 현재 진행중인 의회 심의 단계를 거쳐 건설이 착수되면 2005년경 운행이 가능할 것으로 예상된다.

일본은 현재 초전도방식(고속형: MLU 모델)과 상전도방식(도시형: HSST 모델)을 같이 개발하고 있으며 상전도방식의 HSST-100 모델은 현재 나고야 시험선로에서 실용화준비가 완전히 끝난 상태로써, 곧 동경을 시작으로 나고야, 히로시마 등 각지에 건설이 착수될 예정이다.

미국은 92년에 자기부상열차 개발 10개년계획을 수립하고 연방정부 주도하에 연구개발공동체(NMD)를 구성하여 독일과 일본을 추격하기 시작했으며, 기타 러시아, 중국, 이태리 등도 규모는 작지만 연구개발에 나서고 있는 상황이다.

국내에서는 지난 89년 12월부터 과학기술처 국책연구개발사업으로 자기부상열차개발사업을 본격적으로 시작했으며, 국책연구사업 착수와 함께 출범한 한국기계연구원 내 자기부상열차사업단은 한국전기연구소 등 타 정부출연 연구기관, 대학, 기업과 협력하여 연구개발사업을 진행해 왔다.

1단계 연구개발사업기간인 89년부터 93년까지 4년간 자기부상열차사업단에서는 자기부상열차의 핵심기능을 수행하는 부상·추진시스템의 자체 개발과 시험선로상에서의 주행실험에 의한 성능 개선에 노력을 집중해 왔다. 이를 통해 국내 기업의 관련 연구개발사업에도 직·간접적으로 협력(현대정공의 40인승 대전EXPO 모델, 대우중공업의 40인승 시험모델)을 해온 바 있고, 현재는 현대정공주식회사와의 공동연구인 제 2단계 연구개발사업으로 98년 완료를 목표로 110km급, 60

인승 도시형 자기부상열차 개발을 진행 중이다.

자기부상열차사업단이 속해있는 대덕 한국기계연구원 내에는 지금 도시형자기부상열차 1Km 시험선로 건설사업이 진행되고 있으며, 주행시험설비가 완성되는 95년 하반기부터는 실용화모델 개발이 급진전될 것으로 예상되고 있다.

〈세계와 한국의 기술방식〉 현재 세계적으로 개발되고 있는 자기부상열차는 차량을 띄우는 부상방식에 있어서 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(超電導)반발방식의 2가지로 구분된다.

자기부상열차의 추진을 위해서는 회전모터를 직선상에 펼쳐놓은 형태의 선형전동기(線型電動機, Linear Motor)를 이용하게 된다. 선형전동기를 이용한 추진방식에는 선형유도전동기(線型誘導電動機)추진방식과, 선형동기전동기(線型同期電動機)추진방식이 있으며, 중저속형의 경우는 선형유도전동기, 고속형의 경우는 선형동기전동기가 주로 채택되고 있다.

현재 실용화를 목표로 개발되고 있는 자기부상열차의 기술 방식은 부상기술과 추진기술에 따라 다음과 같이 대별할 수 있다.

◇부상 : 상전도식 + 추진 : 선형유도식(LIM) ⇒ 한국, 일본(HSST), 영국(BPM)

▲저렴한 방식, 도시형에 적합(시속 100Km 내외)

◇부상 : 상전도식 + 추진 : 선형동기식(LSM) ⇒ 독일(Transrapid)

▲비교적 고가, 도시간 고속용(시속 400Km 내외)

◇부상 : 초전도식 + 추진 : 선형동기식(LSM) ⇒ 일본(MLU), 미국

▲기술의 미완성, 도시간 초고속용(시속 500Km 내외)

(LIM : Linear Induction Motor, LSM : Linear Synchronous Motor)

흡인식 부상은 일반적으로 상전도자석을 사용하나 초전도/상전도 혼용방식을 시도한 경우도 있고 반발식의 경우는 모두 초전도방식이 채택되고 있다.

흡인식 부상을 위해서는 상전도자석 설계 및 제작기술, 부상제어기술 그리고 전력변환기술이 요구되며, 반발식 부상을 위해서는 우선적으로 초전도자석기술과 경량(Compact), 고기능의 극저온냉동기 기술이 요구된다.

추진의 경우 전력공급방식에 따라 차상1차방식인 LIM방식과 지상1차방식인 LSM방식이 주로 사용되고 있으나 이러한 방식의 결합형(Hybrid 방식)도 개발되고 있다.

추진을 위해서는 LIM, LSM 설계 및 제어기술이 요구되며 집전기술, 자기차폐기술 등 주변기술이 요구된다.

우리나라에서 개발되고 있는 자기부상열차는 앞서 실용화기술방식 분류에서 보인 바와 같이 흡인식 부상과 LIM 추진방식을 채택하고 있다. 이 방식은 일본 HSST와 비슷한 방식으로써 외국 기술과 비교할 경우 HSST와의 비교가

가능할 것이다.

이 기술방식은 중저속 자기부상열차에 적합한 기술방식으로써 국내에서 보유하고 있는 기술을 활용, 비교적 쉽게 개발할 수 있다는 이유에서 채택되었으며 도시내의 경전철용 교통수단으로 개발되고 있다. 초전도 이용의 반발식 부상과 LSM 추진기술은 현재 초보적인 개념설계단계에 있다.

〈우리나라의 기술수준과 남은 문제들〉 우리나라의 자기부상열차기술은 현재 「약 40인승 차량 1대를 부상시키고 약 40km 정도의 저속에서 시험운행」이 가능한 정도의 수준에 있다고 할 수 있으며, 이 수준은 대전EXPO93 자기부상열차의 전시운행을 통해서 증명된 바 있고, 비교적 짧은 시일의 연구개발과 투자액을 감안한다면 괄목할 만한 수준이라고 할 수 있다.

요소기술의 측면에서 볼 때 우리나라는 현재 1차량 운행에 필요한 대부분의 요소기술을 보유하고 있으나 일부 기술의 국산화, 보유기술의 신뢰성 향상, 효율성 제고 등이 남아 있고 실용화 조건에서의 시험을 통한 확신이 필요한 상황이다. 현재 우리의 기술은 이러한 시험을 할 수 있는 단계에 와 있으며 이를 위해 준비중이다.

시스템 구현이라는 관점에서 볼 때 우리의 수준은 일본 HSST가 약 10년 전 쓰쿠바(Tsukuba) 및 밴쿠버(Vancouver) 박람회에서 보여 주었던 수준과 비슷하다고 할 수 있지만, 당시의 HSST 기술이 전부 자체기술이었던 반면 우리는 몇개의 핵심요소기술은 외국 기술의 도입을 통해서 가능했다는

점이 차이점이다.

일본 HSST는 그 후 나고야에 상업용 모델 개발을 위한 1.5km 시험선로를 건설하고 약 3년간의 시험을 통하여 여러가지 개선을 이룩한 바 있다. 그중 중요한 성과는 시속 100km/hr 까지의 곡선 및 구배 주행, 자동운전, 신뢰성 확보, 다량편성운행기술 등이다.

우리나라도 지금까지 시스템 면에서 상당한 성과를 이룩한 것은 사실이지만 이것은 규모가 적고 거의 직선에 가까운 시험선로에서 가능했던 것으로써, 지금까지의 성과보다는 앞으로 실용화 모델의 개발을 위한 연구개발과제와 주행성능 확보를 위한 시험연구과제가 산적해 있는 상황이다.

그러면 곡선, 구배, 스위칭 등을 포함한 실용화 선로에서는 차량 설계는 어떻게 될 것이며 어떤 성능을 가질 것인지, 이러한 시스템 측면의 결과를 뒷받침하는 요소기술의 수준은 어떠한지를 세부적으로 검토해 보고자 한다.

시스템 차원의 문제들은 대부분 장기간의 시험을 통하여 알 수 있는 문제들이며 이를 위해서는 종합적인 시험이 가능한 선로가 요구된다. 이러한 시험선로는 경사도와 회전반경 등 실용화시에 필요한 제반 조건들을 모두 충족시킬 수 있도록 가장 어려운 상황의 설계조건 적용이 필요하며, 시험을 통해서 실용화시의 제반 문제를 예측하고 해결해 나갈 수 있도록 설계되어야 한다.

이에 따라, 총연장 1km의 시험선로가 현재 대덕 한국기계연구원 내에 건설되고 있으며 95년 6월부터는 실질적

인 주행실험이 시작될 수 있을 것이다. 이 시험선로에서는 곡선(최소 60mR), 구배(4%, 6%) 등과 노선교체설비(Switching System)가 포함되어 있으며, 약 70km까지의 주행실험이 가능하다.

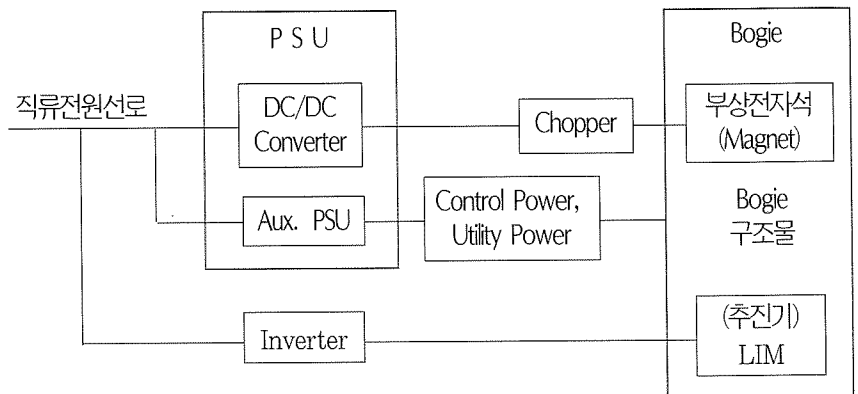
도시형 자기부상열차 실용화모델의 주행시험은 주행장치(Bogie)를 시작으로 95년 7월 경부터 시작될 것이며 2대의 완성차량 시험과정을 통하여 계속적인 개선이 이루어질 것이고, 현재 예상으로는 약 3년간의 시험 및 개선이 필요할 것으로 예상된다.

이제 우리의 현 수준이 구성요소 별로 외국의 수준에 비해 어떤지, 그리고 현재 우리나라의 자기부상열차가 추구하는 목표와 얼마나 차이가 있는지 알아보려고 하며, 보다 알기 쉽게 설명하기 위하여, 먼저 우리나라에서 개발중인 상전도흡인식 부상과 선형유도식 추진방식을 채용하는 시스템의 주요 구성(전장품 중심)을 간략히 살펴보고자 한다.

요소기술들은 부상관련기술, 추진관련기술 그리고 주변요소기술로 구분해 볼 수 있다. 부상관련기술의 경우 국내의 주요 연구기관은 4~5 차례의 축소모델(Scale Model) 부상시험을 아날로그 방식으로 성공한 후에 실차형 모델(Full Size Model)에서도 성공적인 부상이 가능하였다.

자기부상열차사업단과 현대정공은 현재 디지털 방식에 의한 부상시험을 1차적으로 마친 바 있고 차량 단위의 디지털 제어기(Digital Controller)의 개발 완료 단계에 있으며, 계속적인 주행시

◇상전도 흡인식 자기부상열차의 주요 시스템 구성도



- ※ PSU : Power Supply Unit(부상 및 제어전원 공급장치)
- ※ Chopper : 부상용 직류전력 제어기
- ※ Inverter : 추진용 가변전압.가변주파수 공급장치

험을 통하여 성능의 입증과 개선이 이루어져야 할 것이다.

부상전자석(Magnet) 설계 및 제작의 경우 현재 부상력 대 자중(自重)의 비가 6.0 이상이 가능하며 외국 수준인 7.0 이상을 목표로 시험중에 있다.

부상관련기술중에는 초퍼(Chopper) 제작기술상에 약간의 애로가 있으며, 이 문제는 국내에서 생산되는 전장품 전반에 걸친 문제로써 신뢰도 향상이 요구되고 있다.

현재 국내에서 설계·제작된 초퍼가 실험용으로 활용되고 있으나 실용화차량 탑재품에 요구되는 신뢰도의 부족으로 전시운행모델의 경우 국외에서 도입된 초퍼를 사용한 바 있으며, 현재 공동연구를 수행중인 사업단과 현대정공에서는 이 문제의 해결을 위해 노력하는 가운데 1차시험차량의 시험주행이 시작되는 96년까지는 신뢰성이 확보된 초퍼를 국산화할 계획이다.

LIM, 인버터 및 제어장치로 구성되

는 추진계통 중 LIM의 설계 및 제작은 국산화가 이루어져 있으나, 지금까지는 그 효율성에 대한 검증이 미약하다. LIM은 자기부상열차 전력 소비의 약 70%를 점하는 부품으로써 효율과 안정성의 확보가 중요하다.

사업단에서는 회전형 축소시험장치로 LIM의 특성시험을 해오고 있으며, 앞으로 실차형 시험장치를 개발하여 95년 5월부터는 LIM에 대한 본격적인 성능시험을 수행할 계획이고 시험 결과에 따라 2~3 차례의 설계 개선이 요구될 것으로 예상된다.

추진계 기술의 가장 큰 애로사항은 LIM 구동을 위한 인버터와 이의 제어 기술이다. 자기부상열차에 요구되는 인버터는 전동차량용 인버터의 규격에 맞추어야 하며 구동 방식에 따라 다양한 규격이 요구된다.

현재 국내의 전동차량용 인버터는 거의 외국에 의존하고 있으며 일반적으로 대용량으로써 자기부상열차에 직접 적

용하기는 어려운 실정이다.

지금까지 국내에서 제작·사용된 자기부상용 인버터들은 범용 인버터를 약간 개조한 것으로써 차량에서 요구되는 제어기능을 충족하는데 문제점들이 많이 노출되었다.

사업단과 현대정공에서는 현재 계획 중인 시험중 제2시험차량에는 국산화된 차량용 인버터와 제어장치를 사용할 계획으로 개발을 서두르고 있다.

차량용 국산 인버터가 개발되고 시험을 거치는 97년까지는 추진계의 기술수준도 외국의 수준에 접근할 것으로 예상된다. 자기부상열차에 필요한 중요한 주변요소기술로는 집전기술, 2차 현가장치기술 등이 있다. 집전(集電, Power Collection)기술은 현재 국내에서 제작된 집전장치를 사용한 80km 미만의 저속운전시험에서는 문제가 없었으나, 현재 개발중인 모델의 속도인 110km/hr에서의 효율적인 집전 여부는 시험선로에서의 시험을 통하여 입증 필요하다.

2차 현가장치용 부품은 현재 외국에

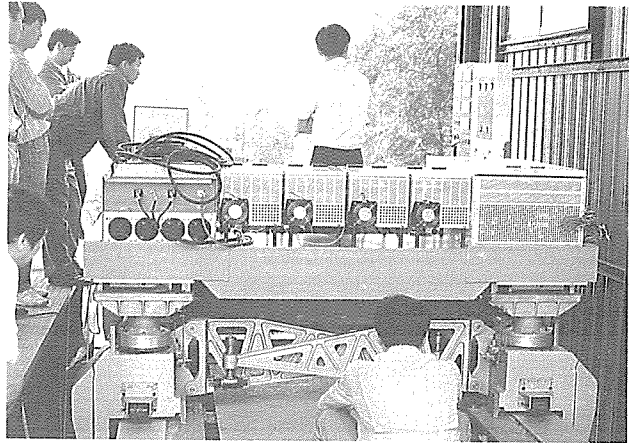
서 수입·사용중이며 국내 개발품에 대해서는 실용화에서 요구되는 구매, 곡선에서 충분한 성능시험이 필요하다.

시스템 차원에서 현재의 기술은 1차량을 저속에서 운행할 수 있는 정도이며 일부 도입

된 외국기술에 대해서는 현재 기술의 국산화가 이루어지고 있기 때문에 3년 후에는 대부분의 기술이 확립될 것으로 예상된다.

이러한 기술의 국산화는 장기간에 걸친 시험에서만 입증될 수 있으며 95년에 설치될 시험선로에서 대부분의 실험이 이루어질 것으로 예상된다.

자기부상열차와 같은 고도의 전문성을 요하는 시스템기술의 경우 협소한 저변기술 때문에 고도의 성능을 확보하는데 어려움이 따르므로, 이를 타개하



◇ 자기부상열차사업단에서의 부상추진시험 장면

기 위해서는 전반적인 기초기술수준이 높아져야 한다.

지금까지의 경험을 돌아보면 자기부상용 제어기를 개발하는 사람이 제어기의 기능에 전념하기 보다는 이를 구성하는 소자의 신뢰성에 더 많은 신경을 써야 하는 형편이다. 이러한 소자들의 질과 신뢰성은 기초기술의 수준이 올라갈 때 가능하며 기술의 저변이 넓어져서 경쟁에 의한 수준향상이 있을 때 가능하다. 그렇지만 일부 재료(예: 전자석 재료)와 센서류는 외국에서의 수입이 불가피한 실정이며 당분간 자기부상열차를 위해서만 개발되기는 어려운 실정이다.

앞으로 이러한 제반 상황에 적절히 대응하고 지금까지 축적한 연구역량을 결집하여 약 3~4년 후에는 현재 2단계 연구개발사업으로 추진중인 시속 110km, 60인승 도시형 자기부상열차의 실용화가 가능토록 추진할 계획이며, 개발 후에도 꾸준한 시험연구와 부품의 성능 개선을 실시해 나갈 계획이다. 57



◇ 자기부상열차사업단의 시험용 1차 시험품 차량용