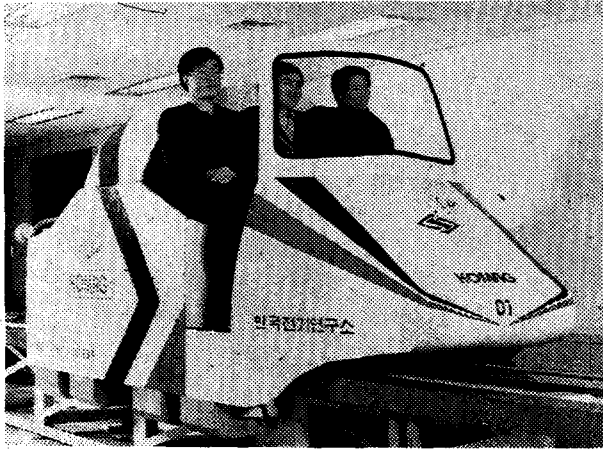


磁氣浮上列車의 開發現況과 未來性



지난 60년대 初부터 시작된 經濟開發 5個年 計劃이 6次에 이어져 내려오는 동안 우리나라는 급속한 경제성장을 이룩하게 되었다.

政府는 1989年 磁氣浮上列車開發事業團을 발족시켜 2001年까지 3단계에 걸친 磁氣浮上列車開發計劃을 수립하여 현재 진행 중에 있다.

金 容 柱

韓國電氣研究所
電力機器研究室長

1. 序 論

지난 60년대 初부터 시작된 經濟開發 5個年 計劃이 6次에 이어져 내려오는 동안 우리나라는 급속한 경제성장을 이룩하게 되었다. 경제성장에 따른 全産業의 發展으로 대도시간 産業經濟人口의 이동량이 해마다 급격히 늘고 있는 것이 오늘의 우리나라 현실이다. 産業化社會와 情報化社會의 도래에 따라 도시인구의 과밀화 현상과 교통량의 폭주에 의해 야기되는 交通問題는 범국가적으로 해결해야 할 과제로 대두되었다. 이를 해결키 위해 政府는 지하철의 증설, 도로망의 확충, 고속전철 건설등의 계획을 추진하고 있지만 재래식 교통수단들이 안고 있는 소음·진동등의 고질적인 公害問題와 土地收容問題등의 환경적 한계성이 노출됨에 따라 이와 병행하여 이들 여러가지 問題點들을 해결할 수 있는 未來指向의이며 고속화된 대중교통수단 채택에 대해서도 신중히 모색하고 있는 실정이다.

현재 국내 科學技術界에서 여러가지 未來指向의인 첨단교통수단을 다각적으로 검토한 결과 미래의 교통수단으로서는 저소음·무공해·쾌속성·쾌적성 및 경제성등의 다양한 장점을 가진 磁氣浮上列車야 말로 가장 적합하다는 결론을 도출하고 있는 실정이다. 磁氣浮上列車의 常用화가 현재 구현되지 않은 상태에서 고속전철과 여러 부문에서 상호 대비하기란 實益이 없을 줄 생각이 들기 때문에 여기서는 磁氣浮上列車의 開發現況과 그 未來性에 대해서만 考察코자 한다.

磁氣浮上列車는 그동안 공상과학소설에서나 등장하는 것으로 여겨져 왔으나 先進外國에서는 이미 20余年前부터 연구개발에 착수하여 현재 實用化를 눈앞에 두고 있으며 21世紀 육상수송분야의 주역을 담당할 것으로 예견되고 있다.

磁氣浮上列車란 이름 그대로 전자석 또는 영구자석의 자기력을 이용하여 浮上한 상태를 유지하면서 주행하는 차량을 말한다. 따라서 磁氣浮上시스템은 바퀴가 필요없어 기존의 열차방식(Wheel on rail)과는 현저히 다른 점들이 있으며, 특히 많

은 장점을 갖고 있다.

기존의 列車方式에 비해 많은 장점을 갖고 있는 磁氣浮上列車(Magnetic Levitation, Maglev)가 英國, 獨逸, 日本 등 技術先進國에 의해서 주도적으로 研究開發돼 왔었다는 점은 쉽게 수긍이 간다고 볼 수 있겠다. 이들 先進國들은 磁氣浮上列車을 육상 운송수단으로서 다각적으로 활용해야겠다는 중대한 계획아래 중저속용은 지하철을 주요교통수단으로 사용하고 있는 都心地 內에서 고가식 교통연계수단으로써, 그리고 大都市와 衛星都市間의 高速交通手段으로서 활용키 위한 研究開發을 지속적으로 수행해 오고 있는 중이다. 또한 초고속 磁氣浮上列車은 大都市間의 장거리 교통수단으로 운용할 계획으로 현재 日本, 西獨, 프랑스 등 先進國에서 운행중인 고속전철을 머지않아 대체할 수 있을 것으로 專門家들은 전망하고 있다.

2. 國內의 技術現況

國內에서는 1988년부터 磁氣浮上列車에 대한 기초연구가 韓國電氣研究所와 韓國機械研究所 등 정부출연연구소에서 수행되었으며 '89년에 발족된 科學技術處의 磁氣浮上列車開發事業團을 중심으로 産業界·學界와의 협조체제하에 磁氣浮上列車 개발을 위한 國策연구사업이 본격적으로 진행되고 있다. 현재 중저속 磁氣浮上列車의 경우 技術蓄積의 정도는 실험실적 모델을 성공시킨 단계에 머무르고 있으며 지난해 12월 2日 韓國電氣研究所가 독자적으로 연구개발에 성공한 韓國型 磁氣浮上列車(KOMAG-01)가 그 단적인 예의 하나라고 할 수 있다. 이밖에도 企業體나 學校 등 各機關에서 독자적으로 축소형 磁氣浮上列車을 개발하고 있으며 초고속 磁氣浮上列車은 현재 기초연구 단계라 할 수 있다.

가. 중저속 磁氣浮上列車

시속 100~200Km급의 중저속 磁氣浮上列車開發에 요구되는 핵심기술은 전자기시스템, 전력변환장치, 부상제어, 부상gap측정, 신호통신 그리고 차체 및 궤도 건설기술 등이다. 이分野의 國內技術現況은 다음과 같다.

첫째 전자기시스템분야는 부상용 전자석과 선형유도전동기등의 설계와 특성해석에 대한 基本能力은 보유하고 있으나 효율향상을 위한 새로운 부상 및 추진모들의 독자적 개발을 위한 設計技術은 부족한 실정이며 高效率 전자석 Core와 내열성 절연물등의 재료개발기술 역시 열악한 수준에 머물고 있다.

둘째 電力變換裝置의 경우 대용량 Inverter등의 組立·製作技術은 확보하고 있으나 設計技術, 새로운 소자에 대한 應用技術, 냉각기술, 내구성 확보기술, 통신유도장애대책 그리고 안정성 확보 및 保修의 편의를 위한 부품의 모듈화技術등이 부족한 실정이다. 특히 이들 部品에 필수적인 대용량 반도체 소자는 거의 전량 輸入에 의존하고 있다. 容量 150KVA 정도의 범용 Inverter의 제작실적은 있으나 磁氣浮上列車에 필요한 400KVA 정도의 次容量 Inverter는 개발경험이 미비하여 信賴性確保를 위한 研究를 꾸준히 해 나가고 있는 실정이다.

셋째, 부상제어의 경우 기본적인 제어이론을 부상제어에 적용하여 구현하고 있는 段階이며 곡선주행 및 동특성 제어 그리고 안내력 제어 등 승차감 향상을 위한 研究와 병행하여 제어의 기본이 되는 gap sensor의 開發技術을 확보하기 위해 꾸준히 노력하고 있다.

넷째 車輛의 運行에 필요한 신호 및 통신시스템 등 Communication System 技術은 현재 外國技術에 의존하고 있는 실정이다. 信號通信 등은 기본적으로는 기존의 지하철등에 사용되는 시스템을 적용할 수 있으나 장래에 대비하여 外國技術을 도입하여 우리기술로 소화하기 위한 노력을 하고 있는 중이다. 磁氣浮上列車의 特殊性에 부합하는 신호·통신시스템의 開發은 磁氣浮上列車開發 못지 않게 중요한 분야라 할 수 있다. 또한 총괄 시스템의 設計와 각각의 Sub-System의 Integration에 대한 Know-how가 거의 없어서 이에 대비하기 위한 최적화 設計技術 확보를 위해서도 先進國技術에 대한 검토등을 면밀히 하고 있는 중이다.

나. 초고속 磁氣浮上列車

초고속 磁氣浮上列車란 시속 400~500Km급의

열차를 말한다. 현재 國內에서는 초고속 磁氣浮上列車에 대한 研究開發실적이 全無한 실정이지만 先進國의 例를 볼 때 크게 두가지 방향에서 基礎研究-應用研究-常用化 課程을 밟을 것으로 전망할 수 있다.

첫째 獨逸의 Transrapid와 같은 상전도 흡인식의 研究開發이다. 이 경우에는 부상 및 추진기술, 대용량 전력변환장치설계, 속도감지 및 제어기술 등이 확보되어야 한다.

둘째 日本의 MLU와 같은 초전도 반발식의 경우이다. 초전도 반발식의 경우에는 초전도 응용기술과 자계차폐기술등의 研究開發이 선행되어야 한다. 초고속 磁氣浮上列車의 경우에는 중저속의 경우보다도 機械 및 土木工學의 面에서 차체의 구조역학, 공력학, 터널의 특수공법, 교각의 특수설계등 관련기술에 대한 研究開發이 병행되어야 한다.

3. 磁氣浮上列車 개발계획

政府는 1989年 磁氣浮上列車開發事業團을 발족시켜 2001년까지 3단계에 걸친 磁氣浮上列車開發計劃을 수립하여 현재 진행 중에 있다.

國內에서 磁氣浮上列車 開發은 大田 Expo'93 운전용을 위한 研究開發에 초점을 맞추고 있으며 이 모델의 개발은 韓國型 磁氣浮上列車 開發의 제 1단계('89~'93)목표이기도 하다. 초기연구개발단계에서는 外國에서 개발되어 시험운전 중에 있는 모델들을 부상과 추진의 형식, 제어와 통신체계, 궤도와 차량체계, 운용과 보수체계등을 技術的, 經濟的인 측면에서 다각적으로 검토하여 國際共同研究와 國內의 産·學·研 협조체계 구축을 통해서 先進外國技術을 원천적으로 흡수하는 것을 토대로 계획을 추진하고 있다. 앞서 언급했듯이 현재 國內에서 研究開發에 박차를 가하고 있는 모델은 중저속용 磁氣浮上列車로 제1단계 목표인 핵심요소기술의 확보와 아울러 大田 Expo'93에서의 성공적인 운행을 위해서, 연구개발팀들은 만반의 준비를 다하고 있는 실정이다.

지난해 韓國電氣研究所가 개발에 성공한 韓國型 磁氣浮上列車 KOMAG-01은 이와같은 기대에

부응할 수 있는 성공작으로 크게 평가받을만하다.

제2단계('94~'97)에서는 도시형 중저속 磁氣浮上列車의 常用化 開發을 목표로 하고 있으며 1단계에서 개발된 신모델을 상용화 시스템으로 발전시켜 최고운행속도 150Km/h급의 列車로 개발하고 장거리 시험선로에서 운행할 方針으로 있다.

이 段階에서는 상전도 초고속 浮上列車의 Model도 아울러 개발하고 고속주행을 위한 浮上 및 선형전동기 추진시스템의 開發을 완료하고 한편 차체의 내구화, 경량화와 공력설계에 중점을 두고 Guideway 관련기술, 주요부품의 國産化開發, 시험선로의 건설, 시험용 고속열차제작 및 試驗등을 체계적으로 遂行할 방침이다.

第3段階('98~2001)에서는 시속 400~500Km급의 浮上列車의 상용화개발단계로서 초고속화에 따른 제반설비의 性能 및 安全度 향상을 위한 기술의 研究開發에 주력할 계획이며, 선형동기전동기를 이용한 상전도흡인식과 병행하여 초전도를 이용한 초고속 磁氣浮上列車의 핵심기술인 초전도재료개발 및 응용기술에 대한 연구도 아울러 수행할 방침이다.

4. 磁氣浮上列車의 特性

磁氣浮上列車에는 여러가지 특성이 있다. 經濟性이라든가 技術的인 特性이라든가하는 점에서 기존의 列車方式(Wheel on rail)에 비교할 수 없는 장점이 많이 제시되고 있다. 여기서 專門의 特性은 일단 차치하고 磁氣浮上列車의 장점을 개괄하면서 특성을 살펴보고자 한다.

서두에서 언급했듯이 磁氣浮上列車(Maglev)는 전자식 또는 영구자석의 자기력을 이용하여 浮上한 상태를 유지하며 주행하는 車輛이다. 이런 점에서, 그리고 이러한 까닭에 磁氣浮上列車가 기존의 列車方式에 비해 우수한 장점을 갖고 있다는 것이 磁氣浮上列車 연구개발의 선두주자들인 日本, 西獨, 英國등 先進國 과학기술자들의 共通된 意見이기도 하다. 先進國의 과학기술자들이 제시하고 있는 磁氣浮上列車의 주요 장점을 열거해 보고자 한다.

첫째 Maglev는 레일과의 마찰력에 의해서 추진

하는 방식이 아니기 때문에 고속성, 무공해성, 안전성, 신뢰성, 경제성과 승차감이 뛰어나다는 점이다. 磁氣浮上시스템(Magnetic Levitation : Maglev)은 레일 표면에서 자력을 이용해 약 10mm 또는 10cm가량 부상한 상태에서 주행하기 때문에 외부와의 물리적인 접촉이 필요없게 되어 마찰에 의한 소음공해, 마모등이 없는 대단히 이상적인 미래의 大衆運送手段으로 각광을 받을 것으로 전망되고 있다.

도시가 발전할수록 도시의 규모가 커지고 지역적으로 特性이 분화되어 교외지역에서 都心地로 都心地에서 郊外로의 통행욕구가 증가하고 통행거리가 증가하게 되는 것은 어쩌면 자연적인 현상일지도 모른다. 이러한 경우에 都心과 郊外地域間의 고속연계시스템이 필요한데 저소음, 무공해, 저진동, 안전등의 요소를 두루 갖춘 磁氣浮上列車의 채택이 최적일 수 있다는 것이다.

둘째 Maglev는 고속주행의 타당성이 인정될 수 있다는 점이다. 물론 기존 列車方式(Wheel on rail)의 고속전철도 走行試驗 중에 4백Km/h라는 놀라운 속도를 기록하는등 고속화의 여지가 남아 있다. 문제는 단순한 고속주행이 아니라 고속주행의 타당성이 인정될 수 있는나는 經濟性 여부가 더욱 중요하다고 할 수 있다.

시속 250Km 이상에서 Maglev의 長點을 보면 먼저 지지(Support), 안내(Guidance), 추진(Propulsion), 제동(Brake) 장치등이 모두 비접촉식이기 때문에 速度의 增加에 따른 마모가 없을 뿐만 아니라 면적부하(Area Load)로 列車의 무게가 전달되므로 가이드웨이에 미치는 강도가 현저히 낮다는 점이다. 이는 기존 列車方式의 1천분의 1 내지 1만분의 1에 불과해 지지구조물이 가벼워도 된다는 점이다.

Maglev는 경사진 곳을 올라가는 데에도 뛰어난 特性을 보이고 있다. 이를 보통 最급구배라하는데 보통 10% 정도가 허용된다. 개량된 바퀴철도(Wheel on rail)방식은 불란서 TGV의 3.5~5.0%보다 대단히 높으며 日本의 신칸센의 最급구배 1.5~2.0%에 비해서는 무려 5~6.6배의 最급구배를 보여 주고 있다. 그리고 회전반경도 대폭 줄일 수 있어서 선로건설시 터널공사 및 교량공사비와

절토(Cutting) 비용등 土木工事費를 대폭 절감할 수 있다.

셋째 고속의 Maglev는 집전장치(Current Collector) 및 전원변환장치, 구동장치등을 탑재하지 않아도 되기 때문에 列車의 중량을 대폭 감소할 수 있다는 장점이 있다.

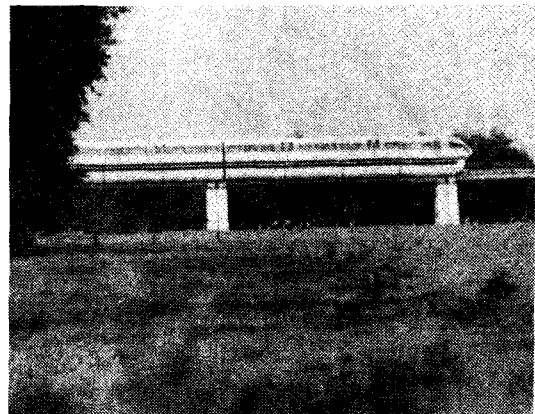
그리고 維持, 補修, 運營의 측면에서도 바퀴방식은 끊임없이 노력과 투자가 요구되는 데 비해 Maglev는 마모되는 부분이 거의 없기 때문에 선로의 유지보수, 전동기의 유지보수, 바퀴의 교체, 보기(Bogie) 전체의 교체등이 필요없다는 점이다.

5. 先進國 磁氣浮上列車

西獨, 日本, 英國등 先進國이 상용화를 위해 研究開發에 박차를 가하고 있는 先進國 磁氣浮上列車를 간략히 살펴보면 다음과 같다.

가. 西獨의 트랜스라피드(상전도흡인식)

지난 '79年 獨逸 "함부르크"에서 개최된 國際交通 및 輸送展示會(Int'l Traffic & Transportation Exhibition)에 트랜스라피드 05가 제작되어 대중에게 선을 보였었다. 현재 트랜스라피드 07이 製作完了(1988)되어 "엠슬랜드"지방에서 31.5Km 구간의 시험가이드웨이를 건설하여 신뢰성 검증을 위한 시험중에 있으며 獨逸내의 상용화구간과 美國 플로리다주에서의 建設을 위해서 노력하고 있다.

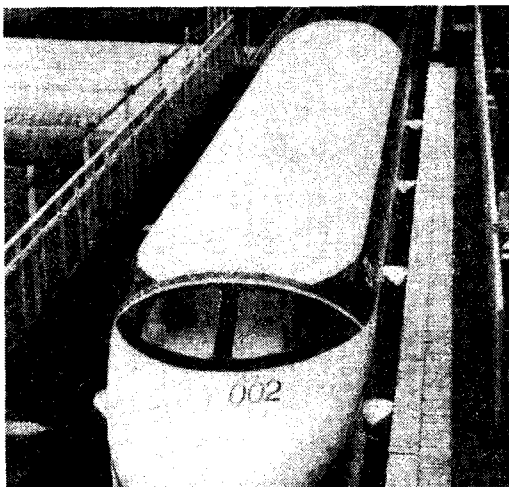


나. 英國의 버밍햄자기부상셔틀버스(BPM)

버밍햄시의 國際空港과 철도역 사이의 6백m를 연결하는 都市型 연계 저속磁氣浮上列車인 BPM (Birmingham People Mover)은, 1984年 개통하여 初期에는 운전자가 수동운전하였으나 '85年 2月부터는 완전자동으로 운행하고 있다. 이 시스템은 최초의 출발지와 목적지간 연계를 목적으로 한 磁氣浮上 승객수송시스템이며 또한 최초의 商業的 運轉을 위한 시스템이라 할 수 있다. 현재까지의 운용 결과를 보면 BPM은 뛰어난 信賴性을 보이고 있으며 보수·유지가 간편하여 간이 輸送手段으로 적합하다는 평가를 받고 있다.

다. 日本의 MLU 002(초전도반발식)

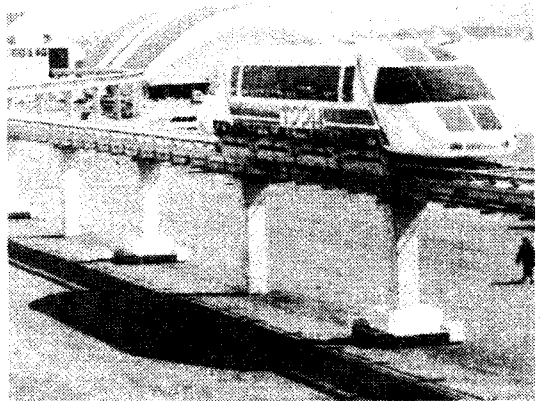
日本은 지진을 고려하여 부상방식을 초전도 자석을 이용한 EDS(Electrodynamic Suspension)方式을 채용하여 제작했으며 실제크기의 시제품은 1972年 鐵道技術研究所에서 첫선을 보였으며 이때의 Model은 가이드웨이가 역T자형인 ML-500列車였다. 1980年들어 새로운 車輛인 MLU-001을 개발했으며 최근에는 ML-500과 MLU-001開發技術을 토대로 MLU-002를 開發, 선보이고 있다. 상용화를 위하여 동경-오사카축에 40Km구간의 시험선로를 착공하여 建設중에 있으며, 1994年度에 개량된 초고속 磁氣浮上列車가 선보일 전망이다.



라. 日本의 HSST(High Speed Surface Transportation)

일본항공(JAL)이 1974年 도쿄의 도심지와 나라따공항공간의 승객에게 제공할 신속한 輸送手段으로 HSST를 開發하기 시작했다. 技術的인 評價가 다각적으로 이루어진 끝에 전자석을 이용하여 부상과 안내(Guidance)를 동시에 할 수 있는 EMS(Electromagnetic Suspension)方式을 채택하게 되었으며 추진은 선형 유도전동기를 사용하였다.

HSST-01과 HSST-02가 조립되어 試驗運轉을 하였으며 지난 '78年 HSST-01은 로켓추진에 의해 308Km/h의 速度를 기록한 바 있다. 그리고 HSST-02는 6名의 人員을 탑승시킨 채로 100Km/h의 速度를 기록하기도 했다.



마. 西獨의 M-반(Bahn)

M-반은 磁氣浮上을 이용하곤 있지만 엄격한 의미에서 비접촉식은 아니다. 車輛에 부착된 영구자석과 가이드웨이에 설치된 동기전동기의 상호작용에 의해 부상과 추진을 동시에 해결하고 있다. 영구자석은 車輛을 완전히 부상시키는데 사용치 않고 지지바퀴(Support Wheel)에 걸리는 比重을 감소시키는 역할과 동시에 선형동기전동기의 勵磁(Excitation)를 위해 사용된다. 안내(Guida-

nce)는 측면에 부착된 바퀴를 사용하고 있으며 여타 중·저속磁氣浮上列車들에 비해 상대적으로 가벼워 고가선로 建設費가 저렴한 M-반은 가이드웨이에 설치된 선형전동기에 의해 速度가 제어되어 완전자동으로 運轉이 가능하게 設計되어 있다.

지난 '84年 서베를린에 600m의 가이드웨이가 설치되었고, 1987年 1.6Km의 2단계 구간이 완공되어 常用化 運轉을 하고 있는 중이다.

6. 韓國型 磁氣浮上列車 KOMAG-01

韓國에서 최초로 개발된 KOMAG-01은 상전도 흡인식 磁氣浮上列車로 종축형 전자석, 선형유도전동기, 인버터, 전압 가역형 초퍼 및 부상제어기 등으로 구성되어 있으며, 중저속형으로 도시내 乘客運送手段을 위한 모델로서 이 기술은 大田 Expo '93전시용 磁氣浮上列車 개발에 응용될 방침이다.

KOMAG-01(Korea Maglev)의 주요사양을 보면 車輛무게 : 1.8톤, 탑재무게 : 1.2톤, 차량크기 : $3.6m \times 1.4m$, 부상레일폭 : 60mm, Reaction Plate : 2차도체Al(4mm) Back iron 15mm, 정격속도 40Km/h, 浮上方式 : EMS, 종축형 전자석, 부상력 : $380kg \times 8EA$, 推進方式 : SLIM($250M \times 2$), 안내방식 : Stagger, 供給電源 : DC 530V, 초기 Air-gap : 13mm, 정격부상 : 8mm 등이다.

KOMAG-01의 研究開發 배경 역시 다른 先進國과 마찬가지로 △대도시 및 장거리 交通問題解決, 尖端交通技術 및 相關기술 확보 △미래지향적인 新産業創出 및 雇傭增大을 꾀하기 위해서였다.

추진경위를 보면 지난 '88年 韓國電氣研究所에서 추진 및 부상에 대한 기본연구와 磁氣浮上列車의 국내 적용 가능성에 대한 연구를 수행한데 이어 '89년에는 科學技術處의 지원아래 21世紀 交通技術로서 磁氣浮上列車 연구개발과제가 채택돼 분야별로 본격적인 연구가 이루어 졌다.

'90년에는 磁氣浮上列車開發 國策研究事業團이 발족되어 韓國型 磁氣浮上列車의 연구개발을 수행한지 불과 1년반여만인 지난해 12月 21日 드디

어 시험운행에 성공한 것이다. KOMAG-01의 研究開發 성공으로 한국고유의 磁氣浮上列車를 만들어 낼 수 있다는 자부심과 先進國의 주요 모델의 기술적 특성을 체크할 수 있는 技術能力까지 확보할 수 있게 된 것은 KOMAG-01 개발의 큰 意義라 할 수 있다.

특히 KOMAG-01이 大田 Expo'93에 설치·운행될 展示用的 시험모델로 채택이 되고 나아가 시속 100~200Km급의 중저속 도시형 磁氣浮上列車의 상용화까지 구현시킨다면 시속 400~500Km급의 초고속형 磁氣浮上列車 역시 國內 技術로도 충분히 개발할 수 있을 것이라는 확신을 갖게 할 것이 틀림없다.

7. 結 語

磁氣浮上시스템(Maglev)은 앞서 강조했듯이 레일과의 마찰력에 의해 추진하는 방식이 아니기 때문에 본질적으로 고속성, 무공해, 안전성, 신뢰성, 경제성 그리고 무엇보다도 승차감이 뛰어나다는 여러가지 長點을 가지고 있다.

특히 Maglev는 보통열차와 마찬가지로 궤도 위를 주행하지만 자동차 또는 단거리 비행에 비해서 정규노선 運行時的 높은 運行効率, 승객 1인당 Km당 적은 에너지소모, 化石燃料에 대한 의존성이 없고 氣候에 거의 영향을 받지 않으며 지극히 안전하다는 점이 미래 고도의 발전된 社會에 적합한 運送手段으로 각광을 받으리라고 專門家들은 거의 단언하고 있을 정도이다.

그리고 무엇보다도 중요한 점은 앞으로 生活水準이 높아짐에 따라서 인간의 욕구도 量에서 質로 급전할 것으로 어렵지 않게 전망할 수 있는데 이러한 시기에는 초고속 磁氣浮上시스템은 Maglev의 고속주행 성능을 최대한으로 이용함으로써 各國의 交通축(Corridor)이 현상태로 또는 가까운 장래에 포화가 될 때 최고의 해결책이 될 수 있으리라는 科學技術者들의 評價이고 보면 磁氣浮上列車에 대해 거는 기대는 결코 과대하지 않을 것으로 사료된다.