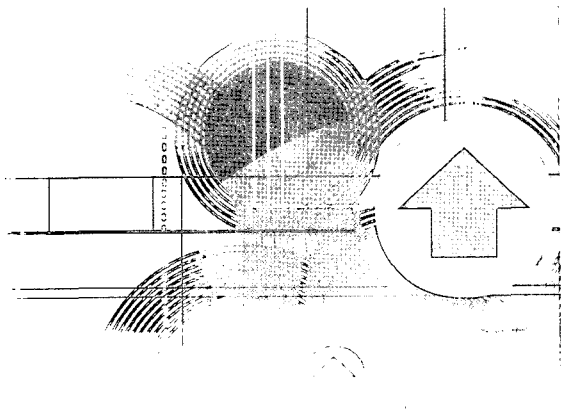
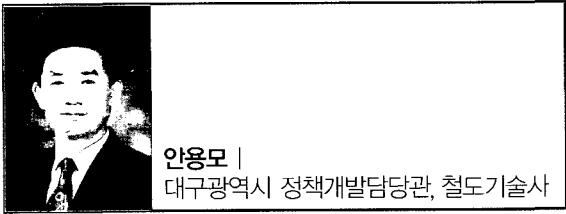


일본 나고야 자기부상열차 도부큐료선(Linimo) 시승기



I. 서론

대구광역시는 국토간선계의 중심축 상에 위치하고 있으며 서울과 부산을 잇는 교통의 결절점으로서의 기능 뿐만 아니라 경상지역 경제의 핵심축으로서 생산과 소비의 중추적 역할을 수행하고 있는 실정이나 도시 성장 과정에서 2차 순환선 내의 구도심 지역은 시가지 환경악화, 상주 인구의 감소, 외곽지역 신개발에 따른 주요기능의 이전 등으로 도시기능이 악화되어 선진 도시환경 적응이 곤란한 실정이다

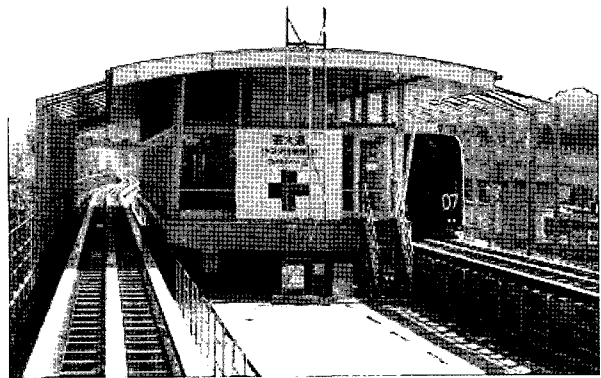
시가지 주요 교통거점인 대구공항, 지하철1, 2호선의 상호연계교통망을 구축하고 동북부지역의 유통, 컨벤션센터, 봉무 패션어페럴밸리 등 지역과 동남부지역의 업무, 주거지역 형성에 따른 유발교통수요를 충족하기 위한 신교통수단 도입이 필요한 실정이다

이러한 우리 대구광역시의 중차대한 과제를 해결하기 위하여 추진 중인 신교통 시스템건설계획을 수립함에 있어 우리나라보다 앞서 자기부상열차를 건설하여 운영하고 있는 일본의 나고야 도부큐료선의 사례 등을 직접 조사 및 파악하여 우리 시 건설에 필요한 사항은 응용 도입하고 타산 지적으로 삼고자 신교통 분야의 시설 등을 답사하여 우리 대구시에 가장 효율적인 계획을 수립하기 위한 시승 결과를 기술하였다.

II. 노선현황

1. 개요

○ 노선구간 : 나고야시 메이토우구 후지가오카(名古屋市



〈그림 1〉 자기부상열차와 고가역사



〈그림 2〉스크린도어가 설치되어 있는 지하역사 승강장

名東區が丘)~토요타시 야쿠사쵸(豊田市八草町畵)

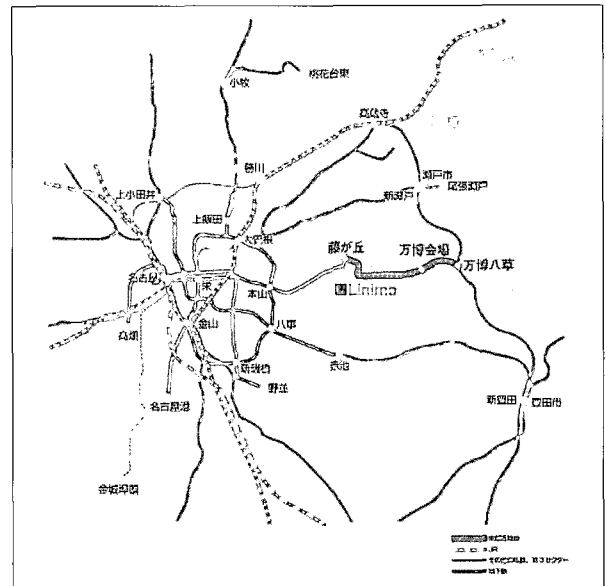
- 노선길이 : 8.9 km
- 역수 : 9개소(편도 소요 시간 : 약 17분)
- 구조형식 : 고가 구조(일부 지하)
- 주행방식 : 복상전도 흡인형 자기부상열차, 추진방식- 유도전동기
- 최고속도 : 약 100 km/h
- 사업비 : 약 356억엔(아이치 고속 교통 시행분), 전체 1,000억엔 정도
- 개통년도 : 2005년 3월 6일

2. 사업추진경위

- 1989 ~ 1992
 - 나고야시 미나미구의 오에 시험선을 건설하여 조사를 실시
 - 최고속도 100km/h 정도의 시스템에 있어서는 안전성, 신뢰성 등이 확인되어 실용화에 대한 기술적 문제 없음이라는 결론을 얻음
- 1998. 3 : '도부큐료선 도시모노레일 등 조사위원회'에 의해 자기부상식 시스템, 과좌식 모노레일, 신교통 시스템의 3종류에 대한 사업화 전망이 양호한 것으로 판단.
- 1998. 4 : 아이치현, 나고야시, 세토시, 토요타시, 쇼큐테 마을 등에 의해 도부큐료선 추진협의회 설립
- 1999. 4 : 나고야시 메토구 후지가오카-토요타시 하치쿠사 마을간 약 8.9km가 신규 착공준비 개소로 채택
- 1999. 7 : '도부큐료선 도입 기종 선정위원회'로부터

본 지역에는 자기부상식 시스템이 도입기종으로 최적으로 제언

- 2000. 2 : 도부큐료선 운영주체인 아이치 고속 교통 주식회사 설립



〈그림 3〉 노선도

- 2000.12 : 아이치 고속교통 주식회사가 궤도법에 기초하여 특허신청
- 2001. 3 : 도시계획안, 환경영향평가서 공고 개시
- 2001.10 : 도시계획 결정고시, 환경영향평가서 공고 · 공람개시 아이치 고속교통 주식회사가 궤도법에 근거한 특허취득
- 2001.12 : 2005년 일본 국제 박람회 기본계획에 있어서 철도계통의 수송수단으로 자리매김함
- 2002. 3 : 도시계획 사업 인가 및 공사 시행 허가
- 2005. 3 : 개통

3. 노선특징

일본의 새로운 전국 종합개발계획(21C 국토 Grand Design)에 의하면 중부지역은 산업 기술의 세계적 중심지에 접해 있으며 특히 나고야 주변지역은 교육 · 문화 · 국제교류 등 도시기능 강화와 선두적 산업 기술 디자인에 관한 연구 개발 거점으로서 정비를 표명하고 있다.

또한 아이치현에서는 「창조적인 산업 기술의 중심권」을



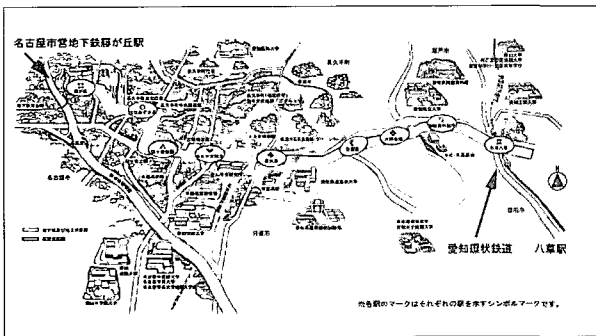
목표로 나고야 도부큐료지역 일대를 「아이치 학술개발 연구 지역」으로 선정하여 학술연구개발 거점 정비는 물론 거주·문화·레크리에이션 기능의 종합적 지역정비를 추진하고 있어 우리 시가 추진하고 있는 봉무패션어페럴밸리와 동대구역세권 개발과 그 맥락이 닿는다고 볼 수 있었다.

도부큐료선은 이와 같은 지역의 기반이 되는 교통 수단으로서 필수 불가결할 뿐만 아니라 인근 지역의 활성화 등에 지대한 공헌을 하고 있다. 또한 인근 지역에서 2005년 일본 국제박람회 개최가 결정되어 이를 계기로 유발수요 충족과 지역정비에 주목하고 있으므로 조기 개통에 박차를 가하게 되었다.

이러한 여건들이 신교통시스템의 필요성을 더욱 촉진하게 되어 지역자치기구, 민간기업 등이 일체가 되어 2000년 2월에 아이치 고속교통주식회사를 설립하게 되었으며, 아이

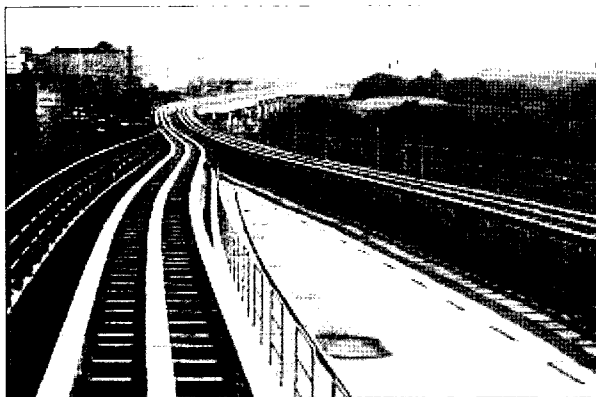
현재운영하고 있는 내용은 다음과 같다.

- 운영주체 : 아이치 고속 교통 주식회사
- 수송인원 : 30,000명/일
- 운전방식 : SATO에 의한 자동운전(현재 승객들의 안전한 심리감을 위해 기관사1명 탑승 중이나 줄여나갈예정)
- 운전대수 : 첨두시 10편성/시, 비 첨두시 6편성/시
- 운행시간 : AM 5:30 - PM 12:00(18시간 30분)
- 운행속도 : 최고속도 100km/h, 표정속도 35.6km/h

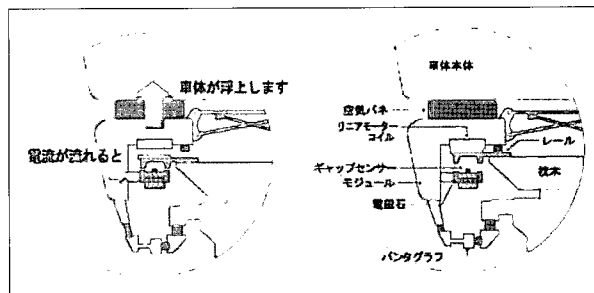


(그림4) 노선도

치 고속교통주식회사는 자기부상시스템을 이용한 세계 최초의 상업운영 노선으로 도부큐료선 건설을 조기 착수하여 안전하고 쾌적한 운송 서비스 제공과 지역 주민의 쾌적한 생활이나 지역 발전에 공헌 할 것으로 기대하게 되었다.



(그림5) 자기부상열차의 선로와 궤도전경



(그림6) 전력 공급 전과 전력 공급 후

Ⅲ. 자기부상열차 개요

1. 자기부상 열차의 특징

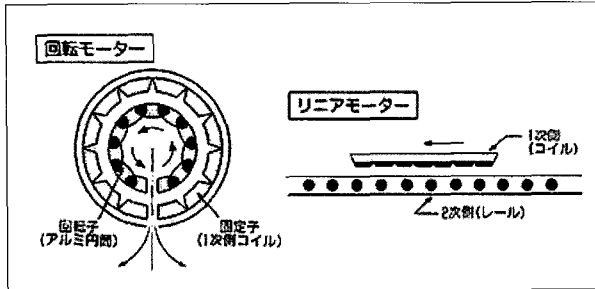
- 부상 주행으로 레일과의 접촉이 없기 때문에 소음이나 진동이 작고 승차감이 쾌적하며 친환경적이다.
- 부상 주행하기 때문에, 강우, 강설 등의 영향이 적으며 특히 설해에 강하다.
- 리니어 모터로 주행하기 때문에 급구배도 원활히 주행 가능한 급구배의 등판능력이 우수함
- 대차가 레일을 감싸는 구조로, 탈선이나 전복 등의 사고 예방이 가능하고 급커브의 주행이 용이하다.
- 마모 부분이 없어 부품의 반영구성으로 인한 차량이나 레일등의 유지 보수 비용이 저렴

2. 자기부상 시스템

가. 부상원리

차체에 장착된 전자석에 전류가 흐르면, 레일로 향한 흡인력이 발생하여 차체가 부상하게 되며, 전자석과 레일의 간격은 갭 센서에 의해, 항상 일정한 간격을 유지하도록 아래와 같이 제어되고 있다.

나. 추진장치

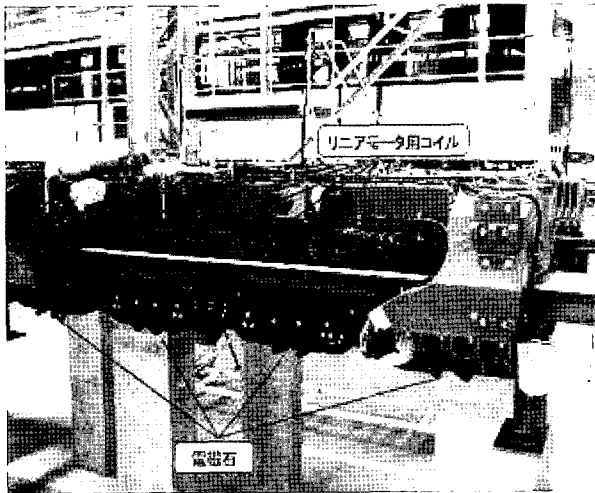


〈그림7〉 원형모터 및 선형모터

차량은 리니어 모터의 추진력으로 이동하며, 리니어 모터는 보통 회전 모터를 평평하게 편 것으로서 보통 모터가 회전력으로 사용되는 것에 비하여 리니어 모터는 직진력을 추진력으로 활용하는 것이 다르다.

다. 차체 지지부

자기부상열차의 차체 지지부는 열차의 차량하중을 직접 지지하며, 1곳의 지지부는 부상용 전자석이 4개로 구성되어 있다. 거기에는 리니어 유도 전동기용 코일이 1대, 그 외 유



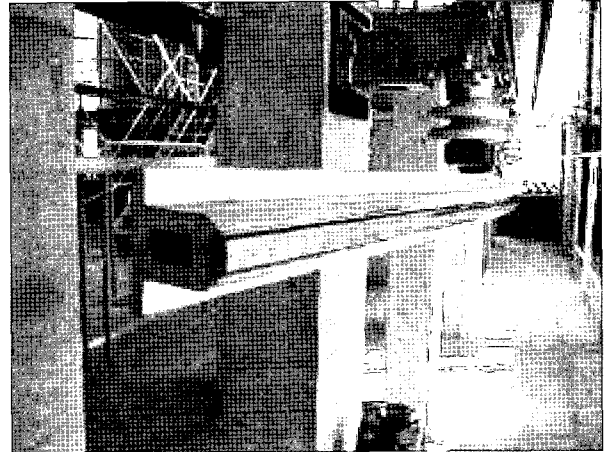
〈그림8〉 차체 지지부

압브레이크 장치 등으로 구성되어 있으며, 1량당 5조(좌우로 1조, 합계 10대)로, 차체하부에 공기용수철로 〈그림8〉과 같이 장착되어 있다.

라. 전차선

차량에 전력을 공급하는 전차선은 가공선으로 상부에서 공급하는 방식과는 달리 〈그림9〉과 같이 스텐레스 및 알루미늄

미늄 재료로, 각 1조씩 나누어 궤도 양측 하부에 가설되어서 동력을 안전하게 공급하고 있다.



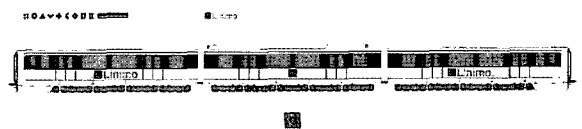
〈그림9〉 전력공급 전차선

3. 차량

가. 제원

일본의 나고야 도부큐료선에서 운행하고 있는 자기부상 열차의 차량제원은 다음과 같다.

- 차량편성 : 3량 고정편성, 편성당 열차 길이 43.3 m
- 차량규격
 - 선두차 제원 길이 14.0m, 폭 2.6m, 높이 3.45m
 - 중간차 제원 길이 13.5m, 폭 2.6m, 높이 3.45 m
- 승차정원 : 244명(좌석 정원 104명)/편성, 선두차 80명(34명)/량, 중간차 84명(36명)/량
- 차체구조 : 알루미늄 합금제, 차량 선두부 비상문 설치, 출입문 한면당 2개소(兩 미닫이식, 폭 : 1, 200 mm)
- 전기 방식 : DC-1, 500 V, 보조 전원 장치는 DC-DC컨버터(2대/편성)
- 최고속도 : 약 100 km/h
- 최대 가속도 : 4.0 km/h/s, 최대 감속도(비상 브레이크)

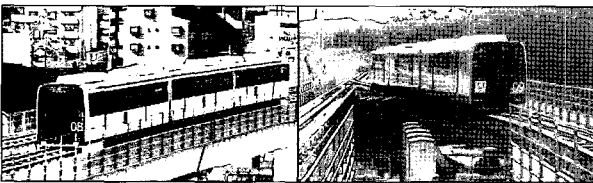


〈그림10〉 자기부상열차 차량 3량 1편성으로 구성

크시) : 4.5 km/h/s

기타 주요 장치인 차체 지지장치는 한 쌍의 대차에 의한 차체 지지 방식으로 자기부상열차 1량당 대차가 10대가 된다. 차량의 부상 안내 장치는 U자형 전도전자석을 사용하며, 부상·안내 겸용방식으로서 운행 중 궤도에서의 부상 높이는 약 8mm가 된다.

추진 장치는 리니어 유도전동기가 1량당 10대로서, VVVF 인버터 제어기는 1량당 1대이며, 제동 장치는 운전시의 상용은 전기 브레이크, 유압 브레이크이고 비상용시는 유압 브레이크를 사용하고 있다. 차량은 다음 <그림10>과 같이 자기부상열차 차량 3량이 1편성으로 구성되어 있다.



<그림11> 주행로 상과 분기기를 통과하는 자기부상열차

나. 디자인

자기부상열차의 차량디자인은 아래 <그림11>과 같이 정면 형상은 투명함을 강조하고, 차량 색은 흰색을 바탕으로 연푸른색을 상징적으로 구성하여 미래적이고 세련된 아름다움을 나타내고 있다. 노선의 애칭인 리니모의 로고를 차체에 넣어서 중앙에 그래픽 처리를 하여 산뜻한 감각을 보여주고 회사를 랜드 마크 하고 있다.

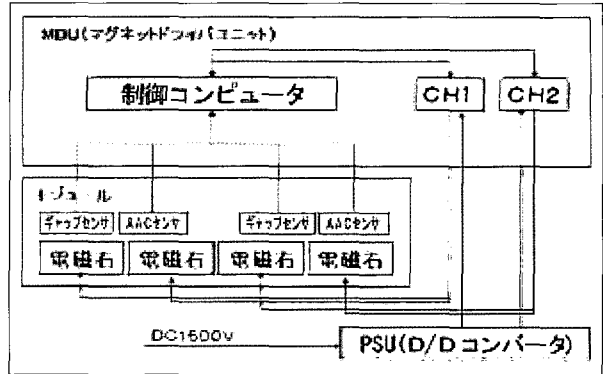


<그림12> 차량내부와 유인 운전시의 운전석 모습

다. 차량 내부

차량은 편칭 천정 소재, 조명의 천정면과 연속 구성으로 입체적인 조형감과 미래성을 표현하였고 손잡이 등은 다양하게 구성하여 편리하게 이용하도록 하였고 내부색은 모노크롬계나 메탈릭계 등을 사용하여 안정감을 가지도록 하였다. 선두의 차량과 최후미의 차량에는, 각각 휠체어 스페이스를 설치하여 장애인을 위한 배려를 하였으며, - 차내에는, 자동 방송 설비의, 행선지, 차역, 문개폐 방향을 나타내는 차

내 안내표시기를 마련하여 이용객들이 쉽게 인지할 수 있도록 하였다.



<그림13> 열차의 부상과 안전을 위한 흐름도

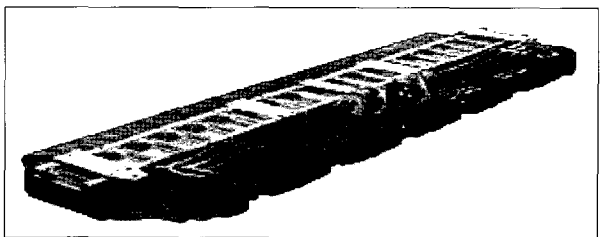
라. 안전 대책

자기부상열차의 부상과 안전한 주행을 위한 궤도의 이탈방지를 위한 안내는 대차의 마그넷·드라이버·유닛(MDU)은, 제어 컴퓨터와 전자석 구동 회로로 구성되어, 센서가 감지하는 대차의 동작에 대해 적절한 전압을 전자석에 인지시킨다.

즉 MDU는, 대차마다 독립 구성되어 있어 1대의 대차에 이상이 발생했을 경우에도 다른 대차의 부상이나 궤도이탈방지를 위한 횡방향의 움직임을 제어하고 안내하는 정상적으로 기능을 가지고 있다. 이외에도 대차에는 비상용 구동장치를 설치하여 부상 및 장치 고장 등으로 부상할 수 없는 경우에도 인근 역까지에 주행 가능하도록 되어 있다.

자기부상열차의 추진과 관련해서는 다른 열차와 달리 바퀴와 레일의 사이의 점착에 의한 구동 및 제동을 하지 않으므로 우천, 적설 등의 기후 조건에 좌우되지 않고, 공회전이 없기 때문에 급가속이나, 회생·역상 브레이크에 의한 급감속이 가능하다.

또, 리니어 유도전동기는, 각 차량에 1대씩 장비된 VVVF



<그림14> 자기부상 열차의 추진장치

인버터 장치에 의해 제어되고 있어 고장시에도 3 계통중 2 계통은 추진력을 확보할 수 있는 장점이 있다.

자기부상열차의 제동관련해서 안전에 가장 중요한 브레이크는, 전기식과 유압식 두가지 계통을 장착해, 상용시와 보완시로 구분하여 사용할 수 있다.

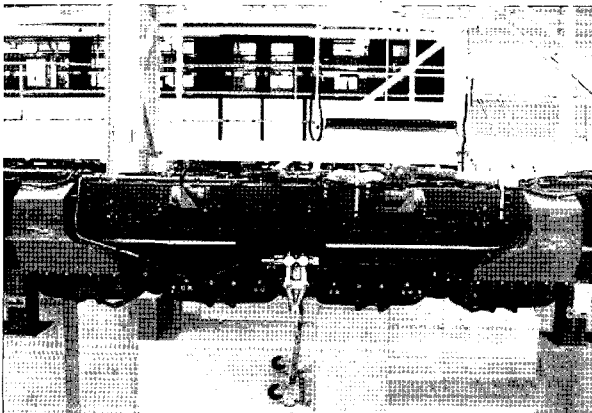
전기 브레이크는, 1량에 10대를 탑재 한 리니어 유도전동기를 VVVF 인버터로 제어하고, 유압 브레이크는 라이닝으로 레일의 외부 기어부를 사이에 두어 그 마찰력으로 제동을 하며, 상용시 제동으로는 고속 주행시 회생 브레이크를 사용하고, 저속 주행시에는 역상 브레이크, 정지 직전의 속도 이하에서는 유압 브레이크를 사용하여 안전장치를 완벽하게 갖추고 있다.

또, 전기 브레이크로 제동이 어려울 경우 유압 브레이크를 사용하는 상호 보완 제어장치를 갖추고 있으며, 보완 브레이크는 비상 브레이크의 예비로서 사용하고, 비상 브레이크, 보완 브레이크의 고장시에는 브레이크 작동 상태가 되는 fail-safe로 설계되어 있다.

전원장치 관련해서는 차체 전원 장치는 1 편성에 2조 장착하여 1대가 고장 났을 경우에도 부상 장치나 주요한 기기에의 전원을 확보하도록 되어 구성되어 있다. 축전지는 1 편성에 2조 장착해 정전시에는 브레이크가 작동해 차량이 정차할 때까지의 부상 전원을 확보하도록 되어 있다.

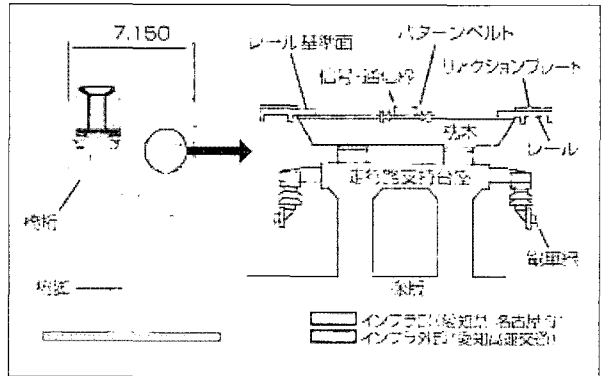
가장 중요한 운전관련 안전장치로서는 열차 측량 장치(TD), 자동열차제어장치(ATC), 속도 검출장치(VEL), 자동열차 운전장치(ATO), 역 제어장치, ATO 데이터 전송 등은 열차 무선 장치로부터 구성되어 있다.

각 장치는, 차상 장치(TD송신기), ATC 수신기, ATC 제



〈그림15〉 자기부상 열차의 제동장치

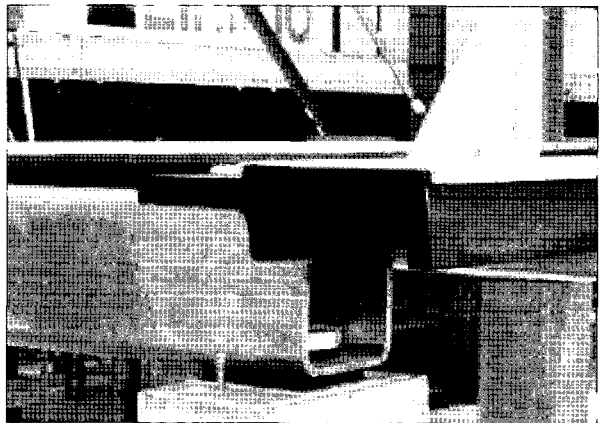
어장치, 속도 검출기, ATO 제어장치, 역 제어 송수신기, IR 송수신기(ATO 데이터 전송/열차 무선 송수신기)와 지상 장치로 모두 2중계로 구성되어 있어 각종 안전장치와 관련 자료를 모두 자동으로 제어 할 수 있도록 되어 있다.



〈그림16〉 선로구조단면도

IV. 일반 시설물

1. 선로시설물

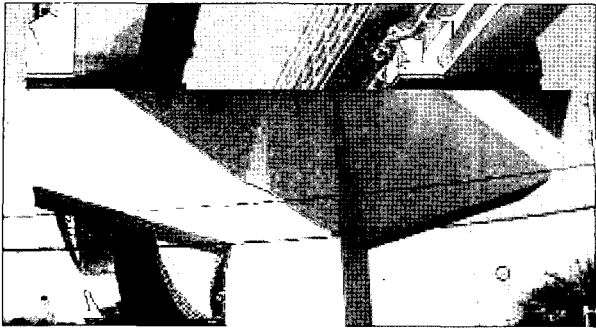


〈그림17〉 자기부상 궤도

지하구간은 복서(BOX)구조로 유치선과 분기부가 있으며 일반 지하철과 구조물의 구조와 시설이 동일하다. 다만 레일과 선로의 시설이 구조물 안에서 가득하게 자리하고 하고 있다.

고가구조는 모두가 교각과 교대로 주행지대인 선로와 구조로 〈그림16〉과 같이 되어 있다. 지하 정거장과 고가 정거장 모두 섬식 정거장으로 이용이 편리한 구조로 되어있다.

궤도는 일반레일과 달리 〈그림17〉과 같이 역U자형의 연



〈그림18〉 고가구조물의 교각과 본선 구조물

강 재질로 그 위에 알루미늄의 리액션 플레이트가 붙어 있다. 역U자형의 연강의 부분은 부상 안내용 전자석의 자기 도체가 되어 부상·안내력을 발생과 차체 및 제동력 일으키게 된다. 알루미늄의 리액션 플레이트는 리니어 유도전동기의 2차 도체가 되어 추진력을 발생하게 된다.

궤도가 부설되는 선로의 최대 구배는 70%이며, 통과 최대 곡선 반경은 50m로서 도심구간의 운행에 따른 곡선부의 각각 처리에 문제가 없다.

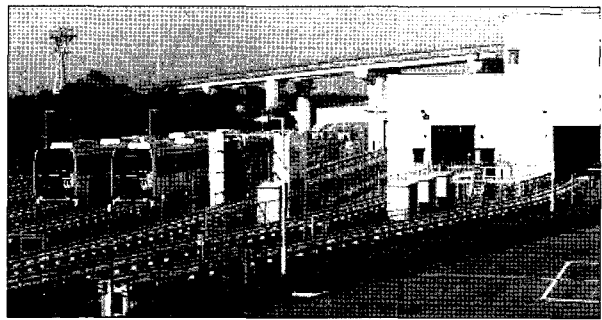
일반 고가구조물은 T형과 문형의 구조로 되어있으며 교각이 차량에 비해 육중하고 〈그림18〉과 같이 지형높이와 구조에 따라서 다르지만 높이는 7~12m정도이며, 두께는 약 2m로서 구조물이 다소 큰 것 같았다. 이렇게 구조물이 다소 큰 것은 자기부상열차의 특성상 상부노반 구조물의 처짐방지과 일본의 지진대비를 고려한 탓이 있다는 것이다.

2. 차량기지

도부큐로선의 자기부상열차도 일반 지하철의 차량기지과 같은 기능과 시설을 가지고 있다. 본선에서 인입을 하는 인입선과 함께 3.5ha(약35,000m²)의 부지에 검사고와 유치선이 있다. 주간에 운행하는 9편성의 전 차량이 이곳에서 일상 및 주간 검사와 세척과 청소를 하고 다음날 운행시간에 맞추어서 출발을 하게 된다.

차량기지에는 인입선과 각 기능선별로 분기되는 분기선이 있으며 순수 유치선은 3개가 있다. 차량검사고에는 핏트선 2개선과 청소선, 유지관리용 장비차량선, 각종 검사를 위한 측정장치 등이 있다.

선로구조는 일반 유치선은 본선과 같은 구조이나 검사고 내에는 핏트선과 수선을 위한 각종 설비와 시설이 잘 갖추어져 있다. 그리고 유지관리를 위한 차량과 장비가 있다. 세척선



〈그림19〉 차량기지 검사고와 유치선 및 본선전경

에는 입고되는 모든 차량의 자동세척과 내부청소를 위한 청소선이 있다.

차량기지에는 빗물을 집수해서 청소용수로 사용하고 있으며 야간에는 본선에서 운행하는 차량이 12:30분부터 입고를 시작해서 익일 05:30분에 출고를 하며 1일 110회 정도 운행을 6분 간격으로 하고 있다.

차량기지의 관리동의 2층에는 운전사령실이 있다. 운전사령실에는 무인 및 유인으로 운행되는 모든 차량을 실시간 통제하며 승객의 이동과 안전에 최우선을 두고 있다. 종사원은 개통시에는 박람회 관람과 시민들의 숙달을 위해 150여명의 직원이 근무를 했으나 현재는 그 절반인 75명이 근무를 하고 있다. 열차의 운행은 러시아워에는 7편성을 운행하고 있으나 모두 9편성이 있다. 물론 승객에 따라서 박람회 개장시에는 9편성을 운행했었다.

종합관리동에는 운전사령실과 야간근무자들의 숙박시설과 각종 교양교육을 위한 강당과 실습실이 잘 갖추어져 있으며 승무원은 언제나 음주측정과 여러 가지 안전교육을 이수하도록 되어 있었다.

3. 정거장

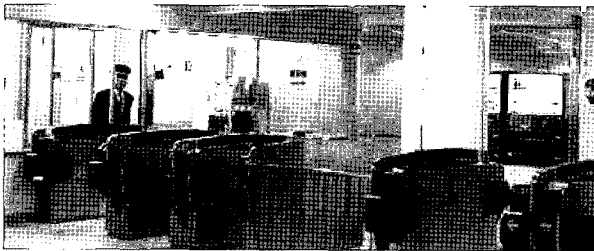
역사시설은 출입구를 통해서 들어서면 자동매표기와 대합실의 좁은 공간이 있다. 여기서 다시 자동개표기를 통해서



〈그림20〉 차량기지의 자기부상열차 운전사령실

개표를 하고 승강장으로 들어서게 되어 있다. 승강장에는 지하와 고가역사 모두에 승객들의 안전을 위한 스크린도어가 설치되어있다. 여기에는 다양한 편의 시설과 여러 가지 이용객을 위한 의자와 비상시를 위한 안전장치가 되어 있다.

물론 장애인을 위한 엘리베이터시설과 화장실은 물론 매점 등 각종 시설이 아담하게 자리하고 있다. 요금은 어른일 경우 360엔으로 다른 수단에 비해서 별로 비싼 편은 아닌 것 같다.



(그림21) 자기부상열차의 정거장 개표기

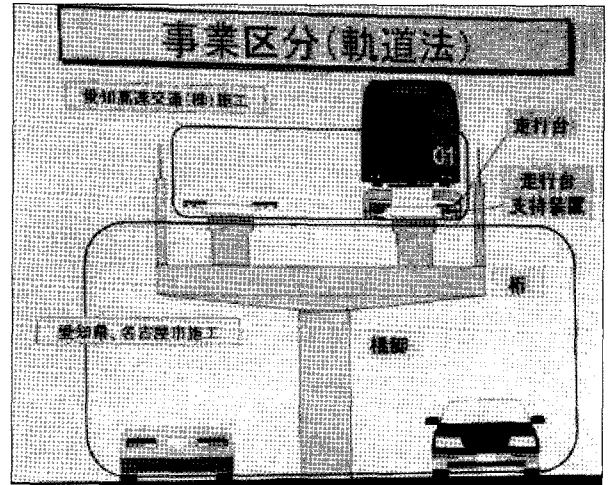
V. 견학소감

신교통은 대도시에서 간선축의 수송을 담당하는 간선철도, 기존도시철도, 노선버스 등과 지선교통과의 원활한 환승 및 연계를 고려하여 건설·운영되어야 하는데 특히 일본 대도시의 도시철도는 이러한 부분을 잘 고려하여 철도위주의 수송력을 확보하는데 노력하여 간선과 지선의 조화를 이루면서 대도시의 경우 철도 수송분담율을 약70%정도 확보하는데 성공하였다.

일본의 신교통은 AGT, Monorail, Linear-system, 자기부상열차 등 다양한 System이 기존의 간선철도, 도시철도 등과 함께 공존하며 운행 되면서 각각의 특징과 기능을 담당하는 역할을 효과적으로 담당하고 있음을 느끼고 볼 수 있었다.

특히 일본은 <그림 22>과 같이 민자를 하거나 지방자치단체에서 교통수단을 건설할 때에 중앙정부나 지방자치단체에서 시스템과 설비를 제외한 기본 인프라를 지원하는 제도가 많이 부러웠다.

그리고 우리나라에서도 우리나라 기술로 개발한 국산자기부상열차인 대형국가연구개발 성과의 실용화를 위하여 건교부, 산자부, 과기부가 공동으로 추진중인 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 시범노선을 추진중에 있다. 그 규모가 7,000여억원에 연장이 12.7km 정도로서 이제 타당성 조사 용역시행 및 시범노선선정을 위해 많은 준비를 하고 있다.



(그림22) 본선고가구조물의 시공사업구분단면도

자기부상열차의 실용화 사업은 개발된 자기부상열차의 운행과 관련하여 제반 조건을 검증하는 사업으로서 이를 위한 시범노선은 모든 기술적인 사항을 시험하고 검증할 수 있는 충분한 연장이 필요하고 시험과정에서 승차인원에 따른 사례별 검증과 시간대별, 계절별 영향분석을 위하여 노선의 입지적여건도 충분히 고려되어야 할 것으로 생각된다. 운영측면에서도 경제적 타당성이 있는 노선을 선정하여 시범노선으로서의 건설효과를 극대화 하고 대형국가연구개발 성과를 상용화 할 수 있는 기반이 되어야 해외시장에서 경쟁력이 있을 것이다.

우리 대구광역시시는 국토간선계의 중심축 상에 위치하고 있으며 서울과 부산을 잇는 교통의 결절점으로서의 기능 뿐만 아니라 영남지역 경제의 핵심축으로서 생산과 소비의 중추적 역할을 수행하고 있는 실정임을 감안하여 그 역할에 걸맞는 동대구역을 포함한 총괄적이고 체계적인 계획을 검토 및 수립함으로써 교통여건 변화에 능동적으로 대처하고, 또한 역세권개발과 연계하여 시가지 주요 교통거점인 대구공항, 지하철1, 2호선, 고속버스 터미널 등과의 상호연계교통망을 구축하고 동북부지역의 유통, 컨벤션 센터, 봉무산업단지 등 신개발 지역과 동남부지역의 업무, 주거지역 형성에 따른 유발교통수요를 충족할 수 있도록 검토되어야 할 것이다.

신교통 시스템 건설은 대구시의 편리하고 안전한 교통수단으로 가능한 ONE STOP SERVICE SYSTEM으로 매력있는 기능의 시설이면서도 항상 마음이 끌려 찾고 싶은 관광시설로의 위상을 감안하여 구상하고 계획되어야 할 것으로 판단되었다. ☞