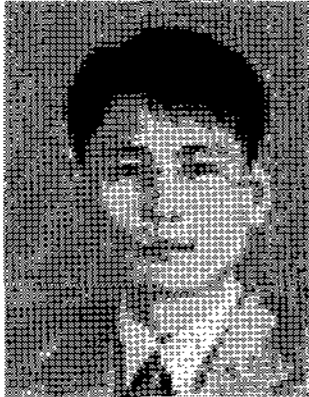


일본의 리니어 전철 및 FITS 시스템



이 병 송
한국철도기술연구원 책임연구원

일본 리니어 전철의 개발역사

1979년, 일본의 철도기술 연구진이 지하철터널의 단면을 줄이는 방법에 대한 방안을 모색하여, 1981년에서 1987년까지 선형유도전동기의 철도적용에 대한 기술개발이 진행되었다. 1988년경에는 선형 유도전동기를 적용한 철도차량 시스템 기술이 상용화되어 도쿄와 오사카의 지하철에 건설하는 것으로 결정되므로서 선형 유도전동기를 적용한 지하철이 상용화 될 수 있게 되었다. 도쿄의 첫번째 선형 유도전동기 지하철은 1993년에 히카리가오카 (Hikarigaoka)와 네리마 (Nerima)

사이에 12호선 (Line No. 12)으로 개통되었고, 1997년에는 신주쿠 (Shinjuku)까지, 2000년 4월에는 코쿠리츄 (Kokuritsu)-쿄 기조 (Kyogijo)까지 확장되어 2000년 12월 12일에 도쿄의 첫 번째 순환 지하철이 되었다.

선형 유도전동기(LIM) 지하철의 차량은 경량화 및 저상화가 가능하며, 현재 운영중인 지하철 차량보다 더 작은 크기의 객차 제작을 가능하게 하므로, 작은 단면적의 터널을 이용하여 네트워크를 구성하기 때문에, 특히 도심지역에서 건설비용을 획기적으로 줄일 수 있게 해준다. 실제로, 단면적이 작은 차는 대규모의 승객 수송이 필요하지 않은 곳이라면 터널 단면적의 한계를 만족시켜 제작될 수 있다.

그림 2는 오사카의 선형 모터 지하철과 기존 지하철 구조에 대한 비교결과를 나타낸다.

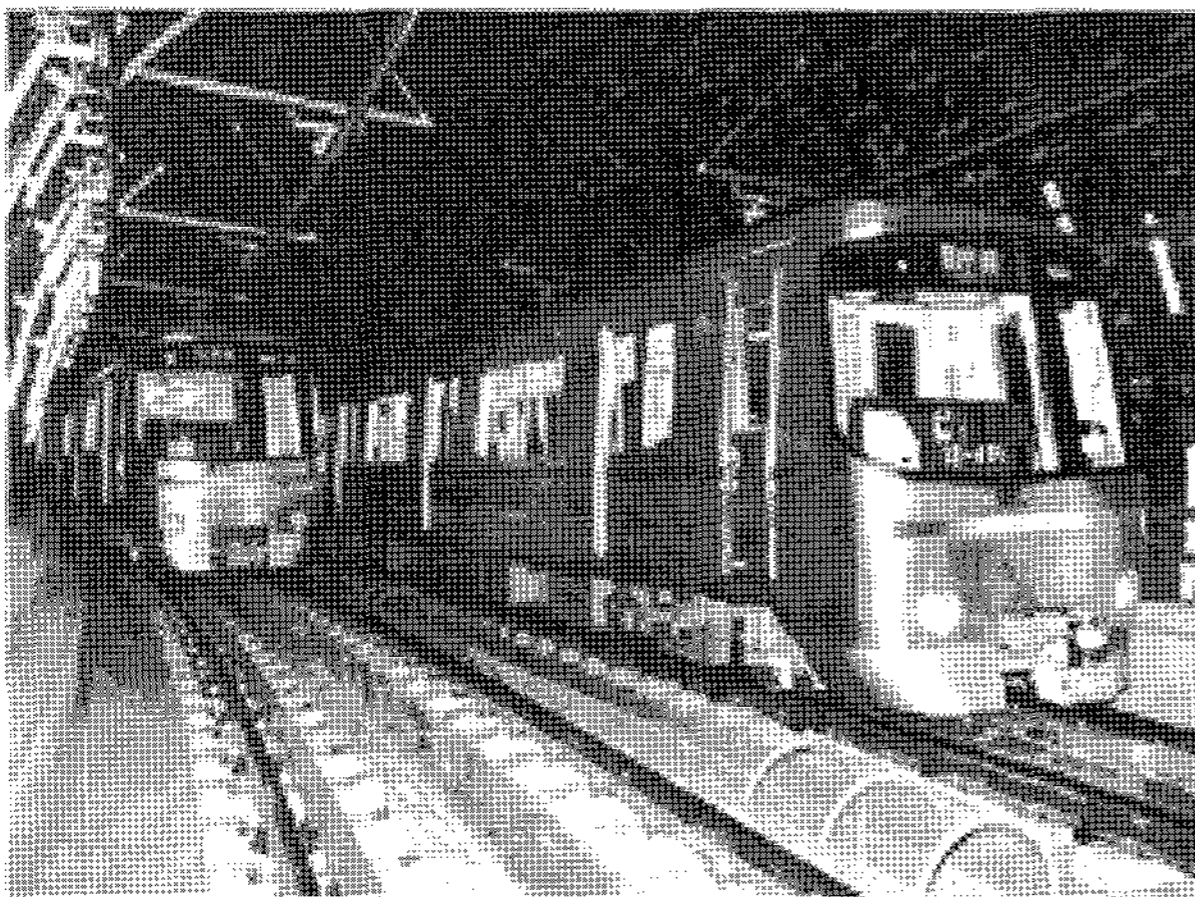
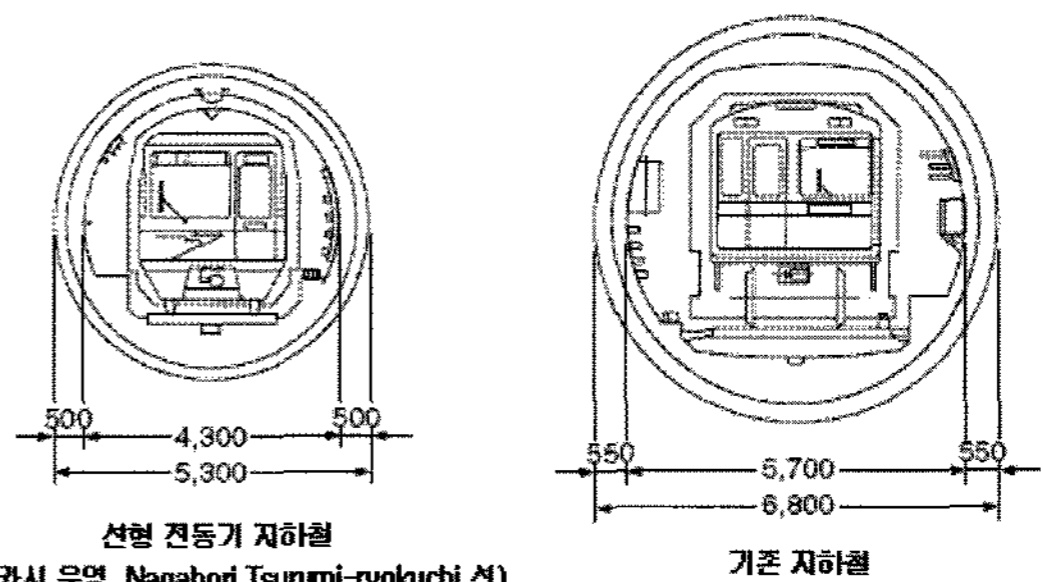


그림 1. TMG 오에도선



선형 전동기 지하철
(오사카시 운영, Nagahori Tsurumi-ryokuchi 선)

기존 지하철

그림 2. 오사카의 선형 모터 지하철과 기존 지하철 구조비교

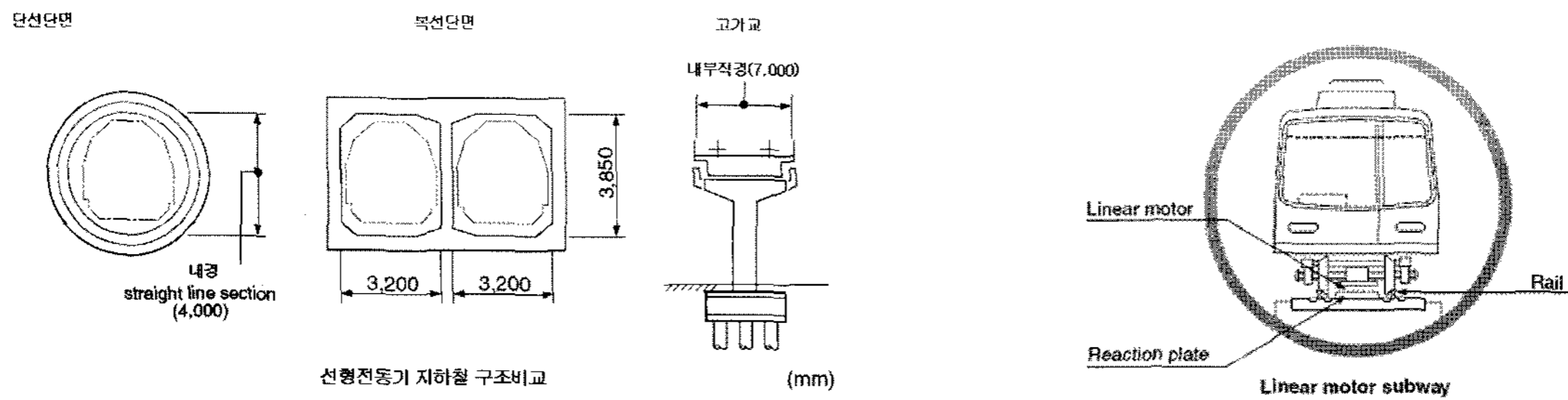


그림 3. 선형 유도전동기의 지하구조 비교

선형 유도전동기가 적용된 지하철의 특징

선형 유도전동기(LIM) 지하철은 차량의 주행을 유도하는 철제차륜과 궤도를 사용한다. 그러므로, 기존의 궤도회로 제어 시스템과 선형 유도전동기 추진 시스템의 장점을 활용할 수 있다. 선형 유도전동기의 철도차량 적용은 터널 단면적을 작게하고, 조향대차를 적용할 수 있어 유연한 노선계획이 가능하며, 비 점착식 구동으로 급구배 및 급곡선 운영을 가능하게 한다. 이러한 장점들은 노선계획에 있어 건설비용을 획기적으로 저감할 수 있도록 할 수 있고, 그림3과 같다.

다음은 선형 유도전동기 지하철이 상용화되기 까지의 주요 연구개발 결과내용을 요약한 것이다.

• 차륜경의 축소(차량의 저상화)

차륜경의 축소와 지하 장치들의 규모를 줄임으로써 차량바닥의 높이를 700mm로 낮출 수 있으므로 차량의 저상화, 경량화로 터널내부 직경이 4m 정도에도 건설이 가능하다.

• 급곡선운행

조향대차 메커니즘은 차축 각도를 변화시켜서 곡선반경이 50m 인 구간에서도 주행특성이 우수하다.

• 급구배 운행

선형 유도전동기는 궤도와 차륜 사이의 마찰에 의존하지 않는 비 점착식 구동특성으로 차량의 급경사 주행을 가능하게 하며, 제동시에도 보다 안전한 제동 성능을 확보할 수 있게 해준다.

• 낮은 소음

경량화된 차량은 주행 소음이 적으며 조향대차 메커니즘은 급한 곡선에서의 차륜소음을 경감시킬 수 있다.

선형 유도전동기가 적용된 철도차량의 경우, 레일과 레일사이에 설치된 리액션 플레이트(LIM 레일)와 차량에 설치된 권선 사이에 강한 흡인력과 반발력이 생기게 된다. 이러한 흡인력이나 반발력에 강인성을 갖도록 리액션 플레이트(LIM 레

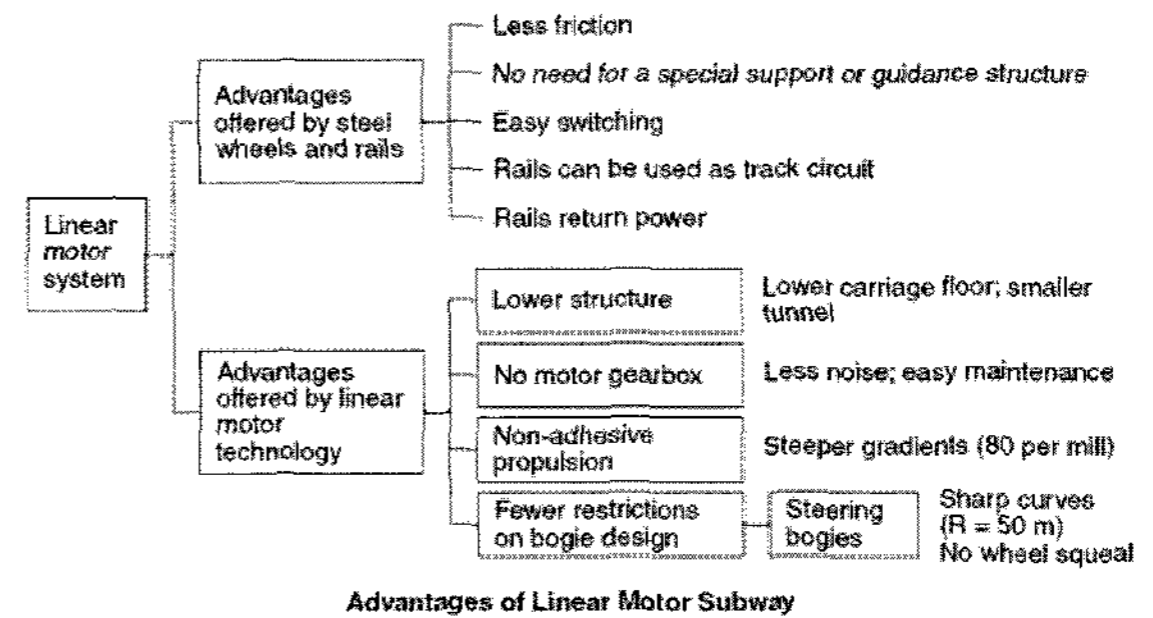


그림 4. 선형 전동기 지하철

일)를 궤도 침목에 고정시키는 새로운 방식의 견고한 궤도 구조가 개발되었다. 또한, 차상에 취부되는 LIM의 1차축을 대차에 직접 취부하는 새로운 기법을 적용하였으며, LIM의 구동을 위한 제어시스템은 고조파의 저감을 위한 3-레벨 VVVF 인버터에 의해 제어된다.

그 외의 특징들은 안전성 측면의 제동성능, 승객의 편의성도모를 위한 서비스, 위급한 상황을 고려한 긴급, 보안상태 등이 보장된다. 그림4.는 선형 유도전동기의 지하구조를 비교한 것이다.

선형 유도전동기가 적용된 지하철의 안전성 평가

일반적인 철도의 상용화 노선의 구축은 개발된 기술이 영업 운전애 적합한 시스템인지를 확인할 수 있는 안전성 평가 단계를 수행하여, 안전성이 확보된 상태에서 운행이 가능하다. 이를 위한 구성품 단계의 시험을 비롯한 전 과정의 시험은 물론, 본선시험은 다음과 같은 주요 안전성 요소들을 점검하며 수행된다.

- 시스템의 특성 및 운전

- 작은 단면 터널에서 차량과 궤도 간격에 영향을 주는 요소
- 궤도의 분리 : 긴급 상황시

- 급곡선 운행 - 급격한 곡선에서의 탈선 방지 측정; 조향대차
- 급구배 운행 - 상대적으로 급격한 경사에서의 출발, 가속 그리고 제동
- 선형모터 차량하부 공차 - 리액션플레이트와 다른 요소의 유연성 : 유동적인 공극 변화
- 경량 차량의 안전성
- 비접착식 선형 추진 시스템의 안전성
- 신기술 요소
 - 선형 유도전동기 기술
 - 작은 차륜경 조향대차
 - 리액션 플레이트(LIM 레일) - 궤도 구조, 기동시 강도, 궤도에의 부착 등

오사카 난코 테스트 궤도 (Osaka Nanko Test Track)에서의 시험 운전은 위 사항으로 시험하였으며, 선형 모터 지하철 시스템의 완전한 안전성을 증명하였다.

유연 지능형 교통 시스템 (FITS)

고속도로, 신칸센 고속열차 그리고 다른 선진화된 지상 교통 시스템은 일본 경제에 급속한 활기를 불어 넣어주었으며, 삶의 수준을 향상시켰으며, 여행의 기회를 확대시켜왔다. 그러나 도시에서의 도로정체, 도시철도에서의 출퇴근 시간 과잉 혼잡, 그리고 광범위한 대기 오염 등 심각한 문제들은 여전히 남아 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서, 일본은 다양한 도시교통 시스템을 발전시키고 건설해왔다. 기존의 교통시스템 보다 효율적인 버스과 주차 후 바로 탑승(park and ride)이 가능한 시스템의 홍보를 포함한 각종 시스템들이 다른 지역에서 채택되고 있다. 그러나 이러한 조치들 만으로는 문제를 해결하기에 충분하지 않다.

이를 해결하기 위한 방안으로 몇 가지 미래시스템이 최근 몇 년 동안 제안되어 왔다. 이러한 미래 시스템의 목표는 트랙(스피드와 높은 수송능력, 정확한 시간계획이 가능한)이 주는 장점과 자동차의 접근성(Door-to-Door), 높은 편의성을 동시에 가지는 것이다.

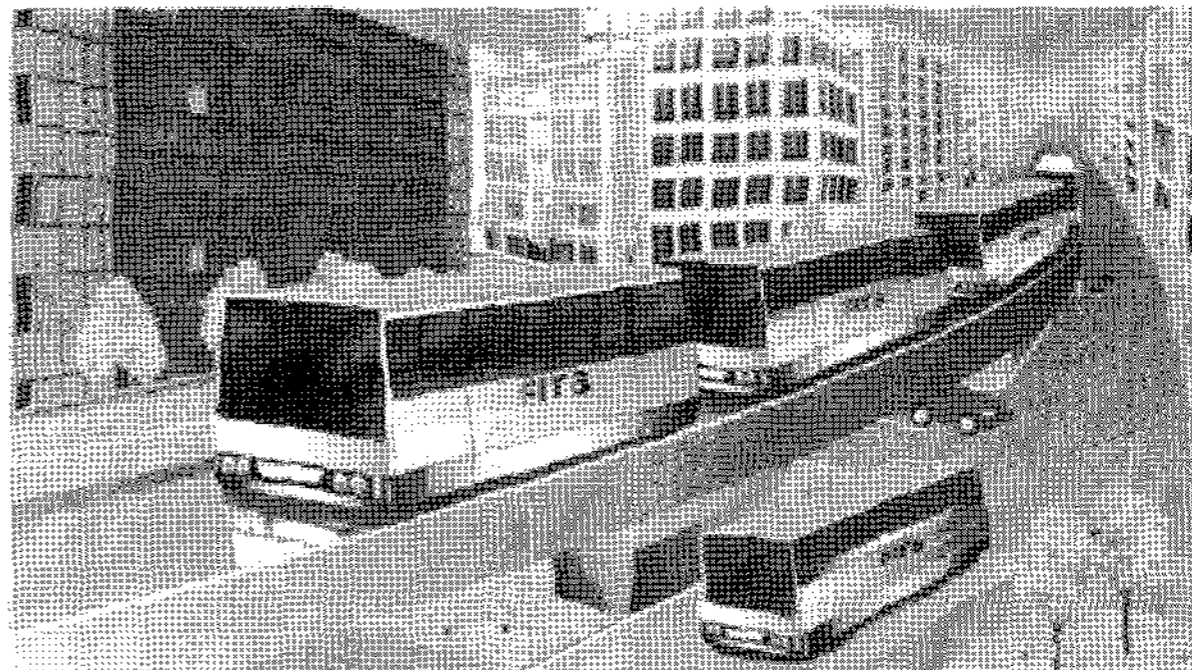


그림 5. FITS의 가상모형

FITS는 무엇인가?

이 시스템은 외형상으로 서로 연결되어 있지는 않지만, FITS(FITS : Flexible Intelligent Transportation System) 차량은 그림 5.에서 보여주는 것처럼 하나의 차량으로 고속으로 전용 궤도에서 기차처럼 운행된다. FITS의 개념은 안전하고 신뢰성 있는 지능형 교통시스템을 이용해서 고속으로 많은 승객을 수송하며, 수요에 따라서 시스템을 운영을 한다는 것이다. 승객들은 기존 철도의 역에 해당되는 지점에서 환승을 하거나, 목적지에 가까운 장소까지 환승하지 않고 이동한다. 이러한 시스템은 승객들에게 교통수단의 선택에 대한 유연성과 폭넓은 선택권을 제공하게 된다.

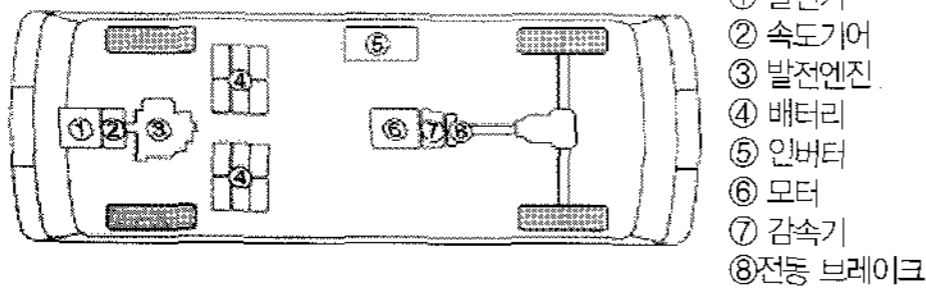
본 시스템의 잇점은 다음과 같다.

- 광역 운행, 그리고 모든 사람, 특히 노인들의 이동성을 증가시킴
- 승객들이 그들의 목적지까지 직접 그리고 쉽게 이동 가능함
- 경제적 요금체계
- 현재의 지자체나, 지역 간 교통시스템의 보완책
- 지방 경제에 이익
- 낮은 건설비, 운영유지비
- 친 환경적

수송 방법

수송방법은 그림 5와 같이 전용궤도를 주행로로하며, 주행로에서 차량들은 기차와 유사하게 한 줄로 고속운행 되지만, 다른 차량과 일정간격은 유지하면서 운행된다. 역에서 일부의 차량들은 전용궤도를 떠나 지방 노선을 운행하는 버스처럼 승

차량구조



차량사항

엔진	이동 가능 / 출력	1,500 cc / 25 kw
모터	종류 / 출력	AC 유도기 / 70 kw
배터리	종류 / 중량 / 용량	납축 남 (24) / 500 kg / 60 Ah/3h
축장	길이 / 높이 / 폭	10,520 mm / 3,340 mm / 2,490 mm
최소 회전 반경		8.3 m 2.5 m
차량 중량	공차 중량 / 만차 중량	11,940 kg / 15,625 kg
차축 하중	전면 / 후면	5,675 kg / 9,950 kg
등판 능력		43 %
정지 성능	정지 거리	19 m (50 km/h)
차량 입/출구와 도어 위치		계단 없고 전면, 중간에 입구
보조 바퀴/지면 축 구조		자동 격납 시스템/콘크리트 안내 벽
보조 바퀴의 충격 한도		전면/후면에 최대 4G (좌/우)

그림 6. 차량도 및 제안된 사양

객들을 목적지까지 수송하기 위해 고속도로나 일반도로로 진입한다. 수송능력은 편도로 시간당 8,000~14,000명 정도이며, 매 3분마다 운행한다.

차량

현재의 개념은, 가솔린 엔진이 발전기를 구동하여 배터리에 전기를 저장하고, 차량의 전동기에 동력을 공급한다. 저장차량은 마그네틱 핀으로 표시된 전용궤도를 따라 주행하며, 차량에 있는 센서들이 마그네틱 핀을 감지하여 안내된다. 마그네틱 궤도표지의 극성 전환으로 전용궤도로 들어오고 나가는 차량의 제어가 가능하다. 차량들 사이의 간격은 전방 레이더와 필요시 브레이크를 작동시킬 수 있는 차량 간격 조절 시스템에 의해 제어되며, 고속에서, 차량들 사이의 이격거리는 약 15m 정도를 확보한다. 그림 6은 차량구조와 제안된 사양을 보

여준다.

궤도 구조

궤도 거더들은 5m 높이로 일렬의 기둥에 의해 지지될 것이다. 제안된 콘크리트나 아스팔트 도로는 폭이 7.5m이고, 내구성, 유지성, 가격 효율성을 고려하여 건설된다. 차량의 바퀴는 강섬유나 다른 물질로 강화되며, 전기설비 및 신호처리 장비, 차량기지도 필요 없게 된다.

미래의 동향

미래의 교통수단으로 FITS가 운행된다면, 일반 교통산업 뿐만 아니라 새로운 형태의 산업에도 큰 영향을 주게 될 것이다. 일본의 신교통 시스템 협회(The Society for New Transportation Systems)는 FITS를 장려할 목적으로 현재 다양한 문제들을 검토하여, 일본 정부로 하여금 담당부서와 주관 기관을 재구성하도록 하였다. 국토교통성(The Ministry of Land, Infrastructure and Transport)은 모든 육상, 해상, 항공교통에 대한 관할권을 갖고 새로운 정부 차원의 분위기를 조성하여 도로와 철도양쪽의 이점을 모두 이용할 수 있는 FITS와 같은 시스템 개발을 지원하게 될 것이다. 그러므로 새로운 기술에 기반을 둔 신교통 시스템의 제안과 개발, 건설 또한 쉽게 될 것이다.

새로운 기술을 이용한 교통 분야는 우리 사회가 노인들에게 편의를 제공하고, 전 세계 환경오염에 대응하며, 더 나아가 인류를 위해 더 나은 생활환경을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. S