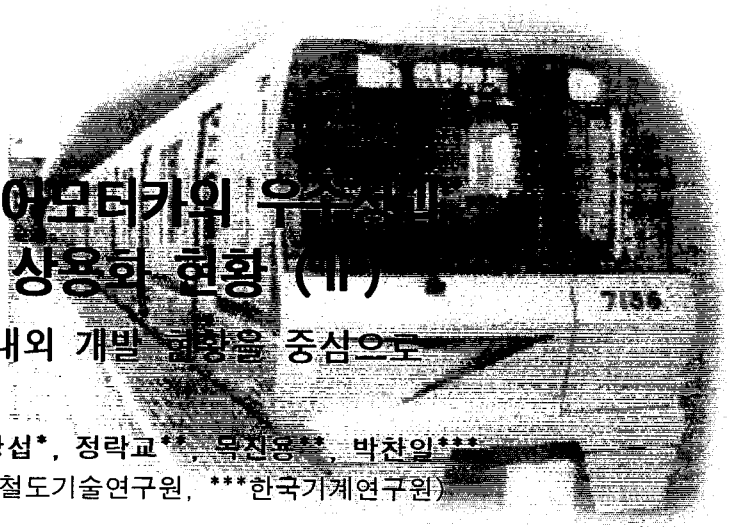
기술동향



경전철 리니어모터카의 우수성과 국내외의 상용화 현황 (II)

- 경제성과 국내외 개발 현황을 중심으로

장석명*, 이은웅*, 정상섭*, 정락교**, 목진용**, 박찬일***
(*충남대학교, **한국철도기술연구원, ***한국기계연구원)

본 글은 1998년 전기학회 10월호 전기학회지에 게재된 "경전철 리니어모터카의 우수성과 국내외의 상용화 현황 (I)-기본 개념과 우수성을 중심으로 -"의 연속입니다.

5. 건설에 필요한 소요경비 및 경제성

5.1 건설비용과 세부분야에 따른 소요경비

리니어모터 카 건설은 3.3절과 그림 11에서 보는바와 같이 엔지니어링 설계, 차량, 가이드웨이, 통신시설, 제어 시스템, 전력공급 시스템, 유지보수시설, 정거장, 용지매입 등의 분야로 나누어진다. 또한 각 분야에 따라 건설에 소요되는 경비의 비율이 다르다. 이는 건설 시기에 따른 물가 등의 주요인에 의하여 결정되므로 매우 유동적이지만, 대략의 전체적인 경향을 파악하기 위하여 표 3과 같이 캐나다 뱅쿠버 스카이 트레인을 사례로 들어 분야별 소요 경비를 소개하였다. 표에서 모든 가격조건은 1985년 기준이다. 당시 차량은 114량, 정거장수는 15곳, 트랙의 전체길이는 22km인 시스템으로 km당 총투자비는 210억원이었고, 선로 건설비는 km당 65억원으로 일반 지하철의 km당 건설비 350~400억원에 비하여 매우 저렴한 것을 알 수 있다.

표 3. 카나다 뱅쿠버 스카이트레인의 총투자비와 부문별 건설소요경비(1985년 기준)

분야 \ 소요경비	카나다 달라 (백만)	미국달라 (백만)
차량(114량)	124	89
ATC	25	18
가이드 웨이(22km)	250	180
정거장(15)	62	45
배전	32	23
유지보수 시설	14	10
엔지니어링 설계 및 관리	148	107
분기	83	60
통신 및 요금징수시설	24	17
프로젝트 관리, 행정	46	33
총 합계		582 백만달라

- 총 투자비 210억원/km,
- 선로 건설비 65억원/km
- 일반 지하철 건설비 350 ~400억원/km

5.2 일반 전기철도와 리니어모터 카의 경제성비교

그림 20은 일본 기술진이 일반 회전형모터에 의하여 구동되는 전기철도와 리니어모터로 추진되는 차량인 리니어모터 카의 경제성을 비교·검토한 자료이다. 즉 일반 전기철도는 차량제작부문이 전체경비의 49%정도, 토지매입 및 건설비가 51%정도를 차지한다. 이에 비하여 리니어모터 카는 차량제작비의 경우 전체경비의 40%정도, 토지매입 및 건설비가 30%정도이어서 전체경비가 일반 지하철건설경비의 70%정도가 되어 30%정도의 건설경비가 저감된다. 이로부터 회전형모터에 의하여 구동되는 일반 전기철도에 비하여 리니어모터로 구동되는 리니어모터 카는 건설경비가 30%이상 저감되므로 매우 저렴해져 경제성이 좋은 시스템인 것을 알 수 있다.

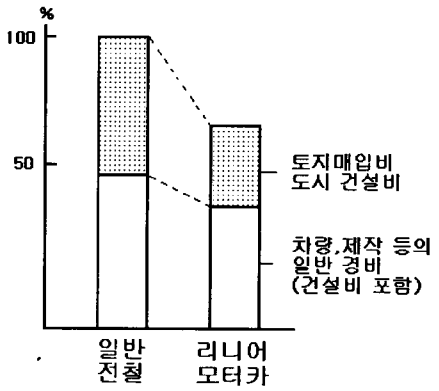
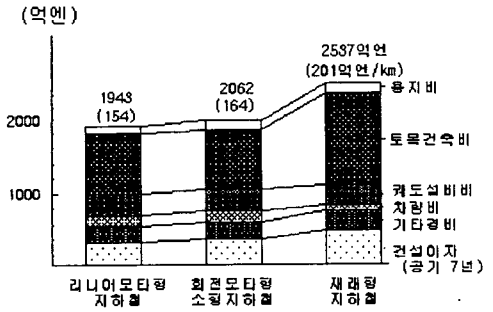
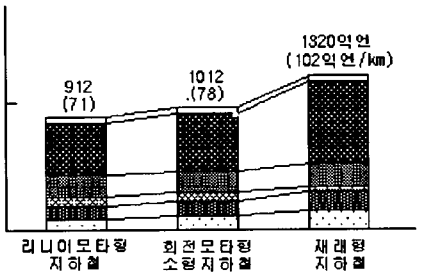


그림 20. 일반전철과 리니어모터 카의 경제성 비교

그림 21은 지하철을 건설하는 경우 분야별 소요경비를 구동시스템에 따라 분류하여 조사한 자료이다. 즉 건설비 전체를 용지매입비, 토목건축비, 궤도설비비, 차량비, 기타경비, 공사기간을 7년으로 산정할 때의 이자비등으로 세분하였고, 이를 리니어모터로 추진되는 차량, 회전모터로 구동되는 차량, 재래식 지하철에 대하여 서로 비교·검토하였다. 이때 건설경비는 토지 구입비 등에서 대도시와 중소지방도시가 다르므로 이를 나누어 각각 다루었다.



(a) 대도시 모델선(선로길이: 12.6km)



(b)지방도시 모델선(선로길이: 12.9km)

그림 21. 지역에 따른 지하철시스템의 건설분야별 소요경비

5.3 경제성을 고려한 기존도시철도, 버스와 도시용 경전철의 거리에 따른 수송용량범위

도시용 경전철은 소형경량화된 차량이므로 그림 22에서와 같이 버스와 지하철의 중간정도의 수송능력으로 거리는 20km이내가 적합하며 건설비가 저렴하다.

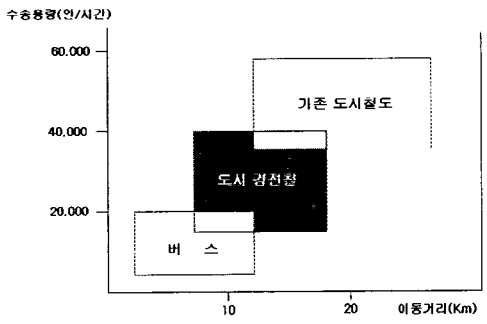


그림 22. 버스와 기존 도시철도와 비교한 경전철의 이동거리와 수송용량의 범위

6. 국내외의 개발현황 및 시스템의 주요 사항

6.1 국내 현황

1970년대부터 최근까지 리니어모터의 연구는 이론적 특성 해석분야정도의 연구 만 이루어져 왔으나, 1989년 상공부의 공업기반기술지정, 과학기술처주도의 자기부상열차 개발 등의 집중적인 연구투자가 이루어지면서, 리니어모터 관련연구가 활발하게 진행되어 현재는 연구의 Know-how가 상당한 정도까지 이루어진 것으로 볼 수 있다. 또한 최근 심각해진 대도시의 교통난을 해결하기 위한 한 방안으로 경전철의 건설계획이 검토되기 시작하면서, 그 추진장치로서 리니어모터의 응용이 활발해질 전망이다. 경전철로서의 리니어모터 카는 여러 가지 장점에 의해 매우 유망한 시스템으로 대두되고 있다. 국내에서는 1993년부터 과기처의 지원으로 한국기계연구원이 주관이 되어 경전철용 리니어모터 카의 개발을 이미 시작하여 기본적인 연구를 한 바가 있으나 상용화 정도까지는 가지 못하고 중단 된 바가 있다. 그러나 이 분야의 운전을 고려한 리니어모터의 설계, 제작, 제어등에 관해 지금까지의 Know-how를 기본으로 하여 한국형 상용화 리니어모터 카를 개발해야 할 시점에 있다.

6.2 철 차륜식 리니어모터 카 실용화 시스템 개발 현황 개요

1998년도 현재 해외에서 이미 건설되어 운행중이거나, 건설중인 대표적인 리니어모터 카 선로는 표 4에서 보여준다.

표 4. 국외의 개발 현황

캐나다	**Scarborough Rapid Transit** · 운 행 : 1985년 3월 · 운행지 : 온타리오주 토론토 Scaborough · 총길이 : 7 km · UTDC 시스템
	Vancouver Sky Train · 운 행 : 1986년 1월 · 운행지 : 뱅쿠버시 · 총길이 : 22 km · UTDC 시스템
미국	**Detroit People Mover** · 운 행 : 1987년 · 운행지 : 미시간주 디트로이트시 · 총길이 : 4.7 km · UTDC 시스템
기타	· 싱가폴 : UTDC · 대만 : UTDC · 그리스 : UTDC · 방글라데시 : Bombardi
일본	**동경의 都營 12호선** **Yamamoto Subway(Circle line)** · 운 행: 1992년 · 운행지 : 동경시 1991. 12. 10 Nerima-Hikarigaoka (3.8km) 1995. Shinjuku-Nerima (9.1km) 1997. Nishi-Shinjuku-Shinjuku loop (27.8km)
	오사카 · 운 행 : 1990년 · 운행지 : 오사카시 · 총길이 : 5.2 km 1990. 3. 20 Kyobashi-Tsurumi-yokuchi (5.2km, 5정거장, 소요시간 10분, 4차량) 1996. 봄 Shinsaibashi-Kyobashi (5.7km) 1997. 봄 Taisyo-Shinsaibashi (2.8km)
	고베 선 · 1999년 개통예정 · 운행예정지 : Shinnagata-Sannomiya · 총길이 8 km

또한 현재 카나다와 일본의 각 리니어모터카 선로의 차량 시스템을 여러 항목에 대하여 비교 분석한 것을 요약하면 부록의 표와 같다.

6.3 카나다, 미국의 개발 시스템 주요 사항

카나다의 UTDC(카나다 온타리오의 도시수송개발공사, Urban Transportation Development Corporation, Ltd)사는 1970년대부터 리니어모터를 이용한 수송시스템을 개발하기 시작하여 지금은 ALRT(Advanced Light Rapid Transit)시스템으로 상용화를 달성하여 이루고 있다. 즉 1985년에 토론토의 스카보로(Scarborough)에 건설하였고, 그 후 뱅쿠버의 스카이트레인, 디트로이트의 피플무버를 건설하여 상용화 시킨 바가 있다. 현재는 카나다의 Bombardie Inc.가 말레이지아에 선로길이 27.4km의 Kuala Lumpur's LRT시스템을 1998년 완공목표로 건설을 하고 있다.

1) 캐나다의 UTDC사가 개발하여 이미 운행중인 ALRT 시스템의 주요사항

① 개발 : UTDC

② 개발년도: 1985년 3월 영업개시

③ 소재: 카나다 온타리오주 토론토시 경량도시철도

④ 건설목적 : 토론토시를 관통하는 지하철과 토론토 교외인 인구 45만의 스카보로지구를 접속하는 선으로 7km, 정거장수 6개의 시스템이다. 이 지역은 눈이 많은 지역이므로 눈과 빙설등 날씨의 영향을 받지 않고, 자연경관을 해치지 않는다는 리니어모터 카 시스템의 특유의 장점이 특별히 고려되었다.

⑤ 총공사비 : 1.96억 카나다달라(360억엔)

⑥ 수송규모 : 편도 1시간마다 5,000-20,000명으로 중형규모

⑦ 시스템 개요:

- 중형가격, 중형능력(ICTS; Intermediate Capacity Transit System)
- 적절한 운전비로 최상급의 서비스가 가능한 시스템
- 운전의 고신뢰성을 갖는 시스템 : 매시간당 편도 5,000 ~25,000명(pphpd; passengers per hour per direction)의 승객을 운송하는 시스템에 적합하다. 공항의 순환선이나 다운타운과 같이 승객수송량이 5,000 pphpd이하가 되는 경우에는 표준길이인 12.7m의 차량을 단일차량으로 편성하여 운전할 수가 있다. 25,000pphpd 이상 밀집지역의 운송시스템인 경우는 길이16m 이상의 차량으로 6량이상의 열차로 편성운행한다. headway는 60초정도까지 가능하다.

⑧ 시스템의 주요사항

- 2량 또는 4 ~6량으로 구성된 경량차량 운전
- 경량, 소형 철제바퀴 사용
- 에너지를 절약하기 위한 회생제동과 유지보수관리가 적은 LIM추진
- 고성능 ATC
- 600VDC 전력
- 컴팩트한 철제/콘크리트 복합가이드 웨이
- 수동제어 겸용
- 간단한 신호시스템
- 단일 차량운전 가능

⑨ 차량 개요

ALRT는 설계의 유연성 때문에 크기, 운전성능, 시스템의 구성 등이 응용에 따라 가변이 될 수 있다. 아래의 조건은 표준형 차량으로 길이 12.7m, 4량연결, station headway 60초(20초동안의 정차포함), 승객수송능력은 매시간 편도인원 20,000pphpd

- 차체 : 알미늄과 글라스화이버
- LIM과 대차로 구성되어 컴퓨터에 의한 자동운전
- 차량의 길이 : 12.7m
- 폭 : 2.50m
- 높이(레일의 위로부터 지붕의 위까지 : 3.13m)
- floor 높이(레일의 위 이상) : 0.78m
- 차량중량 : 14,400kg
- 설계 수송능력 : 좌석 36, 입석 48
- 최대수송능력 : 122명(좌석 36명, 입석86명)
- 차량구조 : 알미늄 용접차체 및 표면, fiberglass end caps, 용접알미늄 전장, Honeycomb bi-metal floor
- 출입문: 한면에 2개, 폭 1.22mm, 높이 1.98m
- 추진: 차량당 2개의 LIM, 1 truck 하부에 1 LIM 취부, LIM당 325kVA
- 제동
  - 제동: 회생브레이크, 디스크브레이크(보조용), 비상브레이크
  - 서비스 브레이크: LIM회생 다이나믹 브레이크, 보조용 디스크 브레이크 추가
  - 주차 브레이크: 스프링/유압 디스크 브레이크
  - 비상용 브레이크: 스프링 디스크브레이크와 전자기 브레이크 병용
- 보기(트럭)
  - radial(steerable axles)
  - 직경 460mm의 철제바퀴
  - 철제 차축(steel axles)
  - forged alminum side frames, bolster
  - 20m이하의 최소곡선반경
- 2차 서스펜션
  - solid rubber hemisphere
  - Coupler: remote automatic coupling, decoupling(기계/전기 연결)
  - Air-Comport: 강제 공기환기/air conditioning
- 운행속도(Cruise speed): 80km/h이상
  - 평균가속: 기준경사, 0 ~50km/h인 경우1.0m/s
  - 감속: 6%내리막 경사, 80 ~0km/h이상에서 1.0m/s
  - 비상시 감속: 기준경사, 80 ~0km/h이상에서 1.28m/s
- 내부소음: 68 dB

⑩ 가이드 웨이

- 경사/지하: 두께 250mm로 콘크리트 보강
- 고가빔:Trapezoidal beam cross section, pre-cast concrete 또는 소음제동용 철/콘크리트 복합
- 빔의 폭/깊이 : 2.9m/1.4m
- 스팬 최대 길이: 표준형 빔 cross section을 사용하여 대략 45m
- 주행 레일 : 56.87 kg/m(115 lb/yd), 연속 용접, 직접 고정
  - 표준 궤간: 1.435mm
- LIM 레일 : 알미늄 캡의 폭 350mm, solid 또는 적층 back-iron
- 분기설계 : 가동 또는 고정 frog
- 분기 시간 : 약 5.5초
- 전력공급 : 600 VDC 궤도
- 집전시스템 : 차체에 부착된 paddle과 collector, 2레일(표준형), 1레일(선택사양)
- Power rail : stainless steel-faced alminum vertical plane

⑪ 열차제어

ALRT는 자동으로, 무인운전을 하도록 설계되었다. 안전과 신뢰운전은 ITT Canada Ltd 에 의하여 Standard Electric Lorenz에 의하여 공급되는 STELRAC이동블록 개념을 사용하여 컴퓨터의 다단계 시스템으로 제어된다.

- 시스템 관리센터(System Management Centre; SMC)
- 차량 제어센터(Vehicle Control Centre; VCC)
- 차량 탑재 제어(Vehicle On Board Controls; VOBC)

2) 카나다의 UTDC사가 개발한 중형급 리니어모터 카 시스템인 ICTS 주요 사항

ICTS시스템은 차량길이 12.7m, 차량중량 13.6ton, 최대등판능력 14%, 최소곡선회전반경 20m로 주요 세부사항은 표 5와 같다. 추진력 발생장치인 리니어모터는 실제 중량이 474kg으로 기계적, 전기적 세부 특성은 표 6과 같다.

표 5. ICTS 선로 시스템의 주요사항

항 목	사 양
차량의 길이	12.7m
차량의 중량	13.6 ton
전 압	DC 600V
최고속도	72 km/h
최대 등판능력	14%
최소 회전반경	20 m
소 음	측면 15m지점에서 67dB 실내 65dB
대 차	자동 steering장치 부착 궤간 1, 435 mm
제어장치	325kVA급 트랜지스터 인버터 2대
추 진	120 kW급 LIM 2대

표 6. ICTS 추지용 리니어모터의 주요사양

	기계적인 사양	전기적인 사양
1차측 (가동자)	철심칫수 1,986×216×98.6 mm 슬롯칫수 216×15.7×55 mm 질량 421(전체 638) kg 체적 42.3 L 극 간격 287 mm 매상매극당 슬롯수 4	방 식 편측식 상수 3상 극수 6 정격전류 465A 정격전압 420V
2차측 (고정자)	재질 알미늄, 철 칫수 3,000×240×12.7 mm 오버 행 40 mm	
공통 사항	공극 11 mm 지지기구 차량에 베어링으로지지 실제질량 474kg, 실제체적 50.5L	전체 공극 15.5 mm

또한 리니어모터는 기동추력 11kN, 수직력 22kN으로 세부특성은 표 7과 같다.

표 7. ICTS 추진용 리니어모터의 주요특성

항 목	주 요 특 성
최대전류	465 [A]
입력전력	70-338 [kVA]
역 율	63 [%]
주 파 수	5-60 [Hz]
동기속도	60Hz에서 20 m/s
기동추력	11 [kN]
수 직 력	22 [kN]
추력/입력	157 ~ 24 [N/kVA]
추력/질량	23 ~ 17.3 [N/kg]
추력/체적	218 ~ 162 [N/L]
추력/면적	25,641 ~19,114 [N/㎡]

3) 뱅쿠버의 스카이트레인의 주요 사항

캐나다 뱅쿠버시에 위치한 시스템으로 표 8과 같이 요약된다.

표 8. 캐나다 뱅쿠버의 스카이트레인 시스템의 주요사항

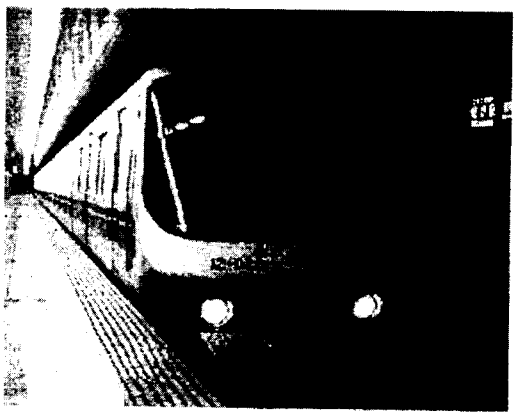
시스템	개업 년월일	1986. 1. 3
	선로길이	22 km
	정거장 수	16개, 정차시간 15초
	주행방식	철차륜 차상1차방식LIM추진, 공극 11mm
	운전방식	무인자동
	1편성 량수	2~6(장래 6량)
	운전간격	최소 2분
	수송능력(pphpd)	5,000~15,000, 장래 1분간격 30,000명 예정
차량	길이×폭×높이	12.7×2.4×3.13m
	바닥높이	0.78m
	중량	13.9ton
	정원(좌석, 입석)	75(40, 35)
	최고속도(km/h)	80
	가속도(km/h/s)	3.6
	감속도(상용/비상)	3.6/4.8
	편측 도어수	2
	기 타	차체는 알미늄합금, 차량 114량

트랙	최소곡선반경	70m
	최급구배	60(°/∞)
	가선전압 및 방법	DC600V, 제3궤조
	홈 도어	없음
	궤 간	1435mm
	기 타	리액션 플레이트 : 폭 350×길이 2.7m
참고		안전, 低cost, 짧은시간 대량수송 25m마다 위치검지장치, 건설비 250억원/km

그림 23. 카나다에서 상용화 되어 있는 리니어모터 카의 UTDC 시스템

6.4 일본에서 개발되어 운행되는 시스템의 주요 사항

1981년 4월부터 1984년 3월까지 일본철도기술협회를 중심으로 리니어모터 카에 관한 연구를 해왔다. 1985년 4월부터 3개년 계획으로 운수성이 주관하여 산. 학. 연. 관 합동으로 '지하철의 low cost화'에 관한 연구개발을 시작한 이래 1987년 3월부터 오사카에 1,885km의 시험선을 설치하여 안전성, 경제성 등의 평가시험을 실시한 바가 있다. 또한 사단법인 일본지하철협회가 '리니어모터 구동 소형지하철시스템'의 주제로 최고속도 70km/h, 길이 1,850km, 구배 6%와 4%의 선로를 오사카에 설치하여 연구를 수행한 바가 있다. 그리고 교통안전공해연구소, 일본 모노레일협회, 일본지하철협회 등과 히다치 등의 회사, 동경 교통국, 오사카 교통국 등도 시험선 및 상용화선을 설치하여 시험개발 및 상업화 운전을 하고 있는데, 오사카 7호선, 동경 12호선 등이 상용화선의 대표적인 경우이다. 기존 지하철에 비하여 리니어모터 카는 터널의 단면적을 64%정도까지 줄일 수가 있어서 전체 건설비의 70%이상을 차지하는 터널공사비를 대폭 경감시킬 수가 있다.



(a) 동경 12호선

표 9. 현재까지 일본에서 개발되어 운행중이거나 시험중인 리니어모터카 차량 시스템개요

항목 \ 리니어모터 카		LIM-1	리니어지하철	LIM트레인	오사카 7호선	동경 12호선
차 량	사양(L×W×H)	12.5×2.46×3.09	12×2.47×3.05	12×2.5×3.0	15.8×2.49×3.15	16.5×2.5×3.15
	중량(ton)	18.2	15	15	25	26.5
	정원(명)	70	64	105	90/100	88
	편성	1	2	2	2	2
리니어 모 터	출력(kW)	70×2	65×4	65×4	100×2×4	120×2×6
	정격주파수(Hz)	20	20	22	21	20
	표준공극(mm)	15	12	11	12	12
VVVF 인버터	출력용량(kVA)	650	1,330	1,240	1,640	1,450
	정격입력전압(V)	DC 750	DC 1,500	DC 750	DC 1,500	DC 1,500
	정격출력전압(V)	AC 550	AC 1,100	AC 550	AC 1,100	AC 1,100
	출력주파수(Hz)	2~45	0~50	0~40	0~50	0~40
	냉각방식	자연풍냉	강제풍냉	자연풍냉	자연풍냉	자연풍냉
시 험 기 간		1981~83	1985~87	1987~88	1988년	1988년
시 험 장 소		히다치	오사카 南港	琦玉박람회	오사카 南港	馬込검차장
시험실시 주관		철도기술협회, 히다치	운수성, 지하철 협회	모노레일 협회	오사카시 교통국	동경 교통국, 지하철 협회

(b) 오사카선

그림 24. 일본에서 개발되어 시험을 하고 있거나, 상용화된 시스템의 예

6.4.1 일본의 시험차량 개요 및 제원

1985년부터 3개년 계획으로 일본의 운수성에서 '지하철의 건설비를 저감시키기 위한 연구개발-리니어모터 구동 소형 지하철의 실용화 연구'의 일환으로 개발한 시스템으로 LIM 메트로라고 불리운다. 이 시스템에 대한 세부관련사항은 아래와 같이 요약된다. 즉

① 목적 : 차량과 지하철 턴널의 단면 최소화
② 재원 : 운수성의 운수기술연구개발비
③ 선로 길이 : 1, 850km
④ 연구의 단계 :
  1 단계 - 정부와 민간이 공동참여하는 프로젝트
  2 단계 - 민간이 연구를 주도
  3 단계 - 실용화시험차량과 실험선을 건설
⑤ 실용화 안전성평가 기관 : 1987년이래 교통안전공해연구소, 철도기술연구부
⑥ 경제성평가시험 기관 : 사단법인 일본지하철협회

차량시스템의 구체적인 개요는 표 10과 같다.

표 10. LIM 메트로 차량시스템 개요

항 목	사 양	항 목	사 양
차량 크기	길이 12.6m, 폭 2.47 m, 높이 3.05m	wheel base	1.7 m
floor 높이	레일면부터 0.7 m	최대속도	70 km/h
천정 높이	바닥부터 2.05 m	가 속 도	0.83 ㎨ (3.0 km/h/s)
전체 높이	레일면부터 3.05 m	감 속 도	0.97 ㎨(상용시), 1.25 ㎨(비상시)
트랙의 궤간	1.435 m	최소곡선반경	50 m
전기시스템 집전	1.5 kVDC, 소형 단일 arm형 팬타그래프	최급 구배	8 %
차체 중량	14.5-15.8 ton	추진모터	LIM 65 kW× 2대×2량
승객 수송능력	64 명(좌석 23-26명)	인버터 및 제어장치	VVVF인버터 1,330 kVA, AC 1,100V 입력 1.5 kVDC, 출력 0~1500V, 3상 AC 0~50 Hz, 6×4500V, 2000A GTO 사용
보기 형태	steerable bogies 2종		
바퀴 직경	520 m	제동장치	회생 브레이크 병용 전기지령식 電磁직통 브레이크 보안브레이크와 電磁흡인식 브레이크

6.4.2 히다치사가 개발한 지하철용 리니어모터 카의 사양

히다치 제작소 시스템사업부 수송 시스템부에서 제작하였으며, 인구 30-50만의 지방중핵도시의 공공교통기관 및 건설비가 저렴하고 채산성이 요구되는 곳에 적합하도록 개발되었다. 시간당 편도최대수송량은 20,000명이다. 이 시스템의 개요를 정리해 보면 표 11과 같다.

표 11. 히다치사가 개발한 지하철용 리니어모터 카의 사양

항 목		사 양	항 목	사 양
차 종		2축 보기-전동객차	대 차	Bolster부착 공기스프링식 대차
궤 간		1,067 mm	리니어모터	70 kW × 2대/량
전 기 방 식		DC 750V, 가공선식	제어 장치	PWM방식 인버터제어
중 량		18.2 t	제동 장치	전기지령식 전기-공기식협조 제동당치
정 원		70명/량	운전판장치	버튼방식
차량최대크기 (L×W×H:mm)		12,000×2,460×3.045	전동발전기	6kVA, AC 200V, 2상, 60Hz
차량성능	최고속도 가속도 감속도	70km/h 3.0 km/h/s 상용시 3.5km/h/s, 비상시 4.5km/h/s	전동공기압축장치	수평대향 4기통 2단 압축 1200l/분
			집전 장치	판타그라프

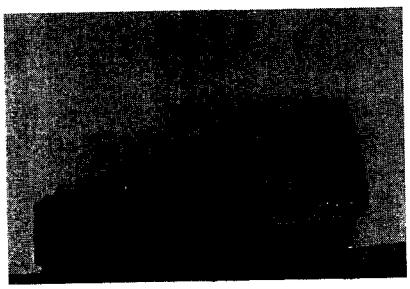


그림 25. 일본 히다치사에서 제작 · 시험한 차량

6.4.3 소형 지하철 시작기 시스템 개요 및 사양

재단법인 일본선박진흥회가 보조하고 사단법인 일본철도기술협회가 제작한 소형 지하철용 시작기의 차량 시스템의 개요, 리니어모터의 기계 및 전기적 사양 및 리니어모터의 주요 성능은 표 12~14와 같다.

표 12. 차량시스템개요

항 목	사 양	항 목	사 양
차량길이	12 m	소 음	측면 15m지점에서 67dB 실내 65dB
차량중량	18 ton		
전 압	DC 750V	대 차	자동 steering장치 부착 궤간 1, 067 mm
최고속도	70 km/h		
최대 등판능력	9%	제어 장치	650 kVA급 펄스폭변조 GTO 인버터 1 대
최소 회전반경	본선 100 m, 측선 50 m		
가 속 도	3.0 km/h/s	추 진	70 kW LIM 2대
감 속 도	3.5 km/h/s		

표 13. 리니어모터 사양

	기계적인 사양	전기적인 사양
1차측 (가동자)	철심칫수 : 2,400×230×120 ㎜ 질량 : 1,250 kg 체적 : 66.2 L 극간격 : 270 ㎜	방식 : 편측식 상수 : 3상 극수 8 정격전류/전압 : 275A/550V 권선저항 : 0.152Ω at 115℃
2차측 (고정자)	재질 : 알미늄, 철 칫수 : 2,500×300×5 ㎜ (Al) 25 ㎜ (back iron) 오버행 : 20 ㎜	
공통 사항	공극 : 15 ㎜ 지지기구 : 차량의 베어링으로 지지	전체 공극 20 mm

표 14. 리니어모터 주요특성

항 목	
최대전류	400 A
입력전력	104-381 kVA
역 율	
주 파 수	2-45 Hz
동기속도	20Hz에서 10.8 m/s
기동추력	12.8 kN
수 직 력	최대 45 kN
추력/입력	120(0m/s) - 32(16m/s) N/kVA
추력/질량	10.2 N/kg
추력/체적	193 N/L
추력/면적	22,645 N/㎡

6.5 기타 지역에서 개발되는 시스템의 주요 사항

최근 동남아시아를 비롯한 세계 각국에서 경전철 건설이 이루어지고 있다. 특히 싱가폴, 대만, 그리스, 방글라데시, 말레이시아 등에서는 카나다의 UTDC시스템이 건설되고 있다. 말레이시아에는 Vancouver, 토론토의 Scarborough지구, 미국의 Detroit의 리니어모터 카 시스템을 개발한 바가 있는 카나다의 UTDC가 설립한 Bombardier社 가 1998년 6월 개통을 목표로 turn key계약으로 27.4km의 선로를 Kuala Lumpur의 남부에 건설하고 있다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 시스템 : Kuala Lumpur LRT system 2
- 상업운전 개시 : 1998 년
- 제작설치 회사 : 카나다, Bombardier Inc.
- 선로 길이 : 27.4km(복선 20km, 터널 4.3km, 경사 3.1km)
- 선로의 특징: 경사 5.5%, 곡선반경 100mR)
- 정거장 : 24개(지상 18개, 지하 5개)
- 위 치 : Kuala Lumpur의 남부 Kelana Jaya역-북동부 PUTRA역
- 재원 : 말레지아 정부
- 수송능력 : 초기 10,000pphpd, 30,000pphpd까지 연장가능
- 차량편성 : ART MK II, 2량 1편성, 4량까지 편성가능
- 차량운전제어 :

ATC(Automatic Train Control ; 카나다 Alcatel Canada's communications-based SELTRAC moving block system),
ATS(Automatic Train Supervision),
ATP(Automatic Train Protection),
ATO(Automatic Train Operation),
VCC(Vehicle Control Centre),
SMC(System Management Centre)

- Headway : 133 ~ 266초(설계와 운전 headway의 차이를 33%로 둠)
- 속도 : 40km/h, 종점에서 종점까지 41분소요
- 차량사양 : 길이 16.85m, 폭 2.7m, 차체는 알미늄, 하부는 철, 중량 20,500kg
- LIM 사양 : 1보기에 3상, 6극, 정격 160kW 2대, 1차측길이 2230 ×670 ×250mm, 공극 9.5mm
- 전력시스템 : AC 33kV, DC750V, 정격전류 4500A, IGBT VVVF인버터
- 제동 : 회생제동, 디스크브레이크(보조), 유압제동제어장치

7. 결 론

LIM으로 추진되는 경전철 리니어모터 카를 신교통시스템으로 응용하기 위한 기본 개념과 우수성 및 경제성 등을 조사·검토하였다. 즉, 리니어모터를 적용한 경전철용 신교통 시스템의 기본 개념을 살펴보았으며, 회전형 모터를 적용한 차량과의 추진 성능을 효율화, 경량화, 소형화 측면에서 조사·검토하였다. 또한 리니어모터로 추진하는 차량의 구성과 기술 분야를 분류하였으며, 이를 토대로 리니어모터 카의 단순성, 경량화, 경제성, 저공해, 저소음, 저진동 등을 중심으로 그 주요 특징과 장점을 설명하였다.

아울러 리니어모터 카를 적용한 신교통시스템을 건설하기 위한 소요경비와 경제성을 기존 전기 철도와 비교 검토하였으며, 국내외 개발 현황으로 캐나다의 밴쿠버, 디트로

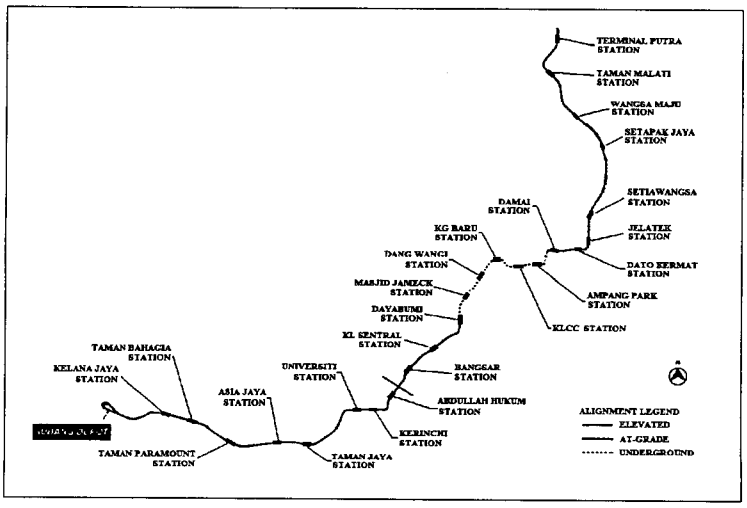


그림 26. 말레지아 콸라룸푸르의 LRT 시스템II 노선

이트, 토론토 등에서 이미 실용화시킨 바 있는 ICTS과 UTDC, 일본의 동경과 오사카 등의 리니어 메트로 시스템, 기타 지역에서 개발되고 있는 말레이시아 콸라 룸푸의 LRT 시스템 등을 소개하였다. 이로써 이 분야의 先發國家들의 노하우 습득은 물론 이를 토대로 한국형 경전철 리니어모터 카의 개발에 도움이 될 자료를 제시하였다.

참고 문헌

[1] J.F.Gieras "Linear Induction Drives" Oxford Science Publications, 1994

[2] I.Boldea, S.A.Nasar "Linear Electric Motors" Prentice Hall, 1987

[3] I.Boldea, S.A.Nasar "Linear Motion Electromagnetic Systems" Wieley Interscience, 1985

[4] "리니어모터와 그 응용" 전기학회 자기액튜에이터 조사 전문위원회편, 1992

[5] "Davy Linear Motors" Linear Motor Davys Limited Catalog

[6] "Linear Metro" Japan Subway Association brochure

[7] "21세기의 도시교통 리니어모터 구동 소형 지하철 시스템" 사단법인 일본지하철협회 소책자

[8] "리니어모터구동 지하철시스템" 사단법인 일본지하철협회 소책자

[9] "Introductory Guide" 운수성 교통안전공해연구소 책자

[10] "ALRT-Advanced Light Rapid Transit", Urban Transportation Development Corporation brochure

[11] "A UTDC Profile-An Academic paper from Queen's University", April, 1988

[12] "An Overview of the Kuala Lumpur LRT System 2", Bombardier Inc. Transportation Systems Division Report, May 15, 1997

[13] "전기철도의 최신기술에 관한 특집", 주식회사 옴사, OHM, 제72권 6호, 912호, 1985

[14] "歐美에서의 신교통시스템", 재단법인 운수경제연구센터 보고서, 1991.3

[15] "Akira Matsumoto" Research and Development of Linear Motor Driven Metro System

[16] "Japanese Railway Engineering", No. 107, 1988

[17] Akira Matsumoto, Takeshi Mizuma, Hideo Kimura "Development of a Linear Motor-Driven Metro System

[18] "Automated People Movers II", Published by the American Society of Civil Engineers

[19] Akira Matsumoto, Yasuhiro Satou, Takeshi Mizuma"A Linear Motor-Driven Mini Subway System-Urban Traffic Problems in Japan and their solutions-" WCTR Yokohama, 1989

[20] 교통안전공해연구소 연구발표회 강연개요, 16회 (1986.12.3), 17회(1988.3.18), 18회(1988.12.), 19회(1989.12.6)

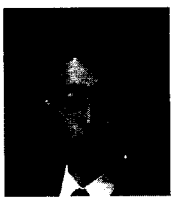
저 자 소 개

장석명(張錫明)

1949년 7월 3일생, 1976년 한양대 공대 전기공학과 졸업, 1986년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사 및 공학박사), 1989년-90년 미국 Univ. of Kentucky 방문교수, 1978년-현재 충남대 전기공학과 교수, 1990년-현재 당 학회 평의원

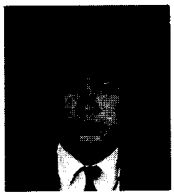
이은웅(李殷雄)

1944년 8월 14일생, 1971년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1982년-83년, 85년-86년 캐나다 McGill대학 방문교수, 1987년-현재 당 학회 평의원, 1995년 당 학회 편집위원장 및 전기기기연구회 간사장, 현재 당 학회 부회장 및 충남대학교 전기공학과 교수.



정상섭(鄭相燮)

1971년 1월 29일생, 1996년 충남대 전기공학과 졸업(공학사), 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 충남대 대학원 전기공학과 박사과정



정락교(鄭樂敎)

1964년 1월 25일생, 1991년 인하대 전기공학과 졸업, 90년-94년 한진중공업(주) 철차 사업부 근무, 1995년-현재 한국철도기술연구원, 도시철도 표준화 사업단, 신도시 철도 연구팀 연구원으로 근무 중.

목진용(睦鎭龍)

1961년 4월 10일생, 1984년 아주대 기계공학과 졸업, 83년-95년 대우중공업(주) 철도차량연구소 근무, 1995년-현재 한국철도기술연구원 근무 중, 현재 도시철도 표준화 사업단, 신도시 철도 연구시스템 팀장.

박찬일(朴贊一)

1943년 4월 4일생, 1970년 한양대학교 졸업, 현재 한국기계연구원 장비개발실 실장

〔부록〕 카나다, 일본의 리니어모터 카 선로 및 차량 시스템 비교표

구 분	Vancouber Sky Train	Scarborough Rapid Trans	Detroid People Mover	Osaka 南港 Test Vehicle	Osaka 鶴見 線地	Tyoko 都營 12호
차량칫수 -폭 -높이 -길이	 2.50m 3.13m 12.70m			 2.45m 3.05m 12.66	 2.49m 3.12m 15.20	
차량중량	14,370Kg			M1:14,700Kg M2:15,200Kg	M1:24,500Kg M2:26,500Kg	
1량당 정원 -좌석 -Design	 40석 75인석	 36석 85인석	 34석 76인석	 23/26석 64인승	 40석 100인승	
Bogie -Steering -Wheel Dia	 Steerable 457mm	 Steerable	 Steerable	 Steerable 530m	 660m	
Power Supply	600V DC 제 3궤조	600V DC 제 3궤조	600V DC 제 3궤조	1,500V DC 가공선로	1,500V DC 가공선로	
운전방식	무인 자동	무인 자동, 수동	무인 자동		ATC:Hi.Freq	ATC,ATU(Fuzzy)
LIM -출력 -제어 -Mounting	 120KW/LIM VVVF Control			 65KW/LIM VVVF Control 차축	 100kW/LIM VVVF Control Truck Frame	
노선 총연장	25.4Km , 복선	6.6Km , 복선	4.7Km, 단선	1.855Km	5.2Km, 복선	3.8Km, 복선
선로구성비 -Ground -Elevated -Tunnel	 18% 76% 6%	 60% 35% 5%	 - 100% -			
선로 구조 -Rail 간격 -Rail 구조 -Reac.Plate -Column -Beam	 1,435mm Cont.Welded 350mm×2.7m Single Col. PS Control	 1,435mm Cont.Welded V-Shape PS Control	 1,435mm Cont.Welded Single Col. PS Control	 1,435mm 2.5m/5.0m	 1,435mm	
최대 구배	6%	5.3%	3%	6%		
최소곡선반경 -Hori.Curve -Vert.Curve	 18m 300m			 50m		
속 도 -Max Design -Max Oprat. -Aver.Speed	 100Km/hr 90Km/hr 41Km/hr	 80Km/hr 32Km/hr	 50Km/hr 19Km/hr	 70Km/hr	 70Km/hr	 70Kmhr
가속도	1.0 ㎧			0.83 ㎧	0.69 ㎧	
감속도 - Normal - Emergency	 1.0 ㎧ 1.27 ㎧			 0.97 ㎧ 1.25 ㎧	 0.97 ㎧ 1.25 ㎧	
차량편성	2-6량	2량	1-2량	2량(M1,M2)	4량	6량
차량수	114	24	13		52	
Peak Hr.Cap.	25,000명	25,000명	12,000명			
정거장 수	17개	6개	13개		5개	4개
총 공사비	km당 210억원	1.96억 카나다 달러(360억엔)				
운행 개시	1986.1	1985.3 1981.10착공	1987.7	1987	1990	1991
개발 회사	UTDC*	UTDC*	UTDC*			
위 치	뱅쿠버	토론토	디트로이트	오사카	오사카	동경
국 가	캐나다	캐나다	미국	일본	일본	일본

* UTDC : Urban Transit Development Corporation