

# 경량전철계획시 고려되어야 할 특성들

이 종 호

(경기대학교 도시,교통공학전공 교수)

## 목 차

1. 서론
  2. 주요 경량전철의 특성
    - 2.1 수송용량측면
    - 2.2 비용 측면
    - 2.3 운영 측면
    - 2.4 시설 측면
    - 2.5 이용자 측면
    - 2.6 시스템선정사례(대만시)
    - 2.7 국내 적용가능 시스템
  3. 기존 국내계획의 주요 문제점 및 대처방안
    - 3.1 자원조달
    - 3.2 노선길이
    - 3.3 도입가능 시스템
  4. 결론 및 요약
- 참고문헌

## ABSTRACT

우리 나라에서 사용되고 있는 경량전철의 의미는 특정 대중교통수단을 지칭하기보다는 좀 더 폭 넓은 의미로서 기존 지하철 또는 전철과 같이 대용량보다는 적으나, 도시버스나 직행버스와 같이 기존의 우리 나라에서 흔히 볼 수 있는 교통수단보다 용량이 큰 대중교통수단을 의미한다.

본 글에서는 각종 경량전철시스템들의 국내 적용시 고려되어야 할 측면들을 분석한다. 수송용량, 비용, 운영, 시설, 이용자 측면에서 경량전철의 국내 적용가능성을 검토해 보고 현재 우리 나라에서 추진되고 있는 경량전철계획 중 주요 문제점과 대처방안을 논한다.

현재 정부의 자원조달방안으로는 경량전철사업의 추진은 매우 어려울 것으로 보인다. 이들 타개하기 위해서는 먼저 중앙정부의 과감한 보조가 선행되어야 한다. 선진국과 같이 초기투자비에서 자기자본비율을 줄일 수 있도록 중앙정부와 해당지방자치단체에서 총 공사비의 최소 50% 이상을 지원하여야 한다.

외국에서의 운영사례와 시스템 평가경험에서 보더라도 기존 외국에서 운행되고 있는 대부분의 경량전철시스템들이 국내에서 요구하는 수송용량 등의 기본 요구사항을 만족할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 시스템의 선정은 시스템의 가격, 유지보수시의 국내기술적용 정도 및 국산화 등 협상시의 계약조건이 시스템의 결정에 중요한 요인이 될 것으로 보인다.

1. 서론

지난 수년에 걸쳐 대도시 및 중소도시의 지하철 그리고 위성 또는 신도시에서 대도시의 지하철과 연계하는 교통수단으로서 경량전철 도입의 타당성 연구가 실시되어왔다. 경량전철이라는 용어는 기존 우리나라 대도시의 지하철, 전철 등의 중량(重量)전철에 반대되는 가벼운 전철의 의미로 우리나라에서 만 사용되고 있다. 영어로 직역하자면 light rail transit이 되어 구미에서 운행되고 있는 노면전차(light rail transit: LRT)와 혼동되기도 한다.

우리나라에서 사용되고 있는 경량전철의 의미는 특정 대중교통수단을 의미하기보다는 좀 더 폭넓은 의미로 기존 지하철, 전철과 같이 대용량은 아니며, 도시버스타나 급행버스와 같이 기존에 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 교통수단보다 용량이 큰 대중교통수단을 의미한다. 즉, 경량전철은 기존 지하철과 버스용량의 중간 크기의 용량을 지닌 교통수단으로 외국에서는 운행 또는 개발되고 있지만, 우리나라에는 아직 도입이 되지 않은 대중교통수단을 의미한다고 볼 수 있다.

따라서 경량전철의 범위는 현재 외국 여러 나라에서 성공적으로 운행되고 있는 시스템은 물론 제안되어 개발중인 시스템들도 포함한다. 또한 도시지역에서 적용할 수 있는 시스템뿐 아니라 공항 또는 위락시설 등의 특수한 지역 내에서 운행 가능한 시스템들도 포함된다.

대중교통수단의 분류기준으로 경량전철을 구분한다면 운행방식으로는 일부분리운행방식과 완전분리 운행방식의 수단들이며, 지지방식으로는 철재바퀴 또는 고무바퀴로 운행되는 수단들이다. 또한, 구동방식으로는 버스와 같이 내연기관이 아닌 좀 더 발전된 기술을 적용한 수단들과 특수기술을 적용한 수단들이다.<sup>1)</sup>

따라서 경량전철은 노면전차(light rail transit: LRT), 무인대중교통수단(automated people mover: APM), 모노레일, 케도버스, 개인대중교통수단(personal rapid transit: PRT) 그리고 저속 자기부상열차를 포함한다.

본 글에서는 각종 경량전철 시스템들의 국내 적용시 고려되어야 할 측면들을 분석해 보기로 한다. 즉, 수송용량, 비용, 운영, 시설, 이용자 측면에서 경량전철의 국내 적용가능성을 검토해 보고 현재 우리나라에서 추진되고 있는 경량전철계획 중 문제점과 대처방안을 논한다.

2. 경량전철의 주요 특성

2.1 수송용량측면

시스템선정시 가장 먼저 고려되어야 할 사항은 대상 시스템의 수송용량이 예측된 승객 수요를 무리 없이 감당할 수 있는지의 여부이다.

아래 표는 현재 외국에서 운행되고 있는 기존 경량전철 시스템별 수송용량의 범위를 보여 주고 있는데 각 시스템별로 그 범위가 매우 다양하다. 이는 같은 시스템이라 할지라도 운행하고 있는 열차당 차량의 수, 배차간격 등에 의하여 용량이 결정되기 때문이다.

<표 1> 기존 경량전철의 수송용량

	용량(인/시간당 방향당)
공항APM	1,500 - 12,000
위락지역 및 주요시설지역APM	5,000 - 20,000
도심APM	5,000 - 37,000
모노레일(일본)	8,000 - 18,000
LRT	6,000 - 20,000
RRT(지하철 또는 전철)	40,000 - 60,000

주) 실제 운영시스템들의 수송용량범위

공항APM의 경우 시간당 방향당 1,500명~12,000명이며 위락시설의 경우도 이와 비슷한 반면, 도심 APM의 경우는 노선의 길이와 그 역할이 주간선 또는 지선인가에 따라 용량이 현저하게 차이가

난다. 도시내 주 간선대중교통수단의 역할을 할 경우는 평균 시간당 방향당 30,000명 이상 37,000명이며 지선 또는 연계 교통역할을 할 경우는 시간당 방향당 5,000명에서 20,000명으로 그 범위가 매우 넓다.

도심APM의 용량은 서울시의 지하철 또는 전철 용량의 평균 50% 정도이며 LRT는 약 30% (지상구간 운행포함)정도이다. 일본의 모노레일의 수송용량범위는 시간당 방향당 8,000명에서 18,000명으로 이는 LRT의 수송능력과 유사하다.

다음은 수송용량을 기준으로 국내 도시지역과 공항지역에 적용 가능한 대표적인 시스템들을 제시해 본다. 먼저 공항에서 공항 APM으로 적용할 수 있는 시스템은 다음 표와 같다. 차량 정원은 차량당 13명에서 100명으로 매우 다양하다. 최소 배차간격도 무인자동으로 운행됨으로 21초에서 60초로 짧다. 수송용량은 시간.방향당 약5,000명에서 12,000명의 범위이다.

<표 2> 국내 공항에 적용가능 APM

시스템제작사	수송용량	차량정원(량당)	최소 배차 간격	현재 운행지역
Soule	4,959인/시간.방향	29명 <sup>1</sup>	21초	파리 드골공항
AEG(종류1)	12,000인/시간.방향	100명 <sup>2</sup>	60초	덴버 공항
AEG(종류2)	5,460인/시간.방향	13명 <sup>3</sup>	60초	뉴약 공항

주) 1 열차당 1량 편성, 2 열차당 2량 편성, 3 열차당 7량 편성

다음은 우리나라 도시지역, 즉, 도시간선 또는 개발지 연계교통수단으로서 적용할 수 있는 경량전철로서는 도심APM, LRT 그리고 모노레일(일본)을 들 수 있다. 도심APM의 국내 적용가능 시스템은 공항APM보다 그 종류가 더 다양하다. 종류는 아래 표와 같은데 수송용량은 한 열차가 2개 또는 4개 차량으로 구성된 것으로 가정할 때 수송용량은 시간당 방향당 12,000명에서 18,000명으로 추정된다. 물론 배차시간을 고정하고 열차당 차량편성수를 2배 늘리면 수송용량은 2배(36,000명/시간.방향) 증가시킬 수 있다. 그러나 차량구입이 더 필요하고 정차장의 길이 및 역사환승시설의 크기가 증가됨으로 공사비가 더 늘어난다.

또한 도시지역에 LRT의 적용도 가능한데 아래 표에서와 같이 수송용량은 노선의 모든 구간을 고가나 지하로 할 때, 수송용량은 시간.방향당 11,000명에서 14,000명정도의 수준이다. 모노레일을 도시지역에 적용할 시 시간.방향당 수송수요 최대 13,000명을 감당할 수 있을 것으로 판단된다. 케도버스 또한 도시지역에서 적용이 가능하다. 케도버스의 차량정원은 200명으로 1개 열차당 평균 4량으로 편성되며 최소 배차간격은 3분으로 수송용량은 시간.방향당 16,000명 정도이다.

<표 3> 국내 도시지역에 적용가능 APM

시스템제작사	수송용량(시간.방향당)	차량정원(량당)	최소 배차 간격	현재 운행지역
VAL, MATRA	17,280인	72인 <sup>1</sup>	60초	대만, 릴리(프랑스)
UTDC	18,000인	75인 <sup>1</sup>	90초	밴쿠버(캐나다), 토론토(캐나다)
GEC	12,600인	210인 <sup>2</sup>	120초	런던(영국)
AEG	12,000인	100인 <sup>2</sup>	60초	마이애미(미국)
가와사키(新交通)	18,000인	75인 <sup>3</sup>	90초	고베(일본)
니가타(新交通)	11,760인	72-75인 <sup>1</sup>	90초	오사카(일본)
미쓰비시(新交通)	11,440인	43-50인 <sup>3</sup>	90초	히로시마(일본)

주) 1 열차당 4량 편성, 2 열차당 2량 편성, 3 열차당 6량 편성

1 상세한 경량전철의 정의와 종류 및 특징에 관해서는 참고문헌(3)을 참고하기 바란다.

<표 4> 국내 도시지역에 적용가능 LRT

시스템제작사	수송용량 (시간·방 향당)	차량정원 (량당)	최소배차 간격 <sup>3</sup>	현재 운행지역
ABB	12,528인	174인 <sup>1</sup>	150초	볼티모어(미국)
니폰-샤로 (일본)	11,520인	160인 <sup>1</sup>	150초	L.A.(미국)
Siemens	13,824인	144인 <sup>2</sup>	150초	샌디에고(미국)
Bombardier	11,520인	160인 <sup>1</sup>	150초	포틀란트(미국)

주) 1 열차당 3량 편성, 2 열차당 4량 편성, 3 전 구간 고가 또는 지하선로로 가정

<표 5> 국내 도시지역에 적용가능 모노레일

시스템제작사	수송용량	차량정원(량당)	최소배차간격	현재운행지역
미쓰비시	11,880인	129-138인 <sup>1</sup>	120초	지바(일본)
가와사키	11,820인	94-103인 <sup>2</sup>	120초	오사카(일본)

주) 1 열차당 3량 편성, 2 열차당 4량 편성

## 2.2 비용 측면

비용은 교통시스템을 도입 검토할 때 항상 추정, 비교되는 중요한 척도 중 하나이다. 경량전철의 국내 도입 가능성을 검토하게 된 주된 원인 중 하나가 기존 지하철보다 공사비가 저렴하다는 점이다. 본 절에서는 경량전철 시스템들의 공사비와 운영비를 상호 비교해 보기로 한다. 단, 여기서 제시된 가격들은 절대값으로서 우리나라에 적용할 수 없다. 단지 시스템끼리의 상대적인 비교에 국한하여 사용되어야 한다.

### 가. 공사비

다음 표는 미국 교통부(DOT) 산하 대중교통부(FTA)의 보고서에서 인용한 자료로서 지하철과 같은 고속대중교통수단(RRT), LRT, 도심APM, 공항APM의 공사비를 상호비교한 자료이다. 그러나 이 자료는 외국의 실제 소요된 공사비이기 때문에 이 자료를 우리나라에 그대로 적용할 수는 없다. 특히 토지보상비, 인건비 등은 각 국가별로 상이하기 때문에 이들 자료를 우리나라에 적용시 오차가 매우 클 것으로 판단되기 때문에 주의를 요한다. 단지, 이 자료에서 얻을 수 있는 유의한 정보는 공사비의 시스템 상호간 비교이다.

<표 6> 공사비 비교

	노선 Km당 공사비(백만\$U.S 1994년 기준)		
	최소	평균	최대
RRT	52.7	96.2	140
LRT	12.1	42.3	93.0
도심APM	39.4	54.3	69.3
공항APM	23.2	62.5	112.9

주) RRT: 수도권역의 지하철, 전철 등 고속대중교통수단

위 표에서 도심APM 중 가장 비싼 시스템은 미국 플로리다주의 메트로모버(Metromover)이며, 가장 저렴한 시스템은 캐나다 밴쿠버의 스카이트레인(SkyTrain)이다. 또한 공항APM 중 가장 비싼 시스템은 미국 뉴저지주의 뉴악(Newark)국제공항의 APM이며, 가장 싼 시스템은 파리 드골공항의 APM으로 조사되었다.

위 표에서와 같이 평균 Km당 공사비를 비교해 보면 지하철 등의 RRT가 가장 높으며, 다음은 무인 자동으로 운영되는 공항 APM의 공사비가 높은 것으로 조사되었다. 공사비의 범위도 공항 APM이 도심APM보다 훨씬 넓다.

한편 지상을 타 교통수단과 같이 운행할 수 있는 LRT의 평균 공사비가 가장 낮으나 선로의 하부구조가 노면, 고가, 지하 등 다양하기 때문에 그 범위 역시 매우 넓다.

LRT의 평균 공사비는 RRT의 약 44%에 해당하며 도심APM은

RRT의 56%, 공항APM은 RRT의 65% 정도 소요되는 것으로 조사되었다.

좀 더 상세히 시스템간의 공사비를 미국 사례를 이용하여 비교해 보기로 한다. 먼저 미국의 RRT의 공사비는 다음 표와 같은데 선로에서 지하구간이 차지하는 정도에 따라 차이가 많이 나는데 전례는 마일당 약 \$63백만불(1988년 가격)에서 많게는 약 169백만 불 정도이다. 이들 시스템은 우리나라의 지하철과 같이 수동운행이 아닌 자동운행(ATC, ATO)이다. 차량가격은 1량당 1,360천불(1989년 가격)으로 조사되었다.

<표 7> 미국 주요 RRT의 공사비

(단위: 1988년 가격)

도시	노선길이 (km)	지하구 간(%)	역수	총공사비 (백만불)	km당 공사비 (1000불)
아틀란타	43.1	42	26	2,720	63,110
볼티모어	12.2	56	9	1,289	105,660
마이애미	33.8	0	20	1,341	39,670
워싱턴 D.C	97.3	57	57	7,968	81,890

또한 미국의 주요 LRT의 공사비는 다음 표와 같은데 RRT의 평균 20% 수준이다. 반면, 차량의 가격은 RRT보다 약간 비싼 편인데, 평균 1량당 1,540천불(1991년 가격)으로 조사되었다. RRT가 LRT에 비해 비싼 주 원인은 RRT의 지하철로와 지하역사 건설에 소요되는 공사비가 매우 크며 RRT의 전체 공사비의 평균 60% 이상을 차지한다. 반면, 노선의 대부분 구간을 지상을 이용하는 LRT는 선로와 역사에 소요되는 공사비가 적으며 전체 공사비 중 차지하는 비율도 평균 36% 정도이다.

<표 8> 주요 LRT의 공사비

(단위: 1000불 1990년 가격)

	포틀란트	세크라	산호세	피츠버	로스엔젤레	평균
	드	멘토		그	스	
km당 공사비	11,551	6,388	10,457	9,438	22,722	12,110

주요 공항APM의 공사비는 아래 표와 같다. LRT보다는 평균 2배 정도의 공사비가 더 소요된다. 차량당 가격은 RRT 및 LRT와 유사한 것 같으나 차량 정원(30-40명/량)으로 비교하면 상당히 비싸다.

<표 9> 주요 미국 공항APM의 공사비

(단위: 1000불 1990년 가격)

	아틀란타	덴버	올란도
km당 공사비	26,957	26,958	16,159
차량당 가격	1,087	1,619	937

주요 도심APM의 공사비는 다음 표와 같은데 경우에 따라 공항 APM보다 비싼 경우도 있으며 싼 시스템도 있다. 차량가격은 1,300천불에서 3,020천불로 공항APM 보다 비싼데 이는 차량 정원 이 공항APM의 평균 2배가 넘기 때문인 것으로 보인다.

<표 10> 주요 미국 도심APM의 공사비

(단위: 1000불, 1990년)

	디트로이트	잭슨빌
km당 공사비	49,585	13,926

다음 표는 일본의 경량전철들의 공사비를 비교한 것이다. 물론, 미국 경량전철의 공사비와 직접 비교는 곤란하다. 일본의 모노레일은 km당 평균 60억-80억엔이며 도심APM(新交通)은 60억에서 68억엔으로 新交通의 km당 공사비가 약간 저렴한 것으로 조사되었다.

<표 11> 일본의 주요 모노레일 및 도심APM(新交通)의 공사비비교

(단위: 억엔, 82년 현재 가격)

	모노레일			도심APM(新交通)		
	북큐슈	오사카	지바	고베	오사카	요코하마
km당 공사비	80	60	80	68	61	60

나. 운영비의 비교

미국의 지하철 또는 전철 즉 중량전철(RRT)의 운영비와 LRT의 운영비를 비교해 보면 아래 표와 같다. 차량.마일당 운영비를 비교할 때 LRT의 운영비가 RRT보다 더 많이 소요되는 것으로 조사되었으며 차량.시간당 운영비는 RRT가 약간 높은 것으로 나타났다. 이 자료는 경량전철 중 무인자동운행이 아닌 LRT 시스템의 운영비가 RRT에 비해 적지 않다는 사실을 입증해 주고 있다. 이는 RRT는 LRT에 비해 상대적으로 장거리 운행이며 차량당 인건비가 적게 소요되는 특성이 반영된 것으로 보인다.

<표 12> 미국의 LRT와 RRT의 운영비 비교 (단위: 1990년 가격)

	RRT			LRT		
	평균	최소	최대	평균	최소	최대
차량.km당 운영비	\$4.06	\$2.06	\$6.42	\$5.79	\$2.07	\$11.60
차량.시간당 운영비	\$152	\$56	\$272	\$125	\$30	\$262

다음 표는 공항 APM의 1990년 현재 가격으로 차량.마일당, 차량.시간당, 운영비를 비교한 자료이다. 노선의 길이, 인력 등 다양한 변수로 인해 시스템마다 편차가 매우 심하다. 차량.km당의 경우 적게는 \$0.84에서 많게는 \$3.49이며, 차량.시간당 운영비는 \$16.73에서 \$73.74이다. RRT 및 LRT의 운영비와 비교해 보면 차량.마일당 운영비와 차량.시간당 운영비 모두 RRT와 LRT의 최소치와 유사한 것으로 보아 훨씬 저렴한 것으로 추정된다. 이는 공항APM이 모두 무인자동으로 운행되고 있기 때문에 인건비의 절감이 주 원인인 것으로 보인다.

<표 13> 미국 주요 공항APM의 운영비 (단위: 1990년 가격)

공항	차량.km당 운영비	차량.시간당 운영비
달라스/포트워스	\$1.50	\$24.23
덴버	\$3.49	\$61.71
라스베가스 맥카렌	\$2.70	\$73.74
마이애미	\$1.77	\$28.52
뉴악	\$0.84	\$18.24
시애틀/타코마	\$1.16	\$16.73
담파	\$2.02	\$29.22
올란드	\$2.49	\$35.89
평균	\$2.00	\$36.03

출처) Characteristics of Urban Transportation Systems, 교통부, 미국

한편 아래 표에서와 같이 도심APM의 운영비는 공항APM보다 월등히 높지만 디트로이트의 도심APM의 경우 차량.km당 \$13.23이며 차량.시간당 \$255.53이며 미국 플로리다주 잭슨빌의 경우 차량.km당 \$4.13이며 차량.시간당 \$106.18로 조사되었다. 공항APM과 RRT, LRT의 운영비와 비교해 볼 때 미국에서 운행되고 있는 도심APM은 평균적으로 운영비가 많이 소요되는 시스템을 알 수 있다.

<표 14> 미국 도심APM의 운영비 (단위: 1990년 가격)

도시	차량.km당 운영비	차량.시간당 운영비
디트로이트	\$13.23	\$255.53
잭슨빌, 플로리다	\$4.13	\$106.18
라스칼리나스, 텍사스	\$10.09	\$292.17
평균	\$9.15	\$217.96

출처) Characteristics of Urban Transportation Systems, 교통부, 미국

다음 표는 일본의 RRT와 경량전철의 운영비를 비교한 자료이다. 일본의 경우 지하철 또는 전철인 RRT의 운영비가 경량전철보다 많이 소요되고 있다. 미국과 달리 경량전철 중에서는 무인자동으로 운행되고 있는 新交通의 운영비가 가장 저렴하며 모노레일의 운영비는 LRT보다 약간 더 소요되는 것으로 조사되었다.

<표 15> 일본 RRT와 경량전철 운영비 비교 (단위: 엔, 1992년 현재 가격)

	RRT <sup>1</sup>			모노레일 <sup>2</sup>			도심APM <sup>3</sup> (新交通)			LRT <sup>4</sup>		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
km당 운영비	1,082	2,231	1,514	1,046	2,182	1,278	440	987	740	706	2,133	1,164

- 주) 1 동경, 교토, 오사카 등 10개 시스템의 운영비 참고
- 2 동경, 지바 등 5개 시스템의 운영비 참고
- 3 오사카, 고베 등 6개 시스템의 운영비 참고
- 4 동경, 히로시마 등 6개 시스템의 운영비 참고

2.3 운영 측면

가. 무인운행과 유인운행

경량전철의 국내 적용가능성 검토시 논란이 되는 주제 중의 하나가 운영방식이다. 즉, 무인운행 또는 유인운행의 결정이다.

무인운행은 운전자가 없이 차량이 운행되는 경우와 승무원이 탑승을 하지만 차량은 자동으로 운행되고 승무원은 승객의 안전사고를 방지하기 주 임무인 경우(예, 토론토의 스카이라이너)로 구분할 수 있다. 동시에 역무시설도 무인으로 관리되는 경우가 있는데, 표개찰은 물론 역내의 안전을 위한 감시 등 모두 무인으로 중앙통제소에서 감시 카메라 또는 감지시설로 운영을 한다.

우리나라의 지하철 또는 전철의 운영은 유인운행이다. 물론 지하철 2기 지하철은 ATC(automatic train control)의 장치로 자동운행이 가능하나, 역무시설이 자동화되어 있지 않기 때문에 진정한 의미에서 무인운행이라고 보기에는 어렵다.

나. 무인운행의 조건

무인운행이 가능하려면 당연히 타 교통수단이나 보행자와 같이 도로를 같이 사용할 수(mixed traffic)없게 된다. 즉, 선로의 하부구조가 모두 고가 또는 지하화되어야 한다.

특히 APM의 경우 차량의 전력공급이 가공선이 아닌 주로 제3레도이기 때문에 승객이 선로에 추락할 시 감전의 위험이 매우 높다. 따라서 정차장의 플랫폼의 설계시 선로에 승객이 접근할 수 없도록 선로로의 접근을 완전히 차단하는 경우가 많다. 열차가 도착하면 차량의 문과 같이 차단문이 열리고 닫히게 되어 있다.

또한 선진국의 지하철 또는 경량전철을 타고 내릴시 표개찰 시설이나 표검사자가 없는 경우를 볼 수 있다. 이런 운영은 인건비를 절감할 수가 있으나, 이용시민의 질서외식의 성숙이 선결되어야 한다.

다. 무인운행의 국내 적용

아직 국내에는 무인운행을 하는 대중교통수단은 없다. 위탁시설 내 놀이기구의 경우 사례가 있기도 하나 역무시설은 무인운영이 아니다. 가장 유사한 경우는 건물의 엘리베이터 또는 공항내의 움직이는 보도(moving walkway)라고 할 수 있다. 무인운행은 이용 시민의 질서위식의 성숙이 전제되어야 함은 물론 차내와 역사내의 각종 범죄와 안전사고를 방지할 수 있는 역무안전시설의 설치가 선결되어야 한다.

선로는 고가나 지하로 타 교통시설과 완전분리가 되어야 하며 플랫폼도 선로와 차단하여 승객이 선로에 접근이 불가능하도록 열차도착시에만 문이 개폐되도록 한다. 전기는 가공선이 아닌 제3궤도 등으로 공급되어야 한다. 이때 지하선로의 경우 터널의 단면이 작아져 공사비의 절감을 기대할 수 있다.

외국의 최근에 건설된 국제공항내의 공항APM은 완전무인운행의 대표적인 사례들이다. 공항APM은 비행기에서 한꺼번에 도착하는 대량의 승객을 보행으로(특히 노약자) 이동하기에는 어려운 터미널(예, 국제터미널)에서 터미널(예, 국내터미널)간을 편리하게 수송해 준다. 우리나라의 계획중인 영종도의 신국제공항과 같이 대형국제공항에서는 이와 같은 시설이 필요할 것으로 판단된다.

도시내의 무인자동운행방식도 고려 될 수 있는데 공항과 같이 폐쇄된 공간에서 특정계층을 대상으로 하는 무인자동운행과는 달리, 완전히 일반대중에게 노출된다. 첨두시에 수요가 많은(예, 서울시 지하철과 같은 경우) 경우 무인자동운행으로는 물리는 승객들을 통제하기가 쉽지 않으며, 안전사고의 확률이 매우 높을 것으로 판단된다. 따라서 무인자동운행의 채택 여부는 첨두시의 수요와 동시에 시민의 질서위식수준이 중요한 변수로 고려되어야 한다.

물론 무인자동운행은 인건비의 절감이 큰 이점인 반면, 무인운행을 위해서 필요한 첨단전자, 통신장비가 추가되는데, 국내장비가 아닐 경우는 운행시 유지관리보수비용이 유인운행에 비하여 더 높을 수도 있다.

선진국에서는 위탁시설, 호텔, 리조트 등지의 주요활동센터에 무인자동운행 APM 도입의 경우는 있으나, 도시내의 경우 수요가 상대적으로 적은 구간에서만 무인자동운행이 채택되고 있으며 그 사례는 매우 적다.

그러나 무인자동운행은 종종 비현실적이라는 반대의견이 많으나 공항 및 위탁시설에서는 매우 유용함이 증명되고있다. 이는 높은 운영비없이도 짧은 배차간격에 의한 서비스가 가능하며, 유인운행한 대의 다량 편성열차와 같은 비용으로 무인 2-3대의 열차를 운행할 수 있기 때문이다. 또한 첨두시와 비첨두시의 수요의 변화에 따라 신속한 열차 길이의 가감 등 매우 탄력적으로 운행할 수 있다는 장점이 있다.

#### 2.4 시설 측면

외국의 경량전철 중 APM, LRT, 그리고 일본의 모노레일의 사례에서 주요 시설별로 비교분석한 결과는 다음 표와 같다.

<표 16> 주요 시설의 비교

	평균노선연장(Km)	평균역간거리(Km)	평균역수(개)
공항APM	1.9	0.45	4.2
위락지역APM	2.14	1.17	2
주요활동지역APM	2.14	0.69	3
도심APM	7.8	0.76	10.3
LRT	26.8	0.4	67
모노레일(일본)	11.9	-	-

#### 가. 노선길이

공항APM의 평균 노선길이는 1.9Km이며 위락지역의 APM의 평균 노선길이는 2.3Km, 그리고 주요활동지역의 APM의 노선 길이는 2.14Km로 위락지역의 APM과 유사하다. 도심APM의 평균 노선길이는 7.8Km로 타 APM보다 길지만 최소 1.1Km(미국 폴로리다주의 잭슨빌)에서 최대 21.4Km(캐나다 밴쿠버시)로 편차가

심하다.

특히 노선길이가 평균 7.8Km로, 상대적으로 단거리 노선을 가진 도심APM은 도시의 간선 대중교통수단이라기 보다는 지선의 역할을 하고 있음을 시사해 주고 있다.

한편 LRT의 평균 노선연장은 APM보다 3배가 넘는 26.8Km이며 일본의 모노레일은 11.9Km로 APM의 1.5배정도이다. 노선연장 측면에서 보면 현재 우리나라에서 추진하고 있는 경량전철계획의 노선연장(경우에 따라서 20km이상)은 시스템을 APM으로 가정할 시 상당히 장거리 APM에 속한다.

#### 나. 역간거리

평균 역간거리는 0.4Km에서 1.17Km이며 도심APM은 평균 0.76Km로 일반 지하철역간 거리보다 짧다. 역간거리가 짧은 사실에서도 도심APM은 주로 지선으로서 최초 출발지와 최종 목적지에서 승객의 집분산기능을 하고 있음을 알 수 있다. 또한 가.감속이 RRT보다 빠르기 때문에 역간거리가 짧아도 출발 후 곧 정상 운행속도에 도달할 수 있으며 또한 짧은 시간에 정지할 수 있다.

#### 다. 개통연도

외국 APM들의 개통연도를 비교하여 보면 다음 표와 같은데 공항APM은 90년대에 들어와서 건설이 많이 되었으며, 위락지역 APM은 이미 60대말에 캘리포니아 디즈니랜드에서 최초로 설치된 후 주로 70-80년대에 운행되기 시작하였기 때문에 이미 시스템들이 노후화되었다. 주요활동지역의 APM은 80년대 그리고 도심 APM은 80년대에 주로 개통이 되어 공항APM이 상대적으로 최근에 개통된 시스템들이다.

<표 17> 외국 경량전철의 개통연도 비교(지역수)

	공항APM	위락지역 APM	주요활동 지역 APM	도심APM	LRT	모노레일(일본)
개	70년대: 4군데	60년대:3 70년대:9	70년대:14 80년대:13	80년대:14 90년대:8	90년대이후 개통:7군데	60년대:1 70년대:1
통	80년대:10 90년대:11	80년대:6 90년대:2	90년대:6		*미국의 39지역 100만 광역도시중 20군데에서 운행 또는 공사 중임.	80년대:2 90년대:2
연						
도						

LRT는 최근 미국의 100만이상 대도시권역 중 50%이상의 지역에서 이미 개통하였거나 공사 중으로 미국에서 타 경량전철보다 선호되고 있는 시스템이다. 일본의 모노레일도 이미 60년대 초에 동경의 하네다선을 개통으로 90년대는 2곳에서 신설되었다.

#### 라. 주요 시스템제작사

한편, 시스템제작사별로 경량전철을 분류하여 보면 다음과 표와 같다. 많은 공항APM과 위락지역APM이 AEG Westinghouse와 Bombardier에 의해 제작이되었다. 도심APM의 시스템 제작사는 Bombardier와 Matra 그리고 Kawasaki인 것으로 조사되었다. LRT의 주요 제작회사로서는 Siemens, Bombardier (UTDC합병), St. Louis 그리고 Kawasaki 등이다.

<표 18> 경량전철의 주요 시스템제작사

	공항APM	위락지역 APM	주요활동 지역 APM	도심APM	LRT
시스템 제작사	AEG W.:13 Matra:2 Otis:2 TGI Bom.:2	AEG W.:2 AEG VR:2 UMI(Bom.):1 0	VSL:6 Otis:4 AEG W.:2 AEG VR:2	UTDC(Bom.):3 Matra:5 Kawasaki:3	Siemens:7 UTDC(Bo m.):3 St.Louis:3 Kawasaki :2

주) AEG W.: AEG Westinghouse  
Bom.: Bombardier  
AEG VR: AEG Von Roll

#### 마. 선로하부구조

경량전철의 선로하부구조는 노면(지상), 고가, 지하로 구분할 수 있으나 시스템에 따라 특정하부구조가 아니면 운행이 불가능한 시스템들도 있다. 무인 자동APM의 선로는 도로의 타 교통수단과의 완전 분리를 요구하기 때문에 지하 또는 고가하부구조로 설계된다. LRT와 같이 지상, 고가, 지하하부구조가 다 가능한 시스템은 도시의 특성, 노선대의 주변 환경에 따라 하부구조를 선택할 수 있어 그 형태가 매우 다양하다. 아래 표는 미국 22개 LRT 사례에서 노선 연장 중 지상, 고가, 지하부분이 차지하는 비율을 보여 주고 있다. 고가부분이 전체의 15%를 차지하며 지하구간은 8% 그리고 지상 중 타교통수단과 같이 통행할 수 있는 구간은 23%에 해당한다.

<표 19> LRT의 선로하부구조의 구성

		노선 중 평균 차지하는 구간(%)
선로하부 구조의 구성	지하	8
	고가	15
	지상(전용선로, 평면교차)	37
	지상(도로중앙전용선로, 평면교차)	14
	지상(도로면전용선로, 평면교차)	3
	지상(타교통수단과 같이 통행)	23

주) 미국 22개 LRT의 평균 선로하부구조의 구성

현재 경량전철의 주 선로하부구조는 고가이다. 특히, 무인자동 APM의 선로하부구조는 폭이 좁고 크기가 작기 때문에 도심의 미관에 큰 저해를 미치지 않는 것으로 평가되고 있다. 또한 일본의 모노레일 중 현수식 모노레일의 하부구조 또한 고가로 철재를 사용하며 시공이 조립식이기 때문에 시공기간이 짧은 것으로 알려져 있다.

경량전철의 차량의 회전반경은 일반 지하철보다 짧기 때문에 노선계획의 유연성이 크다. 따라서 도로를 따라 노선설계가 가능하며 급커브의 구간에서도 무난하게 회전할 수 있기 때문에 도로쪽에 여유가 있으면 도로중앙부분을 따라 고가선로를 시공할 수 있다. 이로써 토지구매의 절감을 기대할 수 있다. 물론 역은 도로의 중앙위에 입지하게 된다.

우리나라에서는 LRT의 지상운행은, 특히 대도시에서는 민원 등으로 아직 현실적인 대안이 되지 못할 것으로 보인다. 따라서 우리나라에서 경량전철의 선로는 주로 고가를 채택하게 될 것으로 판단이 되는데, 대부분 도로의 중앙부분이나 도로변을 이용하게 될 것이다. 역위치까지 도로 위에 놓이게 됨으로서 타 대중교통수단, 특히 지하철과의 환승이 불편하게 될 수 있다.

한편 지하철로를 이용하여 미국 샌프란시스코의 경량전철(Muni)의 사례를 볼 수 있는데 이 경량전철은 LRT로서 도심외곽 지역에서는 지상으로 운행하다가 도심에 들어와서는 지하로 운행

하는 사례이다. 지하철로를 이용하여 지하철(BART)과 쉽게 환승할 수 있도록 연계되어 있다.

한편 호주의 아델레이드시의 궤도버스는 이중모드(dual mode)로 자체동력공급으로 일반버스와 같이 지상을 운행하다가 타 교통수단과 완전분리된 선로를 운행하기도 한다.

#### 바. 고무바퀴와 철제바퀴의 비교

경량전철 중 APM은 대부분 고무바퀴로 운행을 하는 반면, LRT는 대부분 철제바퀴를 채택하고 있다.

고무바퀴는 소음이 상대적으로 적으나 분진이 많으며, 바퀴의 마모가 빨라 타이어의 교체기간이 짧은 반면, 철제바퀴는 마모가 적은 대신 소음이 상대적으로 크다고 인식되고 있다. 그러나 그동안의 설계, 운영 경험에 의하면 고무바퀴와 철제바퀴의 소음차이가 동일한 차량 크기와 속도하에서 거의 없는 것으로 조사되었다. 실제 운행시 LRT의 철제바퀴 소음은 지역간 철도나 지하철과 같이 크지 않으며 조용한 편이다. 최근에는 철제바퀴의 소음감소를 위하여 선로를 연철로 제작하는 경우도 있으며 반대로 철제바퀴를 탄성차륜으로 사용하기도 한다.

또한 고무바퀴가 내구성이 약하며 자주 교환해야 된다는 주장도 철제바퀴와 비교시 설득력이 없는 것으로 증명되고 있다. 최근에는 일반적으로 10m 내외의 작은 차량에는 고무바퀴가 적절하며 12m 이상의 보다 큰 차량에는 철제바퀴가 적합한 것으로 알려져 있다.

많은 APM은 차량이 작아 대부분 고무바퀴를 채택하고 있는데 철제바퀴와 비교시 일반적으로 알려져 있는 장.단점은 다음과 같다.

##### - 장점

. 습하지 않은 기후 하에서는 승객의 승차감을 고려한 최대 가.감속이 철제바퀴보다 우수하다.

. 구매가 심한 구간도 무리없이 운행할 수 있다.

. 곡선부에서 소음이 적다.

##### - 단점

. 철제바퀴를 채택하고 있는 차량의 경우보다 선로와 분기점(switching)의 구조가 복잡하여 같은 조건하에서 선로의 가격이 비싸다.

. 에너지소모가 상대적으로 크다.

. 열발생이 많아 터널이나 더운 지방에서는 문제가 될 수 있다.

. 습하거나 눈. 비가 많은 지역에서는 운행시 어려움이 있을 수 있다.

. 각기 다른 노선의 선로끼리 교차가 어렵다.

. 차량의 크기는 고무바퀴가 지탱할 수 있는 무게에 제약을 받는다. 즉, 2개 축인 차량은 차량바닥면적이 25m<sup>2</sup>로 제한되며 4개 축인 차량은 45m<sup>2</sup>로 제약을 받는다.

한편 선형모터로 움직이는 차량의 경우는 곡선부에서 소음이 적은데 이는 선형모터차량의 철제바퀴는 단지 차량의 지지와 유도역할을 할 뿐 가.감속의 동력은 전달하지 않기 때문이다.

## 2.5 이용자 측면

### 가. 정시성

한 궤철조사기관에서 조사한 바에 의하면 서울시 버스이용객의 불만족 중 가장 큰 사항이 정시성의 결여이다. 반면 경량전철의 무인자동운행의 큰 장점 중의 하나가 높은 정시성이다. 다음 표는 도심APM인 VAL(Lille)와 밴쿠버의 Skytrain의 1993년과 1994년에 조사한 정시성 지표이다. 4분을 기준으로 정시성을 조사한 결과 Skytrain의 경우 99.6%의 정시성을 보였으며 Lille의 VAL은 99.5%로 무인자동운행의 높은 정시성을 보여 주었다.

<표 20> APM의 정시성 측정

	정시성(4분기준)	조사년도
캐나다 밴쿠버의 Skytrain	99.6%	1993/94
프랑스 Lille의 VAL	99.5%	1993

출처) 미국 교통부

### 나. 사고

아래 표는 RRT(지하철 또는 전철), LRT, 도심APM의 사고를 비교한 내용이다. 도심APM의 사고건수를 LRT와 비교하면 7%에 지나지 않으며 지하철과 비교하면 22.5 % 정도로 매우 낮다. LRT의 운행 특성상 타 교통수단과 혼재 운행함으로 도심APM에 비하여 사고 건수가 많은 것으로 추측된다. 무인자동운행인 도심 APM은 타 교통수단과 완전분리운행으로 보행자 및 승객이 선로 등 시설로의 접근이 완전히 통제되기 때문에 상대적으로 사고가 적을 수 밖에 없다.

<표 21> 사고건수의 비교  
(단위: 10,000차량.Km당 건수)

	사고건수	부상	사망
도심APM	0.028	0.000	0.000
LRT	0.393	0.305	0.001
RRT(지하철 또는 전철)	0.124	0.110	0.001

주) 운영수입 차량.Km 기준

#### 다. 접근성

무인자동운행인 APM은 주로 고가에 역이 위치하기 때문에 도로변에서 바로 차량에 탑승할 수 있는 버스나 지상을 운행하는 LRT 보다는 접근성 또는 접근시 편리성이 떨어진다.

LRT의 장점은 지상(노면)에서 운행할 수 있다는 점이다. LRT는 구미의 도시에서 오래 전부터(100여년전) 선호되고 있는 시스템(옛 서울시의 전차와 유사)이 개량된 시스템으로 생각하면 된다. 최근에는 차량자체가 가벼워졌으며 차량자체가 저상으로 개발되었으며 바퀴의 소음을 감소하는 등 기술면에서 많은 발전을 해 왔다. 그러나 기본 기술은 기존의 지하철 또는 전철의 기술과 큰 차이가 없다.

최근 구미의 많은 도시에서 LRT를 도입하여 시민들의 좋은 반응을 얻고 있다. 그 주된 원인을 살펴보면 먼저 보행자의 접근이 버스와 같이 용이하다는 점이다. 몇십 미터 지하로 내려가야 접근할 수 있는 지하철과는 달리, LRT는 보도에서 쉽게 접근이 가능하다. 최근에 개통된 LRT(미국 Oregon주의 Portland시, Colorado 주의 Denver시 등)에서는 장애자의 승하차시설도 배려되어 지체 부자유자들의 접근이 매우 용이해졌다.

또한 LRT의 지상운행은 선로주변의 상가들의 광고효과를 가져온다는 점이다. 지하철과는 달리 살아있는 광고를 LRT 차량내의 승객들에게 제공할 수 있다는 점이다.

또한 LRT의 도심구간은 대부분 대중교통전용도로 또는 승용차 진입금지구역(Auto Restricted Zone)을 통과하기 때문에 승용차와의 마찰을 최소화하여 보행자의 안전을 제고할 뿐 아니라, 이 구역의 LRT의 이용이 무료인 경우가 많기 때문에 도심에서 활동이 많은 시민들은 LRT를 효과적으로 이용하고 있음을 볼 수 있다. 동시에 도심의 승용차진입억제로 쾌적한 보행 공간을 제공하게 된다. 승용차의 도심진입억제는 LRT계획단계에서 도심 상가의 반대가 완강하기도 하여 시행에 진통을 겪기도 하였으나 여러 도시의 경험에서 보더라도 도입 이전보다 LRT의 광고효과, 보행자의 증가로 주변 상가의 매출액이 증가된 것으로 조사되고 있다.

그러나 외국의 LRT가 지상을 운행하고 있는 도시의 도로 여건은 우리나라의 도시의 도로여건 보다 좋으며, 특히 도심에 인구밀도가 높지 않기 때문에 LRT가 타 교통수단과 혼재하여 운행하여도 큰 무리가 없다. 반면, 이미 자동차 위주의 도로가 되어 버린 우리나라의 대도시에서는 LRT의 지상(노면)운행은 기대하기가 어려울 것으로 보인다.

한편 지상운행은 아니지만 고가로 운행하던 텍사스 Dallas시의 주변 신도시 Las Colinas의 도심APM의 경우는, 노선은 고가로서 정차역이 건물 안에 설치되어 접근성도 좋고 무인자동운행과 첨단 차량으로 수요가 충분할 것으로 예상되었다. 그러나 방대한 도심 주차공간의 제공은 APM 도입 이전과 변하지 않아 승용차 이용은 감소하지 않았으며, 시외에서 진입하는 대중교통수단과 APM간의 연계성의 부족으로 최근 운행 정지된 된 사례도 있다. 이러한 사례에서 경량전철도입의 성공을 위해서는 편리한 접근성의 확보뿐 아니라 대중교통우선정책(자가용이용억제정책 포함)이 병행되어야 한다.

#### 라. 소음

소음이란 인간이 원하지 않는 소리를 말하며, 소음 측정은 소음계로 인간의 청각특성(A특성)을 가미하여 dB(A), 즉 음압으로 표시한다. 90dB(A) 정도이면 트럭이 지나갈 때 길가에 서있는 사람이 듣는 음압이며 조용한 거실의 음압은 50dB(A) 정도이다.

국내의 철도 소음은 2000년부터 시행되는 아래 표의 소음 규제법 시행령에 의하여 규제가 될 것으로 보인다. 이 표에 의하면 2010년부터 주거지역 등의 부지 경계선으로부터 50m 이내 지역에서는 소음 기준이 주간에는 70dB(A)이하로 규제되며 야간에는 60dB(A) 이하로 규제된다.

<표 22> 환경보전법 중 소음 규제법 시행규칙

대상지역	한도			
	2000년 1월 1일부터 2009년 12월 31일까지 적용		2010년 1월 이후	
	주간 06:00- 22:00	야간 22:00- 06:00	주간 06:00- 22:00	야간 22:00- 06:00
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경 보전지역, 학교 공공도서관의 부지 경계선으로부터 50M 이내 지역	70 dB(A)	65	70	60
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동, 휴양지구외의 지역, 미고시지역	75	70	75	65

한편 경량전철의 주요 차량소음의 종류는 다음과 같다.

- 주행 중 차량의 바퀴와 선로 사이에서 발생하는 주행 마찰음
- 추진장치 등의 전장품과 냉방장치, 공기 압축기 등의 기기 동작음
- 속도의 제곱에 비례하는 공력소음
- 이러한 소음은 교량, 터널, 분기점 등의 선로 형태와 주행속도 및 제동정도 등의 운전 조건에 따라서 다양하게 변화되고 통과지역의 외부소음과도 복합적으로 발생함.

이미 경량전철을 도입 운행하고 있는 국가들이 채택한 소음 기준은 공항APM으로 고무바퀴 차량인 경우 평균 67dB(A) (고가선로의 중심으로부터 15m 지점의 건물 정면에서 측정된 1시간 평균 음압)정도이며, 도심APM의 고무타이어 차량인 경우는 차량내부에서는 71-75dB(A)이며 차량외부의 소음은 71dB(A)(소음차단벽이 있는 경우)에서 76dB(A)(소음차단벽이 없는 경우) 정도이다.

한편 철제바퀴차량의 경우 직선구간에서 운행시는 소음발생정도가 고무바퀴차량과 거의 유사한 것으로 조사되었으며, 선로의 곡선구간과 마모가 심한 철제바퀴를 장착한 차량의 경우는 소음이 고무바퀴보다 큰 것으로 연구 제시되고 있다. LRT의 탄성철제바퀴(소음을 줄이기 위해 연철로 제작된 철제바퀴)의 경우 차내의 경우 70-72dB(A)이고 차 외는 77-78dB(A)로 고무바퀴의 경우보다 약간 높다.

이러한 경량전철의 소음 크기는 우리나라 2010년 이후 환경보전법의 소음 시행규칙과 비교해 볼 때 주간에는 크게 무리가 없으나, 야간에는 주거지역 및 학교 부지 등의 소음 기준이 65dB(A)이며 상업 및 공업지역은 70dB(A)이기 때문에 방음벽을 설치하여 5dB(A)가 감소된다 하더라도 시행규칙의 기준을 만족하지 못할 것으로 판단되어 노선설계시 소음영향지역과 선로간 충분한 거리를 유지하여 설계가 되어야 한다.

## 2.6 시스템선정사례(대만시)

대만시에 현재 7개의 노선 총 연장 88km의 도시철도가 운행되고 있다. 이중 1개노선은 1987년부터 건설되기 시작하여 1995년에 개통한 도심APM(프랑스 VAL)의 일종이다. 대만의 동물원과 뮤차(Mucha) 신도시 지역을 연결하는 이 노선은 길이가 10.9km에 12개의 역을 가지고 있다. 무인자동으로 운행되며 전 노선 구간이 고가선로이다. 본 절에서는 대만시에서 이 시스템을 도입할 시 고려했던 사항들을 살펴보기로 한다.

대만시가 RRT, 즉 중량전철(고속대중교통수단)을 선택하지 않고 경량전철을 선택한 이유를 살펴보면 다음과 같다.

- 수송수요: 노선의 승객 수요를 시간.방향당 20,000인으로 추정하였다.
- 용량: 80인 정원 차량을 60초 배차간격으로 6량 편성으로 운행하면 28,800인/시간.방향을 처리하지만, 100인 정원 차량을 6량으로 편성하여 배차간격을 60초로 하면 시간당 방향별 36,000인을 수송할 수 있다. 수요와 비교할 때 대형 차량을 6량으로 편성하여 운행하는 것이 비효율적이라고 판단하였다.
- 수송용량: 경량전철의 수송용량은 차량이 작아 RRT보다 적으나 등판능력이 좋고, 폭이 좁은 도로에서 건설 가능한 것으로 판단하였다.
- 비용: 도심통과시 지하구간으로 건설되어야 하는 RRT에 비해 경량전철은 좁은 도로에서 고가구조물로 건설이 가능하기 때문에 건설비 측면에서 저렴하며 무인자동운영으로 운영비가 절감될 것으로 판단하였다. 또한 차량길이가 짧기 때문에 역사건설비가 RRT에 비해 저렴할 것으로 판단하였다.
- 서비스: 경량전철을 짧은 배차간격으로 승객의 대기시간을 절감할 수 있으며, 차량 모양이 타고 싶은 유혹을 느끼게 하여 보다 많은 시민이 대중교통수단을 이용할 것으로 판단하였다.

또한 경량전철의 시스템 선정을 위하여 다음과 같은 사항들을 고려하였다.

- 1년 이상 만족스러운 운영경험이 있는 시스템
  - 수송용량이 20,000인/시간.방향 인 시스템
  - 배차간격이 90초 이내의 무인자동운영이 가능한 시스템
  - 평균 운행속도가 30km인 시스템
  - 저소음 시스템
  - 고가구조물 건설시 미학적으로 문제가 적은 시스템
  - 제시된 노선상 운영에 어려움이 없는 시스템
  - 국내에서 유지보수가 용이한 시스템
- 위의 사항을 만족하는 다음 시스템들의 제안서를 받아 가격 등을 비교. 평가하였다. 이들 시스템은 현재 운행되고 있는 경량전철을 대표하는 시스템들을 거의 다 포함하고 있다.
- 미국 AEG Westinghouse사의 People Mover
  - 프랑스 MATRA사의 VAL
  - 캐나다 UTDC사의 ALRT
  - 일본 가와사키사의 新交通
  - 일본 니카타사의 新交通
  - 일본 히타치사의 모노레일

## 2.7 국내 적용가능 시스템

시스템선정시 가장 중요한 고려 사항은 수송용량(시간.방향당 최대 수송능력)으로, 공항, 위락시설, 도시 등 적용지역의 장래 이용승객(노선축별 시간.방향당 승객수요)이 예측되면 이 수요를 무리없이 처리할 수 있는 시스템이 선정되어야 한다.

앞 절에서 제시한 각 시스템의 수송용량은 이론값이라기 보다는 실제 운영되고 있는 시스템들의 최대 수송용량을 의미한다. 따라서 시스템에 대한 사업주체의 요구사항에 따라 수송용량이 변할 수 있다. 즉, 이는 열차당 차량대수에 따라 수송용량이 현저히 차이가 날 수 있기 때문이다.

종합적으로 수송용량, 비용, 운영, 시설, 이용자 그리고 시스템 선정의 외국사례로 대만시의 경우를 살펴본 결과, 앞에서 제시된 현재 외국에서 운행 중인 경량전철은 국내 적용(도시, 공항 등)시 큰 무리는 없을 것으로 판단된다.

단지, 개인대중교통수단(PRT)이나 자기부상열차와 같이 아직 개발 중이며, 전문가에 따라 찬반양론이 많고, 실제 운영된 경험이 없는 시스템은 전철운영의 경험이 전혀 없는 지방자치 단체에서는 더욱 운영하기가 어렵기 때문에 될 수 있는 대로 적용가능시스템

에서 제외함이 타당하다.

그러나 이미 개발, 운영되고 있는 시스템을 100% 외국에서 수입할 수도 있으나, 시스템 가격이 다소 비쌀지라도 첨단기술(예, 무인자동운행)의 기술이전으로 관련 국내산업의 활성화를 기대할 수 있는 국내의 기술에 의한 합작 경량전철도 적용가능시스템에 포함되어야 할 것이다.

## 3. 기존 국내계획의 문제점 및 대처방안

### 3.1 재원조달

#### 가. 현황 및 문제점

현재 우리나라에서 검토되고 있는 경량전철의 계획을 보면 거의 도시지역의 경량전철 사업으로서 사업주체가 민.관합동주식회사(하남시, 김해시, 의정부시, 부천시 등) 또는 민간회사(용인시 등)인 경우가 대부분이다.

6대 도시의 지하철 건설에 지원되는 중앙정부의 국고가 막대하게 소요되기 때문에, 주변 위성도시로서의 지하철 연장은 중앙정부뿐 아니라 대도시 자체에서도 재정문제로 반대하고 있는 실정이다.

이에 대한 위성도시의 대안 또는 자구책으로서 초기 투자비가 지하철 또는 전철보다 저렴하다고 인식되고 있는 경량전철이 검토되기 시작하였다.

그러나 해당 지방정부의 재정형편이나 사업추진 및 운영경험으로 보아, 우리나라에서는 새로운 시스템인 경량전철의 도입에 지방정부의 주도적인 역할은 기대하기 어려운 실정이다.

6대도시의 지하철 건설은 중앙정부에서 최고 30%(1997년 기준)까지 지원할 수 있게 되어 있으나, 6대도시와 통행이 급증하고 있는 위성도시들간 궤도수송기관의 도입건설에는 중앙정부나 노선이 지나는 해당 대도시에서의 재정지원이 매우 비현실적이다. 중앙정부에서는 몇 위성도시에 먼저 국고를 지원할 시 다른 중.소도시들과의 형평성 문제가 야기되기 때문에 경량전철의 시범도시에조차 국고지원을 꺼려하고 있는 상황이다.

또한 경량전철 도입이 해당 위성도시에서는 시급한 사업이라고 하지만 관련 대도시의 입장에서서는 타 사업과 비교하여 우선 순위가 높지 않기 때문에 재정지원을 기피하고 있다.

따라서 이러한 여건 하에서 해당 지방자치단체는 민자유치를 해서라도 사업을 추진하려고 하나 사업성이 불투명하여 민간업체의 참여를 유인하지 못하고 있는 형편이다.

#### 나. 외국의 재원조달

미국이나 유럽에서의 도시지역에 지하철, 경량전철(위락지역, 주요활동지역의 경량전철은 제외)의 사업 주체는 대부분 해당 지방자치단체이다. 경량전철 사업자체를 공공사업으로 규정하여 이윤추구가 아닌 시민의 이동성을 제고하려는 데 목적을 두고 있기 때문에, 경량전철과 같은 대중교통사업을 민간사업으로 보지 않는다. 미국이나 유럽의 경우 수입수입으로는 채산성의 확보가 어렵다고 판단한 노선에는 많게는 건설비의 전액과 운영비의 경우 10-80%를 정부가 보조하는 사례를 볼 수 있다.

물론 극히 드물지만 최근 인간의 운영기술과 재원을 이용하여 경량전철의 건설 및 운영을 하고 있는 프랑스의 오를리(Orly)공항의 접근 경량전철인 오를리 VAL이 있다. 그러나 최근 운영적자로 요건의 인상 등의 대책을 강구하고 있으며 예상하였던 승객이 적어 운영이 매우 어려운 실정이다.

또한 민간자본의 유치(public-private partnership)라고는 하나 전체 공사비의 극히 일부가 민간에 의해 지원된 경우가 있다(예, 미국의 텍사스의 Las Colinas의 도심APM 등). 그러나, 역사부지나 선로부지의 사유지를 극히 일부 부담하는 경우로 국한된다.

일반적으로 구미 여러 도시에서는 시내버스와 지하철 및 전철을 24시간 운영하고 있는 곳이 많으며, 초기 건설비의 거의 전액이 국고와 시비로 지원된다. 또한 적은 승객수요와 정복상 낮게 책정된 요금수입으로 충당이 되지 않는 운영비(평균 50% 이상)도 시에서 지원하고 있음을 볼 때, 우리나라 경량전철의 도입여건과 매우 다르다.

일본의 경우는 구미지역의 경우와 약간 다르다. 지하철이나 전철보다 공사비가 저렴한 경량전철사업 중 많은 사업이 민.관합동으로 추진된 경우가 많다. 민간이 100% 투자한 사업(가마쿠라의 쇼난모노레일)도 있으나 차량업체 자사의 차량전시용으로 운영하



는 특수한 경우이다.

일본의 지하철을 포함하는 도시철도의 건설시 보조금은 교통성의 예산에서 지원되고 있으나, 경량전철인 모노레일과 新交通(도심APM)의 보조금은 건설성의 예산으로 지원되고 있다. 이는 모노레일과 新交通의 하부구조는 대부분 高架이며 기존 도로 위를 이용하기 때문에(도로의 일부로 간주되기 때문에) 도로의 건설과 운영으로 담당하는 건설성의 예산으로 보조되고 있다.

중앙정부는 지방정부와 함께 하부구조 건설비의 1/2를 부담한다. 모노레일 또는 新交通회사(민관합동회사)는 하부구조와 차량을 제외한 설비만 소유하고 하부구조는 세금 없이 사용한다.

이는 일본의 도시철도의 건설보조금과 유사하다. 지하철 건설비의 70%가 보조되고 있는데 중앙정부가 35%, 지방정부가 35%를 감당한다. 우리나라의 도시철도에 대한 중앙정부의 지원과 비교해 볼 때 현격한 차이가 난다. 일본 경량전철인 모노레일과 新交通의 정부보조 또한 현재 우리나라의 전 현 중앙정부의 보조가 없는 계획 추진과는 달리 총 건설비의 60%에 가깝게(하부구조 건설비의 1/2 또는 역과 차량을 포함한 총 건설비의 59.9%) 보조되고 있으며 이중 중앙정부가 지방정부와 같이 각각 50%씩 감당한다.

다음 표는 1994년 아시안 게임 개최에 맞춰 개통된 일본 히로시마 新交通의 재정지원 현황을 설명하고 있다. 민관합동 즉, 제3섹터 방식으로 히로시마시와 21개의 민간업체가 투자를 하였으며, 총 건설의 50%가 넘게 중앙정부와 히로시마시에서 재정지원을 하였음을 보여준다.

<표 23> 히로시마 新交通(도심APM)의 재원조달 사례

- 연장: 18.4km
- 역: 21개소
- 개통일시: 1994.7
- 운행시간: 6AM-12PM
- 배차시간: 침두시 3분, 비침두시: 10-20분, 새벽심야: 20분
- 열차 1대당 차량수: 6량
- 수송용량: 286명(최대 탑승시: 460명)
- 운행속도: 최대 60km/시
- 승객수요: 1994년 71,586인/일, 9,000인/침두 한시간.방향 2010년 84,335인/일, 9,800인/침두 한시간.방향
- 건설비: 1,437억엔(78억엔/km) 하부구조: 763억엔, 기타: 674억엔(차량:99억엔)
- 재원조달: 히로시마 고속전철주식회사: 100억엔 (히로시마시:50%, 21개 민간업체:43%) 중앙정부 및 히로시마시: 763억엔 히로시마시(공채): 210억엔, 정부는행(일본개발은행):210억엔 개발이익환수(개발자부담): 149억엔 기타: 5억엔

출처) 시계무리치, 신도시철도 건설재원조달사례, 한국의 신도시철도 개발방안과 정책과제, 교통개발연구원, 1994. 10

또한 공사비에 60%에 가까운 막대한 공사비를 지원 받고서도 개통 이후의 운영재정상태를 조사해 보면 대부분 경량전철의 운영이 적자이다. 1992년 현재 일본에서 운영되고 있는 16개의 경량전철의 영업손익을 조사해 본 결과, 모노레일 8개 시스템 중 개통연도가 30년이 넘는 동경모노레일(1964)과 동경 메트로폴리스(1957) 그리고 소난모노레일만 흑자운영이며, 新交通 8개의 시스템 중 사이타마의 이나(Ina)(1983에 개통)선만 흑자운영을 하고 있는 실정이다. 따라서 차량.km당 승객 수요가 미국이나 유럽보다 월등히 많은 일본에서도 경량전철은 채산성이 없는 사업으로 증명되고 있다.

이와 같은 외국의 경량전철의 재원조달 방법을 우리나라와 비교해 보면, 중앙정부와 지방자치단체의 재정지원이 거의 없는 경량전철사업의 추진은 지극히 비현실적임을 알 수 있다.

### 나. 대처방안

현재 우리나라에서 계획되고 있는 경량전철 사업들의 재무분석 결과를 보면 재무성이 매우 열악하여 민간업체에게 매력에 있는 사업은 아니다. 제시한 요금 수준을 현재 좌석버스 요금 수준으로 하고, 사업주체의 자기자본비율을 총 공사비의 30%으로 하며, 나머지는 부대사업수익금과 차관으로 조달할 경우 손익분기점이나 자기자본회수 기간이 매우 길어 기회비용측면에서 매우 불리한 사업이다.

물론 경량전철의 도입은 국가 전체적으로 보아서는 새로운 교통기술의 국내 이전 그리고 국산화 후의 해외 수출 등을 기대할 수 있다. 그러나 경량전철 사업의 재무성으로 보아서는 민간사업주체는 경량전철 사업 자체에 관심이 있다기보다는 부대사업의 부동산 등에 관심이 더 있는 것이 사실이다.

민관합동의 사업주체의 사례가 많은 일본에서, 민간이 참여하는 경우는 경량전철 사업자체에 채산성이 있어 사업에 참여하기보다는 대규모 택지 또는 신도시 개발, 대규모 워낙단지 등 대규모 교통유발지역의 개발과 병행하여 이 지역에 접근 교통수단으로서 사업을 추진하는 경우가 많다. 이 경우의 경량전철은 부근 전철 또는 지역간 철도역과 연계하는 경우가 대부분이다.

따라서 현재의 재원조달 방안으로 보아서는 우리나라에서 경량전철 사업의 추진은 매우 어려운 실정이다. 이를 타개하기 위한 방안으로 우선 중앙정부의 과감한 보조가 선행되어야 한다. 선진국과 같이 공사비에서 자기자본비율을 줄일 수 있도록 중앙정부와 해당지방자치단체에서 총 공사비의 50% 이상(우리나라의 지방정부 재정자립도를 감안하면 일본과 같은 수준보다는 높아야 하며, 지방정부의 재정자립도와 연계하여 탄력있게 설정)을 지원하여야 한다.

물론 경량전철 노선이 통과하는 지방자치단체들도 市費를 지원하여야 한다. 서울 또는 부산과 이들 주변 위성도시와의 연결 경량전철의 경우 서울이나 부산의 시비조달이 필요한데 이들의 시비의 지원을 유도하기 위해서라도 중앙정부의 국고지원이 선행되어야 한다.

중앙정부의 국고지원은 일종의 매칭펀드(matching fund)의 개념으로 추진되어야 한다. 예를 들어 총 공사비의 50%를 해당 지방자치단체들이 시비, 민간자본, 부대사업수익금 또는 차관 등으로 조달할 수 있음이 증명되면 중앙정부에서 50%를 지원하는 방법으로 지방자치단체들의 자구노력을 유도하여야 한다.

### 3.2 노선길이

현재 우리나라에서 추진되고 있는 경량전철의 노선길이를 살펴보면 짧게는 14.86km(의정부시)에서 길게는 26.3km(김해시)이다. 이들 노선의 주 역할은 도시의 간선역할이 아닌 지선으로서 대부분 대도시 지하철역에 연결되는 연계노선이다.

그러나 이들과 역할이 유사한 외국의 노선들의 길이는 우리나라보다 월등히 짧다. 간선인 경량전철의 노선길이는 20Km(캐나다 밴쿠버: 21.4km, 대만 타이페이 20.7km 등) 안팎으로 비슷하나, 연계노선의 경우는 평균 6km에서 7km로서 우리나라보다 훨씬 짧다(1/2 - 1/3이하).

이러한 장거리 노선은 초기 투자비가 많이 소요될 뿐 아니라, 운영비도 많이 든다. 물론 노선이 길면 이용하는 승객수요가 많아져(민원의 요구에 의하여 노선이 길어 짐) 요금수입이 많아 질 수 있으나, 차량.km당 운영비는 적정 노선길이를 가진 시스템에 비하여 운영비가 훨씬 많이 소요될 수 있어 무작정 노선의 연장은 신중을 기하여야 한다.

따라서 노선대안 선정시 노선을 구간별로 구분하여 재무성을 세밀히 분석해 보아야 한다. 특히 시험사업은 전 노선의 공사는 경험도 없는 사업주체에 큰 부담이므로 단계별 전략으로 구간을 나누어 공사 및 운영을 하여야 한다.

### 3.3 도입대상 시스템

현재 우리나라에서 추진 중인 경량전철 사업에서 검토되고 있는 시스템의 종류를 보면 특정 시스템에 제약되는 경우가 있다. 주로 모노레일, AGT(본 보고서에서는 APM으로 정의) 그리고 선형모터(LIM)이며 경우에 따라 LRT가 함께 검토되고 있다. 또한 아직 증명된 기술(proven technology)이 아닌 PRT 또는 Titan 등의 시스템을 비교 검토한 보고서도 있다.

우리나라의 경량전철 사업에서는 사업주체가 아직 국내에 도입하여 운영한 경험이 없는 시스템을 결정하여야 하는 부담을 가진다. 그러나 기존 연구에서 제시하고 있는 제약된 시스템에 국한될 필요는 없다. 사업주체는 몇 가지 중요한 사항만 시스템을 평가하기 전에 설정하면 된다. 예를 들어, 대만의 경험에서와 같이 1) 운행경험이 있는 시스템일 것 2) 고무바퀴 또는 철재바퀴일 차량일 것 3) 소음 및 진동의 수준은 얼마 이하 일 것 4) 수송용량은 시간·방향당 얼마 이상일 것 5) 국내 기술로 유지보수가 용이한 시스템일 것 등의 중요한 조건만 설정되면, 결국 시스템 평가과정과 협상과정에서 그 지역에 가장 적합한 시스템을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

외국의 운영사례와 시스템 평가의 경험을 보더라도 기존의 대부분의 경량전철이 국내에서 요구하는 수송용량 등의 기본 요구사항을 만족할 수 있을 것으로 판단되기 때문에 결국의 시스템 선정은 시스템의 가격, 유지보수시의 국내기술적용 정도 및 국산화 등 협상시의 제약조건이 시스템의 결정에 중요한 요소가 될 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 시계루모리치(1994), "신 도시철도 건설재원조달사례", 한국의 신도시철도 개발방안과 정책과제, 교통개발연구원
2. 이종호(1996), "민자유치 경량전철시스템 평가기준에 관한 고찰", 대한교통학회지, 제14권 제1호, P165-P177,
3. 이한준, 유정복, 이종호, 김무정(1997), 경량전철의 개발추이와 도입방안, 교통개발연구원
4. 하남, 김혜, 의정부, 부천시 경량전철(신 도시철도) 기본계획 보고서(1994, 1995, 1996), 교통개발연구원
5. Alan Black(1995), Urban Mass Transportation Planning, McGraw-Hill, INC
6. Characteristics of Urban Transportation Systems(1995), 미국 교통부
7. Gerald D. Fox(1990), "A Comparison of Some New Light Rail and Automated Guideway Systems", Electric Lines
8. Seventh National Conference on Light Rail Transit(1995), Volume 1, Transportation Research Board, National Academy Press
9. Vukan R. Vuchic(1981), Urban Public Transportation Systems and Technology, Prentice-Hall, INC
10. W. J. Sproule(1993), "An Introduction to APM Systems and Applications", 제4차 국제 Automated People Mover 회의 발표자료