

## 합리적인 경량전철 시스템 선정방안



이 덕 영 |  
(주)유신  
철도부 부사장



이 안 호 |  
한국철도기술연구원  
도시철도표준화연구단 책임연구원

우리는 계속적이 도시발전에 따라서 어느덧 도시철도의 건설은 지속적으로 추진되어져 어느덧 우리는 지하철시대를 지나서 경량전철시대로 접어들게 되었다. 이제까지 도시내 간선축을 따라 지하철을 기본으로 건설하던 지하철과는 상이하게 보조 간선축을 운영하는 경량전철은 해당지역의 지역조건에 따라 급곡선, 급구배를 통과하면서 Door to Door 서비스를 제공하기 위하여 고가 또는 지하로 건설되는 다양성을 갖추어야하기 때문에 시스템선정에 많은 변화요소가 있을 수밖에 없다. 본 기고는 다양한 도시내 욕구를 충족시키면서 운행하는 경량전철 시스템을 선정하는데 대한 시스템선정의 방향을 제시하고자 한다. 물론 경량전철시스템이 정확하게 선을 그어 가장 적합한 시스템 적용을 정의 할 수는 없으나 본 기고를 통하여 큰 방향을 제시하고자 한다.

### ■ 건물내에 경전철을 직접 진입하도록 계획·설치된 경전철

- Door to Door 서비스를 제고하기 위하여 해당 주요건물로 대규모로 접근성 제고 및 도시내 공간효율 제고



### (1) 경량전철 시스템 선정의 기본방향

새로운 철도를 계획함에 있어 결정순서는 차량 → 궤도, 전기, 신호, 전차선 등 상부구조 → 노반, 건축 등 하부구조 순으로 결정되면서 이를 계속 여러가지 사회여건을 감안 **feed back** 되어져야 한다. 즉 경량전철도 차량시스템의 결정은 계획단계에서 가장먼저 결정되는 것이 원칙이다. 따라서 합리적인 경량전철 시스템의 선정은 사업의 합리적인 추진을 위하여 가장 심도있게 검토해야하는 주요요소이다.

차량시스템 선정은 해당사업지역의 지형, 수송수요 특성, 노선의 특성, 유지관리 여건 등을 고려하여 계획단계, 공사단계, 운영 및 유지보수단계 등 모든 과정에 대하여 검토하여야 한다.

#### ■ 경량전철 시스템 선정의 기본여건

- 수송수요를 효과적으로 처리 할 수 있을 것
- 소음, 진동 민원에 효과적으로 대응 할 수 있을 것
- 영업운행선에서 검종된 경량전철시스템일 것
- E&M 분야와의 인터페이스를 효과적으로 처리 할 수 있을 것
- 차량 검수, 정비가 간단하고 부품의 공급성이 우수 할 것
- 노선특성에 맞게 차량의 급곡선 주행능력 및 급한 기울기 구간 주행 능력이 우수 할 것
- 기울기구간의 주행능력은 서리, 강우, 강설시 고장열차를 추진 할 수 있는 실제적인 기울기를 선정 할 것.
- 계획된 선형을 지역의 최고기온, 최저온도, 강우강도, 강설량 등 기상여건에서 주행 할 수 있을 것
- 사업비가 적게 소요되는 시스템 일 것

■ 경량전철 차량시스템 선정을 위하여 고려해야하는 주요 요소를 살펴보면 다음과 같다.

- 해당 노선 수송수요의 특성  
해당노선의 최대 pphpd와 일간 수송수요의 변화 및 집중도 및 운영기간 중 수송수요의 변화 등이 주요 검토 대상이다.
- 노선의 특성  
외기에 노출여부, 노선의 연장, 정거장 간격, 지형 및

도시특성에 따른 최급기울기, 최소곡선 반경, 지하, 고가여부, 노선주변 장래도시개발 계획 및 노선에 인접한 수음·수진부의 특성, 지역의 정서 등이 고려대상이다.

- 해당지역의 기후특성  
최저, 최고기온, 강설, 강우의 특성이 고려대상이다.
- 건설 및 운영여건  
시스템에 따른 건설비용, Car-km당 전력 소모량 및 정거장, 차량기지, 분선환기 등 운영비용, 소요인력, 차량시스템에 따른, 유지보수체계, 정비체계, 장기적인 부품공급여건 및 타 노선과 호환 가능성 등이 검토 대상이다.
- 차량 제원  
차량당 수송인원, 차량의 실제 등판능력(서리, 강설, 강우시), 최소곡선반경, 가·감속 성능, 시스템 검증여부, 차량가격, 차량의 소음·진동 등 환경성 등을 검토한다.

■ 주요항목에 따른 경량전철 차량시스템 선정기본방향 외기에 노출되는 급기울기 구간 적용조건에 의한 경량전철 시스템 선정방향

- HSST, LIM: 적용 최대기울기 60%(비점착 구동으로 강우, 강설에 지장없이 등판가능)
- 모노레일, 측방안내식, 중앙안내식 등 고무차륜형: 적용 최대기울기 58%(융설설비를 설치시 무리없이 주행가능)
- 철제차륜형: 적용 최대기울기 일반형 48%, 특수형 60%(서리, 강우, 강설시 등판능력이 감소)

#### ■ 시스템별 수진부와 인접한 구간 적용조건

- HSST: 직접 점착구동을 하지 않아 진동이 발생하지 않음.
- 고무차륜형: 타이어가 진동을 흡수하므로 진동측면에 매우 유리
- 철제차륜형:
  - 철제차륜과 레일이 직접 접하므로 진동측면에서 가장불리
  - 장대레일을 기본으로 해야함.
  - 수음부에 특징에 따라서 방진형 궤도, 부유궤도 등이 설치되어져야 함.

■시스템별 수음부와 인접한 구간 적용조건

- HSST: 직접 접촉구동을 하지않아 자체 구동음외에는 소음이 발생하지 않음.
- 고무차륜형: 철제차륜형과 같이 스킵소음이 발생하지 않으며 전동음이 주요소음 대상으로 소음측면에서 유리
- 모노레일형: 스커트로 소음을 차단하여 외부로 소음이 거의 없음.
- 철제차륜형:
  - 철제차륜과 레일이 직접 접하므로 급곡 선부에서 일정속도 이상 주행시 스킵소음이 발생함
  - 고가구간에서는 고가교의 재질에 따라 2차 소음에 의하여 추가소음이 발생함.
- LIM형: Self Steering Bogie의 채택으로 스킵소음을 상당히 줄일 수 있음.

■노선연장에 따른 적용성 분석

- 노선연장이 짧은 경우
    - 정거장간 거리가 짧아 최고속도가 표정속도에 미치는 영향이 적음
    - 최고속도가 낮으나 소음이 작고, 가감속능력이 우수한 중앙 안내식 또는 전자동 모노레일 방식이 적절함.
  - 노선연장이 긴 경우:
    - 도심지 및 외곽지역을 통과하는 경우임.
    - 정거장간 거리가 길게 형성되는 경우가 많음.
    - 표정속도를 높이기 위하여 가감속 성능이 우수하고 최고속도가 높은 형식이 적절함.
    - 표정속도는 노면전차와 같이 도로교통과 같이 운영하는 시스템을 제외하고는 열차의 최고속도보다는 정거장 간격 따라 좌우 되는 점을 감안해야 함.
- 노선연장, 종단계획, 수송수요에 따른 경량전철 시스템 선정 가이드라인은 아래와 같이 정리하였다.

노선연장에 따른 경량전철 시스템 선정 가이드라인

노선연장(km)		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3																							비고			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2		3	4	5
차량 시스템	중앙안내식	■																							서틀, 일반노선			
	PRT	■																							Loop수에따라변화			
	전자동모노레일	■																										
	노면전차	■																							외곽지역까지연장			
	모노레일	■																										
	HSST	■																										
	측방안내식 고무차륜	■																										
	철제차륜형	■																										
LIM	■																											

종단계획에 따른 경량전철 시스템 선정 가이드라인

종단형태	적용가능 경량전철 시스템	비 고
지하구간 및 고가구간	철제차륜, LIM, 측방안내식A.G.T, 중앙안내식	지상구간 채택시는 완전하게 분리된 공간을 확보하여야 함.
고가구간	모노레일, HSST, PRT	부분적으로 짧은구간은 지하화 가능
지상구간	노면전차 및 버스형 경량전철	

수송수요에 따른 경량전철 시스템 선정 가이드라인

노선연장(pphpd)		1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3																								비고								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4		5	6	7	9	8	0		
차량 시스템	PRT																																	
	중앙안내식																																	
	노면전차																																	
	모노레일																																	
	HSST																																	
	측방안내식																																	
	철제차륜형																																	
	LIM																																	

(2) 검토대상 경량전철 시스템별 특성비교 및 예비선정 가이드라인

가) 지하 및 고가를 전제로 하는 경량전철 시스템별 특성 비교 및 예비선정 가이드라인

① 철제차륜형

- 적용조건
  - 비교적 장거리이고 수요가 pphpd 5,000~25,000에 적당
  - 급곡선, 급기울기가 많지 않은 지하화구간에 가장 유리함.
- 시스템 특성
  - 에너지가 가장 적게 소요됨.
  - 고정대차로 운영하게 됨에 따라 급곡선에서 소음, 진동을 최소화 하기위한 대책이 필요함.
  - 급한 기울기 구간에서는 서리, 강설, 강우시 공전의 우려가 있음.
  - 국내의 경우 인천도시철도를 제외하고 최급기울기는



48%이며 본선에서 적용하는 최소곡선반경은 보통 100m임.

②LIM

- 적용조건
  - 비교적 장거리이고 급곡선, 급한 기울기가 많고 수요가 pphpd 5,000~ 30,000에 적당
  - 급곡선 및 급한 기울기 구간이 많은 지역에 적당
  - 시스템 특성
    - Self Steering Bogie로 운영하게 됨에 따라 급곡선 주행시 소음측면에 유리함.
    - 점착구동을 하지 않으므로 기울기 구간 주행성이 우수하여 최급기울기는 60%까지 계획 할 수 있음.
    - 에너지가 철제차륜형보다 많이 소요되나 정비업무가 간단하여 철제차륜형보다 운영비가 감소 함



③측방안내식A.G.T.

- 적용조건
  - 10km-20km인 중거리
  - 수요가 pphpd 5,000~20,000내외에 적당
  - 최고속도가 70km/h인 K-AGT는 정거장간 거리가 1km이하로짧은 경우 적당



- 지하와 고가화 모두 적용가능.
- 소음, 진동이 적어 고가이며 급곡선이 많이 채택된 지역에 유리함.
- 시스템 특성
  - 고무타이어 시스템으로 최급기울기는 58%까지 채택이 가능하며 스켈소음이 없어 급곡선 주행성 우수
  - 소음, 진동 등 환경측면에서 유리
  - 강설지역에서는 급한 기울기구간에 융설설비 설치 및 Grooving을 시행하여야 함.
  - 주행면과 차륜간의 마찰이 커서 에너지가 다소 많이 소요됨.
- ④ 중앙안내식 AGT CX-100
  - 적용조건
    - 5km내 외 단거리이고 수요가 pphpd 약2,000~15,000(4량)에 적당
    - 소형으로 수요 유발처인 건물 내부로 직접 진입 또는 건물에 캔틸레버식으로 노반구조물 설치가 가능함.



- 공항터미널 등 거점간 연결에 적당.
- 시스템 특성
  - 중앙안내식으로 승차감은 우수하나 주행속도가 느림.
  - 고무타이어 시스템으로 급한 기울기 구간 및 급곡선 주행성 우수.
  - 에너지가 많이 소요됨
  - 급한 기울기 구간 및 급곡선 주행성 및 환경성이 우수
  - 지하철 보조수단으로 지하철 정거장과 대규모 교통 집산지와 연계에 적절함.

나) 고가를 전제로 하는 경량전철 시스템별 특성비교 및 예비선정 가이드라인

① 모노레일

- 적용조건
  - 10km~20km 정도로 정거장간 거리가 짧고 승객에게 외부 조경이 강조되는 지역에 적당.
  - 수요가 pphpd 4,000~13,000에 적당.
  - 모노레일 자체가 광고체가 되어 광고효과가 우수하며 도심지에 점유 공간이 가장 적음.
  - 전구간 고가화 전제(지하는 극히 제한적)
  - 도시내 생동감이 제고되며, 도시공간 점유가 가장 적음.
- 시스템 특성
  - 고무타이어 시스템으로 급한 기울기 구간 및 급곡선 주행성 우수



- 차광막설치 불가(필요시 자동흐림장치인 Mist 기능이 적용되어야 함)
- 정거장간 거리가 길 경우 화재, 비상시 승객대피에 대한 특별한 대책이 요청됨.
- 거어더가 곧 빔이므로 선형 및 열차 운영계획에 부합 되도록 정밀한 제작 및 가설이 전제 되어야함.
- 급한 기울기 구간에는 용설설비 설치 또는 Grooving 을 시행하여야 함.
- 거어더 자체가 움직이며 진로를 설정하므로 동일종단에서도 본선 간 상호횡단을 계획할 수 있어 공사비를 절감할 수 있음.

②HSST

- 적용조건
  - 수송수요 pphpd 4,000~25,000에 적당.
  - 소음과 진동을 엄격히 규제해야 하는 주거밀집 지역 등에 유리
  - 고가위주로 주행하는 시스템
  - 소음, 진동이 적어 고가이며 급기울기, 급곡선이 많이 채택된 지역에 가장 유리함.
- 시스템 특성
  - 상시 열차를 부상시켜야하므로 에너지가 많이 소요됨.
  - 마찰에 의한 점착구동이 아니므로 급한 기울기 구간 주행성이 우수함.
  - 처짐제한과 초정밀 시공으로 교량공, 궤도공에 공사비가 많이 소요됨.
  - 에너지가 많이 소요되나 정비업무가 가장 간단하여 운영비가 감소함.



③PRT

- 적용조건
  - 수송수요 pphpd 1,000~2,000에 적당.
  - 출발지와 목적지가 다양하게 형성되는 지역에 유리.
  - 대규모 사업단지 및 주거단지 내부 교통처리에 적절.
- 시스템 특성
  - 택시개념으로 인당 에너지가 가장 많이 소모됨.

다) 지상형 경량전철 시스템별 특성비교 및 예비선정 가이드라인

①노면전차

- 적용조건
  - 도로의 충분한 폭이 확보되고, 도심지 외곽은 전용 선로공간을 확보할 수 있는 지역에 적당.
  - 비교적 장거리이고 수요가 pphpd 3,000~15,000에 적당
- 시스템 특성
  - 경량전철 중 유일하게 노면을 주행할 수 있는 시스템
  - 자동차와 함께 시가지를 주행하므로 표정속도가 15km/h 내외로 가장 낮음
  - 표정속도 향상을 위해 시외곽은 별도노선으로 계획이 요망됨.
  - 분기기 등 모든 궤도시설이 레일면 하부에 위치해야함.



②트로리버스

- 적용조건
  - 공해에 민감한 지역에 적절
- 시스템 특성
  - 노선의 변경이 사실상 불가능하여 신중한 결정이 요망됨.

③ 가이드웨이버스

- 적용조건
  - 커다란 외곽 주거단지로부터 도심지로 신속한 진입 서비스 제공에 유리.
  - 수송수요 pphpd 3,000~10,000에 적당
  - 시스템 특성
    - 도심내 주요간선에 여러 노선을 동시에 수용할 수 있음.
    - 전용도로와 일반도로를 동시 운영할 수 있음.
    - 완전 분리된 전용도로 개념으로 표정속도를 향상시킬 수 있음.

(3) 경량전철 시스템 평가개요

검토대상 경량전철 시스템별 특성비교 및 예비선정에서 도출된 2~3개 시스템에 대하여 별도로 배점표를 작성하여 발주처 측면, 운영자측면, 지역사회측면, 이용자측면 등을 평가한다. 이때 배점표 및 평가항목, 점수는 해당지역 노선의 특성, 검토대상 차량시스템의 종류 등에 따라 심도있게 검토하여야 한다.

가) 발주처 측면

- 교통수단 간 연계성
- 수송용량 및 제원
- 경제성(건설비, 차량비 및 운영비)
- 건설, 운영 중 안전성
- 차량시스템의 신뢰성 및 타분야시스템과의 인터페이스
- 장래 확장에 대한 유연성
- 소음, 진동, 노선관련 민원발생 개연성
- 시공시 점유공간, 시공기간, 기존시설 철거정도

나) 운영자 측면

- 운영비 및 유지보수비
- 인력운영의 대응성
- 수송수요 변화에 대한 대응성
- 주행 중 승차감
- 차량검수, 정비여건 및 차량부품의 항구적인 공급여건
- 운영수입 및 기타수입
- 해당지역의 기후 적응성
- 타 경량전철과의 호환성
- 사고시 복구 및 운영의 유연성

다) 지역사회 측면

- 지역의 발전 가능성
- 대기오염 감소
- 운영 중 소음
- 도시미관 저해여부
- 일조권 침해
- 보행자 동선 및 도로교통과의 상충여부
- 전파방해 여부
- 조망권 지장 여부

라) 이용자 측면

- 저렴한 요금체계
- 승차감
- 이용자의 환경성
- 대기시간의 최소화
- 신속성(정거장의 배치에 따라 좌우되며 정거장간 거리가 긴 경우 외에는 큰 변화요인이 없음)
- 접근성
- 승하차 편리성
- 환승의 편리성
- 혼잡도의 최소화 ☺

표 1. 차량시스템 평가표(예시)

평가 항목	주요 내용	배점	시스템별 평점			비고
발주처 측면	교통수단간 연계성	2				
	수송용량 및 제원	2				
	경제성(건설비, 차량비 및 운영비)	7				
	건설, 운영중 안전성	2				
	차량의 신뢰성 및 타 분야 시스템과의 인터페이스	4				
	장래 확장에 대한 유연성	3				
	소음, 진동, 노선관련 민원 발생 개연성	3				
	시공시 점유공간, 시공기간, 시공시안전문제, 기존시설철거정도	2				
계	25					
운영자 측면	운영비 및 유지보수비	8				전력소모량 포함
	인력운영의 유연성	3				
	수송수요 변화에 대응성	2				
	주행중 승차감	3				
	차량검수·정비여건	4				
	차량부품의 항구적인 공급여건	3				
	운영수입 및 기타수입	3				
	해당지역의 기후 적응성	2				
	타 경량전철과의 호환성	2				
	사고시 복구 및 운영의 유연성	10				
계	40					
지역 사회 측면	지역의 발전 가능성	2				
	대기오염 감소	2				
	운영중 소음	2				
	도시미관 저해여부	2				
	일조권 침해	2				
	보행자 동선 및 도로교통과의 상충 여부	2				
	전파방해 여부	1				
	조망권 지장 여부	2				
계	15					
이용자 측면	승차감	3				
	이용자의 환경성	3				
	대기시간의 최소화	2				
	신속성 (정거장간 거리가 긴 경우)	4				
	접근성	2				
	승하차 편리성	2				
	환승의 편리성	2				
	혼잡도의 최소화	2				
계	20					
<b>총 계</b>		<b>100</b>				