

경량전철 토목구조물 특성에 관한 연구

A Study on the characteristic of civil structure for light railway system

이안호*
An-Ho Lee

이병송*
Byung-Song Lee

이덕영**
Duck-Young Lee

ABSTRACT

This paper shows the general description on the characteristic of civil structure for a automated guide way transit(AGT) system. There are three kind of AGT system; rubber tired AGT, steel wheel AGT and LIM AGT; for this paper.

1. 서언

경량전철은 고속철도와 기존철도에 비해 차량이 경량이고 소음·진동이 적은 시스템으로 등판 능력이 우수하고 또한 곡선반경이 적어 도심지에 건설시 선형계획이 용이하여 접근성이 좋고 환경친화적인 구조물의 설계가 가능하다. 그러므로 기존도시철도와 버스 등의 일반 대중교통의 극심한 혼잡과 연계체계의 미흡, 이용률 감소 등의 한계를 극복할 수 있는 새로운 대중교통수단으로 자리잡을 것으로 기대된다.

경량전철은 차량 및 선로의 적용기술에 따라 LRT(Light Rail Transit), 모노레일(현수식, 과좌식), AGT(Automated Guideway Transit), LIM(Linear Induction Motor), HSST(High Speed Surface Transport)등으로 구분하며[1], 또한 지지방식, 유도방식, 구동방식, 제어방식에 따라 구분이 가능하다. 예를들어 구동방식에 의하면 내연기관(Internal Combustion Engine), 전기모터(고무 및 철재차륜 AGT), 선형유도모터(Linear Induction Motor), 자기부상(Magnetic Levitation)방식 등으로 분류한다. 차량시스템의 특성에 따라 궤도구조 및 구조물이 상이하므로 본문에서는 AGT시스템(철재, 고무) 및 LIM시스템을 위주로 토목분야의 일반적인 기술특징을 조사하였으며, 기존선로와의 차이점 및 현재 국내에서 추진중인 경량전철 건설사업을 중심으로 개략적인 공사비를 비교 분석하였다. 특히 토목구조물의 실제 설계 예(2주형교)를 중심으로 구조물의 크기 등을 상대적으로 비교 하였다.

2. 기존선로와의 기술적 차이점

경량전철은 기계, 전기, 전자, 토목, 신호, 통신 등 여러분야의 최신기술로 이루어진 전용궤도를 이용하는 철도시스템으로 기존의 중량전철과 비슷한 서비스를 제공하면서 초기 투자비의 부담이

* 한국철도기술연구원 경량전철연구팀 선임연구원

** (주)유신코퍼레이션 상무이사

적어 세계의 여러도시에서 운행되고 있다. 또한 완전무인 운전이 가능한 새로운 교통수단(시스템)으로 운영요원의 절감, 소요에너지의 경감이 가능하며, 승객에 대한 서비스면에서도 정시성, 안전성, 저공해성의 신(新) 도시철도이다.[1][2]

토목분야에서 기존철도(고속철도, 국철, 도시철도)와 비교해서 경량전철의 특징은 다음과 같다.

- 차량과 궤도가 소형·경량: 하중이 상대적으로 적어 간결구조 가능 및 경제적
- 전자동 무인 운전, 무인 역사 가능: 유지관리비(인건비) 저렴
- 기존 지하철에 비해 짧은 역간 거리: 접근성이 좋아 이용에 편리
- 작은 회전반경 및 등판구배 능력 우수: 도심구간에서 고가로 선형계획이 용이
- 건설비 및 유지관리비가 저렴
- 저소음, 저진동, 무공해 시스템
- 도시경관과의 조화가 우수

상기의 거시적 경량전철의 장점외에도 구체적으로는 궤도분야에서 특이한 몇가지 차이점이 있다. 철재차륜형식의 AGT시스템은 기존차량에 비해 차량이 작고 경량이며 전력공급방식이 차이가 나지만 기존의 선로와 기술적인 큰차이점은 없다. 하지만 고무바퀴시스템[3]은 레일대신 주행로와 측면의 안내레일(案内軌條:Guide Way)이 있어 분기기등 기술적으로 고려할 사항이 추가적으로 발생하며, LIM시스템은 주로 철재바퀴AGT시스템과 궤도분야에서는 유사한데 단지 구동에 필요한 리액션플레이트(Reaction Plate 또는 Reaction Rail)를 그림1. 에서와 같이 양쪽 레일사이에 설치하여야 한다. 이 플레이트 때문에 장래레일 중하중과 동시에 온도변화에 따라 플레이트의 거동이 구조물에 미치는 영향을 고려하여야 한다[1].

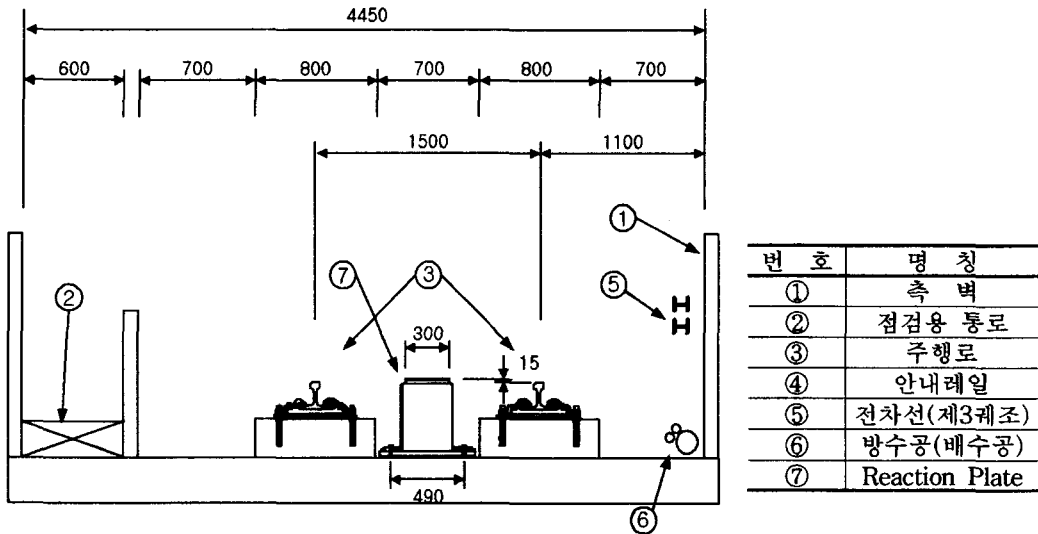


그림1. 궤도 단면도(단선, 철재 및 LIM)

3. 경량전철 구조물 특성

경량전철에서 구조물의 설계시 적용할 설계기준이 없어 도로교시방서 또는 철도교 시방서 등을 참고하여 설계하는 경우가 많으므로 본문에서는 기존의 설계기준과 상이한 몇가지 기준을 먼저 분석하여 보면 다음과 같다. 즉 하중을 L1(만차), L2(공차), L3(정원)로 구분하여 상태별로 조합을 하여 적용한다.

표 1. 적용구간과 재하방법

구 분	상 태	단 . 복선 구분	하 중
본 선	상 시	단 선	L1
		복 선	L1 L1
	구 원 시	단 선	L1+L2
		복 선	L1+L2 L1
	피로를 고려할 경우	단 선	L3
		복 선	L3 L3
지진을 고려할 경우	단 선	L3	
	복 선	L3 L3	
인 입 선	상 시	단 선	L2
		복 선	L2 L2
	구 원 시	단 선	L2+L2
		복 선	L2 L2+L2

※ 구원시 : 차량고장으로 인한 견인을 고려한 경우로서 고장차량편성 L1과 공차 L2를 재하하여 구조물의 설계부재력을 검토한다.

표 2. 차량형식별 차량하중 W(1량기준)

차량 요소	AGT 철제차륜	AGT 고무차륜	LIM
만차하중(L1)	31톤	19톤	31톤
공차하중(L2)	21톤	12톤	21톤
정원하중(L3)	26톤	15.5톤	26톤
승객정원 입석3명/m ² (1인 60kg)	82명	57명	82명

그리고 경량전철의 대표적인 고무차륜AGT의 열차축중의 배치도는 그림 2.와 같다.

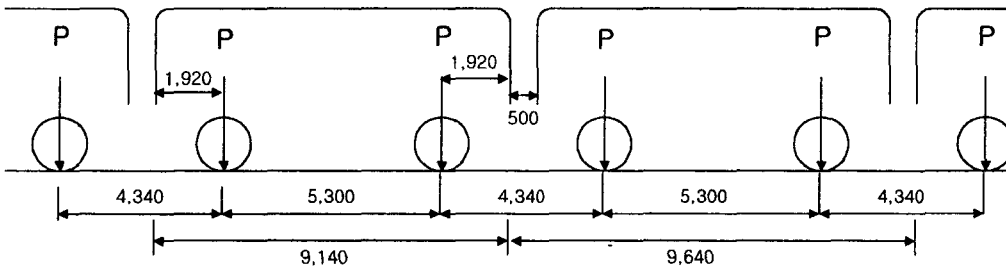


그림 2. AGT 고무차륜 축하중 모형

구배의 완급은 철도에서는 일반적으로 고저차를 수평 거리로 나눈 값을 1,000분율(% , Permillage)로 나타내며, 진행방향에 따라 상구배, 하구배로 구별하며, 경량전철 구배한도는 다음과 같다.

- 본선 : 철제차륜 48%이하, 고무차륜 58%이하
- 정거장 : 철제차륜 및 고무차륜 5%이하

국내의 고속철도 및 일반철도, 기존의 도시철도에서 적용한 설계기준 중 중요한 항목만 발취하

여 표3.에 정리 하였다.

표3. 기존철도와 경량전철과의 설계기준비교

구 분	국 철 (현 경부선)	경부고속철도	도시철도 (서울지하철 8호선)	경량전철(AGT)	
				철재	고무
설계속도	150km/h	350km/h	80km/h	70km/h	70km/h
궤간	1,435mm	1,435mm	1,435mm	1,435mm	1,740mm
최소곡선반경	400m	7,000m	250m	50m	40m
최급구배	12.5%	25%	35%	48%	58%
설계표준하중 레일	LS-22 50kg/m (일부 60kg/m)	UIC 하중 60kg/m	Q-25 60kg/m	별도설계모형 50kg/m	별도의 설계모형 -
침목 도상	P.C 및 목침목 두께 27cm	P.C 두께 35cm	P.C 콘크리트 또는 자갈25cm	P.C 및 합성형 SLAB궤도 또는자갈22cm	주행로 SLAB 궤도 또는자갈22cm
완화곡선길이	캔트의 1,600배 (3차 포물선)	캔트의 3500배 (3차 포물선)	캔트의 600배 (clothoid)	캔트의 300배 (3차 포물선)	캔트의 300배 (clothoid)
종곡선 반경	9,000m(2급선)	25,000m	3,000m 이상	1,000m 이상	1,000m 이상
궤도중심간격	4.2m	5.0m	4.0m	3.5m	3.7m
전력공급방식	-	카터너리	카터너리	제3궤조	제3궤조

한편 전력분야에서도 국철의 AC27,500V, 지하철의 DC1500V(국철구간은 일산선을 제외하고는 AC27,500V 사용)를 사용하는 대신 경량전철은 DC750V를 사용하며, 일반철도의 카터너리 방식 대신 제3궤조(측면에서 공급)방식을 주로 사용한다.

현재 국내에서 추진중인 건설사업을 중심으로 2주형교의 개략적인 구조물의 횡단면을 조사하였다. 경춘선 적용 2주형 판형교, 대구-포항간 고속도로 2주형 판형교, 프랑스 2주형 판형교 사례(Viaduct over the River Charente), 경량전철 2주형교의 상부구조 제원(AGT 고무차륜) 등을 조사 분석한 결과 그림3. 에서와 같이 형고2.0m로 간결하게 설계가 가능하였다.

또한 현재 한국철도기술연구원에서 추진중인 경량전철 시험선 건설을 위한 설계에 의하면 단선 40m 경간일 경우 대표적인 단면은 그림3.과 같다.

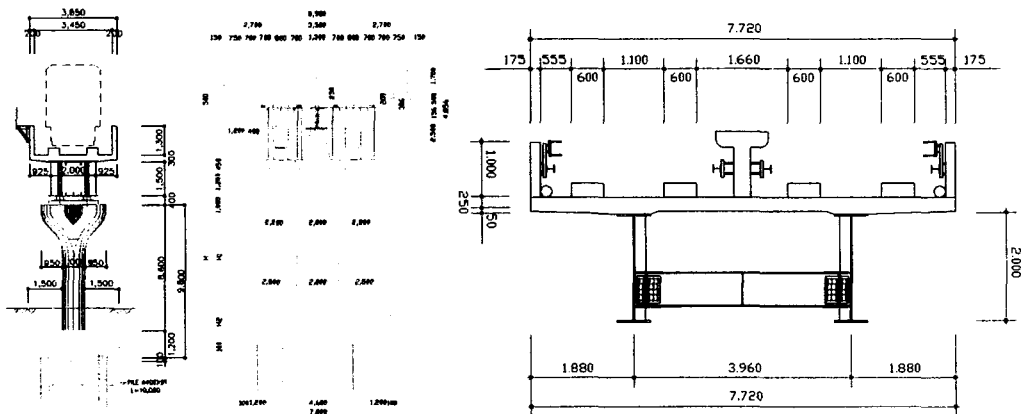


그림 3. 경량전철 상부구조(좌: 시험선, 중:김해경전철, 우: AGT 고무차륜)

개활지 등에서는 상대적으로 값이 저렴한 콘크리트 구조물을 많이 적용하지만, 도심지에서는 적절한 강교량 가설공법, 강재교각 및 합성형 교각의 적용, 복합 바닥판 기술의 채용 등에 힘입어 급속시공(공기단축)을 도모함으로써 교량건설의 직접비용 외에 교통장애 유발의 최소화, 인근 상권의 피해 최소화 등에 의한 간접비용의 절감 부분까지 고려한다면 비용절감 효과가 클 것으로

예상된다.

기타 경량전철 구조물(궤도) 설계 및 노선계획 등에서 간과하기 쉬운 구체적인 사례를 살펴보면 다음과 같다.

- ① 정거장길이가 기존지하철 및 전철에 비하여 1/2이하로 짧으며, 차량의 크기, 구조물의 크기가 작아 기존 지하철보다 토목, 건축 등 고정시설비가 적게 소요되는 반면 고도의 제어기술에 의한 완전자동 무인운전으로 시스템비용이 많이 소요되나 운영비용의 대폭적인 절감이 가능하다.
- ② 전구간 장대레일화 전제 교량은 가능한 FFMM 방식으로 건설되어야 함.
- ③ 선형과 속도에 맞추어 완화곡선장이 산정되어야 하며 시간당 캔트 채감율을 32mm/sec를 적용, 원곡선 통과속도에 따라 같은 160mm 캔트이어도 완화곡선장이 다르게 형성되어야 함.
- ④ 속도가 낮고 급곡선과 급구배가 같이 형성되어져 경합이 허용되어야 함.
- ⑤ 고무타이어 형식은 한냉지에서는 용설설비를 계획하여야하고 급구배에서는 마찰력 증대를 위한 조치를 취해야 함.
- ⑥ 구간에는 짧은 운전시각으로 유지보수가 불가능하여 생력화 시설이 불가피 함.
- ⑦ 방음벽 설치시 도시미관의 저해로 지양이 불가피함
- ⑧ 모노레일에서는 방음벽 차광벽 설치가 불가능하여 차내에서 자동으로 차광장치가 가동되어야 함.
- ⑨ 중앙에 점검로 설치시 상하선 선로 중심간격 변경 불가피 및 이에 따른 완화곡선장의 확장이 불가피 함.
- ⑩ 도시내 미관을 고려한 구조가 적극 검토되어야 함.
- ⑪ 시공중 도시내 교통흐름에 지장을 최소화 해야함. 따라서 F.S.M 공법은 철저히 지양해야 함.
- ⑫ 경량전철은 도심지를 운행하지만 차량의 정비, 유치를 위하여 차량기지의 설치가 전제로 검토 되어져야 함.
- ⑬ 기시공된 지하철등 구조물과의 저촉 및 향후 설치예정인 지하구조물과의 저촉을 감안한 구조물 계획이 수립되어야 함.
- ⑭ 교량상 분기기는 거어더 신축에 의한 추가레일 축력의 발생을 지양하기 위하여 단일 거어더 상에 배치해야 함.
- ⑮ 모노레일의 구조물은 간단하나 직접 차량이 운행되므로 표면이 정교하고 선형과 정교하게 제작 및 가설이 되어야 하며, 분기기는 구조물이 직접 작동하여야 하므로 전철기가 대형이고 작동이 느림.

4. 공사비 검토

현재 국내에서 기본설계를 완료한 부산반송선, 하남선, 김해선, 초읍선을 중심으로 개략적인 공사비를 비교한 결과 표4. 와 같다.

표4. 공사비 비교('99년 불변가, 단위: 억원)

노선 구분	하남시	김해시	초읍선	반송선	비 고
○ 토목 (차량기지 포함)	218.4 (궤도포함)	229.4	184.1	357.6 (궤도포함)	용지보상, 설계감리비 포함
○ 건축	71.1	22.2	16.1	32.2 (차량기지포함)	
○ 시스템 (전력, 신호, 통신등)	81.8	107.2 (궤도포함)	154.9	154.9 (환기·설비 검수 포함)	초읍선의 시스템비는 반송선을 기준으로 함
○ 차량	140.0	140.0	140.0	140.0	일률적으로 적용함
○합계	511.3	498.8	495.1	684.7	고가평균 약502억원 지하구간 약752억원

※김해시의 경우 낙동강 통과 및 기초지반연약(지하 60M이하에 암반)

※반송선의 경우 지하구간이 7.7km 임.(지하건설시 약752억원/km)

※정거장의 골조공사 및 차량기지 조성비는 토목에 포함

고가구간의 공사비를 분석한 결과 다음과 같다.

- 본 선 : 4,009.4m(735억원), 약183억원/km
- 정거장 : 260.3m(4개소, 126억원), 약 485억원/km
- 평균공사비 : 861.45억원/4.2697km = **201.8억원/km**

지하구간의 공사비를 분석한 결과 다음과 같다.

- 본 선 : 6,757.5m(2,096억원), 약310억원/km
- 정거장 : 900.8m(8개소, 902억원), 약 1001억원/km
- 평균공사비 : 2998억원/7.6583km = **391.5억원/km**

5. 결론

경량전철 중에서 AGT시스템(철재, 고무) 및 LIM시스템을 위주로 토목분야의 일반적인 기술특징을 조사하였으며, 기존선로와의 차이점 및 현재 국내에서 추진중인 경량전철 건설사업을 중심으로 개략적인 공사비를 비교 분석하였다. 경량전철시스템이 주로 도심지에서 적용되는 관계로 미려한 경관의 형성이 매우 중요한 요소이다. 미관을 향상시키는 방법은 구조물 자체의 미관 설계법을 적용하는 방안과 교량용 외장재를 적용하는 방안 등 이에 대한 연구를 계속해서 수행해야 할 것으로 생각된다.

토목구조물의 실제 설계(2주형교)를 중심으로 구조물의 단면을 예시하였다. 아무쪼록 국내에서 경량전철이 본격적으로 기술개발 및 설계가 잘 진행되고 있어 다행이며, 막연히 “경량이니까 일반 철도에 비해 가벼울 것이다.”라는 단순한 생각에서 벗어나 구체적인 기술적 차이점이 무엇인지 한번 살펴보았으며, 추후 좀더 깊이 있는 분석이 나오기를 기대한다.

참고문헌

1. 일본 도시교통연구회(1997), “새로운 도시교통 시스템”
2. 교통개발연구원(1997), “경량전철의 개발추이와 도입방안”
3. 고베시 기획국 신교통 건설부, “고베 신교통 Port Island선 건설지”
4. 포항산업과학연구원(2000), 경량전철시스템 기술개발사업 2차년도 연구결과보고서(선로구축물 분야)
5. Transportation Research Board(1975), “Light Rail Transit-Special Report 161”