모노레일형식 경전철 차량 표준규격 연구(기본 구성 및 성능)

Standard Specification Research for Monorail Type LRT

홍재성* 류상환** 이호용** 황현철**

Hong, Jai-Sung Ryu, Sang-Hwan Lee, Ho-Yong Hwang, Hyeon-Chyeon

---

ABSTRACT

Monorail is a type of LRT that a train, made with 2~4 cars runs on single track. Monorail can be divided into two types - straddled type, running on track beam and suspended type, running suspended from track beam. After Wuppertal, world's first monorail in German, many monorails are currently operated in Australia, U.S.A, Japan etc. In macountry, it was decided to introduce monorail to 3rd line of Daegue. Daegue's 3rd line is public financial project and supported about 60% of total project cost by central government. The central government announced a standard for rubber-wheel type LRT and steel-wheel type LRT. It becomes a guide to local government willing to introduce this type of LRT. The standard for monorail hasn't announced yet although the necessity of research has grown. Korea Railroad Research Institute which has been asked to research by Ministry of Land Transport and Maritime Affairs has carried out research on standard of monorail considering domestic condition. The on-going research is described in this paper. We wish that it becomes national standard and a good guide for local government.

국문요약

모노레일 형식의 차량은 단일 궤도를 이용하여 주행하는 형식으로서 보통 2량~4량을 한편성으로 하여 운행하고 있는 경전철 차량이다. 모노레일은 궤도 위를 주행하는 과좌식과 궤도에 매달려서 주행하는 현수식 2종류가 있다. 세계에서 가장 오래된 독일 뷔퍼탈 모노레일을 시작으로 호주, 미국, 일본 등에서 많은 모노레일이 현재 운행되고 있다. 우리나라에서도 대구시 3호선이 모노레일 형식의 차량을 도입하기로 결정하였다. 대구시 3호선은 국가제정사업으로서 중앙정부 예산이 총 사업비의 60% 지원이 된다. 국가에서는 고무차륜형식 경전철 차량 및 철제차륜형식 경전철 차량에 대해서는 표준규격을 고시하여 이 차량 형식을 도입하려고 하는 지자체에서는 많은 참고를 하고 있으며 그에 따른 유지보수 효과등 많은 혜택을 받고 있다. 그러나 모노레일 형식의 차량에 대한 표준규격은 아직까지 국가에서 고시하지 않아 이에 대한 연구의 필요성이 제기되었다. 한국철도기술연구원에서는 이러한 목적으로 국토해양부의 의뢰를 받아 한국의 실정에 맞는 모노레일 형식의 표준규격에 대한 연구를 진행하고 있으며 본 논문에서는 차량의 기본 구성 및 성능에 대한 연구내용을 담고 있다. 본 표준규격에 대한 내용이 국가의 표준으로 고시되어 모노레일을 계획하고 있는 지방자치단체에서 많이 활용을 하기를 희망한다.

2. 본 문

모노레일 형식 경전철 차량 표준규격의 적용범위는 “직류전원을 공급받는 과좌식 모노레일로 무인운

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원 경량전철시스템연구단 선임연구원
E-mail : jshong@krri.re.kr
TEL : (031)460-5713 FAX : (031)460-5749

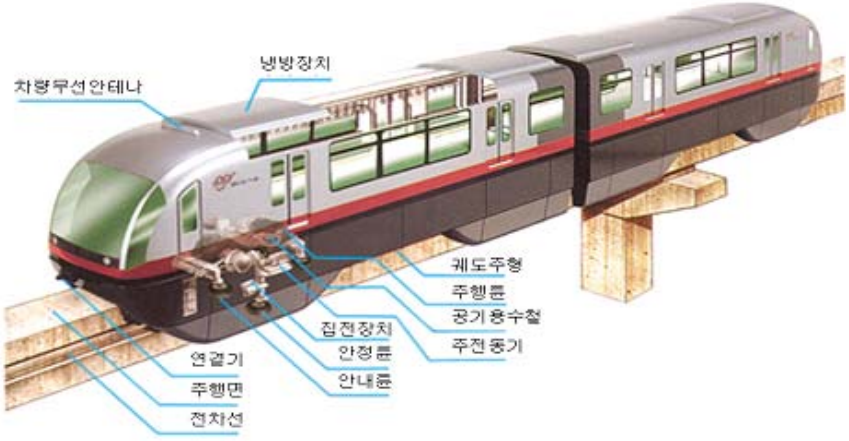
전이 가능한 경전철 차량의 차량시스템 및 주요 구성품의 기능과 기술규격에 대하여 규정한다.” 로 정하였다.1990년 이전에는 현수식과 과좌식 모노레일들이 개발되어 왔으나 현재는 과좌식 모노레일 주도로 개발되어 가는 형태이다. 따라서 최신 기술과 개발환경을 갖춘 과좌식 형식의 모노레일을 표준 사양으로 한다.

- 과좌식 모노레일(Straddled Type Monorail)

그림1은 과좌식 모노레일 차량의 구성을 나타낸 것이다. 주행로 위를 걸터앉아 주행하는 모노레일로 고무 타이어방식의 대차를 사용하며 다음과 같은 장점이 있다.

1) 도로상의 자동차등으로 인해 차량한계에 지장을 받지 않는다.
2) 궤도 거더, 지주 어느쪽도 콘크리트 구조물이므로 건설 코스트가 저렴하다.
3) 궤도 거더 시설에 페인팅을 필요로 하는 개소가 적고, 궤도 거더의 감시는 열차나 지상에서 육안으로 가능하여 일상의 보전 업무가 용이 하다.

고무타이어 방식의 대차는 보기식 대차로 주행차륜은 질소를 넣은 고무타이어를 사용하며 차축을 대차 프레임에 고정시킨다. 또한 타이어를 교환할 수 있는 구조로 되어 있다.



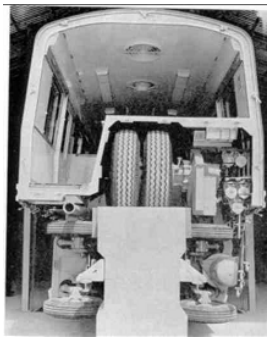


그림1. 과좌식 모노레일 형식 차량

2.1 차량의 편성

차량의 편성은 “ 동력대차와 부수대차를 각각 포함한 차량으로 2량 1편성을 기본편성으로 하며, 필요시 최대 6량까지 구성하여, 요구 수송수요를 만족할 수 있어야 한다.” 로 정하였다. 그림 2는 차량의 편성시 동력대차와 부수대차의 구성 예를 표현하였는데 모노레일의 대표적인 제작사인 일본 히다찌사의 구성을 참조하였다.

표 1 운행시격에 따른 수송력

시격(분)	열차수 (시간당)	수송력(인/시간/방향)		
		2량	4량	6량
2	30	10,080	21,540	32,310
2.5	24	8,592	17,088	25,632
3	20	7,160	14,240	21,360
4	15	5,370	10,680	16,020
5	12	4,296	8,544	12,816
10	6	2,148	4,272	6,408

2량 1편성을 기본편성으로 정한 이유는 보통 경량전철에 대한 정의를 시간방향당 승객수송량이 10,000명 ~ 30,000명으로 정하고 있기 때문에 표 1에서 볼수 있듯이 운전시격을 2분으로 하였을 때 2

량 1편성일 경우 약 10,000명, 최대 6량으로 중복 연결하였들 때 약 30,000명의 수송력이 있어 이를 근거로 하였다.

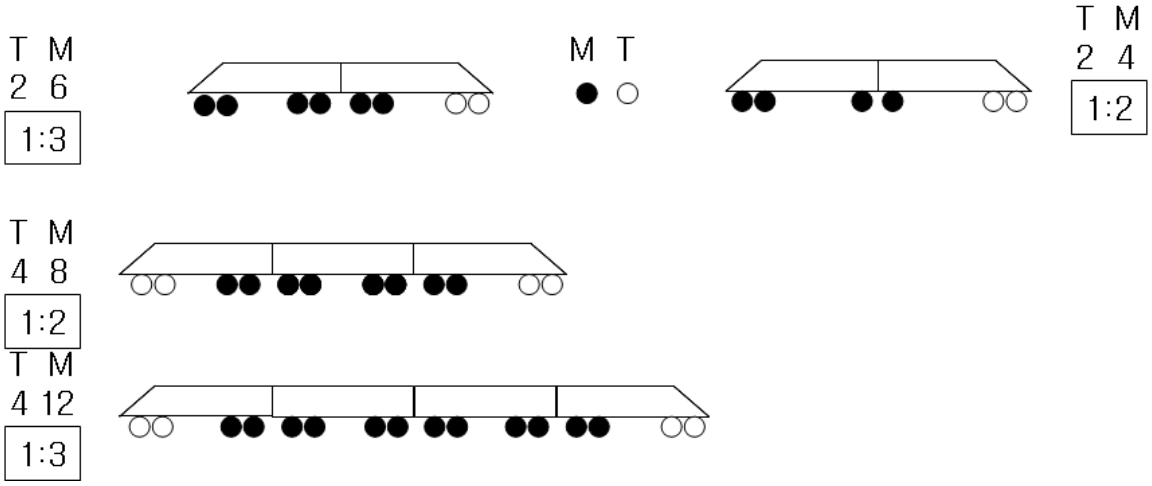


그림2. 차량 편성의 예(히다찌사 차량 참조)

2.2 승객정원

여객차에서는 좌석 정원이라 하며 승객 좌석의 수, 통근차 등의 좌석정원과 입석 정원의 합계 수로 승객정원은 승객정원은 입석일 때 3명/㎡을 적용하였다. 승객정원을 계산하기 위해서는 전체적인 수송력을 감당하는 차량의 크기를 먼저 정하여야 한다

수송량을 감안한 차량의 크기는 폭 3,000㎜(출입문 발판치수 제외), 길이 14,500㎜로 정하였다. 무인운전을 기반으로 하기 때문에 운전실은 고려하지 않았고 노약자 장애자를 위한 휠체어 공간을 마련하였다. 다만 수동운전을 고려한 운전설비 및 차상 신호장치 설치공간확보 등을 위한 좌석배치를 하였다. 이를 제외한 입석을 위한 면적이 총 24.061㎡로 계산되어 정원산정기준(3명/㎡)으로 하였을때 입석수가 72명으로 산정되었다. 따라서 총 정원은 107명으로 산정되었다. 다만 운행시격에 따른 수송력 계산은(표2 참조) 입석면적을 6명/㎡으로 하여 계산하였다.

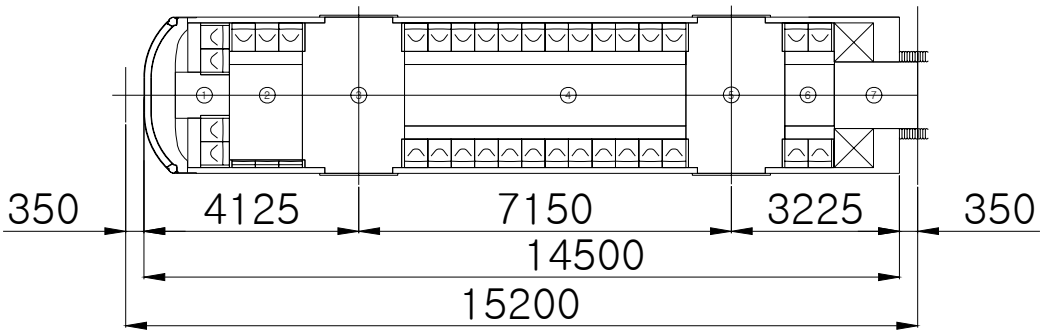


그림 2 모노레일의 좌석배치 및 점유면적

좌석정원 산정기준은 다음과 같다.

(1) 앉은 방향 길이 : 550㎜+250㎜(발길이)=800㎜

(2) 어깨 폭 : 450㎜[국민표준체위 조사서(공업진흥청, 1992년)]

(3) 승객이 앉았을 때 점유하는 면적 : (0.55+0.25)×0.45 = 0.36[㎡/인]

이러한 기준을 토대로 하여 좌석정원을 35명으로 정하였다.

2.2 최대축중

축중은 하나의 차륜이 부담하는 중량으로 궤도·교량의 부담력을 기초로 하여 열차속도와도 관련하여 차량 최대 축중(Axle Load)이 정해진다. 또한 축중은 차량의 총중량과 차량이 보유한 축의 수에 의해 정해진다. 동일 한 크기와 중량의 차량인 경우에도 차량이 보유한 축의 수에 의해 축중은 달라 질 수 있다. 과좌식 모노레일 표준사양에서 설정한 데이터를 사용하여 차량에 승차할 수 있는 승객의 정원과 차량의 중량을 통하여 축중을 계산하면 다음과 같다.

· 승객정원 : 107명 (좌석 35명, 입석 72명)
· 승객중량 : (입석정원 + 좌석정원)×1인당 성인 승객 하중(63kg)
· 성능계산 기준 최대 승객하중 : (좌석인원+(입석인원×2배))×63kg ≒11.2톤
· 최대 승객하중 : 11.2 ton/량
· 공차중량 : 31.8 ton 이하
· 만차중량 : 43.0 ton 이하

축중은 43.0/4축 ≒ 10.75 ton 이며 안전을 고려하여 11 ton 으로 설정하였다.
참고로 싱가폴 센토사 모노레일 축중은 8.55톤, 일본 오키나와 모노레일 축중은 10톤, 중국 중경모노레일의 축중은 11톤 등으로 다양하다.

2.3 가선공칭전압

과좌식 모노레일에 공급되는 전력은 변전소에서 공급되는 전압으로 일반적으로 변전소에서는 다이오드 정류방식과 사이리스터 정류 방식을 사용하며 이 경우 일정한 맥동성분의 전압이 포함되어있다. 따라서 모노레일에 공급되는 3궤조의 표준전압을 가선공칭전압이라 한다.
모노레일의 가선공칭전압은 변전소의 간격과 송배전 선로의 비용에 따라서 결정하지만 일반적으로 역간 거리가 짧고 지하구간이 많은 선로에서는 직류(DC)전압을 많이 사용하며 역간거리가 길고 지상구간이 많을 경우는 교류(AC)전압을 많이 사용하고 경량전철의 경우 국내에서는 직류(DC)전압을 사용한다. 모노레일의 경우 주로 사용하는 전압은 DC 1500V, DC 750V로 교류의 경우는 차량의 내부 구성상 컨버터 및 메인트랜스포머가 필요하기 때문에 모노레일에서는 일반적으로 적용하지 않는다.

표 2 운행중인 모노레일 가선전압 비교

구 분		대 형	중 형	소 형		
크기 [m]	선두차길이	15.5	14.7	-	12.3	7.0
	중간차길이	14.6	13.7	12.5	8.6	4.7
	폭	2.98	2.98	2.79	2.55	2.3
가선공칭전압		DC 1500V	DC 1500V	DC 750V		
적용 노선		일본 키타큐슈 오사카 타마 중국 중경 모노레일	일본 오끼나와 모노레일	싱가폴 센토사	Las Vegas M-IV	P30
차량제작사		히타치, 가와사끼 중공업	히타치, 가와사끼 중공업	히타치, 가와사끼 중공업	Bombardier	Intamin

가선공칭전압의 선정은 경제성, 기기 점유 크기, 중량, 절연거리, 안전성 등을 고려하여 선정하는데 일반적으로 대형·중형 모노레일은 전장품의 크기의 축소와 절연간격이 가능하기 하고 송배전의 거리와 변전소등의 경제성을 고려하여 DC 1500V를 주로 사용한다. 반면 소형모노레일은 절연간격에서 유리한 DC 750V를 일반적으로 적용한다. 단 동경 모노레일은 대형이지만 DC 750V로 한 것은 ALWEG사와 HITACHI사간 기술제휴에 의해 ALWEG사의 사양에 따른 것이었다. 각국에서 운영하는 모노레일의 가선전압을 조사하여 정리하여 표 2에 나타내었다.

경제성, 가선 공칭전압 전류와 영향이 있는 차량 구성 기기인 추진제어 장치, 견인 전동기, 보조전원 장치 등의 점유 크기 및 중량에 대해 대·중형인 경우에는 DC 1500V가 전체적으로 유리하며, 소형의 경우는 절연거리 확보 관계로 DC 750V를 적용하는 것이 적합하다.

표 4 DC 1500V와 DC 750V 비교

구 분	DC 1500V	DC 750V
전류의 크기[동일 용량 시]	100%	200%
경제성 1. 변전설비 2. 유지보수비 3. 전력 손실[동손]	비용이 적게 든다. 급전 변전소 수량 적음. 적음 적음	비용이 많이 든다. 급전 변전소 수량 많음. 많음 많음
기기의 점유 크기	작음	큼
차량 중량	작음	큼
절연거리	소형은 확보 불가	대/중/소형 확보가능
승객 안전성	역에 접지판 설치	역에 접지판 설치
적용 평가	대/중형에 적합	소형에 적합

이상 해외 적용 사례 및 DC 1500V와 DC 750V 비교 검토 결과 모노레일 표준사양에 적용하는 가선 공칭전압은 대·중형 모노레일은 DC 1500V, 소형 모노레일은 DC 750V가 적합한 것으로 판단되었다. 따라서 표준규격에서는 대형·중형 모노레일을 고려하므로 가선공칭전압은 DC 1500V로 정하였다.

3. 결론

고무차륜 형식 및 철제차륜 형식에 대한 표준사양은 1998년에 이미 고시가 되었으며 기술발전 추세에 따라 고무차륜 형식 표준사양은 2005년에 개정고시 되었고 철제차륜 표준사양도 개정고시를 위한 연구가 진행중에 있다. 국내 지방자치단체에서는 상기 두 차종 외에 선형유도모터형식, 모노레일 형식, 노면전차 형식등의 차량을 도입을 계획하고 있다. 차량 시스템은 전기방식, 승객정원, 성능최고속도, 가속도및 감속도, 져크한계, 속도제어방식, 제동방식, 승차감, 소음 등 많은 내용들이 있지만 본 논문에서는 우선 모노레일의 차량 크기에 따른 승객정원, 축중, 가선공칭전압만을 다루었다. 본 내용들이 국가에서 고시하는 표준규격 내용안에 포함될수 있도록 할것이며 모노레일을 계획하고있는 지자체에서 참고로 활용하기를 기대한다.

참고문헌

1. 백남욱 외 공역, (2008년), “모노레일과 신교통시스템”, 골든벨
2. “알기쉬운 철도용어 해설집,” 한국철도학회
3. 한국철도기술연구원, (주)유신코퍼레이션 편역“일본의 신교통시스템”, 도서출판 골든벨(2007년)
4. “대구도시철도3호선 차량제작규격서”, 대구광역시 도시철도건설본부(2007년)
5. “중국 중경모노레일의 개요” Kato, Masamiti(주 히다찌제작소), 철도차량과기술(2007년)