

모노레일 시스템 궤도빔의 합리적인 경간장 결정방안

The plan of rational span decision to track beam of monorail

안용모*

백차승**

Ahn, Yong-MO

Baek, Cha-Seung

ABSTRACT

The monorail system as new transportation system mostly has being constructed as an elevated construction and the track beam as mostly main work type occupy the important parts. The structure of monorail system, the track beam support directly vehicle's load and comprised of the track beam structure to be traveling side and understructure to be transmitted from their load to the ground.

In particular, in case of construction to elevated structure in the center of a city, it is important to decision plan for span to be considered the economic, execution and maintenance according to transport, installation, and the structure problem, scene and civil appeals to be decided the beam elevation and span.

Therefore the standard span of monorail track beam shall be considered the efficient execution, economic and transportation. And propose to reasonable decision plan incorporated the minimizing the road occupied width due to openness to center of a city and bridge pole, minimize to basis size.

1. 서 론

정보화시대를 맞아 도시화, 산업화가 가속화됨에 따라 교통체증의 전일화 현상은 경제활동에 많은 영향을 미치고 있으며, 국내도시의 경우에도 현재 건설 또는 운영중인 도시철도 건설만으로는 다양해진 수송수요를 효과적으로 처리하기에는 매우 어려운 상황에 직면하고 있다.

이러한 교통문제의 해결을 위해서는 다양한 대중교통수단의 제공과 교통서비스의 향상을 통해 이용자의 교통수단 선택의 폭을 넓혀야 한다. 경량전철시스템은 대도시 내 주요거점을 연결하는 간선교통, 도시철도 노선이 닿지 못하는 지역의 교통수요를 기존 도시철도에 연결시키는 개념의 지선 및 순환교통 그리고 공항, 위락지역 등 대단위 교통밀집지역의 접근교통의 기능을 담당할 수 있다.

경량전철의 특징은 현대인의 취향에 맞도록 1~2분 이내로 짧은 시격의 배차가 가능하며, 정거장 길이가 짧고, 건설비 등 고정설비가 적게 소요되는 반면 완전무인자동운전으로 시스템비용이 다소 많이 소요되나 운전비용의 대폭적인 절감이 가능하다. 작은 곡선반경, 짧은 열차길이, 편성당 적은 차량수 등에 의하여 차량기지의 면적이 적게 소요되고 짧은 시격, 신속성, 타 교통수단에 비하여 문전에서 문전으로 갈 수 있는 교통수단으로의 접근성이 우수하다.

* 대구광역시 도시철도건설본부, 정회원, 관리계획부장

E-mail : ymahn@daegumail.net

TEL : (053)641-8672 FAX : (053)640-3981

** 대구광역시 도시철도건설본부, 설계과, 담당

E-mail : beakchas@yahoo.co.kr

TEL : (053)640-3690 FAX : (053)640-3697

신교통시스템인 모노레일(Monorail)시스템은 대부분 고가구조로 건설되며 대부분의 주요공종인 궤도빔이 중요한 부분을 차지하고 있다. 모노레일 시스템의 구조물은 궤도빔이 차량하중을 직접 지지하면서 주행면이 되는 궤도빔 구조와 이들 하중을 지반에 전달하는 하부구조로 이루어진다. 이러한 궤도빔은 직선, 원곡선, 완화곡선 및 종단곡선이 혼합되는 복잡한 형상을 지니게 되며, 고정하중에 의한 솟음 캔트의 도입, 프리스트레스 및 장기거동에 의한 처짐 등이 정밀하게 고려되어야만 차량의 주행성을 일정한 수준으로 유지할 수 있게 되므로 궤도빔의 정밀시공은 모노레일 교량의 계획 및 설계, 시공에 있어서 가장 중요하게 고려해야 할 사항이라 할 수 있다.

특히 도심에 고가구조로 건설될 경우 빔 높이와 경간장을 결정하는 구조적인 문제와 경관과 민원 그리고 운반과 가설에 따른 경제성과 시공성 및 유지관리성을 고려한 경간장 결정방안이 중요하다. 따라서 모노레일 궤도빔의 표준경간장은 시공효율성과 경제성 및 운반을 고려하여 도심지의 개방감과 교각기둥 및 기초크기 최소화로 인한 도로점유 폭 최소화 등을 반영한 합리적인 결정방안을 제시하고자 한다.

2. 모노레일의 구조

2.1 궤도빔 구조형식

모노레일 궤도빔은 경제성, 제작, 운반, 가설의 용이성, 하부도로의 여건, 평면선형조건 등을 종합적으로 고려하여 형식을 정하여야 한다. 대부분의 해외 모노레일에서는 PSC궤도빔을 표준구조형식으로 채택하고 있으며 일본 모노레일에서는 급곡선부나 장경간을 필요로 하는 위치에서 제한적으로 강궤도빔을 채택하고 있다. PSC궤도빔은 강궤도빔에 비해 훨씬 경제적이며, 별도의 제작장을 조성하여 제작하면 계획적인 생산과 품질관리가 가능하다.

외국의 궤도빔구조 사례는 다음<그림2-1>과 같다.

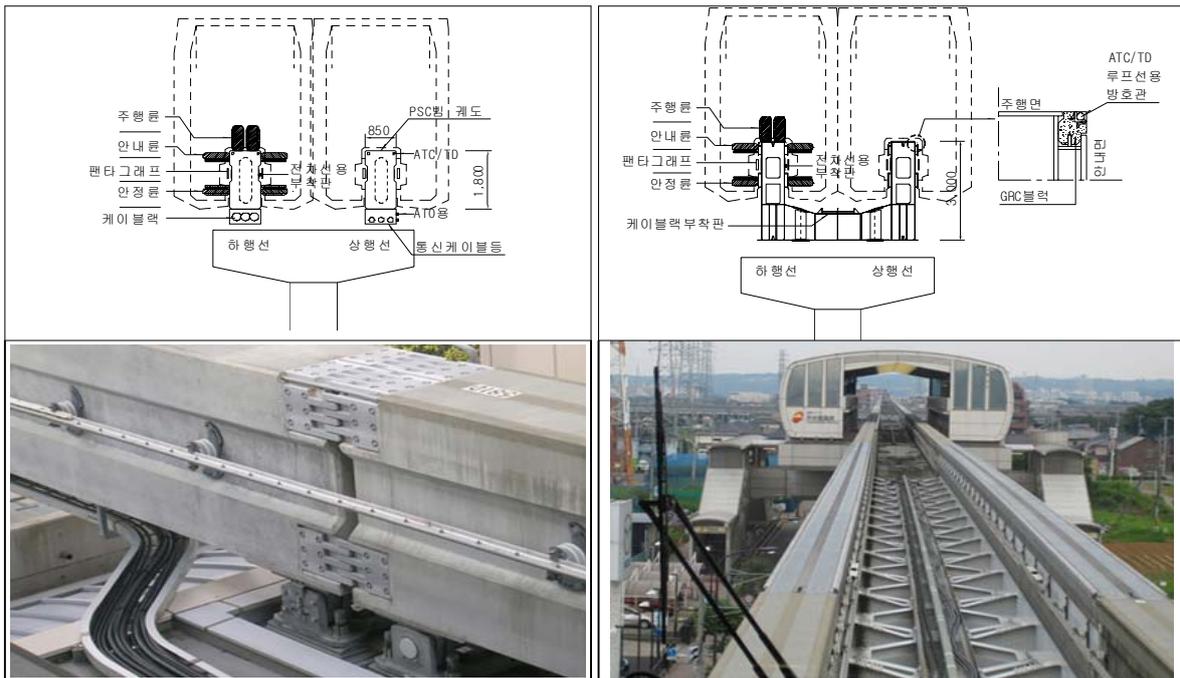


<그림2-1> 궤도구조 사례

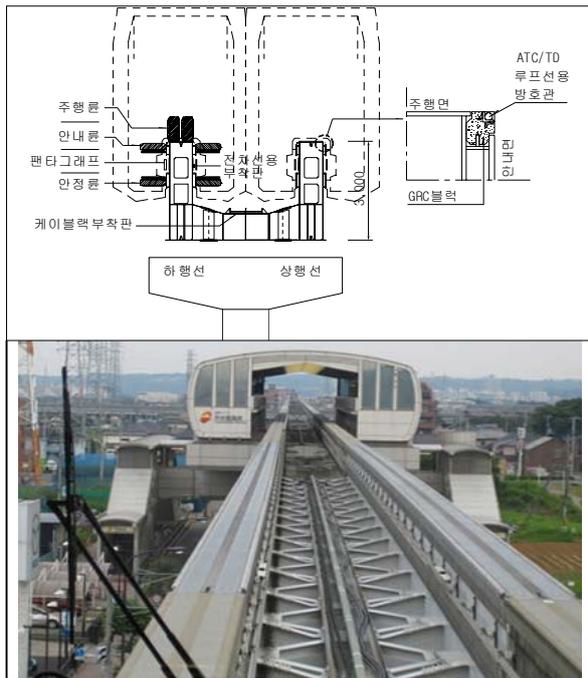
2.2 궤도빔의 표준횡단구조

궤도빔의 횡단면은 차량시스템 및 대차구조에 의해 결정된다. 모노레일의 표준대차구조는 2축으로 이루어진 전동대차로서 주행차륜은 1축당 2개씩 배치된다. 또한 양측면으로 위쪽에는 2개의 안내차륜이 배치되며 모두 공기주입의 고무타이어이다. 궤도빔은 이 같은 대차구조에 따라 궤도빔의 상부폭과 측면의 안내면, 안정면의 제원이 정해진다.

모노레일 궤도빔에는 전차선, 자동열차제어장치(ATC), 열차검지장치(TD), 자동열차운행장치(ATO), 통신 및 케이블을 설치 또는 부착할 수 있어야 하므로 이를 고려해야 한다. 다음의 그림은 PSC 궤도빔 및 강궤도빔에서의 표준횡단구조를 나타낸 것이다.



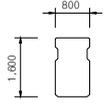
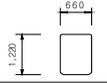
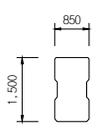
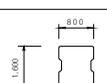
<그림2-2> PSC 궤도빔 구조



<그림2-3> 강궤도빔 구조

과좌식 모노레일의 PSC궤도빔 표준단면 제원에 대한 해외사례를 다음과 같으며, 표준궤도빔의 폭은 0.51~0.90m 이내이며, 빔의 높이는 지간장에 따라 변화하지만 대략 0.88~2.10m 의 범위에 분포함을 알 수 있다.

<표2-1> 과좌형 모노레일의 표준궤도빔의 단면제원

차량 시스템	궤도빔 단면도	빔 폭	빔 높이	적 용 노 선
ALWEG		0.80m	1.40~1.60m	독일, Fühligen(1957) 이탈리아, Turlin (1961)
Disney-Bombardier		0.66m	1.22~2.03m	미국, Walt Disney World (1971) 미국, Las Vegas (1995)
Hitachi Type-1 Large		0.85m	1.50m	일본, Kitakyushu (1985) 일본, Osaka (1990) 일본, Tampa (1997) 일본, Tama (1998) 중국, Chongqing (2005)
Monorail Malaysia		0.80m	1.40~2.20m	말레이시아, 쿠알라룸푸르 (2003)

3. 경간장 및 구조형식

3.1 적용 경간장

PSC케도빔의 표준경간장은 구조적 안전성, 운반 및 가설의 용이성, 시가지 경관과의 조화성 등을 고려하여 결정된다. 일반적으로는 시가지 경관을 고려하여 경간장을 가능한 늘리는 방향으로 접근하며, 구조적인 안전성 등을 고려하여 대체로 30m내외의 지간을 표준으로 하고 있다.

모노레일 운영실적이 가장 많은 일본의 경우를 보면 중량물 도로운반 관련법규의 제약에 의해 모든 노선에서 표준경간장을 22m이하로 하고 있다. 그러나 고가 교각이 22m이하 간격으로 배치하는 것은 시가지 경관을 복잡하게 하므로 최근에는 일본에서도 PSC케도빔을 장경간화 하려는 시도가 이루어지고 있으며 주로 분절공법에 의해 경간장을 30m에서 길게는 40m까지 증가시키기 위한 시험시공 및 실험 연구가 진행되고 있다.

3.2 구조형식

PSC케도빔의 지지형식은 단순보구조, 연속보구조, 상부빔과 하부를 강결 일체화시킨 연속강결구조의 세가지 형식으로 분류된다. 외국에서의 적용사례는 다음<표3-1>와 같다.

<표3-1> PSC 케도빔 구조형식 사례

지지형식	운영사진	표준 경간장	적 용 사 례
단순보구조		20 ~ 22m	· 일본 오사카, 타마, 오끼나와 등 8개 노선 · 중국 중경
연속보구조		30 ~ 40m	· 말레이시아 쿠알라룸푸르
연속강결구조		30.5m + 3@36.5m + 30.5m = 170.5m	· 미국 라스베이거스

4. 경간장 결정방안

4.1 경간장 결정시 고려사항

모노레일과 지역 노선특성에 적합하고 중,평면선형을 충족시킬 수 있는 구조로서 향후 개발계획을 반영할 수 있어야 한다. 적절한 지간 구성으로 상, 하부 구조의 응력부담을 완화 할 수 있고 차량하중의 동적특성 및 내진성을 고려한 구조형식으로 안전성이 우수해야 한다.

도심지를 통과하므로 슬림하면서도 미관이 뛰어나고 구조물의 시각적 연속성 확보와 상,하부 구조의 조화성 및 단순함과 경제함을 고려해야 한다. 시공 중 노면교통장애를 최소화 할 수 있는 구조형식 및 공법선정으로 시공성을 고려해야 한다. 보수 및 보강이 용이하고 훼손시 교체가 용이한 교량형식으로 유지관리가 용이해야 하며 무엇보다 도심지 개방감 확보를 위한 상부 경간장 및 교각형상이 선정되도록 해야 한다.

4.2 해외사례

(1) 일본모노레일

일본의 경우 대부분의 도시가 단경간 PSC빔으로 표준구간으로 계획하였으며 궤도빔의 단순가설로 상부 공종이 완료되어 시공성, 공사기간, 안전성 측면에서 유리하며 다음 <표4-1>와 같다.

<표4-1> 일본 모노레일

항 목	내 용		비 고
영업노선수	8개노선(현수식 제외)		
영업연장	87.1km		
상부구조형식	표준구간 : PSC궤도빔, 장경간, 급곡선부 : 강궤도빔		
표준경간장	L = 22m		
사 례	PSC 궤도빔(오끼나와)	강 궤도빔(타마)	
시 공 사 진			

(2) 라스베가스 모노레일

전구간 PSC 궤도빔 강결구조를 채택하고 있다. 우리나라와 달리 하부도로의 공간상 제약이 크지 않으며 궤도빔의 연속화 시공에 어려움이 상대적으로 작고, 시공관리의 어려움으로 궤도빔의 주행성이 떨어지며 다음 <표4-2>와 같다.

<표4-2> 라스베가스 모노레일

항 목	내 용		비 고
영업노선수	1개노선		
영업연장	6.3km		
상부구조형식	전구간 : PSC궤도빔		
표준경간장	L = 30m		
특 기 사 항	공간상의 제약이 크지 않고 주행성이 불량		
사 례	표준구간	급곡선부	
시 공 사 진			

4.3 표준경간장에 따른 장단점 비교 및 운반, 시공성 검토

(1) 표준경간장에 따른 장, 단점 비교

외국에서 운행하고 있는 표준경간장(20m, 22m, 25m, 30m)을 기준으로 1km당 시공성, 경제성, 유지관리, 교통, 주행성, 공사기간, 환경성 등에 주안점 두고 장, 단점을 비교 검토하였다. 다음 <표4-3>와 같다.

<표4-3> 표준경간장에 따른 장, 단점 비교(1km당)

경간장 구분	L = 20m	L = 22m	L = 25m	L = 30m	
종단면도					
횡단면도					
교각일반도					
주요 특징	시공성	· 본수 100본(교각 50기) · 빔길이가 짧아 운반용이 · 빔 설치가 다소용이	· 본수 91본(교각 45기) · 빔길이가 짧아 운반용이 · 빔설치가 다소용이	· 본수 80본(교각 40기) · 빔길이가 길어 운반불리 · 빔설치가 다소불리	· 본수 67본(교각 33기) · 빔길이가 길어 운반불리 · 빔설치가 가장 불리
	경제성	· 1km당 108.2억원 소요	· 1km당 107.1억원 소요	· 1km당 103.6억원 소요	· 1km당 101.4억원 소요
	유지관리	· 교량받침 200개 · 신축이음장치 100개소	· 교량받침 182개 · 신축이음장치 91개소	· 교량받침 160개 · 신축이음장치 80개소	· 교량받침 134개 · 신축이음장치 66개소
	교통	· 공사기간이 길어 교통 체증 유발기간 장기화	· 공사기간이 길어 교통 체증 유발기간이 장기화	· 공사기간이 단축되어 교통 체증 유발기간 상대적으로 감소	· 공사기간이 상대적으로 작아 교통체증 유발기간 최소화
	주행성	· 신축이음장치 100개소로 경간장 30m에 비해 주행성 불리	· 신축이음장치 91개소로 경간장 30m에 비해 주행성 불리	· 신축이음장치 80개소로 경간장 30m에 비해 주행성 다소 불리	· 신축이음장치 67개소로 상대적으로 주행성 양호
	공기	· 42개월 소요(몰드 4조 설치) · 29개월 소요(몰드 6조 설치)	· 39개월 소요(몰드 4조 설치) · 32개월 소요(몰드 5조 설치)	· 36개월 소요(몰드 4조 설치) · 29개월 소요(몰드 5조 설치)	· 31개월 소요(몰드 4조 설치)
환경성	· 교각의 수에 따라 차도(1차로) 주행시 20m~22m에 비하여 25~30m가 유리 · 레도빔의 높이 측면에서는 20m~22m의 경간장 빔의 경우가 다소 유리한 측면임.				
해외사례	· 동경, 키타큐슈, 오사카, 오키나와	· 타마, 중경	-	· 쿠알라룸푸르, 라스베가스	

(2) 운반 및 시공성 검토

주행빔 운반은 가장 긴 30m에 대하여 운반가능성을 확인하였으며, 용인경전철(LIM) U-Girder 운반에 사용된 차량 Trolley에 근거하여 운반경로상의 주요 교차로 통과에 대하여 검토하였다.

구 분	길이	높이	중량	비고
용인경전철	30m	2.3m	154.0tonf	LIM
대구 3호선	30m	1.8m	82.4tonf	모노레일

검토결과 곡선반경이 가장 작은 R=30m에서 통과폭원이 14.1m가 필요하며 사용가능 폭원은 19.02m로 대부분의 도심의 경우 6차로 이상인 구간에는 차량통과에 문제가 없는 것으로 확인되었다.

5. 결론

타 경량전철 시스템과는 다르게 차량시스템 전체가 고가구조물의 외부로 노출되어 운영시 도시에 생동감을 넘치게 할 수 있는 경량전철 시스템이나 우리나라 도시에서 적용을 위해서는 아직도 많은 고려되어야 할 사항이 과제로 남아 있다.

모노레일의 주행빔은 구조물로서 안전성과 주행로로서 정밀성이 확보되어야 하는 매우 중요한 시설물이다. 따라서 주행빔의 제작, 운반, 설치 등에 대한 검토는 안전성과 정밀성 확보를 위해서 세부적으로 이루어져야 하며 합리적인 제작, 운반, 설치를 위해서는 적절한 표준경간장 결정이 매우 중요한 사항이라 할 것이다.

표준경간장을 시공성, 경제성, 유지관리, 공사중 노면 교통영향, 주행성 등의 측면에서 검토한 결과 공사비가 가장 저렴하고, 교량받침 및 신축이음개소가 적어 유지관리 및 주행성이 유리하며 도시미관, 공기단축 측면에서 효과적인 30m적용이 타당하다는 결론을 내리게 되었다.

도심에 건설되는 고가형식의 모노레일로서 도시미관 및 생활환경을 해치지 않는 건설계획수립은 사업의 성패를 결정짓는 매우 주요한 요소라 할 것이다.

이를 위해서는 구조물을 슬림(slim)하고, 심플(simple)하게 하여 개방감을 유지하기 위한 많은 노력이 필요하며 이에 일환으로 표준경간장 검토는 매우 중요한 사항이다. 앞으로 기술적 보완과 실험을 통해 도심에서 건설되는 고가 구조물의 경간장 확대와 구조물 경량화를 위한 많은 노력이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 안용모, 정교수 (2008년), “모노레일 공무국외출장보고서, 중국 중경, 일본 오키나와등
2. Okinawa Urban Monorail, 2006, Okinawa Prefecture, Naha City
3. Jiaochangkou Monorail, 2007, City rail traffic, China Jiaochangkou City
4. (주)유신코퍼레이션, 2003. 9, 경량전철실무, 강남대동공사