

# Y Beam형 모노레일의 가이드 레일 및 클램프의 특성과 안전성에 관한 연구

## Study of the Characteristic and reliability of guide rail and clamp for the Y-beam type monorail.

고형근† 김영순\* 남대희\*\* 정승연\*\* 천성욱\*\*\*\*  
Ko, H K Kim, Y S Nam, D H Jung, S Y Cheon, S W

### ABSTRACT

Monorail has been classified as straddled type and suspended type. However, Incheon Wolmi Eunha rail, a center guide type first ever introduced in the world, uses a new concept Y-Beam as guide rail. Since Y-Beam takes horizontal loads of monorail through guide wheels, it is an essential structure for the safe operation along with concrete surface and steel beam which take vertical loads through main tires. This study presents the characteristic and reliability of Y-Beam and Y-Beam fixture, clamp, which are not only taking horizontal loads but also guarantying both guiding and stability of monorail and holding power supply line.

### 국문요약

모노레일은 그동안 과좌식과 현수식으로 분류 되어 왔으나 세계 최초로 도입한 중앙 안내 방식의 인천 월미온하레일은 신개념의 Y Beam을 가이드 레일로 사용한 새로운 형식의 모노레일이라 할 수 있다. Y Beam은 안내륜을 통해 모노레일의 수평 하중을 전달하는 역할을 담당하고 있기 때문에 수직 하중을 타이어를 통해 전달 받는 콘크리트 바닥 및 강재 Beam과 함께 모노레일의 주행 안전에 없어서는 안 될 가장 중요한 구조물이다.

본 연구에서는 수평 하중을 감당하고 있을 뿐만 아니라 모노레일의 안정과 안내를 함께 보장 하면서 급전선을 지지하는 역할도 동시에 담당하고 있는 Y Beam과 Y Beam을 고정하는 클램프의 특성과 안전성에 대해 고찰하였다.

### 1. 서론

대중교통 수단인 버스와 지하철은 인력 수송의 대표적인 두 축이다. 그러나 도시 계획에 앞서 개발과 산업화 정책을 우선시한 혼잡성이 핵심 대중교통 수단인 버스의 경쟁력을 저하시키는 요인이 되어왔고, 반면에 지하철의 수송 분담률은 계속 상승해 왔다. 막대한 비용을 투자하여 도심 지하철을 지속적으로 건설 해왔지만 수송 분담률이 기대에 미치지 못하게 되자 지하철에 비해 건설비용이 저렴하고 효율성과 접근성이 뛰어난 뿐 아니라 도심 미관 또한 환경 친화적인 신교통시스템의 보급이 시급하다는 지적이 일고 있다. 로윈이 세계 최초로 실용화한 중앙 안내 방식의 모노레일도 신교통시스템으로서 차량은 물론 가이드 레일 및 클램프의 특성과 안정성을 검증 하고 이를 활용하여 향후 실질적인 대중교통 수단으로 자리매김할 수 있도록 노력을 기울여야 할 것이다.

† 책임저자 : 비회원, (주)로윈 기술본부장  
E-mail : pluslhc@rowin.co.kr  
TEL : (054)420-2977 FAX : (054)420-2899  
\* 비회원, 인천교통공사 모노레일사업단 과장  
\*\* 비회원, 한산공영(주) 인천월미관광특구설계공사 차장  
\*\*\* 비회원, (주)스타파워 경전철사업부 이사  
\*\*\*\* 교신저자 : 비회원, (주)로윈 사업관리팀 부장

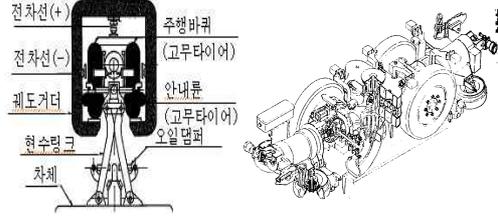
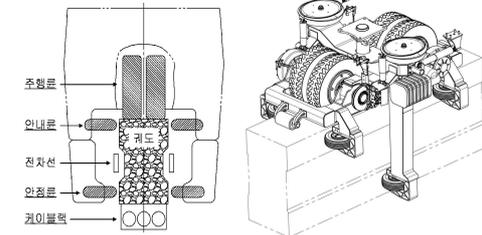
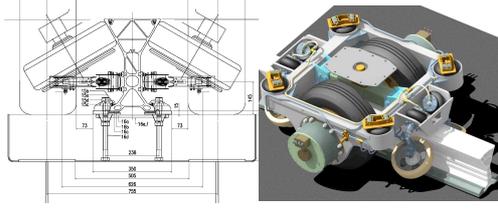
## 2. 모노레일 가이드 종류 및 구조

### 2.1 모노레일 소개

모노레일은 1개의 주행로 위를 고무타이어 방식의 차량이 주행하는 교통수단이며, 궤도를 타고 달리는 방식을 과좌식 모노레일, 궤도에 차체가 매달리는 방식을 현수식 모노레일, 궤도중앙의 Y Beam을 따라 달리는 방식을 중앙 안내방식 모노레일 이라고 한다. 모노레일은 경제성, 친환경성, 안전성, 편리성, 공간 활용성 등에서 다른 궤도 차량에 비해 우수한 경쟁력을 갖추고 있다는 평가를 받고 있다.

### 2.2 모노레일 궤도 및 가이드 레일의 종류와 특징

표1. 궤도방식 종류

구분	형상	특징
현수식 궤도 및 대차		주행장치는 고무타이어를 적용한 공기 스프링식 2축 보기방식으로 되어 있고, 각 대차에는 주행과 안내를 4개의 타이어로 구성되어 있으며, 공기가 빠졌을 때의 안전을 위해 각각 보조차륜이 구비되어 있다. 현수장치는 대차와 차체를 연결하는 것으로 현수링크, 안전와이어, 오일댐퍼 및 스토퍼로 구성되어 있다.
과좌식 궤도 및 대차		주행장치는 2축 보기식 대차이며, 주행륜은 질소를 넣은 고무타이어를 사용하며, 한 축에 2개의 바퀴를 삽입한 차축을 대차 프레임에 고정시켰다. 대차 프레임 측면에는 위쪽에 안내차륜 2대, 아래쪽에 안정차륜 1대를 구비하고 있다. 주행륜과 마찬가지로 이들 차륜은 만일의 경우(펑크 등)에 대비해 모두 보조차륜을 갖추고 있다.
중앙 가이드 궤도 및 대차		중앙 안내방식은 Y Beam을 가이드 레일로 적용하여 안내와 안정기능을 동시에 수행할 수 있는 대차로 주행륜 파손을 대비한 Run Plat기능이 포함되어 있으며, 안내, 안정륜은 우레탄을 사용하여 Y Beam과 강한 결속력을 유지시킨 반면 타이어나 Y Beam 레일의 접촉면을 최소화하여 주행성능을 향상하였다.

## 3. 하중계산 및 구조해석

### 3.1 차량하중 검토 조건

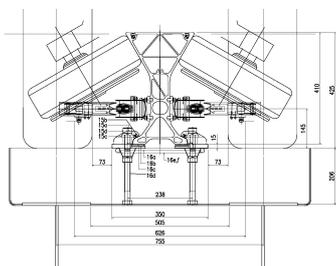


그림1. 월미은하레일 궤도 단면도

표2. 검토 조건

항 목	사 양	비 고
차량크기	L : 16,200 W : 2,350 H : 3,300	2량편성 (mm)
차량하중	18,000kg	만차하중
무게중심	1,700mm	궤도상면 기준

### 3.2 Y Beam에 작용하는 하중 검토

차량에 작용하는 하중은 크게 풍하중, 원심하중, 차량 횡하중 및 차량하중으로 구분하며, 차량의 각 하중을 직접 전달 받는 Y Beam에 대한 특성을 파악하고, 주행 중 일어날 수 있는 탈선 등의 조건에 안전한지 여부를 검토하여야 하므로 우선 차량의 하중계산 결과를 만차 및 공차 값으로 구분하여 표3과 4에 나타내었다.

### 3.2.1 하중 조합

표3. 조합 하중(만차 하중)

하 중 조 합	합	할증 계수	비고
원심하중 + 차량횡하중(상시)	22.4kN	1	
차량횡하중(상시) + 풍하중 + 차량하중	38.97kN	1.25	
차량횡하중(상시) + 원심하중 + 풍하중 + 차량하중	53.57kN	1.25	

표4. 조합 하중(공차하중)

하 중 조 합	합	할증 계수	비고
원심하중 + 차량횡하중(상시)	13.69kN	1	
차량횡하중(상시) + 풍하중 + 차량하중	47.91kN	1.25	
차량횡하중(상시) + 원심하중 + 풍하중 + 차량하중	56.84kN	1.25	

### 3.2.2 하중 적용

최대 하중 조합은 56.84kN이고, 1Traction Wheel당 Guide Wheel이 2개 이므로 Guide Wheel 당은 28.42kN을 Y Beam작용 압력으로 산출함.

- ⊗ Air Sprng에 의한 Guide Wheel 압력 : 12kN을 적용함.
- ⊗ :  $P1 = 28.42kN, P2 = 12.0kN$

### 3.3 Y-Beam Guide Rail 해석

알루미늄 Y-Beam Guide Rail 전체에 대한 유한요소모델을 완성하였고, 모델링에는 상용 유한요소 프로그램인 ABAQUS를 사용하였으며, 본 프로그램에서 제공하는 셸 요소 (Shell element)와 절점 (node)을 적용하였다. 모델링에는 693,466개의 절점과 563,805개의 요소가 사용되었고, 그림2 및 표5는 Y-Beam Guide Rail 대한 유한요소 모델이다.

#### 3.3.1 유한요소 모델 및 기계적 성질



그림 2. 유한요소 모델 형상

표5. 유한요소 모델

구분	값	비고
Node No.	693,466	ea
Element No.	563,805	ea
Avg. Element length	2.5×10	mm

A6005A 합금은 우수한 압출성과 열처리에 따른 적절한 강도로 인해 최근 철도차량의 차체 구조에 많이 적용되고 있는 재질이며, 본 연구에서 Y-Beam Guide Rail의 재질로 사용된 알루미늄 합금 A6005 A의 기계적 성질은 표6과 같다.

표6. Y-Beam 재료의 기계적 성질(DIN 1748)

구 분	인장강도( $kg_f/mm^2$ )		항복강도( $kg_f/mm^2$ )		Elongation at break(%)	비고
	압출재	용접부	압출재	용접부		
AL6005A	27.5	16.8	22.9	11.7	8	$t \leq 6.0$
	26.5	16.3	21.9	10.7	8	$6.0 < t \leq 10.0$
구분	경도(HV)	탄성계수( $kg_f/mm^2$ )		푸아송비	밀도( $kg_f/mm^3$ )	
AL6005A	< 100	$7.0 \times 10^{-3}$		0.33	$2.5 \times 10^{-6}$	

### 3.3.1 Y Beam Guide Rail 해석 하중조건

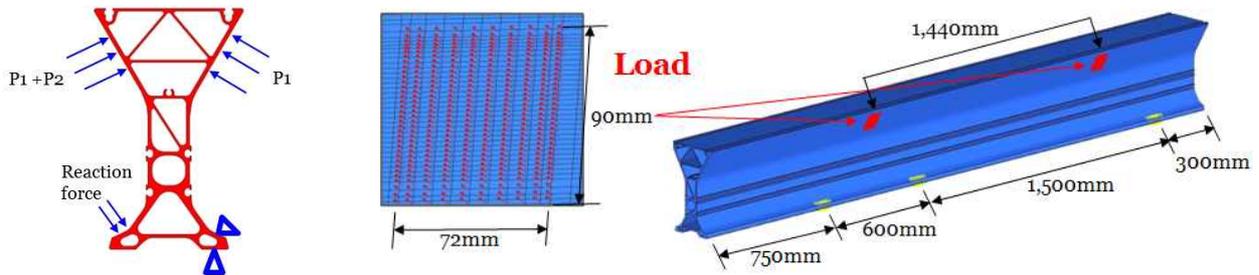


그림3. Y-Beam Guide Rail 하중조건

표7. Y-Beam Guide Rail 분포 압력

하 중	분 포 압 력	비 고
$P_1 = 28.42kN$	$2,900kg_f \div (90 \times 72)mm = 0.4475kg_f/mm^2$	
$P_2 = 12kN$	$1,224kg_f \div (90 \times 72)mm = 0.18896kg_f/mm^2$	
$P_1 + P_2 = (28.42 + 12)kN$	$(2,900 + 1,224.48)kg_f \div (90 \times 72)mm = 0.63649kg_f/mm^2$	

### 3.3.2 해석결과

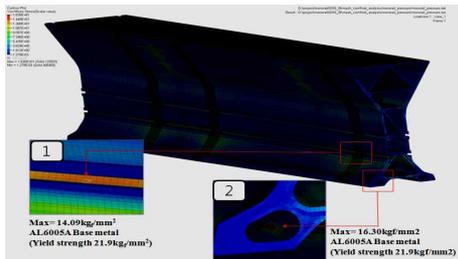


그림4. 해석결과

표8. Y-Beam Guide Rail 해석 결과

구분	값	허용응력 (AL6005A)
Max. Value	1	$14.09kg_f/mm^2$
	2	$16.30kg_f/mm^2$
		$21.9kg_f/mm^2$

### 3.4 Clamp 해석

S45C로 구성되는 Clamp 전체에 대한 유한요소모델을 나타내고 있으며, 10,043개의 절점과 43,223개의 요소를 제작한 다음 해석을 수행 하였다. 그림5 및 표9는 Clamp대한 유한요소 모델이다.

#### 3.4.1 유한요소 모델 및 기계적 성질

S45C는 기계 구조용 탄소강으로 표면에 침탄을 하여 경도나 강도를 향상시켜 사용하며, 표면의 내마모성이나 강도를 요구하는 Y-Beam Guide Rail의 고정용으로 사용하였고, S45C의 기계적 성질은 표10과 같다.

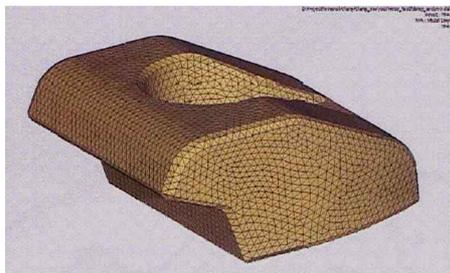


그림5. Clamp 유한요소 모델 형상

표9. Clamp 유한요소 모델

구분	값	비고
Node No.	10,043	ea
Element No.	43,223	ea
Avg. Element length	$2.5 \times 2.5$	mm

표10. Clamp 재료의 기계적 성질( DIN 1.1192 )

구 분	탄성계수 ( $kg_f/mm^2$ )	항복강도 ( $kg_f/mm^2$ )	푸아송비	밀도 ( $kg_f/mm^3$ )	비고
S45C	$2.04 \times 10^4$	22.96	0.32	$7.85 \times 10^6$	

3.4.2 Clamp 고정위치 반력

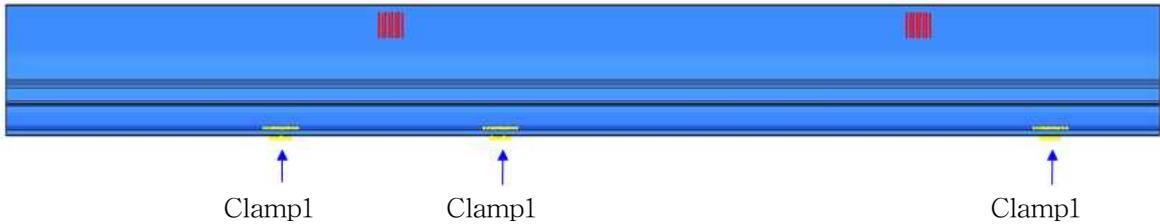


그림6. Clamp 고정 위치

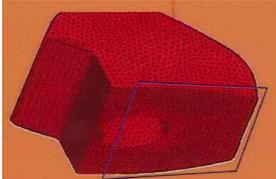
표11. Clamp 반력값

구 분		Clamp 1	Clamp 2	Clamp 3	비고
반력값( $kg_f$ )	X(Width)	$-4.93 \times 10^2$	$-1.15 \times 10^3$	$-1.00 \times 10^3$	
	W(Height)	$-4.81 \times 10^3$	$-6.13 \times 10^3$	$-6.06 \times 10^3$	
	Z(Length)	$-1.13 \times 10^3$	$-5.79 \times 10^2$	$1.78 \times 10^3$	

※ 세 개의 Clamp 반력값 중 가장 큰 값을 Clamp에 압력으로 분포함.

3.4.3 Clamp 경계 및 하중조건

표12. Clamp 경계 및 하중조건

해석 모델링			
경계조건		하중조건	
		$6,400 \div (90 \times 15)$ $= 4.7372kg_f/mm^2$	
Clamp 바닥면 구속 위치	Clamp 볼팅부 구속 위치	Reaction force중 가장 큰 값을 분포압력으로 부하	

3.4.4 Clamp 해석 결과

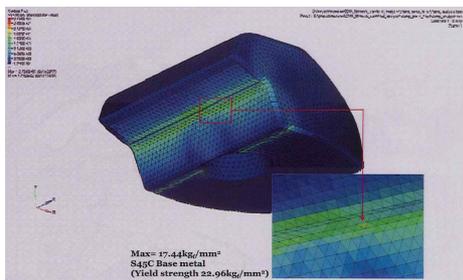


그림7. 해석 결과표

표13. Clamp 해석 결과

구분	값	허용응력 (S45C)
Max. Value	$17.44kg_f/mm^2$	$22.96kg_f/mm^2$

### 3.4.5 Y-Beam Guide Rail & Clamp 해석 결과

- 그림4 및 표8과 같이 Y-Beam Guide Rail 해석결과 최대응력은 클램프 상부 지지점 내부에서 발생 하였으며, 응력 값은  $16.30kg_f/mm^2$ 로 허용응력  $21.9kg_f/mm^2$ 이내에 있음을 알 수 있다.
- Y-Beam Guide Rail 해석결과 주요 관심부인 3케조 급전 장치를 설치하는 T-Slot부분에서  $14.09kg_f/mm^2$ 의 응력이 발생하였으며, 허용응력  $21.9kg_f/mm^2$ 이내에 있을 알 수 있다.
- 그림4 및 표13과 같이 Y-Beam Guide Rail 고정용 Clamp의 해석결과는 분포압력 부하위치 모서리 중심에서  $17.44kg_f/mm^2$ 의 응력이 발생하였으며, 허용응력  $22.96kg_f/mm^2$ 이내에 있을 알 수 있다.

## 4. Y-Beam Guide Rail & Clamp 성능평가

### 4.1 시험 방법

아래 그림8의 계획도와 같이 시험용거를 인친 월미은하레일에 설치된 거더와 동일한 크기로 (Width:1,100, Height:220, Length:6,000) 제작하여 그림9와 같이 성능평가 절차에 따라 수행 하였다.

표14. 측정장치

구 분	다이얼게이지	로드 셀	유압잭	잭 받침대	우레탄 패드
규 격	(0~25)mm, 0.001mm	5ton	50ton	200x200x12t	99x72x20t
비고				H Beam	

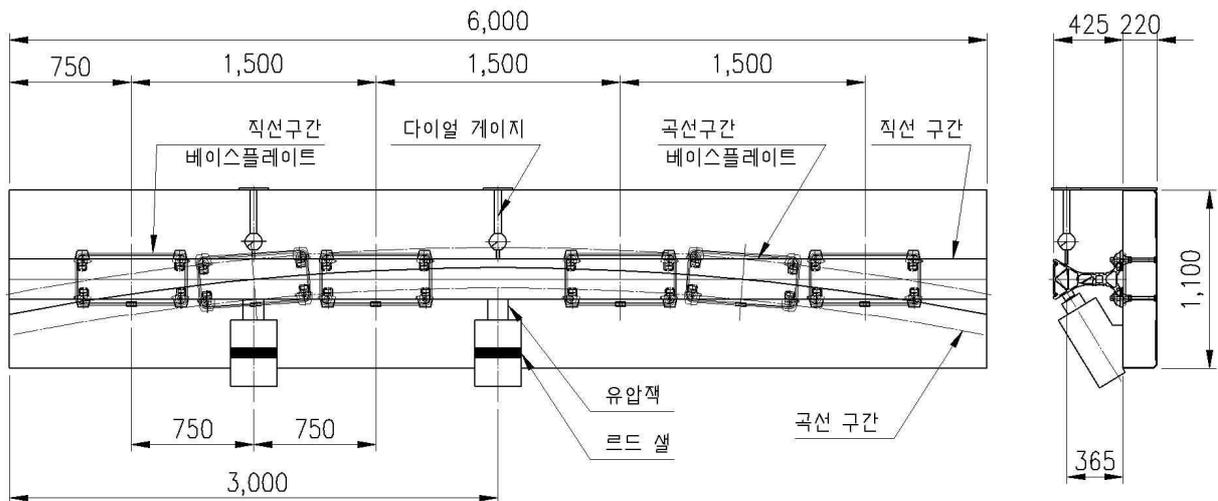


그림8. 시험평가용 거더 계획도

### 4.2. 성능평가 시험방법



그림9. 성능평가 절차

4.2.1 거더 상부면에 볼트와 철근을 배근하고 베이스플레이트를 설치한다.

4.2.2 가이드레일의 직선부와 곡선부를 시험하기 위한 베이스플레이트 6개를 그림8과 같이 설치한다.

- 4.2.3 설치된 베이스 플레이트에 가이드레일을 클램프로 이용하여 결합한다.
- 4.2.4 직선부 가이드레일의 시험은 최악의 조건을 고려하여 3m의 가이드레일 2개를 조이트 핀으로 연결하여 1.5m지점에 유압잭을 이용하여 28.42kN의 하중을 가한다.
- 4.2.5 하중은 로드셀을 이용하여 측정하고, 이 때 가이드레일의 반대면에는 다이얼게이지를 설치하여 가이드레일의 변형량을 검측한다.
- 4.2.6 벤딩된 곡선부 가이드레일을 그림8와 같이 설치하며, 이때 직선부 가이드레일 위치가 서로 상이 하므로 주의해서 설치한다.

### 4.3. 시험 결과

표15. Y Beam Guide 시험 결과

순	구 분	시험 사진	시험 하중	최대 변위량	기준	비고
1	직선부			6.66mm	20mm 이하	
2	곡선부			5.52mm	20mm 이하	

### 3. 결론

본 연구에서 알루미늄 압출재 Y Beam Guide Rail 및 Clamp의 강도, 강성을 평가하기 위해 구조해석 및 성능평가를 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

실제 운행되고 있는 인천 월미은하레일의 수평 하중뿐만 아니라 모노레일의 안정과 안내를 함께 보장하면서 급전선을 지지하는 역할도 동시에 담당하고 있는 Y Beam과 Y Beam을 고정하는 클램프의 특성 및 안전성에 대해 실물 크기로 모델링을 하고 강도해석을 수행하여 취약부의 위치와 취약부에서 발생하는 응력이 시편에서는 어떤 결과를 나타내는지 직접 확인 하였다.

시편 성능평가를 통해 확인 한 각 부위의 응력은 표15에서 보는바와 같이 허용 범위내에 있었으며, Y Beam의 변위량 또한 허용 범위인 20mm보다 훨씬 작았고, 연구 대상인 가이드레일과 클램프는 실제 안전한도 시험에서도 규정보다 10배가 넘는 30ton의 하중을 견디어 냈으며, 하중이 35ton을 초과 하지 않는 이상 아무런 문제가 없는 안전한 구조물인 것으로 입증 되었다.

앞으로도 계속 중앙안내방식의 모노레일에 적용되는 가이드레일과 클램프의 안전성을 유지, 발전시키는 것은 물론 주행 성능과 승차감이 향상될 수 있도록 연구개발에 앞장 설 것이다.

### 참고문헌

1. 인천 월미은하레일 설치공사, “가이드레일 및 클램프 설계보고서” pp.1-7, 2009.
2. 안용모, 백차승, “모노레일 시스템 궤도범의 합리적인 경간장 결정방안” 한국철도학회논문집, pp.199-205, 2008.
3. 건설교통부, “철도설계기준(철도교편)” pp.8, 16, 28, 2004.
4. (주)삼보기술단, “New Transit System in the world & New Transit System in the Japan” pp.244, 359, 2005.