

## 자갈도상 급곡선(R=60m)부 정척레일 이음매부 유지관리 연구

### A Study on the Rail Joint maintenance of Severe Curve(R=60m) in Standard Rail

김현오\*<sup>†</sup>, 양회성\*, 백찬호\*, 박용걸\*\*, 강운석\*\*\*

Hyunoh Kim\*<sup>†</sup>, Yang Hoe Sung\*, Chanho Paik\*, Seok Ho Kim\*

**Abstract** When constructing the urban railway, there is no provision about the minimum radius of curve which is admitted by the chief of local government. Sharp curved(R=60m) track has been installed in domestic and operated by a urban railway corporation. It has raised a track alignment irregularity which made it hard to operate and maintain. This study aims to show example of experience which is for enforcing the intension of a lateral track force using a strut in rail joint.

**Keywords** : Sharp curve, Ballast track, Maintenance, Rail joint, Strut for lateral track force

**초 록** 도시철도 건설 시 축선의 최소곡선반경 기준은 별도 규정이 없고 지자체장의 승인으로 설치되고 있다.

국내 도시철도 운영기관 중 최급곡선(R=60m)이 부설되어 운영중에 있고, 운용 중 이음매부의 지속적인 줄뜸 발생으로 유지관리에 어려움이 발생되어, 이를 해소하기 위한 방안으로 정척레일(20m) 이음매부 침목에 버팀재를 설치하여 레일 궤도선형을 유지하고자 한 연구 사례를 제시하고자 한다.

**주요어** : 급곡선, 자갈궤도, 유지관리, 이음매, 버팀재

## 1. 서 론

도시철도 서비스로부터 상대적으로 소외된 지역에 동등한 대중교통 이용 혜택을 제공할 목적으로 최근 경량전철 건설이 이루어지고, 이를 통해 교통편의 제공 이상의 편익 산출과 지역균형발전을 꾀하고 있다.

하지만 사업추진 과정에서 재원조달을 위해 민자사업으로 추진되고, 도시철도건설규칙에 의거 선로의 곡선반경은 지자체장 승인사항으로 도시철도가 건설되고 있어, 대부분 민간사업 제안자의 의지가 반영되기 쉬운 사업구도로 추진되고 있다. 하여 사업비 절감을 위해 운영에 불리한 선형 및 배선계획이 이루어지는 사례(급곡선, 급기울기 등)가 발생되고 이런 과정속에서 유지보수에 불리한 선로가 부설되는 사례가 발생하고 있다.

실례로 부산김해경전철 차량기지내 급곡선(R=60m)이 부설되어 운영중에 있다.

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 석사과정(littlepoet@seoulmetro.co.kr)

\* 서울메트로 미래사업처

\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 교수

\*\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과 연구원

본 논문에서는 부산김해경전철 차량기지 루프선에 부설된 급곡선(R=60m)에서 발생하는 궤도틀림(줄틀림)의 문제점에 관한 대책과 유지보수 사례를 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

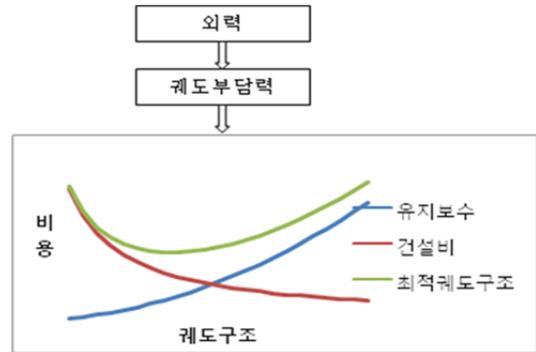
### 2.1 급곡선부 줄틀림

#### 2.1.1 최적 궤도구조 설계

궤도설계는 외력을 산출한 후 그에 상응하는 궤도 부담력을 도출, 건설비와 유지보수 비용을 비교하여 가장 경제적이고 합리적인 최적궤도구조를 도출하는데 있다.

하지만 도시철도 건설시 건설비는 사업성 판단에 중요한 요소로 적용되어, 건설비 최소화를 위하여 최소한의 부지에 최소 혹은 최대값을 갖는 설계 기준을 설계에 사용하고 있는 실정이다.

하지만 궤도는 일반 토목구조물과는 달리 열차 운행에 따라 소성적 거동이 발생하는 상시 유지보수가 필요한 시설물로, 특히 급곡선부 자갈궤도에서는 더 많은 궤도틀림이 반복적으로 발생되는데 이를 방지하기 위해서는 설계단계부터 레일규격, 침목배치간격, 체결력, 도상어깨폭 등 여러 영향인자를 검토하여야 할 것이다.



#### 2.1.2 궤도상태 분석

검토구간은 차량기지 궤도구조로 자갈도상, 50kg N Rail[일반이음매판을 이용한 정척레일 (L=20m)], 목침목 배치간격 1,200개/km(간격 833mm)을 사용하였고, 선로조건으로는 R=60m, Slack 16mm, Cant는 최초 부설 당시 '0'에서 운영 중 캔트를 '10mm'로 설정하여 루프선내 열차 최고속도 15km/h로 운행하고 있다.

궤도검측 대상구간은 차량기지 루프선 225m에 대하여 5m 단위로 총 45point를 검측하였고, 줄틀림 검측 결과 모두 레일이음매 부에서의 줄틀림 수치가 크게 상승한 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 1은 차량기지 루프선 줄틀림 측정결과를 나타낸 것으로 레일이음매판에서 줄틀림이 급변함을 확인할 수 있다.

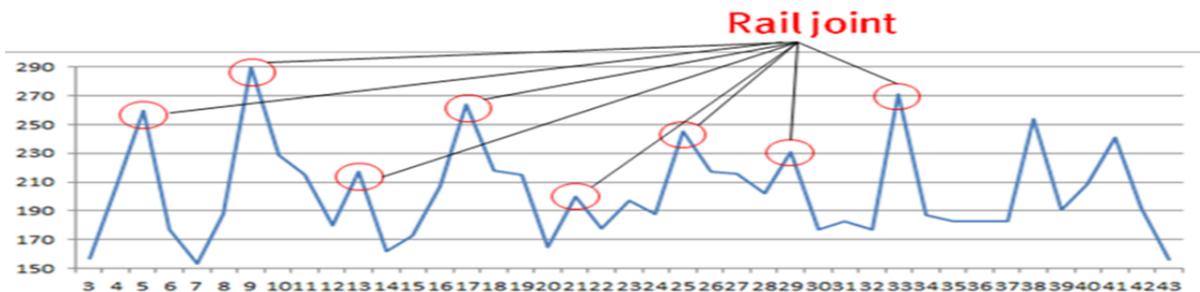


Fig. 1 Alignment Irregularity in Rail Expansion Joint

궤도검측 대상구간의 줄틀림 현황은 Table 1과 같다.

**Table 1** Alignment Irregularity in Severe Curve(R=60m)

No.	Plan Value	Measured Value	Alignment Irregularity	No.	Plan Value	Measured Value	Alignment Irregularity
4	208	206	-2	23	208	197	-11
<u>5</u>	208	260	52	24	208	188	-20
6	208	177	-31	<u>25</u>	208	245	37
7	208	153	-55	26	208	217	9
8	208	188	-20	27	208	216	8
<u>9</u>	208	290	82	28	208	202	-6
10	208	229	21	<u>29</u>	208	231	23
11	208	215	7	30	208	177	-31
12	208	180	-28	31	208	183	-25
<u>13</u>	208	217	9	32	208	177	-31
14	208	162	-46	<u>33</u>	208	271	63
15	208	173	-35	34	208	187	-21
16	208	207	-1	35	208	183	-25
<u>17</u>	208	264	56	36	208	183	-25
18	208	218	10	<u>37</u>	208	183	-25
19	208	215	7	38	208	254	46
20	208	165	-43	39	208	191	-17
<u>21</u>	208	200	-8	40	208	209	1
22	208	178	-30	<u>41</u>	208	241	33

Fig. 2, Fig. 3는 현장 레일부설 모습으로 레일 이음매부에서 궤도 외측으로 레일이 밀려나가 있는 모습을 확인할 수 있었다.



**Fig. 2** Whole view of the severe curve



**Fig. 3** Close-up picture of the Rail joint

### 2.1.3 줄틀림 원인 분석

급곡선부 이음매 종거의 확장은 다음의 이유에 의해 발생되었다.

- (1) 열차주행에 따른 열차하중 및 이음매부에서 발생하는 충격력
- (2) 레일 자체가 가지는 강성에 의한 복원력(직선으로 돌아가고자 하는 레일 힘)
- (3) 유지보수상 이음매관 볼트 풀림의 인력에 의한 정정의 한계
- (4) 도상 횡저항력 부족

(5) 열차운행계획(원곡선 내에서의 열차정지)

부설된 급곡선은 도시철도건설규칙에 따라 차량기지의 자갈도상 목침목 구간에서 침목배치간격은 675mm가 적정하나, 현장은 833mm로 부설하여 도상 횡저항력이 부족하게 확보되었고, 일반이음매 인접침목 배치간격 역시 준용하지 않았음을 확인 할 수 있었다.

2.2 급곡선부 궤도개량 방안

2.2.1 레일이음매부 지지방법

급곡선부 이음매 종거(줄틀림) 확보는 근본적인 대책(Pre-Curved Rail 적용, 장대레일사용, 콘크리트 궤도개량, 침목배치 간격 조정 등) 없이는 어려운 상황이었다.

근본적 대책은 장기로 계획하고 현 궤도구조 상태에서는 곡선외측 이음매 침목에 횡저항력을 지지할 수 있도록 별도의 장치를 설치하는 것이 적정하다고 판단하여 줄틀림의 가장 큰 원인인 레일의 횡방향 힘을 유발하는 레일의 탄성 복원력을 Fig. 4와 같이 검토하였다.

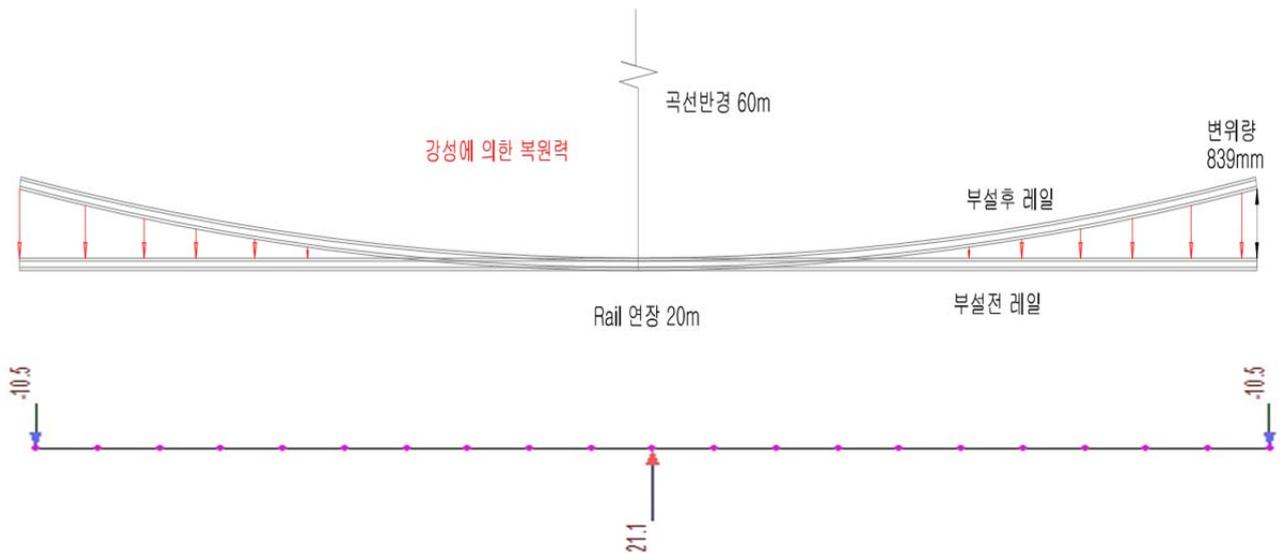


Fig. 4 Restoring force in curved rail

직선으로 제작된 레일 20m를 선형 R=60m 구간에 설치 시 레일의 횡방향 변형량은  $\delta=0.839m$ 로 이를 레일의 강제변위량으로 적용하고 레일의 횡방향 강성을 고려하여 반력으로 산정하면  $P=21.1kN$ 이다.

단기 대책으로 횡저항력 확보를 위한 구조검토결과 이음매부 곡선 외측방향에 H-Beam을 설치하고 이음매의 체결력을 강화시킨 후 침목 측면에 Fig. 5와 같이 버팀재 설치가 적정하다는 결론을 도출하였다.

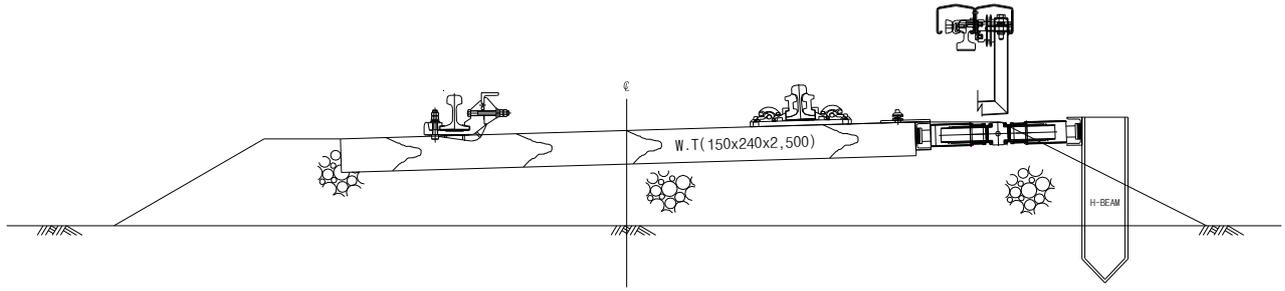


Fig. 5 Cross section of the Railroad

### 2.2.2 구조검토

급곡선부 열차 주행에 따라 횡력이 증가할 때 선로지지장치에 주요부재의 재료 특성을 고려하여 구조적으로 가장 큰 응력이 발생될 것으로 예상되는 위치에 3곳에 3가지 하중조건에 대한 검토를 수행하였다.

- (1) 재료의 물리적 재원 (Table 3 참조)
- (2) 검토위치 : 침목과 버팀재 연결부, 버팀재 중앙부, 버팀재와 H-Beam 연결부
- (3) 하중조건 : 정적운중, 동적운중(V=15kph), 레일의 탄성복원력

Table 3 Property of material

Division	Specific weight (kN/m <sup>3</sup> )	Modulus of Elasticity (Mpa)	Poisson's ratio	Spring efficient (kN/mm)	material
Rail	78.5	210,000	0.30	-	50kn N
Tie	7.5	10,000	0.33	-	Wood tie
Strut	78.5	205,000	0.30	-	Steel
Fastener	-	-	-	1,000	Elastic
Ballast	-	-	-	200(vertical) 600(horizontal)	Gravel

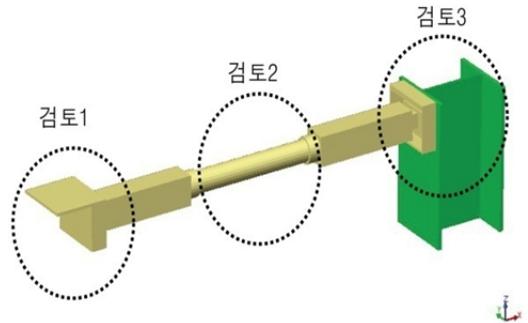


Fig. 6 Points to analysis

### 2.2.3 해석결과

각 하중별 선로지지장치를 구성하는 각각의 주요부재에 발생응력은 아래 Table 4와 같고 버팀재와 침목의 연결부에서 발생하는 수직 및 횡 변위검토 결과 0.4mm이하로 Table 5와 같이 검토되었다.

**Table 4** Judgment for the allowable stress

Division		Point No. 1		Point No. 2		Point No. 3		Allowable Stress	Judgment
		Tension	Compression	Tension	Compression	Tension	Compression		
Static Load	X	14.89	18.56	1.21	1.47	1.03	1.44	140	O.K
	Y	7.42	4.33	0.39	0.43	0.43	0.71	140	O.K
	Z	9.15	6.46	0.46	0.37	0.53	0.65	140	O.K
Dynamic Load	X	18.70	16.57	2.25	3.22	3.18	3.26	140	O.K
	Y	8.27	6.44	1.08	1.16	0.93	1.10	140	O.K
	Z	9.80	7.33	0.79	1.12	0.85	0.78	140	O.K
Restoring force	X	0.38	0.48	1.37	1.58	0.85	1.91	140	O.K
	Y	0.18	0.21	0.43	0.40	0.09	0.12	140	O.K
	Z	0.33	0.46	0.47	0.37	0.09	0.09	140	O.K

**Table 5** Analysis of displacement

Division	Displacement of horizontal	Displacement of vertical
Static Load	0.2210 mm	-0.2788 mm
Dynamic Load	0.3672 mm	-0.3309 mm
Restoring force	0.00327 mm	-0.00482 mm

### 3. 결 론

레일이음매 침목의 횡저항력을 확보하기 위해 설치되는 궤광지지장치(버팀재)는 주요부재들의 발생응력과 열차주행 특성 레일 탄성 복원력을 고려하여 구조해석한 결과 전체 하중조건에 대한 부재 발생응력이 허용응력 140MPa을 충분히 만족하여 적정성 및 구조적 안전성을 입증하였다. 또한 버팀재를 설치하여 유지관리하면 발생변위 1mm이내가 될 것으로 판단되어 적정한 유지관리방안으로 판단되었다.

본 연구에서는 도시철도의 측선 최소곡선 반경은 설계단계부터 유지관리 관점에서 검토되어야 한다는 것을 인식할 수 있다. 본 사례에서 제시한 급곡선 토노반상 자갈궤도에서 H-Beam 매립방식 침목측면 지지장치는 이음매부 줄틀림을 방지할 수 있을 것으로 검토되었다.

### 참고문헌

- [1] 도시철도건설규칙 해설서(서울시).