

# 장대레일 적재 화차의 기준선구간 주행안전성 연구

## A Study Running safety of the Freight Car Loading CWR on KNR Line

김종오†      양신추\*      오일근\*\*      이희성\*\*\*  
Jong Oh Kim    S. C. Yang    Il Geun Oh    Hi Sung LEE

### ABSTRACT

In this study, it is offering a numerical method which assesses running safety of the freight car loaded CWR when passing through on the conventional railway by additional lateral load. It is suggested based on the numerical reviews of the safety against derailment after seeking the derailment coefficient estimated by wheel load-lateral force equation in the section that curve radius is small

### 1. 서 론

본 연구에서는 장대레일을 적재한 화차가 기준선 구간을 통과할 때 적재된 장대레일의 휨에 의해서 발생하는 추가적인 횡하중에 따른 열차의 주행안전성을 평가하는 방법을 제시하고자 기준선 장대레일 운반구간 중에 곡선반경이 작은 구간에서 화차가 주행할 경우에 열차속도대역별로 발생하는 윤중과 횡압을 평가하여 탈선계수를 구한 후 기준치와 비교하여 탈선에 대해 주행 안전성을 검토하였다.

### 2. 장대레일 화차의 탈선안전성 검토

#### 2.1 화차의 기본제원

장대레일 수송화차는 평화차위에 300m 장대레일 30개를 3단으로 적재할 수 있는 특수장치를 부착하여 곡선부분 및 분기부를 무리없이 통과 할 수 있도록 특수 제작한 화차로 1량당 길이는 19.57m로 장대레일을 적재하는 화차는 총 16량이며, 장대레일을 고정하는 클램프 사이간격은 9.57m이다.

도표 1. 대차 제원

항 목	제 원
유형	볼스차대차
현수장치	1차 : 총 16개 스프링으로 구성 2차 : 없음
좌우 1차현수장치 거리	1.956m
고정축거	1.80m
대차중심거리	13.0m

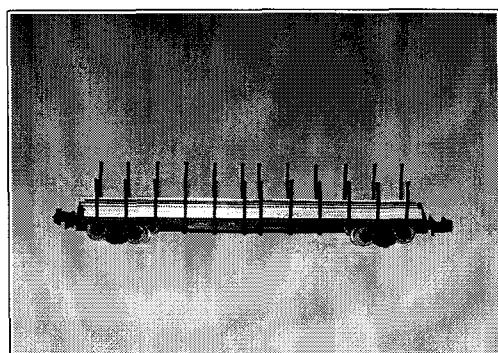


그림1. 장대레일 적재모형

† 회원(학생) 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, (주)삼안  
E-mail : bell-o@hanmail.net

TEL : (02)509-4709 FAX : (02)509-4827

\* 회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

\*\* 회원, 한국철도기술연구원, 수석연구원

\*\*\* 회원, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과 주임교수

도표 2. 화차의 무게중심

차량 무게중심	선두화차	중간화차
공차시 무게중심고	0.69m	0.69m
장대레일 무게중심고	1.31m	1.31m
영차시 유효무게중심고	1.18m	1.28m

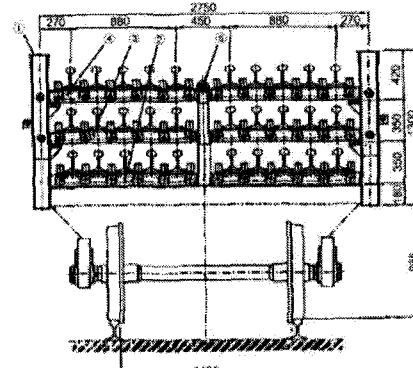


그림2. 장대레일 적재단면

## 2.2 선로조건

오송~대구간 장대레일 운반구간에서 곡선반경이 작은구간에서 취약하다고 판단되는 5개 개소를 선정하여 검토하였다.

도표 3. 해석대상 선로조건

구간	해석번호	곡선반경 (m)	캔트량 (mm)	캔트체감율 (배)	슬랙(mm)
경부선(하)181km220~182km439	Site1	600	150	500	6
경부선(하)189km909~191km800	Site2-1	402	150	553	9
	Site2-2	402	150	546	9
경부선(하)197km970~199km652	Site4	600	150	667	5
충북선 0km300~ 1km800	Site5	402	150	600	9

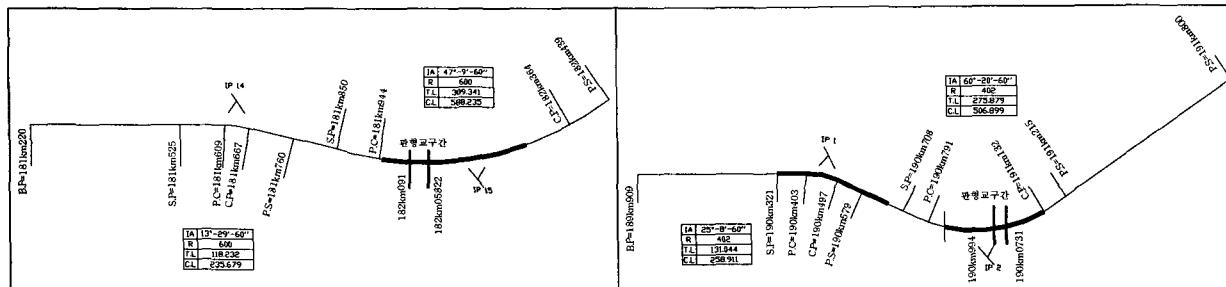


그림3. 경부선(하)181km220~182km439

그림4. 경부선(하)189km909~191km800

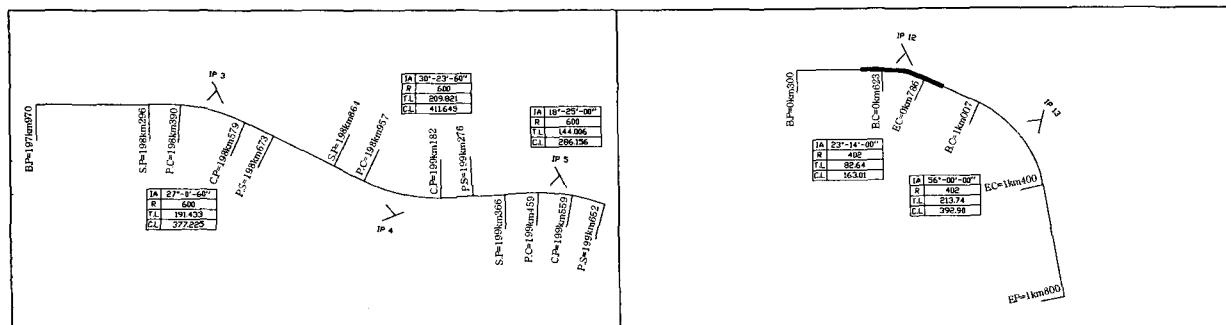


그림5. 경부선(하)197km970~199km652

그림6. 충북선 0km300~1km800

### 2.3 장대레일이 화차에 가하는 횡하중

곡선부에서 차량의 탈선은 앞쪽 대차에서 전축의 바깥쪽 차륜이 레일을 타고 넘음으로서 발생한다. 따라서 탈선에 대한 안전성을 검토하기 위해서는 전축 외궤의 차륜을 통하여 전달되는 횡압의 계산이 필요하다.

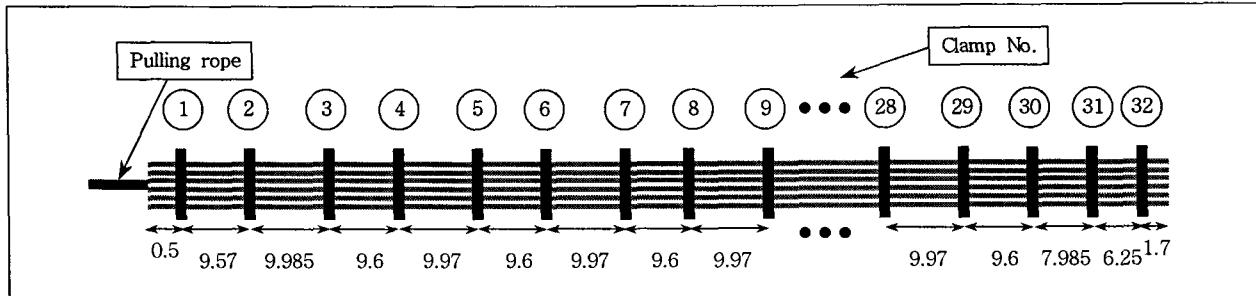


그림7. 장대레일 화차 클램프 위치

장대레일화차가 곡선구간을 통과할 수 있도록 하기 위해서는 클램프를 통하여 장대레일에 외력을 가함으로서 장대레일이 선형에 맞게 휘어지게 하여야 한다. 이 경우 반대로 차량은 클램프 위치에서 장대레일로부터 외력에 대한 반력으로서 횡하중을 받게 된다. 따라서 외측레일의 앞쪽 차축에서 가장 큰 횡압이 발생하도록 클램프에 작용하는 하중의 방향을 가정하였다. 또한 하중의 크기도 전체 클램프에서 가장 큰 하중이 작용하는 것으로 가정하여 횡압을 계산하였다. 그림8은 클램프에 횡하중이 작용하는 경우 앞쪽 차륜의 위치에서 레일의 반력 계산 개념도이며, 도표 4의 결과로 구해진다.

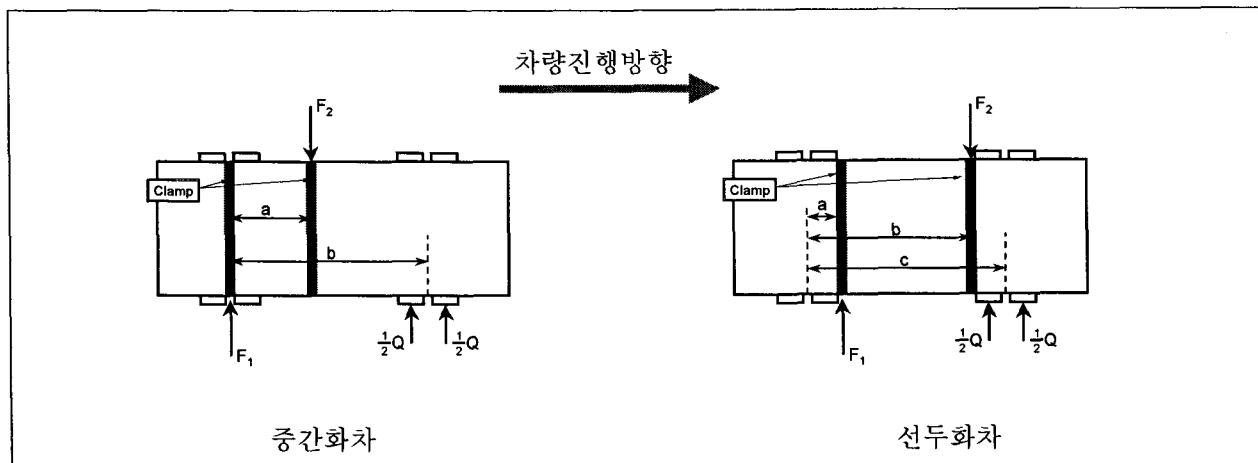


그림8. 클램프에 횡하중이 작용할 경우 앞쪽 차륜위치에서 레일의 반력 계산

도표 4. 장대레일 의해 발생하는 횡압

Site 번호	클램프에 작용하는 최대횡하중(ton)		$(F_2 - F_1)/4$	레일에 작용하는 최대횡하중(ton)		하중작용 높이(m)	비 고	
	중간화차	선두화차		중간화차	선두화차		중간화차	선두화차
Site 1		$F_1=0.925$ $F_2=0.775$	-0.038		0.186	1.66	$a=1.81m$ $b=11.4m$ $c=13.0m$	$a=6.25m$ $b=13.0m$
Site 2-1		$F_1=1.562$ $F_2=1.299$	-0.066		0.376	1.66	"	"
Site 2-2	$F_1=5.375$ $F_2=5.277$		-0.025	1.939		1.66	"	"
Site 4	$F_1=3.286$ $F_2=3.273$		-0.003	1.207		1.66	"	"
Site 5	$F_1=0.763$ $F_2=0.721$		-0.011	0.263		1.66	"	"

## 2.4 윤중횡압 추정식<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

가) 원심력에 의한 윤중 증감분

$$\overline{P}_i = \frac{W_0}{2} \left\{ \left( (2 - \gamma) + \frac{v^2}{g \times R} \times \frac{C}{G} \right) - \frac{H_G^*}{G/2} \left( \frac{v^2}{g \times R} - \frac{C}{G} \right) \right\} + F(C/2G - H_F^*/G)$$

$$\overline{P}_0 = \frac{W_0}{2} \left\{ \left( \gamma + \frac{v^2}{g \times R} \times \frac{C}{G} \right) + \frac{H_G^*}{G/2} \left( \frac{v^2}{g \times R} - \frac{C}{G} \right) \right\} + F(C/2G + H_F^*/G)$$

나) 선로면의 비틀림에 의한 윤중의 증감

$$\overline{\Delta P} = \frac{1}{8b^2} \left\{ \frac{\Delta t_c}{2} \cdot K_\phi + \Delta t_a \cdot k_{\phi 1}' \right\}$$

$$K_\phi = \frac{1}{\frac{1}{4k_1 b_1^2} + \frac{1}{2k_2 b_2^2}}, \quad k_{\phi 1}' = 2k_1 b_1^2, \quad \Delta t_c = \frac{2c}{a_{tc}} + t_c, \quad \Delta t_a = \frac{2a}{a_{TC}} + t_a$$

다) 공기 스프링의 비틀림에 의한 윤중의 증감

$$F' = \kappa \times b_2 \tan \phi = \kappa b_2 \frac{c}{R}$$

$$M = 2 \times F' \times b_2 = \frac{2\kappa b_2^2 c}{R} = a(F_1 + F_2) = \frac{2\kappa b_2^2 c}{R}$$

$$F_1 = \beta \times \frac{2\kappa b_2^2 c}{aR}$$

라) 내측 • 외측 레일 윤중의 추정식

$$P_i = \left\{ \overline{P}_i + \overline{\Delta P} - F_1 \times \frac{\eta}{\tan 60^\circ} \right\}$$

$$P_0 = \left\{ \overline{P}_0 - \overline{\Delta P} + F_1 \times \frac{\eta}{\tan 60^\circ} \right\}$$

마) 안쪽 레일의 마찰력에 의한 곡선전향 횡압

$$\overline{Q}_i = \kappa P_i$$

바) 원심력, 공기스프링의 비틀림에 의한 윤축횡압

$$\Delta Q_{AS} = W_0 \left\{ \frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right\} + F_1 + F = W_0 \left\{ \frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right\} + \beta \times \frac{2kb_2^2 c}{aR} + F$$

사) 궤도 뒤틀림 및 이음매부 충격에 의한 횡압변동분

$$\Delta Q_{AD} = 3W_0 k_Q \sigma_Z V, \quad \Delta Q_{unsp} = \left\{ \frac{\epsilon}{100} \right\} \times \left\{ \frac{2500}{R} + 4 \right\} \frac{V}{100}$$

아) 외측 레일 횡압의 추정식

$$Q_0 = \overline{Q}_i + \Delta Q_{AS} + \Delta Q_{AD} + \Delta Q_{unsp}$$

### 3. 주행안전성 검토

해석대상 개소별 선로조건은 도표 3과 같고, 장대레일화차의 주행안전성을 검토하기 위한 차량동특성은 도표 5와 같다.

도표 5. 장대레일 의해 발생하는 횡압

차량동특성		단위	수치
차량 유효 중심 높이( $H_G^*$ )	선두화차	m	1.180
	중간화차	m	1.280
장대레일 적재에 의한 횡하중 작용점 높이( $H_P^*$ )		m	1.660
적정축중( $W_0$ )	선두화차	kN	97
	중간화차	kN	123
외측레일쪽 차륜의 정지윤중비( $\gamma$ )			1.0
고정축거(2a)		m	1.8
대차중심간거리(2c)		m	13.0
좌우1차 현가장치 스프링 간격(2b1)		m	1.956
좌우2차 현가장치 스프링 간격(2b2)		m	1.534
궤간(G)		m	1.435
1차 현가장치 상하 스프링상수/축( $k_1$ )		MN/m	8.78
2차 현가장치 상하 스프링상수/대차편측( $k_2$ )		MN/m	0.10
2차 현가장치 전후강성/대차편측( $K$ )		MN/m	-
차륜플랜지각		°	60
외측 차륜의 플랜지부 마찰계수( $\mu$ )			0.3

그림12~그림16은 각각의 해석대상구간에서 탈선계수를 화차주행속도별로 계산한 결과로 모든 개소에서의 탈선계수는 속도 90km/h까지 기준탈선계수인 0.8을 충분히 만족함을 알 수 있고 따라서 탈선안전측면에서 90km/h까지 속도제한이 필요 없음을 알 수 있다.

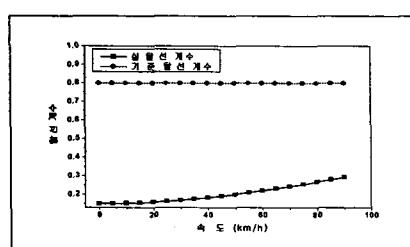


그림 9. Site 1 구간 통과시  
선두화차의 탈선계수

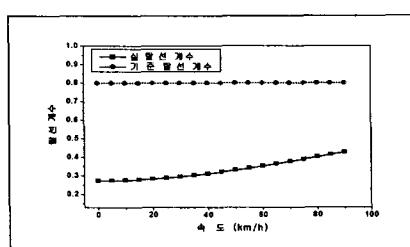


그림 10. Site 2-1 구간 통과시  
선두화차의 탈선계수

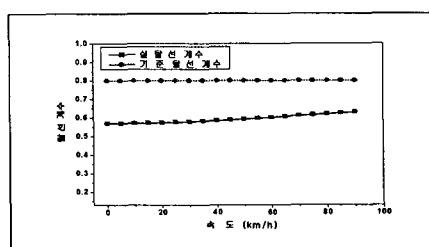


그림 11. Site 2-2 구간 통과시  
선두화차의 탈선계수

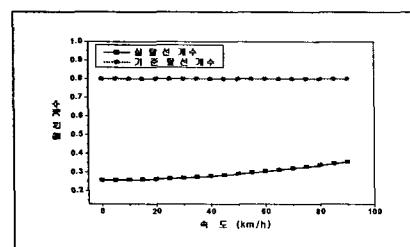


그림 12. Site 4 구간 통과시  
중간화차의 탈선계수

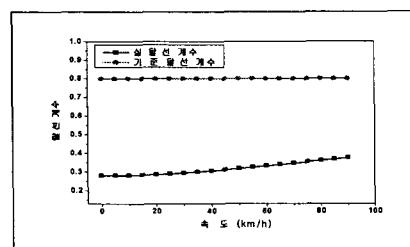


그림 13. Site 5 구간 통과시  
중간화차의 탈선계수

#### 4. 결 론

300m 장대레일을 20개 적재하여 운반하는 화차가 기존선 곡선구간을 통과할 때 장대레일의 휨에 의하여 발생하는 추가적인 횡하중에 따른 열차의 주행안전성을 열차속도대역별로 분석하여 합리적인 열차통과속도를 결정하고자 하였다. 또한 기존선 장대레일 운반구간에서 곡선반경이 작은 구간중에서 특히 장대레일 횡하중이 크게 발생하거나, 궤도구조가 취약하다고 판단되는 5개 구간을 선정하여 검토한 결과 속도 90km/h까지 탈선계수 0.8를 넘지 않음을 알 수 있었고, 이는 탈선에 대한 주행안전성이 확보됨을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 鐵道總研報告, Vol.9, No.3, 1995. 8, “탈선에 대한 안전성평가지표의 연구” pp. 1~9.
2. 鐵道總研報告, Vol.10, No.3, 1996. 3, “차량의 탈선 메커니즘” pp. 2~10.
3. 鐵道總研報告, Vol.15, No.4, 2001. 4. 2004. 8, “윤중, 횡압추정식에 의한 탈선에 대한 안전성평가”, pp. 2~7.
4. 鐵道總研報告, Vol.18, No.8. 2004. 8, “급곡선 저속주행시의 타고오름 탈선에 대한 안전성평가수법”, pp. 1~9.
5. Coenraad Esvelde(2001), “Modern Railway Track”, MRT-Productions, 2nd Edition
6. 철도종합안전기술개발사업(2006), “탈선안전성능향상 기술개발”, 한국철도기술연구원
7. 황정택(2006), “탈선 안전성능 향상을 위한 매개변수에 관한연구”, 석사학위논문, 서울산업대