

# 기존선 속도향상을 위한 기술적 검토

## Technical Review for Speed-Up of Existing Railway Line

양 신 추\*                      신 정 렬\*\*                      정 우 진\*\*  
 Yang, Sin-Chu              Shin, Jeong-Ryol,              Chung, Woo-Jin

### ABSTRACT

With speed-up of existing railway, a greater attention is paid to the riding safety and the comfort of the passengers. They are combined to some technical factors related to track such as alignment, derailment coefficient, and track bearing capacity. A quantitative analysis method for those technical factors is presented in this study. Calculating the allowable transit speed, the technical reviews of speed-up of Janghang-Line(Chunan-Janghang) are conducted. And the alternatives for improving train speed in existing railway are proposed.

### 1. 서 론

철도의 도달시간 단축방법으로서 곡선통과 속도향상은 대단히 큰 영향을 미치게 된다. 향후 기존선 고속화시 궤도의 기존설비의 활용을 전제로 하고 경량·고성능 차량의 투입에 의해 곡선통과 속도 향상이 적극적으로 진행될 경우 곡선부에서 (1) 주행안전성·승차감의 확보에 필요한 궤도 정비의 정도를 확인하고, (2) 증대하는 열차하중에 대한 궤도구조강화 등의 대응책을 마련하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 기존선을 속도 향상할 경우 속도대역별 열차주행안전 및 승차감에 영향을 주는 궤도분야의 기술적 요소를 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 또한 현재 속도향상을 심도 있게 검토하고 있는 장항선을 대상으로 하여 각 기술적 요소에 대한 허용열차통과속도를 구함으로써 향후 속도향상에 대한 여지를 파악하고, 속도향상을 제한하는 요소로 평가될 경우 개선방향을 제시하였다.

### 2. 선형 검토[1]

차량이 완화곡선부를 주행하는 시간은 아래의 식(1)과 같이 구해진다.

$$T_d = 3.6 \frac{L_{min}}{V} \quad (1)$$

틸팅의 완화곡선부 인식에 필요한 소요시간( $T_d$ )을 고려한 실제 틸팅시간( $T_{tilt}$ )은 다음의 식(2)와 같다.

$$T_{tilt} = T_d - T_c \quad (2)$$

캔트 변화율 및 캔트 부족 변화율은 각각 다음 식(3)과 같다.

$$C_{rate} = \frac{C}{T_c}, \quad CD_{rate} = \frac{CD}{T_c} \quad (3)$$

틸팅은 멀미현상을 방지하기 위하여 캔트부족량의 전부가 아닌 일정 비율( $K_1$ : 0.6~0.7)만을 보정하는 경우가 많으며 이에 따른 최대 틸팅각도와 최대 틸팅율은 각각 식(4)와 같이 구해진다.

$$\gamma_{max} = \tan^{-1} \left( \frac{K_1 \cdot CD}{1500} \right), \quad \gamma_{max \ rate} = \frac{\gamma_{max}}{T_{tilt}} \quad (4)$$

캔트의 변화량과 틸팅운동의 합에 의한 전체 를 가속도는 다음 식(5)와 같다. 현가장치의 롤 강성은 캔트에 대비한 비율( $K_2$ )로 나타내며 일반적으로 0.85를 사용한다.

$$\phi_{rate} = \frac{C_{rate}}{1500} \frac{180}{\pi} + K_2 \cdot \gamma_{max \ rate} \quad (5)$$

\* 정희원, 한국철도기술연구원 책임연구원

\*\* 정희원, 한국철도기술연구원 주임연구원

를 강성을 고려한 경우, 승객이 느끼는 정상 횡가속도는 다음 식(6)과 같다.

$$a_{lat} = a_{cen} \cdot \cos(\alpha + K_2 \cdot \gamma_{max}) - \sin(\alpha + K_2 \cdot \gamma_{max}) \quad (6)$$

여기서,  $a_{cen} = (V/3.6)^2 / G \cdot R$ ,  $\alpha = \tan^{-1}(C/1500)$

한편, 유럽의 신 규격으로 검토되고 있는 prENV12299에 의한 완화곡선부의 승차감 지수는 다음 식(7)과 같이 구해진다.

$$P_{ct} = (A \cdot G \cdot a_{lat} + B \cdot G \cdot a_{lat}/T_{tilt} - C) + D \cdot \phi_{rate}^E \quad (7)$$

여기서 괄호 안의 값이 - 인 경우는 0으로 계산하며, A, B, C, D, E는 상수이다. 마지막으로, 필요 최소 곡선부간 거리는 대차간의 거리와 직선부를 인식하는데 소요되는 시간동안의 주행거리에 의해 결정되며 다음 식(8)과 같이 계산된다.

$$L_{c \min} = L_b + T_d \frac{V}{3.6} \quad (8)$$

틸팅차량을 포함한 곡선부 선형검토 기준은 표 1과 같다.

표 1. 곡선부 선형검토 기준

최대틸팅각도 ( $\gamma_{max}$ )	최대 틸팅각속도 ( $\gamma_{max \ rate}$ )	최대 전체 돌 각속도( $\psi_{rate}$ )	정상횡가속도 ( $a_{lat}$ )	완화곡선 승차감지수( $P_{ct}$ )	불평형 가속도의 시간적 변화율 ( $a_{lat}/T_{tilt}$ )
8 degree	4 degree/sec	5 degree/sec	0.08g	5	0.03g/sec

장항선 일부구간을 대상으로 선형을 검토한 결과는 표 2와 같다.

표 2. 장항선 곡선부 구간 선형검토 예

곡선부 시종점	곡선 반경 (m)	속도 (km/h)	켄트 (mm)	가속도 변화율 (g/sec)	최대 틸팅각도(°)	최대틸팅 각속도 (°/sec)	전체 돌각속도 (°/sec)	정상 횡가속도 (g)	승차감 지수 ( $P_{ct}$ )	평가
0km186-0km584	300	100	160	0.015	6.31	1.57	2.86	0.061	1.55	Good
1km393-1km731	1,000	183	160	0.024	6.31	2.47	4.51	0.061	3.10	Good
2km318-2km664	1,200	200	160	0.031	6.21	3.20	5.88	0.060	4.44	NG

### 3. 곡선부 운동형압 검토

#### 3.1 곡선부 운동검토

곡선부에서 운동정상분은 다음 식(9)와 같이 근사하게 나타낼 수 있다.[2]

$$\overline{P}_o = \frac{W_o}{2} \left[ \left( 1 + \frac{V^2}{gR} \frac{C}{G} \right) + \frac{H_G^*}{G/2} \frac{C_d}{G} \right], \quad \overline{P}_i = \frac{W_o}{2} \left[ \left( 1 + \frac{V^2}{gR} \frac{C}{G} \right) - \frac{H_G^*}{G/2} \frac{C_d}{G} \right] \quad (9-1)$$

$$C_d = \frac{GV^2}{gR} - C \quad (9-2)$$

여기서,  $\overline{P}_o$  : 외궤측운동(정상분),  $\overline{P}_i$  : 내궤측운동(정상분),  $W_o$  : 축중,  $G$  : 궤간(m),  $R$  : 곡선반경(m),  $C$  : 켄트(m),  $H_G^*$  : 차량유효중심고(m)이다. 한편, 차체와 스프링하질량 각각의 상하방향 진동에 의한 관성력에 의한 운동의 변동분은 다음 식(10)으로 주어진다.

$$\Delta P = W_o/2g * 3\sigma_{av} + (W_o/2)iV/100, \quad \sigma_{av} = K_V \cdot \sigma_V \cdot V \quad (10)$$

여기서,  $\sigma_{av}$  : 차체의 상하진동의 표준편차(m/sec<sup>2</sup>),  $V$ : 속도(km/h),  $K_V$  : 상하진동의 차량요동계수 (m/sec<sup>2</sup>/mm/(km/h)),  $\sigma_V$  : 고저틀립의 표준편차(mm),  $i$  : 충격계수이다.

결과적으로 내궤 및 외궤에 작용하는 운동의 총합은 정상분과 변동분의 합으로 주어진다. 운동

변동에 대한 기준은 정적 윤증감소에 대해서는  $0.4 \times$ 윤증을, 동적윤증감소에 대해서는  $0.8 \times$ 윤증으로 정하였다.[2]

표 3. 곡선부에서의 윤증 계산을 위한 물성치

항 목	윤증 계산에 사용된 값
축중 $W_o$ , (t)	17
캔트 C, (m)	0.10, 0.16, 0.18
차량중심고 $H_G$	1.63
궤간 G, (m)	1.5
상하진동의 차량요동계수 $K_v$ , ( $m/sec^2/mm/(km/h)$ )	0.0012
고저틀림의 표준편차 $\sigma_v$ , (mm)	0.42
충격계수 $i$ ,	장대레일: $i=0.3$
	일반레일(이음매부): $i=0.5$

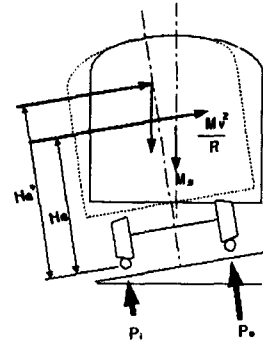
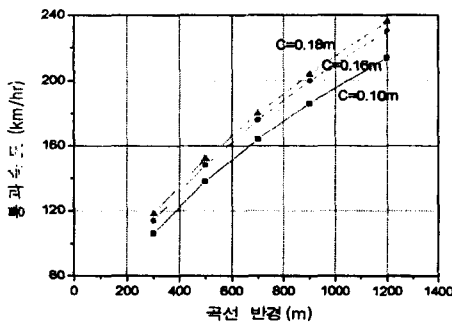


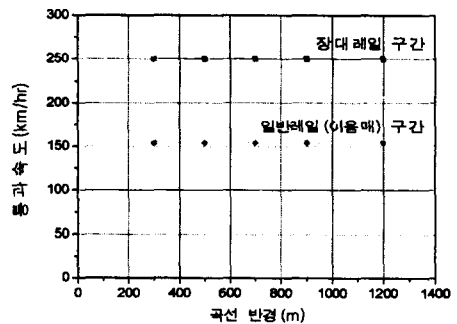
그림 1. 곡선주행시 차량에 작용하는 하중

표 3은 윤증·횡압의 검토에 사용된 KTX 제원을 나타내며, 그림 2는 장대레일구간과 일반레일(이음매)구간에 대하여 각 곡선반경별 및 캔트량별로 정적윤증 한계치 및 동적 윤증감소한계치에 대한 최고통과속도를 나타낸 것이다.

곡선부에서 정적윤증 한계치에 대한 최고통과속도는 장대레일구간과 일반레일(이음매)구간에 상관없이 동일하게 캔트량이 클수록 곡선반경이 커질수록 큰 통과속도를 갖는 것으로 나타났으며, 동적윤증 감소한계치에 대한 최고 통과속도는 곡선반경과 캔트량에 상관없이 장대레일 구간에서는 250km/hr, 일반레일(이음매)구간에서는 154km/hr로 나타났다. 이 결과로부터 일반레일(이음매)구간을 장대레일화시키면 최고통과속도를 크게 향상시킬 수 있는 것을 알 수 있다.



(a) 정적윤증



(b) 동적윤증

그림 2. 곡선부에서의 윤증한계치에 대한 곡선반경별 최고통과속도

### 3.2 곡선부 횡압검토

많은 횡압 측정결과를 기초로 하여 횡압의 정상분(초과 원심력에 의한 횡압과 곡선전향 횡압)과 변동분(좌우동요에 의한 횡압, 차륜충격 횡압)을 고려한 다음 식(11)과 같은 추정식이 제안되고 있다[ref]

$$Q_o = \overline{Q}_i + \Delta Q, \quad \overline{Q}_i = \kappa \overline{P}_i, \quad \Delta Q = \frac{2W_o}{g} a_H K_H + S \quad (11)$$

여기서  $\overline{Q}_i$ :내측횡압(정상분),  $\kappa$ :내측횡압/윤증비,  $a_H$ :차체좌우동(궤도면 평행성분,  $m/sec^2$ ) ( $= \overline{a}_H + \Delta a_H$ ),  $\overline{a}_H$ : 차체좌우동(정상분,  $m/sec^2$ ) ( $= C_d/G$ ),  $\Delta a_H$ : 차체좌우동(변동분,  $m/sec^2$ ) ( $= 3 \sigma_{a_H}$ ),  $\sigma_{a_H}$ : 차체좌우동의 표준편차( $m/sec^2$ ) ( $= k_z \cdot \sigma_z \cdot V$ ),  $k_z$ : 차체좌우방향의 차량요동계수( $sec^2/mm/(km/h)$ ),  $\sigma_z$ : 방향틀림의 표준편차(mm),  $K_H$ : 차체 좌우방향관성력의 대차전축부담

를 S : 이음부 부근의 충격적 횡압(tf)이다.

표 4는 횡압의 계산에 사용된 궤도 및 차량의 물성치를 나타낸다. 그림 3은 장대레일구간에서 열차속도에 따른 횡압을 나타낸 결과이다.

곡선반경이 큰 경우는 곡선주행시 곡선반경 및 열차속도에 따른 탈선영향을 검토하기 위하여 윤중 및 횡압의 합수로 주어지는 탈선계수를 구하였다. 이때 횡압은 정상분과 변동분의 합을 검토 횡압으로 하였고, 윤중은 정상분만을 고려하였다. 그림 4와 그림 5는 각각 장대레일구간 및 일반레일(이음매)구간에서의 탈선계수를 곡선반경별로 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 장대레일구간 뿐만 아니라 일반이음매레일구간에서도 곡선주행시 탈선위험성은 적은 것을 알 수 있다.

표 4. 곡선부에서의 횡압 계산을 위한 변수값

항 목	윤중 계산 값
축중 $W_o$ , (t)	17
캠트 C, (m)	0.16
차량중심고 $H_G$	1.63
궤간 G, (m)	1.5
좌우진동의 차량요동계수 $K_H$ ( $m/sec^2/mm/(km/h)$ )	0.001
궤도출몰림의 표준편차 $\sigma_v$ (mm)	2.5

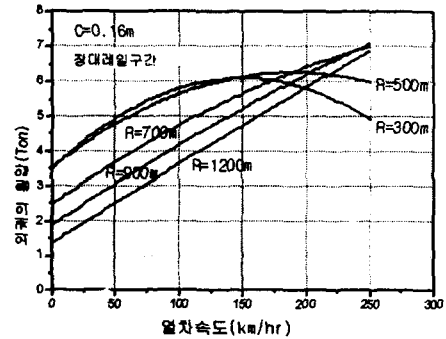


그림 3. 곡선부 장대레일구간 횡압(C=0.16m)

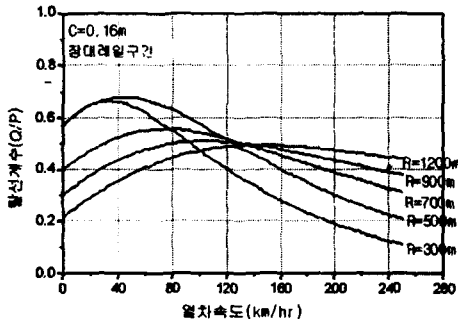


그림 4. 장대레일구간 탈선 계수

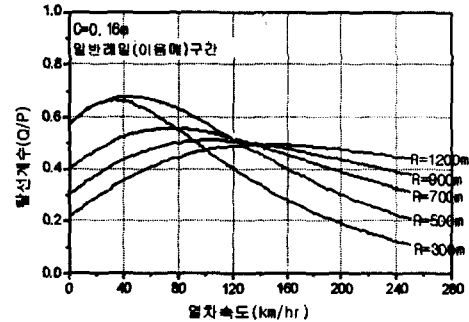


그림 5. 일반레일(이음매)구간 탈선 계수

#### 4. 곡선부에서 바람에 의한 전도안전검토

곡선 통과시 차량의 전도한계 풍속(u)과 주행속도(V)와의 관계는 다음 식(12)으로 주어진다[2]

$$u = \sqrt{\frac{W \cdot G}{\rho \cdot S \cdot h_{BC} \cdot C_r}} \sqrt{1 - \frac{2h_G}{G} \left\{ \left( 1 - \frac{\mu}{1 + \mu} \cdot \frac{h_{GT}}{h_G} \right) \alpha_H \mp \left( \frac{V^2}{R \cdot g} - \frac{C}{G} \right) \right\}} \quad (12)$$

여기서,  $h_G$  = 레일두정면으로부터 차량의 무게중심까지 거리(m),  $h_{CB}$  = 레일두정면으로부터 차체의 무게중심까지 거리(m),  $h_{GT}$  = 레일두정면으로부터 대차의 무게중심까지 거리(m),  $h_{BC}$  = 레일두정면으로부터 차체의 횡압 중심까지 거리(m),  $\mu$  = 대차중량/(차체중량  $\times$  1/2),  $u$  = 풍속(m/sec),  $W$  = 차량중량의 1/2 (kg),  $W_B$ : 차체중량(kg)의 1/2,  $W_T$ : 대차중량(kg),  $R$  = 곡선반경(m),  $C$  = 캠트(m),  $G$  = 좌우차륜 접촉점간의 거리(m),  $g$  = 중력가속도( $m/sec^2$ ),  $V$  = 주행속도(m/sec),  $\rho$  = 공기밀도( $kg \cdot sec^2/m^4$ ),  $S$  = 차체의 횡의 투영면적의 1/2 ( $m^2$ ),  $C_r$  = 횡풍에 대한 차체의 저항계수,  $\alpha_H$  = 주행중의 차량의 횡진동가속도(g),  $e$  = 차체중심과 횡풍에 대응하는 풍압 중심까지의 거리(m),  $C_y$  = 횡하중에 대한 대차스프링의 변위계수(m/kg),  $C_{y_0}$  = 차체의 단위 모멘트당 횡변위( $1/(kg \cdot m)$ )이다. 상기 식에서  $\mp$  부호는 곡선의측으로의 전도에 대하여서는 +를, 곡선 내측방향에 대하여는 - 를 적용한다.

표 5의 제원 및 물성치를 갖는 KTX 차량이 곡선부를 주행할 때 곡선반경 R=300, 500, 700, 900, 1200m에 대하여 바람에 대한 전도를 검토한 결과로서 중간궤차에 대한 열차속도에 따른 허용풍속은 30m/sec(운전취급규정 404조)로 하였다.

그림 6은 최대캔트 및 캔트부족량으로 결정된 곡선부 통과속도와 풍속을 고려한 허용통과속도를 동시에 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 바람에 의한 차량의 전도안전성으로부터 검토된 곡선부 열차허용통과속도는 최대캔트 및 최대캔트부족량에 의하여 결정된 열차허용통과속도 보다는 곡선반경에 따라 25~50km/h 정도 크므로 최대캔트 및 최대캔트부족량에 의하여 결정된 곡선부 열차허용통과속도를 지키면 바람에 의한 차량의 전도가 능성은 적은 것을 알 수 있다.

표 5. TGV 제원 및 물성치

기호	동력차	중간궤차
$h_{BC}$ (m)	2.1	1.9
$h_G$ (m)	1.704	1.630
$h_{GB}$ (m)	2.031	1.984
$h_{GT}$ (m)	0.523	0.581
$W_B$ (kg)	25,576	13,236
$W_T$ (kg)	7,091	7,057
$S$ (m <sup>2</sup> )	32.00	32.00
$\alpha_H$ (g)	0.074	0.1
$C_r$	1.0	1.0
$C_y$ (m/kg)	1.6E-5	5.0E-5
$C_\phi$ (Nm/rad)	5.81E-6	1.91E-5
$C_D$ (m)	0.1	
$R$ (m)	400	
$\rho$ (kg · sec <sup>2</sup> /m <sup>4</sup> )	0.125	
$G$ (m)	1.5	
$C$ (m)	0.18	

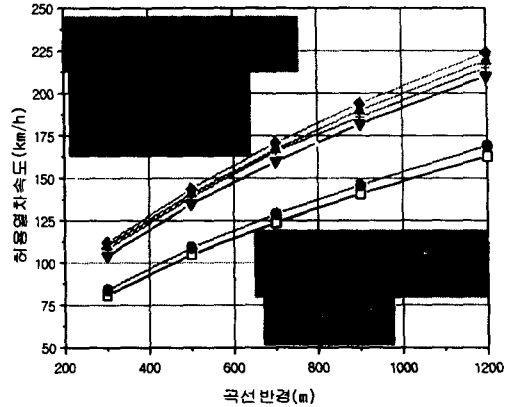


그림 6. 곡선부에서의 차량허용통과속도

## 5. 유도상궤도의 열차속도에 따른 궤도부담력 검토

### 5.1. 레일휨용력 검토

표 6과 같은 제원 및 물성치를 갖는 궤도에 대하여 열차속도에 따른 레일휨용력을 궤도의 종합 성능을 평가할 수 있도록 개발한 프로그램을 사용하여 계산하였다(그림 7). 이때 허용통과속도를 결정하는 허용레일휨용력은 장대레일궤도에 대하여 13.1kg/mm<sup>2</sup>를 이음매궤도에 대하여서는 16.0 kg/mm<sup>2</sup>를 적용하였다.

표 6. 궤도의 제원 및 물성치

항 목	물성치	항 목	물성치
노반의 초기지반반력계수	7.2kg/cm <sup>3</sup>	레일종별	KS50kg
허용침하량	1.0(cm)	레일질량	50.4 (kg/r)
노반 허용지지력	2.4 (kgf/cm <sup>2</sup> )	레일 단면 2차모멘트	1960(cm <sup>4</sup> )
안전율	1.5	레일탄성 계수	2.1 × 10 <sup>8</sup> (kN/m <sup>2</sup> )
침목분포 지시프링계수	18.23 (kgf/cm <sup>3</sup> )	레일높이	153(mm)
레일지시프링계수	34.421 (tf/cm)	침목간격	0.6(m)

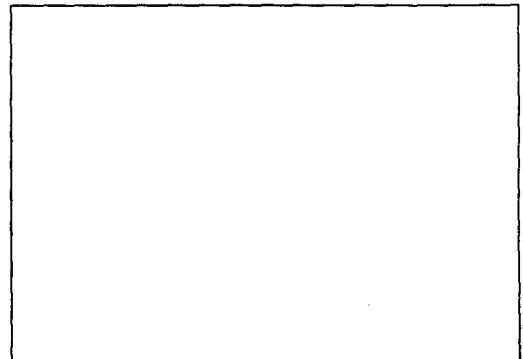


그림 7. 레일의 휨력 해석프로그램

그림 8은 속도에 따른 레일휨용력과 허용레일휨용력을 동시에 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 레일에서 발생하는 휨력은 모든 검토대상의 열차속도(0~250km/h)에서 허용용력 보다 매우 적게 발

생함을 알 수 있다. 따라서 열차의 속도를 향상시키도 레일응력이 허용응력을 초과할 염려는 크지 않음을 알 수 있다.

### 5.2 침목의 허용레일압력 검토

침목의 허용레일압력 검토도 레일의 허용응력검토와 동일하게 프로그램을 사용하여 검토하였다. 이때 해석에 사용된 궤도조건은 표 3.5와 동일한 값을 사용하였고, 침목의 설계레일압력 7.2 ton을 기준으로 하였다.

그림 9는 속도에 따른 레일발생압력과 기준 레일압력을 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 장대 레일구간에서는 침목에 작용하는 레일압력이 250km/h까지의 모든 열차속도에 대하여 허용압력보다 적게 발생함을 알 수 있다. 그러나 일반이음매구간에서는 도상두께에 따라서 차이는 있으나 200km/h 이상의 열차속도에서는 허용레일압력보다 크게 산출되므로 속도향상을 위해서는 레일을 50kg레일에서 60레일로 교체하거나, 탄성체결구를 사용함으로써 침목지지강성을 감소시켜 레일압력을 이웃 침목들로 분산시킬 필요가 있다.

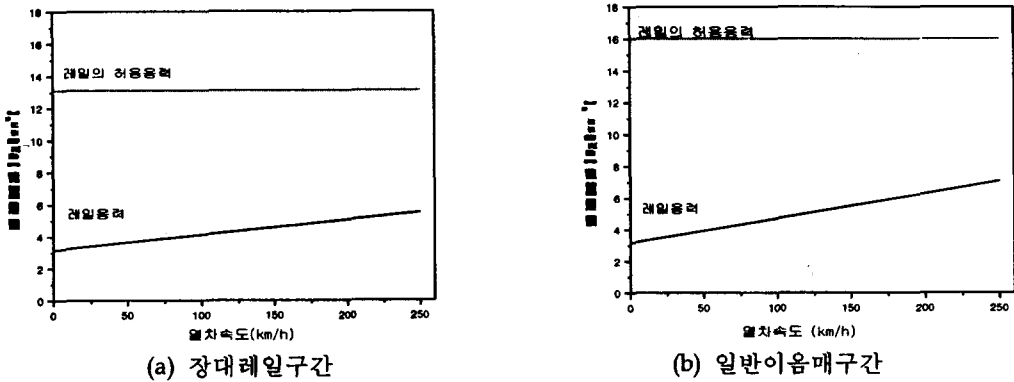


그림 8. 열차속도에 따른 레일응력 검토

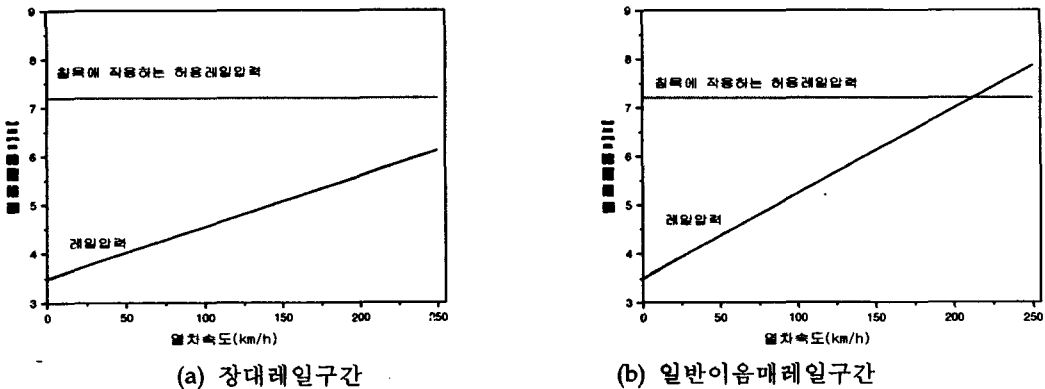


그림 9. 열차속도에 따른 레일압력 검토

### 5.3 노반의 허용압력 검토

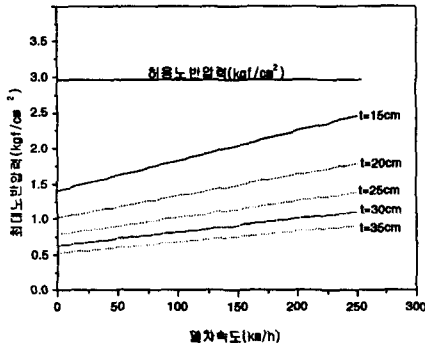
도상압력을 구하기 위해서는 다음의 실험식을 이용한다.[2]

$$p_{bmax} = 2P_R / (b \cdot l) \cdot 58 / (10 + h^{1.35}) \quad (13)$$

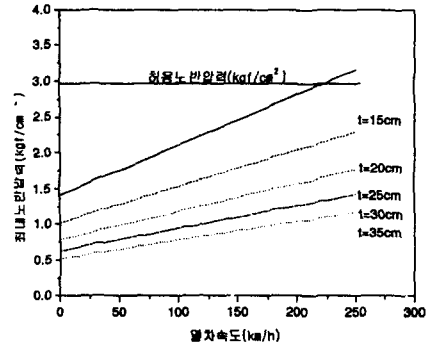
여기서,  $p_{max}$ : 최대도상압력(kgf/cm<sup>2</sup>),  $p_l$ : 침목저면평균압력(kgf/cm<sup>2</sup>),  $h$ : 도상두께(cm)이다. 검토시 최대 노반허용지지력은 2.88kgf/cm<sup>2</sup>를 기준으로 하였다.

그림 10은 장대레일구간 및 일반이음매구간에서의 열차속도에 따른 노반의 최대압력을 나타낸 결과이다. 이들 결과로부터 장대레일구간에서는 노반최대압력이 자갈도상 두께에 관계없이 모두

허용압력 이하임을 알 수 있다. 그러나 일반이음매구간에서는 자갈도상두께가 15cm인 경우는 열차속도가 225km/h 이상이면 허용노반압력을 초과함을 알 수 있다.



(a) 장대레일 구간



(b) 일반이음매 구간

그림 10. 열차속도에 따른 노반압력 검토

#### 5.4 횡압에 대한 체결력 검토

기준선의 많은 구간에서는 목침목을 이용하고 레일과 침목을 연결하는 체결장치는 스파이크를 이용하고 있는 실정으므로, 여기서는 곡선부에서 횡압에 대한 체결력 검토로 스파이크의 압출 및 이발의 위험성에 대하여 검토하였다.

##### 가. 스파이크의 압출에 대한 검토

스파이크의 압출에 대한 검토에서는 레일 압력의 마찰력이 레일 횡압력에 저항하는 것으로 하여 한도를 다음 식과 같이 정하고 있다(그림 11).[2].

$$Q_{rl} < \eta \cdot P_{rl} + S_h \quad (14)$$

여기서  $Q_{rl}$ : 외궤측 레일 횡압력,  $P_{rl}$ : 외궤측 레일 압력,  $S_h$ : 스파이크의 한계 압출력  $\eta$ : 레일/침목 간 마찰계수로서 보통 0.6 정도이다.

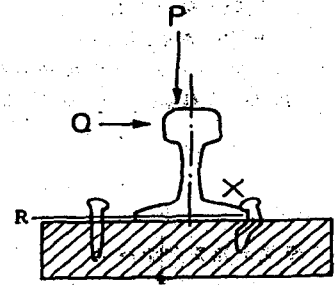
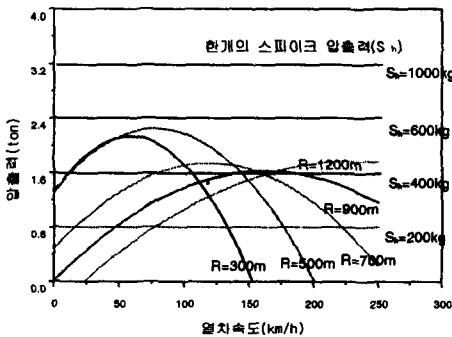
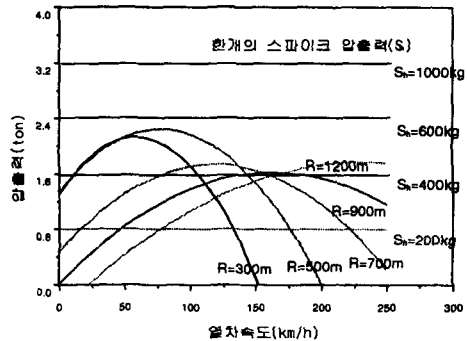


그림 11. 스파이크의 보형

가능한 한 안전측의 검토를 위하여 횡압에 대하여서는 정상분(Stationary Component)에 표준편차  $\sigma$ 의 3배에 해당하는 변동분이 작용하는 것으로 가정하고 운중에 대하여서는 정상분만이 작용하는 것으로 가정하였다. 한계압출력은 현장부설, 사용년도 경과에 따른 침목의 부식, 스파이크의 이완 등을 고려하여 200Kg으로 가정하였다.



(a) 장대레일구간



(b) 일반이음매구간

그림 12. 곡선부 열차속도에 따른 체결스파이크 압출안전성 (c=160mm)

그림 12는 각각 곡선구간에서 일반이음매와 장대레일화 할 경우에 대한 스파이크의 압출 안전성에 대한 검토결과들이다. 이들 결과들로부터 모든 속도에서 스파이크 압출력은 한계압출력 이하임을 알 수 있다. 한편 이들 결과로부터 압출력은 곡선반경이 적은 경우는 저속에서 압출력이 크나, 반면에 곡선반경이 커지면 고속에서 압출력이 큰 것을 알 수 있다.

**나. 스파이크의 뿔혀올라움에 대한 검토**

스�파이크 체결구의 전도에 대한 안전성 검토는 레일에 작용하는 전도모멘트에 대한 스파이크 인발에 의한 레일의 전도안전성의 검토 식은 다음과 같다.[2]

$$b_3 S_p > Q_{11} h - P_{11} e \tag{15}$$

여기서 h는 레일높이이며, e는 레일두부 중심으로부터 윤증이 작용하는 지점까지의 편심거리이다. KS 50레일을 검토대상으로 하여  $b_3=14.0\text{cm}$ ,  $h=15.0\text{cm}$  값을 사용하였고, 편심거리 e는 2.5cm로 가정하였다. 그림 13은 한 개의 침목이 전체 횡하중을 50% 부담할 경우에 대한 인발력을 검토한 결과이다. 한계인발력을 안전측으로 평가하여 400kg로 가정하면 한 개의 침목이 횡하중의 50%를 부담하는 경우는 R=500m 이하의 경우 저속에서 인발력이 한계 인발력을 넘어서고 있음을 알 수 있다. 따라서 곡선구간에서는 4~5배의 인발력을 갖는 나사못 형식의 솔더를 사용하거나, 체결력이 강한 새로운 체결시스템을 도입하는 것이 추천된다.

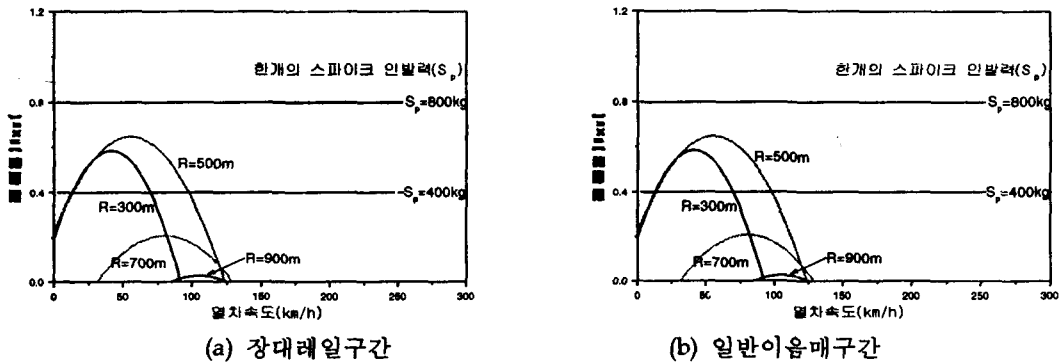


그림 13. 곡선부 열차속도에 따른 체결스파이크 인발안전성 검토(캔트 c=160mm)

**5. 결론**

본 연구에서는 기존선을 속도 향상할 경우 속도대역별 열차주행안전 및 승차감에 영향을 주는 궤도분야의 기술적 요소를 정량적으로 분석하는 방법을 제시하였다. 현재 속도향상을 심도 있게 검토하고 있는 장항선을 대상으로 하여 각 기술적 요소에 대한 허용열차통과속도를 파악한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

선로선형은 각 선로조건을 고려하여 앞서 제시한 6가지 검토기준을 만족하는 범위에서 최소비용을 요하는 선로개량이 필요함을 알 수 있었다. 윤증을 검토한 결과 장대레일 구간에서는 열차속도가 250km/h, 일반레일(이음매)구간에서는 154km/h이므로 장대화가 필요함을 알 수 있다. 또한 곡선부 횡압을 검토한 결과 횡압에 따른 탈선 위험은 적은 것을 알 수 있었다. 한계풍속을 30km/h로 하는 경우 최대캔트 및 캔트부족량에 의하여 결정한 열차통과속도를 따르면 바람에 의한 전도 위험은 적은 것을 알 수 있다. 궤도부담력 검토결과 레일용력 및 노반지지력은 열차속도를 향상해도 큰 문제가 없으나 침목 및 스파이크체결은 개량이 필요함을 알 수 있었다.

**참고문헌**

1. 오일근, 정우진 외(1998), "기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한연구", 철도청, pp 207~286
2. 須田征男 외(1997), "新しい線路：軌道の構造と管理", 日本鐵道施設協會, pp.273~409