종곡선/평면곡선 경합 시 승차감을 고려한 선형최적화에 관한 연구

A Study on the Optimization of the Alignment Considering the Ride Comfort in the Case of the Superimposition of Vertical and Horizontal Curves

엄주환† 양신추** 최일윤***
Ju-Hwan Um Sin-Chu Yang Il-Yoon Choi

ABSTRACT

Superimposition of horizontal and vertical curves may hamper the ride comfort and the running stability of train and largely affect the maintenance cost. However, in many cases, it's not easy to make a track plan because of the fixed points (bridge, tunnel, turnout, catenary system, etc.) to be avoided due to the geographic conditions or to be passed for utilization of existing structures. In this study, when the horizontal and vertical curves are superimposed, in order to optimize the horizontal curve in aspect of the ride comfort , the object function P_{CT} was developed and verified by vehicle dynamic analysis. Also, the solution algorithm for simplified evaluation method was presented.

Keyword; 종곡선, 평면곡선, 경합, 최적선형
Vertical curve, Horizontal curve, Superimposition, Optimum alignment

1. 서 론

철도 건설에 있어서 적정 선형설계 여부는 차량의 주행 안정성 및 승차감 등에 매우 중요한 영향을 미칠 뿐만 아니라 건설비 및 유지보수비에도 많은 영향을 미친다.

철도 선로선형은 한번 결정되면 변경하기가 매우 어렵다. 즉, 선형을 변경할 때 궤도 및 하부 토목 구조물, 전차선 시스템 등의 중요한 부분들이 선로선형에 맞게 동시에 변경되어야 한다. 따라서 선로선형의 변경은 일반적으로 큰 경제적 비용을 수반하므로 신선건설 및 개량 시 장래의 수송체계 및 수송계획을 포함한 다양한 검토를 수행한 다음 실시되어야 한다.

유럽 및 일본에서는 선로선형에 대한 많은 연구가 수행되었다. 연구결과를 통하여 유럽규격제정위원회(CEN)에서는 곡선부 선형 기준들을 열차 속도대별로 명확하게 분리하여 제정하였다.[1] 일본에서도 철도총합연구소 등에서 평면선형 제원에 따른 열차동요와의 상관관계에 대한 많은 연구를 수행하여 관련 기준을 정립한 바 있다.[2] 이러한 연구들은 대부분 평면곡선 설계에 대한 것으로서 평면곡선과 종곡선이 경합하는 경우에 대해서는 아직까지 국내외적으로 많은 연구가 수행되지 않은 실정이다. 국내의 경우 선형경합에 대한 실제 부설사례들은 많지만 명백한 근거와 기준을 토대로 설계되고 있지 않다.

평면곡선과 종곡선의 경합은 승차감 및 열차의 주행안정성을 저해시키는 원인이 되며, 유지보수비용에도 큰 영향을 주게 된다. 그러나 지형 여건으로 피해가야 하거나 기존구조물의 재활용 등으로 반드시 통과하여야할 고정점(교량, 터널, 분기기, 전차선주 등)으로 인하여 선로선형 계획의 수립이 여의치 않은 경우가 많다. 본 연구에서는 평면곡선과 종곡선 경합 시 승차감 측면에서의 최적 평면선형 설계를 위한 승차감 목적함수를 도출하고 차량동역학 해석을 통해 검증하였다. 또한 제시된 승차감 목적함수를 이용해 승차감이 최대가 되는 선형조건을 간단히 평가할 수 있는 해법알고리즘을 제시하였다.

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 차륜궤도연구실, 선임연구원
E-mail : jhum@krri.re.kr
TEL : (031)460-5683 FAX : (031)460-5814
* 정회원, 한국철도기술연구원,차륜궤도연구실,수석연구원
* 정회원, 한국철도기술연구원,차륜궤도연구실,선임연구원

2. 곡선부 승차감 평가방법

철도에서의 승차감 평가 방법에는 UIC, ISO 등에서 규정하는 통계적 방법이 일반적으로 널리 사용되고 있다.[3][4] 그러나 이러한 방법들은 전체선로를 대상으로 하는 통계적 방법이다. 즉, 위의 방법들은 직선부 및 곡선부를 포함한 대상 선로구간의 평균적인 승차감을 구하는 것이 주요 목적으로서 곡선부에서 적정 완화곡선장 및 캔트를 결정하기 위한 방법으로서는 적당하지가 않다. 따라서 Kufver(1997) 등은 곡선부 승차감에 미치는 중요한 선형요소인 완화곡선부 전용 승차감 평가방법으로 CEN 및 BSI(2006)에서 제안하고 있는 P_{CT}방법이 가장 합리적인 방법이라고 제안하고 있다.[5][6]

다음 식(1) 및 식 (2)는 완화곡선부 승차감 평가방법인 P_{CT}방법에 대한 실험식을 나타내고 있다.

·입석(Standing)

$$P_{CT} = \underbrace{\max(28.54 \cdot \ddot{y} + 20.69 \cdot \dddot{y} - 11.1, 0)}_{P_{CT1}} + \underbrace{0.185 \cdot (\dot{\vartheta})^{2.283}}_{P_{CT2}} \quad (1)$$

·좌석(Seated)

$$P_{CT} = \underbrace{\max(8.97 \cdot \ddot{y} + 9.68 \cdot \dddot{y} - 5.9, 0)}_{P_{CT1}} + \underbrace{0.120 \cdot (\dot{\vartheta})^{1.626}}_{P_{CT2}} \quad (2)$$

여기서,

P_{CT} : 승차감을 표현하는 승객들의 만족도로 나타낸 백분율(percentage) 단위.

$\ddot{y}$: 차체의 횡가속도의 절대최대 값(m/s^2), $\dddot{y}$: 차체의 횡저크의 절대최대 값(m/s^3)

$\dot{\vartheta}$: 차체의 롤 속도의 절대최대 값(degree/s)

P_{CT}는 완화곡선상에서 횡가속도, 횡저크, 롤속도를 고려하여 평가하는 시스템이며 평가기준은 백분율(%)로서, 이 값이 클수록 승차감이 나쁘다는 것을 의미한다.

3. 승차감 목적함수 도출

3.1 평면단곡선에서의 승차감 목적함수

P_{CT}방법을 이용한 승차감 목적함수 도출의 기본 개념은 경험식(1) 및 (2)를 이용해서 각각의 매개변수, 즉 횡가속도, 횡저크, 롤속도를 승차감에 영향을 미치는 궤도의 주요 선형함수로 변환하는 것이다. 이와 같은 방법을 이용하여 Kufver(1997) 등은 가장 간단하게 변환이 가능한 평면 단곡선의 승차감 목적함수에 관한 연구를 수행한 바 있다.[5] 여기서 Kufver(1997) 등은 P_{CT1}이 최소가 될 때 전체P_{CT}가 최소가 된다는 사실을 알아냈으며, 또한 입석(Standing) 승객일 경우가 좌석(Seated) 승객일 경우보다 더욱 불리한 경우로 평가되어 입석일 때를 평가하면 안전측으로 평가 될 수 있다는 연구결과를 제시한 바 있다. 따라서 본 연구에서도 이러한 선행연구결과를 이용하여 종곡선/평면곡선 경합 시 승차감 평가에 적용하고자 한다. 다음 식(3)~식(4)는 평면단곡선일 경우 Kufver(1997)에 의해 제시한 주요 승차감 목적함수 P_{CT}를 나타내고 있다.[5]

- 입석(Standing)

$$P_{CT} = \max(0.1867 \cdot C_d \cdot f_r + 0.0376 \cdot C_d \cdot f_r \cdot \frac{V}{L_t} - 11.1, 0) \; + \; 5.75 \cdot 10^{-6} (|C_{eq} - f_r \cdot C_d| \cdot \frac{V}{L_t})^{2.283} \quad (3)$$

- 좌석(Seated)

$$P_{CT} = \max(0.0587 \cdot C_d \cdot f_r + 0.0176 \cdot C_d \cdot f_r \cdot \frac{V}{L_t} - 5.9, 0) \; + \; 73.96 \cdot 10^{-6} (|C_{eq} - f_r \cdot C_d| \cdot \frac{V}{L_t})^{1.626} \quad (4)$$

여기서, C_d : 캔트부족량(mm)

f_r : 유효롤계수(차량면 횡가속도/궤도면횡가속도, 여기서는 1.2로 가정)

C_{eq}: 균형캔트(mm), L_t : 완화곡선장(m), V : 열차속도(km/h)

3.2 평면 및 종곡선 경합 시 승차감 목적함수 도출

3.2.1 경합 시 차량 및 궤도면 횡가속도 산정

평면곡선구간에서 차량은 원심 가속도와 중력가속도를 받는다. 그러나 종곡선과 평면원곡선이 경합할 시에는 종곡선에 의한 상향원심력이 발생하게 되며, 이로 인해 중력가속도 성분이 상향원심력 만큼 줄어들게 된다. 그리고 상향원심력에 의해 횡가속도성분과 중력가속도 성분의 합력이 곡선외측으로 더욱 크게 발생하게 된다. 그리고 차량이 곡선부를 주행할 때 대차와 차체사이의 현가장치들에 의해 차체가 곡선외측으로 약간 기울어지는 롤링현상이 발생 된다. 이로 인해 종곡선과 평면원곡선이 경합했을 경우, 준정적 곡선주행에 따른 차량/궤도 선형 상호작용에 의한 차량면 횡가속도는 롤링각 θ_{fr}에 따라 변화하게 된다.

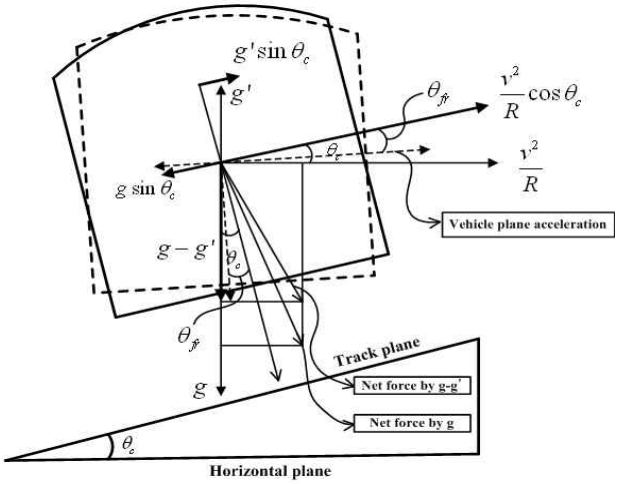

Fig. 1. Definition of vehicle and track plane acceleration by superimposition

Fig. 1은 경합 시 차량/궤도선형 상호작용에 의한 차량 및 궤도면 횡가속도 성분의 발생 개념도를 보여주고 있다. 이를 이용하여 차량 및 궤도면에서의 횡가속도 성분을 구하면 식(5) 및 (6)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_y = \frac{v^2}{R}cos\theta_c - g(1-\frac{v^2}{gr})\sin\theta_c \tag{5}$$

$$a_{vy} = \left[\frac{v^2}{R}cos\theta_c - g(1-\frac{v^2}{gr})\sin\theta_c\right]\cdot\cos\theta_{f_r} - \left[\frac{v^2}{R}sin\theta_c + g(1-\frac{v^2}{gr})\cos\theta_c\right]\cdot\sin\theta_{f_r} \tag{6}$$

여기서, a_y : 경합 시 궤도면 횡가속도 성분의 합

a_{vy} : 경합 시 차량면 횡가속도 성분의 합

θ_{fr}: 차량의 롤링 각(rad)

$\frac{v^2}{R}$: 횡가속도(m/s^2), g': 종곡선에 의한 수직방향 가속도(m/s^2, $\frac{v^2}{r}$)

R : 평면곡선반경(m), v : 열차속도(m/s)

r : 종곡선 반경(m), g : 중력가속도(m/s^2)

θ_c : 수평면과 궤도면이 이루는 각(rad)

3.2.2 평면 및 종곡선 경합 시 승차감 목적함수 도출

3.2.2.1 차체의 횡가속도($\ddot{y}$)

경합조건을 고려한 승차감 목적함수 산정을 위하여 차체 횡가속도 절대 최대값은 식 (5)의 정상 횡가속도에 유효롤 계수의 곱으로 정의할 수 있으며, $\theta_c \approx$ small angle로 가정하고 정리하면 식 (7)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\ddot{y} = f_r \cdot \left[\frac{v^2}{R}\cdot\frac{v^2}{gr} + \frac{g}{G}(1-\frac{v^2}{gr})\cdot C_d\right] \tag{7}$$

여기서, $\ddot{y}$: 경합 시 차체의 횡가속도(m/s^2)

C_d : 캔트부족량, G : 궤간(1500mm), f_r : 유효롤 계수

3.2.2.2 횡저크($\dddot{y}$)

횡저크는 횡가속도의 시간적 변화율로서 정의한다. 식 (7)을 시간에 대해 미분하면 다음 식 (8)와 같

이 구할 수 있다.

$$\ddot{y} = d\ddot{y}/dt$$
$$= \left[f_r \cdot \frac{v^2}{R}\frac{v^2}{gr} + f_r \cdot \frac{g}{G}(1-\frac{v^2}{gr}) \cdot C_d \right] \cdot \frac{v}{L_t} \quad (8)$$

여기서, $\ddot{y}$: 경합 시 차체의 횡저크(m/s^3)

3.2.2.3 롤속도($\dot{\varphi}$)

유효롤 계수 f_r은 앞서 언급하였듯이 차량면 횡가속도에 대한 궤도면 횡가속도의 비로서 정의 된다. 그리고 식 (5)과 식 (6)을 이용하여 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_r \cdot \left[\frac{v^2}{R}cos\theta_c - g(1-\frac{v^2}{gr})\sin\theta_c \right] = \left[\frac{v^2}{R}cos\theta_c - g(1-\frac{v^2}{gr})\sin\theta_c \right] \cdot \cos\theta_{f_r} - \left[\frac{v^2}{R}sin\theta_c + g(1-\frac{v^2}{gr})\cos\theta_c \right] \cdot \sin\theta_{f_r} \quad (9)$$

여기서, θ_c와 $\theta_{f_r} \approx$small angle로 가정하고 차체의 전체 롤각 $\theta_c + \theta_{fr}$(rad)로 표현하면 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_c + \theta_{fr} = f_r \cdot \frac{1}{G} \cdot (C_{eq} - C_d) - \frac{(f_r - 1) \cdot v^2}{gR\left(1 - \frac{v^2}{gr}\right)} \quad (10)$$

이상의 결과로부터 경합조건을 고려한 승차감 목적함수 P_{CTS}를 위한 차체의 롤속도 $\dot{\vartheta}$(degrees/s)의 절대 최대값은 식 (10)를 이용하여 다음 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\vartheta} = \left[\frac{f_r}{G} \cdot (C_{eq} - C_d) - \frac{(f_r - 1) \cdot v^2}{gR\left(1 - \frac{v^2}{gr}\right)} \right] \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{v}{L_t} \quad (11)$$

여기서, $\dot{\vartheta}$: 롤속도, degrees/second

3.2.2.4 경합 시 승차감 목적함수 P_{CTS}도출

승차감 목적함수 도출을 위해 식 (1)의 각각의 매개변수에 식 (7), 식 (8), 식(11)을 대입하여 승차감에 미치는 주요변수인 캔트 부족량(C_d), 완화곡선장(L_t), 유효롤계수(f_r)의 함수로 정리하면 식 (12)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 Kufver(1997)의 연구결과를 바탕으로, P_{CT1}=0가 되는 최적캔트 부족량은 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다. 그리고 식 (2)의 입석에 대해서는 앞서 언급한 바와 같이 Kufver(1997) 등의 선행연구결과를 바탕으로 여기서는 생략하였다.[5]

$$P_{CTS} = [\ A + B \cdot C_d \cdot f_r - 11.1] + 0.185\left[C \cdot \frac{v}{L_t} \right]^{2.283} \quad (12)$$

$$C_d = \frac{11.1 - A}{B \cdot f_r} \quad (13)$$

여기서, P_{CTS} : 종곡선/평면곡선 경합조건을 고려한 간략화 승차감지수(%)

$$A : f_r \cdot \frac{v^2}{Rr} \cdot \left(2.912 + 2.111 \cdot \frac{v}{L_t} \right)$$

$$B : \left(1 - \frac{v^2}{gr} \right) \cdot \left(186.460 + 135.170 \cdot \frac{v}{L_t} \right)$$

$$C : 38.197 \cdot f_r \cdot (C_{eq} - C_d) - 5.850 \cdot \frac{v^2 \cdot (f_r - 1)}{R\left(1 - \frac{v^2}{gr}\right)}$$

4. 해법알고리즘

Fig. 2. 는 고정점별 $R-L_t$경계조건 내에서 승차감 목적함수 P_{CTS}의 최소값을 구하는 선형 최적화 알고리즘을 보여주고 있다. 여기서 주의하여야 할 사항은 산정된 최적 캔트량이 최대설계기준을 초과할 경우에는 이를 최대기준으로 설정하여야 한다. 따라서 최적캔트가 설계기준을 초과할 때는 설계기준 값으로 설정하고 이에 따른 캔트부족량을 재산정하여야 한다. 그리고 산정된 캔트부족량을 이용하여 식 (12)에 의해 승차감 목적함수 P_{CTS}를 산정하면 해당 $R-L_t$선형조합에서 승차감이 최대가 되는 선형조건이 된다. 이러한 방법으로 허용경계조건의 모든 최적$R-L_t$ 선형조합들에 대해 승차감 목적함수 P_{CTS}를 산정하고 그 중에서 P_{CTS}함수가 최소가 되는 선형조합을 선정하면 최적$R-L_t$경계조건 내에서 승차감이 최대가 되는 선형조건을 결정할 수 있다.

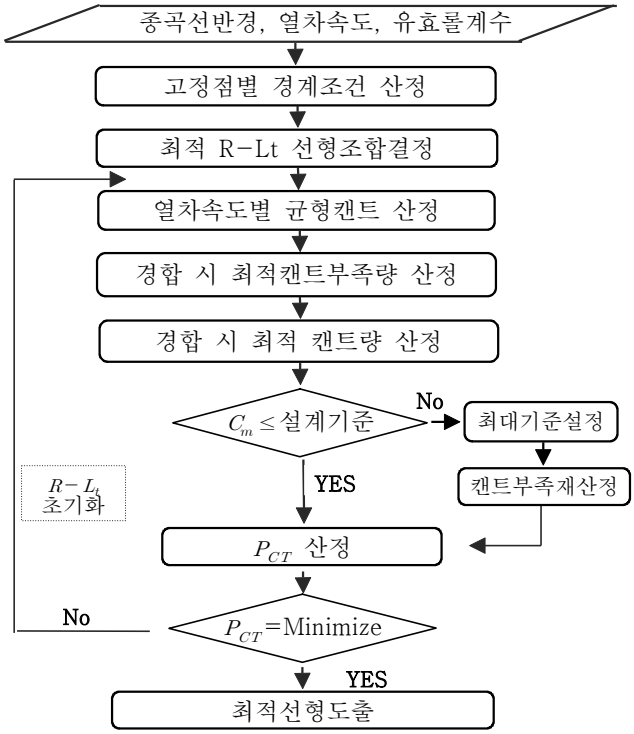

Fig. 2. Optimal solution algorithm for P_{CTS} function

5. 차량/궤도 상호작용해석 및 P_{CTS} 적합성 검증

5.1 해석모델 및 방법

본 연구에서 제시한 승차감 목적함수 P_{CTS}를 이용한 간략화 해석기법을 통해 예제해석을 수행하였다. 해석 시 $R-L_t$ 선형조합은 엄주환 등(2009)이 제시한 알고리즘을 이용하여 곡선반경 R=5000m, 완화곡선장 L_t=450m를 예로서 적용하여 산정하였다.[7] 그리고 산정된 $R-L_t$선형조합 내에서 승차감 목적함수 P_{CTS}가 최소가 되는 최적선형조건을 도출하였으며, 차량동역학 해석결과와 비교함으로서 경합 시 승차감 목적함수 P_{CTS}를 검증하였다. 검증을 위한 차량/궤도선형 상호작용해석은 상용프로그램인 VAMPIRE를 이용하여 매개변수해석을 수행하였다. 해석에 사용된 차량 모델은 한국형 고속열차인 G7(KTX-Ⅱ)모델을 이용하였다. Fig 3. 에 해석에 사용된 차량의 모델을 나타내었다.

궤도모델은 선형매개변수해석을 위해 VAMPIRE상의 기본모델을 이용하였으며, 레일은 UIC60 레일을 적용하였다. 궤도선형 모델링은 평면곡선에 대해서는 완화곡선구간에서 캔트 및 곡률변화가 선형적으로 이루어진다고 가정하였으며, 곡률변화점에서는 응답을 자세히 분석하기 위해 가능한 상세히 모델링을 하였다. 모델링 시의 선형조건, 즉 곡선반경, 완화곡선장, 캔트 등은 간략화 해석 시의 선형조건과 동일하게 모델링 하였다. 경합 시 종곡선에 대해서는 평면곡선 최적선형 결정을 위해 모든 경우에 대해 일정하게 곡선반경 R=25000m로 모델링을 하였다. 기울기 또한 10‰로 일정하게 하였으며 종곡선 시점을 평면곡선의 직선구간 시점과 동일하게 하였다. Fig. 4.는 경합 시 궤도선형 모델링에 대한 상세 현황을 보여주고 있으며, Table. 2. 에서 해석에 사용된 선형조건과 P_{CTS}간략화 해석 결과를 보여주고 있다.

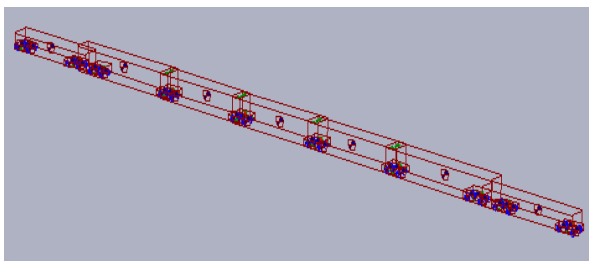

Fig. 3. Model of vehicle by vampire

해석 시 사용한 필터링 및 매개변수 항목별 평가범위는 UIC518OR과 BSI(2006)에서 제안하고 있는 방법을 적용하였다.[3,6] 그리고 곡선부의 최적 선형을 결정하기 위해서는 승차감뿐만 아니라 주행안전성

Table. 2. Analysis parameters for vehicle/track interaction

해석 Case	열차 속도 (km/h)	교각I (rad)	종곡선 반경 (m)	곡선 반경 (m)	완화곡 선장 (m)	캔트 (mm)	승차감 (P_{CT}) (Simplified)
1	300	0.1	25000	4499	500	180	4.45
2				5360	400	164	0.31
3				5830	300	149	0.48
4				6130	200	143	1.10
5				6300	100	146	5.71
6				6330	50	154	32.30
7	350			4499	500	180	27.01
8				5360	400	180	14.81
9				5830	300	180	10.55
10				6130	200	180	10.36
11				6300	100	180	22.56
12				6330	50	180	77.94
13	300	0.5	25000	4987	500	179	0.23
14				5011	400	179	0.37
15				5030	300	180	0.73
16				5044	200	180	1.86
17				5052	100	180	10.63
18				5054	50	180	50.36
19	350			4987	500	180	19.00
20				5011	400	180	19.73
21				5030	300	180	21.35
22				5044	200	180	25.39
23				5052	100	180	42.34
24				5054	50	180	99.84

Table. 4. Criteria of track forces

	UIC 518	CEN	VTI
Wheel force	250km/h< $V_{\lim}$ <300km/h, $Q_{\lim} \leq$ 170kN $V_{\lim}$ > 300km/h, $Q_{\lim} \leq$ 160kN	170kN	170kN
Track shift force	$(\Sigma Y_{2m})_{\lim} = \alpha(10+\frac{P_0}{3})$ P_0=축중(kN) α = 1.0, 화물일 경우:0.85	$(\Sigma Y_{2m})_{\lim}$ $= \alpha(10+\frac{P_0}{3})$ P_0=축중(kN) α= 1.0, 화물:0.85	$(\Sigma Y_{2m})_{\lim}$ $= \alpha(10+\frac{P_0}{3})$ P_0=축중(kN) α = 0.85
Climbing ratio	$(Y/Q)_{2m}$=0.8	$(Y/Q)_{2m}$=0.8	$(Y/Q)_{2m}$=0.8

과 유지보수 측면도 고려하여야 한다. 즉 차량이 궤도에 미치는 영향이 최소화 되고 탈선안전성도 만족되도록 설계하여야 한다. 따라서 승차감을 평가할 때 주행안전성 및 궤도부담력도 기준을 만족하도록 경계조건으로 설정하여야 한다. 하지만 국내에서는 아직까지 이러한 기준들이 없거나 명확히 설정되어 있지 않은 실정이다.

Table. 4.는 각국의 궤도부담력에 대한 기준을 나타내고 있다.

5.2 해석결과 및 P_{CTS}적합성 검증

차량/궤도선형 상호작용 해석을 통한 열차의 동역학적 거동을 분석하고 승차감 목적함수 P_{CTS}를 이용한 간략화 해석결과와 비교 검증을 수행하였다.

Fig. 5 ~ Fig. 8은 평면원곡선과 종곡선이 경합한 경우에 대해 승차감 목적함수 P_{CTS}를 이용한 간략화 해석결과와의 비교검토 결과를 보여주고 있다.

해석결과, Fig. 5 ~ Fig. 8에서 볼 수 있듯이 선형조건별로 승차감 목적함수 P_{CTS}를 이용한 간략화 해석결과와 동적해석결과가 매우 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났으며, 열차속도가 높을수록, 교각이 클수록 승차감 측면에서 최적선형범위가 나쁜 것으로 나타남을 알 수 있었다.

완화곡선장이 짧은 구간에서 동적해석결과와 간략화 해석결과가 일부 큰 차이가 나는 부분도 나타났는데, 이는 해석 시 차량 편성길이에 비해 완화곡선이 아주 짧은 경우에는, 완화곡선 시종점의 곡률 변화점에 의한 차량의 응답이 일정하게 발생하지 않기 때문으로 판단된다.

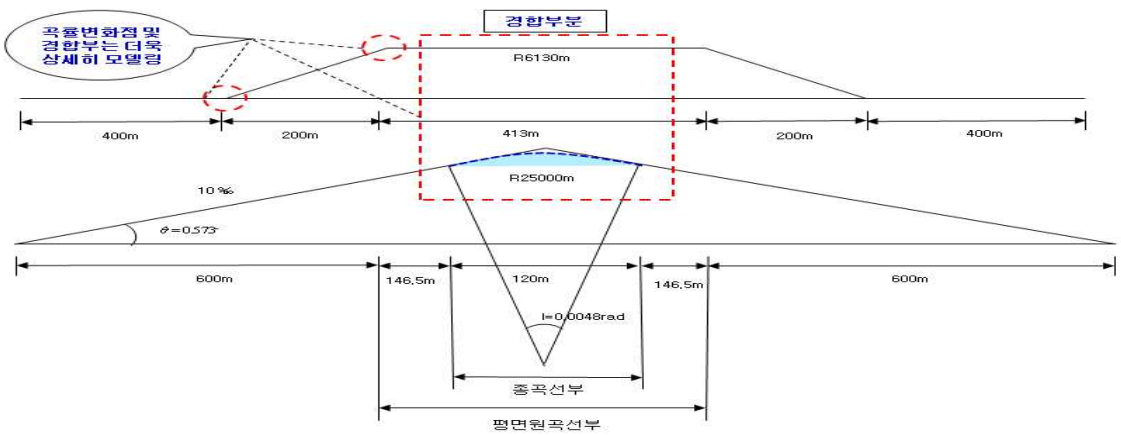

Fig. 4. Superimposition modeling of horizontal and vertical curve

하지만 전체적인 경향은 동적해석 결과와 거의 비슷한 결과를 보였으며, 특히 승차감이 최적인 선형범위에서는 거의 유사한 경향이 나타남에 따라 최적선형 범위 결정에는 영향을 미치지 않을 것으로 판단

된다.

선형조건별 궤도부담력 및 주행안전성에 대한 검토결과, Fig. 9 ~ Fig. 11에서 보는바와 같이 본 예제 해석의 경우는 대부분 Table. 3-5의 평가기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 속도가 높을수록 궤도부담력 및 주행안전성이 나쁜 것으로 나타났으며, 전반적으로 승차감의 양상과 거의 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

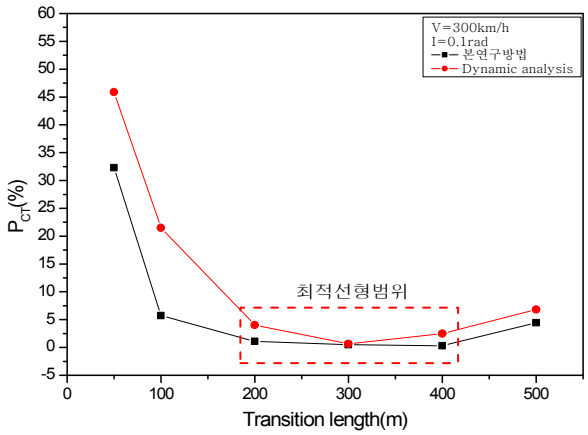

Fig. 5. Comparison of simplified analysis with dynamic analysis

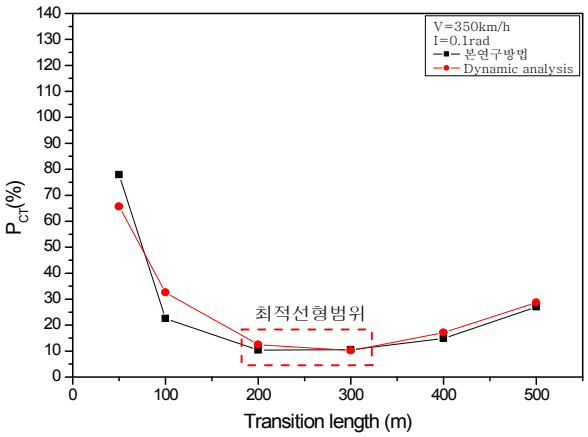

Fig. 6. Comparison of simplified analysis with dynamic analysis

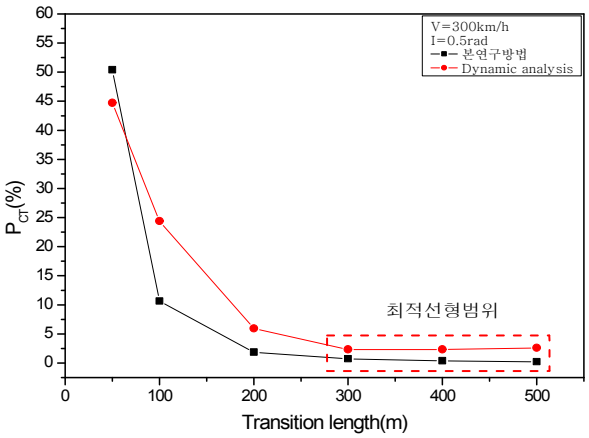

Fig. 7. Comparison of simplified analysis with dynamic analysis

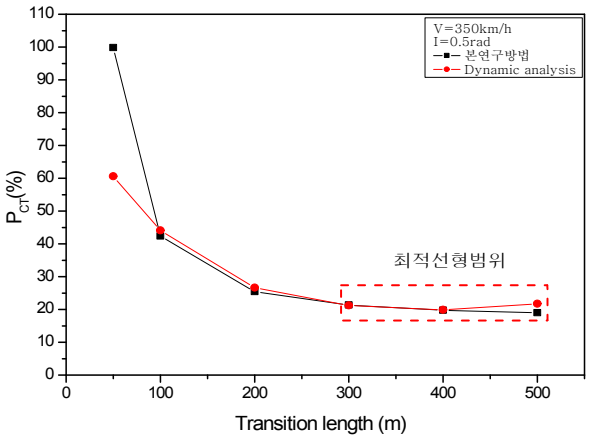

Fig. 8. Comparison of simplified analysis with dynamic analysis

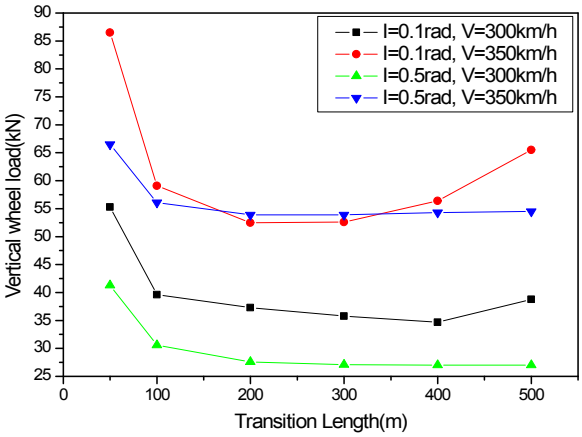

Fig. 9. The results of vertical dynamic wheel forces

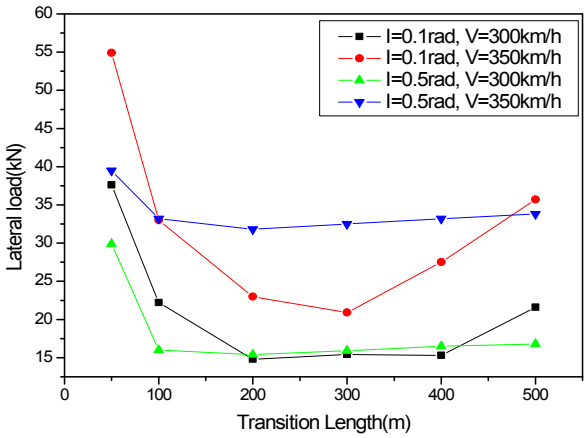

Fig. 10. The results of track shift forces

이상의 결과로부터, 종곡선/평면곡선 경합 시 Fig. 5 ~ Fig. 8에서 알 수 있듯이 대부분의 경우 본 연구에서 제시한 승차감 목적함수 P_{CTS}를 이용한 해설결과와 차량/궤도선형 상호작용 해석결과가 아주 유

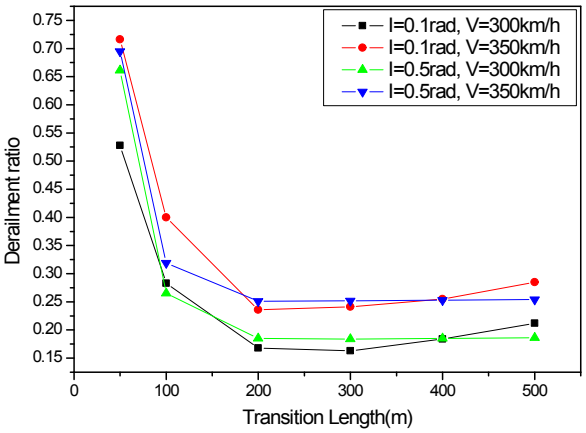

Fig. 11. The result of derailment ratios

사한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 그리고 궤도부담력 및 주행안전성의 경우도 승차감 측면에서 최적범위와 유사한 경향이 나타남을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 논문은 철도 신선 건설 및 기존선 개량 시 평면원곡선과 종곡선이 경합한 경우, 승차감 측면에서 최적선형 결정을 위해, 승차감 목적함수(P_{CTS})를 도출하고 간략화 해석을 위한 해법 알고리즘을 제시하였다. 또한 차량동역학 해석을 이용해 승차감 목적함수(P_{CTS})를 이용한 간략화 해석기법을 검증하였다. 그 결과, 대부분의 경우 차량동역학 해석결과와 아주 유사한 경향을 보이는 것으로 나타나 그 유효성을 확인할 수 있었다. 그리고 궤도부담력 및 주행안전성 해석결과도 승차감 목적함수 P_{CTS} 해석결과와 경향성이 비슷한 것으로 나타나, 승차감이 좋은 경우 궤도부담력 및 주행안전성의 향상에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터, 본 연구에서 제시한 경합 시 평면곡선의 최적선형 결정기법은 속도향상을 위한 기존선 개량설계 시, 혹은 신선건설 시 경합 구간에 대해 승차감과 차량의 주행안정성을 고려한 최적 평면선형범위를 신속하게 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. European Prestandard, “Railway Applications-Track Alignment Design Parameters - Track Gauges 1435mm and Wider“, prENV 13803-1, 2002
2. 土木關係技術基準調査研究會, “鐵道に關する技術基準(土木編)”, 2002
3. UIC Code 518-OR(2005), “Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality“, 3rd edition, International Union of Railway
4. ERRI B 153/RP 21 “Application of ISO Standard 2631 to railway vehicles“, 1993
5. Bjorn Kufver, “Optimization of single horizontal curves in railway alignments “, VTI report 424A, 1997
6. BSI, “Draft BS EN 12299 Railway applications(2006)-Ride comfort for passengers-Measurement and evaluation“ 2006
7. 엄주환, 김은겸, 양신추(2009), 곡선부 선형 최적설계를 위한 적정 곡선반경-완화곡선장 결정기법 연구, 한국철도학회논문집 제12 제2호 Vol.12 No.2