

# 곡선부 통과열차의 레일 경좌 변화에 따른 주행안전성 해석

## A Running Safety Analysis of Railway Vehicle passing through Curve According to Rail Inclination Change

손명선\*      엄범규\*      강부영\*\*      이희성\*\*\*  
Myoung-Sun Son      Beom-Gyu Eom      Bu-Byoung Kang      Hi Sung Lee

### ABSTRACT

The rail inclination produces a wider bearing area between the wheel and the rail by moving the wheel-rail contact area away from the gauge towards the centre of the railhead, thus improving the wear pattern of the railhead and wheel treads.

It is essential to keep the rail inclination within the allowable range to ensure optimum track geometry. Neglecting the rail inclination geometrical parameters in a track quality evaluation can cause safety of railway vehicle and serviceability problems.

In this paper, we examined the effect of the rail inclination in general geometry state of the railway track using VI-Rail and analyzed running safety when the railway vehicle passing through curves depending on change of the rail inclination and running speed.

### 1. 서론

레일 경좌는 레일두부의 중심으로부터 궤간을 따라 차륜-레일 접촉 지역을 이동해서 차륜과 레일사이 접촉지역에 더 넓게 분포한다. 레일경좌를 통하여 차륜담면과 레일두부의 마모는 개선된다. 최적 선로의 기하학적 구조를 보장하기 위해서 허용 가능한 범위 내에서 레일 경좌를 지키는 것이 필수적이고, 레일 경좌의 기하학적 매개변수를 무시하면 철도차량의 주행안전과 유용한 문제를 일으킬 수 있다.<sup>[1]</sup>

본 연구에서는 VI-Rail<sup>[2]</sup>을 이용하여 철도 선로의 전반적인 기하학적 상태에서 레일 경좌의 영향을 검토하였고, 레일 경좌와 주행속도 변화에 따른 곡선부 통과시 주행안전성 해석을 수행하였다.

### 2. 레일 경좌

레일 위에 있는 차륜의 하중은 차륜구배 내측으로부터 레일 면에 가해진다. 이것은 레일의 설계와 유지보수에 있어 문제를 발생시킬 수 있기 때문에, 이들을 평지에 놓지 않는다. 그리하여 현장 부설시 레일을 차륜구배의 기울기와 설계요구에 따라 다양한 각으로 안쪽으로 기울어져 있게 한다. 이것을 레일 경좌라고 하고, 그림 1에 레일 경좌를 나타내었다.<sup>[3]</sup>

레일은 원뿔형 담면구배 때문에 통상적으로 1:20사이와 1:40의 경사로 궤간 측 내측으로 경사를 주어 침목에 부설한다. 보통 고속선에서 1/20의 값을 이용한다. 그러나 일부 선로에서는 원뿔형 담면구배 값이 감소가 제안되고 있으며 일반 철도에서는 침목 위에 1/40의 경사로 레일을 부설하고 있다.

† 교신저자, 국토해양부 자동차 생활과

E-mail : mss0502@korea.kr

\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과

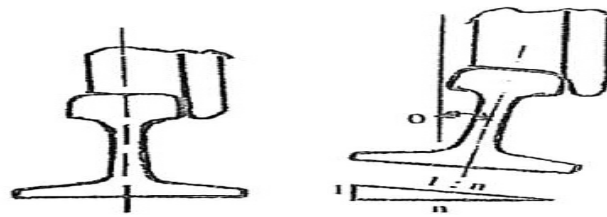
\*\* 우송대학교

\*\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원, 한국도시철도연구소

레일이 설치된 지역에 캔트를 부설하기 위해서는 침목 레일 분포지역을 기울이거나 기울어지는 플레이트를 가진 침목판으로 사용한다. 이 방법은 현재 모든 철도에서 사용되고, 나무 및 콘크리트 침목으로 사용된다.

정상 캔트는 외부 레일로 굴러가는 경향이 있는 레일 롤(Roll) 모멘트를 감소시킨다. 레일 경좌가 0이면, 좌우와 수직 차륜 힘의 조합은 궤도의 중심선으로부터 멀어지고, 따라서 롤 모멘트와 침목 아래의 침목판을 훼손할 우려가 있다.

1:20에서 1:40의 레일 경좌는 레일의 중심선에 가까운 좌우-상하의 하중 비율이 떨어지는 현상이 발생한다. 그로 인하여 레일경좌 외부로 힘이 발생하게 되면 침목판의 기울기가 발생한다. 이것은 궤간 확대 형식의 탈선과 레일 전복에서 지속적인 원인이 된다.



(a) 정상 레일      (b) 경좌레일

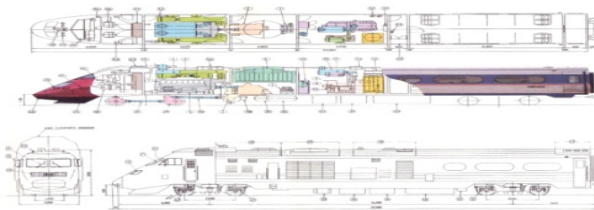
그림 1. 차륜-레일 접촉에서의 레일 경좌 효과

### 3. 주행안전성 해석

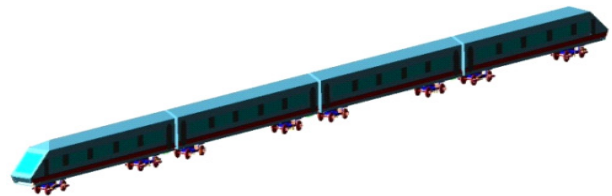
#### 3.1. 해석 모델

##### 3.1.1 차량 모델

본 연구에서는 철도차량 동특성 해석을 위하여 상용 소프트웨어인 VI-Rail를 이용하였다. 그림 2는 해석에 사용한 새마을호 차량의 도면과 해석모델을 보여준다. 새마을호 동력차의 주요 물성치는 참고문헌<sup>[4]</sup>에 제시된 자료를 사용하였다.



(a) 설계도면



(b) 3D 모델 (VI-Rail)

그림 2. 해석모델 (새마을호)

##### 3.2.2. 차륜과 레일모델

그림 3~4는 차륜과 레일 모델의 형상을 나타내고 있다. 차륜 모델에는 새마을호 열차에 적용된 차륜 답면구배가 1/40인 KNR 40을, 레일 형상에는 KS 50 레일을 사용하였다.<sup>[5]</sup>

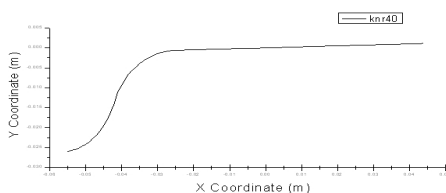


그림 3. 차륜 모델 (KNR40)

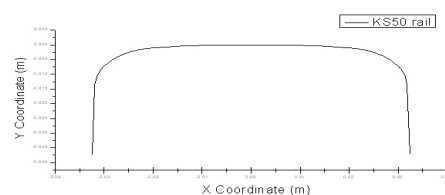


그림 4. 레일 모델 (KS 50)

### 3.2 해석조건

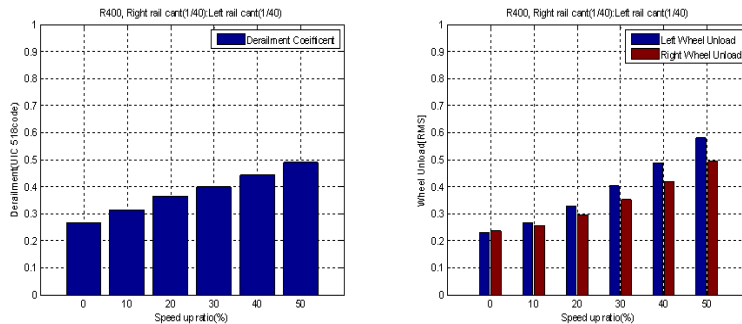
본 연구에서는 도표 1의 선로와 구간별 통과 제한속도 조건에서 곡선반경 R400, 직선구간에서는 140 km/h, 곡선통과속도는 90 km/h 를 기준으로 레일 경좌 (1/25, 1/28, 1/30, 1/35, 1/40)와 주행속도 (+10%~+50%)를 변화시켜가면서 주행 동특성 해석을 수행하였다.<sup>[6,7]</sup>

도표 1. 선로와 구간별 통과 제한속도 조건

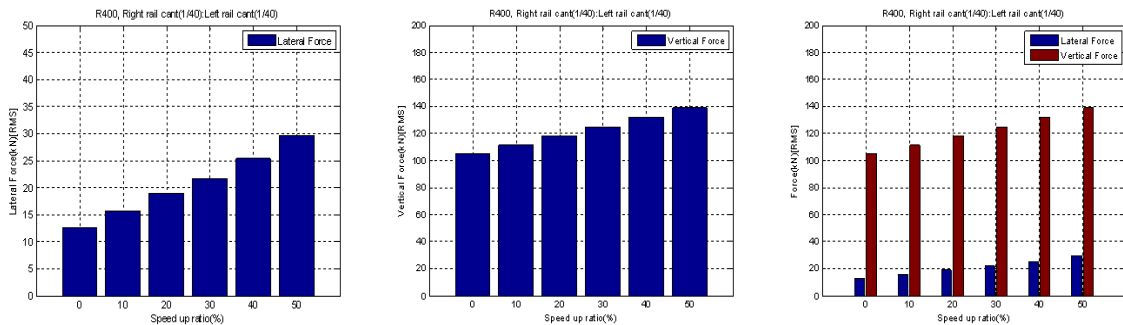
항목	곡선반경 (m)	비고
	R400	
직선구간 통과제한속도 (km/h)	140	
원곡선구간 통과제한속도 (km/h)	90	
실제캔트 (mm)	160	
실제캔트에 의한 완화곡선길이 (m)	208	2급선 기준 L=1300×C

### 3.3 해석결과

그림 4는 좌우 레일 경좌가 1/40:1/40일 때 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 탈선계수, 윤중비, 횡압력, 수직력의 결과를 나타내고 있다. 그림 4와 같이 곡선구간 통과속도를 최대 50% 향상 했을 경우 탈선계수가 약 0.5로 탈선안전도 0.8보다 낮아 안전함을 확인 할 수 있었다. 그림 5는 좌우 레일 경좌가 1/33:1/40일 때 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 탈선계수, 윤중비, 횡압력, 수직력의 결과를 나타내고 있으며 그림 4와 유사한 결과 나타났다.

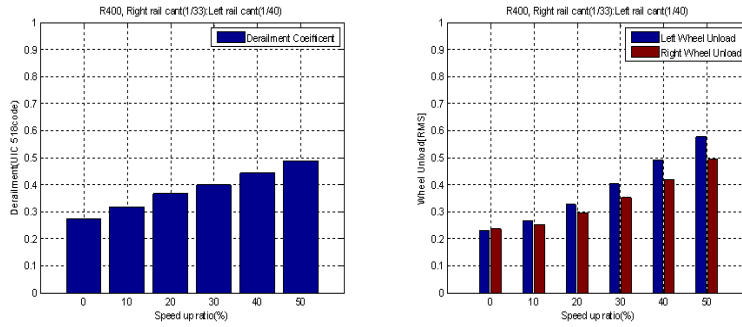


(a) 탈선계수와 좌우 윤중비

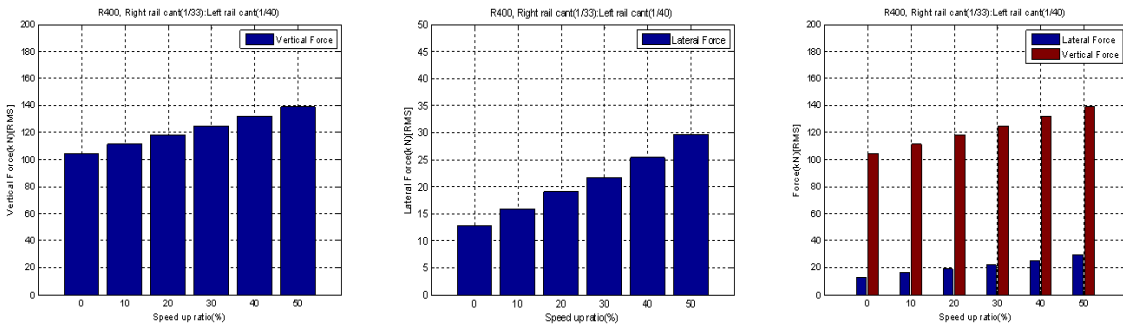


(b) 횡압력과 수직력

그림 4. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/40:1/40)



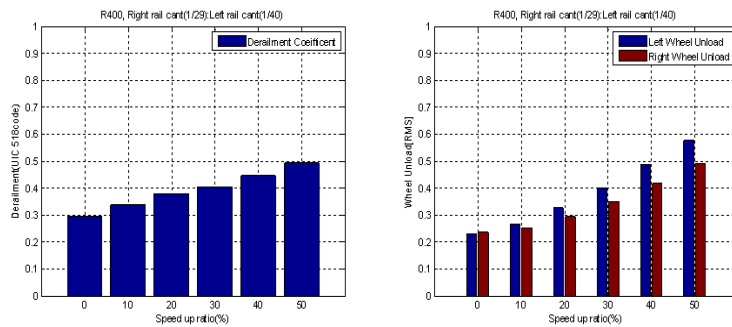
(a) 탈선계수와 좌우 윤증비



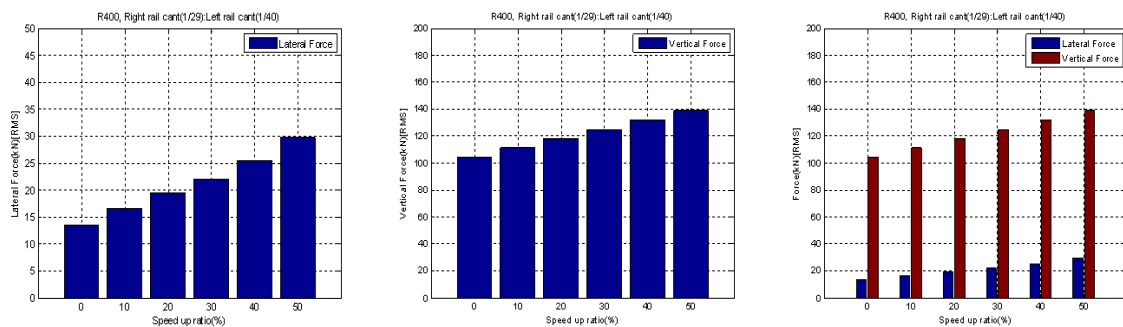
(b) 횡압력과 수직력

그림 5. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/33:1/40)

그림 6은 좌우 레일 경좌가 1/29:1/40일 때 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 탈선계수, 윤증비, 횡압력, 수직력의 결과를 나타내고 있다. 그림 6에서와 같이 좌우 윤증비에서는 곡선구간 통과속도 향상에 따라 좌측 차륜 윤증비가 약 0.6으로 우측 차륜 윤증비보다 크게 나타남을 확인할 수 있었다.



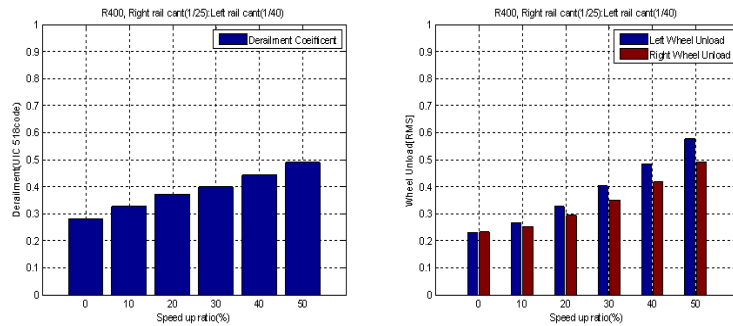
(a) 탈선계수와 좌우 윤증비



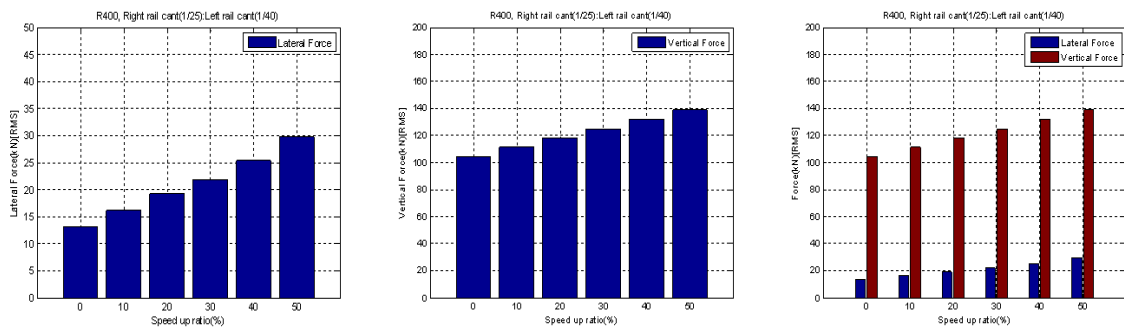
(b) 횡압력과 수직력

그림 6. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/29:1/40)

그림 7~9는 좌우 레일 경좌가 1/25:1/40, 1/22:1/40, 1/20:1/40일 때 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 탈선계수 율중비, 횡압력, 수직력의 결과를 나타내고 있다.

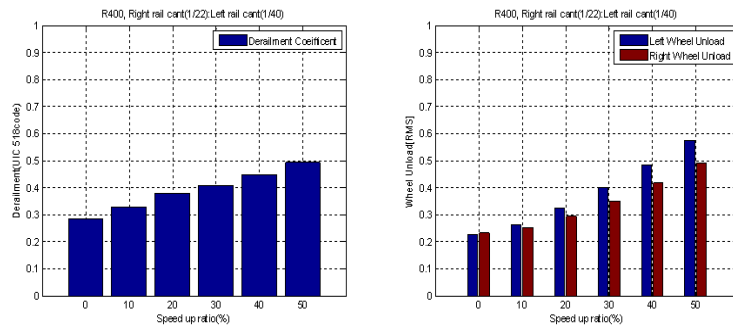


(a) 탈선계수와 좌우 율중비

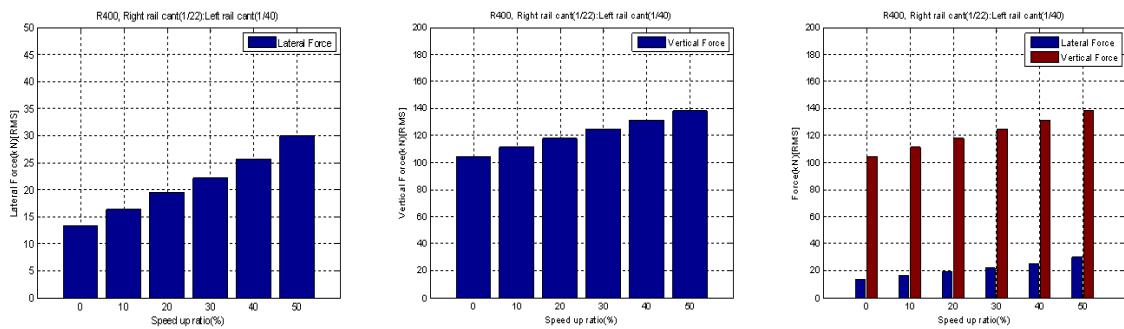


(b) 횡압력과 수직력

그림 7. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/25:1/40)

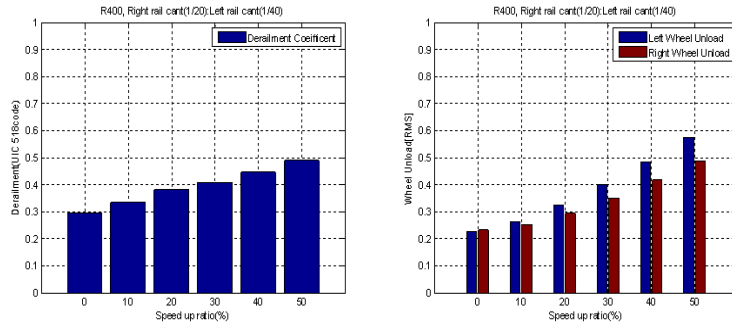


(a) 탈선계수와 좌우 율중비

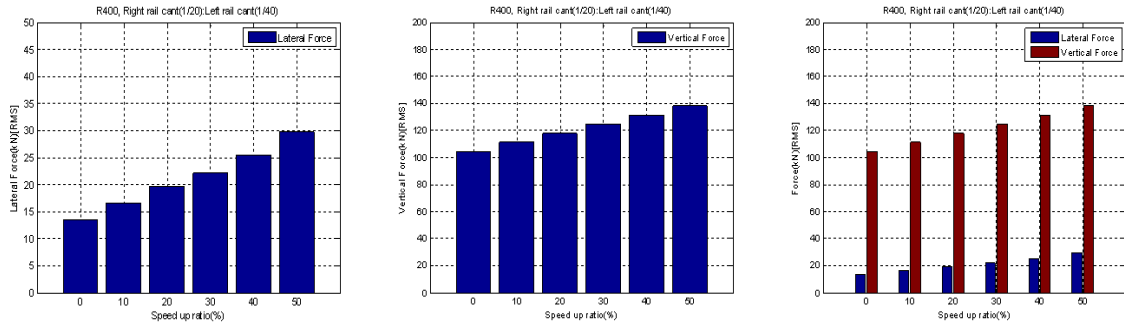


(b) 횡압력과 수직력

그림 8. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/22:1/40)

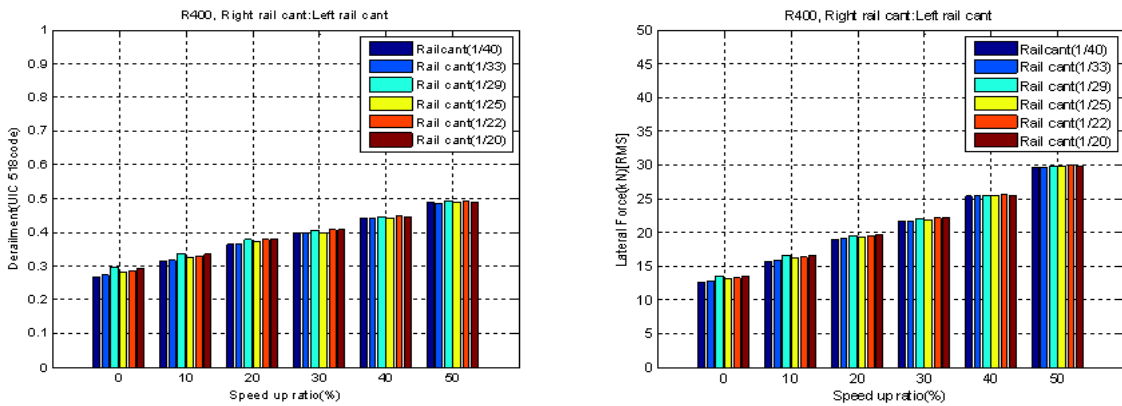


(a) 탈선계수와 좌우 윤중비



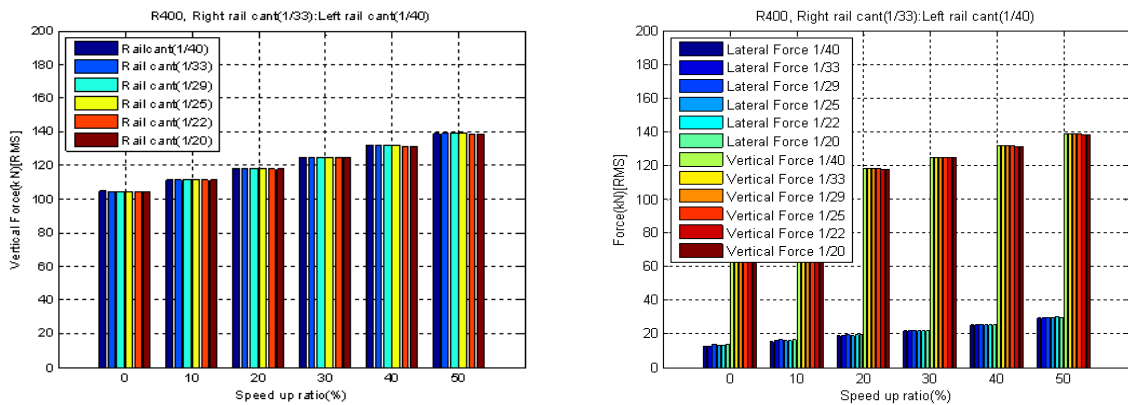
(b) 횡압력과 수직력

그림 9. 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과(좌우 레일경좌 1/22:1/40)



(a) 탈선계수

(b) 횡압력



(c) 수직력

(d) 횡압력과 수직력

그림 10. 좌우 레일 경좌변화와 곡선구간 통과속도 향상에 따른 해석결과

상기의 그림 4~9 해석결과를 그림 10과 같이 정리하여 나타내었다. 그림 10과 곡선반경 R400에서 좌측 레일 경좌가 1/40~1/20이고, 우측 레일 경좌가 1/40일 때 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 따른 주행 동특성 해석결과를 나타내고 있으며 탈선계수는 한계치인 0.8을 초과하지 않아 안전함을 알 수 있었고, 레일 경좌 1/40의 가장 적게 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 곡선반경 R400의 곡선구간에서 레일 경좌와 주행속도를 변화시켜 가면서 새마을호 차량의 주행 동특성 해석을 수행하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레일 경좌 변화에서 레일 경좌 1/40이 탈선계수, 횡압력, 마모지수가 가장 적게 나타났고, 반면에 수직력의 경우는 가장 높게 나타났다. 그러므로 국내 부설된 레일 캔트(기존선 1/40)의 경우 탈선 안전도에 문제가 없는 것으로 사료된다.
2. 곡선구간 통과속도를 10%~50%까지 향상 했을 경우에 곡선구간 통과속도를 최대 50% 향상 했을 경우 탈선안전도 0.8보다 낮아 안전함을 확인 할 수 있었다. 그러나 본 연구에서는 실제 선로에 존재하고 있는 궤도틀림에 의한 불규칙 데이터를 사용하지 않았으므로 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

1. 엄범규, 김영규, 이승일, 이희성, "레일 캔트 변화에 따른 주행특성에 관한 연구", 한국철도학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, 2011.5.
2. VI grade, "ADAMS/Rail 2005 R2. 11.0 Documentation", 2008.
3. J, Sadeghi., M, Fathali., and N, Boloukian., "Development of a new track geometry assessment technique incorporating rail cant factor, " Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, Vol, 223, No. 3, pp. 255-263, 2009.
4. Eom, B. G., and Lee, H. S., "Assessment of Running Safety of Railway Vehicles using Multibody Dynamics," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 11, No. 2, pp. 315~320, 2010.
5. 김용원, 이희성, "실제선로 조건에 따른 철도차량의 주행안전성 해석", 한국철도학회 논문집 제12권 제6호, 2009.12, page 829-1088.
6. 한국철도공사 열차운전시행세칙
7. 철도건설규칙 (2008.12.31), 제 8조 완화곡선의 삽입