

# 곡선부 통과 열차의 주행안전성 평가에 관한 연구

## A Study on the Assessment of Running Safety of Railway Vehicle passing through Curve

엄범규\*  
Eom, Beom-Gyu

김종오\*\*  
Kim, Jong-Oh

양경탁\*\*\*  
Yang, Kyoung-Tak

이희성\*\*\*\*  
Lee, Hi-Sung

### ABSTRACT

For the running safety assessment of Saemaul train passing through curves, an analysis model for multibody system has been developed. By using this model and ADAMS/Rail, sensitivity analyses depending on the variation of parameters related to the derailment coefficients have been conducted. According to the increase of running speed, the derailment coefficient and unload ratio were increased. At high speed, the derailment coefficient and unload ratio of left wheel showed higher than right wheel. If the cant increased, the derailment coefficient and unload ratio increased. but decreased based on the balance cant value by the curvature and running speed.

### 1. 서론

현재 국내선로에서 주어진 규정속도로 선로를 운행하는 열차가 비교적 안전하지만 실제로 얼마나 안전한가에 대하여 열차의 탈선안전도를 정량적으로 평가하기는 매우 어렵다. 이는 차륜과 레일의 상호접촉이 단순하지 않으며 차량 구조도 복잡하고 곡선반경, 캔트, 완화곡선 등의 선로조건, 궤도 틀림 정도, 차륜/레일 형상, 운전조건 등의 다양한 영향 인자들이 복합적으로 결합하여 탈선을 유발시키기 때문이다. 운전규정에 곡선반경별 속도제한은 있으나 실제로 탈선 발생 없이 가능한 곡선반경별 최대 곡선 통과속도에 대해서 지금까지 객관적인 검증 없이 곡선반경별 속도제한을 실행하고 있다. 이는 탈선에 대한 위험도를 지수로써 표현 할 수 있는 탈선 안전도 기준이 아직까지 국내에서 규격이나 기준으로 제정되어 있지 않기 때문이다.

본 연구에서는 탈선의 위험도가 높은 곡선부 통과 열차의 주행안전성 평가를 위해 실제 운행 중인 새마을호 디젤동차(PMC)를 이용하여 곡선부 통과시에 탈선에 영향을 주는 통과속도와 캔트 등의 궤도조건 변수들의 상관관계와 민감도 등에 관한 연구를 ADAMS/Rail을 이용하여 수행하였다.

### 2. 기존선의 현황

본 연구에서는 곡선별(R400, R1200, 2급선)에 해당하는 속도제한과 선로조건을 기준으로 실제 운행 중인 새마을호 디젤동차(PMC)에 대하여 ADAMS/Rail을 이용하여 전산해석을 수행하였다.

\* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원

E-mail : zoonbi@naver.com

TEL : (02)970-6881 FAX : (02)976-6877

\*\* (주)삼안

\*\*\* 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정

\*\*\*\* 서울산업대학교 철도전문대학원 교수

### 2.1 곡선부 속도제한

곡선부 속도제한에 대한 도표 1은 2급선에 해당하는 경부 제1본선을 기준으로 R400에 해당하는 속도제한 90km/h와 R1200에 해당하는 속도제한 140km/h를 확인할 수 있었다. 곡선부 속도제한에 5%~20%의 속도향상에 따라 곡선부 통과열차의 주행안전성 평가를 수행하였다.

도표 1. 곡선부 속도제한

선(구간)별				곡선반경(m)								
				300	400	500	600	700	800	900	1000	1200 이상
2 급 선	경부 제1본선	고속열차	대구-부산	-	90	100	110	120	130	135	140	150
			기타구간	-	90	100	110	115	125	130	135	140
	호남선	고속열차	전 구간	-	90	100	110	115	125	130	135	140
			익산~목포	-	90	100	110	120	130	140	150	160
		기타열차	익산~목포	-	90	100	110	115	125	130	140	150
			신리~동순천	-	90	100	110	115	125	130	140	150
		중앙선	청량리~덕소	-	90	100	110	115	125	130	140	150
		경원선	의정부-동두천	-	90	100	110	115	125	130	140	150
	분당선	전 구간	-	75	85	90	100					

### 2.2 완화곡선, 캔트의 설정

완화곡선, 캔트의 설정은 선로의 등급에 따라 설정된 캔트의 도표 2의 배수 이상으로 하여야 한다. 본 연구에서는 2급선에 해당하는 완화곡선길이 1300C, 캔트 160mm를 기준으로 선로조건을 결정하여 주행안전성 평가를 수행하였다.

도표 2. 곡선부 선형특성

구분	곡선부 선형 특성			
	곡선반경 (m)	캔트 (mm)	곡선사이의 직선의 삽입 (m)	완화곡선의 길이 (C:캔트)
고속선	5000	최대 캔트량: 180mm	180	2,500C
1급선	2000	최대 캔트량: 160mm	100	1,700C
2급선	1200		80	1,300C
3급선	800		60	1,000C
4급선	400		40	600C

### 3. 해석조건

도표 3은 R400인 경우 제한속도 90km/h (25m/s)을 기준으로 5~20% 속도향상에 따른 해석조건을 나타내고 있으며 도표 4는 R1200인 경우 제한속도 140km/h (38.8m/s)을 기준으로 5~20% 속도향상에 따른 해석조건을 나타내고 있다. 또한 도표 5는 R400, 제한속도 90km/h (25m/s)의 균형캔트값을 기준으로 캔트량 변화에 따른 해석조건을 나타내고 있으며 도표 6은 R1200, 제한속도 140km/h (38.8m/s)의 균형캔트값을 기준으로 캔트량 변화에 따른 해석조건을 나타내고 있다.

도표 3. Simulation Conditions (R400)

R400인 경우 제한속도 : 90km/h(25m/s)				
Running speed (m/s)	5%속도향상	10%속도향상	15%속도향상	20%속도향상
		26.25	27.5	28.75
Curvature (m)	400			
Transition curve (m)	Cant*1300배			
Cant (mm)	160			

도표 4. Simulation Conditions (R1200)

R1200인 경우 제한속도 : 140km/h(38.8m/s)				
Running speed (m/s)	5%속도 향상	10%속도 향상	15%속도 향상	20%속도 향상
		40.83	42.78	44.72
Curvature (m)	1200			
Transition curve (m)	Cant*1300배			
Cant (mm)	160			

도표 5. Simulation Conditions (R400)

R400, 90km/h(25m/s)인 경우 균형캔트값 : 238.95mm						
Running speed (m/s)	25					
Curvature (m)	400					
Transition curve (m)	Cant*1300배					
Cant (mm)	160	180	200	220	238.95	240

도표 6. Simulation Conditions (R1200)

R1200, 140km/h(38.8m/s)인 경우 균형캔트값 : 192.73mm						
Running speed (m/s)	38.8					
Curvature (m)	1200					
Transition curve (m)	Cant*1300배					
Cant (mm)	150	160	170	180	192.73	200

4. 해석결과

새마을호 디젤동차(PMC) 다량편성 해석모델의 동적해석을 ADAMS/Rail를 이용하여 수행하였다. 곡선부 통과속도와 캔트량의 변화에 탈선계수, 윤증감소율 등과 같은 주행안전성을 검토하였다.

4.1 통과속도 변화

통과속도 변화에 따른 새마을호 열차의 주행안전성을 검토하기 위해 전산해석을 수행하였다. 그림 1~2는 일정한 곡선반경(R400), 완화곡선길이(Cant\*1300배), 캔트(160mm)에서 통과속도 26.25, 27.5, 28.75, 30m/s로 주행하는 차량에 대한 ADAMS/Rail의 해석결과 전두부 좌우측 차륜의 탈선계수, 윤증감소율을 나타내고 있다. 통과속도의 증가에 따라 좌우측 차륜의 탈선계수는 변화가 없었고 윤증감소율은 증가하였다. 또한 통과속도 27.5m/s의 경우 원곡선구간에서 윤증감소율이 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

그림3~4는 일정한 곡선반경(R1200), 완화곡선길이(Cant\*1300배), 캔트(160mm)에서 통과속도 40.83, 42.78, 44.72, 46.67m/s로 주행하는 차량에 대한 ADAMS/Rail의 해석결과 전두부 좌우측 차륜의 탈선계수, 윤증감소율을 나타내고 있다. 통과속도의 증가에 따라 좌우측 차륜의 탈선계수와 윤증감소율은 증가하였고 통과속도 46.67m/s의 경우 원곡선 구간에서 윤증감소율이 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

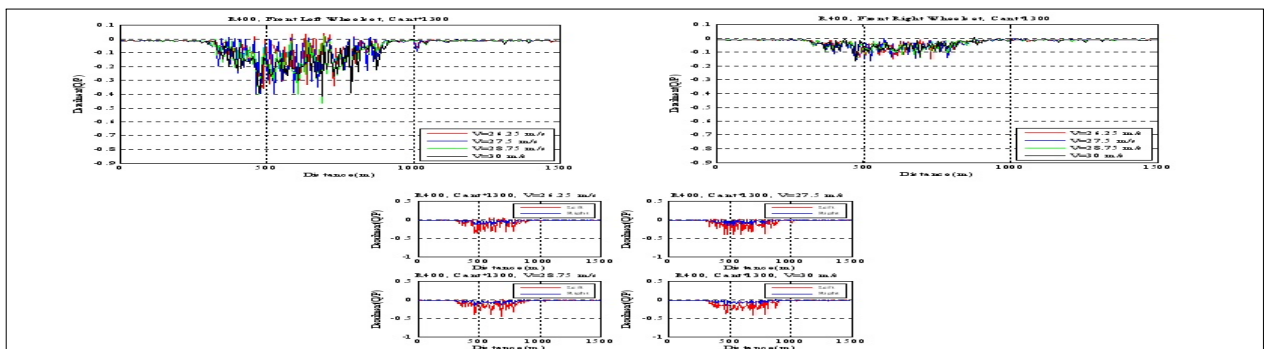


그림1. Derailment coefficients depending on curving speed variations (R400, Cant\*1300배, 160mm)

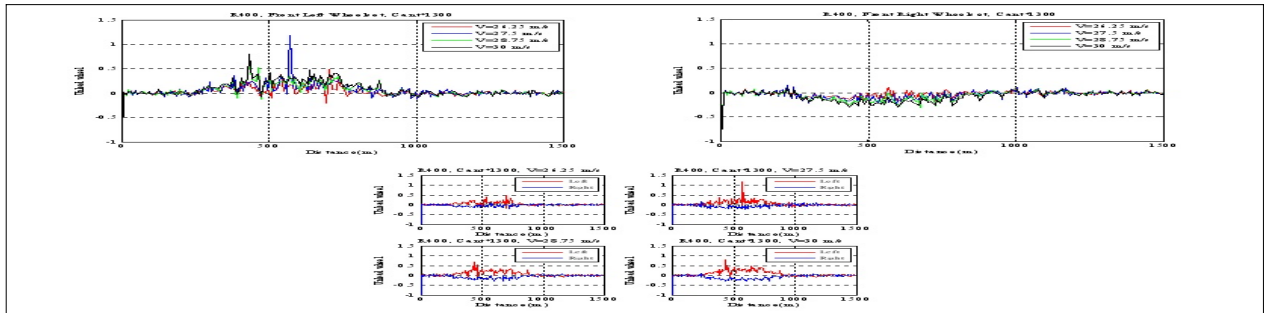


그림2. Unload ratios depending on curving speed variations (R400, Cant\*1300배, 160mm)

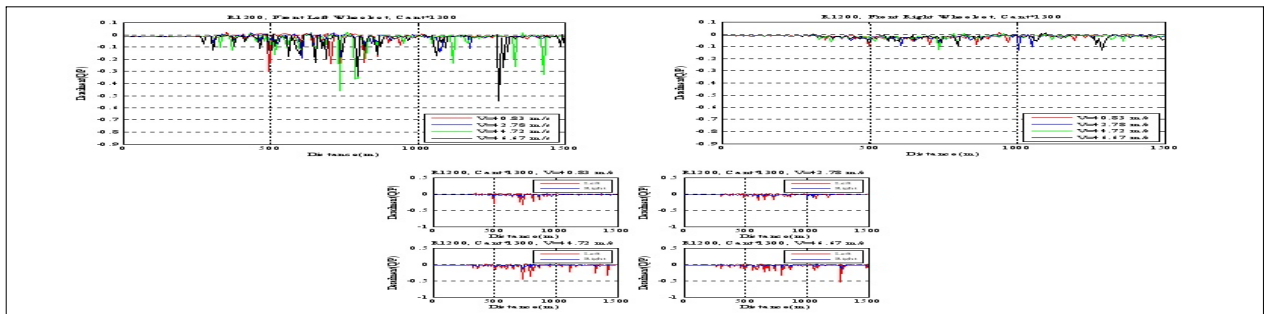


그림3. Derailment coefficients depending on curving speed variations (R1200, Cant\*1300배, 160mm)

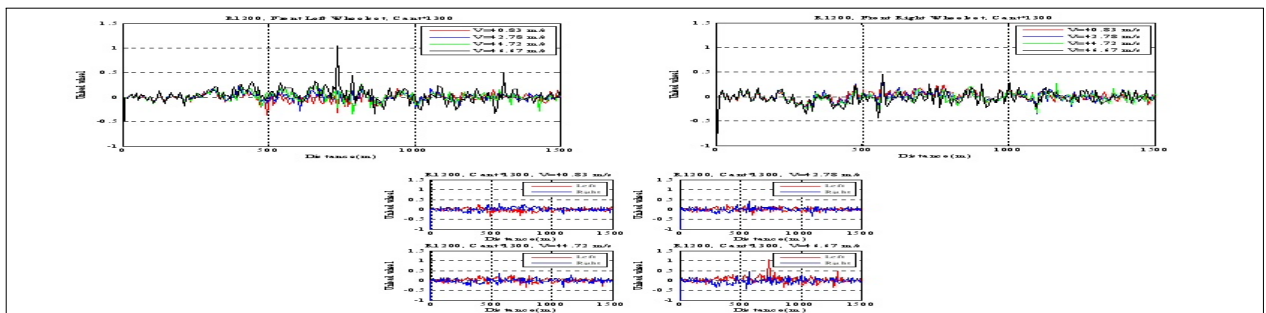


그림4. Unload ratios depending on curving speed variations (R1200, Cant\*1300배, 160mm)

## 4.2 캔트량 변화

캔트량의 변화에 따른 새마을호 열차의 주행안전성을 검토하기 위해 전산해석을 수행하였다. 그림 5~6은 일정한 통과속도(25m/s), 곡선반경(R400), 완화곡선길이(Cant\*1300배)에서 캔트량 160, 180, 200, 220, 238.95, 240mm로 주행하는 차량에 대한 ADAMS/Rail의 해석결과 전두부 좌우측 차륜의 탈선계수, 운중감소율을 나타내고 있다. 캔트량의 증가에 따라 탈선계수는 증가하나 균형캔트 238.95mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 운중감소율은 증가하나 균형캔트 238.95mm에서부터 감소하였고 C180, C220mm일 경우 원곡선 구간에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

그림7~8은 일정한 통과속도(38.8m/s), 곡선반경(R1200), 완화곡선길이(Cant\*1300배)에서 캔트량 150, 160, 170, 180, 192.73, 200mm로 주행하는 차량에 대한 ADAMS/Rail의 해석결과 전두부 좌우측 차륜의 탈선계수, 운중감소율을 나타내고 있다. 캔트량의 증가에 따라 탈선계수는 증가하나 균형캔트 192.73mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었고 C160mm일 경우 원곡선 구간에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 운중감소율은 증가하였고 균형캔트 192.73mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

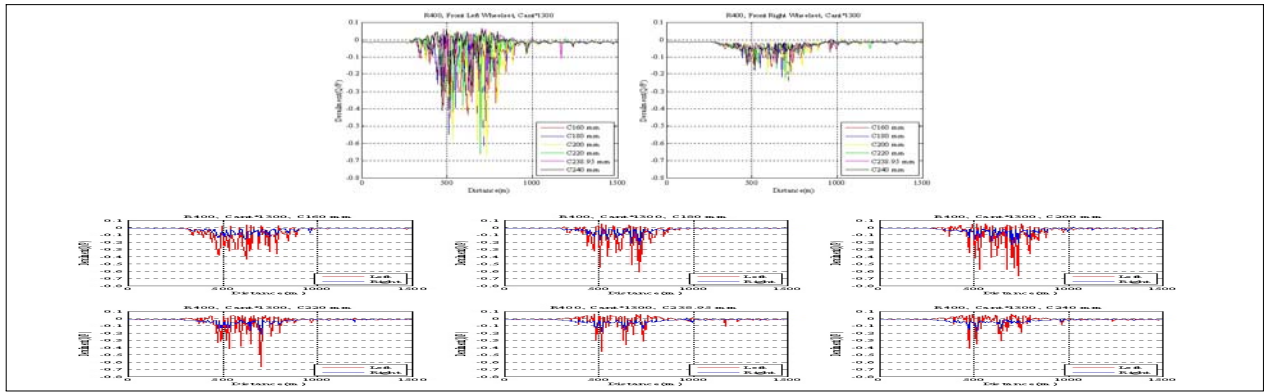


그림5. Derailment coefficients depending on curving speed variations (V=25m/s, R400, Cant\*1300배)

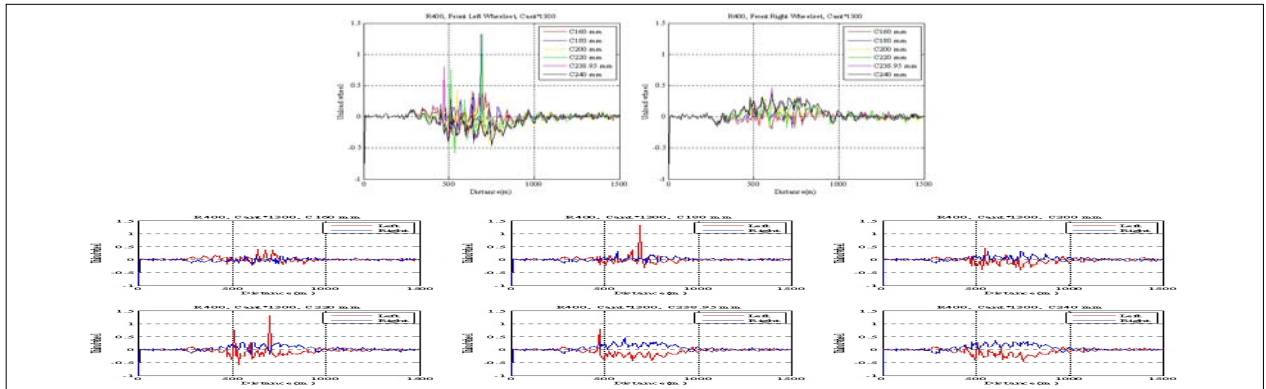


그림6. Unload ratios depending on curving speed variations (V=25m/s, R400, Cant\*1300배)

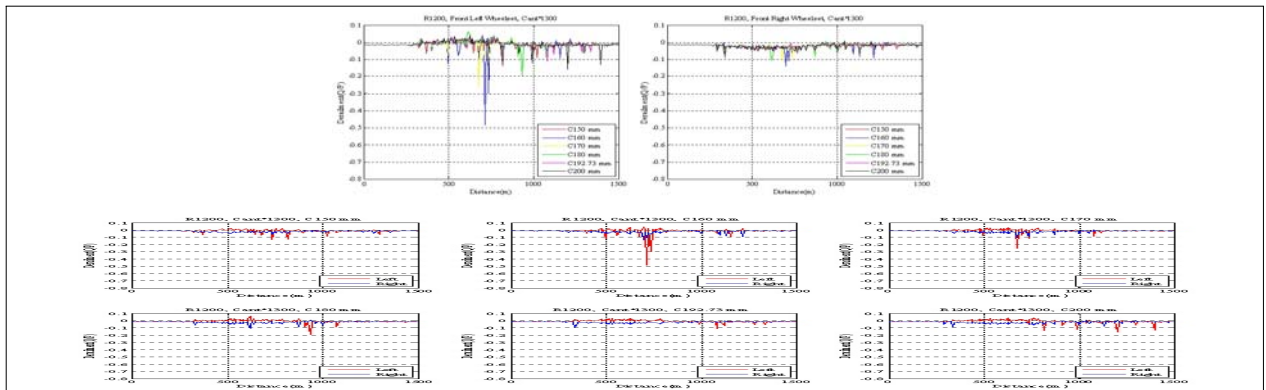


그림7. Derailment coefficients depending on curving speed variations (V=38.8m/s, R1200, Cant\*1300배)

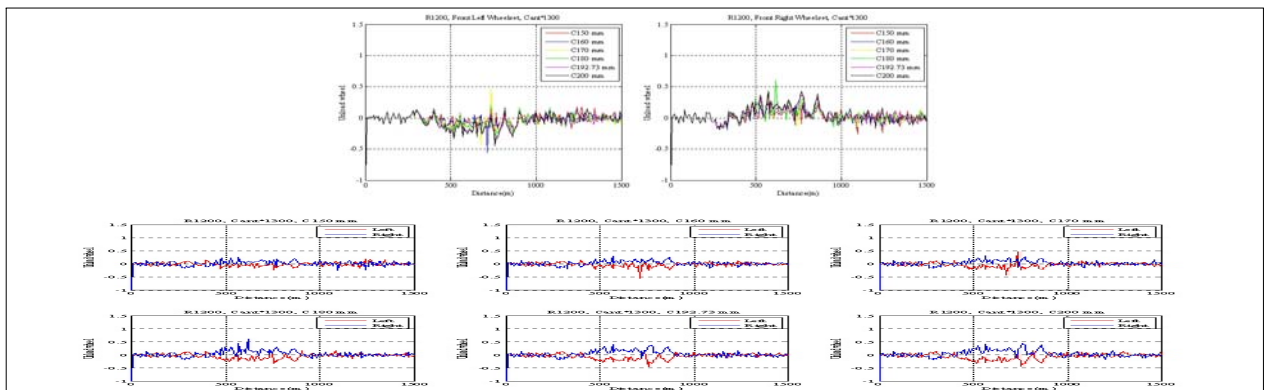


그림8. Unload ratios depending on curving speed variations (V=38.8m/s, R1200, Cant\*1300배)

## 5. 결론

곡선부를 통과하는 새마을호 열차의 주행안전성 평가를 위해 다량편성 해석모델을 이용한 ADAMS/Rail의 전산해석을 통한 탈선계수와 관련된 변수들의 민감도를 궤도조건 가정하에서 각각의 변수들을 차례로 변화시켜 가면서 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 통과속도의 변화에 따른 주행안전성 검토결과, R400인 경우 통과속도의 증가에 따라 좌우측 차륜의 탈선계수는 변화가 없었고, 윤중감소율은 증가하였다. 또한 통과속도 27.5m/s인 경우 원곡선구간에서 윤중감소율이 크게 나타남을 확인할 수 있다.

R1200인 경우 통과속도의 증가에 따라 좌우측 차륜의 탈선계수와 윤중감소율은 증가하였고 통과속도 46.67m/s의 경우 원곡선 구간에서 윤중감소율이 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

(2) 캔트량의 변화에 따른 주행안전성 검토결과 R400인 경우 캔트량의 증가에 따라 탈선계수는 증가하나 균형캔트 238.95mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 윤중감소율은 증가하나 균형캔트 238.95mm에서부터 감소하였고 C180, C220mm일 경우 원곡선 구간에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

R1200인 경우 캔트량의 증가에 따라 탈선계수는 증가하나 균형캔트 192.73mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었고 C160mm일 경우 원곡선 구간에서 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 윤중감소율은 증가하였고 균형캔트 192.73mm에서부터 감소하는 것을 확인할 수 있었다

## 참고문헌

1. 철도종합안전기술개발사업(2006~2007), “탈선안전성능향상 기술개발”, 한국철도기술연구원.
2. “열차운전시행세칙”(2007), 한국철도공사
3. “철도건설규칙”(2005), 건설교통부.
4. Mechanical Dynamics(2005) "ADAMS/RAIL User's Guide,"