

실제선로 조건에 따른 철도차량의 주행안전성 해석 An Analysis of Running Safety for Railway Vehicle Depending on Actual Track Conditions

김용원[†] · 이희성*
Yongwon Kim · Hi Sung Lee

Abstract When the railway vehicle passing through curves & transitions, the running speed must improve by proposing the practical standard about maximum running possibility speed of each section on existing line considering running safety. In this paper, when the railway vehicle passing through curves of actual track conditions (Namsunghyun-Chungdo up & down lines), the effect that has influence on running safety is examined to devise the high speed of vehicle which passing through curves which risk of derailment is high. The running safety analysis is performed that running speed by curve radius improves 5-20% compared with existing speed under actual track conditions. In result of the running safety analysis, in case the speed condition is fewer than 15% compared with existing speed, the derailment coefficient and unloading ratio are within acceptable level. so we could confirm possibility of speed improvement on the whole Namsunghyun-Chungdo up & down lines.

Keywords : Running safety, Curves, Transitions, Derailment coefficient, Unloading ratio

요 지 기존선 속도향상 시에 주행안전성을 고려한 기존선 구간별 최대 운행가능속도에 대한 실용적인 기준을 제시하여 기존선의 곡선부 및 완화곡선부 통과 시 속도를 향상시켜야 한다. 본 연구에서는 탈선의 위험도가 높은 곡선부 통과하는 열차의 고속향상을 도모하기 위하여 실제 선로조건인 남성현-청도 상·하행 구간에서의 곡선부 구간별 통과 시 주행안전성에 미치는 영향을 살펴보았다. 곡선반경별 주행속도를 실제 선로 조건에서의 기존 속도 대비 5-20% 향상시켜 주행안전성 해석을 수행하였다. 주행안전성 해석 결과, 기존 주행속도 대비 약 15% 이하의 속도조건에서는 탈선 계수와 운중감소율이 허용기준 이내로 나타나 남성현-청도 상·하행 전 구간 내에서 속도 향상의 가능성을 확인할 수 있었다.

주요어 : 주행안전성, 곡선부, 완화곡선부, 탈선계수, 운중감소율

1. 서론

열차의 탈선은 국내의 열차사고의 대부분과 직결되어 있을 뿐만 아니라 발생 시 전복을 동반한 대형사고로 이어질 수 있어 인간의 생명과 직접적으로 연관되어 있기 때문에 열차의 안전 확보를 위해 가장 중요하게 다루어져야 할 인자로 판단되어 철도운영기관 및 연구기관의 매우 중요한 논제가 되고 있다.

현재 국내 선로에서 선로등급에 따라 정해진 규정속도로 운행하는 열차는 비교적 안전하다고 알려져 있지만 과연 얼마나 안전한가에 대하여 열차의 탈선 위험도를 측정하고 평가하여 정량적으로 표현하기는 매우 어렵다.

운전규정에 곡선반경별 속도제한은 있으나, 실제로 탈선 발생 없이 가능한 곡선반경별 최대 곡선 통과속도에 대해서 지금까지 객관적인 검증 없이 곡선반경별 속도제한을 시행하고 있다[1].

본 연구에서는 실제 선로조건인 남성현-청도 상·하행 구간에서의 곡선부 구간별 통과 시 주행안전성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 전산해석을 수행하고, 기존선에서의 구간별 최대 운행가능속도에 대한 속도 향상 방안을 모색

[†] 책임저자 : 정희원, 국토해양부 교통정책실 자동차정책과, 사무관
E-mail : kyw7000@korea.kr

TEL : (02)2110-8694 FAX : (02)504-9156

* 교신저자 : 정희원, 서울산업대학교 철도차량시스템공학과, 교수

하고자 한다.

2. 해석모델

2.1 새마을호

본 연구에서는 철도차량 동특성 해석을 위한 사용 소프트웨어인 VI-Rail를 이용하였으며 Fig. 1과 같이 새마을호 동력차와 객차를 4량 편성하여 해석을 수행하였다[2]. 새마을호 동력차, 객차의 주요 물성치는 참고문헌 [1]에 제시된 자료를 사용하였다.

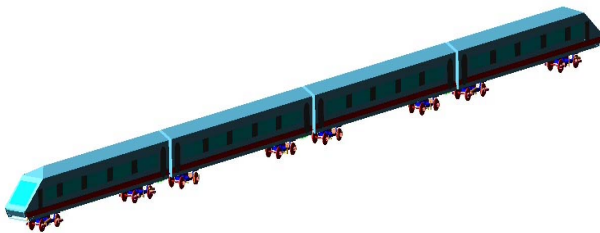


Fig. 1. Wheel model (KNR 40)

2.2 차륜과 레일모델

Fig. 2~3은 차륜과 레일 모델의 형상을 나타내고 있다. 차륜 모델에는 새마을호 열차에 적용된 차륜담면구배가 1/40인 KNR 40을, 레일 형상에는 남성현-청도 구간에서 사용되고 있는 KS 50, KS 60 레일을 사용하였다.

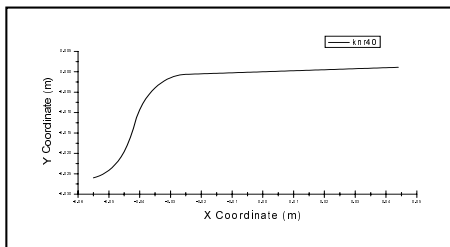
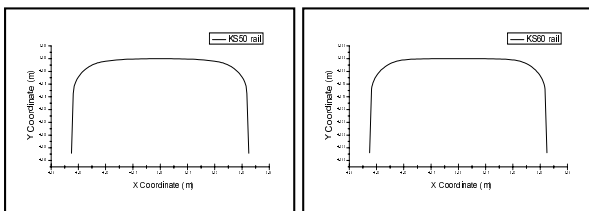


Fig. 2. Wheel model (KNR 40)



(a) KS 50

(b) KS 60

Fig. 3. Rail model

2.3 선로모델

2.3.1 곡선현황

Table 1~2는 2008년도 대구-청도 경부선 선로 일람약도 (대구지사 시설팀)와 경부선 선로데이터를 참고하여 남성현-청도 상·하행구간의 곡선현황 및 그에 따른 구간별 통과속도를 나타내고 있다.

Table 1. Curve conditions of the Namsunghyun-Chungdo line [Down]

Curve radius (m)	Curve conditions				Running speed (km/h)	Position from Seoul (km)
	Cant (mm)	Length (m)				
		Transition	Circular curve	Transition		
-600	150	140	505	150	110	354.325
-1000	80	80	460	80	135	356.160
+1000	80	80	115	80	135	356.855
+600	150	150	70	150	110	357.060
-600	150	150	230	150	110	357.510
-1000	100	100	50	100	135	358.425
-800	130	13	215	130	125	358.805
+600	150	150	760	150	110	359.500
-600	150	20	100	20	110	362.160

Table 2. Curve conditions of the Namsunghyun-Chungdo line [Up]

Curve radius (m)	Curve conditions				Running speed (km/h)	Position from Seoul (km)
	Cant (mm)	Length (m)				
		Transition	Circular curve	Transition		
-600	150	150	205	150	110	362.160
+600	150	150	735	150	110	359.485
-800	130	130	160	130	125	358.820
-1000	90	90	135	90	135	358.455
-600	130	130	235	130	110	357.525
+600	120	120	90	120	110	357.095
+1000	60	60	120	60	135	356.800
-1000	100	100	410	100	135	356.080
-600	150	150	561	150	110	354.254

2.3.2 궤도틀림데이터

Fig. 4는 남성현-청도 상·하행구간의 좌우·상하 방향 궤도틀림 데이터를 나타내고 있으며 주행안전성 해석 시 선로에 궤도틀림데이터를 적용하였다.

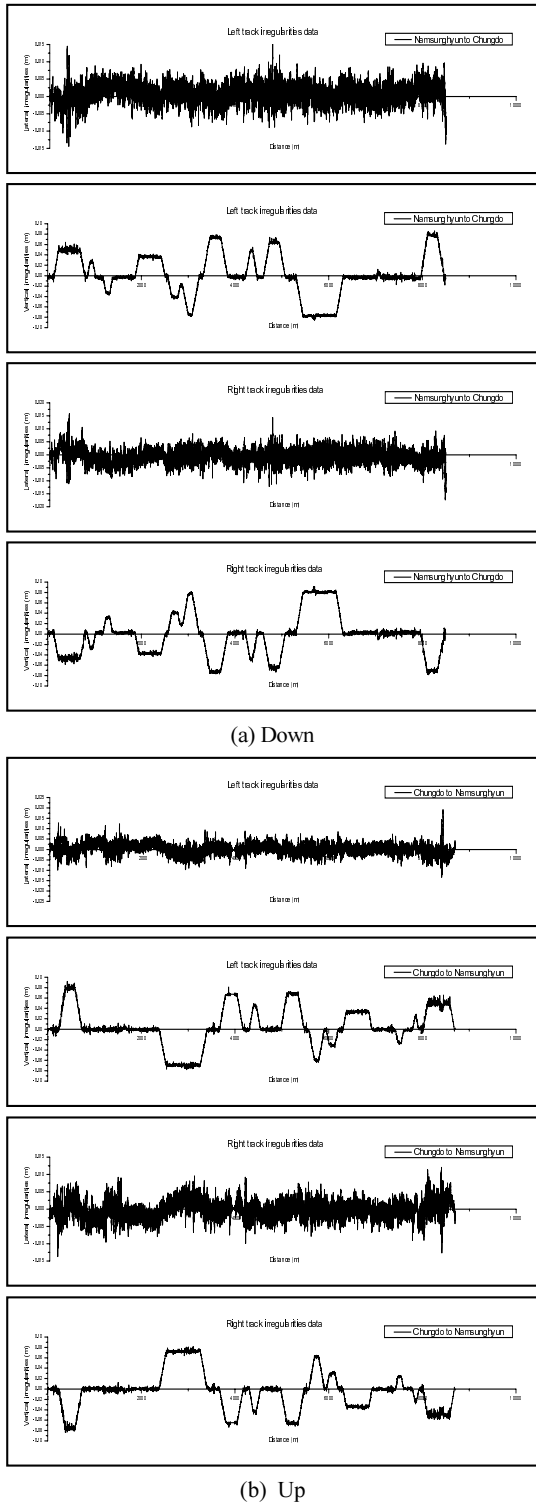


Fig. 4. Track irregularity of the Namsunghyun-Chungdo line

3. 주행안전성 해석

3.1 해석조건

Fig. 5는 주행안전성 해석 시 사용하였던 해석조건을 나

타내고 있다. 한국철도공사 열차운전시행세칙의 곡선부 속도제한에 대한 2급선에 해당하는 경우 제 1본선을 기준으로 남성현-청도 구간내 곡선반경별 속도제한을 확인하였다. 현 새마을호 열차의 곡선부 속도제한에 의거한 기존 속도 140km/h의 경우와 기존 속도 대비 5~20% 향상된 조건으로 주행안전성 해석을 수행하였다.

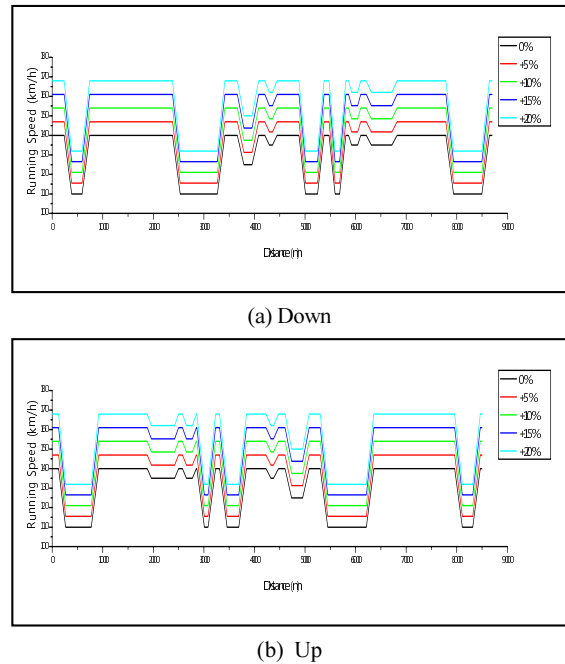


Fig. 5. Running speed of the Namsunghyun-Chungdo line

3.2 해석결과

3.2.1 남성현-청도구간[하행]

Fig. 6~7은 남성현-청도 하행구간 내 곡선부에서의 현 새마을호 주행속도 조건과 5~20% 속도향상된 조건하에서의 주행안전성 해석결과를 나타내고 있다. 주행안전성 평가지수인 탈선계수, 윤증감소율을 30Hz 로우 패스 필터를 적용하였으며 각 곡선 구간별로 2m 구간의 RMS 값을 Table 3에 나타내었다. 해석결과에 대한 허용기준은 국내에서 적용하고 있는 탈선계수 0.8, 윤증감소율 80%에 대한 허용기준치를 적용하였고, 그 이상을 넘어간 경우에는 표시를 하였다.

남성현-청도 하행구간 내에서 속도향상에 따라 전반적으로 탈선계수 및 윤증감소율이 증가하였다. 기존 주행속도 대비 +5, +10% 속도 향상 시 곡선반경 R600 구간에서 윤증감소율이 허용기준을 초과하고 있으나 전반적으로 안전한 것으로 판단된다. 또한 기존 주행속도 대비 약 15% 이하의 속도조건에서는 탈선계수와 윤증감소율이 허용기준 이내로 나타나 속도 향상의 가능성을 확인할 수 있었다.

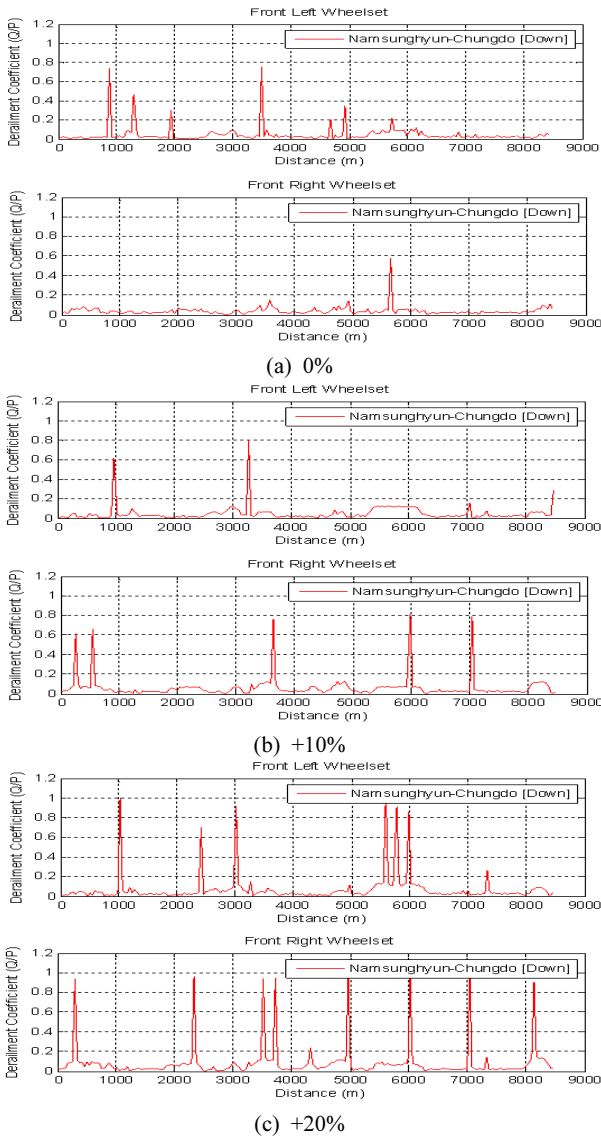


Fig. 6. Derailment coefficients of the Namsunghyun-Chungdo line [Down]

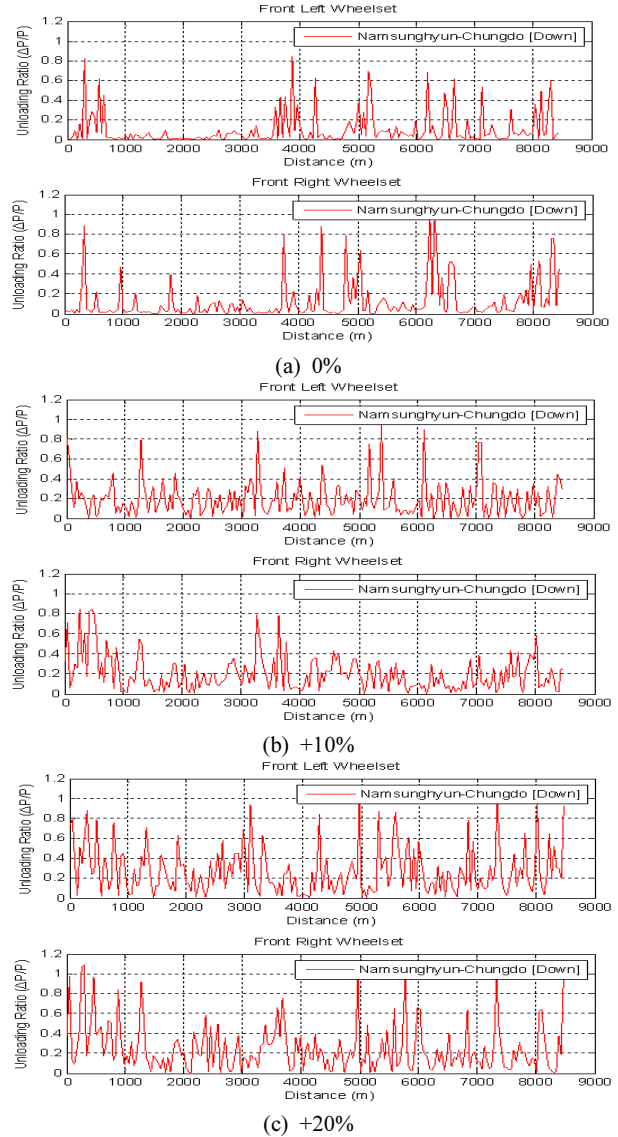


Fig. 7. Unloading ratio of the Namsunghyun-Chungdo line [Down]

Table 3. Analysis results of the Namsunghyun-Chungdo line [Down]

Curve radius (m)	Running speed conditions									
	0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$
-600	0.06	44	0.69	77	0.65	84	0.88	96	0.94	100
-1000	0.06	18	0.38	57	0.07	30	0.53	90	0.96	58
+1000	0.08	13	0.12	78	0.07	30	0.06	34	0.08	57
+600	0.07	14	0.03	38	0.11	33	0.79	87	0.91	85
-600	0.75	43	0.33	86	0.75	78	0.73	89	0.94	76
-1000	0.07	44	0.12	61	0.07	54	0.86	70	0.23	24
-800	0.35	78	0.37	74	0.13	36	0.10	38	0.11	82
+600	0.57	68	0.69	86	0.81	40	0.82	87	0.94	86
-600	0.10	49	0.11	79	0.11	32	0.12	36	0.90	52

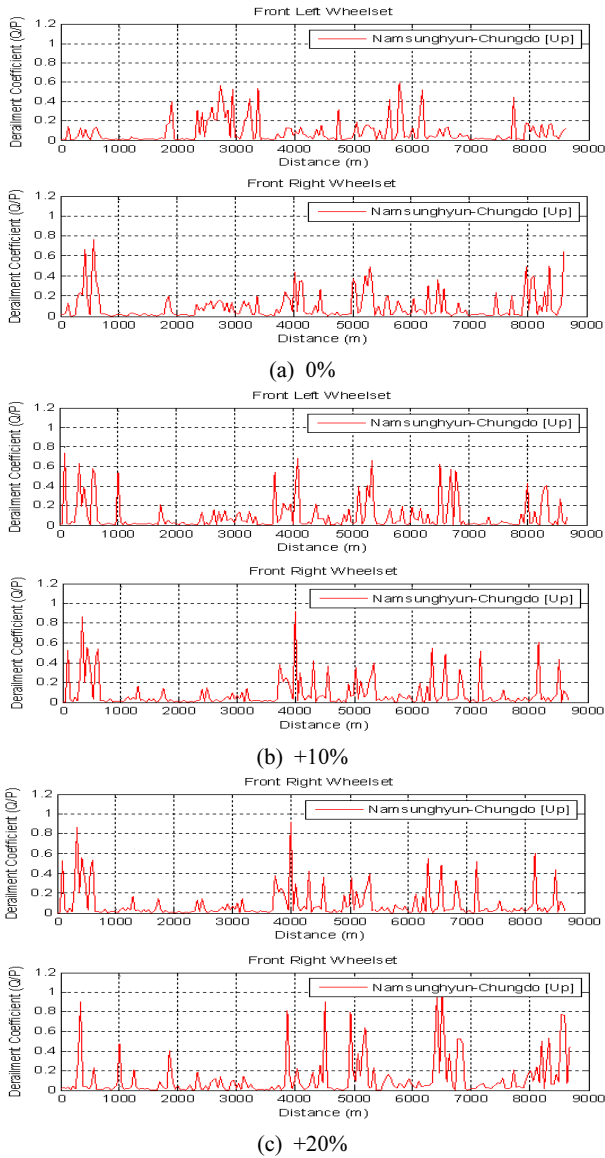


Fig. 8. Derailment coefficients of the Namsunghyun-Chungdo line [Up]

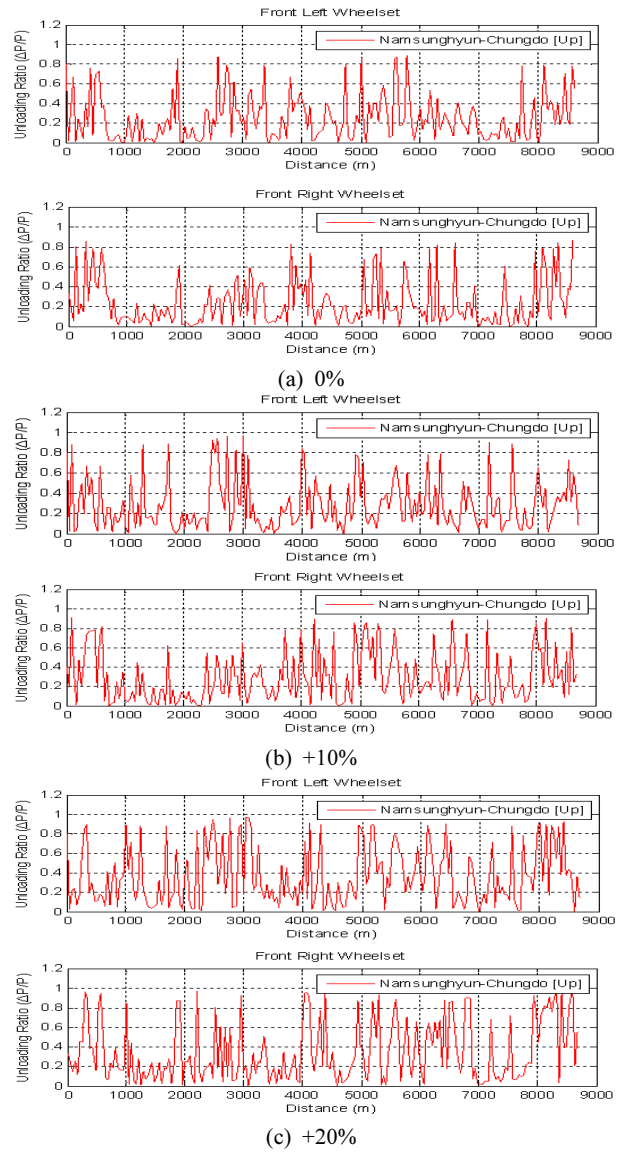


Fig. 9. Unloading ratio of the Namsunghyun-Chungdo line [UP]

Table 4. Analysis results of the Namsunghyun-Chungdo line [Up]

Curve radius (m)	Running speed conditions									
	0%		+5%		+10%		+15%		+20%	
	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$	$\frac{Q}{P}$	$\frac{\Delta P}{P}$
-600	0.77	78	0.57	78	0.57	78	0.62	83	0.62	94
+600	0.42	79	0.49	74	0.15	94	0.14	88	0.13	97
-800	0.23	61	0.22	57	0.25	51	0.43	89	0.81	33
-1000	0.11	28	0.11	35	0.41	49	0.41	44	0.62	89
-600	0.40	73	0.39	70	0.40	86	0.39	88	0.64	89
+600	0.41	87	0.43	79	0.17	68	0.10	97	0.16	89
+1000	0.12	35	0.69	78	0.18	48	0.07	59	0.11	67
-1000	0.36	84	0.62	69	0.62	79	0.68	88	0.68	89
-600	0.50	75	0.42	73	0.60	84	0.49	78	0.53	90

3.2.2 남성현-청도구간(상행)

Fig. 8-9는 남성현-청도 상행구간 내 곡선부에서의 현 새마을호 주행속도 조건과 5~20% 속도향상된 조건하에서의 주행안전성 해석결과를 나타내고 있다. 주행안전성 평가지수인 탈선계수, 윤중감소율을 30Hz 로우 패스 필터를 적용하였으며 각 곡선 구간별로 2m 구간의 RMS 값을 Table 3에 나타내었다. 해석결과에 대한 허용기준은 국내에서 적용하고 있는 탈선계수 0.8, 윤중감소율 80%에 대한 허용기준치를 적용하였고, 그 이상을 넘어간 경우에는 표시를 하였다.

남성현-청도 상행구간 내에서 속도향상에 따라 전반적으로 탈선계수 및 윤중감소율이 증가하였다. 기존 주행속도 조건시 R600 구간에서 윤중감소율이 허용기준을 초과하였는데 이는 구간 내 궤도틀림의 영향으로 판단된다.

또한 기존 주행속도 대비 +10% 속도 향상 시 곡선반경 R600 구간에서 윤중감소율이 허용기준을 초과하고 있으나 전반적으로 안전한 것으로 판단된다. 기존 주행속도 대비 약 15% 이하의 속도조건에서는 탈선계수와 윤중감소율이 허용기준 이내로 나타나 속도 향상의 가능성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 실제 선로조건인 남성현-청도 상·하행구간에서의 곡선부 구간별 통과 시 주행안전성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 전산해석을 수행하고, 기존선에서의 구간별 최대 운행가능속도에 대한 속도 향상 방안을 모색하고자 하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 새마을호 열차는 기존 주행속도 조건에서의 남성현-청도 상·하행 구간은 해석결과상 안전한 것으로 판단되었다.

2. 기존 주행속도 대비 +5, +10% 속도향상 시 남성현-청도 상·하행 구간 내에서 곡선반경 R600 구간에서 윤중감소율 허용기준을 초과하고 있으나 전반적으로 안전한 것으로 판단되었다.
3. 기존 주행속도 대비 약 15% 이하의 속도조건에서는 탈선계수와 윤중감소율이 허용기준 이내로 나타나 남성현-청도 상·하행 전 구간 내에서 속도 향상의 가능성을 확인할 수 있었다.
4. 해석결과상 남성현-청도 구간 내에서는 곡선반경별 구간이외의 직선구간에서 탈선계수 및 윤중감소율이 크게 나타나는 결과값을 확인할 수 있는데 이는 해당하는 부분에서의 궤도틀림 영향으로 판단되므로 이에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 한국철도기술연구원(2008~2009), “철도차량 탈선 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발,” 4-5차년도 보고서(2008~2009).
2. VI grade(2008), “ADAMS/Rail 2005 R2. 11.0 documentation.”
3. 함영삼, 허현무(2003), “한국형 고속철도차량의 주행안전성 평가,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.316-321.
5. 엄범규, 김종오, 양경탁, 이희성(2008), “곡선부 통과 열차의 주행 안전성 평가에 관한 연구,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.838-843.
6. 엄범규, 현석, 양경탁, 이희성(2008), “곡선부 주행 차량의 마모특성에 관한 연구,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.803-809.
7. 엄범규, 현석, 안천현, 이희성(2008), “철도차량의 곡선 구간별 주행안전성 평가,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.1614-1621.

접수일(2009년 8월 31일), 수정일(2009년 10월 12일), 게재확정일(2009년 11월 25일)