

새로운 레일규격 제정을 위한 기초검토

A Basic Investigation for the new Rail Standard

정우진* 양신추** 강윤석*
W. J. Chung S. C. Yang Y. S. Kang

ABSTRACT

The KNR(Korean National Railroad) is trying to set a new rail standard to back up the speed-up policy of the conventional railways. This work has passably significance since the rail standards used were introduced from Japan without the consideration on our situation. The contact analysis between wheel treads and rail heads, attended with complex calculation and the wear experiments taken long time should be accomplished for the exact investigation to establish a new rail standard. However, this paper just concentrates the structural investigation of the proposed rail standard and the dynamic analysis between trains and rail models with intent to shift the above procedure on the next step.

1. 서론

현재, 철도청은 2010년까지 기존선의 최고 주행속도를 200km/h까지 상향시킬 계획이다. 이는 몇 년후 개통될 고속전철과의 직결운행 그리고 멀지않은 장래에 실시될 남북 및 시베리아 철도 연결 사업 등을 고려한 판단으로서 이 과정을 통해 국내 철도는 선진 철도국의 대열로 도약할 수 있는 계기를 찾을 것으로 예상된다. 또한, 기존선의 속도 향상정책은 그 동안 타 교통수단에 비해 뒤쳐져지던 철도의 운송 경쟁력을 되살릴 의미 있는 시금석이 될 것이다.

현재 기존선의 속도향상을 저해하는 요인은 한두가지로 정의될 수 없을 정도로 다양하다. 이는 철도가 차량, 시설 그리고 전기 등 여러 분야가 유기적으로 결합된 시스템 산업이라는 사실에 기인한다. 그러나 궤도의 측면에서만 기존선을 조명한다면 속도저해 요인은 몇가지로 압축될 수 있는데 그 중 하나가 레일 두부형상 검토문제이다.

철도 선진국에서는 레일규격과 선로 주행환경과의 관계를 규명하기 위하여 오랜 기간동안 관련 연구와 현장 계측실험에 투자하고 있다. 그들은 이런 노력들을 통해 자국의 선로환경에 적합한 레일모형을 계속 개발하고있으나 아직 국내에서는 이에 대한 기초연구조차 크게 부족한 실정이다.

지금 국철에 사용되고 있는 레일 규격은 일본 국철의 규격을 답습한 것으로서 국내의 선로환경이 규격선정에 전혀 고려되지 못한 것이다. 물론 이것만으로 현재의 레일규격이 국내 환경과 맞지 않는다고 단정지을 수는 없으나 지금보다 증속될 미래의 기존선을 위해, 현 단계에서 이에 대한 연구가 수행되지 않는다면 차량의 주행안전성 저하와 선로 및 차량 유지보수비 증가와 같은 부작용이 발생되어 지금보다 더 큰 어려움을 겪게될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 국철의 고속화에 대비하여 새로운 레일규격의 제정을 위한 기초검토를 수행하였

* 한국철도기술연구원 시설연구본부 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 시설연구본부 책임연구원, 정회원

다. 먼저 현용 KS50N 레일과 KS60레일 그리고 KS50N레일의 두부형상에 KS60레일의 저부를 가진 수정레일 등 3가지로 레일모델을 제한한 후 이에 대한 구조해석 및 기존 차량과의 동특성 관계설정 등을 검토하였다. 이 검토결과를 통해 수정레일 모델이 미래의 선로환경에서 더욱 적합한 레일모델이 될 수 있다는 가능성을 제시하였다.

2. 차량-레일 적합성에 대한 정적검토⁽¹⁾

현재 국철에서는 교량, 터널 등의 취약개소 및 일부 구간에 KS60 레일을 부설하고 있으나 대부분의 일반구간은 KS50N 레일을 주로 사용하고 있다. KS60과 KS50N레일은 국철구간에서 무리없이 운용되어지고 있는 것들로서 운영상의 경험에 의해 현 시스템을 기준으로 현용 차량형상과의 적합성이 어느 정도 규명되어졌다고 볼 수 있다. 철도청은 기존의 궤간을 유지시키기 위해 새로 제정될 레일의 두부폭도 기존의 것과 같게 유지시킬 방침이며 두부형상도 기 검토된 이들 형상 중 하나를 선택하여 적용시킬 예정이다. 이런 제한들은 최적의 레일형상을 찾는 데 방해가 될 수도 있으나 현실적인 사정을 고려할 때 불가피한 측면이 더 크다. 본 연구에서는 두 개의 형상 중 보다 우수한 레일형상을 가려내기 위해 범용성을 가장 중요한 선택기준으로 삼았다.

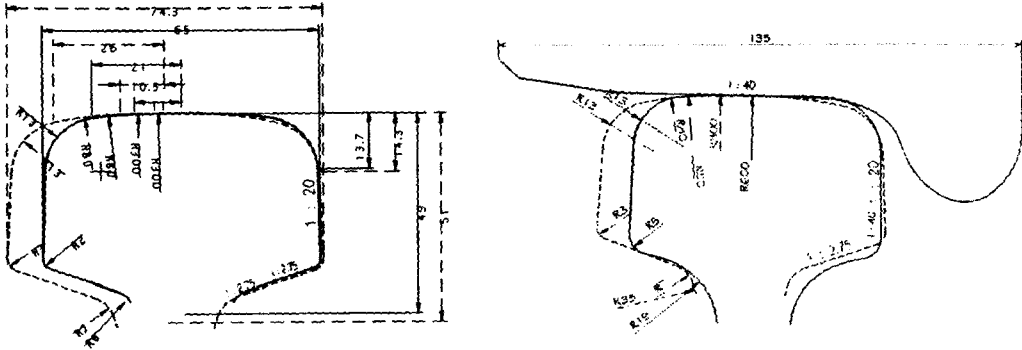


그림 1. UIC60(실선)과 KS50N(점선) 비교 그림 2. KTX 차량과 KS60(실선) 및 UIC60(점선) 비교

현용 차량형상을 제외하고 기존선에서 운행될 가능성이 높은 것이 KTX차량형상이다. 몇 년 뒤 고속전철 개통과 함께 연계운행이 시작되겠으나, 아직 기존선의 레일두부형상과 KTX 차량과의 적합성 검토는 충분히 수행되지 못한 상태이다. 따라서 새로 제정될 레일의 두부형상 결정과정에서 두 기존 레일들과 KTX차량과의 적합성 해석을 수행하고 그 결과를 최종 선택에 반영한다면 합리적인 결론을 얻을 수 있을 것이라고 판단하였다.

두 형상(차량/레일)간 간섭면적과 최초 간섭시기를 살펴보는 것으로 정적검토가 수행되었다. 즉, 차량을 수평으로 이동시킬 때 발생하는 간섭면적이 작거나 간섭발생 시기가 느린 것이 상대적으로 정적 적합성이 우수한 것으로 간주하였다.

검토결과 UIC60과 개이지 코너부의 형상이 동일한 KS50N레일이 KS60레일보다 KTX차량과의 간섭효과가 상대적으로 적은 것을 알 수 있었다. 이 결과는 정적해석 측면에서는 KS50N레일이 근소하나마 KS60보다 우수할 가능성이 크다는 것을 의미한다.

3. 차량-레일 적합성에 대한 동적검토

3.1 곡선 주행해석

2장에서는 차량과 레일간의 적합성을 정적인 측면에서 검토하였으나 차량과 레일의 형상의 변화는 차량의 동특성 변화에도 밀접하게 관계되므로 이에 대한 검토도 동시에 수행되어야 한다. 본 장에서는 국내에서 운용되고 있는 대표적 차량들(KT23, NT21 대차사용 무궁화 차량 및 KTX차

량)을 선정하여 곡선부를 통과하는 차량의 동특성 변화를 전문 해석 프로그램으로 예측하였다.

레일의 두부 형상 변화에 따른 차량 동특성 변화를 파악하기 위하여 차량들이 R400, R800 그리고 R1200 곡선부를 통과하는 상황을 설정하였다. 궤도 틀림자료는 궤도 검측차에서 측정한 값(경부선)을 기준으로 사용하였다.

표 1. Simulation 경우(총 30개)

NT21				KT23			
Wheel Model	Rail Model	Curve Radius	Case No.	Wheel Model	Rail Model	Curve Radius	Case No.
1/20	KS50N	R400	1	1/20	KS50N	R400	13
		R800	2			R800	14
		R1200	3			R1200	15
	KS60	R400	4		KS60	R400	16
		R800	5			R800	17
		R1200	6			R1200	18
1/40	KS50N	R400	7	1/40	KS50N	R400	19
		R800	8			R800	20
		R1200	9			R1200	21
	KS60	R400	10		KS60	R400	22
		R800	11			R800	23
		R1200	12			R1200	24
KTX				X			
Wheel Model	Rail Model	Curve Radius	Case No.				
KTX	KS50N	R400	25				
		R800	26				
		R1200	27				
	KS60	R400	28				
		R800	29				
		R1200	30				

표 2. 곡선 통과속도

곡선반경(m)	곡선 통과속도
R400	90 Km/h
R800	120 Km/h
R1200	156 Km/h

차량모델에서는 1/40형, 1/20 Heuman형 그리고 KTX 차량에 사용된 차륜형상 등 총 3가지가 사용되었다. 이 중 고속전철에 사용되는 차륜형상은 오직 KTX 차량에만 적용되었고 나머지 2가지 형상은 KT23과 NT21 대차 모두에 적용되는 것으로 가정하였다.

레일은 KS50N과 KS60레일 형상이 상기한 3가지 차량 종류에 모두 적용되는 것으로 가정되었다.

차량모델 및 레일두부형상 변화에 따른 동특성 변화를 면밀히 검토하기 위하여 표 1과 같이 해석의 경우를 설정하였다. 모두 30개의 경우가 있으며 KTX 차량은 항상 정해진 차륜답면만을 사용하므로 기존 차륜답면을 사용하는 경우는 제외하였다. 곡선통과속도는 설정 캔트량을 감안하여 표 2와 같이 설정하였다.

3.2 해석결과 검토

수치해석 결과를 통해 각 경우에 대한 좌우측의 윤중감소량과 탈선계수들을 구하였다. 각각의 조건들이 변함에 따라 어떤 주목할 변화가 있는지 관찰하기 위하여 해석 결과 중 최고치들을 뽑

아 그 값을 비교하여 보았다. 검토결과들은 레일형상 변화에 따라 구간 최고치들이 영향을 크게 받지않고 있음을 보여주고 있다. 아래의 그림 3은 해석결과(28번째 경우) 중 일부를 도시하고있다.

레일의 두부형상이 바뀌어도 차량 동특성에 주목할 만큼의 변화는 발생되지 않았다. 정확한 결과는 반복 실차 실험과 장기적 관찰을 통해서만 도출될 수 있을 것이다. 그러나 차선택으로 수행된 수치해석 결과가 일관되게 나오므로 KS50N과 KS60레일 정도의 형상변화로서는 차량 안전성에 영향을 줄 정도의 변화는 발생되지 않을 것이라는 사실을 간접적으로 유추할 수 있다.

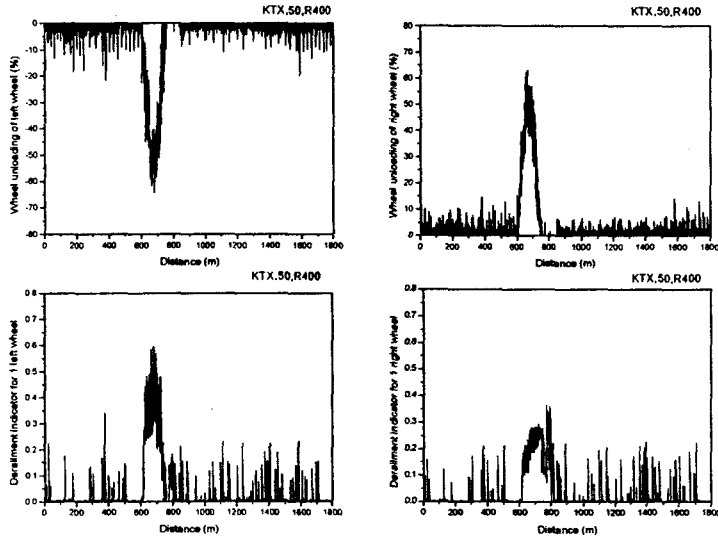


그림 3. 수치해석결과

표 3. NT21 대차를 사용한 차량이 1/20 Heuman 차륜을 사용할 경우

해석결과 항목	index	R400		R800		R1200	
		KS50N	KS60	KS50N	KS60	KS50N	KS60
윤증감소(%)	2	37.746	38.116	36.762	38.087	33.678	40.058
탈선계수	3	0.659	0.727	0.414	0.462	0.445	0.480

표 4. NT21 대차를 사용한 차량이 1/40 Heuman 차륜을 사용할 경우

해석결과 항목	index	R400		R800		R1200	
		KS50N	KS60	KS50N	KS60	KS50N	KS60
윤증감소(%)	2	45.756	47.522	57.174	58.763	51.200	49.287
탈선계수	3	0.736	0.727	0.794	0.740	0.758	0.684

표 5. KT23 대차를 사용한 차량이 1/20 Heuman 차륜을 사용할 경우

해석결과 항목	index	R400		R800		R1200	
		KS50N	KS60	KS50N	KS60	KS50N	KS60
윤증감소(%)	2	43.360	43.967	47.569	49.758	44.308	46.815
탈선계수	3	0.714	0.739	0.409	0.456	0.440	0.456

그림 4는 수정레일의 형상을 보여주고 있다. 표 8에서 도시된 것과 같이 수정된 레일의 형상은 레일의 두부를 제외하고 모두 KS60레일과 동일한 규격을 가지도록 설정되었다.

표 8. 레일형상 특성 비교

비교항목 \ 레일모델	KS50N	KS60	UIC60	수정레일	비고
레일높이 (mm)	153.0	174.0	172.0	174.0	KS60과 동일
레일두부폭 (mm)	65.0	65.0	74.3	65.0	KS50N,60과 동일
저부길이 (mm)	127.0	145.0	150.0	145.0	KS60과 동일
두부높이 (mm)	37.18	40.875	37.49	40.875	KS60과 동일

4.2 궤도부담력 비교검토

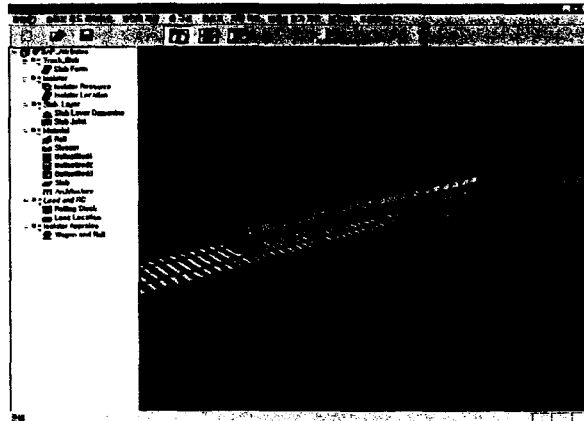


그림 5. 궤도 종합성능프로그램

열차속도가 증가함에 따라 기존선에서 수정레일을 사용했을 경우와 KS60, KS50N레일을 사용할 경우에 발생하는 궤도부담력(레일휨응력, 침목압력, 도상압력)을 비교/분석하였다. 궤도부담력은 한국철도기술연구소에서 자체 개발한 궤도종합성능 프로그램을 통해 산출되었다.

(가) 레일 휨응력 해석결과

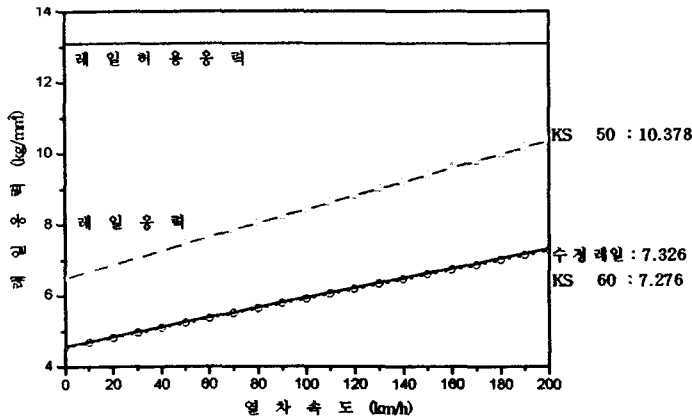


그림 6. 열차속도에 따른 궤도응력 검토(KS50, KS60, 수정레일)

- 기존선구간의 도상두께는 30cm에 대해서도 해석수행
- KS50레일: $10.378 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용응력: } 13.0 \text{ kg/mm}^2$
KS60레일: $7.276 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용응력: } 13.0 \text{ kg/mm}^2$ (시속 200km/h)
수정레일: $7.326 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용응력: } 13.0 \text{ kg/mm}^2$
- 수정레일의 경우 KS 60레일보다 0.69%응력만이 추가발생되며, KS 50레일보다는 41.7%응력이 저감된 효과를 보임

(나) 침목의 허용 레일압력 비교

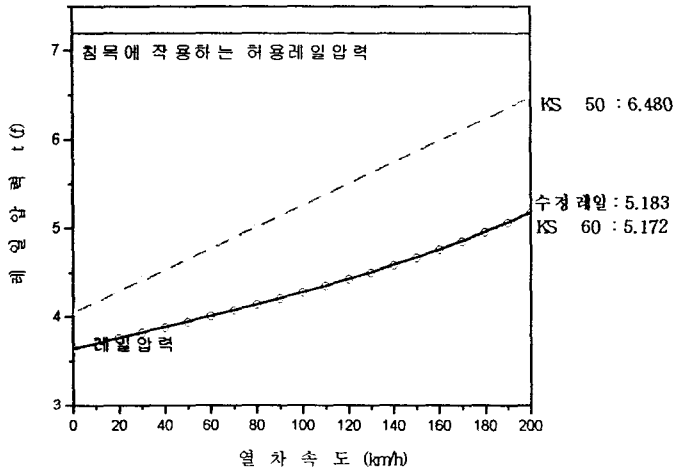


그림 7. 레일압력 비교검토(수정레일, KS50, KS60)

- KS50레일: $6.480 \text{ t} < \text{허용압력: } 7.2\text{t}$
KS60레일: $5.172 \text{ t} < \text{허용압력: } 7.2\text{t}$
수정레일 : $5.183 \text{ t} < \text{허용압력: } 7.2\text{t}$ (시속 200km/h)
- 수정레일의 경우 KS 60레일보다 0.21%의 레일압력만이 추가발생되며 KS 50레일보다는 25.0% 레일압력이 저감된 효과를 보임

(다) 노반의 허용압력 비교

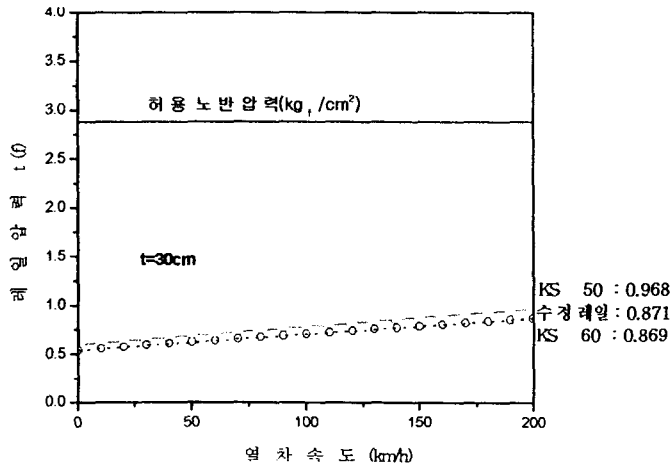


그림 8. 노반압력비교(수정레일, KS50N, KS 60)

- KS 50레일(h=30cm): $0.968 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용압력 } 2.88 \text{ kg/mm}^2$
- KS 60레일(h=30cm): $0.869 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용압력 } 2.88 \text{ kg/mm}^2$
- 수정레일 (h=30cm) : $0.871 \text{ kg/mm}^2 < \text{허용압력 } 2.88 \text{ kg/mm}^2$
- 수정레일의 경우 KS 60레일보다 0.23%의 노반압력만이 추가발생되며
KS 50레일보다는 11.1%의 노반허용압력이 저감 효과를 보임

5. 결론

본 연구에서는 현재 국철에서 많이 사용하고 있는 KS50 및 KS60레일 단면형상을 중심으로 고속열차(KTX)와 인터페이스상의 적합성을 검토하고, 이들 결과를 토대로 KTX와 적합성을 유지하면서 증량레일의 장점을 갖는 수정레일단면을 제시한 후 유용성을 검토하였다.

먼저 KS50 및 KS60레일과 KTX차량과의 적합성 검토를 위해 접촉면에서의 양자간 간섭면적을 기준으로 정적해석을 수행하였다. 또한 철도차량 동특성 해석 전문 프로그램을 사용하여 레일의 두부형상 변화에 따른 차량의 주행안전성 변화를 검토하였다.

위의 두 해석결과, KS50N레일의 두부 단면형상을 가지고 KS60레일의 저부를 조합한 수정레일이 미래의 고속화된 기존선에 효율적으로 활용될 수 있을 것이라는 판단을 하게되었다. 레일 모델별로 구조검토를 실시함으로써 수정레일이 사용되는 것에 대한 타당성을 재차 확인하였다. 지금까지의 결과들은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- (1) 정적해석 측면에서 KS50N레일이 KS60레일보다 KTX차량과의 적합성이 보다 우수하다.
- (2) KS50N 및 KS60레일 두부형상과 국내 선로 상을 운행 중인 3종류의 대표차량을 조합하여 차량의 주행안전성을 수치해석을 통해 구해본 결과, 레일 두부형상에 따라 주목할 만큼의 차량 동특성 변화가 발생되지 않음을 확인할 수 있었다.
- (3) 수정레일과 KS60레일에 발생하는 궤도부담력(레일 휨응력, 침목압력 그리고 도상압력)을 시속 200km/h까지 비교검토한 결과 레일 휨응력, 침목압력 그리고 도상압력에 대해서 모두 허용치 이내에 드는 안전한 결과를 얻을 수 있었다. 수정레일은 KS50N 레일에 비하여 모든 항목에서 우수한 성능을 보였다.
- (4) 수정레일이 사용되어도 KTX차량과의 호환성에 문제가 없을 것으로 판단되며 유지보수 측면에서는 기존의 KS50N레일보다 우수한 성능을 발휘할 것이라고 판단된다.
- (5) KS50N레일의 두부형상과 KS60레일의 저부를 가진 수정 레일규격이 고속화된 미래의 기존선에 현용 레일규격보다 더욱 적합한 규격일 수 있다는 가능성을 확인하였다.

참고문헌

1. 이지하, R. Farabet(2000), "레일과 차량의 마모에 대한 기하학적 검토", 춘계학술대회 논문집, 한국철도학회, pp. 442-449
2. Rao V. Dukkipati and Joseph R. Amyot(1988), "Computer-Aided Simulation in Railway Dynamics," Academic Press.
3. 한국철도기술연구원(2000), "'철도차량의 비선형 주행 동특성에 대한 기초연구,'" 한국철도기술연구원.
4. 한국철도기술연구원(1996), "'대구-부산간 기존선 이용 고속철도차량의 주행속도 향상에 관한 연구,'" 한국철도기술연구원.
5. 정우진, 신정렬(2001), "철도차량의 비선형 안정성에 영향을 미치는 인자 연구", 춘계학술대회 논문집, 대한기계학회, pp. 513-518