

고속철도 차량용 차륜플랜지 마모특성 분석

Analysis of Wheel Flange Wear Characteristics for KTX

이찬우* 강부병**
Lee, Chan-Woo Kang, Bu-Byoung

ABSTRACT

This study presents the wheel wear measurement results of Saemaoul train running on the conventional line. The train set included three different cars which have different shape of wheel profile including KNR and KTX profile currently used in Saemaoul. Train set was operated on Seoul-Pusan line with fixed train set formation for commercial service. Wheel wear measurements were performed periodically. Here, we describe some results.

1. 서 론

2004년 국내에서 운행될 한국형 고속차량(KTX)은 20량 1편성으로 이루어져 있다. 이들 고속차량의 기술적인 요구성능은 계약기준에 의거하여 설계·제작·시험 등을 통하여 입증하고 있다. 그러나 한국형 고속차량이 운용될 환경 및 선로조건은 국내와 프랑스와는 차이가 있다. 현재 한국형 고속 차량은 고속신선 뿐만 아니라 기존선을 운행하도록 되어 있다. 이를 위해서는 기존선과 고속신선에 대한 고속차량의 차륜과 기존레일과의 인터페이스 문제에 대한 검토가 필요하다. 특히 한국형 고속차량의 경우 고속신선에서의 차량-레일 인터페이스 검증 작업을 천안-오송 시험선 구간에서 거의 완료한 상태이다. 이에 비해 한국형 고속 차량의 운행노선은 "고속신선+기존선"으로 되어 있으나 기존선에서의 차량-레일 적합성 시험은 매우 중요하지만 현 상태에서 기존선에서의 차량-레일 인터페이스에 대한 적합성 시험을 할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 한국형 고속차량이 기존선을 운행하는데 있어 기존선에서의 차량안전성 예비 검증을 위하여 새마을호 차량에 한국형 고속철도 차량의 차륜 형상을 적용한 차륜과 무궁화호 신형(1/20 호이만), 새마을호(1/40) 차륜의 마모특성에 대하여 비교 검토를 하여 봄으로써 동일한 현가계를 갖는 차량에서의 차륜형상이 차륜마모와 운행에 미치는 효과를 실험적으로 알아보고자 한다.

2. 실차 시험

2.1 시험 방법 및 절차

시험에 사용된 차량은 경부선을 운행하는 새마을호 객차로 ASEA 대차를 적용한 차량이다. 새마을호는 서울-부산 간 고정 편성 운행하는 동일 열차이고 이 가운데 #430호 #552호 #639호 차량 3량을 이용하였다. 시험 차량별 차륜 형상은 #430호는 KTX 차량 차륜형상(답면 구배1/40),

* 한국철도기술연구원, 책임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원, 주임연구원, 정회원

#552호는 기존 새마을호 차륜형상(1/40), #639호는 신형무궁화 차량 차륜형상(1/20 호이만)을 적용하였다. 각 차륜 형상을 Fig.1에 비교하여 나타내었다. 시험 기간은 시험차량 차륜 형상별 원형삭정 후 주행거리 검수 기준인 100,000Km이상 주행시까지 차륜의 마모상태를 추적조사 하고자 하였다. 시험기간 중 정기적으로 차륜 프로파일 측정은 차륜담면 형상 전용측정기인 Miniprof 시스템을 이용하였다.

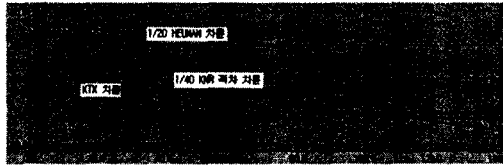


Fig.1 Comparison of the initial wheel profiles

2.2 시험 차량

Fig.2는 시험에 사용된 ASEA 대차의 모습을 보여준다. ASEA 대차는 그림에서와 같이 1차현가계는 세부론 고무스프링을 2차현가계는 코일스프링을 가지고 있다. 일반적으로 1차현가계에 세부론 고무스프링을 적용했을 때가 코일 스프링을 적용했을 때 보다 마모량이 적은 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ Fig.3은 시험차량의 휠의 배치를 보여준다.

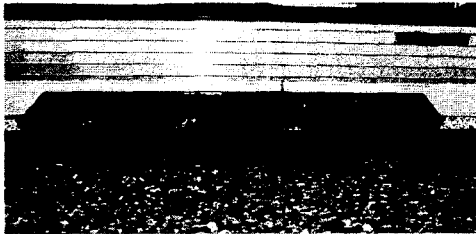


Fig.2 ASEA bogie

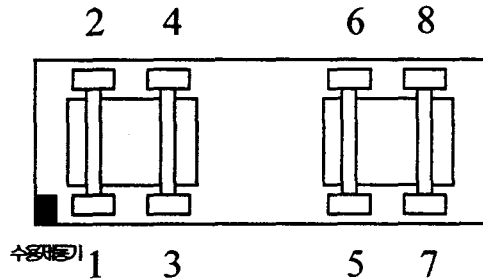


Fig.3 Wheel number arrangement

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 차륜 형상별 마모량

Fig.4는 차륜의 마모량을 검사하기 위하여 사용되는 프로파일 치수로 보통 플랜지 두께(Sd), 플랜지 구배(qR), 플랜지 높이(Sh) 등을 측정하여 차륜의 유지보수의 기준으로 이용하고 있다.⁽²⁾

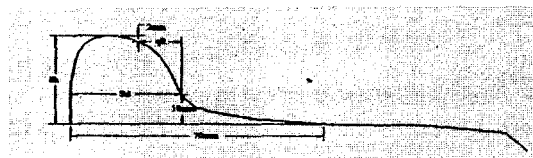


Fig. 4 Criteria of Sd(flange thickness), qR(flange gradient), Sh(flange height)

Table.1 Initial profile dimension(unit:mm)

Type	New Wheel		
	KNR 1/40	KTX 1/40	HEUMANN 1/20
Sd	32.69	31.45	33.35
Sh	24.93	28.07	26.63
qR	9.48	10.93	9.81

Fig 5~7과 Table.2는 세 가지 서로 다른 차륜형상을 가진 차량의 실차 시험후 각 8개 차륜의 단위 거리당 마모율을 보여준다. Fig.5는 플랜지 두께 마모율로 기존 새마울호 차륜 형상이 가장 많은 마모율을 보이고 그 다음이 KTX 차륜, 그리고 호이만 차륜은 오히려 더 두꺼워져서 음(-)의 값을 가진 것을 볼 수 있다. 호이만 차륜 경우는 Fig.4와 같은 방법으로 기존 프로파일 치수를 구할 때에 답면마모로 인하여 기준면이 낮아져서 오히려 플랜지 두께와 플랜지 구배의 경우 더 커지는 데 이는 플랜지 부위보다 답면부위 마모율이 더 크다는 것을 의미한다. Fig.6의 플랜지 높이 마모율을 보면 호이만 프로파일의 경우가 마모율이 약간 높고 KTX 프로파일과 기존 새마울호 차륜형상은 거의 차이가 없다. 플랜지 높이 마모의 경우는 기존 새마울호 차륜형상이 가장 작은 것을 알 수 있다. Fig.7은 플랜지 구배 마모율로 플랜지 두께 마모량과 유사한 양상을 보이고 있으며 기존 새마울호 차륜이 가장 크고 호이만 차륜은 음(-)의 값으로 주행후 오히려 플랜지 구배가 커진 것을 알 수 있다. Fig.8은 세가지 시험 차량의 각각 8개차륜의 마모율의 평균을 보여준다. 플랜지 두께 마모율의 경우는 3.4배, 플랜지 구배의 경우는 3.3배 기존 새마울호 차륜이 KTX 차륜형상 보다 큰 것을 알 수 있다. 플랜지 높이의 경우는 기존 새마울호 차륜 형상과 비교했을 때 호이만 프로파일의 경우는 2.2배 크고 KTX 차륜의 경우는 거의 비슷한 것을 볼 수 있다. Table.2는 시험결과를 수치로 보여준다. Fig.5~7과 Table.2에 있는 휠 번호(No.)는 Fig.3에 있는 배치 기준에 따른 휠 번호이다. 휠의 위치에 따른 마모율의 변화가 있지만 플랜지 높이 마모를 제외하고는 프로파일 형상에 따라서 마모율의 차이가 분명한 것을 볼 수 있다.

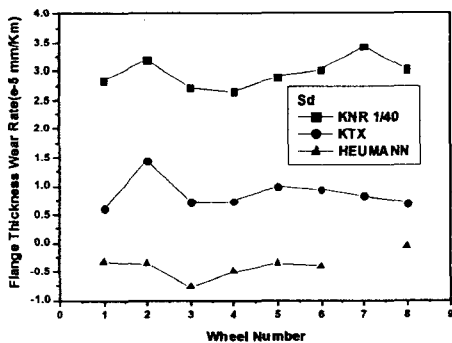


Fig. 5 Flange thickness wear rate

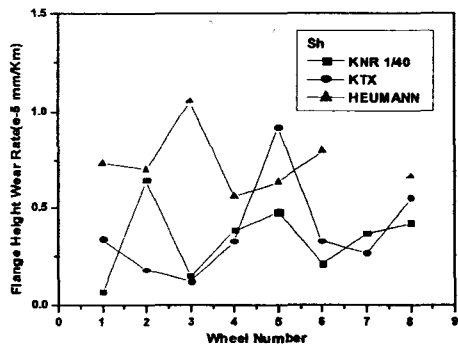


Fig. 6 Flange height wear rate

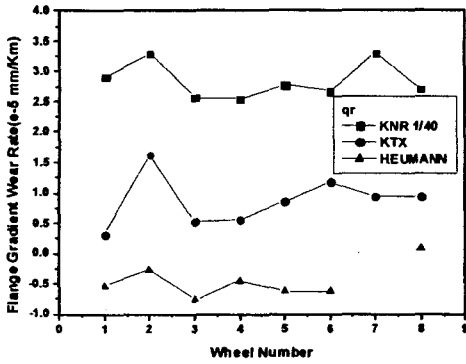


Fig. 7 Flange gradient wear rate

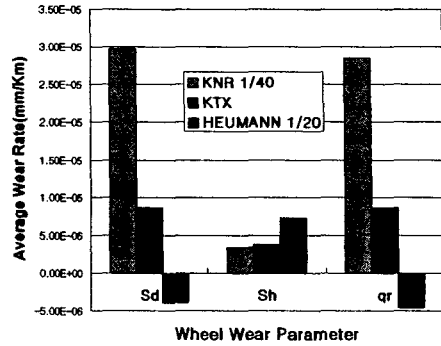


Fig.8 Average of wear rate

Table.2 Wear rate of each wheel

No.	Sd(e-6 mm/Km)			Sh(e-6 mm/Km)			qr(e-6 mm/Km)		
	KNR 1/40	KTX	HEUMANN 1/20	KNR 1/40	KTX	HEUMANN 1/20	KNR 1/40	KTX	HEUMANN 1/20
1	28.51	5.97	-3.32	0.70	3.41	7.30	29.21	3.17	-5.31
2	31.95	14.38	-3.60	6.42	1.83	7.02	32.97	16.21	-2.65
3	27.25	7.19	-7.68	1.49	1.22	10.52	25.69	5.36	-7.58
4	26.55	7.31	-5.02	3.84	3.29	5.59	25.38	5.48	-4.55
5	29.06	9.87	-3.51	4.78	9.14	6.35	27.72	8.53	-6.26
6	30.23	9.38	-3.98	2.11	3.29	7.96	26.63	11.82	-6.35
7	34.23	8.16	-	3.68	2.68	-	32.97	9.26	-
8	30.39	6.95	-0.57	4.23	5.48	6.64	26.94	9.26	0.66
AVG	29.8	8.65	-3.95	3.41	3.79	7.34	28.4	8.64	-4.58

3.2 차륜 형상별 마모율 비교

Fig.9~11은 마모가 진전되면서 프로파일의 변화 모습을 보여준다. Table.3은 정기적으로 마모를 측정한 단계별로 구한 마모율을 구간 주행거리와 함께 보여준다. Table.3을 보면 마모율 변동값은 새마을호 차륜의 경우는 마모가 진전되면서 줄어드는 경향을 보이고 KTX 차륜의 경우는 미소하지만 증가하는 경향을 보였으나 변동폭은 새마을호 차륜에 비하여 크지 않았다. 그러나 Fig.12의 마모된 프로파일을 보면 기존 새마을호 차륜이나 KTX 차륜은 마모가 진전되면서 거의 동일한 플랜지 형상을 갖게 되는 것을 알 수 있다. 이는 휠과 레일사이의 상호작용에 의하여 마모가 진전되면서 거의 동일한 마모형상으로 적용되어 가기 때문으로 생각된다. 그러나 호이만 프로파일의 경우는 플랜지 형상의 변화가 거의 없으며 플랜지 하단부에서 담면부 중심쪽으로 넓게 담면에 마모가 발생된 것을 볼 수 있다. 결과적으로 기존 새마을호 차륜의 경우는 주행 거리에 따라서 차륜의 형상 변화가 심하고 특히 플랜지 부위의 형상변화가 큰 것을 알 수 있으며 KTX 차륜의 경우는

플랜지 하단부의 약간의 형상 변화가 있고 호이만 프로파일의 경우는 답면부의 마모가 있지만 플랜지 부위는 거의 변화가 없었다. 호이만 프로파일의 경우는 마모가 진행되면서 답면부의 구배 (conicity)의 증가로 인하여 고속에서의 안정성을 해칠 가능성이 있다.⁽⁶⁾ 따라서 앞으로 이 문제에 대한 검토 연구가 진행되어야 하리라 생각된다.

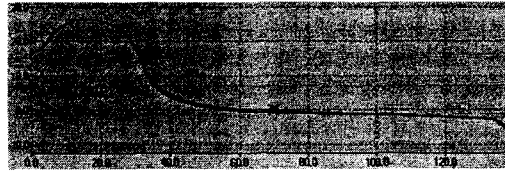


Fig. 9 Evolution of wheel profile(1/20 Heumann) until running distance 105,478Km

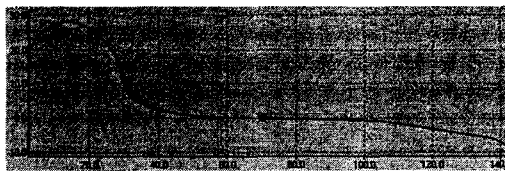


Fig. 10 Evolution of wheel profile(KTX 1/40) until running distance 82,073Km

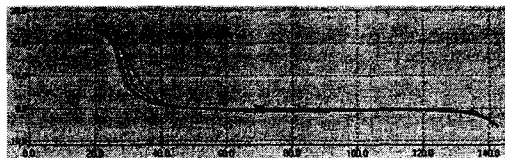


Fig. 11 Evolution of wheel profile(KNR 1/40) until running distance 105,478Km

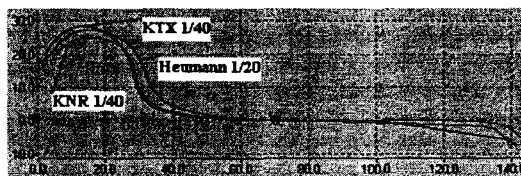


Fig. 12 Comparison of worn profiles after running about 90,000 Km.

Table. 3 Transition of the wear rate during the running

Type	KNR 1/40 (e-6 mm/Km)			KTX 1/40 (e-6 mm/Km)		
	STEP1	STEP2	STEP3	STEP1	STEP2	STEP3
	Sd	53.23	24.81	16.58	7.3	9.27
qR	33.93	22.5	15.57	7.2	9.32	-
Running Distance(Km)	33,559	55,676	38,449	26,399	55,674	-

차륜담면의 구배는 차량의 주행안정성과도 관련된다. 마모가 진전되면서 차륜의 담면 구배가 커지게 되고 증가된 차륜담면구배는 일정속도에서 차량의 주행안정성을 해치는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 차량의 설계시 이런 안정성을 고려하여 현가장치 특성을 설계하여야 한다. 그러나 주행중 마모로 인하여 차륜의 형상이 크게 변할 때에는 넓은 속도역에서의 안정성 특히 마모로 인하여 차륜담면 구배가 증가할 시는 고속에서의 안정성 확보가 어렵게 되고 차량의 현가장치 설계에도 어려움이 따를 수 있다. 따라서 차후 차륜 프로파일 변화가 차량의 주행안정성에 미치는 영향에 대한 연구와 상업운행속도범위에서 안정성을 유지할 수 있는 현가장치 설계에 대한 연구가 진행되어야 하겠다.

차량의 현가장치 특성도 차륜의 마모에 큰 영향을 미치는데 본 실험에 사용된 새마을호 차량의 경우 기존선 주행을 위해 현가장치 특성이 조정된 차량으로 고속선을 위해 설계된 고속차량에 비해 곡선부 추종성이 좋을 것으로 예상됨으로 고속차량이 기존선 주행시에는 마모율 측면에서 새마을호 차량보다 더 큰 값을 가질 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 동일한 현가계와 동일한 운행조건을 갖는 차량에 있어서 플랜지 두께 마모와 플랜지 구배 마모에 대한 지배조건은 차륜담면구배이다. 본 연구에서는 기존 새마을호 차륜(1/40)의 마모가 가장 큰 것으로 나타났고, 다음으로는 KTX 차량 차륜 적용차가 두 번째로 높았고 기존선에서 마모지수가 가장 좋은 차륜담면 형상은 신형 무궁화 차량에 적용하고 있는 (1/20, 호이만) 차륜이 가장 좋은 것으로 나타났다.
2. 향후 KTX 차량(1/40)이 기존선 운행시 예상되는 차륜 마모지수는 기존 새마을 차량과 비교하여 운행 초기에는 마모지수가 좋지만, 약 90,000km 주행시에는 거의 일정한 값을 나타내는 것으로 판명되었다. 따라서 KTX 차량이 기존선 직결 운행시 차륜마모로 인하여 고속선에서의 차량주행 안전성 문제를 유발하지 않도록 하는 심도있는 연구가 필요한 것으로 나타났다.

후기

본 연구관련 현차시험 도움에 적극협조하여 주신 철도청 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. 허현무, 이찬우 외, 1998, NT21대차 운행성능향상 연구, 철도청, pp.40 ~ 43
2. 허현무, 이찬우, 강부병 외, 2002, 차륜담면 최적관리시스템 개발, 철도청, pp.133 ~ 136.