

# 기존선 차륜담면형상의 마모패턴 분석

## Analysis on the wear patterns of wheel profiles for conventional line

허현무\*                      이찬우\*\*                      권성태\*                      윤춘한\*\*\*  
Hur, Hyun-Moo              Lee, Chan-Woo              Kwon, Sung-Tae              Yun, Chun-Han

### ABSTRACT

The rolling-stocks used in conventional line have suffered wheel problems due to lack of adaptability with track. These brought out severe wheel flange wear, these have caused unstable ride characteristics of rolling-stock. Especially, Wheel flange wear is severely influenced by wheel profile but lateral suspension characteristics. This study was started to induce wheel profile suitable for domestic railway environment. Thus, we analyzed the wear characteristics of wheel profiles that are being applied to railway rolling-stock in KNR. To analyze wheel wear characteristics, we have conducted experiment studies for passenger rolling-stock and obtained useful datum.

### 1. 서론

철도차량의 차륜은 레일과의 접촉에 의하여 차량을 구동시키는 요소로 차량의 주행특성에 영향을 미치는 중요 요소이다. 국내 기존선로와 같이 곡선비중이 많은 선로에서의 차량 운용은 차량 유지보수 측면에서 차륜의 마모, 박리, 차량 구성품의 손상등의 문제를 초래한다. 차륜과 레일의 접촉현상은 차량의 동적거동 및 주행속도에 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 특히 차륜담면형상은 차량의 곡선주행성능에 큰 영향을 미침으로 신차 제작시나 운용선로 변경시엔 차량/궤도와의 연관관계 검토 측면에서 우선적으로 검토되어야 할 항목이며 유지보수측면에서도 중요시 되고 있다.

차륜담면형상은 그 형상특성에 의한 구분으로 원추형과 원호형으로 구분되며 국내에서 적용되고 있는 차륜담면 형상은 원추형으로 1/40담면, 1/20담면이 있으며, 원호형으로 1/20heumann담면이 적용되고 있다. 그러나 이러한 차륜담면형상의 국내 배경을 살펴보면 대부분 해외 차량의 국내 도입시에 차량의 고속주행성능에 초점을 맞추어 도입된 차륜담면 형상으로서 곡선비중이 많은 국내 선형특성과의 연관관계 검토가 미흡한 면이 있다. 따라서 일부 차량의 담면은 국내선형과의 적응성 미흡으로 과도한 플랜지마모를 초래하게 되며, 이는 차량의 차량 동적성능 측면에선 진동 및 승차감 악화와 같은 문제를 유발하고, 차량의 유지보수측면에선 차륜담면 원형재생을 위한 차륜의 삭정량 과대, 그로인한 차륜수명 단축, 차륜조기 교체, 삭정비용 증가등의 문제를 유발하고 있다.

따라서, 차량이 운용될 선형에 적합한 차륜담면 적용은 차륜의 손상 예방 및 그로인한 유지보수비 절감측면에서 효율적인 방안이라 할 수 있다. 일례로 일본, 캐나다, 미국, 유럽등에선 각 국의 선형 및 차량특성에 적합한 차륜담면형상을 개발하여 차륜의 마모저감을 통한 경제적 차륜관리로 유지보수비용 절감에 기여하고 있다. 따라서, 본 연구는 국내 실정에 적합한 경제적 차륜담면 관리기술 개발을

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\* 한국철도기술연구원 위촉연구원, 비회원

목적으로 국내에서 적용중인 차륜담면에 대한 마모특성을 분석하였다. 차륜마모특성 분석을 위한 실험적 연구가 수행되었으며 여객차량용 차륜담면을 중심으로 연구결과 일부를 소개한다.

## 2. 국내 차륜담면형상 특성

차륜담면형상은 그 담면형상의 특성에 따라 원추형(conical) 및 원호형(arc) 담면형상으로 구분한다. 원추형 담면형상은 담면구배가 주로 1/20구배 및 1/40구배로서 이러한 경사담면 차량은 차량의 1차 현가계특성에 따라 그 특성이 다르지만 일반적으로 직선구간에서 차량의 고속주행시 사행동에 대한 주행안전성은 우수하지만 곡선구간 주행에 대해서는 차륜플랜지의 2점접촉을 유발하여 차륜횡압의 증가를 초래하여 안전성, 차륜/레일의 손상측면에서 문제점을 내포하고 있다.

국내 기존선에서 적용중인 철도차량의 차륜담면은 표1와 같이 원추형 1/40담면, 1/20담면, 원호형 1/20heumann담면 3종류가 있다. 1/40담면은 객차, 새마을동차, 디젤기관차, 전기기관차에, 1/20담면은 화차, 기관차에 적용되고 있으며, 1/20heumann담면은 객차, 전동차에 적용되고 있다.

이러한 원추형담면의 문제점을 개선하기 위해선 차륜의 담면구배를 크게하는 것이 효과적이지만 이는 역으로 차량의 고속주행성능을 저하시키게 한다. 이 양자의 상충되는 특성을 양립할 목적으로 원호형 차륜담면형상이 개발되었다.

표1 철도청 차륜담면형상

차종	직경(mm)	담면형상
객차	860	1/40, 1/20heumann
화차	860	1/20
새마을동차	914	1/40
디젤기관차	1,016	1/40, 1/20
전기기관차	1,250	1/40, 1/20
전동차	860	1/40, 1/20heumann

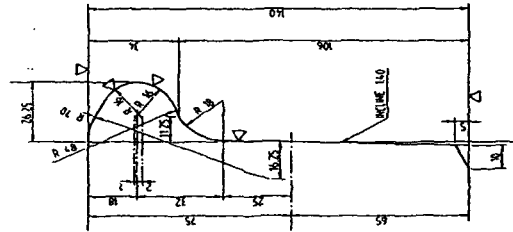


Fig.1 객차용 1/40담면형상

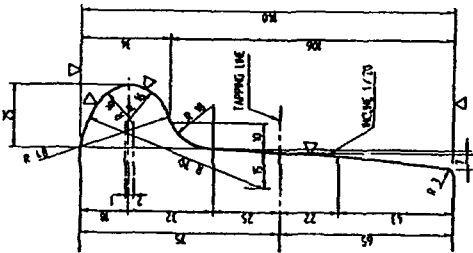


Fig.2 화차용 1/20담면형상

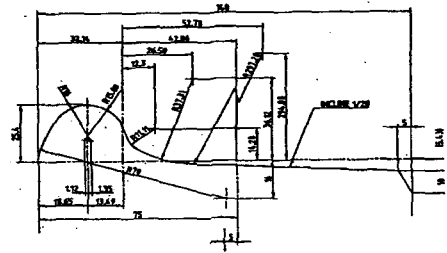


Fig.3 원호형 1/20heumann담면형상

## 3. 차륜마모특성 분석

국내 기존선 차륜담면형상의 차륜마모특성 분석을 위하여 실차시험을 수행하였다. 차량은 국내에서 대표적으로 운용되고 있는 여객차량을 대상으로 하였으며, 주행거리에 따른 차륜담면 형상변화특성을 분석하였다. 차륜의 마모는 차량의 검수상태 및 시험운용조건에 의한 영향이 크므로 객관적 시험데이터 확보를 위하여 시험차량의 정상적 운용이 가능한 원형정비 조건으로 검수완료토록 하였으며, 차륜담면의 형상 또한 시험조건별로 도면에 부합하게 작성하였

표2 시험차량 운용현황

구분	차호	시험차량	대차	담면	주운용선로
3	11527	무궁화객차	NT21	1/40	경부선
4	12112	"	"	1/20h	
5	10131	"	KT23	1/40	
6	10122	"	KT23	1/20h	

다. 표2는 시험조건별 차륜마모특성 분석을 위하여 설정된 시험조건으로 시험차호에 따른 대차, 차륜담면, 주운용선로를 나타낸다.

시험차량은 시험차량 운용선로인 경부선에서 운용되었으며 차륜 마모패턴분석을 위하여 차륜의 형상과 주요 치수를 주기적으로 계측하였다.

차륜형상별 마모패턴 분석을 위하여 차륜형상관련 인자인 플랜지두께, 플랜지경사각, 유효담면계수를 구하였고 시험차종별로 평균값을 취하여 비교하였다.

□ 플랜지 마모량 변화

시험차량의 차륜마모 데이터의 타당성을 파악하기 위하여 동일 조건에서 운용중인 차량을 대상으로 마모 데이터를 비교하였다. Fig.4는 원추형 1/40담면의 마모형상을 나타내며 Fig.5는 원호형 1/20h담면의 마모형태를 나타낸다.

Fig.6은 주행거리에 따른 플랜지두께 변화를 나타낸 선도이다. 원추형 담면은 주행거리에 따라 마모량이 증가하여 플랜지두께 변화가 급속히 증가하고 있다. 반면 원호형담면은 100,000km까지는 플랜지마모가 미미하며 그 이후 부터는 원추형담면과 유사한 경향으로 증가함을 알 수 있다. 또한 대차형식에 따라 다소 차이가 있기는 하나 주행거리에 따른 마모변화는 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

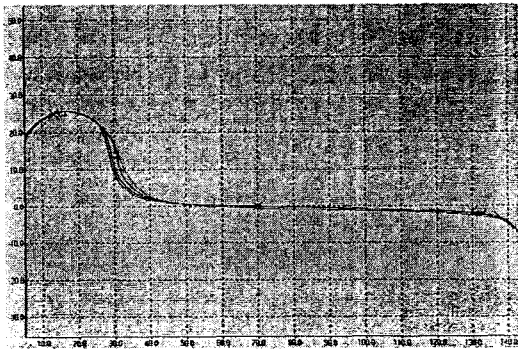


Fig.4 원추형 1/40담면 마모유형

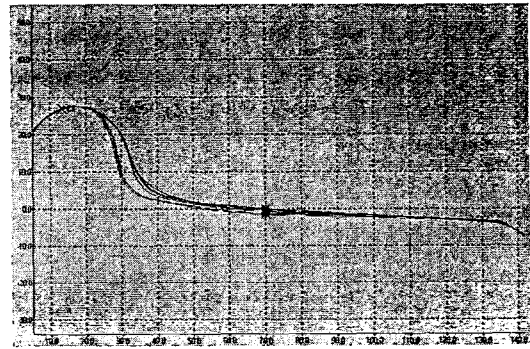


Fig.5 원호형 1/20h담면 마모유형

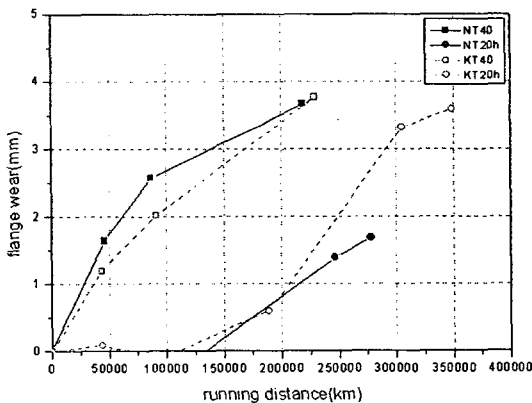


Fig.6 주행거리에 따른 플랜지두께 변화

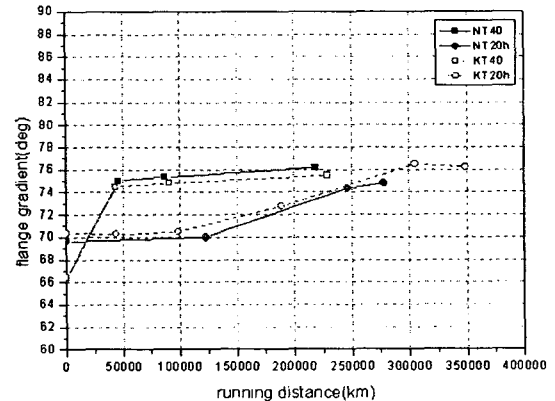


Fig.7 주행거리에 따른 플랜지경사각 변화

□ 플랜지 경사각 변화

주행거리에 따른 플랜지경사각 변화는 차륜의 직립마모현상을 나타냄을 의미한다. 원추형담면이 플랜지두께 변화추이에서와 같이 플랜지경사각도 주행거리에 따라 급격히 변화하고 있음을 알 수 있다. 50,000km 주행시 원호형담면의 경사각은 거의 변화가 없음을 반하여 원추형담면은 66° 에서 75° 로

급격히 변화하고 있다. 원호형담면의 경사각은 플랜지두께 변화와 같이 약 100,000km 주행시 이후부터 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다.

□ 유효담면구배(Equivalent Conicity) 변화

차륜과 레일간의 interface 관련하여 기하학적으로 차륜 및 레일의 형상에 영향을 받는 인자로 차륜의 임계속도와 관련된 유효담면구배(Equivalent Conicity,  $\lambda_e$ )를 들 수 있다.

$$\lambda_e = \frac{1}{2} \int \frac{N(y)(r_R - r_L)}{y} dy \dots \dots \dots (1)$$

여기서, N(y) : Weighting Function(Normal distribution)

$r_R - r_L$ : Rolling Radius Difference(mm)

y : Lateral Shift(mm)

유효담면구배는 식(1)과 같이 표현되며 플랜지 접촉이 발생하지 않는 범위에서 윤축의 횡방향 변위에 대한 접촉점에서의 좌우반경변화율로서 정의된다. 차륜과 레일의 접촉빈도에 따라 Weighting function이 부가되며 Weighting function은 차륜/레일간의 접촉점 빈도로 통상적으로 정규분포를 따른다는 가정하에 플랜지접촉이 발생하지 않는 영역에서 일차함수로 선형화하여 구한다. 일반적으로 트랙게이지가 작을수록, 레일기울기를 크게 할수록, 차륜 플랜지목부를 보강할수록, 차륜과 레일의 접촉반경을 부합함에 따라 유효담면구배는 증가한다고 보고되고 있다.

본 해석에선 레일은 50kgN 원호레일을 기준으로 차륜의 마모형상 변화에 따라 유효담면구배를 구하였다. 또한 정규분포함수 N(y)의 평균  $m=0$ , 표준편차  $\sigma=2.5$ 로하여  $2\sigma$ 의 범위까지 산정하였다. Fig.8~9는 윤축 횡변위에 대한 반경차 변화, 이에 대한 유효담면구배를 산정한 예이다.

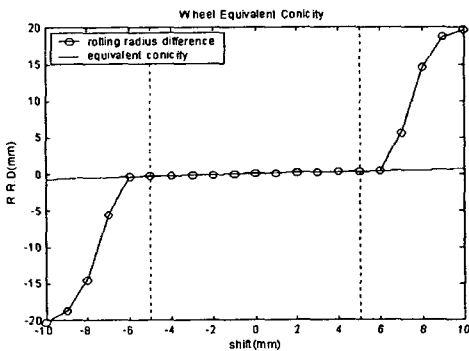


Fig.8 1/40담면 유효담면구배 산정 예

Fig.10은 주행거리 변화에 따른 각 차륜의 유효담면구배 변화의 평균치를 나타낸 선도이다. 그림에서와 같이 원호형담면은 주행거리에 따라 유효담면구배가 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있으나 약 200,000km 주행시에도 0.1 이내로 나타나고 있다. 반면 원호형담면은 초기 유효담면구배가 약 0.4정도로 크게 나타나고 있으나 주행거리 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다.

이는 유효담면구배를 작게 설정함으로써 고속주행에 적합하도록 설계된 원호형담면 특성과 초기 유효담면구배를 크게 설정함으로써 곡선주행에 적합하도록 설계된 원호형담면 특성을 잘 반영한 결과라 할 수 있다. 따라서, 국내 기존선 적용 차륜담면의 유효담면구배의 변화는 최대 0.4 이내로 나

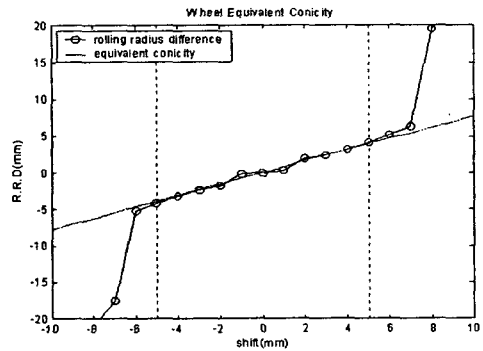


Fig.10 1/20h담면 유효담면구배 산정 예

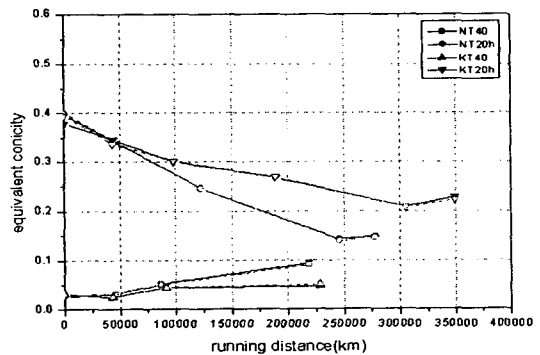


Fig.9 주행거리에 따른 유효담면구배 변화

Fig.9 주행거리에 따른 유효담면구배 변화는 최대 0.4 이내로 나

타고 있음을 알 수 있으며, 국내 기존선 운용차량의 영업최고속도가 140km/h임을 고려할 때 사행동 유발과 관련된 임계속도에 대한 영향은 기존선 영업속도 범위에서는 관련이 적다고 사료된다.

또한 차륜 검수주기 측면에서 볼 때, 원추형답면은 1년 약 250,000km 주행시 과도한 플랜지 마모로 1년 단위의 정기검수 기간에 차륜삭정이 요할 것으로 사료되며, 반면 원호형답면은 플랜지마모 진전속도가 미미하여 1년 정기검수시에도 차륜플랜지마모에 의한 삭정은 생략이 가능할 것으로 사료된다. 따라서, 검수측면에서 보면 차량주행성능에 영향을 미치지 않는 범위내에서 국내선형엔 원호형답면이 적합하다고 사료되며, 이는 차륜손상 예방 및 검수비용 절감 측면에서도 경제적 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

#### 4. 결 론

국내에서 적용중인 철도차량용 차륜의 마모특성 분석을 위하여 운용중인 차륜답면형상을 대상으로 실험적 연구를 수행하였다. 여객차량을 대상으로 한 본 연구에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 원추형답면은 주행거리에 따라 마모량이 증가하여 플랜지두께 변화가 급속히 증가하고 있는 반면 원호형답면은 100,000km까지는 플랜지마모가 미미하고 그 이후 부터는 원추형답면과 유사한 경향으로 증가함을 알 수 있다
- 원호형답면이 원추형답면에 비하여 플랜지 경사각 변화가 완만하게 나타나고 있다.
- 원추형답면은 주행거리에 따라 유효답면구배가 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있으나 약 200,000km 주행시에도 0.1 이내로 나타나고 있다. 반면, 원호형답면은 초기 유효답면구배가 약 0.4 정도로 크게 나타나고 있으나 주행거리 증가에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 국내 기존선 차륜답면의 유효답면구배 변화는 현 기존차량의 영업운전속도 범위내에선 차량의 임계속도에 미치는 영향은 미미할 것으로 사료된다.
- 검수측면에서 보면, 1년 정기검수시 원호형답면이 플랜지마모에 의한 차륜삭정 공정이 생략가능함으로 이는 차륜손상 예방 및 검수비용 절감 측면에서도 경제적 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

따라서, 국내 여객차량을 대상으로 한 본 실험 결과를 토대로 국내 선형에 적합한 원호형 차륜답면형상 적용이 차륜유지보수 측면에서 효율적으로 기대되며, 현 적용중인 차륜형상외에 차량주행성능 및 유지보수성이 우수한 답면형상 개발이 타당할 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Vijay K. Garg, and Rao V. Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems", Academic Press, 1984
2. 일본기계학회편, "鐵道車輛のグイナミクス", 전기차연구회(주), 1996
3. 허현무, 이찬우 외, "NT21대차 운행성능향상 연구", 철도청, 1998
4. 허현무, 이찬우, "무궁화객차의 곡선주행성능 연구", 춘계학술대회논문집, 한국철도학회, 1999
5. K. Sasaki, "Development of wheel tread profile for commuter train", CM2000, 2000
6. 허현무, 이찬우, "철도차량의 차륜마모 저감", 한국철도학회 춘계학술대회, 2000
7. 허현무, 이찬우 외, "차륜답면 최적관리시스템 개발" 철도청, 2002
8. 허현무, 이찬우 외 "여객차량의 차륜플랜지 마모특성 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002
9. 이찬우, 허현무, "KNR 무궁화 객차의 차륜답면형상에 따른 주행특성 연구", 대한기계학회 춘계학술대회, 2002
10. 허현무, 이찬우 외, "여객 차량의 차륜플랜지 마모특성 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002

#### 후 기

본 연구는 철도청 철도기술연구개발사업으로 지원된 "경제적 차륜답면관리기술 개발"과제의 연구 결과의 일부입니다.