

고속철도 차륜의 마모유형에 관한 연구

A Study on the Wheel Wear Pattern of KTX

허현무*
Hur, Hyun-Moo

서정원*
Seo, Jung-won

시승일**
Seo, Sung-il

ABSTRACT

Korea High Speed Railway of which wheels have been excessively worn during the trial operation prior to opening was additionally applied with solid lubricant besides the existing oil lubricant in order to overcome such excessive wear. Therefore, it was shown that wear status has been improved in the test by which railway system including vehicles and tracks was stabilized during a year's commercial operation, comparing to that with excessive wear in the trial operation prior to opening to the public. In this connection, wheel's wear per mileage was analyzed, based on vehicles in service in order to make out the wheel's wear at present, from which the useful data relating to wheel maintenance could be obtained.

1. 서론

원 운행중인 고속철도차량의 차륜담면형상은 동력차, 동력객차에는 1/40담면구배의 GV40담면층 적용하고 있으며 객차에는 1/20담면구배의 XP55담면층 적용하고 있다. 개통전 시운전 기간중 차륜의 과도한 마모현상이 발생하였고 이를 개선하기 위하여 기존의 액상도유기 외에 추가로 고체도유기를 적용하여 운용하고 있다. 그러므로 고속철도차량 운용전 시운전시 과도한 차륜마모가 발생하였던 영업운행전과 1년간의 영업운용에 따라 차량, 궤도등 철도시스템의 안정화가 기대된 현재의 시험에서의 차륜의 마모 현상은 상이하다고 할 수 있다. 따라서, 현재시험에서 고속철도차량의 차륜마모 현상을 파악하기 위하여 영업운용중인 차량을 표본으로 하여 차륜의 마모유형을 분석하였다.

2. 현차 차륜담면형상 측정시험

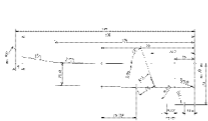
영업운용중인 차량을 대상으로 표1과 같이 5쌍의 차량을 표본으로 하여 차륜의 마모특성을 분석하였다. 각 시험차의 전차륜 92개에 대하여 차륜의 담면형상을 측정하였다. 차륜담면형상 측정은 덴마크 Greenwood Engineering사의 MINIPROF Wheel형상측정기를 사용하였다. 차륜측정센서와 킥뷰터로 구성되어 있으며 최대 0.01mm의 표1 차륜마모 현황 분석을 위한 차륜계측 차량

정밀도를 보유하고 있으며 측정방법은 차륜담면형상 표면의 이분절을 제거하고 측정센서를 플렌지내면에 밀착시켜 고정하고, 조기화시킨 후 플렌지내면부터 차륜담면 끝까지 접촉 밀착하여 측정한다. 그림1은 고속철도차륜 담면형상을 나타내며, 그림2는 차륜담면형상 측정기 측정 사례를 나타낸다.

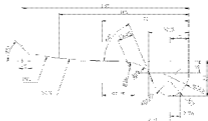
시험차	주운용구간	총주행거리 (km)	비고
1	고속선전용	338,298	-동력차륜: 24개 -부수차륜: 68개
2	"	325,684	-고체도유차륜: 1B, 2A, 3B, 4B, 5B, 7B, 9B,
3	기존선혼용	396,159	15B, 17B, 19B, 20B,
4	"	449,871	21B, 22A, 23B
5	"	327,502	

* 한국철도기술연구원 차량연구팀, 정회원

** 한국철도기술연구원 차량연구팀, 정회원



(a)GV40답면



(b)XI55답면

그림1 고속철도차륜 답면형상

차륜의 마모특성분석은 시험초기에 시험차 검수상태를 동일조건으로 검수하고 전차륜을 원형 답면 형상으로 작성한 후, 동일 운용구간에 일정기간 운용한 후 차륜의 마모형상을 계측하고 분석량을 병 낚처리하여 비교 분석하는 것이 바람직하다. 그러나 현 상태처럼 초기조건 설정이 어려운 영업운용차 량을 대상으로하는 시험조건하에서는 각 시험차의 주행거리가 상이하고 또한 각 차륜의 작성일시가 상이하므로 시험차 전차륜의 작성후 주행거리가 상이하다고 할 수 있다. 따라서 시험차를 대표하는 정량화된 평균적인 수치로 분석하는 방법보다는 주행거 리에 대한 차륜마모형태 변화 추이를 관찰하는 것이 적 합하다고 할 수 있다. 차륜마모형태 변화는 각 차륜의 주 요 치수를 분석하는 방법을 적용하였다. 차륜마모와 관련된 주요치수는 그림3과 같이 차륜의 답면형상 변화 와 관련된 플랜지두께(e), 플랜지높이(H), 플랜지부의 수직마모와 관련된 qR값, 차량주행시 안정성과 관련된 등가담면구배(λ_e , equivalent conicity)를 대상으로 하 여 분석하였다. 등가담면구배 산출은 좌우 차륜답면형상 과 레일간의 기하학적 접촉점 해석을 통하여 다음식과 같이 윤축의 좌우 평면위에 따른 좌우차륜의 직경차 기 율기의 변으로 표현된다.

$$\lambda_e = \frac{(r_L - r_R)}{2y}$$

여기서, y : 윤축의 좌우 평면위(mm)

$r_L - r_R$: 윤축의 평면위에 따른 좌우 차륜반경차(mm)

등가담면구배 산출시 차륜은 측정된 좌우 차 륜답면형상을 대상으로 모델링하였으며 레일은 경과 1/20구배인 선조 UIC60레일의 치수를 일 려데이터로 하였다. 그 외 레일 간 1,435mm, 차륜 내면거리 1,355mm로 하여 차륜/레일간 기하학 적 접촉점 해석을 수행하였고 등가담면구배 산 출시 기울기는 원차량수로 모델링하였다. 그림4 와 그림5는 각 차륜/레일 기하학적 접촉점 분석 사례, 등가담면구배 산출 사례를 나타낸다.

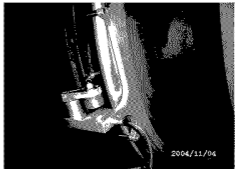


그림2 차륜답면형상측정기 측정 전경

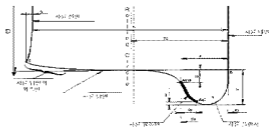


그림3 고속철도용 차륜의 치수 기준



그림4 차분/래일 기하학적 접근법 분석 사례

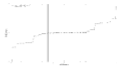


그림5 등가압연구에 따른 사례

3. 차분에도 현황 분석결과

표준차량 전속력을 대상으로 하여 고속선 전용차량과 기존선 혼용차량, 동력차 격용차량(동력차량)과 부속차 격용차량(부속차량), 고체도유기 펌프차량(도유차량)과 펌프차 없는 차분(비도유차량)으로 구분하여 중형기차에 대한 아모늄이온 분석하였다.

(1)고속선 전용차량 대비 기존선 혼용차량 비교

부속용구간이 고속선 서울~동대문간에 집중된 차량(고속선 전용차량)과 부산, 목포까지 기존선을 포함한 고속선도 영업중인 구간간에 운용된 차량(기존선 혼용차량)간의 차분에도 현황을 분석하였다. GV90단면을 적용하고 있는 동력차량의 경우, 그림5과 같이 기존선 혼용차량은 주행거리의 증가에 따라 증편지두에, qR, 등가압연구에는 감소, 증편지두에는 증가하는 정상적인 아모늄이온을 보임에 의하여 고속선 전용차량은 증편지두에, qR이 증가하고 있는 경우의 빈도가 개질을 할 수 있다. 또한 고속선 전용차량의 등가압연구에 분포도 기존선 혼용차량의 등가압연구에 분포에 비하여 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

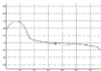


그림6 고속선 전용차량 측정자료 아모늄이상 사례



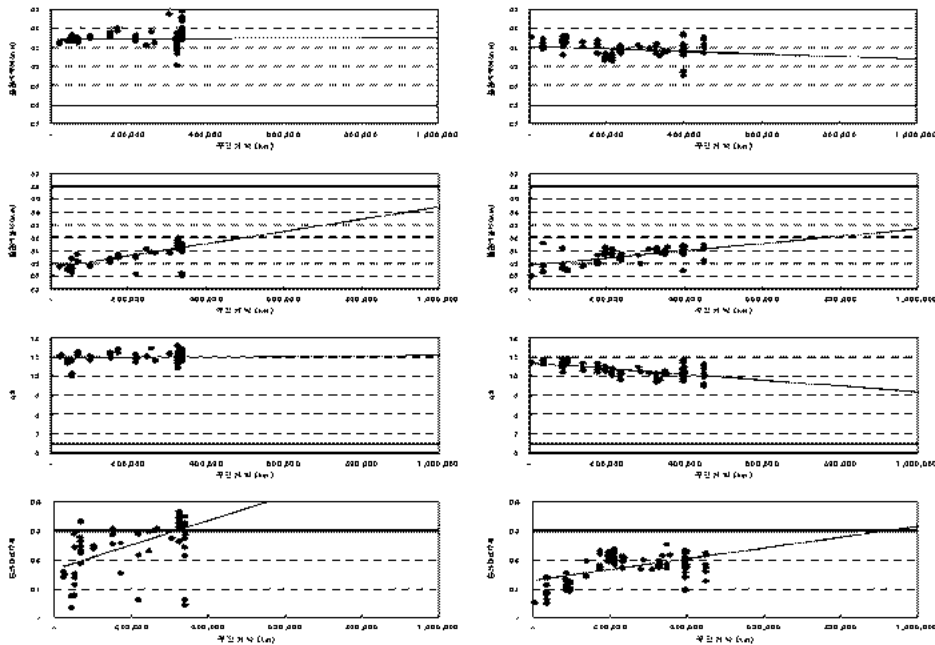
(a)고속선 전용차량 차분

(b)기존선 혼용차량 차분

그림7 고속선전용차량과 기존선혼용차량간의 동력차량 아모늄이온

XP65답면을 적용하고 있는 부수차륜의 경우도 그림8과 같이 동력차륜과 유사한 경향을 나타내어, 고속선 전용차량의 플랜지두께, qR, 등가답면구배 분포가 기존선 혼용차량의 분포에 비하여 크고 산만하게 나타나고 있다. 이는 그림6과 같이 고속선 전용차량에서 측정된 차륜의 마모형상을 살펴보면 답면부의 움푹파인 마모형상을 보이는 hollow 마모형태를 띄고 있다. 이러한 형상은 비정상적인 마모 형태로 답면형상치수 분석시 플랜지두께, qR의 증가를 초래하고 레일과의 기하학적 접촉해석시 윤곽의 형변위에 따른 좌우차륜 구름반경차(rolling radius difference)를 크게하여 등가답면구배가 크게 나타나는 결과를 초래한다. 결국, 등가답면구배 관리측면에서 차륜삭정 시기를 관리한다면 고속선 전용차량의 차륜삭정 주기가 기존선 혼용차량에 비하여 더 단축될 수 있음을 예측할 수 있다.

따라서 차륜답면의 마모형상 측면에서만 보면 기존선 혼용차량의 마모형태가 고속선 전용차량의 마모형태에 비하여 양호한 마모특성을 보이고 있다고 판단된다.



(a)고속선 전용차량 차륜

(b)기존선 혼용차량 차륜

그림8 고속선전용차량과 기존선혼용차량간의 부수차륜 마모특성

(2)기존선 혼용차량 마모특성

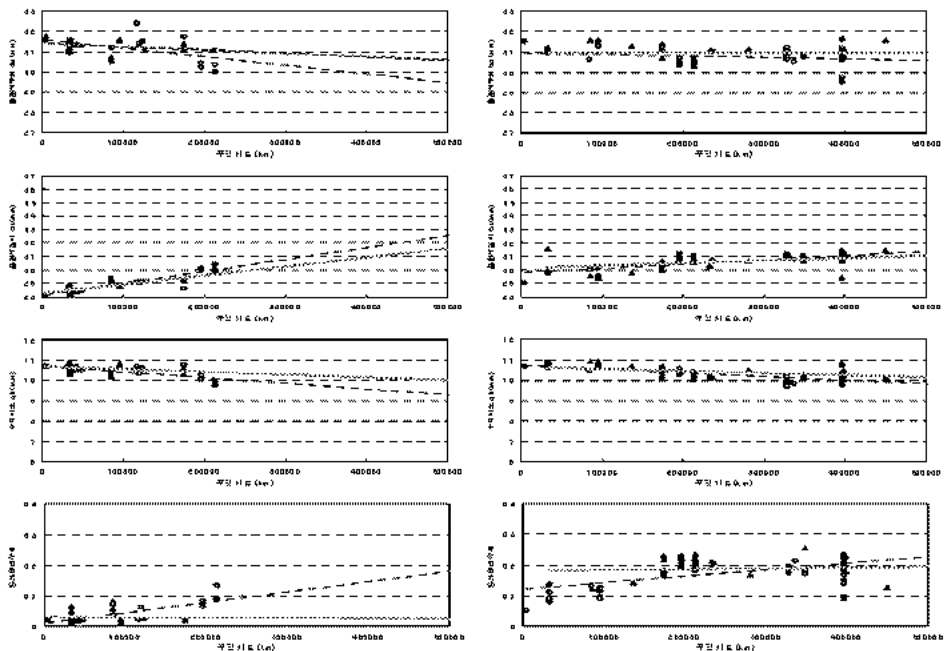
영업선에서 통상적으로 운용되고 있는 차량에 대한 마모현황을 분석하였다. 기존선을 포함한 고속철도 영업운전 전구간에 운용되고 있는 기존선 혼용차량간의 차륜마모 현황을 분석하였다. 그림7(b), 그림8(b)에서와 같이 기존선 혼용차량의 동력차륜과 부수차륜의 주행거리에 따른 마모형태는 정상적인 마모형태를 보이고 있으며 마모량이 미미함을 알 수 있다. 이는 액상도유기 및 교체도유기 혼용, 차량 및 궤도의 안정화등으로 시운전 초기 발생하였던 과도한 마모현상이 크게 개선되었음을 나타낸다.

동력차륜과 부수차륜의 마모현황을 비교하여 보면, 전반적으로 동력차륜의 마모후이가 부수차륜에 비하여 크게 나타나는 경향을 띄고 있다. 이는 차륜의 답면형상, 견인력 및 제동력 작용등 차륜/레일간 하중 작용조건이 상이한 점에서 비롯된 것으로 추정된다. 차륜의 삭정관리측면에서 보면 동력차륜과 부수차륜 모두 최대 450,000km 주행시까지도 차륜의 삭정한도(플랜지두께 28mm, 플랜지높이 36mm, qR 6.5)에 도달하는 데이터는 발생하지 않고 있다. 또한 등가답면구배도 고속철도차량의 통상적인 허용치로 적용하는 0.3을 상회하는 데이터는 발생하지 않았다. 부수차륜의 등가답면구배가 동

력차륜에 비하여 크게 나타나고 있는데, 이는 1/20구배 XP55답면을 적용한 부수차륜의 답면형상특성에 기인한다고 할 수 있다.

고체도유기 취부차륜(도유차륜)과 취부하지 않은 차륜(비도유차륜)과의 마모특성 분석결과는 그림 9와 같다. 플랜지두께, 플랜지높이, qR은 비도유차륜이 도유차륜에 비하여 상대적으로 마모량이 다소 크게 나타나고 있으나 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 등가답면구배는 동력차륜의 경우 도유차륜이 비도유차륜에 비하여 안정적으로 나타나고 있으며 부수차륜의 경우에는 상대적으로 다소 큰 값을 띄는 데이터 빈도가 많음을 알 수 있다. 따라서 고체도유기 적용으로 인하여 인접한 비도유차륜의 마모저감 효과는 있다고 판단되며 1년간의 영업운전으로 인한 레일상의 액상및 고체 도유물질의 관류로 인한 영향도 클 것으로 판단된다.

따라서, 현재까지의 차륜답면형상 측정데이터 분석결과로 볼때, 차륜의 마모로 인한 삭정 유발요인은 현 450,000km 주행시까지지는 발생되지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 현장에서의 차륜 삭정요인을 살펴보아도 박리, 찰상, 진원도 불균형으로 인한 삭정요인이 대부분임이 이를 뒷받침 한다고 할 수 있다. 등가답면구배 관리측면에서 보면 등가답면구배 0.3으로 관리한다고 가정하였을 때, 삭정주기는 500,000km를 상회 할 것으로 추정된다. 좀더 정확한 삭정주기 도출을 위해선 추가적으로 주행거리 증가에 따른 마모유형을 지속적으로 추적할 필요가 있다. 또한, 차륜의 효율적 등가답면관리를 위해선 삭정주기를 제시하기 보다는 등가답면구배 측정 전용장비를 개발하여 현장에 적용하고 기준치를 초과하는 차륜에 대하여 선별적으로 삭정관리함이 효율적일 것으로 판단된다.



(a)동력차륜

(b)부수차륜

그림9 기준선 혼용차량 비도유, 도유차륜 마모특성 비교

(○ : 비도유차륜, ▲:도유차륜)

4. 결론

고속철도차량의 효율적 유지보수를 위하여 영업운용중인 고속철도차량을 대상으로 차량의 마모특성 분석을 위한 실험적 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 차량담면의 마모형상 측면에서만 보면 기존선 혼용차량의 마모형태가 고속선 전용차량의 마모형태에 비하여 양호한 마모특성을 보이고 있다고 판단된다.
- 기존선 혼용차량의 주행거리에 따른 차량마모형태는 정상적인 마모형태를 보이고 있으며 마모량이 미미하였다. 이는 시운전 초기 발생하였던 과도한 마모현상이 크게 개선되었음을 나타내는 결과로 역상도유기 및 고체도유기 혼용, 차량 및 궤도의 안정화등에서 비롯된 것으로 사료된다.
- 고체도유기 적용으로 인하여 인접한 비도유차량의 마모저감 효과는 있다고 판단되며 1년간의 영업운전으로 인한 레일상의 역상 및 고체 도유물질의 잔류로 인한 영향도 클 것으로 판단된다.
- 차량의 마모로 인한 삭정 유발요인은 매우 미미하며, 등가담면관리면에서 적정 삭정주기 도출을 위해선 추가적으로 누적주행거리 증가에 따른 마모유형을 추적할 필요가 있다.

참고문헌

1. Vijay K. Garg, and Rao V. Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems", Academic Press, 1984
2. 허현무, 이찬우, "철도차량의 차량마모 저감", 한국철도학회 춘계학술대회, 2000
3. 허현무, 이찬우 외 "여객차량의 차량플랜지 마모특성 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002
4. 일본기계학회편, "鐵道車輛のグイナミクス", 전기차연구회(주), 1996