

고속철도차륜의 삭정방법과 결과에 관한 연구

A Study on the Methodes and Consequence of Reprofilng on KTX Wheel

안병찬[†]

An, Byoung Chan

Abstract Wheels of KTX have a strength and durability as a rigid body assured the essential performance and Safety. To get long life span, several methods have applied to reprofilng and an efficient management of maintenance. In this study, a gradient of flange measured by improved scheme of an additional cutting, excessive cutting and the time of cutting. Reprofilng characteristics to be derived from cutting process of KTX were compared and analysed by a criteria of cutting examples according to position of axel, depth of crack, and brake shoe manufacturer. The result of this research can be used to figure out the unstability of wheels while they are cut, and can be utilized for basic data of developing reliability of reprofilng by suppling main variables and cutting methods which are influenced to removal rate of wheel cutting.

Keywords : Flange gradient, Wear size, Cutting size, Wheel clack, Brake shoe

초 특 고속철도차륜은 강체로 강도와 내구성을 갖추고 본래의 성능과 안전성을 보장하며, 수명을 늘리기 위해 효율적인 유지관리 및 삭정에 관한 여러가지 방법들이 적용되고 있다. 본 연구에서는 추가삭정, 과도삭정, 삭정시간 개선을 위한 방법으로 차륜의 플렌지 기울기를 측정하였고, 고속철도 차륜삭정 과정에서 도출된 삭정유형을 플렌지마모, 축의 위치, 균열깊이, 제륜자제작사 등에 따라 삭정사례를 중심으로 비교 분석하였다. 이러한 결과는 철도차륜의 이상상태를 삭정 과정에서 파악할 수 있고, 삭정량에 영향을 미칠 수 있는 주요변수와 삭정방법을 미리 제공하여 삭정 신뢰도를 향상시키는 기초 자료로 활용할 수 있다.

주요어 : 플렌지기울기, 마모직경, 삭정직경, 차륜균열, 제륜자

1. 서 론

고속철도차량의 차륜은 충분한 강도, 내구성, 탈선예방, 주행성, 승차감과 같은 본래의 성능과 안전성을 어떠한 경우에도 보장하는 견고함과 유지보수의 용이성을 가져야 한다. 또 구름운동중 접촉부에 발생한 외력과 온도에 의해 마모 균열 등의 결함이 생성되므로 보수주기과 가용성을 고려한 경제적인 삭정이 필수적이다. 아울러 삭정과정 에서는 철도차량의 이상 상태를 파악 하는 것도 요구된다. 그 예로 근래에 대두 되었던 합성제륜자 하자에 의한

† 교신저자: 한국철도공사 연구원 품질인증센터 anbchan@korail.com

차륜손상, 차륜 플렌지 접촉면의 급격한 마모, 동력차륜에 발생 하고 있는 균열 등을 살펴 볼 필요성이 있다. 이러한 불량은 차륜결합과 연관되므로 삭정과정 중 가공조건을 현저하게 악화시켜 재가공에 의한 시간 증가, 경우에 따라서는 돌발적인 이상이 장기간 지속되므로 과도절삭에 의한 손실을 발생시키고 있다. 그러므로 삭정자가 결합 유형에 따라 삭정방안을 찾고 이상 상태의 발생여부를 확인할 수 있는 기준을 마련하는 것도 매우 중요한 관심사항이다. 따라서 본 연구는 2010~2014년도 고속철도의 유지보수 과정에서 발생한 차륜 활동면 마모, 제륜자 국산화 과정에서 발생한 차륜손상을 포함한 삭정사례를 중심으로 삭정의 기초 자료를 도출 하는데 목적이 있다. 또한 차륜의 플렌지 기울기를 측정 하여 가공의 신뢰성을 개선 하고자 차륜마모측정게이지를 고안 하였으며, 대차, 축위치, 운행기간, 플렌지 기울기, 제륜자의 제작자 차이에 따라 삭정 결과를 비교분석 하였다. [1,2,3,4]

2. 본 론

2.1 삭정방법

차륜삭정에 있어 절삭깊이를 결정하고 삭정시간과 밀접한 관계가 있는 원인을 보면 마모와 균열로 구분할 수 있다. 여기서 마모는 접촉점이 마찰에 의해 닳아서 없어지는 현상이고, 균열은 접촉부인 차륜립부에 열적, 기계적 응력과 같은 요인에 의해 박리, 찰상등의 결함과 복합적으로 발생하는 손상이다. 삭정은 손상부를 완전히 제거하며 본래의 형상으로 가공하는 것으로, 특히 플렌지 접촉면의 기울기와 차축방향의 균열 깊이는 모든 삭정의 최종적인 절삭깊이를 결정하는 요소이다. 효율을 높이는 삭정방법은 시간을 줄이는 것인데 결국은 얼마나 빠르고 정확하게 최초절삭깊이를 결정하여 적은 삭정횟수로 완성 하는가 이다. 종래의 삭정방법은 차륜전삭기에서 제시하는 목표직경, 경험치, 삭정직경 4mm 등을 검토하여 최대 절삭 가능직경인 8mm 내에서 최초삭정직경을 선정한다. 이때 CNC전삭기는 차륜의 마모 형상을 프로브로 스캔하고 직경을 측정한 후 목표직경을 제시하는 방식이다. [5] 이것은 형상을 원형으로 복원시에는 유효하나, 측정환경변화, 기계적 이상동작 일 경우 또는 균열을 제거하기 위한 삭정시에는 정확한 절삭 깊이를 알 수가 없으므로 과도삭정과 재삭정에 의한 손실 발생 우려가 상존하고 있다. 따라서 본 연구에서는 삭정 요인을 구분하기 위해 플렌지 접촉면 기울기를 삭정 시작전에 측정하여 최초절삭깊이를 우선적으로 알아내었고 삭정방법을 구분함으로써 정확성과 삭정시간을 개선하고자 하였다. 균열제거 삭정은 주로 동력대차에서 시행되었는데 3년간의 삭정 자료를 분석 축위치별 평균 삭정직경, 마모직경을 조사하여 그룹화하였으며, 그룹에 따라 삭정직경을 다르게 적용하였다.

$$WD = AD - FD \quad (1)$$

식(1)의 WD는 마모직경, AD는 삭정후직경, FD는 다음 삭정전직경을 나타낸다. 또 마모에 의한 삭정은 검수 측정치, 기울기 측정치, 전삭기 측정치를 비교 하여 삭정원인이 마모로 판별 될 때 기울기에 의해 계산된 절삭깊이를 반영하였다. 절삭깊이는 차륜마모측정게이지 Fig. 1를 고안하여 기울기를 측정한 후 식(2)에 의해 계산하였으며, 여기서 A는 기울기 L은 상부가로이동자 측정값(본래의 플렌지 두께 측정점과 동일하며 측정된 두께), S는 하부가로이동자 측정값(L점의 12mm 아래 측정된 두께)이다.

$$A = (L - S) / 12 \quad (2)$$

이렇게 구해진 기울기를 식(3)에 대입하고 절삭깊이 H를 산출하였다. [6]

$$H = \{(D - L) / A\} - (H1 - H2) \quad (3)$$

식(3)에서 H는 절삭깊이, D는 본래의 플렌지 두께, H1은 측정된 플렌지 높이, H2는 본래의 플렌지 높이를 나타내며 2배의 H는 절삭해야 할 최소의 삭정직경을 의미한다. 삭정순서는 마모 또는 균열을 구분한 후 측정된 삭정전직경에서 삭정해야 할 최소삭정직경을 빼주면 최소삭정직경을 얻을 수 있다. 그 다음 대체적으로 1차 플렌지 높이를 삭정하고 2차로 답면을 삭정하였으며, 3차로 림부 전면을 삭정 하였다. 이것은 삭정시간을 줄이고 치수 안정성을 높일 수 있는 방법이다. 칩(chip)의 형태는 열응력의 영향을 많이 받은 차륜은 열단, 탄화된 칩이 발생하고 재질 조직이 변화된 부분을 제거할 수록 전단, 연동칩이 삭정조건에 따라 발생한다. 따라서 가급적 연동칩의 형태를 유지하며 색상은 차륜 본래의 색이 생성될 수 있는 방향으로 삭정조건을 선택하였다. 또 수도권철도차량정비단에 삭정 의뢰되었던 2종의 제작사가 다른 재륜자를 장착한 차륜을 위와 같은 방법으로 삭정하여 결과를 비교하였다.

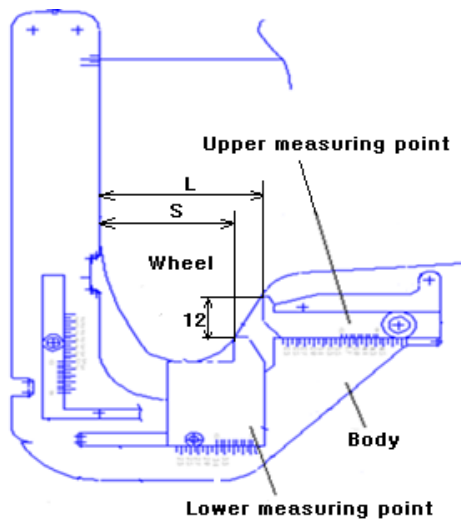


Fig. 1. Wheel wear measurement gauge.

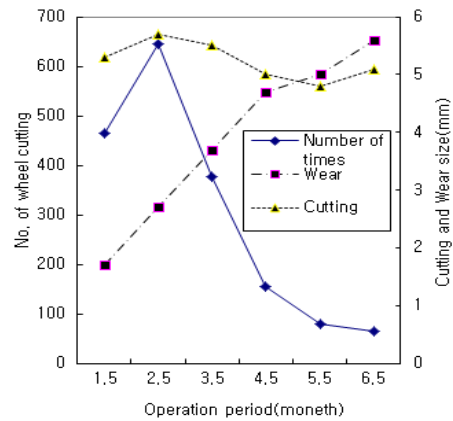


Fig. 2. Number of wheel cutting and cutting size and wear size vs. operation period.

2.2 삭정결과분석

2.2.1 운행기간과 삭정직경

KTX 1편성은 46개의 차축으로 구성되는데 동력대차축은 12개, 객차대차축은 34개로 편성되어 있고, 분석기간의 차륜삭정 분포를 대차축별로 보면 동력대차56%, 객차대차 44%를 삭정하였으며 연간 삭정횟수는 동력대차는 3.5회, 객차대차는 1회를 삭정하여 동력축 차륜이 객차축보다 약 3배 이상 삭정횟수가 더 많았다. (자료출처 KOVIS운영시스템) Fig. 2는 동력대차축의 운행기간에 따라 삭정횟수, 마모직경, 삭정직경을 나타낸 평균결과이다. 운행기간 1개월은 약 4만km이며 전체삭정 1800회중 62%가 3개월 이내에 재삭정되는 것을 보여주고 있다. 평균적으로 삭정주기는 3.4개월이고 림부의 내측에서 70mm지점의 직경감소 즉 답면의 마모직경은 3mm, 삭정직경은 5.4mm로 삭정에 의한 손실이 마모에 의한 것보다 1.8배 더 많은 것을 알 수 있다. 특히 운행기간이 짧은 것과 6개월 이상 장기간 사용된 차륜을 비교해 보면 마모직경은 1개월

에 약1mm 정도로 일정하게 증가하고 있으나 삭정직경은 불규칙적이며 오히려 사용기간이 길어질수록 다소 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 동력대차이며 답면제동이 시행되는 차륜은 일정한 운행기간 보다는 돌발적인 차륜결함에 따라 삭정이 이루어지고 있음을 의미한다.

2.2.2 플렌지 마모삭정

Fig. 3은 2013년 하반기 이후 집중발생한 플렌지 접촉면 직립마모 차륜을 삭정한 것으로 Fig. 1의 차륜마모측정계이치를 활용한 결과이다. 동력 및 객차대차의 차륜에서 플렌지의 두께를 본래 두께인 31.5mm 또는 30.5mm로 삭정할 경우 마모된 플렌지 두께에 따라 가공해야 되는 삭정직경을 나타낸 것이다. 동력대차의 경우 평균 삭정직경은 5.4mm이고 객차대차의 경우는 전체 답면에 마모 이외 찰상과 같은 특정한 결함이 없다면 최소 2.1mm까지 가능하다. 그러나 상기 기간내에 발생한 이상마모는 기울기에 따라 삭정직경이 차이가 있었으며, 기울기는 평균 0.43으로 플렌지 두께의 마모가 25.5mm까지 진행된 경우 31.5mm로 증가시키기 위해서는 28.7mm를 삭정하였다. 또 동력대차의 경우도 삭정횟수가 약3배 이상 증가하였으나 Fig. 3의 기울기를 활용함으로 삭정시간을 단축할 수 있었다. 결과적으로 식(3)에 의해 삭정직경을 알면 삭정방법을 쉽게 선정할 수 있고 재삭정, 과도삭정에 안정적으로 대비할 수 있다.

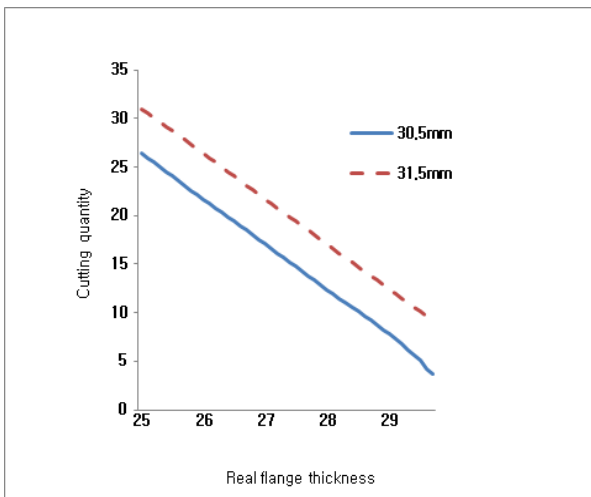


Fig. 3. Cutting quantity vs. real flange thickness

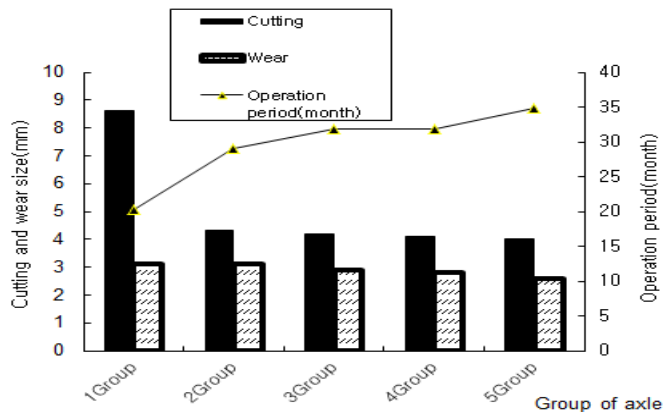


Fig. 4. Group of axil vs. operation period and cutting and wear size.

2.2.3 그룹별 삭정직경

Fig. 4는 동력대차에 장착된 12개축의 삭정결과로 축위치에 따른 삭정직경, 마모직경, 수명과의 관계를 나타낸 것이다. 삭정직경과 마모직경이 같은 유형을 5개 그룹으로 구분화하여 그룹별 평균을 도시하였으며 1그룹의 삭정직경은 8.6mm, 5그룹은 4.0mm로 1그룹이 215%로 더 삭정하였다. 마모직경은 1그룹 3.1mm, 5그룹 2.6mm로 1그룹이 119% 더 많이 마모되는 것으로 나타났다. 차륜수명은 5그룹이 1그룹에 비해 1.7배 길었는데 특히 1그룹의 수명이 짧은 이유는 열차의 진행방향에서 가장 앞쪽에 위치하고 있는 것이 주요인으로

보여진다. 통상적으로 마모 이외의 삭정사유라면, 모든 동력축의 최초 삭정직경을 4mm 이상으로 적용하고 있으나, Fig. 4의 마모와 삭정직경 차이만큼 최초삭정직경에 편차를 두는 것도 필요하다고 본다. 즉 축의 위치에 따라 마모직경 삭정직경의 차이는 결합의 정도가 다르다는 의미로 볼 수 있다. 따라서 최초삭정직경을 그룹별로 결합특성에 맞게 5그룹은 3.2mm ~ 1그룹은 4.0mm까지 적용한 결과 육안으로 확인되는 삭정 품질의 차이는 없었으며, 삭정손실은 개선이 가능하였다.

2.2.4 직경감소와 삭정직경

Fig. 5는 동력대차 12개축의 삭정결과로 앞서서와 동일한 방법으로 삭정한 결과이며 차륜직경 감소에 따른 삭정직경, 마모직경의 평균값을 도시한 것이다. 직경이 감소할 수록 상대적으로 마모직경은 증가하였는데, 직경이 10mm 감소할 때 마모직경은 0.1mm씩 증가 하여 감소하였고, 삭정직경은 약919mm에서 4.8mm, 그 이하는 직경 883mm까지 5.5mm정도로 일정하다가 873mm 이하 에서는 6mm로 증가하였다. 삭정직경 평균은 5.4mm이며 차륜직경이 10mm씩 감소할때 919mm이하 에서는 동일하게 0.7mm씩 더 삭정하고 873mm이하 에서는 1.2mm로 증가한 것으로 나타났다. 이와 같이 차륜직경이 감소하는데 따라 마모직경은 일정하게 증가하고, 삭정직경은 교환한도에 근접할수록 평균적으로 증가한 이유는 직경이 작아질수록 답면 마모뿐만 아니라 플렌지 활동면 마모가 영향을 미친것으로 판단된다.

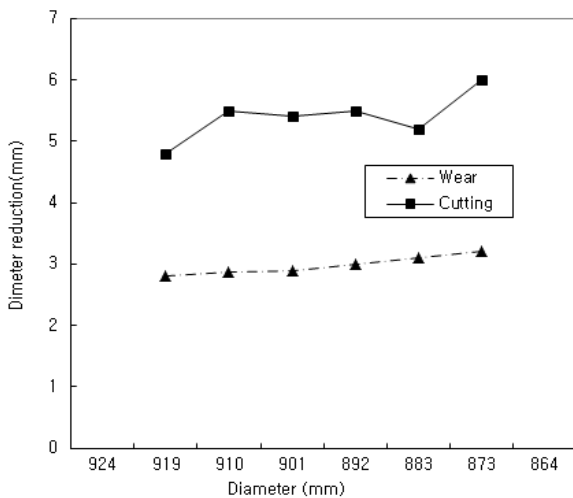


Fig. 5. Diameter reduction quantity.

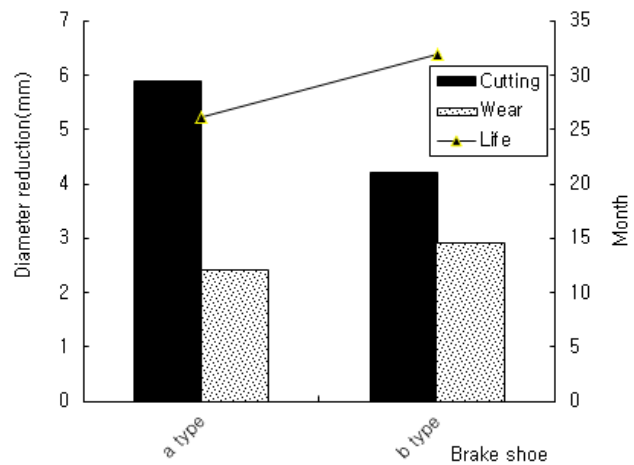


Fig. 6. Diameter reduction quantity vs. brake shoe.

2.2.5 제륜자영향

Fig. 6은 제작사가 다른 2종류의 제륜자를 Fig. 4의 가변성이 큰 1그룹을 제외한 나머지 동력 차륜에 대하여 삭정후 삭정직경과 마모직경의 평균값 차이와 수명을 나타낸 것이다. a형이 b형에 비해 1회 삭정시 삭정직경은 평균 1.7mm 많고 마모직경은 0.5mm 작으며, 평균수명이 5.8개월 단축되어 18%가 더 손실되는 것을 보여주고 있다. 동일 차축에 a형과 b형이 상반되게 장착된 경우에도 양차륜 직경차 0.3mm 이내를 충족하기 위해 대부분 결합이 심한 a형이 장착

된 차륜에 기준하여 삭정을 한 결과이다. 이와 같은 제륜자 영향으로 차륜 손상을 방지하고 성능이 향상된 합성제륜자를 적용하게 개선 되었으며, 특히 삭정과정에서 나타난 이상상태는 a형의 삭정시간이 20% 정도 늘었고, 절삭공구와 차륜과의 접촉면에 발생하는 불꽃, 과열, 소음, 진동에 의해 절삭공구 파손이 증가하였다.

3. 결 론

이상의 고속철도차륜 삭정결과 분석을 종합하면 다음과 같다.

1. 동력대차이며 답면제동이 시행되는 동력차륜의 삭정은 운행기간 보다 돌발적인 결함에 따라 삭정이 시행되고 있다.
2. 플렌지의 이상마모 삭정시 기울기를 알면 삭정방법의 선택이 용이하고 재삭정, 과도삭정에 대해 안정적으로 대비할 수 있다.
3. 동력차륜의 최초삭정직경을 축의 위치에 따라 다르게 적용하여도 육안으로 확인된 삭정 품질에는 차이가 없고, 삭정손실은 개선되었으며, 금속 내부의 변화는 연구가 필요한 것으로 보인다.
4. 동력차륜은 직경이 감소하여 교환 한도에 근접할수록 마모직경과 삭정직경이 증가한다.
5. 제륜자의 이상상태에 따라 차륜수명의 단축과 삭정 중 기계가공성을 악화시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Baek,Jong-Gil, Gu,Byeong-Choon, koo,Jeong-Seo(2011)Failure Mode Analysis and Friction Material Development of the KTX Tred Brake Journal of the Korean Society for Railway Vol.14, No.2, pp.109-115
- [2] Hur,Hyun-Moo, You,Won-Hee(2005)A Study on the Wear Characteristics of Wheel Profile for High Speed Rolling-Stock Journal of the Korean Society for Railway Vol.8, No.5, pp.477-482
- [3] Kazuyuki Handa, Kazunnari Makino, Hisanori Nishimori, Takanori Obara, etc.(2010)Experimental Reproduction and Generation Condition of Wheel Tread Thermal Cracks, RTRI, Report, Vol.24, No.8, pp.35-40
- [4] An, Chun-Kun, Won, Si-Tae, Kim, Won-Kyong A Study on the Wheel Wear of Electric Locomotive on the Main Conventional Line Journal of the Korean Society 2013.11, 309-315 (7 pages)
- [5] Underfloor Wheel Lathe Operating/Maintenance Manual(Type:106 D CNC, Hegensheidt-MFD GmbH & Co,Kg)
- [6] An,Byoung-Chan, Kim,Jang-Hwei(2014)Wheel Wear Measurement Gauge, Korea, Publicized Utility Model, 20-2014-0000102