

차륜 경계영역에서 접촉위치에 따른 기계적 특성 변화 Mechanical behavior based on contact position in wheel -rail interface

*권석진¹, 서정원¹, 이동형¹, 나성훈¹

*S. J. Kwon(sjkwon@krii.re.kr)¹, J.W.Seo¹, D.H.Lee¹, S.H.Na¹

¹ 한국철도기술연구원 차륜궤도연구실

Key words : Railway wheel, Wheel tread, Replication test, Wheel-rail interface

1. 서론

철도차량의 주행 장치의 핵심부품인 차륜의 특성변화는 승객의 안전성과 정비에 따른 경제성 측면에서 매우 중요한 역할을 지니고 있다. 손상된 차륜은 주행 중의 승차감 악화와 유지보수 비용의 증가로 이어질 수 있기 때문에 차륜-레일의 경계영역에서 열기계적 거동 변화에 대한 분석은 대단히 중요하다고 할 수 있다.

차륜에서의 피로균열 발생과 그로부터 파생되는 균열성장은 레일과의 구름접촉피로(rolling contact fatigue)와 제동 마찰열에 의한 열응력(thermal stress)에 의하여 발생한다. 철도 차륜에서 일반적으로 발생하는 박리(shelling)는 답면에 발생한 열균열 또는 열경화 균열이 주행 중의 응력에 따라 진전하여 인접한 균열에 겹쳐진 부분이 탈락 또는 분리되는 손상이다. 열경화에서 박리에 도달하는 과정은 열경화층 대부분의 중앙에 처음 작은 균열이 발생하는 경우가 많다. 이 균열은 열경화층의 깊이와 동등하거나 보다 약간 깊게 진행된다.

본 연구에서는 차륜-레일과의 접촉위치에 따른 차륜답면부의 기계적 성질과 손상에 대하여 분석을 실시하였다.

2. 실험방법

시험편은 실제 운용중인 차륜 답면부에서 채취하였으며 기계적 성질에 대한 시험은 인장시험, 샤르피 충격 시험, 경도시험에 대하여 실시하였고, 차륜 재질의 저온에서의 충격 특성을 분석하기 위하여 샤르피 충격 시험에 대하여는 -20℃에서 시험을 실시하였다. 또한 차륜답면부에 대하여 접촉위치에 따라 비파괴 조직검사인 레플리 카 검사(replication test)를 실시하여 접촉위치에 따라 손상패턴이 어떻게 변화하는 지를 분석하였다.

시험편은 차륜 플랜지를 기점으로 플랜지 경계부(WF), 답면 중앙부(WC), 답면 립부(WR)로 구분하여 시험편을 제작하여 기계적 거동에 대한 실험을 실시하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 차륜 실물시험편의 화학적 성분을 나타낸 것이고 Table 2는 KS에서 규정하고 있는 차륜의 기계적 성질에 대한 기준치를 외국 규격(NF)과 비교하여 나타낸 것이다.

Table 1 Chemical compositions

C	Mn	Si	P	S	Cu
0.606	0.72	0.37	0.006	-	0.02

Table 2 Standard of railway wheel

호칭 기호	인장시험			경도 시험 (HB)	충격 시험 (J)
	인장강도 MPa	연신율 (%)	단면수축율 (%)		
SSW1 (KS)	833-960	14 이상	28 이상	248-285	20 이상
R7 (NF)	820 이상	14 이상	-	255-285	15 이상

3. 실험결과 및 고찰

3-1 인장시험

접촉위치에 대한 시험 인장시험을 실시하여 항복강도, 인장강도, 단면 수축율에 대한 값을 얻었으며 각각의 시험편에 대하여 실시하였고 통계 처리하여 데이터의 분산을 평가하였다. 인장시험의 시험결과 인장강도와 항복강도는 정해진 기준에 만족하고 있었으며 채취위치에 따라라도 차이가 많은 차이는 발생하지 않았지만 립부쪽으로 갈수록 인장강도와 항복강도의 값이 다소 저하되고 있는 것을 Fig. 1에서 볼 수 있다.

3-2 충격시험

KS규격에서는 차륜에 대한 충격시험에 대해서 상온에서 시험한 결과를 규정하고 있다. 일반적으로 겨울철에는 저온으로 기온이 하강한다. 특히 차륜재의 경우 저온취성의 특성을 가지고 있으므로 이에 대한 평가가

Fig. 2에 나타난 바와 같이 상온시험의 경우 결과치가 20 J 이상이지만 저온시험의 경우에는 이보다 작은 2 - 3 J 수준이다.

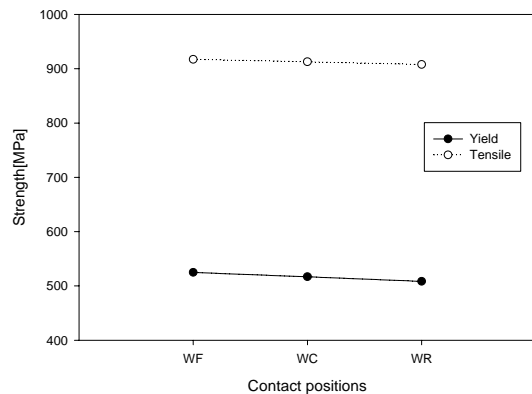


Fig. 1 Tensile and yield strength

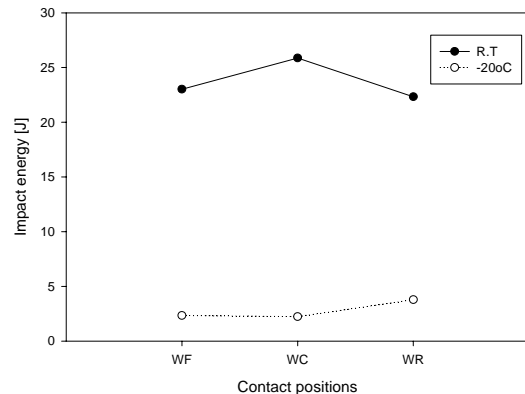


Fig. 2 Impact energy

3-3 경도시험

차륜의 경우에는 표면에 열처리를 실시하여 경도를 높이고 있고 삭정한도인 25mm까지 기준을 만족하여야하고 균질성이

유지하도록 되어 있다. Fig. 3에서 전반적으로 시험기준을 만족하고 있지만 차륜표면에서 깊이방향에 따라 경도값이 작아지고 있음을 볼 수 있다.

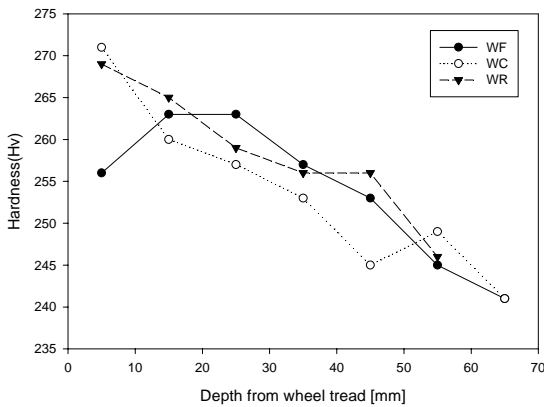


Fig. 3 Hardness

3-4 차륜담면조직의 변화

레일과의 접촉응력과 담면 제동에 의한 열응력으로 인하여 차륜담면은 여러 조직변화가 발생한다. 이러한 조직변화를 관찰하기 위해서는 직접 차륜담면에서 시편을 채취하여 전자현미경으로 관찰하는 것이 일반적이나, 운행 중인 차륜에서 시편을 떼어내는 것은 극히 제한된 경우라 할 수 있다. 따라서 금속조직을 다른 물질에 복제시켜 그 물질을 실험실에서 간접적으로 관찰, 분석할 수 있는 레프리카(Replication test)에 의한 미세조직을 관찰하였다.

Fig. 4는 구동차의 차륜에서 레일과의 접촉위치에 따른 레프리카 분석의 결과를 보여주고 있다. 차륜담면에서 레일과의 접촉위치에 따라 조직변화의 양상이 다르게 나타나고 있음을 보여주고 있다.

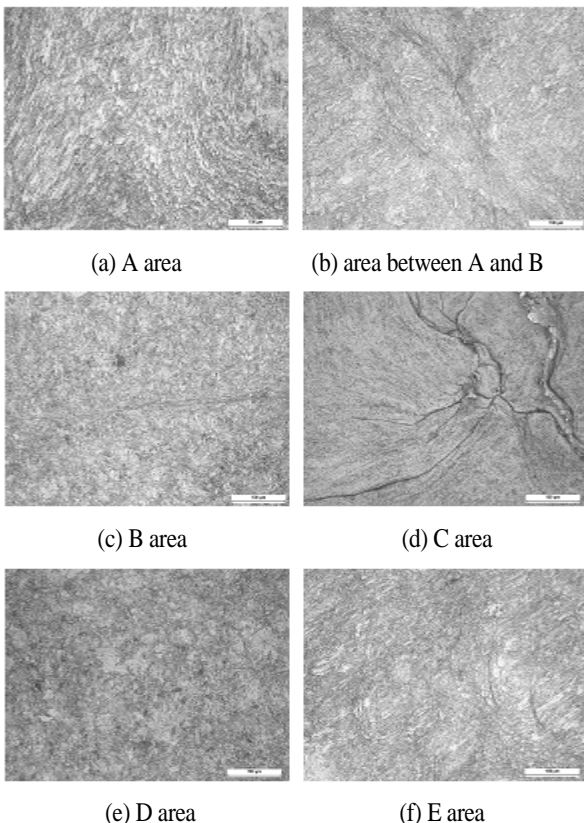


Fig. 4 Microstructures in wheel contact position

Fig. 4(b)와 Fig. 4(d)에서 보여준 바와 같이 A와 B사이의 영역 즉, 플랜지와 차륜담면이 이어지는 곡선부분(flange neck)과 C영역에서 손상이 많이 발생하고 있으며, 주로 열균열과 박리에 의한 손상이 발생하고 있다.

Fig. 4의 A~C의 영역은 철도 차륜이 가장 많이 레일과 접촉하는 부분이며 이 영역에서 레일과의 구름접촉피로 손상과 담면제륜자에 의한 열응력에 의한 손상이 많이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 또한, Fig. 4(f)에서 볼 수 있듯이 E의 영역에서도 소성변형에 의한 경사 균열(차륜 담면에 경사지게 발생한 균열)이 발생하고 있다. 차륜에서는 플랜지 영역에서 손상이 많이 발생하고 있고, 플랜지의 영역 근처에서 손상이 많이 발생하고 있음을 Fig. 4로부터 확인할 수 있다. 특히, 도시철도의 경우 500R 이상의 곡선 선로비율이 26%이며 이러한 곡선 선로비율이 차륜손상에 영향을 미치는 것이라 판단된다. 따라서, 곡선 선로 주행시 차륜과 레일의 경계영역에 대한 별도의 관리가 필요하다.

4. 결론

접촉위치에 따라 철도용 차륜담면에서의 기계적 거동을 평가하기 위하여 인장시험, 경도시험, 충격시험과 비파괴 표면조직검사법을 이용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 차륜의 접촉위치에 따라 인장강도와 항복강도의 편차는 발생하지 않지만 림부쪽으로 갈수록 값이 저하된다.
- 2) 충격시험 결과 차륜은 실온보다 저온에서의 충격인성이 많이 저하되며 저온취성의 특성을 나타낸다.
- 3) 차륜에서의 경도특성은 표면에서는 플랜지부에서 가장 낮게 나타나고 깊이방향으로 갈수록 경도치가 감소된다.
- 4) 레일과의 접촉위치에 따라 차륜담면의 손상 정도가 편이하게 나타나며 주요 손상영역은 플랜지와 차륜담면이 교차되는 영역과 담면 중앙부이다.

참고문헌

1. A. Bernasconi, P. Davoli, M. Filippini, S. Foletti (2005), "An integrated approach to rolling contact sub-surface fatigue assessment of railway wheels", *Wear*, Vol.258, No.7-8, pp. 973-980
2. Ghidini, A, Cantini, S (2004), "Mechanical comparison between north america and european materials for wrought solid wheels in terms of RCF resistance", 14th wheelset congress
3. F. Walther, D. Eifler (2004), "Local cyclic deformation behavior and microstructure of railway wheel materials", *Materials Science and Engineering A*, Vol.387-389, No.15, pp. 481-485
4. M. Grosse, P. Ottlinger (2006), "Strain measurements at railway wheels, *Materials Science and Engineering*": A, Vol.437, No.1, pp. 88-92