

고속철도 차륜의 효율적인 관리에 관한 연구

Study on the efficient maintenance of wheel for High Speed Train

김명수* 구정서** 이희성** 권석진***
Kim, Myeong-Soo Koo, Jeong-Seo Lee, Hi-sung Kwon, Seok-Jin

ABSTRACT

In present, KTX's wheel is worn inevitably according to the interaction with rail in service. It was analyzed by wearing type, damage type and wheel reprofiling cycle on the running surface. As a result, damage on the running surface is main cause to reprofile the wheel. Wearing type of wheel is normal and it hasn't reprofiled according to normal wheel wear. As a follow-up result of the wheel defects on the running surface, if the defects size is well managed by periodical inspection, it would be efficient to increase the wheel life.

1. 서 론

고속철도 차륜의 동력차 차륜에는 1/40답면구배에서 GV40 프로파일 형상을 적용하고, 객차에는 1/20답면구배에서 XP55 프로파일 형상을 적용하여 운행하고 있다. 차륜은 주행중 레일과 상호작용에 의하여 마모현상이 필연적으로 발생하지만 박리, 찰상, 국부적함몰, 미세균열 등의 원인으로인하여 차륜담면에 손상이 발생하여 삭정주기 이전에 삭정함으로써 보수비가 증가되고 차량의 가용성이 현저하게 저하된다. 따라서 본 연구에서는 고속철도차량의 손상유형과 마모유형을 분석하고 차륜결함에 따른 삭정주기를 검토하여 차량보수비를 절감할 수 있는 효율적인 차륜관리 방안을 제시 하고자 한다.

2. 차륜의 손상과 마모유형

2.1 손상유형

차륜은 운행중 복합적인 조건하에서 결함들이 발생하고 빠르게 때로는 느리게 진전되고 있으며, 차륜담면의 열균열(thermal crack), 박리(spalling, shelling), 찰상(flat), 국부적결함, 진원도 불량 등 다양한 형태의 결함이 발생하고 있다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원생, 정회원

** 서울산업대학교 교수, 정회원

*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

가. 손상유형 구분

제동과 관련하여 발생하는 열균열은 제륜자의 마찰에 의해 답면에 발생하고 수많은 미세균열이 그물 모양으로 발생하는 상태이며, 측방향으로 길게 진전되는 상태의 균열이다. 특히 답면식 제동에서 많이 나타나며, 박리는 구름접촉피로(rolling contact fatigue)에 따라 발생하는 표면결함 현상으로 균열발생 후 인접결함과 합체되어 진전하여 발생한다. 찰상(flat)은 제동력 과대에 따라 차륜이 레일 위를 활주한 결과 나타나는 현상이며, 그림 2-1은 차륜 답면에 나타나는 여러 가지의 손상 유형이다.



(a) 답면 박리 (b)답면 미세균열 (c) 답면 열균열 (d) 답면 찰상

그림 2-1 차륜답면에 발생한 손상유형

동력대차의 답면제동에 사용되는 제륜자는 그림 2-2와 같이 균열이 발생하고 있으며, 제륜자 재질과 성능에 따라 상대재인 차륜답면의 손상에 영향을 미칠 수 있다.



(a) 횡방향 균열 (b) 제륜자 고리 탈락 (c) 차륜답면 접촉 (d) 제륜자 단면균열

그림 2-2 제륜자 불량 사례

나. 손상유형 분석

그림 2-3은 고속철도차량의 대차별 손상회수를 나타낸 것으로 총3,104건중 동력차륜에서 1,653 건으로 53.3%를 차지하여 차륜답면의 손상이 매우 높게 발생이 되고 있으며, 그림 2-4는 고속철 도 차량의 운행시 모습으로 동력차륜 23A는 하행운행시 선두부이고, 01A는 상행운행시 선두부를 나타낸 것이다.

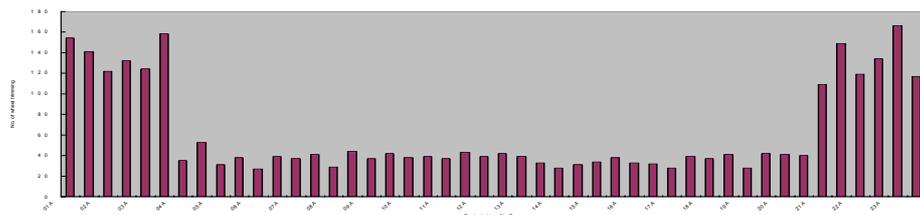


그림 2-3 대차별 손상회수(2004.4.1~2005.8.31 현재기준)



(a) 동력차륜 01A

(b) 동력차륜 23A

그림 2-4 고속철도차량 운행시 모습

다. 손상 빈도별 구분

표 2-1과 그림 2-5는 손상사유별 빈도를 나타낸 것이며, 차륜담면상의 기타결합(XAT)이 3,104건중 1,358건으로 43.8%를 차지하고, 담면박리(EC, 412건, 13.3%), 담면의 국부적함몰(AEL, 292건 9.4%), 담면진원도 불량(DT, 242건 7.8%)으로 나타나 차륜담면에서 심하게 손상되는 것을 알 수 있으며, 플랜지 불량은 25건에 불과하다. 고속철도차량에서는 결합의 분류를 30여종으로 구분되어진다.

표 2-1 손상사유별 빈도

손상코드	손상 사유명	건수	발생율(%)
AEL	차륜담면의 국부적 함몰	292	9.4
DT	차륜담면의 진원도 불량	242	7.8
DUT	차륜담면의 변형 및 마모	199	6.4
EC	박리	412	13.3
EMP	차륜담면의 찍힘/눌림	59	1.9
EXC	점감균열	95	3.1
MP	찰상	49	1.6
XAT	차륜담면상의 기타결합	1,358	43.8

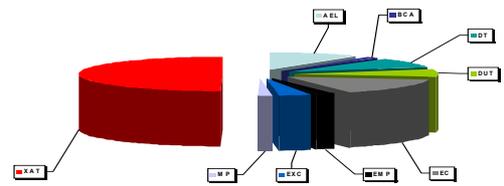


그림 2-5 손상 사유별 현황

라. 동력대차 제동차단 후 차륜손상 현차시험(2004.10.1~2005.3.31)

제동이 동력대차 차륜의 손상에 미치는 영향을 시험하기 위해 시험차 2편성을 지정하여 제동차단(제동통 철거)과 제동작용 현차시험을 시행하였으며, 표 2-2는 시험결과를 정리한 것이다.

표 2-2 제동차단에 따른 차륜담면 시험결과

제동차단 차륜(1개 대차)	제동작용 차륜(2개 대차)
<ul style="list-style-type: none"> - 찰상에 의한 손상·박리현상 없음 - 개재물에 의한 담면표면 갉아먹음 손상발생 - 차륜에서 미세균열 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - 찰상에 의한 열반점이 여러 곳에 분포 - 개재물에 의한 담면표면 갉아먹음 손상 발생 - 플랜지에 미세균열 발생 - 열반점에 의한 손상·박리현상 발생

현차시험 결과를 검토한 결과 미세균열의 발생원인은 견인력에 의한 영향으로 판단되며, 삭정 원인인 차륜담면의 찰상 및 박리는 제륜자에 의한 열반점으로 판단된다.

2.2 마모유형 분석

가. 차륜담면 측정시험(2005.4.1~2005.7.31)

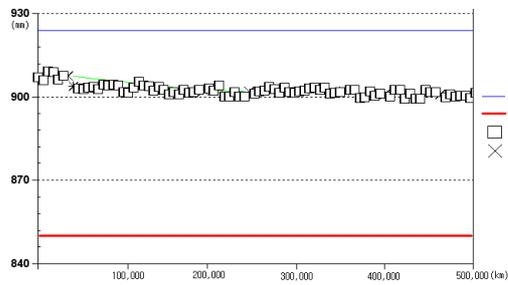
차륜마모 현상을 분석하기 위해 표 2-3과 같이 6편성을 시험차로 지정하여 주행거리 및 운행 시간에 따라 마모유형을 분석하였고, 차륜담면 측정은 차륜검사고(AWMS), 차륜전삭장치(106D CNC), 차륜플랜지 측정공구(Measuring tools for flanges)등이 사용되었다.

표 2-3 차륜마모 측정시험 차량

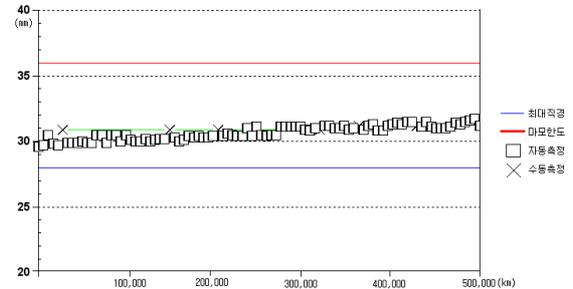
시험차	측 정 일 자					누적주행키로 (km)	비 고
	1차	2차	3차	4차	5차		
1	4.14	5.10	6.2	6.22	7.21	541,990	- 동력차 · 편성당 : 12개축 - 객 차 · 편성당 : 34개축
2	4.14	5.10	6.2	6.22	7.21	524,695	
3	4.15	5.11	6.2	6.24	7.13	554,662	
4	4.11	5.11	6.1	6.22	7.14	509,313	
5	4.12	5.12	6.3	6.23	7.23	596,156	
6	4.13	5.12	6.4	6.23	7.23	592,623	

나. 시험에 따른 마모유형 분석

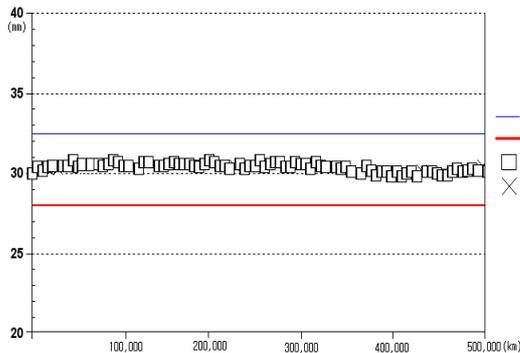
그림 2-6은 시험차량을 주기적으로 측정된 결과이며, 차륜마모 형태변화는 주행거리에 따라 추이를 분석하였으며, 차륜직경(D), 플랜지두께(e), 플랜지 직립마모와 운행시 진동 및 안정성과 밀접한 관련이 있는 qR값 등은 감소하고, 플랜지 높이(h)는 증가하는 유형을 알 수 있다.



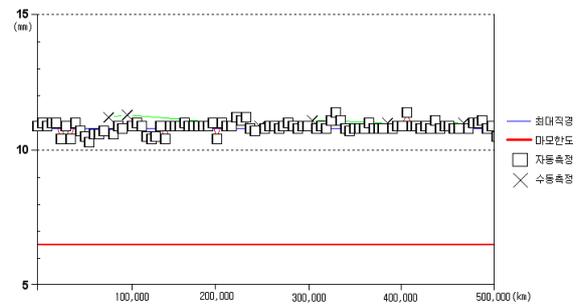
(a) 차륜직경(D)



(b) 플랜지 높이(h)



(c) 플랜지 두께(e)



(d) qR

그림 2-6 차륜의 마모특성

3. 차륜의 삭정분석

3.1 차륜삭정기 개요

삭정기는 차량을 편성단위로 입고하여 대차를 분해하지 않고 삭정이 가능하며, 절삭깊이를 자동으로 제공받아 최소깊이로 절삭이 가능하다. 축상을 고정시킨후 작업을 하여 정밀한 작업이 가능하고 2축을 동시에 가공하여 삭정시간을 단축시킨다. 삭정 전·후 자동측정된 차륜에 대한 정보가 On-line으로 저장되고 운용소속으로 전송된다. 표 3-1과 그림 3-1은 주요기능과 삭정기 모습이다.

표 3-1 차륜삭정기 주요기능

구분	성능
삭정 축길이	1,620~2,450mm
삭정 직경	600~1,400mm
삭정 내면거리	1,352~1,360mm
최대 축하중	250kN
절삭속도	4~133m/min
절삭시간	40~50분/대차
바이트 이송량	0.1~2.5mm/휠1회전
주 구동정격	2×30kW(80Hp)
측정항목	D,e,H,qR,Ei,Ea,DT



그림 3-1 (a)삭정기 전경 (b) 삭정기 차륜 삭정시 모습

3.2 차륜삭정 주기분석

가. 삭정현황(2004.4.1~2005.8.31)

그림 3-2는 고속철도차량의 차호별 삭정회수를 나타낸 것이며, 총 3,104회이며 1일 평균 6.1회 삭정이 이루어지고 있다. 고속철도차량 중 가장 많은 삭정은 101회로 나타났으며, 가장 적은 삭정은 36회로 나타났다. 그림 3-3은 삭정회수가 가장 많은 고속철도차량의 삭정현황이며, 이와 같이 빈번한 삭정은 보수비 증가 및 가용성 저하에 영향을 미치게 된다.

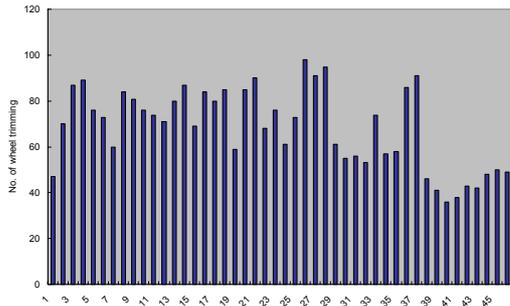


그림 3-2 차륜 삭정회수

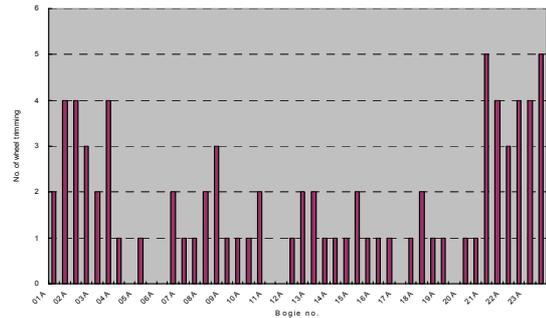


그림 3-3 삭정회수가 많은 차량 대차별 삭정현황

그림 3-4는 삭정고에서 삭정시 삭정량이 가장 많은 차량의 대차별 삭정현황을 나타낸 것이며, 동력대차(1,2,3,21,22,23)에서 삭정이 집중적으로 발생되며, 이와 같은 삭정은 차륜 직경감소와 밀접한 관계가 있다. 그림 3-5는 월별 삭정회수를 나타낸 것이며, 2004년 9월에 많은 이유는 운행편성 증가에 따라 예비삭정이 많이 이루어진 결과이다.

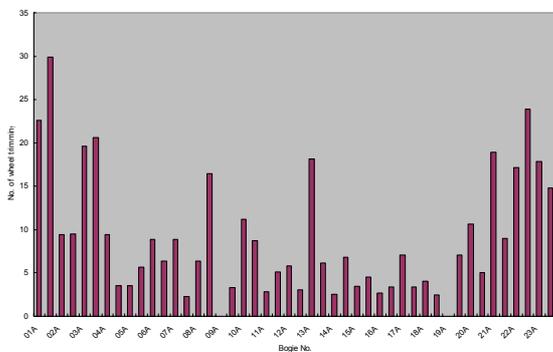


그림 3-4 대차별 삭정량

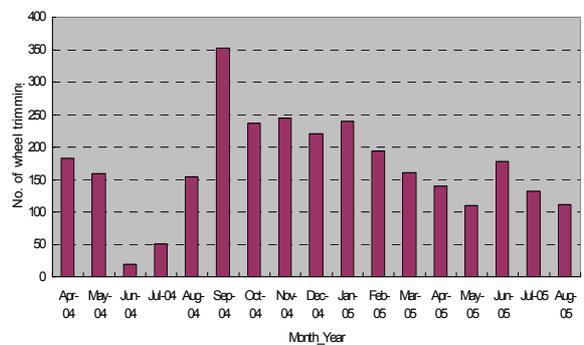


그림 3-5 월별 삭정회수

나. 삭정량에 대한 분석

그림 3-6은 차륜담면상의 기타결함으로 입고되어 차륜삭정시 손상깊이가 차륜 내부까지 깊숙이 진전되어 손상개소를 완전히 제거하기 위하여 삭정을 많이 하였다.



(a) 삭정전(23A축) (b)5mm 삭정 후 (c) 10mm 삭정 후 (d) 15mm 삭정 후

그림 3-6 삭정량이 많은 차륜의 결함

4. 효율적인 답면관리

가. 삭정주기 조정을 위한 측정시험(2005.4.1 ~ 2005.7.31)

그림 4-1은 차륜에서 발생하는 결함의 진전사항을 조사하기 위하여 정기적으로 측정하여 주행거리 150,000km, 운행기간 4개월 동안 정밀 추적하여 분석한 결함 분석 결과이다.

(1) 차륜담면의 기타결함(XAT)

일시적인 증가와 감소가 나타나며 시간이 경과함에 따라 감소추세를 보인다. 이 결함은 차륜 내부 깊숙이 진행되어 삭정량이 많은 원인이 되므로 신속한 삭정이 필요하다. 삭정고에서 삭정시 삭정량이 많은 손상유형이다.

(2) 차륜담면의 박리(EC)

차륜의 박리가 시간의 경과에 따라 작은 결함등은 크기가 감소하다 소멸하는 현상이 나타난다.

(3) 차륜진원도 불량(DT)

결함의 크기가 적어 관리에 어려움이 있어 0.2mm를 기준으로 증가현상을 보이는 것에 대하여는 측정값을 기준으로 평균 진행값을 분석하였다.

(4) 플랜지의 기타결함(XAD)

플랜지의 찍힘, 기타결함등은 외부 충격(장애물)에 의해 발생한 결함으로 시간의 경과에 따라 진전없이 일정하게 유지되는 것을 알수 있다.

(5) 차륜담면의 찍힘(EMB)

차륜담면의 충격에 의한 흠집은 증가하지 않고 시간의 경과에 따라 감소하는 것으로 나타난다.

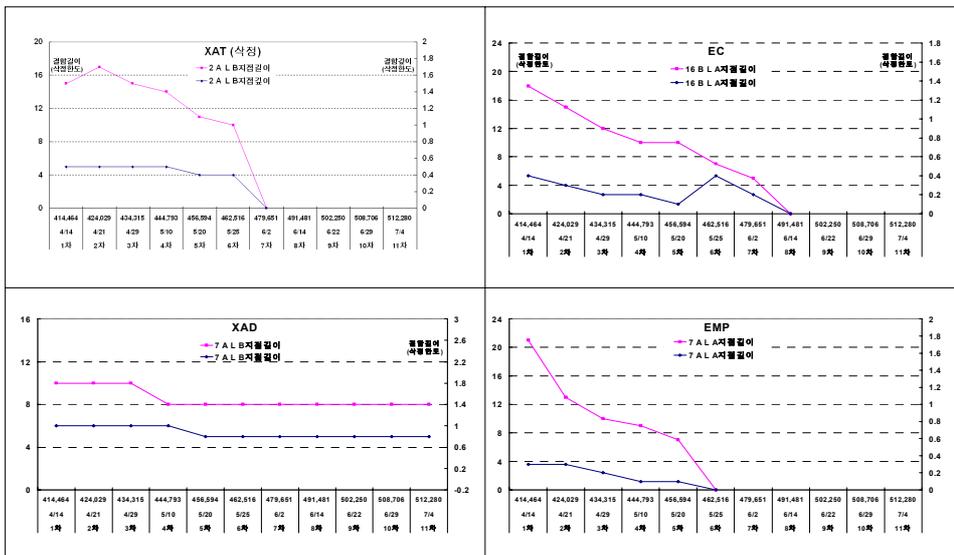


그림 4-1 손상유형별 결함 진전 현황

나. 차륜의 결함에 따른 구분

그림 4-2는 결함의 종류에 따라 시행되고 있는 결함의 한도 및 삭제 기준을 나타낸 것이며, 미세균열, 파상형 균열, 차륜담면상의 기타결함(XAT)등은 길이20mm*깊이 1mm, 박리(EC)는 길이20mm*깊이1mm, 진원도(DT)는 0.3mm이상인 경우 삭제주기에 해당된다

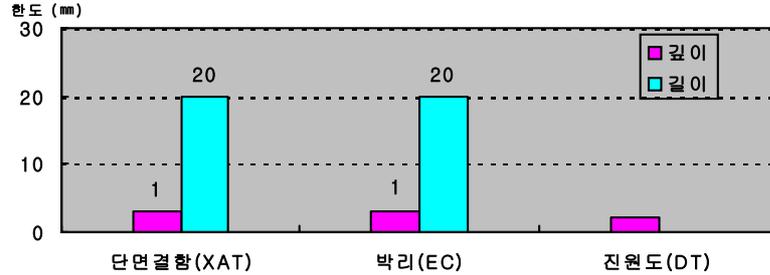


그림 4-2 결함의 크기에 따른 삭제주기

차륜결함등을 관리하는 검수주기는 표 4-1과 같이 시행되고 있으며, 일상검수는 차륜의 특이사항을 점검하고, 주행기어검수는 차륜담면 무회전 시각점검을 하고, 체계검수는 차륜담면 회전검사와 각종 결함등을 정밀 측정한다.

표 4-1 검 수 주 기

검수종류	주 기	주행키로(최대)	비 고
일상검수(ES)	3일	3,500km	- 차륜외관 특이사항검사
주행기어(RGI)	14일	20,000km	- 차륜담면 무회전 시각검사
체계검수(SWT)	-	55,000km	- 차륜담면 회전검사
제한검수(LI)	4개월	165,000km	- 차륜 변형검사

다. 결함의 크기 설정

그림 4-1에서 차륜결함을 추적관리한 결과 결함의 크기를 표4-2와 같이 조정하여 차륜결함 상태를 주기적으로 점검하여 나타나는 차륜담면상의 기타결함, 박리, 진원도등의 결함의 크기를 한도보다 크게 관리하고 검수주기를 단계별로 적용하여 삭제주기를 조정할 수 있다. 다만 차륜담면에 영향을 줄 수 있는 제륜자, 모래등의 성능 검토후 결함의 크기를 조정하는 것이 바람직하다.

표 4-2 결함기준별 검수주기

(단위: mm)

단계	종별	XAT	EC	DT	검수주기
1단계	길이	15~20	15~19	0.25~0.29	SWT
	깊이	1	0.8~0.9		
2단계	길이	20~25	20~25	0.30~0.33	RGI
	깊이	1.0~1.5	1.0~1.5		
3단계	깊이	-	-	0.34~0.38	ES
		-	-		

라. 결함크기 조정시 삭제회수 조정

표 4-2의 결함기준별 검수주기를 2단계로 적용하여 차륜결함을 관리하여 삭제할 경우 차륜담면상 기타결함(XAT)은 596건, 박리(EC) 129건, 진원도(DT) 114건이 감소될 것으로 판단된다

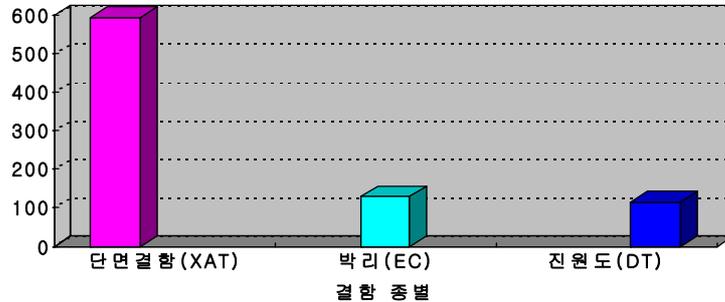


그림 4-2 결함주기 조정시 삭제회수 조정

5. 결 론

고속철도차량 차륜의 효율적인 관리를 위하여 손상유형, 마모유형을 분석하고 차륜삭정 주기를 분석하였다. 또한 차륜담면상의 나타나는 결함의 진전상태를 측정하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 일반 철도차량과는 달리 고속철도차량 차륜은 플랜지에서 발생하는 결함은 아주 적게 발생하며, 차륜담면상의 손상이 차륜삭정을 하는 주요 원인이다.
- 2) 차륜담면상의 결함을 유발하는 요인을 가지는 제륜자의 재질 및 성능 검토가 필요하다.
- 3) 차륜의 마모유형은 양호하게 판단되며 차륜의 마모에 의한 삭제요인은 발생하지 않았다.
- 3) 차륜담면상에 나타나는 결함의 진전상태를 추적 관리하여 삭제기준을 조정하면 효율적인 삭제관리가 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 허현무, 서정원의(2005), “고속철도 차륜의 마모유형에 관한 연구”, 논문집, pp.114-116
2. 이희성, 이지하, “차륜 셸링(shelling) 제어방안”
3. 철도청(2002), “고속철도차량매뉴얼-Ⅱ 유지보수 기술문서(K661-1-U2300-GL+ 621C)”
4. 한국철도공사(2005), “유지보수 슈퍼바이저 주요 자문보고서”
5. 한국고속철도공단(2002), “차륜전삭장치 유지보수 메뉴얼”