

차륜 낭비요인 개선을 위한 경제적 차륜관리방안 연구

A study on economical wheel maintenance process to improve waste factors

허현무* 권성태* 김형진** 윤춘한***
Hur, Hyun-Moo Kwon, Sung-Tae Kim, Hyung-Jin 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 wear and inefficiency of wheel maintenance. Especially, tight wheel maintenance criteria have caused waste factors of wheel machining, these increases rolling-stock maintenance costs. Thus, this study was started to propose the wheel maintenance plans to improve maintenance efficiency in respect to wheel maintenance process in rolling-stock workshop. Here, we describe some results

1. 서론

차륜은 주행중 레일과 접촉하면서 차량이 궤도면을 따라 안전하게 주행하도록 하는 중요 구성품 중의 하나이다. 그러나 차륜/레일 상호작용에 의해 마모현상이 필연적으로 발생하므로 이에 대한 저감연구 및 최적관리연구는 차량 안정성 확보, 차량유지보수비 절감 및 차량 가용성 측면에서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 또한 차량시스템, 차량과 궤도간의 인터페이스 관련 부적합한 요소가 존재하면 차륜의 손상문제가 발생하게 된다. 이중 차량 내 제동시스템 부적합으로 답면찰상, 답면박리 등의 문제가 발생하며, 차량의 현가계 및 궤도와의 인터페이스 부적합관련해선 차륜의 직립마모, 과대마모가 발생한다. 이러한 차륜손상은 차륜을 빈번하게 삭정하게 하는 요인이 되며, 이는 궁극적으로 차륜의 보수비용을 증가시키고 차량의 가용성을 저하시키게 된다.

따라서, 본 연구에서는 철도청에서 운용하고 있는 객차용 차륜을 중심으로 차륜관리 실태를 분석하고 문제점 및 검수상의 낭비요인을 분석함으로써 차륜보수비용 절감 및 차량의 안정적 운용 가용성을 확보하기 위한 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 차륜관리 현황

표1에서와 같이 철도청에서 운용하고 있는 객차는 2000년도 기준 1,697량이다. 이 중 차륜교환 축수는 1,859개이고 차륜 이상 또는 원형 구현에 따른 차륜삭정 축수는 6,587개로 객차 총 축수 6,788개에 비하면 대단히 많음을 알 수 있다. 이는 현재 철도청의 차륜관리에 따른 유지보수비용이 다른 보수품에 비해 과도하게 나타나는 것과는 일치하는 것이다. 현재 철도청에서의 차륜관리 흐름상 주요 문제점은 차륜교환에 대한 기준 설정 근거가 미흡하고, 차륜 삭정시 획일적인 원형기준으로 삭정되어 과도한 낭비요인이 발생하고 있다는 것이다. 주요 낭비요인은 차륜과 궤도, 제동시스템, 현가계특성간의 인터페이스 부적합으로 인한, 차륜직립마모, 찰상 발생, 획일적 차륜 원형

* 한국철도기술연구원, 선임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원, 책임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 위촉연구원, 비회원

재생적용으로 인한 차륜과대 삭정, 주관적 차륜삭정 생략기준 적용, 신폼차륜 및 차륜검수시 획일적 차륜직경차 적용등을 들 수 있다. 이외 에도 차륜 차륜삭정 전후의 데이터 이력관리가 미흡하여 차륜수명 산정이나 효율적 차륜관리계획 도출이 어렵다는 문제점을 들 수 있으며, 따라서, 차륜손상 예방측면에서의 개선방안, 차륜검수상의 경제적 차륜관리방안 도출이 시급하다고 할 수 있다. 다음은 현 차륜검수상의 문제점에 대한 분석과 개선안을 제시한 내용이다.

표1 차륜교환 및 삭정현황(2000년도)

| 차 종 | 보유량 | 교환축수 | 삭정축수 | 축수합계 | 보유대비 삭정비율 |
|---------|--------|-------|--------|--------|-----------|
| 디젤기관차 | 487 | 984 | 2,462 | 3,446 | 118% |
| 전기기관차 | 95 | 130 | 371 | 501 | 88% |
| 디젤동차 | 616 | 344 | 1,377 | 1,721 | 70% |
| 전기동차 | 1,694 | 264 | 2,883 | 3,147 | 46% |
| 객차(발전차) | 1,697 | 1,859 | 6,587 | 8,446 | 124% |
| 화차 | 13,122 | 1,553 | 13,214 | 14,767 | 28% |

3. 차륜관리 개선안

3.1 직립마모 개선안

-현황 : 기존 원추형1/40담면의 특성은 고속주행성능이 우수한 반면 취약한 곡선주행성능을 보여 Fig.1과 같이 과도한 차륜플랜지부의 직립마모현상이 발생하는 단점이 있다. 예를 들면 Fig.2와 같이 경부선 구간을 1년 약 220,000km 주행한 차량의 플랜지 마모는 평균 약 3.5mm 이상이며 주행거리에 따른 플랜지마모 변화가 심하여 차량의 균일한 주행성능 확보에 어려움을 주고 있다.

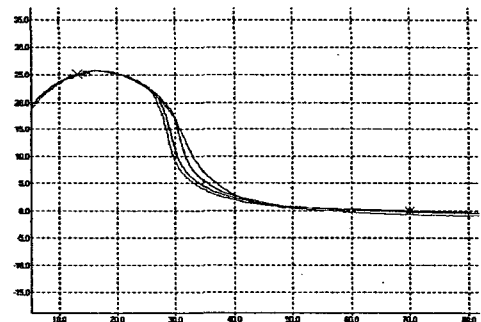


Fig.1 기존 1/40담면의 마모형상

Fig.3은 플랜지두께(FT) 27mm인 경우, 차륜의 삭정주기를 해석한 선도로 1Y기준으로 삭정시엔 4회 삭정시 직경한도에 도달하여 차륜을 조기 교체하여야 함을 알 수 있다. 따라서, 차륜직립마모 저감 및 차륜삭정량 저감에 의한 유지보수비용 절감을 위한 개선 방안이 시급한 실정이다.

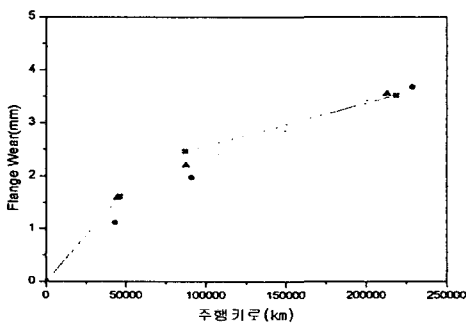


Fig.2 기존1/40담면의 플랜지 마모특성

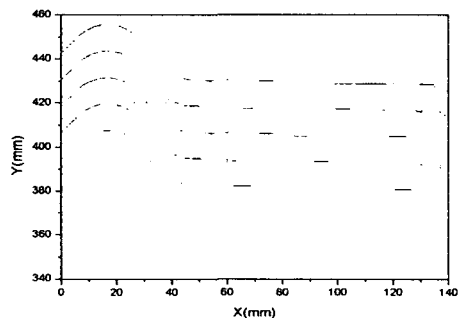


Fig.3 기존 1/40담면의 삭정주기(마모차륜 FT27)

-개선방안 : Fig.4와 같은 기존 1/40원추형 담면의 직립마모현상을 개선하기 위하여 Fig.5~6과 같이 플랜지목 부근을 원호형 곡선들로 보강함으로써 곡선부 주행시 응력집중에 의한 손상을 예

방향고 직선로 주행시의 안정된 주행성능을 도모하기 위한 2종의 신담면형상안을 제안하였다.

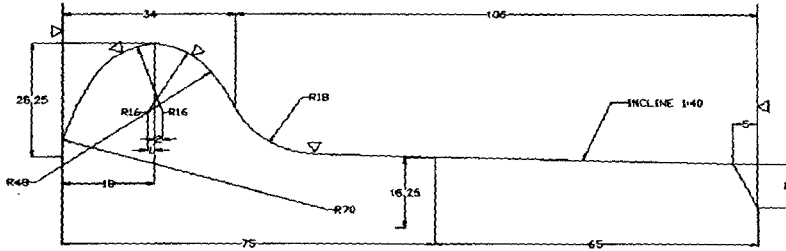


Fig.4 기존 1/40담면

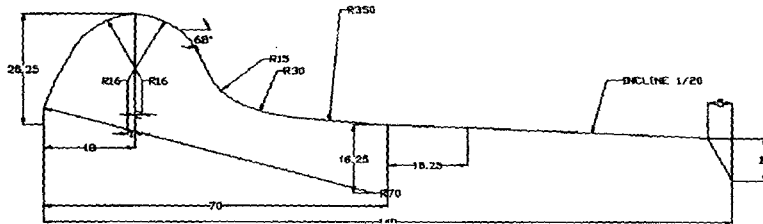


Fig.5 신차륜담면(1안)

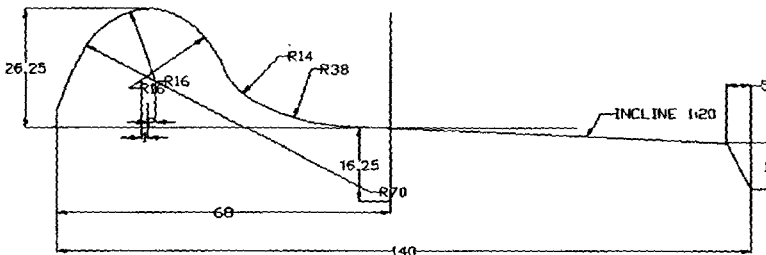


Fig.6 신차륜담면(2안)

신담면형상안의 주행특성을 분석을 위하여 무궁화객차를 모델로 R400곡선 주행시를 가정한 곡선주행 및 차량임계속도 해석을 수행하였다. 해석결과, 표2와 같이 신담면형상안 적용시 차량의 임계속도는 모두 180km/h로 기존선 운용차량의 최고속도 조건인 150km/h를 충족하고 곡선주행성능과 관련된 인자인 횡압 및 Flange Wear No. 수치는 저감됨을 알 수 있다. 따라서, 신담면형상안 적용에 따른 차량의 곡선주행성능 향상 및 차륜 직립마모현상이 저감될 것으로 기대된다. 표2 신담면형상 주행특성 해석결과

| 구분 | FT (mm) | R400곡선주행시 | | | | 임계속도 (km/h) |
|--------|---------|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------|
| | | 횡압 (kN) | 윤증감소율 (%) | 탈선계수 | Flange Wear No. | |
| 기존1/40 | 34 | 21.4 | 27.8 | 0.35 | 110.3 | 180 이상 |
| 1안 | 34 | 17.2 | 27.7 | 0.29 | 0 | 180 이상 |
| 2안 | 34 | 15.5 | 23.7 | 0.26 | 0 | 180 이상 |
| 기준 | 23~34 | | · 30Hz LPF · 구간 최대치 · 80% 이하 | · 30Hz LPF · 구간 최대치 · 1.1 이하 | | 150 이상 |

3.2 임시삭정 개선안

-현황 : 현장에서 운용중인 차량의 차륜손상 발생시, 차륜전삭반 전삭기에 의한 임시삭정을 시행하고 있다. 이때 각 전삭반마다 삭정기법에 다소 차이가 있기는 하나 대부분 기본담면(1/40)에 준하는 원형담면형상 재생, 윤축간 동일직경 기준 적용으로 인한 획일적 삭정관리로 과도한 낭비요인이 유발하고 있다. 이에 비하여 일본에서는 과거, 차륜담면 손상 및 마모에 의한 원형재생을 위한 획일적 차륜삭정 관리기법을 적용하고 있었으나, 1992년 JR에서는 경제삭정이라는 개념을 도입하여 차량의 주행성능을 충족시키는 범위내에서 차륜삭정시 발생하는 낭비요인을 개선함으로써 차륜수명을 약 30%이상 연장시키고 있다. 따라서, 국내 철도현장에서도 임시삭정시 차륜삭정량 저감을 위한 경제적 차륜담면 삭정기술 개발을 통한 낭비요인 개선이 시급하다.

-개선 방안 : 경제담면은 차륜검수기준 내에서 그리고 다음 정기검수시까지 차량 주행성능을 저해하지 않는 범위내에서 플랜지두께를 30mm로 하여 삭정함으로써 삭정량을 절감하고 안정된 주행성능을 도모하기 위한 담면형상이라 할 수 있다. 즉, Fig7에서와 같이 기존담면으로 원형삭정시 직경삭정량은 약 14mm임에 비하여 경제담면삭정시는 약 2~4mm로 삭정량 절감이 기대된다.

경제적 차륜삭정을 위하여 3종의 경제담면형상을 제시하였다. 제시된 3종의 담면형상은 기존 1/40담면으로 원형삭정후 약 6개월 경과후의 차륜마모유형을 분석하여 도출된 담면형상으로 기존담면형상에 플랜지목 부분을 원호형으로 변경하여 차륜손상 예방을 기하였다.

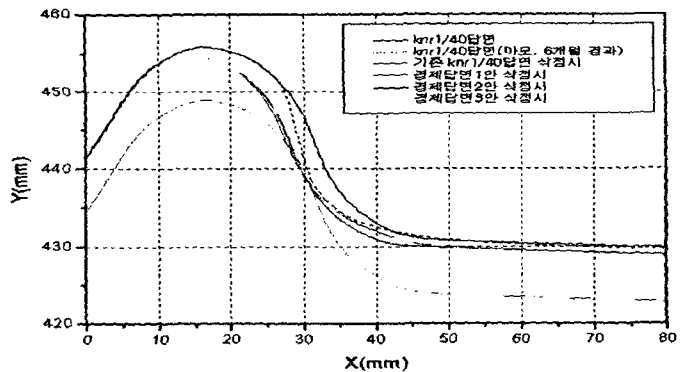


Fig.7 경제담면형상(안) 삭정시 삭정량 추정

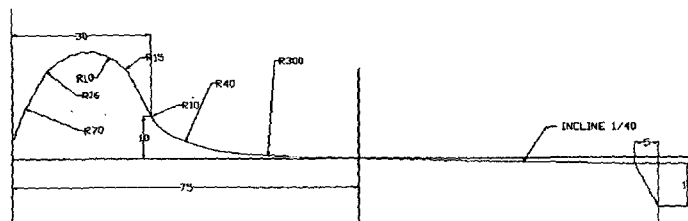


Fig.8 경제담면형상 1안

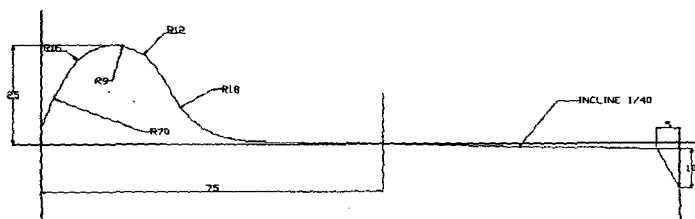


Fig.9 경제담면형상 2안

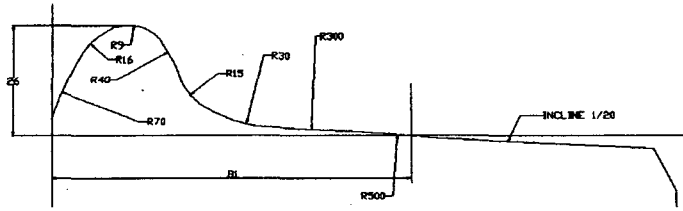


Fig.10 경제답면형상 3안

경제답면형상의 주행특성 분석을 위하여 무궁화객차를 모델로 R40곡선 주행시를 가정한 곡선주행 및 차량입계속도 해석을 수행하였다. 해석결과, 표3과 같이 경제답면형상안 적용시 차량의 입계속도는 모두 180km/h 이상으로 기존선 운용차량의 최고속도 조건인 150km/h를 충족하고 있음을 알 수 있다. 제시된 3종의 형상중 원호형 답면형상인 1안 및 3안은 곡선주행성능과 관련된 인자인 횡압 및 Flange Wear No. 수치가 저감됨을 알 수 있다. 따라서, 경제답면형상안 적용에 따라 입시삭정시 차륜삭정량 절감과 더불어 적용된 답면형상에 따라 차륜의 직립마모현상이 개선될 것으로 기대된다.

표3 경제답면형상 주행특성 해석결과

| 구분 | R40곡선주행시 | | | | 입계속도 (km/h) |
|--------|----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-------------|
| | 횡압 (kN) | 윤증감소율 (%) | 탈선계수 | Flange Wear No. | |
| 기존1/40 | 21.4 | 27.8 | 0.35 | 110.3 | 180 이상 |
| 1안 | 15.2 | 23.7 | 0.25 | 38.6 | 180 이상 |
| 2안 | 21.4 | 24.2 | 0.35 | 115.8 | 180 이상 |
| 3안 | 17.2 | 23.4 | 0.29 | 0 | 180 이상 |
| 기준 | | · 30Hz LPF · 구간 최대치 · 80% 이하 | · 30Hz LPF · 구간 최대치 · 1.1 이하 | | 150 이상 |

3.3 신품차륜 삭정량 개선안

-현황 : 신품차륜 직경치수는 표4과 같이 도면상의 허용치수에 비하여 7~9mm 정도 여유있는 치수로 도입되고 있으나 현장에서는 도면상의 기준치수로 한정하여 삭정하고 있다. 즉, 무궁화객차인 경우 도면상 허용차가 직경 860mm(0~+2mm)임에도 기준치수 860mm로 한정하여 삭정하고 있다. 따라서 과도한 삭정량, 작업시간, 절삭공구, 에너지 측면에서의 삭정비용의 증가와 같은 낭비요인이 발생하고 있다.

표4 신품 교환차륜의 치수현황

| 차종 | 샘플 개수 | 차륜직경 | | 플랜지두께 | | 플랜지 높이 | | 소속 |
|-----------|-------|-------|---------|-------|----------|--------|----------|----|
| | | 원형 치수 | 평균샘플 치수 | 원형 치수 | 평균샘플 플치수 | 원형 치수 | 평균샘플 플치수 | |
| 디젤기관차 | 30 | 1016 | 1024.9 | 34 | 37.8 | 25 | 24.9 | 부창 |
| 디젤동차(PMC) | 30 | 914 | 921 | 34 | 34.1 | 25 | 24.6 | " |
| 전기동차 | 30 | 860 | 868.5 | 34 | 36.3 | 25 | 25.4 | " |
| 객차 | 139 | 860 | 868.03 | 34 | 37.63 | 25 | 25.63 | " |
| 화차 | 90 | 860 | 868.1 | 34 | 37.53 | 25 | 25.23 | " |

한편, 일본 JR에서는 신품차륜의 치수한도 목표치를 「설계치수+0.5mm」로 관리하여 신품차륜 무삭정화를 실현하여 공정상의 시간 및 비용절감을 도모하는 사례도 있다. 또 한가지 방안은 차종

별 차륜직경 원형한도의 허용공차를 차량의 동적성능에 영향을 미치지 않는 범위내에서 완화할 가능성도 검토할 필요가 있다고 사료되며, 이는 결국 신폼차륜의 삭정량 절감과 이로인한 삭정비용절감, 차륜수명 연장에 기여할 것으로 기대된다.

-개선 방안 : 신폼차륜 삭정시 도면상의 허용한도 최대치에 맞추어 삭정함으로써 삭정량을 절감할 수 있으며, 예로서 무궁화재차인 경우, 직경 862mm로 삭정함으로써 차륜 삭정량 절감을 기할 수 있다.

3.4 윤축간 차륜직경차 개선안

-현황 : 차륜 삭정시 가장 큰 낭비요인 중의 하나는 차륜삭정시 엄격한 원형삭정기준을 적용하고 있는 점을 들 수 있다. Fig.11에서와 같이 차륜직경 삭정전후의 치수를 비교하면 삭정후는 모두 802mm로 동일차량의 8개 차륜의 직경차이가 없으며, 1위축인 경우는 플랜지두께가 33.9mm, 33.04mm로 삭정 생략이 가능한 수치임에도 타 윤축간의 직경을 맞추기 위하여 29mm의 과도한 삭정을 시행하여 상대적으로 마모가 적은 차륜의 삭정량을 증가시키는 결과를 초래하고 있다. 이는 객화차 검수기준 세척에 의하면 고속대차인 경우, 제1한도 적용시 동일대차안에서 2mm, 동일차량안에서 3mm의 직경차를 허용하고 있음에도 불구하고 동일치수기준을 적용하고 있으므로 이에 대한 개선안 적용이 시급한 실정이다.

| 차축번호 | 차륜직경 | | 플랜지두께 | | 플랜지높이 | | 직경차 | 두께차 | 높이차 |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 전 | 후 | 전 | 후 | 전 | 후 | | | |
| 0201-0958 | 832.15 | 802.23 | 33.90 | 33.00 | 25.57 | 25.00 | 29.92 | 0.90 | 0.57 |
| " | 832.55 | 802.23 | 33.04 | 33.00 | 25.55 | 25.00 | 30.32 | 0.04 | 0.55 |
| D0201-0957 | 832.57 | 802.88 | 26.96 | 32.00 | 26.81 | 25.00 | 29.69 | -5.04 | 1.81 |
| " | 832.48 | 802.88 | 26.80 | 32.00 | 26.82 | 25.00 | 29.60 | -5.20 | 1.82 |
| D0201-0959 | 832.81 | 802.27 | 28.06 | 32.00 | 26.26 | 25.00 | 30.54 | +3.94 | 1.26 |
| " | 831.39 | 802.27 | 24.42 | 32.00 | 26.97 | 25.00 | 29.12 | -7.58 | 1.97 |
| D0201-0959 | 833.00 | 802.54 | 29.77 | 33.00 | 26.39 | 25.00 | 30.46 | -3.23 | 1.39 |
| " | 832.01 | 802.54 | 28.87 | 33.00 | 26.33 | 25.00 | 29.47 | -4.13 | 1.33 |
| Ave | 832.37 | 802.48 | 28.96 | 32.50 | 26.34 | 25.00 | 29.89 | -3.52 | 1.34 |

Fig.11 동일차량 차륜직경삭정 사례

-개선 방안 : 검수기준에 의거하여 직경 원형관리가 아닌 허용한도 내로 관리토록 조치할 필요가 있다. 또한, 일본 JR의 경우 객차의 윤축직경 허용한도는 동일윤축간 0.5mm, 동일대차간 3.0mm, 동일차량간 6mm로 관리하고 있으며, TGV 고속열차의 삭정기준은 동력객차중 동일대차내 20mm, 객차중 동일대차내엔 제한을 두지 않고 있음을 고려하면 현차주행시험을 통하여 차량의 주행특성이 악화되지 않는 범위내에서 직경차 허용한도를 완화할 필요성도 있다고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 현 국내 기존선 운용 철도차량을 중심으로 차륜관리의 실태와 문제점을 분석하였으며, 차륜 유지보수측면에서의 낭비요인 개선에 의한 유지보수비용 절감을 기하고자 그에 대한 개선방안을 제시하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 차륜손상 예방측면에서 국내 선형에 적응성이 양호한 원호형 답면형상 적용이 필요하다.
- 차륜 임시삭정시, 획일적 차륜삭정으로 인한 차륜낭비요인 개선을 위한 경제적 차륜답면 삭정 기법 적용이 시급하다.
- 신폼차륜 삭정시 도면에 명시된 최대한도 적용하며, 가능하면 신폼차륜 치수관리를 통한 신폼차륜 무삭정화 구현도 필요하다.

- 차륜삭정시 가장 큰 낭비요인이 되는 윤축간 직경차 한도를 유연하게 적용하여 낭비요인을 개선하고 필요하다면 차량주행성능에 영향을 주지 않는 범위내에서 직경차 한도를 완화할 필요성도 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Vijay K. Garg, and Rao V. Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems", Academic Press, 1984
2. 馬場 六義 등, "車輪踏面無削正の實用化について", R-m(2001.1), pp. 56~59
3. 일본기계학회편, "鐵道車輛のグイナミクス", 전기차연구회(주), 1996
4. 허현무, 이찬우 외, "NT21대차 운행성능향상 연구", 철도청, 1998
5. 허현무, 이찬우, "무궁화객차의 곡선주행성능 연구", 춘계학술대회논문집, 한국철도학회, 1999
6. K. Sasaki, "Development of wheel tread profile for commuter train", CM2000, 2000
7. 허현무, 이찬우, "철도차량의 차륜마모 저감", 한국철도학회 춘계학술대회, 2000
8. 허현무, 이찬우 외, "차륜담면 최적관리시스템 개발" 철도청, 2002
9. 허현무, 이찬우 외 "여객차량의 차륜플랜지 마모특성 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002
10. 이찬우, 허현무, "KNR 무궁화객차의 차륜담면형상에 따른 주행특성 연구", 대한기계학회 춘계학술대회, 2002
11. 허현무, 이찬우 외, "여객 차량의 차륜플랜지 마모특성 분석", 한국철도학회 춘계학술대회, 2002

후 기

본 연구는 철도청 철도기술연구개발사업으로 지원된 "경제적 차륜담면관리기술 개발"과제의 연구결과의 일부입니다.