

## 화물열차 차축용 저 마찰 오일실의 성능 평가

### Performance Evaluation of a Lubrication Seal for Freight Cars

구병춘<sup>†</sup> · 김재훈\* · 신공순\*\* · 김준호\*\*

Byeong-Choon Goo · Jae-Hoon Kim · Kong-Soon Shin · Jun-Ho Kim

#### Abstract

Rail car axles are very important parts for safety of passengers and structural integrity of vehicles. The axles are supported by bearings. To seal grease lubricating the bearings of freight cars, an oil seal has been developed. The developed oil seal is composed of an inner plate, an outer plate and a seal rubber. The friction between axle and housing with the developed oil seal is very low. The seals are designed for a minimum life expectancy of 800,000 kilometers service. In this study, an accelerated durability tests according to AAR Specification M-934-82 were carried out. In addition, various performance tests according to KS B 2804 were conducted.

**Keywords** : Durability tests(내구시험), Freight cars(화물열차), lubrication seal(오일 실), Performance tests(성능시험)

#### 1. 서론

1992년 리우환경회의가 개최된 이후 선진국들은 에너지소비, 기후변화, 대기오염의 심각성을 인식하면서 화석연료 소비의 비중을 줄이려는 일환으로 환경적으로 지속가능한 교통(Environmentally Sustainable Transportation) 프로젝트를 진행하고 있다[1]. 또한 OECD를 중심으로 한 국제사회에서는 환경적으로 지속가능한 교통의 실현 수단으로서 도로교통 개선, 교통 수요 감소, 대체연료 사용, 화물수송 효율화 등의 환경부하 저감을 위한 노력을 기울이고 있다.

우리나라의 육상교통은 90% 이상을 도로에 의존하고 있어 환경파괴는 물론 교통의 사회적 비용이 상대적으로 높기 때문에 지금과 같은 자동차 위주의 교통체계로는 사회의 지속가능한 발전을 이루기 어렵다. 현재의 교통체계를 대중교통으로 수요를 전환하고 에너지 소비가 많은 자동차 사용을 억제하며, 교통수단간의 수송분담율을 개선하는 방향으로 건축공업, 자동차, 기타 산업전반에 걸쳐 광범위하고, 다양하게 사용되고 있다. 일반 오일 누유 밀폐방식의 오일 실은 사용내압으로 축을 조여 주게 되므로 많은 동력소모를 가져

오고, 마찰로 인한 마멸현상이 발생한다. 밀폐수명을 연장하기 위해서는 어느 정도의 누설이 발생해야 하는데, 이러한 누설로 인해 제품 성능상의 문제, 환경오염 등이 발생할 수도 있다. 이러한 오일실의 밀폐기능은 오늘날 중요시되고 있는 자원절약, 에너지 절약, 환경오염 방지 등과 밀접한 관계가 있으며, 산업기계 및 고정도 기계의 구동부의 발전과 함께 기계의 기본적인 요소로 그 중요성이 날로 증대하고 있다. 최근 기계부품의 고성능화가 점차적으로 요구됨에 따라 베어링 성능에 영향을 미치는 오일실부의 밀봉성과 이물질 혼입방지 및 배출 기능을 향상시켜 오일의 누유방지와 외부로부터 혼입된 이물질을 효과적으로 배출할 수 있는 기능을 갖는 접촉식 저 마찰 오일 실 구조가 요구되고 있다.

#### 2. 접촉식 저마찰 오일 실 개요

고속·고하중 회전베어링용 오일 실은 현재 철도 차량, 대형 수송기계와 초대형 산업기계 등과 같은 고하중의 차륜이나 회전축에 주로 사용되는 중요 부품으로, 고속·고하중용 베어링과 함께 국산화 개발이 시급히 요청되는 부품이다. 그리고 기계부품의 고성능화가 점차적으로 요구됨에 따라 Fig. 1과 같은 구조의 차축 베어링의 저 마찰 접촉식 오일 실 개발품에 대해 성능 및 내구성을 평가하고 향후 독자적인 평가기준 작성이 필요하다고 판단된다.

<sup>†</sup> 책임저자 : 회원, 한국철도기술연구원, 철도시스템안전연구본부  
E-mail : bcgoo@krti.re.kr

TEL : (031)460-5243 FAX : (031)460-5279

\* 한국철도기술연구원, 주임연구원

\*\* 대성화학공업(주)

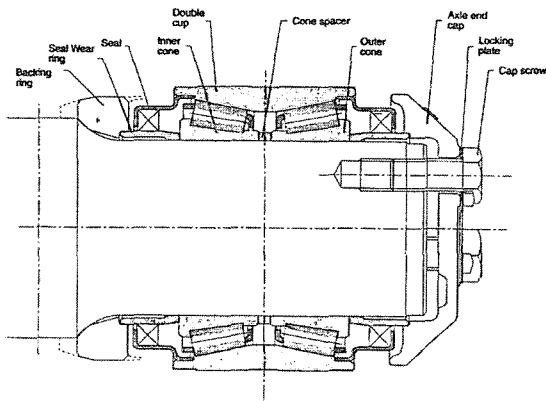


Fig. 1. 철도차량의 윤축 베어링 구조

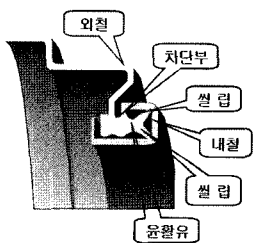


Fig. 2. 오일실의 구조도

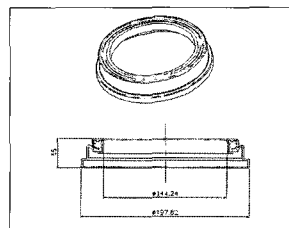


Fig. 3. 오일 실의 치수

고속·고하중 회전베어링용 오일 실의 제품개발은 Fig. 2와 같이 베어링의 외륜부에 장착되는 외철과 내륜부에 밀착되는 내철이 있고 외철에 부착되어 내철과 접촉하면서 시일링 역할을 하는 시일 고무로 구성된다. 시일 고무는 베어링 내부의 그리스 누유를 방지하기 위한 차단부와 실 립이 구성되고 외부로부터의 이물질 혼입방지를 위한 실 립과 차단부가 구성되어 있으며 차단부와 실 립 사이의 공간부분은 그리스로 채워져 그리스에 의한 차단과 실 립의 미끄럼 작용이 원활하도록 하였다.

또한 철도차량의 운행 중에 외부의 이물질로부터 베어링 실 링을 보호하기 위해 Fig. 2와 같이 외철을 안쪽으로 구부려 내철이 안쪽에 설치되도록 하였다. Fig. 3은 오일실의 설계도를 보여주고 있으며, 제조된 오일실의 사진은 Fig. 4, 베어링에 조립된 상태는 Fig. 5에서 보여주고 있다. 기타 개발품 오일 실에 대한 자세한 사항은 참고문헌[1]에 자세히 기술하였다.

### 3. 가속내구시험

#### 3.1 시험기준

AAR Specification M-934-82[2]에 의하면 철도차량 차축

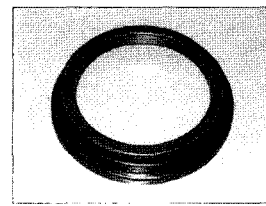


Fig. 4. 오일 시일

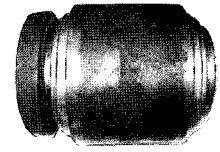


Fig. 5. 베어링 조립상태

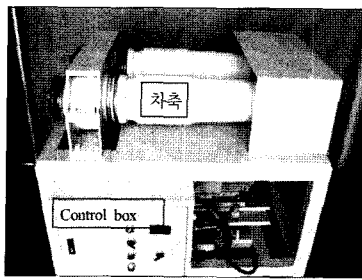
용 베어링 및 오일 실은 800,000만 km의 긴 수명 동안 이상 없이 작동할 수 있는 내구성을 지녀야 한다. 이 때 수명이란 개수를 기준으로 10%의 오일 실이 고장나는 수명을 의미한다. AAR의 가속내구시험 절차는 다음과 같다.

- 1) 오일 실의 듀로미터경도(Type A)를 측정한다.
- 2) "Association of American Railroads Mechanical Division Manual of Standards and Recommended Practices (M-934) - Appendix C"에 따라 시험장치에 조립된 완제품을 장착 시킨다.
- 3) 시험장치의 속도를 128km/h로 설정한다.
- 4) 오일 실과 시험장치 내부온도를 측정하는 센서를 장착한다.
- 5)  $24\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 분위기 온도를 맞추고 13,184km에 해당하는 시간동안 작동시킨다.(약 103시간)
- 6) 5) 시험의 종료 후 약 2일간 작동을 멈춘 후 분위기 온도를  $-43\pm 2^{\circ}\text{C}$ 에 맞추고 3,968km에 해당하는 시간동안 구동시킨다.(약 31시간)
- 7) 6)의 시험이 끝난 후 즉시  $54\pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 온도로 분위기 온도를 맞춘 후 3,008km에 해당하는 시간동안 작동시킨다.(약 22시간)
- 8) 위 시험을 통하여 전부 20,160km에 해당하는 시간동안 작동을 하여 오일 실에 누유가 생겼는가를 측정하고 발열온도를 측정한다.
- 9) 오일 실을 완제품에서 해체하여 시험 후 듀로미터경도 (Type A)를 측정한다.

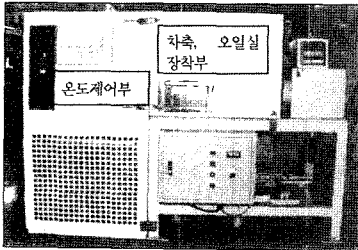
#### 3.2 내구성 시험장비

Fig. 6과 같이 시험장치를 구성하였다. 차륜 회전 시 베어링의 발열온도를 측정하기 위하여 3개소에 온도 센서를 부착하였다.

시험장치는 구동부의 모터가 풀리를 통하여 차축에 회전력을 전달하는 구조로 최대 회전속도는 1,145rpm이다. 오일 실과 차축의 조립은 실물 크기를 사용하여 실제와 동일한 조건을 갖도록 장착하였다. Fig. 6(a)는 차축 장착부의 뚜껑을 제거한 내부 모습을 보여 주고 (b)는 전체 시험기의 모습이다.



(a)



(b)

Fig. 6. 오일 실 내구성 시험장치

이 시험장치는 “Association of American Railroads Mechanical Division Manual of Standards and Recommended Practices(M-934) - Appendix C”의 시험을 하는데 목적을 두고 제작하였다.

### 3.3 시험결과

#### 3.3.1 시험시간별 온도측정

내구성 시험을 하는 동안 윤축용 베어링의 온도 변화는 Fig. 7에서 보는 바와 같다. 분위기 온도가 -43°C가 되었을 때 베어링의 온도도 약 -2°C까지 떨어지다가 2°C로 약간 상승되는 것으로 측정되었다. 즉시 고온으로(54°C) 분위기 온도를 올렸을 때 발열되는 온도가 약 90°C까지 상승하는 것으로 측정되었다. 이로부터 베어링의 온도는 분위기 온도를 기준으로 약 40°C 정도 상승하는 것을 알 수 있다. 이러한 온도상승에 대한 정보는 차축발열검지장치 개발 등에 활용 가능할 것이다.

한편 개발품 오일 실의 성능을 평가하기 위해서 현재 사용 중인 수입품과 비교시험을 하였다. 이 시험에서는 내구성 절차에 따르지 않고 상온에서 계속 회전을 시키면서 온도를 측정하였다(Fig. 8).

시간별 평균 발열온도 측정 데이터를 보면 외국제품의 발열온도 분포가 개발품의 발열온도보다 약 10°C 정도 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 온도 상승의 차이는 실 립과 실 마모링 사이의 마찰의 차이에서 발생하므로 개발품의 마찰이 수입품보다 더 작다는 것을 알 수 있다.

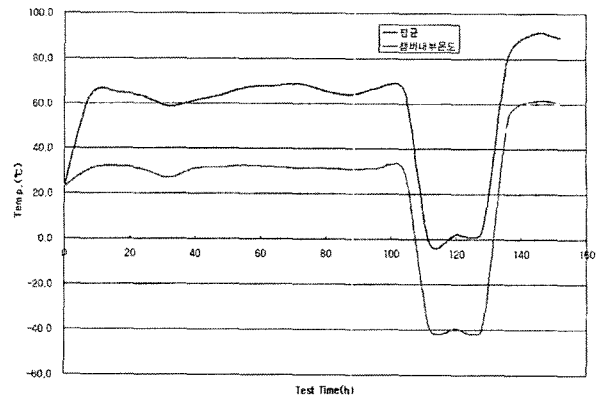


Fig. 7. 챔버와 오일 실의 온도

시간별 평균 온도측정

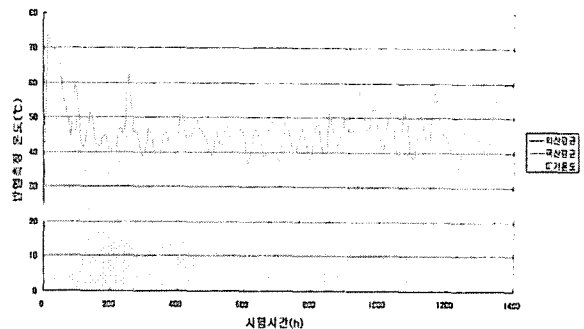


Fig. 8. 개발품과 수입품의 발열 온도 비교

Table 1. 내구시험 전후 경도 변화

시료 구분	초기 제품		시험 후 제품	
	1번	2번	1번	2번
1	82	82	83	83
2	83	82	82	83
3	82	82	83	84
4	82	81	83	82
5	82	82	82	83
평균	82.20	81.80	82.60	83.00
전체 평균	82		83	

#### 3.3.2 누유여부 측정

오일 실은 내구성 시험 기간 동안 누유가 없어야 한다. 내구성 시험을 하는 동안 초기에 약간의 누유가 관찰되었으나 이것은 외부에 있던 오일이 발열에 의해 녹은 것으로 누유에 의한 것이 아니라고 판단되었다.

#### 3.3.3 듀로미터 경도(Type A) 측정

경도는 오일 실의 실 립 부분을 측정하였다. 초기 제품과

시험 후 제품의 경도를 비교하였다. 시험 후 쇼아 경도가 AAR에서 규정하는 95 이하로 AAR 규정을 만족하였다. 시험 전후의 오일 실의 상태를 현미경으로 관찰할 때 조직에 있어 큰 차이가 발견되지 않았다[5].

#### 4. 성능 시험

고무에 관한 시험규정으로 KS M 6518 : 2001(가황 고무 물리 시험 방법)에서[3] 규정하는 시험항목으로는 인장시험, 신장 영구 늘음을 시험, 경도시험, 노화시험, 박리시험, 인열 시험, 압축 영구 줄음을 시험, 반발탄성시험, 침지시험, 금속과의 접착시험, 저신장 응력시험, 오존균열시험, 압축시험, 저온 비틀림 시험이 있다.

오일 실에 대한 규격으로 KS B2804-1991(오일 실)에서는 [4] 일반적인 회전축에 사용되는 오일 실에 대해 고무재료의 물리적 성질에 대한 시험항목으로 공기 가열 노화시험, 압축 영구변형 시험, 내유 시험, 내한 시험을 규정하고, 오일 실의 성능시험에 대해서도 규정하고 있다. 본 연구에서는 오일 실의 물리적 성질 평가를 위해 KS B2804-1991(오일 실) 규정의 항목을 KS M 6518의 시험법으로 평가하였다.

##### 4.1 KS B 2804-1991(오일 실)

KS B 2804 규정은 지름 7~500mm의 회전축 주위에서 기름 또는 그리스의 누설을 방지하기 위한 오일 실에 대한 규정이다.

Table 2는 시험결과이다. KS 규정에서 경도변화는 -15~0로 음의 값만 규제하고 있고, 부피변화율은 0~25로 양의 값만 규정하고 있다. 시험결과는 이 범위를 약간 벗어나고 있음을 알 수 있다.

##### 4.2 토크 측정

개발품과 외국 제품인 기존품 오일 실을 베어링에 조립된 상태에서 토크를 측정하여 비교하였다. 측정결과를 Fig. 9에서와 같이 베어링 외관을 고정시키고, 원활한 윤활작용을 위해 50회 회전을 시킨 후, 측정용 지그를 사용하여 오일 실을 1회전 시키는데 걸리는 최대 토크이다. 각 측정값은 5회 측정값의 평균값이다. Table 3에서 보는 바와 같이 수입품과 개발품 각각 4개 시편에 대한 평균 토크 값은 기존품이 1.19 N·m, 개발품이 1.16 N·m로 개발품의 토크가 약간 낮다. 이는 정치시험대 시험 시 개발품의 차축 온도 상승값이 약간 낮은 경향과 일치하는 결과이다. 기타 실험에 관한 자세한 사항은 참고문헌 [5]에 자세히 기술하였다.

#### 5. 결론

현재 국내 철도차량 회분열차의 오일 실은 AAR 규정을 만족하는 수입품을 사용하고 있다. 향후 오일 실의 국산화와 성능 및 신뢰성 평가를 위해 본 연구에서는 개발된 오일 실을 대상으로 KS 규정을 적용하여 실 고무의 물리적 성질을 평가하였고, AAR 규정을 적용하여 내구성을 평가하였다. 내구성

Table 2. KS B 2804-1991(오일 실)에 의한 성능시험 결과

시험항목		시험치	KS B 2804 (기준)	
인장강도(N/cm <sup>2</sup> )		1,505	-	
연신율(%)		312	-	
경도(Hs)		81	-	
노화시험 (120℃, 48h)	인장강도 변화율(%)	+11	-20	
	연신율 변화율(%)	-9	-50	
	경도 변화(Hs)	+4	+15	
내유시험 (침지오일: 그리스, 100℃, 70h)	인장강도 변화율(%)	그리스	오일 (No.3)	오일 (No.3)
		+14	8	-35
	연신율 변화율(%)	-13	-9	-35
	경도 변화(Hs)	+6	3	-15~0
부피 변화율(%)		-4	-3	0~25
압축 영구 줄음률(%)		14	50	

Table 3. 토크 측정치

번호	#1 (N·m)	#2 (N·m)	#3 (N·m)	#4 (N·m)	평균 (N·m)
기존품	1.15	1.22	1.18	1.22	1.19
개발품	1.11	1.21	1.15	1.20	1.16

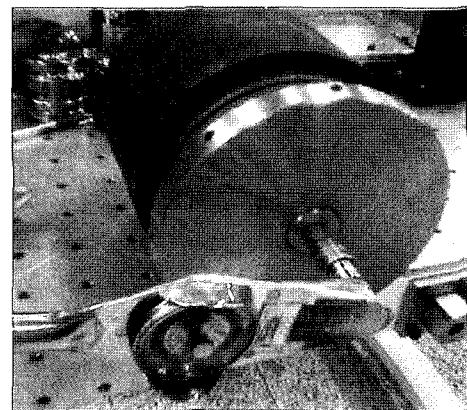


Fig. 9. 토크 측정 장치

시험결과에서는 개발품이 기존품보다 발생온도가 낮았고, KS 규정에 의한 성능시험에서는 경도변화와 부피변화에서 기존 규격을 약간 벗어났다. 향후 이들 규정을 이용하여 접촉식 저마찰 오일 실의 신뢰성 평가 기준작성이 필요하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 윤덕재, 최석우, 임성주, “고속 고하중 윤축 베어링용 오일 실 국산화 기술 지원,” 산업자원부, pp.1-97. 1994
2. AAR Specification M-934-82, Freight Car Journal Roller Bearings
3. KS M 6518-2001, 가황 고무 물리 시험 방법
4. KS B 2804-1991, 오일 실
5. 구병춘, 김재훈, “고속 고하중용 비접촉식 윤축용 베어링 오일 실의 신뢰성 평가 기준작성 및 신뢰성 평가기술 개발,” 한국철도기술연구원, pp.1-71