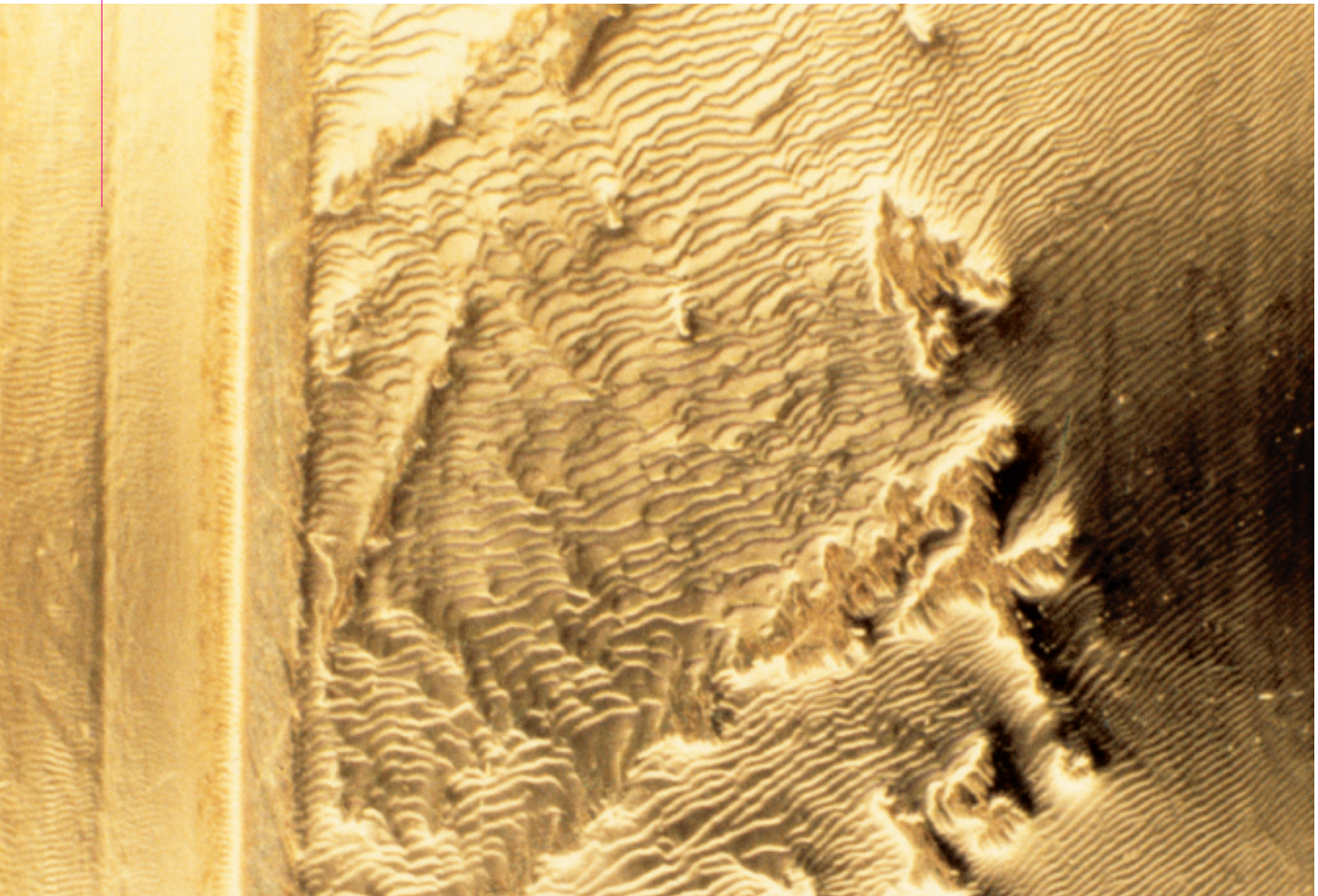


구름베어링 손상



손상 감지와 베어링 검사

구름베어링 손상

Publ. No. WL 82 102/2 KA

FAG 베어링 코리아

A Member of the Schaeffler Group

서울특별시 중구 을지로 1가 87번지

삼성화재빌딩 11, 12층

전 화 : 02-311-3771~3779

F a x : 02-311-3060

[http:// www.fag.co.kr](http://www.fag.co.kr)

구름베어링은 광범위한 분야에 적용되는 기계 요소이다. 베어링은 극한의 조건 하에서도 신뢰할 수 있으며 조기 손상은 거의 없다.

구름베어링 손상의 첫번째 신호는 주로 베어링의 비정상적인 운전 상태이다. 손상베어링의 조사는 여러 광범위한 현상을 보여준다. 일반적으로 베어링만 조사하는 것만으로 손상의 원인을 정확히 판단하기는 충분치 않으며 짝을 이루는 부품이나 윤활, 밀봉, 운전 조건 및 주위 환경 조건을 같이 검토해야 된다. 조사를 위해 준비된 절차는 파손 원인의 결정을 쉽게 해 준다.

이 카탈로그는 본질적인 연구 교본이다. 이 카탈로그는 전형적인 베어링 손상, 원인, 대책을 담고 있다. 손상 유형의 예시들과 함께 초기 단계에서의 베어링 손상을 감지하는 가능성을 카탈로그 처음 부분에 설명하였다.

손상으로 분류되지 않은 베어링 역시 자주 실행되는 모든 예방 보전에 포함된다. 그러므로 이 카탈로그는 일정 수명 동안의 베어링 운전 특성 예시들도 담고 있다.

표지 : 처음에는 높은 상공에서 찍은 모래 언덕들의 사진처럼 보일지 모르지만 사실은 원통 롤러스러스트베어링의 물결 모양의 변형 마모 형상이다. 꼭대기에서 골짜기 사이는 1미그론 미만이다. 느린 속도로 혼합된 마찰이 미끄럼 접촉에 의해 응력이 가해진 지역에서 일어난다. 잔물결이 stick-slip 효과의 결과로 나타난다.

	페이지		페이지
1 비정상적인 운전에서 나타나는 손상	4	3.3.4.2 전동체 외경면의 굽힘	44
1.1 주관적인 베어링 손상 감지	4	3.3.4.3 미끄러진 자국	45
1.2 기술장비를 이용한 베어링 모니터링	4	3.3.4.4 스코어 마크	46
1.2.1 광범위한 손상	4	3.3.5 고열에 의한 손상	47
1.2.2 일정한 흠집이 있는 손상	6	3.4 립 접촉면의 판단	48
1.3 베어링의 긴급 교체 - 잔여수명	7	3.4.1 롤러 베어링의 롤러 단면과 내륜 립 부분의 손상	48
2 손상베어링의 확보	9	3.4.1.1 외부 이물체에 의한 스코어링	48
2.1 운전데이터의 결정	9	3.4.1.2 립 접촉면의 타붙음	49
2.2 윤활제 추출 및 평가	9	3.4.1.3 립 접촉면의 마모	50
2.3 베어링 주변환경 점검	10	3.4.1.4 립 파손	51
2.4 조립 상태에서 베어링의 평가	10	3.4.2 케이지 안내 표면의 마모	52
2.5 손상된 베어링의 해체	10	3.4.3 시일 회전 접촉 부위의 손상	53
2.6 베어링 설치부 검사	10	3.4.3.1 시일 립의 트랙의 마모	53
2.7 해체를 완료한 베어링의 평가	10	3.4.3.2 시일 트랙의 변색	53
2.8 FAG에 송부 또는 베어링 각 부품의 평가	10	3.5 케이지 손상	54
3 해체 베어링에 대한 운전특성과 손상평가	11	3.5.1 윤활제 부족 및 오염에 의한 마모	54
3.1 조치사항	14	3.5.2 윤활제 부족	54
3.1.1 분리 부품의 표시	14	3.5.3 롤러 스큐잉에 의한 마모	55
3.1.2 베어링 완제품 상태에서의 조치	14	3.5.4 케이지에 의한 볼 베어링 케이지 마모	55
3.1.3 베어링 각 부품의 분해	14	3.5.5 케이지 연결부의 파손	56
3.1.4 베어링 부품의 평가	14	3.5.6 케이지 파손	56
3.2 베어링 설치부의 상태	15	3.5.7 부적절한 조립에 의한 손상	57
3.2.1 프레팅 부식	15	3.6 시일 손상	58
3.2.2 타붙음 흔적 또는 미끄럼 마모	16	3.6.1 시일 립의 마모	58
3.2.3 베어링의 불균일한 지지	17	3.6.2 부적절한 조립에 의한 손상	59
3.2.4 폭면으로 굽힌 궤적	18	4 FAG에서 사용하는 다른 검사방법	60
3.3 구름접촉의 형태	19	4.1 베어링과 베어링 부분의 기하학적 측정	60
3.3.1 궤적의 생성 및 중요성	19	4.2 윤활제 분석 및 검사	63
3.3.1.1 정상궤적	19	4.3 재료 검사	65
3.3.1.2 비정상적인 궤적	21	4.4 X-ray 미세조직 분석	66
3.3.2 궤도론과 전동체 표면 압흔	27	4.5 주사 전자 현미경 조사 (SEM)	67
3.3.2.1 깨짐	27	4.6 구성부품 테스트	69
3.3.2.2 부식	34	4.7 하중조건 하에서의 계산	71
3.3.2.3 폴스 브리델링	36		
3.3.2.4 전동체 압흔	37		
3.3.2.5 전류 통과에 의한 크레이터와 플루팅	38		
3.3.2.6 전동체의 가장자리 회전	39		
3.3.3 링 파손	40		
3.3.3.1 궤도면 피로에 의한 파손	40		
3.3.3.2 내륜의 축방향 초기균열과 완전균열	40		
3.3.3.3 원주방향으로 외륜 링 파손	41		
3.3.4 접촉 면에서 깊은 굽힘 및 스미어링 흔적	42		
3.3.4.1 윤활 부족에 의한 마모	42		

비정상적인 운전에서 나타나는 손상
주관적인 손상 감지, 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

1. 비정상적인 운전에서 나타나는 손상

일반적으로 베어링 손상의 첫 번째 신호는 베어링의 운전특성이 점차적으로 악화되는 것이다. 잘못된 조립에 의한 것 또는 윤활의 부족 등에 의한, 직접적인 기계 운전 중단을 유도하는 갑작스런 손상은 극히 드물다. 운전조건에 따라 베어링이 손상되기 시작한 시간부터 실제로 파손되기까지는 몇 분에서 환경조건에 따라 심지어 몇 달이 걸릴 수도 있다. 베어링 모니터링 방법을 선정하는 데에는 베어링 용도와 기계운전에 대한 베어링 손상의 영향이 고려된다.

1.1 주관적인 베어링 손상 감지

표1에서와 같이 대부분의 베어링 적용 부위에서 설비 운전자는 베어링의 불안정한 운전상태 또는 비정상적인 소음을 충분히 감지할 수 있다.

1.2 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

베어링 손상으로 인한 위험 또는 장치 간의 생산 중단을 일으킬 수 있는 베어링의 경우 정확하고, 한편으로는 지속적인 베어링의 모니터링이 요구된다. 두 가지 예로 제트 엔진과 제지 기계 등이 있다. 신뢰성 있는 관측을 위하여 그 범위는 예측할 수 있는 손상 형태를 근거로 해야 한다.

1.2.1 광범위한 손상

베어링이 문제없이 작동하기 위한 주요 선행요건은 청정한 윤활제의 충분한 공급이다. 바람직하지 않은 변화를 다음에서 확인할 수 있다.

1: 운전 상태에서 손상 감지

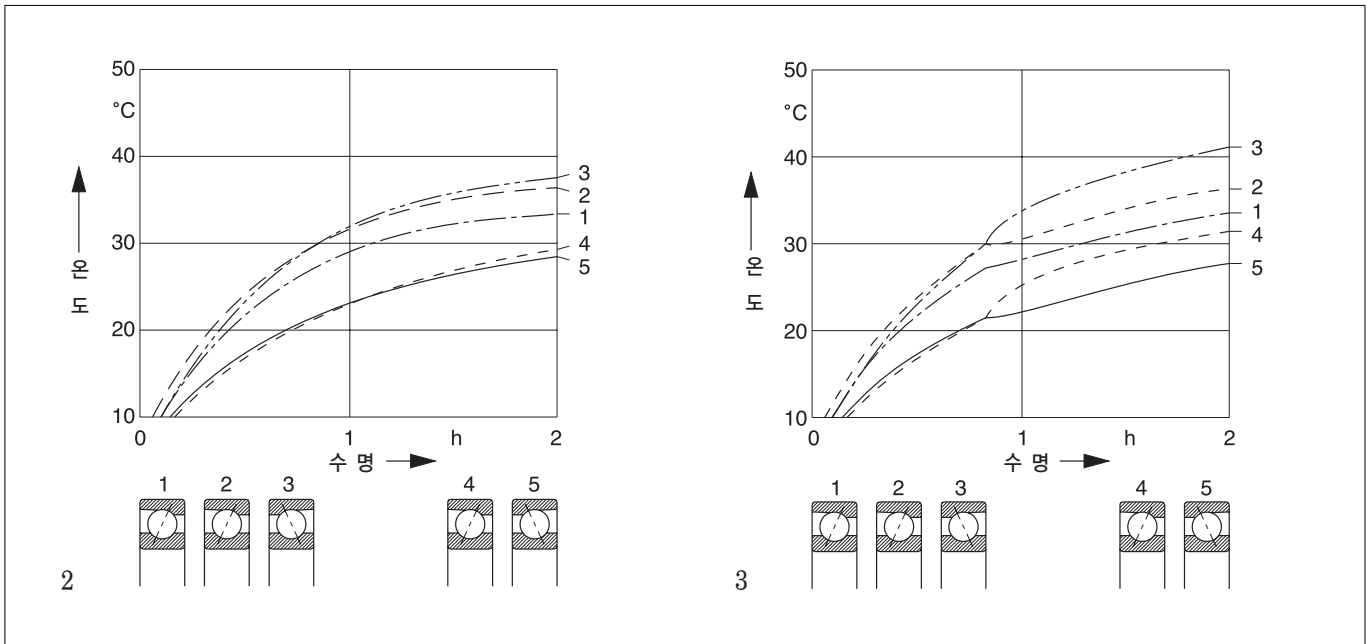
현상	이상요인	예
불규칙 회전	내 · 외륜이나 전동체의 손상	자동차: 휠 흔들림 증가 각 틈새 증가 조향장치의 진동
	오염	팬: 진동의 증가
	과도한 틈새	절단기: 커넥팅 로드 노킹 및 타격 현상의 증가
운전정밀도 감소	오염 또는 불충분한 윤활에 의한 마모	선반: 피가공물에 떨림 자국의 점진적 증가
	내 · 외륜이나 전동체의 손상	연삭기: 물결모양의 연삭면
	조정값의 변화 (틈새 또는 예압)	냉간 압연기: 압연재 내에 스트레치 스트레인, 미세 선 등과 같은 주기적인 표면 결함
비정상적인 회전 소음:	불충분한 운전 틈새	
내부의 킁킁거리는 소음		
덜컹거리는 불규칙 소음	과도한 틈새 접촉면의 손상 오염 부적절한 윤활제	전동기, 기어 (일반적으로 기어의 운전 소음에 묻히므로 베어링 소음은 식별 곤란)
회전소음의 점진적인 변화	온도에 따른 운전틈새의 변화 구름면 손상 (오염 또는 피로에 의한 것 등)	

비정상적인 운전에서 나타나는 손상 주관적인 손상 감지, 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

2: 기계장치내의 손상이 없는 주요 스피들 베어링의 온도 변화

시험조건: $n \cdot d_m = 750\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$.

3: 불안정한 상태의 자유측 베어링 온도변화. 시험조건: $n \cdot d_m = 750\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$.



- 윤활제 공급 모니터링

- 오일량 표시기
- 오일 압력의 측정
- 오일 흐름 측정

- 윤활제의 손실량 측정

- 주기적인 확인 사항
- 자석 플러그
- 윤활제 시료의 스펙트럼 분석
- 시험실에서 오일 시료의 검사
- 지속적인 확인 사항
- 온라인으로 연결되는 이물 카운터로 유체 이물질 양을 확인하는 자기 신호 송신기

- 온도 측정

- 일반적으로 열전지를 이용

부적절한 윤활로 인한 손상을 감지하는 가장 신뢰할 수 있고 상대적으로 쉬운 방법은 온도 측정이다.

정상적인 온도 변화

- 그림 2 정적인 회전시 정상온도에 도달함

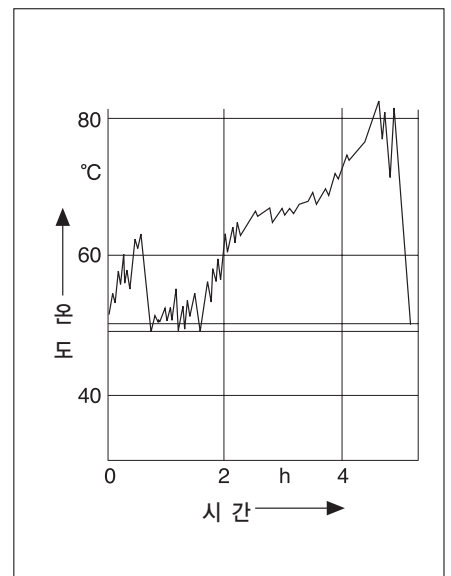
불규칙 변화

- 그림 3과 같이 윤활제의 부족 또는 베어링의 과도한 경방향, 축방향 예압에 의한 온도 급상승
- 그림 4와 같이 윤활 조건의 일반적인 열화로 상승 추세의 불규칙적 최대값, 예를 들어 수명이 다한 그리이스 윤활 상태를 나타내는 고르지 않은 온도 변화

그러나 온도 측정은 피로와 같은 국부적인 손상을 조기에 감지하는 데에는 적합하지 않은 방법이다.

4: 열악한 그리이스 윤활 상태에서의 시간에 따른 온도변화

시험조건: $n \cdot d_m = 200\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$.



비정상적인 운전에서 나타나는 손상

주관적인 손상 감지, 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

1.2.2 일정한 흡집이 있는 손상

베어링 손상이 진동체에 의한 압흔, 정지상태에서의 녹 또는 균열 등과 같이 특정한 위치에서 국한되었다면 그것은 진동측정을 통하여 가장 먼저 감지될 수 있다. 국부적인 압흔의 순환으로부터 발생하는 충격파는 궤적과 속도 및 가속도 센서에 의해 기록될 수 있다. 이러한 신호들은 운전조건과 요구되는 신뢰 항목의 정확도에 따라 가공될 수 있다.

가장 일반적인 것은 다음과 같다.

- 유효값의 측정
- 충격값의 측정
- 엔벨로프 검출에 의한 신호 분석

경험적으로 엔벨로프 검출 방법이 특히 신뢰성이 있고 사용상에서 실용적이다. 그림 5와 6에서 보면 손상된 베어링 부품은 신호 처리로 정확히 확인될 수 있다. 좀 더 자세한 정보를 얻고자 하면 TI WL 80-63 “FAG Bearing AnalyzerⅢ에 의한 구름베어링 진단” 책자를 참조하라.

6: 엔벨로프 검출 방법에 의해 발견된 제지기계용 스페리컬 롤러 베어링의 내륜손상

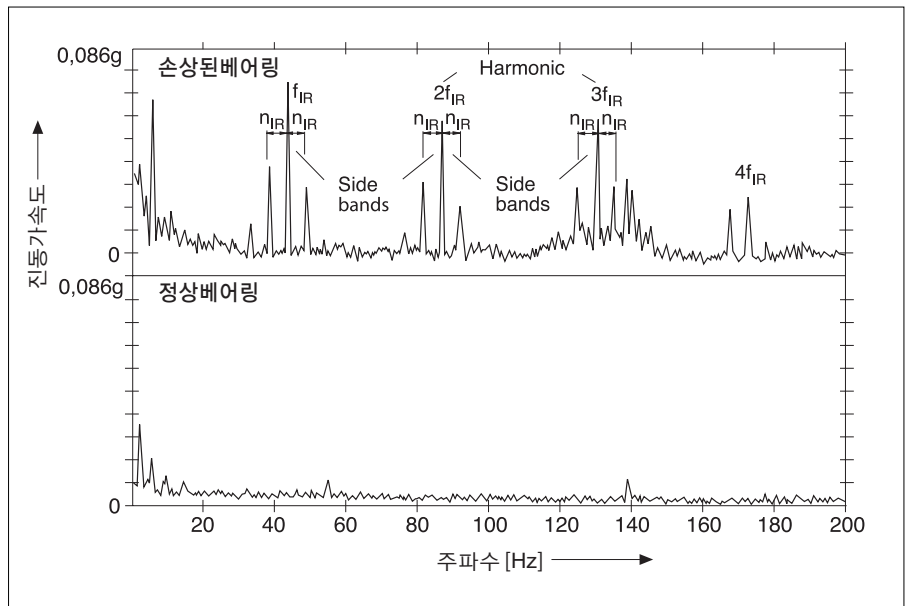


5: 0에서 200Hz사이에서 엔벨로프 신호의 주파수 스펙트럼

아래: 손상되지 않는 베어링; 위: 손상된 베어링

n_{IR} : 내륜속도 (min^{-1})

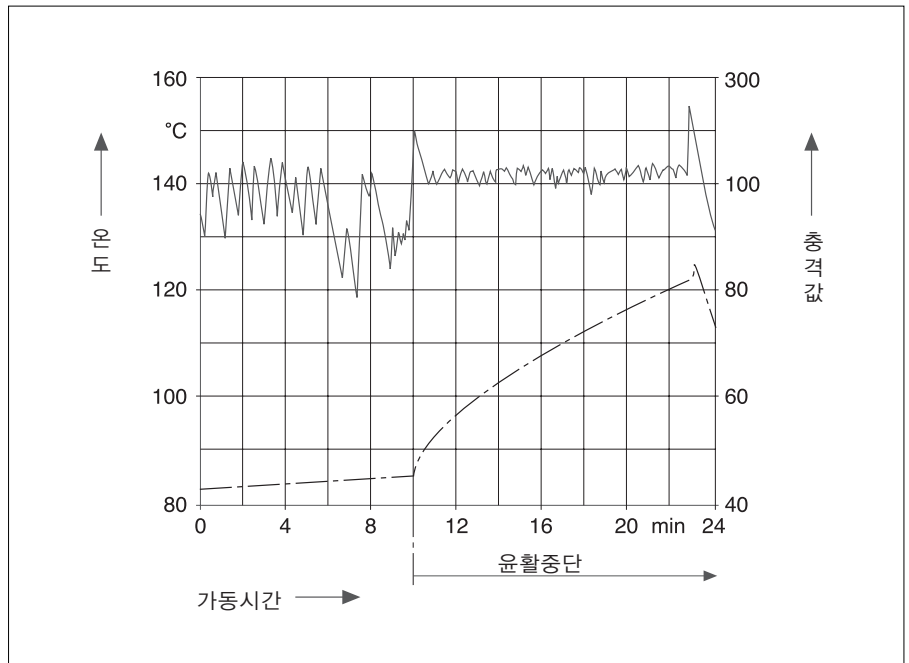
f_{IR} : 내륜신호 주파수(회전주파수) (Hz)



7: 윤활을 중단한 후 시간에 따른 온도 및 충격값의 변화

스핀들 베어링 B7216E. TPA; P/C=0.1; $n=9000\text{min}^{-1}$;

윤활 오일 ISO VG100



비정상적인 운전에서 나타나는 손상 주관적인 손상 감지, 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

진동측정방법은 피로손상을 발견하는데 매우 적절하다. 이것은 볼 베어링과 같이 점접촉 베어링에 가장 용이하며 엔벌로프 검출 같은 좀더 발전된 평가 방법으로 롤러 베어링의 손상을 확실하게 발견할 수 있다.

그러나 이것들은 윤활조건을 관찰하기에는 다소 적절하지 않다. 윤활공급에서의 문제는 위에서 언급한 바와 같이 온도 측정에 의해서 발견할 수 있다. 이에 대하여는 특히 그림 7에 잘 묘사되어 있다. 충격값은 온도센서보다 덜 민감하다. 따라서 고가의 기술설비의 경우 온도와 진동측정은 서로 보완적이다.

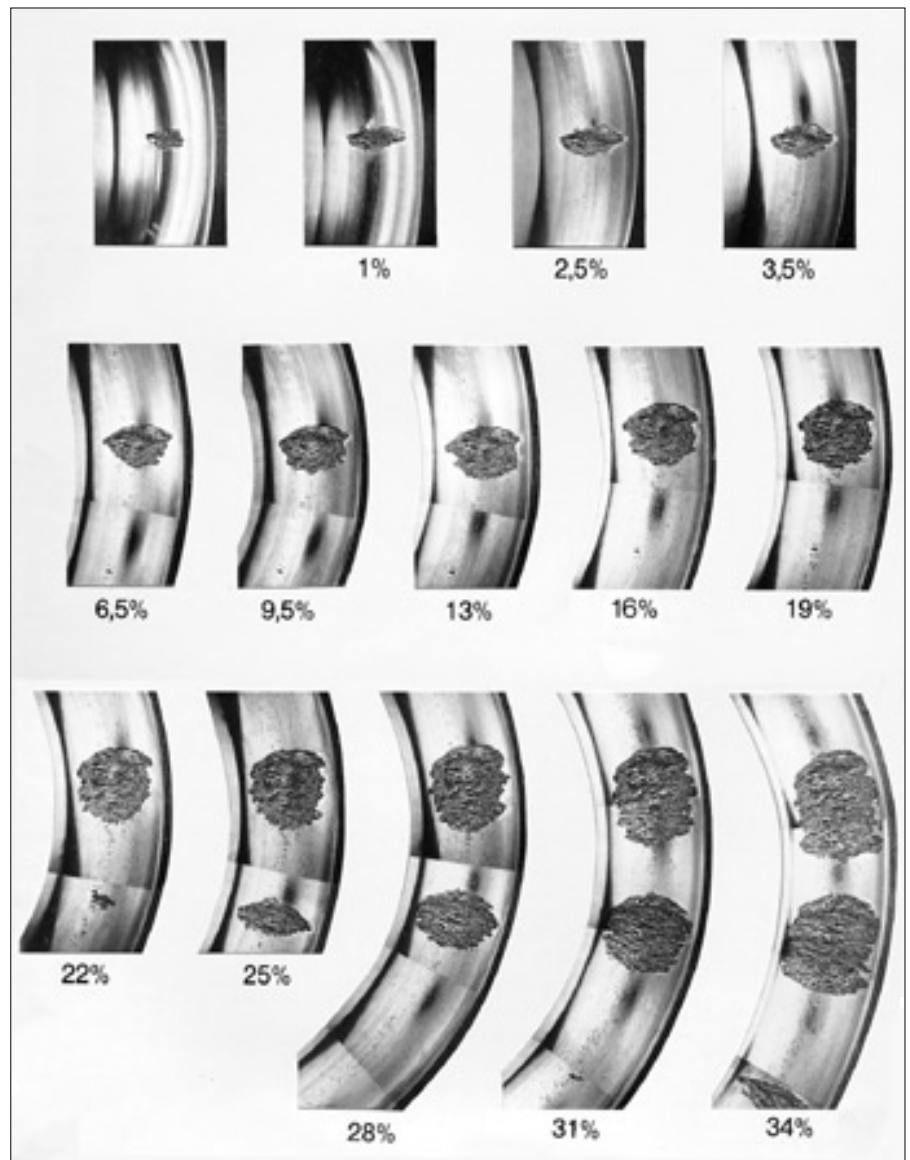
많은 경우 베어링 손상이 발생하더라도 기계는 제품의 품질 저하없이 운전을 지속할 수 있다. 그것이 얼마나 오래 운전하는가는 베어링 하중, 속도, 윤활과 윤활제의

청정도에 달려있다. 다양한 하중 하에서 볼 베어링의 손상 과정에 대한 광범위한 조사가 수행되어 있다.

그 주요 결과는 다음과 같다.

8: 앵글러콘택트 볼 베어링 내륜 궤도 피로 손상의 진행과정

손상이 시작된 이후 검사 주기의 간격은 정상수명 L_{10} 에 대한 비율로 나타냄



13 베어링의 교체 긴급성 - 잔여수명

베어링 손상이 발견된 후에 그 베어링을 즉시 교체해야 하는지 아니면 기계의 다음 예정된 정지시까지 작동하도록 남겨두는 것이 가능한지 판단해야 한다.

이에 대한 결정을 내리기 전에 고려되어야 할 몇 가지 조건이 있다. 예를 들어 공작기계의 가공 정밀도 저하로 인해 베어링 손상이 의심된다면 베어링 교체 필요성은 제품의 품질 저하 없이 얼마나 더 오래 운전이 가능한지에 의존한다. 물론, 윤활제 공급 중단을 감지하지 못해서 고속에서 고온 회전이 된 결과로 베어링이 정지한 경우 즉각 베어링을 교체해야 한다.

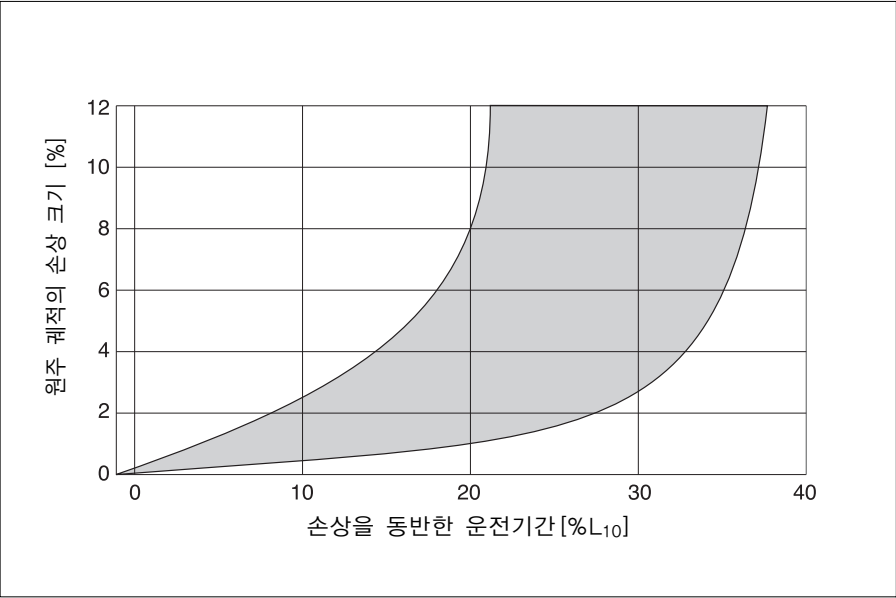
비정상적인 운전에서 나타나는 손상

주관적인 손상 감지, 기술장비를 이용한 베어링 모니터링

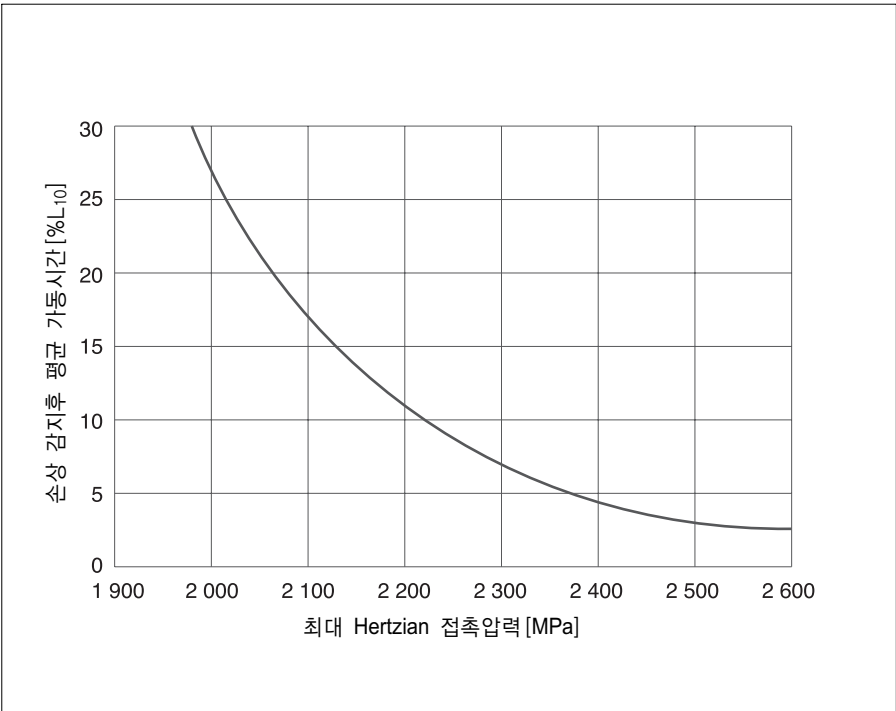
- 적당한 하중에서 손상은 아주 천천히 진행되므로 일반적으로 다음에 예정된 정지 이전에 베어링을 교체할 필요는 없다.
- 하중이 증가하는 경우 손상은 좀 더 빠르게 진행된다.
- 손상은 처음에는 천천히 진행되나 손상이 확대됨에 따라 빠르게 진행된다.

그림 8 (7페이지), 9, 10이 이러한 현상을 설명한다.

9: 손상을 감지한 후 운전시간에 따른 손상 크기
(원주 궤적의 0.1% 정도가 플레이킹 되었을 때)



10: 응력 상태를 근거로 피로 손상을 감지한 후 원주 궤적의 1/10이 손상될 때까지 앵귤러 콘택트 볼 베어링의 평균 잔류 운전 시간.
피로손상의 첫 번째 신호에 앞선 운전조건, EHD윤회 간극은 매우 청정



2. 손상 베어링의 확보

베어링 손상으로 베어링을 설비에서 제거해야 한다면 향후 파손을 방지하기 위한 방법 뿐만 아니라 그 원인도 명확하게 해야만 한다. 가장 신뢰성이 있고 가능성이 있는 결과를 위하여는 베어링을 확보하고 검사할 때 체계적인 절차를 따르는 것이 실용적이다. 그리고 아래에 언급된 몇 가지 내용은 유지 보수를 위하여 탈거된 베어링을 검사할 때 고려되어야 할 사항이다.

측정 항목들의 권장 순서

- 운전 데이터를 결정하고 베어링 모니터 링 장치의 기록 및 그래프를 평가
- 윤활유 시료를 채취
- 베어링의 외부환경 및 다른 손상 여부 확인
- 조립 조건하에서 베어링 평가
- 베어링 조립 위치 표시
- 베어링 탈거
- 베어링 및 부품들의 표시
- 베어링 설치부 확인
- 해체 전의 베어링 완제품 평가
- 각각의 베어링 부품을 평가 또는 FAG로 송부

만약 이러한 추천된 내용이 적절하게 수행되지 않으면 베어링 파손 원인을 찾기 위하여 요구되는 중요한 인자들을 영원히 잃어버릴 수도 있다. 또한 손상된 베어링이 잘못 다루어질 경우 손상 형태가 왜곡될 수 있거나 또는 적어도 손상 형태를 정확하게 설명하는 데 아주 어렵게 만들 수 있다.

2.1 운전데이터의 결정

구름베어링 손상을 검사할 때 베어링 자체의 검사뿐만 아니라 주변환경 및

적용부의 조건 또한 선행하여 확인되어야 한다.(가능하면 조립도면을 참조한다)

- 적용부위
기계(설비), 베어링 위치, 도달수명, 유사한 기계들의 숫자 및 파손빈도
- 베어링 적용 상태
고정측베어링, 자유측베어링, 자유측 베어링의 배열, 조정식 베어링 (느슨한 정도, 견고함, 스페이스의 유무, 고정 용 와서 경유 여부)
- 속도
일정속도, 변화여부(내륜과 외륜)
가속, 감속 또는 지연
- 하중
축방향, 경방향, 조합, 비틀림 모멘트
일정하중, 변화(집합적인), 진동(가속, 진폭), 원심력, 점하중, 원주하중 (어느 링이 회전하는가?)
- 상대부품
하우징 및 축의 베어링 자리(끼워맞춤), 조임부품들(예, 로크너트의 형태, 탄성볼트 등)
- 환경조건
외부 열 및 냉각 특수장치 (예, 산소, 진공, 방사 등)
정지상태의 진동
먼지, 오염물, 습기, 산화매개체, 전기 또는 자기 영역
- 윤활
윤활유, 윤활유의 양, 윤활유 공급, 재급유 주기, 마지막 재급유 주기 일자 /마지막 오일 교환
- 밀봉
접촉, 비접촉
- 베어링 파손 이력
신품 또는 교체된 베어링 여부, 과거 베어링 위치 또는 설비의 교체이력
현재까지의 파손 빈도

계산된 L_{10} 수명

정상적으로 가능한 수명

현재까지 운전기간동안 특이한 사항 다른 기계부품의 보수내역 (구조적인 조치, 용접)

다른 기계요소에 의한 기계적 고장(시일손상, 윤활유의 누유 등) 기계 또는 베어링 이송거리 및 방법

포장상태

- 가능하다면 베어링 기록장치에 의한 기록 및 그래프를 평가한다.

2.2 윤활제 추출 및 평가

구름베어링에 있어서 손상원인을 다양하게 나타나게 하는 것은 윤활제이다. 적절한 테스트 시료는 필수적이므로 DIN 51750, ASTM Standard D270-65와 4057-81을 참고한다.

- 그리이스 윤활
 - 베어링 주변의 그리이스의 분포 상황 및 색상을 조사
 - 베어링과 베어링 주변의 다른 장소에서 각각을 표기하여 시료를 추출
- 오일 윤활
 - 베어링 주변 또는 오일 공급장치의 중간에서 시료를 채취한다.
 - 이물질의 일반적인 분포상태를 확인하기 위하여 기계가 작동하는 중이나 또는 정지 후 즉시 시료를 채취한다.
 - 시료는 바닥부분 또는 필터 직전에서 채취해서는 안된다. (입자들이 집중되어 있음)

- 오일 시료와는 별도로 필터의 오일이 검사용으로 보존되어야 한다.
(손상 전에 이력 표시)
- 일반사항
 - 베어링의 재급유 또는 오일교환은 얼마나 자주 시행하는가? 언제 마지막으로 수행했는가?
 - 베어링 또는 부품에서 떨어져 나간 조각들에서 오일 또는 그리이스를 확인한다.
 - 적절한 재질(예를들면 유리제품)로 만들어진 깨끗한 용기를 사용한다.
 - 용기는 실험실에서 오일 시료를 취저울 수 있도록 공간적 여유가 있어야 한다.
 - 시료는 고객, 외부 윤활 연구소 또는 FAG에서 분석할 수 있다. 관심의 초점은 윤활성 (노화, 경화, 색상, 탄화, 첨가제의 분리 등)의 분석뿐만 아니라 이물질의 양 및 형태(모래, 철, 연하고 작은 요소, 물, 냉각제)이다. 가능하다면 신품 그리이스 또는 오일도 확인하여야 한다.
(알려지지 않은 윤활제의 경우는 열에 의한 영향).

2.3 베어링 주변환경 점검

- 주변 부품이 베어링의 어느 부분과 간섭될 소지가 있는가?
- 다른 부품이 베어링 손상 (간접적인 또는 근본적인 손상)과 밀접한 관계 있는지?
- 시일의 내부 및 외부 청정도 (베어링 공간에 이물질 여부)
- 베어링 고정하는 부품의 풀림 여부(베어링이 강제적으로 변형되었는가? 볼트가 풀려있는지?)

2.4 조립 상태에서 베어링의 평가

- 파손되거나 찌개진 부분이 있는가?
- 시일이 손상되었는가? 특히 변형 또는 경화 되었는가?
- 베어링이 육안으로 볼 때 변형 되었는가?
- 이물질에 의하여 긁힌 부분을 발견 할 수 있는가?
- 조립 상태에서 베어링이 너무 느슨하게 또는 너무 꼭 끼면서 회전하는가? (조립 효과)

2.5 손상된 베어링의 해체

- 손상된 베어링을 해체할 경우에는 손상 형태가 왜곡되지 않도록 주의하여야 한다. 만약 불가능하다면 해체할 때의 발생되는 손상 내역이 표시 또는 기록되어야 한다. 가능하다면 다음 내용을 확인하여야 한다.
- 전동체에 해체하는 힘이 가해지지 않도록 한다.
 - 매우 큰 해체력이 자유단측 베어링의 성능을 저하시키는 인자가 될 수 있다.
 - 밀봉형 베어링은 시일을 제거하지 말라.
 - 열에 민감한 부품(윤활유, 시일, 케이지)이 과도한 열에 의하여 파손 또는 손상되지 않도록 한다.
 - 베어링에 표시
(조립 위치 및 장착 방향 등)

2.6 베어링 설치부 검사

- 축과 하우징의 치수 (부적절한 예압, 너무 느슨한 조립)
- 설치부의 형상 공차 (진원 변형)
- 설치부의 거칠기 (재질적으로 과도한 감소 상태)
- 프레팅 부식(하중의 방향, 일정치 않은 지지 등에 의해 다양하게 발생)

2.7 해체를 완료한 베어링의 평가

베어링의 평가를 위하여 항상 세척을 하지 않은 상태, 즉, 윤활유가 남아있는 상태로 베어링을 다뤄야 한다.

다음은 확인되어야 할 사항이다.

- 일반적 조건 (베어링의 청결 및 끼워맞춤 표면의 조건, 즉, 조립 흔적, 녹에 의한 부식, 내·외륜의 균열상태, 치수의 정확도, 들러붙은 자국, 변색 등)
- 밀봉장치의 조건
사용 장소 및 그리이스 누출 범위의 사진 또는 묘사
- 케이지의 조건
- 수동 회전 검사(이물질, 손상 또는 예압 징후)
- 베어링 틈새 측정 (경방향 또는 축방향으로 링의 이동 범위), 베어링이 동일하게 부하를 받고 회전할 수 있는 요인

2.8 FAG에 송부 또는 베어링 각 부품의 평가

기본적으로 발생할 수 있는 베어링 고장의 원인은 종종 소비자들 또는 FAG 직원들에 의해 그 자리에서 파악될 수 있다. 손상된 베어링의 형태에 따라 추가로 특별 검사 여부가 요구된다. 각각의 베어링 부품 검사를 위한 과정이 아래에 자세히 묘사되어 있다.

만약 FAG에서 조사해야 한다고 명확한 판단이 서면 각 부품을 아래와 같이 준비하여 송부하여야 한다.

- 베어링을 분해하거나 세척하지 말아야 한다. 결코 차가운 세제나 휘발유로 세척해서는 안된다.(그렇지 않으면 윤활상태의 단서들이 없어지게 된다.)

- 해체후 오염을 방지한다. 종이나 헝겊은 그리이스내의 오일을 제거할 수가 있기 때문에 가능하면 베어링을 깨끗한 호일에 각각 포장한다.
- 이송도중 손상이 발생하는 것을 방지하기 위하여 충분히 튼튼하고 두꺼운 포장용기를 사용한다.

3. 해체 베어링에 대한 운전특성과 손상평가

베어링 손상이라 함은 언제나 구름베어링의 완전한 파손을 뜻하는 것 뿐만 아니라 배열된 베어링의 효율이 감소되는 것을 의미한다. 이와 관련하여 문제가 된 베어링이 조기에 해체될수록 더 빨리 발생원인을 파악할 수 있다는 것을 명심해야 한다.

베어링은 그 운전 및 환경조건과 조합 부품(베어링, 조립부품, 윤활, 밀봉)들이 올바르게 조화되어야만 원활한 기능을 발휘할 수 있다. 베어링 손상의 원인은 항상 베어링 자체에만 있는 것은 아니다. 베어링 재료와 생산 결함으로 인한 손상은 매우 드물다. 개별적인 부품에 의하여 베어링 손상을 조사하기 이전에 2절에 확인된 사실을 근거로 가능한 손상 원인을 조사하여야 한다.

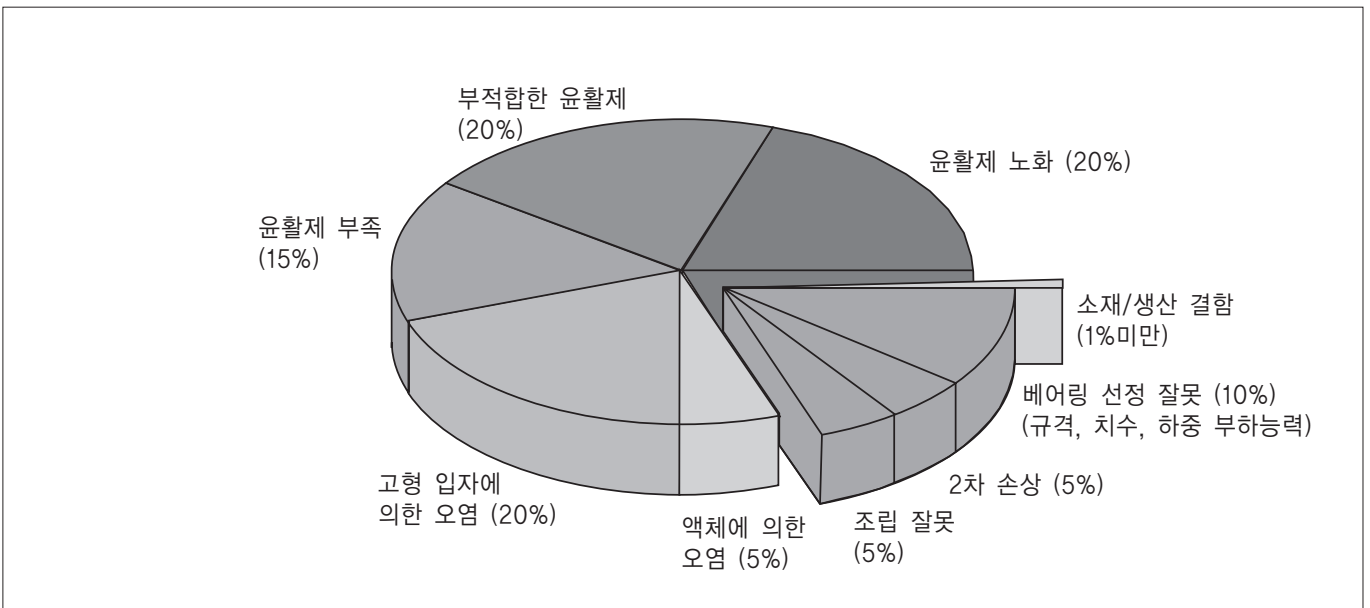
운전조건 또는 베어링의 외부 특성으로부터 종종 손상 원인을 알 수 있다.

그림12는 구름베어링의 전형적인 손상 원인과 함께 주요 파손 형태를 나타내고 있다.

이 요약표가 모든 손상 형태를 나타낼 수는 없으나 대략적인 윤곽을 제시하고 있다. 또한 많은 손상 형태가 독자적으로 또는 거의 유일하게 정해진 베어링 타입 또는 특정한 적용조건 하에서 발견되는 것을 명심해야만 한다. 많은 경우에 있어서 하나의 베어링에 동시에 여러 손상 형태가 나타날 수도 있다.

그래서 때때로 손상의 초기 원인을 판단하는 것이 어려울 경우도 있어 다양한 손상 이론의 체계적인 설명만이 유일한 해답이다. 그러한 경우에 아래에 언급된 체계적인 과정이 요구된다.

11: 구름베어링의 손상원인 (근거: antriebstechnik 18 (1979) No.3, 71-74).
구름베어링 전체의 약0.35%만이 예상수명을 만족하지 않는다.



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가

12: 구름베어링 손상의 현상과 원인

현상	베어링 손상 부위					구름베어링 손상의 전형적인 원인					
	베어링 설치부	구름 접촉 부위	턱과 롤러 단면	케이지	밀봉	조립(설치) 잘못된 조립 절차나 장비	오염	과도한 끼워맞춤 또는 과도한예압	너무 느슨한 끼워맞춤 또는 너무적은예압	불충분한 링 지지	미스얼라이먼트 또는 축 휨
a) 비정상적인 운전 가동											
불규칙적인 운전						■	■		■		
이상소음						■	■	■	■	■	■
불규칙적인 온도변화								■			■
b) 해체 베어링의 외관											
1 외부 이물질의 압흔		■					■				
2 피로		■				■	■	■		■	■
3 정지 진동 마크		■									
4 용해된 압흔과 주름 홈		■									
5 스키딩 (Skidding)		■							■		
6 전동체 압흔 및 손상		■	■			■					
7 타블음		■	■	■							
8 마모		■	■	■	■		■				
9 부식		■	■	■	■						
10 과열 손상	■	■	■	■	■			■			
11 깨짐	■	■	■	■		■		■		■	
12 프레팅 부식 (폴스 브리렐링)	■								■	■	

현상	구름베어링 손상의 전형적인 원인									
	운전 응역			환경적 영향				윤활		
	너무 크거나 또는 작은하중	진동	고속운전	먼지	부식성 물질, 물	외부 열	전류의 흐름	부적합한 윤활제	불충분한 윤활제	과도한 윤활제
a) 비정상적인 운전 가동										
불규칙적인 운전		■		■	■		■	■		
이상소음	■	■		■	■		■	■	■	
불규칙적인 온도변화	■		■			■		■	■	■
b) 해체 베어링의 외관										
1 외부 이물질의 압흔										
2 피로	■							■	■	
3 정지 진동 마크		■								
4 용해된 압흔과 주름 홈							■			
5 스키딩 (Skidding)	■								■	
6 전동체 압흔 및 손상	■									
7 타블음	■		■					■	■	
8 마모				■				■	■	
9 부식					■			■		
10 과열 손상			■			■		■	■	■
11 깨짐										
12 프레팅 부식 (폴스 브리델링)		■								

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 조치사항

3.1 조치사항

3.1.1 분리 부품의 표시

- 동일형태의 베어링이 여러 개 있을 경우 모든 베어링에 번호를 부여하고 그 위치에 베어링의 배열 상태를 기록한다.
- 베어링 조립 위치와 상호간의 배열 상태를 표시한다.
- 외부 작용력과 관련하여 베어링의 경방향 조립위치를 표시한다.

3.1.2 베어링 완제품 상태에서의 조치

- 소음 검사
- 경방향/축방향 틈새 검사
- 경방향/축방향 흔들림 검사
- 마찰 모멘트 검사

3.1.3 베어링 각 부품의 분해

- 밀봉형 베어링의 경우 그리이스가 누유 되었다면 그리이스 양을 조사한다.
- 밀봉형 베어링의 시일드와 시일을 가능한 변형이 되지 않도록 제거한다.
- 베어링 내부의 그리이스 분포상태를 확인한다.
- 그리이스 샘플을 채취하는데 만약 윤활유 패턴이 불규칙적이라면 샘플을 수차례 채취한다.
- 만약 부품의 손상 없이 해체할 수 없다면 베어링 손상의 원인에 영향이 끼치지 않을 것으로 판단되는 부품을 파괴한다 (예로, 테이퍼 롤러베어링의 소단턱을 자르거나 선반으로 깎아낸다).
- 해체과정에서 베어링손상을 피할 수 없다면 그 상황을 표시 및 기록하여야 한다.

3.1.4 베어링 부품의 평가

먼저 별도의 장치를 사용하지 않고 회전 및 조립상태를 확인한다.

대부분의 베어링에 대하여 부품의 현미경 검사가 요구되고 있고 가끔은 필수적으로 수행되어야 한다.

통상적으로 다음에서 언급하는 베어링 부품 평가 과정이 적절하다.

평가 항목 :

- 베어링 장착부위 (축의 장착부 표면상태, 내륜 내경 및 외륜 외경 치수)
- 내.외륜 궤도
- 턱
- 밀봉부위 및 접촉부의 표면
- 전동체(롤러의 경우 외경 치수 및 단면)
- 케이징
- 시일

명확한 손상원인 파악을 위하여 추가 검사가 요구되기도 한다. 여기에는 윤활제 분석, 측정, 전자현미경 시험 등이 포함된다. 제품 연구개발을 위한 FAG의 연구실에는 유능한 기술자가 이를 지원할 준비가 되어 있다(4절 참조).

간혹 베어링의 재사용 또는 교체 여부를 결정하여야 하는 경우가 있다. 베어링의 손상이 아주 명확할 경우에는 이러한 결정을 확실히 내릴 수가 있다. 그러나 그렇게 명확한 손상은 드물다. 그럼에도 불구하고 베어링 평가는 종종 운전조건에 지침을 제공하게 된다. 흔히 비정상적인 현상과 그 원인들이 조사될 때 베어링의 광범위한 손상을 피할 수 있다.

다음절은 파손현상을 묘사하고 그것들의 의미와 요인에 대한 조언 및 적절한 방지 대책을 기술하고 있다.

3.2 베어링 설치부의 상태

베어링 설치부의 상태로부터 축과 하우징에 조립된 베어링 내, 외륜의 조립특성에 관한 여러 가지 결론을 이끌어 낼 수가 있다. 베어링 설치부에서 내,외륜이 움직이는 것은 종종 이상 소음의 원인이 된다. 또한 이러한 움직임으로 인하여 프레팅 부식과 마모가 발생되는데 회전시 이들 부식물과 마모분에 의하여 윤활제가 오염된다. 여기에 더하여 내,외륜의 지지상태는 더 열악해지고 이러한 프레팅 부식으로 베어링을 해체하기가 어렵게 된다. 몇가지 사례가 아래에 제시되어 있다.

3.2.1 프레팅 부식

현상 :

베어링 설치부의 흑갈색의 얼룩, 간혹 베어링 주변 또는 윤활제내의 갈색 마모 물질, 그림 13과 같이 장착면(내경면, 외경면)의 마모, 회전부품(통상 축)의 경우 피로 파손, 고정부품(통상 하우징)의 경우 자유측 베어링의 기능 저하. 그림 14와 같이 이러한 프레팅 부식으로 베어링에 작용된 부하영역의 크기 및 위치에 대한 내용과 내,외륜의 크리핑 현상의 결과를 종종 알 수 있다.

원인 :

- 작용하중에 비하여 너무 느슨하게 장착된 부품사이의 미세한 움직임, 그러나 내,외륜 크리프는 발생하지 않음.
- 장착면의 지지분한 형상
- 축의 휨, 하우징의 변형
- 원주하중이 작용하는 자유측 베어링

대책 :

- 자유측 베어링에 고정하중 부여
- 가능한 간섭량이 크도록 베어링 장착
- 축(하우징)을 좀더 굽힘에 강하도록 조치
- 베어링 장착면을 도금

- 고온 운전조건에서는 지수적으로 안정화된 베어링 적용 (강의 구조적 변화에 의한 베어링의 팽창 때문에 간섭량이 느슨해지는 것을 방지)
- 베어링 장착면의 진원도 개선
- 필요하다면 베어링 장착면 품질을 확인하여 개선한다.

13: 베어링 장착이 너무 느슨하여 원통롤러 베어링 내륜 내경에 발생된 프레팅 부식



14: 프레팅 부식은 외륜 고정시 부하 영역의 크기를 알 수 있음.



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 설치부상태

3.2.2 타붙음 흔적 또는 미끄럼 마모

현상 :

그림 15, 16과 같이 베어링 장착면(내륜 내경, 외륜외경)과 축의 상대표면의 융착 현상 또는 광택이 나고 거칠기가 좋은 접촉면 그림 17과 같이 예압의 감소 또는 내부 틈새의 증가로 추정되는 조립되는 면의 마모 현상

원인 :

- 원주 하중 작용시 장착이 느슨할 때, 또한 정지하중과 불균일한 하중이 작용할 때 베어링과 축/하우징 사이의 회전
- 베어링의 축 지지가 불충분할 경우
- 자유측 베어링의 완전한 움직임

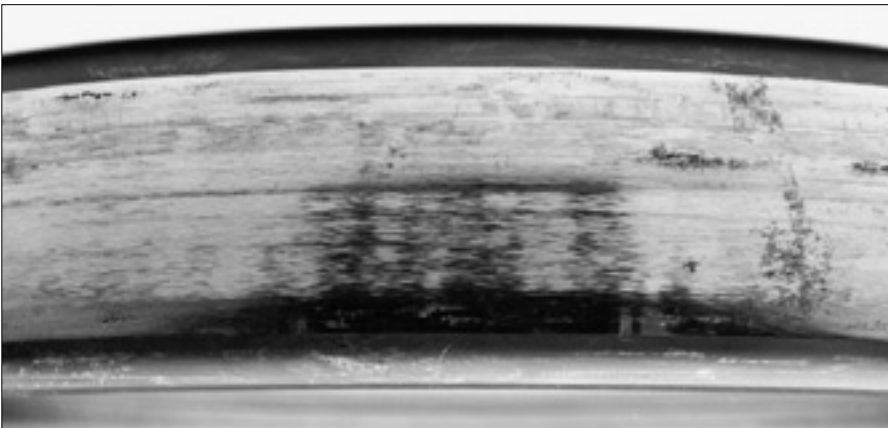
대책 :

- 가능한 한 간섭력이 크도록 베어링 장착
- 축의 장착면을 확대
- 축의 지지를 견고히 함
- 장착 표면을 건조한 상태로 유지
- 자유측 베어링 기능을 개선

16: 축에서 내륜 크리프에 의하여 내경면에 발생된 타붙음 현상



15: 하우징에서 외륜의 크리프에 의하여 외경면에 발생된 타붙음 현상



17: 축에서 내륜 크리프에 의해 내륜 폭면에 발생된 원주에 걸친 굽힘 및 융착 현상



3.2.3 베어링의 불균일한 지지

현상 :

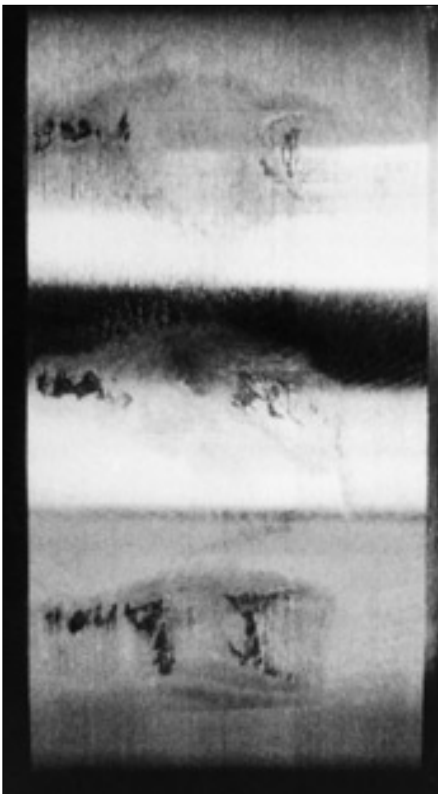
예상되는 하중 영역에 베어링 조립 흔적이 없음.

그림 18, 19와 같이 다른 부분에는 완전히 접촉되지 않고 일부 영역만 마모된 장착표면의 기계 가공 구조.

고르지 않은 하중분포와 베어링의 굽힘으로 인하여 나중에는 발생하는 피로 손상과 파괴 현상.

그림 20과 같이 테이퍼 롤러 베어링의 지지력의 부족으로 턱부위가 파손 현상 너무 작은 접촉 면적으로 인한 소성 변형 현상.

18: 외륜 외경부, 하우징내 “소성점들”에서 프레팅 부식



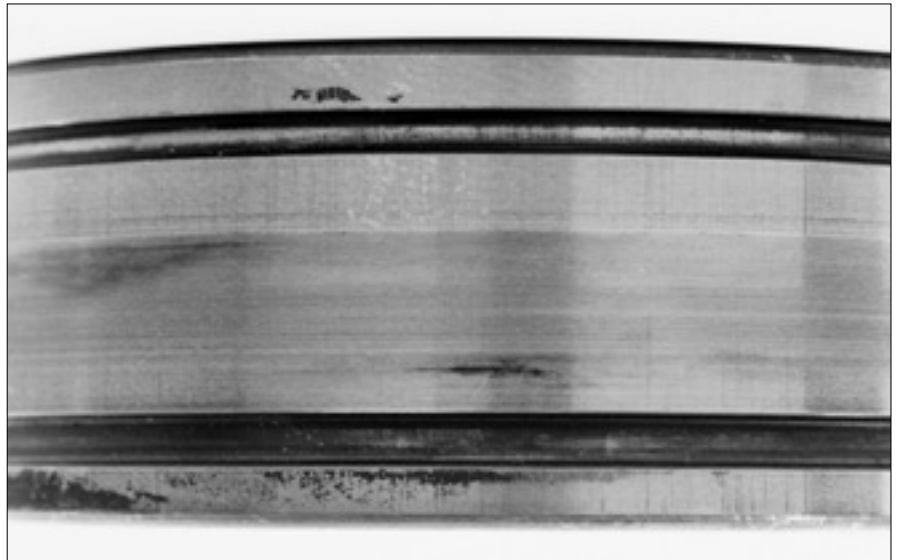
원인 :

- 부적절한 설계
- 정밀하지 않은 기계 가공

대책 :

- 균일한 하우징의 강성을 고려하면서 구조적으로 조립부품을 변경한다.
- 필요하면 다른 베어링을 적용한다.
- 조립부품의 품질을 확인한다.

19: 외륜 외경부, 폭의 절반만 지지



20: 폭면에 대한 불충분한 축 지지로 인하여 테이퍼 롤러 베어링 턱의 파손



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 설치부상태

3.2.4 폭면으로 굽힌 궤적

현상 :

그림 21, 22 와 같이 원주방향으로 굽힌
흔적 베어링 또는 시일 폭면에 발생한 마모

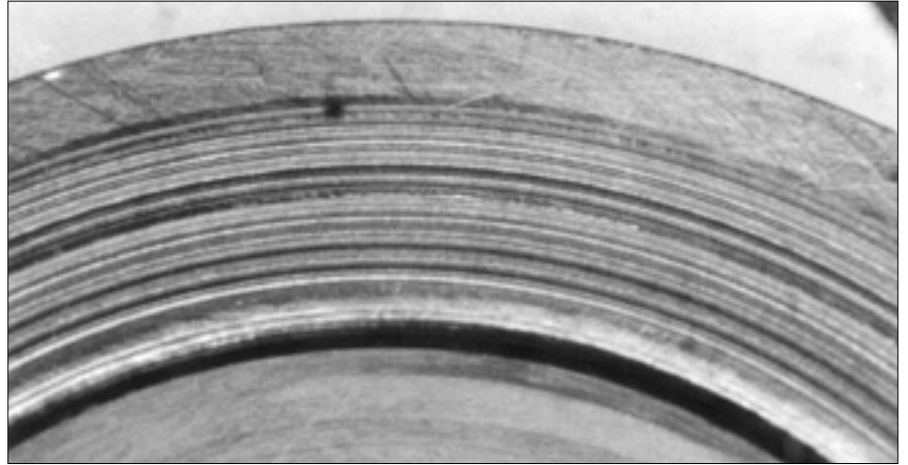
원인 :

- 하우징 또는 축에 베어링의 불충분한 고정
- 베어링과 조립 부품사이의 좁은 틈으로 많은 양의 이물질이 유입
- 조립 부품이 풀림
- 축방향 틈새의 과다

대책 :

- 부품의 올바른 적용
- 윤활제의 청정도 보증
- 축의 틈새 확인과 가능하면 틈새를 줄임

21: 조립 부품의 굽힘 현상에 의한 표면에 원주방향의 굽힘 자국과 윤착현상



22: 폭면 굽힘현상에 의한 시일의 손상



3.3 구름접촉의 형태

3.3.1 궤적의 생성 및 중요성

베어링의 손상과는 상관없이, 작동되는 모든 베어링에서 발견되는 궤적 즉 내,외륜과 전동체 사이의 접촉표면에는 변화가 있게 된다. 이러한 궤적은 초기 생성된 상태보다 거칠어지거나 매끈하게 진전된다. 또한 이 궤적들은 종종 미세한 이물질이 회전하면서 만들어진 압흔에 의해 확연하게 구분된다. 따라서 궤적으로부터 윤활의 품질, 윤활제의 청정상태와 베어링 내부에서의 하중 분포상태 뿐만 아니라 하중의 방향에 대한 정보를 이끌어 낼 수 있다.

3.3.1.1 정상궤적

전동체가 부하를 받으면서 회전할 경우 궤도에 윤활막이 제대로 분포되어 있다면 외관상 밝게 빛나는 궤적을 만든다.

23: 정상궤적, 육안관찰이 가능한 표면 구조, 단지 이물질에 의한 작은 압흔 현상



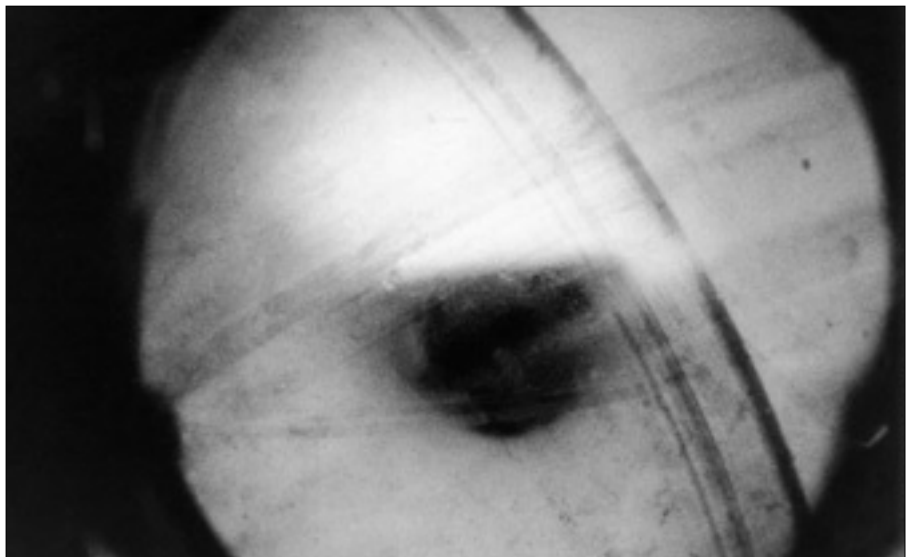
그러나 이 궤적의 독특한 형태는 대부분 표면의 밝기에 따라 다르나 대부분의 기계적 구조는 확대경과 현미경을 사용하여 인지가 가능하다 (궤도의 끝부분에 접촉되지 않은 면과 비교하라).

작은 이물질에 의하여 발생하는 독특한 압흔은 피할 수 없이 발생된다. 그림 23과 같이 베어링의 윤활상태가 매우 양호할 경우 이 압흔이 베어링 부하영역을 표시하는 유일한 것이다.

온도가 거의 80℃이상일 경우에는 궤도 또는 전동체가 변색되는 것은 흔히 일어나는 현상이다.

이 변색은 철과 윤활유 또는 첨가제와의 화학적 반응으로 발생되며 베어링 수명에 부정적인 영향은 없다. 반대로 이 표면의 형태는 때때로 첨가제의 마모를 방지하는데 효과적임을 알 수 있다. 통상 갈색 또는 청색으로 나타난다.

24: 적도형상의 원주선이 발생된 볼



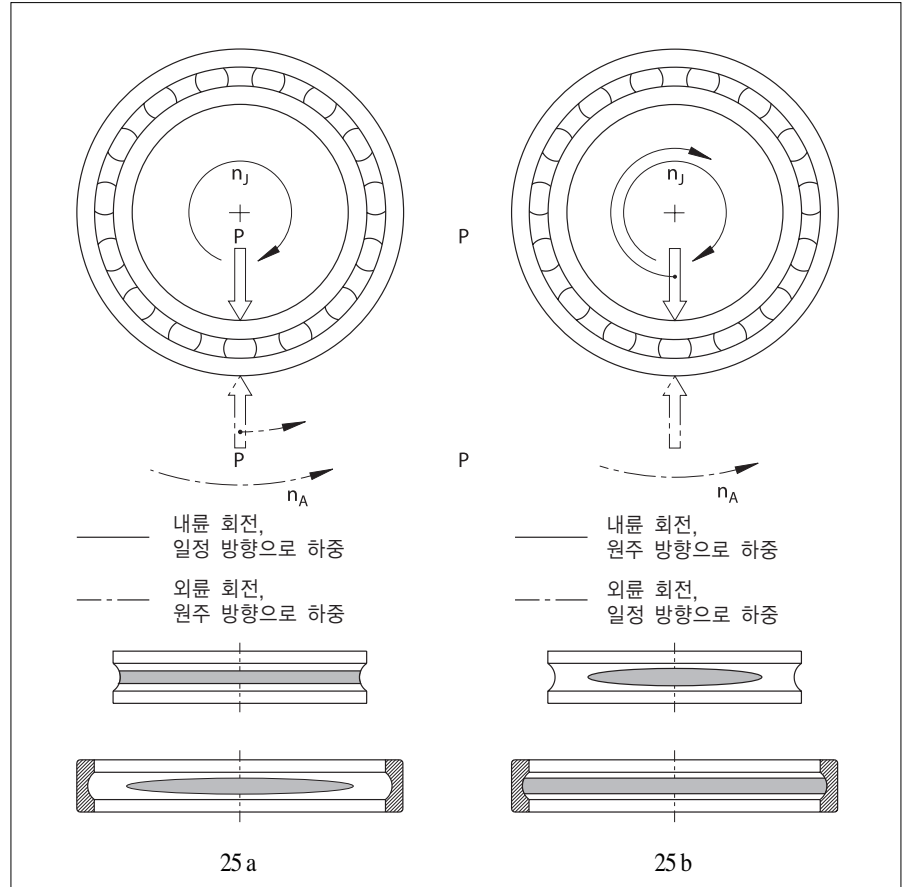
그러나 이러한 색상으로부터 원래 색을 유지하는 운전온도를 명확하게 알 수는 없다. 때때로 운전조건은 매우 유사하지만 베어링의 전동체에서는 매우 다양한 색상이 관찰되어 왔다. 이러한 오일의 변색은 드문 경우이지만 매우 높은 온도로 인하여 발생하는 베어링 결함인 템퍼링 색상과 결코 혼동해서는 안된다 (3.3.5절 참조).

또한 볼에는 때때로 적도선 형태의 궤적이 발생한다. 이들은 앵글러 콘택트 볼 베어링과 같이 볼들이 항상 동일한 회전축으로 회전할 때 나타난다. 그림 24의 이러한 궤적은 베어링 수명을 감소시키는 주요 요인은 아니다.

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

25: 레이디얼 베어링 예를 들면 깊은 홈 볼 베어링의 경방향하중, 점하중과 충분한 강성을 지닌 하우징에서 고정링의 궤적은 경방향 예압이 없다면 궤도 원주의 절반보다 짧다. 원주 하중 부여시는 전체 궤도 원주 영역으로 궤적이 나타난다.

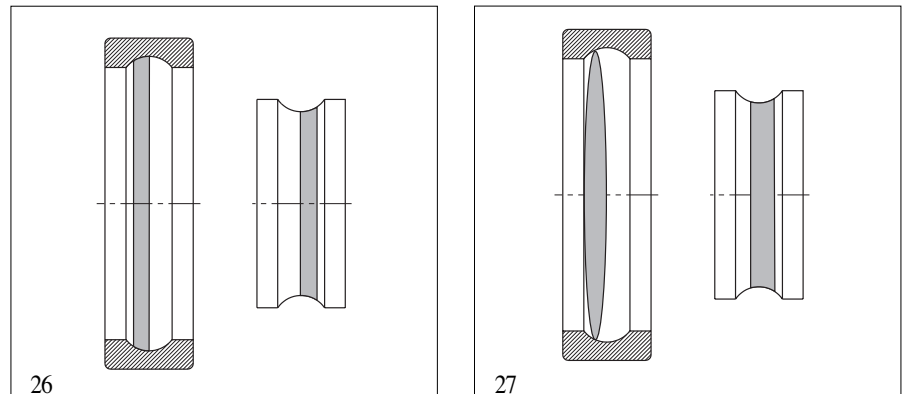
- a: 내륜회전, 일정 방향으로 하중
외륜회전, 원주 방향으로 하중
- b: 내륜회전, 원주 방향으로 하중
외륜회전, 일정 방향으로 하중



26: 레이디얼 베어링 예를 들면 깊은 홈 볼 베어링의 축방향 하중
내륜과 외륜에 궤적이 궤도의 원주 전영역에 걸쳐 중심에서 치우쳐 발생

그림 25~그림 27에서와 같이 궤적의 상태는 외부하중의 방향과 회전조건에 따라 나타난다(점하중 또는 원주하중, 축하중, 합성하중). 또한 이들의 “실질적인 대상”을 비교함으로써 예기치 않은 하중 조건에 대한 중요한 정보, 예를 들면 불안정한 자유측 베어링 기능 등을 알 수 있다. 경방향 하중만이 부여될 경우, 고정링에 발생하는 원주방향의 궤적은 주로 부하량, 베어링 틈새의 크기와 관련부품의 강성에 따라 다양하게 나타난다. 하우징 강성이 작은 경우 뿐만 아니라 하중이 클수록, 틈새가 작을수록 부하영역은 길어지고 따라서 궤적 또한 이에 따라 길어진다.

27: 깊은 홈 볼 베어링의 경방향 축방향 합성하중
내륜(원주하중)의 경우 궤도 원주 전영역에 걸쳐 일정한 넓이의 궤적발생.
외륜 (점하중)의 궤적은 경방향 부하영역이 원주방향의 나머지 부분보다 넓다.



3.3.1.2 비정상적인 궤적

정상적인지 아니면 비정상적이라고 생각되는 주행 궤적은 적용장비의 조건에 따라 크게 달라진다. 예를 들면 베어링은 완벽하게 정상적인 주행 궤적을 가지며, 이것은 주로 경방향 하중의 표시이다. 그러나, 만약에 베어링이 축방향 하중을 받으며 운전하였다면, 주행 궤적은 부적절한 베어링 조립을 나타낼 수도 있다. 그러므로, 주행 궤적을 정확히 평가하기 위하여 적용조건을 알고 있어야 한다. 그러나, 몇몇 기본적인 증상은 항상 주행궤적에 의하여 평가될 수 있다.

●부적절한 윤활에 의한 궤적

증상 :

주행 궤적의 시각적인 자국과 현미경으로 관찰된 표면은 거칠거칠하며, 이 거칠기는 윤활품질에 대한 추정을 할 수 있게 한다. 분명치 않은 거친 주행 궤적은 보통 하중상태에서 비분리 유막으로 부터 발생된다.

유막은 얇을수록 표면에 보다 큰 영향을 끼친다. 이러한 경우에 그림 28과 같이 좋지 않은 표면 박리 현상이 나타난다. 그림 29는 특정한 하중이 접촉영역에서 크게 작용할때, 주행궤적의 다른 부분과 대비하여 주행궤적이 밝고 압력에 의하여 마모되어 광택이 나며, 종종 뾰족뾰족하기도 한다.

원인 :

- 베어링에 필요한 윤활제의 양이 불충분한 경우
- 운전온도와 운전속도에 대하여 윤활제의 점도가 적당하지 않은 경우
- (FAG 종합카타로그의 조정된 정격수명 계산을 참조)

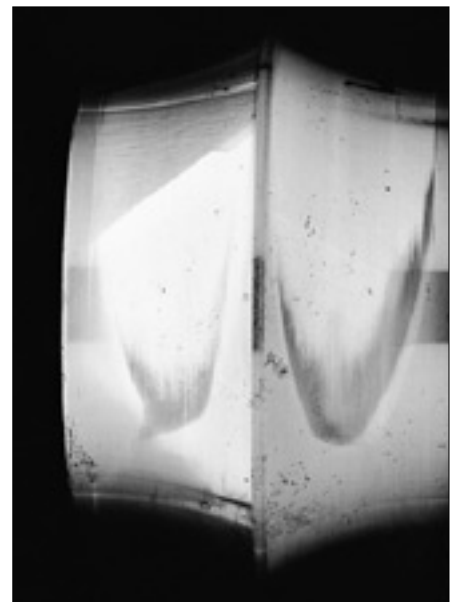
대책 :

- 윤활제의 공급방법의 개선
- 운전조건에 따라 윤활제의 점도를 선정
- 승인된 첨가제를 가진 윤활제의 사용
- 표면처리를 한 베어링의 사용

28: 표면 마모가 있는 궤적



29: 눌러서 연마된 궤적



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 베어링 또는 윤활제의 오염에 의한 궤적

우리는 먼저 오염물질이 고체인지 액체
인지를 구별해야 한다.

고체 오염에 의한 증상 :

압흔은 베어링의 궤도를 따라 순환하는
외부 이물질에 의한 결과이다. 주행 궤적
의 현미경 검사는 부드러운 재질의 이물
질과 베어링 강, 그리고 단단한 광물질과
는 압흔의 형태가 다르게 나타난다. (그
림 30, 31, 32) 특별히 크고 단단한 이물
질은 베어링 수명에 악 영향을 준다.

피로파괴의 서술에 있어서 좀더 자세하
게 알고 싶으면, 3.3.2.1항의 이물질의 순
환에 따른 피로 파괴현상을 참조하면 된
다. 많은 양의 작고 단단한 이물질은 그림
28과 같이 거칠게 하고, 마모를 가속시킨
다.

액체 오염에 의한 증상 :

물은 주요 액체 이물 중의 하나이다. 적
은 양이 윤활제에 흡수될 수도 있다. 이
는 윤활제의 성능을 떨어뜨리며 종종 그
림 29와 같은 형태의 주행 궤적으로 나타
나는 경우가 있다. 베어링에 많은 양의
습기가 존재할 때에는 분명치 않은 주행
궤적이 발생한다. 부식이나 높은 하중에
의한 피로파괴 현상을 가진 “눌려서 연마
된 주행궤적”은 3.3.2.1항의 “열악한 윤활
에 의한 피로현상”을 참조하면 된다.

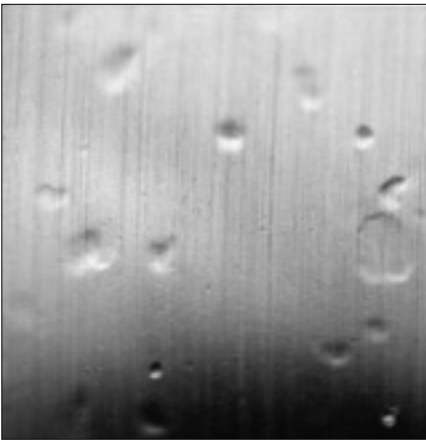
원인 :

- 불충분한 밀봉장치
- 불결한 조립 조건
- 생산 잔존물 (예를 들면 주물사)
- 온도 차이 (물의 응축)
- 오염된 윤활유

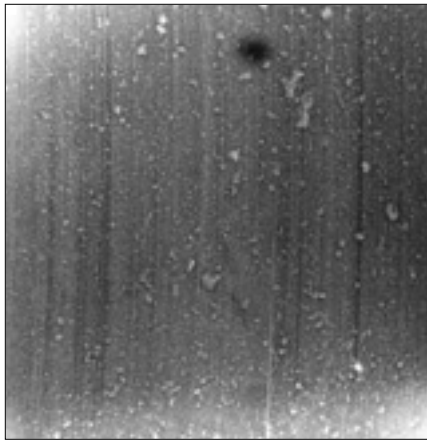
대책 :

- 밀봉구조의 개선
- 청결한 조립환경과 잘 세척된 주변부품
그리고 필요하다면 코팅 처리
- 운전 전에 윤활계통을 씻어냄 (베어링이
처음 회전하기 전에)

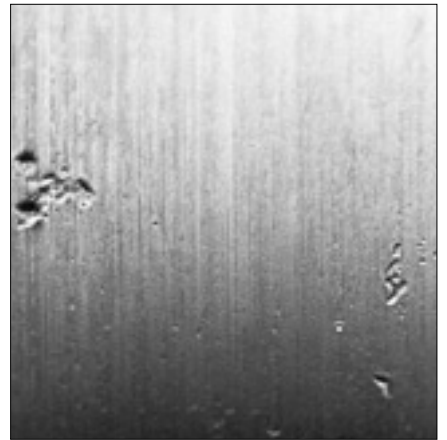
30: 연한 재질의 이물질에 의한 압흔



31: 베어링 강으로 된 이물질에 의한 압흔



32: 단단한 광물질의 이물질에 의한 압흔



● 과도한 경방향 예압에 의한 궤적

증상 :

과도한 경방향 예압의 경우에 있어서 원주형태의 주행 궤적은 내륜과 외륜 모두에 나타난다 (그림 33). 과열에 의한 손상은 극한 경우에 일어난다 (3.3.5 항).

원인 :

- 축과 하우징의 압입 간섭량이 많다
- 내륜과 외륜사이의 온도 차이가 너무 크다
- 베어링의 내부틈새가 너무 작다

● 타원형상의 변형에 의한 궤적

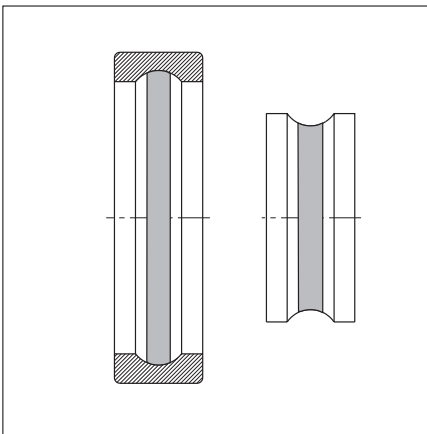
증상 :

회전하지 않는 내륜 또는 외륜의 원주상에 여러군데에 주행 궤적 영역이 있다 (그림 34).

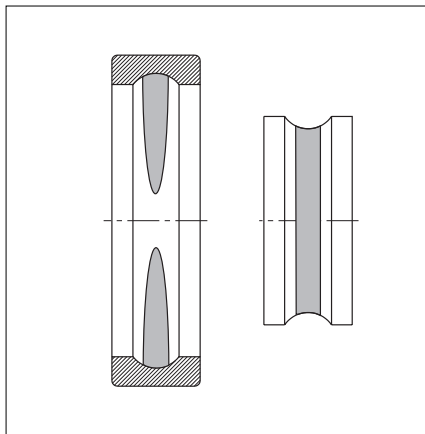
원인 :

- 베어링 자리 근처에 탭 구멍 가공에 의한 하우징이나 축의 타원
- 베어링 외륜과 간섭량 과다로 원주방향으로 하우징 강성의 차이
- 베어링을 세워서 저장함

33: 과도한 경방향예압 아래에서 운전된 깊은 홈 볼베어링. 궤적이 원주 전면에 걸쳐 형성됨.



34: 깊은홈 볼 베어링의 타원 변형. 타원형으로 변형된 외륜의 궤도륜에 두개의 마주보는 경방향 하중지역이 형성됨



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 과대 축방향 예압에 의한 꺾적

증상 :

자유측과 고정측 베어링으로 배열된 구조에서 그림 35b가 보여주듯이 구별할 수 있는 꺾적이 나타난다. 이것은 축방향 하중에 의하여 발생한 것이다 (그림 26).

대부분 약간의 축방향 하중하에서 꺾적이 나타나지 않지만 자유단 베어링에서 나타날 수도 있다.

원인 :

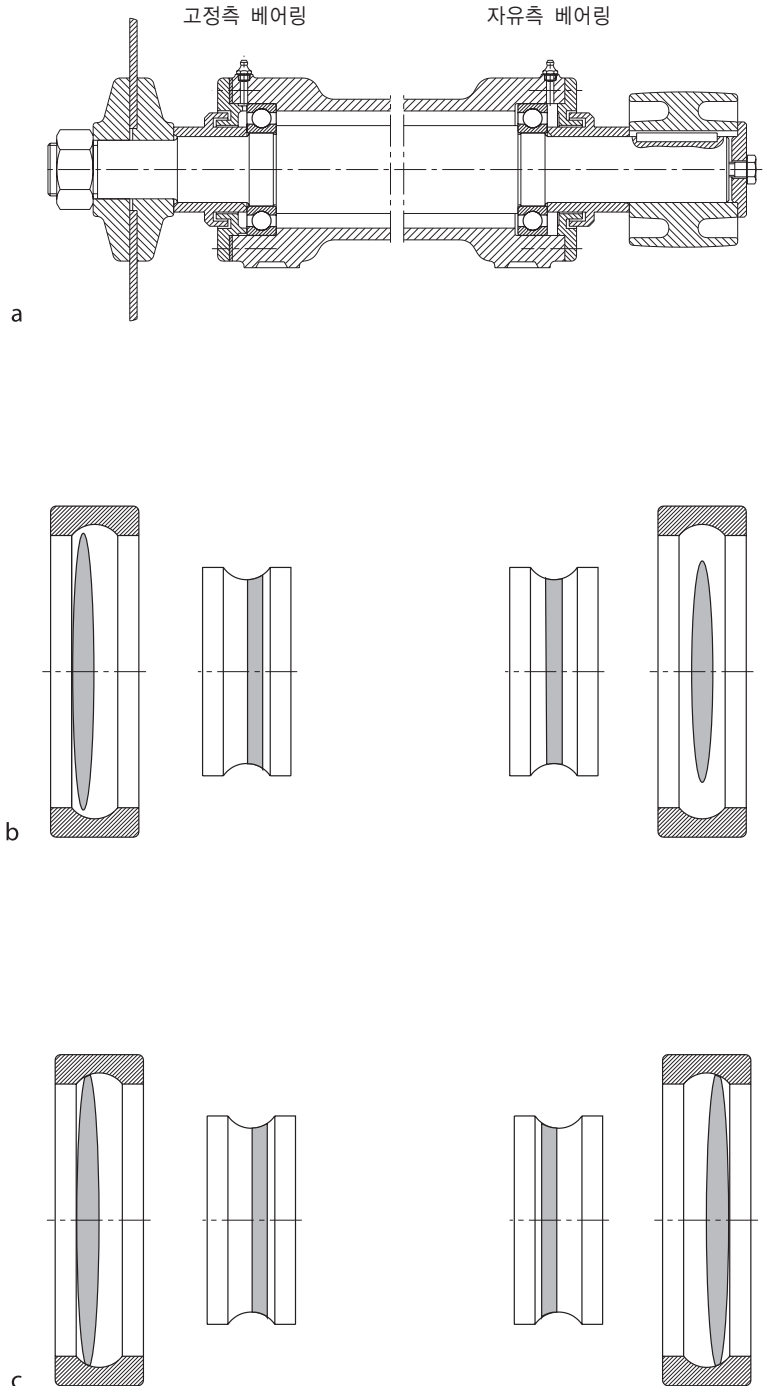
- 자유측 베어링의 불안정한 기능 (잘못된 끼워맞춤, 경방향으로 작용하는 열팽창, 축의 설치오차, 프레팅 부식)
- 예상치 못한 축방향의 높은 열팽창

대책 :

- 주변부품의 끼워맞춤 간섭량과 형상 정밀도의 검사
- 조립과 운전조건의 변화
- 축방향 변위를 흡수할 수 있는 베어링의 적용; 원통 롤러 베어링 N, NU, NJ

35: 2개의 깊은 홈 볼 베어링을 사용한 고정측과 자유측 베어링배열.

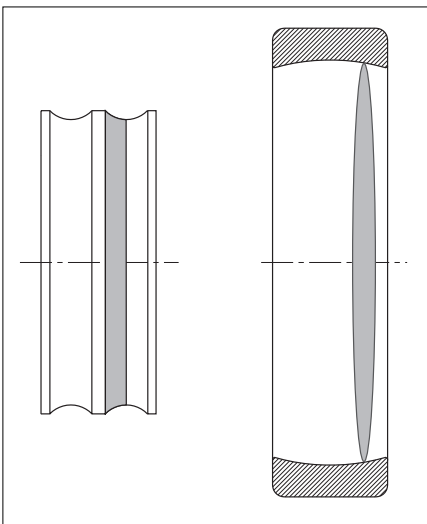
- work end용 깊은 홈 볼 베어링은 고정측 베어링으로, drive end용 베어링은 자유측 베어링으로 설계되었다.
- 정상운행되고 있는 베어링의 꺾적. 고정측 베어링은 복합 하중을, 자유측 베어링은 주로 순수하게 경방향 하중을 받은 특성을 보여준다.
- 과대 축방향 예압을 받은 베어링의 주행꺾적(고정측 베어링의 외륜은 고정). 각각의 베어링은 복합하중의 특성을 보여준다. 두 베어링의 대칭적 주행꺾적으로 보아 여지없는 과도한 축방향 예압이다.



- 36: 과대 축방향 예압에 의하여 자동조심
볼 베어링의 외륜에 발생한 플레이킹
형태의 궤적



- 37: 과대 축방향 예압과 경방향 하중을
받으며 내륜이 회전한 자동조심 볼
베어링의 궤적 발생



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 미스얼라이먼트에 의한 궤적

증상 :

볼 베어링의 경우에, 회전하지 않는 궤도륜의 주행궤적은 수직적이 아니라 축방향에 대하여 대각선으로 나타난다 (그림 38과 그림 39). 롤러베어링의 경우 기울림 하에서 궤적은 궤도륜의 가장자리에서 그 어느곳보다 명확하다 (그림 40).

원인 :

- 축의 휨
- 분할 하우징 또는 플러머 블록 하우징의 중심 어긋남
- 베어링자리의 직각도 불량
- 조립시 베어링 자리와 베어링 사이의 이물질
- 모멘트 하중이 있는 짝맞춤에서 베어링 내부 틈새가 너무 큼

대책 :

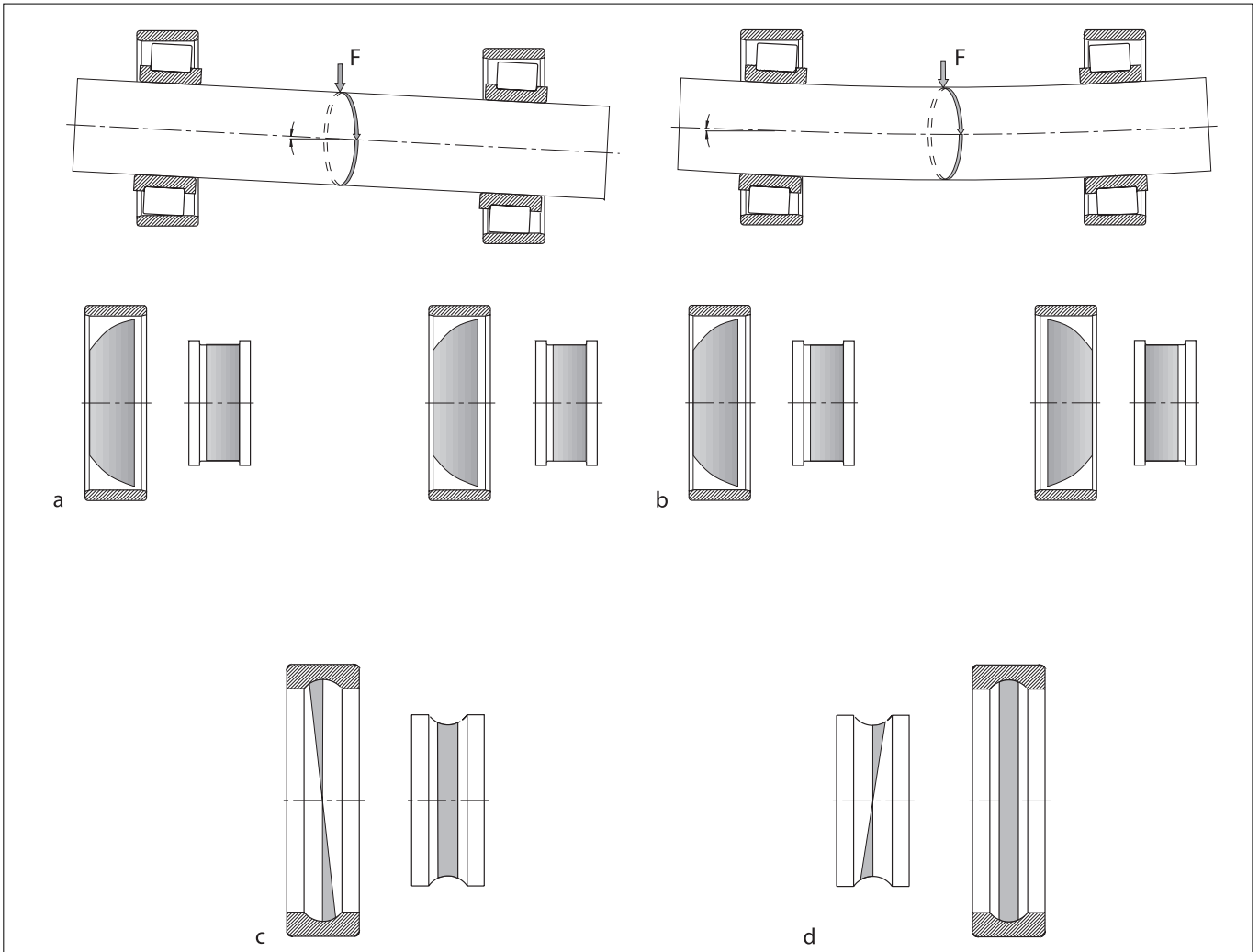
- 허용 조심성을 고려한 조립표준의 준수 (FAG 카탈로그 참조)
- 조립시 청결 유지
- 알맞은 베어링의 내부틈새 선정

38: 설치오차가 있는 베어링

a: 하우징 자리가 설치오차인 경우에 외륜과 상대적인 내륜의 기울기

b: 축이 휨 경우에 서로 관련된 내륜의 기울기

c: 내륜회전하는 깊은홈 볼 베어링의 미스얼라이먼트 주행궤적
d: 외륜회전하는 깊은홈 볼 베어링의 미스얼라이먼트 주행궤적





39: 깊은홈 볼 베어링의 내륜에 경사진 궤적

3.3.2 궤도륜과 전동체 표면 압흔

손상된 베어링 부품에서의 압흔은 가장 다양한 원인을 가질수 있는 접촉영역에서 자주 발견된다. 압흔은 일반적으로 대다수의 경우에 고르게 분포되어 발생되므로, 이물질의 순환에 의하여 발생한 압흔은 주행궤적을 평가할 때 고려된다.

(3.3.1항)

다음 항목의 언급내용은 주로 내, 외륜에 한정하여 만들었다.

40: 테이퍼 롤러 베어링의 기울어진 궤적



3.3.2.1 깨짐

베어링 운전이 진행되는 동안에, 궤도륜과 전동체의 재료는 끊임없는 반복응력을 받기 쉽다. 이러한 반복응력은 굽힘응력을 받는 베어링 주변부품의 피로에서 발생되는 것과 같은 손상형태로 이끌게 되며 피로파괴가 나타난다. 구름 베어링에 있어서 이러한 파괴영역은 대부분 표면과 평행하게 일어나며, 소재의 박리현상이 나타나고, 피로손상, 플레이킹, 움푹 패임, 깨짐, 미세 흠집, 금속에 의한 흠집 등으로 불려진다.

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 전형적인 피로

경계유체 윤활막, 극도의 청결함, 적당한 온도등의 아주 좋은 운전조건을 가지고 있다하더라도, 피로손상은 응력에 따라서 구름베어링의 부품에 전개될수 있다.

내구력은 응력지수

$f_s^* = C_0 / P_0^* \geq 8$ 이라 가정한다.

(C_0 = 정 정격하중, P_0^* = 동등가하중).

응력이 커지면 f_s^* 값은 작아지고, 피로손상은 어느정도 오랜 운전기간이 지난후에 나타날것으로 예상된다. 표면 밑에서 시작하는 균열을 동반하는 전형적인 피로손상은 좀처럼 일어나지 않는다. 피로손상은 불충분한 윤활 또는 청결하지 못한 결과로 구름접촉하는 부품들의 표면에서부터 대개 시작된다. 손상이 진전되면 원인들은 더 이상 감지할 수가 없다.

증상 :

궤도륜과 전동체의 표면 아래의 깨짐, 재료의 박리현상(상대적으로 심한 흠집), 궤도륜의 손상되지 않은 부위는 손상의 초기단계에는 좋은 윤활상태임을 나타낸다. (그림 23참조), 반면에 대개의 깨진 부품들의 순환에 의한 많은 압흔(그림 31 참조)은 손상이 얼마나 진행되었는지에 따라서 감지될수 있다.(그림 41~그림 43 참조)

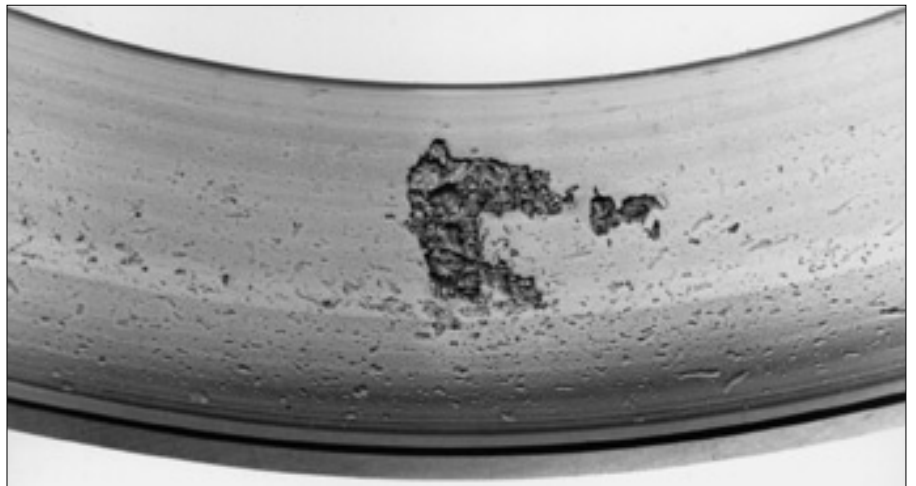


41: 깊은홈 볼 베어링 내륜 궤도면의 흠집에 의하여 인정될 수 있는 전형적인 피로 현상손상이 진전되면 재료는 완전히 박리된다.



42: 깊은홈 볼 베어링의 진전된 피로 손상

43: 테이퍼 롤러 베어링의 외륜 궤도면에 피로손상 현상



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 이물질 순환에 의한 피로

베어링 내부에 거친 오염물질이 생기면 피로수명에 있어서 많은 감소가 있다.

(그림 44) 실제적으로 적용사례에 있어서 이물질에 의한 손상의 유해함은 이물질의 정도, 크기, 그리고 오물량 뿐만 아니라 베어링의 크기에 따라서 좌우된다. 피로에 관하여는 볼 베어링이 롤러 베어링보다 좀 더 예민하게 반응하며, 작은 전동체의 베어링이 큰 전동체의 베어링보다 좀더 예민하다. 회전을 받는 재료는 이물질에 의한 압흔이 우려되는 곳에서 매우 중요한 역할을 담당한다. 그것은 특히 계속되는 회전 동안 응력을 받으며 최초의 초기균열의 원인이 된다. (4.5항의 SEM 그림)

증상 :

재료의 박리 ; 이물질의 압흔 후에 회전 방향으로의 V형태의 퍼짐(그림 45.)

원인 :

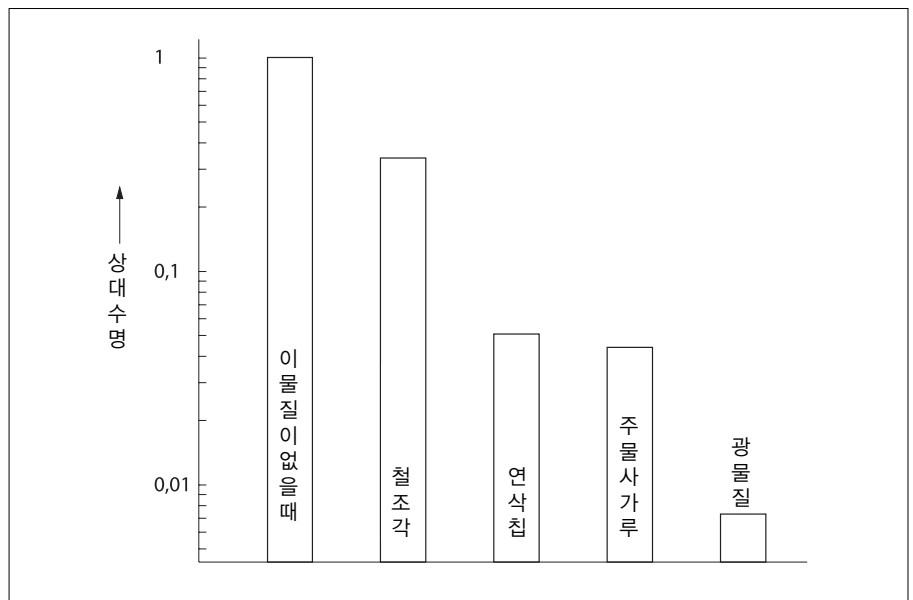
손상된 궤도, 단단한 입자(주물사, 연마제)에 의한 압흔은 특히 위험하다.

대책 :

- 하우징 부품의 철저한 세척, 필요시 도장
- 조립시 청결과 취급주의를 요구
- 밀봉 성능의 개선

- 이물질을 막을 수 있는 구조의 베어링 사용
- 윤활제의 청결 유지
- 운전하기 전에 필터링을 동반한 세척 과정

44: 이물질 종류에 따른 수명의 감소

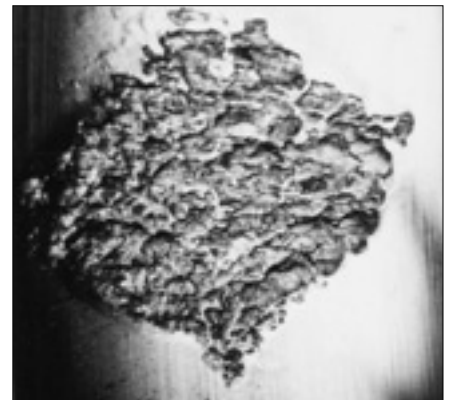


45: 이물질 압흔에 의한 피로 손상은 회전방향으로 V자를 형성하며 퍼진다.

a: 결합 초기의 손상

b: 1,000시간 후의 손상

c: 1,200시간 후의 손상



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 과대 정하중에 의한 피로

이물질에 의한 압흔처럼, 전동체의 압흔은 베어링의 높은 과대 정하중에 의해 발전하며, 그것들의 회전을 받는 가장자리들을 파손으로 이끈다.

증상 :

초기 전동체에 균일하게 깎인 압흔들, 그것들은 깨짐이 나타난 곳과 거리를 두고 있으며 때때로 가장자리에서만 나타난다.

원인 :

- 지나친 정하중, 충격하중
- 전동체를 통하여 작용한 압입력

대책 :

- 규정에 의한 조립
- 충격하중을 피하고, 과대 하중이 없을것

● 부적절한 조립에 의한 피로

증상 :

앵귤러 콘택트 볼 베어링의 경우에 있어서 접촉각 지역의 바깥쪽의 작은턱 근처의 피로 (그림 46)

원인 :

- 부적절한 조립

- 축 접촉면이나 결합볼트의 나사니의 셋팅 현상

- 경방향 예압

대책 :

- 주변부품의 강성을 높임
- 올바른 조립

46: 부적절한 예압 조정에 의한 앵귤러 콘택트 볼 베어링의 궤도 밑부분의 피로 손상



● 설치오차에 의한 피로

증상 :

- 베어링의 중심에 대하여 비대칭
(그림 40)
- 궤도륜의 가장자리와 전동체의 피로
(그림 47)
- 소성변형에 의한 볼표면 전체나 부분에 생긴 원주홈집, 그러므로서 생긴 매끄러운 가장자리, 노치가 심한 경우에는 깨질수도 있다 (그림 48).

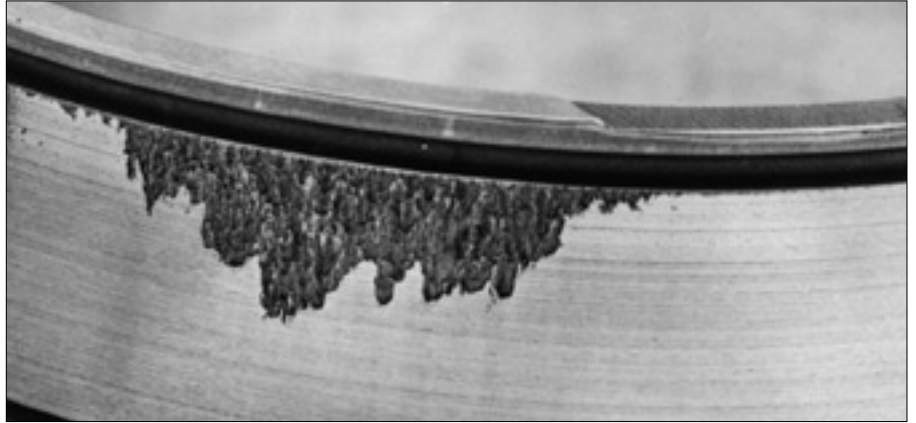
원인 :

하우징이나 축의 변형에 따라 내륜이 외륜에 대하여 기울어져서 높은 모멘트 하중을 받는다. 볼 베어링에 있어서 설치 오차는 리테이너 포켓을 강제로 구속하는 힘이 작용하고, 궤도 끝단부에서 볼의 운동 뿐만 아니라 궤도의 구름운동에도 영향을 미친다. 롤러베어링의 경우에는, 내륜이나 외륜이 심하게 기울어지면 궤도에 비대칭적으로 하중을 받고, 궤도와 전동체 역시 끝단면에서 여러방향에서 과대 응력을 일으키는 하중을 받는다.
(3.3.12항목 “설치오차에 의한 주행궤적”을 참조)

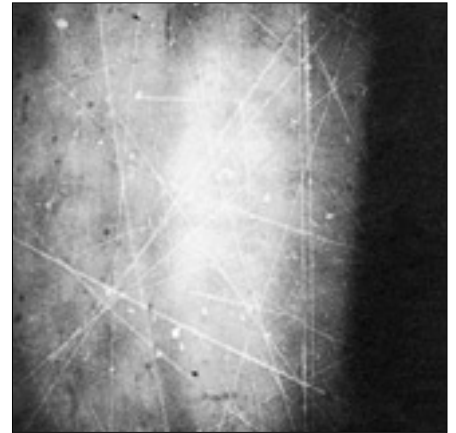
대책 :

- 자동조심형 베어링을 사용
- 설치오차의 교정
- 높은 강성의 축을 사용

47: 피로 파손은 잘못 설치된 테이퍼 롤러 베어링의 궤도륜 가장자리에 국부적 과하중에 의해 발생할 수 있다.



48: 높은 모멘트 하중으로 볼 베어링에서 궤도륜 가장자리에 나타난 피로파손 (가장자리 운행); 왼쪽 궤도륜 가장자리, 오른쪽 볼



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가

구름접촉의 형태

● 윤활불량에 의한 피로

증상 :

윤활이 불충분한 경우에는 하중에 따라서 여러가지 다양한 손상 형태가 일어난다. 하중이 작고 미끄러짐 또한, 발생할 때 작은 표면 깨짐으로 발전한다. 이 균열들이 많이 증가하면 궤도면에 얼룩 반점처럼 보인다. (그림 49) 우리는 이러한 현상을 “grey stippiness” 나 미세 흠집이라 한다. 예를 들어 하중이 매우 크면 윤활제는 수분침투에 의하여 얇어지고, 궤도면이 압력에 의해 매끄럽게 될때 (그림 29) 홍합 모양의 흠집이 일어난다. (그림 50)

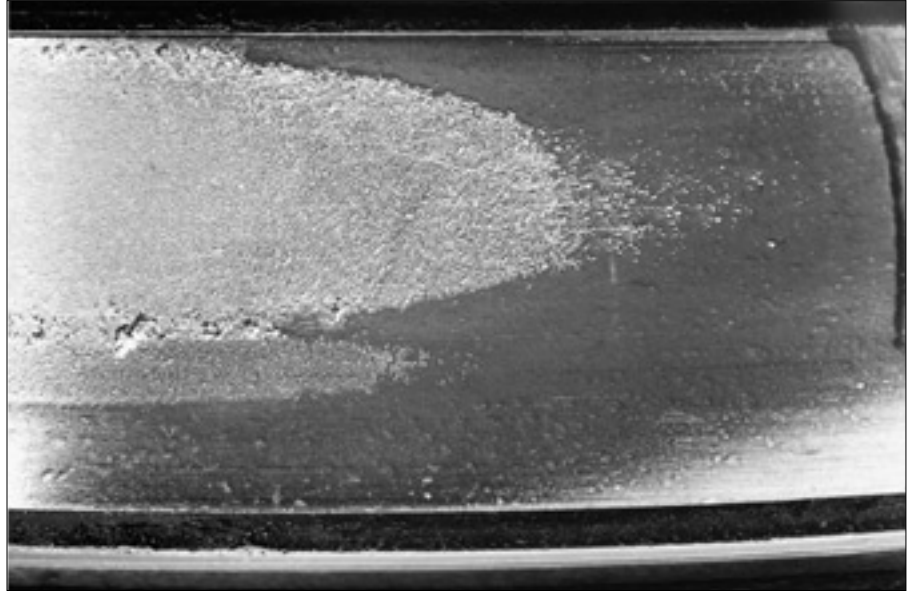
하중이 매우 높고 윤활이 불량일때 매우 뚜렷한 열지역이 회전이 지속되면서 차례로 초기균열이 일어나는 궤도면에서 나타난다.

원인 :

- 불충분한 윤활공급, 높은 운전온도, 수분침투등에 의한 열악한 윤활조건
- 궤도표면에 마찰과 재료응력이 증가
- 간헐적인 미끄러짐

대책 :

- 윤활량의 증가
- 가능하면 극압첨가제가 들어있는 높은 점도의 윤활제를 사용
- 윤활제의 냉각/베어링 위치
- 가능하면 연한 그리이스를 사용
- 수분침투의 방지



49: 미세 흠집



50: 홍합 모양의 피로

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

● 마모에 의한 피로 파손

증상 :

그림 51과 그림 52와 같은 테이퍼 롤러 베어링의 전동체에 발생한 국부적인 플레이킹. 그림 68의 줄무늬 궤적.

원인 :

구름접촉에서 구성부품의 기하학적 변화는 오염된 윤활제에 의한 마모에서 기인한다. 오염된 윤활제는 예를 들면, 밀봉장치의 손상에 의한 이물침투 때문이다. 국부적인 과대 하중에 의한 경우는 부분적으로 테이퍼 롤러 베어링의 불충분한 조정과 연결 지어질 수 있다.

대책 :

- 정기적인 윤활제의 교환
- 윤활유의 필터링
- 밀봉장치의 개선
- 정기적으로 손상된 밀봉 시일의 교환
- 베어링의 특수열처리

● 표면층의 파손에 의한 피로

증상 :

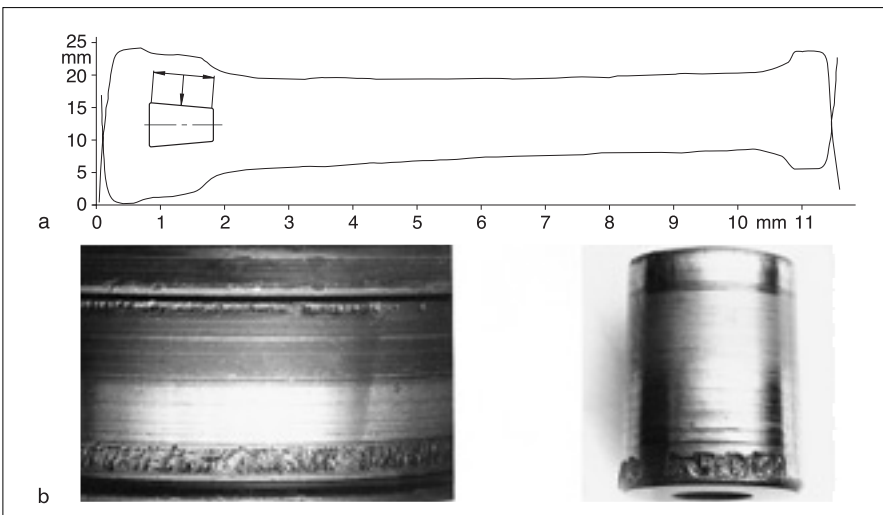
표면경화처리한 베어링 부품의 경우에 있어 궤도륜 표면의 벗겨짐

원인 :

- 표면층의 파손 또는 분리
- 잘못된 설계 하중 때문에 주어진 하중 등에 비해 표면층이 너무 얇거나 과대 하중의 경우

대책 :

- 적절한 하중조건을 위한 표면층의 두께 조절
- 과대하중 피함



51: 광범위한 지역의 마모는 국부적 과대하중이 피로 파손을 일으키는 것과 같은 정도로 구름접촉내에서 부품의 기하학적 변화를 일으킬 수 있다.

a: 롤러의 표면 형상

b: 피로 손상된 내륜궤도와 롤러



52: 그림 51과 같은 파손 메카니즘. 궤도륜 가장자리의 마모가 있을 경우에는 그림 69와 같은 표면 형상을 나타낸다.

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.2.2 부식

● 습기에 의한 부식

증상 :

베어링 표면 전체에 갈색 변색은 일반적으로 불규칙하게 개별적 움푹패임 형태로 나타난다(그림 53).

많은 경우에 전동체 피치간격의 움푹패임과 함께 점 형태의 녹이 발생한다.(정지부식)

모세관 효과는 오랜정지 상태일때 접촉 지역에 집중하는 습기를 야기 시킨다. (그림 54) 이것은 최종적으로 마모를 이끌며 녹으로부터의 조기 파손 현상을 야기 시킨다.

원인 :

- 부적절한 보관 (상대습도 > 60%)
- 극심한 온도차 (응축된 증기)
- 밀봉장치 손상 (이물의 마모작용에 의한 손상의 가속, 그림 87)
- 부적당한 윤활제

대책 :

- 베어링의 제조회사의 규격에 따른 적절한 보관
- 밀봉장치의 개선(필요시 밀봉장치 추가)
- 내 부식성이 있는 윤활제 사용
- 그리이스 윤활의 경우에 주기적인 재급유, 특히 정지기간 전의 급유



53: 깊은홈 볼 베어링의 외륜에 부식현상, 습기에 의하여 파괴된 방청성능

54: 궤도면에 전동체 피치 간격으로 발생한 녹



● 활동적인 물질에 의한 부식

증상 :

일반적으로 검게 에칭되어 움푹패임.

그림 55

대책 :

- 베어링 제조업체의 규격에 따른 보관

- 밀봉장치의 개선

- 내 방청성이 있는 윤활제의 사용

원인 :

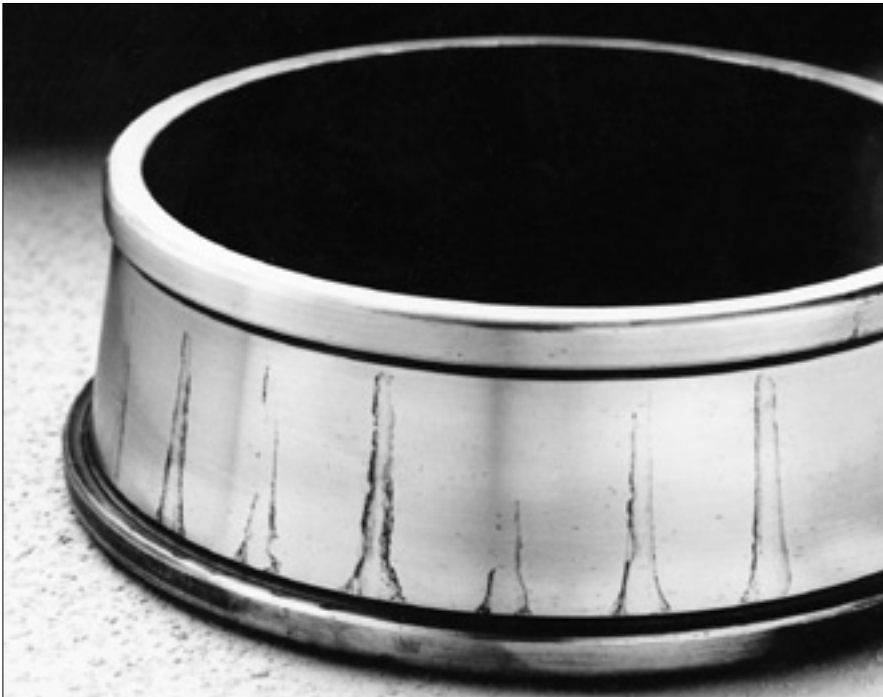
- 부적절한 보관 (맹독성의 화학물질과

동일 장소에 보관)

- 밀봉구조의 손상

- 부적당한 윤활제

55: 활동적인 물질의 침투에 의한 표면손상. 에칭된 패임은 일반적으로 검다.



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.2.3 폴스 브리넬링

증상 :

그림 56과 그림 57과 같이 전동체의 피치 간격으로 궤도면에 발생. 반대로 부적절한 조립에 의한 자국은 모서리가 솟아나지 않는다. (3.3.2.4항 “전동체의 압흔”을 참조) 압흔표면은 자주 갈색을 띠며 (부식) 특히 볼베어링은 심하게 거칠어 진다 (기계가공 구조 결여). 축 방향으로의 굽힘 또한 볼 베어링에 나타날 수 있다. 베어링이 간헐적으로 회전할 때 폴스 브리넬링에 의한 몇개의 조각들이 일어난다.

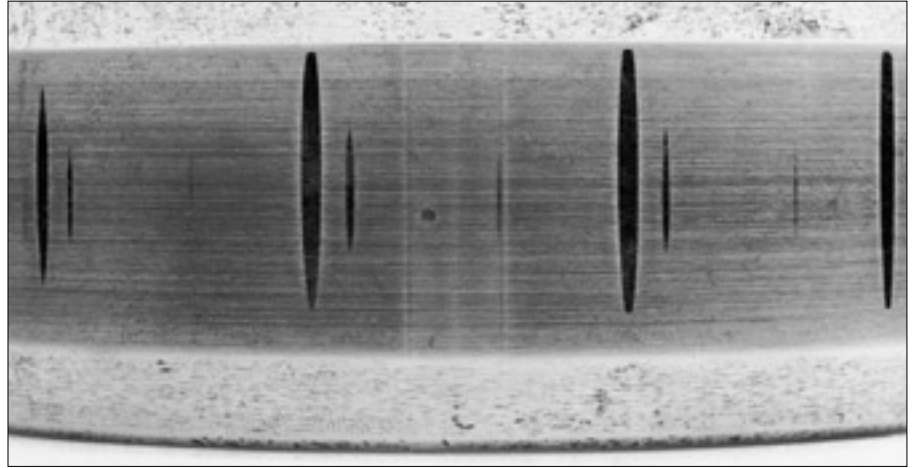
원인 :

정지된 기계에서의 진동; 구름접촉을 하는 부품들의 접촉지역에서의 미세한 움직임을 야기시킨다.

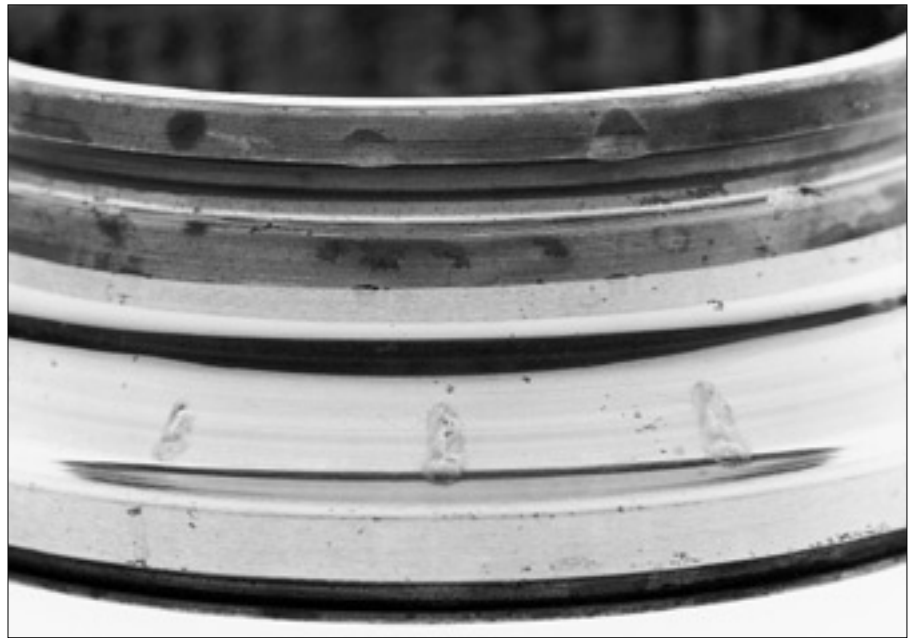
대책 :

- 진동의 제거 또는 흡수
- 민감한 기계의 정지를 피해 계속 운전 ; 베어링을 예압하거나 무부하하는 동안 안전한 장비사용
- 적절한 윤활제 사용 (첨가제)
- 회전하중을 위하여 보다 큰 경방향 틈새를 선정

56: 원통 롤러 베어링의 내륜에, 전동체 피치 간격으로 궤도면에 발생한 폴스 브리넬링



57: 볼 베어링에 발생한 폴스 브리넬링



3.3.2.4 전동체 압흔

증상 :

그림 58은 비 분리형 베어링의 궤도면에 전동체 피치 간격의 압흔이다. 베어링 피로는 때때로 이러한 압흔에서 시작되며 또한 3.3.2.1항의 “과대 정하중에 의한 피로”에서 볼 수 있다. 이러한 압흔은 또한 해체 시에도 생길 수 있다; 회전 형상 (광택나는 가장자리) 확인, 조립 방향 결정.

원인 :

- 정적 과부하/충격 하중
- 전동체를 통하여 작용하는 압입력 또는 인발력(부적절한 조립순서, 부적합한 조립장비)

대책 :

억지끼워 맞추는 링을 먼저 조립한다. 내륜과 외륜을 모두 억지끼워맞춤을 할 때에는 적절한 장비로 내외륜을 함께 조립한다.



58: 깊은 홈 볼 베어링의 궤도 턱경 부분 볼 압흔. 베어링 조립 장비가 헐거움 끼어맞춤 할때 링에 붙어서 그 힘이 전동체를 통해 전달

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.2.5 전류 통과에 의한 크레이터와 플루팅

• 크레이터 : 분화구 형태의 전식

증상 :

궤도면의 크레이터는 구름 접촉부에 국부적인 용융에 의해 발생 되며, 때때로 궤도면의 원주 둘레방향으로 한 줄 혹은 전체 면에 걸쳐 연결된 형태로 나타난다. 분화구 형태의 전식이 발생된 표면은 부분적으로 용접방울처럼 보인다(그림 59).

원인 :

과전류 통과에 의한 스파크 발생, 예를 들어 용접 혹은 접지 실패시.

대책 :

전기 용접하는 동안 베어링에 전류가 흐르지 않도록 할 것(접지 시킬 것)

• 플루팅 : 주름 형태의 전식

증상 :

베어링 궤도면에 광범위하게 축과 평행 방향으로 갈색 형태의 전식 발생, 혹은 원주 방향으로 전체적으로 전식 발생(그림 60).

원인 :

비록 낮은 전류 일지라도 지속적으로 직류 혹은, 교류의 전류 통과로 발생

대책 :

- 베어링 전류 통과 차단(접지, 절연)
- 절연 베어링 사용

59: 전류 스파크로 인해 원통 롤러 베어링의 궤도면에 크레이터들이 형성되었다.



60: 깊은 홈 볼 베어링의 외륜에 지속적인 전류 통과로 발생된 주름 형태의 전식



3.3.2.6 전동체의 가장자리 회전

증상 :

볼의 경우, 볼 표면에 아치형태의 노치 혹은 실타래 형태의 노치는 그것들이 소성변형을 하기 때문에 가장자리가 둥글다(그림 61, 62). 롤러의 경우 폭면 근처에 원주방향의 노치발생. 외부 이물 침투에 의한 전동체 표면의 긁힘형태와는 혼동하지 말 것(3.3.4.2 항).

원인 :

- 과다한 (축방향) 하중
- 높은 모멘트하중
- 운전 틈새가 너무 높을 경우
- 틸팅

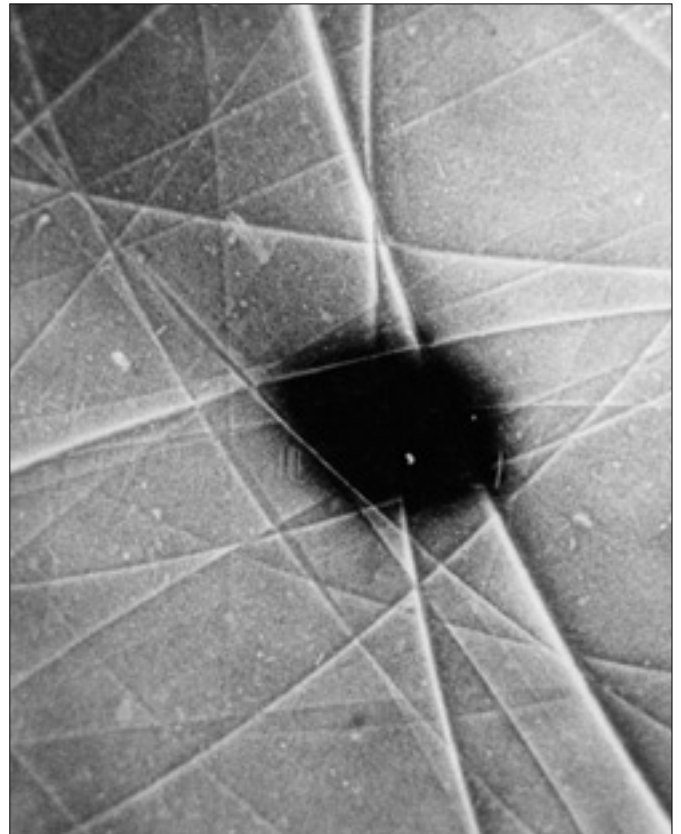
대책 :

- 과부하를 피함
- 높은 부하 용량을 가진 베어링 사용
- 운전 틈새 감소
- 틸팅을 피함

61: 오랜시간동안 지속적인 하중에 의해 뚜렷한 가장자리 꺾적이 발생한 볼



62: 긴 시간동안 변화 하중 작용에 의해 볼 표면에 발생된 실타래 형태의 노치



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.3 링 파손

3.3.3.1 궤도면 피로에 의한 파손

증상 :

일반적으로 궤도면의 넓은 면적에 걸쳐 피로 손상; 종종 손상내에 계단모양(나머지는 선형태) (그림 63).

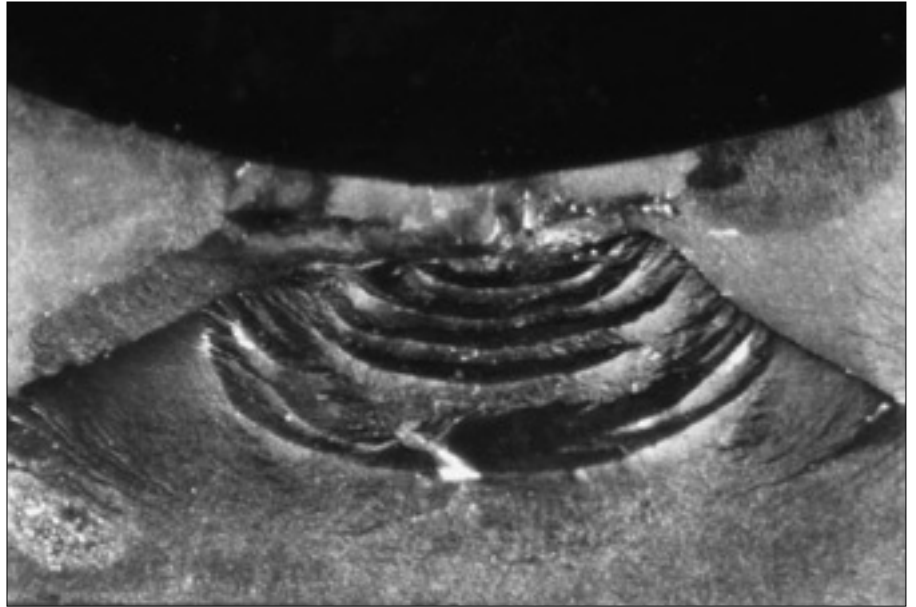
원인 :

피로 진행에 의한 손상

대책 :

3.3.2.1항 파손 참조

63: 축방향의 피로에 의한 깊은홈 볼 베어링 외륜의 파손



3.3.3.2 내륜 축방향 초기균열과 완전균열

증상 :

축 방향으로 부분적이거나 완전하게 균열 발생. 균열 파손 끝단이 약간 둥근 형태임. 파손은 베어링 운전 중 발생 되었고, 균열 파손면이 날카로운 형태로 해체 중 발생 되었음을 나타낸다. 균열 발생 후 오랜 시간 운전했을때 후자의 경우 끝단은 부분적으로 떨어져 나갈수도 있다(그림 64).

원인 :

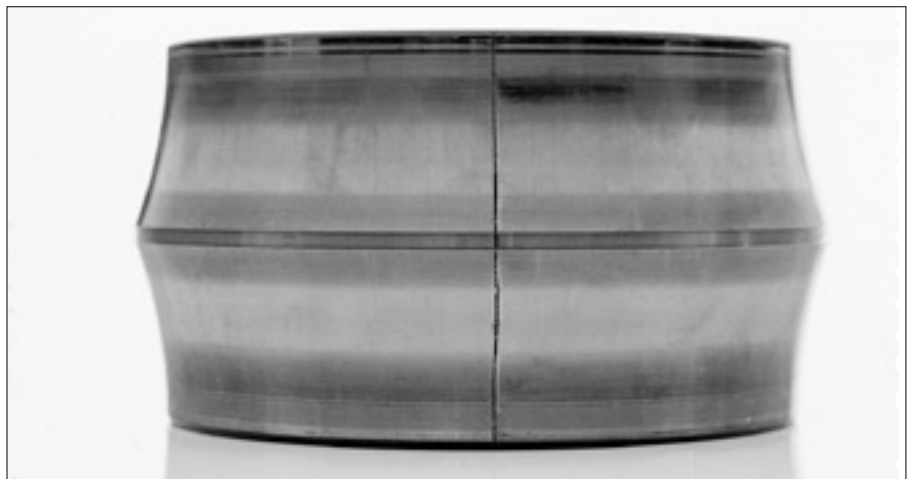
- 베어링 미끄러짐.
- 궤도면의 파손
- 축에서 내륜의 회전
- 부적절한 윤활
- 축에 너무 큰 억지 끼워 맞춤
- 축에 흠이 있을 경우
- 진원도가 벗어났을 경우
- 주변 부품에 부딪힘 발생시

대책 :

- 윤활의 개선 (첨가제, 오일량의 증가)
- 궤도면 손상 발생요인 처방
- 적절한 끼워 맞춤

- 주변 부품의 부딪힘 발생 방지
- 베어링 장착 설치부 조건 향상
- 내륜과 외륜의 특수 열처리

64: 자동조심 롤러 베어링 내륜의 축방향 균열



3.3.3.3 원주방향으로 외륜 링 파손

증상 :

일반적으로 균열은 원주 방향과 동일하게 발생된다. 종종 몇 개의 조각들로 파손된다. 축방향 하중이 작용 할 경우에 있어서는 대개 이러한 파손들은 궤도 중앙에서 약간 벗어나서 발생된다. 피로 손상은 자주 이러한 균열의 원인이 되기도 한다. 외륜의 외경면은 일반적으로 불규칙

하중부하의 한 형태로 나타난다(그림 65).

원인 :

하우징 내에서 베어링 링의 불완전한 지지

대책 :

베어링 설치의 지지 방법 개선

65: 원주방향으로 외륜의 파손



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가

구름접촉의 형태

3.3.4 접촉 면에서 깊은 긁힘 및 스미어링 흔적

국부적인 균열, 깨짐, 궤도 또는 전동체 표면의 찍힘과 더불어, 넓은 영역의 표면 손상은 역시 베어링 표면의 미끄러짐에 의한 마모에서 발생이 된다. 이러한 운전 조건 외에 이러한 손상은 본질적으로 윤활제의 청정도 및 품질에 의하여 영향을 받는다.

3.3.4.1 윤활 부족에 의한 마모

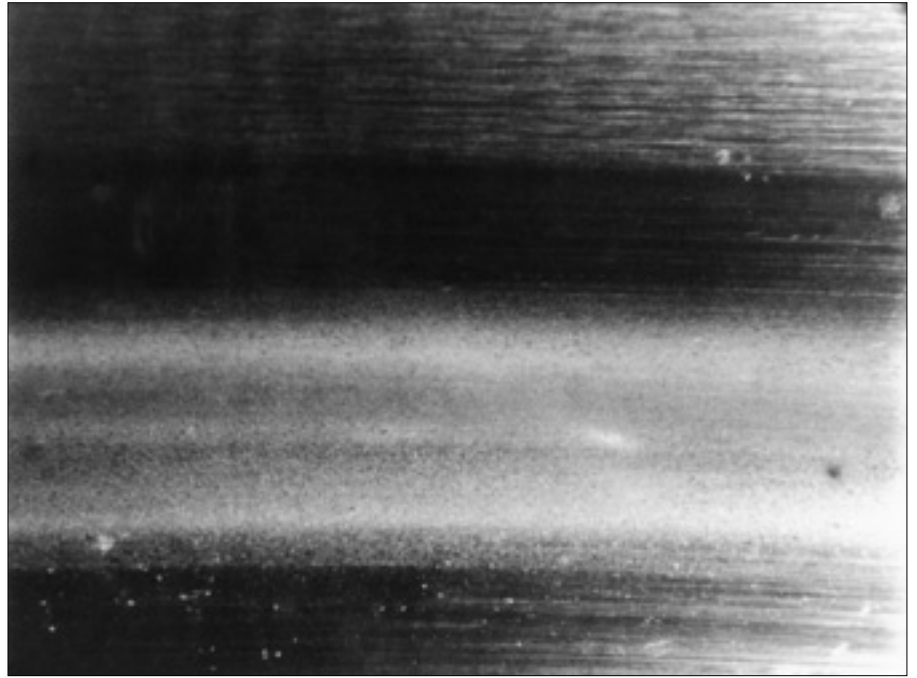
증상 :

접촉부분은 무디고 거칠다(그림 28 및 66). 마모로 인해 발생된 이물은 윤활제를 검게 변화 시키고, 황동 케이지 경우에 있어서는 노랗게 변화시킨다. 또한 그리이스가 굳어지기도 한다. 그러나 여러 경우에 있어서 습기는 윤활제의 농도를 묽게 한다. 예압량이 감소되던지 베어링 틈새가 커지기도 한다. 만약 외부의 이물질이 침투하여 마모가 생긴 경우는 전동체 표면에 부분적으로 심하게 스코어 표시가 있다(그림 67). 열악한 조건하에서, 롤러 베어링의 궤도면은 원주 방향으로 거칠게 마모가 생긴다. 그후에 궤도 표면에는 줄무늬가 나타난다(그림 68 및 69). 이러한 형태의 마모는 피로 손상을 발생 시키며, 이 책자의 “마모에 의한 피로(3.3.2.1항)” 항을 참조하기 바란다.

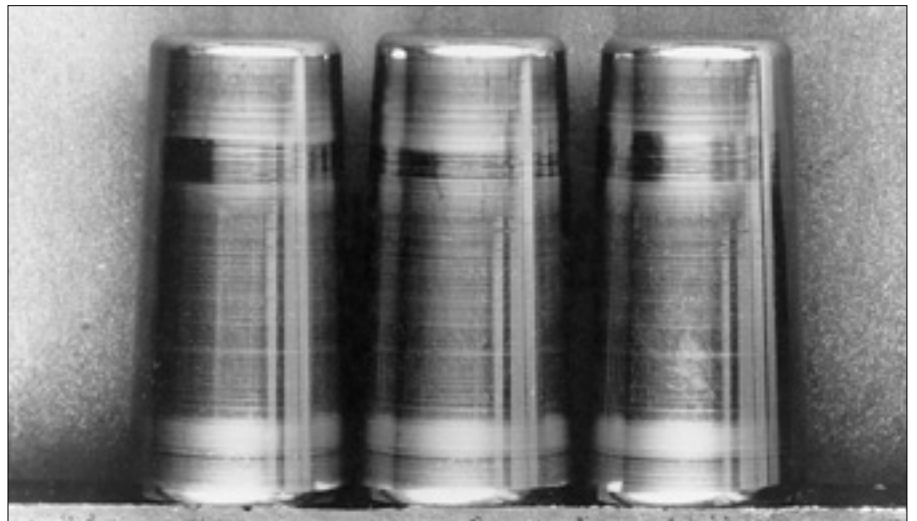
원인 :

- 하중 부하가 없는 윤활막
- 윤활제에 이물 혼입(부드러운 것 혹은 단단한 이물질, 먼지 혹은 습기 등)
- 편 마모된 테이퍼 롤러 베어링에서 베어링 자체 조정 능력이 불충분하여 발생.

66: 닳고 거칠어진 궤도면



67: 마모자국이 일반적으로 전동체 표면에 처음으로 나타난다.



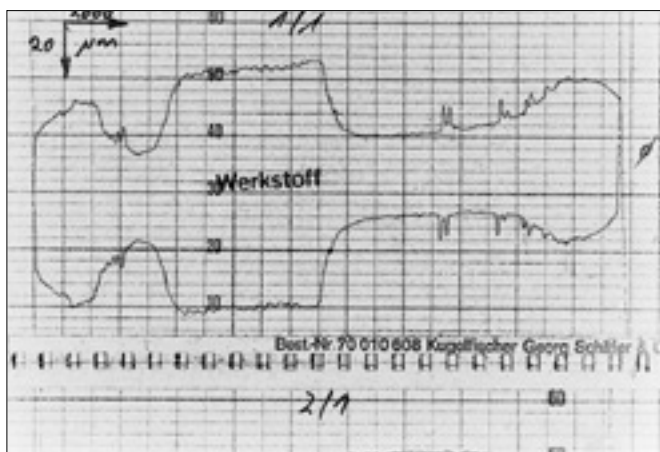
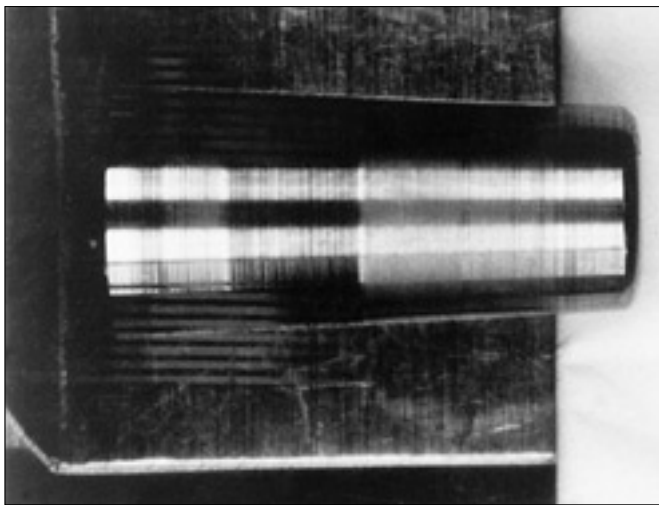
해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

대책 :

- 높은 점도 혹은 EP 첨가제가 함유된
좀더 높은 하중 부하용 윤활제
- 윤활 교체주기 단축
- 밀봉 방법 개선
- 윤활제 여과
- 정확한 베어링 조정

68: 일부 영역에서 마모에 의한 줄무늬 형상 발생

a: 롤러



b: 궤도



69: 그림 68a 차트

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.4.2 전동체 외경면의 긁힘

증상 :

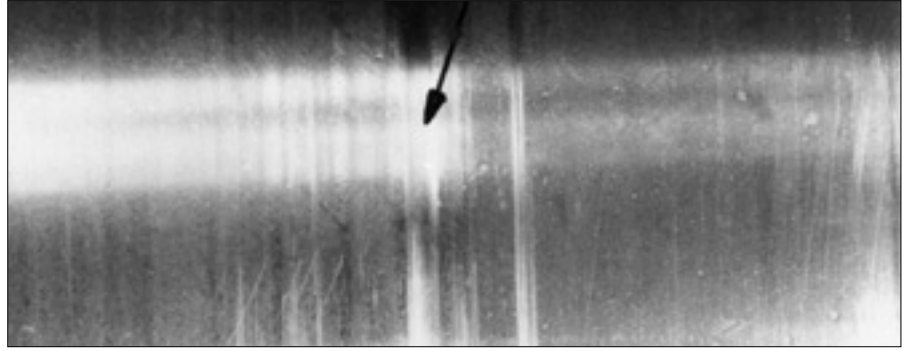
전동체 표면 접촉부 주변에 V자형태의 금이 발생하며 롤러에 있어서는 링과 평행하게 (그림 70 및 71) 볼에 있어서는 실타래 형태로 나타난다 (그림 72). 엣지 트랙 (edge tracks)과는 혼동하지 말 것 (3.3.2.6 항). 가장자리부분의 운전 자국은 소성변형에 의해 둥글며, 긁힘에 의한 부분은 날카롭다. 단단한 이물질은 자주 케이지 포켓에 들어가게 되고 긁힘의 원인이 된다 (그림 73).

원인 :

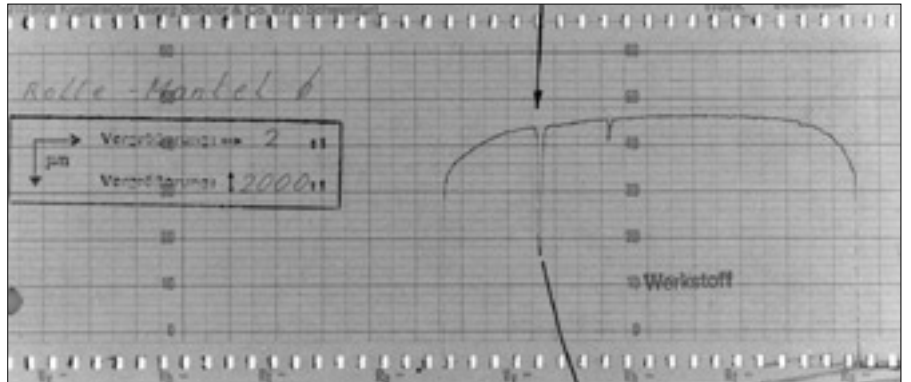
이물 혼입된 윤활; 단단한 이물은 케이지 포켓에 박히고 그라인드 휠의 지석 같은 역할을 하게 된다.

대책 :

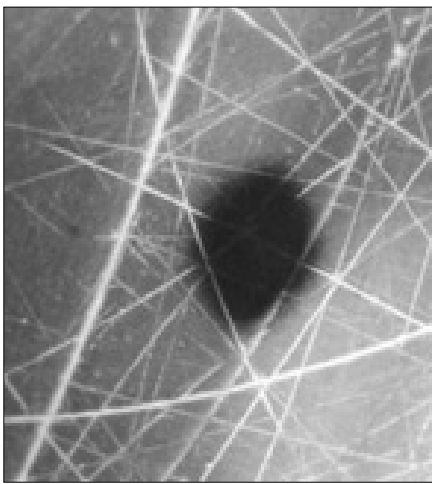
- 조립시 청결 조건을 유지할 것.
- 밀봉 개선
- 윤활제 여과



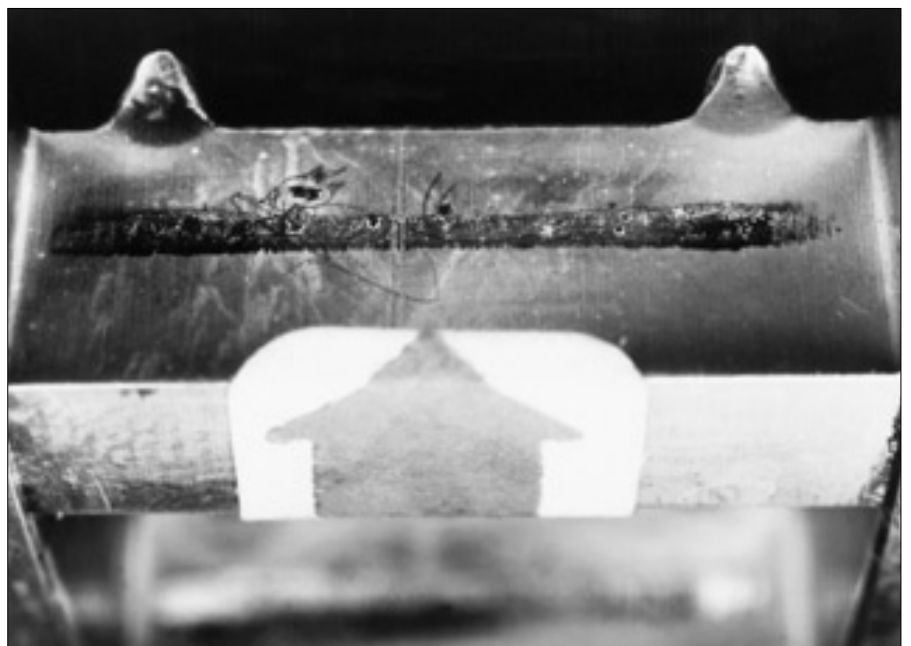
70: 케이지에 외부 이물 침투로 롤러 표면의 깊은 긁힘



71: 그림 70의 차트



72: 볼 표면의 실타래 모양의 긁힘



73: 원통 롤러 베어링 케이지의 가로 방향에 박혀 있는 외부 이물질

3.3.4.3 미끄러진 자국

증상 :

전동체의 미끄러짐, 특히 롤러가 크고 무겁고 케이지가 없는 베어링에서 나타나며 궤도 및 전동체가 거칠고 스미어 마크와 함께 전체적보다는 부분적으로 나타난다(그림 74 및 75). 자주 마이크로 피팅과 연결되어 발견되며 “윤활유 불량에 의한 손상(3.3.2.1항)”을 참고 할 것.

원인 :

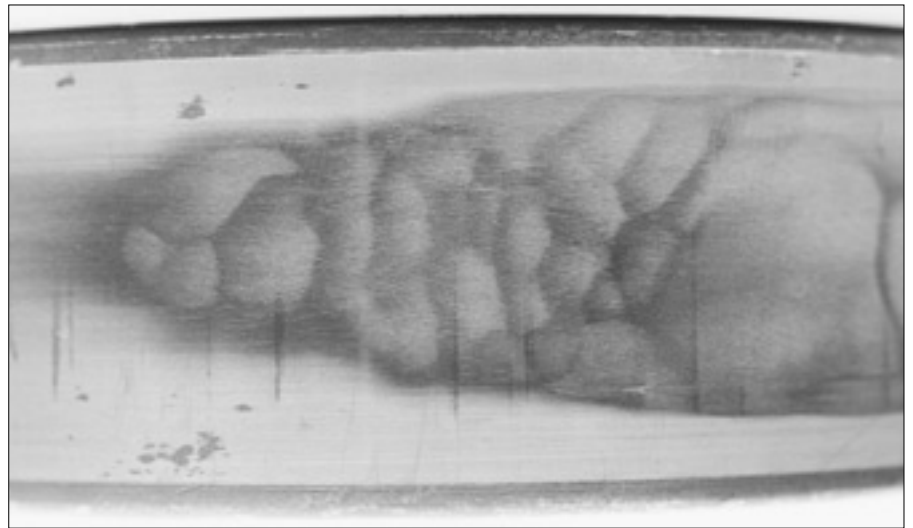
- 하중이 적고 윤활이 불충분 할 경우 궤도면에서 전동체가 미끄러짐.
- 역시 부하 영역권이 너무 짧을 경우, 즉 전동체가 비부하 영역에서는 정지 하려고 하고 연속해서 부하 영역에 들어가는 다시 가속 되려고 함.
- 속도 변화를 심하게 할 경우

대책 :

- 저 부하용량 베어링 사용.
- 스프링으로 베어링에 예압을 준다.
- 베어링 틈새를 작게 한다.
- 시운전 때도 역시 충분한 하중이 작용 하도록 한다.
- 윤활 방법 향상



74: 원통 롤러 외경면의 미끄럼 자국



75: 원통 롤러 베어링의 내륜 궤도면 미끄럼 손상

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 구름접촉의 형태

3.3.4.4 스코어 마크

증상 :

외, 내륜 분리되는 원통 롤러 베어링이나 테이퍼 롤러 베어링의 롤러와 궤도면에 축 방향으로 전동체 피치간격으로 찍혀 벗겨진 자국이 나타남. 때때로 몇몇 그러한 자국의 군들이 원주면상에 서로 어느 정도 나타난다. 종종 원주면에 1/3 정도에서 걸쳐 나타나며 전체에는 나타나지 않는다(그림 76).

원인 :

구름 전동체 세트를 베어링 링에 조립

할 때 서로 중심간의 불일치 혹은 기울어진 상태에서 비스듬히 힘을 주어 밀어 넣게 될 경우, 이것은 특히 큰 중량의 경우 더욱 위험할 수 있다 (큰 축의 경우에 있어서 내륜과 이미 하우징에 조립된 전동체 세트와 조립시 서로 부딪힘)

대책 :

- 적절한 조립 장비 사용
- 미스얼라이먼트를 피할 것
- 조립시 천천히 돌려 가면서 조립할 것

76: 롤러 전동체 세트에 조립시 기울어져서 발생된 원통 롤러 베어링 내륜 궤도면의 스코어 마크



3.3.5 고열에 의한 손상

증상 :

베어링 부품들의 상당한 변색*), 궤도면 / 전동체가 광범위에 걸쳐 소성 변형이 일어나고 온도의 급격한 상승 및 베어링 타붙음 발생(그림 77), 경도 58HRC이하로 떨어짐.

원인 :

고열을 받은 베어링으로 더 이상 베어링 손상 형태에 의해 손상 원인을 찾을 수 없다. 가능 원인은.

- 운전 틈새가 너무 적을 경우, 특히 고속 회전인 경우

- 부적절한 윤활
- 외부 열에 의하여 경방향 부하 발생
- 과다 윤활
- 케이지 파손에 의한 운전의 간섭

대책 :

- 베어링 틈새 증가
- 외부에서 열을 가하는 경우 조립되는 베어링에 균일하게 열이 분포되도록 충분히 천천히 올리든가 내린다.
- 과다 윤활을 피할 것
- 윤활 방법 개선

*) 변색에 대하여:

열 변색은 과열 손상과 연관이 있다. 갈색과 푸른색의 어스름한 형태는 얼마나 높은 온도에서 사용했는지, 얼마나 오랫동안 영향을 받았느냐에 따라 다르다. 그런 변색은 좀 더 자주 나타나는 오일변색과 유사하다(3.3.1.1.항). 그러므로 과열발생은 변색 여부로만 판정할 수 없다. 변색의 형태는 과열변색과 오일변색을 구분 짓는데 도움을 준다: 오일변색이 전동체와 궤도면에서만 자주 발생하는 반면에 과열변색은 일반적으로 베어링 전체에 나타난다. 그러나 아주 높은 운전 온도 발생에 대한 유일한 답은 경도 검사이다.

77: 원통 롤러 베어링의 궤도면에 롤러에 의해 아주 심하게 나타난 타붙음 및 과열 흔적



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 립 접촉

3.4 립 접촉면의 판단

그림 78은 정상 운전된 턱면을 나타낸다.

3.4.1 롤러 베어링의 롤러 단면과 내륜 립 부분의 손상

3.4.1.1 외부 이물에 의한 스코어링

증상 :

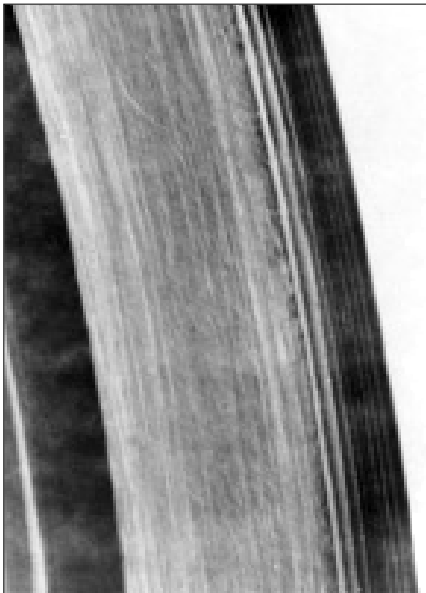
롤러 단면 및 립 면에서의 원호 형태의 긁힘.(특히 테이퍼 롤러 베어링에서 자주 발생) (그림 79 및 80). 립 에서의 긁힘의 깊이는 외부 이물이 달라 붙는 전 동체 반경 크기에 따른다.

원인 :

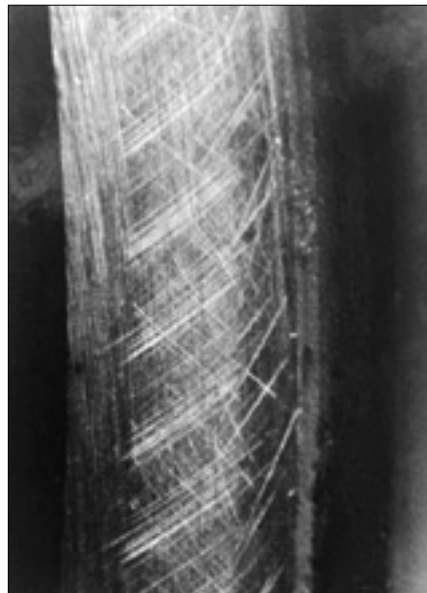
롤러면과 립 사이의 접촉면으로 들어간 윤활제 내부의 단단한 외부 이물.

대책 :

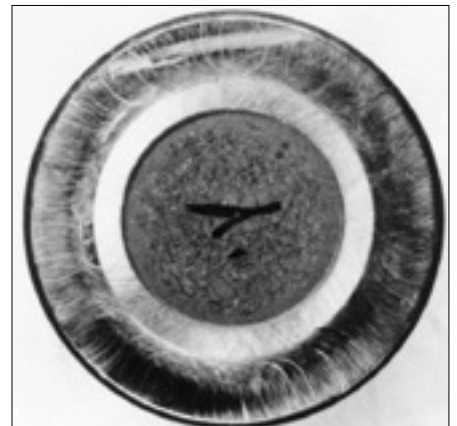
윤활 청정도 향상



78: 테이퍼 롤러 베어링에서 정상 적인 턱 접촉면 자국



79: 외부 이물에 의한 턱면의 스코어링



80: 테이퍼 롤러 단면의 스코어링

3.4.1.2 립 접촉면의 타붙음

증상 :

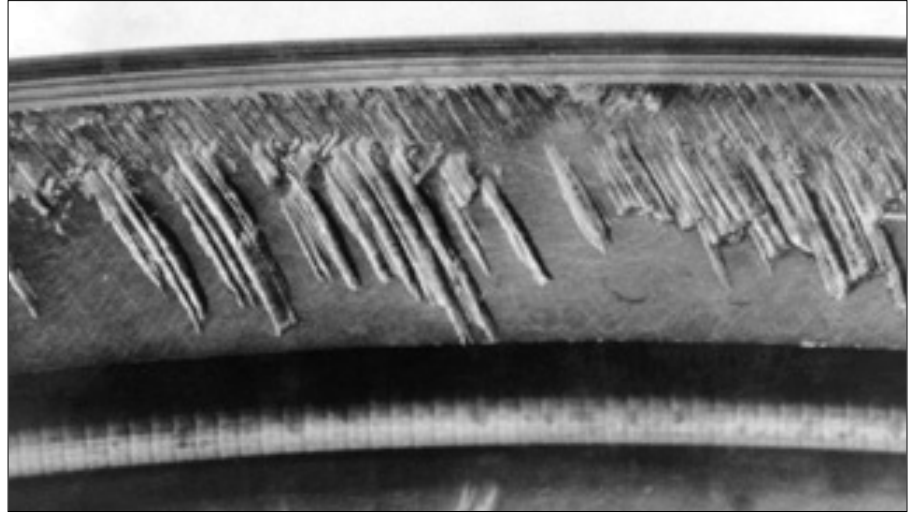
립과 롤러 단면의 일부분 혹은 넓은 범위에서의 타붙음 및 깊은 긁힘, (그림 81 및 82). 또한 이부분에서의 윤활제의 코크스화, 종종 매우 높은 하중과도 관련되어 있음.

원인 :

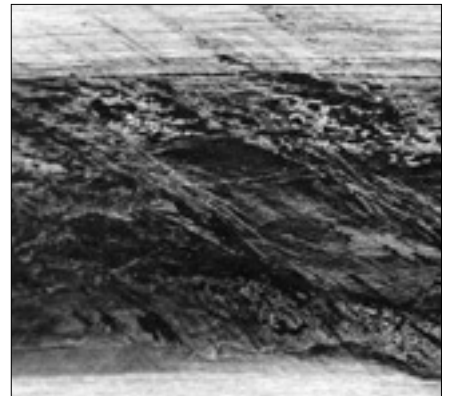
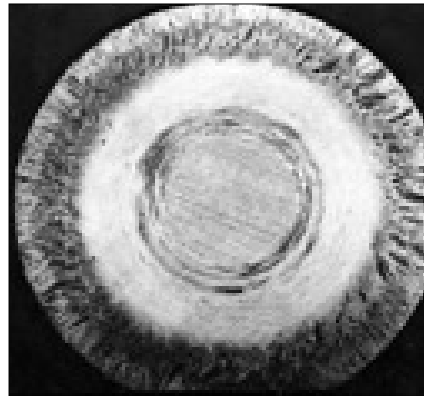
- 고속 고하중과 함께 부적절한 윤활 (윤활유의 점도 및 양이 너무 낮을 경우)
- 고하중과 저속 회전에서 롤러 단면과 립 사이의 유체 윤활 막이 없는 부적절한 윤활.
- 테이퍼 롤러 베어링에서 너무 높은 예압
- 열팽창에 의한 과다 예압.
- 예를들어 궤도 마모, 궤도륜의 기울어짐 혹은 불충분한 조정에 의한 롤러의 스큐잉(그림 81).
- 원통 롤러 베어링에서의 축방향 하중이 너무 높은 경우.
- 내륜에서 축방향 예압이 너무 높아 립 접촉면이 벗어난 경우.

대책 :

- 윤활 향상(점도 증가, EP첨가, 윤활량 증가)
- 베어링의 정확한 조정이 될 것.



81: 끝단부 접촉에서 내륜 턱면의 롤러 스큐잉으로 인한 타붙음



82: 불충분한 윤활과 하중에 의하여 립과 롤러 폭면 사이의 발생한 타붙음

해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 립 접촉

3.4.1.3 립 접촉면의 마모

증상 :

롤러 베어링에서 불충분한 윤활은 롤러 단면 및 립 접촉면에 미끄러짐 형태로 가장 먼저 나타난다. 심한 경우는 먼저 언급한 바와 같이 타붙음이 발생된다.

모든 경우 접촉면은 마모 된다. 이것은 립이나 롤러 단면의 교차 형상 차트로 명확하게 알 수 있다(그림 83). 립(rim)은 역시 롤러 단면에서 자주 발생한다. 테이퍼 롤러 베어링에서는 예압량 감소 혹은 축방향 틈새 증가로 나타난다. 이것은 예를 들면 트랜스미션에서 하중 방향이 바뀌면 운전 소음의 증가를 이끈다.

테이퍼 롤러 베어링에서는 기하학적인 특성으로 인하여 립 접촉면 마모는 단지 축방향 틈새의 약 1/3 정도만 발생한다.

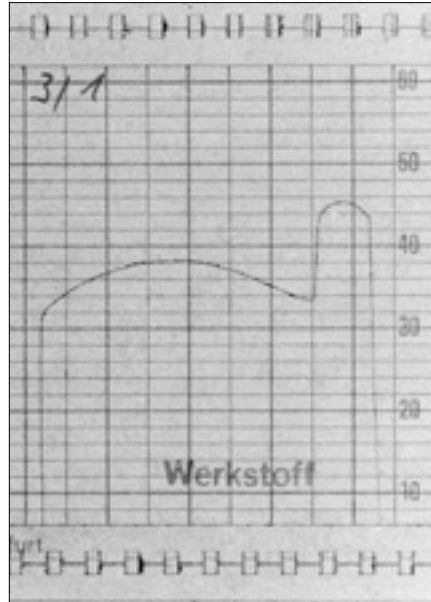
립 마모는 또한 궤도 혹은 롤러 외경면 마모를 의미한다.

원인 :

- 부적절한 윤활(윤활 종류, 량)
- 윤활제에 이물 침투

대책 :

- 청정도 향상.
- 적절한 윤활제 선정(점도, EP첨가제) 및 충분한 량의 공급.



83: 마모된 롤러 측면의 교차 형상 차트



84: 테이퍼 롤러의 립(rim) 형상

3.4.1.4 립 파손

증상 :

립의 완전히 혹은 부분적으로 파손 및
균열

원인 :

- 지지할 수 없을 정도의 과도한 축방향 하중
- 립이 불충분하게 지지(그림 20)
- 축방향 충격 하중

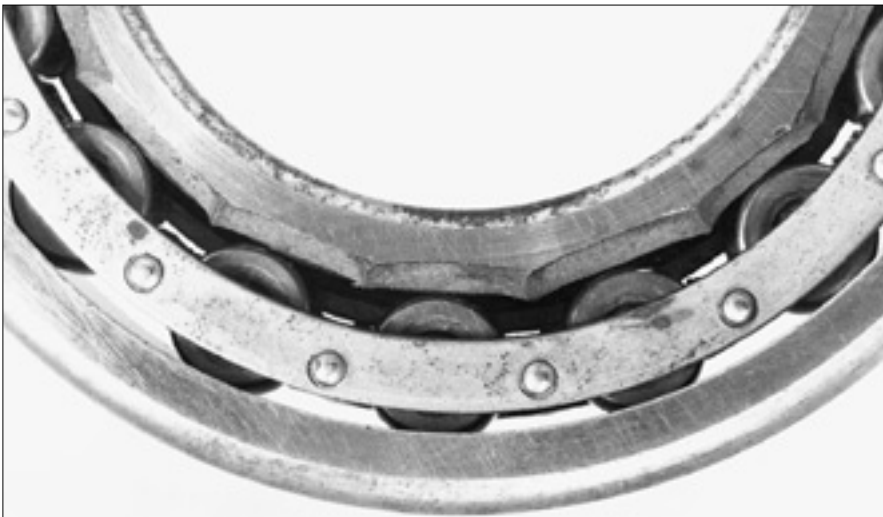
- 케이지와 전동체의 손상에 의한 2차적 손상

- 설치 손상

대책 :

- 베어링 립을 양호하게 지지할 수 있도록 있도록 주변품 설계
- 최대 설계 정격 하중 내에서 하중 부하
- 조립 사양 검토

85: 배럴 롤러 베어링의 립 파손. 햄머로 축에 내륜 조립



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 립 접촉

3.4.2 케이지 안내 표면의 마모

증상 :

마모는 케이지가 - 특히 황동 케이지 일 경우- 베어링 링의 립에 의해 안내 되었을 때 마모가 발생한다. 표면은 매우 거칠고 타붙음 역시 발생한다(케이지의 물질이 립에 달라 붙는다). 마모가 상당량 진행되면 립 부분에 단이 생긴다 왜냐하면, 케이지가 일반적으로 립의 전체면과 접촉을 하지 않기 때문이다(그림 86). 또한 유사한 마모 특징이 립에 대응되는 케이지의 가장자리에서도 일어난다(그림 3.5.1참조).

이것은 특히 고속회전 일 경우 내륜 립 접촉에서는 위험하다

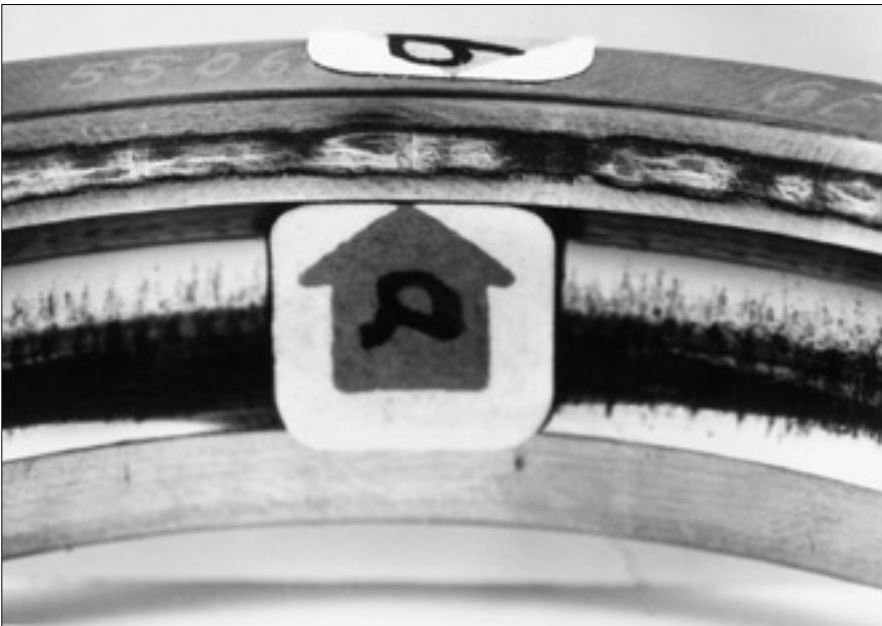
원인 :

- 접촉부에 불충분한 윤활량 공급, 종종 부적절한 윤활제 배수
- 윤활유에 이물질 혼입
- 베어링 회전 속도가 너무 높을 경우
- 베어링 조립시 과도한 틸팅 발생
- 외륜 가이드 황동 케이지에서 과도한 운전온도 발생 (철/황동의 열팽창 계수가 틀림)

대책 :

- 윤활방법 향상(원활한 흐름, 청정도 향상)
- 해당 운전조건에 맞게 설계된 베어링을 사용
- 케이지 코팅

86: 재료의 얼룩을 동반한 외륜 립 케이지 안내 표면의 나쁜 접촉 상태



3.4.3 시일 회전 접촉 부위의 손상

3.4.3.1 시일 립의 트랙의 마모

증상 :

원주의 홈이 시일 립 접촉 부위에서 일 반적으로 광택을 내며 립에서 발생된다. 역시 외부 이물 침입에 의하여 베어링의 시일 립의 마모와 베어링 손상이 생긴다. 밀봉 영역에서 부식이 가끔 발생 된다.

(그림 87)

원인 :

- 상당량의 외부의 이물질, 특히 주변이 습한 경우
- 립이 건조한 상태에서 운전시

대책 :

- 플링거링 같은 외부 밀봉 장치 사용
- 시일 립 부위 윤활 도포

3.4.3.2 시일 트랙의 변색

증상 :

시일 립 접촉 부위 특히 축 시일의 경우 갈색 혹은 푸른색으로 변색. 높은 열이 시일을 딱딱하게 하며 마모를 촉진 시킨다 (3.6.1항).

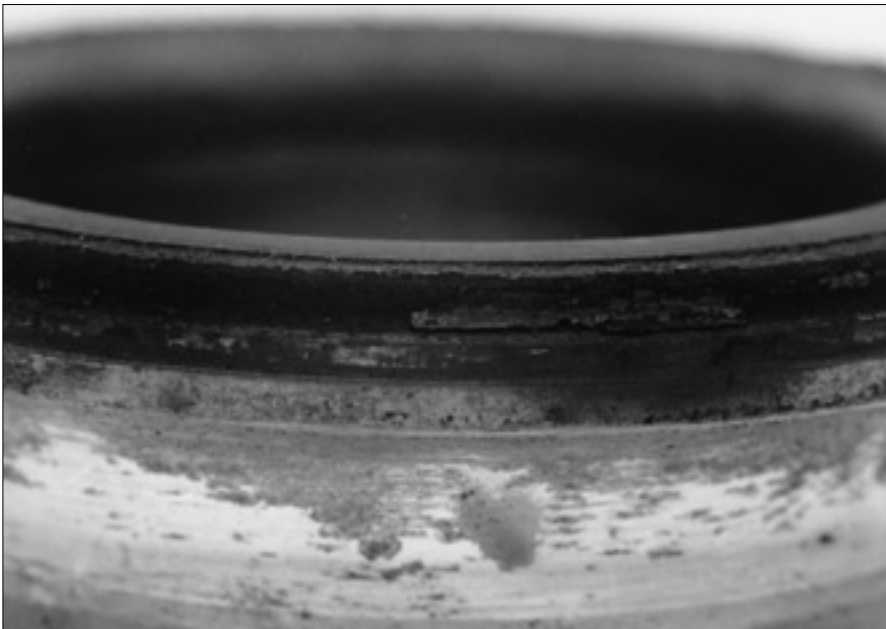
원인 :

- 시일의 과도한 누름 압력 혹은 높은 조임력에 의해 립과 축 부위에서의 강한 열 발생.
- 시일 립 접촉 부위의 불충분한 윤활.

대책 :

- 시일 립에 윤활 주입.
- 시일이 가능한 범위 내에서 시일의 조임 압력을 최대한 감소.

87: 앵글러 컨택트 볼 베어링의 립에서 밀봉 궤도 부위의 부식



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가

케이지 손상

3.5 케이지 손상

3.5.1 윤활제 부족 및 오염에 의한 마모

증상 :

립 안내 케이지의 마모는 측면 가장자리에서 전동체에 의해 안내되는 케이지는 포켓에서 마모 발생.

진행된 마모에 의한 2차 손상은 전동체 안내를 립 안내로 진행시켜 마모를 발생시키며 그 역의 경우도 가능.

마모는 일반적으로 축 방향으로 포켓이나 원통 롤러 베어링의 경우 양 측면 가장자리에 대칭형으로 크게 나타난다.

(그림 88)

원인 :

- 단단한 외부 이물질로 오염된 윤활제
- 너무 적거나 적합하지 않은 윤활제

대책 :

- 깨끗한 조립 환경
- 윤활제 필터링
- 윤활제 흐름을 증가 시키거나 다른 점도를 적용

88: 케이지 측면 가장자리의 마모



3.5.2 과속에 의한 마모

증상 :

외륜에서의 스침에 의한 케이지 바깥지름의 마모

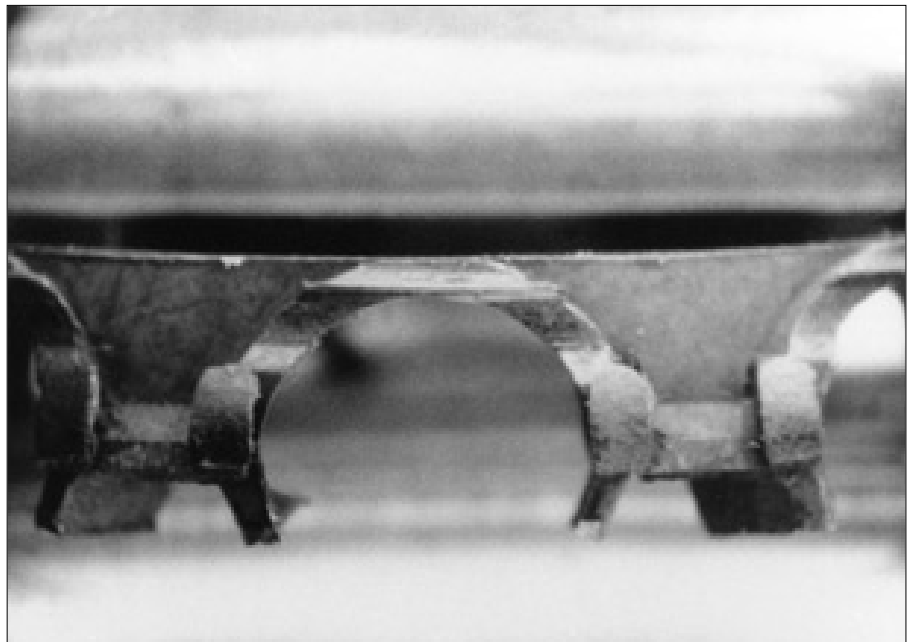
원인 :

- 과속
- 적합지 않은 케이지 선정

대책 :

- 다른 타입의 케이지 사용

89: 외륜에서의 스침에 의한 케이지 바깥지름의 마모



3.5.3 롤러 스큐잉에 의한 마모

증상 :

롤러 스큐잉은 롤러베어링이 경하중이나 경사져서 운전되거나 테이퍼 롤러베어링이 충분하고 적절한 윤활이 이루어지지 않을 경우에 발생한다.

만약 스큐잉의 힘이 립 부위까지 미치지 않았다면 반대편 대각선쪽의 마모지역은 케이지 포켓내에 허용 하중 이상의 힘에 의해 형성된다. 이것은 롤러 사이의 케이지부와 측면 모서리 사이에서 균열을 발생시키며 그림 90에 진전된 상태의 사진을 볼 수 있다.

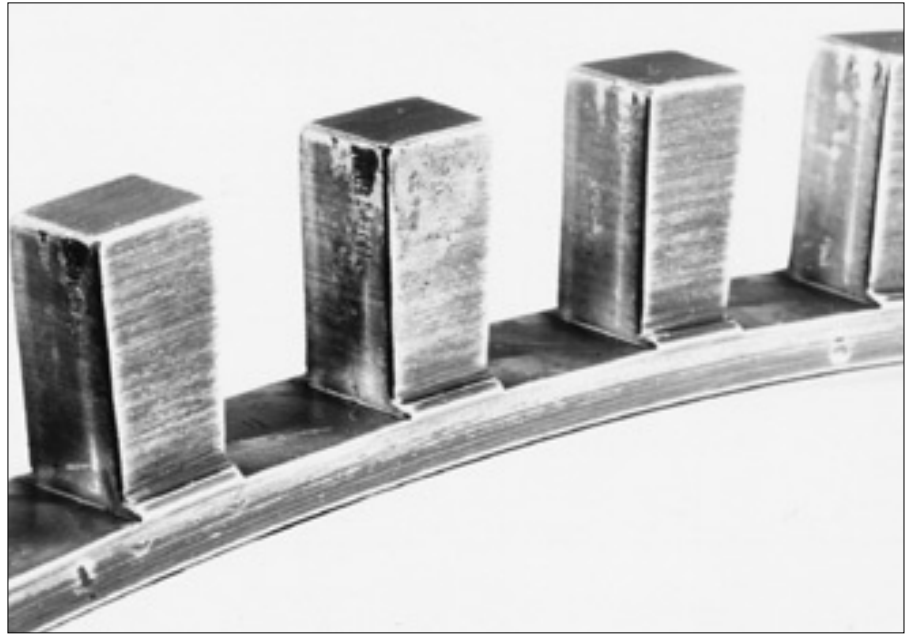
원인 :

- 미스얼라인먼트에 의해 부분적으로 베어링 허용 이상의 기울기
- 베어링의 부적절한 틈새 조정

대책 :

- 베어링의 올바른 조립
- 자동조심 베어링의 사용 또는 미스얼라인먼트를 피함

90: 롤러 베어링의 케이지 포켓내에서 비스듬한 형태의 마모



3.5.4 기울기에 의한 볼 베어링 케이지 마모

증상 :

케이지 내부의 심한 마모, 변형 및 파손이 일어나며 그림 91에 나타내었다.(그림 38과 비교)

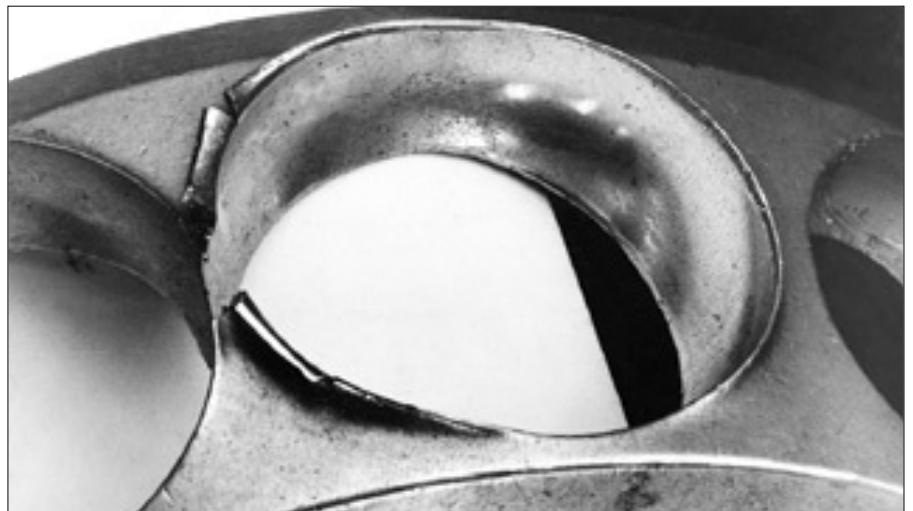
원인 :

- 함성하중을 동반한 볼 베어링간의 과도한 기울기
- 특히 충분치 못한 윤활을 동반한 케이지 부분내의 스트레스

대책 :

- 가능한한 기울기는 피함
- 되도록 자동조심 베어링 또는 폴리암이드 케이지를 적용한 베어링 사용
- 특수 디자인 : 긴 구멍 포켓

91: 베어링 링 사이의 틸팅은 볼과 케이지 사이에서 높은 무리한 힘을 유도하게 되며 웹 파손에 이르게 된다.



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 게이지 손상

3.5.5 케이지 연결부의 파손

증상 :

- 리벳 접합부의 풀림 또는 리벳의 파손 (그림 92)
- 케이지 칼퀴의 떨어져 나감

원인 :

- 진동장비나 차량 등에서 일반 케이지 응력에 부가되는 진동이나 충격
- 깊은 홈 볼 베어링의 경우 기울기

대책 :

- 프레스 케이지 보다는 고품 케이지 사용
- 특히 스트레스가 부과될 때 창형 케이지 사용

92: 진동 스트레스에 의해 파손된 케이지 리벳 연결부



3.5.6 케이지 파손

증상 :

케이지 측면 모서리부 파손 (그림 93), 드물게는 전동체 사이의 가로대가 파손

원인 :

- 조립시 손상
- 동역학적으로 허용속도 초과
- 윤활불량으로 인한 마모분의 영향 (3.5.1 참조)
- 과도한 모멘트 하중 또는 볼 베어링의 기울기 (3.5.4 참조)
- 큰 틈새를 가진 테이퍼 롤러 베어링을 조합하는 경우, 또한 축하중이 가역적으로 빠르게 변하는 경우

대책 :

- 조립시 유의
- 윤활제의 필터링
- 윤활흐름 증가 (점성이 다른 윤활제 사용을 통한 흐름 증가 포함)
- 가능한한 기울기를 피함
- 가능하다면 작용하는 베어링 조합시 예압을 부여

93: 자동조심 롤러 베어링 케이지의 측면 모서리부에서 균열에 의한 파손



3.5.7 부적절한 조립에 의한 손상

증상 :

- 플라스틱 케이지의 경우 초기 용융이나
메탈 케이지의 경우에 비틀림 또는 홈
자국 (그림 94, 95참조)

원인 :

- 조립에 있어 베어링의 올바른지 않은
가열
- 적절치 않은 조립 장비사용

대책 :

- 제조자 설명서에 따른 조립 (예를 들어
FAG 간행물 WL80100 구름베어링의 조
립 및 해체)

94: 가열판위에서 잘못된 베어링 가열의 경우 플라스틱 케이지가 용융



95: 압흔이 발생한 메탈케이지



해체 베어링의 운전특성과 손상에 대한 평가 시일 손상

3.6 시일 손상

3.6.1 시일 립의 마모

증상 :

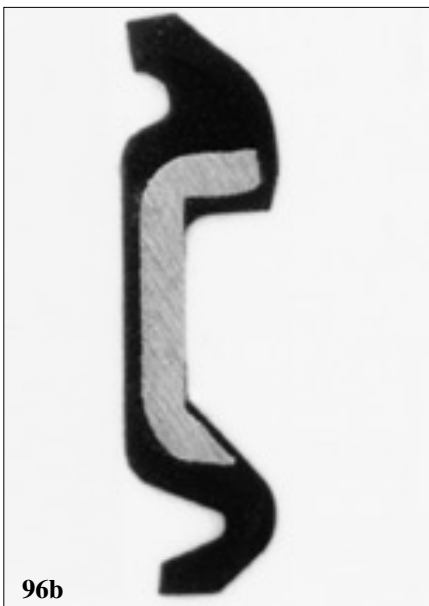
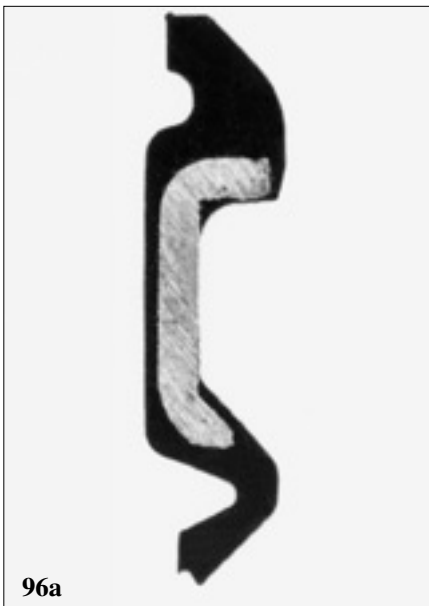
시일 립이 더 이상 경계윤활을 하지 못하고 넓어진다. 밀봉 재질의 크랙은 시일 립이 부분적으로 부서진다 (그림 96, 97 참조).

원인 :

- 밀봉재질이 너무 높은 온도에서 작동하는 경우
- 시일 립에 심한 많은 량의 이물이 모이는 경우
- 시일 간섭량이 너무 많은 경우
- 시일 립에 윤활이 안되는 경우

대책 :

- 작용하는 온도에 맞는 시일 재질 채택
- 비접촉 보조시일 사용
- 시일 립에 그리이스 도포

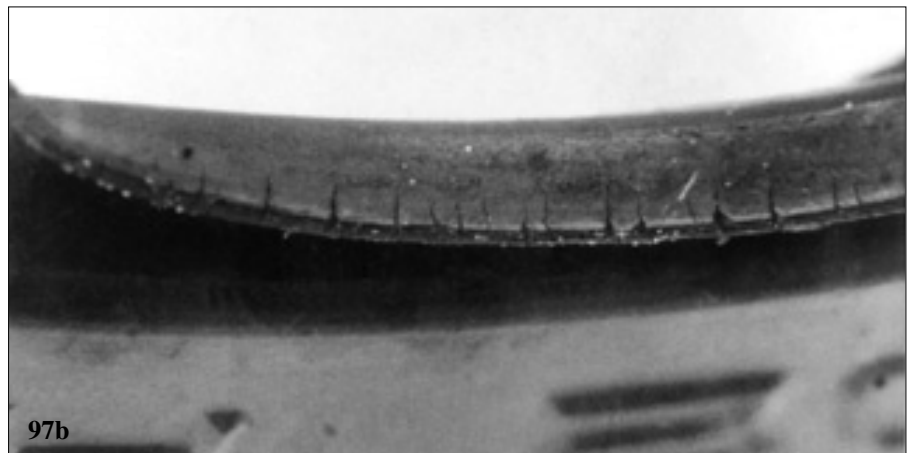


96: 시일의 단면

a: 새로운 시일 립 b: 마모된 시일 립

97: a: 마모와 부서짐 등으로 경화된 시일

b: 립 끝단면의 마모된 부분



3.6.2 부적절한 조립에 의한 손상

증상 :

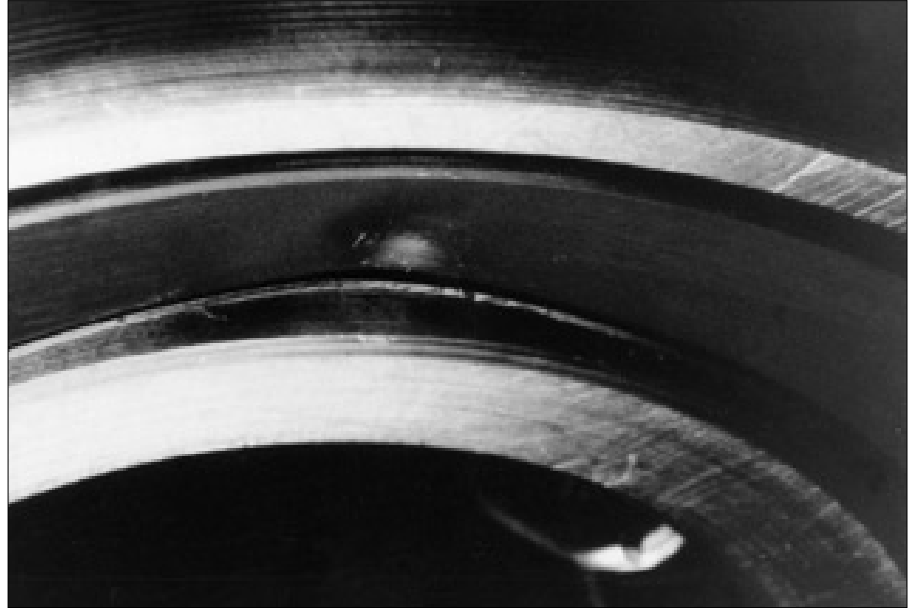
시일이 너무 안쪽으로 치우치거나 변색 또는 스크래치등이 나타난다. 시일 립은 그림 98, 그림 99처럼 변형된다.

원인 :

- 부적절한 조립장비
- 베어링에 일정온도 이상의 가열
- 때때로 밀봉장치의 제거
- 베어링을 압축된 공기로 불어냄

대책 :

- 적절한 조립장비를 사용하여 안전하게 장착
- 만약 베어링이 연속적으로 사용된다면 밀봉된 베어링을 열지 말 것



98: 스코어링으로 압흔이 생성된 시일

99: 변형된 시일 립



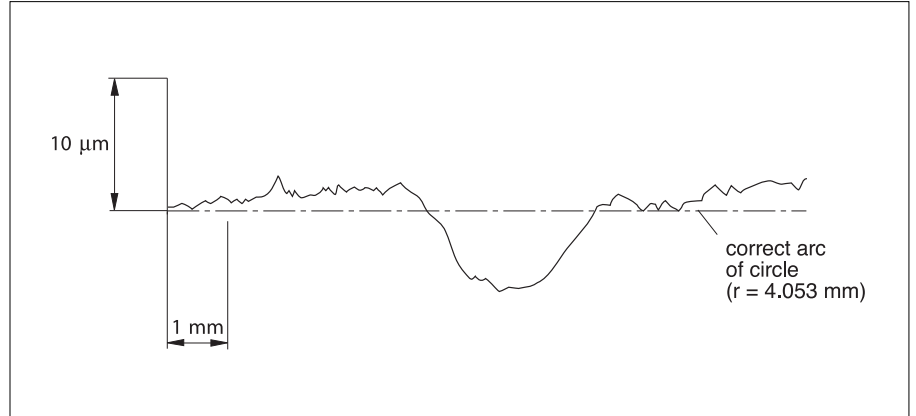
FAG에서 사용하는 다른 검사방법

기하학적 측정

4 FAG에서 사용하는 다른 검사방법

대부분의 경우 베어링 손상은 경험에 의해 나타나며 손상의 원인은 손상의 증상과 함께 사용조건 등의 데이터를 고려하여 명확해 질 수 있다. 손상의 원인이 명확하지 않은 상태로 남은 다수의 경우에는 입체현미경을 사용하여 결정할 수 있다. 단지 몇몇 소수의 경우에는 손상증상의 세심한 분석과 적용조건의 철저한 분석이 요구된다. FAG의 연구와 개발 능력은 매우 특별한 장비 등의 사용과 다양하고 고도의 발전된 기술적 검사방법을 포함한다. 이런 검사는 후에 매우 비싼 비용을 치르고 증명해야 하는 것보다 진전된 것으로 효과적인 비용 비교에 있어서 추천되어진다.

샘플에 수반된 주요 검사영역은 다음 장에서 설명될 것이다.



100: 홈 모양의 마모가 발생한 깊은홈 볼 베어링 궤도의 형상
(궤도 굴곡은 측정장비에 의해 보상된다)

101: 테일러서프의 모습

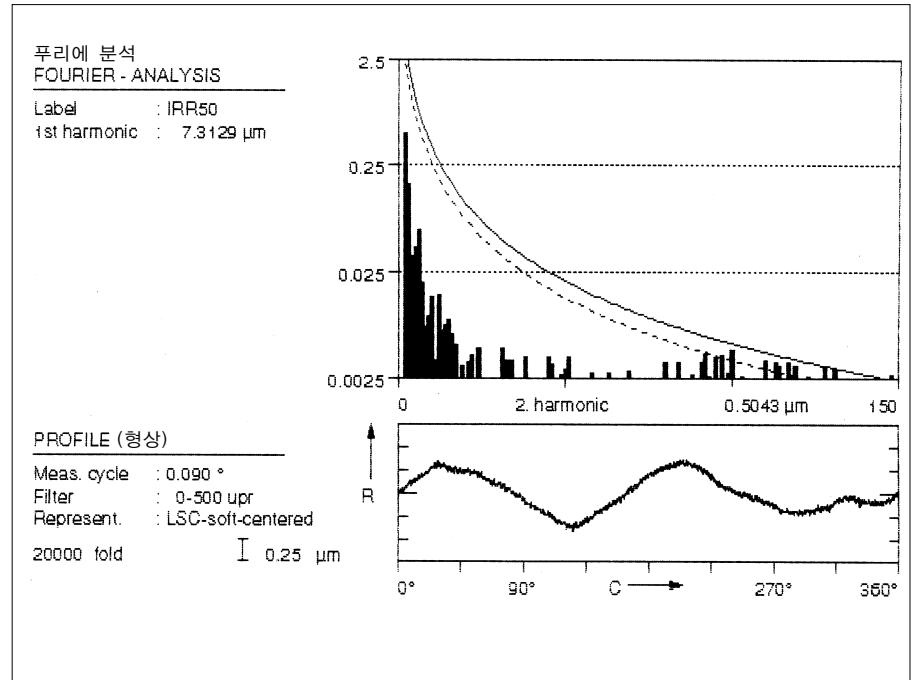
4.1 베어링과 베어링부분의 기하학적 측정

FAG는 구름베어링의 제품품질을 향상시키기 위해 지속적으로 노력하고 있다. 그러므로 우리는 치수와 형상검사를 위해 다양한 측정 장비들에 있어서 가장 정교한 장비를 실험실 및 품질보증을 위한 각 지역에 보유하고 있다 :

- 마이크로미터로 정확하게 길이와 직경 측정
- 그림 69, 100 및 101에서 보이는 것처럼 100,000배 확대를 통한 형상 및 반경 윤곽 검사



- 웨이브니스의 주파수 분석을 포함하여
100,000배까지 확대하여 진원도 편차
확인 (그림 102와 103)



102: 6207 내륜의 파형 주파수 분석을
나타낸 차트

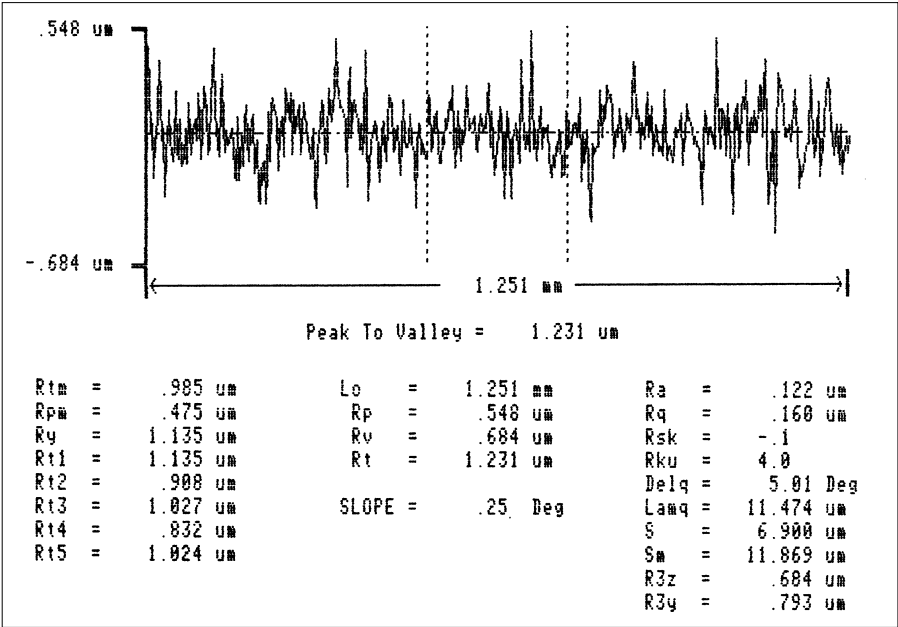


103: 측정 시스템의 모습

FAG에서 사용하는 다른 검사방법

기하학적 측정

- 마이크로미터의 100분의 1까지 거칠기 측정 (그림 104)
- 형상측정시스템(FMS)에 있어서 형상 및 상태 공차 검사
- 베어링 틈새와 각 부분의 레이디얼 흔들림 검사



104: 특성값을 가진 거칠기 측정 차트



105: 3차원 측정기

4.2 윤활제 분석 및 검사

FAG는 구름베어링 적용부문별로 윤활제의 품질 및 적합성을 검사하는 실험실 및 시험 공간을 가지고 있다.

종종 파손된 베어링 윤활제의 실험실 분석은 파손원인을 명확히 하기위한 중요한 정보를 제공한다.

주된 검사방법은 :

- 오염물질의 양 및 타입
 - 고체, 그림 106a
 - 액체 (습기)
- 산화방지제의 사용
- 노화 그림 106b
- 점도 변화
- 첨가제 내용 (감소 / 저하)
- 그리이스내 오일과 증주제의 관계
- 그리이스 성상 및 정도의 결정 등 그림 106b

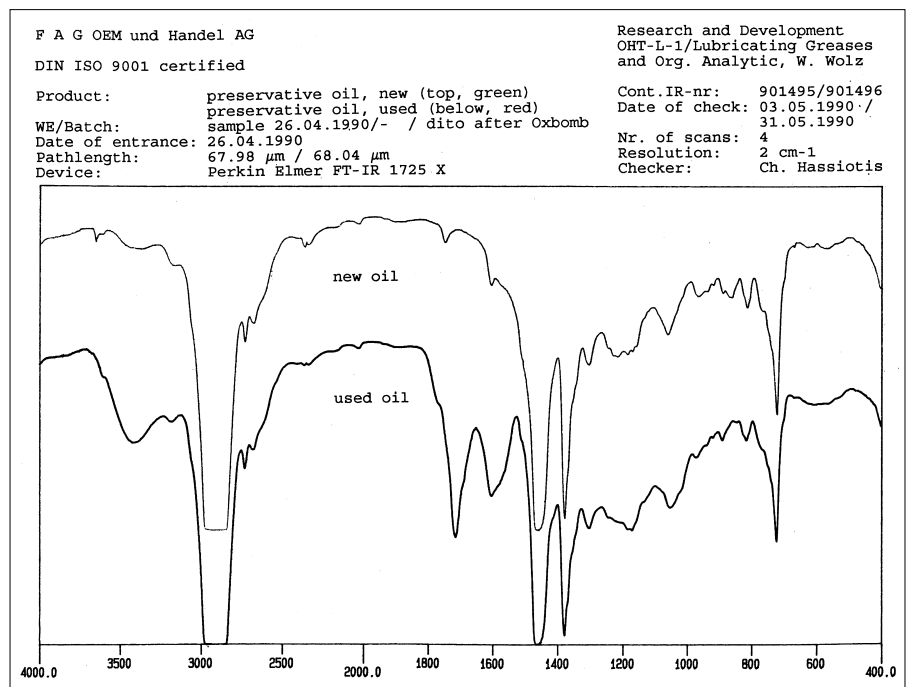
적절한 윤활제 샘플의 선정은 윤활제의 검사에 기초한 신뢰할 수 있는 정보가 필수적이다.(2.2.장 참조) 오염원의 원인은 거의 항상 그물질의 분석결과로부터 결정할 수 있다. 예를 들어 마모를 막기위해 가능한 측정에 의해 직접적으로 나타난 징후로부터 적절한 오일교환 주기를 얻을 수 있거나 새로운 그리이스 공급은 어떤 사용기간 후 오일 또는 그리이스의 일반적인 조건에 관한 정보를 도출할 수 있다.

106 a: ICP-AES 분석에서 오염원의 분석

Element	Lambda	Factor	Offset	low min	low max	high min	high max
Cobalt	228,616	1,673	268	962	415	179515	107157
Manganese	257,610	1,318	-76	-121	-34	67816	51496
Chromium	267,716	1,476	381	669	195	76696	51688
Copper	324,754	0,834	-471	80	660	2297	3316
Molybdenum	281,615	1,073	-17	89	99	47781	44543
Nickel	231,604	1,778	4	114	62	38487	21640
Vanadium	311,071	0,937	-37	5	45	64228	68560
Tungsten	400,875	0,742	-16	4	26	14129	19053
Silicon	251,611	2,173	310	509	92	2385	955

sample: solids in contaminated lubricant					method: steel 1 M(3)				
	Co	Mn	Cr	Cu	Mo	Ni	V	W	Si
x	.0107	0.636	1.412	0.185	0.797	0.271	.327	.002	0.359 %
s	.0004	.0002	.011	.0002	.0032	.0063	.0007	.0099	.0006
sr	4.11	0.67	0.03	1.18	0.40	2.31	0.22	57.44	0.06

106 b: 윤활제의 FT-IR 분석



FAG에서 사용하는 다른 검사방법

윤활제 분석 및 검사

특별한 적용조건에 있어서 구름 베어링 윤활과 관련하여 그것의 적절성 확인이 어려운 경우 새로운 윤활제가 사용된다. FAG 시험 장비는 이러한 오일 및 그리이스의 특성을 검사하기 위해 개발되어왔다. 이 장비들은 또한 새로운 제품들을 테스트하기 위해 윤활 산업계에서 표준화 되고 받아들여져 왔다.

107: 윤활제 품질결정을 위한 시험 장비



4.3 재료 검사

베어링의 각 파트별 재질상태는 모든 베어링이 충분한 효과를 내기위해 매우 중요하다. 실제로 베어링 손상에 있어 재질 또는 제품결함에 의한 경우는 드물다. (그림 11) 그러나 재질검사는 의심이 있는 경우에 있어 중요한 정보를 제공할 수 있다. 다수의 경우에 있어 예상치 않았던 베어링 적용조건에 의해 재질 조건은 변화한다.

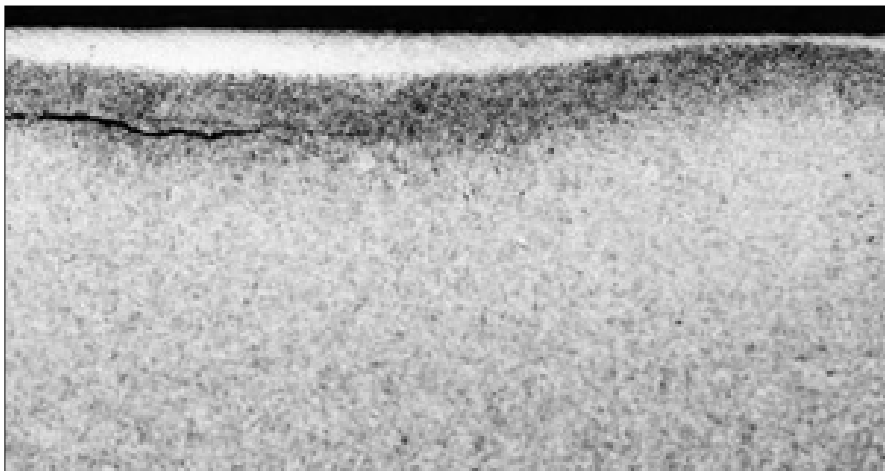
이런 부분에 있어서 주요검사는 :

- 경도검사 및 드물게는 인장강도 또는 충격굽힘 강도

- 구조적인 금속분석
- 육안으로 확인이 어려운 열처리 조직은 에칭을 통해 확인
- 초음파 또는 자장을 이용한 크랙검사
- 방사선 장치를 이용한 잔류 오스테나이트 측정
- 재질 청정도 검사
- 재질 분석

재질 결함 결정에 부가하여 이런 검사는 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어 허용되지 않는 지역내 슬립 (미끄러짐에 의한 가열영역,그림 108) 또는 예상치 못한 고온에서의 운전 (운전하는 동안 구조적인 부분의 변화는 결과적으로 치수가 변화한다) 등에 대한 것이다.

108: 열의 영향을 받은 영역의 상세부



FAG에서 사용하는 다른 검사방법

X-ray 미세조직 분석

4.4 X-ray 미세조직 분석

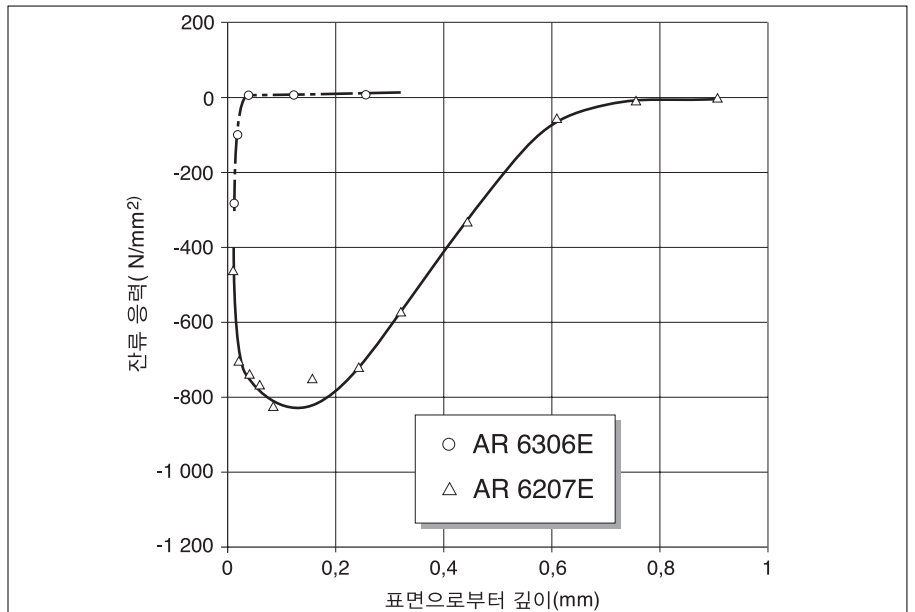
격자 구조를 가진 조직의 방사선 검사 (cf. 4.3의 잔류 오스테나이트양 측정)는 재질 내 잔류응력 및 그에 기초한 응력에 관해 매우 중요한 결론을 이끌어낸다. 이것은 운전 후 베어링에 실제 작용한 하중을 추정하는데 적용된다. 이런 결과는 실제 하중현황을 계산에 의해 확인하기 어려운 손상의 경우에 있어 매우 중요할 수 있다. 그러나 궤도응력은 약 2500 N/mm^2 정도까지 도달해야 하는데 그 이유는 베어링 재질의 소성변형이 일어나기 위해서는 2500 N/mm^2 하중이상 이어야 하기 때문이며 이때 X-ray를 이용하여 잔류응력량 및 검사를 할 수 있다.(그림 109) 잔류응력과 응력계산과 관련한 좀 더 상세 내용은 당사에 문의하기 바람에 아래에 간단한 요약 내용을 제공했다.

국부적인 부분에서 나타나는 잔류응력 (수 입방밀리미터 면적, 0.01mm 이내 깊이)은 X-ray로 측정된 격자구조 확장으로부터 계산되어질 수 있다. 측정은 전기화학적 표면방출에 의해 베어링 링의 궤도 아래로 깊이를 달리하며 층별로 실시한다. 그림 110으로부터 패턴을 얻을 수 있다. 응력이 가장 큰 깊이로부터 그리고 전체적인 변형 깊이로부터 최대 외부하중을 한편으로 궤도륜에서의 미끄럼 응력의 분포를 추론할 수 있다. 이것은 손상원인을 찾는데 매우 중요하며 특히 이런 측정 값들은 계산에 기초한 값에서 크게 벗어날 수 있다.

109: FAG X-ray 미세조직 분석장비



110: 6207E 외륜의 높은 접선 방향의 힘의 부분, 반면에 6306E의 증가하지 않는 응력



4.5 주사 전자 현미경 조사 (SEM)

손상 조사시 일반적으로 입체 현미경을 사용하며 부가적으로 개별적인 파손 원인을 찾기 위해 육안검사를 실시한다. 그러나 손상과 관련한 부분이 때때로 아주 조그마할 수도 있다. 육안으로 볼 수 있는

큰 파장길이는 상대적이기 때문에 빛의 광학적 투영 해상력은 제한적이다. 손상된 구름베어링 궤도의 표면은 울퉁불퉁하며 사진은 단지 50배까지 선명하게 확대할 수 있다.광학적 표면검사에 대한 장애는 주사 전자 현미경(SEM)내의 단파장 전자빔으로 해결할 수 있다. 그것은 수천 배로 확대하여 상세부를 확인한다(그림 111).

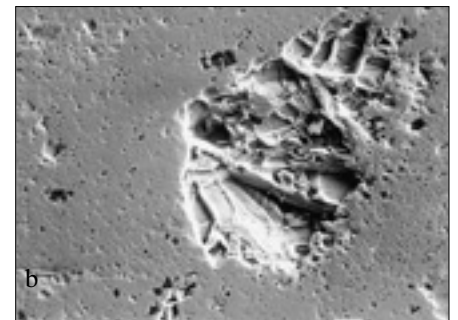
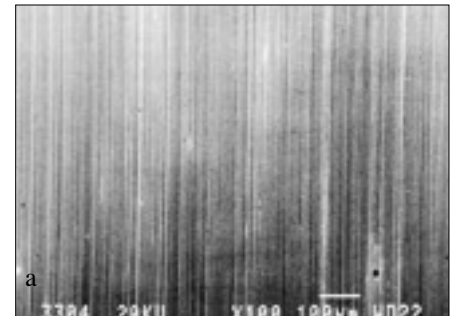
주사 전자 현미경은 마모 또는 전류의 흐름에 의해 손상된 궤도, 균열지역, 외부이물에 의한 압흔 및 재질의 육안검사에 대한 중요한 보조 도구이다(그림 112 a,b,c).

111: 주사 전자 현미경



112: 다양한 크기내 표면구조의 SEM 사진

- a: 정상적인 궤도륜
- b: 단단한 외부 물질에 의한 압흔
- c: 피로 손상 시작



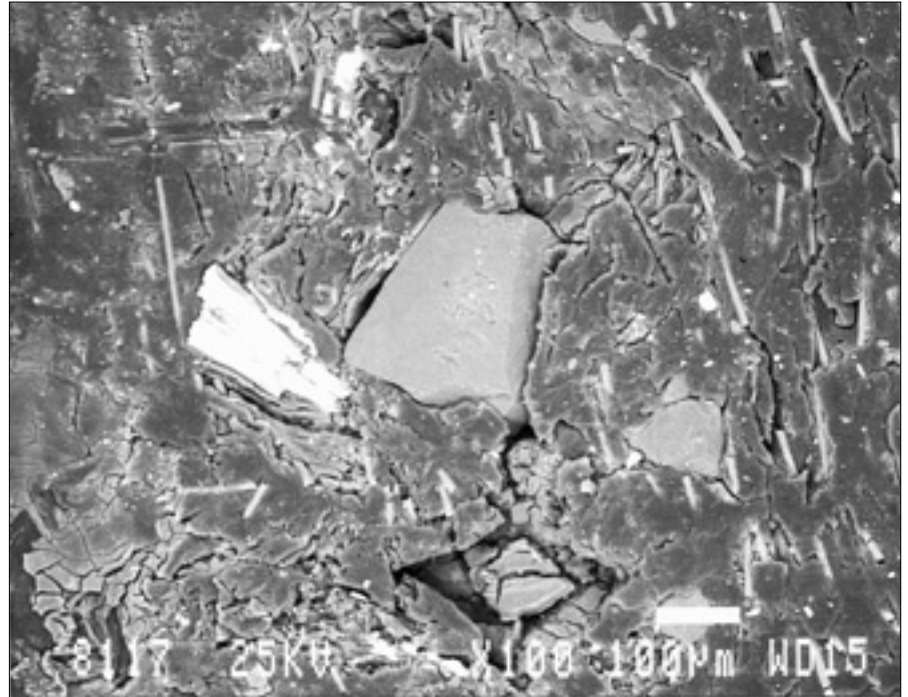
FAG에서 사용하는 다른 검사방법

주사 전자 현미경조사

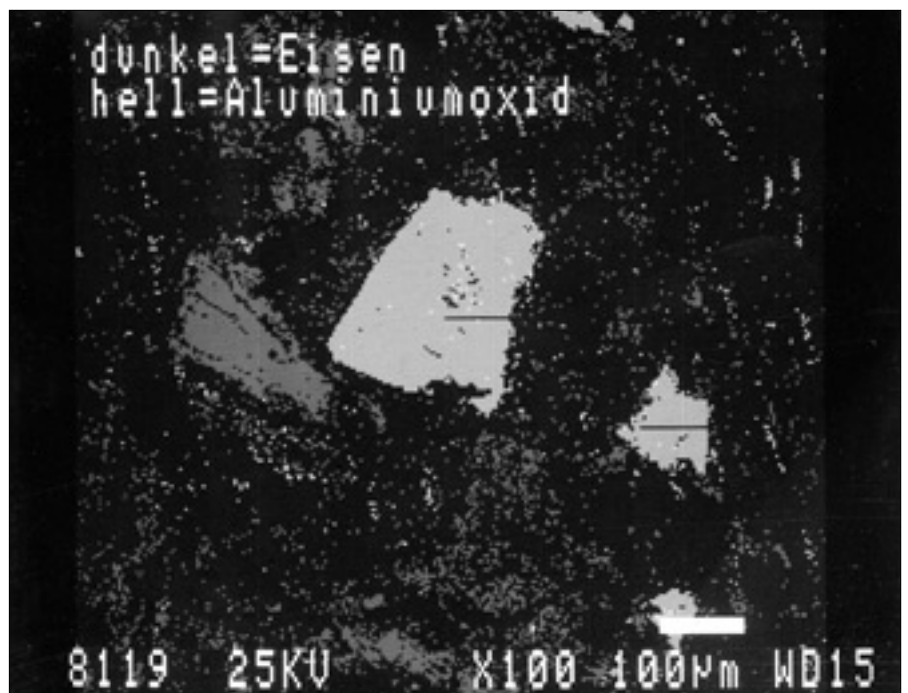
이것은 또한 SEM으로 분광분석을 통하여 소위 말하는 전자빔 미세분석이 가능하다. 이것은 약 1마이크로 입방 체적 내에 재질조성 검사할 수 있다. 이 분석에서 원래의 이물이 무엇인가를 알 수 있으며 이물은 베어링 케이지 포켓 내에 여전히 달라 붙어있다 (그림 113a, 113b).

이것으로 다른 적용은 코팅, 접촉면의 반응층들, 국부면의 재질조성 검사를 할 수 있다.

113: 이물의 미세분석
a: 케이지 단편내 이물



113.b: 이물의 재질조성



4.6 구성부품 테스트

FAG에서는 새로 디자인된 제품들의 시험을 위해 발전된 시험 장비가 많이 있다. 어떤 시험장비는 베어링 손상의 원인을 명확히 하기위해 사용되기도 한다. 이런 시험은 고객의 장비에 직접 설치하여 진행하기도 하는데 예로 기계장비의 변형 및 진동을 측정한다. 한편으로는 시험 장비에서 내구성, 마찰모멘트 검사 및 수명시험 등을 포함한다 (그림 114, 115). 이 시험들은 기대하는 결과가 신뢰할 수 있도록 명확하고 한정된 조건 하에서 수행된다. 베어링이 테스트 내에서 요구사항에 일치할 경우 문제의 손상에 대한 검사는 손상시 실제 운전조건의 확인에 주의를 기울인다.(예상치 않았던 추가하중, 잘못된 조립 등) 예상치 못한 짧은 운전 기간 후에 나타난 베어링 손상은 시험장비의 기술적 모니터링 장비를 통하여 원래의 상태에서 손상을 파악할 수 있다. 이런 것은 현장에서 종종 일어나는 문제로 손상원인을 알아내기 위해 결정적인 자료가 되기도 한다.

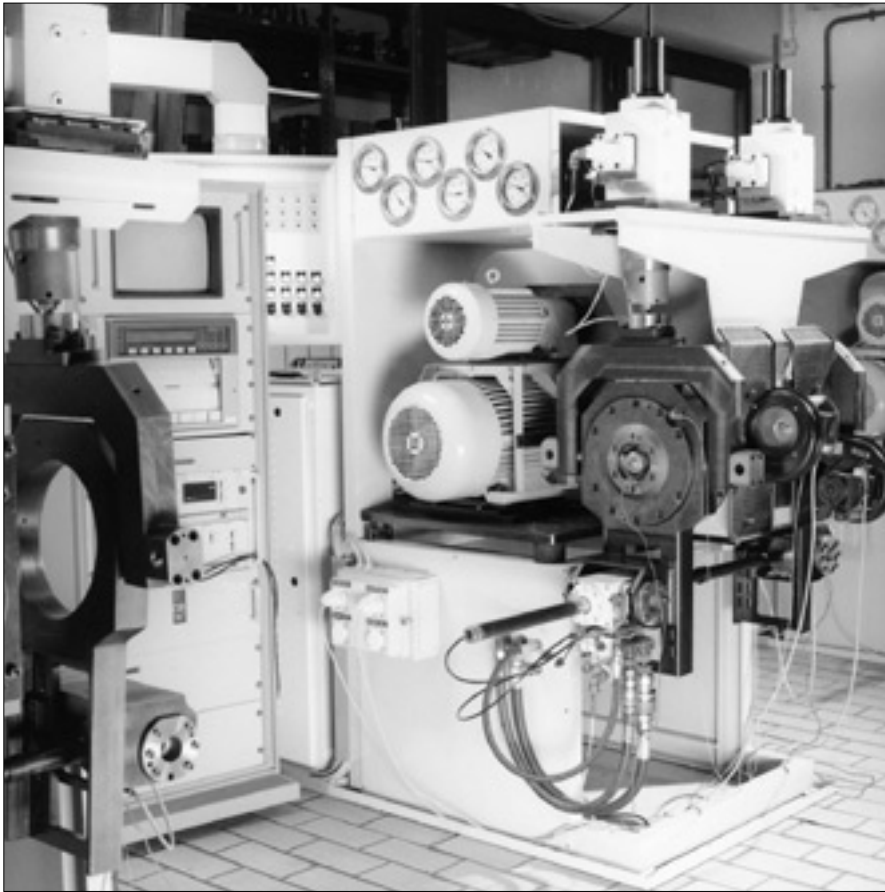
114: 구름베어링 밀봉의 효과를 검사하기 위한 시험 장비



FAG에서 사용하는 다른 검사방법

구성부품 테스트

115: 자동차 휠베어링의 모의운전 시험시 운전응력에 대한 시험 장비

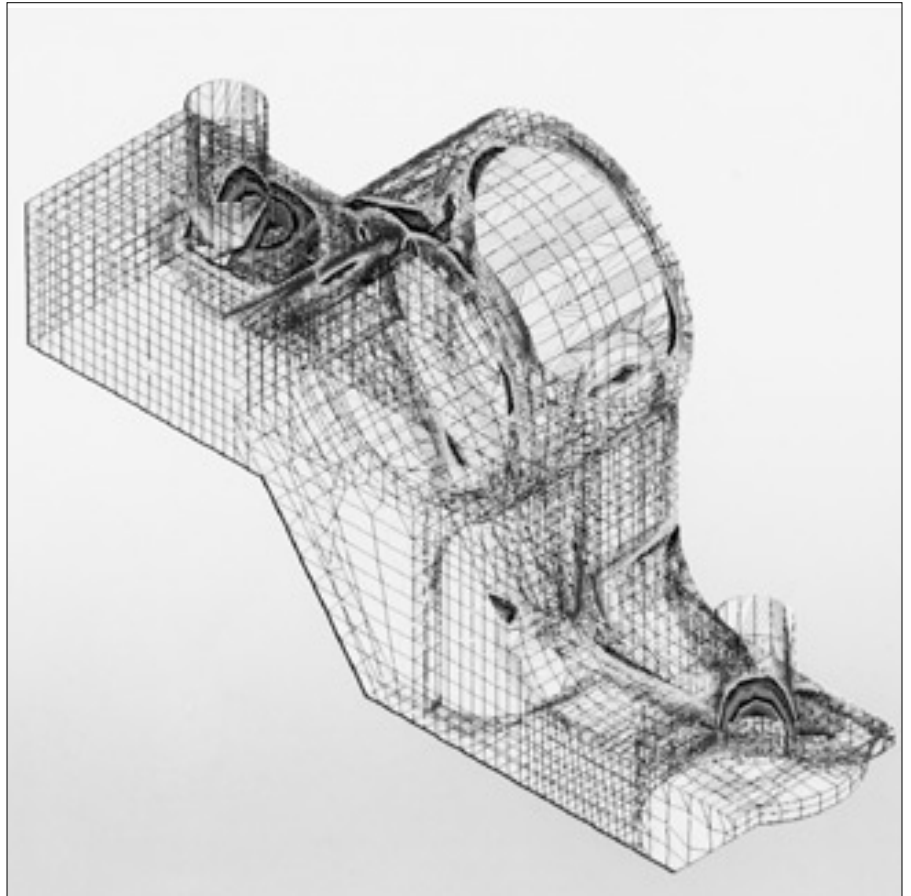


4.7 하중조건 하에서의 계산

전체하중 상황이 완전하게 알려지지 않은 많은 베어링의 경우에 있어서 오랜 경험과 유사한 단위면적에 근거한 새로운 구조해석을 선택한다. 베어링 손상이 더 뒤의 단계에서 일어났을 때 조립조건이 정확한 계산이 손상의 원인을 찾는 데 도움이 된다.

또한 윤활조건 계산 뿐만 아니라 기대 수명계산과 실제도달수명 사이의 비교는 매우 중요하다. FAG는 구조배치에 있어 계산프로그램의 광범위한 자료를 가지고 있다. 심지어 가장 복잡한 베어링의 경우에도 전혀 문제없다. 이 프로그램은 조립된 베어링들, 내부응력, 베어링 내부 운동 에너지 생성, 조합부의 변형, 온도상승 등 사이에서 일어나는 베어링으로의 하중 및 틸팅값을 계산할 수 있다. 프로그램의 다양성은 분석형식의 단순한 평가에서부터 비선형으로 추정되는 해법을 동반한 다양한 수많은 반복의 연속작업 그리고 심지어 한정요소방법을 사용하여 조합을 위한 확대된 3차원 계산까지를 포함한다 (그림 116).

116: 한정요소방법(FEM)을 사용한 저널 롤러베어링 하우징에서 응력계산



FAG 베어링 코리아

A Member of the Schaeffler Group

서울특별시 중구 을지로 1가 87번지

삼성화재빌딩 11~12층

전 화 : 02-311-3771~9

F a x : 02-311-3060

e-mail: miku.kang@kr.fag.com

<http://www.fag.co.kr>

이 카탈로그는 세심한 주의를 기울여 제작되었지만, 기술의 진보에 따라 내용이 변경될 수 있으며 일부가 오기 또는 누락되어 있을 수도 있다. 이에 대해 당사에서는 책임을 지지 않는다. 당사는 기술 진보에 따라 이 책자의 내용을 변경할 권리를 갖는다.

이 카탈로그의 저작권은 2004년에 FAG베어링코리아에 의해 성립되었다. 당사의 허가 없이 이 카탈로그의 전부 또는 일부를 복사, 복제하는 것은 금지한다.

WL 82 102/2 KA/99/10/04