

1. 구름 베어링 (Rolling Element Bearings)

1.1 問題가 있는 베어링 (Bearing in Distress)

앞장에서는 마멸과 관련된 여러 가지 고장을 살펴보았는데, 기계 부품의 많은 마멸고장은 윤활 불량에 의한 것임을 알 수 있다. 베어링도 예외가 아닌데 경험에 의하면, 윤활과 관련된 베어링 문제는 윤활 부족이나 오염으로 인한 것이 대부분이다. 두 가지 예를 들어 보아겠다.

첫 번째 예는 오일 부족으로 인한 구름 베어링의 손상에 대한 펌프 베어링에서의 사고분석이다. Housing에 깨끗한 오일이 충분히 공급된 경우 실제 원인을 밝히는 것은 어렵지는 않다. 적극적인 사람은 실망하지 않고 운전원이 베어링에 오일을 유지시키는 것이 그들의 임무라고 시인하는 것을 듣기 위해 귀를 기울일 것이다.

두 번째 예는 제지공장에서처럼 적절한 윤활과 설계 조건에서는 저널베어링의 수명은 길지만, 구름 베어링은 최적의 조건에서도 마멸 손상되는데, 다시 말해서 장기간 운전하게 되면 구름 베어링은 결국 피로가 생긴다. 구름 베어링의 어느 그룹에서 모든 구름 베어링이 피로 손상될 때까지 동일 조건으로 운전되었다면 가장 긴 수명과 짧은 수명사이에는 상당한 차이가 생긴다. 그림 3-1은 수명 분산곡선 형태로 이런 사실을 보여주고 있으며, 주어진 적절한 설계로 적용된 구름 베어링도 조만간 마멸로 손상되며, 저널 베어링은 거의 영구적으로 운전되지만 사용상 잘못이 있으면 조기 손상된다.

전형적인 베어링의 고장 원인을 독일 뮌헨의 Allianz 보험회사에서 조사하였으며, 표 3-1은 1400개 구름 베어링 및 530개 저널 베어링 고장 원인의 조사 결과로써, 기능 고장의 30% 정도가 마멸이 윤활에 관련된 것임을 알 수 있다.

마멸과 관련된 고장에 대한 기타 사용자에게 의한 고장의 비에 대한 통계는 경험상 어느 정도 말쑥의 소지가 있으나, 복잡하고 세밀한 분석을 통해서 사용자 관련 고장과 그 외적인 고장을 구별할 수 있다. 요소 및 부품 단계에서 고장 원인의 분포를 알면 결국 보다 정확히 구분할 수 있기 때문에 각 플랜트에서의 유사 데이터를 축적해야 한다.

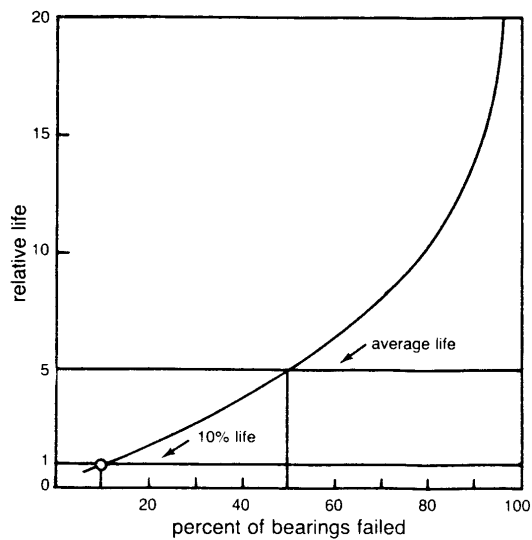


그림 3-1 동일조건에서 운전되는 전형적인 베어링 그룹의 수명 분산 곡선

표 3-1 구름 및 저널 베어링의 사고 원인

사 고 원 인	발생율 (%)	
	구름 베어링	저널 베어링
제작자측 문제	30.1	23.4
제작불량	14.4	10.7
설계 및 적용오류	13.8	9.1
재질불량	1.9	3.6
사용자측 문제	65.9	69.6
운전 미숙, 유지정비 불량, 감시장비 고장	37.4	39.1
Wear	28.5	30.5
외부적인 문제	4.0	7.0
윤활유 오염, 간헐적인 윤활유 공급계통의 고장	4.0	7.0

표 3-2와 3-3은 각각 구름 요소와 저널 베어링의 결함이나 고장유형을 가장 가능성 있는 원인별로 나타내었다.

표 3-2 구름 베어링의 고장 유형과 원인

		고 장 유 형																	
		파괴		분류		변형								마멸			부식		
		스폴링 / 플레이킹	균열 / 열균열	스미어링 / 고착	케이지 파괴	케이지변형	톱니자국	덴팅	브리넬링 / 폴스브리넬링	볼의통로 / 넙혀짐	볼의통로 / 편향	볼의통로 / 불균일하중영역	폴러팅	케이지 마멸	연삭성 마멸 / 마모	과열 ↓ 소손 ↓ 스커핑	부식 / 에칭	조임부식 / 프레팅	녹이 열부짐
고장 원인																			
조립	과도, 불균일한 열적용	•																	
	해머 블로우 (Hammer Blows)		•				•		•										
	부적절한 도구 (Tooling)					•	•		•										
	이완 또는 타이트한 맞춤		•								•			•				•	
	변형된 베어링하우징	•							•		•								
	Misalignment											•							
	미스얼라인먼트				•	•				•	•			•					
운전조건	진동(회전체, 정지체)	•				•		•						•				•	
	전류통과											•					•		
	수명 달성/피로	•								•						•			
	과하중	•	•							•									
	설계불량		•	•											•				
씰	오염						•	•					•	•			•		
	수분 유입																•		•
윤활	윤활 부족			•	•									•	•	•			•
	윤활 과잉			•												•			
	부적절한 윤활제			•					•					•	•	•			•

표 3-3 저널 베어링 고장 유형과 그 원인

사 고 원 인		고 장 유 형												
		파괴/분리			변 형			마 멸				침식		부식
		스폴링	균열	고착	변형	Embedments	불균일한 하중패턴	스코어링 ↓ 골링	과열 ↓ 스커핑	마멸	연삭 마멸 / 스크래칭 / Grooving	침식	케비테이션	
조립 과 제작	불충분한 간극			•					•					
	Misalignment 상태의 저널 베어링				•		•							
	저널의 거친 표면처리								•	•				
	베어링 메탈의 기공과 작은 구멍		•											
	불충분한 메탈 접착	•												
운전 조건 과 설계	일반적인 운전 조건											•	•	
	과하중 피로	•	•											•
	과하중 진동	•	•	•				•		•	•		•	
	전류통과											•		•
	부적합한 베어링 재료			•						•				
윤활	윤활제의 오염			•		•		•		•	•			
	윤활의 불충분이나 부족		•	•	•			•	•	•	•			
	낮은 오일 점도									•				
	높은 오일 점도									•				
	부적절한 윤활제 선정							•						
	윤활제의 열화									•	•			•

1.2 구름 베어링의 故障과 그 原因

(Rolling-Elements Bearing Failures and Their Causes)

기계 고장의 원인에 대한 정확하고 완벽한 지식은 엔지니어에게 꼭 필요하다. 엔지니어는 기계의 고장 원인을 정확히 알아야 향후 기계를 효과적으로 사용할 수 있다. 기계에서 베어링은 중요한 요소이므로, 고장시 정확한 원인을 밝히는 능력은 아주 중요하다.

베어링 마운팅 설계시의 첫 단계는 사용할 베어링의 크기와 형태를 결정하는 것으로써, 보통 베어링의 설계수명을 기초로 한다. 다음 단계는 여러 가지 운전조건에 견딜 수 있는 실제적용을 설계하는 것이다. 불행하게도, 이미 설치된 볼 및 롤러 베어링은 취급, 설치, 정비에 있어서 하지 않아야 될 일을 했거나 해야할 일을 빠트리고 하지 않음으로 인해 기대

예상 수명을 다하지 못한다.

베어링의 수명계산은 적당한 오일량으로 윤활, 손상없는 베어링의 설치, 베어링 수치의 정확성, 기능상 무결함을 가정한다. 그러나 적용이 잘되고 정비가 잘된 경우에도 고장 원인중의 하나인 즉, 베어링 재료의 피로로 고장이 난다. 전단응력이 하중을 가지는 표면 아래에 반복하여 가해지면 피로가 발생한다. 피로는 그림 3-2~3-4와 같이 금속 표면의 Spalling으로 관찰되나, 재료피로가 Spalling의 원인만은 아니다. 이미 성장한 Spalling이 존재하여 관찰자가 Spalling을 규명할 수 있더라도 베어링의 사용 수명이 정상적으로 끝날 때 생성된 Spalling인지 이미 성장한 주요 세 가지 분류의 Spalling(윤활, 기계적 손상, 재료의 결함)인지를 구별할 수 있어야 한다. 대부분의 베어링 사고는 다음과 같은 하나 이상의 원인에 기인한다.

- (1) 축과 하우징의 베어링 Seat 결함
- (2) Misalignment
- (3) 잘못된 마운팅
- (4) 축과 하우징의 잘못된 맞춤
- (5) 불충분한 윤활
- (6) 비효과적인 Sealing
- (7) 베어링 정지시 진동
- (8) 베어링을 통한 진류 통과

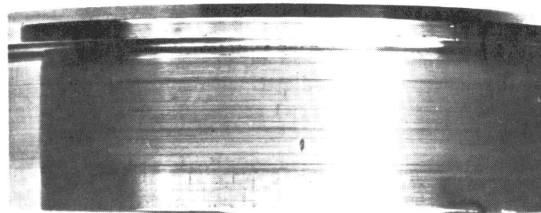


그림 3-2 초기 피로 Spalling

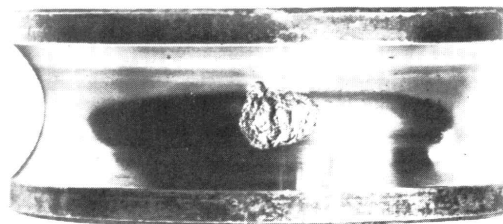


그림 3-3 성장된 Spalling

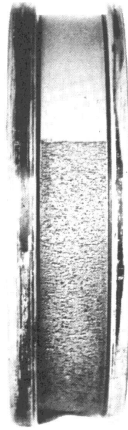


그림 3-4 심하게 성장된 Spalling

Spalling의 실제 시작은 표면 아래쪽에서 매우 작게 발생하므로 눈으로 관찰하기는 어렵고, 기계의 작동 중에는 더욱 관찰하기 어렵다. 그림 3-2~3-4는 Spalling의 성장 과정을 보여준다. 그림 3-2의 내륜의 한 점이 그림 3-4와 같이 Spalling이 점점 확장됨을 알 수 있다. 그림 3-2는 초기 피로 Spalling이고, 그림 3-3은 더욱 발달한 Spalling이다. 그림 3-3과 같이 Spalling이 성장하면 소음이 발생하는데, 소음이 너무 크면 금속봉을 이용하여 하우징내의 소음을 들어보면 베어링 상태를 알 수 있다. 초기 및 성장 Spalling간의 시간은 속도와 하중에 따라 다르지만, 몇 시간 내에 갑작스런 파괴를 유발하지는 않는다. 베어링에 의한 불규칙한 축운동 및 소음이 미리 발생하기 때문에 베어링의 전체파손 및 이로 인한 기계부품의 손상을 보통 피할 수 있다.

1.3 베어링 損傷時 荷重通路의 形態와 그 意味

(Patterns of Load Paths and Their Meaning in Bearing Damage)

베어링 손상은 설치전, 설치중 및 운전중에도 발생할 수 있다. 작용하는 하중과 구름 베어링에 의해 베어링 내부 표면에 형성되는 하중 영역이나 형태가 사고규명에 실마리를 제공한다. 하중 영역에 관한 연구를 통해 정보를 얻으려면 정상과 비정상 패턴의 차이를 알아야 한다. 그림 3-5는 일정방향으로 작용하는 하중이 구름 요소들에 어떻게 분포되는지를 보여주고 있는데, 큰 화살표는 작용하중을 작은 화살표는 베어링의 각 볼이나 롤러로 지지된 작용하중의 분담이다. 정지링은 하중분포 형태가 180°보다 작은 반면, 회전링은 360°전체에 이르고 있다. 그림 3-6은 내륜이 회전하고 하중 방향이 일정할때 볼 베어링 내부에서의 하중 영역을 나타낸다. 그림 3-7은 방향이 일정한 하중에 대하여 외륜이 회전하거나 또는 내륜이 회전하고 하중이 축과 동위상으로 회전할때 야기되는 하중 영역을 나타낸 것이다. 그림 3-8은 축방향 하중을 받는 홈이 깊은 볼베어링의 형태이고, 그림 3-9는 과도한 축방향 하중이 걸릴 때의 형태이다. 균일하게 작용하는 축방향 하중과 과도한 반경방향 하중으로 하중통로가 양륜에서 완전히 360°에 걸쳐 있다. 축방향 및 반경방향 하중의 조합으로 그림 3-10과 같이 두 하중사이 어디엔가 패턴이 형성되는데 내륜의 하중을 받는 부분은 중심을 벗어나고 외륜의 길이는 반경방향 하중에 의한 것보다 크지만, 반드시 360°는 아니다. 2열

베어링에서는 조합하중으로 인하여 하중의 결합으로 구름 요소의 2개 열의 길이가 불균일한 영역이 생기는데, 추력이 크면 구름요소의 한 열은 하중을 전혀 받지 않을 수 있다.

역지 끼워 맞춤(Interference Fit)할때 내륜이 축에서 미끄러지지 않을 만큼 충분해야 하지만, 베어링 내부 간극도 움직일 만큼 크지 않아야 한다. 어떠한 베어링의 형태라도 이 같은 맞춤이 적용되어야 할 표준이 있으며, 맞춤 관례는 "부적절한 맞춤에 의한 손상" 부분에서 더 자세히 설명된다. 맞춤이 매우 타이트하면 베어링 내외륜 사이의 구름 요소가 압박을 받아 내부적으로 예하중을 받게 되는데 이러한 경우, 베어링에서 관찰되는 하중 영역은 그림 3-11과 같이 정상적인 손상수명이 아니다. 내외륜이 360로 하중을 받지만, 작용하중이 내부 예하중과 서로 겹치는 정지링(Stationary Ring)에서 패턴은 더욱 넓어진다.

찌그러지거나 둥글지 않은 하우징 보어는 외륜을 꼭끼게 한다. 그림 3-12는 하우징 보어가 초기부터 원형이 아니거나 하우징을 오목이나 볼록면에 조임으로 인해 원형이 변하는 베어링에 나타난 하중 영역을 나타낸 것이다. 이러한 경우, 비틀림 형태에 따라 외륜은 둘 이상의 하중 영역을 나타내는데, 이것은 내부에 예하중의 한 형태이다. 그림 3-13은 정지된 외륜에 원형이 아닌 하우징을 꼭끼게 설치된 베어링의 사진으로써, 외륜의 Raceway 양쪽을 나타내는 거울상(Mirror View)이다.

구름 베어링의 어떤 형태는 매우 제한된 Misalignment가 되었는가에 따라 달라진다. 그림 3-14는 내륜이 축에 대해 Misalignment되었을 때 나타낸다. 원통형 롤러 베어링, 경사진(Tapered) 롤러 베어링, 각접촉(Angular-Contact) 볼 베어링 등은 Misalignment에 민감하지만, 하중영역에서 이런 상태를 탐지하기에는 몹시 어렵다. 앞서 기술한 손상형태의 기본적인 지식에 대하여 다음의 설명을 고려해야 한다.

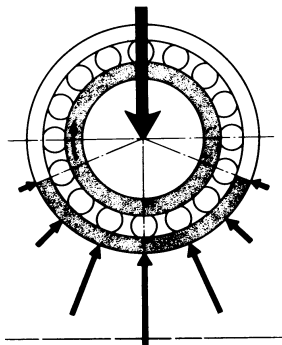


그림 3-5 베어링내 하중 분포

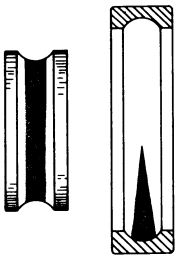


그림 3-6 하중에 대한 회전하는
내륜의 정상 하중 영역

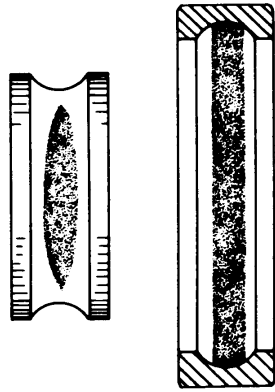


그림 3-7 하중에 대한 회전하는 외륜의
정상 하중 영역 또는 내륜과
동위상으로 회전하는 하중

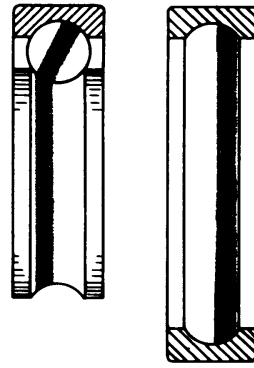


그림 3-8 축방향 하중의 정상 하중 영역

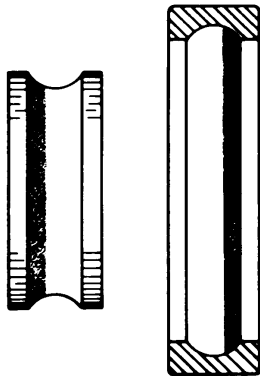


그림 3-9 과도한 슬리스트 하중시
하중 영역

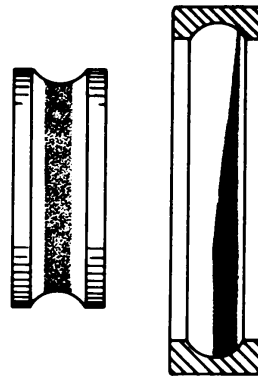


그림 3-10 축방향 및 원주방향 하중
이 조합된 정상적인 하중영역

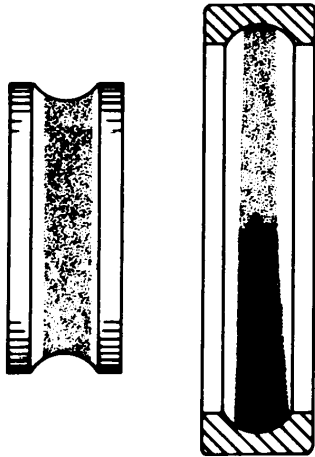


그림 3-11 반경방향 하중을 지지하고 내부 예하중을 받는 베어링의 하중 영역

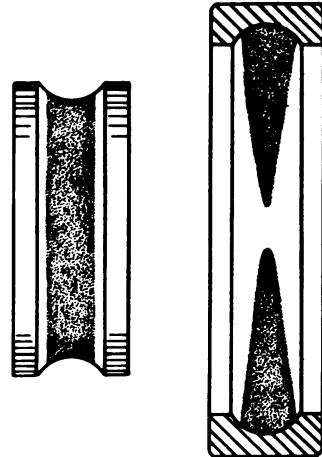


그림 3-12 베어링 외륜을 꼭끼워 원형이 아닌 하우징에 의한 하중 영역

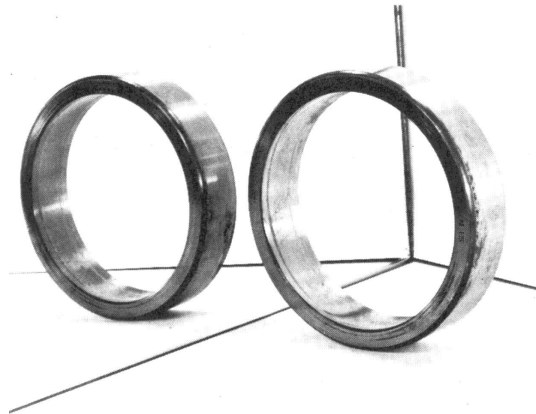


그림 3-13 하우징에 의해 찌그러진 외륜의 거울상

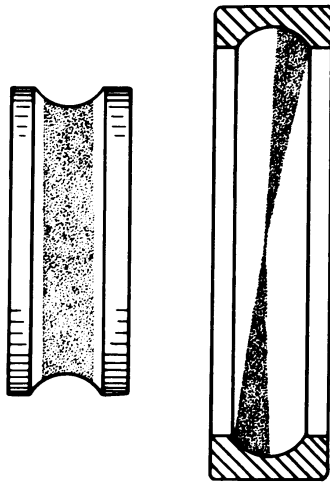


그림 3-14 외륜이 축과 Misalignment
되었을 때 하중 영역

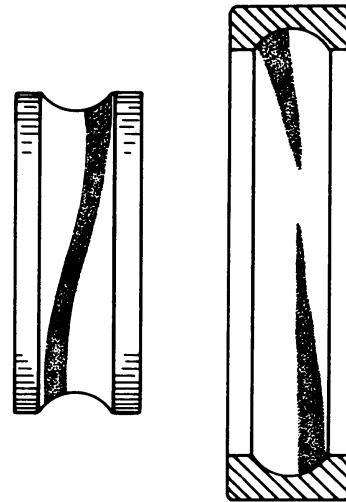


그림 3-15 내륜이 하우징에 대해
Misalignment되었을 때 하중영역

1.3.1 베어링 시트 缺陷에 의한 故障

(Failure Due to Defective Bearing Seats on Shafts and in Housing)

구름 베어링의 예상 수명은 실제 크기의 하우징이나 축에 현대의 기계공학 기술로 제작 가능한 비교적 얇은 링을 끼운다고 가정하여 계산되지만 불행하게도, 하우징 보어와 축 Seat를 너무 크거나, 작거나, 경사지거나 또는 타원형이 되게 하는 인자가 존재한다. 그림 3-16은 원형이 아닌 하우징 안에 있는 나선형 구름 베어링 외륜의 또 다른 거울상을 나타낸 것이다. 롤러 통로의 가장 넓은 부분들이 서로 반대 위치에 있음에 주의하라. 기계 프레임에 고정될 때 하우징이 찌그러져 있으면 정확히 제작된 하우징 Bore에 베어링을 안착시켜도 같은 조건이 발생할 수 있다. 한 예로, 평평하지 않은 Pedestal에 볼트로 조여지는 Pillow Block이다.

그림 3-17은 지지가 불완전한 베어링 외륜에서 나타나는 상태로써, 왼쪽 그림은 베어링 설치시 하우징에 남아있는 터닝칩(Turning Chip)에 의해 베어링 외경에 영향이 남은 것이며, 이 외륜은 단지 칩에 의해서만 지지되어서 총하중은 Roller Path의 작은 부분에 의해 지탱된다. 오른쪽 그림은 조속한 Spalling을 생성하는 Turning Chip 바로 위의 외륜에 무거운 특수 하중이 가해진 것을 나타낸 것이다. Spalling된 지역의 양쪽은 Fragment Dent라 부르는 상태이며, 벗겨진 표면에서 나온 조각들이 롤러와 롤러 궤도 사이에 떨어질 때 발생한다.

베어링과 베어링 Seat 사이의 접촉이 원활하지 않으면 상대 운동이 발생하고, 이동이 작으면 Fretting 부식이라 하는 조건이 발생한다. 그림 3-18은 베어링 외륜의 Fretting 부식을 나타내고, 더욱 발달한 상태는 그림 3-19와 같다. Fretting 균열을 야기해 Spalling이 되게 한다.

Seat가 정밀하게 가공되었어도 Fretting 부식이 발견될 수 있다. 운전조건 때문에 Seat가

하중을 받아 변형되는 이런 예는 철도의 Journal Box에서 볼 수 있다. 경험에 의하면 이런 형태의 외륜의 프레팅 부식은 일반적으로 베어링 수명에 크게 영향을 미치지 않는다. Shaft Seat나 저널, 하우징 보어 등은 Fretting 부식을 유발하고 생성할 수 있다. 축상에서 운동에 의한 손상은 그림 3-20과 같다. 내륜과 저널 양쪽면에 Fretting 부식이 크게 분포하고 있으며, 내륜을 거쳐 나타난 축방향 균열은 Fretting에 의한 표면 손상에서 시작되었다.

베어링 Seat가 불록하거나 또는 오목하거나, Taper진 데에서도 베어링이 손상될 수 있으며, 베어링 링의 폭 전체로 접촉할 수 없으므로, 하중이 가해져 링이 기울고 Raceway를 따라 축방향으로 피로 균열이 일반적으로 나타난다. 그림 3-21은 링과 하우징간의 접촉불량에 의한 균열을 보이고 있다.



그림 3-16 하우징에 꼭끼어진 구형 롤러 베어링 외륜의 거울상

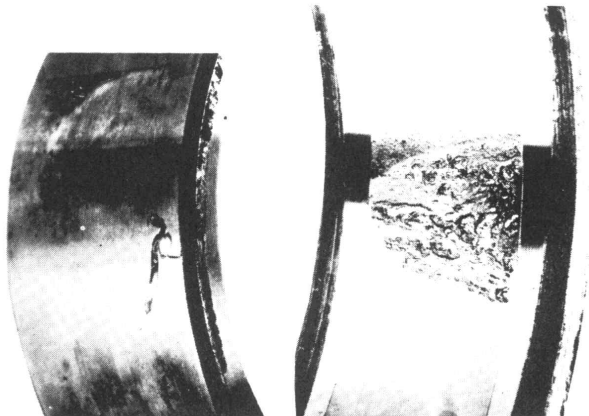


그림 3-17 하우징 Bore내 Chip에 의한 피로

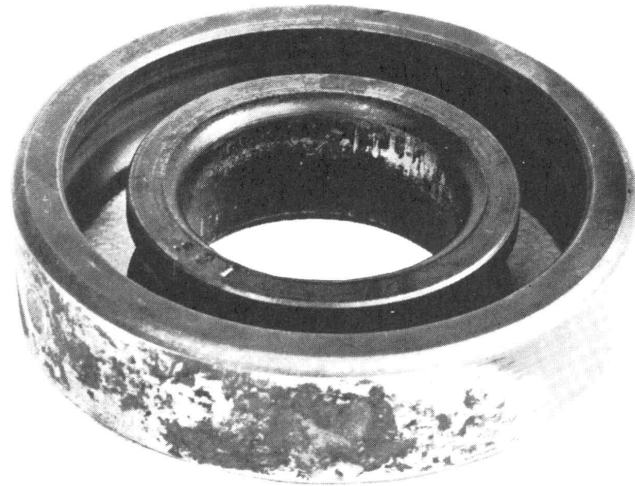


그림 3-18 Fretting 부식에 의한 마멸

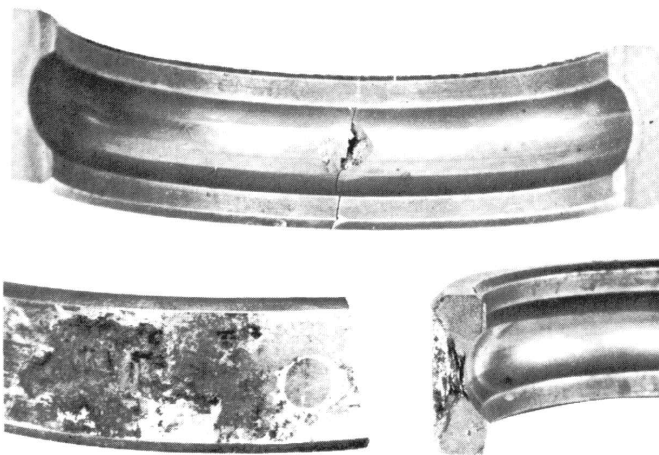


그림 3-19 Fretting 부식으로 더욱 발달한 마멸과 균열

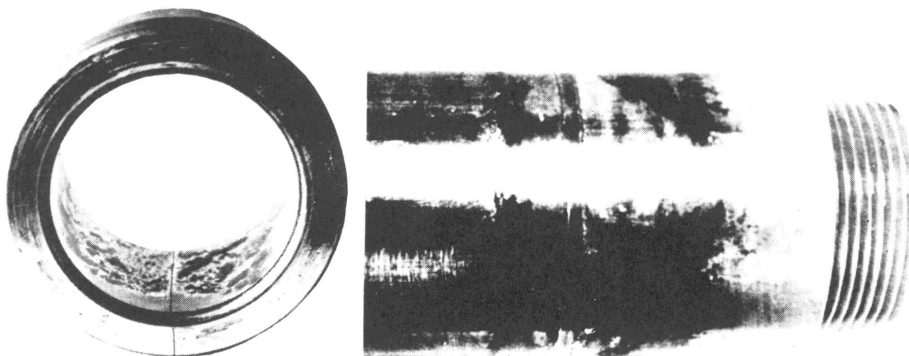


그림 3-20 축 저널의 항복(Yield)에 의한 Fretting

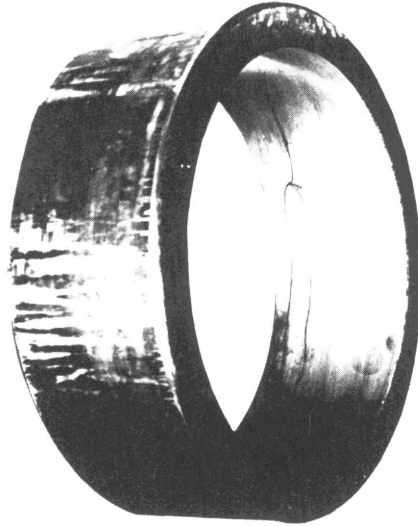


그림 3-21 하우징 맞춤 불량에 의한 균열

1.3.2 Misalignment

Misalignment는 Spalling 초기 성장의 주원인이며, 저널에 직각이 아닌 축 Shoulder에 내륜이 안착되거나, 하우징 Shoulder가 하우징 Bore에 직각이 아닐때 또는 두 하우징의 중심선이 같지 않은 경우에 발생한다. 베어링 링이 타이트하게 설치되었어도 Shoulder에 압입되지 않으면 Seat상에서 비틀어져(Cocked) 있어 Misalignment가 된다. Slip-fit된 하우징에서 베어링 외륜은 반대쪽 모서리에서 비틀어질 위험이 있다.

자동 조심 베어링을 사용해도 앞서 서술한 몇 가지 Misalignment 결함은 교정되지 않는다. 자동조심 베어링 내륜이 Shaft Seat와 직각이 아닐때 내륜은 회전하면서 흔들려 결국 조기피로를 유발한다. 만약, 외륜이 하우징 양쪽 모서리에서 비틀어지면, 보통 요동하는 외륜은 하우징에서 축방향으로는 붙잡아주고 반경방향으로는 뺄려진다. 뺄려진 외륜의 영향을 그림 3-13과 그림 3-16에 나타냈다.

중심축과 수직이 아닌 지지대에 설치된 볼슬러스트 베어링은 정지링의 좁은 하중 영역이 모든 하중을 감당하기 때문에 조기피로가 된다. 볼슬러스트 베어링의 회전링이 직각이 아닌 축 Shoulder에 설치될때 링은 회전하면서 뜬다. 뜬 링은 정지링의 작은 부분에만 하중을 가하여 조기피로를 유발한다.



그림 3-22 볼스러스트 베어링의 Smearing

그림 3-22는 두 가지 조건중 하나가 일어났을때 볼스러스트 베어링내의 Smearing을 보이고 있다. 즉 첫째, 운전중 양륜이 서로 평행하지 않을때 둘째, 설계된 운전속도에서 베어링을 설계운전 위치에서 잡아주는 하중이 충분하지 않을 때이다. 첫 번째 조건하에서 볼이 하중영역에서 비하중 영역으로 통과할 때의 Smearing은 그림 3-22와 같고, 두 번째 조건하에서는 양륜이 서로 평행할지라도 원심력은 Raceway와의 접촉상태에 따라 볼을 롤링하는 대신 Spin시켜 Smearing이 발생한다. Misalignment에 의한 Smearing은 정지링의 한 지점에 국한되는 반면, 회전력에 의한 Smearing은 양륜 주위에서 일반적으로 나타난다.

같은 축을 지지하는 두 하우징의 중심선이 일치하지 않으면 자동조심 볼 또는 롤러 베어링만이 굽힘 모멘트 없이 작동할 수 있다. 원통형 및 테이퍼진 롤러 베어링은 아주 미세한 Misalignment만을 허용한다. 만약, Misalignment가 상당히 있으면 측면(Edge) 하중을 야기해 조기피로를 일으킨다. Misalignment로 인한 측면하중은 그림 3-23과 같이 베어링의 Spalling을 발생시키고, 같은 원인으로 발생한 또 다른 Spalling은 그림 3-24와 같이 Tapered 롤러 베어링의 롤러와 내륜에서 볼 수 있다.

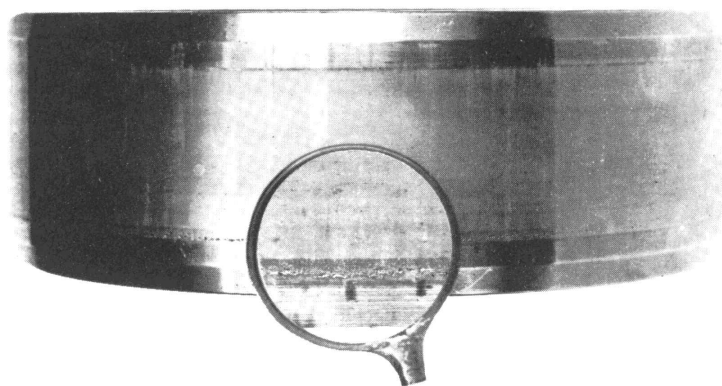


그림 3-23 모서리 하중(Edge-Loading)에 의한 피로

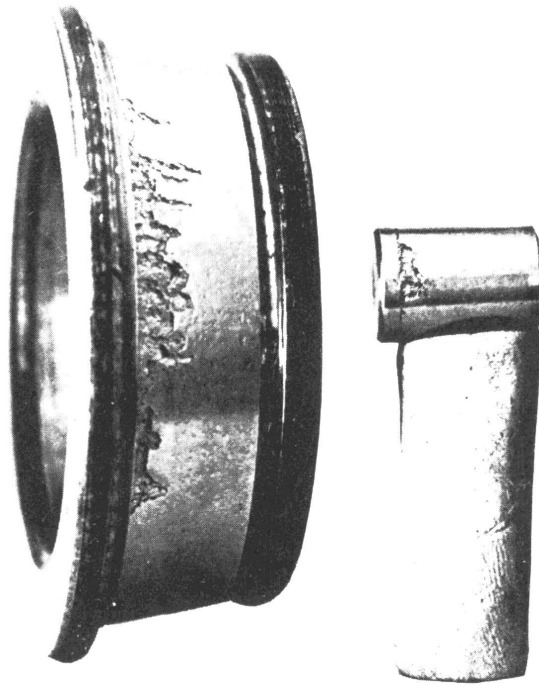


그림 3-24 모서리 하중에 의해 발달된 Spalling

1.3.3 設置不良의 慣例 (Faulty Mounting Practice)

조기 피로나 손상의 근원은 설치전 및 설치중 소홀하거나 잘못된 관례 때문이다. 조기 피로의 여러 원인 중에서 현저한 것은 운전중 베어링과 하우징내의 이물질의 존재이며, 그림 3-17은 베어링 외경과 하우징 Bore 사이에 떨어진 Chip에 의한 것이다. 그림 3-25는 베어링 내륜의 Raceway와 롤러사이에 이물질이 떨어져 브리넬링 저하(Brinnelled Depression)를 일으키는 베어링 내륜을 보여주고 있다. 이 상태를 Fragment Denting이라 하는데, 이들 작은 덴트(Dent)의 각각은 조기피로의 잠재적인 발단이 된다. 작은 입자의 이물질은 마멸을 초래하고 원래의 내부 형상이 변할 때 계산된 예상수명을 달성할 수 없다. 이것은 이 장의 뒷부분에 있는 "비효과적 Sealing"편에서 그림 3-48, 3-49, 3-50과 함께 설명된다.

취급이나 설치중의 충격손상은 조기 피로를 유도하는 브리넬링 저하를 유발한다. 그림 3-26에 그 예가 있는데, 박리된 면의 간격은 볼 사이의 거리와 같다. 이미 충격을 받은 베어링이 설치되면, 운전중 소음이나 진동에 의해 결함이 분명해진다.



그림 3-25 프래그먼트 덴팅(Fragment Denting)

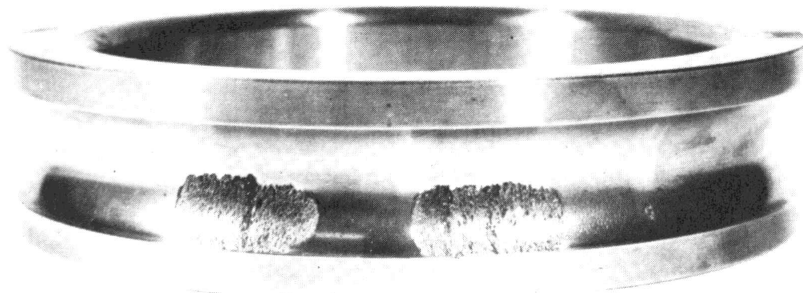


그림 3-26 취급시나 설치시 충격 손상에 의한 피로

원통형 롤러 베어링은 설치될때 쉽게 손상 받는데, 특히 내륜이 있는 회전부가 외륜과 조립된 롤러 세트를 정지부에 조립할 때이다. 그림 3-27은 조립중 롤러가 내륜을 가로질러 강제적으로 슬라이딩됨으로서 원통형 롤러 베어링의 내륜이 손상되었음을 나타낸다. 여기서, 내륜에 나타난 손상흔적의 간격은 롤러간 거리와 같다. 그림 3-28은 그림 3-27의 Smearing Streak을 8배 확대한 것이다.

베어링이 설계 보다 더 큰 하중을 받을 때 조기 피로가 발생하고, 잘못된 설치 습관으로 예상치 못한 하중이나 기생(Parasitic) 하중이 발생한다. 기생 하중의 한 예는 자동차 앞바퀴를 설치할 때 베어링 안착을 위해 특정 토오크를 가한 후에 고정너트를 반대로 풀지 않을 때 발견된다. 다른 예는 하우징에서 베어링이 자유롭게 이동해야 하는데, Pinching이나 Cocking 때문에 열팽창에 따라 이동할 수 없어 베어링에서 기생 스러스트 하중을 유발한다. 그림 3-29는 기생 스러스트 하중의 영향이다. 손상부가 통상 Ball Groove의 중심에 있어야 하나 그렇지 않고 Groove Shoulder에서 심하다. 그림 3-30의 링은 비정상적 무거운 스러스트 하중을 받는 자동조심 볼베어링인데, 보통 이러한 경우 축방향 구속은 외륜면상의 하우징 Shoulder의 흔적이나 베어링 외경상의 Fretting 면적으로 알 수 있다.

회전부와 정지부간의 간섭은 회전베어링 링에서 파괴 크랙을 초래할 수 있다. 그림 3-31에 나타난 롤러 베어링 내륜은 베어링이 회전할때 엔드커버와의 접촉으로 인한 영향을 보여주고 있다.

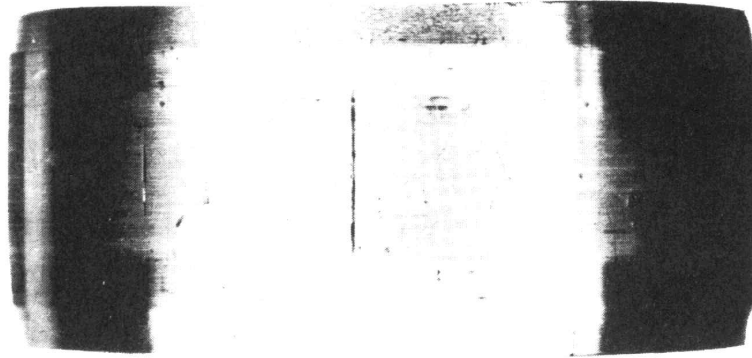


그림 3-27 설치시 과도한 힘에 의한 Smearing

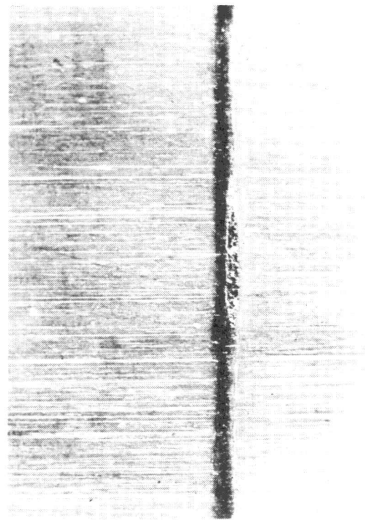


그림 3-28 그림 3-27을 8배 확대한 Smearing

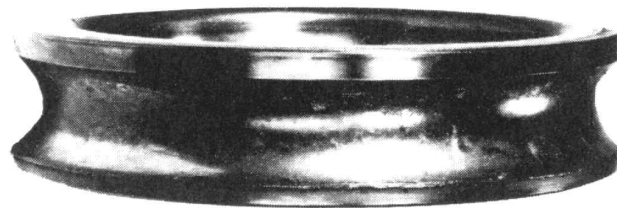


그림 3-29 과도한 스트레스에 의한 Spalling

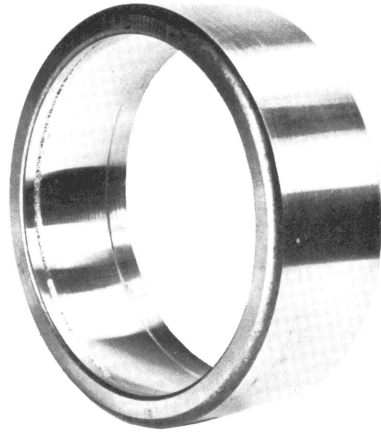


그림 3-30 기생 스트레스에 의한 Spalling

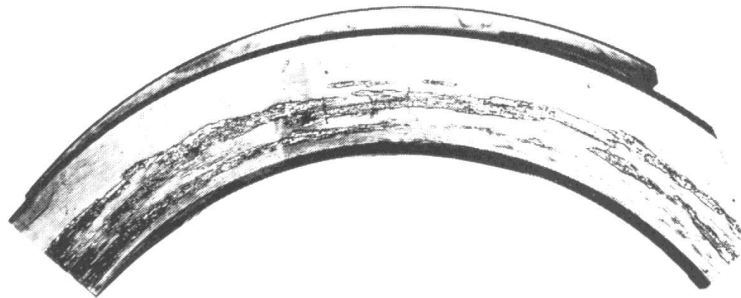


그림 3-31 베어링 링이 회전하는 동안 엔드커버와의 접촉으로 인한 균열

1.3.4 不適切한 맞춤에 의한 損傷 (Damage Due to Improper Fits)

베어링의 내륜 또는 외륜이 축과 하우징에 Slip Fit 또는 Interference Fit으로 설치해야 하는가 하는 결정은 하중 방향에 대해 링이 회전상태인지 정지상태인지를 먼저 결정해야 한다. 조임이나 풀림 정도는 하중과 속도의 크기로 결정되는데, 만약 베어링 링이 하중방향에 대해 회전하면 Interference Fit으로, 정지상태이면 Slip Fit으로 한다. 무거운 하중의 경우는 큰 간섭이 요구된다는 개념으로 맞춤정도가 결정되고, 충격이나 연속적인 진동은 하중에 대해 회전하는 링에 더욱 큰 Interference Fit이 요구된다. 경하중을 받는 링 또는 하중에 대해 회전하고 극히 저속도에서 운전되는 상당한 하중을 받는 링에서도 Lighter Fit 또는 Slip Fit을 한다.

두 가지 예를 고려해 보라. 자동차의 앞바퀴가 닿는 도로는 균일한 방향의 하중을 받으며 포장도로는 항상 바퀴에 상승력을 가하는데, 이러한 경우 외륜과 Cup은 회전하여 Wheel Hub에 압착·조립되는 반면 내륜이나 Cone이 정지상태이며 스핀들에 Slip Fit된다. 또 다른 경우는, 일반적인 치차 구동장치의 베어링은 하중에 대해 정지하는 외륜을 가져 Slip Fit하지만, 내륜은 하중에 대해 회전하여 Interference Fit으로 설치할 필요가 있는 경우가 있으며 이 경우 Slip Fit의 링보다는 롤러에서 축방향 팽창이 가능한 베어링이 필요하다. 그러한 설비에서는 축의 한쪽에서는 원추형 롤러 베어링 그리고 다른 끝에서는 내장 베어링(깊

은 흠 볼 또는 구형 롤러 베어링)으로 구성되어 있다.

양호한 맞춤 관례를 따르지 않아서 영향을 받은 예가 다음에 있는데, 그림 3-32는 하중 방향이 일정할때의 Bore 표면과 축의 상대운동으로 손상된 내륜 Bore 표면을 보이고 있다. 크리프(Creep)라 불리는 이 상대운동은 그림 3-32와 같은 Scoring을 초래할 수도 있다. 만약 Loose Fit부로 윤활제가 침투하면 Bore나 축 Seat에 광택이 나타난다 (그림 3-33). 정상적으로 Tight Fit한 내륜에 Creep이 발생할 때 손상은 Bore 표면에 국한되지 않고 링의 Face에도 영향을 준다. 축 Shoulder나 Spacer의 접촉은 마멸 또는 심각한 마찰균열(그림 3-31)을 유발하는데, 이것은 윤활제의 상태에 따라 다르다. 그림 3-32는 상대운동을 할 때, 베어링 내륜면의 축 Shoulder가 어떻게 마멸되는지를 보여준다. 압착 링과 그 Seat 사이의 마멸은 누적된 손상으로써, 초기 마멸은 Creep를 가속시켜 마멸을 더욱 증가시킨다. 지지 능력을 잃은 링은 균열을 발달시키며, 마멸로 발생된 이물질은 Fragment Dent를 유발시키고 내부적으로 베어링을 마멸케 한다.

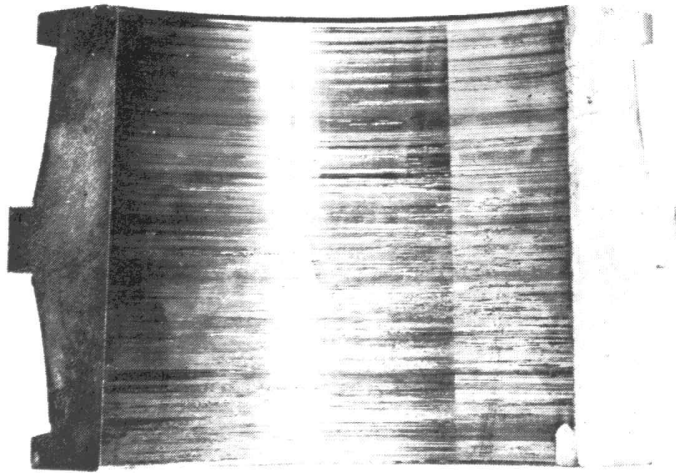


그림 3-32 "크리프"에 의한 내륜의 스코어링

과도한 맞춤은 그림 3-11과 같이 내부적으로 베어링을 예압하거나 또는 내륜에 아주 높은 Hoop 응력을 유발해서 베어링을 손상시킨다. 그림 3-34는 과도한 간섭 맞춤에 의한 균열된 내륜이다. 필요 이상으로 느슨해진 하우징 맞춤으로 외륜을 Fretting이나 Creep, Spin을 야기하는데, Fretting의 예는 그림 3-18과 그림 3-19와 같다. 외륜의 지지 결함은 느슨함이 지나치거나 하우징 Bore의 접촉 불량에 의한다. 외륜의 균열은 그림 3-19와 같다.

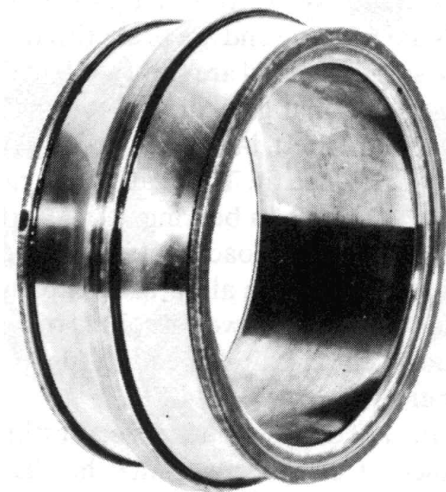


그림 3-33 Creep에 의한 마멸



그림 3-34 과도한 간섭 맞춤에 의한 축방향 균열

1.3.5 不充分 또는 不適切한 潤滑 (Inadequate or Unsuitable Lubrication)

롤링시 하중을 수반하는 접촉은 신뢰성 있는 운전을 위해 윤활제를 필요로 한다. 정상적인 운전에서, Raceway와 구름 요소간의 접촉면적의 곡률은 작은 양의 슬라이딩 운동이나 롤링을 초래한다. 또한 케이지는 베어링 링의 어떤 면이거나 구름요소 또는 이들의 조합으로 지탱되어야 한다. 대부분 롤러 베어링 형태에서는 플랜지나 케이지에 대해 슬라이딩하는 롤러 끝단면이 있기 때문에 윤활제가 중요한 역할을 한다. “윤활사고”라는 용어는 종종 베어링내 오일 또는 그리스가 없다는 것을 의미한다.

윤활에 의한 손상이 종종 발생하는데, 사고분석은 그리 간단하지 않다. 베어링에 관한 여러 가지 경우의 연구로, 윤활 사고에 대한 의구심을 없앴지만, 베어링의 사고가 명확하지 않은 것은 무엇 때문인가?

윤활제가 제 기능을 다하지 않는 이유를 연구할 때, 첫째는 그 특성을 고려해야 하고, 둘째는 베어링에 가해진 양, 셋째는 운전 조건이다. 이 세 가지의 개념은 윤활제의 적정성을

의미하는데, 만약, 한가지 개념이라도 충족되지 않으면 베어링은 부적절한 윤활제로 인해 손상되었다고 말할 수 있다.

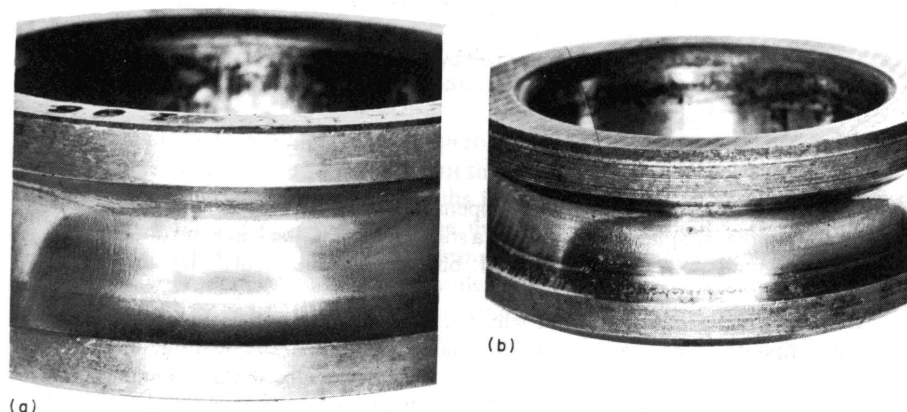
오일 자체나 그리스내 오일의 점성은 윤활제에 있어서 주요 특성이다. 오일의 점성과 함께 그리스의 Soap Base의 특성과 그 일관성은 주 품질 포인트이다. 베어링 자체는 보통 윤활제를 적게 필요로 하지만, 충분한 양이 항상 준비되어야 한다. 윤활제가 열 제거 매개체라면 더 많은 양을 필요로 한다. 중속에서 고속으로 진행할 때 윤활량이 부족하면 온도의 상승과 ‘뺨’ 하는 소리를 유발한다. 저속에서는 상관이 없지만, 고속에서는 윤활제가 너무 많으면 온도가 급상승하는데 이는 윤활제의 교란 때문이다. 이 같은 비정상적인 온도상승을 일으키는 상태는 적절한 윤활제를 부적절하게 한다.

윤활제가 부족하면 면이 손상되고 이 손상은 초기피로 손상과 구별하기 어려운 손상을 급속히 진행시킨다. Spalling은 부족한 윤활의 흔적을 발생시키기도 하고 소멸시키기도 한다. 그러나 윤활제가 충분히 공급되면 베어링의 짧은 수명을 연장하게 된다.

그림 3-35의 a, b, c, d의 각 단계는 면손상의 한 형태이다. 처음 것은 거친 면과 웨이브 모양이고, 나중 것은 Spalling에 이어 고르게 발달한 균열이다. 열을 충분히 제거하지 않으면, 오염 유발이나 경화 베어링을 연하게 할 정도로 온도가 상승한다. 그림 3-36은 이러한 현상을 보인다. 어떤 경우, 윤활제가 부족하면 처음에는 표면이 광택이 나다가 손상이 진전됨에 따라 서릿발 모양을 띄다가 결국은 조각 난다. 미려한 광택 면은 그림 3-37의 롤러에서 볼 수 있다.

“서릿발 모양” 단계에서 구름요소에 의한 베어링 Raceway로부터 떨어져 나온 미세한 은빛 금속 조각의 “보풀”(Nap) 현상이 나타나는데, 한쪽 서릿발 모양의 면은 부드럽지만 다른 쪽은 거칠다. 표면에서 금속이 떨어져 나오기 때문에 면에 피트가 나타나며, 서릿발 형성은 박리를 촉진시킨다. 박리의 예가 그림 3-38에 있다.

스미어링(Smearing)이라는 또 다른 면손상의 형태가 있는데, 두 면이 슬라이딩하거나 윤활제가 면의 마멸을 예방할 수 없을 때 나타난다. 한 면의 미세한 조각이 서로 분리되었다가 다른 면으로 다시 뭉치는 예가 그림 3-39~3-42에 나타난다. 특별한 형태의 스미어링은 구름요소가 비하중 영역에서 하중영역으로 슬라이드 할 때 나타난다.



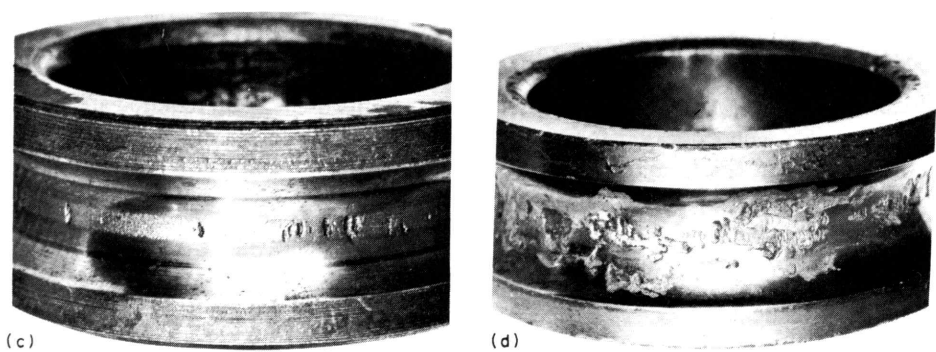


그림 3-35 윤활제 부족으로 인한 Spalling의 발달단계

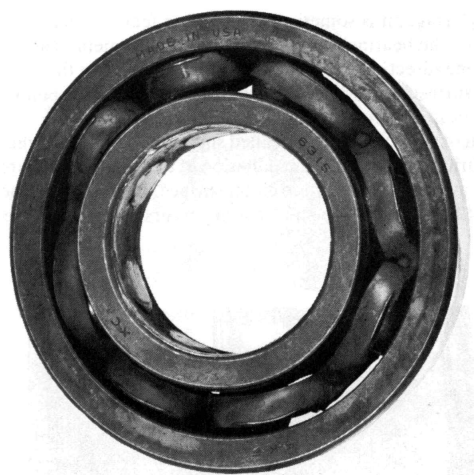


그림 3-36 윤활제의 부족과 과열에 의한 금속의 오염과 연성

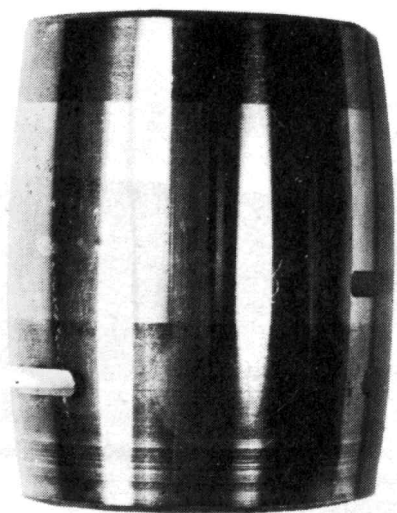


그림 3-37 윤활제 부족으로 인한 광택

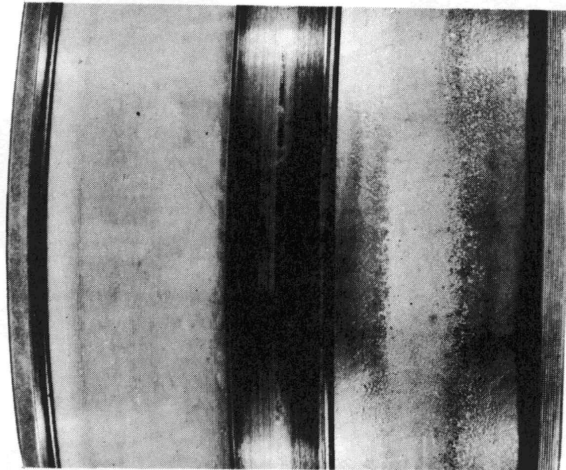


그림 3-38 베어링 Raceway로부터 금속이 박리하는 롤러의 영향

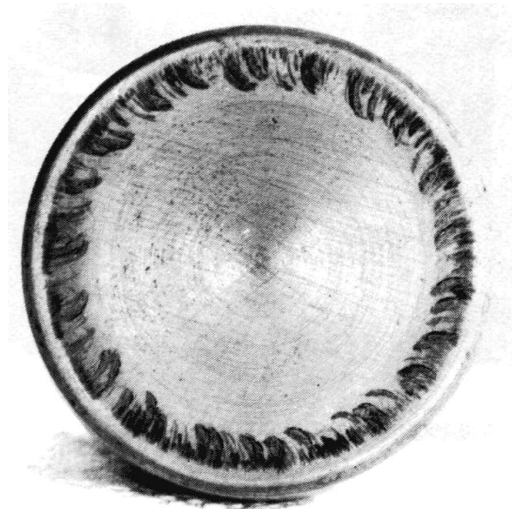


그림 3-39 구형 롤러 끝단에서의 스미어링

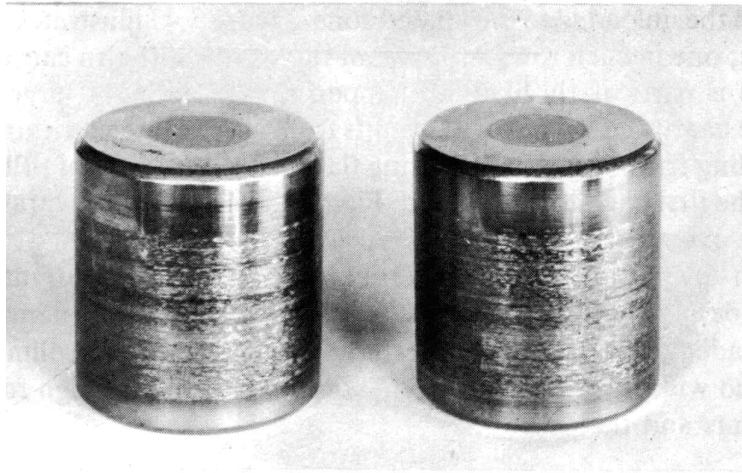


그림 3-40 비효과적인 윤활에 의한 원통형 롤러상의 스미어링

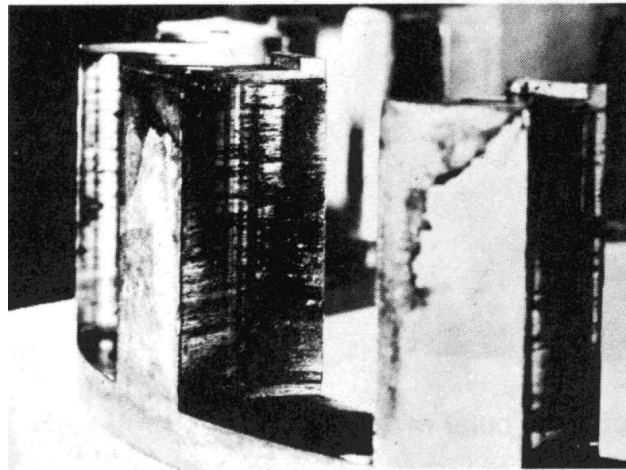


그림 3-41 비효과적인 윤활에 의한 케이지 포켓상의 스미어링

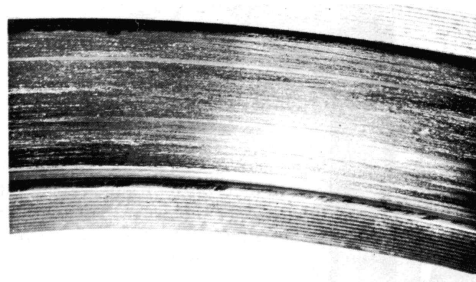


그림 3-42 원통형 외륜상의 스미어링

그림 3-43은 각열에 하나씩 Skid Smearing 손상을 나타낸다. 점성이 큰 윤활제는 이런

형태의 손상을 일으키며 베어링이 큰 경우에 주로 발생한다.

통상, 베어링 마멸은 윤활 부족에서 기인하는데, 롤러 베어링의 롤러 끝단 부분과 Flange와 같은 미끄럼 마찰이 일어나기 쉬운 곳이 처음 손상 받는 부분이다. 그림 3-44와 그림 3-45는 마멸에 의한 손상과 그로 인한 확장된 것을 보인다.

고속으로 진행되는 지점은 관성력과 최상의 윤활을 필요로 한다. 그림 3-46은 고속 주행시 윤활제 부족으로 인해 심하게 손상 받은 부분을 나타낸다. 고속에서 그리고 급출발이나 급정지 상태에서 구름 요소에 작용하는 관성력은 구름요소와 Cage 사이에 큰 힘을 유발한다.

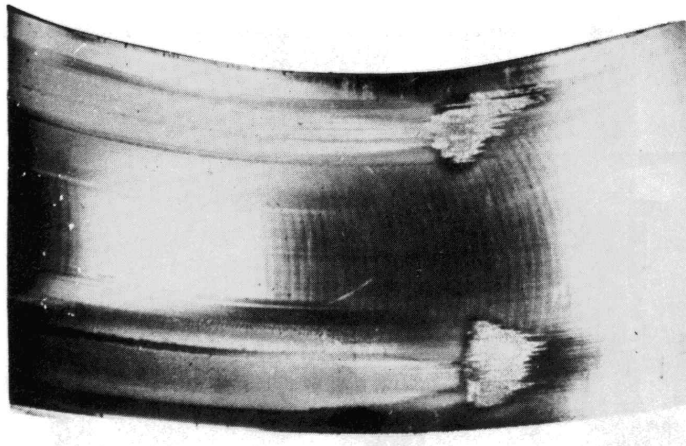


그림 3-43 원형 외륜의 Skid Smearing

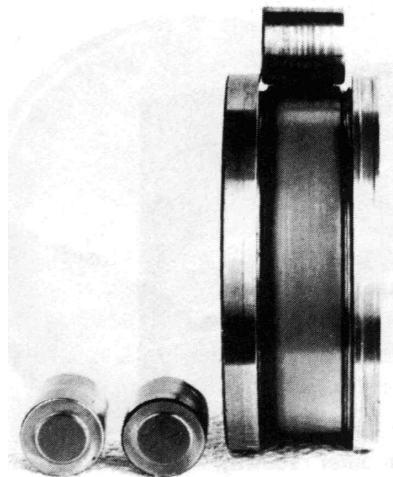


그림 3-44 윤활 부족으로 마멸된 홈

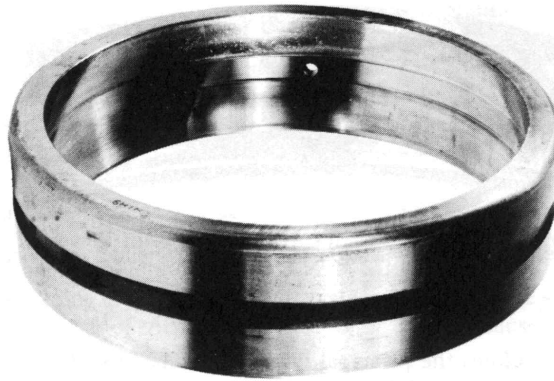


그림 3-45 윤활 부족으로 마멸된 홈



그림 3-46 비효과적인 윤활로 깨진 케이지

그림 3-47은 순환오일 시스템에서 윤활 부족으로 큰 구경의 테이퍼형 롤러 베어링 손상을 나타낸 것이다. 가이드 플랜지와 롤러의 큰쪽 끝단사이의 부분은 미끄럼 운동을 하고, 플랜지 접촉면에서 시작하는 오염 때문에 구름운동을 하는 부분보다 윤활이 더욱 어렵다. 플랜지에서 생긴 열은 베어링 오염을 유발하고, 롤러를 가이드 플랜지에 융착되게 한다.

앞에서는 주로 윤활과 관련한 면손상을 규정하였다. 윤활의 적절함과 여기에 영향을 끼치는 인자들의 중요성에 대해 언급하였다. 그리고 표면 손상을 어떻게 피하는지 알아야 한다. 다음은 이에 대한 지침서이다.

- (1) 충분한 탄성유막은 면의 문제점(Glazing, Pitting)을 방지한다.
- (2) 양질의 경계 윤활은 스미어링과 슬라이딩 면의 마멸을 보호한다.
- (3) 깨끗한 윤활제는 구름표면의 마멸을 방지한다.
- (4) 충분한 윤활유는 베어링의 과열을 방지한다.

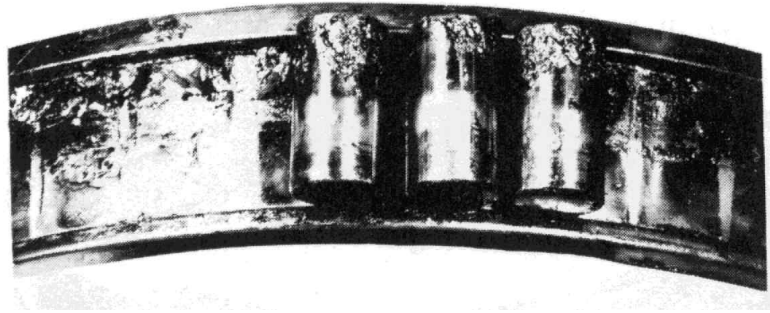


그림 3-47 비효과적인 윤활에 의해 리브에 융착된 롤러

구름 접촉을 하는 구름요소와 Raceway 표면이 탄성유막에 의해 분리되는 한 표면의 문제점을 피할 수 있다. 유막의 연속성은 접촉영역, 접촉영역에 가해지는 하중, 속도, 운전 온도, 표면 조도 그리고 오일 점성 등에 관계한다. SKF사는 연구를 통해 베어링의 크기, 하중 그리고 속도를 알고 있고 운전온도를 합리적으로 가정했을 때 필요한 오일 점도를 결정하기 위한 절차를 개발하였다. 계산 차트는 무역 저널에서 공식으로 인정되었고, SKF의 "A Guide to Better Bearing Lubrication"에 찾아볼 수 있다.

경험에 의하면 구름접촉에서 탄성유막이 적절하다면 Cage와 Guide Flange에서의 미끄럼 접촉의 경우도 일반적으로 만족할만한 것으로 밝혀졌다. 드물게 점도 선택이 미끄럼이 발생하는 부분에 의해 결정되어야만 할 때 경험상으로 선택된 점도는 구름접촉시의 필요한 탄성유막을 유지할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

1.3.6 非效果的인 실링 (Ineffective Sealing)

베어링의 주행중 이물질에 의한 영향과 마멸에 의한 영향은 이 장 초기의 "설치 불량에의 관례"에서 설명하였다. 설치중 이물질이 베어링에 침투했을 때 가장 영향을 받는 곳은 하우스링 씸 주변일 수 있다. 베어링 제작자는 이물질로 인해 발생할 수 있는 문제를 잘 알고 있으며 청결한 베어링 공급을 위해 주의를 하고 있다. 베어링을 조립할 때 뿐 아니라 운행 중에도 청결하게 관리해야 하는데, 마멸의 해결은 매우 중요하므로, 때로 공기 청정실에서 베어링을 조립하기도 한다. 결함에 의한 마멸 입자와 부식 마멸이 조합된 예가 그림 3-48과 그림 3-49에 나타나 있으며, 그림 3-50은 마멸이 진행되면서 운전해온 홈이 깊은 볼베어링을 나타낸다. 케이지를 더 이상 지지할 수 없을 정도로 볼이 많아 양륜이 Rubbing 되었다.

베어링으로부터 연삭물질뿐만 아니라 부식물질도 제거해야만 한다. 물, 산(Acid)과 윤활제의 질을 저하시키는 물질은 부식을 일으킨다. 그림 3-51은 윤활제의 습도로 인한 롤러 끝단의 녹이 슨 것을 보인다. 베어링이 회전하지 않을 때의 롤러의 부식영역은 그림 3-52와 같다. 물기가 있는 윤활제에 산이 형성되면 그림 3-53과 같이 표면을 에칭 한다. 그림 3-54에 보이는 부식 선(Line)은 베어링이 회전할때 윤활제내 습기에 의한 것이다.

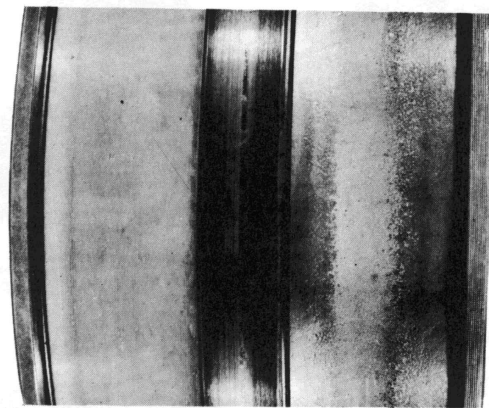


그림 3-48 연삭마모의 발달

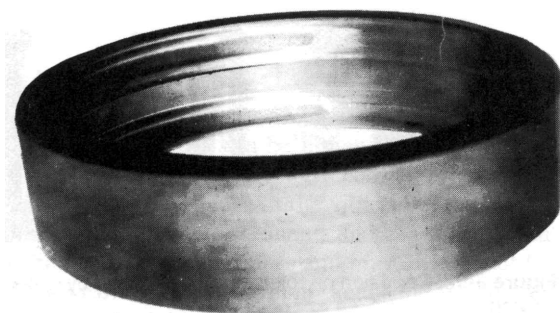


그림 3-49 연삭마모의 발달

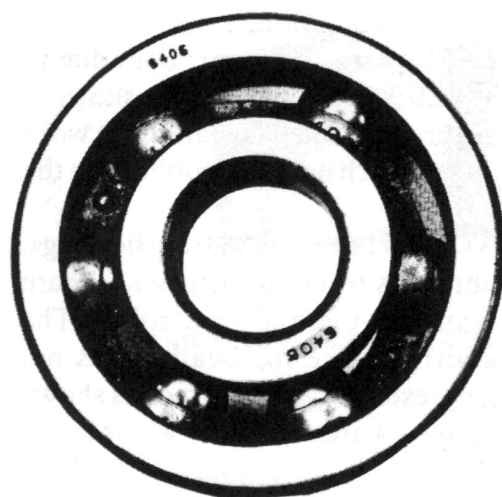


그림 3-50 연삭 마모의 발달

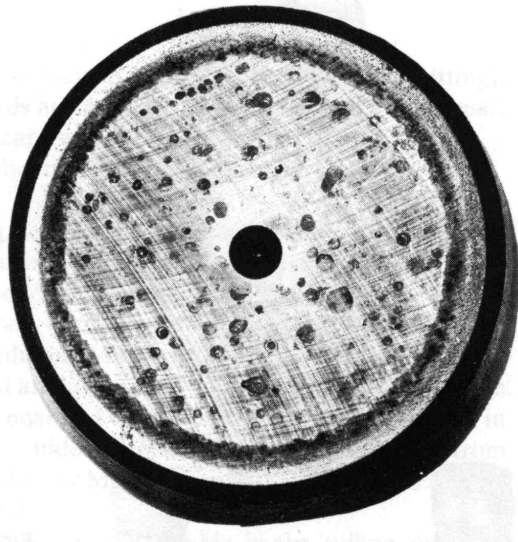


그림 3-51 윤활제의 습기로 녹이 쓴 롤러 끝단

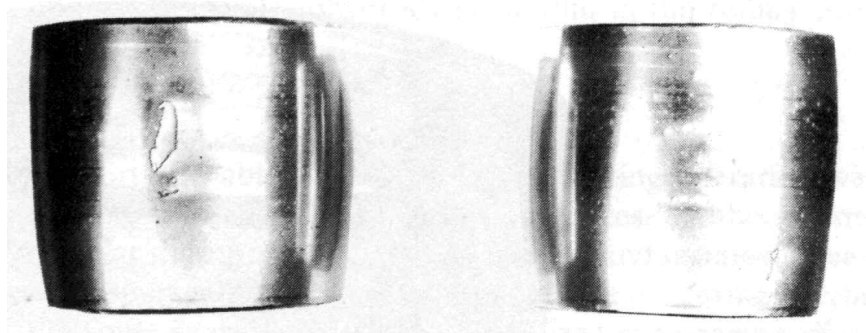


그림 3-52 정지상태 베어링에서 윤활제의 습기로 부식된 롤러 면

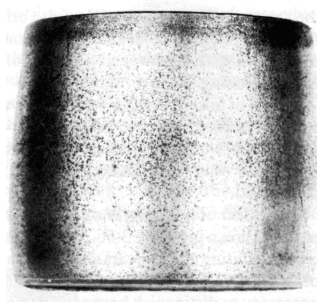


그림 3-53 습기가 있는 윤활제에서 산의 형성으로 인해 부식된 롤러 면



그림 3-54 베어링이 회전할때 윤활제내 습기에 의한 부식 유맥(Streak)

1.3.7 振動 (Vibration)

축이 정지중일 때 진동에 접하는 구름 베어링은 폴스 브리넬링(False Brinelling)이라 불리는 손상을 입기 쉽다. 이 손상을 입게되면 밝은 광택을 띄는 함몰이나 특유의 적갈색 부식이 발생하는데 접촉면의 산화율로 상태를 알 수 있다. 진동은 구름 요소와 궤도면의 접촉부에 미세한 슬라이딩을 유발하여 재료의 작은 입자가 접촉면에서 자유롭게 이동하며, 순간적으로 산화되기도 한다. 이렇게 생성된 파편은 Lapping 입자 역할을 하며 마멸을 가속화시킨다. 이러한 손상 확인은 궤도면상의 표시들의 거리로 한다. 폴스 브리넬링 간격은 마치 참(True) 브리넬링의 형태와 같이 구름 요소간의 거리와 같은데, 만약에 진동 주기 사이에서 베어링이 다소 회전되었다면 폴스 브리넬링의 손상 패턴은 하나 이상으로 나타난다.

그림 3-55는 폴스 브리넬링 형태의 연삭마모이다. 상당한 기간동안 베어링 양륜간에는 회전은 없지만, 정지상태에서 심각한 진동을 받았다. 폴스 브리넬링은 철의 산화물과 더불어 발전하였고 드디어 래핑 요소로 작용했다.

회전 베어링의 진동과 연마에 의한 영향으로 그림 3-56의 웨이브 패턴으로 나타나있다. 이러한 웨이브가 더욱 조밀할 때 이런 형태를 플러팅(Flutting)이라 부르는데, "베어링을 지나는 전류통로" 항에서 보여준 경우와 같다. 금속 실험은 연마와 진동에 의한 플러팅과 전류 통로와 진동에 의한 플러팅의 구별을 필요로 한다.

폴스 브리넬링은 진정한 마멸 상태이기 때문에 진동중에 가해진 힘이 정하중보다 작아도 손상이 나타나고, 구름요소에 걸리는 접촉 하중이 증가할 수록 손상이 더욱 확장된다.

폴스 브리넬링은 조립기계의 운송중에 빈번히 발생하며, 기초를 통해 전달된 진동은 비회전 축 베어링에서 폴스 브리넬링을 유발한다. 이같이 운송중의 폴스 브리넬링은 축의 회전이나 축방향 이동을 방지하는 작업에 의해 최소화되거나 제거될 수 있다.

폴스 브리넬링과 참 브리넬링을 구별해야 하는데, 그림 3-57과 3-58은 궤도면에서의 이들 브리넬링을 100배로 확대한 현미경 사진이다. 그림 3-57(참 브리넬링)은 궤도면 재질의 소

성류에 의한 흠(Dent)이다. 그라인딩 마크는 텐트된 전 영역에서 볼 수 있다. 폴스 브리넬 링(그림 3-58)은 금속 흐름을 동반하지는 않고 마찰로 표면의 금속을 제거한다. 그라인딩 마크가 제거되었나 확인하라. Fretting 부식과 유사한 폴스 브리넬링을 좀 더 이해하려면 구름요소가 궤도면과 접촉하여 윤활제를 찌그러트리고, 진동의 각이동이 매우 작기 때문에 접촉시 윤활제가 매워지지 않음을 기억해야 한다. 금속간 접촉은 필연적이며 미세한 입자의 분열을 초래한다. 윤활제에 의한 보호가 이루어지지 않으면 이 미세한 입자는 산화되어 Fretting과 같은 붉은 갈색을 띤다. 산화율이 느리면 폴스 브리넬링이 감소하여 밝아지기 때문에 참 브리넬링과 구별하기가 어렵다.

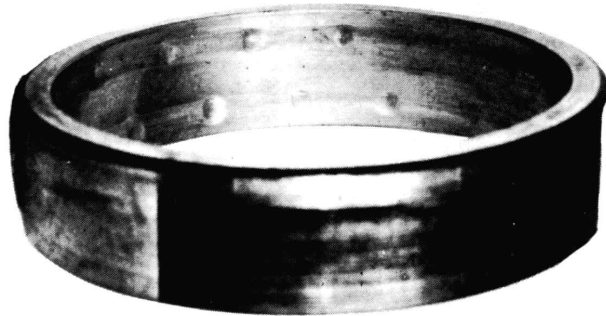


그림 3-55 베어링 정지시 진동에 의한 폴스 브리넬링



그림 3-56 베어링 회전시 윤마물이 있는 상태에서 진동으로 인한 폴스 브리넬링

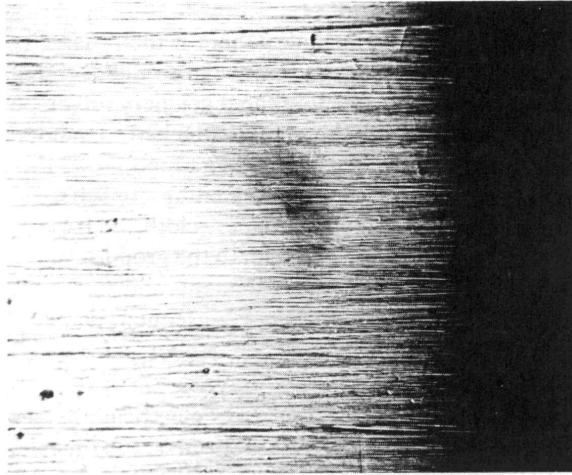


그림 3-57 참 브리넬링의 예 (100배 확대)



그림 3-58 False 브리넬링의 예 (100배 확대)

1.3.8 베어링을 통한 電流의 通路

(Passage of Electric Current Through the Bearing)

전기 기계에 사용되는 베어링에서 베어링을 통해 전류가 흐를 가능성이 있다. 베어링을 통해 흐르는 전류는 기계설비의 표류 자계로부터 발생되거나 또는 그 기계설비의 어느 부분이 접지와 연결되어 베어링을 통해 전류가 통하도록 회로가 구성되어 있을 경우에도 발생할 가능성이 있다.

가죽, 종이, 옷감, 고무 등을 생산하는 생산공정이나 대전된 벨트로부터 방사되는 정전기에 의해서도 전류가 생성되는데, 이 전류는 축을 지나 베어링을 통과하여 접지에 이른다. 구름요소와 궤도간의 접촉면에서 전류가 끊어질 때 아크가 발생하여 국부적인 고온과 이로 인한 손상을 초래한다. 베어링의 전체적인 손상은 각 손상점의 크기와 수에 비례한다.

그림 3-59와 확대한 그림 3-60은 구형 롤러 베어링의 롤러와 궤도면의 전기 피팅이고, 그

피트는 궤도면과 롤러간의 통로에서 전류가 끊어질 때마다 생성된 것이다.

롤러를 들어낸 다음 베어링을 점검한 결과 이 롤러와 같은 정도밖에 손상을 입지 않았다. 사실 이 베어링을 재사용하여 몇 년동안 문제가 없었으므로 어느 정도의 전기 피팅에 의해서 손상이 발생하지 않는다.

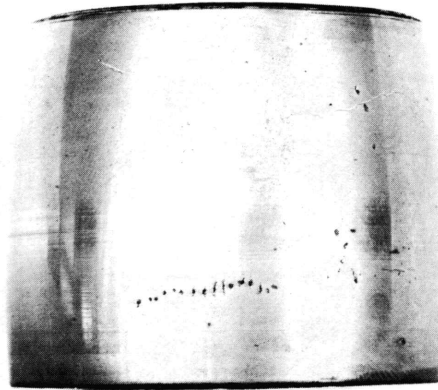


그림 3-59 비교적 큰 전류의 통과에 의한 구형 롤러 면의 피팅

전기적 피트 수가 많거나 오랫동안 베어링을 통해 전류가 흘렀을 경우 베어링에서 또다른 형태의 전기적 손상이 발생한다. 이 결과가 그림 3-61에서 3-65에 걸쳐있는 플러팅 현상으로, 이는 볼 베어링이나 롤러 베어링에서 발생할 수 있다. 플러트(Flutte)는 꽤 깊은 깊이까지 진전될 수 있으며 또한 운전중 진동과 소음을 유발시키고 나중에는 국부적 과응력에 의한 피로 현상도 유발시킨다. 플러트 형성 원인은 아직 명확히 설명되지 않지만 충격 혹은 진동의 초기 동조 현상과 전류 차단시와 관련이 있을 것으로 생각되고 있다. 플러트가 한번 시작되면 영구적으로 계속될 것이다.

각각의 전기적 표시, 피트, 플러팅 등은 실험실에서 베어링을 시험할 때에도 발생되었다. 교류 및 직류 모두 손상을 유발하는데, 전압보다 전류가 손상을 유발하는데 지배적이다. 베어링이 레디얼 하중하에 있을 때 내부이완이 클수록 동일 전류에서 전기적 손상이 더욱 크다. 스러스트를 받는 복열(Double Row) 베어링에서 반대쪽의 열이 손상을 받아도 스러스트를 받는 열은 거의 손상이 발생하지 않는다.

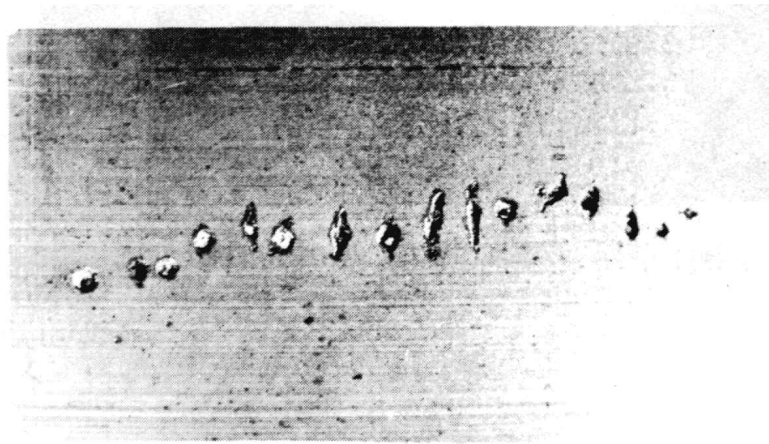


그림 3-60 비교적 큰 전류 통과에 의한 구형 외륜면의 전기 피팅

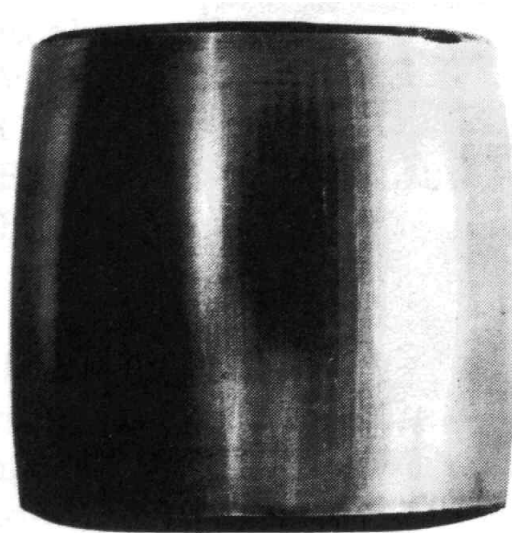


그림 3-61 확장 전류통로에 의해 구형 롤러 면에 발생한 플러팅

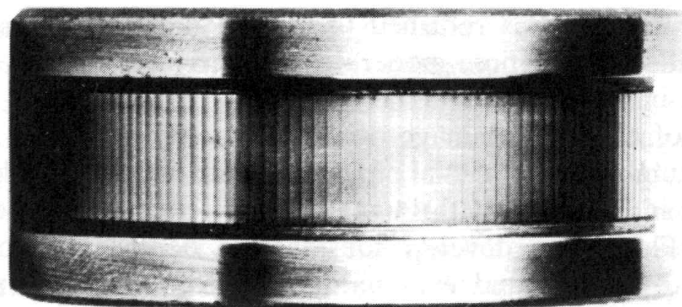


그림 3-62 확장 전류통로에 의해 원통 롤러 베어링내의 궤도면에 발생한 플러팅

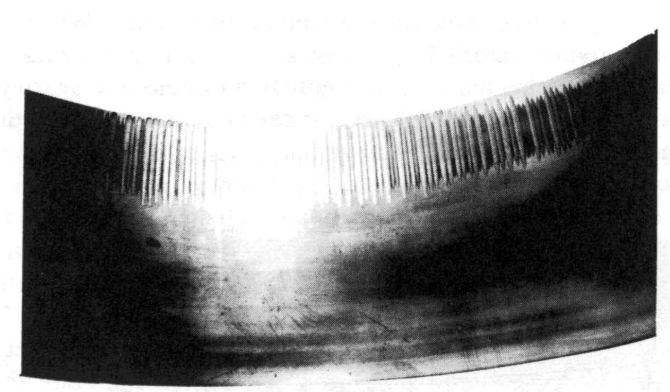


그림 3-63 구형 롤러 베어링 외륜 궤도면에 발생한 플러팅



그림 3-64 구형 롤러 베어링 내륜 궤도면에 발생한 플러팅

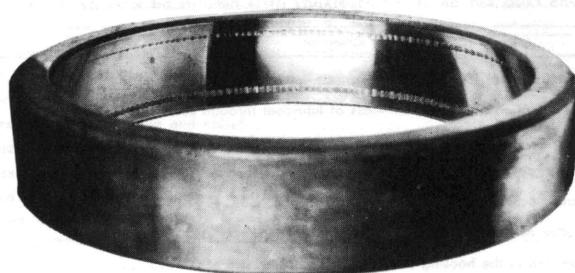


그림 3-65 비교적 작은 진류와 진동의 확장통로에 의해 자동조심 볼베어링의 외륜 궤도면에 발생한 플러팅

1.4 베어링 問題解決 (Troubleshooting Bearings)

본 부분에서는 베어링의 문제점검에 관한 몇 가지 도움을 제공하는데, 문제해결을 위해서 무엇을 찾고 문제원인을 어떻게 인식하는가 등이다.

베어링 문제는 다음과 같이 몇 가지 분류로 나눌 수 있고, 용이한 관찰을 위해 A에서 G로 코딩되어 있다.

관찰 또는 불평

A - 베어링의 과열

B - 베어링의 소음

C - 빈번한 교체

D - 진동

E - 장비의 불만족 성능

F - 축에 헐거운 베어링

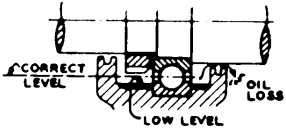
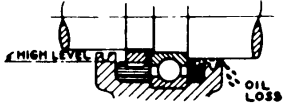
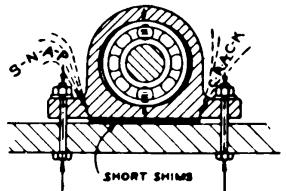
G - 축의 Turning 곤란

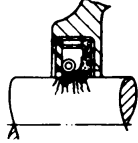
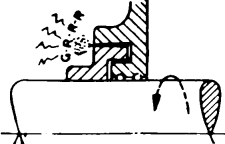
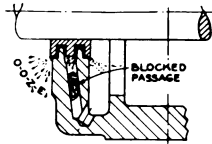
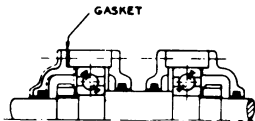
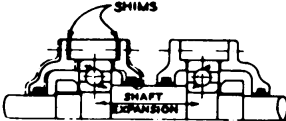
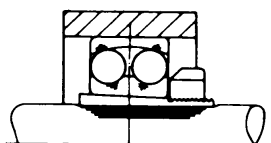
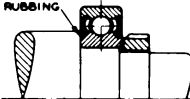
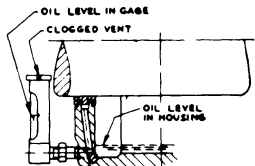
다음 표는 베어링의 손상을 유발시키는 일반적 현상의 목록으로써, 첫 행은 일반적인 현상을 수치로 기록한 것이고, 셋째 행은 예상되는 현상의 관찰 코드이다.

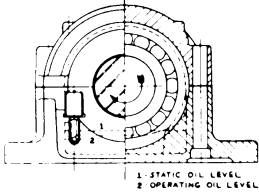
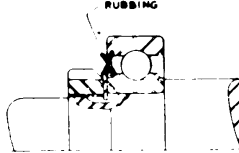
베어링 고장에 미치는 전형적 조건 각 조건은 3번째 칸의 불만족 사항중 한 개를 야기 시킨다.		
코 드	조 건	불만족 사항
1.	윤활 부적합 (그리스 또는 오일 불량)	A-B-C-G
2.	윤활 불충분 (오일레벨 낮음 - 씰 통해 윤활유 손실)	A-B-C-G
3.	윤활 과다 (하우징의 오일레벨 매우 높거나 하우징이 그리스로 콕참)	A-G
4.	베어링 간극 불충분 (나쁜 끼워 맞춤 선정)	A-B-C-E-G
5.	이물질에 의해 연마 (모래, 카본 등)	B-C-D-E-G
6.	이물질에 의해 부식 (물, 산, 페인트 등)	B-C-D-E-G
7.	베어링이 하우징에 Pinch 됨 (보어가 등글지 않음)	A-B-C-D-E-G
8.	베어링이 하우징에 Pinch 됨 (하우징이 뒤틀림)	A-B-C-D-E-G
9.	하우징 베이스의 씰이 불균형 (하우징 보어가 뒤틀림 - 베이스 균열 가능성)	A-B-C-D-E-G
10.	베어링 하우징에 Chip 존재 (하우징에 칩이나 먼지가 있음)	B-C-D-E-G
11.	베어링에서 공기속도가 높음 (오일 누설)	C
12.	씰이 매우 조임 (Seal이 Cup 형상 됨)	A-G
13.	씰의 정렬 불량 (정지부와 접촉)	A-B-G
14.	오일 리턴 구멍 막힘 (오일 누설)	A
15.	베어링에 예압작용 (설치상태 불량)	A-B-C-G
16.	베어링에 예압작용 (동일축에 2개 베어링 존재)	A-B-C-E-G
17.	베어링 이완 (축 직경 매우 작음)	B-C-D-E-F
18.	베어링 이완 (Adapter가 충분히 조이지 않음)	B-C-D-E-F
19.	베어링의 내부가 너무 조임 (Adapter가 과도하게 조임)	A-B-C-E-G
20.	불균형 표면을 갖는 Pillow Block이 분할 (오일 누설)	C
21.	하우징의 외륜이 스판닝 됨 (불평형 하중)	A-C-D-E
22.	베어링 소음 (Skidding에 의한 롤러 또는 볼이 flat됨)	B-D-E
23.	축 과도 팽창 (설치상태 불량 초래)	A-B-C-E-G
24.	축 과도 팽창 (베어링 간극 불충분 초래)	A-C-E-G
25.	데이퍼진 축의 씰 (베어링에 하중 집중)	C-D-E
26.	데이퍼진 하우징 보어 (베어링에 하중 집중)	C-D-E
27.	축 숄더 너무 작음 (숄더 지지 부적절 - 축의 굽힘)	C-D-E-G
28.	축 숄더 매우 큼 (베어링 씰과 마찰)	A-B-C
29.	하우징 숄더 매우 작음 (부적절 숄더 지지)	C-D-E-G
30.	하우징 숄더 매우 큼 (베어링 씰의 뒤틀림)	B-C-G
31.	축 필렛이 매우 큼 (축의 굽힘)	C-D-E-G
32.	하우징 필렛이 매우 큼 (부적절 지지)	C-D-E-G
33.	라비린스 씰의 간극 불충분 (마찰)	A-B-C-G
34.	오일 게이지 호흡구멍 막힘 (오일레벨 정확치 못함)	A-C
35.	축정렬 벗어남 (Rim 축정렬 불량)	A-C-D-E-G
36.	축정렬 벗어남 (Face 축정렬 불량)	A-C-D-E-G
37.	오일레벨 Cup 모양 일정 (레벨 부정확)	A-C
38.	오일레벨 Cup 모양 일정 (베어링 회전 반대방향에 위치)	A-C
39.	록와셔 Prong굽어짐(베어링과 마찰)	A-B-E-G
40.	Flinger 위치 부정확 (커버와 마찰)	A-B-C-G
41.	페데스탈 표면 불균형 (베어링을 편칭하는 하우징의 굽힘)	A-C-D-E-G
42.	볼 또는 롤러의 패인자국 (베어링에 망치와 같은 타격)	B-C-D-E
43.	베어링의 과다 소음 (특이한 조건)	B
44.	윤활유 누설 및 베어링에 먼지 유입 (씰의 마모)	C

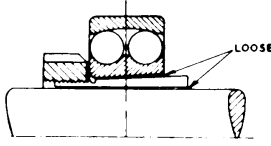
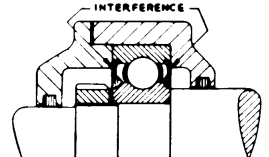
베어링 고장에 미치는 전형적 조건		
코 드	조 건	불만족 사항
45.	진동 (베어링의 간극 과다)	D-E
46.	진동 (불평형된 하중)	D-E
47.	축 터닝이 어려움 (축 및 하우징 솔더가 베어링 시트와 직각도가 맞지 않음)	C-E-G
48.	베어링 이완 (베어링 필상 축의 선타편칭 및 Knurling)	A-F
49.	베어링 변색 (베어링 탈착 위해 토치 블로워 사용)	B
50.	축 치수과다 (과열과 소음)	A-B-C-E-G
51.	하우징 보어 치수 과소 (베어링 과열)	A-B-C-E-G
52.	하우징 보어 치수 과다 (베어링 과열 - 외륜 스피닝)	A-B-C-D-E
53.	하우징 보어 치수 확장 (비철 베어링의 과다 Peening)	A-B-C-D-E
54.	베어링 소음 과다 (브리넬링 잘못)	B

다음 페이지는 문제의 실제 해답을 제공하는데, 첫 행은 앞 표의 일반적인 현상 코드이고, 둘째 행은 원인을, 셋째 행은 실제 해답을 설명하고 있다.

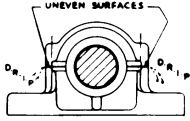
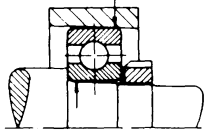
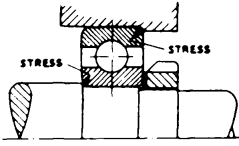
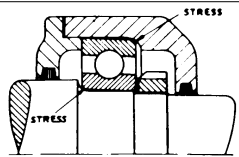
트러블 조건 및 해결책			
과열된 베어링 불만족 사항 "A"			
전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책	
1	윤활상태 파괴하는 불량 그리스 또는 오일의 잘못된 사용	신뢰있는 윤활유 제작자와 상의하여 적절한 것 선택. SKF 카탈로그를 점검하여 오일 또는 그리스사용 여부 결정.	
2	오일레벨 Low. 셀 통해 윤활유 상실. 하우징내 그리스 불충분	오일레벨이 베어링내 가장 아래에 있는 볼 또는 롤러의 중앙 바로 아래에 있어야 함. 그리스를 사용해서 Pillow block의 하반부가 전체의 ½ ~ ¾에 오도록 한다.	
3	하우징이 그리스로 꽉 차있거나 오일 레벨이 너무 높아 윤활유 Churning과다, 높은 운전온도, 오일 누설 야기.	하우징의 하반부만이 Full그리스의 ½ ~ ¾ 되도록 Purge 한다. 오일 윤활제를 사용하여 제일 아래 볼 또는 롤러의 중앙 바로 아래 오도록 레벨을 감소시킨다.	
4	외부열이 축을 통해 전도되어 내륜이 과도하게 팽창되는 상태인 불충분한 내부 간극을 갖는 베어링 선택.	교체 베어링은 적정 내부 간극을 얻기 위해 원래 베어링과 같은 식별표시 가져야 한다. 베어링 식별표시가 불명확한 경우 SKF를 검토.	
7-8-9 41-51	하우징 보어 비원형. 하우징의 경사. 하우징의 과다 비틀림 하우징 보어 치수 과소.	베어링의 Pinching을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검. 스크래핑한다. 페데스탈 면이 평평한지 확인하고 Pillow Block Base 전면에 Shim을 심는다.	

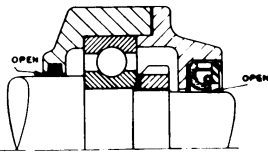
전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책	
12	과도한 스프링 인장력이나 윤활 되지 않는 가축 또는 합성 썰.	스프링 인장력이 약한 가축 또 는 합성 썰로 교체. 썰 윤활.	
13	고정부와 썰과의 마찰.	마찰 경감을 위한 간극 점검. 축 정렬 교정	
14	오일 리턴 구멍 막힘 - 썰에 대 한 펌핑작용이 누유의 원인이 됨.	오일 구멍 청소. 사용 오일의 배유 - 새로운 윤활유로 적절 한 레벨까지 재공급.	
15	설치 불량	베어링의 축 하중을 감소시키 기 위해 개스킷을 하우징과 커 버 플랜지 사이에 삽입 시킴.	
16 23-24	동일축에 2개의 베어링 존재. 과도한 축 팽창	하우징중 1개의 커버를 벗기고 외륜의 적정 간극을 얻기 위해 심(Shims)을 사용하여 축방향 움직임을 자유롭게 함. 그림 참조 - 불만족사항 "A" 조건 16-23-24	
19	어댑터의 과도 조임	고정나사(Locknut)와 슬리브 어 댑터를 느슨하게 함. 축상에 있는 슬리브를 고정하기 위해 재조임 작업을 실시하나 베어링 이 충분히 자유롭게 터닝 됨을 확인.	
21-52	힘의 불평형. 하우징 보어(Bore)가 너무 큼.	기계의 재발란싱 작업. 적절한 보어를 갖는 하우징으로 교체	
28	베어링 썰과 축 솔더와의 마찰	썰이 간섭되지 않도록 축의 솔 더를 재가공	
34	오일 레벨 부정확. 결과 : 베어링 윤활유 없음	오일 게이지의 막힌 통기 구멍 (Vent) 청소	

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책	
35-36	2개 이상의 베어링, 2개 이상의 축 연결 시스템에 대한 축 정렬 불량	한 축에 3개 이상의 베어링 설치시, Pillow Block에 Shim을 넣어 축 정렬 조정.	 LINEAR MISALIGNMENT  ANGULAR MISALIGNMENT
37-38	오일 레벨 컵의 부적절한 설치. 베어링의 회전 반대방향에 설치된 컵은 과도한 오일 흐름을 유도하여 오일 레벨을 상승시킴.	정지상태에서 오일 레벨은 최하위 볼이나 롤러의 중심위치를 넘어서는 안된다. 그림은 회전 방향에 대한 일정 레벨 오일 컵의 정확한 위치를 보여줌. 점검 게이지를 갖는 일정 레벨 오일 러로 교체가 유익.	 1. STATIC OIL LEVEL 2. OPERATING OIL LEVEL
39	베어링과 Prong과의 마찰	조임 와셔 제거 : Prong의 교정 또는 새로운 와셔로의 교체	 RUBBING
48	축위 베어링 시트의 Knurling 또는 센터 펀칭	하중작용시 High Spot이 평평하게되므로 끼워 맞춤이 느슨해질 때 축을 육성하고 적절한 치수로 재가공함	
50	베어링 시트 직경이 너무 크게 가공하면 베어링 내륜이 과도 팽창되어 베어링 간극 감소함.	베어링 내륜과 축사이의 적절한 끼워 맞춤을 위하여 축을 연마함	
53	연한 금속으로 인한 하우징 보어의 연타(Pounding Out) 결과 : 보어 확장으로 하우징 내 외륜의 Spinning 현상을 가져옴.	하우징의 재 보링 작업과 보어내의 강부싱의 밀착. 적절한 치수로 부싱 보어 가공	
베어링 소음 불만족 사항 "B"			
1	윤활파괴의 요인이 되는 그리스나 오일의 잘못된 사용	적절한 윤활유 사용을 위하여 신뢰성 있는 윤활유 제작사와의 협의. 오일 또는 그리스 사용여부 결정을 위해 SKF 카탈로그 검토	
2	오일 레벨 낮음, 씰에서의 유출 손실. 하우징 내의 그리스 불충분	오일 레벨은 정지시 베어링의 최하위 볼이나 롤러의 중심부에 위치해야함. 그리스 사용하는 경우 Pillow Block의 하반부가 Full 스케일의 ½ ~ ¾에 위치하여야 함. <i>그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건2</i>	
4	외부 열이 축으로 전도되어 베어링이 과도하게 팽창되는 조건인 부적절한 내부 간극을 갖는 베어링 선정	교체 베어링은 적절한 내부 간극을 갖는 원래의 베어링과 같은 동일한 식별표시를 가져야 함. 베어링과 식별표시를 모르는 경우 SKF 검토.	
5	베어링으로 이 물질(먼지, 모래, 카본 등)의 유입	베어링 하우징 청소. 베어링 보호를 위한 씰 설계 개선 또는 낡은 씰 교체	
6	베어링 하우징내로의 부식 인자 (물, 산, 페인트 등)의 유입.	이 물질 방지를 위하여 Shroud 또는 Flinger 추가.	

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책	
7-8 9-51	하우징 보어 비원형 하우징의 경사 하우징의 과도한 비틀림 하우징 보어 치수 과소	베어링 핀칭을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검, 스크래핑한다. 페데스탈 면이 Flat한지 확인하고 Pillow Block Base 전 면적에 shim(Shim)을 심는다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 7-8-9-41-51	
10	베어링 조립전에 베어링 하우징으로부터 먼지 및 칩(Chip)등의 제거 불량	하우징 청소 및 새 윤활유 사용.	
13 33-40	고정부와 쉘의 마찰	마찰 경감을 위한 간극 점검. 축 정렬 교정. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 13-33-40	
15	설치 불량	베어링의 축 하중을 감소시키기 위해 개스킷을 하우징과 커버 플랜지 사이에 삽입. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 15	
16-23	동일축에 2개의 베어링 존재 과도한 축 팽창	하우징중 1개의 커버를 벗기고 외부링의 적절한 간극과 원활한 축 베어링 움직임을 허용하기 위해 shim(Shim)을 사용. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 16-23-24	
17-18	축 직경이 너무 작음. Adapter가 충분히 조여지지 않음	축을 적절히 맞추기 위해 육성 및 재연마. 축을 견고히 잡아주기 위해 Adapter를 조임.	
19	Adapter가 과도하게 조여짐	고정나사와 슬리브 어셈블리를 푼다. 축의 슬리브를 충분히 고정하기 위해 조이지만 베어링 터닝은 자유롭게 함. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 19	
22	Skidding에 의한 볼이나 롤러가 Flat함.	볼이나 롤러를 점검하고 표면의 Flat한 자국을 조사. 베어링 교체.	
28	베어링 쉘과 축 솔더(Shoulder)와의 마찰	쉘에 간섭되지 않도록 축의 솔더를 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 28	
30	베어링 쉘의 뒤틀림	쉘이 간섭되지 않도록 하우징 솔더의 재가공.	
39	베어링과 Prong과의 마찰	조임 와셔 제거 : Prong을 펴거나 새로운 와셔로의 교체. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 39	
42	부정확한 설치 방법 베어링에 햄머링	새 베어링으로 교체. 설치시 베어링 어느 부분에도 햄머링 금지.	
43	기계의 기타 동체부품(Movable Parts)의 간섭	모든 동체부의 간섭 여부 자세히 점검. 적정 간극을 위해 부품 재 세팅.	
49	축과 베어링 어셈블리의 다른 부품의 뒤틀림	제한된 경우에서만 고장난 베어링의 제거를 위해 Torch를 사용해야 함. 뒤틀림을 경감하기 위해 어떤 한 부분에 고열 집중이 안되도록 주의 요망.	

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책
50	베어링 시트 직경이 너무 크게 가공 하면 베어링 내륜이 과도 팽창되어 베어링 간극이 감소함.	베어링 내륜과 축사이의 적절한 끼워 맞춤을 위하여 축을 연 마함.
52	하중의 불평형 베어링 보어가 너무 큼	베어링 재 발란스. 적절한 보어를 가진 하우징으로 교체.
53	연한 금속으로 인한 하우징 보어의 연타(Pounding Out) 결과 : 보어 확장으로 하우징내 외 부 링의 spinning 현상을 가져옴.	하우징의 재 보링 작업과 보어내의 강부싱의 밀착. 적절한 치수로 부싱 보어 가공.
54	기계 Idle시 베어링 진동 발생	볼의 간격만큼 떨어져서 발생한 베어링 마멸부 점검. 베어링 교체.
교체가 너무 잦음 불만족사항 "C"		
1	윤활 파괴의 요인이 되는 그리스나 오일의 잘못된 사용.	적절한 윤활유 사용을 위하여 신뢰성 있는 윤활유 제작사와의 상의. 오일 또는 그리스가 사용 여부 결정 위한 SKF 카탈로 그 점검.
2	오일 레벨 낮음. 셀에서 윤활유 손실. 하우징내 그리스 불충분.	오일 레벨이 베어링내 최하위에 있는 볼 또는 롤러의 중앙 바 로 아래에 있어야 함. 그리스를 사용해서 Pillow Block의 하 반부가 전체 범위의 ½ ~ ¾에 오도록 한다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 2
4	외부 열이 축으로 전도되어 내륜이 과도하게 팽창되는 조건하에서 부적 절한 내부 간극을 갖는 베어링 선정	교체 베어링은 적절한 내부 간극을 갖는 원래의 베어링과 같 은 동일한 식별 표시를 가져야 함. 베어링 식별 표시를 모르는 경우 SKF를 점검.
5	베어링 하우징에 이물질 유입. (먼지, 모래, 카본 등)	베어링 하우징 청소. 베어링 보호를 위한 씰 설계의 향상 또는 마멸된 씰 교체.
6	베어링 하우징에 부식인자 유입. (물, 산, 페인트 등)	이물질 방지를 위하여 Shrouder와 Flinger의 추가.
7-8-9 41-51	하우징 보어 비원형. 하우징의 경사. 하우징의 과도한 비틀림. 하우징 보어 치수 과소.	베어링 편칭을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검, 스kra핑 한다. 페데스탈 면이 Flat한지 확인하고 Pillow Block Base 전면적에 Shim을 심는다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 7-8-9-41-51
10	베어링 조립전에 베어링 하우징으로 부터 먼지 및 칩(Chip)등의 제거 불 량.	하우징 청소 및 새 윤활유 사용.

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책
11	베어링에의 공기흐름에 의한 오일 누설	공기흐름 방향 전환 위한 적절한 Baffle 설치
15	설치 불량	베어링의 축 하중을 감소시키기 위해 개스킷을 하우징과 커버 플랜지 사이에 삽입. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 15
16 23-24	동일축에 2개의 베어링 존재. 과도한 축 팽창	하우징중 1개의 커버를 벗기고 외부링의 적절한 간극과 원할한 축 베어링 움직임을 허용하기 위해 shim(Shim)을 사용. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 16-23-24
17-18	축 직경이 너무 작음. Adapter가 충분히 조여지지 않음	축을 적절히 맞추기 위해 육성 및 재연마. 축을 견고히 잡아주기 위해 Adapter를 조임. 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 17-18
19	어댑터의 과도 조임	조임 너트(Locknut)와 슬리브 어셈블리를 느슨하게 함. 축상의 슬리브를 고정하기 위해 충분히 다시 조여주나 베어링이 자유롭게 터닝 됨을 확인해야 함. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 19
20	하우징 분할부에서의 오일 누설 과도한 윤활유 손실	심각하지 않으면 얇은 개스킷 시멘트 사용. 심은 사용 불가. 필요하다면 하우징 교체
		
21-52	힘의 불평형. 하우징 보어(Bore)가 너무 큼	기계의 재 발란싱 실시. 적절한 보어를 갖는 하우징으로 교체. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 21-52
25-26	베어링에 불균일 하중 분포	적절한 끼워 맞춤이 되기 위해 축, 하우징 재작업 또는 축, 하우징 둘 다 재작업. 새축과 베어링 필요
		
27	충격힘을 유발하는 솔더 지지 부적절	응력완화를 위한 축, 필렛, 재가공. 솔더 칼라 필요.
29	외륜을 Cocking하는 힘에 기인한 하우징 지지 부적절	응력완화를 위한 축, 필렛, 재가공. 솔더 칼라 필요.
		
28	베어링 쉘과 축 솔더와의 마찰	쉘에 간섭되지 않도록 축의 솔더를 재가공 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 28
30	베어링 쉘의 뒤틀림	쉘이 간섭되지 않도록 하우징 솔더 재가공 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 30
31	축과 내륜의 뒤틀림. 베어링 내륜의 불균일 팽창	적정 지지를 얻기 위해 축 필렛의 재가공.
32	하우징과 외륜의 뒤틀림. 베어링 내륜의 불균일 팽창.	적정 지지를 얻기 위해 하우징 필렛의 재가공.
		
33-40	회전 쉘과 정지부와의 마찰	마찰을 경감하기 위해 회전 쉘의 운전간극 검토. 축정렬 교정. 그림 참조 - 불만족사항 "A" 조건 13-33-40

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책	
34	오일레벨의 부정확. 결과 : 베어링 윤활유 부족.	오일 게이지 통기구멍 막힘 청소. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 34	
35-36	2개 이상의 베어링, 2개 이상의 축 연결 시스템에 대한 축 정렬 불량	Pillow Block에 Shim을 넣어 축 정렬 교정. 한 축상에 있는 경우 축은 직선으로 연결여부 확인. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 35-36	
37-38	일정 오일 레벨 컵의 부적절한 설 치.	오일 레벨은 롤러나 볼 최하단 중앙선을 초과하지 않도록 조정. Sight Glass를 갖는 일정 레벨 oiler로 교체. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 37-38	
42	설치방법의 부정확함. 베어링에 햄머링	새 베어링으로 교체. 설치시 베어링 어느 부분에도 햄머링 하지 말 것. 축을 견고히 잡아주기 위해 Apapter를 조임	
44	과다하게 낡은 가죽(또는 복합재 료) 또는 라비린스 씰 결과 : 윤활유 손실, 베어링 내부 에 먼지 유입	베어링을 철저히 플러 싱(Flushing)한 후, 씰 교체하고 새 윤활유로 채움	
47	축, 하우징 솔더와 록-너트 면이 베어링 시트와 직각도가 맞지않음	직각도를 확보하기 위해 부품 재가공	
50	베어링 시트 직경이 너무 크게 가 공하면 베어링 내륜이 과도 팽창되 어 베어링 간극이 감소함.	베어링 내륜과 축사이의 적절한 끼워 맞춤을 위하여 축을 연마 함.	
53	연한 금속으로 인한 하우징 보어의 연타(pounding out) 결과 : 보어 확장으로 하우징내 외 부링의 spinning 현상을 가져옴.	하우징의 재 보링 작업과 보어내의 강부싱의 밀착. 적절한 치수로 부싱 보어 가공.	
진동 불만족사항 "D"			
5	베어링 하우징에 이물질 유입 (먼지, 모래, 카본 등)	베어링 하우징 청소. 베어링 보호를 위한 씰 설계의 개선 또는 마멸된 씰 교체	
6	베어링 하우징내로의 부식 인자 (물, 산, 페인트 등)의 유입	이 물질 방지를 위하여 shroud 또는 flinger 추가.	
7-8 9-41	하우징 보어 비원형 하우징의 경사 하우징의 과도한 비틀림 하우징 보어 치수 과소	베어링 핀칭을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검, 스크래핑한 다. 페데스탈 면이 flat한지 확인하고 pillow block base 전 면적에 shim(shim)을 심는다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 7-8-9-41-51	
10	베어링 조립전에 베어링 하우징으 로부터 먼지 및 칩(chip)등의 제거 불량	하우징 청소 및 새 윤활유 사용.	
17-18	축 직경이 너무 작음. Adapter가 충분히 조여지지 않음	축을 적절히 맞추기 위해 육성 및 재연마. 축을 견고히 잡아주기 위해 Adapter를 조임. 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 17-18	

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책
21-52	힘의 불평형. 하우징 보어(bore)가 너무 큼	기계의 재 발란싱 작업. 적절한 보어를 갖는 하우징으로 교체. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 21-52
22	skidding에 의한 볼이나 롤러에서의 평평함.	볼이나 롤러를 점검. 표면의 편편한 지점을 조사. 베어링 교체
25-26	베어링에 불균일 하중 분포	적절한 끼워 맞춤이 되기 위해 축, 하우징 재작업 또는 축, 하우징 둘 다 재작업. 새축과 베어링 필요 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 25-26
27	축굽힘에 의한 솔더 지지 부적절	응력완화를 위한 축 필렛 재가공. 솔더 갈라 필요 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 27
29	바깥링 휨에 기인한 하우징지지 부적절	응력완화를 위한 하우징 필렛 재가공. 솔더 갈라 필요 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 29
31	축과 내륜의 뒤틀림. 베어링 안쪽 링의 불균형 팽창	적정 지지를 얻기 위해 축 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 31
32	외부 하우징과 링의 뒤틀림. 베어링의 편칭	적정 지지를 얻기 위해 하우징 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 32
35-36	2개 이상의 베어링, 2개 이상의 축 연결 시스템에 대한 축 정렬 불량	Pillow Block에 Shim을 넣어 축 정렬 교정. 한 축상에 있는 경우 축은 직선으로 연결여부 확인. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 35-36
42	부정확한 설치 방법 베어링에 대한 햄머링	새 베어링으로 교체. 설치시 베어링 어느 부분에도 햄머링 금지
45	베어링의 과다 간극으로 진동유발	추천 내부 간극을 갖는 베어링을 사용
46	기계의 진동	회전부품의 밸런스 점검. 기계의 재 밸런싱
53	연한 금속으로 인한 하우징 보어의 연타(pounding out) 결과 : 보어 확장으로 하우징내 외부링의 spinning 현상을 가져옴.	하우징의 재 보링 작업과 보어내의 강부싱의 밀착. 적절한 치수로 부상 보어 가공
기기 불만족 성능 불만족사항 "E"		
4	외부 열이 축으로 전도되어 베어링이 과도하게 팽창되는 조건인 부적절한 내부 간극을 갖는 베어링 선정	교체 베어링은 적절한 내부 간극을 갖는 원래의 베어링과 같은 식별표시를 가져야함. 베어링 식별표시가 불명확한 경우 SKF 검토.
5	베어링으로 이 물질(먼지, 모래, 카본 등)의 유입	베어링 하우징 청소. 마모된 씰의 교체 또는 베어링 절절히 보호를 위한 씰 설계 개선
6	베어링 하우징내로의 부식 인자 (물, 산, 페인트 등)의 유입.	이 물질 방지를 위하여 shroud 또는 flinger 추가.
7-8-9 41-51	하우징 보어 비원형 하우징의 경사 하우징의 과도한 비틀림 하우징 보어 치수 과소	베어링 편칭을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검, 스크래핑한다. 페데스탈 면이 flat한지 확인하고 pillow block base 전면적에 shim을 심는다. 그림 참조, 불만족사항 "A", 조건 7-8-9-41-51
10	베어링 조립전에 베어링 하우징으로부터 먼지 및 칩(chip)등의 제거 불량	하우징 청소 및 새 윤활유 사용

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책
16 23-24	동일축에 2개의 베어링 존재 과도한 축 팽창	하우징중 1개의 커버를 벗기고 외부링의 적절한 간극과 원활한 축 베어링 움직임을 허용하기 위해 shim(shim)을 사용 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 16-23-24
17-18	축 직경이 너무 작음. Adapter가 충분히 조여지지 않음	축을 적절히 맞추기 위해 육성 및 재연마. 축을 견고히 잡아주기 위해 Adapter를 조임. 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 17-18
19	어댑터의 과도 조임	조임 너트(locknut)와 슬리브 어셈블리를 느슨하게 함. 축상의 슬리브를 고정하기 위해 충분히 다시 조여주나 베어링이 자유롭게 터닝 됨을 확인해야 함. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 19
21-52	힘의 불평형. 하우징 보어(bore)가 너무 큼	기계의 재 발란싱 작업. 적절한 보어를 갖는 하우징으로 교체. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 21-52
22	skidding에 의한 불이나 롤러에서의 평평함.	불이나 롤러를 점검. 표면의 편편한 지점을 조사. 베어링 교체
25-26	베어링에 불균일 하중 분포	적절한 끼워 맞춤이 되기 위해 축, 하우징 재작업 또는 축, 하우징 둘 다 재작업. 새축과 베어링 필요 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 25-26
27	축굽힘에 의한 솔더 지지 부적절	응력완화를 위한 축 필렛 재가공. 솔더 칼라 필요. 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 27
29	바깥링 휨에 기인한 하우징지지 부적절	응력완화를 위한 하우징 필렛 재가공. 솔더 칼라 필요. 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 29
31	축과 내륜의 뒤틀림. 베어링 안쪽 링의 불균형 팽창	적정 지지를 얻기 위해 축 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 31
32	외부 하우징과 링의 뒤틀림. 베어링의 편칭	적정 지지를 얻기 위해 하우징 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 32
35-36	2개 이상의 베어링, 2개 이상의 축 연결 시스템에 대한 축 정렬 불량	pillow block에 shim을 넣어 축 정렬 교정. 한 축상에 있는 경우 축은 직선으로 연결여부 확인. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 35-36
39	베어링과 prong과의 마찰	조임 와셔 제거 : prong의 교정 또는 새로운 와셔로의 교체 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 39
42	부정확한 설치 방법 베어링에 대한 햄머링	새 베어링으로 교체. 설치시 베어링 어느 부분에도 햄머링 금지
45	베어링의 과도 간극으로 진동유발	추천 내부 간극을 갖는 베어링을 사용
46	기계의 진동	회전부품의 밸런스 점검. 기계의 재밸런싱
47	축, 하우징 솔더와 록-너트 면이 베어링 시트와 직각도가 맞지않음	직각도를 확보하기 위해 부분 가공
50	베어링 시트 직경이 너무 크게 가공하면 베어링 내부링이 과도 팽창되어 베어링 간극이 감소함.	베어링 내부링과 축사이의 적절한 끼워 맞춤을 위하여 축을 연마함.
53	연한 금속으로 인한 하우징 보어의 연타 (Pounding out) 결과 : 보어 확장으로 하우징내외 부링의 spinning 현상을 가져옴.	하우징의 재 보링 작업과 보어내의 강부싱의 밀착. 적절한 치수로 부싱 보어 가공

전형적 조건에 대한 코드	이유	실질적 해결책
베어링 이완 불만족사항 "F"		
17-18	축 직경이 너무 작음.	축을 적절히 맞추기 위해 욱성 및 재연마 축을 견고히 잡아주기 위해 Adapter를 조임 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 17-18
48	축위 베어링 시트의 Knurling 또는 센터 펀칭	하중작용시 high spot이 평평하게되므로 끼임 맞춤이 느슨해질 때 축을 욱성하고 적절한 치수로 재가공함
축 터닝이 어려움 불만족사항 "G"		
1	윤활상태 파괴하는 불량 그리스 또는 오일의 잘못된 사용	신뢰있는 윤활유 제작자와 상의하여 적절한 것 선택. SKF 카탈로그를 점검하여 오일 또는 그리스사용 여부 결정.
2	오일레벨 low. 씰 통해 윤활유 상실. 하우징내 그리스 불충분	오일레벨이 베어링내 가장 아래에 있는 볼 또는 롤러의 중앙 바로 아래에 있어야 함. 그리스를 사용해서 Pillow block의 하반부가 전체의 ½ ~ ¾에 오도록 한다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 2
3	하우징이 그리스로 꽉 차있거나 오일 레벨이 너무 높아 윤활유 churning과다, 높은 운전온도, 오일 누설 야기.	하우징의 하반부만이 full그리스의 ½ ~ ¾ 되도록 purge한다. 오일 윤활제를 사용하여 제일 아래 볼 또는 롤러의 중앙 바로 아래 오도록 레벨을 감소시킨다 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 3.
4	외부열이 축을 통해 전도되어 내륜이 과도하게 팽창되는 상태인 불충분한 내부 간극을 갖는 베어링 선택.	교체 베어링은 적정 내부 간극을 얻기 위해 원래 베어링과 같이 동일한 식별표시(마킹)를 가져야 한다. 베어링의 식별표시를 모르는 경우 SKF를 점검확인.
5	베어링 하우징에 이물질 유입 (먼지, 모래, 카본 등)	베어링 하우징 청소. 베어링 보호를 위한 씰 설계의 향상 또는 마멸된 씰 교체
6	베어링 하우징에 부식원 유입 (물, 산, 페인트 등)	외부문제를 없애기 위한 shrouder와 flinger의 부가
7-8 9-41 51	하우징 보어 비원형 하우징의 경사 하우징의 과도한 뒤틀림 하우징 보어 치수 과소	베어링 펀칭을 완화하기 위해 베어링 보어를 점검, 스크래핑한다. 페데스탈 면이 flat한지 확인하고 pillow block base 전면적에 shim을 심는다. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 7-8-9-41-51
10	베어링 조립전에 베어링 하우징 으로부터 먼지 및 칩(chip)등의 제거 불량	하우징 청소 및 새 윤활유 사용

전형적 조건에 대한 코드	이 유	실질적 해결책
12	과도한 스프링 인장력이나 윤활 되지 않는 가축 또는 합성 썰.	스프링 인장력이 약한 가축 또는 합성 썰로 교체. 썰 윤활. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 12
13 33-40	고정부와 썰과의 마찰.	마찰 경감을 위한 간극 점검. 축 정렬 교정. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 13-33-40
15	설치 불량	베어링의 축 하중을 감소시키기 위해 개스킷을 하우스징과 커버 플랜지 사이에 삽입시킴. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 15
16 23-24	동일축에 2개의 베어링 존재. 과도한 축 팽창	하우스징중 1개의 커버를 벗기고 외륜의 적절한 간극과 원활한 축 베어링 움직임을 허용하기 위해 시임(Shims)을 사용함. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 16-23-24
19	어댑터의 과도 조임	조임 너트(locknut)와 슬리브 어셈블리를 느슨하게 함. 축상에 있는 클램프 슬리브의 적절한 재조임 작업을 실시하며 베어링 움직임이 자유로워야 함. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 19
39	베어링과 prong과의 마찰	조임 와셔 제거 : prong의 교정 또는 새로운 와셔로의 교체 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 39
27	축굽힘에 의한 솔더 지지 부적절	응력완화를 위한 축필렛 재가공. 솔더 갈라 필요. 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 27
29	바깥링 힘에 기인한 하우스징지지 부적절	응력완화를 위한 하우스징 필렛 재가공. 솔더 갈라 필요. 그림 참조 - 불만족사항 "C", 조건 29
30	베어링 썰의 뒤틀림	썰이 간섭되지 않도록 하우스징 솔더 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "B", 조건 30
31	축과 내륜의 뒤틀림. 베어링 안쪽 링의 불균형 팽창	적정 지지를 얻기 위해 축 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 31
32	외부 하우스징과 링의 뒤틀림. 베어링의 편칭	적정 지지를 얻기 위해 하우스징 필렛의 재가공. 그림 참조 - 불만족사항 "C" 조건 32
35-36	2개 이상의 베어링, 2개 이상의 축 연결 시스템에 대한 축 정렬 불량	pillow block에 shim을 넣어 축 정렬 교정. 한 축상에 있는 경우 축은 직선으로 연결여부 확인. 그림 참조 - 불만족사항 "A", 조건 35-36
47	축, 하우스징 솔더와 록-너트면이 베어링 시트와 직각도가 맞지않음	직각도를 확보하기 위해 부분 가공
50	베어링 시트 직경이 너무 크게 가공하면 베어링 내부링이 과도 팽창되어 베어링 간극이 감소함.	베어링 내부링과 축사이의 적절한 끼워 맞춤을 위하여 축을 연마함.