

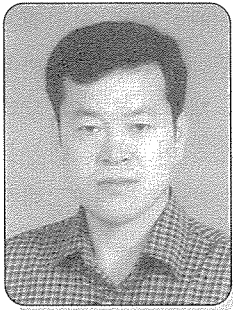
III. 결 론

경영여건상 장기 사용한 기계설비를 점차 수명연장하여 투자비를 줄이는 추세에 있으며 또한 계획예방 정비주기를 장기화하고 있으므로 더욱 정확한 안전진단 및 상태평가 기술이 절실히 요구되고 있다. 국내외에서 계속적으로 개발되고 있는 수명관리, 평가, 정밀진단 신기술은 최적의 운전, 점검, 정비절차, 주기를 통하여 발전소의 건설, 운전, 정비비용을 절감하는데 기여할 것으로 기대된다. 또한 터빈 로타, 펌프 등 핵심설비의 조기 교체 등을 방지하므로 투자비를 줄일 수 있다. 운전 이력의 추적과 재료물성의 개선된 데이터 베이스를 통하여 on-line monitoring의 이용 확대를 추진하므로 상태 평가를 계속적으로 추적

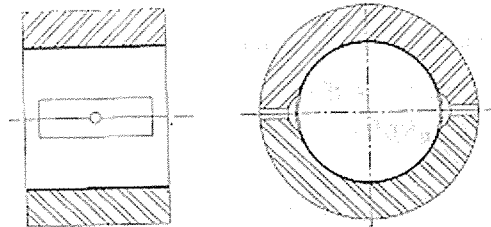
관리할 필요가 있다.

상기에서와 같은 지속적인 노력은 물론 수명관리 사업에 있어서 현장을 운영하는 부서등과 관련 유관기관등이 더욱 긴밀한 협조체제를 구축하여 최선을 다하므로써 장기사용 기계설비의 신뢰성, 안전성, 효율성, 유용성 등을 극대화 하는데 최선의 노력을 다해야 할 것이다. 한전 전력연구원 수명평가 연구팀(www.kepri.re.kr/life)은 수명평가와 관리에 대한 연구를 20여년간 계속 수행하고 있으며 현재는 국가지정 연구실로서 국내 산업 전반에 대하여 기술을 파급시키고자 노력하고 있다.

터빈 베어링의 특성과 개론



한전기공(주)
전문원실 터빈팀
터빈전문원 윤정태
Tel : (031)710-4378



plain cylindrical 또는 two-groove베어링은 매우 흔한 형태이고 가장 널리 사용되는 형식의 베어링이다. 이는 수하부에 어떤 형태의 그루브에 의해서 유막의 중단이 없으므로 부하수용능력이 꽤 높다. 그러나 이 형태의 베어링의 최대 단점은 경부하에서 오일휩 현상이 쉽게 발생된다. 현재 있는 베어링 중 가장 안정성이 취약한 베어링이다.

예를 들면 고속운전 및 대용량의 베어링의 경우 타원형 베어링보다 유막의 온도가 훨씬 더 높기 때문에 정상적인 설계에서는 속도가 증가할수록 저널의 직경은 감소시킨다.

수평분활면에 위치한 오일 그루브의 과도한 끝단, 삼각형의 드레인 챔퍼(triangular drain chamfer)는 냉각오일(cool oil)를 축상에 회전하지 않고 드레인되는

TYPES OF BEARINGS-JOURNAL

Cylindrical Bearings

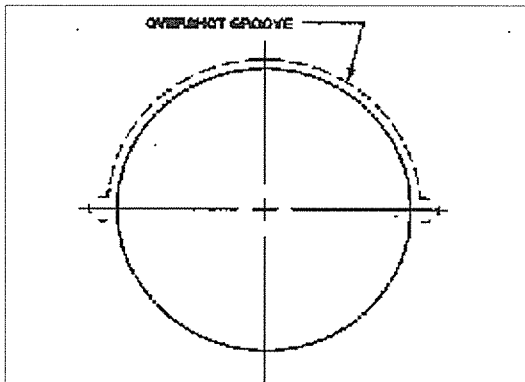
Plain cylindrical베어링은 원통형 베어링의 기준형이다. 이 베어링은 베어링의 horizontal split면에 윤활유를 유도할 목적으로 axial groove 또는 depression이 있음에도 불구하고 수하부에 grooving이 없는 형태로서 단순한 형태이다. 이 베어링을 two-groove베어링이라고도 한다.

데 이 냉각오일은 hotter오일과 혼합되어 드레인 오일의 온도를 낮게 지시한다.

cylindrical 베어링의 개선은 overshot cylindrical베어링으로 상부베어링에 원주상의 그루브를 가공하는 형태인데 이 그루브는 냉각오일을 저널위로 흐르도록 하여 베어링을 냉각시켜주며 또한 동력손실을 감소시켜서 적절한 드레인온도를 유지하여 고속운전범위에서도 채택되도록 한다. 또 부가적으로 공급된 오일에 의해서 실제 최고유막의 온도를 다소 낮추는 작용을 함으로써 수하부의 온도를 감소시키는 역할을 한다.

다른 형태의 plain cylindrical베어링으로 상하부의 베어링에 원주상의 그루브를 가공하는 형태로 유효수하부의 면적을 감소시켜서 단위면적당 부하용량(평균면압력)를 증가시켜서 베어링의 stability를 증가시킨다.

Cylindrical베어링은 기어장치 베어링에 많이 사용되는데 이는 tooth action으로 인하여 부하상태의 변화에 따라서 부하의 방향이 심하게 변하는 곳에 널리 이용된다. 최근의 대용량 터빈에서는 원통형 대신 타원형 베어링으로 대체되고 직경이 작은 베어링 또는 경부하에서는 압력형 또는 Axial groove형으로 대체되고 있다. 그러나 소형터빈의 경우 원통형 베어링을 채택하고 있다.



Pressure Bearings

압력형 베어링은 GE사의 터빈에 널리 사용하였다. 이 베어링은 원통형 베어링을 개선한 형태로 경부하에서 많이 사용되는데 여러해 동안 베어링의 불안정성(instability)의 문제점의 해결책으로 간주되었다. 이 베어링은 소구경 베어링으로 주로 사용되었는데 많은 경우에서 axial groove설계로 대체되고 있다.

압력형 베어링은 상반구의 베어링에 overshot와 유사한 groove가 가공되어 있는데 이는 일반적인

overshot와는 달리 베어링의 수직선에 약 45°방향에 날카로운 끝단의 Dam이 가공되어 있다.(그림-13 참조) 양쪽의 horizontal split joint부에 두 개의 오일그루브를 통하여 오일이 공급되어지도록 했다.

축의 회전운동으로 윤활유는 그루브를 따라서 흐르고 dam에 의해서 정지한다. 이 정지된 오일은 점도 및 dynamic영향에 의해서 높은 압력을 형성하는데 이는 오일의 운동에너지(k-inetic energy)가 댐에서 압력에너지(static pressure head)로 변환되기 때문에 이루어진다. 이 압력은 저널의 부하를 높여주어 시스템의 안정성을 도와준다.

댐에서의 압력측정값은 100psi이상의 지시치에 도달한다. 이 영역에서 압력분포는 위치에 따라서 다양한데 운전상태에 따라서 이 압력이 저널상에 작용하는데 베어링의 평균면압력이 20~50psi정도 증가한다.

상반부 베어링의 groove폭은 베어링 폭의 약 1/2정도이고 깊이는 설계 조건에 의해서 계산되는데 일반적으로 0.02인치에서 0.03인치정도이다.

압력형 베어링의 다른 개량된 베어링으로 수하부에 좁은 groove를 채찍한 베어링설계인데, 이 groove는 수하부의 유효면적을 감소시켜서 평균면압력을 증가시켜서 베어링의 안정성을 높여주지만(수하부의 압력 profile는 저널의 편심성을 감소) 부하용량은 감소한다.

압력형 베어링은 plain cylindrical베어링을 실질적으로 개선한 형태로 일반 운전특성은 동일하다. 상반부의 groove는 경부하에서 안정성을 개선하였지만 오직 정해진 방향에서만 유효한 구조로 되어 있다. 대부분의 원통형 베어링처럼 부하용량은 매우 높다. 그래서 이 베어링은 경부하가 존재하는 곳에서 많이 채택하고 있다. 높은 부하능력이 약간의 장점으로 작용하고 있다.

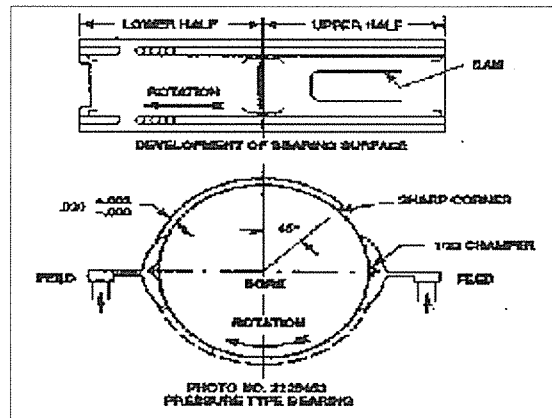


Figure 13. Pressure Type Bearings

압력형 베어링은 원통형 베어링 또는 타원형 베어링의 오일 휩의 발생을 억제할 목적의 설계에도 불구하고 어떤 부하영역에서 오일휩에 노출되어 있다. 이는 댐에서 형성된 압력이 축의 불안정성을 효과적으로 제어할 만큼 충분한 크기가 아니기 때문이다.

압력형 베어링의 최대 단점은 댐에서 오일 flow에 의한 침식현상과 이물질이 이 부분에 포집되어서 침식 또는 fretting현상이 발생된다. 이와 같은 작용으로 댐의 전체 영역이 완전하게 마멸되는 경우도 발생된다.

이 베어링은 대용량의 터빈에서는 거의 사용치 않고 다른 형태의 베어링으로 대체되고 있다. 소형 터빈의 경우 아직도 채택되고 있다. 덧붙혀 1940년대, 50년대 초기 터빈의 설계에 이 베어링이 채택되었다. 따라서 압력형 베어링은 터빈의 수리 및 서비스부분에서 마주치는 기회가 있을 것이다.

Elliptical Bearings

타원형 베어링은 타원형 형태의 bore로 가공되어 있다. 실제 이 보어는 완전한 형태의 타원형이 아니라 두 개의 원통을 갖고 있다. 보어 가공시 split joint 부에 씬을 넣어 보어를 가공한 다음 씬을 제거하면 수직방향의 오일 간극보다 수평방향의 오일 간극이 넓은 타원형태의 보어가 가공된다. 설계 오일간극제한치는 수직오일 간극치이고 수평오일간극은 수직오일간극의 거의 2배에 가깝다.

타원형 베어링의 통과유량은 동일 오일 갭의 원통형 베어링에 비하여 많다. 일반적으로 온도의 문제까지 고려, 오일간극의 변화에 매우 둔감하며 부하수용능력이 매우 높다. 현존하는 베어링 중 운전 유막의 온도가 가장 낮은 베어링의 형태이다. 이 베어링은 대구경의 베어링에 반드시 채택되고 낮은 유막의 온도가 요구되는 고속 베어링에 채택되고 있다.

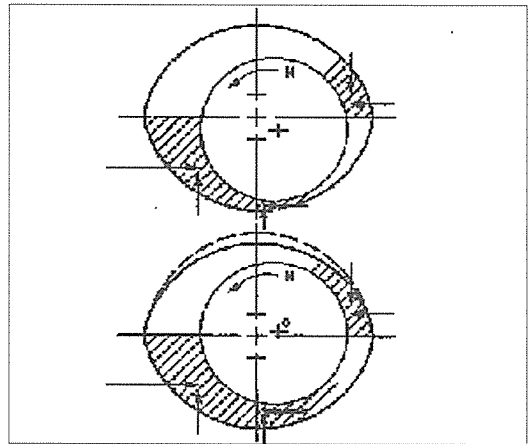
타원형 베어링의 또 다른 개선안으로 타원형 overshoot베어링이다. 이는 원통형 overshoot베어링처럼 베어링의 상반부에 overshoot를 가공하여 베어링의 냉각에 기여한다. overshoot groove설계는 베어링 종류의 한 분류가 아니라 기존 타원형 베어링의 개선안이다. overshoot groove의 주된 목적은 통과유량의 확대, 운전 유막온도 강하이다. 만일 점도의 변화(유막온도의 강하에 따르는)를 무시한다면 이 원주상의 groove

(overshot)는 동력손실을 감소시킨다. 그러나 실제의 경우 상부 overshot의 간극확대에 따른 동력손실의 감소분은 점도증가와 완전유막의 형성에 따른 손실과 상쇄된다.

타원형 overshoot베어링은 상반부 베어링에서 온도의 강하가 이루어지지만 상부 overshot를 통과하는 오일은 축을 냉각시켜주어 간접적으로 하반부 베어링의 최고 유막온도부를 낮추어준다.

타원형 베어링은 높은 편심율을 갖고 있다. 타원형 베어링에서 유막압은 빠르게 형성된다. 이는 타원형 베어링의 높은 수렴현상(convergence)에 기인된다.

또 trailing groove를 지닌 상부베어링에서 유막이 형성되는데 그 크기는 크지 않으므로 대부분의 경우 무시한다.



위의 그림처럼 타원형 베어링의 유막웨이지는 하부 좌측(제3사분면)에 형성되어 있으며 등가 원통형 베어링의 수렴현상(convergence) 보다 훨씬 더 높다. 그러므로 이 압력은 높고, 좌측에서 작용되는 힘과 평형을 유지할 수 없는 큰 힘(우측 방향으로)을 발생시킨다. 그러므로 저널이 상부로 부상하고 우측으로 더 이동한다. 상부(1사분면)와 하반부 우측(4사분면)에서 작용하는 힘(squize 현상)이 발생하여 평형상태로 접근한다.

또 타원형 overshoot베어링의 상부측 베어링의 유막은 오일 그루브에 의해서 일부분이 파괴되므로 상부측 유막압은 감소되고 축의 평형점은 등가의 타원형(원통 보어) 베어링보다 위쪽에 위치한다.

보편적으로 타원형 베어링은 동급의 원통형 베어링보다 안정적이다. 그러나 안정성이 가장 우수한 것은 아니다. 타원형 베어링은 주로 고하중의 대구경 베어링으로 채택되며, 가끔 경부하에도 사용된다

그림 14는 전형적인 타원형 overshot베어링의 간략도면이다. horizontal split joint부에는 오일 유입groove와 드레인 오일의 흐름을 감시할 목적으로 오일을 포집하는 그루브가 있다. 그림 14는 수하부의 면적을 감소시켜서 평균면압력을 증가시킬 목적으로 하반부 또는 수하부에 groove가 있는 형태의 타원형 overshot베어링이다. 이러한 형태는 정상적인 베어링설계는 아니다.

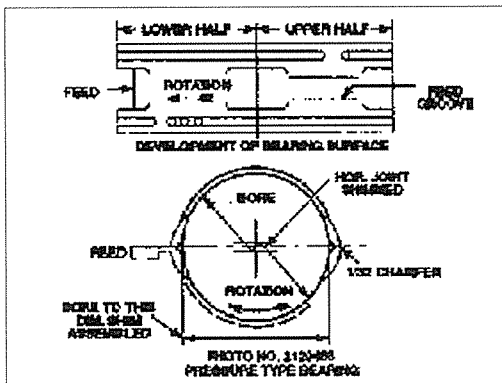


Figure 14. Elliptical Bearings

Axial Groove Bearings

Axial Groove Bearing은 명칭에서 의미하는 것처럼 축방향으로 평행한 그루브를 베어링에 몇 개 설치한 베어링이다. 이러한 설계는 주로 원통형 베어링에서 채택되고 타원형 베어링에서도 간혹 채택된다. 그루브의 수는 전 원주상에 4~6개 정도이고 고르지 않게 분포되어 있다.

그림 15는 전형적인 Axial 4-groove 원통형 베어링의 간략한 도면이다. groove의 불균일한 spacing은 레몬형태의 수력학적 유막압을 베어링 둘레에 형성한다. 이러한 특성은 실험을 통하여 운전 중 저널의 안정성을 향상시키는 것으로 나타났다.

최근에는 주로 9인치 이하의 베어링의 설계에 축의 안정성이 우수한 axial groove구조의 채택하고 있다.

그림 15에서 보는 것처럼 그루브에 오리피스가 포함되어 있어 오일 공급은 각 그루브에 독립적으로 이루어진다. 일반적으로 오리피스의 위치는 그루브의 중앙에 위치하는데 오리피스의 축방향 위치변화는 베어링의 성능에 영향을 미치지 않는다.(오리피스의 위치에 관계없이 그루브에서 유막압은 거의 일정하다.)

실험에 의하면 그루브의 깊이는 베어링의 운전에 거의 영향을 미치지 않는다. 그루브의 깊이는 간혹

1/8인치 이상으로 설계할 경우도 있는데 보편적으로 베어링의 두께의 최소치로 한다. 그루브의 폭은 베어링의 부하수용능력에 직접영향을 미치므로 매우 중요하다. 단 그루브폭의 제한은 하부베어링에만 적용된다. 각 그루브의 top blend반경은 그루브의 폭만큼 부하수용능력을 저하시킨다. 이는 베어링의 높은 편심율과 오일의 유막두께를 감소되기 때문이다. 설계시 blend 반경을 작게 한다. 그리고 그루브의 날카로운 끝단은 허용하지 않는다.

axial groove베어링의 groove의 전체 길이 중 양끝의 1/8인치 부분은 삼각형의 chamfer를 갖는 구조로 되어 있다.(그림 15의 종단면도 참조) 이 chamfer는 총 유량의 약 30~60%를 조정한다. 그루브 끝단에 chamfer를 가공하지 않은 경우(역주 : 그루브를 베어링의 끝단까지 가공한 경우) 드레인 온도는 상승한다. 역으로 말하면 그루브 끝단에서 유량의 제한을 받지 않으므로 드레인유량은 증가하여 냉각용 오일부족현상이 발생된다.

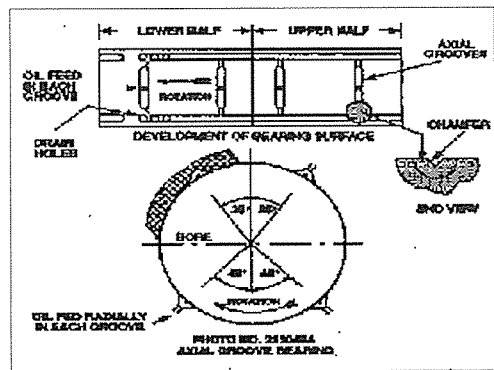


Figure 15. Axial Groove Bearings

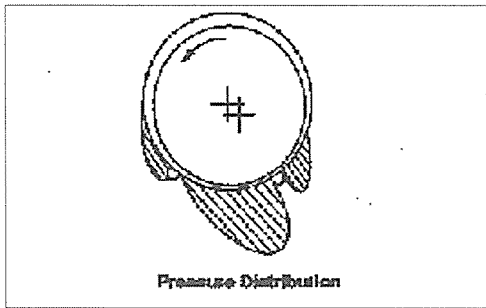
드레인 오일 chamfer는 그루브로부터 나오는 공급 오일과 베어링의 끝단을 따라서 흐르는 고온의 오일을 원주상의 드레인 그루브에서 혼합되어 드레인된다. 이와 같은 작용은 평균 드레인온도를 저하시키는 작용을 한다.

axial groove베어링의 드레인온도는 상승하였다면, 보편적으로 오일 chamfer의 크기가 너무 작거나 이 트라블은 오일 chamfer의 크기를 크게 수정되어진 경우이다. 오일 chamfer는 오일유량 및 베어링의 드레인 온도를 조정한다. 또 이 부분은 부적절한 유회 상태에서 저널의 scoring을 야기하는 이물질의 포집장소로 작용되기도 한다.

그루브가 없는 구조의 베어링에 비하여 axial

groove베어링은 높은 오일유막온도에서 운전되고 있다. 위의 그림은 수하부에 2그루브 구조의 axial groove베어링의 유막압의 분포이다. 유막이 그루브에 의해서 파괴되어 2부분의 유막압을 갖는다. 결과적으로 높은 저널편심율과 부하수용능력이 감소된다. 최소유막 두께는 작아지고 오일필름의 온도는 상승한다. 최적의 부하수용능력은 베어링의 설계시 부과된 최대허용부하값 보다 훨씬 더 크다.

그러므로 부하수용능력의 감소는 그렇게 큰 단점은 아니다. 그리고 높은 편심율은 약간의 "stiffen" 또는 운전중 안전성을 높여주는 결과를 갖는다.



실험에 의하면 원통형 axial groove베어링의 오일유량은 속도에 따라서 변화량이 매우 적다. 이 같은 특성은 다른 설계에는 없는 특징이다. total oil flow는 chamfer flow, 수력학적(pump action) 및 베어링의 기하학적형상 또는 clearance에 의한 flow로 구성된다. 오리피스에 의한 유량 조절은 후자의 흐름에 영향을 미치는 기하학적 factor 보다 전자의 면적이 작은 경우 조정한다.

실험에서 수하부 오일 그루브에 오일유량이 적게 공급되었다. 수하부의 오일 그루브는 축을 떠받치는 유막압에 의해서 영향을 받고 있으므로 이 유막압이 공급오일의 압력 보다 높아서 어떤 경우에는 입구측 groove로 역류되기도 한다. 이와 같은 이유로 하부 groove의 오일유량을 전체 공급유량의 30% 보다 적게 공급된다.

앞에서 언급한 오리피스 및 chamfer의 size는 베어링의 유막온도에 미치는 영향이 거의 없다. 베어링의 오일 갭이 증가되는 경우 어느 정도 유막온도를 개선 내지 악화시킬 수 있다.(앞에서 언급됨) 최고 유막온도부는 경부하에서는 groove의 trailing edge에서 발생되고 부하가 증가할수록 수직 중심선으로 이동하는데 설계부하에서는 수직 중심선에서 회전 방향쪽으로 25~30°에 위치한다. 최고 유막부의 온도는 부하 및

속도에 따라서 160°F~240°F사이에서 운전되는데 유막부 온도가 240°F 이상인 경우 좋은 design이라고 생각되지 않는다.

Axial groove 타원형 베어링은 대용량 터빈에 채택되고 구조는 6 grooves, 불균일 spacing이고 베어링의 중심에 위치한 원주방향의 groove 모든 groove를 연결하는 역할을 한다. 이 원주상의 groove(slot)는 axial groove원통형에 설치된 오리피스 역할을 한다.(각 groove에 독립적으로 설치된 orifice) 이 설계의 작동은 원통형 베어링과 유사하다. axial groove타원형 베어링은 공급유량의 증가로 베어링의 드레인온도가 낮아진다.

Tilting Pad Journal Bearings

틸팅패드베어링 또는 피벗 슈 베어링은 축의 안정성이 요구되는 경우 채택되고 있다.

베어링의 이름에서 의미하는 것처럼 패드베어링은 여러 개의 독립된 세그먼트 또는 슈로 구성되었다. 이러한 패드의 개수는 매우 다양한데 보편적으로 4~5 또는 6개의 pad로 배열되어 있다. 그림 16은 전형적 패드베어링이다. 4-segment 패드베어링은 상, 하부의 베어링에 각 2-segment pad가 장착되어 있다. 한편 5-segment pad베어링의 경우 4-segment와 6-segment pad베어링의 조합형으로 상 하부중 한쪽에 2-segment pad이면 그 반대편에 3-segment pad이다.

그림 16에서 보는 것처럼 각 개별의 segment는 배빛이 표면에 입혀져 있고, 각 패드의 축방향(옆쪽)에는 shoulder (side projection)가 있어 베어링의 케이싱의 lip(홈)에 fitting되어 축방향 및 반경방향으로 과도한 움직임을 방지한다.

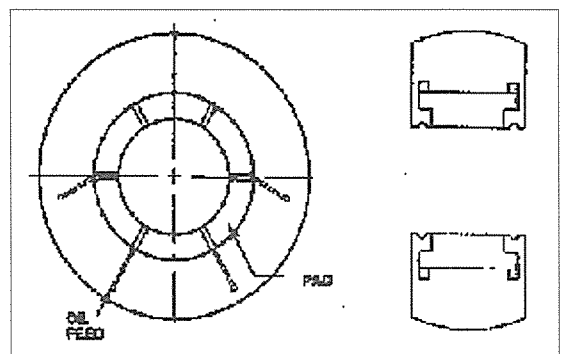


Figure 16. Tilting Pad Bearing

또 원주방향의 과도한 움직임은 locking pin에 의해서 구속되는데, 베어링 하우징을 관통한 pin은 패드에 가공된 hole속으로 삽입되고, hole의 직경이 pin의 직경보다 커서 고착(seizing)방지, 패드의 자유로운 tilting을 보장해준다. pad의 tilting 또는 rocking motion은 패드의 배면반경(back radius)와 하우징의 안쪽부분에서 선접촉으로 이루어지는데 이 선접촉은 pad의 배면반경(back radius)이 하우징의 안쪽의 반경보다 작기 때문에 선접촉이 형성된다.

pad를 설치하는 또 다른 방법은 독립된 block을 장착하는 것이다.(그림 17) 이 block의 반경은 보어와 동심을 이룬다. special block은 나사부로 pad와 체결된다. 앞서 기술한 내용과 마찬가지로 Block의 곡률반경은 하우징의 곡률반경보다 작아서 pad의 tilting 또는 rocking motion이 발생된다. 이 block은 shim을 삽입할 수 있어 베어링의 clearance를 조정할 수 있다.

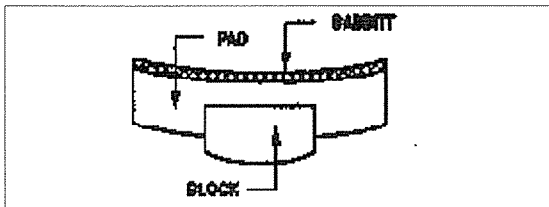


Figure 17

도면에서 나타난 것처럼 보편적으로 pad의 pivot은 중앙부에 설치되는데 이는 정·역방향의 움직임이 가능하도록 고려한 구조이다. 만일 한쪽방향만 고려한 경우 실제적으로 최적의 pivot위치는 pad의 총 길이중 leading edge로부터 60%위치이다.

정상적인 운전중 tilting pad베어링의 pad는 회전방향으로 기울어진 상태로 운전되고 이다. (그림 18 참조)

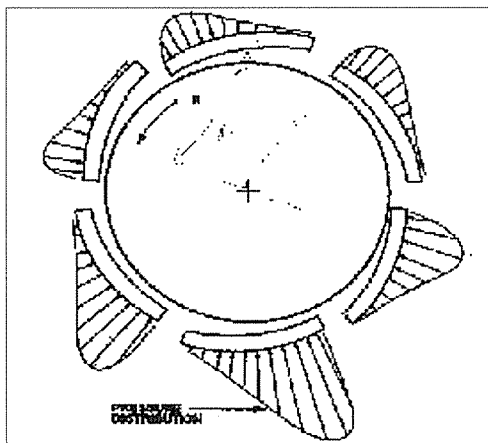


Figure 18. hydrodynamics of Tilting Pad Bearings

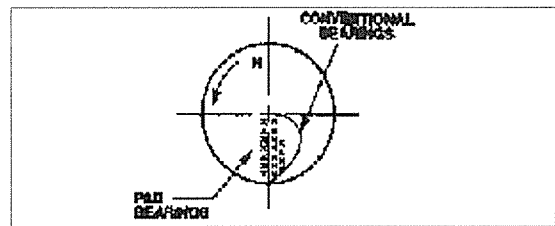
다른 베어링의 설계에 비하여 tilting pad베어링은 상부의 pad의 온도가 높다. 이는 상부 pad에 수력학적 부하(hydraulic loading)가 작용하기 때문이다. 부하 또는 오일의 간극이 증가할수록, 회전수가 감소할수록 저널은 아래로 떨어지므로 상부pad의 온도는 감소한다.

윤활방식은 베어링이 油槽(유조, flooded champer)속에서 운전되는 형태이다.

오일은 하우징에 가공된 hole을 통하여 pad segment사이를 흐른다. 베어링 밖으로 흐르는 오일의 양은 대부분 하우징 단면에 설치된 seal의 clearance에 의해서 좌우되고 일부는 하우징에 설치된 드레인 오리피스에 의해서 조정된다. flood lubrication은 저널과 pad사이로 유입되는 오일보다 pad 밖으로 유출되는 오일이 많고, 저널에서 발생하는 원심력으로 오일을 밖(반경방향)으로 내보내는 운동을 하여 오일의 유입을 방해한다. 오일의 교반(churning) 및 챔버 내에서 와류작용으로 동력손실이 발생되고 드레인온도를 상승시킨다. 이러한 이유로 tilting pad베어링은 더 많은 오일이 필요하고, 동력손실이 크다.

이 베어링은 폭이 작음에도 불구하고 부하수용능력은 재래식 베어링과 동급이다. 이는 하부에 위치한 2개 이상의 pad가 실질적으로 부하수용능력에 영향을 미치지 때문이다.

일반적으로 유막부의 온도가 재래식 베어링에 비하여 높다. 실제 틸팅패드베어링에서 유막온도가 가장 높은 부분이 재래식베어링보다 수직중심선에 가깝게 위치한다. 틸팅패드베어링의 설계는 system의 안정성에 도움을 주는 저널의 수평방향의 움직임을 매우 제한한다. 어떤 경우에는 저널의 중심이 수직중심선에서 왼쪽에 위치한다. (정격속도에서 재래식 베어링에서 dynamic loading이 발생되지 않기 때문에 축의 중심이 왼쪽에 위치할 수 없다.)



Locus of Shaft Center

경부하에서 상부 pad의 hydrodynamic loading은 본질적으로 베어링의 평균면압력을 증가시켜서 틸팅패

드베어링의 안정성을 강화하는 수단이 된다. 베어링의 안정성을 강화하는 또 다른 요소는 각 패드에서 발생하는 hydrodynamic film의 발생(그림 18참조, 꽃무늬)과 그 결과 생기는 전체pad의 유막압은 피벗을 통하여 반경방향으로(방사상의) 작용하여 축의 whirl를 발생시키는 접선방향의 힘을 억제하기 때문에 불안정성이 감소된다.

보편적으로 틸팅패드베어링의 제작은 배빗합금이 입혀진 링을 톱으로 절단하여 사용하므로 각 패드의 크기(arc)를 다르게 가공하기 어렵다. 특히 trailing edge - 제작시 끝단의 scrapping이 필요하다.(3/8인치 radius) 저널의 부하에 의해서 pad의 변형을 야기할 정도로 얇게 제작된 경우 베어링의 간극이 감소될 수 있다.

Pivot부에 fretting corrosion (brillnelling)이 발생하는데 과거의 경험에 의하면 이것의 영향은 심각하지는 않지만 계속운전에 대한 고려가 필요하다.

틸팅패드베어링 설계의 특성을 정리하면 베어링제작비가 재래식 베어링에 비하여 5배정도 고가이지만 축의 안정성이 요구되는 곳에 채택된다. 부품의 수가 많음에도 불구하고 anti-whip베어링으로 명성이 높지만 실험에 의하면 매우 경부하(거의 "0")에서는 whirl 현상이 발생되는데 베어링의 면압력이 20psi 이상이면 이러한 현상은 없어진다. 다른 타입의 베어링에서는 면압력이 약 75psi 이하에서는 이런 현상이 때때로 초래된다.

Summary

지금까지 다른 베어링 형태를 종합하면 아래 표와 같다. 운전조건은 3600rpm, 오일 갭은 저널직경의 13/1000이다.

TYPES OF BEARINGS-THRUST

Flat Land Thrust Bearings

flat land thrust베어링은 가장 단순하고 현존하는 가장 오래된 추력베어링이다. flat surface는 제작이 용이하고, 제작비가 싸다. 반경방향의 groove을 통하여 윤활유를 공급하여, 표면을 냉각시켜주며, 분할land를 만들어준다.

flat land thrust베어링의 부하수용능력은 극히 작으므로 때때로 추력흡수기(thrust absorber)의 역할보다는 주로 position로 채택되고 있다. 이 베어링은 오일 웨이지가 형성되지 않기 때문에 추력 수용량은 매우 적다. 그렇지만 약간의 misalignment, 오일 그루브에 radius를 제작하면 약간의 웨이지 작용(wedge action)이 형성되어 매우 작은양의 추력을 흡수할 수 있다. (보편적으로 5.3~7kg/cm², 10.5kg/cm²까지도 사용할 수 있다.)

Tapered Land Thrust Bearing

tapered land thrust bearing은 그림 19에서 보는 것처럼 flat land thrust베어링과 유사하다. 이 베어링의 표면은 오일 그루브에 의해서 pad(land)가 분할되며, 이 베어링의 구조는 각 pad(land)는 원주방향뿐만 아니라, 반경방향으로도 테이퍼가공되어 있다.

그래서 보편적으로 경사각과 마찬가지로 경사량도 pad의 바깥쪽 보다 안쪽이 크도록 가공하여 pad을 횡단하는 유량이 같게하여 오일온도를 동일하게 유지하도록 되어 있다. 경험에 의하면 이렇게 가공하지 않으면 불균일한 온도로 인하여 베어링의 표면에 distortion이 발생하는데 이는 high spot에서 마찰이 발생될 우려가 있다. taper부분은 pad길이에 80~90%정도로 가공하여 부하를 즉각적으로 수용할 수 있도록

부하수용능력	최고유막부의 온도	온도상승율	안정성	공급유량	동력손실	제작비용	오일간극 변화에 대한 민감도
Elliptical	Elliptical	Elliptical	Tilting Pad	Tilting Pad	Elliptical	Cylindrical	Axial Groove
Cylindrical	Cylindrical	Cylindrical	Axial Groove	Elliptical	Cylindrical	Elliptical	Cylindrical
Pressure	Pressure	Pressure	Pressure	Pressure	Pressure	Pressure	Pressure
Tilting Pad	Tilting Pad	Tilting Pad	Cylindrical	Cylindrical	Axial Groove	Axial Groove	Tilting Pad
Axial Groove	Axial Groove	Axial Groove	Elliptical	Axial Groove	Tilting Pad	Tilting Pad	Elliptical

되어 있다.

평면부 (flat area)는 저속에서 수력학적 유막 (hydrodynamic film)이 형성되기 전에 부하를 지지한다.

추력베어링의 pad의 수는 6개에서부터 2의 배수로 14개까지 다양하다. 직경이 작을수록 패드의 수도 작아지는데 tapered land베어링도 가공 및 조립의 용이성 때문에 같은 수로 제작한다. 그리고 horizontal split이 오일그루브에 위치하도록 한다. pad의 수량에 대한 설계는 pad의 size제한치에 의해서 결정된다.

일반적으로 pad pitch diameter에서 원주방향의 길이(폭)가 pad의 높이 보다 두 배 이상되지 않도록 설계되어진다. 이 제한치는 trailing edge 전단의 온도를 낮추기 위한 고려이고, 더 많은 오일이 전체표면에 펌핑되도록 허락한다.

pad사이의 groove의 size에 대한 제한은 없으나 일반적으로 깊이가 깊어지는 만큼 넓어진다. groove의 사이즈는 요구되어지는 오일의 유량이 통과할 만큼 충분히 크도록 제작한다. 외측의 끝단에 설치된 radial groove의 땀은 groove밖으로 누출되는 유량을 조절하기 위해서 설치된다.(그림 19참조) 이 땀의 사이즈는 inlet오일의 온도와 드레인오일의 온도차를 30°F가 되도록 가공한다.

내·외측의 경사각(taper)은 베어링의 성능 factor이

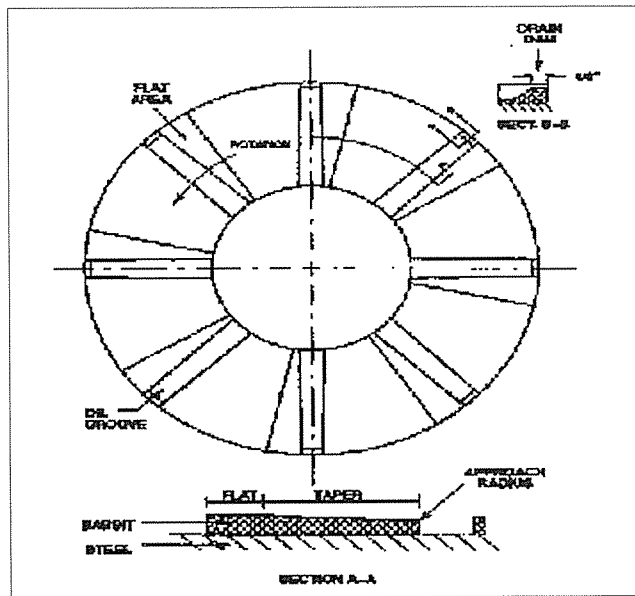
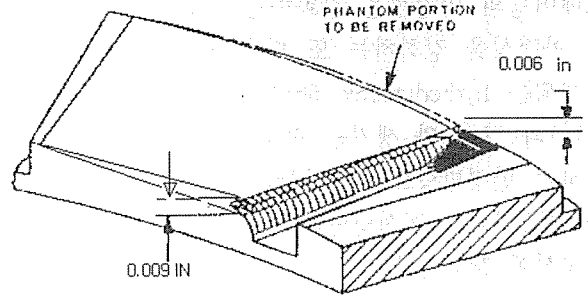


Figure 16. Tapered Land Thrust Plate

다. 일반적으로 작은 경사각은 유막의 두께가 두꺼워지고, 부하수용능력은 확대된다. 그러나 경사각은 설계부하용량 보다 크게 만든다. 이는 충분한 오일을



pumping하여 냉각하기 위함이다. pad가 클수록 요구되는 유량은 많아지므로 큰 경사각을 필요로 한다.

경사각이 선택되어지면 다양한 부하에서 유막의 두께가 계산되어지고 동력손실이 결정된다. tapered land plate는 유막의 두께 또는 유효면적에서 평균면 압력에 의해서 최대용량이 결정된다. 이러한 방법은 앞 section "allowable loads"에 기술하였다.

이전에 기술한바 tapered land thrust 베어링은 부하수용능력이 우수하지만 부하수용능력을 저하시킬 수 있는 미스얼라인먼트에 대단히 민감하여 불균일한 온도로 인하여 hot spot이 발생하여 유막을 파괴하는 distortion이 발생된다.

실험에 의하면 추력베어링의 손상 중 많은 경우 thermal distortion에 기인된다. 추력베어링의 불균일한 온도분포를 개선하기 위해서, 동합금의 backing을 채택하면 부하용량이 증대되고 열전도가 높은 관계로 land간의 온도분포가 균일해진다.

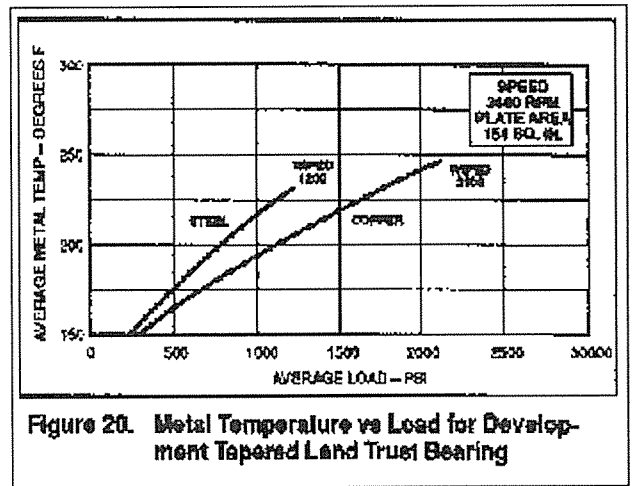


Figure 20. Metal Temperature vs Load for Development Tapered Land Thrust Bearing

명목상은 아닌 사실상 부하수용능력은 약 2배정도 증대된다. (그림-20참조) 그림-20은 large thrust베어링에서 메탈온도와 부하의 관계를 나타낸 도표이다. 도표에서 copper backing이 전 추력베어링의 설계에서

상기 기술한 이득(gain)이 필수적으로 도달되는 것이 아니다. 그렇지만 대부분의 경우 적어도 20%의 이득(gain)이 달성할 수 있다.

Kingsbury Thrust Bearing

킹스베리 추력베어링은 회전기계에 폭넓게 이용되는 틸팅패드베어링의 한 분류이다. 테이퍼랜드 베어링 또는 flat land베어링과 가장 다른 점은 각 패드가 피벗을 중심으로 자유로운 틸팅(원주방향, 반경방향)이 가능하다. 보통 pad의 뒷편에 매우 경화된 반구형(spherical) 피벗을 장착한다. 이런 형태의 구조는 추력베어링과 컬러간의 존재하는 미스얼라인먼트를 흡수할 수 있는 구조로 되어 있다. 축이 회전하면 유막이 런너와 패드 사이에 발생되고 각 패드는 적절한 유막압이 발생되도록 경사진다.

각 pad는 평형판(equalizing plate), leveling plate라고 불리는 plate에 안착되어 있다. 그림-21은 이러한 구조를 보여준다. 이 leveling plate는 정밀하게 기계가공된 단조품이며 각 패드간의 받는 추력을 균등하게 분산시켜준다.(연동운동) pad에 걸리는 부하는 leveling plate를 통하여 base ring에 전달되고 최종적으로 페데스탈에 전달된다. pad의 두께의 불균일 또는 베어링하우징(base ring을 감싸는 부분)의 정렬불량의 경우 가장 큰 부하를 받는 pad는 upper leveling plate을 강하게 눌러서 lower leveling plate가 기울어져 인접한 Pad에 부하가 더 걸리도록 되어 있어, 이러한 작용이 연속적, 연동적으로 작용하여 부하를 균일하게 한다.

leveling plate를 제자리에 묶어 두기 위해서 base ring의 외경에 set screw를 설치한다. 이 set screw는 leveling plate의 회전을 방지, 조립시 떨어지는 것을 방지한다. special 설계가 채택하기도 하는데 기본작동 원리는 동일하다.

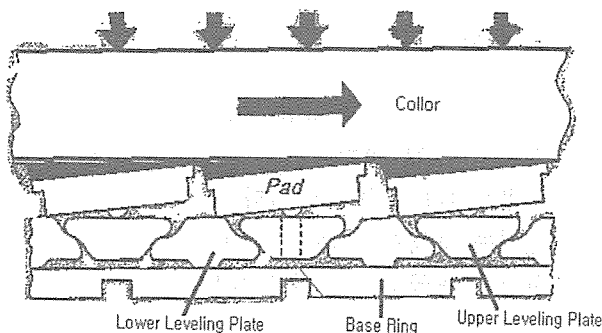


Figure 21. Section of Kingsbury Bearing

킹스베리베어링은 패드간의 간격이 넓어 많은 양의 오일이 요구되어 지고 flooded chamber내에서 운전된다. 킹스베리베어링의 가장 큰 단점은 다른 종류의 베어링에 비하여 부품 수가 많은 점이다. 피벗부에서는 브리넬(brinell)이 발생하고 특히 leveling plate을 지지하는 base ring에서 영구변형이 발생하는데 thrust clearance를 과도하게 한다. 이와 같은 현상은 운전 초기에 많이 발생된다. 그 이후 마모량은 점차적으로 감소된다¹⁾.

킹스베리베어링의 최대 장점은 미스얼라인 상태에서 운전이 가능하다. 부하수용능력 측면에서 tapered land bearing 보다 떨어지는데 이는 고부하영역에서 pad변형이 발생한다. 이는 pad의 crowing현상이 발생하여 베어링의 손상을 초래하는 hot spot가 실험에 의하면 600psi에서 발생하는 것으로 밝혀졌다. 그러므로 허용부하를 tapered land베어링 보다 낮게 책정되어 있다²⁾.

미첼 추력베어링(Michell Thrust Bearing)³⁾는 주로 유럽계열의 터빈에서 채택되는 tilting pad베어링인 반하여 킹스베리베어링은 미국에서 주로 사용되고 있다. 작동원리는 대동소이하지만 leveling plate가 일체형으로 구성되어 한쪽 pad가 부하를 많이 받으면 인접한 pad가 앞으로 밀리면서 부하를 분담한다. 피벗의 설치위치가 약간 편심져 있으므로 자연스럽게 유막이 형성되도록 하였다.

1) 15mm 이상이면 교체를 권장

2)

Thrust Bearing Capacities			
Type	허용평균 면압력	Type	허용평균 면압력
Flat land	50 psi	Tilting- Mitchell	150~250psi
Flat land with oil groove	75psi	Tilting- Kingsbury	250~450psi
Taper land	125~150psi		

**이는 단지 비교를 목적으로 작성한 도표이다. 실제 값은 설계의 형태(design feature), 재질, 회전수, 및 여러 가지의 변수에 의해서 달라질 수 있다.

(출전 : Sawyer's Turbomachinery Maintenance Handbook, Volume 2, 제1장)

3) 출전 : 이병준 저 진동 및 정비핸드북 제3편 제1장, 1217페이지