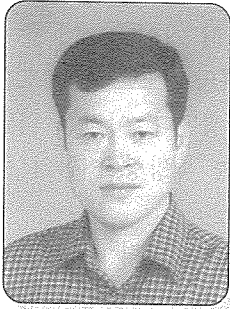


터빈 베어링의 특성과 개론

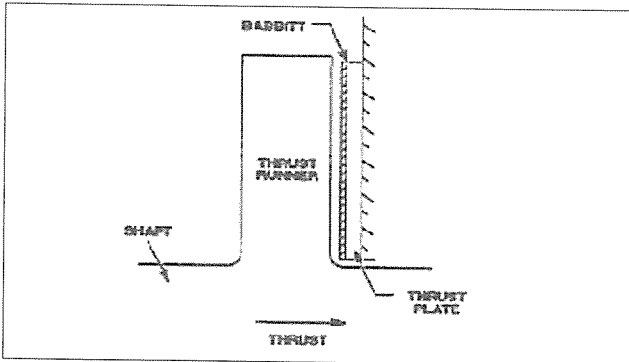


한전기공(주) 전문원실 터빈팀
터빈전문원 윤정태
Tel : (031)710-4378

THRUST BEARINGS

증기터빈의 rotating part와 stationary part 간의 축 방향 간극은 매우 협소하다. 증기, 가스가 rotating Part의 반동력에 의해서 상당한 양의 추력이 필연적으로 발생된다. 축방향의 위치를 고정하고 추력을 흡수하기위해서 추력베어링을 설치한다.

추력베어링은 배빗합금으로 입혀진 stationary elements는 큰 추력에 견딜 수 있도록 충격흡수기, positioner의 역할을 수행할 수 있도록 설계되어 있다.



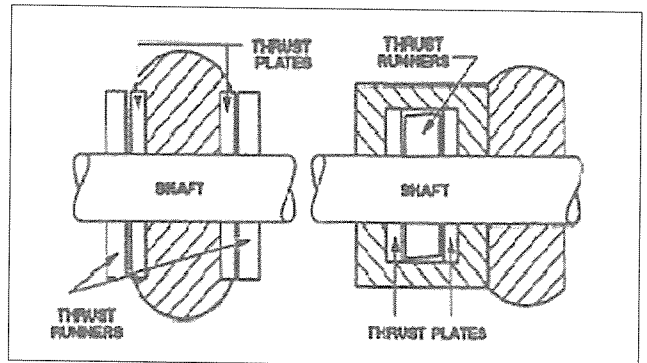
추력베어링은 babbity가 부착된 thrust plate와 축의 러너 또는 칼라에 매우 근접하여 위치하고 있다.

축의 추력은 thrust collar를 통하여 thrust plate에 전달된다. thrust collar의 운동에 대응되는 thrust plate는 미끄럼운동과 hydrodynamic 유막압이 형성된다.

옛날에는 수력학적 이해에서 상대운동의 오일 웨이지의 중요성에 대한 이해가 인정되지 않았다. 결론

적으로 이 기간중 저널베어링이 추력베어링보다 우수했다. 오일 웨이지는 부하를 받는 저널베어링의 간극에서 우연찮게 형성되는 것으로 믿었다. 이 때의 추력베어링은 평행한 평면(plane parallel)의 추력베어링이 이용되었다. hydrodynamic theory of lubrication의 이론이 발표된 후 오일 웨이지의 원리를 이용한 추력베어링이 개발되었다. 추력베어링의 성능은 저널베어링에서 전수되었다.

대부분의 터빈에서 운전상태에 따라서 추력의 방향은 변한다. 이러한 이유로 인하여 thrust plate를 양쪽에 설치하여 양 방향의 추력을 흡수한다. inactive side는 추력이 약하다. active side의 thrust plate가 주 추력의 방향이며 inactive side의 plate 보다 크다. 대부분의 경우 양쪽의 plate의 크기는 동일하다.



앞쪽에서 기술한 것처럼 thrust plate는 저널베어링 처럼 배빗합금이 입혀져 있고 thrust plate의 surface는 윤활유의 통로역할을 하는 연속된 반경방향의 groove를 갖고 있다. 이러한 각각의 groove는 분리된 pad로 작용한다. 이러한 pad를 "land"라 한다. thrust 베어링은 land형과 총칭pad형으로 구분된다. 저널베어링에서 적절한 운전상태에서는 베어링의 부하는 얇은 유막으로 지지되다. 저속운전범위에서는 수력학적 오일 웨이지가 형성되지 않는 경계윤활영역에서 운전되므로 배빗의 마모가 발생된다. 이러한 마모는 윤활유 내에 불순물(foreign material)이 과도하게 함유된 경우도 발생된다.

Thrust Bearing Types and Assemblies

GE사의 thrust 베어링의 설계는 주로 3종류의 베어링을 적용하고 있다. flat land thrust 베어링, tapered land thrust 베어링 및 Kingsbury thrust 베어링을 채택하고 있다.

flat land thrust 베어링은 추력의 흡수보다는 positioner의 역할이 더 우세하다. 또한 추력의 수용능력이 매우 적지만 평면형의 land로 인하여 가격이 낮다.

tapered land thrust 베어링은 flat land thrust bearing과 유사하지만 land부가 테이프형으로 제작되어 있다. 이 베어링은 GE사의 터빈의 active thrust 베어링에 많이 채택하는 신뢰성 있는 베어링이다. 24인치까지 직경의 size up하여 채택하고 있다. 이 베어링은 부하수용능력은 높지만 미스얼라이먼트에 매우 민감하다.

틸팅패드 Kingsbury thrust 베어링은 tapered land thrust 베어링과 동일하게 적용된다. 연속된 블록면에 독립된 pad segment가 장착된 구조로 각 Pad가 연동하여 미스얼라인먼트에 부하를 균등하게 배분한다. 또한 이 베어링은 회전방향에 무관한 구조로 설계되어 있다.(단 pad의 off-set"0"인 경우) 한편 부품의 갯수가 많고 가격이 높으며 구조상 pad deflection이 발생된다.

과거에는 다른 종류의 베어링이 사용되었지만 오늘날 사용하지 않고 있다. 한 예로 축에 장착된 여러 개의 runner에 설치된 flat 면을 통하여 추력을 흡수하고 이웃한 런너로 부하를 전달하는, multi-runner thrust 베어링이 있다. 이 베어링은 flat land type형으로 동시에 여러 개의 runner에서 동시에 부하를 수용할 수 없기 때문에 부하수용능력이 낮다.

thrust plate는 추력에 의한 deflection이 발생되지 않도록 backing plate을 갖는 구조로 되어 있다. thrust 베어링은 저널베어링과 combined 타입으로 하나의 ball liner에 저널베어링 및 active, inactive의 thrust plate가 장착되어 있기도 하다. 축 추력은 ball liner를 지지하는 ball seat에 전달된다. 또는 ton-gue & groove combined 베어링을 사용한다. 이러한 디자인을 때때로 double runner thrust assembly라 기술한다.

두 번째 위의 도시된 ball liner가 작고 combined형으로 장착할 수 없는 경우 thrust베어링을 overhung thrust베어링의 설계를 한다.

thrust runner(collet)는 축에 열박음형과 축일체형으

로 된 경우가 있다. 이 모든 경우 최대 축추력에서도 최대 휨값이 0.001인치를 초과하지 않도록 충분한 두께로 만든다.

Determination of Thrust Loads

터빈의 경우 로터의 직경이 여러 개의 step이 존재하고 각 s-step의 압력값도 매우 다양하므로 증기 흐름으로 인하여 축방향의 추력이 발생된다. 이러한 다양한 내부압력으로 인하여 발생하는 축방향의 힘의 총합을 소위 total step thrust라 한다.

또 다른 힘은 각 단의 wheel과 버켓압력 thrust load도 축상에서 존재한다, 이것은 wheel과 버켓압력의 반동도에 따르는 축 추력으로 모든 운전상태에서 계산이 가능하다. (이는 총유량 중 버켓을 통과하는 유량과 누설유량을 정확하게 알고 있을 때 가능하다.) 이 dynamic thrust값은 정확하게 계산하기 어렵고 많은 허용치를 준다. dynamic thrust값 이를테면 25,000(±15,000lbs)로 주어지는 경우로 추력의 마진폭이 매우 넓다.

total step thrust와 dynamic thrust의 합이 thrust plate에 받는 total thrust load이다. 일반적으로 큰 폭의 허용치는 total thrust load의 마진이라 한다.

예를 들면 step thrust의 8,000lbs가 downstream으로 발생하고 dynamic(stage) thrust 30,000±20,000lbs의 추력이 작용하고 있다. step 및 normal stage의 추력의 합은 38,000lbs이다.

Max Step	8,000lbs
Max Normal Stage	30,000lbs
Max Normal Thrust	38,000lbs

stage thrust의 허용치를 고려할 경우 순추력은 최소 10,000lbs downstream 및 최대 50,000lbs downstream이 작용한다. 허용치 및 마진을 고려한 total maximum thrust값은 커진다.

Max Step	8,000lbs
Max Normal Stage	30,000lbs
Margin	+ 20,000lbs
Max Normal Thrust & Margine	58,000lbs

만일 추력계산에서 maximum thrust load값이 negative에 가깝다면 최대 upstream thrust를 결정하기 위해서 stage(dynamic) thrust의 마이너스(minus)허용치

또한 고려해야한다. stage thrust load 의 불명확성으로 인하여 thrust plate의 단위면적당 최대면압력은 maximum normal thrust 및 maximum load & margin 상태를 전부 고려해야 한다. thrust 베어링의 설계시 적용해야할 이러한 부하값은 다음 장의 allowable loadings에서 설명하고자 한다.

flexible coupling를 적용하는 터빈과 generator set의 경우 coupling thrust가 발생된다. 이러한 coupling의 thrust는 슬리브 또는 female spline에서 spline의 미끄럼운동에 기인된다. coupling 추력은 마찰계수에 의한 torque load 때문에 tooth상의 힘에 의해서 결정된다. 이 coupling 추력은 일반적으로 과도상태에서 발생하는 부하의 순시형태의 힘이다. (예를 들면 급속기동, 부하의 급격한 변화) 이 값은 일반적으로 maximum thrust load 및 margin를 결정하는 dynamic thrust tolerance에 포함되어 있다.

Size Factors and Allowable Loadings

추력베어링은 축 추력을 지지하기 위한 충분한 유효면적(effective area)을 구성해야 한다. 이 면적은 지지부하, 속도, 오일의 점도 및 베어링의 타입에 의해서 결정된다.

추력베어링의 effective area은 thrust plate의 내측직경과 외측직경 사이의 배빗 면적에서 반경방향의 oil groove 또는 틸팅패드 베어링의 패드간의 면적을 빼 값이다.

직경은 일반적으로 thrust plate가 장착되는 환경에 의해서 결정되는데 내측 직경의 경우, 대략 shaft직경보다 1/2인치 또는 그 이상의 지름을 갖는다. 외측직경은 추력베어링의 effective area를 갖는 지름으로 결정한다.

thrust plate는 일반적으로 지금까지 사용되고 있는 standard design의 베어링을 유지 및 개발한다. plate는 thrust의 설정된 제한치를 갖는 thrust range까지 적용할 수 있다.(size up) 테이퍼랜드 베어링에서는 실제 적용되고 있다. Kingsbury베어링에서도 이와 유사한 방법으로 standard design을 통하여 size up한다. 이러한 상사의 법칙은 단지 약간의 용량확대 또는 크기변경에 따른 불필요한 설계비용 및 제작비용 지출을 방지할 수 있다.

각 패드 및 랜드의 원둘레 길이는 일반적으로 반경방향의 길이의 두 배 보다 짧다. 만일 이 비가 과도한 경우 이 비율을 줄이기 위해서 pad을 수를 증가 시켜야 한다. 이 비율은 유막의 횡단길이가 길어져서 오일 온도가 높아지는 결과를 초래하므로 적정하게 유지해야한다. 이와 같은 이유로 인하여 추력베어링의 pad의 수를 6개에서 14개까지 설계한다.

다음은 베어링 종류에 따르는 허용부하에 관한 사항이다. 정상적으로 flat land plate의 경우 실질적인 추력을 수용할 수 없다. 대략 75psi에서 100psi, 마진을 포함한 경우는 약 150psi정도이다.

테이프 랜드 베어링의 경우 허용부하는 각 종류에 따라서 다르지만 이것의 범위는 200psi~500psi이고 마진을 포함한 경우는 450~700psi이다.

많은 경우 유막의 두께 대 추력 관계식을 테이프랜드베어링 설계시 적용하는데 최대 허용부하는 최소 유막두께인 0.001인치에서 계산한다. 이러한 계산법은 thrust plate의 작게 만들고 작아진 plate는 미스얼라인먼트 및 대형 thrust베어링의 열적인 왜곡문제에 노출되어 있지 않다. 그러므로 대형plate 추력베어링은 안전마진율을 많이 준다. 약 1,000psi에 견딜 수 있도록 한다.

열적인 왜곡현상이 현저하게 적은 back metal이 동합금인 경우 대형 steel backing과 비교할 때 20 ~ 100%정도 더 많은 부하를 견딜 수 있다.

kingsbury베어링사에서 제작한 틸팅패드 추력베어링의 부하능력은 약 200psi이고 마진율을 포함한 경우 400psi이다. 실험에 의하면 틸팅패드 추력베어링은 부하능력이 600~ 900psi의 테이퍼랜드 베어링 보다 낮다. 이는 부하를 받는 패드에서 부분적으로 crowning 현상이 발생하기 때문이다. kingsbury베어링의 최대 장점은 self aligning의 특성에 의한 미스얼라인의 문제점이 거의 없다.

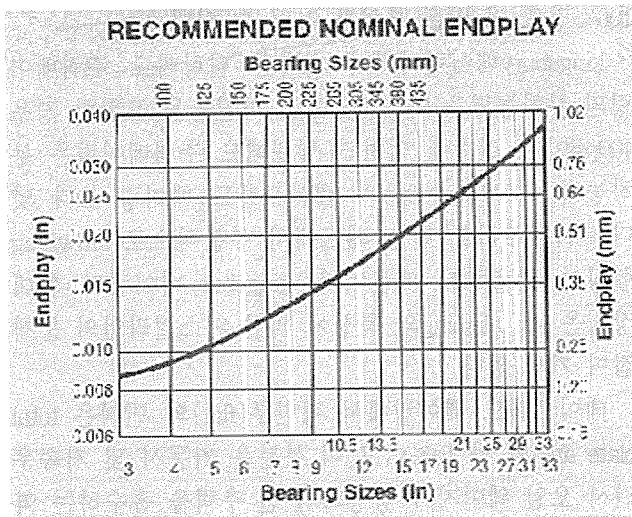
테이퍼랜드 베어링에서 평면부(flat)의 면적은 total plate area의 약 10%이고 이 부분은 기동시 및 저속운전시 오일 웨이지가 형성되기 전 추력을 흡수하는 역할을 한다. 진공이 형성된 터빈에서 터닝기어의 운전시 상당량의 샤프트 step추력이 작용하는 터빈이 있다. 이러한 경우 추력과 저속으로 인하여 flat부에서 상당량의 추력이 작용하여 마모가 발생된다. 이때의 추력허용값은 약 300psi이고 flat area를 고려시 이 값은 최대 부하값이다. 실험에 따르면 thrust plate에서

flat부의 면적에 과도한 부하가 걸리는 경우 상당양의 배벗이 마모된다.

Thrust Clearance

앞에서 기술한 바 추력베어링은 양방향의 추력을 흡수하기 위해서 양방향의 thrust plate를 장착되어 있다. 추력베어링에서 thrust plate와 runner사이의 간극(float)이 있는 것으로 설계한다. 이 간극은 오일의 흐름 및 오일웨이지를 형성하는 역할을 한다. 간극이 극소한 경우 드레인 오일온도를 상승시키지만 터빈의 internal clearance가 협소한 관계로 total clearance를 과도하게 크게 할 수 없다. GE사의 터빈인 경우 thrust total clearance는 추력베어링의 크기, 운전상태 및 베어링의 종류에 따라서 0.005인치에서 0.02인치로 설계되어 있다.

thrust total clearance는 thrust plate의 뒤쪽의 adjust plate로 조정한다. 이 방법은 thrust position 및 total clearance를 효과적으로 조정 가능하다. 이 간극은 운전시간의 경과로 확대되는데, 이는 베어링의 종류 및 지지점의 특성에 의해서 다르다. 일반적으로 테이퍼랜드베어링 및 flat land베어링은 운전기간 동안 마모량이 매우 적다.



(Kingsbury 베어링사 제공, Bearing size는 Pitch Diameter이다.)

kingsbury베어링 또는 pivoted shoe thrust bearing의 운전시간의 경과에 따라서 thrust clearance증가량이 한층 많다. 이러한 베어링의 경우 부품의 수가 많고, 영구변형의 우려가 높고, 부품 상호간의 Brinelling현상

이 다대하므로 간극확대현상이 많이 발생한다. 결론적으로 틸팅패드베어링의 경우 주기적인 점검이 필요하고, 대부분의 경우 최초 운전상태에서 최대마모율이 발생되고 이후에는 마모율이 감소된다.

Oil Flow and Orifices

터빈의 저널베어링에 공급되는 오일이 추력베어링에 공급된다. 추력베어링의 오일공급방식은 여러방식이 적용되는데 대부분의 경우 thrust plate와 runner사이의 원주상에 공급한다. 오일은 thrust 베어링의 assembly 또는 공급라인에 설치된 오리피스를 통과한 후 pocket에 유입된다. 오일의 유동은 반경방향으로 thrust groove, 랜드 및 Pad사이로 유입된다. 이러한 오일의 유동은 베어링을 냉각 및 오일유막을 형성한다. 개선된 방법은 thrust plate의 hole이 오일 그루브와 관통되어 있어 오일이 이 통로를 통하여 공급된다. 이 방법은 오로지 taper land 및 flat land thrust bearing에 적용되며 효율적이지 못하다. 다른 한 예는 인접한 저널베어링의 드레인 오일을 추력베어링에 사용한다. 원심운동으로 공급된 오일을 반경방향으로 비산시키므로 공급라인을 축에 가깝게 설치한다.

오리피스는 일반적으로 추력베어링의 케이싱 또는 오일공급라인의 적절한 위치에 설치하여 허용베어링 온도를 유지하기 위해서 오리피스의 구경을 결정한다. 저널베어링의 오일공급량은 베어링의 평균온도가 약 30°F 상승되도록 설계한다. 추력베어링의 공급유량이 같은 사이즈의 저널베어링에 비하여 많으므로 온도상승율은 거의 초과하지 않는다.

taper land 또는 flat land thrust bearing에서 총 오일 유량을 조절하는 중요한 특성은 thrust plate의 outer end측의 댐을 설치하여 밖으로 흐르는 오일량을 감소시킨다. 이 댐의 역할은 groove밖으로 흐르는 누설량을 제한하고 land부로 흐름을 유도한다. 오일이 오리피스를 관통하여 직접적으로 공급되는 경우 outside 뿐만 아니라 inside측에도 댐이 설치되어 있다. thrust 베어링에 흐르는 오일의 총량은 두 부분으로 구성되어 있다. land부로 흐르는 유량과 반경방향의 끝단에 설치된 dam을 passing하는 유량으로 분리된다.

오늘날 직접분사방식을 채택하는데 kingsbury베어링사에서 개발한(1984년) LEG(Lead Edge Groove)형

베어링은 동일한 형식의 베어링에서 종전의 윤활 방식보다 공급유량은 약 35% 적게 공급하지만 온도는 75-75위치에서 8~28°C 감소하고, 부하용량은 35%증가한다.

Bearing Temperature

저널베어링처럼 추력베어링의 경우 운전시 상당량의 온도변화가 발생되는데 베어링의 성능 및 신뢰성의 바로미터로 매우 중요한 인자이다.

추력베어링의 설계평가는 저널베어링처럼 드레인 오일온도에 의해서 평가된다. 이 드레인 온도는 total temperature의 상승량(ΔT)을 지시한다. 이 ΔT 는 마찰에 따르는 열량에 의해서 결정된다. 추력베어링의 드레인온도 상승량은 약 30°F로 규정한다. 추력베어링에서 실제 운전기간 동안 때때로 이 제한치를 초과한다. 추력베어링의 드레인 온도는 동일 size의 저널베어링에 비하여 보편적으로 낮다. 이는 추력베어링의 오일공급유량이 동일규격의 저널베어링에 비하여 높은 비율로 공급되기 때문이다.

이 드레인온도는 앞에서 기술한 것처럼 pad 또는 land의 끝단의 hot오일과 그루브 및 land의 간극사이의 cool오일의 혼합온도이다. 이 혼합오일의 온도조절은 입구측 orifice의 구경 및 taper land베어링의 radial groove 오일 댄으로 가능하다. 대부분의 사례에서 부가적으로 공급된 유량은 로딩영역의 오일 필름의 온도에 영향력이 없고 결과적으로 마찰손실이 증가된다. 운전 중 추력베어링의 드레인 온도의 변화가 있다면 thrust load의 증가, 공급유량의 부족, 또는 다른 부분의 비정상성을 나타낸다.

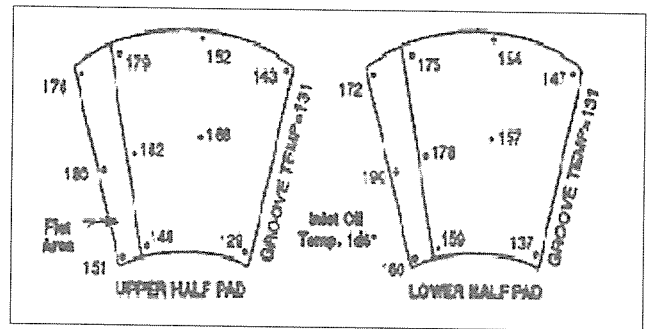
추력베어링 오일온도의 주된 고려사항은 로딩영역에서의 오일필름 온도이다. 저널베어링처럼 이 온도는 300°F이상 올라간다.(손상 전 온도 : 이 온도수준에서 운전되어지도록 설계되는 것은 아니다.) 그렇지만 저널 및 추력베어링의 maximum oil temperature는 매우 중요한 설계인자이다. 만일 overheating fail-ure는 과도한 부하(load) 또는 misalignment 때문에 발생하였다면 maximum oil film temperature영역에서 손상은 시작된다. 추력베어링에서 maximum oil film temperature point는 일반적으로 추력베어링의 minimum film thickness point가 아니다. maximum oil

film temperature point는 trailing edge부근 또는 taper의 끝단에 생긴다. 다른 부분은 인접한 그루브 또는 이 영역의 channel 내의 찬 오일이 때문에 온도가 낮다.

Kingsbury베어링의 최대온도영역은 경부하의 경우 trailing edge부근이고 중(重)부하에서는 pad의 pivot부로 전이된다. 이는 중부하에서 pad의 crowning현상 때문이다. 이 부분에서 오일film의 thickness의 감소를 야기한다. 열적인 변형(thermal distortion)이 발생한 경우도 이와 유사한 현상이 발생된다.

추력베어링의 minimum film thickness point의 반경방향 위치는 일반적으로 pad의 pitch point 위쪽에 위치한다.

위의 taper land추력베어링의 pad도에는 오일온도의 변화치를 나타내고 있다. 7인치 taper land베어링에서 취득한 자료이다. 베어링의 온도 취득점은 대략 배빗 표면에서 3/64인치에서 1/16인치에서 취득된 자료이다.



7-inch Tapered Land Thrust Bearing Test -
400 psi @ 5370 rpm

추력베어링에서는 오일필름의 온도도 중요할 뿐만 아니라 마주보고 있는 pad의 온도차이도 매우 중요한 인자이다. 이 영향은 저널베어링에서는 중요하지 않지만 추력베어링에서는 중대한 문제이다. 온도 불균일에 의한 thermal distortions현상은 taper land, kingsbury베어링에서도 유사한 현상이 발생된다. Kingsbury베어링의 pad간 온도불균일은 pad의 crowning현상이 발생되고 taper land베어링은 기계적, thermal 특성에 의한 미스얼라인먼트에 매우 민감함으로 thermal distortion문제는 심각한 문제이다. 그림 9에서 보는 것처럼 미스얼라인먼트의 문제는 개개의 pad에서 필름의 온도의 과도한 온도차가 발생시킨다. 급격한 온도차는 얼라인먼트의 중요성을 효율적으로 설명된다.

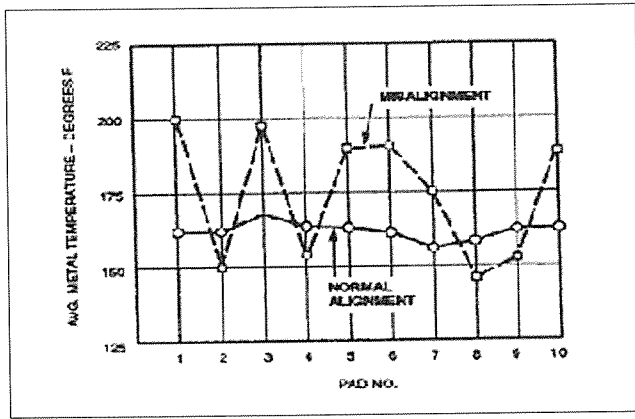


Figure 9. Effect of Misalignment - Tapered Land Bearing

추력베어링의 thermal distortion문제는 다양한 운전 조건 아래에서 다양한 설계를 시험을 통하여 연구하였다. 이러한 연구결과 copper backed tapered land thrust베어링이 탄생되었다. copper backing thrust베어링은 steel plate부분을 copper부분으로 대체하는 설계로 간단하게 제작될 수 있다. 환언하면 steel backing 대신 copper backing metal로 대체되었다. copper backing은 metal의 열방산율(rate of heat dissipation)를 증가시킨다. 그 결과 모든 랜드의 온도는 훨씬 더 균일해지고 랜드 상호간의 온도차도 작아진다. 그림 10은 steel backing과 copper backing의 비교 도표이다. steel backing의 온도분포는 매우 불균일하고 copper backing은 온도분포가 비교적 균일하다. steel backing의 thermal action은 앞서 기술한 미스얼라 인먼트에 의해서 야기된 현상과 비슷하다.

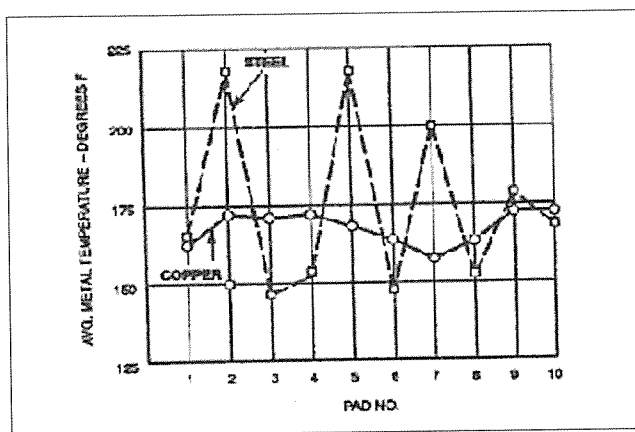


Figure 10. Effect of Copper Backing - Tapered Land Bearing

copper backing은 tapered land베어링에만 국한되지 않고 kingsbury베어링에도 적용되고 있다. pad 또는

shoe 전체를 copper로 제작하지 않는데 이는 steel pad에서 보다 저부하에서 deflection이 발생된다. 실험용의 steel shoe에 mount된 copper backing에 thin babbitt이 도포된 경우 copper face와 steel shoe간의 열적 운동이 가능하므로 steel shoe의 변형은 copper에 영향을 주지 않는다. 따라서 이 방법은 load capacity를 증가시켜준다.

추력베어링의 성능연구의 대부분은 오일 필름의 연구가 아니라 metal backing 또는 배빗표면의 온도에 관한 연구이다. 표면의 높은 온도는 높은 오일필름 온도에 기인되어 이 열은 metal로 전도된다. 따라서 온도감지장치(thermocouple)의 설치된 위치에 의해서 온도변화가 발생된다. (Ex : 만일 오일필름의 온도가 300°F이면 배빗표면에 장착되어 있다면 200°F, 250°F를 지시하거나, 배빗표면으로부터 거리에 의해서 다른 값을 지시할 것이다). TC의 원주방향 위치도 매우 중요한 변수이다. 만일 leading edge에서 추출한 온도 값은 다른 위치에서 취득된 온도보다 매우 낮은 지시치를 나타낸다. tapered land bearing에서 최적의 취득점은 pitch diameter의 상반부이고 trailing edge부근이다.(flat부는 아니다) TC의 삽입깊이에 따라서 베어링의 종류 및 조립에 따라서 많은 변화를 갖는다. Tapered land bearing의 온도취출점은 원주방향은 pitch diameter, trailing edge에서 1인치 앞쪽이고 삽입깊이는 표면으로부터 약 3/8~1/2인치 위치에 설치한다. 이러한 온도취출점에서 운전되는 베어링의 운전 제한치는 최대 185°F이다. 또 두 개이상의 land에서 온도를 취득하여 land상호간의 측정된 온도차를 측정하는 것이 바람직하다.(misalignment를 감지, TC의 보안성 확보)

저널,추력베어링의 온도측정점의 해석은 매우 어려운 작업이다. 추출점의 위치는 실험을 통하여 충분히 검정한 후 시행해야한다.

- 1) 베어링의 하중과 성능을 나타내는 측정변수 중에서 온도는 측정이 가장 용이하고 편리한 요소이다. 드레인온도는 베어링의 외적인 상태를 지시하는 변수로 여러해 동안 애용되어왔지만 민감도가 많이 떨어진다. 예를 들면 metal온도가 약 100°F상승하였는데 드레인 온도는 5°F, 축의 위치는 0.002인치만 변하였다. 3개의 측정변수 중 베어링의 상황을 정확하게 나타내는 것은 금속의 온도이다. 저널베어링의 TC위치는 수하부 중심에서 약 20°떨어진 위치에 설치를 권고하고 있다.(API670규정)
- 2) Kingsbury thrust bearing의 온도취출점은 API670규정에 의하면 75-75위치를 권고하고 있다.

Materials

베어링의 재질은 거의 대동소이하다. 베어링의 케이싱과 Bal-liner는 cast iron 또는 cast steel로 제작된다. thin shell liner는 항상 steel plate로 제작되고 있다. 최근에는 ball liner를 carbon steel plate로 바로 제작하는 추세이다.

따라서 casting에 따른 비용을 절감할 수 있다. 또 다른 적용은 Ni-Resist Casting을 채택하고 있다. 추력 베어링의 재질은 대부분 Steel plate로 채택되는데 thermal deviation문제가 노출되는 경우 copper thrust plate를 채택하고 있다.

lining material는 거의 대부분 주석계 babbitt합금으로 구성되어 있고 매우 드문 예로 알루미늄 lining을 채택하고 있다.

Babbitt

저널, 추력베어링의 lining재질은 내소손성(anti-seizing)과 유성(oiliness)이 우수한 배빗합금을 사용하고 있다.

터빈에 사용되는 배빗합금은 2가지의 종류가 있다. 아래 도표의 B21A1재질은 증기터빈의 배빗재질로 채택하고 B21A14재질은 가스터빈에서 이용되고 있다. 아래도표는 이들 재질의 일반적 물성치이다

배빗합금은 내 마찰성 관점에서 가장 우수한 재질이다. 이는 주석의 결정구조가 매우 낮은 경도를 갖기 때문이다. 특히 온도상승에 따라서 기계적 강도가 매우 약하여 강도를 유지하기 위해서 steel backing을 결합하여 사용하고 있다. 베어링의 표면은 베어링의 메탈만큼 결정적이지는 않다.

배빗합금은 문힘성(embeddability, compatibility)과 저널의 손상의 손상을 최소화하는 경향이 매우 우수하다.

배빗합금은 온도상승에 따라서 피로강도가 현격하게 저하된다. 이런 물성치는 변동하는 부하에 관련하여 고속, 고부하용 베어링에 적합하지 않다. 터빈에서 높은 피로강도는 심각하게 요구하지는 않다. 그러므로 배빗합금을 채택하고 있다.

베어링의 라이너에 배빗합금을 입히는 방법은 주조법(casting)과 용접법(welding)이 있다. Casting에 의

한 babbitt의 물성치가 용접법(welding)보다 우수하다. casting법이 평탄하고, 신속하게 적용할 수 있고 metal backing에서 접착력이 우수하다. 그림11은 주조법(casting)과 용접법(welding)의 물성치 변화이다.(B21A1) 특별히 흥미 있는 것은 피로강도의 상대 비교치이다.(약 2배이다)

		B21A14	B21A1
% Tin		87.5 ~ 89.5	83 ~ 85
% Antimony		7 ~ 8	7.5 ~ 8.5
% Lead		0.35max	0.35max
% Copper		3.5 ~ 4.5	7.5 ~ 8.5
Tensile strength	@25°C	10700	12000
	@100°C	6100	7310
Yield Strength (0.2% OFFSET)	@25°C	7800	9700
	@100°C	4350	5350
Brinell Hardness	@25°C	24.1	30.5
	@100°C	12.8	15.3
Fatigue Strength (10° Cycles, psi)	@25°C	4250	4750
	@100°C	2600	2500

GE사의 베어링 제작 기법은 원심주조법을 채택하고 있다. 이 기법은 원심주조기가 필수적으로 필요하다. 회전하는 cylindrical 베어링 하우징에 배빗합금을 연속해서 부어서 원심력에 의해서 접착된다. 이 casing법은 표면에 배빗합금을 균일하게 도포시키는 기법이다. 또 이 방법은 배빗과 하우징간의 접착이 우수하다.

배빗과 메탈간의 접착하기 전 backing Metal를 산 세정처리가 필요하다. 배빗합금과 베어링의 셀 간의 접합은 두가지 방법이 있다. 하나는 순수 야금학적인 방법이고 다른 하나는 기계적 방법이다. 배빗합금을 몰딩하기 전 셀 표면에 주석이 도포되도록 순수주석의 욕조속에 넣어 도포한다. 셀이 가열되기 전³⁾ 몰딩 작업을 수행한다. 순수주석은 bonding agent이다. 대부분의 steel 베어링 셀은 주석을 본딩 에이전트로 채택하고 있다.

도브테일은 베어링 셀에 배빗합금의 접착앵커역할을 수행할 수 있도록 기계적으로 가공한 부분이다. 그림 12는 도브테일의 전형적인 배열이다. 모든 cast iron셀에는 도브테일 모양의 가공을 하고 steel piece에는 사용용도에 따라서 도브테일이 가공하거나 가공하지 않는 경우도 있다. thin shell liner의 경우 셀 두께

3) 약 260°C(출전 : 해외훈련보고서)

의 제한으로 도브테일을 가공하지 않는다.

베빗의 두께는 베어링의 용도에 따라서 다르다. 터빈베어링의 경우 약 1/8인치에서 3/16까지 적용되고 우수한 순응성과 문힘성(embeddability)을 갖추어야 한다. 특수한 경우 베빗의 두께가 단지 0.030인치인 경우 기계적인 성질 및 강도가 증가된다. 그렇지만 이 경우 접착의 어려움과 순응성(comformability)은 감소된다.

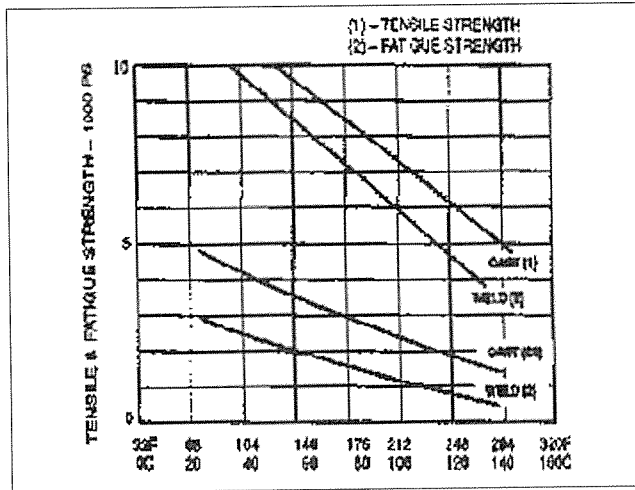


Figure 11. Temperature

베빗의 접착은 매우 어려운 문제이다. 접착불량은 베어링수명을 단축시킨다. 초음파 탐상법은 본딩메탈의 접합상태를 용이하게 관찰할 수 있지만 비용이 많이 든다. 오일유조와 염색침투탐상법은 접합부의 선단의 결함을 육안으로 점검할 수 있다. 이와 같은 이유로 베빗합금의 몰딩시 본딩메탈의 접합시 엄격한 품질검사 및 절차를 요구하고 있다.

위에서 기술된 제작기법은 저널베어링 중심이다. 추력베어링의 몰딩법은 저널베어링의 몰딩법과 유사하다. 추력베어링의 plate는 최근의 주석본딩메탈 접합기법에도 불구하고 도브테일 및 앵커홀을 아직도 사용하고 있다. steel plate는 외경보다 약 1/2인치 긴 상태로 남겨둔 채로 가공된다. (이러한 방법은 저널베어링에서도 적용된다 즉 바깥쪽을 steel gasket으로 막아둔다) 추력베어링의 plate를 copper metal로 대체한 경우 베빗성분의 조절이 문제가 되는데 이는 copper 또는 그 합금성분이 베빗의 물성치를 약화시킨다.

Aluminum

알루미늄합금의 베어링 재질이 오래동안 연구하였고 수종의 다른 재질도 제안되었다. 이들 중 가장 촉망받는 합금은 주석을 함유한 합금이다. 최근에 가스 터빈의 베어링에 이 합금베어링을 채택하고 있다. 그러나 메인베어링에서 사용은 기피하고 있다.

알루미늄합금 베어링의 최대 장점은 고온에서 피로 강도가 우수하다. 베어링 설계에서 dynamic unbalance force에 견딜수 있는 베어링합금을 연구했다. 알루미늄합금은 이와같은 문제의 해결책인데 상대적으로 딱딱하고 문힘성(embeddability) 및 순응성(comformability)이 약하다. 이는 운전중 이물질에 의해서 베어링뿐만 아니라 저널에도 쉽게 손상이 발생된다.

알루미늄베어링을 채택하는 경우 침전물을 여과하는 정교한 정류장치를 필요로 하고 빈번한 검사를 필요로 하고 있다.

Journal and Thrust Collar Materials

steel저널 및 컬러는 베빗베어링과 운전성이 우수하지만 고크롬의 저널은 베어링과의 마찰에 의해서 galling현상을 동반하는 경향이 있어 베어링, 저널 및 컬러에 심각한 손상을 동반하여 축 전체에서 마찰계수 증가에 따른 손실이 증대된다. (절삭작용)

이러한 현상은 알루미늄베어링을 채택한 경우에도 유사한 현상이 발생할 수 있기 때문에 사전조치가 필요로 한다. 즉 침전물을 여과하는 정교한 정류장치를 필요하고, 빈번한 검사를 필요하고 있다.

고크롬 저널인 경우 반드시 carbon steel sleeve를 샤프트에 수축끼워 맞춤하여 저널의 표면으로 이용하는 데 galling문제를 완벽하게 해소한다. 또 다른 방법은 저널표면에서 크롬도금하여 저널상에 얇은 막을 형성하면 이와 같은 문제점을 해소한다.

SHAFT VOLTAGE AND BEARING CURRENT

터빈 발전기에 존재하는 축전류 Electromagnetic(60사이클 교류전압), Ground-detector 120cycle 교류전

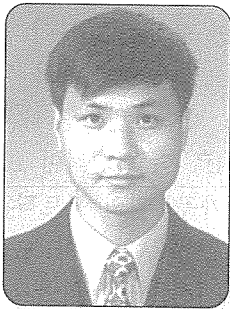
압, 점화용 여자전압, 고주파의 리플(ripple)형 전압 및 electrostatic 직류전압으로 분류된다. 네 번째까지는 절연 및 filter condenser설치로 다룰수 있지만 마지막의 직류전압은 증기의 flow action에 의한 정전기적현상(electrostatic phenomenon)으로 기인된다.

electrostatic DC voltage는 습증기 입자의 운동에 의해서 발생되는데 non condensing터빈에서는 관찰되지 않는다. 이 voltage는 직류전류이고 로터와 ground사이에 존재하고 만일 베어링, seal, 터빈의 위엄기어 및 발전기의 연결부에 전도되었다면 이 전압은 베어링의 오일필름이 파괴될 때까지 정전용량(elctri-cal capacitance)은 계속해서 높아진다. 따라서 오일필름에

서 반복적으로 방전작용이 발생되어 베어링표면에 pitting이 발생하고 결국에는 서리형태(frosted)의 손상이 발생된다. 서리형태의 손상(pitting)은 유막의 형성이 부적절해지면서 wiping이 발생되고 pitting부는 없어져 버리고 베어링의 유막은 회복된다. 이러한 현상이 반복적으로 반복되어 큰 사고로 기인된다.

9375kw이상의 복수터빈에서는 이러한 전기적 유해요소를 방지할 목적으로 grounding brush를 장착하기 편한 곳에 장착한다. 이 grounding brush는 얇은 오일필름에서도 작동하여 축전류를 접지점까지 유도하여 전기적 손상으로부터 베어링을 보호하는 역할을 수행한다.

황동볼트 손상원인 분석사례



한전전력연구원 발전연구실
발전설비지원그룹
선임연구원 정 남 근
Tel : (042)865-5313

Key Words: Key Words : brass(황동), β phase(β 상), lead segregation(납 편석)

Abstract

According to recent Korea Electric Power Company report, yearly distribution line brass cramp bolts failure summed up to 4,400 cases emerging as one of main local break-down causes. Naturally, the need for the investigation was proposed.

To determine the root cause of the cramp bolt failures, mechanical and metallurgical investigation were performed for 90 samples which collected from various sites.

For the understanding of the geometric characteristics, stress distribution was evaluated by CAE program and proof load of each bolts was tested. The SEM & EDS was used for metallurgical investigation.

Through the investigation, the root causes of failures were confirmed.

All damaged bolts showed intergranular fracture mode and the all fractured bolt showed β phase morphology contrast to the α & β mixture morphology of the non-damaged samples. Additionally, EDS analysis confirmed the existence of lead rich layer on grain boundaries.