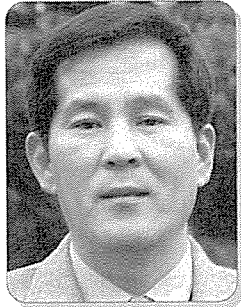


태 등을 평가 및 조정하므로써 전체설비의 안정적인 운영 측면에서도 상당히 유용한 도구로 사용될 것이다.

참고문헌

1. Damage mechanism and life assessment of high-temperature components, R. Viswanathan, 1993
2. Life assessment technology for power plant components, J. of Metals, pp 34- 42
3. Remaining life assessment of superheater and reheater tubes, EPRI CS-5564, 1988
4. Metallurgical failures in fossil fired boilers, David, N. French , 1982
5. Life assessment of superheater and reheater tubes in fossil boilers, R. Viswanathan, 외 ,Journal of pressure vessel technology, 1994, 2
6. Boiler tube failures theory and practice Vol. I, II, III, R. P Dooley, 1995
7. 2.25Cr-1Mo강의 열화와 기계적 성질변화에 관한 연구, 정호돈 외, 1999
8. A study of carbides in low alloy Cr-Mo steels, ASME, MPC-21, pp117-128
9. A temperature-time relationship for rupture and creep stresses, ASME, pp 765-775
10. Creep damage and remaining life assessment of superheater and reheater tubes, Steve R. Paterson, 1987
11. Modelling of creep damage to estimate remaining life, H. C. Furtado외, 1997

베어링과 윤활유 계통에 발생하는 문제점과 대책(Ⅱ -2)



**한전기공(주) 기술개발원
전문원 실장 정재원
Tel : (031)710-4390**

마. 과열(Overheating)

과열은 두 가지 손상 형태가 있는데 Babbitt 성분 중의 하나가 연화점(Softening Point) 이상의 온도에 노출되어 생기는 손상과 과도한 열적 변화에 의해 Babbitt에 Crack이 발생하는 손상이 그것이다.

(1) Mechanism

고온은 베어링 손상의 직접적인 원인이 될 수도 있고, 간접적인 원인이 될 수도 있다. 첫째는 Babbitt의 강도 특성이 감소되어 생기는 문제들로서 온도가 올라가면 Babbitt의 표면은 물결 모양으로 변형되고 Wiping이 일어나기 쉽게 된다. 온도가 충분히 올라가면 베어링의 일부가 용융되며 합금의 한 성분이 용융

되어 조직에서 새어나오게 될 때 “Sweating”이 발생했다고 말한다. 열적 피로라고도 불리는 간접적인 손상 형태는 재료의 이방성(방향에 따라 탄성 등의 성질이 달라지는 것) 때문에 발생된다. Tin-Based Babbitt를 포함하여 이방성을 가지고 있는 재료들은 각각의 결정 방향(Crystal Axis)에서의 열팽창 계수가 다르다. 열응력이 생기면 이러한 이방성에 의해 입계의 변형(Grain Distortion)이 생기면서 반복적으로 열에 노출되면 베어링 표면에 얼룩반점이 생기는데 이것은 보통 베어링 성능에 나쁜 영향을 주지는 않는다. 그러나 입계 변형이 극심하게 되면 입계의 경계면을 따라 베어링 표면에 균열이 발생되는데 이러한 열적 균열의 형태(열적 피로 형태)를 “Ratcheting”이라고 부른다. (그림-25).

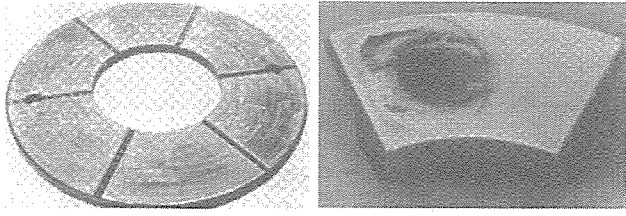


그림-25. 과열로 인한 Thrust 베어링의 Ratcheting 그림-26. 외경 8.0 인치(20 cm)의 Thrust Pad에서의 과열

(2) 과열의 육안 확인

과도한 열에 의한 베어링 손상은 표면이 손상되면서 그 주변 지역이 검게 되어 코우크스화 되고 광택이 나기 때문에 육안으로 확인할 수 있다. 이러한 표면의 두 가지 예가 그림-26과 27에 나타나 있다. 더 심한 경우 운전되는 동안에 Babbitt가 충분히 연화되어 간극이 큰 부분으로도 확산될 수 있다.



그림-27. 작은 h_{min} 때문에 생긴 Thrust Pad의 과열

온도가 급격히 상승하면 베어링의 일부가 실제로 용융된다. 앞에서 언급한 바와 같이 합금에서 한 성분만 용융되어 조직으로부터 새어나간 상태를 Sweat 되었다고 말한다. 압력이 낮은 부분 주변에 작은 Babbitt 조각이 발생되어 있다면 Sweating의 증거이다. 보통 이러한 부분은 물결 모양이나 있다. 기공은 Sweet 알맹이들은 Oil Groove나 Pocket의 한쪽 끝을 따라 발견되기도 한다.

또한 원인이 무엇인지 알려주는 또 하나의 특징은 큰 온도 변화가 계속해서 발생했을 때 표면에 발생되는 Babbitt의 Ratcheting-Cracking이나 얼룩 반점이다. 단면을 관찰해보면 Ratcheted 표면은 편평하지 않고 물결 모양을 하고 있으며 온도 변화가 충분히 크면 표면 균열은 큰 Babbitt 덩어리를 탈락시킬 수도 있다. 이러한 탈락 현상은 과열로 인해 강도가 감소했을 때 발생되는데 유막을 통하여 전달되는 수직 전단력에 의해 Babbitt가 변형되고 균열이 발생된다. 이러한 과정은 보통 수하부에서 발생되며, 탈락된 Babbitt 덩어리는 유막의 흐름을 따라 움직여 부하를 받지 않는 베어링 부위에 부착된다. 이러한 상황에서는 Wiping이 반드시 발생하는 것은 아니다. 때때로 고온은 윤활유의 부족 때문에 발생되며 이 경우 베어링은 손상된 표면을 가지고 있는 것 이외에도 윤활유의 질이 저하되어

부착되는 광택제(Varnish)로 덮여 있다. Babbitt가 연화점 근방(즉 용융점에 가까운)까지 온도가 올라가게 되면 Babbitt 합금의 재결정이 일어나서 압력이 높은 부위에서는 베어링 입자 사이의 결합 상태가 심하게 뒤틀리고 파괴될 수도 있다.

(3) 과열의 가능 원인

발생상황을 넓은 범위의 연속 분포도(Wide Spectrum of Conditions)로 나타내 보면 과도하게 온도가 올라가는 Point를 감지할 수 있으며 많은 사람들은 이것을 간접적인 방법으로 알아낸다. 또한 작은 부분에서일지라도 온도가 과도하게 올라가면 일반적인 온도 수준(온도 상승, Tout-Tin)이 크지 않더라도 충분히 손상이 발생된다. 그러나 그 정도까지 Journal과 Thrust 베어링에서의 과도한 Tmax가 발생하는 상황과 Mechanism을 완전하게 기술하려면 이 보고서의 한계를 훨씬 초과하게 된다. 그러나 주요 원인과 발생 경로는 다음과 같은 것들이 포함된다. 불충분한 윤활이나 Oil의 부족, 이방성, 변형(Warping), 베어링의 기하학적인 결함, 과도하게 작은 최소 유막 두께, 과도한 급유(Flooded Lubrication), 과열 또는 너무 높은 점성의 Oil 공급, 외부에서부터 베어링으로의 열전달, Misalignment등이 있다.

바. Wiping

Wiping 손상은 Journal이나 Runner와 직접 접촉되어 Babbitt의 상당량이 밀리거나 제거될 때 발생되며 이러한 Babbitt는 종종 베어링의 다른 위치에 부착된다.

(1) Mechanism

전체 또는 부분적인 Wiping은 아마도 Babbitt 베어링에서 겪게되는 손상중 가장 친숙한 손상 형태일 것이다. Thrust 베어링에서의 일반적인 Wiping 양상이 그림-28에 나타나 있다. Wiping의 직접적인 원인으로 세 가지 Mechanism을 생각할 수 있다. 이들중 하나는 표면사이의 직접적인 접촉으로 Babbitt의 용융이 발생된다. 두 번째 Mechanism은 접촉되는 동안 베어링 Metal이 전단 방향으로 절삭된

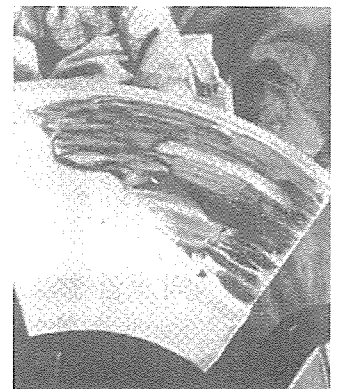


그림-28. 과부하로 인해 Wiping된 21.75 인치(55cm) Thrust Bearing Pad

다. 전단 절삭된 Material은 Journal의 기계적 냉각 작용에 의해 소성 변형된다. 세 번째 Mechanism은 hmin 부근에서 생기는 과도한 압력으로 인해 일단 Babbitt의 항복 강도가 초과되면 Babbitt에 국부 소성변형이 생긴다. 소성 변형된 Material은 베어링 간극 내로 돌출되어 Runner와 접촉되고 Wiping이 발생된다.

(2) 분류 및 가능 원인

Wiping은 보통 첫 번째와 두 번째의 범주(Category)로 나누어질 수 있는 잠재적인 원인의 결과이기 때문에 포괄적인 용어라 할 수 있다. 첫 번째 Category는 윤활유의 부족, 충격이나 과도한 부하, 베어링의 열적 탄성 변형(Distortion)으로 인한 접촉 등과 같은 원인 때문에 생기는 Wiping이다. 두 번째 Category는 다른 손상 Mechanism의 결과로 생기는 Wiping이다. 바베트(Babbitt)가 물리적으로 이동(Displacement)되는 직접적인 원인은 다음과 같은 것들이 포함된다.

- ▶ Misalignment
- ▶ 기동시의 문제
- ▶ 과도한 베어링 부하
- ▶ 충격 부하
- ▶ 나쁜 부하각
- ▶ 작은 간극
- ▶ 탄성 열적 변형
- ▶ 불안정성 또는 과도한 진동
- ▶ 부적절한 조립
- ▶ Oil의 부족

손상 Mode중 몇 개는 수정되지 않으면 결국에는 베어링의 2차 Wiping을 일으키게 되는데 다음과 같은 것들이다.

▶ Fatigue Wiping.

그림-29에서와 같이 피로가 발생된 베어링을 계속해서 사용하면 들어올려진 조각이 Shaft에 닿아 Babbitt가 떨어져 나가게 된다.

▶ 가스의 발생.

Wiping은 종종 Back Metal과 Babbitt의 접착 경계면에 생기는 기포 때문에 발생된다.

▶ 경계 윤활 Wiping.

Wiping은 기동이나 정지시 유막이 형성되기 전에 과도한 부하가 걸리거나 Turning Gear로 저속 운전시에 발생될 수 있다.

(3) Wiping의 육안 확인

Wiping은 Runner와 베어링이 직접 접촉되어 생기는 결과이기 때문에 이러한 종류의 손상은 Babbitt Material의 물리적인 이동으로 묘사할 수 있다. 이러한 이동의 가장 심한 흔적은 보통 hmin 근방에서 발생되어 이러한 이동은 꽤 넓은 각도의 부위에서 발생되는

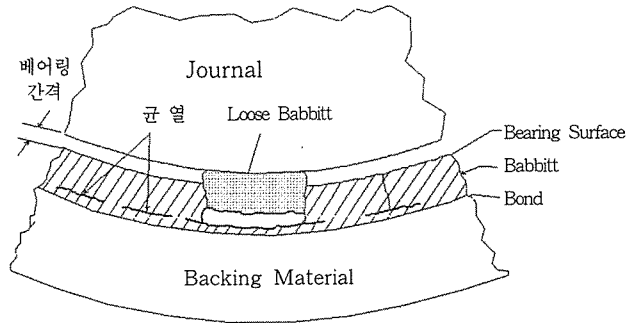


그림-29. Wiping 손상을 일으키는 Babbitt Fatigue

데 Wiping이 발생된 끝부분에 불규칙한 톱니모양의 들쭉날쭉한 모서리가 생기는 것이 특징이며 이 부근의 손상되지 않은 Babbitt 표면에 이동된 Material이 부착된다. 만일 Wiping이 발생하는 동안에 온도가 높지 않았다면 손상된 부위는 광택이 나 있고 발생 과정에서 높은 온도가 발생되었다면 Wiping이 발생된 부위가 검게 윤이 날 것이다. 현장에서 진단한 근본 원인과 Wiping된 베어링의 몇 가지 특수한 예를 지금부터 설명한다.

▶ 그림-30에 적당히 가볍게 Wiping이 발생된 Journal 베어링을 보여주고 있다. Fatigue Wiping에서 이미 언급한 것과 같이 이러한 Wiping의 전형적인 특징은 원래 위치에서 압력이 낮은 위치(모양과 접촉 흔적을 관찰해 보면 이전의 표면 위에 퇴적되었다는 것을 알 수 있음)로 이동된 Babbitt 층이 있다는 것이다. 이러한 표면 주변을 확대하여 그림-30b에 나타내었다.

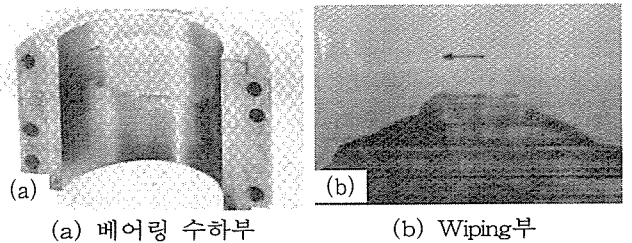


그림-30. 일시적인 윤활유의 상실로 Wiping이 발생된 직경 3.0 인치(7.6cm)의 Journal 베어링

▶ 극심한 Misalignment로 인하여 베어링의 한쪽 끝부분에 집중적으로 발생된 Wiping을 그림-31에 나타내었다.

그림-31. 베어링의 기울어져(Tilt) Wiping이 발생된 증기터빈 Journal 베어링



사. 베어링 손상을 진단하기 위한 실험 기법

본질적으로 베어링 고장을 초래한 특정한 종류의 손상을 확인하는데 유용한 두 가지 일반적인 접근 방식이 있다. 첫 번째는 이미 언급한 것과 같이 손상된 표면을 육안, 가능하면 현미경으로 관찰하고 손상 Mode별로 분류된 사진 목록과 그 모양을 비교하는 것이다. 다른 하나는 간단한 수공구를 사용하는 것에서부터 고도로 복잡한 진단 절차에 이르기까지 다양한 실험실 기법들이다. 이러한 실험 절차는 진보된 물리, 화학적인 기법, 예를 들어 분광기, 레이저, 원자 검사 등을 포함한다. 베어링 손상의 본질을 알아내기 위한 이러한 실험 기법중의 하나(윤활유 Ferrography, 윤활유에 침전된 마모 입자를 분석하는 방법)를 다음에 소개한다.

- Ferrography -

수십 개의 설비에서 사용중인 Ferrography는 오염물질을 확인하는 가장 최신 방법중의 하나로서 운전 원리(그림-32)는 자극(Pole magnet) 사이로 일정량의 Sample Oil을 연속적으로 느리게 Pumping하는 것이다. 유체가 경사진 현미경의 슬라이드판 위를 흘러 내려가는 동안 이물질들은 점성의 Net 효과와 입자에 작용하는 자력에 의해 크기별로 분류된다. 입자가 클수록 먼저 침전되고 입자가 작을수록 더 하류 쪽까지 이동된다. 침전된 입자의 조직 구조에 대한 정보는 동시에 적색 광선 반사와 녹색 광선 투과를 사용하는 Bichromatic 현미경을 사용하여 얻어진다. 1 μ m 정도로 작은 금속 입자는 적색 광선을 반사시키고 녹색 광선을 봉쇄하여 적색만 나타나게 한다. 화합물로 이루어진 입자들은 녹색광선을 더 많이 통과시켜 녹색이 나타나게 하거나 입자가 비교적 굵다면 노란 색이나 녹색으로 나타난다.

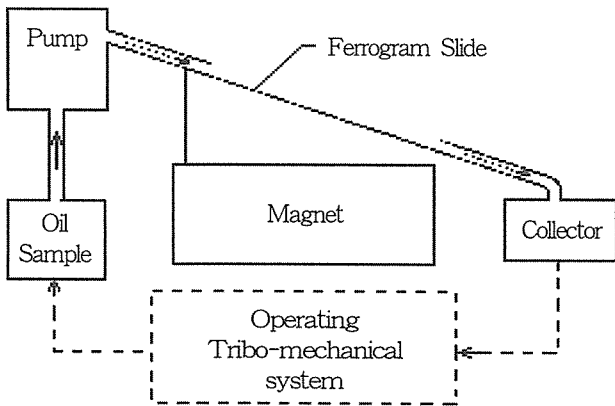


그림-32. Ferrography 분석기의 개략적인 표현

서로 다른 마모 Mechanism에 의해 생긴 입자들은 각각의 특정한 Mechanism을확인할 수 있는 특징들을 가지고 있다. 대부분 기계의 윤활유에서 발견되는 Rubbing으로 인해 발생된 마모 입자들은 작은판의 형상을 가지고 있고 허용할 수 있는 정상적인 마모임을 나타낸다. Cutting이나 연마되어 생긴 마모 입자들은 기계 가공시 생기는 절삭 부스러기와 유사한 작은 나선형, 고리형, 구부러진 선의 형상을 가지고 있다. 이러한 입자들이 많으면 극심한 연마 마모 작용이 일어난다는 징후이다. 화합물로 이루어진 입자들은 산화작용이나 부식성 환경으로부터 생긴다.미끄럼 접촉에서 생기는 입자를 특성별로 분류하여 여러 가지 유형(Regime)으로 표-2에 나타내었다. 특징적인 입자를 만들어내는 Rubbing, 마모의 여섯 가지 유형이 확인되었다. 유형 1과 2는 유체 역학적 경계 윤활에 해당되는 정상적인 마모상태를 나타낸다. 다른 유형(3,4, 또는5)들이 한 개 또는 그 이상 나타나면 시스템의 어떤 매개변수가 바람직하지 못하게 변화하고 있다는 것을 나타낸다. 유형6이 발생되면 손상이 임박했다는 것을 나타낸다. 자유롭게 돌아다니는 금속 입자는 유형 1, 2,3,6에서 만들어지며 이러한 마모 유형들은 입자의 크기에 의해 확인될 것이다. 유형4에서 강의 마모 입자는 가벼운 산화 마모의 형태가 지배적이고 대부분의 마모 입자는 적철광이다. 유형5는 검은 색의 철산화물이 생성되며 극심한 산화 마모의 형태를 나타낸다.

표-2. 마모유형(Regime)

| 유형 (Regime) | 입자에 대한 설명과 대다수 입자의 크기 | 표면에 대한 설명 Metal 입자 |
|-------------|--|--|
| 1 | 보통 5 μ m 이하의 Free Metal 입자 | 광택과 매우 거친 경우 사이에서 변화한다. 반대 표면은 생성된 채로 남아있는 반면, 한쪽 면은 광택이 날 수도 있다. |
| 2 | 보통 15 μ m 이하의 Free Metal 입자 | Oil내 입자 수에 따라 몇 개의 Groove를 가진 안정되고, 매끄럽고, 전단 혼합된 층(Shear-Mixed Layer)의 표면을 가지고 있다. |
| 3 | 보통 150 μ m 이하의 Free Metal 입자 | 표면 균열과 소성 유동(Plastic Flow)의 흔적이 있음. |
| 4 | 몽ଚ져 있거나 각각의 크기가 150 μ m에 이르는 적색 산화 입자 | 표면에 산화 흔적이 있음. |
| 5 | 몽ଚ져 있거나 각각의 크기가 150 μ m 에 이르는 흑색 산화 입자 | 표면에 산화 흔적이 있음. |
| 6 | 크기가 1mm에 이르는 Free Metal의 입자 | 심하게 거친 소성 유동과 문질러진 흔적이 있음 |

아. 2차 Wiping 사례

이 항목에서는 발전설비 베어링의 손상에 따르는 진단-교정 순서에 대해서 설명하고 손상의 명확한 근본 원인을 규명한 다음, 교정 절차에 대해 간단히 설명한다. 일반적으로 Wiping은 가장 기본적인 베어링 손상 형태이기 때문에 베어링에 발생한 Wiping의 한 가지 특별한 경우의 예를 선택하여 설명한다. 이 예는 그림-33과 같이 Overshot Groove가 있는 원형 베어링을 사용하는 어떤 노후 발전소에서 발생되었는데 손상은 순간적이었으며 베어링 Housing에서 연기가 발생하면서 회전축이 거의 고착(Seizure)되는 것처럼 보였다. 발전소를 즉시 정지시키고 점검을 위해 베어링 Housing을 분해하였다. 진단-교정 순서의 도표를 그림-34에 나타낸다.

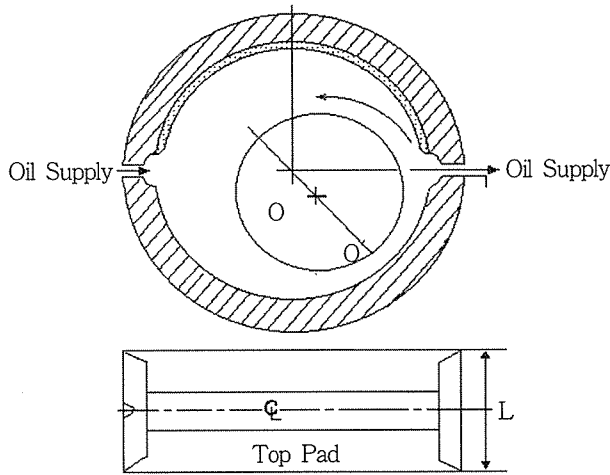


그림33. Overshot Groove 베어링의 일반적인 설계

이 형식의 베어링은 Preload가 있거나 없는 Two-Axial Groove 베어링이며 부하가 걸리지 않는 (Top) Pad에는 Pad의 전 원호에 걸쳐 깊은 원주 방향의 Channel이 가공되어 있다.

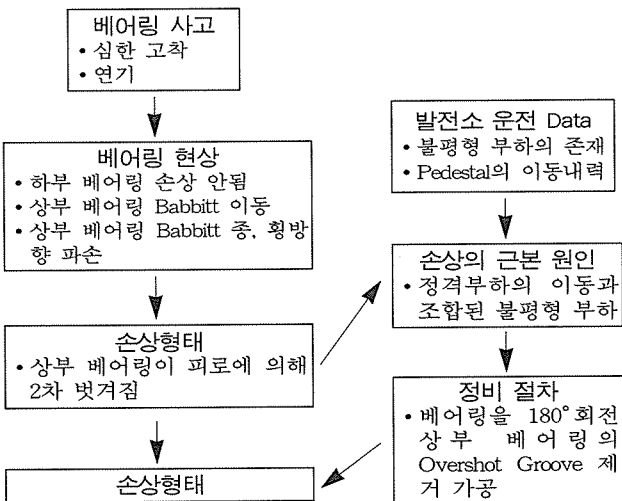


그림-34. 2차 Wiping 사례에 대한 진단-교정 절차의 예

(1) 손상 Mode

점검결과 베어링 표면에는 다음과 같은 현상이 나타났다.

- ▶ 부하를 받는 하부 베어링에는 피로(Distress)의 흔적이 나타나지 않았다.
- ▶ Overshot Groove가 있는 상부 베어링에는 Pad의 Downstream 부분으로 Babbitt가 심하게 밀린 것으로 나타났으며 응결된 베어링 덩어리가 Overshot Groove와 Oil Groove의 Downstream과 작은 양이지만 하부 베어링의 Leading Edge에 침적되어 있었으며 손상된 상부 베어링을 그림-35에 나타내었다.
- ▶ 상부 베어링을 정면으로 보면 Babbitt가 Wiping 되어 어떤 가능한 흔적들을 덮어버렸기 때문에 Crack을 발견할 수 없었지만, 상부 베어링의 Overshot Groove 내의 옆면을 보면, Babbitt층에 수직으로 발생한 미세한 균열과 접합면에 평행하게 발생한 미세한 균열을 볼 수 있으나 하부 베어링에는 이러한 균열이 생기지 않았다.
- ▶ 이러한 증상으로 보아 손상은 피로가 발생한 상부 베어링에 의해 시작되었고 2차 Wiping에 의해 손상이 발생되었다는 것을 알 수 있다.

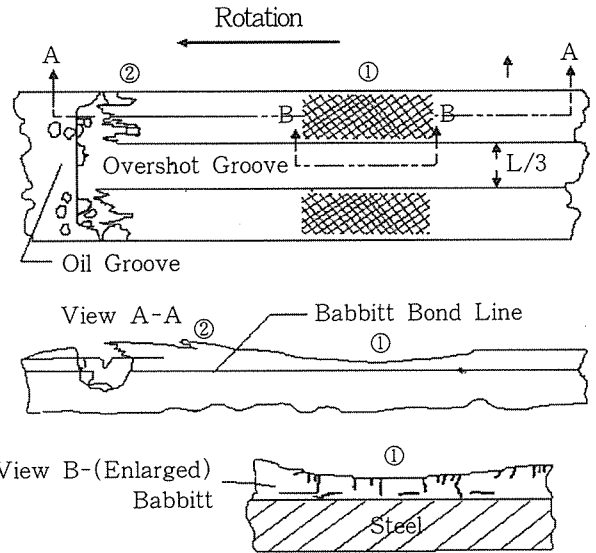


그림-35. 손상된 상부베어링의 해부도(Topography)

(2) Wiping의 근본원인

이 사례는 피로(Fatigue)와 Wiping이 둘다 관련되어 있는 복합 손상 Mode이다. Babbitt Fatigue 단독으로 는 즉각적인 베어링 손상이 일어나지는 않는다. 마찬가지로 가혹한 유체 역학적 상태는 중대한 손상 요인

이기는 하지만, 단독으로는 이러한 정도까지 Wiping 손상을 발생시키지는 않는다. 한가지 타당한 가설은 피로가 발생된 Babbitt의 상태가 유체 역학적 상태를 악화시켜 Wiping이 발생되었다는 것이다. 따라서 피로가 1차적인 손상 요인이다. 진단의 다음 단계는 베어링 피로의 근본 원인을 규명하고 하부가 아닌 상부 베어링에 Wiping 손상을 발생시킨 요소를 결정하는 것이다. 약 12가지의 명백한 작용(Process)이 피로나 Wiping 손상을 일으키지만 이 두 가지 손상 Mode(피로나 Wiping)의 공통적인 요소는 Oscillating 부하에 의해 생기는 Rotor의 진동이다. 이 발전소의 이력을 조사해본 결과 손상을 야기시키는 두 가지 부정적인 상태와 이와 관련된 몇 가지 사실을 알 수 있었다.

이 노후 발전소는 불평형 부하(Unbalance Loading)가 악화되었던 이력을 가지고 있었다.

이 발전소는 베어링 Pedestal이 이동되어 Rotor Alignment나 Mismatch와 같은 문제들을 가지고 있었다.

첫 번째 상태는 불평형 부하가 피로 작용을 촉진시킨다는 가설을 뒷받침하기는 하지만 불평형 부하가 존재한다는 자체만으로는 부하를 받아 피로가 발생되기 쉬운 하부에 생기지 않고 상부 베어링에서 발생했는가에 대한 의문을 해명하지는 못한다. Rotor Mismatch를 나타내는 두 번째 상태는 다음과 같은 해명을 암시한다. 즉,

▶ 손상된 베어링이 안착되어 있는 Pedestal이 하향 이동되었다면 하부 베어링에 부하가 적게 걸리게 되고, 상부 베어링에 미지의 부하(Unknown Load)가 걸리게 된다.

▶ 불평형 부하는 상하부 베어링 모두에 회전력(Rotating Force)을 가하지만 정적 부하가 상방향으로 전환되어 상부 베어링이 하부 베어링보다 훨씬더 가혹하게 부하를 받게 된다.

Overshot Groove가 있는 상부 베어링은 하부 베어링보다 훨씬 더 적은 부하용량을 가지고 있다. 부하용량은 $(L/D)^2$ 에 비례하는데 여기서 L은 길이이고 D는 직경이다. 이 사례에서 하부 베어링에 대한 상부 베어링의 부하용량 비율은 식(1)에 주어진다.

$$\text{Ratio} = (L/D)^2 \cdot 2 = (1/3)^2 \cdot 2 = 22\% \dots\dots\dots (1)$$

따라서 베어링 설계 부하용량의 22%만 가지고 있는 상부 베어링에 주파수 60Hz의 회전 부하가 작용하게 되는 경우가 발생하게 되었다.

손상의 근본 원인은 Overshot Groove가 있는 상부 베어링에 Oscillating 부하와 Steady 부하가 동시에 가해진 때문이라는 것이 분명하다.

(3) 교정

이러한 형태의 문제를 근본적으로 교정하려면 불평형 부하를 제거하고 Pedestal의 이동을 방지하여야 한다. 이것이 가능하다고 해도 이러한 작업은 발전소 Major 정비가 될 것이다. 그러나 베어링을 교정하는 입장에서 보면 두 가지 선택을 할 수 있다.

표면이 부서지지 않은 하부 베어링이 상부에 위치하도록 베어링을 180° 회전시킨다. 부하의 방향이 또다시 변하지 않는다면, 이것은 훌륭한 방법이 된다.

부하 방향에 관계없이 만족스럽게 운전될 수 있도록 설계를 변경하여 Overshot Groove 전체를 없앤다.

자. 증기 터빈 윤활 계통의 유지정비

터빈 발전기의 윤활 계통은 모든 운전 조건하에서 Thrust 및 Journal 베어링에 Oil을 공급한다. 몇 년동안 Trouble없이 운전되다가도 윤활 계통은 윤활유 질의 저하나 기계 전기 부품의 고장 또는 비상 전원 계통의 Trouble로 인하여 갑자기 고장날 수 있다. 윤활 계통의 고장은 잘 발생되지는 않지만 한번 발생되면 터빈 베어링과 Rotor에 큰 손상을 야기시킨다. 이것은 정비를 위한 발전소의 정지기간을 연장시키는 결과가 되므로 윤활 계통의 각 요소들을 정기적으로 검사하고, 정비하는 것이 필수적이다. 증기 터빈 윤활 계통의 유지 정비를 위한 지침은 저자의 협회⁽³⁾에서 대형 발전소의 터빈을 위해 개발되었다. 다음 페이지에서는 이들 지침에 상세히 기술된 Oil 상태를 감시하는 몇 가지 방법에 초점을 맞추어 설명한다.

(1) 검사 및 유지정비가 필요한 이유 : 증기터빈 Oil

요즈음의 터빈 Oil은 고도로 광물질을 정제한 수준의 Oil 규격과 특정한 Oil 특성을 강화하거나 추가하기 위한 여러 가지 첨가제를 공식화하였다. 이러한 양질의 Oil은 열적, 또는 산화로 인한 열화를 방지하고 녹이나 부식을 억제하고 만족스러운 윤활과 부하를 받는 부품을 냉각시키며 거품의 방지, 양호한 수분 분리 특성을 가지도록 하기 위해 필요하다. 사용하는 동안 이러한 특성들이 오랜 기간에 걸쳐 서서히 나빠질 수도 있다. 따라서 터빈 운전원이 Oil의 상태를 감시할 수 있도록 Sampling과 분석 계획을 확립하는 것이 중요하

(3)Lamping, G. A, et al, Guidelines For Maintaining Steam Turbine Lubrication Systems, EPRI Publication CS-4555(1986)

다. Oil 견본의 분석으로부터 얻어지는 정보는 Oil의 적합 여부를 판단하는 근거를 제공할 뿐만 아니라 다른 방법으로는 감지할 수 없는 냉각수의 누설, 과도한 마모, 과열 등과 같은 윤활 계통의 문제점을 확인할 수 있다.

(2) 규격(Specifications)

새 윤활유의 규격(Specification)은 제조업자, Oil 공급업자, 터빈 윤활 분야에서 활동하는 기술 협회 등에 의해 공식화된다. 최소한의 규격 지침이 American Society for Testing and Materials(ASTM)에 의해 발표되어 왔고 "Standard Specification for Mineral Lubrication Oil Used in Steam and Gas Turbines(D 4304)"이라는 표제가 붙여졌다.

(3) 첨가제(Additives)

최소한 터빈 Oil에는 산화의 발생을 저지시키기 위한 내산화제와 철이 주성분인 금속을 보호하기 위한 녹방지제가 포함되어 있다. 그밖에 거품방지제와 금속 분해제가 첨가될 수도 있다. Oil에 포함되어 있는 광물 질의 특성에 따라 필요한 성능 특성을 얻기 위하여 다른 기능을 가진 첨가제가 사용될 수도 있다. 오랜 기간에 걸쳐 몇몇 첨가제가 계통내의 물질이나 오염물질의 흡착작용이나 화학반응에 의한 질의 저하, 윤활유의 열화 등으로 인해 소모될 수 있다. 이러한 소모량은 주기적인 보충유의 첨가로 전체 또는 부분적으로 상쇄될 수 있다. 터빈 Oil을 15~20년 동안 계속해서 사용하는 것도 보기 드문 경우가 아니다. Makeup이 용이하지 않은 터빈 윤활 계통에서는 어떤 성능이 감소되었는가를 정확하게 확인할 수 있도록 Oil의 특성이 감시될 수 있어야 한다. 첨가제를 혼합하여 Oil의 억제 작용을 다시 제공하는 것이 가능하더라도 이러한 작업은 신중하게 검토되어야 하며 터빈 Oil 공급자와 면밀한 상담을 한 후에 행해져야 한다.

(4) 오염물질(Contamination)

터빈 Oil 계통내의 오염물질들은 내부에서 생성되거나 Seal이나 Vent 등의 통로를 통하여 주변환경으로부터 계통 내로 빨려 들어간다. 외부의 오염 물질은 공기중의 먼지, 모래, 석탄 입자, 수분 등이다. 내부에서 생성되는 오염물질은 어느 정도까지는 일정하게 생성되고 있는 마모된 금속입자, 냉각수의 Leak, Slug와 같은 Oil 열화 생성물, 녹 입자 등이다. 고체 오염물질의 양과 크기로써 터빈 Oil의 상태를 나타낸 일반적인 도표를 그림-7에 나타내었다. 오염물질의 생성이 과도하거나 억제되지 않을 때는 터빈 운전원이 그 원인을 확

인하여 조치를 취하고 Oil 정화 장치나 계통의 여과기가 적정하게 운전되고 있는지를 확인할 수 있도록 경보가 발생되어야 한다.

(5) 분석

운전중 터빈 Oil의 상태감시는 다음과 같은 특성에 초점을 맞추어야 한다.

- ▶ 녹방지 보호 작용
- ▶ 점도
- ▶ 청결도
- ▶ 색상/외관
- ▶ 인화점(Flash Point)
- ▶ Oil의 잔존 수명(산화 안정성)
- ▶ 전산가(Total Acid number)
- ▶ 거품의 생성 경향
- ▶ 수분 함유

다음 항목에서 ASTM에 의해 개발 및 입증되어 발표된 추천 할 만한 검사 절차와 함께 처음 두 가지 특성의 중요성에 대해 논의된다. 터빈 Oil 계통 내에는 녹에 대해 보호가 필요한 수많은 철금속이 있다. 이러한 보호 작용은 Oil속에 존재하는 녹방지 첨가제에 의해 대부분 가능하다. 새로운 Oil이나 사용하던 Oil을 계속해서 사용하려면 ASTM Method D 665-83 Procedure A, 또는 D 3603-82를 통과하여야 한다. 이것은 운전 중에 물이 Oil과 섞이게 되는 경우 철금속 부품에 녹이 생기는 것을 방지하기 위하여 증기 터빈 Oil의 성능을 평가할 수 있도록 고안된 Dynamic Test이다. 이 방법에서 원통모양의 Steel 견본을 300ml의 시험유와 온도가 140°F(60°C)인 30ml의 증류수가 들어있는 비이커에 담근다. 이 혼합물은 시험이 진행되는 동안 휘저어서 사용하며 시험은 보통 24시간 정도 소요된다. Steel 견본의 녹은 시험후 육안 점검으로 측정된다. Oil의 잔존 수명은 극심한 열적/산화에 의한 열화에 대해 Oil이 얼마나 더 견딜 수 있는가를 측정한다. Oil의 잔존 사용가능 수명은 Oil 내의 내산화제 잔존 농도와 밀접한 관계가 있다. 새 Oil의 산화 안정도는 일반적으로 ASTM Method D 943-81에 의해 측정된다. 그러나 이 방법은 비교적 시간이 많이 소요되기 때문에(6주 이상) 운전중 Oil 상태 감시에는 적용되지 않는다. 이 용도로는 Rotating Bomb Oxidation Test(RBOT)인 ASTM Method D 2272-84가 더 많이 사용된다. 구리 촉매 코일이 들어있는 작은 유리 용기에 50g의 시험유 Sample과 5.0ml의 물을 담아 이 용기를 90psi(620kPa)의 산소가 가압되어 있는 Metal Oxidation Bomb에 넣고 이 Bomb를 302°F(150°C)의 항온 Bath에 넣는다. Bomb는 Bath내에서 수평면과 30°의 각도를 이루면서 100RPM으로 회전된다. 산소압력은 시험 중에 연속적으로 감시되며 산소의 압력이 최대 압력으로부터 25psi

(172kPa)이상 떨어지면 시험이 종료된다. 이것은 일반적으로 시험유의 산화가 가속화되었다는 것을 나타내며 산화가 가속화되기 전까지 소요된 시간을 새 Oil의 RBOT Data와 비교하여 운전중인 Oil의 잔존 산화수명의 추정치가 얻어진다.

(6) 터빈의 Severity Level

건설 및 운전기간에 발생된 상황이 각기 독특하기 때문에 각각의 터빈/발전기 유회 계통은 독특한 특성을 가지고 있다. 이러한 상황들은 새로 채워진 새 Oil이 산화 저항성을 잃게 되는 비율을 결정짓게 된다. 사용중인 Oil의 잔존 산화 저항성을 감시할 때 이러한 상황들을 고려하기 위하여 터빈 Severity Level(B)이라고 불리는 한 특성(Property)이 확립되었다(DenHarder and Vienna). "B"는 터빈/발전기 유회 계통에서의 Oil 반응으로 인해 매년 없어지는 새 Oil 산화 저항성의 %로 정의된다. "B"는 다음 세 가지 요소를 고려에 넣는다.

- ▶ Oil의 산화 저항성을 보충하기 위해서 유회 계통에 첨가되는 보충유의 양
- ▶ Oil이 사용된 시간
- ▶ RBOT, ASTM D 2272-84에서 정해진 것과 같은 잔존 산화 저항성

식(2)는 터빈 Severity, B를 계산한다.

$$B = M(1-X/100)/(1-e^{-Mt/100}) \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

M = 매년 계통으로 보충되는 Oil의 양을 원래 계통 내에 있던 전체 Oil량에 대한 %로 나타낸 값(% / year)

X = Oil 속에 남아 있는 산화 저항성의 양을 원래의 Oil의 산화 저항성에 대한 %로 나타낸 값(새 Oil에 대한 %)

t = 원래의 Oil이 사용된 연수

매년 25%의 Severity level을 가지고 있는 터빈에서 Oil 열화에 대한 보충율의 영향, M이 그림-36에 나타나 있다.

특수한 유회 계통에서의 Severity level은 최초 운전이나 새 Oil이 충전된 시점에서 얼마의 기간 내에 결정되어야 한다. 보충유 양의 정확한 기록이 필수적이며 RBOT가 1~2년 동안 3~6개월의 간격으로 수행되어야 한다. Oil 보충량과 시간에 따른 Oil의 열화정도를 알면 그 Oil에 대한 터빈 Severity를 그림-37에서 알 수 있다.

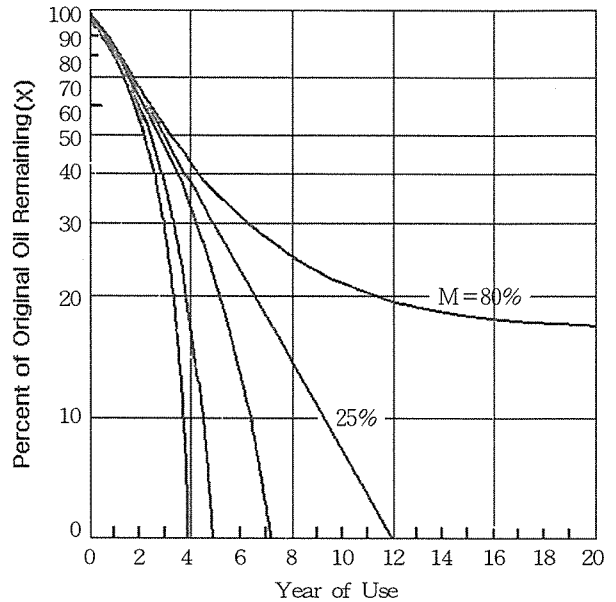


그림-36. Oil 열화에 대한 터빈보충율의 영향 (터빈 Severity, B = 25%/year)

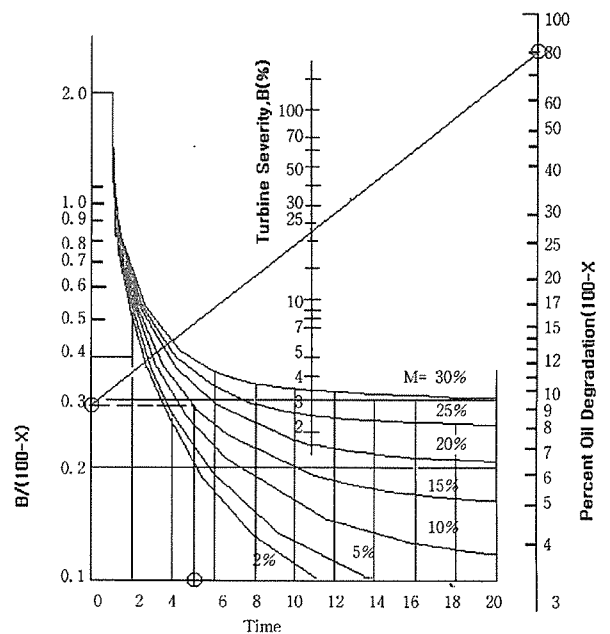


그림-37. Oil 열화에 대한 터빈 Severity(B)와 보충율 (M)의 영향

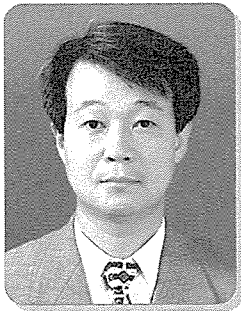
점선은 터빈 severity, B의 값이 얻어지는 과정을 보여준다. 이 예문에서 터빈 Oil은 5년 동안 사용되었고 연간 보충율은 15%이다. 회전식 Bomb Test로부터 얻어진 잔존 수명은 처음 1,700분에서 350분으로(79.5% 없어짐) Oil이 열화되었다. 시간 축에서 5년에서 시작하여 위로 올라가면 15%의 보충 곡선과 만나는 점이 결정되면 B/(100X)까지 좌측으로 평행하게 선을 그린다.

다. B/(100X)축 위의 점과 Oil 산화 %축 위의 79.5%에 해당하는 점 사이에 직선을 그리면, 22%/year의 터빈 Severity Scale와 교차하게 된다. 높은 Severity level을 가지고 있는 윤활 계통은 잦은 보충이나 완벽한 새 Oil 충전이 필요한 반면 낮은 Severity level을 가진 윤활 계통은 일상적인 보충으로도 문제가 생기지 않을 것이다. 최신 설계된 터빈/발전기는 1965년 이전에 설치된 것보다 더 높은 "B" Level을 가지고 있다. 윤활 계통의 온도가 증가되어 최근 설계된 터빈의 "B" Level이 더 높아진 것이 아닌가 생각된다. 보다 대형화된 축, Turning 기어, Coupling, 그리고, 더욱 작아진 Oil Tank의 체적은 시간당 Oil 냉각기를 통과하여야 하는 Oil Gallon당 열의 양을 증가시키게 되었다. 또한 압입 통풍형 보일러에서 새어나온 석탄 분말과 Fly Ash에 의한 Oil의 오염도 한 인자가 되어 왔다.

3. 결 언

저자의 협회는 발전소 설계 및 정비 기술자들이 근본 원인은 물론, 특정한 베어링 손상 Mode를 감정할 수 있도록 도와주고 적절하게 대응할 수 있도록 하는 안내서와 Software를 개발했다. 베어링 손상 Mode와 원인을 확인하고 현장에서 발생하는 관련 문제를 교정하는 것에 의하여 설비 안정성을 증가시키면서 발전소 정비비용이 절감될 수 있다. 또한 윤활유의 열화는 여기서 다루어진 몇 가지 손상 Mode와 함께 터빈 베어링 손상의 주요 원인이기 때문에 터빈 윤활 계통은 적정하게 유지 정비되어야 한다. 저자의 협회는 이와 같은 윤활 계통을 감시하고 유지 정비하기 위한 지침서를 개발했다.

부곡 복합화력 발전소 및 가스터빈 소개



LG건설(주) 부곡복합화력발전소 엔지니어링팀
부장 문설중
Tel : (041)351-2430

1. 머리말

열병합 발전이란 에너지의 효율적인 이용방안으로서 단일 연료로부터 열과 전기를 동시에 생산, 이용하는 발전방식이며 증기터빈 발전방식, 가스터빈 발전방식, 복합발전방식(증기/가스터빈 조합), 디젤엔진 발전방식과 폐기물 소각열 이용방식 등을 일반적으로 채택하고 있다.

근래까지 국내 열병합 발전설비는 증기Cycle방식이 주류를 이루어 왔으나, 최근 환경 규제 강화 문제와 함께, 가스터빈 발전방식 및 복합발전방식의 특성 즉, 기동정지가 용이하고 기동시간 및 건설기간이 짧으며 건설Cost도 비교적 저렴할 뿐만 아니라 입지조건 제약이 상대적으로 적다는 것 등의 장점과 설비의 효율성 및 신뢰성 등 종합적인 측면을 고려하여 볼 때 복합

Cycle 열병합발전 도입이 보다 활성화 되리라 예상된다.

국내 발전산업의 85% 이상은 한국전력공사에 의하여 생산, 운영되며, 열병합을 포함한 자가발전량은 10% 미만으로 그 규모가 크지 않으나, 국내 발전분야의 효율성 제고에 의한 국가경쟁력 강화의 목적으로 1993년 6월 신경제 5개년 계획 상에 민자발전사업 추진방침을 확정하고, 1996년 10월 제1차 민전사업자를 LNG복합 및 석탄화력 2Group으로 나누어 LNG복합에 LG에너지와 현대에너지, 석탄화력에 포스에너지를 각각 선정, 민간 사업자에 의한 대형 발전사업을 추진하게 되었다.

이 사업 중 복합Cycle 열병합발전과 유사한 복합 Cycle 발전소이며, 첫 번째 신규 민자발전 사업자인 LG에너지에 의해 수행되고 있는 LG부곡 복합화력 발전소에 대하여 개략적으로 소개하고, 복합화력 발전소의 주기기이며, 세계 유수의 대형 발전용 가스터빈