

탄소 고형물에 의한 터빈의 이상 진동

°구 재량*황 재현*김 연환*이 우광*

Abnormal vibration of steam turbine due to carbon deposit at journal bearing in 500MW thermal power plant

Koo, Jae Raeyang, Hwang, Jae Hyeon, Kim, Youn Kye, Lee, Woo Kwang,

Key Words: Abnormal vibration. Carbon deposit. Oil deflector.

ABSTRACT

Lubricating oil supply system is an essential instrument for safe turbine operation. A lubricating condition may cause the abnormal vibration of turbine. In this paper we have discussed the abnormal vibration of turbine due to lubricating oil. Dusts of the air usually attach to end of the oil deflector and contact particles of the bearing oil. Dusts which were contacted particles of the bearing oil were changed into carbon deposit because of high temperature. therefore, carbon deposits occur abnormal vibration of the turbine when they contact a rotor. So, we have solved this problems through the various maintenance.

1. 서 론

증기 터빈의 윤활계통은 터빈에 있어서 필수적인 중요한 장치이다. 터빈의 저널 베어링(journal bearings)은 오일 막(oil film)위에 로타(rotor)의 중량을 지지하며 로타 시스템에 동적인 안전성을 제공하여 준다.

베어링에 오일을 공급하는 윤활유 계통은 필터를 통과한 깨끗한 오일이 각각의 베어링에 충분히 공급되어 오일 막을 유지시켜주어 안정적으로 터빈을 운전할 수 있으며 오일 막에 의한 전단력 때문에 발생한 마찰열이 너무 높아져 베어링 배빗(babbitt)면의 손상을 가져오지 못하도록 설계되어 있다. 윤활 오일펌프(pump)에 의하여 각 베어링에 윤활유를 공급하며 이 윤활 펌프의 타입은 센투리퓨걸 타입(centrifugal type)으로 매우 튼튼

하게 설계되어 있다. 그러나 가끔 터빈의 베어링 오일 디플렉터(deflector)부위에서 공기중의 먼지가 디플렉터의 끝부분에 부착되어 베어링 오일과 접촉하여 고온에 의하여 고형화가 되어 로타에 접촉하여 고 진동을 유발시키는 경우가 있다. 이에 본 고에서는 증기터빈에서 발생한 이 같은 현상을 기술하고자한다.

2. 윤활 시스템과 오일 디플렉터의 구조

2.1 윤활 시스템

Fig.1은 윤활 시스템의 계통을 나타낸 그림으로 탱크(Tank)안에 있는 오일을 펌프로 압력 1.8~2.0kg/cm²로 승압 베어링 헤더(header)로 이송하며 이 베어링 헤더에서 각 베어링으로 오일을 공급하며 다시 오일 탱크로 회수되는데 이때 탱크안의 압력은 부압인 40mmHg로 유지되며 이는 오일의 흐름을 원활히 하기 위해서이다.

* 한국 전력공사 전력연구원

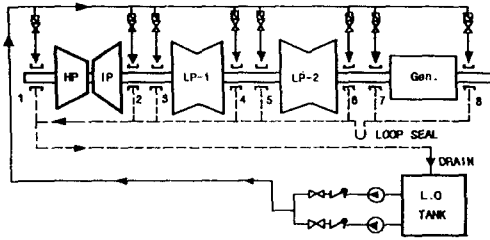


Fig. 1 Lubricating oil supply system

2.2 오일 디플렉터의 구조

Fig.2는 오일 디플렉터의 구조를 나타낸 그림으로써, 오일이 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 베어링 옆에 설치하였으며 오일 탱크내의 부압의 영향으로 외부 공기가 오일 디플렉터의 내측으로 흡입되어 오일 탱크 내부로 유입되며 이 흡입된 공기는 오일 탱크 내부에 설치되어 있는 환기팬(vapour extraction fan)을 통하여 대기중으로 배출된다.

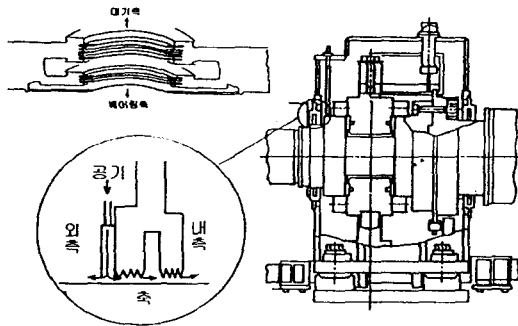


Fig. 2 Structure of oil deflector

3. 탄화 고형물에 의한 터빈의 이상진동

3.1 진동 발생 이력

Table 1.에서 나타나듯이 정상운전 중 No #1,2 번 베어링의 진동이 순간적으로 높아졌으며 No #2번 베어링 진동이 No #1번 베어링 진동보다 크게 나타났으며 일정기간이 지나고 다시 원래의 진동 상태를 유지하였는데 이와 같은 진동 현상은 빈번히 발생하였다.

Table 1. Vibration a state No #1,2 bearings

일시	출력(MW)	베어링 진동(μm)	
		#1	#2
10/04	453	40 →98	50 →160
10/11	478	30 →71	66 →102
10/15	460	32 →103	70 →178
10/18	480	38 →67	68 →94
10/21	485	36 →94	68 →154
10/25	490	40 →77	72 →132
10/26	469	36 →53	70 →104
10/28	480	38 →94	74 →163
10/30	480	38 →81	76 →140

3.2 이상 고 진동 발생시의 신호 분석

Fig.3에서 나타나듯이 No #1 베어링이 약 $40\mu\text{m}$, No #2 베어링이 약 $70\mu\text{m}$ 정도의 진동으로 정상 운전 중 갑자기 진동이 No #1 베어링이 약 $80\mu\text{m}$, No #2 베어링이 약 $140\mu\text{m}$ 정도의 큰폭으로 상승하였다가 서서히 저감하였다. 이 발전소의 진동 경보치는 $125\mu\text{m}$ 로 이미 경보치를 초과 했으며 터빈 트립(trip)은 $175\mu\text{m}$ 로 규정되어있다. 베어링 진동 신호의 형태로 보아 로타가 어느 부위에서 접촉(rubbing)을 일으키는 것을 알 수 있었다.

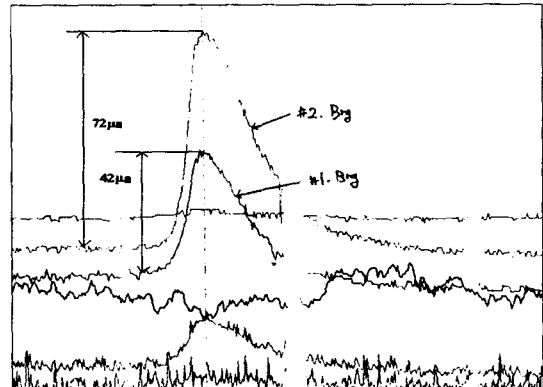


Fig.3 Vibration trend

또한, IRD 진동 분석 장비로 주파수 분석 결과 Fig.5의 그림에서 나타나듯이 1X 진동값이 $53\mu\text{m}$ 에서 Fig.6의 그림에서와 같이 1X 진동값이 $117\mu\text{m}$ 로 급격하게 상승하는 것을 알 수 있었으며, 이와 유사한 진동이 일본의 원자력 발전소에서

발생한 선례가 있었으며 베어링 하부 커버 (cover) 밑에 탄화된 물질이 있어 이에 시료를 채 취하여 시료의 성분을 정밀 분석하기로 하였다.

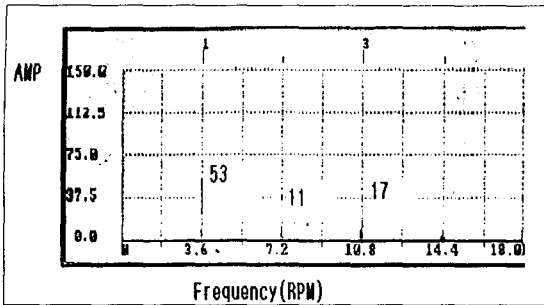


Fig.4 Vibration spectrum

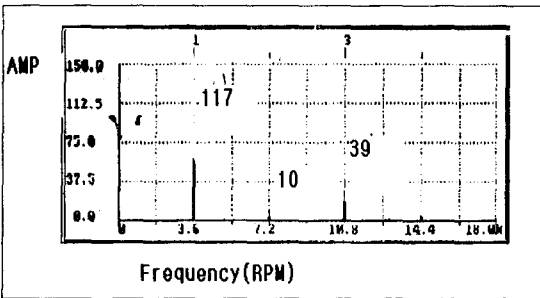


Fig.5 Transient vibration spectrum

3.3 일본 원자력 발전소의 이상 고 진동 사례

일정부하 운전 중 No. #2번 터빈 베어링 진동치가 22 μ m에서 100 μ m까지 변동하는 현상이 발생하여 조정을 위하여 터빈을 정지 후 #2,3번 베어링 오일 디플렉터의 분해를 실시하였다.

Fig.6의 그림에서와 같이 No. #2, 3번 터빈 베어링 오일 디플렉터 선단에 탄화물의 고착 및 로타와의 접촉흔적이 확인되었으며 No. #2번 베어링 오일 디플렉터 선단에 고착된 탄화물은 베어링 측으로 많이 발생 하였으며 No. #3번 베어링 오일 디플렉터 선단에 고착된 산화물은 대기측으로 발생하였는데 No. #2번쪽의 탄소 고착물이 No. #3번 쪽의 고착물보다 더 많이 발생하였다. 오일 디플렉터 분해 후에 스크레이퍼 및 줄로 탄화 고착물을 제거하고 로타는 샌드페이퍼로 매끄럽게 정비한 후에 터빈을 다시 운전한 결과 향후

터빈의 이상 진동은 발생하지 않았다.

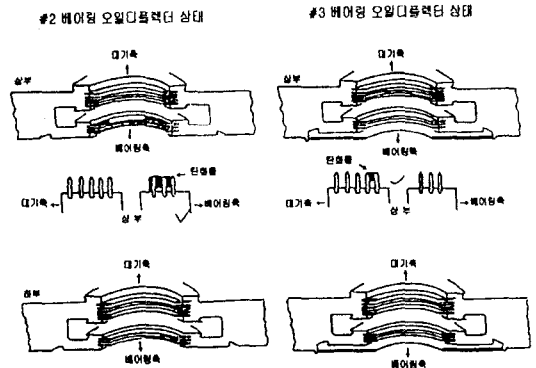


Fig. 6 Oil deflector system's disassembly

3.4 탄화된 물질의 화학적 분석

터빈(turbine) No. #1 베어링 오일 디플렉터에서 발생한 탄화물이 윤활유에서 발생했는지의 여부를 확인하기 위하여 액체 밀봉제, 터빈 윤활유와 가스켓을 가지고 비교 분석을 실시하였으며 이때의 분석기기는 FT-IR(fourier transform-infrared spectroscopy), TGA(thermogravimetric analysis) DTA(differential thermal analysis), ICP(inductively coupled plasma), EDX(energy dispersive X-ray spectroscopy)를 사용하였다. 시료의 분석 방법은 우선, 탄화물 시료 및 가스켓을 갈아서 무게를 측정하여 비이커에 시료를 넣고 핵산 20ml를 넣은 다음, 약 30분간 교반시켜서 기름성분을 녹인 후 여과한다. 핵산 용해분은 로타리 증발기(rotary evaporator)를 이용하여 용매인 핵산을 제거하고 FT-IR을 측정하며 여지에 남은 핵산불용분은 건조하여 무게를 측정한 후 TGA와 DTA를 각각 측정하며 여지에 남은 핵산 불용분의 일정량을 취하여 비이커에 넣은 후 염산, 질산 및 과염소산을 사용하여 녹인 다음 여과한다. 여액은 회석하여 ICP로 무기원소성분을 측정한다. 여과지에 남은 물질을 잘 건조하여 무게를 측정하고 EDX를 측정하였다.

3.5 탄화된 물질의 화학적 분석 결과

시료의 핵산처리결과 탄화물의 일부는 윤활유로 밝혀졌고 가스켓의 주성분인 Si와 Al 산화물이 탄화물에서는 전혀 검출이 되지 않았으며 열분석 결과 탄화물이 가스켓보다는 윤활유 및 중유회화

유사한 것으로 보아 윤활유의 일부가 탄화하여 생성된 것으로 분석결과 나타나 향후 정지 기간을 이용하여 오일 디플렉터 부위를 분해 점검하기로 하였다.

Table4. Analysis results of hexane insoluble parts

(단위:wt%)

시료명 분석항목	탄화물 시료	가스켓
Al(Al ₂ O ₃)	0.01	0.40
Na(Na ₂ O)	0.04	0.05
Ca(CaO)	0.02	0.02
Mg(MgO)	0.01	0.01
Mn(MnO)	0.02	0.03
Fe(Fe ₃ O ₄)	0.03	0.410
Zn(ZnO)	0.01	0.01
산불용분	-	54
유기물	대부분	45

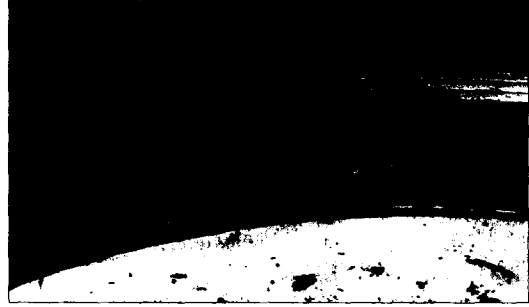


Fig. 7 Oil deflector system disassembled

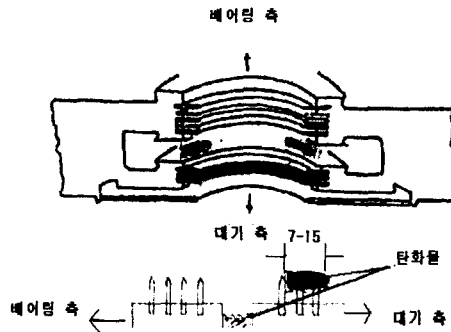


Fig.8 Oil deflection system

Table.4는 hexan처리 결과를 나타내는 표로써 탄화물인 경우 hexan 용해분은 33%이고, 나머지는 67% hexan 불용분으로 오일이 아닌 물질로 구성되어 있으나 hexan 용해 성분은 오일성분으로 나타났으며 가스켓의 경우에 hexan에는 거의 용해되지 않았다.

3.6 터빈 분해 정비 작업

3.6.1 오일 디플렉터의 분해 후 점검

분해 결과 Fig.7 의 그림에서 나타나듯이 내측(Oil chamber측)은 깨끗하나, 바깥측(대기축) 레비린스 시일스트립(labyrinth seal strip)이 전체적인 원주방향으로 7~15mm정도 너비의 탄화물이 다량 축적되어 rubbing 흔적의 광택이 있었으며 특히 오일 디플렉터의 하부측보가 상부측이, No. #2번 베어링 보다 No. #1번 베어링측의 오일 디플렉터 부위가 더 심하게 탄소 고형물이 고착되어 있었으며 Fig.8 에서는 탄소 고착물의 정도와 위치를 그림으로 나타내었다.

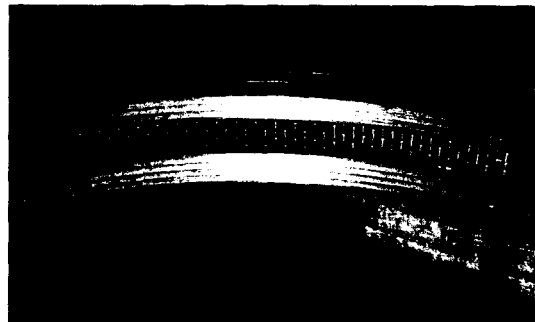


Fig.9 Oil deflector system repaired

3.6.2 정비

오일 디플렉터 부위에 고착된 탄화물을 스크레이퍼 및 줄로서 제거하고 로타는 샌드페이퍼로 매끄럽게 정비를 하였으며 글랜드 시일(gland seal)과 오일 디플렉터 사이에 공기 순환 통로를 확보해 주었으며 아래의 그림 Fig.9는 정비 후의 오일 디플렉터 상태를 나타낸다.

3.6.3 정비 후의 터빈의 이상 진동

오일 디플렉터의 분해 작업 후 다시 터빈을 운전한 결과 탄소 고형물에 접촉에 의한 이상 진동은 Fig.10에서 나타나듯이 더 이상 발생되지 않았다.

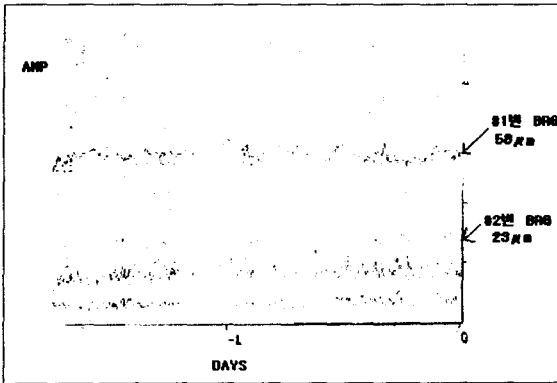


Fig. 10 Vibration trend after maintenance

4. 결론

터빈의 이상 고 진동 현상은 보온가루 및 공기 중의 먼지가 오일 디플렉터의 이 끝단 부위에 부착되어 이 부착물에 미세한 베어링 오일의 입자들이 혼합되어 대기 증으로 방출 하지 못한 터빈 그랜드의 고온 방산열(300°C 이상) 때문에 오일 디플렉터 측 사이에서 탄화 고착된 후 로타와의 접촉으로 인하여 이상 진동이 발생하였다.

참고문헌

- (1) 탄화물 분석 결과에 대한 기술 보고서
한국전력공사 전력 연구원, 2001
- (2) HIP Turbine 이상 진동 관련 점검결과에 대한
기술보고서 한국전력공사 전력 연구원, 2001
- (3) HIP Turbine 이상 진동 관련에 대한
기술보고서 한국전력공사 전력연구원, 2001