

Oil Whip에 의한 터빈의 이상진동

구 재량*, 황재현**

Abnormal Vibration of Turbine due to Oil Whip

Koo, Jae Raeyang*, Hwang, Jae Hyeon**

Vibration(진동), Oil whip(오일힙), Oil whirl(오일 휘)

Abstract

Almost all rotating machinery has bearings. Bearing is one of the most important part of rotating machinery. Vibration of rotating machinery depend on its bearing conditions. Bearing conditions are followings ; oil gap, bearing type, bearing temperature, bearing oil condition. Especially, bearing oil condition influences on rotating machinery vibration directly. In this paper we have discussed the abnormal vibration of turbine due to oil condition. oil whip problem was occurred in the certain power plant. and we had sloved this problem through the control of operating values and alignment.

1. 서 론

일반 공장이나 power plant에서 대부분의 기계는 회전체이며, 회전체 기계는 대부분 bearing으로 지지되어 있다. bearing의 역할은 회전체의 안전 운전에 중대한 역할을 담당한다. bearing의 상태에 따라 축의 진동을 변화시킬 수 있다.

Bearing에 공급되는 bearing oil의 각종 물성치는 축의 운전에 직접적인 영향을 미친다. bearing oil의 영향으로 축에 유발되는 진동의 종류는 많으나, 그 중에서도 가장 흔히 발생하는 현상은 oil whip이다.

외부 충격과 같은 외란은 회전축의 평형 상태에 영향을 미쳐 순간적으로 편심을 증가시키게

되며, 이의 영향으로 진동이 발생하는데 이를 oil whirl이라 하고, 이 oil whirl이 회전체의 고유진동수와 일치할 때 큰 진동을 유발하는데 이를 oil whip이라 한다.

이에 본 고에서는 발전소에서 발생된 oil whip 현상과 이의 저감 대책 등에 대해서 기술하고자 한다.

2. 이론

2.1 Oil Whirl

정상적으로 유막은 베어링을 윤활하고 냉각시키기 위해 저널 주위를 유동한다. fig. 1에서 보듯이 유막은 저널 표면속도의 50%보다 약간 낮은 평균속도를 발생시킬 것이다. 정상적으로 회전축은 주어진 안정 양태각 (attitude Angle) 과 편심위치 만큼 수직에서 벗어나 베어링 면에서 약간 들려진 상태에서 유압 분포도의 꼭대기 부분에 있을 것이다. 들어올려지는 양은 회전체의 속도, 회전체의 중량, oil 압력에 좌우된다. 회전축이 베어링 중심에서 편심 되어 회전됨으로써

* 한국전력공사 전력연구원

oil을 끌어들이게 된다. 만일 회전축이 급작스런 surge나 외부 충격과 같은 외란을 받으면 그것은 회전축의 평형상태로부터 순간적으로 편심을 증가시키게 된다. 이러한 현상이 발생되면 축의 이동으로 인해 비워진 공간으로 추가 윤활유가 즉시 채워지게 된다. 이것이 부하 지지 유막의 압력을 증가시키게 하고 유막과 축 사이에 추가 힘을 생기게 한다. 이러한 경우 유막은 베어링 간극 내에서 회전축이 정방향 원운동을 하도록 한다. 만일 시스템이 충분한 감쇠력이 있다면 축은 안정된 정상상태로 돌아가게 될 것이다. 그렇지 않으면 축은 몇몇 매개변수에 의해 격렬한 운전 상태가 될 수 있는 whirling 운동을 계속 할 것이다.

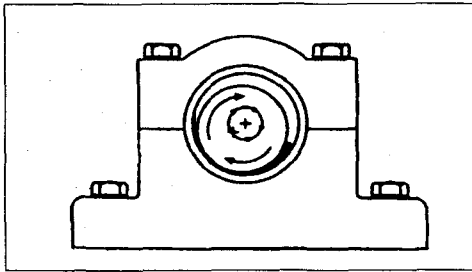


Fig. 1 Oil film at plain bearing

2.2 Oil Whirl의 발생 Mechanism 및 저감 방법

2.2.1 Oil Whirl의 발생 Mechanism

Oil whirl은 다음과 같은 조건에 의하여 일어날 수 있다.

- 가벼운 동력이나 pre-load
- 과도한 bearing 마멸 또는 간극
- Oil 특성의 변화(주로 전단 점성력)
- Oil 압력의 증가
- 부적당한 bearing 설계(때때로 실제 축 부하보다 과잉 설계되었을 경우)

위의 어떤 조건도 외란이 회전축의 초기 처짐을 일으키게 한 후에나 oil whirl을 일으킬 수 있다.

종종 기계는 sleeve bearing의 상태와는 관계없이 외부의 진동 가진력이 시스템내로 전달되거나, 기계 자체의 원인에 의하여 oil whirl을 일으

킨다. 이러한 경우에 이들 진동 가진력은 그 bearing의 oil whirl 주파수와 똑같은 주파수를 일으키며, 축이 whirl 운동의 상태에 있도록 조정된 주파수에서 외란의 크기일 수 있다. 이러한 진동은 배관과 버팀대와 같은 부착 구조물을 통하여 다른 기기로부터 전달될 수 있다. 만일 이러한 현상이 발생되면 주변기기로부터 이 기계를 격리시키거나 발생시키는 기계 자체를 격리시키는 것이 필요하다.

Oil whirl은 일반적으로 통상적이 아닌 축회전 rpm의 40%~48%의 범위에 있는 진동 주파수로 쉽게 확인할 수 있다.

2.2.2 Oil Whirl의 저감 방법

Oil whirl의 일시적인 교정방법은 oil 온도(즉 oil의 점도)를 변화시키거나, 부하를 증가시키기 위해 의도적으로 약간의 불평형인 misalignment를 주던가, 지지물을 가열하거나 냉각시켜 일시적으로 축정렬 상태를 변화시킨다.

또 다른 oil whirl의 일시적인 교정방법은 bearing의 측면을 scraping하던가, 윤활 wedge를 교란시키기 위해 bearing 표면에 홈을 파던가, 오일 압력을 변화시키는 방법 등이 포함된다.

Oil whirl 문제를 해결하기 위한 좀더 영구적인 교정방법은 적당한 간극을 가진 새로운 bearing을 설치하던가, 내부 오일 압력탭을 설치하여 bearing에 pre-load를 걸어주던가, 베어링 종류를 oil whirl에 덜 민감한 종류로 완전히 바꾸는 방법 등이 포함된다.

Tilting pad bearing은 각각의 pad가 축이 bearing 내에서 중심을 잡도록 압력을 주는 oil wedge를 발생시키고 그것에 의해 시스템의 감쇠력과 전체적인 안정성을 증가시키기 때문에 가장 좋은 선택 중의 하나가 될 것이다.

2.3 Oil Whip

Oil whip은 oil whirl 현상이 일어나기 쉬운 기계에서 발생될 수 있는데 oil whirl 주파수가 시스템의 고유진동수(종종 회전체 평형 고유 진동수라 함)와 일치할 때 높은 진동을 유발하는데 이를 oil whip이라고 한다.

Fig.2는 oil whip의 현상을 보여주고 있다. Rotor의 회전수가 증가되면서 oil whirl 현상이 발생했으며, 이후 급격하게 진동값이 증가하는

현상이 발생했다. 이를 oil whip 이라 한다.

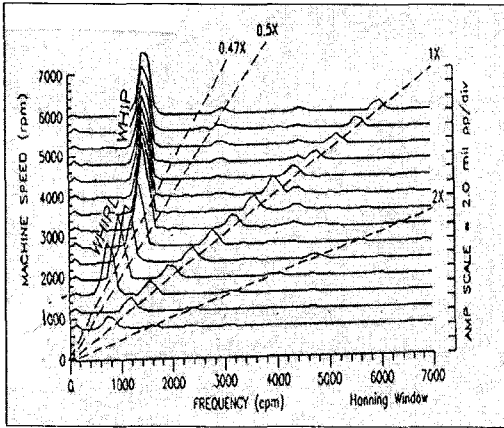


Fig. 2 Spectrum cascade of the rotor vertical response measured at fluid-lubricated bearing

이점에서 축은 rpm과 관계없이 oil whip 주파수는 결코 변하지 않는다. 축이 oil whip 진동 상태가 될 때, 가장 유력한 동력학적 인자는 질량과 강성이 되고 진폭은 Bearing 간극에 의해서만 제한된다. 교정되지 않는 상태로 남겨두면 기계 전체에 중대한 손상을 일으키게 된다.

3. Bearing 에서의 Oil Whip 현상과 저감대책.

3.1 이상진동 발생이력 및 진동의 특성

발전소 turbine 기동 후에 3600rpm에서 26분간 Holding 하여 turbine 운전 시에는 진동이 양호한 상태였으나, 계통 병입 직후 진동이 268 μ m pp까지 급상승하였다. 진동 급상승시 축계의 bearing spectrum을 분석한 결과 가장 크게 나타난 주파수 성분은 0.375X 성분이었으며 전 bearing에서 이 주파수 성분은 모두 나타났으며 #3번 Bearing에서 가장 크게 나타났다. 이에 이상 고 진동 현상의 재발 여부를 확인하기 위하여 다시 turbine을 기동하여 계통 병입 후 약 45분간 부하운전 하였으나, 이상 고 진동 현상이 발생되지 않았다. 이후 급전 정지 차 계통 병해 후 터빈을 정지하는 중 3441rpm에서 이상 고 진동 현상이 또다시 발생하여 임시대책으로 lower

pressure turbine bearing 하중을 더 많게 하기 위하여 condenser vacuum을 737mmHg에서 721mm Hg로 낮추어 운전하였는데, 이때 lower pressure turbine 의 #3번 bearing metal temp는 vacuum 조정전보다 84.9 $^{\circ}$ C에서 86.1 $^{\circ}$ C로 1.2 $^{\circ}$ C상승하였으며 그해 10월까지는 이런 고 진동 현상이 발생되지 않았다. 이후 계획예방정비 후 터빈 기동시 약 3300rpm 부근에서 #3번 bearing 진동값이 207 μ mpp, #4번 bearing 진동값이 185 μ mpp까지 급상승하다가 이 3300rpm 영역대를 벗어나면서 급격히 감소하였으며 이 때의 주파수 성분은 fig. 3 fig. 4 에 나타나 있듯이 0.375X(22.5Hz)가 주성분이었다.

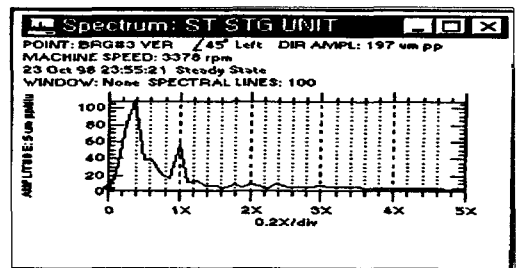


Fig. 3 Spectrum of No.3 bearing

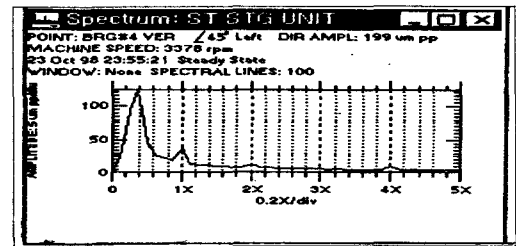


Fig. 4 Spectrum of No.4 bearing

Fig. 5와, Fig.6은 각각 #3번 bearing, #4번 bearing의 bode plot를 보여 주는데 이 bode plot는 시스템의 고유진동수를 나타내며 #3번 bearing과 #4번 bearing의 1차 고유진동수는 약 1800 rpm이라는 것을 나타내고 있다.

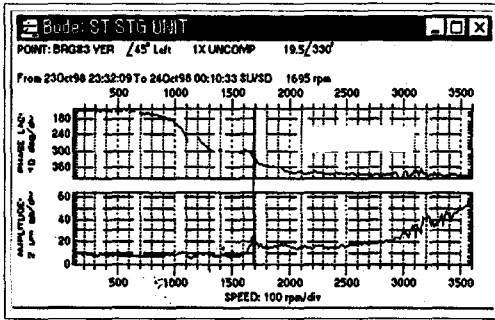


Fig. 5 Bode plot of No 3 bearing

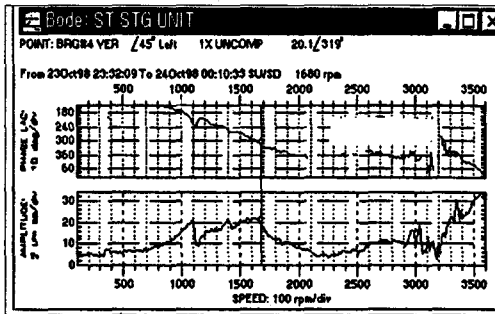


Fig. 6 Bode plot No 4 bearing

3.2 이상진동 저감대책

3.2.1 운전 변수 조정

Turbine 기동, 정지 시마다 oil whip 현상이 매번 발생하여 table.1과 같은 운전 변수를 조정하였으나, oil whip 현상은 계속 나타났으나, lube oil temperature 상향 조정 후에는 oil whip 지속 시간이 약 1~2초로 매우 짧게 나타났다.

Table.1 Resetting of operating value

Cond Vac.	L.O Temp	H ₂ CLR Temp	Bearing Metal Temp					
			#1	#2	#3	#4	#5	#6
718	45.8	35	69	83.4	83.9	86.1	84.3	88.3
733	46	35	66.3	86.1	83	83.1	86	87.8
655	49	32.5	67.5	87.2	84.5	83.8	87.5	89.1

운전 변수의 조정으로도 oil whip 현상을 해소 할

수 없어 축계 및 bearing의 근본적인 교정 작업을 실시하기로 하였다.

3.2.2 Bearing 및 축정렬 조정

Oil whip 현상을 방지하기 위하여 우선 bearing 부위를 다음과 같이 가공하였다.

- #3번 bearing pad 입, 출구 모서리 round 가공 하였음.
- #4번 bearing 입구 직경을 좀더 넓게 확장하였음.

또한, 터빈 축계의 축정렬을 fig.7에서 fig.8과 같이 교정하였다.

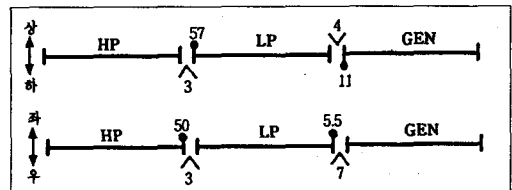


Fig. 7 Turbine alignment before resetting

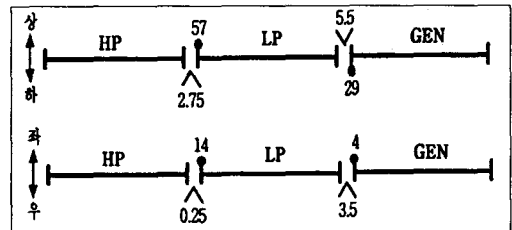


Fig. 8 Turbine alignment after resetting

#4번 bearing이 oil whip 발생의 근원지로 판단되어 #4번 bearing의 부하를 더 많이 주기 위하여 발전기를 현 상태보다 0.3mm보다 더 낮추어 축정렬을 실시하였다.

4. 결론

Turbine 축계의 축정렬 실시 후에 fig.9와 fig.10에서 보듯이 이 oil whip 현상은 없어졌으며 안정적인 운전을 할 수 있게 되었다.

참고문헌

- (1) 현장 기술자를 위한 진동 및 정비 핸드북
한국전력공사, 1998
- (2) 터빈 이상 진동 해소 기술지원 보고서
한국전력연구원 정비기획센터, 2001

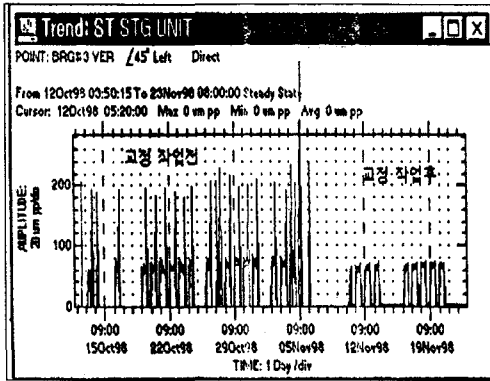


Fig. 9 Spectrum of No 3 bearing after maintance

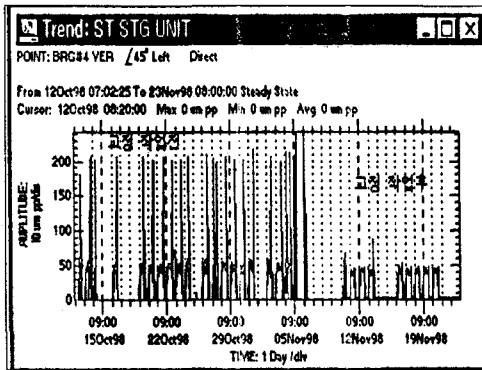


Fig. 10 Spectrum of No 4 bearing after maintance

Oil whip의 임시 대책으로는 운전 변수 조정과 축 정렬 조정이 있는데, 축 정렬 조정은 회전기계를 정지하고 작업을 해야만 하는 단점이 있다. 또한 영구 대책으로는 베어링 type을 바꾸어 주는 것이 있는데 이는 작업 공정 기간이 오래 걸리고 비용이 많이 소요되기 때문에, 실제 현장에서는 이런 작업을 행하는 경우는 거의 없다. 실제 현장에서는 oil whip 발생 시에는 우선 운전 변수를 조작하여 이상 진동을 저감하며, 이에 별 효과가 없을 경우에는 축 정렬을 조정 oil whip 현상을 저감한다.