

회전부품의 탈락으로 발생한 복합화력 증기터빈의 이상 진동

Abnormal vibration of Combined cycle due to separate rotating parts

구 재량[†] · 조 형래* · 황 재현* · 김 두영** · 윤 완노** · 김 연환**

Koo, Jae Raeyang, Jo, hyeong rae, Hwang, Jae Hyeon, Kim, Doo Young,
Yeon, Wan No and Kim, Youn Hwan

Key Words: Synchronous clutch couplings. Vibration. Bode Plot.

Abstract

At rotating machinery, Many factors had caused vibration. especially one of the major factor is mass unbalance. A sort of mass unbalance are followings; Static, Coupling, Single and Dynamic. In this paper, We had investigated abnormal vibration due to mass unbalance that changed phase whenever starting of steam Turbine at Combined Cycle.

1. 서론

회전 기계의 이상 유무를 파악하는 방법은 여러 가지가 있으나, 회전체에 이상이 발생되면 진동이 가장 민감하게 변화하므로, 회전기계의 운전 상태 이상 유무를 신속하게 파악할 수 있다. 회전 기계에서 진동을 유발할 수 있는 요소는 많이 있지만 특히 질량 불평형에 의하여 유발되는 진동이 가장 많은 부분을 차지한다.

회전체 무게 중심이란 그 원주에 Rotor의 질량이 균등하게 분포되어 있는 점이다. 만일 Rotor를 얇은 판으로 분할하면 각각의 판의 중심을 연결한 선이 주관성축이 되며 Rotor를 회전시키면 이 선을 축으로 하여 회전하려고 한다. 질량 불평형이란 주관성 축이 회전 중심축과 일치하지 않을 때 발생하게 되며 질량 불평형의 종류에는 Static, Couple, Single, Dynamic으로 분류할 수 있다.

Static은 주관성축이 회전중심축과 평행하게 위치한 불평형을 말하며, Couple은 주관성축이 Rotor의 중심에서 회전 중심축과 교차하는 불평형

상태이다.

Single 불평형은 주관성축이 Rotor의 중심이 아닌 곳에서 회전중심축과 교차하는 형태이며 Dynamic은 불평형 상태중 가장 일반적인 형태로 주관성축과 회전중심축이 일치하지 않으면서 만나지 않은 형태의 질량 불평형을 말한다.

본고에서는 복합화력의 증기터빈에서 발생한 회전부품의 탈락으로 인하여 질량 불평형의 위상각이 기동시마다 변한 이상 진동을 고찰하고자 한다.

2. 열 병합 발전과 운전 Mode

2.1 열 병합 발전

열 병합 발전이란 하나의 에너지원으로부터 열과 전력을 동시에 생산하는 것을 말하며, 동절기 열 부하가 많을 때에는 열을 지역난방에 사용하고 하절기 전기 수요가 많을 때에는 열을 전기를 생산하는데 사용하는 발전 형태이다.

2.2 열 병합 발전의 운전 Mode

열 병합 발전소의 운전 Mode는 크게 두 가지로

분류 할 수 있는데, 첫 번째는 열 부하 추종 운전으로 배압 터빈에서 나온 증기를 지역난방 열 공급에 사용하는 운전 방법과 증기터빈을 정지하고 가스터빈에서 나온 열에너지 전부를 지역 난방으로 사용하는 형식이다. 이 운전 Mode는 열 소비가 많은 동절기에 많이 사용하는 방식이다.

두 번째는 전기부하 추종 방식으로 배압(HP)터빈과 복수(LP)터빈을 모두 가동하여 전기를 생산하는 방식이며, 열 부하가 전혀 없는 하절기에 가스터빈과 증기터빈을 운전하여 전기만을 생산하는 방식이며 Table 1에서는 이와 같은 운전 Mode를 도식적으로 나타낸다.

	Mode I	Mode II	Mode III
Mode 별 계통도			
비고	열 수요에 따라 가스터빈 출력 자동제어	배기가스는 Stack을 통해 배출	하절기에 최대 전기부하 요구시 운전
	Mode IV	Mode V	
Mode 별 계통도			
비고	동절기 열부하가 최대일 때 운전	Mode I와 Mode III의 조합 방식	

Table1 Operation Mode at Combined Cycle

3. Synchro Clutch

3.1 Synchro Clutch의 역할

Synchro Clutch란 열 병합 발전소의 운전 Mode

변환시에 고압 터빈과 저압터빈을 결합, 분리해주는 역할을 하며 저압터빈이 정지된 상태에서 고압터빈의 단독 승속, 부하운전, 감속이 가능하고 고압 터빈이 3600rpm으로 회전하는 상태에서 정지중인 저압터빈을 승속하여 저압터빈과 고압터빈을 결합 또는 분리가 가능하다.

또한, 고압터빈과 저압 터빈을 결합한 상태에서 승속, 부하운전, 정지가 가능하다.

3.2 Synchro Clutch의 작동 원리

Helical Gear에서 발생하는 축 방향 추력을 이용하여 고압터빈과 저압터빈을 결합 또는 분리하며, 작동 원리는 Fig. 1의 Ratchet Wheel과 Fig. 2의 Pawl을 이용한다.

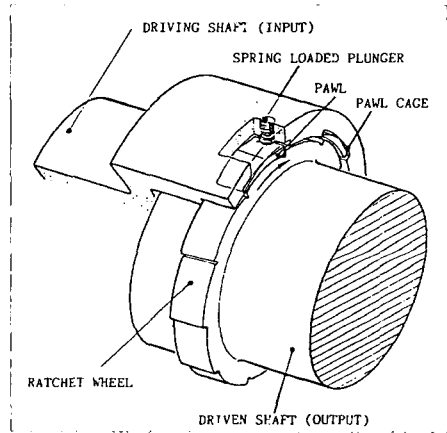


Fig. 1 Ratchet Wheel

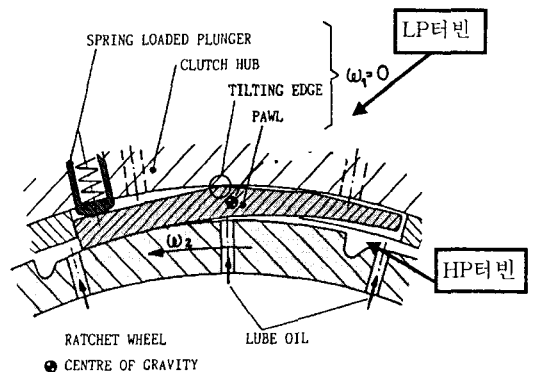


Fig. 2 Pawl Location and Lubrication

고압 터빈 운전중에 정지상태에 있는 저압 터

빈을 고압 터빈에 결합하려면, 고압 터빈이 3600rpm으로 운전되는 상태에서 저압터빈을 승속하여 저압터빈의 회전속도가 고압터빈의 회전속도보다 빨라지는 순간 Ratchet Wheel과 Pawl이 결합하고 Helical Gear의 축 방향 추력에 의하여 Main Gear가 결합된다.

저압터빈과 고압터빈이 3600rpm으로 회전중에 저압터빈 분리시에는 저압터빈으로 유입되는 증기를 차단하면 Helical Gear에서 역방향 추력이 작용하여 자동적으로 분리되며 저압터빈과 고압터빈이 운전되는 도중에 Helical Gear의 역방향 추력으로 Clutch가 자동적으로 분리되는 것을 방지하기 위하여 Locking 장치가 사용된다.

4. 회전부품으로 탈락한 복합화력 증기터빈의 이상 진동

4.1 복합화력의 계통도

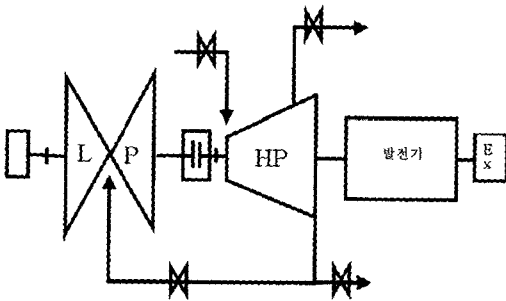


Fig. 3 Schematic of Combined Cycle

Fig. 3은 이 발전소의 계통도이며 고압터빈과 저압터빈 사이에 Synchro Clutch가 장착되어 있어 열부하에 따라 운전Mode를 변환 할 수 있다.

4.2 이상진동의 현상

열 병합 발전소의 증기터빈 #3, 4 베어링 진동이 고압 터빈/발전기 정지후에 재기동시마다 진폭과 위상각이 크게 변화하는 현상이 나타나고 있었으며 기동시마다 진동의 진폭이 점점 증가하는 현상을 나타냈다.

Mode Change(I → V → I)를 한 후 동일한 Mode I에서는 진동 변화가 없고, 고압터빈과 발전기를 정지하였다가 재기동할 경우에만 진동 변화가 발생하였다. 진동 변화의 주성분은 1X이며, Fig. 4의 #3 베어링의 Acceptance Region과 Fig. 5의 #4 베어링의 Acceptance Region에서 나타난 바

와 같이 터빈 및 발전기 베어링에서 동시에 진동이 변화하였으며, Couple 형태의 질량 불평형이 발생하였다.

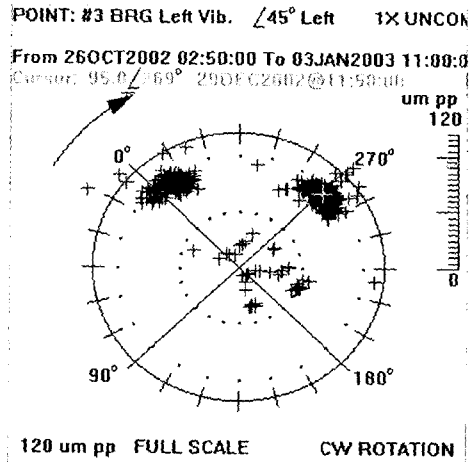


Fig. 4 Acceptance Region of No. #3 Bearing

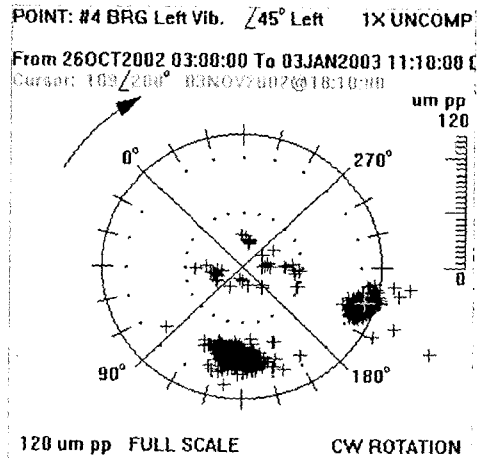


Fig. 5 Acceptance Region of No. #4 Bearing

또한 Fig. 6의 #3 베어링의 기동시의 Transient Data를 비교하면 진동 변화는 1차 임계속도를 지나면서 발생하고 있으며 이는 질량 불균형이 Couple 형태로 이와 같은 질량불균형은 터빈 양 끝단에서 발생하는 Unbalance 성분이 고압 터빈 기동시마다 발생되고 있는 것을 알 수 있었다.

Fig. 7의 #4 베어링의 경우도 #3베어링의 경우와 비슷한 양상을 나타냈으며, #5, 6 베어링 진동 변화는 거의 없었다.

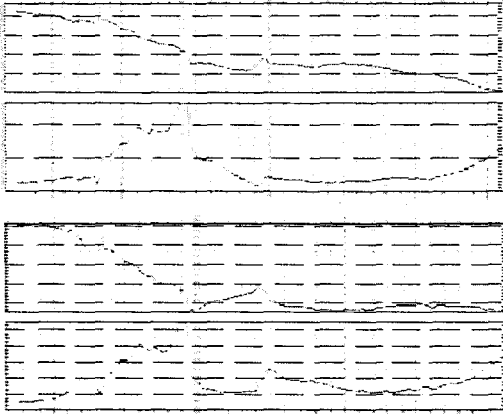


Fig. 6 Bode Plot at No. #3 Bearing

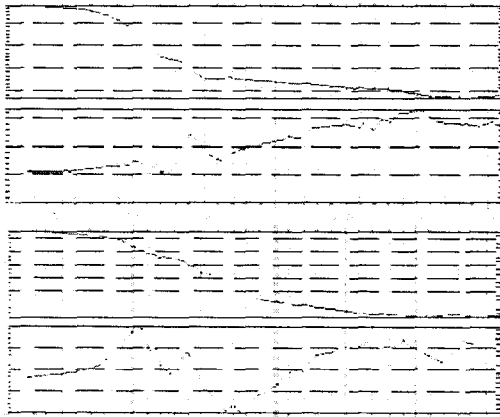


Fig. 7 Bode Plot at No. #4 Bearing

이상 진동 발생시에 전 베어링 Shaft Centerline, 터빈 케이싱 팽창 및 Diff. Expansion 및 Thrust Position 등의 터빈 운전 변수에는 전혀 이상이 없었으며, 진동 특성으로 보아 Rubbing 등의 징후는 없었다.

4.3 이상진동 원인 검토

상기와 같은 진동 현상과 특성을 종합해 볼 때, 진동 발생의 원인은 열 박음 끼워 맞춤 부위의 헐거워짐과 증공 부위에 이물질이 존재할 경우 또는 Synchro-clutch와 같은 유동형 Coupling에 헐거움이 발생하였을 경우에만 진동 현상이 설명될 수 있었다.

진동 Plot 분석 결과 터빈 양 끝단의 무게 불평형의 상태가 일정하지 않고 고압 터빈/발전기 정지후 기동시마다 질량 불평형의 변화가 발생한다고 볼 수 있었으며, 매기동시마다 무게 불평형 상태가 변화한다는 것은 터빈 Rotor나 내부 회전 부품의 구조상 발생될 수 없고, 또한 진동 특성이 터빈 Rotor의 중간 부위가 아닌 끝단에서의 질량 불평형 상태의 변화에 의한 것임을 감안할 때, 이상 진동의 발생 원인을 다음과 같은 몇 가지로 추정할 수 있었다. 우선 첫 번째로는 Synchro Clutch 내부 부품이 탈락되어 증공 Sleeve 내에서 탈락 부품이 기동시 마다 움직이는 것이며, 두 번째로는 가능성은 적지만 고압터빈과 발전기간의 Coupling의 Slip에 의하여 발생될 수 있었으며 계획예방정비공사의 일정이 짧아 증기터빈의 Synchro Clutch와 고압터빈과 발전기간의 Coupling를 분해 점검하기로 하였다.

4.4 Synchro Clutch의 분해 점검

증기터빈의 Synchro Clutch를 분해 한 결과 Fig. 9와 같은 Bolt가 탈락되어 있는 것을 확인하였다.

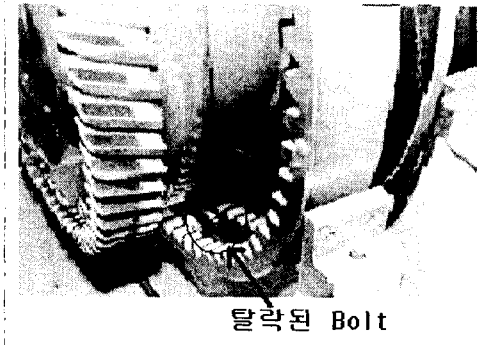


Fig. 9 Separated Rotating Part

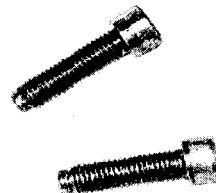


Fig. 10 Separated Bolts

볼트 2개가 탈락되었으며 Fig. 10은 탈락된 Bolt를 나타낸다.

5. 결 론

열 병합 발전소 증기터빈의 이상 진동 현상은 Synchro Clutch의 내부 부품중에 Bolt가 탈락되어 중공 Sleeve내에서 Bolt의 움직임에 의하여 질량 불평형의 위치가 기동 시 마다 다르게 나타난 것으로 확인되었으며 계획예방정비 후에는 이러한 이상 진동 현상은 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

- (1) 회전 기계 진동 및 정비 핸드북,
한국전력공사 전력 연구원,1998
- (2) Design and Application of Synchronous
Couplings, MAAG Gear-Wheel Company, 2002
- (3) 현장 기술 지원 보고서,
한국전력공사 전력 연구원,2002