

수력발전소 소음 및 진동의 측정분석

이정환, 변두균, 김웅태
한국수자원공사 합천댐사무소

Noise and Vibration Analysis in Hydro Power Plant

Jung Whan Lee, Doo Gyoon Byun, Eung Tae Kim
Korea Water Resources Corp, Hap Chun Dam

Abstract - 수차발전기 유지관리상 중요한 자료인 소음 진동을 주기적으로 측정하고 있는데 측정자의 전문성, 측정장비, 데이터 취득분석 등에 있어 일관성이 결여되어 과거 데이터를 현재 취득 값과 비교분석 할 수 없게 되었다. 그래서 수차발전기의 진동원인, 측정상의 주의점, 진동의 판정법, 수차발전기 이론진동수 조사, FFT Analyzer를 이용한 데이터분석의 실례를 보임으로서 보다 과학적인 설비관리의 기법을 보였다.

1. 서 론

수력발전소 소음, 진동의 요인은 여러 가지가 있고 소음과 진동은 일반적으로 상관관계가 있다. 수력발전소에서 소음, 진동의 측정목적은 크게 3가지가 있다. 첫째로 최초 설치후 설비의 품질확인을 목적으로 측정하는 것이고 둘째로 일상적인 유지관리상 예방보전 목적으로 측정하는 것이고, 마지막으로 고장발생시 그 고장의 원인을 찾아내고자 측정하는 경우가 있다. 그런데 시대 흐름에 따라 설비의 높은 신뢰성 확보, 보전기술 향상 등이 요구되고 있으며 계측장비의 성능도 향상되어 이에 따라 예방보전에 중점을 둔 설비관리가 더욱 중요하게 대두되었고 아울러 현장 실무자들도 소음, 진동에 대한 개념을 재정립할 필요가 있게 되었다.

수자원공사의 경우 1973년 소양강 수력발전소를 시작으로 총 22기의 수차발전기를 유지 관리해 오고 있는데 그 동안 매년 또는 필요에 따라 수차의 소음진동을 측정해 왔다. 그런데 측정상에 있어 기술인의 전문성과 숙련도, 측정장비, 데이터 취득분석 등에 있어 일관성이 결여되어 과거 데이터를 현재 취득 값과 비교분석 할 수 없게 되어 갱년에 따라 수차발전설비의

상태변화를 파악하는데 과학적인 자료의 부족을 초래하게 되었다.

이에 따라 본 연구에서는 수력발전소 소음진동의 원인, 측정 및 분석, 현장 적용사례 등을 보고자 한다.

2. 본 론

수력발전소의 소음진동의 주된 요인은 수차의 회전에 기인된다.

이와 같은 원인으로 발생하는 소음, 진동의 측정상의 주의점, 문제점 그리고 FFT(Fast Fourier Transform)Analyzer를 이용한 데이터 분석사례를 보인다.

2.1 수차의 진동

2.1.1 기계적인 원인

회전 부의 결합, 러너의 불평형 또는 축의 휨 등이 원인이 되는 수가 많으나 회전 부를 지지하는 베어링의 결합이나 강도부족이 원인이 되는 수도 있다. 진동수는 N/60(Hz) 또는 그 배수를 나타낸다.

이와는 별도로 가이드 베인 또는 러너 블레이드에 이물질(나무토막, 스티로폼, 프라스틱병 등)이 끼어 발생하는 진동으로 일시적이지만 상당히 큰 진동이 발생할 경우가 있고 나아가서 가이드 베인 링크의 파손으로 가이드베인중 하나가 연동되지 못하는 상태에서 운전되어 상당히 큰 진동을 일으켜, 보호장치가 없는 무인 운전발전소의 경우 장시간 운전시 중대한 고장으로 연결되는 수도 있을 수 있다.

2.1.2 수력학적인 원인

○ 흡출관내의 회전유동에 의한 진동

$$f = \frac{N}{60 \times 3.6} \text{ (Hz) : Rheingens(1940)}$$

$$f = \frac{1-q}{2} \times \frac{N}{60} \text{ (Hz) : 무라가미교수(1958)}$$

q(정격유량은 1로 할 때의 비율)

Rheingens의 식에 의하면 N=100~1000rpm에 대하여 f = 0.46~4.6 Hz가 되며 저주파 진동이다.

○ 러너 입구의 압력변동에 의한 진동

$$f = \frac{N}{60} \times Zr$$

N : 회전속도(rpm)

Zr : 러너 블레이드수

Zr=17이라고 하면 N=100~1000 rpm에 대하여 f=28~283Hz가 되어 비교적 고주파 진동을 일으킨다.

○ 러너 출구의 카르먼 와동에 의한 진동

$$f = (0.15 \sim 0.20) \frac{v}{d}$$

v : 유속(m/sec)

d : 판의 유속방향의 투영길이(m)

d=0.02m, v=5~20m/sec, k=0.2에 대하여 f=50~200Hz가 된다.

○ 캐비테이션에 의한 진동

캐비테이션에 기인한 진동은 회전수에 관계없이 300~500Hz 정도의 고주파 진동이다.

2.2 소음진동의 측정상의 주의점

2.2.1 측정 Point의 일관성

수차발전기 전용으로 고정된 진동계의 경우는 문제가 없으나 일반적으로 기계마다 옮겨가며 측정을 할 경우 반복된 측정에서 측정 Point는 항상 일치해야 한다. 같은 Bearing Stand에서도 측정 위치마다 측정값은 상당한 차이가 있다.

2.2.2 측정요원의 기술수준 및 측정방법의 표준

측정 목적에 따라 다르겠지만 측정요원의 숙련도가 중요하다. 기계진동의 개념 및 측정 기기 특성에 따라 측정 기기를 다루는데 있어 지식과 숙련이 필요하다.

2.2.3 Pick up의 설치방법

속도나 가속도 Pick up의 부착방법은 그림 1과 같이 크게 나누어 4가지 방법이 있고 이에 따라 측정한계 진동수는 표1과 같다.

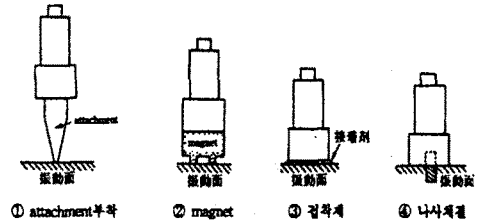


그림1 가속도 Pick up 부착방법

pick up의 설치방법	측정한계진동수(Hz)
봉형상 attachment	800 ~ 1,000
Magnet	2,000 ~ 3,000
접착제	8,000 ~ 12,000
나사고정	10,000 ~ 13,000

표1 Pick up 부착방법과 측정한계진동수

2.2.4 소음측정

소음측정시 측정 자는 등청감 곡선에 따라 주파수별로 보정한 A,B,C 특성에 대해 알고 있어야 하고 측정기기의 특성, 측정시의 유의사항을 알고 있어야 올바른 DATA를 얻을 수 있다.

2.3 진동의 판정

2.3.1 절대판정법

진동치를 미리 기준 값과 비교하여 판정하는 것으로서 수차발전기 설치공사의 종합품질보증, 발전기의 수리, 폐기의 필요성 확정 등의 중요한 의미를 지니지만 수차발전기에 대해서는 명확한 기준이 없는 실정이다.

2.3.2 비교 판정법

똑같은 사양, 조건의 두 수차발전기의 같은 부위의 진동을 상호 비교 판정하는 것으로 동일한 조건으로 만드는 것이 가장 중요하다.

2.3.3 상대 판정법

일반적인 기계에서 JIS 나 ISO에서는

이상발생 진동값 $\geq 1.6 \times$ 초기치

의 식으로 표현된다. 좀더 세분된 상대기준은 표2와 같고 이를 참고로 수차발전기 나름대로의 판정기준을 확립함이 필요하다.

기준	결상시의 값(초기값)과의 비 [배]								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
신일본계별	중다	주의						손상됨	
S. Maten (0.1in/s 기준)	약간 중다	비상 나쁘다	나쁘다	극도로 나쁘다					
ADM (2mm/s 기준)	중다	주의	악화		위험				

표2 상대기준

2.4.2 합천 1,2수력 수차발전기 소음진동 측정 CHART

위치 : TURBINE BEARING 축직각방향

일자 : '97. 6. 9

단위 : mm/sec

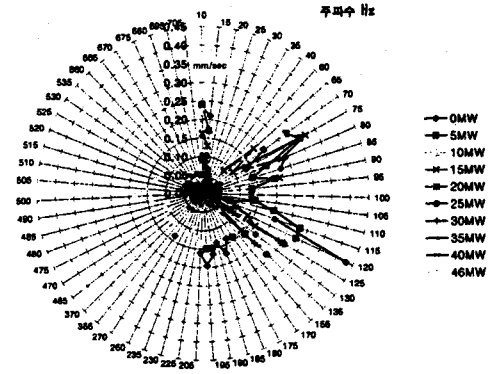


그림2 1수력 1호기 출력시험

위치 : TURBINE BEARING 축직각방향

일자 : '97. 6. 14

단위 : mm/sec

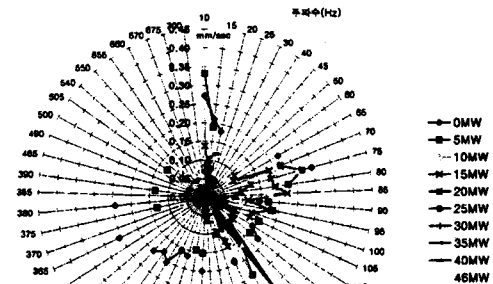


그림3 1수력 2호기 출력시험

2.4 측정 및 분석사례

2.4.1 합천 1,2수력 수차발전기 이론진동수

2.1절의 조건에 따라 이론진동수를 계산해 보면 표3과 같다.

구분	1 수력	2 수력	
사양	회전수 257.1rpr 런너날개 13개	회전수 360rpm 런너날개 4개	
기계적 원인	불평형 4.29Hz의 배수	6Hz의 배수	
수력학적 원인	흡출관내 회전유동	1.19Hz	1.67Hz
	런너입구 압력변동	55.7Hz	24Hz
	런너출구 카르만와동	-	-
	캐비테이션	300 ~ 500Hz	300 ~ 500Hz

표3 수차발전기 이론진동수

위치 : TURBINE BEARING축 직각방향
 일자 : '97. 6. 9. 6. 14
 단위 : 출력 20,000kW

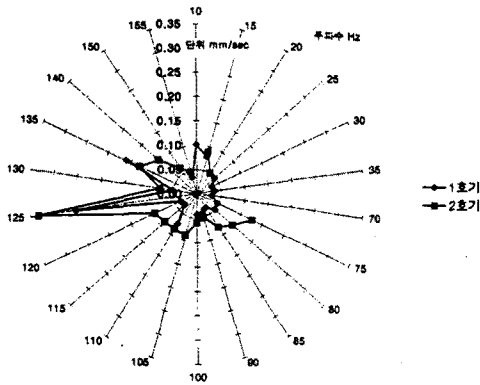


그림4 1수력 1,2호기 진동비교

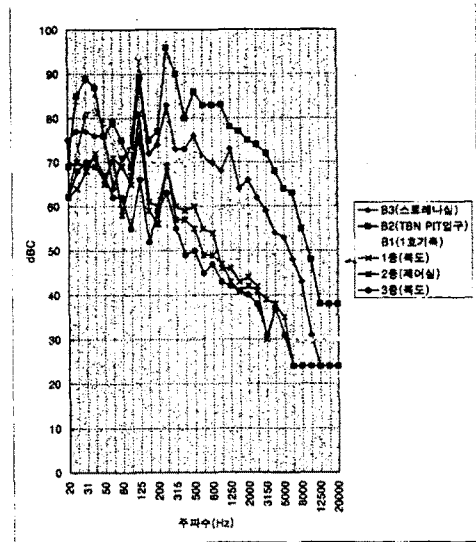


그림6 합천댐 발전소 소음측정 Data Chart

위치 : GEN. BRG BLOCK축 방향
 일자 : '97. 6. 3
 조건 : 출력 330kW

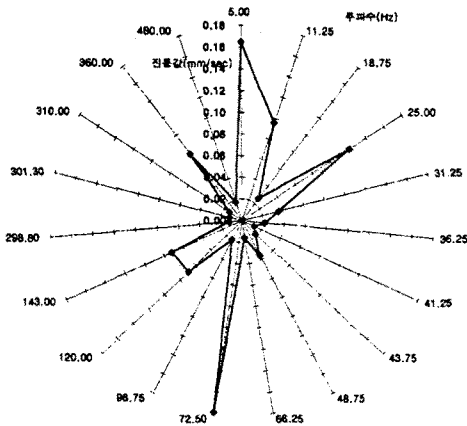


그림 5 2수력 2호기 진동 측정

위치 : 합천댐 발전소
 일자 : '97. 5. 13
 측정조건 : 각 층별 대표장소, 1호기가동
 43,000kW, 2호기 정지
 측정단위 : dBC

2.4.3 소음, 진동 측정 DATA 분석

○합천 1수력 수차발전기 진동

그림 2,3에서 주된 진동수는 1,2호기 모두 10Hz, 75Hz, 125Hz 부근에 나타나고 이론적인 진동수(4.29Hz의 배수, 1.19Hz, 55.7Hz)와는 어느 정도 상관관계가 있음을 보여준다. 그리고 그림 4에서 같은 조건에서 측정 한 1,2호기의 진동은 비교적 일치됨을 알 수 있다. 저출력상태(5MW이하)에서는 다양한 주파수 성분으로 큰 진동이 발생하고, 고출력 상태(35MW이상)에서는 300~700Hz의 캐비테이션 현상에 의한 진동이 관찰되는 반면 중간출력(10MW~30MW, Aeration구간)에서는 전체적인 진동이 상당히 감소함을 알 수 있다.

○합천 2수력 수차발전기 진동

그림 5의 진동측정 CHART에서 전체적인 진동 크기는 양호하고 주된 진동수는 72.5Hz, 25Hz, 11.25Hz, 360Hz 등으로 나타나고 이론적인 진동수(6Hz의 배수, 1.67Hz, 24Hz)와 뚜렷한 상관관계를 보여줌을 알 수 있다.

○합천 1수력 수차발전소 소음

그림6의 소음측정 CHART는 등청감곡선에 따라 주파수 보정을 하지 않은 C특성으로 측정하였다. 소음발생원(B2)에서 B3, B1, 1층, 2층, 3층 순으로 거리에 따라 감쇄됨을 알 수 있는데 저음역(1000Hz미만)에서는 층별 소음도의 차이가 적은 반면 고음역(1000Hz이상)에서는 층별 소음도의 차이가 크다. 이것은 소음대책을 우선적으로 고음역(B2)에 집중하면 큰 효과를 볼 수 있음을 알 수 있고 흡음 시공시 층별 주파수 특성에 맞추어 시공함이 바람직함을 알 수 있다.

3. 결론

소음 진동의 측정 분석에서 가장 중요한 건 정확한 측정이다. 청진기를 아무나 사용 할 수 없는 것과 마찬가지로 소음 진동계도 이에 따른 지식이 필요함을 알 수 있다.

2수력 수차발전기의 경우 이론적인 진동수와 측정값과의 뚜렷한 상관관계를 보였으며 이와 같은 측정데이터를 계속하여 보관하면 추후 과거 데이터를 참조로 설비의 잔여 수명을 추정하는 과학적인 자료가 될 것이다.

{참 고 문 헌}

- [1] 부산수산대학교 기계공학과 기계역학연구소, "진동법에 의한 설비진단의 실제", P90, P93, P118, '93년
- [2] 한국수자원공사 수자원연구소 "수차 캐비테이션 저감 방안에 대한 연구(1차년도)", P56, '96년