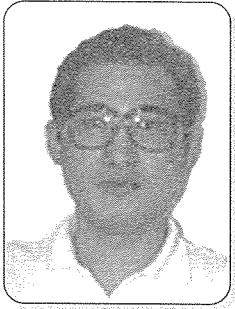
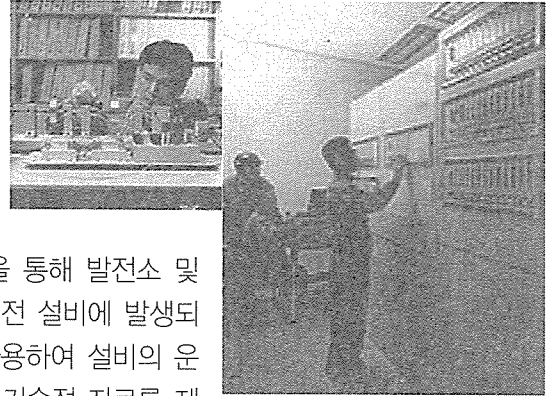


회전체 진동해석



한전기공(주)
기술개발원 전문원실
부장 유무상
Tel : (031)710 - 4395



진동팀은 풍부한 현장 정비 경험을 보유하고, 부단한 연구·개발을 통해 발전소 및 산업설비의 Turbine-Generator를 비롯한 각종 중·대형 및 고속회전 설비에 발생하는 제반 진동문제를 최고의 전문기술과 경험, 그리고 첨단 장비를 사용하여 설비의 운전상태를 정확히 진단하고 예측함으로써 향후 정비계획 수립을 위한 기술적 자료를 제시하고 있다.

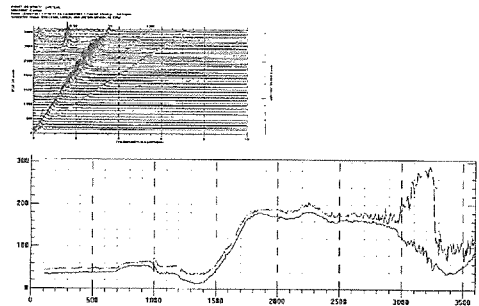
< 업무내용 >

대형 회전체에 대한 진동진단

국내에 산재된 대형 산업설비, 즉 Turbine-Generator, Gas-Turbine 등의 다축 회전체에 대한 Vibration 진단 및 교정 가동 중 또는 시운전 설비에 대한 진동분석 및 평가 진단 결과에 근거한 정비방향 제시

기대효과

고도의 전문기술과 경험, 첨단 장비를 활용하여 제반 진동문제에 대해 신뢰성 있는 Solution을 제시하며, 최적의 운전환경 제공은 물론 설비의 안정적 운전에 기여할 수 있음.

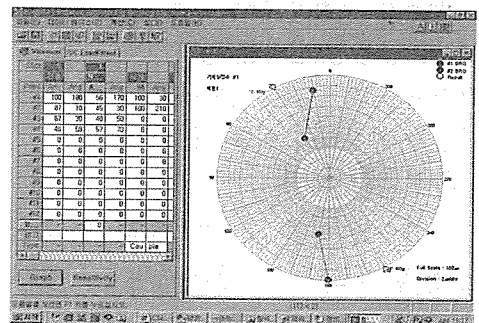


대형 회전체의 Field Balancing

회전체에 대한 진동 진단후 Unbalance문제를 현장에서 직접 Weight Balancing을 실시하여 진동 저감시킴 고속, 다축 회전체에서 발생하는 잔류 Unbalance의 보상 Thermal Effect에 의한 진동 변화 보상

기대효과

Unbalance에 의한 고진동 문제를 직접 현장에서 Balancing을 실시하여 해결하므로 작업 공량은 물론 Cost 절감할 수 있음.

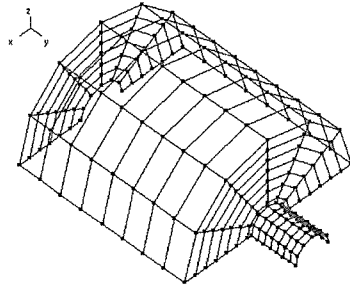


구조물 Modal 해석

설계/제작 당시와는 달리 현장에서의 설치후 운전 시 공진 영역에서 운전되는 회전체 (정지시 구조물로 취급) 또는 구조물의 고유진동수를 Multi-CH FFT Analyzer와 Impact Hammer를 사용하여 측정후 분석 및 진단을 통하여 현장여건에 적합하도록 구조변경 등을 통하여 운전 기기를 공진 영역에서 벗어나게 하여 안정된 상태로 만드는 기술

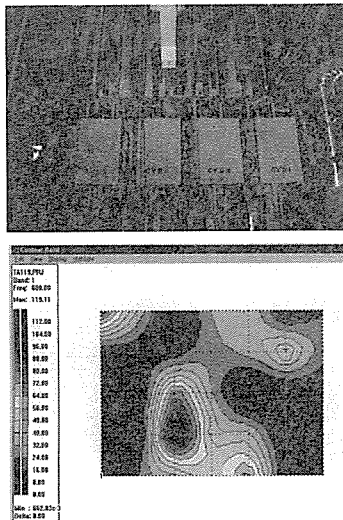
기대효과

공진으로 인한 고진동 문제를 근원적으로 해결하여 구조물이나 회전체의 안정적 운전 과 기계수명 연장 도모



소음 진단 및 해석

기기에서 발생되는 이음의 크기 및 주파수를 측정하고, 그 발생 위치와 원인을 해석하여 설비의 문제를 진단하고 교정함



기대효과

이음 발생 설비의 문제점 진단 및 근원적 해소

발전기 단부권선 진동성 검사 및 교정

발전기 고정자 단부권선 지지 시스템의 진동성 검사 및 공진성 검사를 통해 진동관련 문제 (120Hz 가 진주파수)를 사전 진단하고, 문제 발견시 시스템의 강성을 변경하여 이를 해소하는 기술

기대효과

공진으로 인한 고정자 균열, 발전기 주 절연물의 손상 및 마모와 지지물의 풀림을 미연에 방지.

예측정비 Consulting

예측정비, 선행정비, 신뢰도정비, TPM, RCM 체제 구축에 관한 기술자문 및 교육.

진동 분석 기법 교육

진동분석 장비 사용법 및 현장적용

기기 특성에 따른 측정 set-up data base 구축

기대효과

기계설비의 고장률을 감소시켜 불시 정지시간 단축

기계수명 연장 및 불필요한 정비활동 배제

품질 및 생산성 향상

정비 비용 감소

예측정비 위탁관리

일반 산업체의 회전체 및 전기설비를 위탁 관리함으로써, 숙련된 진단인력/ 최신의 진단 장비로 설비의 고장을 사전에 예측/ 교정 업무 수행하는것으로 인근 한전기공 사업소에 진단분석 담당자가 상주하기 때문에, 문제 발생시 최단 시간에 해결가능

- 진동치 측정/분석, Data Base 구축 및 진동관리 허용치 설정
- 온도 및 열화상 분석
- 문제 설비에 대한 교정작업
- 전기 설비의 점검 및 진단

< 보유장비 List >

장비명	모델	수량	비고
Singal analyzer	B&K 2035	2 ch.	
	B&K 3560	4 ch.	
		6 ch.	
Tape recorder	XR-9000	28 ch.	
	RD-145T	16 ch.	
Vibration analyzer	IRD-885		
	B&K 2515		
회전체 진동분석장비	DAIU-208P	16 ch.	
	Entrx	32 ch.	
Portable data collector	DataPAC 1500		FRF 측정가능
진동측정기	IRD-810		
Oscilloscope			
Sound level meter	B&K 2260E	2 ch.	
	B&K 2238	1 ch.	
ROTOR KIT	BN, CDI		
MODAL 해석 S/W	CADA-PC		
	STAR Struct		
회전체 진동분석 S/W	ADRE DM-2000		

발란싱 프로그램	BAROM		
FEM 해석 S/W	ANSYS		
회전체 동역학 해석 S/W	ARMD		
Balancing machine	SCHENCK		
가속도 센서	B&K, PCB, IRD.....		
속도 센서	BN, IRD		
비접촉식 변위센서	BN, IRD		
회전수/위상 센서	B&K, BN, IRD		
소음측정 센서	B&K		
	B&K		sound intensity 측정
압력 측정용 센서	PCB		dynamic pressure
Impact hammer	B&K, PCB		
Shaker	B&K		
비접촉식 온도측정기	Raytek		

* 그외 진동 및 소음관련 진동장비/센서, 분석 및 해석 프로그램
다수 보유.....

< 수행실적 >

◎ 한국전력 발전소

고리/ 울진/ 영광/ 월성 원자력발전소, 보령/삼천포/태안 등 화력발전소 서인천/분당/부천/일산/울산 등 복합화력발전소의 Steam&Gas Turbine-Generator, Boiler Feed Pump, 대형Pump/Fan 류의 진동진단 및 교정실시

◎ 산업체

- 반월/대구/금호/목동/구미/노원/부산열색공단 열병합 Steam Turbine-Generator
- 호남석유화학 Gas Turbine-Generator
- 김포/인천제일제당 Turbine-Generator
- 경산 제일합섬 Turbine-Generator
- 울산 유공 옥시케미칼 CWP
- LG화치 TBN-GEN, PAFan
- 대성목재 Turbine-Generator
- 성남 소각장 Turbine-Generator
- 금호석유화학 Turbine-Generator
- 삼성석유화학 Turbine-Generator
- 조양화학 Turbine-Generator
- 김포 매립지 Blower
- LG 카본 Air compressor Turbine
- LG 산전 Air compressor
- 선일 포도당 Turbine-Generator
- 울산 효성 Turbine-Generator
- 인천, 김포 제일제당 Turbine-Generator, FD Fan
- 한솔제지 Turbine-Generator

- 전주 팝코 Turbine-Generator
- 수원지역난방공사 Turbine-Generator
- 포항 제철화학 Turbine-Generator
- 이천산업 Turbine-Generator
- Sithe Ichon Gas Turbine-Generator
- 현대중공업 대산열병합 Turbine-Generator
 - 그외 다수 업체 Turbine-Generator 및 보조설비 진동진단 및 교정실시
 - 그외 한전기공 각 지역사업소 예측진단팀에서 진단/교정업무 다수 수행

◎ 해외 업체

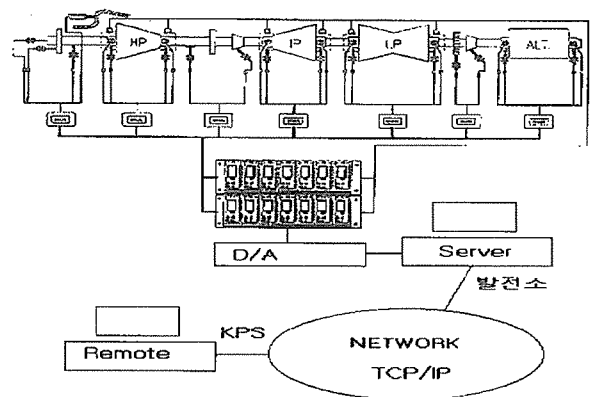
- 말레이시아 따와우 디젤발전기
- 필리핀 말라야화력 Steam Turbine-Generator
- 호주 Bayswater 터빈 발전기

◎ 위탁관리

- 한국전력 발전소
- 조양화학
- 금호석유화학(주) 여천 열병합발전소

* 그외 기술지원 실적 다수

< ON-LINE 진동감시 TOTAL SOLUTION >



시스템 개략도

◎ ON-LINE 진동감시란 ?

터빈과 같은 중요 회전설비의 진동상태를 연속적으로 감시하는 것으로, 터빈의 경우 최초 건설시에 운전 감시를 위한 진동설비가 설치되어 있는 경우가

많으나 주로 진동 값만 지시되고 진동분석을 위한 추가적인 정보를 제공해 주는 분석장비 및 DATA 수집 기능은 별도로 없음.

따라서, 터빈과 같은 주요 회전체에 진동 측정장비/분석 프로그램을 설치하고, 전문가에 의한 원격지에서의 진동분석 및 감시 (Net-work 접속)을 통한 설비의 상태를 지속적으로 감시하고 진단함.

▷ 설비 특성에 따른 진동센서/ 설치위치 결정

- 축진동 센서 : 고속회전체, 저널 베어링
- 케이싱 센서 : 저속회전체, 기어박스, 볼 베어링
- 위 상 센서 : 모든 회전체

▶ 원심 압축기

저널베어링 : 축진동 센서 (X,Y)

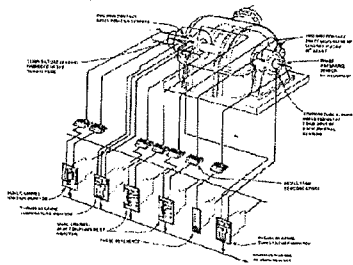
온도센서

추력베어링 :

축 위치센서 (Axial,

온도센서

위상센서



▶ 스팀 터빈 (기계적 구동장치)

저널베어링 : 축진동 센서 (X,Y)

케이싱 가

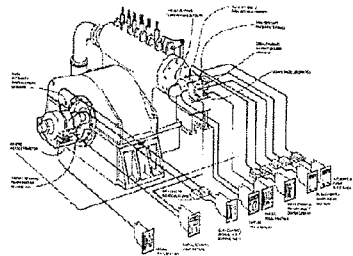
온도센서

추력베어링 :

축 위치센서 (Axial,

온도센서

위상센서



▶ 스팀 터빈 (발전기 구동)

저널베어링 : 축진동 센서 (X,Y)

온도센서

추력베어링 :

축 위치센서 (Axial,

온도센서

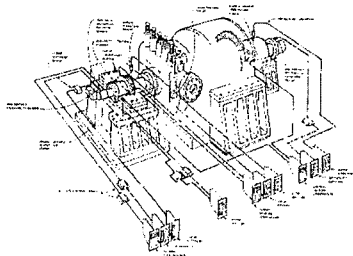
위상센서

eccentricity 센서

케이싱 팽창센서

차등 팽창센서

밸브 위치



▶ 기어

저널베어링 :

커플링축 - 축진동 센서 (X,Y)

가속도 센서 (

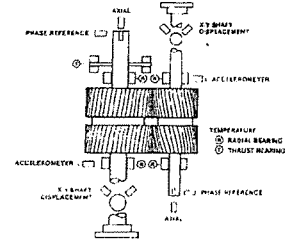
온도센서

추력베어링 :

축 위치센서 (Axial)

온도센서

위상센서 : 고속/ 저속축



▶ 축방향 유동 압축기 (Axial-flow compressor)

고속 원심압축기와 동일하게 적용

▶ 가스 터빈

저널베어링 :

케이싱 가속도센서 (

온도센서

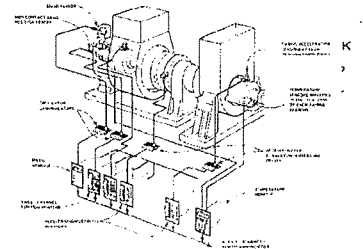
추력베어링 :

축 위치센서 (Axial)

온도센서

최근에는 스팀터빈과

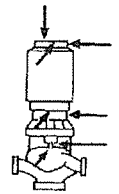
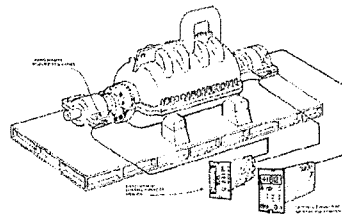
축진동 센서 (X,Y)가 많이 선호된다.



▶ 원심 펌프

저널베어링 : 케이싱 가속도센서 (H), 온도센서

추력베어링 : 축 위치센서 (Axial), 온도센서



▶ 팬

저널베어링 :

케이싱 속도센서 (H)

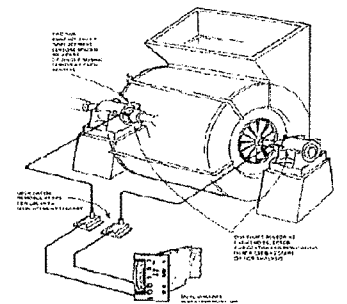
또는 변위센서 (X,Y)

온도센서

추력베어링 :

축 위치센서 (Axial)

온도센서



* Ref. An Introduction to Machinery Monitoring and Analysis by John S Mitchell

▷ 일반적인 Guideline

축진동 센서 : 축의 진동이 베어링에 잘 전달되지 않는 즉, 베어링에서의 진동측정으로 변화를 감지하기 어려운 경우에 적합함. 또한 오일 윤활이 적용되는 저널 베어링에 최적임.

케이싱 센서 : 축의 진동이 베어링에 충분히 전달이 잘되는, 또한 고 주파수에서의 진동발생 가능성 큰 볼 베어링, 기어, blade pass등의 감지에 적합함.

위상 센서 : 모든 감시기에는 회전수, 위상, 웨이트 발란싱을 위한 위상센서가 필수적임.

온도 센서 : 각 베어링에는 베어링 metal temp' 지시가 필수적임.

▷ 설비 중요도에 따른 감시형태 결정

중요 설비 : On-line continuous monitoring

일반 설비 : On-line surveillance monitoring , off-line periodic monitoring

▷ 분석장비의 기능

Trend (Overall, 1X, 2X, GAP,.....)

Spectrum

Timewave form

Alarm 설정

과도상태에서의 data 수집기능 (speed up/down, alarm,.....)이 기본적으로 필요함.

▷ Network 기능

원격지에서의 진동감시 및 분석업무를 위해서는 remote access를 통한 data display 및 configuration

이 가능하여야 함. 최근에는 TCP/IP 통신규약을 이용한 Internet 접속기능이 강화되는 추세임.

▷ 주요 장비 제작사

- ▶ Entek IRD
- ▶ SKF
- ▶ Bruel & kjaer
- ▶ SCHENCK
- ▶ Vibro-meter
- ▶ Bently Nevada

▷ 분석 시스템의 활용

이러한 고가의 분석설비는 단순하게 진동의 높고/낮은 경향을 알기 위한 것이 아니고 설비의 상태를 정확히 파악하고자하는 더욱 중요한 일이므로 현장경험이 풍부한 전문가에 의한 관리가 필요함.

- 1) 자체 운전요원에 의한 진동감시
- 2) 자체 전문 분석요원에 의한 진동 감시 및 분석
- 3) 외부 진동전문가에 의한 진동 분석 및 대책수립
 - 원격지에서의 network monitoring
 - 문제 발생시 현장방문/ 필요시 추가적인 정밀 진단

▷ 분석시스템의 보전

진동 감시기에서의 data는 운전감시에 필수적인 사항이므로, 감시기 자체의 신뢰성에 대한 주기적인 검증이 필요함.

- 1) 센서자체의 신뢰성 시험을 위한 calibration test
 - 변위 센서 : TK3-2 Calibration instrument
 - 속도, 가속도 센서 : 가진기(shaker)를 이용한 검, 교정절차 KS규격
- 2) wiring(센서와 모니터간의 연결상태, cable 건전성)
- 3) monitor의 출력 지시값, alarm 기능, trip relay 기능

★ KPS work scope

- monitoring system 설계 : 대상 기기, 측정위치, 센서종류
- 기존 system 개조
- 설비 감시 및 분석
- 문제 설비 정밀 진단
- 정비범위 및 향후 대책수립
- system installation
- system calibration

CASE.I 발전기에서 발생한 thermal unbalance 해소사례

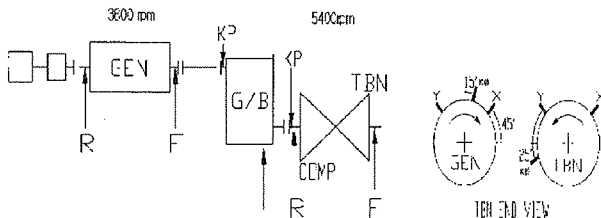
본 사례는 가스터빈 발전소의 발전기 절연 복구공사 후 발생한 고진동 현상을 진단, 해소한 사례를 정리한 것으로, 진동분석 및 정비담당자에게 많은 도움이 되었으면 한다.

1. 설비 사양 및 발생 배경

- 설비 사양

- 발전기 회전수 3600RPM
rated air temperature 15°C
rated output 57.2 MVAR/ 67.29 MVA
terminal voltage 13.8 kV
공기 냉각방식
- 터빈 회전수 5420RPM
가스 터빈
- 기어박스

- 진동 측정



터빈 및 발전기 각 베어링에 축 진동을 감시할 수 있는 비접촉식 센서가 X, Y방향으로 각각 설치되어 축 상대 진동(μm)이 지시되며, Gear Box에는 High Speed TBN End 수평방향에 가속도(Accelerometer) 센서가 설치되어 가속도(g-peak), 속도(in/s peak) 진동이 지시됨.

현장 감시기에는 진동값 (Overall값)만 지시되고 별도의 분석장치는 없으며, 진동모니터 출력 buffer단자의 신호를 이용하여 진동 측정 및 분석을 실시함.

- 과거 진동이력

일 자	GEN F(Front)		GEN R(Rear)	
	X	Y	X	Y
'xx.x.15~19	20	41	11	20
'xx.x.23	23	47	14	11
'xx.x.23	86	104	59	50

X.23 일 발전기 절연사고로 인한 UNIT TRIP전까지는 50μm 이내로 양호하게 운전됨.

- 작업 배경

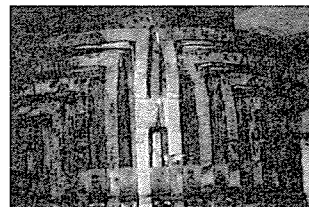
발전기 절연사고로 인하여 unit trip된 이후 발전기

분해점검 공사가 제작자 기술진에 의해 최초 수행되었으나, 작업 일정/ 공기/ 작업의 범위등 발주처의 입장과 상이한 부분이 많아 작업이 일부 진행 중에 한 전기공에서 수행을 하게 되었음.

- 공사시 작업내용

- 발전기 로터 SHOP BALANCING
- RETAINING REING 분해/조립
- 발전기 로터 CLEANING
- 절연재 보강

* 발전기 로터 top turn coil의 변형



* 발전기 내부 cooling hole 막힘



2. 1차 웨이트 발란싱

- 최초 시운전 data

MW	TBN/F	TBN/R	GEN/F	GEN/R	
0	60	41	88	44	
46	50	30	125	60	3 시간 경과후

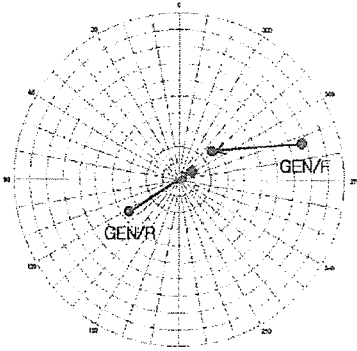
정격속도에서의 진동이 88μm로 다소 높으며, 출력 증가시 더욱 상승하여 alarm치를 상회하여 운전됨 (alarm : 100, trip : 150μm). 출력에 따라 진동이 상승되는 현상이 있으나, 정격속도 무부하에서의 진동도 높으므로 먼저 웨이트 발란싱을 실시하기로 함.

GEN/F측에 웨이트 (468gr<060')를 부착함.

- 웨이트 발란싱 결과

MW	TBN/F	TBN/R	GEN/F	GEN/R	
0	60	39	41	35	
46	51	32	89	81	
40	53	30	98	100	12시간 경과후

무부하에서의 발전기 진동이 88 → 41μm로 감소되었으나, 출력상승시 진동이 여전히 상승됨.



3. 측정렬 수정

무부하에서의 진동은 양호하나, 출력운전에 따라 진동이 상승되는 특성이 뚜렷하게 발견됨. 우선 가능성 있는 원인으로 발전기에서의 측정렬에 의한 영향을 제거하고자, 측정렬 작업을 실시하기로 결정함.

- 측정렬 검토

금번 공사중 터빈/감속기에서의 조정작업은 없었으며, 발전기 베이스에 30/100mm shim을 삽입하였음. 이전의 진동상태가 양호하였기 때문에 기존에 삽입된 shim을 제거하고, 2차로 shim을 추가로 삽입함. 즉, 최종 조립치보다는 ±20/100mm변화를 줌.

- 진동 data

MW	TBN/F	TBN/R	GEN/F	GEN/R	
44	53	30	98	100	
46	46	24	98	126	shim remove (30/100mm)
40	54	24	101	130	shim charge (50/100mm)

측정렬 변화시 정격속도 무부하에서의 진동변화는 다소 있으나, 출력에 따라 증가되는 현상은 여전히 개선되지 않음. 즉 측정렬에 의한 진동의 개선은 어려우며, 진동의 주된 원인이 측정렬에 의한 것이 아닌 것으로 판명됨.

4. 2차 웨이트 발란싱 (절충 발란싱)

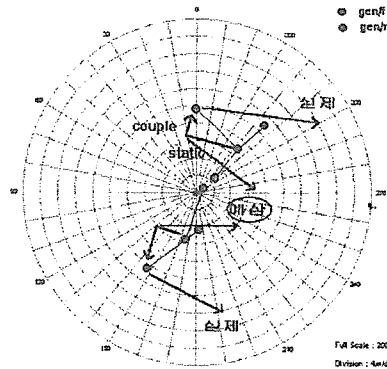
출력에 따라 진동이 증가되는 특성을 고려하여, 절충 발란싱을 실시하기로 함. 진동치가 승속중/ 무부하/ 부하운전시 모든 경우에 다 만족할 만한 수준에

있어야 하는 것이 원칙이나, 절충 발란싱이란 특정한 운전상태의 진동은 개선시키고 나머지 운전상태에서의 진동은 다소 희생하는 것임. 즉 무부하에서의 진동보다는 부하운전시의 진동을 개선시키기 위하여 웨이트 발란싱을 시행하고자 함.

- 진동 data

SHOT	TBN/F	TBN/R	GEN/F	GEN/R	base	
0	54	41	77	68	0	
1	53	41	115	50	0	GEN F/R 460gr<005'
2	56	58	107	117	0	GEN F/R 700gr<140'

출력운전시 진동이 증가되는 방향(100μm<230°)을 고려하여, 정격속도에서의 진동값이 50μm<040°→ 부하운전시에는 50μm<230°가 되도록 웨이트 발란싱을 시도함. 그러나 예상과는 달리 진동이 static weight에 의한 static 성분의 진동이 증가되면, couple성분의 진동도 다시 증가되어, 의도한 방향으로 진동이 교정되지 않음.



즉, 발전기 로터의 진동mode는 본질적으로 couple 특성을 보이고 있음.



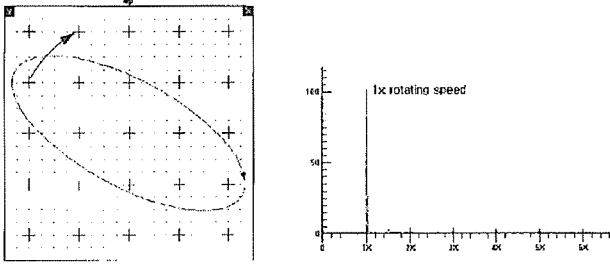
5. 진동원인

출력 증가시의 진동현상을 개선하기 위하여 다양한 방법이 시도되었으며, 이에 대한 논의 및 검토가 심도 있게 진행되었음.

▶ 진동특성

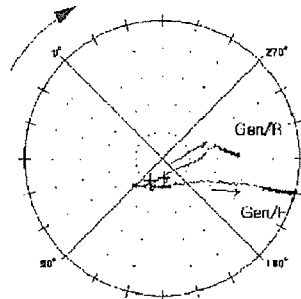
- 진동의 주된 주파수는 1X 성분임.

이는 진동이 회전체의 언발란스 및 오정렬과 관련이 있음을 의미함.



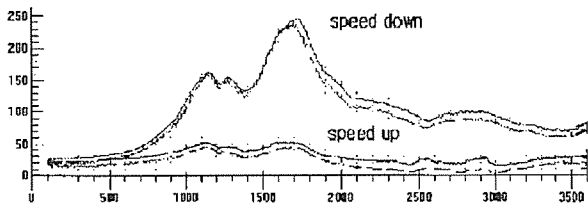
- 진동의 증가현상이 발전기 F/R측 모두 발생되며, 같은 방향으로 증가됨.

이는 진동이 발전기 내부 전체에서 동일한 영향이 미침을 의미함.



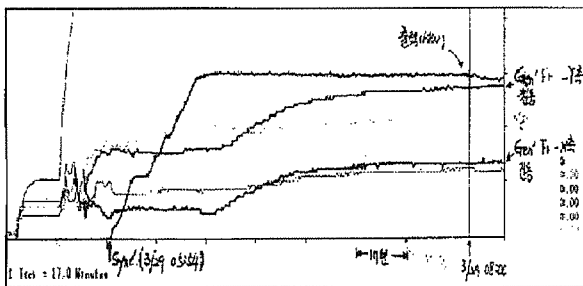
- 기동시보다는 정지시에 임계속도에서의 진동값이 크게 나타남.

이는 기동시에 없었던 언발란스 성분이 증가하였음을 의미함.



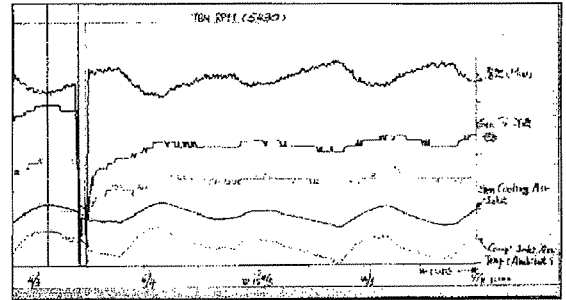
- 정격부하에 도달한후 약 20~30분후 진동이 급격히 증가하며, 그 이후에는 완만하게 상승됨.

이는 진동이 출력에 직접적이기 보다는 출력에 따른 내부 온도상승에 의한 영향임을 의미함.



- 정격 운전중 진동TREND를 관찰하면, 일중에 진동값이 ~10 μ m 정도 변화됨.

이의 진동변화는 대기온도, 즉 발전기 냉각공기 온도와 깊은 관련이 있으며, 대기온도가 최저가 되는 아침 07:00경에 진동이 가장 낮으며 오후 06:00경에 진동 최고치를 기록함. 이는 발전기 진동이 온도에 민감함을 의미함.



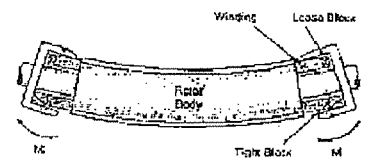
▶ 진동원인

현재 진동의 주된 원인은 발전기 Thermal bending에 의한 언발란스로 판단하고, 이러한 Thermal unbalance는 발전기 복구작업시 수행된 작업과 연관성을 조사하였다.

점검결과 발전기 로터 slot 내면에 추가적으로 삽입된 절연지에 의한 coil의 축방향 팽창 구속에 의한 것으로 추정함. 이는 복구공사후 전기적인 시험에서는 문제가 없었으며, 금번 진동의 문제는 기계적인 팽창의 구속에 의한 것이므로, 이에 대한 개선 대책을 수립함.

▶ 발전기 로터 열적 민감도(thermal sensitivity)

발전기 로터 열적 민감도는 발전기 로터에서 흔히 발생할 수 있는 현상으로 계자 전류가 증가할 때 로터 진동이 변화된다. 이러한 현상은 모든 발전기 현장에서 한번쯤은 발생한다. 발전기 로터 열적 민감도는 로터 주변 원주방향으로의 온도 분포가 불균일하거나, 축방향의 힘이 원주방향으로 균일하지 않을 때 일어날수 있다. 두번째 원인의 주된 힘은 구리 코일과 단조 로터및 부품재질인 합금강 사이의 열팽창계수가 크게 차이가 나기 때문이다. 로터 와인딩이 원주방향으로 기계적으로나 전기적으로 평형하지 않는다면, 발전기 로터는 로터 굽힘



과 진동을 발생시킬수 있는 불균일한 힘이 발생할 것이다. 대부분의 경우, 열적으로 민감한 로터 발전기는 운전 못하는 것이 아니라 과도한 진동때문에 높은 계자전류에서의 운전 또는 VAR 부하를 제한 할수도 있다.

6. 대책 및 결과

현재의 진동문제는 발전기 내부의 전기적인 문제라기 보다는 기계적 구속에 의한 것으로, 로터 내부의 열적인 영향이 최소화 되도록 조치하면서 진동을 관찰하기로 함.

▶ 기동시 외기 온도 감소를 통하여 발전기 온도 상승에 의한 영향을 최소화 함.

- 기동시점을 외기 온도가 하강되기 시작하는 야간에 실시
- G/T ROOM내 UNIT HEATER 정지
- 기동시 G/T ROOM내 출입문 개방

▶ 기동/ 정지 시험을 통한 열적 팽창, 수축이 원활히 되도록 시도함.

▶ 진동의 변화/ 상승여부를 지속적으로 감시하여 추이를 관찰하기로 함.

◎ 결과

연속운전 및 정지후 기동결과 진동이 점차적으로 개선됨.

MW	TBN/F	TBN/R	GEN/F	GEN/R	
43	55	29	95	61	
40	56	33	85	63	1차 정지후
40	64	36	72	56	2차 정지후
40	60	34	50	44	3차 정지후

7. 교훈

공사후 시운전시 발생된 고진동 해소사례로, 정확한 진단과 교정업무가 수행되지 않았다면 시운전 일정 연기와 이에 따른 정지 기간 및 재작업에 소요되

는 막대한 손실이 초래 될 수 있었다. 정확한 진동분석이 설비 진단에 무엇보다 중요하며, 다음의 사항에 대한 중요성을 새삼 느끼게 되었다.

▶ 진동분석

- 진단 대상기기의 정확한 이해
- 다양한 진동 발생 mechanism 의 이해
- 회전체에서 발생하는 언밸런스의 유형에 대한 이해
- 진동과 관련된 변수의 이해

▶ 정비

- 발전기 냉각 공기에 의한 발전기 절연손상
외부 공기를 이용한 냉각 방식에서는 흡입구에 필터가 설치되어 있어도, 미세한 먼지의 유입에 의한 발전기 절연의 손상이 발생됨. 따라서, 수소냉각 및 밀폐식 공기순환 방식에 비하여, 발전기의 점검주기가 짧아져야하며, 산업계 현장에서는 이러한 문제에 의한 발전기 사고사례가 간혹 있음.

- 절연보강시 문제점

절연 보강 및 분해점검시 열팽창에 따른 구속을 받지 않도록 각종 틈새의 확인 및 유지 관리가 무엇보다 중요함.

* 후기 : 동 사업장에 있는 나머지 가스 터빈-발전기는 선행 호기의 문제점을 개선하여 발전기 작업후 별다른 진동 문제없이 성공적으로 시운전을 하게 되었다.

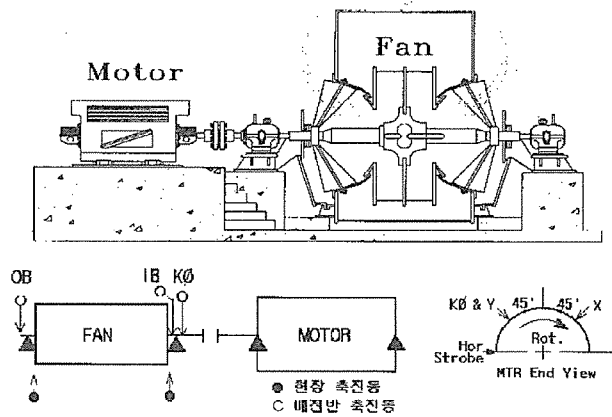
CASE. II 석탄화력발전소 보일러 P.A Fan에서의 고진동 개선사례

본 사례는 석탄화력발전소 보일러계통의 Primary Air Fan에서 발생된 고진동을 진단, 해소한 사례를 정리한 것으로, 진동분석 및 정비 담당자에게 많은 도움이 되었으면 한다.

1. 설비사양 및 발생현상

▶ 설비 사양

- 회전수 : 1780 rpm
- 커플링 : Rigid 형식
- Fan : 양흡입 원심식
- Motor : 1490KW, 3상유도형



▶ 진동측정

각 베어링에는 축 진동을 감시할 수 있는 비접촉식 변위 센서가 부착되어, 배전반에서 기록, 감시되고 있다.

진동분석은 진동 감시기를 이용하였으며, 현장 진동(베어링 케이싱 및 축)을 추가적으로 측정하여 분석하였다.

▶ 작업사항

모터 교체, 팬 베어링 교체, 팬 블레이드에 부착된 Dust 청소

▶ 공사전 진동이력

Fan 진동이 90 μ m (베어링 케이싱)로 다소 높았으나, 큰 변화없이 안정되게 운전되었다.

▶ 발생현상

정비작업 후 시운전 결과 모터 단독 기동에서 모터 진동은 43 μ m(축진동)로 양호한 상태이나, 커플링 체결 후 기동시에는 팬에서 400 μ m 이상의 고진동이 발생하고 베어링 하우징 고정볼트가 이완되는 현상이 발생하여 팬을 즉시 정지시켰다. 배전반 진동감시기에 지시되는 진동값은 Scale초과(400 μ m이상)로 정확한 진동값을 알 수는 없었으며, 또한 현장에서의 취득된 베어링 케이싱 진동값(2000 μ m이상)도 베어링 하우징고정볼트가 풀린 상태에서 수집되었기 때문에 진동성분 및 위상각 등 분석에 도움이 될만한 어떠한 Data도 얻지 못한 상태이다.

▶ 기기점검

FAN O/B 베어링축 지지 콘크리트 구조물 크랙발생 및 표면이 일부 떨어져나간 현상이 발견되었으나, Base의 Sole Plate 부근을 Bump Test하여 점검한 결과 단단히 부착되어 있는 상태로 나타났다.

O/B BRG 점검결과 Oil이 변색되어 BRG Oil을 교체하고, BRG에서 풀려있던 고정 Bolt를 조였다. FAN Rotor Bending 점검결과 ~3/100mm (coupling 부) 이내로 양호하였다.

점검결과 특별한 문제점은 발견되지 않았으며, 로터를 분해한 후 정밀점검은 공정상 어려우므로 웨이트 발란싱을 검토하기로 하였다.

2. 웨이트 발란싱

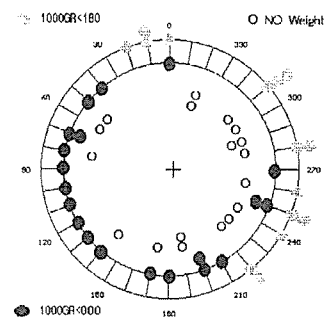
▶ 과거 실적 검토

과거 이 팬은 웨이트 발란싱에 의한 진동교정 실적이 수차례 있었으며, 이의 효과 (영향계수 : Influence Coefficient)도 재현성이 있음을 확인하였다. 현장 베어링 측정값에서의 진동 위상각이 다소 불안정하나, 이 Data를 근거로 하면 000°부근에 웨이트를 부착해야 하는 것으로 나타났다.

▶ Static Unbalance 검증

영향계수를 이용한 웨이트 부착위치는 측정의 신뢰성 부족으로 확신하기 어려웠으며, 오히려 현재의 고진동 상태를 더욱 악화시켜 큰 사고의 가능성도 우려되어 커플링 분리후 팬 로터를 수동 회전시켜 그 정지위치를 확인하기로 함. 이때의 정지위치는 과도한 Static unbalance에 의한 것으로 판단할 수 있으며, 통상 FAN로터는 강체(Rigid) Mode로 운전되기 때문에 이를 근거로 웨이트를 부착하면 진동의 교정이 가능하다.

1kg의 웨이트를 팬 블레이드 끝단에 부착한 시험결과는 다음과 같으며, 유막 베어링에서의 정지 마찰력에 의하여 매번 일정한 위치에서 정지되지는 않았다.



수동회전후 정지위치 분포

웨이트 부착위치	-	1kg<000°	1kg<180°
로터 정지위치	~250°	~300°	~130°

1kg 웨이트를 000/180° 부착시와 비교하면 정지 위치가 대체로 180°차이가 났으며, 이는 웨이트(1kg)로

진동 저감이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한 180°에 웨이트 부착시 정지위치의 분포가 훨씬 집중되는 것으로 보아, 웨이트 부착위치는 정지 위치의 반대편인 ~000°부근이 적절한 것으로 판단하였다.

▶ 웨이트 부착

자중에 의한 처짐의 통계적 위치/ Fan Bending 조사/ 웨이트 발란싱실적 (현장측정) 등을 종합적으로 고려하여 아래와 같이 웨이트의 부착량 및 위치를 선정하였다.

$$500gr\langle 30^\circ \times 2 EA (FAN Impeller)$$

▶ 측정 Data

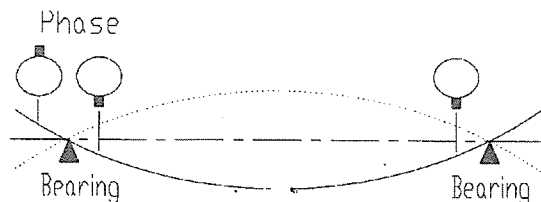
1) 배전반 축진동 (μm)

측정 위치	Inboard		Outboard	
	Y	X	Y	X
Filter In<위상	903<029	703<123	389<203	470<302

2) 현장 실측진동 (μm)

측정 위치	Inboard		Outboard	
	BRG casing	Shaft	BRG casing	Shaft
Horz.	460<150	1200<150	450<150	900<140

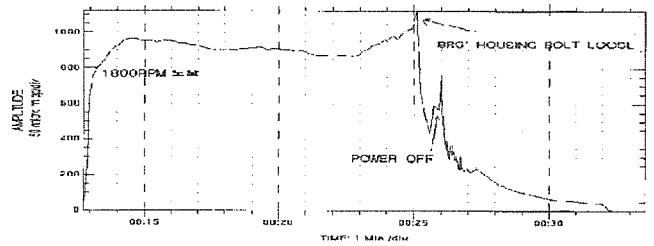
배전반 진동값은 I/B, O/B에서의 진동크기에 차이가 있으며, 진동 위상각도 역상(out-of-phase)으로 나타났다. 현장에서 실측된 진동값을 검토하면 I/B, O/B에서의 진동크기가 축/베어링 케이싱진동 모두 비슷하며, 진동 위상각도 동상(in-phase)으로 나타났다. 이는 현장 축진동은 베어링에서 로터쪽으로 측정한 것인 반면에, 배전반 축진동은 I/B축(로터축), O/B(로터 반대편)의 축진동센서치가 다르게 부착된 것을 확인하였다. 이는 베어링 부위에서 축의 진동형태 (Mode Shape)가 변하기 때문에, 측정위치에 따른 진동 Data도 차이가 있는 것으로 판단하였다. 따라서, 측정된 진동 Data는 로터에서의 Static Unbalance를 보여주며, 회전동기주파수인 1X외에 특별한 진동신호는 검출되지 않았다.



Fan 축 Mode Shape

▶ 베어링 손상

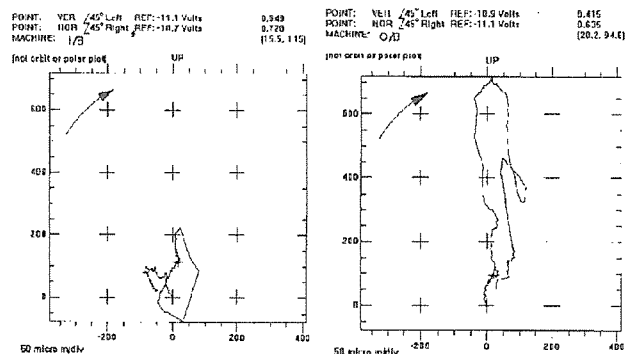
1) 축진동(I/B) TREND



기동후 ~5분정도 운전시 진동값이 ~900μm (축진동)로 안정되었으나, Inlet Vane 20% Open시 진동이 상승한 후 급감소하는 현상이 발생하여 정지시켰다. 현장 점검결과 과도한 진동에 의하여 I/B 베어링 하우징 고정볼트가 풀린 것을 확인하였다. 배전반 진동이 감소된 것으로 나타난 것은 진동감시기의 특성(축 상대진동)에 의한 것으로, 축의 진동에 따라 베어링 케이싱(축진동센서 부착지점)도 같이 움직이기 때문이다. 실제적인 로터의 진동변화는 없는 것으로 판단하였다.

2) 기동/정지시의 Shaft Centerline변화

비접촉식 진동센서는 진동의 위치(베어링 내에서의 축 반경방향)정보가 추가적으로 제공되며, 이를 이용한 다양한 분석기법이 활용되고 있다. 위의 그림은 기동 후 정지시까지의 베어링 내에서의 축 위치를 나타내며, 기동 후 1800rpm 도달한 때부터 Outboard Bearing에서의 축 중심 위치가 점진적으로 상승하여 총 움직인 거리가 베어링 틈새인 ~30/100mm를 초과한 700μm(70/100mm)가 되었다. 이는 베어링이 마모되었음을 의미하며, 점검 결과 Fan O/B BRG이 소손되어 교체하게 되었다.



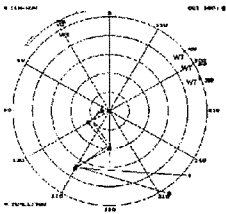
3. 교정 결과

▶ 웨이트 부착

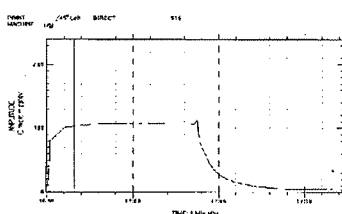
웨이트의 무게를 같은 방향으로 점차적으로 증가하면서 TRIM 발란싱을 실시하였다.

- 부착된 총 합성 웨이트 : 2145gr329°

1) 진동 VEVTOR



2) 축진동(I/B) TREND



▶ 최종 data

현장 및 배전반 진동 (120 μ m) 모두 허용치 내에 있으므로, 웨이트 발란싱을 종료하였다.

▶ 진동원인 분석

Impeller Vane에 부착된 Dust 불균일

공사전 진동이력 및 공사시 작업이력을 검토해 볼 때, 미제거된 이물질(Dust)에 의해 발생한 언발란스가 급변 고진동의 발생 원인으로 판단하였다. 최종 부착된 합성 웨이트 무게가 2145gr임을 감안하면, 미제거된 이물질의 무게와 일치하는지는 의문으로 남으나 고진동 발생과는 상당한 연관관계가 있을 것으로 추정되었다.

동형 발전소인 * * 화력에서도 Dust가 미제거된 상태에서 Fan기동시 고진동이 발생하였고, Dust제거 후 진동이 상당히 저감된 사례가 있었다. Impeller 마모, 탈락 등에 의한 진동도 동일한 언발란스 유형으로 볼 수 있다.

4. 교훈

공사 후 시운전시 발생된 고진동 발생사례로 정확한 진단과 신속한 교정업무가 수행되지 않았다면, 시운전 일정 연기 및 이에 따른 정지기간 동안의 막대한 손실이 초래될 수 있었다. 정확한 진동분석이 설비진단에서 무엇보다 중요하며, 다음 사항에 대한 중요성을 새삼 느끼게 되었다.

- ▶ Multi-channel 진동분석기의 효과적인 활용
- ▶ 배전반 진동감시기의 정확한 이해
- ▶ 축의 Mode Shape에 대한 이해
- ▶ 축 위치 정보의 중요성
- ▶ 회전체에서 발생하는 언발란스의 발생유형에 대한 이해

* 후기 : 총 8개의 Vane 중 2개의 Vane에서 Dust(또는 Scale)가 불충분하게 제거되었으며, 그 반대 방향에 웨이트가 부착된 것을 추후 확인하였다. Dust 제거 후 그 무게를 측정된 결과 약 3.5 kg으로 밝혀졌다.

CASE. III 베어링 CAP 공진현상 해소

1. 개요

본 사례는 대형 스팀-터빈 베어링 CAP에서의 공진 발생에 따른 과도한 진동발생 현상을 분석하고 해소한 사례로, 고질적인 진동발생 설비의 문제점 해결에 많은 도움이 되었으면 한다.

▶ 진동현상

- 운전중 #5 베어링에서 상대 축진동에서 과도한 2X(120Hz) 성분이 검출됨.
- 정지상태에서 측정된 고유진동수는 140Hz로 밝혀져 2X 주파수인 120Hz와는 다소 떨어져 있지만, 운전 중 온도상승에 의한 강성저하로 고유주파수가 하향 이동되어 공진 영역에서 운전된 것으로 판단함.

▶ 측정장비 및 S/W

FFT Analyzer : Pulse (B&K 2827-002)

Impact Hammer : 3 lbs (PCB 086C20)

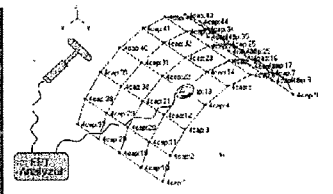
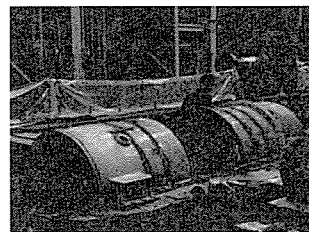
- Medium Tip (084A62)

- ICP Sensor Power Unit Model 480E09

Accelerometer : B&K 4391,

Charge Amplifier : B&K 2635

Modal 분석 S/W : CADA-PC (LMS)



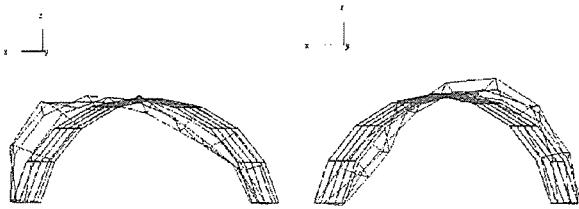
[그림 1] FRF 측정 방법

▶ 측정방법

- 그림 1]과 같이 Bearing Cap을 현장에서 조립한 상태로 Impact Hammer에 의한 가진점을 고정하고 Response 측정 Point를 1번부터 마지막 번째까지 순차적으로 측정함.

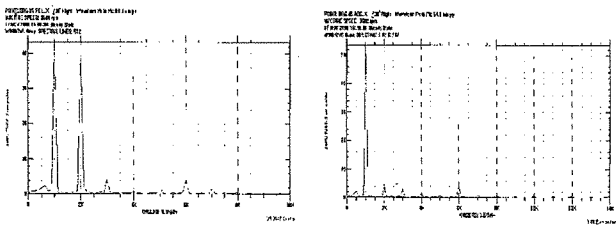
2. 진동분석

▶ MODE SHAPE (~140HZ)



140HZ에서의 베어링 CAP이 움직이는 모습을 보여 주며, 이러한 System의 고유주파수와 터빈 로터에서의 2X (120HZ) 가진 주파수가 일치되는 공진 현상으로 인하여 운전중에 과도한 진동을 함.

▶ 진동 SPECTRUM

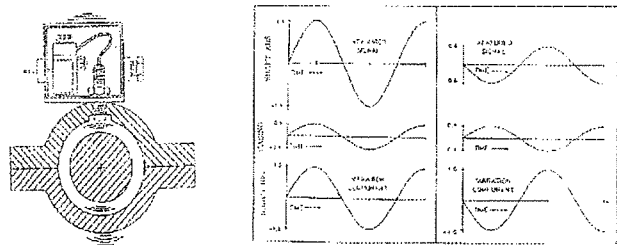


REL 진동

ABS 진동

REL (상대)진동에서는 크게 나타나는 2X 진동이 ABS (절대)진동에서는 거의 나타나지 않음. 따라서 이는 2X 진동은 로터에서 발생된 것이 아니라 케이싱에서 발생된 것임을 알 수 있음.

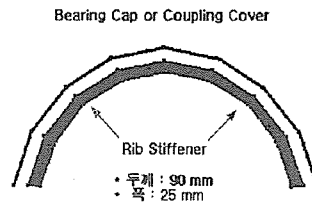
▶ 축 절대/ 상대진동의 의미



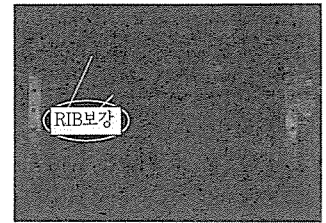
축 진동(REL) 센서 부착지점에서의 진동영향을 제거하기 위하여 케이싱 (SEISMIC) 센서를 추가적으로 부착하고, 두 센서에서의 진동을 Vector calculation 한 후 순수한 축 진동(ABS)만 검출함.

3. 보강내용

일반 Steel로 Cap 내면에 아래 [그림 3]와 같이 용접 보강함.



[그림 2] Rib Stiffener



[그림 3] 보강완료후 사진

4. 결과

▶ 고유주파수 이동

구 분	보강전	보강후
Natural Frequency (Hz)	140	227
2X 진동값 (μm)	40	4

- 금번 강성보강 작업 후 Bearing Cap 및 Coupling Cap의 구조가 상당히 견고해졌으며, 외부 가진에 의한 진동 상승 우려는 대부분 해소가 되었음.
- 용접에 의한 보강 작업 중 사전에 가공된 Rib Stiffener의 Cap 내면에 대한 접촉도가 다소 불량하여 용접 열에 의한 수축 혹은 팽창에 의한 변형으로 보강 작업에 애로가 있었으므로, 차후 동일 작업시 이에 대한 세심한 배려가 필요함.

* 교훈 : 과도한 진동 진동발생시 공진에 의한 영향을 검토하여야 하며, 이때는 회전 동기주파수인 1X외에도 2.3,4X 등의 다양한 가진 성분이 있을 수 있음을 명심. 축 절대(ABS)/ 상대(REL)진동의 개념을 정확히 이해하여야 함.