

4) 년차별 경비합계

(이자율 0.12)

년도	1	2	3	4	5
금액(원)	138,632,240	138,137,240	137,642,240	137,147,240	136,652,240
년도	6	7	8	9	10
금액(원)	136,157,240	135,662,240	135,167,240	134,672,240	134,177,240
년도	11	12	13	14	15
금액(원)	133,682,240	133,187,240	132,692,240	132,197,240	131,702,240
년도	16	17	18	19	20
금액(원)	131,207,240	130,712,240	130,217,240	129,722,240	129,227,240

구분	1	2	3	4	5
년차별 수익	597,769,360	598,264,360	598,759,360	599,254,360	599,749,360
수익 누계	-	1,196,033,720	1,794,793,080	2,394,047,440	2,993,796,800
현가액	533,722,643	476,932,685	426,185,086	380,836,979	340,313,894
현가 누계	-	1,010,655,328	1,436,840,413	1,817,677,393	2,157,991,286

구분	6	7	8	9	10
년차별 수익	600,244,360	600,739,360	601,234,360	601,729,360	602,224,360
수익 누계	3,594,041,160	4,194,780,520	4,796,014,880	5,397,744,240	5,999,968,600
현가액	304,102,473	271,743,978	242,828,474	216,989,640	193,900,126
현가 누계	2,462,093,759	2,733,837,738	2,976,666,212	3,193,655,851	3,387,555,978

구분	11	12	13	14	15
년차별 수익	602,719,360	603,214,360	603,709,360	604,204,360	604,699,360
수익 누계	6,602,687,960	7,205,902,320	7,809,611,680	8,413,816,040	9,018,515,400
현가액	173,267,413	154,830,102	138,354,604	123,632,183	110,476,312
현가 누계	3,560,823,391	3,715,653,493	3,854,008,097	3,977,640,280	4,088,116,592

구분	16	17	18	19	20
년차별 수익	605,194,360	605,689,360	606,184,360	606,679,360	607,174,360
수익 누계	9,623,709,760	10,229,399,120	10,835,583,480	11,442,262,840	12,049,437,200
현가액	98,720,310	88,215,228	78,827,966	70,439,585	62,943,802
현가 누계	4,188,836,902	4,275,052,129	4,353,880,095	4,424,319,680	4,487,263,482

5. 연간 전기판매비용 계산

1) 전기비용 계산 기준

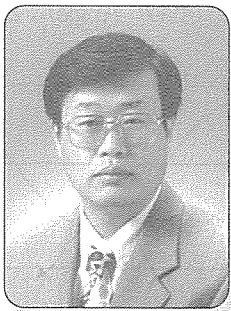
발전기 용량	2,000kW
연간 운전 일수	330일
연간 운전 시간	7,920시간
연간 총 발전량	15,840MWh
전기판매단가(평균)	46.49원/kWh

2) 연간 전기판매 금액 736,401,600

6. 년차별 수익합계

내부 수익률 27%
 투자회수기간 5.14
 단순 투자회수기간 3.68

회전체의 진동 분석과 그 대책(III-I)



한전 전력연구원 발전연구실
 발전설비지원그룹 과장 조철한
 Tel : (042)865-5322

1. 서론

산업이 발전함에 따라 설비가 대형화, 정교화되어 가면서 기기의 신뢰성과 더불어 가동율 향상에 대해 많은 관심을 가지게 되었다.

이를 위해 중요 회전기계에는 각종 감시장치 즉 온도, 압력, 유량계 등과 더불어 진동계(주로 진동진폭)를 설치하여 운전상태 및 기기의 이상유무를 감시하고 있으며 특히 진동이 회전기계의 건전성을 나타내는 중요한 지표로서 이상의 조기발견에 가장 적절하

기 때문에 진동에 의한 회전기계의 이상진단 System 이 많이 개발되어 산업체에서도 많이 설치하고 있는 추세에 있다.

그러나 이와 같은 이상진단 System이라고 하더라도 이상진단이 자동적으로 되는 것은 아니며 진단하는데 필요한 정보를 제공해주는 것에 불과한 상황이라고 생각된다.

우리가 기계의 이상진단을 정확하게 하기 위해서는 이러한 기기의 정확한 활용과 각종 이상발생시 나타나는 진동특성의 숙지 그리고 많은 경험을 토대로 하지 않으면 안된다는 것이다.

이를 위해 설비진단시 원인규명을 위한 접근방법, 계측 System의 구성, 회전기계에서의 각종 이상발생시 나타날 수 있는 진동특성과 이상판별 방법 그리고 진동대책에는 어떤 것이 있는가를 알아보고자 한다.

2. 진동이란 무엇인가?

2.1. 진동은 기준 위치에 대한 기계적인 흔들림이다.

진동은 우리가 물건을 운반할 때나 일을 할때에 일상생활에서 접하게 되는 현상이다.

또 진동은 생산적인 공정중에 발생하는 파괴적이며, 시끄러운 부수 효과이지만 때로는 일을 수행하기 위해 의도적으로 발생시키기도 한다.

즉 진동이란 질량과 탄성을 갖는 운동체가 일정한 시간간격으로 지속적인 반복운동을 하는 것으로 다른 측정변수보다 가장 많은 정보를 가지고 있다.

2.2. 싸이클(Cycle) : 물체가 평균위치에서 운동을 시작하여 극대점까지 도달한 후 방향을 바꾸어 평균을 경유하여 반대쪽의 극대점에 도달했다가 다시 방향을 바꾸어 처음의 평균지점으로 돌아오는 진동물체의 운동을 진동의 싸이클이라고 부른다.

2.3. 진폭(Amplitude) : 진동하는 물체의 평균 위치로부터 최대 위치까지의 변위를 진폭이라고 한다.

2.4. 진동주기(Peride of Oscillation) : 운동이 한 싸이클을 수행하는데 걸리는 시간을 진동주기 혹은 시간주기라 하며 T 로써 표시한다

2.5. 진동수(Frequency of Oscillation) : 단위시간당 싸이클의 수를 진동수 또는 단순히 주파수(Frequency)라고 하며 f 로써 나타낸다.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

2π가 상수이기 때문에 ω도 진동수를 나타내는데 사용될 수 있다.ω를 선형진동수

(Liner Frequency) = ω/2π와 구별하기 위해 원진동수(Circular Frequency)라고 부른다. ω는 원운동의 각속도를 나타내며 그 단위는 Radians/Sec 이다.

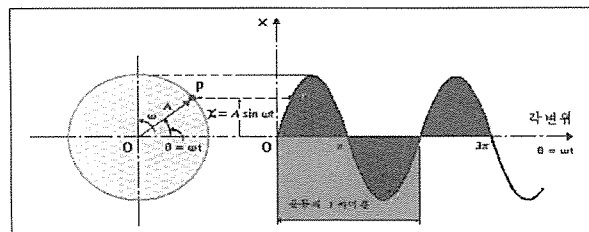


그림 2-1 회전벡터 끝점의 투영으로 얻어진 조화운동

2.6. 고유진동수(Natural Frequency) : 어떤 계가 교란되어 외력이나 감쇄없이 그 계 스스로 진동할 때의 진동수를 고유진동수라 한다. 일반적으로 계가 n 자유도 계이면 n개의 서로 다른 고유진동수를 갖는다.

2.7. 위상각(Phase Angle)

- 절대위상각(Absolute Phase Angle) : Keyphasor Signal과 Peak점과의 각도
- 상대위상각(Relative Phase Angle) : 2개의 Signal에서의 상대위상

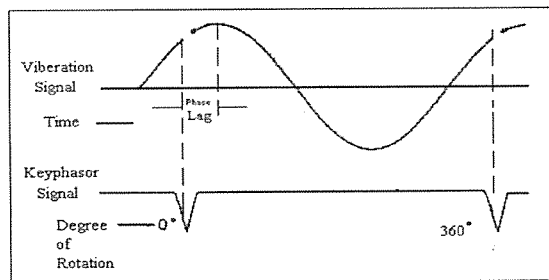


그림 2-2 절대 위상각

- 2개의 Signal(Vector Filtered Vibration Signal and Reference Signal)
- Filtering된 진동주파수 Signal
- Reference Signal과의 Lag Angle로 측정

- 0°란 Reference Signal이 발생될 때 진동측정 Sensor 위치에서의 Shaft Position.

2.8. 회전기계에서의 위상의 정의

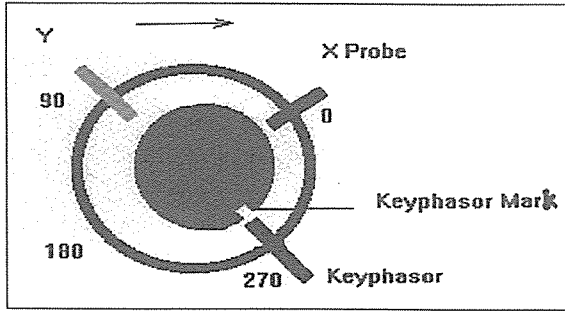


그림 2-3 회전체에서의 위상각 측정원리

X,Y Probe 정의 : 구동축에서 볼 때
오른쪽 : X, 왼쪽 : Y

X Probe 기준 위상각은 Keyphasor Mark가 Keyphasor 위치에 올 때 X Probe 위치를 0°로 잡고, 반회전방향으로 각도를 정하며, 위상각은 X Probe 위치에 최대진동이 올 때의 각도를 위상각으로 한다.

2.9. 진동 주파수 스펙트럼

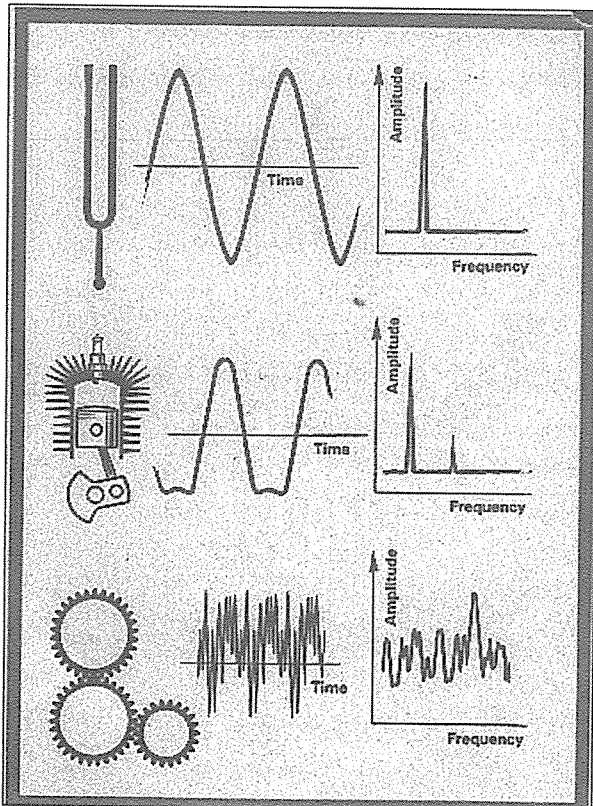


그림 2-4 진동 주파수의 의미

- 어느 물체가 기준 위치에 대해 반복운동을 할 때 그 물체는 진동한다고 한다. 즉 1초 동안에 완전한 운동주기가 일어나는 횟수를 주파수라고 부르며, Hertz(Hz)로 측정된다.
- 운동은 소리굽쇠와 같이 하나의 주파수에서 발생하는 단일성분으로 구성되거나, 또는 내연기관의 피스톤운동과 같이 동시에 다른 주파수들에서 발생하는 여러 성분으로 구성되어 진다.
- 실제로 진동신호는 동시에 일어나는 매우 많은 주파수들로 구성되어 있으므로 진폭-시간의 관계에서는 얼마나 많은 성분이 있고, 어떤 주파수에서 진동이 일어나는지를 즉시 구별할 수 없다.
- 이러한 성분들은 주파수에 대해 진폭을 그림으로 나타냄으로써 알 수 있다. 진동 신호를 각각의 주파수 성분으로 분리하는 것을 주파수 분석이라 하는데, 진동을 측정하여 해석하는 기본적인 기술이다.
- 주파수의 함수로서 나타나는 진동 레벨 그래프를 주파수 스펙트럼이라 한다.
- 이러한 기계진동의 주파수 분석으로 기계 여러 부분의 기본적인 운동에 직접적으로 관련된 특유의 주기적 주파수 성분들을 찾아냄으로써 바라지 않는 진동의 성분을 추적할 수 있는 것이다.

3. 진동의 측정과 크기의 정량화

3.1. 진동의 측정

3.1.1. Pick-Up의 선정

- Pick-Up을 설치함으로써 측정대상의 움직임이 변하지 않을것
- 문제가 되는 진동수 범위를 만족시킬것
- 충분한 감도를 가질것
- 측정대상 또는 설치개소의 진동에 충분히 견딜것

3.1.2. Pick-Up의 종류

- ① 가속도계(Accelerometer)
 - 측정치 : 가속도
 - 증폭기 필요없이 직접 신호발생
 - 가동부가 없어 마모되지 않음
 - 튼튼하다.

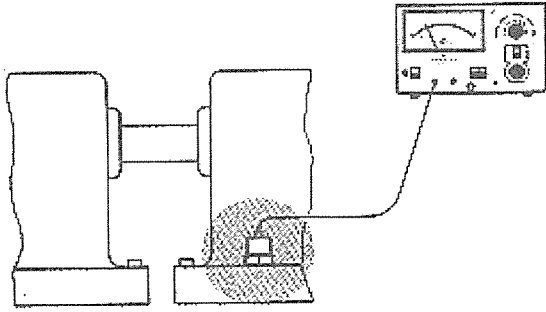


그림 3-1 가속도계의 원리

- 측정가능 진폭의 범위가 매우 넓다.
- 측정가능 주파수 범위가 넓다.
- 크기가 작고, 대체로 무게도 가볍다.
- 안정성(Stability)이 좋다.
- 방향에 관계없이 설치 가능하다.
- 출력 임피던스(impedance)가 높다.
- 정적변위(DC 성분) 측정 불가능

② 속도계: 가동형 소자(Moving Element)

- 측정치 : 속도
- 증폭기 필요없이 직접 신호발생
- 출력 임피던스(Impedance)가 낮다.

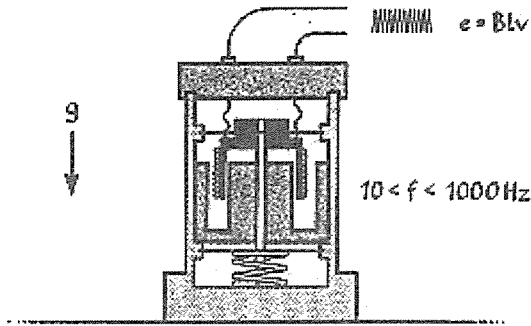


그림 3-2 속도계의 원리

- 가동부가 마모되기 쉽다.
- 크기가 크다.
- 설치방향의 오차에 민감하다.
- 주변의 자기장(Magnetic Field)에 민감
- 구조상 공진주파수(대략 10Hz) 이상의 주파수에서만 사용 가능하므로 사용가능 저주파 한계치가 높다.

③ 변위계: 와전류식 탐침(Eddy Current Probe)

- 측정치 : 변위

- 비접촉식
- 가동부가 없어 마모되지 않음

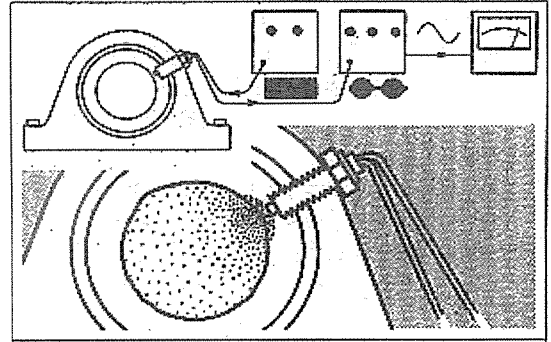


그림 3-3 변위계의 원리

- 정적변위(DC 성분)도 측정가능
- 회전축 측정시 측정질의 불균일한 자기적 성질 및 기하학적 형상의 불균일이 에러신호로 나타나게 됨.
- 각 측정장소에서 교정(Calibration)이 필요
- 측정 진폭 범위가 좁으므로 진폭이 작은 고주파 진동은 측정할 수 없다.
- 주파수 범위 DC-200Hz

3.1.3 Pick-Up의 고정방법

적당하지 못한 고정방법은 공진주파수의 감소를 초래하여 가속도계의 유용주파수 한계를 낮추게 되므로 유의하여야 한다.

- 나사못으로 고정 : 가장 좋은 방법이나, 설치상의 문제점이 많아 간이 점검시에는 잘 사용하지 않는다. 전기적 절연이 필요한 경우 운모와서와 절연나사못을 사용한다.
- 영구자석 사용고정 : 검출단과 전기적으로 절연한 영구자석을 사용하여 고정할수 있으나, 가속도계의 공진주파수를 약 7kHz로 감소시키므로, 2kHz 이상 주파수범위에서는 부적합하다.
- 밀랍으로 고정 : 주파수 특성은 좋으나 온도에 약한 결점이 있다.
- 순간접착제로 고정 : 주파수 특성은 약 10kHz까지 기대
- 손으로 고정 : 손의 영향으로 전체적인 측정에러가 생길수 있으며, 수백 Hz까지 밖에 기대할 수 없다.

3.1.4. 측정상의 유의사항

온도의 영향 : 일반용 가속도계는 최고 100°C까지의 온도에 견딜 수 있고, 고온가속도계의 경우 400°C까지 견딜 수 있으나, 압전형 가속도계의 경우 온도에 민감하여 주위의 온도변화가 가속도계의 감도에 변화를 초래한다. 따라서 50°C이상의 높은 온도상태에서 계속된 진동 Level에 대해서는 온도 보정곡선을 이용하여 수정할 필요가 있다.

- 케이블 잡음 : 연결 케이블에서의 잡음이 문제될 경우가 많으며, 이러한 문제들은 접지루프, 마찰 전기 잡음, 전자기 잡음등에 기인한다.
- 접지루프 : 가속도계와 측정장비가 각기 따로 접지되어 있을때 가속도계 케이블의 쉴드로 전류가 흐르는 경우가 있으므로 절연 나사못과 운모와셔등을 이용하여, 고정면으로 부터 가속도계 베이스를 전기적으로 절연시켜 제거한다.
- 마찰전기 잡음 : 가속도계 케이블의 인장, 압축, 굽힘작용에 의해 국부적으로 용량과 전하의 변화를 초래하여 나타날 수 있으므로 Cable등을 테이프 고정하여 피할 수 있다.
- 전자기 잡음 : 가속도계 케이블이 운전중인 기계 부근에 놓여 있을 경우 유도될 수 있으며, 이중으로 쉴드된 케이블이 유효하다.

3.1.5. 측정위치

베어링 페데스탈 등에서의 진동계측시 측정위치에 따라 진동크기가 다소 다를 수 있으므로 경향적인 변화상태등을 보고자 할 경우에는 측정위치를 잘 표시해 두고서 항상 그 위치에서 계측하도록 하여야 한다.

3.2. 진동크기의 정량화

3.2.1. 변위, 속도, 가속도의 관계

오직 하나의 주파수만을 갖는 진동신호를 생각해 보면, 그 신호의 형태나 주기는 변위, 속도, 가속도가 모두 같다. 주요 차이점은 세 변수의 진폭-시간곡선상에서 위상차가 있다는 점이다. 측정된 변수가 가속도라면 두 개의 다른 변수들을 가속도 신호의 1차 또는 2차 적분으로 쉽게 구할수 있으며, 전자회로에서는 미분보다 적분을 더 쉽게 할수 있으므로 일반적으로

로 가속도계를 많이 이용하고 있다.

3.2.2. 진동매개변수-가속도, 속도, 변위측정단위

진동하는 소리 굽쇠에 있어서 소리 굽쇠의 진동은 정지 위치로부터 양쪽으로 변화하는 물리적 변위으로써 표시될 수 있다. 변위 이외에도 운동을 그것의 속도와 가속도로서도 표시할 수 있다. 진동의 모양과 주기는 그것이 변위, 속도, 가속도중 그 어느 것으로 표현되던지 간에 똑 같다. 주요한 차이는 도표에서 보듯이 세 매개변수들의 진폭-시간곡선에서 위상차가 존재한다는 것이다

정현파 신호에 있어서 변위, 속도 그리고 가속도 진폭은 주파수와 시간의 함수에 의해 수학적으로 연관되며, 이것은 도표에서 그래프로 나타나 있다. 만약 위상이 무시되어지면(시간 평균 측정을 하는 경우는 항상 무시된다) 속도는 주파수에 비례하는 어떤 상수로 가속도 신호를 나눔으로써 얻을수 있고, 변위는 주파수의 자승에 비례하는 상수로 가속도를 나눔으로써 얻어진다. 이 부분은 측정장비에서 전자적 적분기에 의해 수행되어 진다.

진동 매개 변수는 표에 나타난 바와 같이 ISO 표준에 의해 전 세계적으로 미터단위로 측정된다. 중력 가속도 "g"는 ISO단위계에 나타나 있지 않지만 가속도 크기를 나타내는데 넓게 사용된다.

두 단위 사이에는 다행히도 거의 10(9.81)이란 상수로서 2% 오차내로 간단히 변화시킬 수 있다.

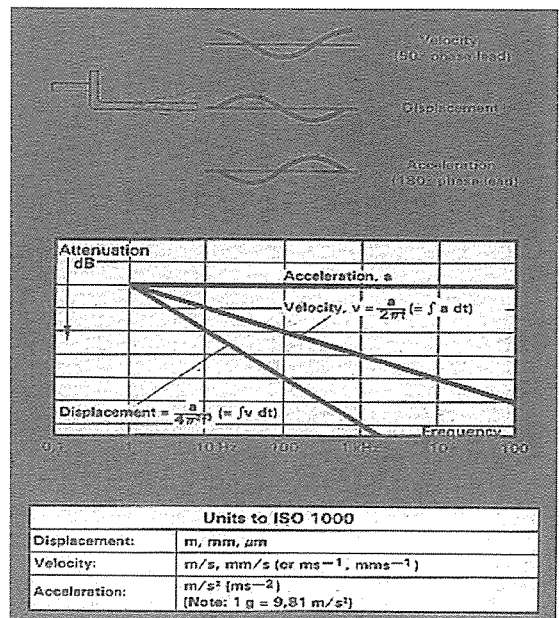


그림 3-4 가속도, 속도, 변위 신호와의 관계

3.2.2. 진동크기의 정량화

진동의 심한 정도를 나타내는 특성인 진동진폭은 여러 방법으로 정량화될 수 있다.

그림3-5에서와 같이 정현파의 진동진폭을 나타내는 방법으로는 피크-피크값(Peak-to-peak), 최대값(Peak), 평균값(Average), RMS값(root mean square) 등이 있다

피크-피크값은 파의 최대 변화를 나타내기 편리하다.

예를들면, 기계부속이 최대 응력 혹은 기계공차 측면에서 진동변위가 중요시될 때 사용된다.

최대값은 짧은 시간의 충격등의 크기를 나타내기 특히 유용하다. 그러나 그림에서처럼 이 값은 단지 최대값만을 표시할 뿐이며, 시간에 대한 변화량은 나타나지 않는다. 한편 정류된 평균값은 파의 시간에 대한 변화량을 표시하지만 어떤 유용한 물리적 양과는 직접 관련이 없기에 실제적으로 사용범위가 국한되어 있다.

RMS값은 시간에 대한 변화량을 고려하고, 진동의 파괴적 능력을 나타내는 에너지량과 직접 관련된 진폭을 표시하므로 진동크기의 표현에 가장 적절하다

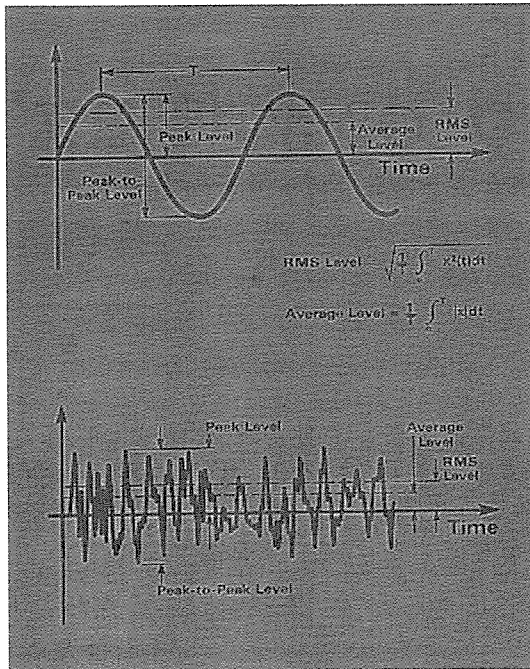


그림 3-5 진동크기의 표현방법

$$\text{Peak값} = 1.414(\sqrt{2}) \times \text{RMS값}$$

$$\text{Peak-to-Peak값} = 2\sqrt{2} \times \text{RMS값}$$

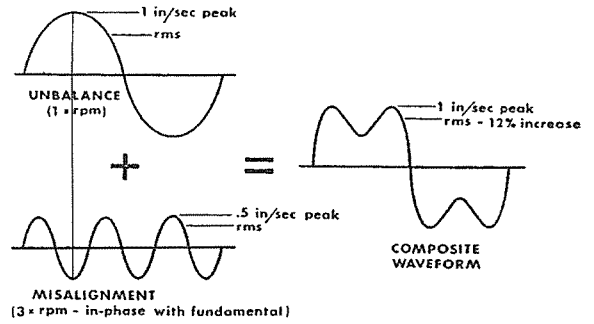


그림 3-6 3×rpm 진동을 더했을 때 Peak Velocity는 기준파형과 합성파형이 같음에도 rms Velocity는 약 12% 증가함.

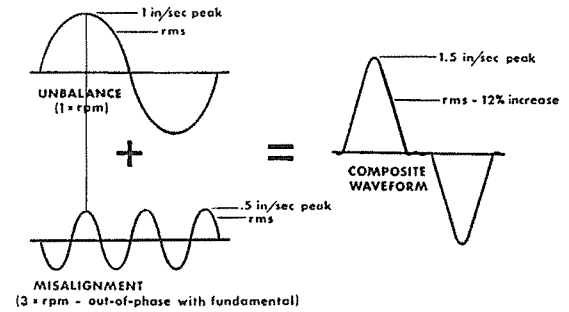


그림 3-7 3×rpm 진동을 역상으로 더했을 때 합성파형의 Peak Velocity는 기준파형의 1.5배가 되었음에도 rms Velocity는 역시 12%만 증가함.

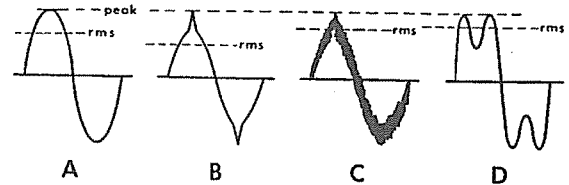


그림3-8 Peak Velocity가 같아도 rms값은 다르다

3.2.3 기타 단위

데시벨(dB)

$$\text{dB} = 10 \log \frac{\text{비교치}}{\text{기준치}}$$

① dB(진동)

$$\text{dB} = 20 \log \frac{a}{a_0}$$

- $a_0 = 10^{-6} \text{ m/s}^2, 10^{-6} \text{ g}$ (지반진동의 경우)
- $v_0 = 10^{-9} \text{ m/s}$
- $d_0 = 10^{-12} \text{ m} = 10^{-6} \mu\text{m}$
- * 필요시 기준변경하고 기준치를 명시한다.

② dB(소음)

- SOUND PRESSURE

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2$$

- $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$

- SOUND INTENSITY

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

- $I_0 = 1 \text{ Pw/m}^2$
- 가청 최고 음압 : 300 Pa
- 가청 최소 음압 : $20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$ (0 ~ 134 dB)
- 주파수 : 20 c/s 이상

- SOUND POWER

$$L_W = 10 \log \frac{P}{P_0}$$

- $P_0 = 1 \text{ PW}$

4. 자료형식

4.1. 정상상태의 자료형식

4.1.1. 진폭, 위상 대 시간선도(The Amplitude, Phase Vs Time [APHT] Plot)

계속하여 진동 진폭 및 위상각을 기록함으로써 기계적인 문제가 시간의 경과에 따라 급격히 발생했는가, 점차적으로 발생했는가를 알 수 있다. 이것은 중요기계의 정지여부를 결정하는데 중요한 정보가 된다. 만약 진동이 오랜 기간에 걸쳐 매우 천천히 증가되어 왔다면 보수를 위한 정지는 필요시 연기할 수 있다. 그러나 만약 진동이 갑자기 증가했다면 상세 분석과 보수를 즉시 실시해야 한다. 진폭위상대 시간은 기계적인 문제를 발견하는데 유용할 뿐 아니라 이상 문제를 진단하는데도 도움이 된다. (그림 4.1 참조)

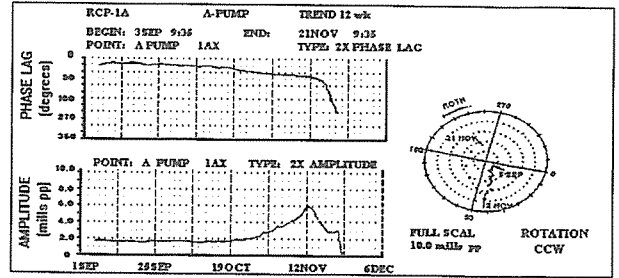


그림 4.1 nX의 진폭과 위상의 경향도 (Trend Plot)

4.1.2. 축 중심선의 경향(The Shaft Centerline Trend)

X-Y Proximity Transducer로부터 DC Gap Voltage를 계속하여 감시하여 두면 유용한 정보가 될 수 있다. 정상운전중, Slow Roll 중 및 정지중에 축 중심선의 위치변화는 기계의 힘이나 기계상태의 변화에 의한 것일 수 있다.

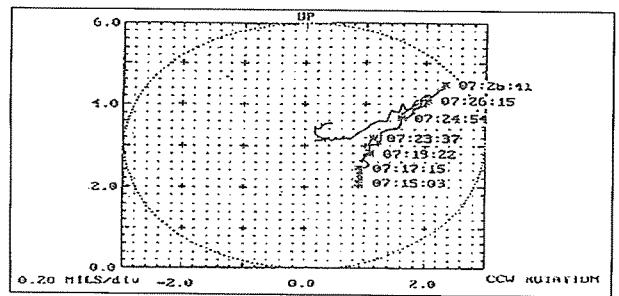


그림 4.2 Shaft Centerline Trend

4.1.3 Spectrum (주파수 대 진폭)

진동주파수별 진동진폭크기를 나타낸 것으로 진동 분석을 위해서 매우 유용한 방법이다. (그림 4.3 및 4.4)

Spectrum은 y축은 진폭, x축은 진동주파수를 나타내며 기계의 진동은 그 구성요소나 고장 원인에 따라 각기 고유한 주파수의 진동을 발생하므로 진동 발생원인 규명에 유효한 데이터이다.

진동 진폭대 진동주파수는 여러 가지 방법으로 얻을 수 있는데 크게 나누어 Swept Filter를 이용하는 방법과 Real Time 분석기 (F.F.T)를 이용하는 방법이 있다.

수동 조정되는 간단한 Analyser를 사용할 때는 Filter를 수동조절하여 원하는 주파수에 맞추고 진폭과 주파수를 읽고 기록한다. 분석데이터를 수동으로 기록할 때 첫째로 Overall 즉 Filter out 진동치와 진동

이 가장 큰 주파수를 기록한다.

Filter-out 진폭과 주파수는 여러 가지 이유로 유용하다. 첫째 진폭은 문제의 정도를 나타내며, Filter-in 진폭과 비교하여 주파수 분석이 완전하게 이루어졌는가를 알 수 있게 한다. 진동이 가장 큰 주파수는 문제의 근원이므로 이 주파수에 유의해야 한다. 그러나 문제점의 특성에 대한 결론은 Filter out 값만으로 기준해서는 안되고 최종결정을 내리기 전에 철저한 진동주파수 분석이 이루어져야 한다.

필요한 Filter-in 측정치를 얻기 위해서는 조정필터로 각 주파수대를 주의하여 Scanning해야 한다. 각 주파수별 진폭을 측정 후 측정이 잘되었는가를 즉시 점검하는 것이 좋다. 이것은 Filter-in 진폭과 Filter-out 진폭을 비교함으로써 알 수 있는데 일반적으로 Filter-in 진폭의 합계가 Filter-out 값보다 크거나 같아야 한다. 그림 4.3은 Gas Turbine에서의 Blade Passing Frequency를 나타낸 Spectrum이며, 이러한 Spectrum을 어떤 기본주파수의 배수인 즉 정현성분으로만 구성된 離散的인 주파수만 나타낸 Spectrum(그림 4.4)으로 바꾸어 쉽게 문제점을 확인할 수 있다.

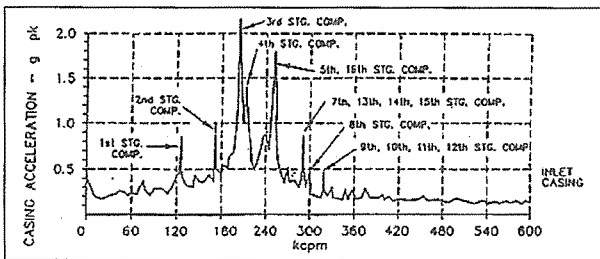


그림 4.3 Gas Turbine Blade Passing Frequency

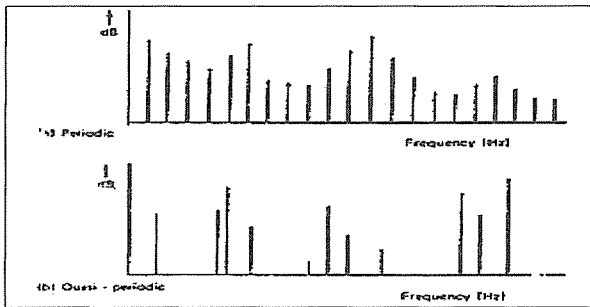


그림 4.4 정상화된 신호(이상적인 주파수)

4.1.4. Waterfall Plot(주파수 대 진폭 대 시간 = Spectrum 대 시간)

Waterfall Plot은 선택된 기계 진동 측정점에서의 Spectrum Plot들을 일정시간 주기로 나타내어 비교한

것이다. 가장 좋은 비교는 동일한 운전 조건하에서 Spectrum을 취했을 때 이루어진다. Waterfall Plot은 진동 Spectrum의 분명한 경향을 나타낸다. 기계응답의 변화를 분석하면 특정기계의 고장을 확인하는데 도움이 될 수 있다.

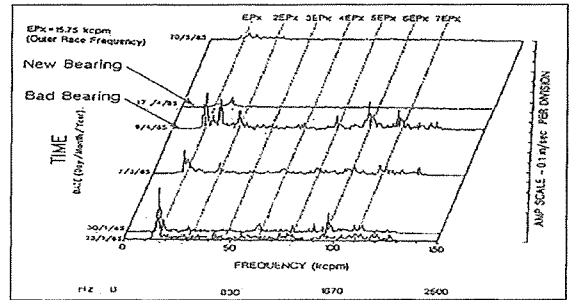


그림 4.5 Waterfall Plot

4.2. 과도상태 진동응답의 자료형식 (Transient Response Data Formats)

4.2.1. Bode' Plot(진폭/위상각 대 RPM)

회전기계의 응답특성을 나타내는데는 일반적으로 Bode plot이 사용되는데 이는 RPM에 대한 회전속도의 진동진폭(1X)과 또한 RPM에 대한 진동진폭 Vector의 위상지연각을 나타낸 것이다. 이것은 기계의 여러 가지 공진의 회전속도를 나타내는데는 가장 유용한 Plot이다.

Bode Plot을 작도하는데 추천된 규칙은 다음과 같다.

- ① 위상지연각(θ Lag)대 RPM은 그래프의 상부에 그린다.
- ② 그래프에서 위상지연각의 증가방향이 아래가 되도록 그림.
- ③ 그래프 아래에 1X(Absolute Rotative Speed Amplitude)진동값을 그린다.
- ④ 완성된 위상지연각 곡선에서 High Spot-Heavy Spot 관계를 확인한다.
- ⑤ 각 공진속도 아래의 Rotor 회전속도에서의 1X(Rotative Speed Absolute Amplitude)값을 무효화(Zero Nulling)시킨다. 이것을 무효화시키지 않으면 항상 False Bode가 그려진다. 오류가 없는 1X Bode Plot는 먼저 무효화 작업을 거쳐야 한다.

A. 무보상 Bode Plot(Uncompensated Bode' Plot)

일반적으로 변위 Data에 대하여 Slow Roll Speed 및 Slow Roll Vector를 결정하는 것을 제외하고는 무

보상 Bode Plot를 이용하는 것은 바람직하지 않다. Runout이 상당히 큰 값이면 동적 진동정보를 감추기에 충분한 만큼 Plot이 찌그러질 수 있다.

B. 보상 Bode' Plot(The Compensated Bode' Plot)

일반적으로 보상된 Bode' Plot은 변위 자료에서 정보를 도출하는데 사용되어야 한다. Slow-Roll 상태에서의 초기 Runout 성분에 의하여 진폭 및 위상이 모두 변형되었기 때문에 이 값을 빼주어야 한다. 이렇게 하여 작성된 것이 보상된 Bode Plot이다.

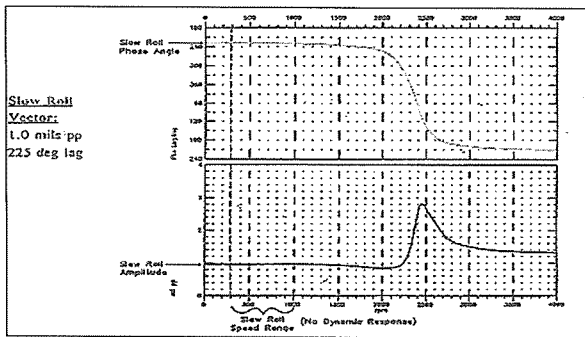


그림 4.6 무보상 Bode' Plot

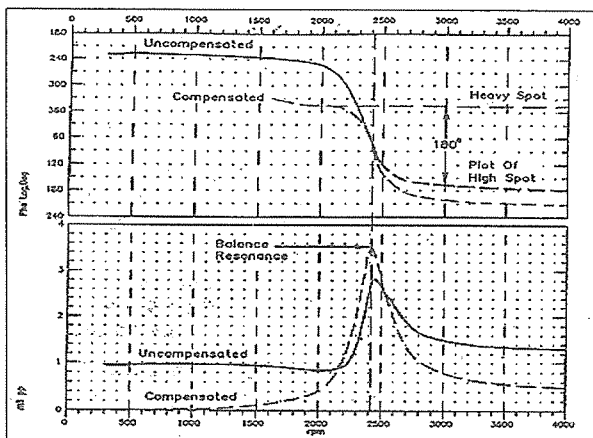


그림 4.7 보상된 Bode' Plot

4.2.2. Polar(Nyquist)plot (진폭 대 위상각 대 RPM)

Polar Plot은 극좌표에서 축의 회전속도 함수로써 그려진 일연의 진동 Vector(전형적으로 1X)이다. 각기 다른 회전속도에서 1X의 진동 Vector의 진폭 및 위상지연각은 2축상에 직접 그려진다. 대응하는 축 회전속도도 기재되어 있다.

Polar Plot은 Bode' Plot과 동일한 정보를 가지고 있으나, 강조하는 바는 다르다(즉 Slow Roll Speed, Slow Roll Vector 및 동기 증폭계수는 통상 Bode' Plot에서 얻기가 용이하고, Heavy Spot와 Structural Resonance

는 통상 Polar Plot으로 확인하기가 보다 쉽다)

Polar Plot은 좌표상에 표시되는 것은 Bode' Plot과 같지만 Bode' Plot이 갖지 못한 몇 가지 이점을 갖고 있다.

첫째, Bode' 처럼 따로 분리되어 표시된 진폭과 위상각을 비교할 필요없이 즉시 Unbalance Vector를 알 수 있다.

둘째, Bode' 에서 진동 진폭치가 작으면 위상각이 나타나지 않으나 Polar Plot에서는 나타난다.

셋째, 여러 베어링으로부터 구한 Polar Plot을 비교하여 쉽게 Mode Shape를 구할 수 있다. 근래에 들어 Polar Plot의 인기가 증가하여 점점 널리 사용되고 있는데 그 이유는 이상의 장점이외에도 초기 Vector가 발생될 때, Bode의 진폭과 위상은 큰 변화를 나타내는데 Polar의 형태는 변하지 않기 때문이다.

Polar는 회전기계의 거동을 아주 분명하게 나타내 준다. 예를 들면

- ① 각 Lateral Plane에서 Heavy Spot 대 High Spot이 전 속도범위에 걸쳐 관찰된다.
- ② 여러 개의 Lateral Plane을 사용하면 이것은 각 속도에서 축의 3차원 모양을 보여준다.
- ③ 위 그림에서 기계 Balancing을 위한 불균형 상태를 알 수 있다.
- ④ 고의적으로 불균형 상태를 만들어 그 응답을 관찰하므로써 기계의 기계적인 Impedance 일반 특성을 관찰할 수도 있다.
- ⑤ Polar Plot는 Bode Plot과는 달리 축의 휨의 영향을 받지 않는다.
- ⑥ Polar Plot로부터 각 공진 곡선(Loop)을 직접 측 정하여 운동 증폭 계수를 알 수 있으며, 이로부터 감쇠율(Damping Factor)을 쉽게 구할 수 있다.
- ⑦ Polar Plot을 직접, 정확히 관찰하면 Heavy Spot 과 High Spot을 알아낼 수 있다.
- ⑧ Piping, Coupling Shroud, 기초 등의 공진과 같은 2차 공진은 Polar Plot에서는 Inner Loop으로 나타나는데 이 경우 Bode Plot에서는 거의 구별 하 기가 어렵다.
- ⑨ 지지 계의 Mismatch(Anisotropy)가 Polar Plot 에서는 분명하게 나타난다.
- ⑩ Impedance가 가진 함수로 변하며 응답크기가 Polar Plot에서는 분명하게 나타난다.

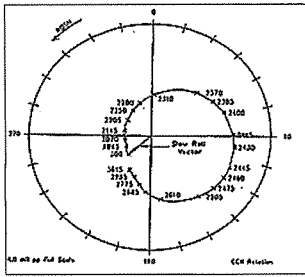


그림 4.8
무보상 Polar Plot

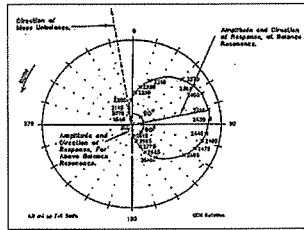


그림 4.9
보상된 Polar Plot

4.2.3. Cascade(주파수 대 진폭 대 RPM = Spectrum 대 RPM)

Waterfall과 Cascade는 비슷하나 Waterfall이 Spectrum을 시간대별로 나타내 주는 것, 즉 Spectrum의 경향분석인데 비하여 Cascade는 Spectrum을 회전기의 속도별로 나타낸 것이다. 따라서 정상 운전상태일 때는 Waterfall이 사용되며 과도 운전상태일 때는 Cascade가 사용된다. 비록 과도상태 일지라도 일정회전수마다가 아닌 일정시간마다 Sampling하여 Waterfall을 사용할 수는 있다.

하나의 Spectrum은 특별한 속도, 특별한 부하에서 한순간의 진동 특성을 보여주는데 이것을 계속 반복

하여 관찰하는 것이 필요한 경우가 많다. 예를 들어 기계의 기동시 기계의 부품에 의하여 발생된 여러 주파수에 의하여 임계속도에서 가진되는지 혹은 공진구간이 있는지를 알아야 한다.

또한 부하, 온도 등 다른 운전변수의 변동에 따른 기계의 진동진폭과 주파수의 변화를 알아야 할 필요가 있을 수 있다. Real Time Spectrum Analyser는 고속으로 분석할 수 있는 능력이 있기 때문에 이러한 요구조건에 이상적으로 부응할 수 있다. 즉, Cascade 및 Waterfall은 고유진동역의 통과여부, Oil Whip과 Oil Whirl의 존재 및 Oil Whirl로부터 Oil Whip으로 변화되는 모습은 물론 1X, 2X, 3X등의 존재여부와 이들의 크기를 비교할 수 있으므로 진동원인 규명에 아주 유용하다. (그림 4.10 참조)

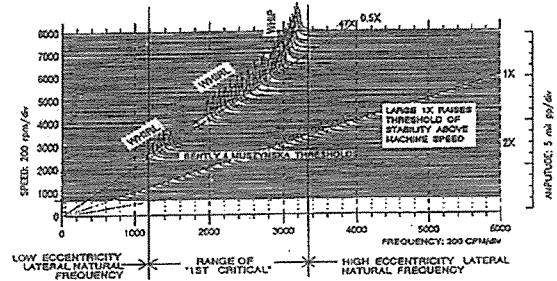


그림 4.10 Cascade Plot

고효율 대형 CO-GENERATION 시스템에 관하여

본 자료는 일본 열병합발전센터 자료에서 발췌·번역한 것임.

1. 서론

길었던 Bubble 붕괴 후의 일본의 경제 停滯도 2000년을 맞이해 설비투자를 중심으로 간신히 조금씩 회복되려 하고 있다. 그러나 현재도 진행중인 규제완화 등에 의한 급격한 사회변혁 등 일본의 경제계에 출구가 보이지않는 어려운 상황을 가져오게한 요인이 해소된 것은 아니다.

이와같이 어려운 경제정세 중에서도 環境대응책 강화를 요구하는 국제여론은 날로 거세어지고 있고 특히 COP3, COP4에서 채택된 탄산가스의 削減에 의한 온난화방지대책이나 NOx, Dioxin 등의 유해물질 규제강화는 경제계가 해결하지 않으면 안되는 중요한

과제이다.

일본정부는 温暖化 防止의 구체적인 정책으로 에너지 이용효율의 향상을 제일로 하고 있으며 이미 1차에너지 換算에서 매년 1%의 에너지 삭감을 실현할 것 등을 중심으로하는 개정 에너지절약법이 도입되었다. 각 기업에서도 적극적인 에너지절약대책을 수립하고 있으나 이것만으로 나라 전체에서의 충분한 삭감효과를 달성할 수 있으리라 생각되지 않는다.

금후 이 정책이 더욱 강화 될것으로 생각된다.

에너지절약 목표를 달성할 수 있는 가장 효과적인 방법은 말할것도 없이 열병합의 도입으로서 각 기업에서는 년차계획에 이 시스템 도입을 중요과제로 채택하고 순차 각 사업소에 전파시키고 있다.