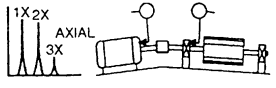
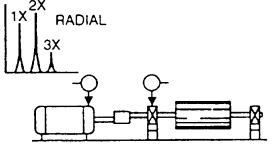
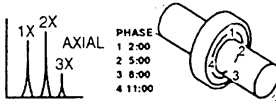
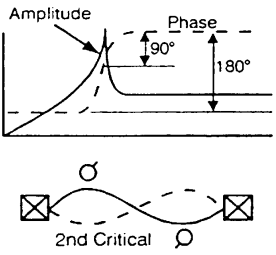
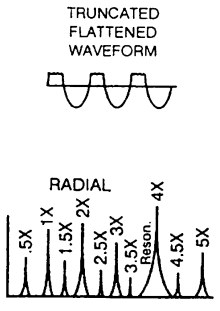


附錄 1 圖解 振動診斷表

(Illustrated Vibration Diagnostic Chart)

고장원인	스펙트럼	비고
질량불평형 A. STATIC 질량불평형		Force(Static) Unbalance는 동일축의 양 Bearing에서 위상은 동상이고 안정된 값을 가진다. 불균형에 의한 진폭은 증가 속도의 자승에 비례 상승한다. 1×RPM 진동은 항상 존재하며 통상 우월한 Spectrum이다. 이 불평형은 Rotor의 무게 중심(CG)에 1면(One Plane)에서 하나의 Balance Weight만을 취부함으로써 교정될 수 있다.
B. COUPLE 질량불평형		Couple Unbalance는 동일축의 양 Bearing에서 위상은 180°역상이다. 1×RPM진동은 항상 존재하며 통상 우월한 Spectrum이다. 진폭은 증가 속도의 자승에 비례하여 변화한다. 반경 방향에서 뿐만 아니라 축 방향에서도 진동이 높다. 최소한 2면에서 Balance Weight를 달아 교정을 한다. 180°위상차는 수직방향에서 뿐만 아니라 수평방향에서도 존재해야 한다.
C. OVERHUNG ROTOR 질량불평형		Overhung Rotor Unbalance는 축 방향 및 반경 방향 모두에서 높은 1×RPM 진동을 일으킨다. 반경방향의 위상값은 일정하지 않는 반면에 축방향의 값은 동상인 경향이 있다. Overhung Rotor는 Force 및 Couple Unbalance 모두를 가지는 경우가 있다.
편심 로터		편심은 Sheave, Gear, Bearing, Motor Armature 등의 기하학적 중심선과 회전중심이 어긋났을 때 발생한다. 최대진동은 2개 Rotor의 중심을 이은 방향으로 편심부품의 1×RPM에서 발생한다. 수평 및 수직 방향의 위상값은 통상 0°또는 180°차이가 난다.(서로가 직선방향 운동을 나타낸다). 편심 Rotor를 Balance하면 한쪽 방향의 진동은 감소하나 다른 쪽의 반경 방향 진동은 증가한다(편심량에 따라 다름).
BENT SHAFT		Bent Shaft인 경우는 축방향의 진동이 높고 동일기계에서 축방향 위상차는 180°역상으로 되는 경향이 있다. 우월한 진동은 통상 축 중심부근이 휜 경우는 1×RPM에 있으나, Coupling부근이 휜 경우는 1×RPM에 있다(Transducer는 그림과 같이 동일 방향으로 설치한다).

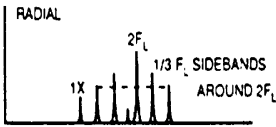
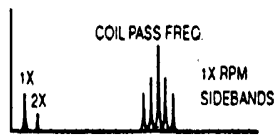
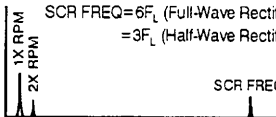
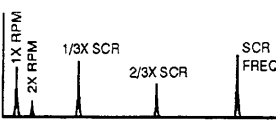
고장원인	스펙트럼	비고
축 오정렬 A. ANGULAR MISALIGNMENT		Angular Misalignment의 특징은 1× 및 2×RPM 모두에서 높은 축방향 진동을 가지며 위상은 Coupling을 지나면서 180°역상이다. 그러나 1×, 2× 및 3×RPM중 어느 것이든지 우월한 것은 통상있는 일이다. 이러한 정조는 Coupling에 문제점이 있다는 것을 잘 나타내는 것이다.
B. PARALLEL MISALIGNMENT		Parallel Misalignment는 진동 정조는 Angular Misalignment와 유사하나 높은 반경방향의 진동을 가지며, 위상각은 Coupling을 지나면서 180°역상에 접근한다. 1× 보다 2×진동이 종종 더 높으나, 그 값은 Coupling 형식 및 구조에 따라 다르다. Angular 또는 Parallel Misalignment가 심각하면 보다 높은 Harmonics(4×~8×)에서 또는 기계적인 이완 시에 나타나는 것과 같이 일련의 전 고주파 Harmonics에서 높은 진폭이 발생한다. Misalignment가 심각하면 Coupling 구조에 따라 Spectrum의 모양에 크게 영향을 미친다.
C. COCKED BEARING		Cocked Bearing은 상당한 축방향 진동을 일으킬 수 있으며, Twist Motion에 의해 동일 Bearing Housing의 축방향으로 축정한 상하 및 좌우 위상이 거의 180°차이가 있다. Coupling Alignment나 Rotor Balance로 문제가 해결되지 않는다. Bearing을 취외하여 올바르게 설치해야 한다.
공진		공진은 강제진동주파수가 System의 고유진동수와 일치할 때 발생하며, 조기 또는 엄청난 손상을 초래 할 수 있는 상당한 진폭 증가를 발생시킬 수 있다. 이것이 Rotor의 고유진동수이며, 지지대, 기초, Gear Box 또는 Drive Belt로 부터도 발생될 수 있다. Rotor가 공진 영역에 있으면 큰 위상변화(공진 점에서는 90°공진점을 지나서는 180°) 때문에 Balance는 거의 불가능하다. 때로는 고유진동수를 변화시킬 필요가 있다. 고유진동수는 회전수의 변화로는 변화하지 않는다.
ROTOR RUB		Rotor Rub는 회전체와 고정체가 접촉할 때 기계적 이완과 유사한 Spectra를 발생한다. Rub에는 부분 접촉과 전주접촉이 있다. 통상 일련의 주파수들을 발생하고 때로는 하나 이상의 공진을 일으키기도 한다. 또한 Rotor의 고유 주파수의 위치에 따라 회전속도의 Subharmonics($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, ..., $\frac{1}{n}$)이 발생하기도 한다. Rotor Rub는 많은 고주파수 진동을 발생시킬 수 있다. Rub가 축과 Bearing Babbitt간의 접촉에 의한 것이라면 대단히 심각하고 짧은 기간동안 발생할 수 있지만, 축과 Seal과의 접촉 Agitator Blade와 Tank 벽과의 접촉 또는 Coupling Guard와 Shaft의 압축이 있을 때는 덜 심각하다.

고장원인	스펙트럼	비고
기계적인 이완		기계적 이완은 그림과 같이 A, B, C형태가 있다. Type A는 Machine Feet, Base Plate 또는 기초의 구조물의 이완/취약에 의하여, Grouting의 변형 및 Base에서 Hold Down Bolt의 이완에 의하여 또한 Base의 Frame의 비틀림(즉 Soft Foot)에 의하여 원인이 되고 있다. 위상분석을 해보면 Machine Foot, Base Plate 및 Base에서 수직 방향으로 측정 한 위상 차는 180°에 이른다. Type B는 Pillowblock Bolt의 이완 및 Frame Structure나 Bearing Pedestal의 균열에 의하여 원인이 되고 있다. Type C는 Rotor로부터 힘에 의해 많은 Harmonics를 일으키는 부품들의 부적절한 조립에 의해 통상 발생된다. Type C는 Bearing Cap에서의 Liner 이완, 과도한 Bearing의 간극, 또는 Shaft에서의 Impeller 이완에 의해 원인이 되기도 한다. Type C의 위상은 종종 불안정하고, 측정치마다 특히 이동시마다 크게 변한다. 기계적 이완은 큰 방향성이 있고, 한 Bearing Housing에서 반경방향으로 30°만큼 측정위치가 바뀌어도 위상 차는 상당히 큰 값을 가진다. 또한 기계적 이완은 $\frac{1}{3}$ 또는 $\frac{1}{2} \times \text{RPM}$들의 Subharmonics를 발생한다.
SLEEVE BEARING A. 마모/간극 문제		Sleeve Bearing이 마모된 후에는 통상 일련의 Harmonics(10~20×RPM)이 발생한다. Wiped Sleeve Bearing인 경우는 수평방향 진폭에 비하여 수직방향의 진폭이 높다. 과도한 간극을 가진 Sleeve Bearing은 작은 불균형 및 Misalignment이어도 정상 간극인경보다 큰 진동을 일으킨다.
B. OIL WHIRL INSTABILITY		Oil Whirl은 $0.42 \sim 0.48 \times \text{RPM}$에서 발생하고 때로는 대단히 심각하다. Bearing 간극의 50%를 초과하면 과도한 진동이 발생한다. Oil Whirl은 진동을 일으키는 유막으로서 정상운전상태(Attitude Angle과 편심율)의 변화로 인해 Oil Wedge는 Bearing내에서 축을 밀어낸다. 회전방향으로 불안정한 힘 때문에 Whirl(또는 Precession)이 생긴다. Whirl은 Whirl Force를 증가시키는 원심력을 증가시키기 때문에 본질적으로 불안정하다. Whirl은 유막이 더 이상 축을 지지하지 않도록 하며 또한 Whirl Frequency가 Rotor의 고유주파수와 일치할 때 불안정해진다. Oil의 점도, 유압 및 외적인 Preload의 변화는 Oil Whirl에 영향을 미칠 수 있다.
C. OIL WHIP INSTABILITY		Oil Whip은 기계가 2배의 Rotor임계속도나 그 이상에서 운전될 때 발생한다. Rotor가 2배의 임계속도에 다달았을 때 Whirl주파수는 Rotor의 임계속도에 아주 가까워지며, 유막이 더 이상 Rotor를 지지할 수 없을 정도의 과도한 진동을 일으킨다. Whirl Speed는 실제로 Rotor임계 속도를 “자동추적”(Lock onto)하며, 기계가 더욱 가속 할지라도 이 Peak는 임계속도를 지나치지 않는다.

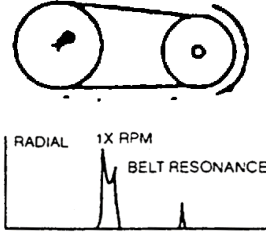
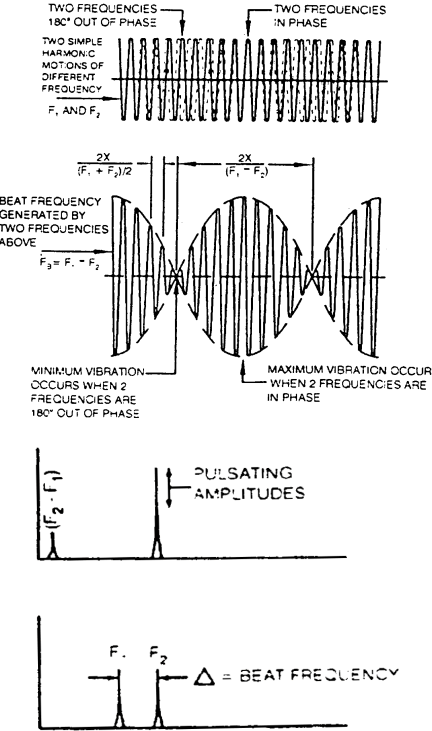
고장원인	스펙트럼	비고
구름 베어링 (손상 4단계)		Rolling Element Bearing의 손상 4단계, 1단계 : Bearing 문제점의 최초 징조는 대략 20.000~60.000Hz (1.2000.000~3.600.000CPM)범위의 초음파 주파수에서 나타난다. 이들은 Spike Energy(gSE), HFD(g) 및 Shock Pulse(dB)로 구한 주파수들이다. 예에서 Spike Energy는 1단계에서는 약 0.25gSE에서 처음 나타난다(실제 값은 측정위치 및 기계속도에 따라 다르다). 2단계 : 경미한 Bearing의 결함은 주로 0.5K~2KHz범위에서 발생하는 Bearing부품의 고유주파수 부근에서 시작한다. 측대와 주파수(Sideband Frequencies)는 2단계 끝에서 고유주파수 Peak의 이상 및 이하에서 나타난다. Spike Energy는 증가한다.(예에서 50gSE까지) 3단계 : Bearing의 결함 주파수 및 Harmonics가 나타난다. 마모가 증가하면 결함주파수 Harmonics이 더욱 잘 나타나고, 측대와 주파수 부근 및 Bearing 고유 주파수 부근 모두에서 그 수량이 증가한다. Spike Energy도 계속하여 증가한다(예에서 0.5에서 1.0gSE까지). 특히 잘 형성된 측대와 주파수가 Bearing 결함 주파수 Harmonics를 수반할 때 마모는 통상 육안으로 볼 수 있으며 Bearing 원주까지 확장한다. 이때 Bearing을 교체한다. 4단계 : 마지막에는 1×RPM 진폭이 나타난다. 이것은 성장하여 통상 여러개의 회전속도 Harmonics의 성장 원인이 된다. 이 산적인 Bearing 결함과 부품의 고유 진동 주파수들은 실제로 사라지기 시작하며 불규칙하고, 광대역의 고주파수 “Noise Floor”로 바뀐다. 또한 고주파수인 Noise Floor와 Spike Energy의 진폭은 실제로 감소하지만 손상 직전에 Spike Energy는 통상 과도한 진폭으로 증가한다.
유체 및 공기 역학적인 힘		Blade Pass Frequency(BPF) = Blade수×RPM. 이 주파수는 Pump, Fan 및 압축기에 내재하고 있으며 통상 문제점으로 있지 않는다. 그러나 회전체인 Vane과 고정체인 Diffuser간의 Gap이 전체에 걸쳐 같게 유지가 안되면 큰 진폭의 BPF(또는 Harmonics)는 Pump내에서 발생될 수 있다. BPF(또는 Harmonics)는 고진동을 일으키는 System의 고유진동 주파수와 일치할 수 있다. 높은 BPF는 Pipe의 갑작스런 휨, 난류를 일으키는 장애물 또는 Pump나 Fan Rotor가 Housing내에서 편심되게 위치된 경우 발생될 수 있다. 난류는 Fan이나 Duct를 통과하는 공기의 압력 또는 속도의 변화로 인해 Blower 내에서 발생하곤 한다. 흐름의 장애는 불규칙적이고, 전형적으로 0.83~33.33Hz 범위의 저주파수 진동을 일으키는 난류의 원인이 된다. Cavitation은 통상 불규칙적이고, 때로는 Blade Pass Frequency Harmonics와 중첩되는 보다 높은 주파수의 광대역 Energy를 발생한다. Cavitation은 통상 불충분한 흡입 압력을 나타내며, 교정하지 않고 놓아두면 Pump 내부 부품에 치명적인 손상을 줄 수 있다.

고장원인	스펙트럼	비고
GEARS A. 정상적인 SPECTRUM		정상적인 Spectrum은 1×, 2×RPM 및 Gear Mesh Frequency(GMF)이다. 일반적으로 GMF는 그주위에 회전속도의 측대파(側帶波) 주파수를 가진다. 모든 Peak들은 낮은 진폭이고 어떠한 Gear의 고유진동주파수도 가진되지 않는다.
B. TOOTH WEAR		이빨의 마모 징조는 Gear의 고유진동 주파수 및 나쁜 Gear의 회전속도 간격으로 있는 측대파 주파수가 발생하는 것이다. 비록 마모가 심각할 때는 통상 GMF 주위에 높은 진폭의 측대파 주파수가 발생하지만 GMF는 진폭이 변화하기도 하고 변화하지 않기도 한다. GMF 자체보다는 측대파 주파수가 마모 정도를 아는 보다 좋은 척도이다.
C. TOOTH LOAD		GMF는 부하에 대단히 민감할 때가 있다. 특히 측대파 주파수 진폭이 낮고, 어떠한 Gear 고유 진동 주파수들도 가진되지 않는다면 높은 GMF 진폭은 문제로 삼을 필요가 없다. 분석은 최대한의 부하에서 System적으로 수행되어야 한다.
D. GEAR 편심, BACKLASH		GMF 주위의 높은 진폭을 가지는 측대파 주파수는 한 Gear의 회전이 다른 Gear의 운전속도를 변조시킬만한 Gear의 편심, Backlash 또는 축정렬의 불량이 있음을 나타낸다. 문제점을 가지는 Gear는 측대파 주파수의 간격에 의해서도 나타내진다. 부적절한 Backlash는 GMF와 Gear고유 진동주파수를 가진 시키고 이들은 1×RPM에서 측대파가 있다. Backlash가 문제인 경우는 GMF진폭은 부하증가와 더불어 감소하기도 한다.
E. GEAR MISALIGNMENT		Gear Misalignment는 항상 2차 또는 회전속도에서 측대파를 가지는 보다 높은 GMF고조파를 가진한다. 때로는 1×RPM 진폭은 작고 2× 또는 3× GMF 진폭이 더 높다. Transducer System 용량이 충분하면 가능한 2×GMF고조파를 검출할 수 있도록 F _{MAX} 를 설정하는 것이 중요하다.
F. CRACKED / BROKEN TOOTH		균열 또는 깨진 이빨은 이 Gear의 1×RPM에서 높은 진폭을 발생시키며, 회전속도에서 측대파를 가지는 Gear 고유진동주파수(fn)를 가진 시킨다. 또 이것은 Time Waveform에서 가장 잘 검출되는데 Time Waveform은 문제의 이빨이 상대 Gear의 이빨과 결합할 때마다 확실한 Spike를 나타낸다. Impacts(Δ)간의 시간은 문제의 Gear의 1/속도에 상당한다. Time Waveform에서 Impact Spikes의 진폭은 FFT에서 1× Gear RPM의 진폭보다 훨씬 높다.

고장원인	스펙트럼	비고
G. HUNTING TOOTH PROBLEMS		Hunting Tooth Frequency(f_{HT})는 제품 공정중 또는 취급 부주의에 의하여 발생하는 Gear와 Pinion상의 결함을 검출하는데 특히 유용하다. 이것은 높은 진동을 일으키지만 10Hz이하의 낮은 주파수에서 주로 발생하기 때문에 종종 지나쳐 버린다. 이와 같은 이빨의 반복적인 문제를 가지는 Gear Set은 구동기측으로부터 격렬한 소리가 난다. 최대 효과는 손상된 Pinion과 Gear의 이빨이 동시에 맞물릴 때 발생한다(몇몇 구동기에서는 f_{HT} 공식에 따라서 매 10~20 회전시 마다 한 번 발생한다). T_{GEAR} 및 T_{PINION} 은 Gear와 Pinion의 잇빨수이고, N_a 는 주어진 이빨의 조합에 대한 유일한 조합 상태로써, 각 Gear의 잇빨수에 공통적인 소인수(素因數)를 곱한 것과 같다.
A. 전기적 문제 전기자 편심, 절연 불량, 철심 LOOSE		Stator에 문제가 있으면 2×계통 주파수($2F_L$)에서 고진동이 발생한다. Stator 편심은 Rotor와 Stator간의 Stationary Air Gap이 발생하며, 대단히 방향적인 진동을 발생한다. Air Gap의 차는 유도 전동기에서는 5%, 동기 전동기에서는 10%를 초과해서는 안된다. Soft Foot 및 Waped Bases는 편심 Stator가 되게한다. 철심의 이완은 Stator 지지대의 취약 및 이완에 의해 생긴다. 철심이 단락되면 불균일하고 국부적인 가열이 발생하여 축을 휘게 할 수 있다. 이 열에 의한 진동은 운전시간 경과에 따라 상당히 증가한다.
B. 편심 ROTOR (Air Gap 변화)	F_L = Electrical Line Frequency N_z = Synch. Speed = $120F_L/P$ F_s = Slip Freq. = $N_s \cdot \text{RPM}$ F_p = Pole Pass Freq. = $F_s \times P$ P = # Poles	편심 Rotor는 Rotor와 Stator간에 회전가변 공극이 생겨 진동(통상 $2F_L$ 과 회전속도 고조파사이)을 일으킨다. 편심 Rotor는 회전속도 주위에 Pole Pass Frequency(F_p) 측대파 뿐만 아니라 F_p 측대파에 둘러싸인 $2F_L$ 을 발생한다. F_p 는 저 주파수에서 스스로 나타난다. (Pole Pass Frequency = Slip Frequency×Pole수). F_p 의 일반적인 값은 대략 0.3~2.0Hz(20~120CPM)이다.
C. ROTOR PROBLEMS	$RBPF = \text{ROTOR BAR PASS FREQ} = \# \text{ BARS} \times \text{RPM}$	균열 또는 깨진 Rotor Bar나 단락환, Rotor Bar와 단락환간의 연결불량, 또는 Rotor 철심의 단락은 F_p 를 가지는 높은 1×RPM 진동을 일으킨다. 또한 균열된 Rotor Bar는 3×, 4× 및 5×RPM의 고조파주위에 F_p 측대파를 발생한다. Rotor Bar의 이완은 Rotor Bar Pass Frequency(RBPF)와 그 고조파 주위에 $2 \times F_L$ 측대파가 나타난다. (RBPF=Bar의 수×RPM)이 경우 1×RBPF에서의 진폭은 작고 2×RBPF에서의 진폭은 높은 경우가 있다.

고장원인	스펙트럼	비고
D. 접속상태 불량		이완 또는 깨진 접속부에 의한 상문제(Phasing Problems)가 있으면 $2F_L$ 에서 과도한 진동을 일으키며 $2F_L$ 은 그 주위에 $1/3 F_L$ 측대파를 가진다. 수정이 안된채로 놓아두면 $2F_L$ 에서의 진폭은 25.4mm/sec를 초과할 수 있다. 결합 접속부가 오직 산발적으로 접촉되고 주기적이지 않으면 이것은 특히 문제가 된다.
E. 동기 모터 (전기자 코일 이완)		동기 Motor에서 Stator Coil이 이완되면 Coil Pass Frequency(CPF = Stator Coil수 × RPM)에서 높은 진동이 발생한다(Stator Coil수 = Pole수 × Coil수/Pole). CPF는 1× RPM 측대파로 둘러싸여 있다.
직류 전동기 A. 정상 스펙트럼		SCR(Silicon Controlled Rectifier) Firing Frequency($6F_L$)와 고조파의 진폭이 정상보다 높으면 DC Motor에 문제점이 있음이 판단된다. 이런 문제점들에는 절단된 Field Winding, 불량한 SCR 및 접속부들이 있다. 이완 또는 절단된 Fuse 및 단락된 Control Card를 포함하는 다른 문제점들은 1×~5× Line Frequency(60~300Hz)에서 높은 진폭을 발생할 수 있다. 대부분의 직류전동기와 그 제어 계통에서의 문제점은 진동 분석을 통해 알 수 있다. 전파 정류 방식으로 제어(6개의 SCR 사용)되는 전동기에서는 6배의 전력계통 주파수($6F_L=360\text{Hz}=21600\text{ cpm}$)에서 진동 신호가 나타나며, 반면 반파 정류 방식으로 제어(3개의 SCR 사용)되는 전동기에서는 3배의 전력계통 주파수($3F_L=180\text{ Hz}=10800\text{ cpm}$)를 발생시킨다. 대개 SCR 점호주파수는 직류 전동기의 진동 스펙트럼 상에 나타나지만 크기는 작다. F_L 의 배주파수에서 다른 Peak치는 나타나지 않음에 주목하라
B. 전기자 권선의 단선, 혹은 접지, 또는 시스템 조정 불량		직류전동기의 진동 스펙트럼 상에서 1배 혹은 2배의 SCR 주파수에서 진동수치가 높으면 이는 전기자 권선의 단선이나 혹은 제어 계통 조정이 불량한 경우이다. 제어 계통의 문제점이 더 심각한 경우에는 단지 제어 계통의 조정만 적절히 잘하면 상기 주파수에서의 진동치를 낮출 수 있다. 일반적으로 이 주파수에서의 진동치는 1배 SCR 주파수에서 약 0.1 in/sec, 2배 SCR 주파수에서 0.04 in/sec보다 클 것이다.
C. 점호카드 불량 혹은 휴즈 소손		점호카드 하나가 불량하면 전동기 출력의 1/3을 낼 수 없어 순간적인 속도변동을 계속적으로 되풀이하게 된다. 이와 같이 되면 1/3혹은 2/3 SCR주파수(반파정류 제어방식인 경우에는 $1/3 \times \text{SCR 주파수} = 1 \times F_L$ 전파정류 제어방식인 경우에는 $2 \times F_L$ 에서 진동치가 커지게 된다. 주의: Card/SCR 구성상태를 Troubleshooting하기 전에 알고 있어야 한다(SCR이 몇 개인지, 점호카드가 몇 개인지 등)

고장원인	스펙트럼	비고
D. SCR 불량, 제어 카드 단락, 접촉부 이완 그리고 (혹은) 휴즈 소손		SCR이 불량하거나, 제어카드가 단락 되었다든지 그리고(혹은) 접촉상태가 불량할 경우 전력계통 주파수 및 SCR 점호 주파수의 여러 조화주파수에서 뚜렷한 진동치가 발생된다. 대개 6개의 SCR로 제어되는 직류전동기의 경우 1개의 SCR이 불량하면 F_L 및(혹은) $5F_L$ 에서의 진동치가 커진다. 중요한 것은 진동 스펙트럼상에서 F_L , $2F_L$, $4F_L$ 주파수에서나 $5F_L$ 주파수에서도 진동치가 나타나지 말아야 한다는 것이다.
E. 비교 카드 불량		비교카드가 불량하면 rpm의 동요나 헌팅 등의 문제가 발생할 수 있다. 이는 자속의 일정치를 소멸 및 재발생하게 하며 그림의 측대파는 때론 거의 rpm동요(변화)수와 같다. 이를 감지하기 위해서는 고해상도의 FFT가 필요하다. 이런 측대파는 자속의 발생과 재발생에 의해 생길 수 있다.
F. 직류전동기 베어링을 통해 전류가 흐른 경우		대부분 외륜결함 주파수(BPFO) 부근에 묻쳐있는 일련의 여러 주파수를 통해 전기적인 유도로 인한 베어링 Fluting 발생 여부를 알 수 있으며 이런 Fluting이 베어링의 내륜 및 외륜 두군데 다 있다해도 감지가 가능하다. 대개 중심이 약 100,000에서 150,000cpm 부근 범위내에 이런 주파수들이 나타난 것이며 결함 여부를 알기 위해서는 직류전동기 베어링 OB 및 IB 양쪽을 측정한 1,600 Lines 해상도의 180kcpm 스펙트럼이 필요하다.
BELT DRIVE PROBLEMS A. 마모, 이완, 정렬 불량		Belt 주파수 = $\frac{3.142 \times \text{Pulley RPM} \times \text{Pitch 직경}}{\text{Belt길이}}$ Timing Belt 주파수 = Belt주파수 × Belt 잇빨수 = Pulley RPM × 3 Pulley 잇빨수 Belt 주파수는 Motor 또는 중동기 RPM보다 낮다. Belt가 마모되고, 이완되고 또는 잘못지 않으면 보통 Belt 주파수의 3~4배가 발생한다. 2×Belt주파수가 우월한 Peak인 경우가 많다. 진폭은 보통 일정하지 않고 때로는 구동기나 중동기 RPM으로 진동하기도 한다. Timing Belt Drive에서 마모나 Pulley Misalignment는 Timing Belt 주파수에서 높은 진폭이 나타난다.
B. 벨트/폴리 정렬 불량		활차가 Misalignment되면 축방향으로 1×RPM에서 고진동이 발생한다. 중동기 RPM에 대한 구동기 RPM에서의 진폭비는 상대적인 질량 및 Frame 강성 뿐만아니라 진동자료가 취해진 곳에 따라 다르다. 활차의 Misalignment시 Motor에서 최대 축방향 진동은 Fan RPM에서 있는 경우가 많다.
C. 폴리 편심		편심 또는 불균형된 활차는 1×RPM에서 높은 진동을 일으킨다. 진폭은 Belt에 평행한 방향에서 가장높고, 구동기나 중동기 Bearing에서 모두 나타나야 한다. Taperlock Bolt에 Washer를 달아 편심 활차를 Balance할 수 있다. 그러나 Balance가 된다해도 편심은 계속 진동을 일으키고 Belt에는 가역 피로응력이 남아있다.

고장원인	스펙트럼	비고
D. 벨트 공진		Belt Resonance는 Belt 고유진동 주파수가 Motor나 구동기 RPM에 접근하거나 일치하면 고진동을 일으킬 수 있다. Belt 고유진동 주파수는 Belt 인장이나 길이를 바꾸어 변경시킬 수 있다. 이것은 활차나 Bearing에서 진동 응답을 측정하면서 Belt를 당기고 풀으므로써 알 수 있다.
BEAT VIBRATION		Beat 주파수는 2개의 가까운 간격을 가진 주파수로서 동조되었다가 탈조되면서 생긴 결과이다. Wideband Spectrum을 보면 하나의 Peak가 상하로 진동하는 것을 볼 수 있다. 이 Peak를 Zoom해보면(Lower Spectrum) 2개의 가까운 간격을 가진 Peak를 실제로 볼 수 있다. 이 2 Peak의 차 ($F_2 - F_1$)가 Wideband Spectrum에서 스스로 나타나는 Beat주파수이다. Beat주파수는 본질적으로 저주파수(약 0.083~1.667Hz)이기 때문에 정상적인 주파수 범위 값에서는 일반적으로 볼 수 없다. 최대진동은 하나의 주파수(F_1)의 Time Waveform이 다른 주파수(F_2)와 일치할 때 발생한다. 최소진동은 이들 2개 주파수의 Waveform이 180°위상차가 있을 때 발생한다.