

第 1 編

振動의 基本 技術

목 차

(제 1편 진동의 기본 기술)

제1장 진동 감시에 의한 경제성 및 안전성 향상 (Improvement on Economics and Safety by the Vibration Monitoring)

1. 진동 감시의 필요성 (The Necessity of Vibration Monitoring)	8
2. 비교 기준의 확립 (Establishing Comparative Standards)	9
3. 정비 방법 (Methods of Maintenance)	10
4. 진동 감시 장비의 선택 (Selection of Vibration Monitoring Equipments)	12
5. 예지 정비 프로그램과 안전 문제 (Predictive Maintenance and Safety)	14

제2장 진동의 매개변수 (Vibration Parameters)

1. 진동 진폭 (Vibration Amplitude)	18
2. 진동 주파수 (Vibration Frequency)	34
3. 진동 위상각 (Vibration Phase)	43

제3장 진동 변환기 (Vibration Transducers)

1. 진동 변환기 (Vibration Transducers)	50
2. 비접촉식 변위 변환기 (Noncontact Displacement Transducers)	52
3. 속도 검출기 (Velocity Pickups)	61
4. 가속도계 (Accelerometers)	65
5. Shaft Riding Pickup	73
6. Dual Probe	74
7. 진동 변환기의 비교 (Comparison of Vibration Transducers)	75

제4장 터빈 감시 기구 (Turbine Supervisory Instrumentation)

1. 측정 항목 (What to Measure)	81
2. 축 및 케이싱 진동 (Shaft and Casing Vibration)	83
3. 로터의 축방향 및 반경 방향 위치 (Rotor Position-Axial and Radial)	86
4. 편심과 편심 위치 (Eccentricity and Eccentricity Position)	89

4— 제1편 진동의 기본 기술

5. 케이싱 팽창과 차동팽창 (Casing Expansion/Differential Expansion)	91
6. 캠(밸브) 위치 [Cam(Valve) Position]	91
7. 속도 감시 (Speed Monitoring)	91
8. 위상 감시 (Phase Monitoring)	92
9. 베어링 온도 감시 (Bearing Temperature Monitoring)	95
10. 비접촉 변환기의 활용 (Uses of Non-Contacting Transducers)	99

제5장 신호 처리 (Signal Processing)

1. Decibel 단위와 대수 척도 (Decibel Units and Log Scale)	101
2. 필터 (Filters)	105
3. 적분 (Integration)	114
4. AC에서 DC로의 변환 (AC to DC Conversion)	116
5. 자료의 질을 향상시키기 위한 신호 처리 (Signal Processing for Data Enhancement)	120

제6장 진동 기록 및 분석 장치 (Vibration Recorders and Analyzers)

1. 자료취득과 FFT 과정 (Data Acquisition and FFT Processing)	126
2. 진동 측정기 (Vibration Meters)	176
3. 휴대용 주기 감시 시스템 (Walkaround Periodic Monitoring System)	177
4. FFT 분석기 (FFT Analyzers)	178
5. 시간 영역 장비들 (Time Domain Instruments)	180
6. Tracking Analyzers	181
7. 자기 테이프 기록 장치 (Magnetic Tape Recorder)	184
8. 증폭기 (Amplifiers)	188
9. 현장에서 이용되고 있는 진동 분석기들 (Vibration Analyzers Used in the Field)	190

제7장 진동 분석용 자료형식과 분석방법

(Data Formats and Methods for Vibration Analysis)

1. 정적 및 동적 측정치 (Static and Dynamic Measurements)	237
2. 동적 신호의 표시방법 (Methods of Displaying Dynamic Signals)	238
3. 정상 상태의 자료형식 (Steady State Data Formats)	250
4. 과도상태 진동응답의 자료형식 (Transient Response Data Formats)	254

제1편 진동의 기본 기술 — 5

5. 파형 분석 (Waveform Analysis)	260
6. Shaft Orbit 분석 (Lissajous Pattern Analysis)	262
7. Mode(Deflection) Shape Analysis	269
8. 위상 분석 (Phase Angle Analysis)	272
9. Full Spectrum Analysis	278

제8장 시스템 역학 (System Dynamics)

1. 진동의 기초 (Fundamentals of Vibration)	298
2. 1 자유도계의 자유진동	317
3. 1 자유도계의 강제진동	334

제9장 공진 (Resonance)

1. 공진의 정의와 문제점 (Definition and Problems of Resonance)	348
2. 공진의 진단 (Diagnosing Resonance)	357
3. 공진 및 Rotor 임계 상태의 문제점 교정 (Correcting Resonance and Rotor Critical Problems)	386

제10장 부품별 진동 특성 및 분석

(Vibration Characteristics and Analysis of Specific Elements)

1. 질량의 불평형 (Mass Unbalance)	401
2. 편심 로터 (Eccentric Rotors)	403
3. 굽은 축 (Bent Shaft)	406
4. 오정렬 (Misalignment)	407
5. 기계적인 이완 (Mechanical Looseness)	414
6. 회전체의 접촉 (Rotor Rub)	418
7. 유체에 의한 진동 (Flow-Induced Vibration)	426
8. 슬리브 베어링 (Sleeve Bearings)	434
9. 구름 베어링 (Rolling Element Bearings)	443
10. 울림 진동 (Beat Vibration)	464
11. 축 균열 (Shaft Crack)	467
12. 커플링 (Couplings)	476
13. Glitch (Runout)	482

6— 제1편 진동의 기본 기술

제11장 기계별 진동 특성 및 분석

(Vibration Characteristics and Analysis of Specific Machinery)

1. 원심 펌프 (Centrifugal Pumps)	497
2. 터보 송풍기와 터보 압축기 (Turboblowers and Turbocompressors)	501
3. 증기터빈 (Steam Turbines)	511
4. 왕복동 기계 (Reciprocating Machines)	516
5. 기어 구동 장치 (Gear Drivers)	530
6. 벨트 구동 장치 (Belt Drivers)	538
7. 유도 전동기 (Induction Motors)	543
8. 직류 전동기 (DC Motors)	561
9. 수직 펌프와 전동기 (Vertical Pump and Motor)	584

제12장 진동의 평가기준 (Evaluation Criteria of Vibration)

1. 경향 감시 (Trend Monitoring)	600
2. 통계적 제한치 (Statistical Limits)	601
3. 특정 기준의 설정 (Establishing Specific Criteria)	602
4. 경향 감시를 위한 최소 한계식, 광대역과 협대역 비교 (Minimum Threshold Values for Trends, Broad and Narrow Band Comparisons)	611
5. 회전기계 진동의 평가 (Evaluation of Rotating Machinery Vibration)	613
6. 회전기계별 진동 평가기준에 관한 규격 (Standards on Vibration Evaluation Criteria of Specific Rotating Machinery)	626

제13장 진동 감시 장치 (Vibration Monitoring System)

1. 진동 감시 방법 (Vibration Monitoring Methods)	662
2. 진동 신호 변환기 (Vibration Signal Transducer)	668
3. 3300/16 XY 진동 감시장치 (3300/16 XY Gap Monitor)	671
4. 3300/20 이중 축 위치 감시 장치 (3300/20 Dual Thrust Position Monitor)	677
5. 3300 자체진단 능력 (Self Test Capability)	683
6. 계전기 (3300 Relays)	685
7. 설치전 준비사항 (Pre-installation Tasks)	687
8. 변환기 설치 (Installation of Transducer)	692
9. 계통 고장 원인 해결 기법 (System Troubleshooting)	712

제1편 진동의 기본 기술 — 7

10. 정비 (System Maintenance)	715
11. 공통적인 선택사항과 기능 (Common Options and Features)	720

第1章 振動 監視에 의한 經濟性 및 安全性 向上 (Improvement on Economics and Safety by the Vibration Monitoring)

1. 振動 監視의 必要性 (The Necessity of Vibration Monitoring)

기계진동이란 사람의 맥박과 같아서 맥박의 고저, 강약 및 주기 등을 진찰하여 오랜 경험에 의한 정보를 활용하여 병의 원인을 찾아 조기 치방함으로써 중병으로의 진입을 막는 것이다. 물론 경험에 의한 정보의 활용은 의사마다 다소 달라 명의도 있고 돌팔이도 있게 마련이다. 기계진동에서도 마찬가지로 많은 정보를 취득하여도 잘 활용이 안되면 정보 그 자체로 남아 있고, 활용이 잘되면 건강한 기계로 회복시켜 공장의 경제성 향상과 더불어 안전관리에도 큰 효과를 거두게 되는 것이다. 즉 기계의 운명은 기계진단 기술자의 판단에 달려 있기 때문에 각자가 기계의 명의가 되기 위해서는 ① 설비의 구조 및 특성을 파악하고 ② 계획정비(Overhaul) 기간중 규정에 맞는 확실한 정비를 행하고 ③ 올바른 운전을 행하여야 하고 ④ 신속 정밀한 진동 계측장비를 사용해야 함은 물론 ⑤ 정확한 진동진단을 위해서는 진동 진단기술을 숙지하여야 한다.

상태(진동) 감시의 성공 여부를 결정하는 데 가장 중요한 요소는 사람이다. 성공을 보장하는데 필수 요소는 의욕, 호기심, 결단력, 도전을 받아들이려는 열의, 기계에 대한 일반적인 지식 및 뒷전으로 물러서지 않으려는 용기 등이다. 기술이 성공을 낳는 것이 아니라 사람이 성공을 낳는다.

회전 기계의 진동감시 시작은 아마도 기계가 처음 만들어진 이후부터일 것이다. 예전에는 최초로 만든 수차로 작동되는 물레방아가 회전 중에 빼걱대는 소음이나 이상 진동 발생으로 고장 징후를 직감하게 되었을 것이고, 요즘에는 자동차 엔진의 보링시기가 되었거나 휠 얼라인먼트 상태가 불량한 경우 주행 중에 예전과 다른 진동을 체험했을 것이다. 이와 같이 기계 상태가 열화 되어가고 있던가 문제점이 있으면 가장 먼저 감지되는 것이 진동 변화이고 더불어 온도, 압력 등 기계 상태의 여러 매개변수들도 변화하게 된다.

특히 최신의 회전기계는 설계치에 가까이에서 더욱이 고속으로 운전되고 있으며, 심지어 운전 중에는 위험성이 높아 가까이 접근할 수 없는 기계 부품을 가지는 대형기계를 생산하기 때문에 사람이 직접 하는 일이 감소되고, 악순환 되는 제품의 손상과 정비

비용의 증대로 인하여 진동감시에 커다란 관심을 가지게 되었으며 더 나아가 정밀 전자공학과 컴퓨터 기술의 적용이 두드러지게 나타났다.

진동감시의 최종목표는 최소의 비용을 들여 기계를 계속해서 더 오래 운전하고, 인명과 재산의 보호를 위한 정보를 제공하는 것이다. 진동감시를 한다 해서 모든 문제에 대한 해답을 주지 않는다. 오히려 이것은 전체적인 정비전략으로 집대성되어야 하며, 최소 비용으로 최대의 신뢰도를 달성하기 위한 몇 가지 대책 중의 하나로 적용되어야 한다.

2. 比較 基準의 確立 (Establishing Comparative Standards)

비교할 수 있는 기준이나 정상적인 값이 없으면 진동감시는 특별히 가치 있는 것이 되지 못할 것이다. 그러므로 상태를 판정하기 위한 근거를 제공하기 위하여 비교 기준이 확립되어야 한다.

진동, 특히 구조물이나 케이싱 진동에 대한 한계치나 비교 기준은 보다 경험적이며 적어도 부분적으로는 경험에 근거를 두고 있다. 진동을 판정하는 기준은 제작자의 데이터, 기계 제작자가 발행한 사용 지침서, 유사 기계를 운전하는 다른 사람의 경험 등과 같이 수많은 근거로부터 얻어질 수 있다. 그러나 진동 한계치는 일반적으로 깨어지도록 만들어진 것이라고 말하는 것이 무난하다. 왜냐하면 기계를 운전하는 사람의 측면에서 보면 허용할 수 있는 진동수준은 항상 현재 운전 수준보다 약간 높기 때문이다.

진동 한계치를 설정할 때 주목표가 2~3년간 연속적이고 신뢰성 있는 운전을 하는 것이라면 기계 제작자의 허용 한계치는 너무 높을지도 모른다는 것을 알아야 한다. 역으로, 높은 진동 수준을 통상적으로 경험하는 기계에서는 그 기계를 설계한 사람들이 제공한 허용 한계치는 너무 낮을지도 모른다.

무엇을 측정할 것인지, 어디서 어떻게 측정할 것인지, 허용 한계치를 얼마로 조정할 것인지는 당연히 알아야 한다. 그러면 이것이 상태를 판정하는데 어떤 도움이 될 것인가?

판정을 하기 위하여 알아두어야 할 것은 다음과 같다.

- 무엇이 허용 한계치를 벗어났는가 또는 변화했는가?
- 얼마 정도까지 변화했는가?
- 변화가 급속히 발생되는가 천천히 발생되는가?
- 처음에 관측된 것을 확증하거나 부정할만한 다른 어떤 변화가 있는가?

예를 들면 축 방향으로의 위치 변화는 추력 베어링의 온도 변화를 동반한다. 그것이

10 — 제1편 진동의 기본 기술

얼마나 빨리 변하는가는 조치 행위를 준비하는데 필요한 시간이 얼마나 되는가에 대한 좋은 척도가 될 것이다. 이의 변화 원인을 알아내기 위해서, 이 힘의 기계 내부에서 발생되는가 외부에서 가해지는가를 알기 위해 기계와 커플링 전반에 걸쳐 추력 균형 상태를 조사하라.

어떤 책이 독자를 기계분석의 전문가로 만들 수 있다고 공언하는 것은 건방진 태도가 될 것이다. 그러나 책임질 수 있는 것은 기계분석에 관련된 업무에 종사하는 독자들이 전문가가 되는데 필요한 기본 원리, 방법, 기구 등을 알게 해 주는 것이다. 이러한 원칙을 가지고 시작하면, 분석기술이 빠른 속도로 진전될 것이고 적정한 정보를 수집하고 표시하는 방법을 알아내고 측정된 것을 분류하는데 걸리는 시간이 최소화될 것이다.

3. 整備 方法 (Methods of Maintenance)

3.1 故障, 豫防 및 豫知 整備

(Breakdown, Preventive and Predictive Maintenance)

고장정비는 기계에 이상이 있을 경우에만 시행하는 정비로써 초기 비용이 가장 적게 들어가는 방법이지만, 이 방법은 비교적 사소한 초기 고장이 큰 손해를 일으킬 수 있는 매우 중대한 고장이나 사고로 발전할 수 있는 경제적으로나 안전관리 측면에서 위험 부담이 큰 정비 방법이다. 이 방법은 고장의 근원이 해결되지 않고 다만 고장 부품의 교체만 시행함으로써 고장의 재발 가능성이 높다. 고장정비 업무에 만 전념하는 조직은 고장정비를 제외하고는 다른 것을 할 수 있는 충분한 시간과 능력이 없다는 것을 불평한다. 더욱이 그들에게는 효율적인 예지 프로그램을 위해 필요한 설비 투자보다는 고장 정비가 정비 비용을 절감할 수 있다는 근시안적인 안목이 있기 때문이다.

예방정비 즉 계획정비는 설비상태와 고장 유무와는 관계없이 기계 제작자 또는 사용자의 평균 수명 기간에 근거한 경험에 따라 일정 기간 간격으로 수행하는 정비로써 전혀 이상이 없는 부품을 교환하거나 정비를 함으로써 경제적인 손실이 발생할 뿐만 아니라 주기적인 정비에도 불구하고 갑작스런 기계 고장의 위험성은 항상 존재하고 있다. 기계 구성품의 실제 수명은 설치, 윤활의 품질, 환경 그리고 운전시 적용된 힘과 같은 인자에 따라서 광범위하게 변화한다. 그래서, 일정 시간계획에 근거한 예방정비는 특히 불필요한 교체, 또는 실질적으로 남아 있는 운전 수명기간 동안 만족스런 상태의 부품을 버리게 된다. 사실상, 양호한 상태의 기계를 예방정비를 위해 분해하여, 다른 특별한 이유 없이 시간 계획에 따라 부품을 교체하고, 조립상의 오류로 인하여 정비

이전보다 더 나빠진 상태로 운전에 들어간 실례가 많이 있다. 불필요한 정비작업, 수명 기간이 남아 있는 부품의 교체, 그리고 조립의 잘못을 가져오게 되는 예방정비의 문제점은 예지정비로써 크게 제거되거나 최소한 최소화될 수 있다.

예지정비는 최근의 공장설비 대형화, 첨단화에 따른 생산성과 제품 품질의 획기적 향상은 이루어져 왔으나 그 반면에 기계의 한 번 고장으로 야기되는 경제적 손실과 안전 관리 상의 문제가 큰 문제로 대두되게 되었다. 이에 따라 요즈음에 특히 주목받는 분야가 설비 운전중에 상태를 감시하고 예측하는 예지정비 기술이다. 이 방법은 운전중에 기계의 진동, 온도 등의 측정을 통하여 기계설비의 상태를 지속적으로 검토하는 방법으로 설비의 이상 징후, 원인, 부위 또는 정도 등을 조기에 발견하고 이에 따른 기계 정비에 관한 구체적인 계획을 수립하여 높은 생산이 요구되지 않는 적절한 시기를 선택하여 정비할 수 있기 때문에 가장 경제적인 방법이다. 이러한 기계 상태의 지속적인 관찰에 의한 예지정비에 이용되는 변수로는 진동을 비롯하여 온도, 소음, 압력, 윤활유 분석 등 여러 가지가 있으나 그 중 진동을 측정하고 해석하는 방법이 설비의 이상 상태를 예측하고 진단하는 가장 일반적인 유효한 수단으로 알려져 있다.

3.2 豫知 整備의 利點 (Benefits of Predictive Maintenance)

예지정비에 집중하여 효율적인 프로그램을 운영하는 조직은 고장정비와 비교하여 정비비용 면에서 50~60% 감소, 예방정비와 비교하여 30% 감소를 가져왔다고 미국 EPRI(Electrical Power Research Institute)사에서 발표하였다. 다른 방법으로 표현하면, 많은 조직들이 예지정비의 수행으로 가동률이 98%까지 상승하였고, 불시 정비가 전체의 20%이하로 감소되었음을 발표하였다. 발표에 의하면 예지정비로 달성한 추가의 정비 이익은 인건비 20%, 초과 근무비 35%, 예비품 20%의 감소를 포함한다. 예지정비로 얻은 전체 이익은 프로그램 운영비의 6~10배가되는 것으로 나타났다.

예지정비로 얻는 주요 이점은 불시정지 또는 사고로 인하여 생기는 위험도, 경비, 가동률 등의 저하를 최소화함으로써 가동률을 극대화하는 것이다. 여러 경우에서 가동률의 상승으로 생산비 상승을 둔화시키게 되었다.

정비비용 중에서 큰 이득은, 세련된 예지정비 프로그램을 이용하면 영구적 해결을 위한 정보 제공과 정비기간을 예측할 수 있기 때문에 만성적이고 반복적인 문제의 규명과 해결이 이루어진다. 또한 중요한 것은 예지정비를 하게 되면 기계의 상태에 대한 지식이 향상되고, 특히 생산과 정비 사이의 여러 가지 정보 교환이 개선된다.

잠재적 이득이 되는 에너지 비용은 예지정비를 통해서 이룩할 수 있는 또 다른 분야이다. 한 조직은 에너지를 낭비하는 진동을 감소시킴으로써 마력당 1년에 약 350달러

12 — 제1편 진동의 기본 기술

의 이익을 본다고 발표했다. 이 분야에서 전체 이득은, 큰 기계에서나 수많은 작은 기계들로 구성된 설비 어느 경우에서도 아주 중요한 것이 될 수 있다. 필요한 용량보다 크거나 설계 효율의 훨씬 아래에서 운전하고 있는 전동기도 에너지 절약 변화를 줄 수 있는 것들이다. 여기에 해당되는 전동기들은 전류나 회전속도 측정으로 규명할 수 있다. 이런 종류의 프로그램을 수행한 한 조직에서는 놀랄 만한 수의 너무 큰 전동기들을 찾아냈고, 이것을 적정 크기로 교체하여 실질적인 비용절감을 달성했다고 발표했다.

품질과 제작부품의 우량품율을 개선하는 것도 진동감시와 예지정비로 투자비를 크게 회수할 수 있는 또 다른 분야이다. 자동차 엔진부품이 치수와 표면 다듬질의 허용치에 매우 가깝게 제작되어야 하는 대량생산 부품이 그 예이다. 우량품율을 극대화하는 반면 제작 품질기준을 준수하려면 고품질의 생산 공작기계가 필요하다. 진동감시로 공작 기계를 평가하고, 부품 제작의 제원을 벗어나기 전에 잠재적 문제점을 인식할 수 있고, 주의가 필요한 특정 구성품의 정비사항을 지시하는 도구로써 효과적이라는 것이 입증되었다.

예지정비 프로그램의 적용 초기에는 정비비용이 약 6~12개월 동안 증가할지 모른다. 초기 상승의 원인은 예지정비 기술 없이는 훨씬 늦게까지 나타나지 않았을 문제들까지도 규명하고 교정하는데서 비롯된다. 이러한 초기 상승에도 불구하고 나중의 정비비용은 필요한 작업을 보다 싸게 계획하고 수행할 수 있기 때문에 감소될 것이다.

다시 한번 강조하지만, 진동감시와 예측정비의 유일한 목적은 회사의 수익성 증대임을 알아야 한다. 따라서, 수익성 증대는 정비비와 생산비를 줄임으로써 가능하다. 진동감시 프로그램은 잘못된 목적에 초점을 맞추면 도중하차하게 된다. 감시하는 기계, 매달 수행하는 측정과 수행해야 하는 정밀 분석의 수는 기계 가동률과 정비비용을 줄이는 척도가 된다.

4. 振動 監視 裝備의 選擇 (Selection of Vibration Monitoring Equipments)

효과적인 예측정비를 하기 위한 첫 단계로서 가장 중요한 것은 대상 설비에 대해 투자되는 진동 장비의 선택이다. 이는 기술적인 면과 경제적인 면이 동시에 고려되어야 하며, 따라서 그 대상 기계의 설계나 특성뿐만 아니라 얼마나 생산 공정에 중요한 역할을 하는 것인가에 따라 결정되어 진다. 다시 말하면, 설비의 진동감시가 공장 가동률을 높이는데 타당성이 있다고 할 때에, 진동 시스템의 선택은 첫째로 그 대상 설비가 공정에 차지하는 중요도가 어느 정도인가의 평가가 먼저 이루어져야 한다는 것이다.

공장에서 사용되는 기계설비는 그 용도에 따라 대개 중요 기계류 (Critical Machinery),

필수 기계류 (Essential Machinery), 그리고 일반 기계류 (General Machinery) 등으로 분류된다. 중요 기계류는 공장 가동에 있어서 전 공정에 중대한 영향을 미치는 설비로서 없어서는 안될 기계류를 지칭하며, 필수 기계류는 공장 가동에는 필요하지만 예비 기계가 있거나 또는 그 중요도가 일부 공정에만 치명적인 영향을 미치는 기계류를 말한다. 이러한 중요 혹은 필수 기계류는 그 기계가 고장으로 정지되면 다른 생산 공정도 중단 되기 때문에 막대한 손실을 초래하게 된다. 그러므로 중요 기계류에 속하는 설비는 제일 완벽한 진동감시 장비를 설치해야 하는 정당한 이유가 있는 것이다. 이러한 종류의 기계설비는 소위 "Permanent Online Continuous Monitoring System"이라는 개념의 감시 장비가 반드시 설치되어야 할 것이다. 이 감시 장비는 적합한 종류의 진동 변환기가 적합한 위치에 영구 설치되어 진동감시 장비에 연결, 24시간 연속적으로 진동 추이를 측정 감시하고, 필요시 Annunciator를 통해 경보 혹은 안전을 위하여 기계를 정지 시킬 수 있는 장치가 마련되어야 한다. 이러한 연속 감시 장비에 한 걸음 더 진전하여 최근 많은 산업체 공장에서 이용되고 있는 것이 컴퓨터 기술을 이용한 온라인 컴퓨터 진단 시스템(Online Computerized Diagnostics System)과 전문가 시스템(Expert System)이다. 즉, 진동감시 체계에서 보다 발전하여 기계의 이상 진동시 고장의 원인을 분석하여 진단까지를 컴퓨터 시스템이 자동으로 해 주는 시스템을 말한다. 이러한 시스템이라 할 지라도 이제까지 개발된 분석기술로는 전문가를 대체할 만한 진정한 의미의 전문가 시스템은 아직 이를 단계라 생각되며 단지 전문가를 도와주는 시스템이라고 보는 것이 타당하다.

그러면, 기계의 중요도가 비교적 떨어지는 일반 기계류의 경우에는 어떤 진동 장비가 과연 적당한가? 이러한 기계에는 상대적으로 덜 완벽하나 초기 투자면에서 경제적으로 저렴한 휴대용 장비가 많이 이용되고 있다. 이러한 휴대용 장비는 Data Logger 또는 Workaround Portable이라는 이름으로 불리며 종류에 따라 크게 Manual Type과 Computerized Type으로 분류할 수 있다. 두 종류 모두 Hand-Held 혹은 자석식의 임시 센서를 이용하며, Manual의 경우는 Data Logging을 직접 사람이 수동으로 하고 Computerized된 경우는 많은 포인트의 데이터를 메모리에 저장하여 나중에 컴퓨터에 다운로드(Download)한 후 컴퓨터 관리를 자동으로 해주는 형태이다.

이러한 휴대용 장비는 초기 투자비용이 저렴할 뿐 아니라 대상 설비가 무한정하여 사용하는 데에 많은 융통성이 있다는 장점으로 인해 현재 많은 공장에서 사용되고 있다. 그러나, 이러한 장점에 반하여 많은 단점을 갖고 있는 것도 사실이다. 예를 든다면, 공장 내의 많은 대상 설비 지점의 데이터를 확인하기 위해서는 많은 시간과 인원

14 — 제1편 진동의 기본 기술

그리고 노력이 필요하며, 정비 요원들이 운전중인 기계류 근처의 위험 환경에 정기적으로 노출되는 위험성, 수동으로 쥐고 측정하는 변환기의 접촉각, 압력, 위치 변동 등에 의한 부정확성, 또한 하루에 한 번 이상 데이터를 수집하기 어려움으로 빨리 진전되는 기계 고장을 미리 발견하기 어려운 점등이 이러한 휴대용 장비의 단점이라 할 수 있다.

이러한 휴대용 장비의 단점을 극복하고 초기 투자비용도 비교적 저렴한 시스템이 요즈음 크게 각광받고 있는 "Periodic Online Monitoring System" 이다. 이 시스템은 비교적 저렴한 변환기 시스템을 각 필요 부위에 설치하고 각 변환기를 신호 케이블에 직렬로 연결시켜 케이블 설치비용을 극소화하고 진보된 PC Technology를 이용하여 진동 감시 및 진단을 할 수 있는 장비이다. 즉, 한 케이블에 수백개 이상의 변환기들을 연결하는 Single Cable Architecture 기술을 이용하여 비교적 저렴한 비용의 System Online화를 이루는 시스템이다. 그러나, 이러한 시스템은 비록 온라인 시스템이지만 한 개의 케이블에 많은 변환기가 연결되어 있기 때문에 연속적 감시는 아니며, 각 포인트를 시리얼로 스캐닝하는 Periodic Monitoring 개념이라는 점을 주지할 필요가 있다. 따라서, 이러한 시스템은 대상 기계의 보호가 필요한 중요한 중요 기계류나 필수 기계류보다는 일반 기계류에 적용하는 것이 타당하다.

상기에 언급한 바와 같이, 여러 가지의 진동감시 및 진단 장비의 효과적인 선택은 공장의 기계 종류 및 중요도에 따라 신중하게 검토되어 추진하는 것이 타당하며 이를 위해서는 단순한 장비 공급자가 아닌 현장 경험을 가진 진동 전문가의 도움을 받아야 할 것이다. 올바른 장비 선택과 이에 맞는 예측정비 프로그램 구축 및 실현이 이루어질 때 그 공장은 안전관리의 극적인 향상, 공장 가동률의 극대화 그리고 유지보수 비용의 최소화라는 과제를 성취할 수 있을 것이다.

5. 豫知 整備 프로그램과 安全 問題 (Predictive Maintenance and Safety)

예측정비 프로그램에서 최대의 관심은 종업원의 건강과 안전이다. 이 문제를 중요하게 다루기 위해서는 두 가지 근본적인 요인을 반드시 생각해야 한다. 하나는 예지정비 현장 기술자의 안전 문제이고, 또 다른 한가지는 공장 근무자의 안전 문제이다.

5.1 豫知 整備 現場 技術者의 安全 問題

(Safety Problem of the Predictive Maintenance Field Engineer)

진동감시, 온도, 마찰, 압력 및 기타 공정 변수를 포함하는 예지정비 프로그램은

가동중인 기계 및 전기 장치에서 정상적인 데이터를 수집할 수 있어야 한다. 그런데, 이러한 일을 수행하기 위해서는 몇 가지 위험 요소가 항상 수반된다. 예를 들면, 기계 장치에서 진동 데이터를 수집하기 위해 현장 기술자는 가동 중인 기계 가까이에 접근을 해야 한다. 가동중인 기계에 접근하는 일은 사고의 위험을 높여 치명적인 신체 손상뿐만 아니라 심지어는 사망의 원인이 될 수 있다.

이와 같은 많은 위험 요소가 잠재되어 있기 때문에, 데이터를 수집하는 현장 기술자에 대한 건강과 안전 요인은 예지정비 프로그램 개발의 근본적인 동기가 되고 있다. 예지정비 프로그램은 적어도 다음과 같은 사항을 포함하고 있어야 한다.

① 재난과 인명 피해를 최소화하는 측정 경로 :

위험 지역에 출입하는 것을 가급적 피하고 위험 발생 요인이 큰 기계와 장애물에 접근을 줄일 수 있도록 진동감시 경로를 설정하여, 사전에 인명 피해 및 재난을 방지해야 한다. 많은 위험 요소는 예측정비 기술 특성상 크게 제거될 수 있다.

② 위험 지역에 위치한 기계 포인트를 하드와이어로 연결 측정 :

위험지역에 설치된 기계진동 측정 포인트는 하드와이어로 연결하여 안전 지역에서 감시할 수 있도록 재 설치해야 한다. 지난 몇 년간 가속도계 가격은 눈에 띄게 줄어들었다. 위험한 지역에 설치되어 있는 측정 포인트는 매우 적은 투자비용으로 하드와이어로 설치할 수 있다. 이러한 방법을 이용하면 실제로 현장 기술자의 안전사고는 크게 줄일 수 있다.

③ 안전요원 구성 :

기계진동감시 작업은 때로는 위험하고 격리된 지역 출입을 요하므로, 이러한 지역에서의 작업은 안전 요원의 통제가 절대적으로 필요하다. 예를 들면, 일부 기계가 인적이 드문 지역에 위치한다거나 또는 공장에서 멀리 별도로 떨어져 있다고 가정해 보자. 이러한 경우에 안전 요원이 별도로 배치되어 있다면 사전에 피해를 최대한 줄이고, 사고가 발생하게 되면 의료진을 신속하게 호출할 수 있다. 만일, 안전 요원이 확보되어 있지 않다면 더 큰 손실이 발생될 수 있다.

④ 안전 교육 :

대부분의 성공적인 예지정비 프로그램에는 포괄적인 안전교육 프로그램이 포함되어 있다. 데이터를 안전하게 수집하는 방식 외에도 여기에는 공장기계 및 장치의 정상운전에 관한 제반 과정을 포함하고 있다. 이러한 교육 프로그램을 통해 예지정비 기술자들은 공장에 설치되어 있는 기계와 장치들을 충분히 이해하게 된다. 또한, 안전교육으로 기술자들은 데이터 수집의 안전문제에 보다 깊은 인식을 갖고

16 — 제1편 진동의 기본 기술

사전에 대비할 수 있다.

성공적인 예지정비 프로그램은 또한 작업 교대가 이루어질 때 일일 안전모임을 갖도록 구성되어 있다. 보통 이런 모임은 10분에서 15분 정도 안전 필요성에 대해 논의하는 것이 일반적이다. 안전 프로그램의 기본 정신은 “안전문제에 조금이라도 의심이 간다면, 절대로 작업을 해서는 안된다”는 것이다.

5.2 工場 勤務者의 安全 問題 (Safety Problem of the Factory Worker)

성공적인 예지정비 프로그램은 공장 안전문제에도 초점을 크게 맞추고 있다. 공장 안전사고는 기계와 장치 고장, 부적절한 작업과정, 미숙한 시스템 운영 및 주의 부족으로 인해 다수 발생되고 있다. 따라서, 예지정비 프로그램에는 이러한 사항을 다른 내용이 포함되어야 한다.

① 기계 고장 및 이상진동 :

이것은 모든 예지정비 프로그램에서 반드시 다루어야 하는 가장 기본적인 필수 사항이다. 건강과 안전문제는 예지정비 프로그램의 궁극적인 목표로 통합되어야 하고, 인명 피해를 야기할 수 있는 기계고장 및 이상 진동에 각별한 관심을 가져야 한다.

② 부적절한 작업과정 :

적어도 하자 유지보수 시행 절차서가 예지정비 프로그램 내에 마련되어 작업이 안전하게 이루어질 수 있도록 보장 되야 한다. 많은 예지정비 프로그램에는 표준 운전 절차서가 마련되어 기계의 신뢰성과 제품의 품질 향상을 개선한다. 이러한 절차서는 안전문제를 충분히 고려하여 사고발생 가능성을 최소화하고 있다.

③ 미숙한 시스템 운영 :

시스템 운영에 관한 사항이 예지정비 프로그램의 일부로 정식 포함되지 않는다는 해도 이것은 종업원 안전과 공장 효율성에 직접 관련이 있는 사항이므로, 예지정비 프로그램에는 시스템 운영과정을 충분히 지원하는 작업 과정을 포함해야 한다.

④ 주의 부족 :

과로하거나 작업과정이 미숙하고 안전문제에 대한 인식이 부족하면 사고, 인명 손상 및 공장 재난의 큰 요인이 될 수 있다. 예지정비 프로그램과 공장 작업활동에는 건강과 안전계획이 종합적으로 수반되어야 한다. 종업원들은 지속적으로 안전 절차서를 인식하고 관리자들은 이러한 안전 제반사항이 일정하게 지켜질 수 있도록 관리 감독하여야 한다.

제1장 진동 감시에 의한 경제성 및 안전성 향상 — 17

종업원의 건강과 안전은 반드시 공장 경영관리의 최우선이 되어야 한다. 공장 내에서의 모든 활동은 사고, 인명피해 및 공장 재난 등과 같은 각종 재해를 줄일 수 있게 정비되지 않으면 안되고, 심각한 재난 또는 재해의 발생 가능성 때문에 예지정비 프로그램에 우리는 각별한 관심을 가지는 것이다. 예지정비 프로그램을 이와 같이 운영하고 실행한다면 무사고 및 무재해의 안전한 공장 경영관리를 보장할 수 있다. 귀사의 예지정비 프로그램을 성공적으로 수행하여 좋은 결과를 달성하고자 한다면 이러한 지침을 반드시 이행하지 않으면 안된다.