

예방정비의 필요성

°전 형 식*, 글렌 화이트**

(Not Preventive Maintenance, But Predictive Maintenance)

(Hyong-Shik Chun, Glenn White)

1. 서 문

산업혁명 이래로 모든 산업계는 공장가동을 위하여 두가지 종류의 기계정비에 의존하여 왔다. 그 하나는 기계가 고장이 날 때만 수리를 하는 가동파괴정비(Run-to-Failure)가 있고 다른 하나는 고장이 나든 않나든 정기적으로 정해진 정비계획에 따라 정비하는 정기점검정비(Preventive Maintenance)가 있다.

이 두가지 방법들은 시간적 또는 재정적으로 여유가 있던 때에는 생각할 수 있는 정비방법이었으나 긴박한 재정과 높은 공장가동 운영비를 감당해야하는 오늘날에는 더 이상 바람직한 정비라 할 수 없다. 가동파괴정비를 채택할 경우에는 대부분 경비부담이 큰 보수와 불시에 공장가동이 중단되는 사태를 미연에 막을 수 없다. 아직도 많이 활용되고 있는 정기점검정비도 보수가 필요하지도 않은 기기에 불필요하게 많은 경비와 시간을 투자할 뿐 아니라 가동중단으로 인한 생산성 감소를 가져오게 되어 효율적인 정비방침이라 할 수 없다.

위에 언급한 두가지 수동적인 기계정비와 달리 예방정비(Predictive Maintenance, PdM)는 기기고장을 가장 정확하게 진단할 수 있는 진단분석을 기본으로 기기내부의 실제 상황을 알아내어 필요한 정비를 가장 효율적으로 적시에 정비하는 최선의 기기정비 방법이다.

2. 기기정비 프로그램의 목표

기기정비 프로그램의 가장 중요한 목표는 기기의 고장을 줄이는 데 있다. 종종 기기의 파괴적인 고장은 기기에 크나큰 피해를 입혀 결과적으로 값비싼 보수업무를 치르게 된다. 기기고장을 완전히 근절할 수는 없으나 체계적인 정비방법을 적용하여 최소한으로 기기고장을 줄일 수 있다.

두번째 목표는 해야할 정비를 정확하게 알아내어 정비

계획을 세우는 것이다. 잉여부품 재고를 극소화 할 수 있을 뿐더러 정비 소요시간을 줄일 수 있다. 기기고장의 보수는 계획된 공장가동 중지기간중 시행토록 이상적으로 기획할 수 있다.

세번째 목표는 공장가동중의 고장기회를 극소화 시킴으로서 공장 생산성 향상을 높이고 중요기기들의 비가동 시간을 줄임으로써 운전효율성을 높이는 것에 있다. 공장내 모든 기기들의 가동상태를 알아내어 기록하여 두는 것이 이상적이다.

기기정비의 마지막 목표는 정비담당자에게 기기정비의 정확한 시한을 제공하여 필요한 부품의 준비나 보수에 필요한 장비를 준비할 수 있도록 함에 있다.

3. 기기정비의 역사적 고찰

최신의 기기정비 프로그램에 대한 정확한 인식을 위하여 과거의 기기 정비상황을 되돌아 볼 필요가 있다.

가장 원초적인 기기 정비방법은 기기가 고장이 나서 가동이 중단될 때까지 기기를 가동했던 가동파괴정비(Run-To-Failure)이었다. 물론 이런 종류의 정비형태는 기기가 고장이 난후에 기기의 상태를 정확히 예측할 수 없기 때문에 가장 경비가 많이 지출되는 방법이며 현재에도 이와같은 정비방법이 전반적으로 시행되고 있음은 놀랄만한 현상이다.

궁극적으로 파괴정비가 비생산적이며 많은 문제점을 갖고 있다고 인식한 정비담당자들은 주기적으로 기기를 분해 검사/수리 하는 정기점검정비(Preventive Maintenance)를 생각하게 되었다. 이방법은 기기의 평균 유효수명(Expected Service Life) 내에 기기의 분해검사가 이루어질 경우 기기고장은 일어나지 않는다는 이론에 근거를 두고 있다. 이와같은 정기점검정비는 오래전 부터 시행하여 왔으며 특히 1980년대 초반에 더욱 활성화한 정비방법이었다.

그러나 기기가 결함(fault)이 있을 시에만 보수 정비하는 예방정비(Predictive Maintenance)방법을 적용하는 미국내 산업체들이 지난 10년간 현저하게 늘어나는 추세를 보

* UCon Engineering Company, Chicago, Illinois, USA

** DLI Engineering Corp., Bainbridge Island, WA, USA

여주고 있다. 아무 결함 없이 잘 가동되는 기기를 정기점검식의 정비계획으로 불필요하게 가동을 중단시켜 생산성을 높일 필요는 없다. 고장을 일으킬 가능성이 없는 기기는 진동분석에 의한 결함조짐(Fault Symptom)을 알아낼 때까지 가동을 지속하며 초기 결함증상이 발전하여 보수(Repair)를 요하게 될때를 경향분석(Trend Analysis)으로 알아낸 후 적시적절한 때에 정비하는 것이 예방정비의 기본개념이다.

가장 최근의 혁신적인 정비방법으로 "프로액티브"(Pro-Active Maintenance)라는 정비방법이 있다. 가장 근본적인 기기파괴의 원인을 찾아내어 고치는 "근본원인 파괴분석"기법을 포함하고 있다. 1991년에 조사한 세계 여러나라의 정비 프로그램의 현황은 위에서 언급한 네가지 정비방법을 응용하는 것으로 다음과 같은 통계자료와 함께 발표하였다.

- 총 정비시간의 과반수가 서시대대로 고장시마다 비상정비를 수행하는 수동적인 정비방법(Run-to-Failure)에 쓰여 졌으며,
- 10퍼센트도 안되는 정비시간이 정기점검 정비방법(Preventive Maintenance)에 쓰여 졌고,
- 전체 기기 정비활동의 40퍼센트보다 적은양이 예방정비(Predictive Maintenance)로 나타났으며,
- 아주 적은 시간이 프로액티브(Pro-Active) 정비활동으로 밝혀졌다.

위의 통계자료로 판단한다면 아직도 전반적인 정비방법이 원시적인 정비기술에 의존하고 있음을 알 수 있다

4. 가동파괴정비(Run-to-Failure Maintenance)

가동파괴정비(Run-to-Failure Maintenance)를 위기관리정비(Crisis Maintenance) 또는 히스테리정비(Hysterical Maintenance)로도 종종 불리운다. 이 정비형태는 오래 전부터 널리 사용 되어온 정비방법으로 예기치 못한 공장 가동중단이나 기기파손 그리고 정비시간 지연으로 인한 지출 등 전반적으로 크나큰 정비비용 지출이 불가피 하다.

이 정비형태로는 정비 담당자들은 기기의 변덕스러움에 우왕좌왕 하게된다. 전반적인 공장기기들의 실제 상황은 어습프레 파악되기 때문에 정비계획을 세우는 것은 거의 불가능 하며 더우기 전반적인 계통상의 건전성을 예측 하기란 불가능하다.

가동파괴정비는 정비기술 혁신에 따른 정비기술의 발달로 바람직한 정비형태는 아니나 경우에 따라 적은 정비비용 관점에서 쓰여지는 경우도 있다. 예를들면 기기교체나 보수에 그리 경비가 많이 들지않는 같은 종류의 기기를 많이

가동하는 공장의 경우 어느 한기기가 고장이 났을 경우에 고장난 기기의 생산성을 보충할 수 있도록 나머지 기기들의 가동을 기획조정할 수 있는 경우이다.

5. 정기점검정비(Periodic Preventive Maintenance)

운전파괴정비로부터 항상 발전된 정비형태가 정기점검정비로 종종 "이력정비"(Historical Maintenance) 라고도 불리운다. 이 정비 방법은 같은종류의 기기들의 정비이력(Maintenance Histories)을 분석하여 통계적으로 예상되는 문제들이 일어나기 전에 주기적으로 분해 점검 하도록 계획하는 것이다. 장기간의 정비이력을 통계적으로 분석하면 유사한 종류의 기기의 대부분은 대략적으로 유추할 수 있는 파괴율을 보이는 것으로 알려져 있다. 이 개념은 가동시간과 고장율의 관계를 나타내는 "욕조 커브"(Bathtub Curve)(Fig.1)라고 불리우는 다음과 같은 도표로 나타낼 수 있다.

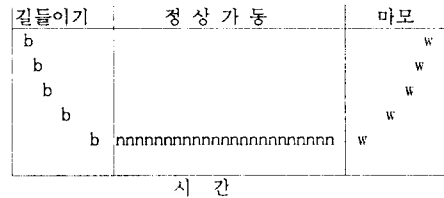


Fig.1 Bathtub Curve

이 욕조커브를 일반적인 모든 기기에 적용할 수 있고 또한 커브의 형태를 알 수 있다면 정기점검정비 개념을 쉽사리 적용할 수 있지만 불행하게도 실재는 현실과 거리가 멀다.

정기점검정비는 윤활오일이나 필터의 교환과 주기적으로 하는 기기청소와 점검등도 포함한다. 정기정비활동은 일률적으로 시한을 정하여 하거나 기기가동시간이나 기기의 부품조달등을 고려하여 정비계획을 세우는 것이 봉쇄이다. 정기점검정비는 소규모 콤퓨터를 사용하여 정비업무를 기획하고 정비효과를 분석하기 시작하던 1980년대 초기에 미국 내에서 가장 많이 사용하던 정비방법 이었다.

유나이티드 항공사(United Airline)와 아메리칸 항공사(American Airline)가 발표한 유명한 정기점검정비 연구보고서에 의하면 큰규모의 회전기기들은 정기적인 분해점검(Periodic Overhaul) 직후에 고장율이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 바꾸어 말하면 분해점검은 기기의 신빙성(Reliability)을 높이기 보다는 오히려 떨어뜨리는 의외의 결과를 가져온 것으로 보고 되었다. 이 현상은 기기의 운전상태(Operation Condition)가 분해점검 할때마다 점검 직후에는 "욕조커브"(Bathtub Curve)의 초기상태(Break-In)

로 되돌아가는 형상이다. 이 연구실태와 그 후의 기기점검을 관찰한 결과 주기적인 분해점검으로 인한 시운전파괴(Startup Failure)가 20%에서 25%에 달하는 것으로 나타났다.

언급한 연구 보고서 결과에서 보여준 것처럼 정기점검 정비(Preventive Maintenance)는 대부분의 기기정비로는 효과적인 정비방법이 아닌 것은 자명한 사실이다. 그러나 극히 예외적인 경우 즉 부식(Corrosion)성 물질을 다루는 기기장이 부식성 환경에 항상 노출되는 기기들이나 암석이나 광석 분쇄기(Ore Crusher)같이 마모(Wear)에 영향을 많이 받는 기기들의 정비방법으로는 정기점검 정비방법이 좋은 효과를 얻을 수 있다.

6. 예방정비(Predictive Maintenance)

정비기술의 향상은 가동중에도 기기의 상태를 결정할 수 있는 예방정비(Predictive Maintenance)의 출현으로 더욱 발전하게 되었다. 이 기술은 모든 기기의 각기 다른 부분들은 고장이 나기전에 일종의 예고(Warning)를 한다는 사실에 근거를 두고있다. 기기가 주는 예고/정후를 감지하기 위해서는 진동분석(Vibration Analysis), 온도측정이나 마모된 미립자분석과 같은 여러종류의 비파괴검사를 하여야 한다. 기기상태를 결정하기 위한 이같은 기술의 이용은 이전의 정비형태와 비교하여 훨씬 효과적인 정비를 계획할 수 있다.

예방정비(Predictive Maintenance)를 하게되면 공장 운영자는 모든 기기와 정비프로그램을 잘 파악하게 되어 예고 없이 일어나는 고장으로 당황하게 일을 처리할 필요가 없다. 예방정비를 채택하여 정비활동을 하는 생산공장에서는 모든 기기의 상태를 항상 알 수 있기 때문에 더욱 더 정확한 정비계획이 가능하다.

예방정비(PdM)는 여러가지 서로 다른분야를 이용하게 되는데 그 중에서도 가장 중요한 주기적인 진동분석을 사용하여 실행하게 된다. 기기에 행하여지는 모든 비파괴 검사 중에서 진동분석에 의한 진동특징(Vibration Signature)은 기기내부의 상황에 대한 가장 많은 정보를 제공하는 것으로 잘 알려져 오고 있다.

기기가 고장을 일으킬 경우에 공장/발전소의 전반적인 가동에 지대한 영향을 주는 기기들은 계속적으로 진동을 측정하여 진동측정치가 정해진 진동기준치를 넘을 경우 경고를 발하게 하여 필요한 진동대책을 세울 수 있다. 이렇게 함으로써 신속히 진행되는 결함으로 인한 크나큰 사고를 미연에 방지할 수 있다. 대부분의 터빈추진(Turbine Driven)

기기들은 이와같은 방법으로 운전상태를 모니터 하게된다.

오일분석이나 마모입자분석은 근래의 예방정비의 중요한 일부분을 차지한다. 자기온도측정(Thermography)이란 적외선 탐지방법에 의한 표면온도 측정을 말하는데 전기개폐기나 접군이 용이하지 않은 곳의 문제를 찾아내는 데 유용하게 사용된다. 모터전류특징(Motor Current Signature) 분석은 또하나의 다른 기술로써 모터 가동중에 금이 가거나 부서진 회전축을 찾아내는데 매우 유용하며 모터 고정자(Stator)의 전압급중(Electrical Surge)검사는 초기 전압차단 고장을 알아내는 데 사용한다.

산업기기에 대한 예방정비(Predictive Maintenance)의 가장 큰 혜택은 기기의 신빙성(Reliability)을 높임으로써 생산성 향상을 이루는 데 있다. 시간의 흐름에 따라 기기의 결함이 진행되는 경향을 세심하게 알아냄으로써 정비 업무를 계획된 공장 조업중지(Shutdown)시에 맞추어 계획할 수 있다. 여러 산업계의 보고서에 의하면 예방정비(PdM)를 실시한으로써 많이는 10% 까지 생산성 향상을 가져온 것으로 나타났다. 미해군(US Navy) 기함정비에도 예방정비를 시행하고 있는 바 이와 비슷한 비율로 작전임무 준비향상을 이룰 것으로 기대된다.

예방정비(PdM)의 또 다른 하나의 혜택은 잉여부품과 정비에 소요되는 노동력에 대한 경비를 감소시키는 데 있다. 가동중 고장난 기기는 고장을 예견하여 그에 대한 보수를 계획하여 할 때보다 열배나 많은 경비가 드는 경우가 종종 있게 된다.

많은 수의 새 기기들이 내재된 결함이나 잘못된 기기 설치때문에 시운전(Startup) 직후에 고장을 일으킨다. 예방정비기술을 사용하여 기기의 정확한 설치를 할 수 있을 뿐더러 기기설치후 첫 가동시에 기기의 전반적인 건실성을 확인할 수 있다. 많은 공장들은 새 기기의 설치의 허용기준을 진동측정으로 정해진 기준에 의거하고 있다.

예방정비(PdM)는 기기가 매우 심각한 고장을 일으킬 가능성을 감소시킬 뿐만 아니라 공장운전 요원의 안전성 향상에도 크나큰 도움을 준다. 갑작스런 기기파괴로 운전원이 다치거나 때론 목숨을 잃는 사례도 종종 발생하는 생산 현장에 예방정비의 적용은 생산성향상, 정비비용절감 이외에 근로자의 안전측면에서 더욱 더 바람직한 정비방법이라 할 수 있다.

7. 프로 액티브 정비(Pro-Active Maintenance)

예방정비(Predictive Maintenance)분야의 최신의 기술 혁신은 "프로 액티브 정비"(Pro-Active Maintenance)로 불

리운다. 이 정비형태는 기기의 운전연한을 연장하고 반복적인 정비를 근절하기 위하여 여러가지의 기술을 적용한다. 이 적극적인 정비(Pro-Active Maintenance)의 주요부분은 기기결합의 원인과 고장과정을 결정하는 "근원 파괴분석"(Root Cause Failure Analysis)이다. 기기고장의 근본적인 원인을 교정하고 고장과정은 집진적으로 각각의 기기설치를 통하여 개선해 나가는 방법이다.

오래전부터 불균형(Imbalance)과 불균일정렬 (Misalignment)은 대부분의 기기결합의 주된 원인으로 알려져 왔다. 이 두가지 요인들은 베어링(Bearing)에 크나큰 힘을 가하게 되고 베어링 수명을 단축하게 된다. 문제된 기기의 마모된 베어링을 반복적으로 교체하기 보다는 정확하게 기기의 밸런스(Balance)와 어라인먼트 (Alignment)를 수행하고 정확한 진동측정을 통한 결과를 분석하여 기기의 상태를 점검하는 것이 훨씬 더 바람직한 정비방침이라 할 수 있다.

미국의 한 Journal에 보고된 기록에 의하면 정확한 어라인먼트(Precision Alignment)는 큰 규모의 회전기기의 경우 거의 8배나 베어링 수명을 연장한 것으로 나타났다. 다른 알려진 이득은 전반적 정비비용의 7%를 감축하였고 12%의 기기 이용율의 신장을 가져왔다. 또한 Misalignment로 인한 기기고장율도 거의 반으로 줄은 것으로 보고 되었다.

Precision Alignment로 얻을 수 있는 또 하나의 이득은 전력소비 감소이다. 최근 조사된 보고서에 의하면 여러개의 단순한 펌프-모터 조립으로된 공장의 경우 평균 11%의 전력소비 절약을 가져오는 것으로 나타났다. 이는 기기 진동이나 베어링 가열등에 적은 전력이 소모되기 때문이다. 절감된 전력소비로 인한 예산절약은 관련된 기기들의 정비 예산의 거의 두배에 달하는 경우도 있다.

많은 기기들은 초기설치때에 부적당한 설치때문 이라든지, 연약한 기초로 유발되든지, 잘못된 Alignment라든지, 결합있는 베어링이나 굽어진 회전축과 같이 기기의 내부적인 결합등으로 인한 결합등을 가지고 있는 경우가 많이 있다. 프로액티브(Pro-Active) 정비 프로그램은 기기 성능이 정해진 기준에 맞는지를 확인/검증할 목적으로 새로운 기기 설치 때에 검사를 하도록 되어있다. 이 정해진 기준은 기기의 재조립(Rebuilt)이나 분해검사(Overhaul)시 에도 똑같이 적용된다. 이때에 실시하는 검사는 여러경우에 기기제작자의 시방서와 허용치보다 더 엄격한 성능 시방서의 제정으로 발전할 수 있다.

성공적인 프로액티브(Pro-Active) 정비프로그램은 기기의 문제들을 줄임으로써 기기의 수명을 길게 연장하고 기기 비가동 시간을 줄이며 생산능력을 향상시키는 것이다. 프로 액티브 정비방법의 최대장점은 예방정비(Predictive

Maintenance)에 사용하는 기술을 같이 사용하는 점이며 기존의 정비 프로그램에 쉽게 포함하여 할 수 있다. 무엇보다도 중요한 것은 정기점검정비(Preventive Maintenance), 예방정비 (Predictive Maintenance), 그리고 프로 액티브정비(Pro-Active Maintenance)를 적절하게 응용함으로써 정비에 대한 균형있는 정비방침을 세우는 것이다. 이들 정비방법들 각각은 서로 독립적인 것이 아니라 확일된 정비 프로그램의 절대 필요한 요소들 이다.

8. 연구사례(Case Studies)

미해군(US Navy)의 태평양 함대(PACFLT)의 항공모함 (Aircraft Carrier)들은 1975년 이래로 진동분석을 기본으로한 예방정비 (Predictive Maintenance)프로그램을 시행하고 있으며 1986년 부터는 기함의 정비부원들이 진동 자료를 수집 해오고 있다. DLI는 초창기부터 이 프로그램에 참가하여 Expert Software System²을 사용하여 전체적인 자료를 분석하고 프로그램 초기부터 Database를 구축해 유지해 오고 있다. 기함당 수백이나 되는 기기들에 대해 진동자료를 분석하고 분석결과를 토대로 기기수리를 추천한다. 보수기록은 물론 추후의 보수기록도 보관 유지한다. Expert System은 기기의 문제점을 진단하고 필요한 정비를 추천한다. 그리고 또한 각각의 기기에 기기의 전반적인 상태에 반비례하는 "정비점수"를 부여하고 정비를 필요로 하는 기기를 100으로 기준을 정하여 수치로 표시한다. 100 보다 큰 수치는 보수를 필요로 하는 나쁜상태를 말하며 100 보다 적은 수치는 정비가 필요치 않은 만족 할만한 수치로 표시 된다.

다음의 도표(Table 1)에서 보여주는 Data는 1986년부터 1992년 까지 미 태평양함대 소속의 항공모함 전체의 진동측정 Data의 평균 정비점수이다. 여기에서 보듯이 프로그램 초기에는 평균정비점수가 111 이었고 1992년에는 90으로써 1986년에는 태평양함대의 각 함정의 대부분의 기기들이 보수를 요하는 것을 의미하며 1992년에는 모든기기들이 평균적으로 만족 할만한 상태임을 알 수 있다.

Table 1 Figure of Merit

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
평균 정비점수	111	108	103	101	98	92	89

Expert System에 의해 진단되고 수행된 여러가지 정비형태를 살펴보면 기기정비의 과반수가 넘게 Balance, Alignment, 그리고 Bearing 문제들이 주종을 이루고 있음을 다음

도표(Table 2)에서 알 수 있다.

Table 2 Status of Machine Faults

Ship	No. of Machines	Balance	Alignment	Bearing	Other
CV41, 43	1755	22	10	25	43
CV59-67	4877	21	13	25	41
CVN68, 69	527	28	15	22	35
AVT16	383	20	19	13	48

물론 위와 같은 기기의 결함들은 서로 상관관계가 있으며 그 중에서도 Bearing 문제들의 대다수는 Imbalance와 Misalignment에 의해 일어난다. Rolling Element Bearing 들은 오직 몇몇 퍼센트만이 베어링 수명을 다 할 수 있는 것으로 알려져 왔다. 더욱 흥미로운 것은 다음 도표(Table 3)에 보여준 항공모함 USS America(CV66)의 보수기록이다. 이 도표는 진동조사 날짜와 보수를 필요로 하는 기기의 비율과의 상관관계를 보여주고 있다. 1988년 2월, 1990년 8월, 그리고 1993년 8월의 조사는 기기의 분해점검 직후에 행한 것이다. 분해검사 후에 문제가 생기는 비율이 다른 때보다 많은 사실은 분해점검이 문제를 해결하기 보다는 오히려 문제를 더 일으키는 경향이 있다는 것이다. 이 조사는 전에 언급했듯이 분해점검후에 시운전 고장이 많음을 보여준 항공사 연구보고서와 맥락을 같이 한다.

Table 3 Maintenance Status

	Feb. 88 Post OH	Sep. 89	Aug. 90 Post OH	Mar. 91	Aug. 92	Aug. 93 Post OH
Percent of all machines needing repair	12	8	10	7.5	7	13

9. 예방정비(PdM)와 진동분석(Vibration Analysis)

VIBRATION: 물체의 진동은 여기력(Excitation Force)이 외적으로 물체에 가해 지거나 물체 내부에서 생긴 여기력에 의해 일어나게 된다. 어떤 한 물체의 진동의 주기와 크기는 대개의 경우 여기력의 크기, 방향 그리고 주기에 의해 결정된다. 진동분석은 기기에 어떤성분의 여기력이 작용하는 지를 알아내어 기기의 상태와 특징 그리고 그들의 상관관계를 통하여 기기의 전반적인 운전상태를 진단할 수 있다. 운전중인 기기의 진동특징은 다른 어떠한 비파괴 검사보다도 기기내부의 상황에 대한 정보를 훨씬 많이 제공해 준다. 진동분석을 정확히 적용한다면 기기의 건전성에 위협이 오기 훨씬 전에 작은 기계적인 결함이 발견되는 것을

감지하여 공장운영에 합당한 정비계획을 세울 수 있도록 시 간적인 여유를 제공하게 된다. 진동측정과 분석은 예방정비(PdM)에 가장 중요한 요소가 된다.

SIGNIFICANT VIBRATION DATA: 일반기기의 진동분석에는 가장 균일한 스펙트럼(Spectrum)을 제공하는 진동속도(Vibration Velocity)를 측정하여 기기의 운전상태를 점검하게 된다. 대부분의 기기 진동특징 분석에 있어서 어떤 주파수(Spectrum)의 진폭의 절대치는 성분치의 증가율 보다 기기진동의 진동문제에 대한 지표로서 아무 의미를 부여하지 않는다. 예를 들면 어느 한 기기가 베어링 주파수(Bearing Tone)에서 94 VdB(0.028 ips, peak) 크기의 진동치를 가지고 있지만 진동치의 큰변화없이 수년간을 가동할 수 있다. Bearing Tone의 존재는 베어링에 문제가 생길 수 있다는 확실한 조짐이나 베어링에 가해지는 힘은 성능감쇠를 일으킬 만큼 크지않을 수 있다. 반면 또하나의 다른 기기가 초기에는 별로 크지않은 70 VdB(0.0018 ips)크기의 Bearing Tone을 나타냈지만 한달후에 76 VdB로 증가하고 그 다음달에 82 VdB로 증가한다면 Bearing Tone에서의 진동치 증가율은 의미심장하다. 6 VdB의 진동치 증가는 실제로는 두배의 진동치 증가로서 기하급수적인 진동치 증가를 뜻한다. 베어링 결손율은 결함 그 자체의 존재로서 더욱 증가하기 때문이다. 위의 예는 조그만 문제가 급속히 크니 큰 문제로 발전되는 상황을 설명한 것이다. 이 예에서 보듯이 진동치의 절대치는 적지만 진동치의 증가율은 결함 그 자체의 절대치보다 훨씬 더 중요함을 알 수 있다. 이렇게 기기의 결함주파수(Fault Frequency)에서의 진동치를 추적하여 기기의 정비를 가장 적당할 때에 수행하는 방법을 경향분석(Trend Analysis)이라 한다.

TREND ANALYSIS: 진동 경향분석 개념을 가장 간단하게 이용하는 방법은 정상 가동중인 기기의 대표적인 진동 Spectrum을 참고자료로 설정해 놓고 같은 기기에 대하여 추 후에 측정한 진동 Spectrum과 비교분석하는 것이다. 진동 측정에는 참고 Data를 측정할 때와 같은 방법으로 시행하여야 하며 Transducer는 같은 장소에 정확히 설치하여야 한다. 가능하다면 정확히 Calibration된 같은 Transducer로 측정하여야 한다. 주파수 분석기나 Data Collector로 진동을 측정할 때에 유의할 사항은 측정된 Data에 있을 수 있는 불규칙한 변화나 진동과 아무관계가 없는 소음을 줄이기 위하여 여러개의 순간 스펙트럼(Instantaneous Spectrum)의 평균값을 측정하는 것이다. 대개의 경우 고른 진동특성을 얻기 위해서는 6 내지 10개의 Spectrum 평균값이면 충분하다. 상당히 큰 불규칙한 소음이 존재하는 진동특성의 경우 더 많은 수의 Spectrum 평균치가 필요하며 여러번의 Averaging

을 비교하여 전자와 후자의 Spectrum변화가 거의 없을 경우 전자의 Spectrum 수가 알맞은 것으로 생각할 수 있다.

AVERAGING: 경향분석에 가장 중요한 것은 최근 측정된 자료를 비교할 수 있는 그 기기를 정확히 대표할 수 있는 Reference Spectrum(RS)을 준비하는 일이다. 오랜 경험을 비추어 볼때 믿음만한 참고자료(RS)를 만드는 가장 좋은 방법은 같은종류의 여러개의 기기에서 측정한 Spectra의 평균치를 구하는 것이다. 아무 문제없이 순조롭게 가동중인 일련의 유사한 기기들은 상호간 매우 비슷한 진동Spectra를 제공하지만 그 크기에 있어 불규칙한 변이(Random Variation)를 포함하고 있기 때문에 기기의 Spectra의 평균치를 구할때 중요한 주파수에서의 표준편차(Standard Deviation)를 함께 계산한다. 그러나 기기종류에 따라서는 각 기기의 가동특성이 기기별로 특이하여 평균치를 산출할 경우 표준편차값이 너무 커서 Average의 의미가 사실상 없게 된다. 이런 경우에는 각 기기별로 꽤 오래동안 일련의 측정을 평균하여 유효한 참고 Data를 산출할 수 있다. 일련의 기기들의 참조 Spectrum을 만들때 주의할 것은 진동측정하는 기기가 결함이 없는 지를 확인하여야 하는 것이다.

MASK SPECTRUM(Alarm Envelope): 아무리 상태가 좋은 기기라도 작은 부하변화나 온도변화, 전압변화 또는 주변의 소음치의 변동등으로 진동Spectra에 사소한 편차를 보여준다. 이러한 진동특성치의 변동은 측정된 진동Data를 Reference Spectrum(RS)에 바로 비교할 경우에 맞지 않는 진단결과를 초래하게 됨으로 RS의 각각의 Spectral Peak에 표준편차값을 가산(Add)하여 Mask Spectrum을 만들어 적용하는 것이 바람직 하다. 다음 그림(Fig.2)에서 보듯이 전반적으로 6 dB를 적용하여 Mask Spectrum을 만들기도 한다.

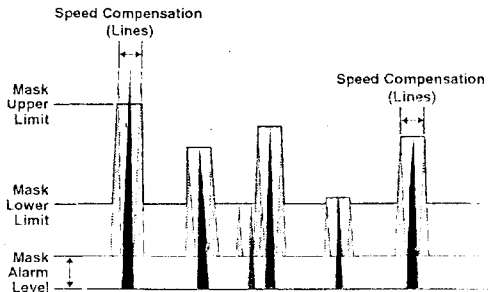


Fig.2 Typical Mask Technique

FORCING FREQUENCIES: 기기의 진동분석의 핵심은 기기의 회전에 관계한 어떤 특정한 부품이 기기에 힘을 가하게 되며 특정한 주파수에서 진동을 일으킨다는 사실에 근거를 두고 있다. 가장 중요한 가력주파수(Forcing Frequency)중의

하나의 축의 회전속도(RPM)이다. 기기의 회전자(Rotor)는 어느정도의 잔존하는 불평형(Residual Imbalance)을 가지고 있기 때문에 기기 베어링에 원주방향의 구심력(Centrifetal Force)을 가하게 되어 기기에 1X 또는 기본진동수(Fundamental Frequency)에서 진동을 일으키게 된다. 베어링의 구조특성에 따른 Bearing Tone은 베어링 자체의 마찰면(Race)이나 Rolling Element의 결함으로 인하여 생기는 진동력을 말하며 베어링 구조에 따라 가력진동수가 다르다. 톱니 맞물림 주파수(Gear Tooth-Mesh Frequency)는 각각의 톱니가 서로 맞물리어 충격을 주어 일어나며 기본진동수는 기어(Gear)의 회전속도에 기어의 톱니수를 곱한 값이 된다. 펄프나 송풍기의 날개 통과주파수(Vane Pass Frequency)는 회전속도에 날개수를 곱하여 구한다. 대개의 경우 진동 Spectrum에서 기본진동수는 가장 지배적인 진동치를 가지며 그 크기는 결함의 정도에 달려 있다. 가력진동수로부터 진동문제의 종류를 알 수 있고 진폭의 크기로 기기결함의 정도를 알아낼 수 있기 때문에 가력진동수를 정확히 도출하는 것이 중요하며 진동 경향분석을 통해 진동크기를 추적하여 적시적절한 진동대책을 수립하는 것이 바람직 하다. 다음 일련의 Spectra(Fig.3 - Fig.10)는 베어링에 결함이 발생되어 파괴에 이르는 과정의 진동특성을 가력주파수를 탐색하고 그 진동진폭의 변동을 보여줌으로써 잘 설명하고 있다.

10. 결론

지난 날에는 생산공장 기기들의 정비에 진동분석 이용은 거의 전무한 상태이었으며 과학이 발달된 이 즈음에도 고장이 날 때까지 기기를 혹사하고 고장이 난 후에야 많은 시간과 경비를 들여 기기를 재가동 한은 물론 공장가동 중단으로 인한 생산성 상실이 산업계에 주는 영향은 크다. 경우에 따라서는 기기전체를 교체하는 큰 대형사고로 이어질 수 있기 때문에 공장 전면 조업에 큰 차질을 빚게된다. 시태크(Time Tech)와 Re-Engineering과 같은 최첨단 경영방침에 부응하기 위해서는 구태의연한 가동파괴정비나 정기점검 정비방법을 탈피하여 최신 진동분석 기술을 이용한 예방정비(Predictive Maintenance)를 채택하는 것이 바람직하다. 과학기술 발전에 힘입어 정확한 진동자료를 수집할 수 있는 주파수분석기(FFT Analyzer)나 자료수집기(Data Collector)와 진동자료를 심층분석하여 정확한 진동해결방안을 제시할 수 있는 Software가 개발되어 상용화 되어 있는바 관계기술 요원들의 진동에 대한 이해와 기술습득으로 한차원 높은 기기정비를 통해 효율적인 생산성증가, 정비비용감소, 안전사고 미연방지등 많은 것을 함께 얻을 수 있다.

참고 문헌

(1) White, G., "Introduction to Machine Vibration", Part #8569, Version 1.53, DLI Engineering Corp., 1993

(2) ExpertALERT, Expert Automated Diagnostic System, Part #8567, Ver #1, DLI Engineering Corp., 1992

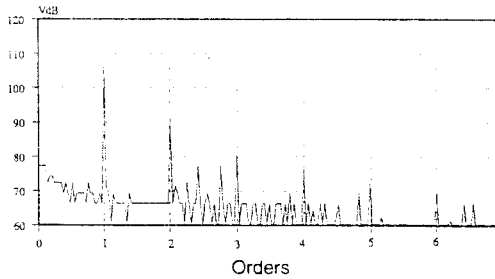


Fig. 3 Machine Without Bearing Problems

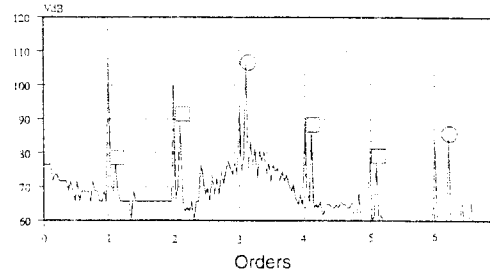


Fig. 7 Looseness also Brings Up 1X Harmonics

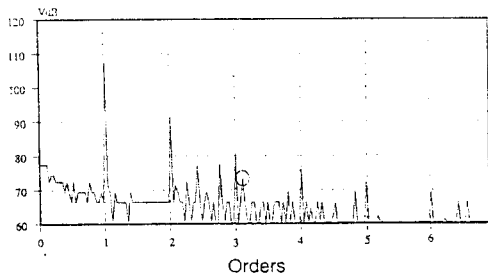


Fig. 4 Slight Bearing Ton at 3.1X

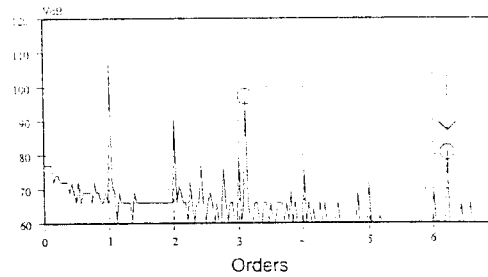


Fig. 8 1X Sidebands Around the Bearing Tone

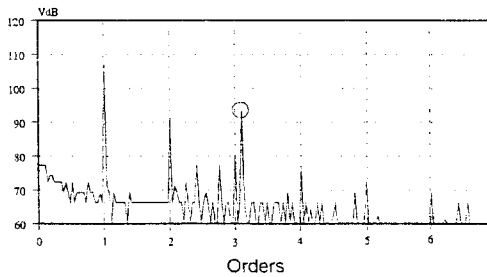


Fig. 5 Bearing Defect Getting Worse

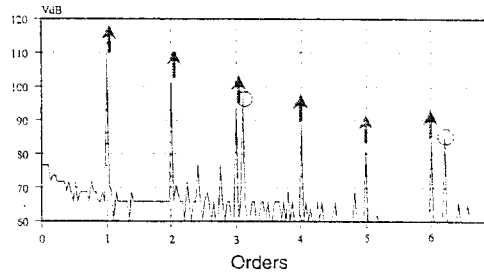


Fig. 9 Haystack in Noise Floor as Wear Progresses

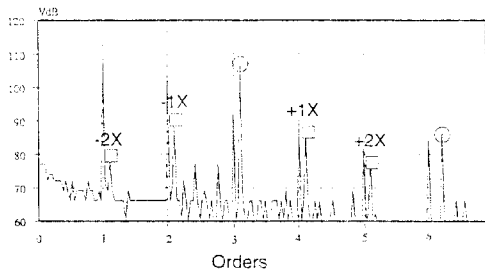


Fig. 6 As Bearing Worsens, 2nd Harmonic Rises

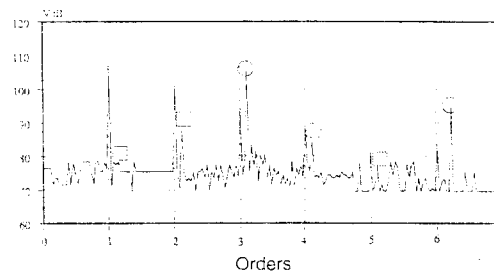


Fig. 10 Entire Noise Floor Rises in Advanced Stages