

# 회전기기 진동분석에 의한 설비신뢰성 향상 연구

## - A Study of Equipment Reliability Improvement for Rotary-Machine Vibration Analysis -

허 준 영 \*

Her Jun Yeong

박 주 식 \*

Park Joo Sic

박 명 규 \*\*

Park Myeong Gyu

### Abstract

To keep an enterprise's competitiveness on the condition of the automatic manufacturing system such as FA, FMS and CIM, all the maintenance problems should be considered seriously in not only in production and maintenance but also in related industrial productivity. This paper presents the study of equipment reliability improvement for rotary-machine vibration analysis.

Based on these analyses, the maintenance management information system, and the machinery condition diagnosis technique are studied by using of the real-time diagnostic. Therefore, it is expected to improve the efficiency of business processes in the production and safety when we use this system.

**Keyword : Automatic manufacturing system, Equipment reliability improvement**

### 1. 서 론

제조업체 현장에서 회전기계의 사용이 증가함에 따라 이들 회전기계에 대한 안정도 평가와 상태관리가 무엇보다 중요하게 인식되었다. 또한 반도체 공장과 같이 연속 공정으로 이루어진 플랜트의 경우에는 안전도 및 위험에 노출되어 있으면 하나의 회전기계로 인해 공장에 생산량에 막대한 위험을 초래하거나 경제적 피해를 야기시킬 수 있다. 이러한 사고를 사전에 미리 예방하고 대책을 세우는 것이 필요하다.

\* 명지대학교 산업공학과 박사 과정

\*\* 명지대학교 산업시스템공학부

반도체 공정의 회전기계의 안전도 및 신뢰성을 향상시키기 위해 진동에 따른 설비의 등급 구분 및 진동이 높게 발생하는 설비에 대해 원인을 규명하고 대책을 세우는데 그 목적이 있으며 향후 설비의 정기 및 교체시기 최적화를 통해 설비의 가용도를 향상시키는 설비보전 체계를 구축하고자 한다.

이를 위해 진동을 통한 주파수 분석법과 모드 해석법을 활용하며, 이 방법은 기존의 비파괴 진단법에 비해 보다 정확하며 비용적인 측면에서도 우수한 진단법이며 가동상태에서 측정과 진단이 가능하여 회전기계류의 예측 설비보전 진단 체계를 구축하기 위함이다.

## 2. 고장원인 고찰

회전기계에서 고장원인은 대부분 진동에 의해 발생한다. 또한 연중 가동 중인 상태에서의 개선 및 조치가 곤란하며, 설비의 결함 및 잠재적 돌발고장의 위험성이 내포되어 있는 상태에서 가동 중인 회전설비에 대한 유지 및 관리의 어려움이 많다. 그리고 사람의 오감에 의한 측정은 명확한 설비 상태 판단 기준이 되지 못하여 예지보전의 한계를 안고 있었다. < 그림 1 >은 반도체 생산라인에서 미세먼지와 냄새를 배출하는 배기장치로서 반도체를 생산하는 업체로서는 중요한 설비라 할 수 있다. 그리고 < 표 1 >은 회전기계의 진동이 다른 진단 방법보다 보다 많은 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다는 것을 알 수 있다.



< 그림 1 > 배기장치 회전기계

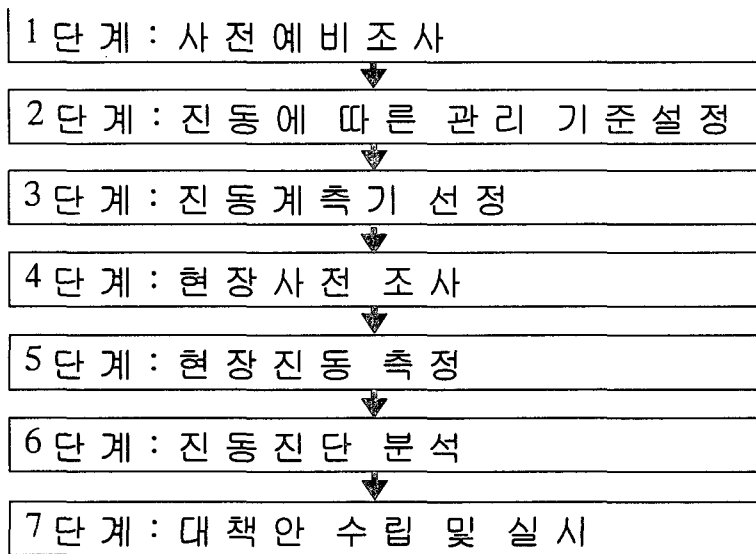
< 표 1 > 결함을 발견하는 Parameter

구분	온도	압력	유량	윤활유	초음파	진동
불평형						●
축정렬불량	●					●
베어링결함	●	●	●	●	●	●
기어손상				●	●	●
조립불량					●	●
소음					●	●
축의 CRACK						●
공진						●

### 3. 회전기기의 진동분석 활동

이미 오래 전부터 진동이 마멸, 오동작, 소음 및 구조적 손상과 같은 기계들의 문제와 관련되어 있다는 것은 익히 알려져 있는 사실이다. 최근 수년 동안 산업현장에서는 회전기계의 상태를 잘 나타내는 진동신호를 이용하여 운전 중인 수많은 회전기계들의 상태를 감시하고, 이상을 조기에 발견하게 되면 적절한 보전을 수행하여 기계의 정지기간을 막대한 손실비용과 회전기계의 신뢰성을 향상시키고 있다.

그러므로 기계 상태의 감시와 기계결합의 사전 예측을 효과적으로 수행하기 위해서는 적절한 상태의 진동 데이터를 수집하는 것이 무엇보다도 중요하다. 보다 양질의 데이터를 수집하기 위해 측정하고자 하는 진동 데이터의 특성 사용이 가능하고 계측장비 그리고 분석방법이 충분히 고려한 진동 진단 측정 단계가 수립되어야 하며, < 그림 2 >에서는 회전기계의 진동분석 활동 7단계 절차를 통한 진행절차를 나타내었다.



< 그림 2 > 진동분석 활동 7단계

#### 3.1 사전 예비 조사

회전기계에 발생하는 진동을 측정하여 이를 분석하고 설비에 발생할 수 있는 고장을 사전에 예방하기 위해서는 회전기계의 진동 측정에 대한 사전조사 순서를 설정해야 한다. 먼저 회전기계설비에 진동이 발생하고 있을 때, 먼저 어떤 순서로 진단을 수행할 것인가가 중요하다. 이는 이상상태의 관찰과 측정에 시간을 필요로 하기 때문에, 특히 사전(측정전) 조사가 중요하게 된다. 또한, 실제의 진동측정에 있어서도 최소한의 측정으로 문제를 파악하지 않으면 안 되며 운전조건의 변경 등으로 이상진동이 발생

하는 경우는, 특히 짧은 시간 내에 측정을 수행 하여야 하기 때문에, 측정점의 선택이 매우 어렵고 중요하다. 진단의 성패는 측정점의 선택과 어떠한 조건에서 수행하는가의 조합으로서 결정된다.

이를 수행하여 설비에 대한 진동에 따른 설비 등급이나 영역평가를 실시하여 설비의 경향 및 등급관리를 진행한다. 그러므로 철저한 예비조사 단계를 거쳐야 한다.

### 3.2 진동에 따른 관리 기준 설정

각종 회전기기에 대한 효율적인 진단평가를 하기 위해선 설비 진동에 따른 설비 등급 및 진동 관리 기준을 명확히 설정할 필요가 있다. 설비진동 관리 기준은 현장 내에 있는 모든 설비에 대한 설비 진동을 측정하여 설비 진동에 따른 산업용 기계 진동 기준(ISO 10816/3편)에 의거하여 구분을 한다.

### 3.3 진동 계측기 선정

다음으로 현장에 회전기계의 진동을 정확히 측정할 수 있는 계측기를 선정해야 한다. 그러므로 운전 중인 회전기계에 대한 다양한 진동원 및 경로가 있기 때문에 진동에 의한 진단을 위해서는 우선 발생원에 대한 부품별 진동 기여도를 명확히 측정해야 한다. 회전기계의 진동 계측기는 진동뿐만 아니라 온도까지 측정할 수 있는 계측기로 휴대가 간편하며 협소한 설비 내부 측정 및 연장 센서를 통해 외부에서 계측이 가능하며, 측정 data에 대한 보관 및 분석 소프트웨어의 전송이 이루어져야 하겠다.

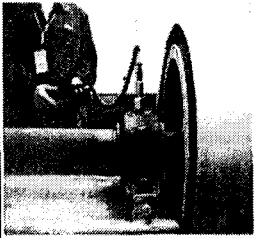
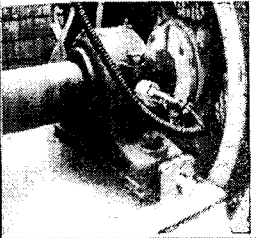
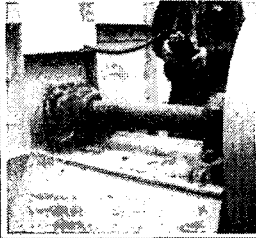

### 3.4 현장사전 조사

사전조사단계의 정보를 기초로 바로 측정할 수도 있지만 측정전에 기계설비의 진동이나 소음의 발생상황을 현장에서 관찰하는 것이 중요하다. 이 시점에서 어느 곳을 어떠한 조건으로 측정할 것인가를 결정한다. 이조건의 설정은 매우 중요하고 가장 양호한 데이터를 얻을 수 있도록 한다. 또한 회전기계의 운전원을 비롯한 관계 담당자와 협의를 하는 것도 매우 중요하다.

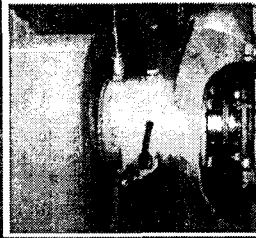



### 3.5 현장 진동 측정

진동의 측정은 회전기계의 사양이나 운전상황을 고려하여 여러 종류에 걸쳐 수행한다. 미리 회전기계의 측정점을 설정해 놓고 수행하며 현장에서 측정하면서 어느 정도 유연성을 가지고 대처할 필요가 있다. 즉 측정을 하면서 진동의 원인을 차츰 알아내고 측정점이나 측정내용을 바꾸어 간다.

공조기류 측정방법

			
- FAN 부하측 수직 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- FAN 부하측 수평 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- FAN 반부하측 수직 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- FAN 반부하측 수평 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)

Pump류 측정방법

			
- Pump 부하측 수직 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- Pump 부하측 수평 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- Pump 반부하측 수직 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)	- Pump 반부하측 수평 값 측정 (사진과 같이 SENSOR를 부하측 수직 위치에 부착한다)

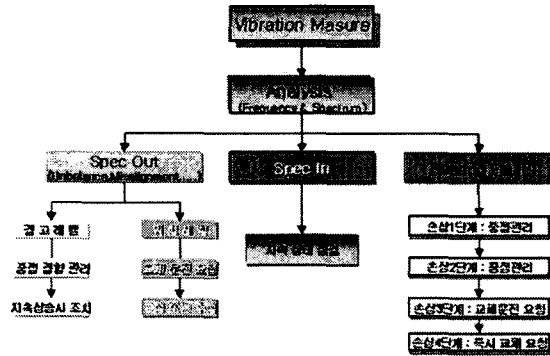
< 그림 2 > 회전기기의 진동 측정점 방향별 측정

나중에 데이터가 부족하면 곤란하기 때문에 허용된 시간 내에서는 가능한 많은 데이터를 취득하는 것이 좋다. 또한 가능하다면 운전조건을 변경 등을 수행하면서 측정하는 것이 바람직하다. 현장의 진동 계측기의 측정방법은 < 그림 2 >와 같이 회전기기의 베어링의 수직(V),수평(H),축(A)방향을 기초로 하여 측정점마다 동-서, 남-북 상하방향에 대해서 측정점 순으로 진동의 레벨을 기록하고 어느 점의 어느 방향이 문제를 일으키고 있는가를 측정한다.

3.6 진동 진단 분석

일반적으로 기기류인 경우에는 진동속도, 가속도를 이용하고 있으나 회전기계의 경우는 축진동 변위도 취득해야 한다. 현장 회전기계의 진동 측정시 문제가 예상되는 기기에 대해서는 측정점을 다각화하여 진동원이 무엇인지를 찾아낼 수 있도록 한다.

이때 운전조건을 변화를 동시에 기록하며 그 조건의 변화가 어느 점에 영향을 미치는가를 명확히 해야 한다. 진단 분석의 절차는 < 그림 3 >의 프로세스에 의해 전개되며 해당 회전기계의 설비진동 기준에 의거하여 이상 유무를 판단한다. < 표 3 >은 진동 계측기에 의한 데이터를 통해 회전기계의 진동에 대한 분석을 6단계로 진행된다.



< 그림 3 > 회전기기 진단분석 절차

< 표 3 > 진동 분석 6단계

	분석 내용	활용 데이터 및 도표
1 단계	1. Trend 도표의 진동 경향 파악 2. 진동의 상승 진행 여부 파악	
2 단계	Water Fall Spectrum 도표 확인 -A 도표의 Bearing 상태는 양호 -B 도표와 같이 Spectrum 도표와 같이 지저분하게 나타나면 Bearing 결함발생 의심	
3 단계	가속도 Spectrum 도표 1. Waterfall도표에 Bearing결함이 의심되면 2. Spectrum도표에서 측대파 형성여부 분석 측대파 : Peak치의 형성이 옆의 그림처럼 일정한 주파수의 간격으로 형성될 때	
4 단계	속도 Spectrum 도표 1. 속도계(mm/s)로 변환 2. 주파수 분석을 통해 진동 원인 파악 주파수 분석을 통해 나타난 값이 다른 주파수에 비하여 높을 경우 결과에 따라 조치가 이루어져야 한다. - Unbalance : 1x - Misalignment : 2x, 3x 1x : Fan or Pump 회전수 / 60 EX) 회전수 1790 / 60 = 29.99Hz 2x, 3x : 1x * N	
5 단계	설비 상세 정보 입력 1. 설비 사양 입력: 회전수, Bearing No., 전동기 동력 등 입력	
6 단계	주파수 분석 1. 불평형, 축정렬 불량, 베어링 이상시 나타날 수 있는 결합 주파수들을 분석 2. 이러한 결합 주파수들을 Spectrum 도표에 적용하여 분석한다.	

진단 분석을 통해 나온 이상 진동의 원인을 명확히 한다. 즉 진동원이 무엇이고 그것에 의해서 강제적으로 진동이 발생하고 있는가, 또는 공진하고 있는가 등을 명확히 판별한다.

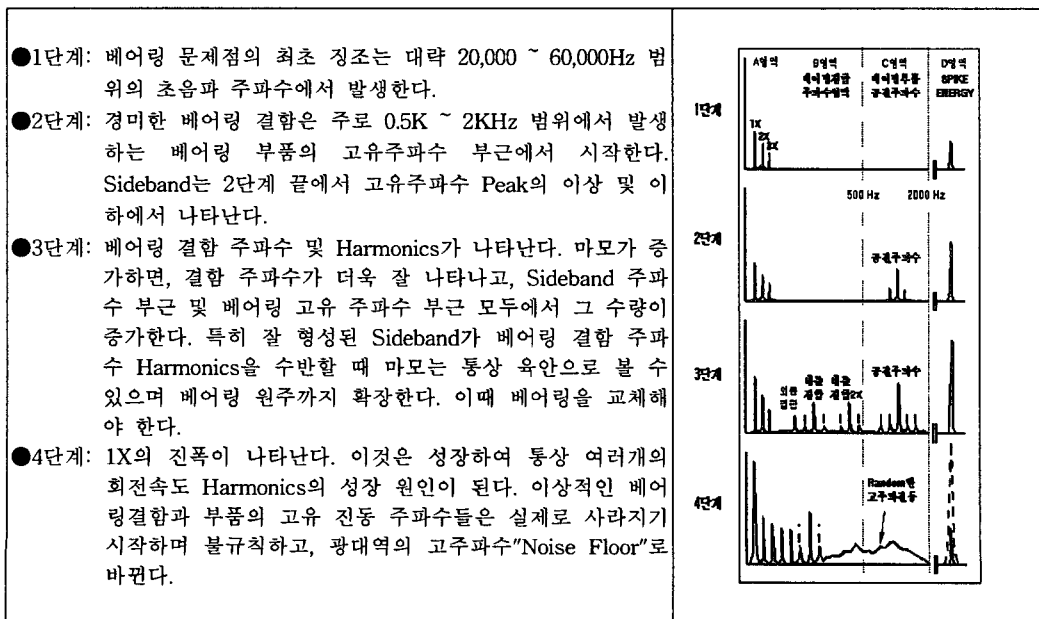
### 3.7 대책안 수립 및 실시

해석 및 판별 결과를 기초로 진동원에 진동레벨을 낮추도록 대책안을 수립해야 한다. 대책안 수립시 기술적이거나 경제적인 측면을 고려하여 최선의 안을 채택하여 실시를 한다. 대책안에 대한 실시 후에는 다시금 진동 측정을 하여 진동원에 대한 철저한 대처가 되었는지를 확인하는 것도 필수적인 사항이다.

## 4. 현장사례분석 연구

사례적용 연구는 'P' 반도체 회전기기의 베어링 손상과 진동 계측 결과를 비교한 사례를 살펴보도록 한다. 베어링 고유 진동수의 중요점은 고유진동수는 축의 회전수와는 무관하게 발생한다는 것이다. 즉, 축이 저속으로 회전하던지 고속으로 회전하던지 간에 고유 진동수는 항상 동일한 주파수를 발생하며, 그 진폭은 충격 속도에 비례하여 발생하게 된다. 이러한 이유로 베어링의 고유 진동수는 베어링 결함에 중요한 정보를 제공하며, 베어링의 결함 초기에서 발생하기 때문에 베어링 점검에 많은 척도가 되고 있다. 진동 주파수를 통해 베어링의 손상 단계를 보면 < 표 4 >와 같다.

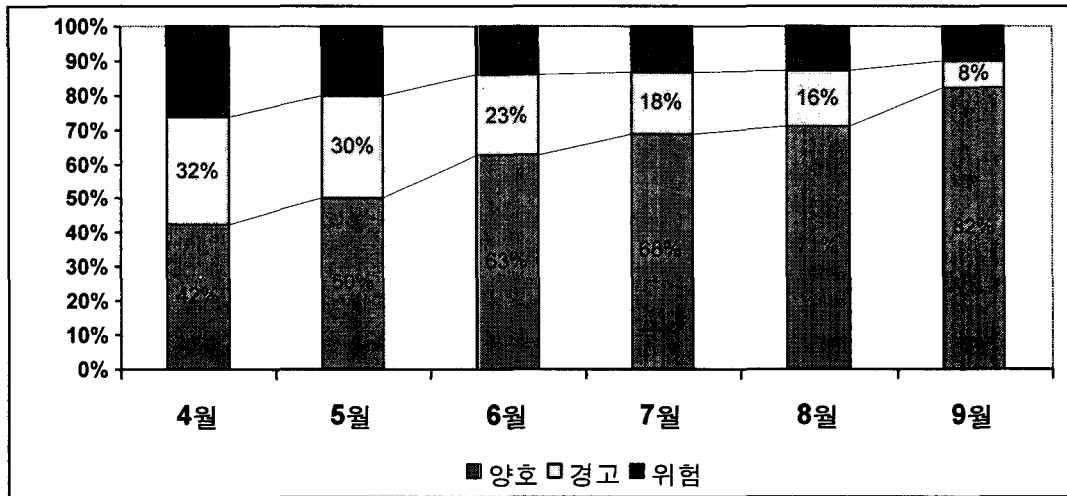
< 표 4 > 각 단계별 베어링 손상단계



위에서와 같이 진동 주파수를 통해 회전기계의 이상 유무 상태를 파악할 수 있어 회전기계의 이상 유무를 파악하여 즉시 조치할 것인지 조정이 가능한 것인지를 판별하게 되는 것이다. < 표 5 >, < 그림 4 >는 이상과 같은 관리기준에 따라 현장 설비의 부품 교체건수와 설비 가동상태별로 비교분석하였다. 8, 9월에는 하절기에 따른 냉방장비 가동이 최대가 되어 부품교체건수가 많이 나타나는데, 이와 같이 교체건수가 전년대비 줄어들게 되어 부품비용 절감 및 가동중단에 따른 생산비용절감을 확실하게 알 수 있다.

< 표 5 > 월별 베어링교체건수 비교

구분		4월	5월	6월	7월	8월	9월	합계
베어링 교체 건수	2000년	12	12	13	15	10	57	119
	2001년	13	8	5	15	4	8	53
	차이	1	-4	-8	0	-6	-49	-66



< 그림 4 > 설비상태별 점유현황

## 5. 결론

제조공장에 많은 회전기계에 대한 진동은 어쩔 수 없이 발생하는 것이다. 하지만 이 진동에 대해 보전원의 오감에 의해 설비의 이상 유무를 판단하는 것은 설비의 신뢰도 저하 및 사전 예측설비보전 체제 구축을 저해하는 요인이다.

모든 회전기기의 결함은 진동이 그 원인이다. 이러한 결점을 완벽하게 제거하는 일이 전혀 불가능한 것은 아니지만 그로 인해 발생하는 제조비용을 국내 제조기업에서 감당할 수 없다는 것이다. 그러므로 우리는 어떻게 하면 적은 비용으로 허용오차 안에서 드는 회전기계를 관리 보전하는 것이 관심이 집중되어야 한다.



진동 문제를 해결하는 가장 중요한 일은 진동원과 그 진원지를 찾는 일이다. 진동의 원인을 찾는 일은 진동 주파수를 분석함으로써 어느 정도 가능하고 진원지를 찾는 일은 발생 주파수의 원인을 찾아 분석함으로써 가능한 일이지만 문제의 심각성은 제조현장이 나 보전원 자체도 회전기기의 진동의 대한 무관심과 관리가 필요성에 대한 인식이 부족하다는 것이다. 회전기기에 대한 진동관리는 그 결합의 참원인과 향후 예측이 가능케 하여 설비의 신뢰성 향상을 통한 제조현장의 경쟁력 강화 및 제조비용 절감에 많은 도움이 될 것이라 기대한다.

## 6. 참 고 문 헌

- [1] 박주식, 설비상태정보를 통한 전문가시스템 구현방법 연구, 대한설비관리학회, vol6. No.3, pp.53-62, 2000. 12.
- [2] 박주식, 생산성 향상을 위한 실시간 설비/안전정보의 전문가 시스템 구현방안에 관한 연구, 한국설비보전공학회, 제6권 2호, pp.13-26, 2001.12.
- [3] 송승훈, 산업용 송풍기의 진동저감에 관한 연구, 대한소음진동학회, 1999년 추계학술대회.
- [4] 양보석, ISO/TC 108(기계진동 및 충격)의 활동현황, 한국소음진동공학회지, 8권 6호, pp994-1003, 1998.
- [5] 이선휘, 진동기법을 이용한 VACUUM PUMP 설비의 진단 및 대책, 페어차일드 코리아 반도체(주) 공무팀
- [6] 한국산업안전공단(1999), 안전보건경영시스템 추진실무
- [7] 허성관, 「안전관리론」 진성각, 1995
- [8] KS규격, 원심펌프의 시험 및 검사방법, KS B 6308, 1980.
- [9] <http://www.vibration119.co.kr/>

## 저 자 소 개

허 준 영 : 고려대학교 졸업 명지대학교 산업공학과 대학원 석사, 현 명지대학교 산업공학과 박사과정

박 주 식 : 인천대학교 산업공학과 공학사, 공학석사, 명지대학교 산업공학과 공학박사 학위를 취득했다. 주요관심분야는 신뢰성공학, 설비관리 등이다.

박 명 규 : 한양대학교 산업공학과 졸업, 미국 일리노이 공대에서 산업공학 석사, 건국대학교 대학원 산업공학과에서 박사학위를 취득, 현재 명지대학교 산업공학과 교수로 재직 중. 주요 관심분야는 TQM, QE, METHODS ENG, 재고물류관리, 확률모형, 의사결정론, FORECASTING, 시스템분석.