

## 진동 모니터링 및 응용

한 만 철 <대우조선공업(주)>

### 1. 서 언

일반적으로 모니터링 장비는 주로 플랜트의 운전 상태를 감시하고 제어하는 목적으로 쓰이고 있는데 계측하는 각종 변수는 변화속도가 빠르지 않은 정적 데이터인 경우가 대부분이라고 할 수 있다. 그러나 기계상태나 구조안전 감시장치 등에 쓰이는 모니터링 장비는 진동 혹은 동적데이터를 계측하고 주파수 분석 까지를 해야 하기 때문에 데이터의 취득속도가 현저히 빨라야 하고 이에따른 여러가지 신호처리 기법을 적용해야 한다.

본고에서는 선박에 쓰이고 있는 기계상태와 구조 안전 감시를 위한 모니터링 장비의 동향에 대하여 알아보았다.

### 2. 기계상태 감시장치

진동 모니터링은 기계장치의 정상작동 여부를 감시하는 수단으로 사용되어 왔다. 작동중인 모든 회전 기계나 왕복동기계에서는 항상 어느정도의 진동이 발생하게 된다. 만일 기계의 상태와 이에 연결된 축이나 구조물의 상태가 양호하고 안정되어 있으면 진동도 일정한 특성을 보이게 된다. 그러나 처음에는 양호하던 기계도 시간이 갈수록 Table 1[1]에서 볼 수 있는 여러가지 결합에 의해 진동특성이 변하게 된다. 진동 모니터링을 이용한 기계상태 감시장치는 기계의 운전상태에 관련된 여러변수(진동, 온도, 압력등)들의 변화를 주기적 혹은 계속적으로 감시하여 기계가 고장나기 전에 예방정비를 하려는데 목적이 있다[2][3].

Table 1 장비이상의 원인과 기계상태의 변화

Machine Fault	Parameter Change				
	Temp.	Pressure	Flow	Oil	Vibration
Out of Balance					X
Misalignment/ Bent Shaft	X				X
Rolling Elem. Bearing	X			X	X
Journal Bearing	X	X	X	X	X
Damaged or worn Gears				X	X
Mechanical Looseness					X

한 기계의 예고 없는 고장은 전체 플랜트의 기능상으로 이어져 치명적인 문제를 야기시킬 수도 있다. 기계상태 감시장치를 적용한 육상[4][5]과 해양플랜트[6]의 예를 보면, 감시장치를 설치후 플랜트의 정지 횟수가 70-80% 줄어들었고 그 것도 대부분 예고된 정지였음이 보고되고 있다. 선박검사를 대행하는 선급에서도 예방정비 시스템을 갖추어 장비운전상태에 관한 주요 데이터의 기록을 유지하는 경우에는 지정된 기간 이상으로 해당 기계의 개방검사를 연장시켜주는 제도를 운영하고 있다[7][8][9].

상용화된 다양한 진동감시장치는 [5][6][9~12]등에서 찾아 볼 수 있는데 선박에서의 특성을 살릴 수 있는 조선 관련기관에서 개발하여 상품화 한 경우도 있다. Mitsubishi 중공업에서는 기계상태 감시장치

를 Super Plant라는 이름으로 상품화 하고 있으며 [12] Lloyd's Register에서도 유사장비를 개발하여 컨테이너선에 적용한 실적이 있다[9]. Frost & Sullivan사의 조사[13]에 의하면 기계상태 감시장치의 시장규모가 92년의 3.8억\$ 에서 99년도에는 7억 \$ 정도로 증가되며 그중 진동관련 장비의 비율은 70% 정도를 차지할 것으로 예상하고 있다.

### 3. 구조안전 감시장치

구조해석의 신뢰도 검증과 선박의 안전운항을 위하여 선체의 운동과 주요 구조부재의 응력을 실시간으로 계속 분석하는 구조안전 감시장치도 기계상태 감시장치와 같은 모니터링 기술이 응용되고 있는 분야이다. 여기서는 기본적으로 선박에서 최대응력이 작용할 것으로 예상되는 선체중양부 근처에 선체의 종강도를 계속할 수 있는 방향으로 스트레인 게이지를 설치하여 응력을 계속하고 선수쪽에 가속도계를 설치하여 슬래밍까지를 포함한 선체운동을 계속하게 된다. 또한 감시장치가 복잡해질 수록 응력과 가속도를 계속하는 위치의 수가 늘어나고 경사각을 계속하기 위한 경사계(Inclinometer)와 선체의외판에 작용하는 압력을 계속하기 위한 압력계 등이 추가로 사용되기도 한다.

운항중인 선박에서 선체운동과 응력을 계속 분석하여 구조해석 결과를 확인하고 검증하려는 노력은 오래전 부터 있어 왔으며[14-17] 선박의 안전운항을 위한 실시간 구조감시장치의 필요성도 강조되어 왔다[17-20]. 한 통계에 의하면 1988년 5월 부터 1991년 4월 까지 3년 동안에 세계적으로 산적화물선 40여척에 사고가 발생하여 300명의 인명과 200만톤의 화물손실이 있었다. 이와같이 산적화물선에 대한 안전문제가 심각히 우려되던 1980대 말 부터 산적화물선을 중심으로 실선에 구조감시장치가 설치되기 시작하여 시장이 확대되고 있는 추세이다[19]. 유조선의 경우에는 최근 사우디 NSCSA사에서 일본에 발주한 선박이 구조감시장치를 갖춘 최초의 VL-CC로 기록되고 있다[21].

각 선급에서는 구조감시장치의 의무화 까지 논의하고 있으며 이미 권고사항으로는 채택하고 있다 [18][20]. 일 예로 Lloyd's Register는 자체에서 개발한 구조감시장치를 상품화 하고 있으며 유사한 기능의 장치를 갖춘 선박에 대해서는 "SEA" Notation을 추가로 부여하고 있다[20].

### 4. 모니터링 장비의 구성

모니터링은 기본적으로는 물리량을 나타내는 전기 신호를 디지털로 변환하여 컴퓨터에서 처리하는 기술이라고 할 수 있다. 일반적인 모니터링 장비는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 크게 나누어 각종 감지기 (Sensor), 신호변환기(A/D Converter) 및 소형 컴퓨터로 구성되어 있다. 감지기에서 측정된 각종 물리량은 전기신호로 바뀐다음 신호변환기를 거쳐 디지털 값으로 컴퓨터에 입력된다. 신호변환기는 동시에 처리할 수 있는 데이터의 수에 제한이 있기 때문에 많은 수의 데이터를 처리하기 위해서는 Multiplexer를 사용하여 여러그룹의 데이터를 교대로 입력하는 방법을 쓴다. 데이터의 수가 현저히 많을 때는 Fig. 1과 같은 장비를 여러개 LAN으로 묶어서 중앙 집중식으로 관리하기도 한다.

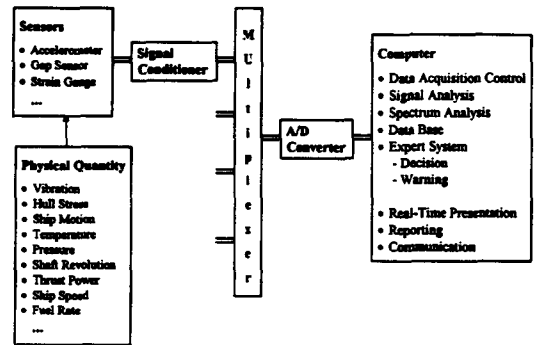


Fig. 1 모니터링 장비의 개요도

계측하는 데이터는 진동과 응력 뿐만 아니라 온도, 압력등 기계상태와 관련된 각종 데이터, 선속, 추진 마력, 연료소모량등 선박의 추진효율에 관련된 데이터, 선박의 위치, 운동 데이터 등 매우 다양하다. 국내에서 상품화된 선박용 기관실, 화물 및 발라스트의 모니터링 및 제어장비의 예는 ACONIS System [22]이 있다. 이외에도 국내의 조선분야에서 모니터링장비 개발을 시도하였거나 진행중에 있는 경우가 많다. 또한 휴대형 장비를 개발하여 선박의 속력시운 전시 축회전수, 축마력 및 선속데이터의 실시간 계속 분석에 사용하고 진동계측 등에서의 응용도 실험된 예 [23]가 있다. 주파수분석까지 가능한 상용화된 데이터 취득 분석용 프로그램은 LabVIEW[24], GLOBAL LAB[25] 등이 있으나 모니터링의 목적에 따라 데이터의 처리 방법이 크게 달라지기 때문에 이들 범

용 프로그램 그대로 쓸 수는 없다고 하겠다.

## 5. 기계이상의 진단

기계이상의 진단은 전체진동레벨이나 진동 스펙트럼과 셉스트럼의 비교등을 통하여 할 수 있다. 전체진동레벨은 모니터링 장비나 혹은 간단한 휴대용 계측기로도 측정 가능하며 주기적으로 진동레벨을 계측하여 Fig. 2와 같이 그 변화추이를 감시하는 것이다. 계측된 값은 컴퓨터에 입력되고 데이터 베이스를 사용하여 여러 기계에 대한 기록을 유지하고 분석한다. 계측된 진동레벨을 기계 제작자의 기준값이나, ISO, VDI, API 등 표준화된 기준값과 비교하고 진동의 변화추이도 고려하여 기계이상을 판단한다. 정상보다 높은 진동이 감지되면 계측빈도를 높이며 적절한 시점에 정비를 하게된다. 그러나 전체진동레벨은 주된 주파수 성분만의 진동이 반영되어 있기 때문에 다른 주파수 성분에서 일어나는 변화를 알기 어려운 문제가 있다.

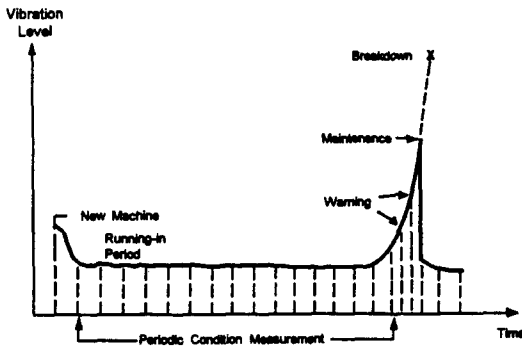


Fig.2 진동감시에 의한 기계의 예방정비

진동 스펙트럼을 분석하면 주파수성분에 따른 진동레벨의 변화로부터 전체진동레벨에는 거의 반영되지 않는 기계상태의 변화도 감지할 수 있다. 기계진동은 원인에 따라 주파수성분과 진동양상 등이 달라지는 특성이 있기 때문에[26] 스펙트럼의 비교 분석으로부터 결함의 발견 및 진동원인에 대한 분석도 가능하다.

최근에는 기본 스펙트럼 이외에 진동차수기준 스펙트럼, 여러부위 진동의 연관행렬 등 새로운 데이터 분석기법[27]을 사용하여 결함의 조기발견의 정확도를 높이고 있다. 또한 전문가 시스템(Expert System)을 채용함으로써 사람의 도움 없이도 컴퓨터 스

스로 진동원인까지 분석하고 있다[27][28]. 전문가 시스템을 적용하여 약 4000대의 기계를 대상으로 실험한 예를 보면[27], 원인분석까지 포함한 시스템의 정확도가 약 96%에 이를 정도로 신뢰성이 매우 높다.

## 6. 결론

조선분야에서 진동 모니터링을 이용한 기계상태와 구조안전 감시장치는 선박 유지보수비 절감, 자동화, 안전보장 등에 기여하고 있으며 선급에서도 권장사항으로 채택하고 있기 때문에 앞으로의 시장이 계속 확대되리라 전망된다.

국내에도 이들 장치를 국산화 할 수 있는 충분한 기술과 경험이 있으며, 이들 장비가 비교적 최근에야 실제로 설치되기 시작했기 때문에 선주들이 특별히 선호하는 Maker가 없고, 조선시장에서 우리나라가 차지하는 비중이 크기 때문에 시장확보에서도 유리한 입장이라고 하겠다. 이들 장비의 핵심인, 계측 Hardware를 조종하고 취득한 데이터의 실시간 분석, 보관, 진단, 데이터베이스, 화면표시, 경보 등의 일을 총괄하는 Software 부분은 특히 독자적인 기술 확보가 중요하다고 할 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] "What makes vibration condition monitoring reliable?", *Noise & Vibration Worldwide*, Vol.22, No. 8, September, 1991.
- [2] "Machinery Monitoring", *Shipcare and Management*, January 1994.
- [3] P. Eastwood, "The integration of machinery condition monitoring into an overall maintenance programme", *Noise & Vibration Worldwide*, Vol.22, No. 5, May, 1992.
- [4] J. Hickman, "Developments in Instrumentation for Condition Monitoring", *Noise and Vibration Control*, October 1989.
- [5] "Plant vibration monitoring at Loviisa nuclear power plant", *Noise & Vibration Worldwide*, Vol.22, No. 8, September, 1991.

- [6] "Vibration data analysis aids maintenance effort", *Ocean Industries*, August, 1992.
- [7] "Guidence for owners relative to surveys of installations under continuous survey or distributed survey", Guidance Note NI192, Bureau Veritas.
- [8] "선박 진동 소음 제어지침, 제12장", 한국선급, 1991년 6월.
- [9] "Vibration monitor gives early warning of machinery faults", *The Motor Ship*, April, 1991.
- [10] "Rotating Machinery Information / Systems and Services / Monitoring Systems", Bently Nevada, March, 1992.
- [11] "On-line Machinery Surveillance", *Shipcare and Management*, January 1994.
- [12] "Mithubishi Super Advanced Ship Operation Support System: Super Plant", Catalog from Mithusibishi Heavy Industries Ltd..
- [13] "Industrial Scene", Vol.25, No.5, *Noise & Vibration Worldwide*, May, 1994.
- [14] Y. Takahashi, "Full Scale Measurements of a Container Ship", *PRADS 83- The 2nd Int. Sympo. on Practical Design in Shipbuilding*, 1983, Tokyo & Seoul.
- [15] A. Nitta, M. Yuasa and Y. Oka, "Long Term Full-Scale Measurements on the Strength of Ships", *PRADS 83- The 2nd Int. Sympo. on Practical Design in Shipbuilding*, 1983, Tokyo & Seoul.
- [16] Doo P. Hong, Oi H. Kim and Young S. Lee, "Analysis of Structural Damage of a Large Ore/Coal Carrier", Spring Meeting/STAR-SNAME Symposium, Philadelphia, May, 1987.
- [17] K. Lindemann and S. Robertsson, "An Evaluation of the need to measure stresses in practical Hull Surveillance Systems", VERITAS Report No. 81-0776, September, 1981.
- [18] 박용철, "Hull Monitoring System과 실선에의 응용", *대한조선학회지*, 제24권, 제2호, 1987년 6월.
- [19] "Proposal for the supply of ship's Hull Stress Monitoring Systems", Proposal No. 080/91, *Ship & Marine Data Systems Limited*, September, 1991.
- [20] "ShipRight: Design, construction and lifetime ship care procedures", Technical Guide, Lloyd's Register of Shipping, 1994.
- [21] Trade Winds, May 13, 1994.
- [22] "Hyundai ACONIS: Marine Monitoring System (Catalog)", Hyundai Electrical Eng. Co., Ltd.
- [23] 한만철, "속력시운전 데이터 계측 및 분석 시스템 개발", *대한조선학회 논문집*, 제31권, 제2호, 1994년 5월.
- [24] "LabVIEW for Windows: User Manual", National Instrument Co., December 1993.
- [25] "GLOBAL LAB Data Acquisition: User Manual", Data Translation Inc., 1991.
- [26] "Machine-Health Monitoring: Vibration Trouble-shooting Chart", *Bruel & Kjaer*, 1984.
- [27] B. Watts, J. Van Dyke, "An Automated Vibration-Based Expert Diagnostic System", *Sound and Vibration*, September, 1993.
- [28] "Application of expert systems to condition monitoring", *Noise & Vibration worldwide*, Vol. 22, No. 4, April, 1991.