

발전용 터빈 윤활계통 기계시스템의 상태진단기술 개발연구

신규식* · 김재평* · 남창현* · 백수곤*
권오관** · 안효석** · 윤의성** · 손동구**

*한국전력공사 기술연구원 전력연구실

**한국과학기술연구원 기전연구부

A Study on the Development of Condition Monitoring Technology for Turbine Lubricating Systems in Power Plants

Kyu-Sic Shin*, Jea-Pyung Kim*, Chang-Hyun Nam*, Soo-Gon Baek*
Oh-Kwan Kwon**, Hyo-Sok Ahn**, Eui-Sung Yoon** and Dong-Gu Shon**

*Division of Electric Power, Research Center, KEPCO

**Division of Mechano-Electronics, KIST

Abstract—Condition monitoring technology has recently been received much attention in the light of its significance on the maintenance of complex machineries such as turbines in power plants. Currently, turbines in power plants are maintained by scheduled overhaul based on the manufacturer's recommendations and the utility's experience. Although this preventive maintenance is known to be very effective, operators have less access to identify failure of elements when it happens between overhaul period. Therefore, in this study, a development of a on-line condition monitoring system through wear debris analysis of lubricating oils is aimed with a view to detecting abnormal wear behaviour of bearings and other wet-components at an early stage, allowing better outage scheduling and minimizing forced outages. For field application purposes, the on-line system developed was installed on the turbine of the No.4 unit at Ulsan Power Plant and its performance has been evaluated on site.

1. 서 론

상태진단기술 중 마모에 의한 재료손실 탐지기술은 운전중인 기계의 정지나 분해작업 없이 기계의 운전 상태를 필요시 혹은 연속적으로 감지할 수 있다는 장점외에도 기계요소들에서 발생된 마모입자들의 정성, 정량적인 특징이 기계요소의 마모현상과 직결하여 나타나기 때문에 기계의 상태를 가장 잘 대변한다는 커다란 장점을 가지고 있는 기술이다. 또한 기존의 spectroscopy 기술외에도 1970년 이후의 ferrography, RPD(rotary particle depositor) 등의 오염입자 측정 기술이 개발됨에 따라 신뢰성 높은 상태진단기술로서 세계적으로 각광을 받고 있는 기술분야이나 현재까

지는 상기기술의 국내적용이 극히 미흡한 실정이라 할 수 있다.

따라서 본 연구는 발전설비의 안정적 운전을 도모 하기 위하여 발전용 터빈 윤활유의 윤활조건 최적화 및 효율적 보수관리와 유지의 필요성이 대두되고 있는 현실에 즈음하여 윤활계통내의 기계요소 부품의 마모상태를 지속적으로 감시함과 아울러 윤활유의 오염정도를 항상 점검할 수 있는 기술을 개발함을 목표로 하며, 개발된 기술의 현장적용을 위하여 울산 화력발전소 4호기를 대상설비로 선정하여 on-line 마모상태 진단기기를 설치하고 이에 관련된 모든 기술을 현장에 제공함을 부수적 목표로 하고 있다.

2. 기계시스템의 상태진단기술

기계시스템의 관리기법은 보정정비(corrective maintenance), 예방정비(preventive maintenance), 예견정비(predictive maintenance) 등으로 분류할 수 있다. 보정정비 및 예방정비는 재래적인 보수유지기법으로서 보수 및 투자의 관점에서 볼 때 최적의 관리기법이라 할 수 없으며, 이들이 가지고 있는 문제점들을 보완하기 위한 기법으로 최근들어 그 적용이 활발해지고 있는 것이 예견정비(predictive maintenance) 기법이다. 예견 정비는 기계설비의 파손을 사전에 감지, 예측하여 적절한 보수계획을 수립해 심각한 파손이 발생되기 이전에 보수를 실시하는 것으로 항공기의 엔진, 기어박스(gear box)나 발전소의 터빈과 같은 중요한 기계설비의 유지에 특히 필요한 관리방법이라 할 수 있겠다. 이와 같은 관리방법의 신뢰성을 유지하고 효율적으로 운영하기 위해서는 기계상태를 진단하는 적절한 방법의 선정이 중요하다 하겠다.

현재까지 개발되어 응용되고 있는 기계상태 진단 기술은 동특성 해석에 의한 진단(dynamic monitoring by dynamic methods), 윤활유검사/오염입자검사(lubricant analysis/contamination inspection)에 의한 진단, 일 반검사 및 분석방법에 의한 진단, 경향분석(trends analysis)에 의한 진단등을 들 수 있다. 특히 기계상태 진단기술중 윤활유내의 오염입자 검사에 의한 진단 방법은 1970년대에 들어 개발 및 응용되기 시작하였으며, 기계시스템내의 윤활유를 분석하고 윤활유자체의 특성변화와 윤활유내 마모입자들의 함유=상태를 분석하여 관련 기계시스템의 상태를 진단하는 기술이다.

3. 발전용 터빈윤활시스템의 개요 및 마모현상 분석

3-1. 터빈윤활시스템의 개요

발전용 터빈 윤활시스템의 상태진단용 on-line 시스템을 개발하기 위하여 울산화력 발전소 4호기 윤활 시스템의 구성과 재질 및 베어링의 발생원인별 파손 유형을 조사하였다. 또한 터빈 윤활시스템의 마모상태를 진단하기 위하여 3곳의 sampling point(집합관, #2베어링, #5베어링)로부터 정기적으로 24회에 걸쳐 윤활유를 sampling하여 윤활유내의 마모입자 상태를 정량, 정성적으로 분석하여 윤활시스템의 상태 진단 기술개발의 기초자료로 활용하였다.

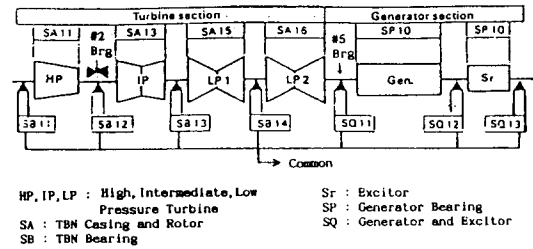


Fig. 1. Schematic diagram of bearings. (Ulsan Thermal Power Plant)

Table 1. Chemical components of bearings (unit: %)

Materials		White metal No. 2 (WJ2)	Bronze No. 3 (LBC3)
Components			
	Sn	Balance	9.0~11.0
	Sb	8.0~10.6	-
	Cu	5.0~6.0	Balance
	Pb	-	9.0~11.0
	Ni	-	Less than 1.0
Impurities	Pb	Less than 0.50	-
	Fe	Less than 0.08	Less than 0.3
	Zn	Less than 0.01	Less than 1.0
	Al	Less than 0.01	-
	Bi	Less than 0.08	-
	As	Less than 0.10	-
	기타	-	Less than 1.0

윤활시스템의 개요를 살펴보면 터빈과 발전기의 로터는 7개의 저어널베어링과 1개의 스러스트베어링으로 지지되고 있으며, 저어널베어링의 재질은 고속고하중 베어링용인 화이트메탈 2종(WJ2)이고, 스러스트베어링의 재질은 연철동 3종(LBC3)이며, Fig. 1은 베어링의 구성도를 나타낸 것이며, 각 재질의 구성 성분은 Table 1과 같다.

3-2. 마모현상 분석

마모입자 분석결과 윤활계통의 운전상태는 매우 양호함을 보여주고 있었으며, 가장 빈번히 발견되는 마모입자는 산화철 마모입자였다. 다음으로 눈에 띄는 것은 Cu가 주성분으로서 Zn이 함유되어 있는 마모입자로서 마모입자의 발생원이 되는 기계요소 는 베어링 디플렉터(bearing deflector)일 것으로 추정되었다. 즉 베어링 디플렉터와 로터 사이에 일시적으로 발생하는 미끄럼 접촉운동의 결과로써 발생한 마모입자로 추측 된다.

한편 저어널베어링과 스러스트베어링에서 발생된

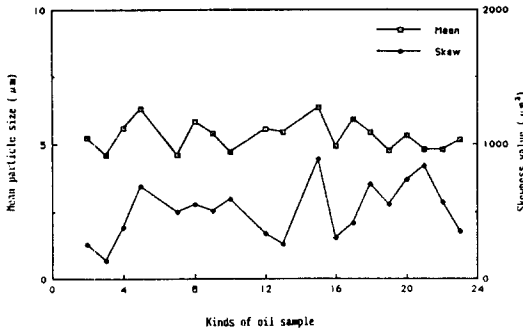


Fig. 2. Trend of skewness value and mean particles size for oil samples (common).

마모입자는 전 분기에 걸친 윤활시료 분석결과 매우 드물게 발견되고 있어 터빈 윤활계통이 정상적인 상태일 때의 마모입자들은 주로 로터, 기어펌프 등의 steel성분에서 떨어져 나오는 것이 주종을 이루며, Cu성분을 포함한 요소중에서는 단지 베어링 디플렉터가 가장 마모율이 높은 것으로 조사되었다. 그러나 일단 스리스트베어링의 마모율이 증가할 경우 윤활유시료내에 Cu계 마모입자의 수가 크게 증가하며, 저어널베어링의 마모가 심해지는 경우 주의해 관찰하지 않으면 black oxides나 darkmetallo oxides의 수가 증가하고 있는 것처럼 보이게 된다. 이는 화이트메탈이 열에 의해 쉽게 산화되어 현미경상으로 산화막이 검은 점들처럼 보이기 때문이다. 또한 화이트메탈이 계속적으로 열을 받게 되면 전체가 산화되어 비금속 마모입자로 변화될 수도 있다.

마모입자의 통계적 처리를 위하여 기계요소 마모입자 분포를 가장 근접하게 예측하는 통계적 분포함수로서 다음의 Weibull 분포함수를 이용하여 처리한 각각의 시료에 대한 결과를 Fig.2~6에 나타내었다.

$$P(d) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{d-d'}{\alpha}\right\}^\beta\right] \quad (1)$$

(d > d', α > 0, β > 0)

여기서,

P(d) : 누적분포함수

α : 크기계수

β : 형상계수

d : 마모입자 크기(pp)

d' : 마모입자 크기의 측정 최소한계 (1 pp)

또한 마모입자 크기분포를 식 (1)과 같이 근사화

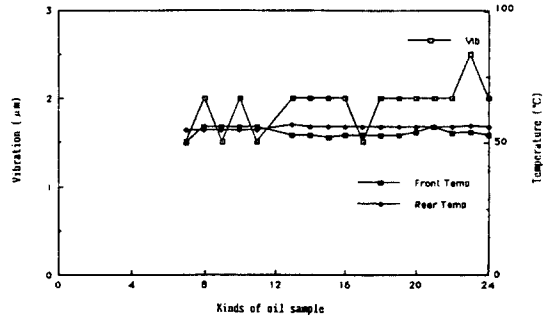


Fig. 3. Trend of vibration and oil temperature at oil sampling time (#2 bearing).

시키는 것외에 분포의 moment를 구하면 자체적으로 마모현상에 관한 몇가지 중요한 통계변수를 얻을 수 있는데, 평균(mean), 분산(variance), skewness, kurtosis 등이 바로 그것이며 다음과 같이 구해진다.

평균 :

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^N d_i \cdot p(d_i) \quad (2)$$

여기서,

$$d_i = \frac{d_j + d_{j-1}}{2} \quad (j-1 < i < j)$$

$$p(d_i) = \left\{ \frac{d_i \text{와 } d_{j-1} \text{ 사이의 크기를 갖는 마모입자수}}{\text{총 마모입자수}} \right\}$$

$$\text{분산 : } V = \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^2 \cdot p(d_i) \quad (3)$$

$$\text{Skewness : } S = \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^3 \cdot p(d_i) \quad (4)$$

$$\text{Kurtosis : } K = \sum_{i=1}^N (d_i - \bar{d})^4 \cdot p(d_i) \quad (5)$$

$$\text{Relative skewness} = S/V^{3/2} \quad (6)$$

$$\text{Relative Kurtosis} = K/V^2 \quad (7)$$

Fig.2는 집합관으로부터 18개월 동안 채취된 윤활유내의 마모입자 통계적 처리를 보여주고 있다. 마모입자의 평균크기와 skewness값이 마모입자의 상태를 가장 잘 대변해 주는 변수이기 때문에 그림에서 두 값의 경향을 비교해 보면 큰 변화가 없어 안정된 상태에 있음을 알 수 있다. Fig.3은 윤활유 채취시

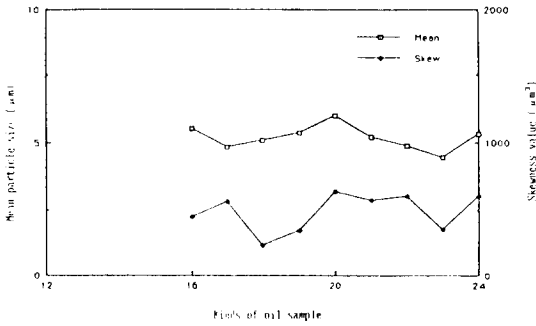


Fig. 4. Trend of skewness value and mean particles size for oil samples (#2 bearing).

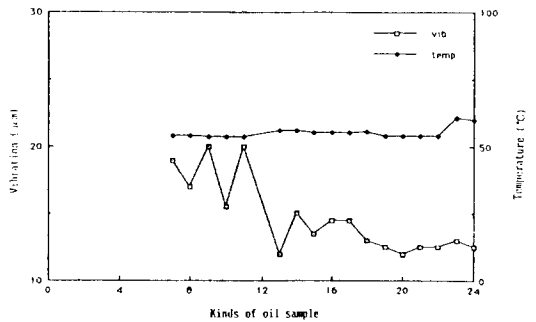


Fig. 5. Trend of vibration and oil temperature at oil sampling time (#5 bearing).

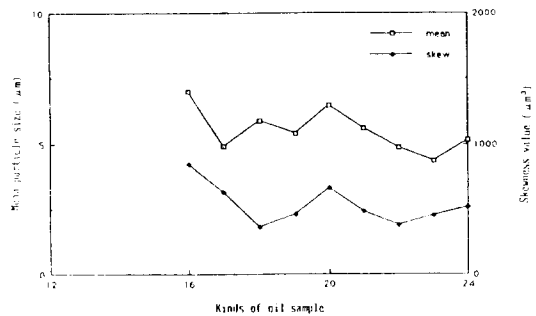


Fig. 6. Trend of skewness value and mean particles size for oil samples (#5 bearing).

간에서의 #2베어링의 진동량과 윤활유 온도의 변화를 보여주고 있으며, Fig. 4는 #2베어링 오일라인으로부터 채취된 윤활유내의 마모입자 통계적 처리를 보여주고 있다. 집합관에서와 마찬가지로 각 데이터 값이 큰 변화가 없음을 알 수 있다. Fig. 5와 6은 #5 베어링의 진동량과 윤활유온도의 변화, 마모입자에 대한 통계적 처리결과를 보여주고 있다. 마찬가지로

큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 선정하여 조사한 윤활시스템의 상태는 안정된 상태로 운전증임을 알 수 있으며, 베어링의 이상발생시 마모입자의 양이 증가하여 skewness값의 현저한 증가가 예상되므로 이를 관찰함으로써 베어링 상태진단의 좋은 지표라 될 것이다.

4. 터빈 윤활계통의 상태진단시스템 개발

윤활유내의 마모입자 분석에 의해 윤활계통 시스템의 상태를 진단하는 방법에는 정량적인 방법과 정성적인 방법이 있으나, 본 시스템은 배전반에서 윤활유의 오염정도를 컴퓨터의 모니터를 통해 감시할 수 있도록 FCM(fluid condition monitor)을 이용하여 마모입자수를 측정하는 정량적 방법을 채택하였으며, 전 시스템이 on-line으로 운전되도록 개발하였다.

본 연구에서는 윤활시스템의 모든 오일이 합쳐지는 집합관과 베어링의 진동량이 가장 높은 것으로 조사된 #5베어링 및 윤활조건이 비교적 가혹한 스티스트베어링이 조합되어 있는 #2베어링을 대상 sampling point로 선정하여 시스템으로 구성하였다. 시스템제어와 데이터수집 및 전송을 위한 주컴퓨터, FCM을 이용한 윤활유내의 마모입자 측정부, 현장 제어용 모뎀, 윤활유 sampling line 선정용 relay box, 대전(KEPCO)와 서울(KIST)에 설치한 데이터 분석용 컴퓨터로 상태진단용 시스템을 구성하였고, 전시스템이 on-line으로 연결되어 있다.

4-1. 마모입자 측정기기

본 연구에서 on-line용 측정기기로 선정한 FCM (fluid condition monitor)은 필터차단원리를 이용하여 개발되었으며, FCM센서는 스테인레스강으로 된 박막필터(filter membrane)로 2종류의 필터가 내장되어 있어 각각 필터규격 이상의 마모입자들이 통과하지 못하는 점을 이용하여 필터막의 부분적 폐쇄에 의한 필터내의 오일의 압력강하 측정에 의하여 윤활유내의 마모입자의 양을 측정하는 장비이다.

측정된 마모입자의 양은 ISO 4406 standard 또는 NAS 1638 standard로 환산되어 윤활유의 오염정도를 나타내며, FCM의 특성은 다음과 같다.

- 온도범위 : 70°C 이하
- 점도범위 : 5/15 micron~40 cSt이하(40°C)
10/18 micron~100 cSt이하(40°C)
- 압력범위 : 3675 psi(250 bar) 이하

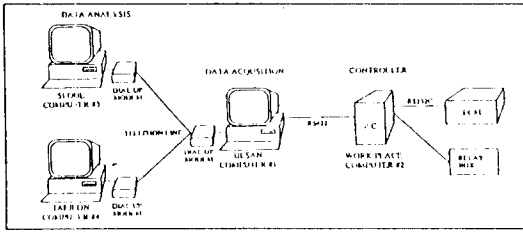


Fig. 7. Block diagram of on-line wear monitoring system.

- 필터크기 : 5~120 micron
- 오염등급 : ISO 4406
NAS 1638
- 필터수명 : 200시간 or 6000 particle counts
- Calibraion주기 : 1년
- 유 량 : 360 ml/min
- 마모입자수 : 200~4×10⁶ particles/100 ml
- 전 원 : 100~120V/50~60 hz/0.5A
220~240V/50~60 hz/0.25A

4-2. On-line 시스템의 구성 및 설치

4-2-1. 시스템의 구성

On-line시스템은 마모현상 분석부분, 데이터 통신 부분, 데이터 저장 및 분석부분으로 구성되어 있으며, 전체 구성도는 Fig. 7과 같다.

마모현상 분석부분은 relay box에 의한 오일 sampling line의 제어기능과 FCM에 의한 마모입자의 측정기능을 갖는다. Relay box는 컴퓨터(#2)에 의해 제어되며 솔레노이드 밸브를 작동시켜 진단하고자 하는 베어링을 선택하고 FCM은 선택된 오일라인에서 오일내의 마모입자수를 측정하여 측정결과를 데이터 전송용 컴퓨터(#2)로 전송시킨다.

전송데이터의 종류는 relay box와 FCM을 제어하기 위하여 컴퓨터(#1)로부터 전송되어 오는 데이터와 마모입자의 측정결과인 FCM에서 전송되어 오는 데이터의 2가지가 있다. Relay box와 FCM을 제어하기 위한 데이터는 relay box제어용과 FCM제어용으로 분류하여 FCM용 데이터는 RS-232C를 통하여 FCM으로 전송시키고, 데이터는 병렬전송을 이용하여 relay box로 보내진다. FCM의 분석데이터는 RS-232C로 입력받아 컴퓨터(#1)에 RS-422방식으로 전달한다.

컴퓨터(#1)로 전송된 데이터는 hard disc에 저장되어지고 분석프로그램에 의해 분석된 오일의 오염상태는 monitor에 나타내어지며, 오염등급에 따라 허용범위를 초과할 경우 컴퓨터(#1)에서 경고를 표

시하여 준다.

컴퓨터(#1)에 저장된 데이터는 다시 전화선을 이용하여 대전(KEPCO)과 서울(KIST)로 전송되며, 전송된 데이터를 이용하여 정밀분석함으로써 터빈유회계통 시스템의 상태진단에 관한 data base를 구축할 수 있도록 구성하였다.

4-2-2. 시스템의 설치

선정된 sampling line(#2베어링, #5베어링, 집합관)으로부터 시스템의 설치장소까지 1 inch의 SUS 파이프로 확장관을 설치하였고, 각각 2중으로 밸브를 설치하여 시스템의 안전성을 증가시켰다.

4-3. On-line상태진단결과 및 마모현상 data base구축

기계시스템의 마모발생을 잘 나타내어 주는 유회계통의 오염정도의 판정은 세계적으로 ISO 4406 standard와 NAS 1638의 등급으로 나타내고 있다.

ISO 4406 standard는 측정된 filter의 마모입자수로부터 유회계통 1 ml/당 5, 15μ크기 이상의 마모입자수로 환산하여 그 오염정도를 0~24등급으로 나누어 등급을 정하고 있다. 본 연구에서 사용된 FCM은 10, 18μ 필터를 이용하여 마모입자량을 측정하기 때문에 환산표에 의해 5, 15μ 크기보다 큰 마모입자수로 환산하여 그 오염정도의 등급을 결정한다. 유회계통을 세척(cleaning)하는 세척용 오일의 ISO등급은 13/10으로 되어 있다.

본 연구에서는 FCM을 이용하여 #2베어링, #5 베어링 및 집합관에서 10, 18μ크기 이상의 마모입자수를 측정하여 유회계통의 오염정도를 ISO등급으로 나타내었다. On-line상태 진단시스템으로부터 측정된 정상상태의 울산4호기 터빈유회계통의 오염정도는 ISO등급 14/12(NAS 6등급)로 낮은 오염정도를 보이고 있어 아주 정상적인 상태로 운전되고 있음을 유회계통내의 마모입자 분석법을 통하여 확인할 수 있었다. 따라서 터빈유회계통의 최대허용 오염정도를 NAS 10등급(ISO 19/16)으로 하였으며, 유회계통 오염상태의 이상유무 등급을 Table 2와 같이 규정하였다.

각각의 데이터는 컴퓨터에 저장되고, 저장된 데이터는 월별, 년별로 구분하여 마모입자 증가경향에 의해 상시 감시가 가능토록 data base를 구축하여 상태진단이 용이하도록 하였다.

5. 종합 Wear Monitoring Package개발

On-line시스템의 프로그램은 Table 3과 같이 3부

Table 2. Necessary measure according to contamination grade of lubricating oil

Nuner of particles		ISO Grade (5/15)	Condition	Monitor display	Necessary measure
10 μ	18 μ				
Less than 25,000 25,000~30,000	Less than 10,000 10,000~15,000	Less than 16/13(NAS7) Greater than 17/14(NAS8)	Normal Attention	- -	Continuously observing the data Comparing other monitoring system Integrated inspection of TBN system
30,000~40,000	15,000~25,000	Greater than 18/15(NAS9)	Warning	Warning	
Greater than 40,000	Greater than 25,000	Greater than 19/16(NAS10)	Abnormal	Danger	

Table 3. Classification of program

Program	Function	Computer
IOCOMM	Solenoid valve control pump control data transfer	Computer (#2)
MOFCM	Data acquisition and storage modem communication control	Computer (#2)
MO-KEPCO	Data receiving by modem data managing of computer (#1)	Computer (#3) in KIST Computer (#4) in KEPCO

분으로 구성되어 있다. 현장에 설치된 컴퓨터(#2)의 프로그램인 IOCOMM은 컴퓨터(#1)로부터 전송되어 오는 FCM제어용 명령과 relay box제어용 명령을 분류하여 각 장치로 명령을 전송하고 FCM으로부터 측정된 데이터를 컴퓨터(#1)로 전송하는 기능을 가지고 있으며, 또한 FCM의 초기화 작업을 수행한다.

컴퓨터(#1)의 프로그램인 MOFCM은 배전반에서 컴퓨터(#2)로 FCM 및 relay box제어용 신호를 송신하며, FCM의 분석결과를 수신하여 분석한 후 화면에 각종 정보를 표시하고 정보를 하드디스크에 저장한다. 그리고 컴퓨터(#3, #4)로부터의 전화선 모뎀을 통한 통신요구에 응답하며 명령에 따라 저장된 정보의 송신 및 관리를 하게 된다.

프로그램 MO-KEPCO는 컴퓨터(#1)에 저장된 정보를 수신하거나 관리하기 위한 프로그램으로서 모뎀을 관리하는 기능과 송수신 데이터를 처리하는 기능을 가지고 있다.

6. 최적 윤활관리 대책

발전소 터빈윤활계통의 관련 기계요소 특히 베어링 등에서 발생가능한 심한 마모 또는 파손현상을 조기에 발견하여 심각한 손실을 미연에 방지하기란 매우 어려운 일이다. 본 과제와 기본목표는 발전설비 시스템의 보다 신뢰성 있는 보수유지관리를 위하여 마모 입자나 오염입자에 의한 윤활계통의 오염정도를 on-

line으로 상시 감시하며 터빈내 베어링에서 발생하는 문제점을 조기에 발견, 터빈 전체에 악영향을 미치지 전에 그 대책을 수립하는 것이다. 윤활계통내 마모 입자의 정량, 정성분석을 통해 설비의 이상유무를 진단하는 기술은 최근 들어 그 응용이 활발해지고 있는 분야로서, 기계시스템내 부분적인 기계부품의 상태를 진단하기에는 적합하나 기계시스템 전체의 상태진단을 위해 적용하기에는 기술적으로 어려운 점이 많은 실정이다.

마모입자 검지기술에 의해 기계시스템의 파손을 방지하는 기술로 가장 활발하게 적용되고 있는 대상으로는 항공기의 가스터빈을 들 수 있고, 수력발전소의 발전기 핵심요소로서 화이트메탈로 구성된 스톱베어링의 상태를 debris monitor라고 하는 마모입자 정량분석기기를 on-line 적용하여 진단하고 있기도 하다.

현재 일반적으로 적용되고 있는 기술로는 로터의 상태진단을 위해 적용되고 있는 진동모니터링 기술과, 베어링 등의 상태진단을 위해 열전대를 이용한 금속의 온도를 측정하는 방법이다. 여기에 보다 정확한 정보획득을 위해 마모입자 진단기술의 적용 필요성을 보여준 것이 본 연구의 한 결과라 하겠다. 예를들면 터빈로터 진동레벨의 변화가 베어링의 급격한 마모에 의하거나 또는 터빈로터의 상태에 이상이 발생할 때 불안정성에 의해 베어링의 금속마모가 발생되는 경우, 세가지 모니터링 기술을 동시에 적용하여 베어링 상

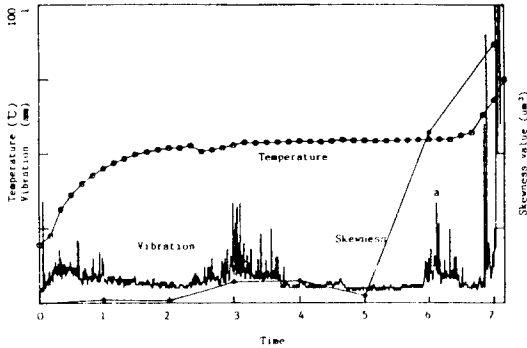


Fig. 8. Trend of measuring parameters in time history.

태를 진단한다고 할 때, Fig. 8에서와 같은 변화추이를 보이는 것이 일반적이다. 여기에서 마모입자의 경우 그 정량적 변화를 통계적으로 가장 잘 대변해 주는 skewness를 parameter로 사용하고 있다. 현재의 진단기술 수준으로 터빈로터의 상태를 진동레벨을 통해 진단하기에는 어려움이 많다. 그러나 이상적으로 그림과 같이 a점에 이르러 그 peak값이 급격히 높아질 때, 즉, 터빈에 이상이 발생하고 있다고 추측될 때 베어링 온도추이를 함께 관찰하면 그림과 같이 약간 시간차이를 두고 현저한 온도변화가 관찰될 것이다. 여기에 추가로 그림에서와 같이 마모입자 변화추이를 보면(모니터링 방법의 비교분석시 일단 기계시스템에 이상이 발생하고 있다는 것이 마모입자 분석에서 발견되고 곧이어 진동분석에서도 발견되는 추이를 토대로 볼 때) 정상상태로부터 마모입자의 양이 급증하는 현상이 a점보다 먼저 일어날 것으로 예상된다. 따라서 이 세가지 기술을 종합한다면 보다 바람직한 판단을 내리는데 크게 도움이 되리라 생각된다.

보수관리에 드는 비용이 전 생산비용의 20%내지 25%에 달하고 있다는 점을 고려해 볼 때 합리적인 보수관리방법의 적용이 시급하다. 미국전력연구소(Electric Power Research Institute)가 1983년부터 연구한 결과에 의하면 1마력당 1년간 보수유지 비용이 보정정비의 경우 \$17~\$18, 예방정비의 경우 \$11~\$13이고, 예견정비의 경우 \$7~\$9로 예견정비 기술이 적용될 경우 막대한 경제적 이득이 보장된다고 기술하고 있다.

따라서 강조한 바와 같이 현재 적용되는 예방정비 기술에 on-line 오염입자 검지기술을 적용한 예견정비기술을 복합하여 실시하는 것이 최적의 관리방법이 된다 하겠다.

7. 결 론

발전용 터빈유회계통의 최적화를 위하여 유회계의 오염입자 분석에 의한 상태진단기술을 적용하였다. 정기적으로 sampling한 울산화력발전소 4호기의 터빈유회계에 대하여 오염입자 분석을 한 결과 유회계는 아주 양호한 상태였으며, 유회계내에 포함되어 있는 오염입자는 주로 산화철 마모입자와 Cu성분의 마모입자로 분석되었다.

오염입자 측정을 위하여 FCM(fluid condition monitor)을 측정정비로 선정하여 터빈유회계의 오염정도를 항상 감시할 수 있는 on-line 시스템으로 구성하였으며, 측정된 데이터를 분석하여 유회계의 상태를 진단함으로써 마모파손을 검지하는 wear monitoring package를 개발하였다. 개발된 시스템은 유회계의 오염도 증가시 경고를 지시하여 주며, 또한 원거리에서 현장의 측정데이터를 받아 볼 수 있도록 모뎀을 통한 데이터 통신시스템을 구성하였다.

본 연구에서 유회계의 오염상태 진단시스템이 구성되어 터빈유회계의 오염정도 분석에 의한 기계요소 마모파손의 검지가 가능하게 되었으며, 또한 기존의 예방정비(overhaul)에 상기 기술을 적용한 예견정비기술을 복합하여 실시한다면 발전설비의 사고예방뿐만 아니라 운전효율의 증대로 보수유지비의 절감 등도 기대된다.

향후 본 시스템에 진동, 음향, 온도, 압력 등을 이용한 진단기술을 고려한 종합상태 진단기술을 개발함으로써 발전설비의 최적관리 방법이 구축되리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. R. G. Brown and J. F. Quilliam, Proceedings: Turbine Bearings and Rotor Dynamics Workshop, EPRI (1985).
2. M. J. Neale, Tribology Handbook, Newness-Butterworths, (1973).
3. Daniel P. Anderson, "Wear Particle Atlas", Report NAEC-92-163 91982).
4. Marvin H. Jones and Douglas Scott, Industrial Tribology: The Practical Aspects of Friction, Lubrication and Wear, Tribology series 8, Elsevier 91983).
5. Tsuneo Someya *et al.*, Journal Bearing Databook, Springer Verlag Berlin (1989).
6. Mervin H. Jones, Condition Monitoring '84, Pineridge Press Ltd., (1987).
7. Mervin H. Jones, Condition Monitoring '87, Pineridge Press Ltd., (1987).

- dge Press Ltd., (1987).
8. R. A. Collacott, Mechanical Fault Diagnosis and Condition monitoring, John Wiley & Sons (1977).
 9. "Hydraulic Fluid Power-Fluid-Method for Coding Level of Contamination by Solid Particles", ISO 4406 (1987E).