

상태감시를 기반으로 설비 트러블 발생에 대한 판정기준의 설정

강인선* · 박동준** · 최정상***

*전주대학교 공학부 테크노경영공학

**부경대학교 수리과학부 통계학

***강남대학교 전자시스템정보공학부 산업공학전공

Establishment of Criteria to Machine Trouble based on Condition Monitoring

In-Seon Kang* · Dong-Joon Park*** · Jung-Sang Choi**

*Jeonju Univ. School of Engineering

**Pukyong National Univ. Division of Mathematical Sciences

***Kangnam Univ. Dept. of Industrial Engineering

Trouble prevention of facilities in operation process plays an important role for improving facilities productivity as production systemization is installed with development of facilities automatization. Condition monitoring predicts machine's internal changes by periodically recording vibration occurred in the machine. This article considers a method of establishing statistical criteria for facilities troubles by utilizing machine condition evaluation and operation limit standards of ISO 10816-3.

Keywords : Condition Monitoring, ISO 10816-3, Vibration, Trouble, Evaluation Criterion

1. 서 론

설비자동화의 진전과 함께 생산시스템화가 구축됨에 따라 운영과정에서 설비의 트러블 예방은 설비 생산성 향상에 중요한 역할을 하게 되었다. 설비보전활동에 대한 동향을 살펴보면 사후보전(break down), 예방보전(periodical), 예측보전(predictive)에 이어 능동적 설비보전(active maintenance)으로 인식이 전환되면서 보전정보제공기능, 설비보전기능 그리고 생산운영 등을 상호 유기적으로 관리하는 시스템으로 진행되고 있다. 본 연구에서 다루는 기계의 상태감시(condition monitoring)는 1970 년대에 시작된 것으로 그 이후 현재까지 생산현장에서 획기적인 원가절감방법으로 인정 받아왔다.[7] 상태감시의 원리는 기계에서 발생하는 진동을 매일 기록함으로써 기계내부의 변화(예, 설비성능 저하)를 예측하는 것

로 트러블이 발생하기 전 조치가 가능하다. 이는 불필요한 예방보전을 줄여서 보전을 위한 가동 정지에 따른 생산손실을 최대한 줄이는 것이 목적으로 중요 생산설비를 보전하고 설비의 상태를 평가하는 역할을 한다. 그리고 설비진단기술 분야에서는 예지보전(CBM : Condition Based Maintenance)으로 알려지고 있다.[1, 9] 기계의 상태감시는 진동을 측정하기 위하여 정밀 FFT분석기, 센서(비접촉변위계, 속도계, 가속도계 등) 등 다양한 진단기기 등을 활용한다. 이러한 장비는 고가인 관계로 회사자체에서 보유하기엔 부담이 되므로 부득이 현장진단을 위해서는 외부 컨설팅의뢰 내지는 자체적으로 고도의 전문적인 기술훈련이 요구된다. 따라서 본 연구의 목적은 일상적인 데이터의 수집과 경향관리를 통계적으로 분석하여 생산보전활동(TPM)에서 접근할 수 있는 효율적인 상태감시의 한 사례를 제시하고자 한다. 이를 위해

기계에 대한 진동강도 평가 영역인 ISO 10816-3[4]에 의한 기계상태 평가 및 운전 한계값 기준을 근거로 설비 상태에 대한 통계적인 판정기준을 설정하는 방안을 다루었다.

2. 설비보전의 기술적 접근 동향

설비보전정책에서 설비자체의 설계기술, 진단기술, 대책기술(재생보수, 마모방지 기타)등을 다루는 기술적 접근(engineering approach)의 대표적인 연구를 살펴보면, 보전이론의 전반적인 조사를 한 Geraerds(1985)는 보전 조직에서 설비가 유지되어야 할 방향을 다루면서 종합적인 결정관리로서 보전개념을 도입하였고, Kelly(1984)는 산업체를 대상으로 보전계획의 설정을 위한 접근법을 제시하였다. 근래에는 정보기술을 이용한 보전시스템 통제 방식으로 국내에서도 다양한 논문이 발표되고 있다. 정영득(2001)은 설비상태 정보를 통한 전문가 시스템 구현방법을 연구하였고, 한상인(2001)은 인터넷 기반의 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발을 제안하였으며, 허정준(2001A, 2001B)은 베이지안 접근법을 이용한 시스템 변화의 탐지 및 인식 그리고 신경망을 이용한 설비상태의 감시에 대한 연구를 수행하였다.

3. 상태감시와 기계상태 평가 기준 (ISO 10816-3)

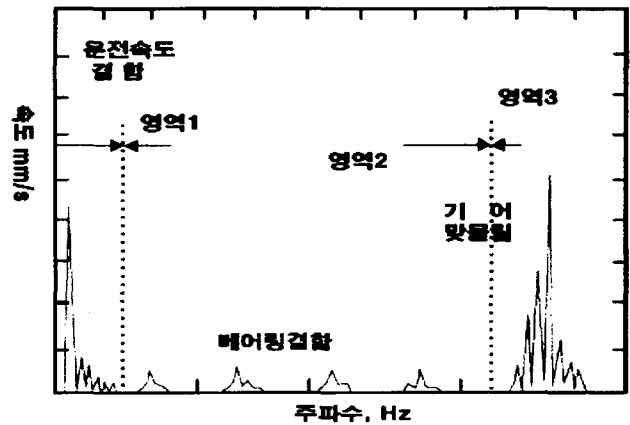
3.1 상태감시의 개요와 순서

기계를 고장 없이 오래 사용하기 위해서는 자주 진단함으로써 기계에서 발생하는 파라메타(예, 진동)를 매일 기록하여 기계 내부의 변화(열화 등)를 예측하는 것을 상태감시라 하고 다음과 같은 특징을 갖고 있다[8]:

- (1) 소음 및 진동은 기계의 언어로 이를 통해 기계 상태를 기록 관리한다.
- (2) 기계 진동의 주기적 상태감시는 1970년대 시작 이후 획기적인 원가절감 방법으로 산업 분야에서 예측보전 프로그램으로 활용되고 있다.
- (3) 진동에는 모든 종류의 고장을 예측할 수 있는 중요한 정보를 제공하는데 설비의 상태감시는 기계에서 발생하는 이러한 진동을 매일 기록함으로써 고장발생과 시기를 분석하는 것이 근본 목적이다.
- (4) 진동의 증가 추세가 가장 큰 관심이 되고 고장발생 후 고장의 근본적인 원인을 분석하는 것이 중요하다.

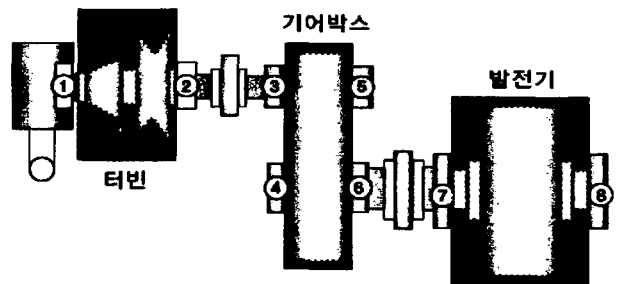
또한 일반적으로 기계의 상태감시를 실시하는 순서는 다음과 같다.

- (1) 설비목록 작성 : 설비이력관리에 의하여 중점대상 설비를 선정한다.
- (2) 설비정보 수집 : 효과적인 상태 분석을 위하여 설비특성에 대한 사전지식이 필요하다.(즉, 기계의 설계구조, 지지상태, 운전상태와 결함 발생시에 의한 반응)
- (3) 설비보전 자료수집 : 설비배치, 베어링 사양, 운전 속도 등의 자료들은 데이터베이스 구축과 데이터 분석 작업에 필수적이다. <그림 1>은 주파수의 변화에 따라 발생된 결함을 그래프로 나타낸 것이다.



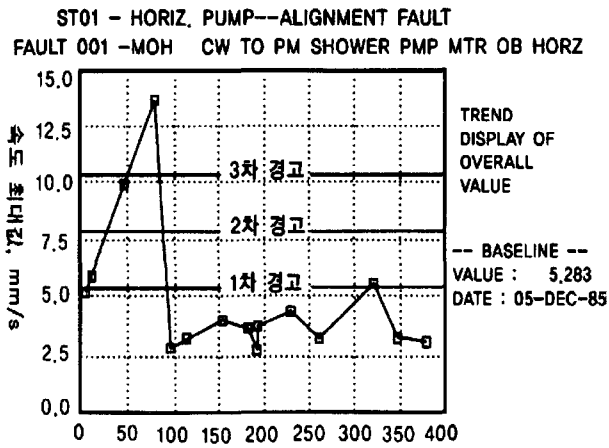
<그림 1> 베어링 초기결함의 스펙트럼 (불평형, 축정렬 불량에 의한 진동, 출처:나다S&V)

- (4) 측정경로 설계 : 측정된 데이터가 바뀌지 않도록 다음의 세 방법을 이용하여 경로를 설계한다.
 - ▷ 기계 배열을 기반으로 경로를 선택한다.
 - ▷ 기계 종류를 기준으로 경로를 선택한다.
 - ▷ 데이터를 기준으로 경로를 선택한다.
- (5) 측정포인트 설정 : 설비번호와 종류, 측정위치, 센서방향 등을 기준으로 한다. <그림 2>는 소형터빈의 경우 측정포인트를 설정한 경우의 예를 나타낸다.



<그림 2> 소형터빈 구동발전기의 측정포인트 설정 (소형터빈기어상자-구동발전기, 출처 : 나다S&V)

- (6) 기준 데이터의 설정 : 기준 데이터의 경고값 설정에 대한 정보 및 경향과 데이터베이스를 선택하기 위한 초기 데이터를 제공한다.
- (7) 데이터 수집주기의 설정 : 고장이 발생하는 평균시간, 고장으로 발생하는 손실비용, 상태감시에 소요되는 비용 등을 설정한다.
- (8) 경향관리 분석 : 설비 상태의 경향(상승 또는 하강)을 파악하기 위해 월별로 경향을 관리한다. 마모 진행정도에 따라 열화의 주의수준 및 위험수준에 근접할 경우 이 상응하는 보전조치를 한다.
- (9) 경고선 설정 : 1차(경고수준), 2차(주의수준), 3차(위험수준) 경고선을 설정한다. <그림 3>은 주기적으로 상태를 감시하여 경고선을 설정한 예를 나타낸 것이다.
- (10) 보고서 작성 : 경영진에게 정보를 제공하고 설비 개선 부위 선정 및 실시 과정을 위하여 개선 대상 설비별로 등급을 다음의 세 가지로 분류한다.
 - ▷ 열화방지형(기기의 결합개선)
 - ▷ 발생원 대책형(프로세스 고장개선)
 - ▷ 이익추구형(프로세스개선대책)이다.
 개선대상을 선정 후 개별개선유형, 개선대상 테마, 난이도, 개선 실시 부문 등을 체계화하여 개선 활동을 추진한다.



<그림 3> 기계의 주기적 상태감시(출처 : 나다S&V)

3.2 기계상태 평가기준과 운전한계값 (ISO 10816-3)

1998년 ISO 2372와 ISO 3945를 흡수하여 확대 재정한 것이 ISO 10816-3(Mechanical Vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts)이며 이 규격의 기준은 정격 운전속도 범위 내에서 정상상태

하의 베어링, 베어링 받침, 또는 기계의 하우징에서 취한 현장의 광대역 진동 측정치에 적용된다.[4] 그리고 이 기준에 나타난 베어링 진동을 평가하는 관련 규정은 아래와 같이 총 6편으로 구성되었다:

- 1편 : 일반적 지침.
- 2편 : 59MW를 초과하는 대형 육상 증기터빈 발전기세트.
- 3편 : 15kw이상의 정격출력과 120rpm에서 15,000rpm 사이의 정격속도를 가지고 있는 산업기계.
- 4편 : 항공기 추진을 제외한 가스터빈 구동세트.
- 5편 : 수력 발전 및 양수 플랜트의 기계세트.
- 6편 : 100kw 이상의 정격출력을 가지는 왕복동 기계.

그리고 이 기준을 적용할 수 있는 기계를 그룹별로 분류하면 다음과 같다:

- 그룹 1 : 대형기계(300kW-50MW), 전기기계(축높이 H=315mm 이상)
- 그룹 2 : 전기기계 (160 ≤ H ≤ 315mm), 중형기계 (13-300kW),
- 그룹 3 : 원심 및 혼류 또는 축류펌프(15kW 이상, 분리된 구동장치)
- 그룹 4 : 원심 및 혼류 또는 축류펌프(15kW 이상, 통합된 구동장치)

또한 이 기준을 적용할 수 있는 기계에 대한 지지의 분류는 강지지와 우연지지로 나누어진다:

- 강지지 : 계의 1차 고유진동수가 회전 주파수 보다 25% 이상 높은 경우
- 우연지지 : 계의 1차 고유진동수가 회전 주파수 보다 25% 미만인 경우.

<표 1> 기계상태 평가기준 및 운전 한계값(ISO 10816-3)

지지 분류	영역 경계	진동범위 ($\mu m, rms$)				진동속도 ($mm/s, rms$)			
		그룹1	그룹2	그룹3	그룹4	그룹1	그룹2	그룹3	그룹4
강 지지	A/B	29	22	18	11	2.3	1.4	2.3	1.4
	B/C	57	45	36	22	4.5	2.8	4.5	2.8
	C/D	90	71	57	36	7.1	4.5	7.1	4.5
우연 지지	A/B	45	37	28	18	3.5	2.3	3.5	2.3
	B/C	90	71	57	36	7.1	4.5	7.1	4.5
	C/D	140	113	90	56	11.0	7.1	11.0	7.1

<표 1>에 나타난 영역경계의 진동크기에 대한 규정은 다음과 같다.

- 영역 A : 양호(Good)
- 영역 B : 장시간 운전 허용(Allowable)
- 영역 C : 제한된 기간동안 운전 허용(보수 조치 필요)
- 영역 D : 허용 불가(Not permissible)
- 경고(Alarm) : 영역 B의 1.25배 정도
- 비상정지(Trip) : 영역 C의 1.25배를 넘지 말 것.

4절에서는 <표 1>의 범위 내에서 설비의 손실비용을 최소화하는 판정기준을 정하기 위하여 통계적 방법을 사용한다.

4. 설비 트러블의 통계적 방법에 의한 판정기준 설정

기계의 가동성 측면에서 정상상태와 비정상 상태의 확률밀도함수를 각각 $f_0(x; \mu_0, \sigma_0^2)$,

$f_1(x; \mu_1, \sigma_1^2)$ 라고 할 때 (여기서 $\mu_1 > \mu_0$,

$\sigma_1 = \sigma_0 = \sigma$), 판정기준설정은 측정값이 x_0 미만이면 기계운전상태는 정상분포 $f_0(x; \mu_0, \sigma_0^2)$, x_0 이상이면 비정상상태분포 $f_1(x; \mu_1, \sigma_1^2)$ 에 속한다고 판정한다. 판정기준 x_0 를 엄격하게 하면 과검출율 α 가 증가하고 과잉보전의 손실비용 C_0 가 발생한다. 판정기준 x_0 를 완화하면 간과율 β 가 증가되어, 고장 손실비용 C_1 이 발생한다. 다루는 설비의 운전상태는 정규분포를 한다고 가정하고 손실비용을 최소로 하는 판정기준 x_0 를 다음과 같이 결정한다.

<기호 설명>

- α : 제 1 종의 과오
- β : 제 2 종의 과오 ($1 - \beta$: 검출력)
- ρ : 고장이 발생하는 확률
- C_0 : α 로 인한 손실비용
- C_1 : β 로 인한 손실비용

$\overline{C}(x_0)$: 판정 기준(x_0)에 대한 총비용(total average risk)일 경우, 총비용은 식(1)과 같이 적을 수 있다.

$$\overline{C}(x_0) = \rho C_0 \int_{x_0}^{\infty} f_0(x | \mu_0) dx + (1 - \rho) C_1 \int_{-\infty}^{x_0} f_1(x | \mu_1) dx \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서

$$f_0(x_0; \mu_0, \sigma_0^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(x_0 - \mu_0)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$f_1(x_0; \mu_1, \sigma_1^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(x_0 - \mu_1)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

로서 식(2)는 정상기계의 분포, 식(3)은 비정상(이상)기계의 분포가 된다.

$\overline{C}(x_0)$ 를 최소화하기 위하여 식(1)을 x 에 관하여 미분하여 제로로 놓고 우도비(likelihood ratio)를 구하면 식(4)와 같다.

$$\frac{f_1(x_0 | \mu_1)}{f_0(x_0 | \mu_0)} = \frac{\rho C_0}{(1 - \rho) C_1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

식(2)와 (3)을 식(4)에 대입하고 x_0 에 관하여 풀면 식(5)와 같이 적을 수 있다.

$$x_0 = \frac{\mu_0 + \mu_1}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \ln \frac{\rho C_0}{(1 - \rho) C_1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

<표 1>을 활용하여 식(5)에서 구한 손실비용을 최소로 하는 x_0 를 구하는 두가지 사례를 설명하는데 우선 신규설비에 대하여 비정상 상태의 평균값 μ_1 을 모른다고 가정하는 경우를 살펴보자.

4.1 μ_1 이 알려지지 않은 경우(신규설비)

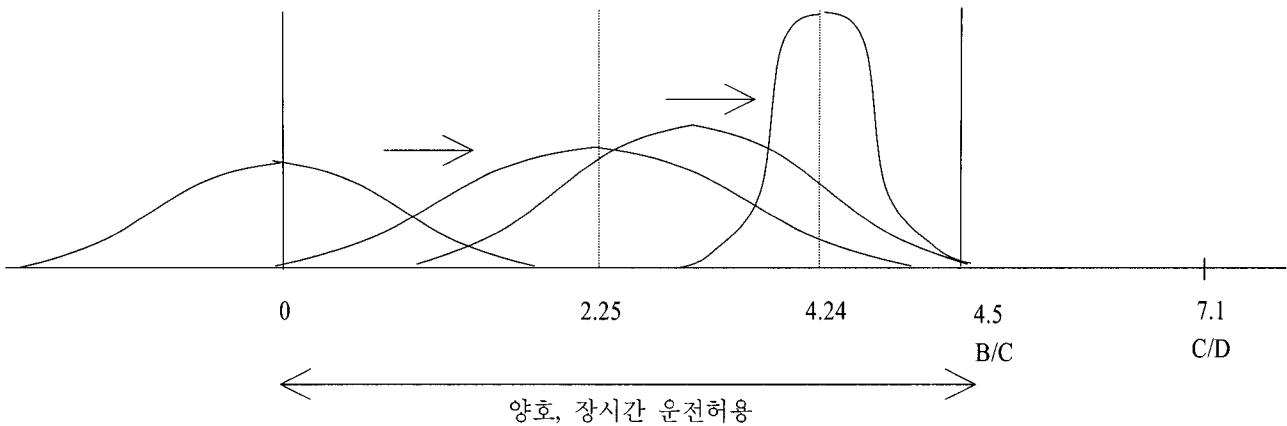
<표 1>에서 강지지와 그룹 1의 진동속도를 고려할 때 설비의 운전이 허용되는 B/C 값은 4.5이므로 이 값을 정상상태의 운전이 허용되는 상한값으로 한다.

정규분포의 성질에 따라 신규설비가 전체 운용시간 중 99%가 운전 가능할 확률을 고려하면 식(6)과 같이 적을 수 있다.

$$P[|x_0 - \mu_0| < 2.576\sigma] = 0.99 \quad \dots\dots\dots (6)$$

여기서 식(6)을 만족하는 상한값과 설비의 운전이 허용되는 B/C의 값을 같게 놓으면 식(7)과 같이 적을 수 있다.

$$\mu_0 + 2.576\sigma = 4.5 \quad \dots\dots\dots (7)$$



<그림 4> μ_1 미지의 경우 가능한 정규분포

식(7)에서 정상상태의 설비의 진동속도의 표준편차를 $\sigma=0.1$ 로 할 때 $\mu_0=4.2424$ 로 계산된다. 즉, 이 값은 μ_1 이 알려지지 않은 경우의 정상상태의 신규설비의 정규분포의 표준편차가 $\sigma=0.1$ 일 때 평균값은 최소 0부터 최대 4.24까지 취할 수 있음을 의미한다.<그림 4>참고) 또한, 신규설비의 진동속도가 정규분포를 하므로 하한이 0이고 상한이 4.5인 가장 넓은 폭을 갖는 정규분포의 평균값은 $\mu_0 = (0 + 4.5) / 2 = 2.25$ 가 된다. 이 값을 식(7)에 대입하여 풀면 표준편차의 가능한 최대값은 $\sigma=0.8734$ 가 된다.

즉, $\mu_0 = 2.25$ 일 때 표준편차는 앞에서 설정한 최소 0.1부터 최대 0.8734까지 값을 취할 수 있다. 그러므로 신규설비의 강지지와 그림 1의 진동속도에 대한 평균 μ_0 의 범위는 0 에서 4.24까지, 표준편차 σ 의 범위는 0.1에서 0.873까지로 정한다. 정규분포의 평균값이 취할 수 있는 가능한 범위와 정규분포의 크기의 변화가 그림 1에 나타나 있다. 여기서 $x_i \sim N(\mu_0, \sigma^2)$ 이므로 <표 2>에 나타난 μ_0 와 σ 의 값에 따라 SAS(Statistical Analysis System)의 프로그래밍 기법[2, 6]을 활용하여 정규확률변

수들의 난수발생함수인 RANNOR를 써서 2,000개의 정규확률변수 x_i 를 발생시킨 다음 평균값 \bar{x} 와 표준편차 s 를 계산한다. 표준정규확률분포의 성질로부터

$$\frac{x_0 - \mu_0}{\sigma} = 1.96 \dots\dots\dots (8)$$

이므로 x_0 에 관하여 풀고 μ_0 와 σ 의 불편추정량인 \bar{x} 와 s 의 계산값을 대입하면 μ_1 이 알려지지 않은 경우의 신규설비의 판정기준 x_0 는 식(9)로부터 구할 수 있고, 계산결과를 <표 2>에 진동속도의 유효숫자를 소수 넷째자리까지로 반올림하여 나타내었다.

$$\begin{aligned} x_0 &= \mu_0 + 1.96\sigma \\ &= \bar{x} + 1.96s \end{aligned} \dots\dots\dots (9)$$

예를 들어, 신규설비의 운행중 관측된 진동속도의 자료들의 평균값 μ_0 의 추정값 \bar{x} 가 2이고, 표준편차 σ 의 추정값 s 가 0.5 일 때 손실비용을 최소화하는 진동속도는 <표 2>로부터 $x_0 = 2.9854$ mm/s으로 결정할 수 있다.

<표 2> 시뮬레이션 결과 μ_0 와 σ 에 대한 x_0 값

$\mu_0 \backslash \sigma$	0.1	0.3	0.5	0.7	0.873
0	0.1958	0.5980	0.9766	1.3966	1.6900
1	1.1932	1.6031	1.9929	2.3561	2.7238
2	2.1912	2.5676	2.9854	3.3113	3.7868
3	3.1979	3.5944	3.9789	4.2937	4.5000
4	4.1996	4.5000	4.5000	4.5000	4.5000
4.24	4.4378	4.5000	4.5000	4.5000	4.5000

4.2 과거 자료에 의해 고장값이 $4.5 \leq \mu_1 \leq 7.1$ 범위에 있다고 추정될 경우

<표 1>에서 강지지와 그룹 1의 진동속도에서 B/C 값이 4.5이므로 이값을 비정상상태의 운전이 허용되는 하한값으로 한다. 식(6)을 만족하는 하한값과 설비의 운전이 허용되는 B/C의 값을 같게 놓으면 식(10)과 같이 적을 수 있다.

$$\mu_1 - 2.576\sigma = 4.5 \dots\dots\dots (10)$$

식(10)에서 비정상상태의 진동속도의 표준편차를 $\sigma = 0.1$ 로 할 때 $\mu_1 = 4.7576$ 으로 계산된다. <표 1>에서 강지지와 그룹 1의 진동속도에서 제한된 운전이 허용되는 C/D 값이 7.1 이므로 하한값 4.5와 상한값 7.1을 갖는 가장 넓은 폭을 갖는 정규분포의 평균값은 $\mu_1 = (4.5 + 7.1) = 5.8$ 이 된다.<그림 5> 참고) 즉, 표준편차가 $\sigma = 0.1$ 일때 비정상상태의 설비의 평균값은 최소 4.76부터 최대 5.8까지 가질 수 있다.

또한 $\mu_1 = 5.8$ 을 식(10)에 대입하여 σ 에 대하여 풀면 $\sigma = 0.5047$ 이 된다. 따라서 $\mu_1 = 5.8$ 일 때 표준편차의 최소값은 0.1부터 최대값 0.5까지 취할 수 있다. 그리고 고장이 발생하는 확률 ρ 의 범위는 $0 \leq \rho \leq 1$ 를 취하므로 시뮬레이션을 위하여 ρ 를 0.1부터 0.9까지 0.1씩 증가시킨다. 즉, $\rho = \{0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9\}$ 로 설정한다.

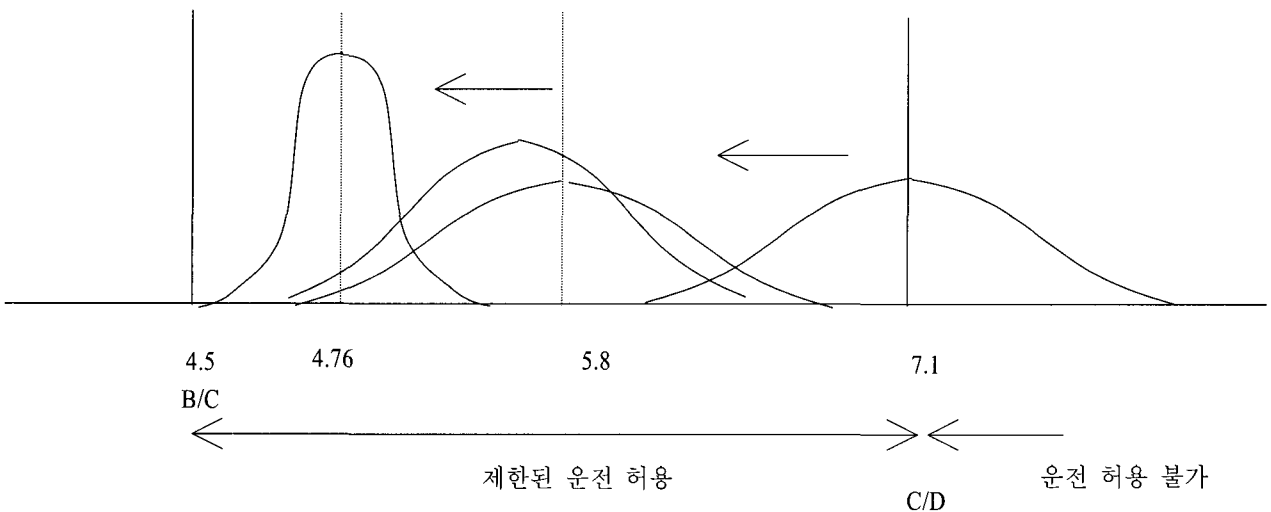
그리고 과잉보전에 대한 손실비용 C_0 과 고장에 대한 손실비용 C_1 범위도 각각 $0 < C_0, C_1 < \infty$ 이므로 시뮬

레이션을 위해 $C_0/C_1 = \{0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10\}$ 의 범위로 설정한다. 정상상태의 설비의 진동속도 x_i 와 비정상상태의 설비의 진동속도 y_i 가 각각 정규분포를 따르므로 즉, $x_i \sim N(\mu_0, \sigma^2)$, $y_i \sim N(\mu_1, \sigma^2)$ 이므로, 위에서 계산된 μ_0, μ_1, σ 의 값에 따라 SAS의 RANNOR를 이용하여 x_i 와 y_i 의 난수를 각각 2,000개씩 발생시켜서 평균값 \bar{x} 과 \bar{y} 와 분산 s^2 을 계산한다. 판정기준 x_0 를 계산하기 위하여 식(5)의 μ_0, μ_1, σ 대신에 시뮬레이션의 결과로부터 계산된 불편추정량 \bar{x}, \bar{y}, s^2 의 추정값을 각각 대입하면 식(11)의 손실비용을 최소화하는 x_0 를 구할 수 있다.

$$x_0 = \frac{\mu_0 + \mu_1}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \ln \frac{\rho C_0}{(1 - \rho) C_1} \quad (11)$$

$$= \frac{\bar{x} + \bar{y}}{2} + \frac{s^2}{\bar{y} - \bar{x}} \ln \frac{\rho C_0}{(1 - \rho) C_1}$$

시뮬레이션으로부터 계산된 결과를 <표 3>에 정리하였다. 예를 들어 <표 3>으로부터 강지지에서 그룹 1에 속하는 설비의 경우 기계진동을 모니터링하며 축적된 자료의 계산결과, 만약 정상상태에서 진동속도 μ_0 의 추정값이 2.0이고, 비정상상태에서 진동속도 μ_1 의 추정값이 5.0이고, 계산된 표준편차 σ 의 추정값이 0.1인 경우 설비비용을 최소화하는 판정기준 x_0 의 범위는 3.4859 - 3.5183 사이에서 결정할 수 있다.



<그림 5> $4.5 \leq \mu_1 \leq 7.1$ 의 경우 정규분포

<표 3> 시뮬레이션 결과 μ_0, μ_1, σ 에 대한 x_0 값

μ_0	σ	μ_1			
		4.76	5.0	5.5	5.8
0	0.1	2.3688- 2.3888	2.4910- 2.5083	2.7416- 2.7583	2.8940- 2.9106
	0.3	2.2935- 2.4548	2.4164- 2.5778	2.6720- 2.8234	2.8331- 2.9692
	0.5	2.1322- 2.6327	2.2939- 2.7253	2.5509- 2.9608	2.7132- -3.1060
1.0	0.1	2.8665- 2.8906	2.9908- 3.0118	3.2408- 3.2611	3.3907- 3.4099
	0.3	2.7744- 2.8945	2.9027- 3.0988	3.1612- 3.3298	3.3215- 3.4818
	0.5	2.5746- 3.1939	2.7224- 3.2739	3.006- 3.5136	3.1563- 3.6338
2.0	0.1	3.3668- 3.3977	3.4859- 3.5183	3.7375- 3.7637	3.8878- 3.9120
	0.3	3.2341- 3.5332	3.664- 3.6342	3.6410- 3.8728	3.7972- 4.0084
	0.5	2.9812- 3.8085	3.1187- 3.8652	3.4158- 4.0597	3.5970- 4.2117
3.0	0.1	3.8546- 3.9061	3.9765- 4.0216	4.2309- 4.2685	4.3870- 4.4192
	0.3	3.6347- 4.1284	3.7934- 4.2076	4.0796- 4.4051	4.2547- 4.5000
	0.5	3.2313- 4.5000	3.4527- 4.5000	3.7837- 4.5000	3.9920- 4.5000
4.0	0.1	4.3205- 4.4396	4.5641- 4.5000	4.5000- 4.5000	4.5000- 4.5000
	0.3	3.8340- 4.5000	4.0883- 4.5000	4.4839- 4.5000	4.5000- 4.5000
	0.5	2.9426- 4.5000	3.4065- 4.5000	4.0062- 4.5000	4.2764- 4.5000
4.24	0.1	4.4147- 4.5000	4.5000- 4.5000	4.5000- 4.5000	4.5000- 4.5000
	0.3	3.7513- 4.5000	4.1064- 4.5000	4.5000- 4.5000	4.5000- 4.5000
	0.5	2.4381- 4.5000	3.2011- 4.5000	3.9547- 4.5000	4.2981- 4.5000

5. 결 론

근래 설비진단 기술 분야에 대한 장비운영과 기술력이 이젠 외국 의존도에서 점차 탈피하여 우리나라도 국내 전문 진단기술 개발에 의한 설비진단과 관련된 다양한 정밀기기가 판매되고 컨설팅이 이루어지고 있다. 설비의 상태(마모, 열화 등)는 사용 환경에 따라 다양하여 가동 중에 언제 고장이 발생하는가에 대하여 정확히 예

측하기가 어렵다. 그리고 기계의 종류, 설치조건, 운전상태에 다양하기 때문에 기계 상태의 평가에 대한 절대적인 표준은 없으며 수명예측을 위한 데이터를 체계적으로 수집하고 분석하는 일은 쉽지 않다는 것이 현실이다. 설비에 트러블이 발생될 경우 이를 즉시 해결하기 위해 설비를 사용하는 기업에서 상시 진단기기를 운영하는 것은 경제적, 기술적으로 많은 어려움을 안고 있다. 본 연구는 설비진단을 추진할 수 있는 한 방안으로

ISO 10816-3에서 제시한 기계 상태 평가기준 및 운전 한계값을 이용하여 각 진동속도의 분류표를 근간으로 난수(random numbers) 발생을 이용한 시뮬레이션으로 통계적 판정기준의 범위를 설정하는 방안을 다루었다. 생산보전활동(TPM)분야에서 진단기술 적용시 진단기기의 활용과 함께 본 연구에서 제시한 바와 같은 통계적 판정기준의 접근방법을 활용할 경우 설비보전기능을 강화시킬 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Baldin, A., "Condition based maintenance : A powerful tool for modern plant management", *Terotechnica* 1, pp. 119-129, 1979.
- [2] Cody, R. P. and Smith, J. K. *Applied Statistics and the SAS Programming Language*, 4th ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey, U.S.A, 1997.
- [3] Geraerds, W. M. J., "The cost of downtime for maintenance : Preliminary Consideration", *Maintenance Management International*, Vol. 5, pp. 13-21, 1985.
- [4] ISO 10816-3, First edition, 1995.
- [5] Kelly, A., *Maintenance Planning and Control*, Butterworths, London, 1984a.
- [6] *Statistical Analysis System, SAS/IML Software Release 8.02*, Cary, North Carolina : SAS Institute Inc, 2004.
- [7] 김민호, *Vibration 119*, (주)나다S&V 2001. 10.
- [8] 나상윤, "능동적 설비보전", *대한민국설비기술 컨퍼런스 및 한국설비보전공학회 학술대회*, pp. 309-335, 2002. 6.
- [9] 유대경, "설비진단기술을 이용한 예지보전의 활성화", *한국설비보전공학회*, 제4권 제1호, pp. 211-219, 1999.
- [10] 정영득, "설비상태정보를 통한 전문가시스템 구현방법 연구", *대한설비관리학회*, 제6권 제3호, pp. 53-62, 2001.
- [11] 한상인, 장중순, "인터넷 기반의 설비 모니터링 및 제어 시스템 개발", *대한설비관리학회*, 제6권, 제3호, pp. 73-83, 2001.
- [12] 허정준, "베이지안 접근법을 이용한 시스템 변화의 탐지 및 인식", *대한설비관리학회*, 제6권, 제2호, pp. 5-14, 2001.
- [13] 허정준, "신경망을 이용한 설비상태의 감시", *대한설비관리학회*, 제6권, 제2호, pp. 69-78, 2001.