

계량치 신호인자의 SN비의 비교와 평가

- Comparing and Evaluation for Signal-Noise Ratio of the Quantitative Signal Factors -

박 상 민*
Park Sang Min

Abstract

This study concerns with the comparing and evaluation for Signal - Noise Ratio of the quantitative signal factors in the measurement devices for developing efficiency for product system. On the basis of this conditions and purpose, this study presents a general procedure for deriving the Signal - Noise Ratio, confidence intervals and significant testing for the measurement devices.

1. 서론

생산활동은 기업의 생산성을 높이고 품질을 유지, 향상시키며 원가절감의 노력을 병행하여야 한다. 특히 생산시스템을 구성하는 생산요소중 설비는 규모가 커지고 자동화 됨에 따라 생산성, 품질, 원가, 납기, 안전 및 작업의욕에 중요한 역할을 하는 생산주체이다. 이러한 관점에서 설비보전의 목적은 설비를 가장 효율적으로 활용함으로써 생산성을 높이고 품질을 유지, 향상시키며 원가를 절감하는데 있다. 그러나 설비의 열화는 생산성, 품질, 원가 및 납기에 부정적으로 작용한다. 따라서 설비의 열화를 억제하고 정상상태를 유지, 확보하기 위한 방안을 강구하여야 한다. 본연구는 시스템 또는 설비 및 장비의 열화상태를 측정하는 측정기의 측정치에 대한 데이터를 신호- 잡음비로 나타내어 이를 정량적으로 비교하고 평가하여 최적의 설비보전 시기를 결정함으로써 설비효율의 향상 대안을 찾는 데 목적이 있다.

즉, 본 연구에서는 SN비를 척도로 하여 시스템등의 상태를 측정하는 측정기와 측정방법의 우열을 비교하고 정량적으로 데이터를 취하는 방법과 계산방법을 제시하므로써 설비효율의 향상 대안의 기초를 제시하고자 한다.

* 인천대학교 산업공학과

† 본 연구는 '95년도 인천대학교 연구비 지원에 의해 수행되었음.

2. 계측기 관리와 인자의 분류

2.1 계측기 관리

일반적으로 계측기 관리는 제품, 원료 및 중간검사 등 시험검사에 사용되는 검사계측 및 시험장비에 대한 정밀도 유지, 정비 및 검교정하는 것을 목적으로 한다. 그러나, 계측기는 단순히 검사뿐만 아니라 공정관리, 자동공정제어등에 광범위하게 사용되므로 최근 직접제조설비인 기계·장치이상으로 중요성을 갖고 있다. 계측기의 고장, 성능의 저하는 제품의 품질 및 생산성에 큰 영향을 줄 수 있으므로 이들이 항상 필요한 정밀도를 유지하고 정확하게 작동하며 그 성능을 발휘할 수 있도록 관리하여야 한다. 설비는 가동중에 여러 신호를 발신하고 있으며 어떤 이상상태가 발생하면 그에 해당하는 신호를 발신하게 된다. 이러한 신호는 첫째, 설비상태의 열화의 결과로 나타나는 동적상태의 변화를 나타내는 신호로 전류, 전압, 회전력, 회전수등 기능에 직접 관계하는 신호와 진동, 소리, 온도등 기능에 직접 관계하지 않는 부차적인 신호로 분류되는 기계적 신호와 둘째, 전류, 전압, 자속밀도와 부분방전, 투자율등 전기, 자기적신호 그리고 셋째, 설비의 열화과정에서 생성되는 물질로 마모분, 윤활유, 기체등의 화학물질에 의한 신호로 화학적 신호의 3가지 영역으로 분류할 수 있다. 이러한 신호에 대하여 각각의 적합한 검출방법이 있으며 계측기 진단은 이와 같이 계측기에서 발생하는 여러신호를 검출하고 측정하는 것으로 출발한다.

2.2 신호인자, 제어인자 및 잡음인자

신호인자는 물적특성의 실험에서 나타나는 인자로 주어진 목표를 달성하기 위하여 신호의 형태로 취급되는 모수인자이다. 이 인자는 목표를 달성할 수 있도록 조정하는 기능을 가진 인자로서 조정인자라고도 한다. 신호인자는 수준의 제어가 가능한 인자이며, 산포를 관리하기 위한 수준선택에는 사용하지 않고 평균치를 조정하여 목표에 근접시키는 것이 목적인 인자이다. 제어인자는 최적의 설계조건 또는 최적의 공정조건을 찾기위하여 사용되는 인자로 온도, 압력, 시간, 작업방법등과 같이 공업실험에서 가장 관심이 많은 모수인자이다. 이 인자의 수순은 조정이 용이하고 재현성이 있고 기술적인 의미를 갖고 있으며 일반적으로 수준선택은 고유기술적인 측면을 고려하여 선택하는 인자로서 설계인자라고도 한다. 잡음인자는 특성치에 영향을 주고 있는 요인이나 그 요인의 상태를 파악할 수 없는 것으로 각종의 잡음이나, 이유를 알 수 없으나 품질산포에 영향을 주는 것은 한데 묶어 잡음인자 또는 오차인자라고 한다.

3. 수리모형

3.1 신호-잡음비

물리시험이나 화학분석등에서 이들의 측정치에 오차가 있는 경우나 관능검사, 성분추출, 정보전달 등에 오류가 있는 경우에 이를 개선하기 위하여 제안하는 여러방법의 우열을 정량적으로 비교하는 경우에 SN비를 사용 할 수 있다. 여기에서 제안하는 여러방법의 우열의 평가치는 측정치의 종류에 무관하므로 비교하려는 방법의 특성치가 동일차원이나 동일단위가 아니어도 된다. 일반적으로 통신공학의 분야에서와 같이 Signal(신호) 對 Noise(잡음)의 두문자를 사용하여 비

교하는데 SN비로 약칭하여 사용한다. 즉, 기능적 특성치를 취급하는 경우 Figure 1.과 같이 신호입력과 잡음이 시스템의 산출물에 어느정도의 영향을 주는가를 조사한다. 이 경우 목적을 수행하기 위하여 전달된 신호입력이 산출물의 수준에 영향을 주며, 시스템에 가해지는 잡음이 산출물의 결과에 변동을 주게되어 특성을 저하시키게 된다.

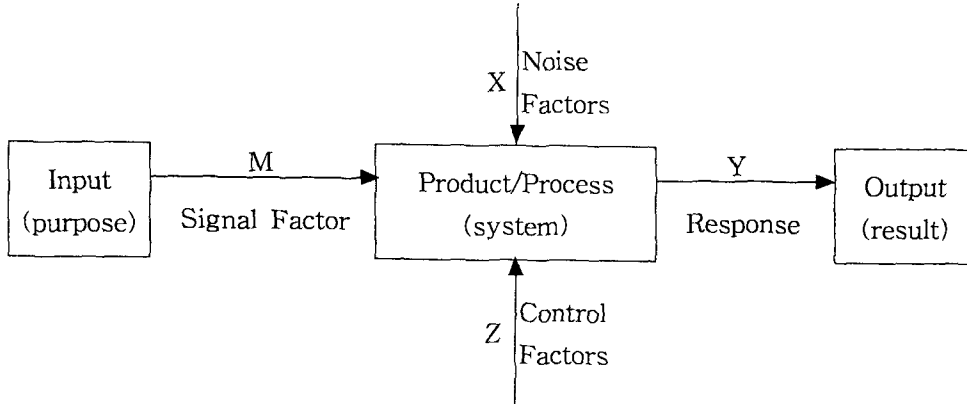


Figure 1. Block Diagram of a product/process

신호-잡음비를 적용하는 시스템의 양·부를 비교하는 데는 다음과 같이 신호입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비로 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 \text{SN비}(\eta) &= \frac{\text{신호입력이 산출물에 전달된 힘}}{\text{잡음이 산출물에 전달된 힘}} \\
 &= \frac{\text{Power of Signal}}{\text{Power of Noise}} \quad \text{----- (1)}
 \end{aligned}$$

측정치나 시험데이터에 치우침이 없는 경우, 예를 들어서, 신호인자의 수준치의 총개수M을 추정하는 경우에 수준치 몇 개의 평균에 중량을 구하여, 이 값으로 전체의 중량에 할당하여 계산하여서, 총개수 M을 추정하여 결과치가 0일 경우 목표치는 0이 된다. 이 경우에는 치우침이 없는 것으로 한다.

측정방법 A_1, A_2, \dots, A_i 를 제어인자, 재료 M_1, M_2, \dots, M_k 를 신호이자, r_0 인의 측정자를 잡음인자(오차인자)로하여 1회씩 측정한 데이터가 Table 1.과 같다.

Table 1. Data of A_i

A_i	M_1	M_2	.....	M_k	Total
R_1	Y_{11}	Y_{21}	.....	Y_{k1}	
R_2	Y_{12}	Y_{22}	.....	Y_{k2}	
.	
.	
.	
R_{r_0}	Y_{1r_0}	Y_{2r_0}	.....	Y_{kr_0}	
Total	Y_1	Y_2	.....	Y_k	T

Table 1의 kr_0 개의 데이터로부터 M 수준의 합계 Y_i 와 전체의 합계 T 를 구한다.
 여기에서 전변동 S_T 와 신호에 의한 변동 S_M , 오차변동 S_e 를 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$S_T = y_{11}^2 + y_{12}^2 + \dots + y_{kr_0}^2 - \frac{T^2}{kr_0} \quad (\phi = kr_0 - 1) \quad \text{-----}(2)$$

$$S_M = \frac{1}{r_0} \left(\sum_1^k y_i^2 \right) - \frac{T^2}{kr_0} \quad (\phi = k - 1) \quad \text{-----}(3)$$

$$S_e = S_T - S_M \quad (\phi = k(r_0 - 1)) \quad \text{-----(4)}$$

또한, 분산분석표는 Table 2. 와 같이 작성할수 있으며,
 SN비 η 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\eta(A_i) = \frac{\frac{1}{r_0} (V_M - V_e)}{V_e} \quad \text{-----}(5)$$

Table 2. ANOVA TABLE

Factor	ϕ	S	V	E(V)
signal M	$k-1$	S_M	V_M	$\sigma^2 + r_0 \sigma_m^2$
Error e	$k(r_0-1)$	S_e	V_e	σ^2
Total	kr_0-1	S_T		

따라서 A_1, A_2, \dots, A_i 의 전체에 대하여 SN비 $\eta(A_i)$ 를 구하고 이로부터 db단위로 한다음 서로 비교하면 된다.

3.2 SN비의 신뢰한계

SN비의 신뢰한계를 구하고 유의차 검정을 하는 경우 다음과 같다.
SN비의 신뢰도 $1-\alpha$ 신뢰한계는

$$\phi_1 = (k-1)F_0^2 \quad \dots(6)$$

$$\phi_2 = k(r_0-1) \quad \dots(7)$$

$$F_0 = \frac{V_M}{V_e} \quad \dots(8)$$

$$\frac{1}{r} \left\{ \frac{F_0}{F(\phi_1, \phi_2; \frac{\alpha}{2})} - 1 \right\} \leq \eta \leq \frac{1}{r} \left\{ F_0 \times F(\phi_1, \phi_2; \frac{\alpha}{2}) - 1 \right\} \quad \dots(9)$$

단, $r =$ 유효반복수

여기에서 식 (9)의 { }의 값이 (-)가 되는 경우는 0으로 한다.

또한, 식 (9)의 하한과 상한은 db로 나타내면 식 (5)에서 구한 SN비의 db값과의 차를 구하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_{-\epsilon_1}^{-\epsilon_2} \quad (\text{db}) \dots(10)$$

여기에서 제어인자의 2수준을 A_1, A_2 로 가정하여 식 (10)로부터 신뢰한계를 구하면

$$A_1 \quad \eta_{+\epsilon_1}^{-\epsilon_1} \quad \dots(11)$$

$$A_2 \quad \eta_{+\epsilon_2}^{-\epsilon_2} \quad \dots(12)$$

A_1 과 A_2 사이의 유의차 여부는 $\eta_2 > \eta_1$ 인 경우

$$\text{수준차 } d = \eta_2 - \eta_1 \quad \dots(13)$$

$$\text{가 판정한계} = \sqrt{(\epsilon_1)^2 + (-\epsilon_2)^2} \quad \dots(14)$$

보다 적게 되면 유의차가 없는 것으로 하고 같거나 크면 유의차가 있는 것으로 한다.

따라서 n개의 측정치의 평균 y_0 가 구해지는 경우, 이에 대한 참값 M의 추정치 x_0 와 신뢰한계는 다음과 같이 구한다.

$$x_0 = \frac{y_0}{\wedge M} \pm \sqrt{F(1, k-1; \frac{\alpha}{2}) \times V_e \times \left\{ \frac{1}{r} \left(\frac{y_0}{\wedge M} \right)^2 + \frac{1}{n} \right\} \left(\frac{1}{\wedge M} \right)^2} \quad \dots(15)$$

$$\text{단, } r = \sum_{i=1}^k M_i^2$$

$$\wedge M = \frac{M_1 y_1 + \dots + M_k y_k}{r}$$

4. 적용예

특성치 정도가 중요한 설비의 산출물인 제품의 경도를 측정하기 위한 두 개의 경도계 A1과 A2를 대상으로 SN비를 적용하여 비교평가하기로 한다.

본 연구의 적용예에서는 측정치가 제량치이고 신호인자의 참값이 불명인 경우로 다음과 같이 조건을 가정한다.

제어인자 : 경도계 A : $A_1 =$ V형 경도계

$A_2 =$ U형 경도계

신호인자 : 재 료 B : $M_1 = \text{FCD55}$

$M_2 = \text{FC20}$

$M_3 = \text{SK4}$

잡음인자 : 측정자 R : R_1, R_2

각 측정자가 각 경도계로 재료별로 3회씩 측정한 데이터는 다음의 Table 3과 같다.

Table 3. Quantitative Data of Hardness

		M_1			M_2			M_3		
A_1	R_1	168	182	190	165	175	205	125	135	133
	R_2	190	212	192	130	158	170	125	148	163
A_2	R_1	225	221	221	170	183	192	152	170	160
	R_2	208	208	221	178	193	181	159	170	170

Table 4. Transformed Data of A_1

	M_1			M_2			M_3			Total
R_1	-2	12	20	-5	5	35	-45	-35	-37	-52
R_2	20	42	22	-40	-12	0	-45	-22	-7	-42
Total	114			-17			-191			-94

Table 5. Transformed Data of A_2

	M_1			M_2			M_3			Total
R_1	55	51	51	0	13	22	-18	0	-10	164
R_2	38	38	51	8	23	11	-11	0	0	158
Total	284			77			-39			322

제어인자의 수준에 따라 식 (2) ~ 식 (5)에서 SN비를 계산한다.

4.1 A_1 의 SN비

$$S_T = (-2)^2 + \dots + (-7)^2 - CF = 12,901 \quad (\phi = 17)$$

$$CF = \frac{(-94)^2}{18} = 491$$

$$S_M = \frac{(114)^2 + (-17)^2 + (-191)^2}{6} - CF = 7,803 \quad (\phi = 2)$$

$$S_e = S_T - S_M = 5,098 \quad (\phi = 15)$$

분산분석표는 다음과 같다.

Table 6. ANOVA TABLE of A_1

Factor	ϕ	S	V	E(V)
M	2	7803	3902	$\sigma^2 + 6 \sigma_M^2$
e	15	5098	340	σ^2
T	17	12901		

SN비 $\eta(A_1)$ 는

$$\eta(A_1) = \frac{\frac{1}{6}(V_M - V_e)}{V_e} = 1.75$$

따라서 $\eta = 1.75$ 인 경우에는

$$10 \log_{10} \eta_1 = 2.4 \text{ db}$$

4.2 A_1 의 SN비

4.1과 같은 방법으로

$$S_T = 9868 \quad (\phi = 17)$$

$$S_M = 8924 \quad (\phi = 2)$$

$$S_e = 944 \quad (\phi = 15)$$

Table 7. ANOVA TABLE of A_1

Factor	ϕ	S	V	E(V)
M	2	8924	4462	$\sigma^2 + 6 \sigma_M^2$
e	15	944	63	σ^2
T	17	9868		

$$\eta(A_1) = \frac{\frac{1}{6}(V_M - V_e)}{V_e} = 11.66$$

$$\text{로부터 } 10 \log_{10} \eta_1 = 10.7 \text{ db}$$

따라서, A_1 과 A_1 의 SN비는 다음 Table 8.과 같다.

Table 8. SN Ratio of A_1 and A_2

	SN Ratio	db	Payoff
A_1	1.75	2.4	basis
A_2	11.66	10.7	+ 8.3

A_2 정도계가 A_1 정도계보다 8.3db의 유리하다고 가정된다.

4.3 A_1 의 SN비의 신뢰한계

식 (6) ~ 식 (9)에서 계산한다.

$$F_0 = \frac{V_M}{V_e} = \frac{3902}{340} = 11.48$$

$$\phi_1 \times F_0^2 = 2 \times 11.48^2 = 264$$

$$\phi_2 = 15$$

$$r = 6$$

$$F(264, 15; 0.025) = 2.43$$

$$F(15, 264; 0.025) = 1.89$$

$$\frac{1}{6} \left(\frac{11.48}{2.43} - 1 \right) \leq \eta \leq \frac{1}{6} (11.48 \times 1.89 - 1)$$

$$0.62 \leq \eta \leq 3.43$$

$$-2.1db \leq \eta \leq 5.4db$$

4.4 A_2 의 SN비의 신뢰한계

4.3과 같은 방법으로

$$F_0 = 70.94$$

$$\phi_1 \times F_0^2 = 2 \times 70.94^2 = 10065$$

$$\phi_2 = 15$$

$$r = 6$$

$$F(10065, 15; 0.025) = 2.4$$

$$F(15, 10065; 0.025) = 1.83$$

$$\frac{1}{6} \left(\frac{70.94}{2.4} - 1 \right) \leq \eta \leq \frac{1}{6} (70.94 \times 1.83 - 1)$$

$$4.76 \leq \eta \leq 21.47$$

$$6.8db \leq \eta \leq 13.3db$$

따라서 다음의 결과가 구해진다.

$$A_1 \quad 2.4 \begin{matrix} -4.5 \\ +3.0 \end{matrix} db$$

$$A_2 \quad 10.7 \begin{matrix} -3.9 \\ +2.6 \end{matrix} db$$

따라서, A_1 과 A_2 간의 유의차는 A_1 에 (+), A_2 에 (-)의 신뢰한계의 폭의 자승의 평방근과 A_1 과 A_2 차를 비교하면

$$\sqrt{(3.2)^2 + (-3.9)^2} = 5.0$$

이 차이보다 A_1 과 A_2 의 차가 크므로 A_1 과 A_2 의 차에 유의차가 있다고 할 수 있다.

5. 결 론

생산활동은 투입과 산출 그리고 변환과정으로 구성되는 생산적 시스템이다. 생산적 시스템을 구성하는 요소중 설비는 생산성, 품질, 원가 등 산출에 중요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 시스템 또는 설비 및 장비의 열화상태로 인한 기능의 열성을 측정하는 측정기의 측정치를 신호-잡음비로 나타내어 이를 정량적으로 비교하고 평가하여 최적의 설비 보전을 기대함으로써 설비효율의 향상대안을 추구하고자 하였다. 즉, 본 연구에서는 SN비를 척도로 하여 시스템 등의 상태를 측정하는 측정기와 측정방법의 우열을 비교함으로써 정량적으로 데이터를 취하는 방법과 계산방법을 제시하였다. 본 연구의 수행에 있어서 측정치의 오차가 있는 경우 이를 개선하기 위한 여러방법의 우열을 정량적으로 비교, 평가하기 위하여 측정방법 및 측정기, 검사 및 분류방법의 우열의 비교와 오동작 정도의 비교, SN비의 신뢰한계와 유의차 검정을 실시하였다.

참 고 문 헌

1. Box, G. E. P., "Signal to Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations" Technometrics, Vol. 30, 1988
2. Cochran, W. G. and G. M. Cox, Experimental Design, N. Y. John Wiley and Sons, 1957
3. Phadke.M. S., Quality Engineering Using Robust Design, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J, 1989
4. _____, and K. Dehnad, "Optimization of Product and Process Design for Quality and Cost ", Quality and Reliability Engineering International 4, 1988
5. Plackett, R. L. and J. P. Burman, "The Design of Optimal Multifactorial Experiments ", Biometrika, Vol. 33
6. Sullivan, L. P. " Reducing Variability : A New Approach to Quality ", Quality Progress, 1984
7. Taguchi, G. and M. S. Phadke, " Quality Engineering Design Optimization ", in Proceedings of GLOBECOM 84 Meeting, IEEE Communication Society, Atlanta, Ga. 1984