

안전 및 환경성능평가를 위한 관리도에 관한 연구

- A Study on Control Charts for Safety and Environmental Performance Evaluation -

최 성 운 *

Choi Sung Woon

Abstract

This paper deals with an efficient and effective method on measuring, monitoring and evaluating safety and environmental performances of a process using SPC control charts. We propose 7 safety control charts as a tool to monitor hazard dendritics, and we propose 15 environment control charts to monitor pollution emissions. We also propose useful guidelines that SPC(Statistical Process Control) control charts can be used for safely and environmental monitoring.

Keyword : Control Charts, Safety Monitoring, Environmental Monitoring

1. 서 론

예측리스크 분석은 시스템 평가와 시스템 안전에 관련된 가장 유용하고 의미 있는 정보를 제공해주는 도구이다. 시스템 안전에 대한 예측 접근방법에서 사용되는 주요 기법으로는 워크샘플링과 관리도등이 있다. 최근 관심의 대상이 되고 있는 CHTFPM (Continuous Hazard Tracking and Failure Prediction Methodology) 은 안전의 파악, 분석, 관리 등 3단계 활동에 대한 계획되고 체계적으로 조직된 허용 안전 수준이 유지되도록, 로스가 발생하기 전 재해가 될 수 있는 조건을 파악, 평가하는 데 주로 사용된다.

재해는 사고, 시스템오류, 바람직하지 않은 리스크 조건의 결과가 될 수 있다. 이 경우 안전시스템의 특성을 고려한 적절한 관리도를 사용할 경우 재해를 사전에 예방할 수 있는 효과가 나타난다. 관리도에서 이상 (Out of Control)으로 판정될 경우 재해를 일으킬 수 있는 잠재 조건이 탐지된 즉시 시정예방조치가 취해지게 되어 요구되는 시

* 경원대학교 산업공학과 교수

시스템의 안전상태를 사전에 지속적으로 유지할 수 있다. [11] 그러나 안전성능 평가기준은 재해에 끼치는 영향의 정도에 따라 다양한 유형으로 분류될 수 있으므로 이런 다양한 재해유형의 중요도에 따른 효율적이고 효과적인 관리도의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 서로 다른 다양한 안전성능 평가 기준을 갖는 안전시스템에서 하나의 관리도로 연속해서 작성, 모니터링하고 재해의 잠재요인을 사전에 개선할 수 있는 Demerit 관리도와 안정화 관리도를 제시하였다,

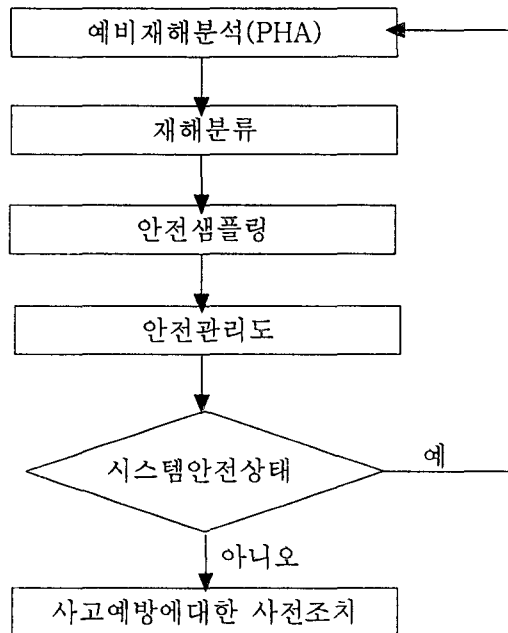
최근 OECD, WTO를 중심으로 환경과 관련된 그린라운드(GR)를 추진 중에 있으며 지구온난화를 유발시키는 CO₂ 배출을 줄이기 위한 국제협약이 이미 채택되어 국내 산업에도 큰 부담으로 작용하고 있다. 환경위기는 일단 발생하면 복구에 엄청난 비용과 시간이 소모되므로 지속적인 환경 모니터링을 통해 사전에 잠재요인을 근본적으로 제거하여 지속적인 개선을 취할 수 있는 선행 대책이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 황산화물(SOX), 질소산화물(NOX), 일산화탄소(CO), 이황화탄소(CS₂), 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃)등 배출규제 대상 오염물질 등의 서로 다른 다양한 환경성능평가 기준을 효율적이고 효과적으로 평가하기 위한 DNOM(Deviations from Nominal)관리도와 표준화 관리도를 제시하였다.

본 연구는 크게 두 가지 분야 즉 안전과 환경의 성능평가를 위한 관리도 개발에 있으며 주요 연구내용은 다음과 같다. 2장에서는 안전성능평가를 위한 관리도를 Demerit 관리도 3종류와 안정화 관리도 4가지를 제안하고 CHTFPM (Continuous Hazard Tracking and Failure Prediction Methodology) 적용 예를 제시하였다. 3장에서는 환경성능평가를 위한 관리도로 DNOM관리도 2종류, 표준화관리도 11가지를 제시하였으며 SOX, NOX 평가기준이 시간에 따라 자동 상관될 경우의 시계열 관리도와 상호 종속적인 경우의 다변량관리도를 제안하였다. 끝으로 품질, 안전, 환경경영시스템을 통합하는 경우 본 연구의 결과가 과학적이고 객관적이며 지속적인 통계적 개선방법으로 공유할 수 있는 상호 일치된 시스템 (Consistent System)으로 활용될 수 있다는 결론을 내렸다.

2. 안전성능평가를 위한 관리도

CHTFPM의 체계는 그림1과 같으며 시스템의 안전상태를 효과적으로 실현하기 위한 중요단계는 재해를 초기에 파악하여 사고 예방에 대한 사전 조치를 취하는 4단계 이후의 관리도 적용단계이다. 이 단계에서 잠재적 재해 조건에 따른 안전성능평가기준이 서로 다를 경우 본 연구에서 제안한 관리도를 사용하게 되면 하나의 관리도로 쉽고 빠르게 작성되고 연속적인 모니터링이 가능하게 되어 효율적인 안전개선관리 방법이 가능해진다.



< 그림 1 > CHTFPM 체계

NASA가 연소시험 환경에서 사용된 CHTFPM에서 재해를 네가지 등급으로 분류한 예는 다음과 같다. [11]

- Class A : Very Serious
예 : 표준운영 절차서 (SOP: Standard Operating Procedure)에 기인한 고장
- Class B : Serious
예 : 라텍스 글로브를 사용하는 절차서의 오류
- Class C : Moderately Serious
예 : 산소 컨테이너를 끌거나 미끄러지게 하거나 굴러서 이동
- Class D : Minor
예 : 빈 산소 컨테이너와 채워진 것이 혼용 적치

2.1 Demerit 관리도 (Demerit Control Charts)

안전성능평가기준의 중요도가 다른 경우 하나의 Demerit 관리도로 동시에 쉽게 작성, 모니터링할 수 있으며 안전에 미치는 영향의 정도에 따라 가중치를 부여할 수 있다. 중요도의 계산은 위험평가에 사용되는 FMEA의 RPN(Occurrence Ranking × Severity Ranking × Detectability Ranking)을 적용할 수 있다.

2.1.1 Demerit 관리도 [1]

모수 미지(Unknown)

$$\text{타점 : } u_i = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{n}$$

Where

$$d_j = w_A c_A + w_B c_B + w_C c_C + w_D c_D$$

$$\begin{aligned} CL &= \bar{u} \\ UCL &= \bar{u} + 3\hat{\sigma}_u \\ LCL &= \bar{u} - 3\hat{\sigma}_u \end{aligned}$$

$$\bar{u} = w_A \bar{u}_A + w_B \bar{u}_B + w_C \bar{u}_C + w_D \bar{u}_D$$

Where

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{(w_A)^2 \bar{u}_A + (w_B)^2 \bar{u}_B + (w_C)^2 \bar{u}_C + (w_D)^2 \bar{u}_D}{n}}$$

모수기지(Known)

$$\begin{aligned} CL &= u_o \\ UCL &= u_o + 3\sigma_o \\ LCL &= u_o - 3\sigma_o \end{aligned}$$

적용 예 : n=10

안전성능평가기준의 중요도	w_i	\bar{u}_i
Class A : Very Serious	$w_A = 100$	$\bar{u}_A = 0.3$
Class B : Serious	$w_B = 50$	$\bar{u}_B = 0.2$
Class C : Moderately Serious	$w_C = 10$	$\bar{u}_C = 0.1$
Class D : Minor	$w_D = 1$	$\bar{u}_D = 0.01$

$$\bar{u} = 100 \times 0.3 + 50 \times 0.2 + 10 \times 0.1 + 1 \times 0.05 = 41.05$$

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{100^2 \times 0.3 + 50^2 \times 0.2 + 10^2 \times 0.1 + 1^2 \times 0.05}{10}} = 18.735$$

$$CL = \bar{u} = 41.05$$

$$UCL = \bar{u} + 3\hat{\sigma}_u = 41.05 + 3(18.735) = 97.255$$

$$LCL = \bar{u} - 3\hat{\sigma}_u = 41.05 - 3(18.735) = -15.155 \approx 0$$

2.1.2 Demerit - CUSUM 관리도

타점 : $c_i^+ = \max [0, u_i - K + c_{i-1}^+]$

$c_i^- = \max [0, K - u_i + c_{i-1}^-]$

$c_o^+ = c_o^- = 0$

Where

$K = \bar{u}$

$$\frac{UCL}{LCL} = H$$

2.1.3 Demerit - EWMA 관리도[1]

타점 : $Y_i = (1 - \lambda)y_{i-1} + \lambda u_i$

$$\frac{UCL}{LCL} = h$$

2.2 안정화 관리도 (Stabilized Control Charts)

모수미지(Unknown)

$$Z_i = \frac{\text{샘플통계량} - \hat{\mu}}{\hat{\sigma}}$$

모수기지(Known)

$$Z_i = \frac{\text{샘플통계량} - \mu_o}{\sigma_o}$$

여기서 샘플통계량은 2.1 절 Demerit 관리도에서 사용된 4가지 유형의 안전성능평가 기준으로 안정화 된 Z_i 값을 사용할 경우 하나의 관리도로 연속적으로 작성가능하며 모니터링 할 수 있다.

2.2.1 안정화 P 관리도

모수미지(Unknown)

$$\text{타점: } Z_i = \frac{P_i - \bar{P}}{\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}}$$

$$UCL = +3$$

$$LCL = -3$$

모수기지(Known)

$$Z_i = \frac{P_i - P_o}{\sqrt{\frac{P_o(1-P_o)}{n}}}$$

2.2.2 안정화 nP 관리도

모수미지(Unknown)

$$\text{타점: } Z_i = \frac{nP_i - n\bar{P}}{\sqrt{n\bar{P}(1-\bar{P})}}$$

$$UCL = +3$$

$$LCL = -3$$

모수기지(Known)

$$Z_i = \frac{nP_i - nP_o}{\sqrt{nP_o(1-P_o)}}$$

2.2.3 안정화 C 관리도

모수미지(Unknown)

$$\text{타점: } Z_i = \frac{C_i - \bar{C}}{\sqrt{\bar{C}}}$$

$$UCL = +3$$

$$LCL = -3$$

모수기지(Known)

$$Z_i = \frac{C_i - C_o}{\sqrt{C_o}}$$

2.2.4 안정화 U 관리도

모수미지(Unknown)

$$\text{타점: } Z_i = \frac{U_i - \bar{U}}{\sqrt{\frac{\bar{U}}{n}}}$$

$$UCL = +3$$

$$LCL = -3$$

모수기지(Known)

$$Z_i = \frac{U_i - U_0}{\sqrt{\frac{U_0}{n}}}$$

3. 환경성능평가를 위한 관리도

3.1 DNOM 관리도

타점

- DNOM1=실측치(Actual Value)-목표치(Target Value)
- DNOM2=코드밸류(Code Value)

$$= \frac{\text{실측치(Actual Value)} - \text{목표치(Target Value)}}{\text{측정단위(Unit of Measure)}}$$

위의 두 가지 DNOM 값을 KSA 3201:2001[13]에서 적용되는 관리도 공식에 대입하여 사용한다.

적용예 : 표1. 다양한 환경성능평가 목표치를 갖는 경우의 DNOM관리도 데이터 시트

환경성능 평가기준	환경성능 평가목표치	부분군의 수	부분군의 크기			\bar{x}	R
			1	2	3		
A	2.0000	1	5 *	4	7	5.3	3
		2	4	4	6	4.7	2
		3	7	8	8	7.7	1
B	0.7000	4	8	9	11	9.3	3
		5	7	8	9	8.0	2
		6	11	9	8	9.3	3
C	3.0000	7	6	8	8	7.3	2
		8	9	10	12	10.3	3
		9	12	11	8	10.3	4

본 적용예는 측정단위(Unit of Measure)가 10⁻⁴인 DNOM2 관리도로 DNOM 변환전 표1의 *의 실측값은 2.0005으로 목표치에 대한 허용차, 공차에 의해 결정된다.

원리

- 서로 다른 환경평가기준이 서로 다른 목표치를 가짐
- 목표치로부터의 편차(DNOM)를 계산
- 편차(DNOM)가 타점 데이터가 됨

장점

- 서로 다른 환경평가기준이 하나의 관리도에서 작성
- 프로세스의 지속된 관찰이 가능
- 작성하기 쉽고 이해가 용이함

단점

- 모든 환경평가기준의 변동(Variation)이 같아야 함

3.2 표준화 관리도(Standardized Control Chart)

표준화 관리도는 DNOM 관리도의 단점을 극복할 수 있는 즉 모든 환경평가기준의 변동이 다른 경우도 적용할 수 있다.

· LCL < 타점 < UCL

3.2.1 표준화 \bar{x} -R 관리도[9, 10]

모수미지(Unknown)

\bar{x} 관리도 : $LCL < \bar{x}_i < UCL$

$$\mu_{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} < \bar{x}_i < \mu_{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$\mu_{\bar{x}} - \frac{3}{\sqrt{n}} \sigma_x < \bar{x}_i < \mu_{\bar{x}} + \frac{3}{\sqrt{n}} \sigma_x$$

$$\bar{\bar{x}} - \frac{3}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2} < \bar{x}_i < \bar{\bar{x}} + \frac{3}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$-\frac{3}{\sqrt{nd_2}} < \frac{\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}}{\bar{R}} < \frac{3}{\sqrt{nd_2}}$$

$$-A_2 < \frac{\bar{x}_i - \bar{\bar{x}}}{\bar{R}} < A_2$$

R 관리도 : $LCL < R_i < UCL$

$$\mu_{\bar{R}} - 3\sigma_R < R_i < \mu_{\bar{R}} + 3\sigma_R$$

$$d_2\sigma - 3d_3\sigma < R_i < d_2\sigma + 3d_3\sigma$$

$$(d_2 - 3d_3)\sigma < R_i < (d_2 + 3d_3)\sigma$$

$$(d_2 - 3d_3) \frac{\bar{R}}{d_2} < R_i < (d_2 + 3d_3) \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$1 - 3 \frac{d_3}{d_2} < \frac{R_i}{\bar{R}} < 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

$$D_3 < \frac{R_i}{\bar{R}} < D_4$$

모수기지(Known)

\bar{x} 관리도 : $LCL < \bar{x}_i < UCL$

$$\mu_0 + \frac{3}{\sqrt{n}} \sigma_0 < \bar{x}_i < \mu_0 + \frac{3}{\sqrt{n}} \sigma_0$$

$$\begin{aligned}
 & -\frac{3}{\sqrt{n}} < \frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\sigma_0} < \frac{3}{\sqrt{n}} \\
 & -A < \frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\sigma_0} < A \\
 & -A < \frac{\bar{x}_i - X_0}{\sigma_0} < A \text{ KSA 3201:2001[13]}
 \end{aligned}$$

R 관리도 : $LCL < R_i < UCL$

$$\begin{aligned}
 & d_2\sigma_0 - 3d_3\sigma_0 < R_i < d_2\sigma_0 + 3d_3\sigma_0 \\
 & (d_2 - 3d_3)\sigma_0 < R_i < (d_2 + 3d_3)\sigma_0 \\
 & d_2 - 3d_3 < \frac{R_i}{\sigma_0} < d_2 + 3d_3 \\
 & D_1 < \frac{R_i}{\sigma_0} < D_2
 \end{aligned}$$

3.2.2 표준화 \bar{x} -S 관리도

모수미지 (Unknown)

\bar{x} 관리도 : $LCL < \bar{x}_i < UCL$

$$\begin{aligned}
 & \mu_{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} < \bar{x}_i < \mu_{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} \\
 & \mu_{\bar{x}} - \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma_x < \bar{x}_i < \mu_{\bar{x}} + \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma_x \\
 & \bar{x} - \frac{3}{\sqrt{n}}\frac{\bar{S}}{c_2} < \bar{x}_i < \bar{x} + \frac{3}{\sqrt{n}}\frac{\bar{S}}{c_2} \\
 & 1 - \frac{3}{\sqrt{nc_2}} < \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{\bar{S}} < \frac{3}{\sqrt{nc_2}} \\
 & -A_1 < \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{\bar{S}} < A_1
 \end{aligned}$$

S 관리도 : $LCL < S_i < UCL$

$$\begin{aligned}
 & \mu_s - 3\sigma_s < S_i < \mu_s + 3\sigma_s \\
 & C_2\sigma - 3\sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} < S_i < C_2\sigma + 3\sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2} \frac{\sigma}{\sqrt{2n}} \\
 & (C_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}}\sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2})\sigma < S_i < (C_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}}\sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2})\sigma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (C_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2}) \frac{\bar{S}}{C_2} < S_i < (C_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2}) \frac{\bar{S}}{C_2} \\ & 1 - \frac{3}{C_2 \sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2} < \frac{S_i}{\bar{S}} < 1 + \frac{3}{C_2 \sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2} \\ & B_3 < \frac{S_i}{\bar{S}} < B_4 \end{aligned}$$

KSA3201: 2001[13]

$$LCL < S_i < UCL$$

$$\mu_s - 3\sigma_s < S_i < \mu_s + 3\sigma_s$$

$$C_4\sigma - 3C_5\sigma < S_i < C_4\sigma + 3C_5\sigma$$

$$(C_4 - 3C_5)\sigma < S_i < (C_4 + 3C_5)\sigma$$

$$(C_4 - 3C_5) \frac{\bar{S}}{C_4} < S_i < (C_4 + 3C_5) \frac{\bar{S}}{C_4}$$

$$1 - 3 \frac{C_5}{C_4} < \frac{S_i}{\bar{S}} < 1 + 3 \frac{C_5}{C_4}$$

$$B_5 < \frac{S_i}{\bar{S}} < B_6$$

모수기지 (Known)

\bar{x} 관리도 : 3.3.1 \bar{x} 관리도와 동일

S관리도:

$$(C_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2}) \sigma_0 < S_i < (C_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2}) \sigma_0$$

$$C_2 - \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2} < \frac{S_i}{\sigma_0} < C_2 + \frac{3}{\sqrt{2n}} \sqrt{2(n-1) - 2nC_2^2}$$

$$B_1 < \frac{S_i}{\sigma_0} < B_2$$

KSA3201: 2001[13]

S관리도 : $(C_4 - 3C_5)\sigma_0 < S_i < (C_4 + 3C_5)\sigma_0$

$$B_3 < \frac{S_i}{\sigma_0} < B_4$$

3.2.3 표준화 $x-R$ 관리도

모수미지(Unknown)

x 관리도 : $LCL < x_i < UCL$

$$\begin{aligned} \mu_x - 3\sigma_x < x_i < \mu_x + 3\sigma_x \\ \bar{x} - 3\frac{\overline{R_s}}{d_2} < x_i < \bar{x} + 3\frac{\overline{R_s}}{d_2} \\ \bar{x} - E_2 \overline{R_s} < x_i < \bar{x} + E_2 \overline{R_s} \\ \bar{x} - 2.66 \overline{R_s} < x_i < \bar{x} + 2.66 \overline{R_s} \\ -2.66 < \frac{x_i - \bar{x}}{R_s} < 2.66 \\ -2.66 < \frac{x_i - \bar{x}}{R} < 2.66 [13] \end{aligned}$$

R_s 관리도 : $LCL < R_{s_i} < UCL$

$$\begin{aligned} U_{R_s} - 3\sigma_{R_s} < R_{s_i} < U_{R_s} + 3\sigma_{R_s} \\ d_2\sigma - 3d_3\sigma < R_{s_i} < d_2\sigma + 3d_3\sigma \\ (d_2 - 3d_3)\sigma < R_{s_i} < (d_2 + 3d_3)\sigma \\ (d_2 - 3d_3)\frac{\overline{R_s}}{d_2} < R_{s_i} < (d_2 + 3d_3)\frac{\overline{R_s}}{d_2} \\ 0 < \frac{R_{s_i}}{R_s} < 3.27 \end{aligned}$$

모수기지(Known)

x 관리도 : $LCL < x_i < UCL$

$$\begin{aligned} \mu_0 - 3\sigma_0 < x_i < \mu_0 + 3\sigma_0 \\ -3 < \frac{x_i - \mu_0}{\sigma_0} < 3 \\ -3 < \frac{x_i - \mu_0}{\sigma_0} < 3 \end{aligned}$$

R_s 관리도 : $(d_2 - 3d_3)\sigma_0 < R_{s_i} < (d_2 + 3d_3)\sigma_0$

$$0 < R_{s_i} < 3.86$$

3.2.4 표준화 \tilde{x} 관리도

모수미지(Unknown)

\tilde{x} 관리도 : $LCL < \tilde{x}_i < UCL$

$$\mu_{\tilde{x}} - 3\sigma_{\tilde{x}} < \tilde{x}_i < \mu_{\tilde{x}} + 3\sigma_{\tilde{x}}$$

$$\mu_{\tilde{x}} - 3m_3 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} < \tilde{x}_i < \mu_{\tilde{x}} + 3m_3 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{\tilde{x}} - \frac{3m_3}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2} < \tilde{x}_i < \bar{\tilde{x}} + \frac{3m_3}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$-m_3 A_2 < \frac{\tilde{x}_i - \bar{\tilde{x}}}{\bar{R}} < m_3 A_2$$

$$-A_4 < \frac{me - \bar{me}}{\bar{R}} < A_4 \quad [13]$$

모수기지(Known)

\tilde{x} 관리도 : $\mu_0 - \frac{3m_3}{\sqrt{n}} \sigma_0 < \tilde{x}_i < \mu_0 + \frac{3m_3}{\sqrt{n}} \sigma_0$

$$-\frac{3m_3}{\sqrt{n}} < \frac{\tilde{x}_i - \mu_0}{\sigma_0} < \frac{3m_3}{\sqrt{n}}$$

3.2.5 표준화 L-관리도

모수미지(Unknown)

L-관리도 : $LCL < \bar{L}_i, \bar{S}_i < UCL$

$$-A_9 < \frac{\bar{L}_i - \bar{M}_i}{\bar{R}}, \frac{\bar{S}_i - \bar{M}_i}{\bar{R}} < A_9$$

3.2.6 표준화 EWMA 관리도

모수미지(Unknown)

$$Z_i = \lambda \bar{x}_i + (1 - \lambda) Z_{i-1}$$

$$LCL < Z_i < UCL$$

$$E_{Z_i} - 3\sigma_{Z_i} < Z_i < E_{Z_i} + 3\sigma_{Z_i}$$

$$\bar{x} - 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2i}] \sigma < Z_i < \bar{x} + 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) [1 - (1-\lambda)^{2i}] \sigma$$

$i \rightarrow \infty$ 일 경우

$$\bar{x} - 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \sigma < Z_i < \bar{x} + 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \sigma$$

$$\bar{x} - 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \frac{\bar{R}}{d_2} < Z_i < \bar{x} + 3 \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$- A_2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) < \frac{z_i^-}{\bar{R}} < A_2 \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right)$$

모수기지(Known)

$$- A \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right) < \frac{z_i^- - \mu_0}{\sigma_0} < A \left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \right)$$

3.2.7 표준화 MA관리도

모수미지(Unknown)

$$M_i = \frac{\bar{X}_i + \bar{X}_{i-1} + \dots + \bar{X}_{i-w+1}}{w}$$

$$LCL < M_i < UCL$$

$$E_{M_i} - 3\sigma_{M_i} < M_i < E_{M_i} + 3\sigma_{M_i}$$

$$\bar{x} - \frac{3}{\sqrt{nw}} \sigma < M_i < \bar{x} + \frac{3}{\sqrt{nw}} \sigma$$

$$\bar{x} - \frac{3}{\sqrt{nw}} \frac{\bar{R}}{d_2} < M_i < \bar{x} + \frac{3}{\sqrt{nw}} \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$- \frac{A_2}{\sqrt{w}} < \frac{M_i^-}{\bar{R}} < \frac{A_2}{\sqrt{w}}$$

모수기지(Known)

$$-\frac{A}{\sqrt{w}} < \frac{M_i - \mu_0}{\sigma_0} < \frac{A_2}{\sqrt{w}}$$

3.2.8 표준화 Acceptance 관리도

모수기지(Known)

RPL 관리도 : $\bar{x}_i = LCL$

$$\bar{x}_i = LSL(LTL) + Z_{RPL}\sigma + Z_{\beta}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x}_i = LSL + Z_{RPL}\frac{\bar{R}}{d_2} + Z_{\beta}\frac{\bar{R}}{\sqrt{nd_2}}$$

$$\frac{\bar{x}_i - LSL}{\bar{R}} = \frac{Z_{RPL}}{d_2} + \frac{Z_{\beta}}{\sqrt{nd_2}}$$

$\bar{x}_i = UCL$

$$\bar{x}_i = USL(UTL) - Z_{RPL}\sigma - Z_{\beta}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x}_i = USL - Z_{RPL}\frac{\bar{R}}{d_2} - Z_{\beta}\frac{\bar{R}}{\sqrt{nd_2}}$$

$$\frac{\bar{x} - USL}{\bar{R}} = -\left(\frac{Z_{RPL}}{d_2} + \frac{Z_{\beta}}{\sqrt{nd_2}}\right)$$

APL 관리도 : $\bar{x}_i = LCL$

$$\bar{x}_i = LSL + Z_{APL}\sigma - Z_{\alpha}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x}_i = LSL + Z_{APL}\frac{\bar{R}}{d_2} - Z_{\alpha}\frac{\bar{R}}{\sqrt{nd_2}}$$

$$\frac{\bar{x} - LSL}{R} = \left(\frac{Z_{APL}}{d_2} - \frac{Z_\alpha}{\sqrt{nd_2}} \right)$$

$$\bar{x}_i = UCL$$

$$\bar{x}_i = USL - Z_{APL}\sigma + Z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{x}_i = USL - Z_{APL} \frac{\bar{R}}{d_2} + Z_\alpha \frac{\bar{R}}{\sqrt{nd_2}}$$

$$\frac{\bar{x} - USL}{R} = -\frac{Z_{APL}}{d_2} + \frac{Z_\alpha}{\sqrt{nd_2}}$$

모수가지(Known)

RPL관리도 :

$$\frac{\bar{x}_i - LSL}{\sigma_0} = Z_{RPL} + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{\bar{x}_i - USL}{\sigma_0} = -(Z_{RPL} + \frac{Z_\beta}{\sqrt{n}})$$

APL관리도 :

$$\frac{\bar{x}_i - LSL}{\sigma_0} = Z_{APL} - \frac{Z_\alpha}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{\bar{x}_i - USL}{\sigma_0} = -Z_{APL} + \frac{Z_\alpha}{\sqrt{n}}$$

3.2.9 표준화 CUSUM 관리도

모수미지(Unknown)

$$Z_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{R} \text{ 또는 } Z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{R_s}$$

모수가지(Known)

$$Z_i = \frac{\bar{x}_i - \mu_0}{\sigma_0} \text{ 또는 } Z_i = \frac{x_i - \mu_0}{\sigma_0}$$

$$\begin{aligned} \text{타점} : C_i^+ &= \max [0, Z_i - K + C_{i-1}^+] \\ C_i^- &= \max [0, K - Z_i + C_{i-1}^-] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{where } C_0^+ &= C_0^- = 0 \\ K &= \bar{Z} \end{aligned}$$

3.2.10 Hillier 관리도

$$\Pr - A_2^* \leq \frac{\overline{x_i^-} - \overline{x}}{\overline{R}} \leq A_2^* = 1 - \alpha$$

$$\Pr \frac{R_i}{\overline{R}} \leq D_3^* = \alpha_3$$

$$\Pr \frac{R_i}{\overline{R}} \geq D_4^* = \alpha_4$$

$$\text{Where } \alpha = \alpha_3 + \alpha_4$$

Hillier(1969)는 숏런(Short Run) $\overline{x}-R$ 관리도에서 부분군(Subgroup)의 크기 및 개수에 따라 제 1종오차 α 를 $\alpha_3 + \alpha_4$ 로 일정하게 유지하는 수정된 $\overline{x}-R$ 관리도 계수 A_2^*, D_3^*, D_4^* 를 계산하는 방법을 제시하였다.[12]

3.2.11 Q 관리도

μ 지(Unknown) σ 지(Known) [7]

프로세스 로케이션차트

$$\text{타점} : Q_i(x_i) = [(i-1)/i]^{\frac{1}{2}} [(x_i - \overline{x}_{i-1})/\sigma], \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

$$\text{UCL} : +3.0$$

$$\text{LCL} : -3.0$$

프로세스 변동차트

타점: $Q(R_i): i) [(x_i - x_{i-1})^2 / 2\sigma^2], i=2,4,6,$

ii) 단계 i)에서 구한 값에 대해 자유도 1인 χ^2 분포의 퍼센타일 (Percentile)을 구함

iii) 단계 ii)에서 구한 퍼센타일에 대한 정규분포값(Normal Deviate)을 구함

UCL: +3.0

LCL: -3.0

3.3 상관 관리도

SOX, NOX 각각의 환경성능 평가기준이 시간에 따른 자동 상관된 데이터(Serially Correlated Data) 패턴을 가질 경우 적용적인 실시간으로 환경의 유해물질을 모니터링 할 수 있는 스케일 CUSUM 관리도를 적용할 수 있다. 이 관리도는 이상환경 유해물질의 변화를 예측오차에 의해 탐지할 수 있는 ALPLF(Adaption Liner Prediction Lattice Filter)를 사용한다.[8]

SOx, NOX 등의 다양한 환경성능 평가기준이 독립적이 아닌 서로 종속되어 있는 경우 다변량 관리도를 적용할 수 있다. 다중일변량 CUSUM 관리도(MCX, MCZ, MCW 관리도), 다변량 EWMA 관리도(FEWMA, DEWMA 관리도), 다변량 T^2 관리도 등의 다변량 관리도 들은 환경유해물질 성능평가기준의 상관계수구조(Correlation Structure), 변동계수(Coefficient of Variation)크기, 이상유해물질의 이동방향(Shift Directions) 등에 따라 다양하게 적용할 수 있다.[4, 5]

4. 결 론

본 연구에서는 안전 성능 평가기준이 다른 경우 하나의 관리도로 연속해서 쉽게 작성하고 모니터링 할 수 있는 세 가지 Demerit 관리도와 세 가지 안정화된 관리도를 제안하였으며 이를 CHTFPM(Continuous Hazard Tracking and Failure Prediction Methodology)에 적용하였다. 그리고 SOX, NOX 등의 서로 다른 환경성능기준을 평가할 경우 하나의 관리도로 연속해서 쉽게 작성하고 모니터링 할 수 있는 두 가지 유형의 DNOM 관리도와 11가지 표준화 관리도를 제안하였다. 또한 SOX, NOX 등의 환경성능 평가기준이 서로 종속되는 경우의 다변량 관리도와 각각의 환경성능 평가기준이 시간에 따라 종속되는 시계열 관리도 등의 두 가지 상관관리도를 제안하였다.

최근 ISO9001 품질경영시스템, OHSAS18000 안전경영시스템, ISO14001 환경경영시스템 등의 전략적인 통합방안에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있으나 문서의 통합에 의한 효율성의 성과 중심에 연구가 집중되고 있다. 그러나 본 연구에서는 품질경영

시스템의 지속적 개선(Continuous Improvement)을 위해 사용되고 있는 SPC 관리도[2, 3]를 기초로 안전 및 환경의 서로 다른 성능평가기준에도 효율적이고 효과적으로 모니터링하고 끊임없는 개선을 추구할 수 있는 안전 및 환경성능평가를 위한 관리도를 개발하였다. 이러한 시도는 품질, 안전, 환경경영시스템 통합의 기본원리 및 철학은 문서 통합에 있는 것이 아닌 지속적 개선을 추구할 수 있는 객관적인 통계적 기법과 방법론 등을 공유하고 활용하여 벤치마킹 할 수 있는 상호 일치된 시스템(Consistent System)에 기본을 두어야 한다.

향후과제로 본 연구에서 제안된 관리도 기법별 안전 및 환경 분야의 적용과제에 대한 실증연구를 수행 계획 중에 있으며, 또한 소표본 붓스트랩관리도, 소표본 AOQL 샘플링검사, 소표본 순서통계량에 의한 관리도, 소표본 베이지안 관리도 등을 서로 다른 다양한 성능 기준을 평가해야 하는 안전 및 환경 분야에도 적용할 수 있는 관련 연구를 수행 중에 있다.

5. 참고 문헌

- [1] Cho, G. Y. and Jeon, Y. M. , "A Study of Demerit-EWMA Control Charts," Journal of Korean Data & Information Science Society, Vol.15, No.2, PP. 431-439, 2004.
- [2] Choi, S. , "A Review and Literature Survey of Control Charts Using New Classification Schemes," J. SKISE, Vol.16, PP. 51-71, 1993.
- [3] Choi, S. , " SPC Techniques for Short and Small Runs : A Review and Extensions." J. SKISE, Vol.19, PP. 281-290, 1996.
- [4] Choi, S. and Lee, S. , "Relative Performance Comparision of Group CUSUM Chart," IJMS, Vol.5, No.1, PP. 51-71, 1999.
- [5] Choi, S. and Lee, S. , "A General Multivariate EWMA Control Chart," IJMS, Vol.6, No.1, PP. 1-19, 2000.
- [6] Corbett, C. J. and Pan, J. N. , "Evaluating Environmental Performance Using Statistical Process Control Techniques," European Journal of Operational Reserch, Vol.139, PP. 68-83, 2002.
- [7] Juran, J. M. and Gryna, F.M., Quality Control Handbook, 5th Edition, New York : McGraw - Hill, 1999.
- [8] Lee, S. and Choi, S. , "Adaptive Process Monitoring Using Scale CUSUM for Serially Correlated Processes, "Computers & Industrial Engineering, Vol.33, No.3-4, PP. 737-740, 1997.
- [9] Pyzdek, T. , The Six Sigma Handbook, Revised and Expanded, New York : McGraw - Hill, 2003.
- [10] Pyzdek, T. , Quality Engineering Handbook : Second Edition, Revised and Expanded, New York : Marcel Dekker, 2003.

- [11] Quintana, R. , Camet, M. and Deliwala, B. , "Application of a Predictive Safety Model in a Combustion Testing Environment," Safety Science, Vol.38, PP. 183-209, 2001.
- [12] 남국현, 단기생산공정에서의 다변량 DNOM 관리도 설계, 한국과학기술원 석사학위 논문, 1993.
- [13] KSA3201, 슈하트관리도, 2001.

저 자 소 개

최 성 운 : 현 경원대학교 산업공학과 재직 중. 한양 대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득, 1994년 한국과학재단 지원으로 1년간 Dept. of Applied Statics, University of Minnesota에서 품질관리에 관련된 연구를 하였다.

주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터·정보통신시스템의 신뢰성 설계 및 분석도에도 관심을 가지고 있다.