

A Comparative Analysis on the Efficiency of Monitoring between EWMA and Shewhart Chart in Instrumental Process with Autocorrelation

Jin-Hyung Cho* · Hyun-Seung Oh** · Sae-Jae Lee* · Su-il Jung*
Taek Lim* · Seong-seon Baek* · Byung-Keug Kim*[†]

*Division of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**Department of Industrial Engineering and Management, Hannam University

자기상관이 있는 장치 공정에서 EWMA와 Shewhart 관리도와의 모니터링 효율성 비교 분석

조진형* · 오현승** · 이세재* · 정수일* · 임택* · 백성선* · 김병극*[†]

*금오공과대학교 산업공학부

**한남대학교 산업경영공학과

When monitoring an instrumental process, one often collects a host of data such as characteristic signals sent by a sensor in short time intervals. Characteristic data of short time intervals tend to be autocorrelated. In the instrumental processes often the practice of adjusting the setting value simply based on the previous one, so-called 'adjacent point operation', becomes more critical, since in the short run the deviations are harder to detect and in the long run they have amplified consequences. Stochastic modelling using ARIMA or AR models are not readily usable here. Due to the difficulty of dealing with autocorrelated data conventional practice is resorting to choosing the time interval where autocorrelation is weak enough then to using I-MR control chart to judge the process stability. In the autocorrelated instrumental processes it appears that using the Shewhart chart and the time interval data where autocorrelation is relatively not existent turns out to be a rather convenient and very useful practice to determine the process stability. However in the autocorrelated instrumental processes we intend to show that one would presumably do better using the EWMA control chart rather than just using the Shewhart chart along with some arbitrarily intervalled data, since the former is more sensitive to shifts given appropriate weights.

Keywords : Shewhart Chart, EWMA Chart, Autocorrelation, Control-in/out, Adjacent Point

1. 서론

장치 산업에서는 센서에 의해서 작계는 1초 이하의 시

간격(time interval)으로 무수히 많은 데이터가 수집되고 있다. 그러나 이와 같이 짧은 시간간격의 데이터는 자기상관을 가지고 있다. 이러한 데이터를 가진 공정에 대한 Control-in/out 판정을 위한 방법은 꾸준히 연구되어 왔다. 이 데이터에 대한 Control-in/out의 분석을 위해서는 Biscard 또는 조진형 방법으로 찾아야 한다. 그러나, 이 방법의 경우 다수 힘이 든다. 그래서 자기상관이 소멸되는 충분한 시간 간격을 가지는 I-MR 관리도로 Control-in/out을 판정한다.

실제 공정에서는 자기상관이 소멸되는 시간간격에서의 데이터로 이루어진 Shewhart 관리도로도 공정 관리 상태

Received 30 August 2012; Accepted 28 October 2012

[†] Corresponding Author : joy@kumoh.ac.kr

© 2012 Society of Korea Industrial and Systems Engineering

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>).

를 관측하고 관리하는데 별 무리가 없다는 것이 인지되고 있다. 본 연구에서는 기존의 Shewhart 관리도보다 가중치에 따라 작은 변화에 보다 더 민감하게 반응하는 EWMA 관리도를 바탕으로 장치 공정에서의 Control-in/out을 판단하고자 한다[1, 9].

2. 이론적 고찰

2.1 Adjacent Point를 지향하는 공정에 대한 고찰

장치 산업에서는 센서를 통하여 짧은 간격으로 데이터가 측정되고 이러한 데이터 간에는 자기상관이 존재하게 된다. 또한, Adjacent Point를 지향하는 보편적인 사례를 볼 때 근접한 데이터 간의 관계와 떨어져 있는 데이터 간의 관계를 규명하고 Monitoring하는 것에 어려움이 많다.

자기상관이 있는 공정 데이터의 분석은 Stochastic 모형을 이용한 분석이 가장 정확하다고 볼 수 있다. 또한, ARMA 모형을 통하여 이상원인 검출에 적합한 관리상한과 관리하한의 폭을 정하는 방법도 있다. 하지만 대형 장치 산업의 방대한 데이터를 모두 적용시키기에는 어려움이 많은 것이 사실이다. 따라서 실제 공정에서는 간이법이 많이 사용되고 있다. 데이터 간에 Time interval을 두어 자기상관이 소멸되는 데이터로 만들고, 이를 이용하여 Shewhart 관리도 분석을 하는 방법이다. 이 방법을 사용하더라도 공정의 관리 상태 파악에는 전혀 문제가 없다고 인지되고 있다.

Time Interval은 Job change, PID의 민감도, 일교차, 일단위 등을 반영하여 결정해야 하며, 자기상관이 소멸되어야 한다. Durbin-Watson 통계량을 이용하여 자기상관의 소멸을 검증한다.

Time interval을 두는 방법은 자기상관도 없애고 근내 변동도 크게 하여 단점을 상쇄시키지만 Adjacent Point를 지향한 운전 습관은 그대로 나타나게 되어 검출해야 할 이상요인은 나타나지 않고, 검출하지 말아야 할 요인은 나타나는 등 이상 원인의 검출에 어려움이 생길 수도 있다.

2.2 공정 관리를 위한 관리도의 필요성

공정의 데이터는 여러 가지 원인에 의해서 산포한다. 만일 이러한 산포의 원인을 우연원인과 이상원인 2가지로 쉽게 구분할 수 있다면 관리자가 보다 합리적인 판단에 의해 공정을 관리할 수 있을 것이다. 이러한 판단을 내릴 수 있는 한계가 바로 관리한계선이다. 만일 공정이 관리상태(control-in)에 있다면 공정의 변동(variation)이 모두 우연변동에 의해서만 나타난다는 것이고 공정으로부터

얻은 데이터의 대부분이 관리한계선 안에 존재하게 된다.

관리도 분석 결과 공정 데이터가 Control-in이라면 Spec-in을 만족하는지 판단하여야 하며, 만약 Control-out이 나타났다면 Spec-in을 만족한다고 하더라도 먼저 조치를 취하여 원인에 대한 사전 점검 및 제거가 필요하다[9].

2.3 Adjacent Point를 지향하는 공정에서 EWMA 관리도 사용에 대한 제안

작은 변화에 민감하게 반응을 하고, 가중치를 통해 민감도 조절이 가능한 관리도로 EWMA 관리도가 있다.

EWMA 관리도는 λ 가 작을수록 공정 변화에 민감하게 반응한다. λ 는 0.05에서 0.25사이의 값을 일반적으로 사용한다고 알려져 있다. 0.25보다 클 경우 EWMA 관리도의 효율이 떨어지게 되고 0.05보다 작을 경우 너무 작은 변동까지 감지하게 되어 문제가 발생 할 수 있다는 것이다.

가중치 λ 는 $0 < \lambda \leq 1$ 로 설정할 수 있으며, λ 의 값이 작을수록 과거 데이터에 영향을 많이 받고, 클수록 현재 데이터에 영향을 많이 받는다. $\lambda = 1$ 일 때, EWMA 관리도는 I-MR 관리도와 같다고 할 수 있다.

지수가중 이동평균(Z_k)을 구하는 식은 다음과 같은 형태로 이루어져 있다.

$$Z_k = \lambda X_k + (1 - \lambda) Z_{k-1}$$

X_k 의 계수 λ 와 Z_{k-1} 의 계수 $1 - \lambda$ 는 Convex Combination이라 할 수 있다.

근접 데이터 간에 작은 차이를 가진 이러한 공정에서는 Shewhart 관리도보다 EWMA 관리도가 더 효율적으로 사용될 수 있을 것이라 사료되며, 실제 공정의 데이터를 통해 확인을 해보고자 한다.

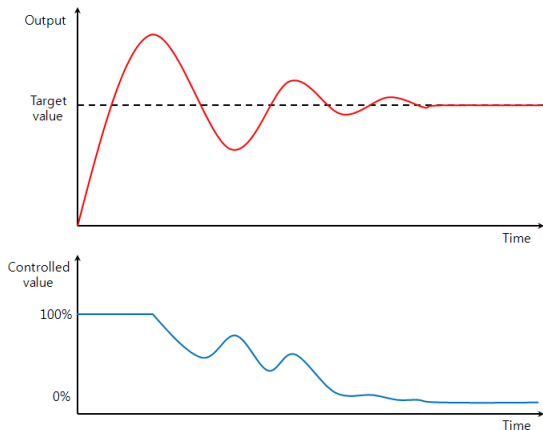
3. 우리나라 보편적인 장치산업의 운전

3.1 우리나라 보편적인 장치산업에서 운전 관리 지향점

우리나라의 보편적 장치산업에서는 Adjacent Point를 지향한다. APC에 의해서 자동으로 출력이 목표값에 근접하도록 설정이 되어 있지만 출력이 제대로 나타나지 않으면 작업자가 직접 운전 setting을 변경하는 경우가 있다. 바로 이 점이 운전 setting을 자주 변경하게 하는 것이다. 다시 말해 근접한 점에 맞추려고 하는 행동이 근내 변동은 작게 만들지만, 근간 변동은 더욱 크게 만드는 현상을 초래하는 것이다. 이 경우 데이터의 자기상관에

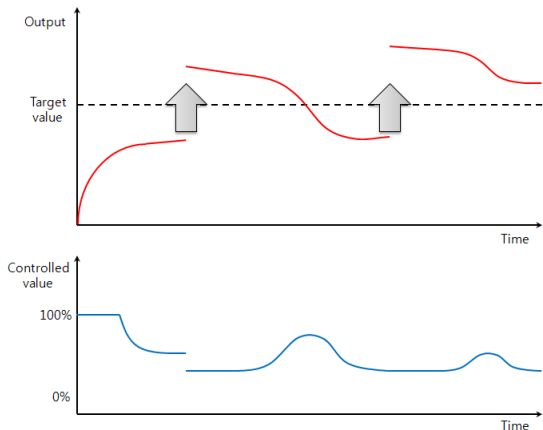
도 나쁜 영향을 미친다고 할 수 있다. 또한 빈번히 사고성 Control-out도 나타나게 되며, 장기적으로 보았을 때 이는 설비의 내구성에도 영향을 미치게 된다.

다음 그림은 APC의 PID Control의 예이다. PID Control은 자동제어 방식 중 가장 많이 사용되는 방법으로 비례(proportional), 적분(integral), 미분(derivative)의 3가지 조합을 이용하여 제어를 하며 유연한 제어가 가능한 방법으로 알려져 있다. 아래 그림을 보면 출력이 목표값에 신속히 근접해가는 것을 알 수 있다.



<Figure 1> An Example of PID Control

하지만 실제 공정에서는 설정된 Setting value에 출력이 제대로 반응을 하지 않아 목표값에 근접하지 못하는 상황이 자주 발생한다. 이 때 작업자가 목표값에 근접하도록 setting을 임의로 변경하는 경우가 있다. 이러한 작업을 통해서 일시적으로 출력이 목표값에 근접하게 되지만 처음 시점에서 목표값에 수렴하도록 설정된 PID는 이 공정에 알맞지 않게 된다. 결국 출력은 목표값에서 점점 멀어지는 현상을 보일 수 있으며 작업자는 또다시 setting을 임의로 변경하는 악순환이 반복된다.



<Figure 2> An Example of Setting Value Changes in Instrumental Process

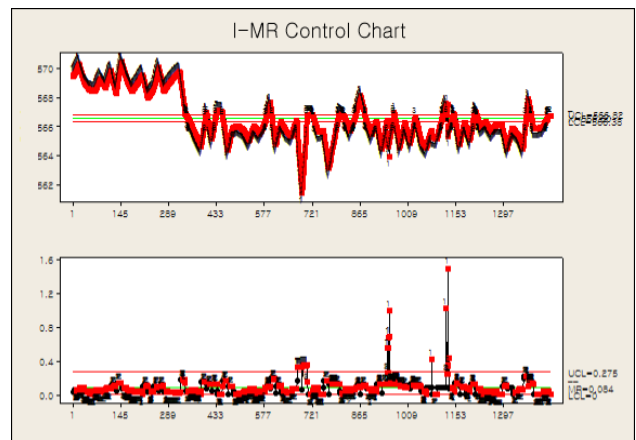
따라서 현재 Adjacent Point를 지향하는 것을 지양하여야 하며, 장기적인 관점으로 보다 먼 Point를 보아야 한다. 또한, 4M 표준화에 의한 관리가 이루어져야 하며, APC와 SPC(statistical quality control)와의 접목을 통해서 관리 상태의 확인하고, 설비의 장기적 운행과 설비 상태의 내구성이 증대되도록 하여야 한다[1, 5].

3.2 우리나라 보편적인 장치산업의 사례

3.2.1 발전소의 사례

장치산업에서는 APC(automatic process control)에 대한 의존 또한 문제가 되고 있다. 설비 이상이나 과부하 등의 원인으로 급전(dispatch) 같은 문제가 발생할 수 있다. 일반적으로 dispatch는 우선순위가 가장 높은 작업이 원활히 수행될 수 있도록 자원을 할당한다는 의미로 쓰이고 있으나 본 연구에서는 setting 변경으로 인해 출력이 급격히 변하는 상황에서도 dispatch라는 용어를 사용하였다.

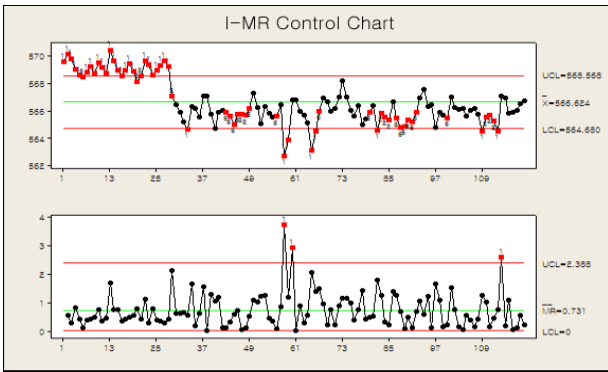
아래 <Figure 3>은 보일러 튜브의 손상으로 출력이 급격히 변화한 시점을 중심으로 한 증기 온도의 I-MR 관리도이다.



<Figure 3> Results of Control Chart's Analysis-An Example of the Temperature in the Power Plant's Process

569도가 원래 목표값이나 튜브의 손상으로 출력을 낮추어 문제 발생 이후에는 목표값이 565도로 조정되었다. 이 데이터는 자기상관이 있으며 급전에 의한 Control-out도 나타나고 있다.

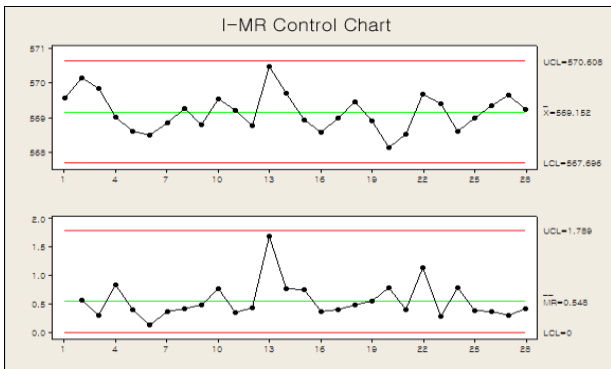
위 데이터에 대해서 데이터 간에 간격을 두어 자기상관을 소멸시키는 방법을 적용하여 관리상태를 파악하여 보기로 하였다. 그 결과 Time interval을 주어 자기상관을 소멸시켜도 결국 Control-in은 되지 못하였다(<Figure 4> 참조).



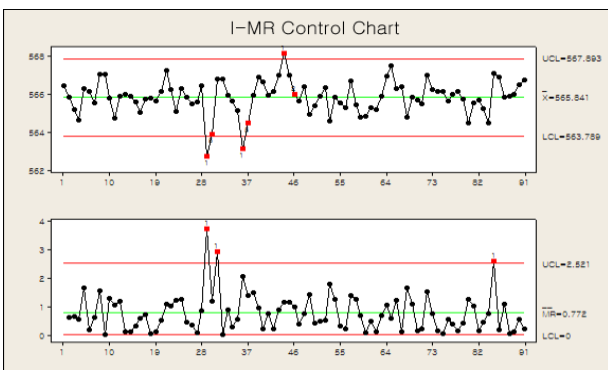
<Figure 4> Results of Control Chart's Analysis by data Which Increased Time Interval in <Figure 3>

급전 이전과 이후의 데이터 간에 큰 차이가 있어서 제대로 된 관리도 분석이 힘들다고 판단되어 데이터를 급전(dispatch) 전·후로 나누어서 분석하였다.

그 결과 급전 발생 이전의 경우 <Figure 5>와 같이 Control-in이 된 것을 확인 할 수 있으나, 급전 발생 이후의 경우 <Figure 6>과 같이 Control-in이 되지 못하는 것을 알 수 있었다. 이는 튜브의 손상과 급격한 Setting 변경에 의하여 공정 관리 상태가 영향을 결과라고 할 수 있다[7].



<Figure 5> Results of Control Chart's Analysis in Earlier Part of <Figure 4>



<Figure 6> Results of Control Chart's Analysis in Back Part of <Figure 4>

3.2.2 Target 제조 공정의 사례

Target 제조 공정에서는 적절치 못한 군 구분으로 인하여 군내 변동이 군간 변동으로 흡수된 사례가 있었다. 관리도 분석 결과 군내변동은 작고, 군간변동은 크게 나타나 결국 Control-out이 되었다. 또한, 회귀분석 결과 역시 유의적이기는 하지만, 낮은 R^2 로 인하여 신뢰할 수 없었다. 이에 실무자 협의를 통하여 제대로 된 층별을 위한 Sub Grouping을 새로 하였다. 새로이 Grouping 된 자료를 이용한 관리도 분석 결과에서 Control-in이 됨을 확인할 수 있었고, 회귀분석 결과에서도 향상된 R^2 값을 얻을 수 있었다. 결국 이 사례 또한 Adjacent Point만 중요하게 생각하고 장기적인 관점으로 보지 못한 결과라고 할 수 있다.

4. 자기상관이 있는 장치공정에서의 공정 관리 방법

4.1 White Noise 방법-유리 용해로의 예

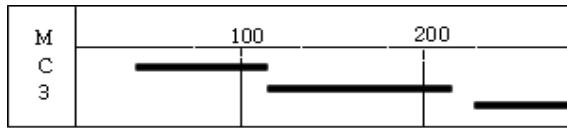
White Noise 방법은 SACF(sample autocorrelation function)을 사용하여 공정의 안정성(process stability)을 검사하는 방법이다. 먼저, 변수 Z_t 와 Z_{t-k} 사이의 ACF(auto-correlation function) ρ_k 는 다음과 같이 정의한다.

$$\rho_k = \frac{Cov(Z_t, Z_{t-k})}{\sqrt{Var(Z_t) V(Z_{t-k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}$$

(여기서, $Cov(Z_t, Z_{t-k})$ 는 Z_t 와 Z_{t-k} 사이의 자기상관분산 (autocovariance)이다)

안정성(stability), 소위 'White Noise'는 $H_0 : \rho = 0$ 라는 가설을 통계적으로 입증하는 것과 동일하다. 이는 ACF = 0이라는 것을 의미하기도 한다.

Glass Furnace의 예를 들어보자. 아래 <Figure 5>에서 보는 바와 같이, Glass Furnace의 Main Crown에 위치한 MC3(3rd thermo couple in main crown)의 온도를 보여주고 있다. White Noise값이 단절된 부분을 눈여겨보면 <Figure 6>에서 Out-of-control(온도가 UCL/LCL 관리한 계치 밖으로 이탈)한 점과 대체로 일치하고 있다. PLC 같은 자동 공정관리 시스템에 의해 이런 변수가 조절되는 경우가 아니면, 위의 두 결과는 대체적으로 일치하게 된다. 모집단의 크기가 작은 Control Chart <Figure 6>와는 달리 ARIMA 모델은 큰 모집단에도 적용될 수 있다는 것이 장점이다. Glass Furnace의 경우에는 각 변수의 공통 White Noise Section이 충분한 샘플을 제공할 수 있기에 여러 가지 통계분석을 할 수 있게 된다[1, 6].



<Figure 7> White Noise of MC3

4.2 AR(2)에 의한 UCL과 LCL의 확장방법-유리 용해로의 예

일반적으로, AR(p), an autoregressive process of order p, is a recursive time-series process, p차 자기회귀 과정(autoregressive process)은 다음과 같은 재귀적 시계열 과정이다.

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t$$

모든 t 와 n 에 대해서, $Z_{t-n} = B^n Z_t$ 이므로,

$$Z_t = \phi_1 B Z_t + \phi_2 B^2 Z_t + \dots + \phi_p B^p Z_t + a_t \text{ 이고,}$$

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) Z_t = a_t \text{ 이 된다.}$$

ARIMA 분석이 다 그러하듯이 유리 용해로의 자기상관은 자기회귀(autoregressive)의 특징이 많으므로 이제 $p=2$ 로 놓고 AR(2)를 모델로 적용키로 하는 보고서가 작업현장에서 나왔으므로 그 개념을 소개하고자 한다(main crown 온도의 시간 데이터로서 시료크기 80).

I-MR Chart 위에 표시된 데이터에 적용해보면 White Noise Process와 비교해 볼 때 Control-out점을 찾아내는(혹은 Control-in을 위해 변수 Setting 값을 미리 정해진 Recipe에 따라 바뀌서 Control-in으로 공정을 회복시켜야 하는) 점을 판별하는데 필수적인 UCL(upper control limit)과 LCL(lower control limit) 값을 확장해도 된다. 즉 UCL은 더 높아져도 되고 LCL을 더 낮아져도 되는 것이다. 그 이유는 AR(2) 과정(프로세스)에는 구조적으로 시계열 변수 값을 높은 값을 더 높게, 혹은 낮은 값을 더 낮게 하는 확률이 높은 특색을 가지고 있기 때문이다. 그래서 정상적인 AR(2) 과정도 그 값의 범위가 White Noise의 정상적 값의 범위보다 훨씬 넓을 수 있는 것이다. 결국 일반적인 I-MR Chart에서 관리영역을 벗어난 데이터도 Control-out으로 분류되지 않고 관리한계 안으로 들어오게 되는 것이다[1, 10].

5. 자기상관이 있는 장치공정에서의 EWMA 관리도 적용

5.1 Time interval을 둔 데이터를 이용한 EWMA 관리도 분석 방법

Time interval을 두는 방법은 간이법으로 대형 장치산

업과 같이 엄청나게 많은 양의 데이터를 관리할 때 유용하게 사용될 수 있다는 장점이 있다. 근접한 데이터의 영향으로 넓어진 군내변동의 폭을 작게 만들어주며, 자기상관을 소멸시켜 주는 역할을 한다. Job change, PID의 민감도, 일교차, 일 단위 등을 반영하여 Time interval 간격을 결정하고, Durbin-Watson 통계량을 이용하여 자기상관의 소멸을 검증한다.

EWMA 관리도 분석에 있어 0.05에서 0.25 또는 0.20에서 0.35 등 적절한 가중치 λ 의 값을 제시해주는 많은 연구결과가 있지만 이것이 모든 사례와 분석에 적합하다고는 볼 수 없다. 또한 실제 적용에는 상당히 넓은 범위이며 적합한 가중치에 대한 기준이 확실하지 않은 것이 사실이다. 본 연구에서는 Adjacent를 지향하는 운전습관의 영향을 check list를 통하여 확인하고 가중치 λ 를 결정하는데 참고하고자 한다[2, 3, 8].

<Adjacent Point를 지향하는 운전습관 확인을 위한 check list>

- Q1. 공정 Setting 결정을 엔지니어가 하고 있습니까?
- Q2. 엔지니어가 Control-in의 개념을 가지고 있습니까?
- Q3. 엔지니어가 SPC 프로그램을 운영하고 있습니까?
- Q4. 공정 담당자는 3정 5S 및 4M 표준화에 대한 교육을 받고 있습니까?
- Q5. 목표값에 근접하기 위하여 공정 Setting을 쉽게 변경합니까?
- Q6. 공정 Setting 변경 표준과 실행 절차를 준수하고 있습니까?
- Q7. 엔지니어와 현장 작업자가 커뮤니케이션을 하고 있습니까?
- Q8. 중요한 공정 특성들에 대하여 측정 시스템 분석을 하고 있습니까?
- Q9. 각 공정별 Setup Recipe를 만들고 있습니까?
- Q10. 공정 운용 표준을 지속적으로 개선하고 있습니까?

위 체크리스트에서 Q1은 예, 아니오로 응답하고 Q1에서 예라고 응답할 경우 Q2~Q10문항에 대하여 응답을 진행하며, 매우 그렇다 5점, 보통이다 3점, 전혀 아니다 1점으로 응답한다.

EWMA 관리도는 가중치 λ 를 통해서 민감도를 조절할 수 있다는 것이 장점이다. 공정에 적합한 가중치 λ 를 찾아 공정 이상을 검출하는 것이 중요하지만 4M(man, machine, method, material)과 환경(environment)이 항상 변할 수 있는 상황에서 항상 사용이 가능한 가중치 λ 를 정한다는 것은 어려운 일이다.

우선적으로 Adjacent Point를 지향하는 운전습관을 지양하여야 하며 4M 표준화와 Ambient Control을 통해서 공정을 안정화 시켜야 한다. 또한 3정 5S 등 교육을 통

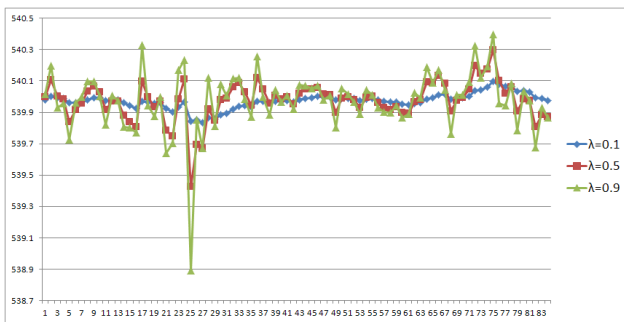
하여 엔지니어 및 작업자가 공정관리에 대한 높은 수준의 마인드를 가질 수 있도록 하여야 한다.

가중치 λ 는 위 체크리스트를 참조 할 수 있으며 현장 경험에 의하여 단계를 나누고 trial and error를 통해서 검출력이 높은 λ 의 값을 찾는 방식이 적합하다고 사료 된다[4].

5.2 EWMA 관리도에서 가중치 변화에 따른 관리상한과 관리하한의 변화 추세

EWMA 관리도는 가중치 λ 에 의해서 관리상한과 관리하한이 변화한다. 이러한 과정에서 실제 타점되는 데이터들과 관리상한, 관리하한의 변화를 알아보기 위하여 정해진 데이터를 가중치 $\lambda = 0.1, 0.5, 0.9$ 로 변경하여 설정하면서 분석해 보았다.

각 가중치에 대해서 EWMA 관리도에 타점되는 점들의 변화를 비교하기 위하여 세 가중치에 타점된 점들을 한 차트에 그려보았다.



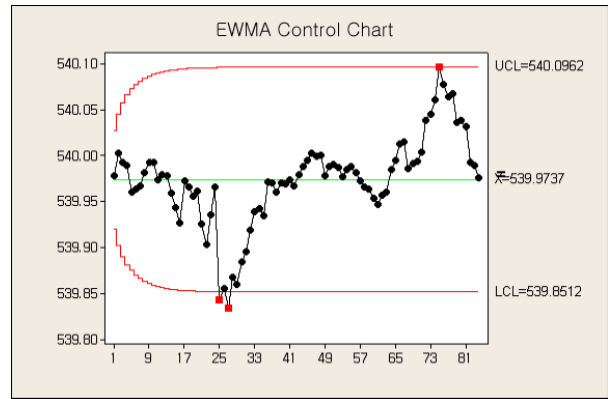
<Figure 7> EWMA with λ 's Variation

가중치 $\lambda = 0.1$ 일 때 타점 간의 변화가 가장 작고, $\lambda = 0.9$ 일 때 변화가 가장 큰 것을 알 수 있다. 가중치 λ 가 작아질수록 새로운 데이터의 비중은 작아져 전체적인 변화가 작게 된다.

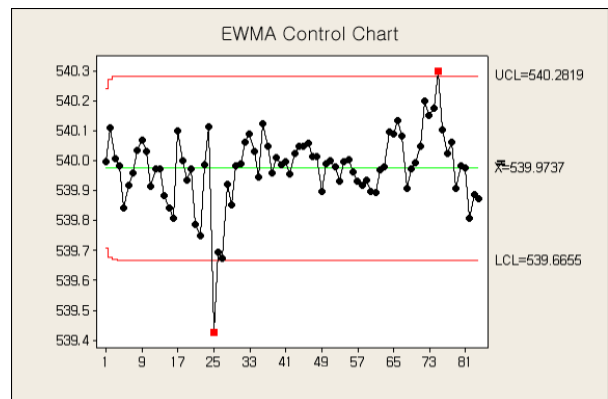
관리상한과 관리하한의 변화를 알아보기 위하여 관리도 분석을 해 보았다. 다음 <Figure 8>, <Figure 9>, <Figure 10>은 각각 $\lambda = 0.1, \lambda = 0.5, \lambda = 0.9$ 일 때의 EWMA 관리도 분석 결과이다.

관리상한과 관리하한의 폭은 가중치 λ 의 값이 작을수록 좁아지고 클수록 넓어진다는 것을 알 수 있다.

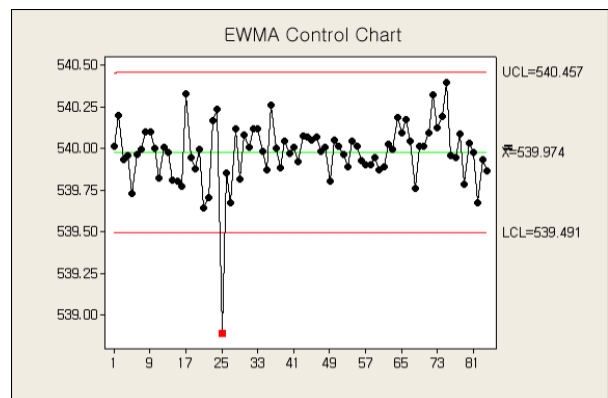
절대적인 타점의 변화는 가중치 $\lambda = 0.9$ 일 때 가장 크게 나타났지만 관리도를 통해서 관리상한과 관리하한을 기준으로 보았을 때 오히려 민감하게 반응을 하지 못하였다. 반면에 $\lambda = 0.1$ 일 때는 관리상한과 관리하한의 폭이 충분히 좁아져 타점 간의 작은 변화에 보다 더 민감하게 반응할 수 있다는 결과를 보여주었다[2, 3, 7, 8].



<Figure 8> EWMA($\lambda = 0.1$)



<Figure 9> EWMA($\lambda = 0.5$)



<Figure 10> EWMA($\lambda = 0.9$)

<Table 1> Upper and Lower Control Limit in EWMA Control charts($\lambda = 0.1, 0.5, 0.9$)

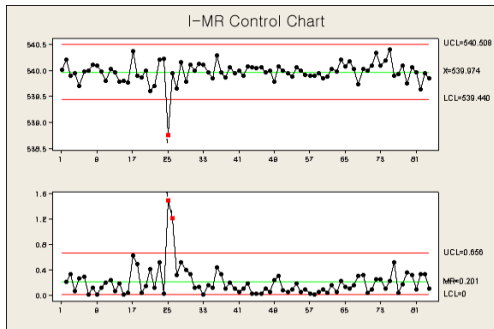
	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.5$	$\lambda = 0.9$
Upper control Limit	540.0962	540.2819	540.457
Lower Control Limit	539.8512	539.6655	539.491

5.2 EWMA 관리도와 Shewhart 관리도와 Monitoring 효율 비교 : A case study

A기업 대형장치 공정에서 30분 간격으로 1개월 간 수집된 온도 데이터를 이용하여 분석을 진행하였다.

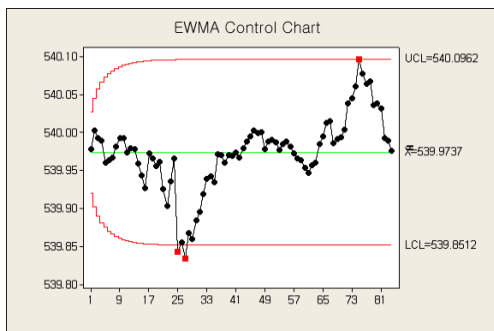
전체데이터에 대한 Durbin-Watson 분석 결과 통계량은 2.50617로 Durbin-Watson 검정표에 따라 음의 자기상관을 가진다고 확인되었다. 따라서 Time interval 간격을 두어 자기상관을 없애는 방법을 사용하였다. 작업자의 교체 시간은 7시간이었고, 이때 셋팅치의 변화가 있었던 것으로 확인되었다. 따라서 Time interval 간격은 7시간으로 결정하였고 7시간 간격(3point/일)으로 데이터를 샘플링 하였다. 이 데이터의 Durbin-Watson 분석 결과 통계량은 2.15584로 검정표에 따라 자기상관이 없다고 확인 되었다. 따라서 이 데이터들은 자기상관이 존재하지 않고 개별 데이터는 독립적이라고 해석이 가능하다.

자기상관이 제거 된 데이터에 대해서 우선 I-MR 관리도로 분석하였다. 그 결과 샘플 번호 25에서 Control-out을 확인할 수 있었다.



<Figure 11> I-MR Control Chart's Analysis of the Temperature at 7 hours Interval

위 데이터에 대해서 EWMA 관리도로 분석하였다. 이때 가중치 λ 는 위 체크리스트를 참조하고 trial and error 과정을 통해서 0.1로 결정되었다. 관리도 분석 결과 샘플 번호 25와 27, 75에서 Control- out을 확인할 수 있었다.



<Figure 12> EWMA Control Chart's Analysis of the Temperature at 7 hours Interval

공정 데이터의 큰 변화는 두 관리도에서 모두 검출이 되었지만, 근접한 점들 간의 작은 변화에 대해서는 EWMA 관리도에서만 검출이 되었다[7].

<Table 2> Upper and Lower Control Limit in Control Charts (I-MR and EWMA Control Charts)

	I-MR Control Charts	EWMA Control Charts
Upper control Limit	540.5080	540.0962
Lower Control Limit	539.4400	539.8512

두 관리도의 관리 상한과 관리 하한의 폭을 비교해보면 EWMA 관리도의 폭이 I-MR 관리도의 폭보다 더 좁은 것을 알 수 있다. 그 이유는 장기적인 관점에서의 변동은 크나 Adjacent Point 지향의 영향으로 인하여 근접한 점들 간에 차이가 없게 타점이 되므로 현재 타점에 비하여 관리 상한과 관리 하한의 폭이 넓게 계산된 것이라 할 수 있다. 그 결과 Monitoring의 효율이 떨어질 수 밖에 없었던 것이다. 반면에 EWMA 관리도는 근접한 점들 간의 작은 변화에 민감하게 반응을 하며, 오히려 관리 상한과 하한의 폭은 더 좁다. 따라서 I-MR 관리도에서는 확인이 되지 않았던 이상 원인에 대한 부분도 검출이 된 것으로 판단된다[9].

6. 결론

장치산업의 데이터라는 것은 Adjacent의 변동은 적고 긴 장기는 변동이 큰 것이 일반적이다. ARIMA 모형이나 AR 모형과 같은 Stochastic 모형을 만들어 분석하는 것이 가장 좋은 방법이지만 사용법이 너무 복잡하고 어려워 많은 데이터를 다루기에는 무리가 있는 것이 사실이다. 간이법으로 Time Interval을 둔 데이터를 이용한 Shewhart 관리도의 사용이 공정 상태를 파악하고 관리하는데 무리가 없다고 인지되고 있지만 Adjacent Point를 지향하는 장치공정에서는 인접간의 시점에서는 작은 변화에 훨씬 민감하게 반응할 수 있는 관리도를 찾는 것이 중요하다고 생각한다. EWMA 관리도는 보다 최근 데이터를 더 중요시 여길 수 있는 가중치 여부의 활용이 가능하기 때문에 장치산업에 어울린다고 할 수 있다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by a Research Fund of Kumoh Nat'l Institute of Technology, Korea.

References

- [1] Cho, J.H. et al., Efficient Method of fixing the Setting (4M standardization) in Melting furnace Operation. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2007, Vol. 30, p 96-104.
- [2] Hong, E.P., *Statistical Design of CV-EWMA Control Chart* [master's thesis]. [Seoul, Korea] : Hanyang University, 2008.
- [3] Ji, S.S., EWMA chart Application using the Transformation of the Exponential with Individual Observations. *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 1999, Vol. 52, p 337-345.
- [4] Kim, K.W., *Bangbeoprongangeui*. Korea : Bakyongsang, 2006.
- [5] Kim, Y.J., An Example on jointing SPC and APC for processes monitoring : ARIMA and PID-control" [master's thesis]. [Gumi, Korea] : Kumoh Institute, 2005.
- [6] Koo, J.H., How to Control Non-conforming Rate in Manufacturing Process of High Autocorrelation : The Case of Display Monitor Glass [dissertation]. [Gumi, Korea] : Kumoh Institute, 2010.
- [7] Kumoh Institute, Hannam University. *Tonggye bunseo-keul wihan Minitabeui Hwalyong*, Korea : Geulnuri; 2010.
- [8] Michael, B.C. and Khoo et al., *Monitoring Process Mean and Variability with One Double EWMA Chart*. Taylor and Francis, 2010.
- [9] Park, S.H., *Statistical Process Control*, Korea : Minyeongsang; 2005.
- [10] Seo, J.Y. et al., ARMA-PL : Tacking Nested Periods and Linear Trend Time Series Data, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2010, 33, 112-126.