

# 제조공정 관리를 위한 EWMA 관리도의 적용에 관한 연구

## A study on Application of EWMA Control Chart for Manufacturing Processes

김 종 곁\* · 김 동 녀\*\*

Jong-Gurl Kim\* · Dong-Nyuk Kim\*\*

### Abstract

제조공정에서 사용되어 지는 SPC(Statistical Process Control)관리 기법은 가피원인을 탐지하여 변동을 감소시키는 통계적 공정관리 시스템이다. SPC의 대표적인 관리 기법으로는 Shewhart관리도, Cusum관리도, EWMA관리도가 있으며 이러한 관리 기법들은 공정을 보다 안정적으로 관리 할 수 있도록 유지 및 예측하는데 사용 되어 진다.

본 논문에서는 일반적으로 사용되어 지는 Shewhart관리도와 공정 예측에 유리한 EWMA 관리도에 대해 연구해보고 공정변화에 민감하게 반응하는 EWMA 관리도의 적용 사례를 제시하고자 한다.

**Keywords:** SPC, Shewhart, Cusum, EWMA

### 1. 서 론

공정의 데이터는 다양한 원인들에 의해서 산포되어 진다. 이러한 산포의 원인을 우연원인과 이상원인으로 쉽게 구분할 수 있다면 관리자가 보다 합리적인 판단에 의해 공정을 관리 할 수 있을 것이다. 관리도 상에서 타점 되어진 데이터들에 대한 이상 유무 판단을 결정지을 수 있는 기준이 되는 선을 관리한계선이라고 한다. 만일 공정이 관리상태(control-in)에 있다면 공정의 변동(variation)이 모두 우연변동에 의해서만 나타난다는 것이고 공정으로부터 얻은 데이터의 대부분이 관리한계선 안에 존재하게 된다. 일반적으로 사용되는 Shewhart 관리도는 품질특성의 큰 이동이 있을 때 탐지 능력이 우수하며, CUSUM관리도는 공정의 변화를 빠르게 감지 할 수 있으며, EWMA관리도는 작은 변동을 검출 할 때 탐지 능력이 우수하다.

---

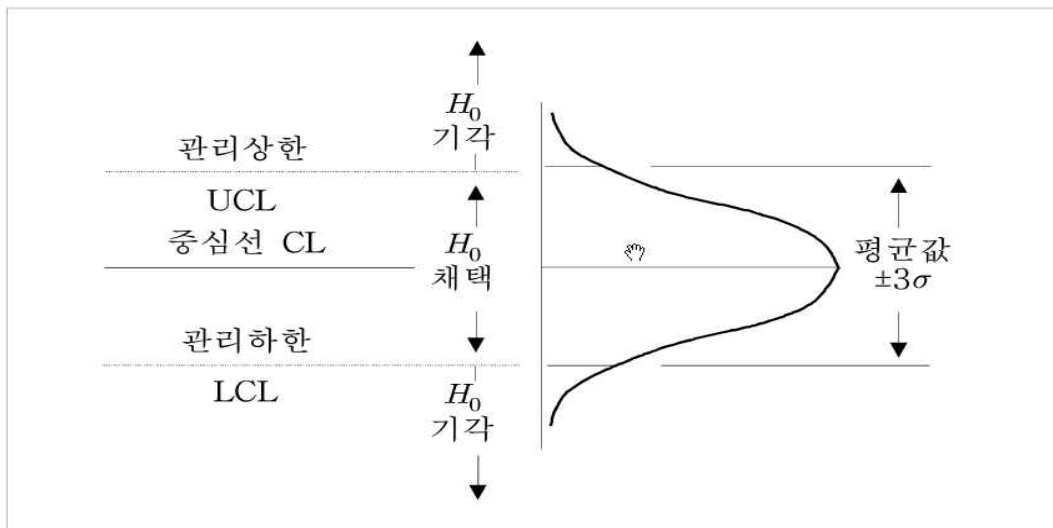
\* 성균관대학교 시스템경영학과 교수

\*\* 성균관대학교 산업공학과 석사과정

본 논문에서는 각 관리도에 대한 적용 기법을 연구해보고 EWMA 관리도를 적용해보고 제조 공정에서 적합한지를 판단해 본다.

## 2. Shewhart 관리도

Shewhart 관리도의 구성은 아래 [그림 2.1]에서 보는 바와 같다.



[그림 2.1] Shewhart 관리도

가운데 선을 중심선(CL : center line)이라 부르며 특성치의 평균값을 나타낸다. 중심선에서  $3\sigma$  위에 있는 관리한계선을 관리상한 (UCL : upper control limit)라 하고, 중심선에서  $3\sigma$  아래에 있는 관리한계선을 관리하한(LCL : lower control limit)이라고 한다. 공정의 데이터는 여러 가지 원인에 의해서 산포한다. 만일 이러한 산포의 원인을 우연원인과 이상원인 2가지로 쉽게 구분 할 수 있다면 관리자가 보다 합리적인 판단에 의해 공정을 관리할 수 있을 것이다. 일반적으로 관리 한계선은 공정 데이터를 나타내는 모집단의 표준편차의 상수배로 나타내는데 주로 3배, 즉  $3\sigma$ 를 사용하며 공정의 모집단을 나타내는 분포로는 정규분포를 사용한다. 관리한계선에 의한 판단은 가설검정으로 이루어지며 공정특성치의 확률분포의 모수를  $\theta_0$ 라하고, 공정의 이상유무를 판정하기 위하여 시료를 추출하는 시점에서의 공정 특성의 확률분포의 모수를  $\theta$ 라 하고 다음을 검정하는 것이다.

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta \neq \theta_0$$

따라서 시료로부터 하나의 데이터를 얻을 때 마다 그 값이 관리한계선을 벗어나면  $H_0$ 를 기각하고 그렇지 않으면  $H_0$ 를 채택하는 것이다. 여기서 관리한계의 폭이 넓을수록 데이터가 밖으로 벗어났을 경우에 이상원인의 존재가 확실해지지만 데이터가 한계선에 들어 있다고 해도 이상원인이 존재 할 수도 있으므로 이상원인을 검출할 수가 없을 경우가 생긴다. 이러한 과오를 제2종 과오 (Type II error)라 한다. 반면에 한계의 폭을 좁게 잡으면 우연원인에 의한 데이터도 한계를 벗어날 확률이 커지고 공정이 관리 상태인데도 이상원인이 있는 것으로 판단하기 쉽다. 이러한 과오를 제1종 과오 (Type I error)라 한다. 그러므로 관리한계선을 결정할 경우에는 이러한 과오를 고려하여 결정하여야 한다.

### 3. EWMA 관리도

EWMA 관리도 (지수가중이동평균 관리도)는 Robert(1959)에 의하여 처음 소개 되었다. Crowder(1987)와 Lucas, Saccucci(1990)의 논문에서도 EWMA에 대한 논의를 찾아 볼 수 있다. EWMA 관리도는 가장 최근의 데이터에 가중치  $\lambda$  ( $0 < \lambda \leq 1$ )을 부여하고 그 바로 전 데이터부터 모든 과거 데이터에는 지수적으로 감소되는 가중치를 부여하게 함으로써 공정의 변화에 민감하게 하여 공정의 변화를 빨리 감지할 수 있게 한다. 이렇게 가중치를 부여해서 얻은 값이 관리한계선을 벗어나면 조치를 취한다.

EWMA 관리도를 작성하는 절차는 다음과 같다. (공정 평균을 관리하는 경우)

- 1) 시료로부터 공정의 평균값과 분산값을 추정한다.
- 2) 지수가중치  $\lambda$ 값을 결정한다. 여기서  $\lambda$ 값은 가장 최근 데이터에 부여하는 가중치이며 0과 1사이 값 중에서 선택한다.
- 3) 관리도 상의 시작점  $k_0$ 를 결정한다. 보통 공정평균의 목표값 또는 공정평균의 추정치 중에서 선택한다.
- 4) 다음식에 의해서 지수가중 이동평균( $Z_k$ )을 구한다.

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

여기서  $X_k$ 는 공정으로부터 얻은 실제 데이터 값을 나타낸다.

- 5) 다음식에 의해서 관리한계선을 구한다.

$$\hat{\mu} \pm 3 \sqrt{\frac{\lambda}{2 - \lambda}} \cdot \hat{\sigma}$$

이러한 지수가중 이동평균 관리도는 시료수가 작을 경우 유용하게 사용할 수 있으며 Shewhart 관리도에 비해서 공정의 작은 변화를 보다 빨리 탐지하는 장점이 있다.

하지만 갑작스런 공정의 변화에는 느리게 반응하는 단점도 있다.

EWMA 관리도를 이용하는 방법에서는  $\lambda$ 을 선택하는 것이 중요하다.  $\lambda$ 가 작을수록 공정 변화에 민감하게 반응한다.  $\lambda$ 는 0.05에서 0.25사이의 값을 일반적으로 사용한다고

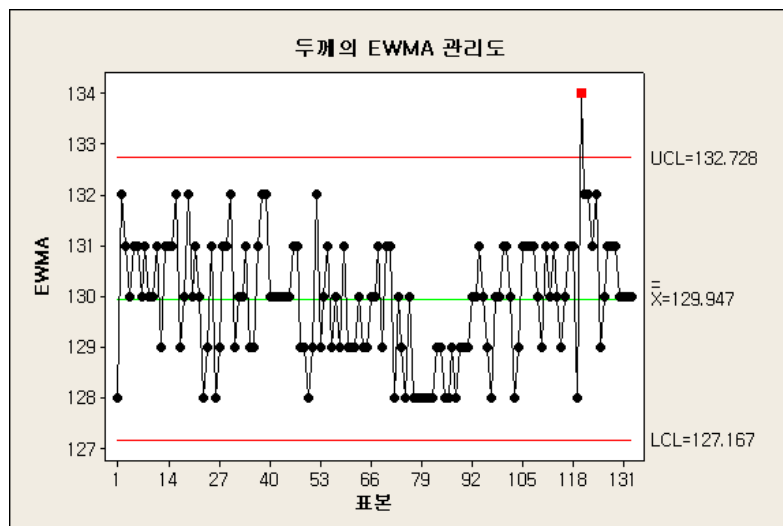
알려져 있다. 0.25보다 클 경우 EWMA 관리도의 효율이 떨어지게 되고 0.05보다 작을 경우 너무 작은 변동까지 감지하게 되어 문제가 발생 할 수 있다는 것이다.

가중치  $\lambda$ 는  $0 < \lambda \leq 1$ 로 설정할 수 있으며,  $\lambda$ 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.

#### 4. EWMA의 사례 연구

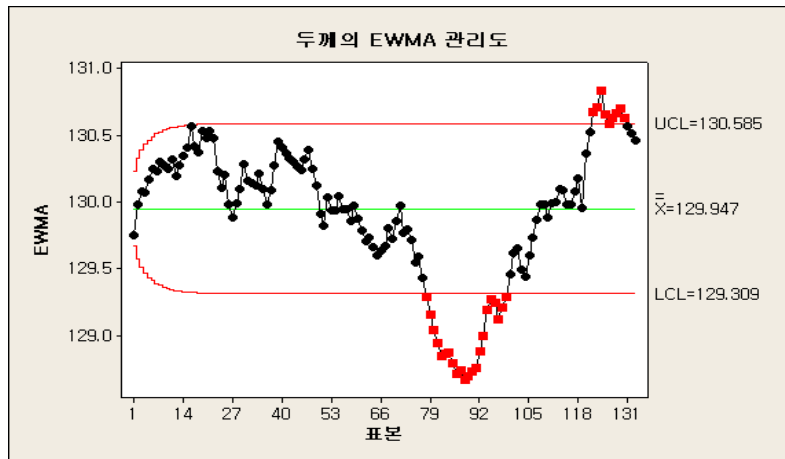
연속 코팅 제조 방식의 공정에서 도포되는 조액의 두께의 공정관리를 하기위한 관리도 설정으로 EWMA 관리도 방식을 설정하였을 때  $\lambda$  값에 따라서 이상 발생 검출 차이를 연구해 보았다.

두께에 대한 데이터를 일반적인 I-MR 관리도를 통해 분석을 하였다. [그림 4.1] 그 결과 샘플 번호 120에서 out of control을 확인 할 수 있었다.



[그림 4.1] 두께의 I-MR 관리도 분석

동일한 데이터를 EWMA 관리도로 분석을 하였다. [그림 4.2] 이 때 가중치  $\lambda$ 는 0.1로 결정 되었고 분석 결과 샘플번호 78~99, 122~130 데이터가 out of control이 되었다.



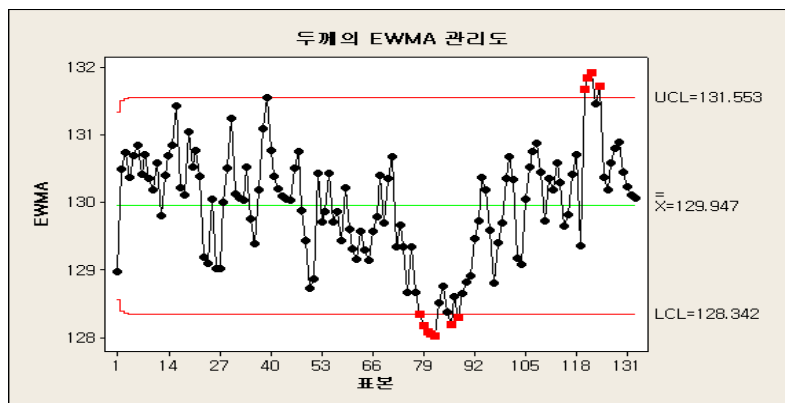
[그림 4.2] 두께의 EWMA 관리도 분석 ( $\lambda=0.1$ )

I-MR 관리도에서는 가장 높게 측정된 한 개의 데이터만 검출 되었지만, EWMA 관리도에서는 근접한 점들 간의 작은 변화가 동반되기 때문에 21개의 데이터가 검출이 되었다.

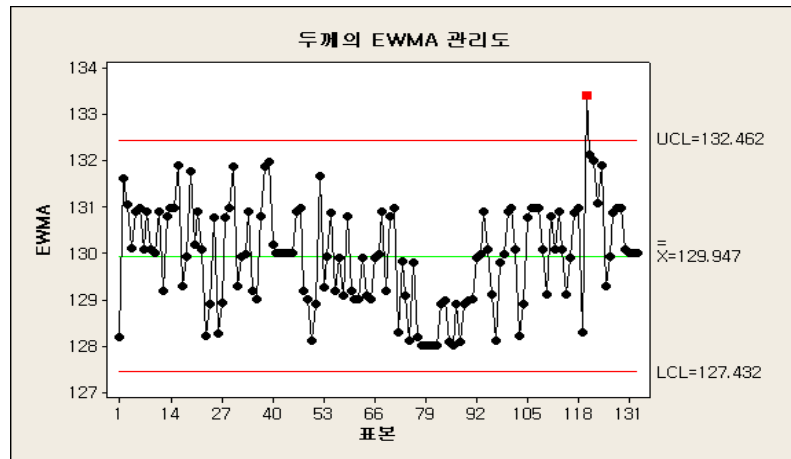
[표 4.1] I-MR 관리도와 EWMA 관리도의 UCL, LCL 비교

	I-MR 관리도	EWMA 관리도
UCL	132.728	130.585
LCL	127.167	129.309

EWMA 관리도는 가중치  $\lambda$ 에 의해서 관리 상한과 관리 하한이 변화한다. 이러한 과정에서 실제 타점되는 데이터들과 관리 상한, 관리 하한의 변화를 알아보기 위해 정해진 데이터를 대상으로  $\lambda=0.1, 0.5, 0.9$  로 변경하여 설정하면서 분석해 보았다.



[그림 4.3] 두께의 EWMA 관리도 분석 ( $\lambda=0.5$ )



[그림 4.4] 두개의 EWMA 관리도 분석 ( $\lambda=0.9$ )

가중치  $\lambda$ 가 커질수록 새로운 데이터의 비중은 커져서 전체적인 변화가 크게 나타나게 된다. 관리상한과 관리하한의 폭은 가중치  $\lambda$ 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 관리 상한과 관리하한의 폭이 충분히 좁아져 타점 간의 작은 변화에 보다 민감하게 반응할 수 있다는 결과를 보여 주었다.

[표 4.2] EWMA 관리도에서  $\lambda=0.1, 0.5, 0.9$  일 때 관리상한과 관리하한 비교

	$\lambda=0.1$	$\lambda=0.5$	$\lambda=0.9$
UCL	130.585	131.553	132.462
LCL	129.309	128.342	127.432

### 5. 결론 및 추후 연구과제

EWMA 관리도는 가중치  $\lambda$ 를 이용하여 민감도를 조절 할 수 있다. 하지만 가중치  $\lambda$ 의 값으로 정할 수 있는 수는  $0 < \lambda \leq 1$ 로 상당히 넓으며 ( $\lambda=1$ 이면 I-MR관리도가 됨)  $\lambda$  값의 변화에 따라 타점 및 관리상한과 관리하한이 변화하게 되어 모니터링 효율 또한 바뀌게 된다. 적절한 가중치  $\lambda$ 의 값을 제시해주는 많은 연구 결과가 있지만 한 공정 내에 적용하기에는 넓은 범위이며 적합한 가중치에 대한 기준이 확실하지 않은 것은 사실이다. 공정 내에서 항상 변할 수 있는 변수 들을 고려하여  $\lambda$ 를 정한다는 것은 어려운 일이다. 하지만 지속적인 Monitoring 과 변동 인자들을 검토하여 적절하게  $\lambda$ 가 결정 되어 진다면 shewhart 관리도 보다 효율적인 공정관리를 유지 할 수 있을 것이다.

본문에 언급된 코팅 공정에서는 연속 생산이기 때문에 측정된 데이터의 인접한 Lot와 연관성을 갖고 있다. 이러한 점을 고려하여 공정간의 민감한 변화를 감지하기 위해서 EWMA 관리도의 적용이 필요하다. EWMA 관리도를 통한 공정 관리 방법이 다른 측정 항목에서도 효과적일 수 있는지 그리고 해당 공정에 적절한 가중치  $\lambda$  값을 찾는 방법에 대한 연구가 진행 되어야 할 것이다.