

Demerit-CUSUM 관리도와 해석방법에 관한 연구

나상민* · 강창욱** · 심성보**

*LG 실트론 · **한양대학교 산업공학과

A Study of Demerit-CUSUM Control Chart and Interpretation Method

Sang Min Na* · Chang Wook Kang** · Seong Bo Sim**

*LG Siltron · **Department of Industrial Engineering, Hanyang University

Key Words : SPC, Demerit Control Chart, Cusum Control Chart, Interpretation

Abstract

As the technology has improved and demands of customers have varied, a lot of products are getting diverse and intricate. Consequently, the enterprise that produce products have to simultaneously consider the various variables for the very products. There are some scheme, such as Multivariate control chart and Demerit control chart, designed to simultaneously monitor the variables in the process.

In this paper, we present an effective method for process control using the Demerit-CUSUM control chart in the process where nonconforming units or nonconformities are occurred by various types. In addition, we show interpretation method for abnormal signal in order to quickly detect the assignable causes as Demerit-CUSUM control chart signals abnormality.

we compare performance of Demerit control chart and Demerit-CUSUM control chart using example again used in the existing studies, and present result of performance according to changing sample size and parameter.

1. 서론

다양한 산업분야에서 계수치 데이터에 기초한 관리도를 이용하고 있다. 일반적으로 불량률이나 불량갯수를 관리하는 경우는 p , pn 관리도를 사용하고 결점수 또는 단위당

결점수를 관리하는 경우는 c , u 관리도를 사용한다[8].

p , pn , c , u 관리도 등과 같은 계수치 관리도들은 주로 한 개의 품질특성치를 관리할 때 사용되어진다. 그러나 고객의 요구가 점점 다양해지고 공정이 복잡해짐에 따라 모니

터링해야 할 품질특성치들도 다양하게 되었다. 이러한 여러 개의 품질특성치를 동시에 모니터링하기 위해 다변량 관리도, Demerit 관리도 등의 방법들이 제시되었다.

특히, 복잡한 제품에서는 여러 가지 형태의 결점이나 불량 발생할 수 있다. 또한 여러 형태의 결점은 모두가 같은 중요도를 가지지 않는다. 이러한 중요도가 다른 결점들을 동시에 관리하기 위한 방안은 주로 한 개의 품질특성치를 관리할 때 사용되어진다. 그러나 고객의 요구가 점점 다양해지고 공정이 복잡해짐에 따라 모니터링해야 할 품질특성치들도 다양하게 되었다. 이러한 여러 개의 품질특성치를 동시에 모니터링하기 위해 다변량 관리도, Demerit 관리도 등의 방법들이 제시되었다. 특히, 복잡한 제품에서는 여러 가지 형태의 결점이나 불량 발생할 수 있으며, 그들의 중요도가 같지 않다. 이러한 중요도가 다른 결점들을 동시에 관리하기 위한 방법이 Demerit 관리도이다[5].

Demerit 관리도는 동시에 여러 개의 품질특성치를 관리할 수 있는 효과적인 기법이지만, 포아송(Poisson)분포를 다른 확률변수들의 선형결합으로 이루어진 통계량을 다루고 있다. 따라서 이 통계량이 항상 정규분포를 따른다고 할 수 없어서, 기존의 슈하르트 관리도와 같은 3-시그마 관리방법을 사용한다면 제 1종 과오를 범할 확률이 사용자가 계획한 확률과 다르게 된다.

Demerit 관리도의 사용 시, 이상신호가 발생하였을 경우, 각 결점형태의 가중치를 고려한 결점갯수의 선형결합으로 이루어진 통계량에 대한 해석이 어려운 점은 관리자가 이상신호에 대한 원인을 분석하는데 시간과 비용을 증가시키는 이유가 된다.

본 연구에서는 통계량의 분포가 정규성을

가지지 않아도 적용가능하며 공정평균의 작은 변동에 대해서도 민감한 *CUSUM* (cumulative sum) 기법을 이용하여 공정불량의 작은 변동에 대해서 민감한 Demerit-*CUSUM* 관리도를 사용함으로써 관리도의 수행도를 개선하고, 또한 Demerit-*CUSUM* 관리도의 이상신호 발생 시 해석방법을 제시함으로써 공정의 이상상태에 대해 빠르게 대처할 수 있도록 한다.

2. Demerit 관리도와 *CUSUM* 관리도

2.1 Demerit 관리도

1928년 Dodge[1]는 여러 가지 형태의 결점을 제품에 미치는 영향의 정도에 따라 다음과 같이 4개의 Class로 분류할 것을 제안하였다.

Class "A" Defects (Very Serious) : 제품의 작동을 거의 불가능하게 하거나 수리가 용이하지 않고 사용자에게 상해를 입힐 수 있는 결점들이다.

Class "B" Defect (Serious) : 제품의 작동불능을 일으킬 가능성이 있거나 수명단축, 유지보수 비용의 증가 등의 원인을 일으키는 결점들이다.

Class "C" Defect (Moderately Serious) : 작동불능과 같은 결점보다는 덜 심각한 결점들이나 마무리 작업, 외관 등에서의 주요한 결점들이다.

Class "D" Defect (Minor) : 제품이 서비스에 실패하지 않지만 마무리 작업, 외관 등에서의 사소한 결점들이다.

상이한 결점들을 관리하기 위하여 Demerit 관리도는 각 Class로 분류된 결점의 가중치를 고려한 선형결합으로 이루어진 Demerit 통계량을 이용한다. x_{iA} , x_{iB} , x_{iC} , x_{iD} 를 각각 i 번째 샘플에서의 Class A, B, C, D 결점의 수이고 각 결점의 발생이 서로 독립이라고 하면, Dodge가 제안한 각 결점의 가중치를 $w_A = 100$, $w_B = 50$, $w_C = 10$, $w_D = 1$ 으로 부여하여 Demerit 통계량 (d)를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$d_i = w_A x_{iA} + w_B x_{iB} + w_C x_{iC} + w_D x_{iD} \quad (1)$$

만약, N 개의 샘플이 사용되었다면 유닛(unit) 당 Demerit의 수(u_i)는 다음과 같다.

$$u_i = \frac{D}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{N} \quad (2)$$

식 (2)에서 구한 값을 이용하여 관리도에 타점을 하게 된다.

Demerit 관리도의 중심선과 관리 상·하한선은 각각 다음과 같다.

$$\text{중심선(Center Line)} = \bar{u}$$

관리상한선(Upper Control Limit)

$$= \bar{u} + 3\hat{\sigma}_u$$

관리하한선(Lower Control Limit)

$$= \bar{u} - 3\hat{\sigma}_u$$

여기서

$$\bar{u} = 100\bar{u}_A + 50\bar{u}_B + 10\bar{u}_C + \bar{u}_D$$

이고,

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{(100)^2 \bar{u}_A + (50)^2 \bar{u}_B + (10)^2 \bar{u}_C + \bar{u}_D}{N}}$$

이다.

이러한 Demerit 관리도의 설계는 샘플 통계량 u_i 가 정규분포(normal distribution)를 따른다는 가정 하에 이루어진다. 그러나 계수치 데이터들은 정규성의 가정에 잘 맞지 않는다. d 를 들면 p 나 pn 관리도의 품질특성은 이항분포(binomial distribution)를 따른다. 이러한 경우에 정규분포를 따른다는 가정 하에서 3-시그마 관리한계선을 사용하면 이항분포의 치우침(skewness)때문에 관리도의 사용에 왜곡이 생길 수 있다. 즉, 정규분포 하에서 3-시그마의 관리상한과 관리하한을 벗어날 확률이 각각 0.135인데 정규성의 가정이 맞지 않는다면 이러한 확률이 틀려지게 된다.[7][8]

관리한계선 설정에 있어서 확률에 기초한 설정은 정규분포 하에서의 3-시그마 관리한계선을 사용할 때 제 1종 과오를 범할 확률 0.27에 근사한 확률값을 갖도록 관리 상·하한선을 설정할 수 있다. 이것은 관리도의 수행도에 상향변동(upward shift)와 하향변동(downward shift)를 검출할 때에 거의 동일한 수행도를 갖게 해준다.

또한 기존의 연구들에서 3-시그마 관리한계선을 사용하는 슈하르트 관리도는 평균의 변동이 큰 경우에는 민감하나, 그렇지 못한 경우에는 그 정도가 떨어지는 단점을 지적했다. 3-시그마 관리방법을 사용하는 Demerit 관리도는 슈하르트 관리도와 마찬가지로 평균의 작은 변동에 민감하지 못한 단점을 가지고 있다.

2.2 CUSUM 관리도

1954년 Page[5]가 제안한 CUSUM 관리도는 공정 평균의 작은 변동에 민감한 관리도로서, 현재에도 많은 학자들에 의해 연구되

어지고 있다. *CUSUM* 관리도에서 사용되는 통계량은 다음과 같다.

$$C_i^+ = \text{Max}[0, x_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+] \quad (3)$$

$$C_i^- = \text{Max}[0, (\mu_0 - K) - x_i + C_{i-1}^-] \quad (4)$$

여기서, $C_0^+ = C_0^- = 0$,

$$K(\text{reference value}) = \frac{\delta}{2} \sigma = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{2}$$

이다.

관리도의 판정은 위의 식 (3)과 식 (4)의 값이 *H*(decision interval)값을 넘게되면 공정에 이상이 있다고 판정을 하게된다. 일반적으로 *H*값은 표준편차의 5배, 즉 $H=5\sigma$ 를 사용하고 있다. *CUSUM* 관리도의 적용 시 *K*와 *H*값의 설정은 관리도의 수행도에 많은 영향을 미친다. 일반적으로 *H*는 4 또는 5, *K*는 0.5일 때에 좋은 수행도를 보이는 것으로 알려져 있다.

CUSUM 관리도는 다음과 같은 장점을 있다. 첫째, 통계량의 정규성에 대한 가정이 필요 없다. 즉, 분포의 잘못된 가정에 의해 확률을 왜곡시키는 오류가 없게 된다. 둘째, 사용자가 원하는 특정한 평균 변동량에서의 증가와 감소를 검출하기 위해 디자인되어질 수 있다. 셋째, *CUSUM* 관리도는 공정평균의 변화가 작을 때 공정변화를 빨리 감지한다.

3. Demerit-CUSUM 관리도

3.1 Demerit-CUSUM 관리도의 통계량과 판정방법

본 연구에서 제안하는 Demerit-CUSUM 관리도는 Dodge[1]가 제안한 결점 분류방법

을 사용하여 Demerit-CUSUM의 통계량을 구한다. 이를 위해서 다음과 같은 가정을 둔다. 첫째, 각 클래스의 결점 발생은 독립적이며 각각 모수가 λ_i 인 포아송 분포를 따른다. 둘째, 공정평균의 변화로 인한 이상발생 시, 여러 개의 결점이 동시에 원인이 될 수 있다. 셋째, 각 클래스의 결정에 대한 가중치는 Dodge가 제안한 각 결점의 가중치 $w_A = 100$, $w_B = 50$, $w_C = 10$, $w_D = 1$ 을 사용한다.

Demerit-CUSUM 관리도는 (2)식에 나와있는 유닛당 결점 수인 u_i 를 사용하여 Demerit-CUSUM 통계량을 구한다.

$$C_i^+ = \text{Max}[0, u_i - K + C_{i-1}^+]$$

$$C_i^- = \text{Max}[0, K - u_i + C_{i-1}^-]$$

여기서,

$$C_0^+ = C_0^- = 0$$

$$K = \bar{u} = 100 \bar{u}_A + 50 \bar{u}_B + 10 \bar{u}_C + \bar{u}_D$$

이다.

관리도의 판정은 *CUSUM* 관리도의 판정방법과 동일하게 C_i^+ 또는 C_i^- 값이 *H*값보다 크게 되면 이상상태로 판정하게 된다.

3.2 Demerit-CUSUM 관리도의 수행도 비교

본 절에서는 샘플사이즈 *N*과 단위당 평균 결점갯수 \bar{u} 가 변하는 경우에 대하여 3-시그마 관리한계선을 적용한 Demerit 관리도와 Demerit-CUSUM 관리도의 수행도를 비교한다. 샘플사이즈와 \bar{u} 값의 변화에 따른 수행도 비교는 각 공정에 따라 여러 가지의 λ_i 조합들에 대한 기준값으로 \bar{u} 값을 이용

<표 1> \bar{u} 값의 변화에 따른 λ_i 의 조합

\bar{u} \ λ_i	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
0.2	0.00124223	0.00124224	0.00124227	0.00124230
1.0	0.00621118	0.00621118	0.00621118	0.00621120
1.8	0.01118012	0.01118013	0.01118013	0.01118020

<표 2> $N=100$ 일 때, 3-시그마 관리한계선과 Demerit-CUSUM 관리도의 수행도 비교

ARL Mean		3-시그마 관리한계선				Demerit-CUSUM			
		$N = 100$		$N = 300$		$N = 100$		$N = 300$	
μ_0	Mean shift	λ_1 변화	λ_4 변화	λ_1 변화	λ_4 변화	λ_1 변화	λ_4 변화	λ_1 변화	λ_4 변화
0.2	$1.00 \mu_0$	49.5790		98.7210		49.4755 ($K=0.2, H=3.45$)		98.6162 ($K=0.2, H=2.935$)	
	$1.25 \mu_0$	32.3754	49.4091	44.9755	55.6036	39.5594	48.2026	51.8714	55.1189
	$1.50 \mu_0$	22.9414	49.1951	25.8155	43.2314	29.1647	34.6309	29.1461	30.2527
	$1.75 \mu_0$	17.7592	48.7209	16.2312	39.1014	22.1058	25.0910	20.3440	20.7434
	$2.00 \mu_0$	14.1973	46.8835	11.3564	23.5363	17.8085	19.4752	15.5755	15.7931
1.0	$1.00 \mu_0$	121.4780		158.2680		121.5360 ($K=1.0, H=12.7$)		158.6750 ($K=1.0, H=8.475$)	
	$1.25 \mu_0$	46.8517	60.7687	36.9363	68.6435	48.1459	49.7780	34.2081	34.4844
	$1.50 \mu_0$	23.9535	47.7400	13.6179	28.2563	25.8849	26.2767	17.7743	17.8103
	$1.75 \mu_0$	13.9120	25.8365	6.7033	13.1830	17.7682	17.9466	12.0995	11.9954
	$2.00 \mu_0$	9.3141	20.2528	4.0748	6.6214	13.6502	13.5830	9.2110	9.0951
1.8	$1.00 \mu_0$	139.0820		221.9990		139.4650 ($K=1.8, H=18.39$)		221.132 ($K=1.8, H=13.617$)	
	$1.25 \mu_0$	42.3962	67.5602	33.6524	56.5158	40.3816	40.8966	31.0063	31.0805
	$1.50 \mu_0$	18.3525	35.3931	10.0417	17.3114	21.2339	21.4093	15.8855	15.8496
	$1.75 \mu_0$	10.0462	19.6991	4.3357	6.5948	14.4229	14.3820	10.7836	10.7208
	$2.00 \mu_0$	6.2621	11.5732	2.5163	2.9636	10.9851	10.8997	8.2094	8.1421

한다. 사용되는 샘플의 크기가 다를 수 있기 때문에 이를 고려하여 행해진다. λ_i 의 조합은 다음과 같은 제약식을 사용함으로써 주어

진 \bar{u} 값에 대해 최소의 ARL_0 를 가지는 λ_i 의 조합을 찾을 수 있다.

$$\lambda_1 \leq \lambda_2 \leq \lambda_3, \lambda_4 \tag{5}$$

위의 식 (5)는 주어진 \bar{u} 값에 대해 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 의 순으로 가장 큰 값을 부여할 수 있게 한다. 이때,

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4$$

또는 $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx \lambda_3 \approx \lambda_4$ 를 만족하는 λ_i 의 값들은 Demerit-CUSUM 관리도의 ARL_0 를 가장 작게 하는 조합이 된다. 즉, ARL_0 가 가장 작은 경우의 Demerit-CUSUM 관리도와 3-시그마 관리한계선의 ARL_0 를 비슷하게 맞추고 이를 기반으로 ARL_1 을 서로 비교한다.

식 (5)를 통한 λ_i 값의 설정은 가중치가 큰 결점은 가중치가 작은 결점보다 그만큼 발생할 확률이 작다는 것을 의미한다. 만약, 가중치가 큰 결점의 발생이 더 크다면 그러한 제품은 소비자에게 제품으로서 가치를 잃기 때문이다.

본 연구에서 3-시그마 관리기법과 Demerit-CUSUM 관리기법의 비교를 위해 사용된 \bar{u} 값의 변화에 따른 λ_i 의 조합들은 <표 1>과 같다. <표 1>의 결과를 이용하여 샘플사이즈 $N=100, N=300$ 일 때, 3-시그마 관리한계선을 사용한 Demerit 관리도의 수행도와 Demerit-CUSUM 관리도의 수행도를 비교한 것이 <표 2>이다. <표 2>에서는 3-시그마 관리한계선을 사용한 Demerit 관리도의 ARL 과 Demerit-CUSUM 관리도의 ARL 을 비교해보면 일반적으로 Demerit-CUSUM 관리도의 ARL_1 은 λ_i 의 변화에 대해 대부분 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. <표 2>에서 u_0 값이 작을 때 (u_0 가 0.2), Demerit-CUSUM 관리도의

ARL_1 은 λ_i 의 변화에 따라 달라짐을 보이고 있다. 그러나 샘플사이즈가 커짐에 따라 그 차이가 점점 줄어들 수 있다. 또한, \bar{u} 값이 1.0과 1.8에서는 작은 변동($1.25\mu_0$)에 대하여 ARL_1 이 3-시그마 관리한계선의 가장 작은 λ_1 의 ARL_1 보다 작거나 거의 같은 수행도를 보임을 알 수 있다.

결론적으로 위의 표에서 보듯이 Demerit-CUSUM 관리도는 일반적인 CUSUM 관리도와 마찬가지로 작은 변동에 민감함을 알 수 있다. 또한, 어떤 λ_i 의 조합에 대해서도 ARL_1 은 일정한 값을 나타낸다. 즉, 로버스트(Robust)한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.3 Demerit-CUSUM 관리도의 해석

관리도의 사용에 있어서 공정변화를 감지하더라도 그에 대한 효율적인 대처방법이 없다면 그 효용도가 떨어질 것이다. 본 절에서는 Demerit-CUSUM 관리도에서 이상신호가 발생했을 때, 이상 신호의 해석을 위한 표준화된 점수를 제시한다.

Demerit-CUSUM 관리도에서 통계량은 여러 개의 결점들에 대한 선형결합으로 이루어지기 때문에 이상신호가 발생했을 때, 어떤 결점이 이상신호에 가장 큰 영향을 미쳤는지 판단할 필요가 있다. 즉, 이상신호에 가장 큰 영향을 미치는 결점을 찾아 그 원인부터 조사를 한다면 가장 빠르게 공정의 이상에 대처할 수 있을 것이다. 만약 이러한 이상신호에 대한 해석방법이나 없다면, 관리도를 사용하는 사용자는 이상신호 발생 시 모든 결점에 대해 원인 조사에 착수해야하는 시간과 인적, 물적 자원을 낭비하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 식 (6)과 같은 표준화된 점

수를 사용할 것을 제안한다.

Demerit-CUSUM 관리도에서 이상발생 신호시 각 형태의 결점에 대한 표준화된 점수는 다음과 같이 구한다.

$$\begin{aligned} \overline{Z}_{D_i} &= \frac{\sum_{j=k-m}^k Z_{D_{ij}}}{m} \\ &= \frac{\sum_{j=k-m}^k \frac{w_i [C_{ij} - N\lambda_i]}{\sqrt{N\lambda_i}}}{m} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, i : 각 결점의 형태

k : Demerit-CUSUM 관리도에서 이상신호가 발생한 시점

m : Demerit-CUSUM 관리도에서 공정이 변화된 시점에서 이상신호가 발생할 때 까지 시점의 총 횟수

이다.

식 (6)의 \overline{Z}_{D_i} 는 공정이 변화된 시점에서 이상신호가 발생할 때까지 가중치 w_i 를 고려한 i 번째 결점형태의 표준화된 점수를 평균한 값이다. 만약 공정에서 상향변동이 발생했을 때는 식 (6)을 이용하여 각 결점의 형태에 대해 \overline{Z}_{D_i} 값을 구하고, \overline{Z}_{D_i} 값이 가장 큰 형태의 결점에 대해 그 원인을 조사해 나가면 된다. 반대로 공정의 하향변동이 발생했을 때는 가장 작은 값부터 조사해 간다.

Dodge 와 Torrey[1]의 예제를 통해 Demerit-CUSUM 관리도의 해석 방법에 대해 알아본다.

샘플수 $N=232$ 에 대해 각 형태의 단위당 결점수는 다음과 같다.

$$\lambda_1=0.0014, \lambda_2=0.0034, \lambda_3=0.0250, \lambda_4=0.0097$$

시뮬레이션을 통해 위의 각 λ_i 값들에 대해 30개의 데이터를 발생시키고, 31번째 데이터부터는 공정의 평균이 1.5배 변화시키고 이때 λ_i 값들은 다음과 같다고 가정한다. 여기서 사용되는 $K=\overline{u}=0.5247$, H 값은 4.227을 사용한다.

$$\lambda_1=0.0018, \lambda_2=0.00658, \lambda_3=0.0248, \lambda_4=0.03005$$

위의 변화된 각 λ_i 값들에 대해 가중치를 고려하여 표준화된 변화량을 살펴보면

$$\lambda_1 = \frac{100 \times (0.0018 - 0.0014)}{\sqrt{0.0014}} = 1.069$$

$$\lambda_2 = \frac{50 \times (0.00658 - 0.0034)}{\sqrt{0.0034}} = 2.727$$

$$\lambda_3 = \frac{10 \times (0.0248 - 0.0250)}{\sqrt{0.0250}} = 0.300$$

$$\lambda_4 = \frac{1 \times (0.03005 - 0.0097)}{\sqrt{0.0097}} = 0.207$$

이다.

즉, $\lambda_2 > \lambda_1 > \lambda_3 > \lambda_4$ 의 순으로 공정평균이 변화했음을 알 수 있다. 시뮬레이션을 통해 구한 데이터로서 작성한 Demerit-CUSUM 관리도는 <그림 1>과 같다. <그림 1>을 보면 30번째 데이터까지 관리도는 안정상태를 보인다. 그러

나 31번째 데이터에서 평균이 1.5배 변화되었을 때, 41번째 데이터에서 이상신호가 발생함을 볼 수 있다. 이때 일반적인 CUSUM 관리도에서처럼 Demerit-CUSUM 관리도의 공정변화 시점은 이상신호가 발생한 시점을 기준으로 이전 점들의 sequence에서 처음으로 통계량이 0보다 큰 값이 나오는 시점이 된다. 그러므로 <그림 1>로부터 31번째 데이터에서 공정에 변화가 생겼다고 추정하게 된다.

이와 같이 관리도에서 이상신호가 발생하게 되면 관리자는 이상신호에 대한 원인조사에 착수하여야 한다. 그러나 앞에서 언급한 것처럼 Demerit-CUSUM 관리도는 여러 가지 선형 결합 된 통계량을 이용하기 때문에 어떤 결점의 원인에 대해 먼저 조사를 해야 할 것인지 알 수 없다. 설령 모든 결점에 대해 조사를 한다 해도 자칫하면 시간과 자원을 낭비할 수 있게 된다. 이러한 이유로 Demerit-CUSUM 관리도에서 이상신호가 발생했을 경우 식 (6)과 같은 표준화된 점수를 사용할 것을 제안하였다. 각 형태의 결점에 대해 표준화된 점수를 구해보면 다음과 같다.

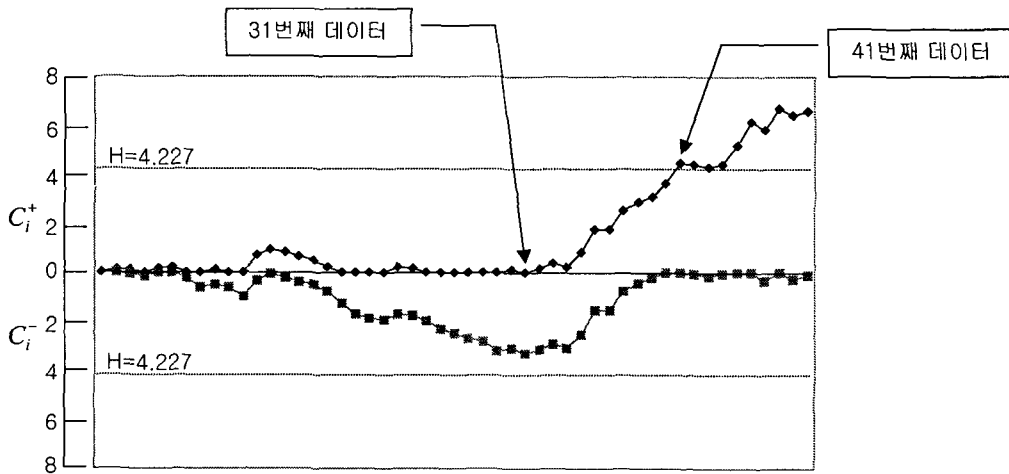
$$\bar{Z}_{D_A} = \frac{\sum_{j=31}^{41} \frac{100[C_{A_j} - (232 \times 0.0014)]}{\sqrt{(232 \times 0.0014)}}}{11} = 22.77$$

$$\bar{Z}_{D_B} = \frac{\sum_{j=31}^{41} \frac{50[C_{B_j} - (232 \times 0.0034)]}{\sqrt{(232 \times 0.0034)}}}{11} = 63.07$$

$$\bar{Z}_{D_C} = \frac{\sum_{j=31}^{41} \frac{10[C_{C_j} - (232 \times 0.0205)]}{\sqrt{(232 \times 0.0205)}}}{11} = 8.21$$

$$\bar{Z}_{D_D} = \frac{\sum_{j=31}^{41} \frac{10[C_{D_j} - (232 \times 0.0097)]}{\sqrt{(232 \times 0.0097)}}}{11} = 4.20$$

위 계산 결과를 살펴보면 $\bar{Z}_{D_B} > \bar{Z}_{D_A} > \bar{Z}_{D_C} > \bar{Z}_{D_D}$ 이며, 관리도에서 상향변동이 나타났으므로, 가장 큰 값을 가지는 B 타입의 결점이 이상신호에 가장 큰 영향을 주고 있으며 그 다음으로 A 타입, C 타입, D 타입의 순으로 영향을 주고 있음을 의미한다. 이러한 결과는 앞에서 각 λ_i 값들에 대해 가중치를 고려한 표준화된 변화량의 크기 순서와 동일함을 보이고 있다. 그러므로 관리자는 가장 먼저 B 타입의 결점에 대해 그 원인을 조사해야 할 것이다.



<그림 1> Demerit-CUSUM 관리도

4. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 공정 상에서 제품의 다양한 불량 또는 결점을 관리할 수 있는 Demerit 관리도에 대해 작은 변동에 민감한 CUSUM 관리도를 결합함으로써 기존의 Demerit 관리도에 대한 수행도를 향상시키는 방안을 제시하였다.

현실적으로 많은 제품들은 다양한 불량 또는 결점들이 발생할 수 있으며 이러한 불량이나 결점들은 제품을 사용하는 소비자에게 중요도가 틀릴 것이다. 그럼에도 불구하고 많은 기업에서 표면적인 관리와 깊이 있는 관리도의 연구 없이 단순히 각 불량이나 결점에 대해 하나의 불량이나 결점으로 취급하여 관리도를 적용하고 공정을 관리해 나가고 있다. 이것은 관리도의 제 1종 과오를 일으켜 정확한 공정의 진단과 해석을 할 수 없으며 자칫하면 기업에 커다란 손실을 불러일으킬 수 있게 된다.

본 연구에서 제시한 Demerit-CUSUM 관리도는 기존의 3-시그마 관리한계선을 사용하는 Demerit 관리도와 비교해서 평균의 작은 변동에 더 민감함을 보였고 또한, 평균의 변동이 생겼을 경우 각 결점형태의 평균발생갯수인 λ_i 의 변화에 상관없이 거의 일정한 ARL_1 을 나타냄을 보였다. 즉, Demerit-CUSUM 관리도는 로버스트한 ARL_1 을 나타냄으로써 관리도를 사용하는 사용자에게 공정의 평균과 샘플수의 변화에 따라 기대되는 수행도를 예측할 수 있게 한다.

그리고 Demerit-CUSUM 관리도의 사용시 C_0^- 와 C_0^+ 의 값을 0으로 초기화하여 수행도를 비교했지만 FIR(Fast Initial Response)을 이용한 Demerit-CUSUM을 사용하면

ARL_1 에 대한 더 좋은 수행도를 기대할 수 있을 것이다. 또한, Demerit-CUSUM 관리도의 수행도 개선 및 불량이나 결점의 발생이 포아송분포를 따른다는 가정을 벗어나 이항분포나 다른 분포를 따른다는 가정 하에서 로버스트한 Demerit-CUSUM 관리도의 개발 등을 고려해 볼 수 있을 것이다. 또한 Demerit 통계량의 정규성에 대한 가정이 충족된다면 EWMA 관리도와 결합을 생각해 볼 수 있을 것이다.

그러나, 기업의 제품종류나 특성에 따라서, 본 연구에서 가정한 각 불량 또는 결점의 가중치들이 항상 맞지 않을 수 있으며 실제적으로 이러한 가중치의 설정에 관한 문제는 기업의 특성에 맞게 고려되어야 할 부분이다.

참고문헌

- [1] Dodge, H. F. and M. N. Torrey(1977), "A Check Inspection and Demerit Rating Plan", *Journal of Quality Technology*, Vol. 9, No. 3, pp. 146-156.
- [2] Jones, L. A., W. H. Woodall and M. D. Conerly(1999), "Exact Properties of Demerit Control Charts", *Journal of Quality Technology*, Vol. 31, No. 2, pp. 207-216.
- [3] Lu, X. S., M. Xie, T. N. Goh and C. D. Lai(1998), "Control Chart for Multivariate Attribute Processes", *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 12, pp. 3477-3489.

-
- [4] Lucas, J. M.(1985), "Counted Data CUSUM's", *Technometrics*, Vol. 27, No. 2, pp. 129-144.
- [5] Montgomery, D. C.(1996), *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd ed., John Wiley & Sons, NY.
- [6] Nembhard, D. A. and H. B. Nembhard (2001), "A Demerit Control Chart for Autocorrelated Data", *Quality Engineering*, Vol. 13, No. 2, pp. 179-190.
- [7] White, C. H., J. B. Keats and J. Stanley(1997), "Poisson CUSUM versus c Chart for Defect Data", *Quality Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp. 673-679.
- [8] Woodall, W. H.(1997), "Control Charts Based on Attribute Data : Bibliography and Review", *Journal of Quality Technology*, Vol. 29, No. 2, pp. 172-183.
- [9] Whang, W, and Spedding T. A.(2000), "A synthetic Control Chart for Detecting Small Shifts in The Process Mean", *Journal of Quality Technology*, Vo. 32, No. 1, pp. 32-38.
-