

통계적 공정관리 추진시 측정시스템 평가의 실시방법에 관한 연구

민철희[†] 백재욱[‡]

요약

품질향상을 위한 통계적 공정관리 추진시 데이터의 신뢰성 확보는 무엇보다 중요하다. 그런데 측정치는 계측기 뿐만 아니라 측정자, 측정방법, 측정재료 등 보다 많은 요인들에 의해 영향을 받는다. 본 논문에서는 고전적인 측정시스템 평가에서 주로 관리하는 정확도, 정밀도 및 안정도를 실제 데이터를 이용하여 어떻게 평가하는지 알아보기로 한다.

1. 서론

1.1. 연구의 목적

보다 나은 품질의 제품을 생산하고자 하는 기업들의 노력과 경쟁은 실로 전쟁터를 방불케 하는 것이 현실이다. 최근 이 전쟁에서 사용하는 가장 강력하고 간편한 무기중의 하나가 바로 SPC (Statistical Process Control; 통계적 공정관리)라고 할 수 있다. 이러한 도구를 적절히 사용하기 위해서는 무엇보다도 데이터의 신뢰성 확보가 필요하다. 왜냐하면 데이터를 신뢰할 수 없다면 SPC추진 및 적용상의 모든 판단과 조치가 오류를 범하기 때문이다.

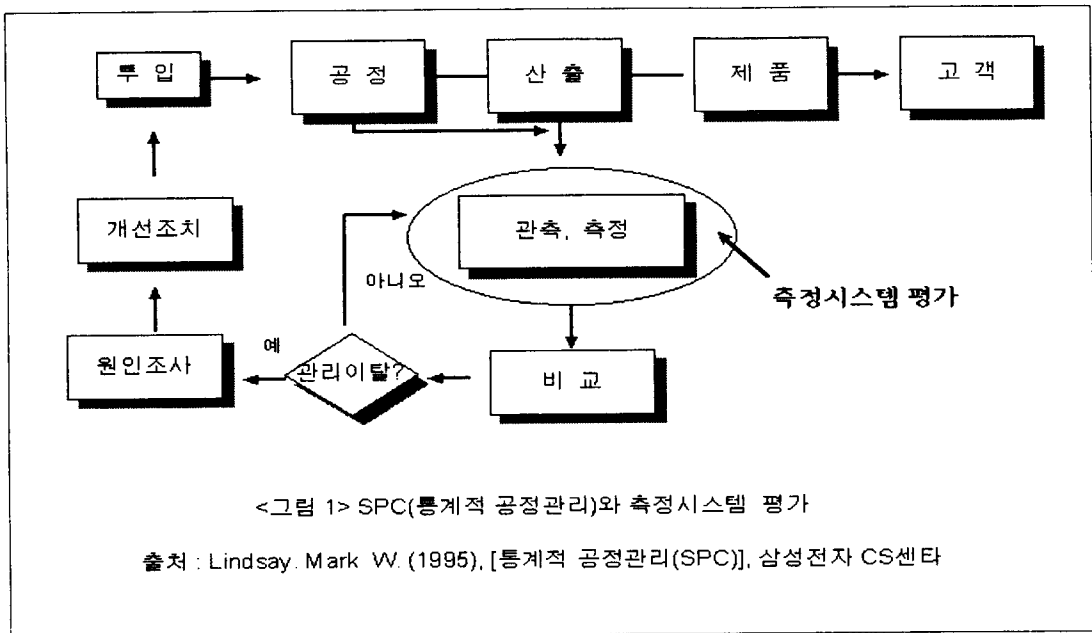
측정 및 관측이 시작된 이래 오차를 줄이기 위한 노력은 이전부터 계속적으로 발전을 거듭해왔다. 특히 검정(calibration)을 통한 오차의 감소활동은 이미 전세계적으로 소급성(traceability)을 유지하면서 실시되고 있다. 한편 검교정 전문인력들이 보증하는 대상은 계측기 자체의 오차 뿐이다. 그렇지만 제품이 생산되는 계측기 사용환경에서는 계측기 자체뿐만 아니라 측정자, 측정방법, 측정재료, 측정환경 등 보다 많은 요인들이 측정치에 오차를 유발한다. 그러므로 보다 나은 품질의 제품을 생산하기 위해서는 검교정 활동이 보증하지 못하는 부분까지 포함하여 측정시스템 전체를 대상으로 평가 및 관리할 필요가 있다. 이런 이유로 고전적인 측정시스템 평가에서는 특히 측정치의 정확도, 정밀도 및 안정도 면에서 관리를 기하고자 한다. 따라서 본 논문에서도 실제 자료를 이용하여 이들 요인을 각각 어떻게 관리하는지 알아보하고자 한다.

[†] (441-742) 수원시 팔달구 매탄 3동 416번지, 삼성전자 주식회사 CS Center 고객지원사업부 과장

[‡] (110-791) 서울 종로구 동숭동 169번지, 한국방송대학교 응용통계학과 부교수

1.2. SPC의 개념

“공정관리”는 공정으로부터 얻어진 데이터를 관리한계와 비교하여 “관리가탈(Out-of-Control)”이면 공정에 투입되는 인자들에 대해 개선조치를 취하는 것이다. 큰 조직내에서 원활한 관리활동을 위해서는 적절한 의사소통의 수단이 필요한데, 통계는 이를 위한 방법을 제공한다. 따라서 통계를 공정관리에 이용하는 것을 한 마디로 SPC라고 할 수 있다. 아래 <그림1>은 SPC의 개념을 보여주는 것이다.



<그림1>에서 보듯이 SPC의 첫 번째 단계는 ‘관측’ 또는 ‘측정’이며, 이 단계에서 오류가 발생하면 나머지 단계에서 행해지는 활동들은 모두 잘못된 방향으로 전개될 것이다. 따라서 관측, 측정된 결과를 신뢰하기 위해서는 적절한 통계적 평가 및 관리가 필요하다.

본 논문에서는 어느 기업내에서 1994년부터 1996년까지 실시한 여러 측정시스템 평가 결과 중 대표적인 것을 선정하고, 그 데이터를 이용하여 적절한 통계 분석을 실시하며, 향후 과제에 대한 제안을 추가하고자 한다. 편의상 데이터를 일부 수치변환하거나 가공하였음을 일러둔다.

2. 정확도 평가

어떤 품질특성치의 참값과 그것을 반복측정한 값들의 평균치간의 차이를 치우침 또는 편의(Bias)라고 하며, 치우침이 적으면 적을수록 정확도(Accuracy)는 좋다고 한다 (박성현(1990)). 아래 < 표1 >은 VTR 부품의 품질특성을 측정하는 현장용 측정시스템의 정확도를 평가하기 위해 얻어진 데이터이다. 현장용 측정시스템으로 25개의 시료를 랜덤하게 3회 씩 반복측정한 후 정밀측정실의 CMM으로 같은 25개의 시료에 대해 3회 씩 반복 측정하였다. 단위는 μm 이며, 편의상 모든 측정값에 대해 동일한 수치변환을 하였다. 정확도를 평가하기 위해서는 사용하는 시료들의 참값을 아는 것이 필수적인 요건이다. 그런데 Lindsay(1995)는 검정(Calibration)을 실시하는 경우라면 표준시료를 이용하는 것이 바람직하겠지만, 계측기뿐만 아니라 측정시스템 전체의 오차를 알아보기 위한 측정시스템 평가에서는 현장에서 생산된 시료를 발취하여 이용하는 것이 더욱 바람직하다고 논하고 있다. 이 평가에서는 이미 관계자들이 정밀측정실의 CMM이 보다 정확하고, 정밀한 성능을 갖춘 것으로 알고 있기 때문에 CMM에 의한 측정결과의 평균치를 참값으로 보았다. 따라서 두 측정시스템의 측정결과를 통해 치우침을 구하고 주어진 품질특성의 공차와 비교하여 다음과 같이 % 정확도를 산출해보았다.

$$\%정확도 = [|참값 - 시료의전체평균| / 공차] \times 100 \quad (2.1)$$

현장용 측정시스템의 측정 결과 전체 평균치는 $0.4664\mu m$ 이며, CMM에 의한 총평균(참값)은 $0.1842\mu m$ 이다. 또한 품질특성치의 주어진 규격은 $[0 \sim 0.44\mu m]$ 이다. 주어진 값들을 위 식 (2.1)에 대입하면, $[|0.1842 - 0.4664| / 0.44] \times 100 = 64.1\%$ 가 나온다. %정확도가 64.1%라는 의미는 현장용 측정시스템으로 측정한 값과 CMM으로 측정한 값의 차이가 공차의 64.1%를 차지한다는 것을 뜻한다. 결국 현장용 측정시스템을 그대로 이용할 경우 제품의 합부판정시 정확도 부족으로 인한 오류가 충분히 발생할 수 있음을 알 수 있다.

앞의 %정확도는 점추정치에 불과하다. 따라서 구간추정, 예를 들어 대략적인 95% 신뢰구간을 구해볼 필요가 있으며, 이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\%정확도 \pm 1.96 \times \sqrt{Var(\%정확도)} \quad (2.2)$$

이제 (2.1)의 %정확도를 다음과 같이 다시 나타내본다.

$$\%정확도 = \frac{100}{공차} (|\bar{x} - \theta|)$$

여기서 \bar{x} 는 현장용 측정데이터의 평균을 나타내고 θ 는 참값으로서 정밀측정실용 자료의 평균으로 본다. 그런데 x_{ij} [$i = 1, 2, \dots, 25 (= m), j = 1, 2, 3 (= n)$]가 평균이 μ 이고 분산이 σ^2 인 정규분포를 따르는 경우 임의의 상수 c 에 대해

$$Var(|\bar{x} - c|) = \frac{1}{mn} \sigma^2 - (\mu - c)^2 - \left[\sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sigma}{\sqrt{mn}} \exp\left(-\frac{(\mu - c)^2}{2\sigma^2/mn}\right) \right]^2 \quad (2.3)$$

이 됨을 보일 수 있다. 따라서 %정확도는 $c = \mu$ 인 경우이므로

< 표1 > 정확도 평가용 데이터
 현장용 측정 데이터 정밀측정실용 CMM

시료 번호	1회 반복	2회 반복	3회 반복	\bar{X}	R현	1회 반복	2회 반복	3회 반복	\bar{Y}	R정	$\bar{X} - \bar{Y}$
1	0.33	0.88	0.77	0.660	0.55	0.198	0.187	0.176	0.187	0.02	0.473
2	0.22	0.33	0.22	0.257	0.11	0.187	0.176	0.176	0.180	0.01	0.077
3	0.22	0.77	0.66	0.550	0.55	0.143	0.165	0.187	0.165	0.04	0.385
4	0.55	0.44	0.44	0.477	0.11	0.187	0.165	0.143	0.165	0.04	0.312
5	0.11	0.22	0.33	0.220	0.22	0.121	0.143	0.132	0.132	0.02	0.088
6	0.44	0.44	0.22	0.367	0.22	0.110	0.121	0.132	0.121	0.02	0.246
7	0.00	0.33	0.11	0.147	0.33	0.143	0.143	0.132	0.139	0.01	0.007
8	0.55	1.65	0.88	1.207	1.10	0.253	0.231	0.242	0.242	0.02	0.785
9	0.66	0.44	0.77	0.623	0.33	0.198	0.209	0.198	0.202	0.01	0.422
10	0.00	0.11	0.00	0.037	0.11	0.242	0.198	0.220	0.220	0.04	-0.183
11	0.88	0.44	0.77	0.697	0.44	0.176	0.187	0.176	0.180	0.01	0.517
12	0.66	0.66	0.99	0.770	0.33	0.176	0.198	0.187	0.187	0.02	0.583
13	0.22	0.33	0.44	0.330	0.22	0.165	0.143	0.154	0.154	0.02	0.176
14	0.33	0.66	0.55	0.513	0.33	0.165	0.187	0.187	0.180	0.02	0.334
15	0.11	0.44	0.44	0.330	0.33	0.154	0.132	0.143	0.143	0.02	0.187
16	0.77	1.32	0.99	1.027	0.55	0.187	0.209	0.187	0.194	0.02	0.832
17	0.44	0.55	0.22	0.403	0.33	0.176	0.187	0.176	0.180	0.01	0.224
18	0.22	0.11	0.11	0.147	0.11	0.176	0.176	0.165	0.172	0.01	-0.026
19	0.55	0.77	0.55	0.623	0.22	0.242	0.231	0.242	0.238	0.01	0.385
20	0.44	0.66	0.88	0.660	0.44	0.297	0.264	0.275	0.279	0.03	0.381
21	0.22	0.11	0.33	0.220	0.22	0.187	0.176	0.187	0.183	0.01	0.037
22	0.00	0.11	0.11	0.073	0.11	0.143	0.132	0.143	0.139	0.01	-0.066
23	0.11	0.66	0.99	0.587	0.88	0.154	0.143	0.154	0.150	0.01	0.436
24	0.55	0.77	0.66	0.660	0.22	0.242	0.264	0.253	0.253	0.02	0.407
25	0.22	0.33	0.22	0.257	0.11	0.209	0.231	0.220	0.220	0.02	0.037

$$Var(\%정확도) = \left(\frac{100}{공차}\right)^2 \frac{1}{mn} Var(x_{ij}) \left(1 - \frac{2}{\pi}\right)$$

이 된다. 앞의 < 표1 >의 자료의 경우

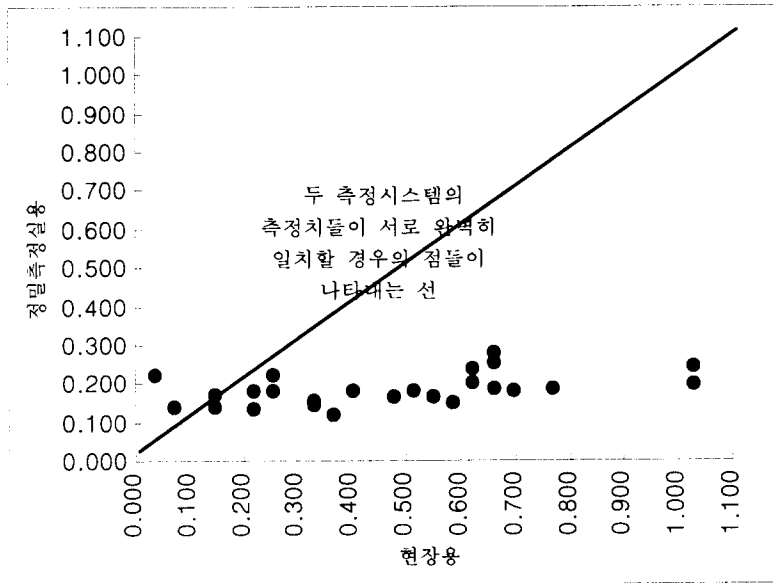
$$Var(\%정확도) = \left(\frac{100}{0.44}\right)^2 \frac{1}{25 \times 3} Var(x_{ij}) \left(1 - \frac{2}{3.14}\right) \quad (2.4)$$

이 되며, 여기서 $\sqrt{Var(x_{ij})} = \bar{R}/d_2$ 로 구할 수 있다. 앞의 < 표1 >의 현장용 측정자료에서 $\bar{R} = (1/25) \times (R_1 + R_2 + \dots + R_{25}) = 0.34$ 이며, d_2 는 Montgomery(1991)의 부록에서 찾아볼 수 있다. 이 경우에는 $n = 3$ 이므로 $d_2 = 1.693$ 이다.

따라서 이 값들을 식 (2.4)에 대입하면 $Var(\%정확도)$ 는 9.91%²가 되며, 결과적으로 %정확도에 대한 대략적인 95% 신뢰구간은 식 (2.2)에 의하여 57.93%에서 70.27%로 나타남을

알 수 있다. 따라서 %정확도는 적어도 57%이상이 되므로 현장용 측정시스템의 정확성에 문제가 있다고 판단한다.

그런데 위와 같은 산출식으로 정확도를 평가하기 전에 산점도와 같은 간편한 그림으로 정확도를 평가할 수 있다. 아래 < 그림2 >는 앞의 < 표1 >에서 얻은 두 측정시스템의 평균치들을 x 와 y 축에 대응시켜 작성한 산점도이다.



< 그림2 > 현장용과 CMN의 평균치에 대한 산점도

앞의 산점도를 통해서도 현장용 측정시스템의 정확도가 매우 나쁘며, 기본적으로 품질 특성의 차이를 제대로 구분해내지 못하므로 당장 개선이 필요하다는 사실을 쉽게 알 수 있다. 따라서 %정확도의 산출을 통한 정확도 평가와 병행하여 이와 같이 산점도를 이용하면 측정시스템을 더욱 잘 이해할 수 있다.

두 확률표본에 기초한 추론에서는 두 모집단의 실험단위들이 동질적이어서 처리 (여기에서는 현장용과 정밀용 계측기를 말함)의 효과가 곧 반응값(측정치)의 차이로 나타난다. 그러나 많은 경우 이런 동질성의 조건은 만족되지 않으며, 반응에 영향을 끼치는 요인들을 실험자가 조절할 수 없게 되어 실제 처리 효과간 차이의 식별을 어렵게 만드는 경우가 있다. 이와 같은 경우 처리 이외의 요인에 대한 효과를 없애기 위해 대응작비교가 많이 쓰인다. < 표1 >의 자료의 경우 동일시료에 대해 현장용 계측기 및 정밀용 계측기에 의한 측정치가 이미 구해져있는 상태이므로 대응작비교를 이용하면 다른 요인의 효과가 배제된 상태에서 두 계측기가 똑같은 결과를 나타내는지 확인할 수 있다. 이 방법은 협력회사와 고객업체간에 동일 품질특성을 측정하는 출하검사 및 수입검사용 측정시스템을 비교할 때, 또는

같은 회사내에서 동일한 특성을 측정하는 여러 측정시스템간의 차이를 비교할 때에도 사용할 수 있다. 앞의 < 표1 >의 데이터를 얻은 회사에서는 많은 현장직원들까지 Microsoft사의 Excel을 이용하고 있으며, 웬만한 통계분석은 Excel로도 가능하다. < 표2 >는 Excel의 데이터분석도구 기능을 이용하여 유의수준 5%에서 대응짝비교를 한 결과이다. 편의상 단위는 무시한다.

< 표2 > Excel을 이용한 대응짝 비교 결과

	현장용	CMM
평균	0.4664	0.184213333
분산	0.073442519	0.001599082
관측수	25	25
피어슨 상관 계수	0.455240168	
가설 평균차	0	
자유도	24	
t 통계량	5.526712802	
$P(T \leq t)$ 양측 검정	1.10261E-0.5	← 유의확률
t 기각치 양측 검정	2.063898137	

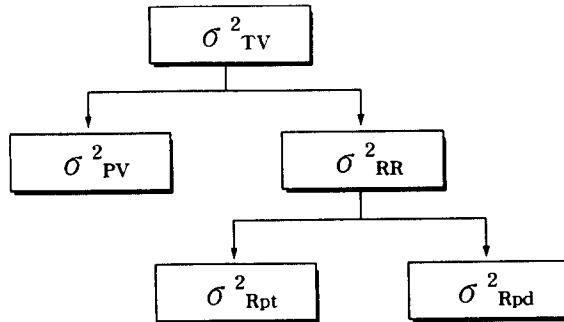
위의 출력결과로부터 유의확률은 0.001% 정도이므로 두 측정시스템의 평균치간에 차이가 있음을 알 수 있다. 결국 현장용 측정시스템이 CMM 측정시스템보다 평균적으로 0.282정도 크게 측정한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 %정확도의 산출, 산점도의 해석뿐만 아니라 필요하다면 대응짝 비교로도 정확도를 이해할 수 있다.

3. 정밀도 평가

박성현(1990)에서는 정밀도를 영어로 precision 또는 repeatability로 표현하고 있으나, 본 논문에서는 Lindsay(1995)에 따라 정밀도(Precision)를 “반복성(Repeatability)”과 “재현성(Reproducibility)”의 두 부분으로 나눈다. 동일한 시료를 여러 번 반복측정해서 얻어지는 데이터는 어떤 산포를 갖게 되는데, 이 산포의 크기가 적으면 적을수록 반복성이 좋다고 하고, 두명 이상의 측정자가 동일한 시료를 동일한 계측기로 측정해서 얻는 데이터의 평균차가 적으면 적을수록 재현성이 좋다고 한다.

미국 AIAG에서는 산업현장에서 정밀도를 손쉽게 평가할 수 있도록 표준화하였는데, 이를 영어로 Gage Repeatability and Reproducibility (GR&R) Study라고 한다. 백재욱과 조진남(1996)에서는 이를 “계측기능력평가”라고 표현하고 있으나, 계측기만의 능력을 평가하는 “검정”과 차별화하기 위하여 본 논문에서는 “측정시스템평가”라고 한다.

한편 우리가 측정한 어떤 품질특성치에 대한 전체산포를 σ^2 으로 표현할 때, 영문 Total Variation(전체산포)의 약자인 TV를 써서 σ_{TV}^2 로 표시하기도 한다. 이 전체산포는 제품의 참 산포 σ_{PV}^2 와 측정시 생기는 자료의 산포(측정오차) σ_{RR}^2 로 분해할 수 있다. 또한 측정오차 σ_{RR}^2 은 반복성과 재현성을 나타내는 σ_{Rpt}^2 와 σ_{Rpd}^2 으로 분해된다 (< 그림3 > 참조).



< 그림3 > 산포의 분해도 Lindsay(출처: (1995), MSA)

다음의 < 표3 >은 냉장고 생산시 분체도장공정에서 사용하는 도막두께 측정용 측정시스템과, 이와 동일한 목적으로 사용하는 PCM공정, 그리고 실험실의 측정시스템을 서로 비교하는 측정능력평가의 실시 결과이다. 시료는 10개를 사용했으며, 각 측정시스템으로 2회씩 랜덤하게 반복 측정하였다. 측정단위는 μm 이다.

< 표3 >은 아래에서 설명될 계산방법에 따라 현장에서 손쉽게 사용할 수 있도록 Excel로 작성한 것이다. < 표3 >의 아래쪽 ‘요인별 오차값’에서 EV는 “측정시스템내 산포”를 의미한다(Lindsay(1995)). 이것은 “계측기내 변동” 이라고도 하며, Equipment Variation의 약자로서 EV로 표기한다 (박성현(1990)). 이 값은

$$EV = (R \text{ bar}) \times (K_1) \tag{3.1}$$

으로 얻어지고, 이 값의 공차에 대한 백분비가 < 표3 >의 아래쪽 ‘공차에 대한 비율’ 열에 있는 %EV이다. 여기서 $K_1 = 5.15/d_2$ 로 구한다. d_2 는 반복횟수에 따라 변하는 상수로서, 박성현(1990)에 표가 주어져 있다. 또한 이를 바탕으로 계산된 계수 K_1 이 아래 < 표3 >에 주어져 있다.

AV는 “측정시스템간 산포”를 의미한다(Lindsay(1995)). 이것은 “측정자 변동”이라고도 하며, Appraiser Variation의 약자로서 AV로 표기하고 (AIAG(1995)),

$$AV = \sqrt{(XbarDiff \times K_2)^2 - (EV^2/n \times r)} \tag{3.2}$$

로 얻어진다. 이 값의 공차에 대한 백분비가 역시 < 표3 > 아래쪽 ‘공차에 대한 비율’ 열에 있는 %AV이다. 여기서 $XbarDiff$ 는 세 측정시스템의 평균치중 최대값과 최소값의 차이를 나타내며, $K_2 = 5.15/d_2$ 로 구한다. d_2 는 측정자의 수(또는 측정시스템의 수)에 따라 변하는 상수로서, 박성현(1990)에 표가 주어져 있다. 또한 이를 바탕으로 계산된 계수 K_2 는 위 < 표3 >에 주어져 있다. 그리고 n 은 시료수, r 은 반복측정횟수를 의미한다. 만일 식 (6)의 제공근내 값이 음수이면 AV는 0으로 본다 (AIAG(1995)).

EV 와 AV 를 계산하는 두 식에서 공통적으로 사용한 5.15라는 값은 측정오차의 분포를 정규분포로 가정하고, 99%의 신뢰구간을 취하기 위한 상수이다 (AIAG(1995)).

반복성과 재현성을 동시에 나타내는 RR 은

$$RR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad (3.3)$$

의 식으로 주어지고 (AIAG(1995)), 제품의 산포를 나타내는 PV 는 Product Variation의 약자로서

$$PV = R_p \times K_3 \quad (3.4)$$

의 식으로 주어진다 (Lindsay(1995)). 여기서 R_p 는 Product Range의 약자로서 < 표3 >의 가장 우측(13번째) 칸에 표현된 시료의 총평균들 중에서 최대값과 최소값간의 차이를 나타낸다. 그리고 K_3 는 시료수에 따라 변하는 상수 d_2 를 이용한 식 $5.15/d_2$ 로 구해지며, < 표3 >에 주어진다. 계수 K_1, K_2, K_3 에 공통적으로 사용한 상수 d_2 는 AIAG(1995)에 주어져있다.

‘공정산포에 대한 비율’은 각각 앞서 구해 놓은 요인별 산포 EV, AV 그리고 RR 의 전체산포 TV 에 대한 백분비다. TV 는 Total Variation의 약자로서, 평가하고자 하는 측정시스템으로 측정하는 품질특성에 대해 미리 산포(s)를 알고 있다면 그 값에 5.15를 곱하여 구하는 것이 최적의 추정방법이나, 이 예에서는 품질특성치의 산포를 모르는 경우이기 때문에 아래의 식으로 구한다 (Lindsay(1995)).

$$TV = \sqrt{(PV)^2 + (RR)^2} \quad (3.5)$$

< 표3 >의 경우 TV 는 식 (3.5)에 의해 43.81이 된다.

그리고 ‘공정산포에 대한 비율’은 각각

$$\%EV = [EV/TV] \times 100\% \quad (3.6)$$

$$\%AV = [AV/TV] \times 100\% \quad (3.7)$$

$$\%RR = [RR/TV] \times 100\% \quad (3.8)$$

의 식으로 주어진다.

한편, 공차 (tolerance)에 대한 비율 $\%EV, \%AV, \%RR$ 은 각각 EV, AV 그리고 RR 의 공차에 대한 백분비를 나타낸다. 예를 들어, $\%RR$ 은 다음과 같다.

$$\%RR = [(RR)/(SU - SL)] \times 100\% \quad (3.9)$$

< 표3 >의 자료의 경우 결과를 분석해 보면, 공차에 대한 측정오차의 비율 $\%RR$ 은 21.13%로서 측정능력이 보통인 것으로 나타났다 (< 표3 >의 우측 하단의 평가기준과 비교). 그런데 공정산포에 대한 비율 $\%RR$ 은 67.51%로서 평가기준에 의하면 측정능력이 매우 부족하므로 개선이 필요하다는 것을 알 수 있다. 아래 < 그림4 >는 이러한 결과를 설명하는 것으로, 치우침 (bias)이 없다고 가정하고 측정시스템의 산포, 공차 및 공정산포간의 관계를 표현한 것이다.

< 표3 > 냉장고 도막두께 측정시스템에 대한 측정능력평가 결과

측정능력평가서				계측기명:도막두께측정기				제품명: 냉장고				작성 자:	
GAGE R&R STUDY				계측기No				특 성: 분체도막 두께				실시시간: 96.3.27.28	
				특기사항: CABINET우측면 중앙부위를 1명이 측정				검교정일					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
측정자	성명A = 분체도장 공정용				성명B = P.C.M공정용				성명C = 도장실현실용				시료의
시료번호	1회 반복	2회 반복	3회 반복	Range	1회 반복	2회 반복	3회 반복	Range	1회 반복	2회 반복	3회 반복	Range	총평균
1	58.3	61.9		3.6	69.7	68.5		1.2	67.1	65.3		1.8	65.
2	57.9	58.9		1	74.6	72.2		2.4	61.9	62.7		0.8	64.
3	54.7	55.5		0.8	75.0	74.4		0.6	59.8	59.1		0.7	63.
4	61.9	61.6		0.3	56.8	61.3		4.5	63.8	64.0		0.2	61.
5	49.8	47.5		2.3	53.1	53.8		0.7	54.9	56.2		1.3	52.
6	60.2	57.9		2.3	73.4	74.1		0.7	62.4	64.3		1.9	65.
7	63.8	65.3		1.5	86.0	80.0		6	69.4	70.5		1.1	72.
8	65.1	63.8		1.3	78.6	76.9		1.7	66.0	65.9		0.1	69.
9	69.3	68.8		0.5	66.1	71.2		5.1	67.9	69.6		1.7	68.
10	66.0	65.1		0.9	80.0	79.5		0.5	71.6	68.8		2.8	71.
계	607	606.3	0	14.5	713.3	711.9	0	23.4	644.8	646.4	0	12.4	
	1st Trial	607	Rbar A	1.45	1st Trial	713.3	Rbar B	2.34	1st Trial	644.8	Rbar C	1.24	
	2nd Trial	606.3			2nd Trial	711.9			2nd Trial	646.4			
	Sum	1213.3			Sum	1425.2			Sum	1291.2			
	Xbar A	60.665			Xbar B	71.3			Xbar C	64.6			Rp 19.95

Rbar A	1.45
Rbar B	2.34
Rbar C	1.24
Sum	5.03
Rbar	1.68

반복횟수	D4
2	3.27
3	2.58

Rbar x D4 = UCL Range
4.3258

Max Xbar	71.3
Min Xbar	60.665
Xbar Diff	10.6

**주의: 개개의 R값중 관리한계(UCLr)를 넘는 값이 있으면 해당 제품에 대한 재측정 및 원인조

시료수	5	6	7	8	9	10
K ₁	2.08	1.93	1.82	1.74	1.67	1.62

요인별 오
값

공차(Toleranc
에 대한 비

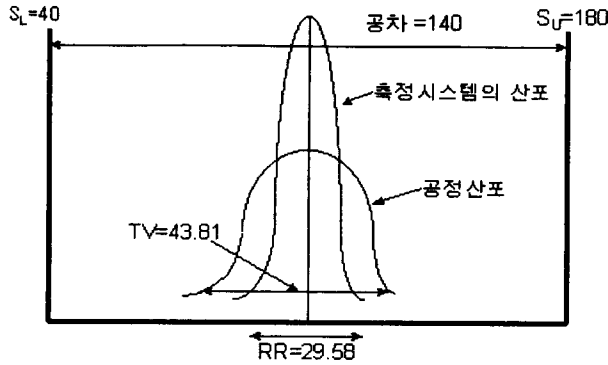
공정산포에
대한 비율

반복횟수	2	3
K ₁	4.56	3.05

EV = 7.646	S _L = 40	S _U = 180	% EV = 5.46%	% EV = 17.45%
AV = 28.572	% AV = 20.41%	% AV = 65.22%		
RR = 29.578	% RR = 21.13%	% RR = 67.51%		
PV = 32.319		% PV = 73.77%		
TV = 43.810				

재현횟수	2	3
K ₂	3.65	2.7

%EV, %AV, %RR 공통 평가 기준
10%미만: 우수-측정시스템의 개선 불필요
10%이상 30%미만: 보통-경제성에 따른 의
30%이상: 측정능력부족-%PV에 따른 개선
%PV 평가 기준
95% 이상: 우수-측정시스템의 개선 불필요
95%미만: 측정시스템의 개선 필요



< 그림4 > 공차와 공정산포에 대한 RR 의 비율

그런데 반복성과 재현성중 어느 산포를 개선해야 할까? < 표3 >에서 공정산포에 대한 비율중 %EV는 17.45%이고 %AV는 65.22%이다. 측정시스템간의 산포 즉, 재현성이 반복성에 비해 훨씬 크므로 우선 이를 감소시키는 활동이 필요하다는 것을 알 수 있다.

다음 < 그림5 >, < 그림6 >은 측정시스템별 차이를 알기 위하여 10개 시료를 측정시스템별로 2회 반복측정한 값의 평균치와 범위(R)값을 간단한 꺾은선 그래프로 표현한 것이다. 이 그래프를 통해 두 번째 측정시스템 즉 PCM공정용 측정시스템의 평균치와 산포가 다른 두 측정시스템에 비해 상대적으로 크기 때문에 이것의 측정능력이 저조하다는 것을 추측할 수 있다. 이와 같이 간단한 평균치 및 범위의 그림으로도 측정능력평가 결과를 해석하는데 많은 도움을 준다.

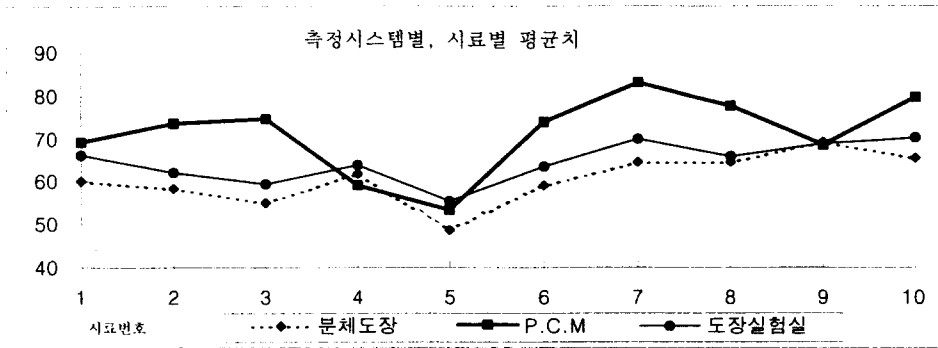
또한 < 그림5 >와 < 그림6 >과 같은 그래프를 이용하는 방법 이외에 적절한 관리도를 사용할 수도 있다(백재욱과 조진남 (1996) 참조). 다음 < 그림7 >은 < 표3 >의 자료에 대한 \bar{X} 와 R 관리도이다. 여기에서 관리한계선은 세 측정시스템의 오차가 같은 수준이라는 가정하에 구한 것이다. 구체적으로 \bar{X} 관리도의 경우 관리상한선, 중심선, 관리하한선은 각각

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A \times \hat{\sigma}_e / \sqrt{n} \quad (3.10)$$

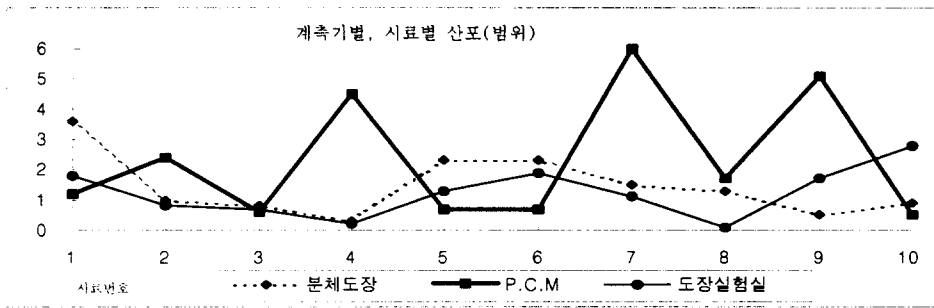
$$CL = \bar{\bar{x}} \quad (3.11)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A \times \hat{\sigma}_e / \sqrt{n} \quad (3.12)$$

이다. 여기서 $\bar{\bar{x}}$ 는 전체 자료의 평균이고, A 는 확률한계를 나타내는 계수이다. 이 계수를 보통 3으로 정해 0.27%의 확률한계를 만족시키도록 하는데, 여기서는 대신 2.575로 정하여 확률한계 1%를 만족시키도록 한다. $\hat{\sigma}_e$ 는 σ_{Rpt} 를 나타내고, < 표3 >의 자료에 주어진 EV를 5.15로 나누어 얻을 수 있다. < 표3 >의 경우 $7.646/5.15=1.4847$ 로 나타난다. n 은 각각의 측정시스템에서 각각의 시료에 대하여 반복측정한 횟수를 나타낸다.



< 그림5 > 측정시스템, 시스템별 평균치



< 그림6 > 측정시스템별 시도별 범위(R)

R관리도의 경우 관리상한선, 중심선, 관리하한선은 각각

$$UCL = \bar{\bar{R}} + A \times \hat{\sigma}_e d_3 \quad (3.13)$$

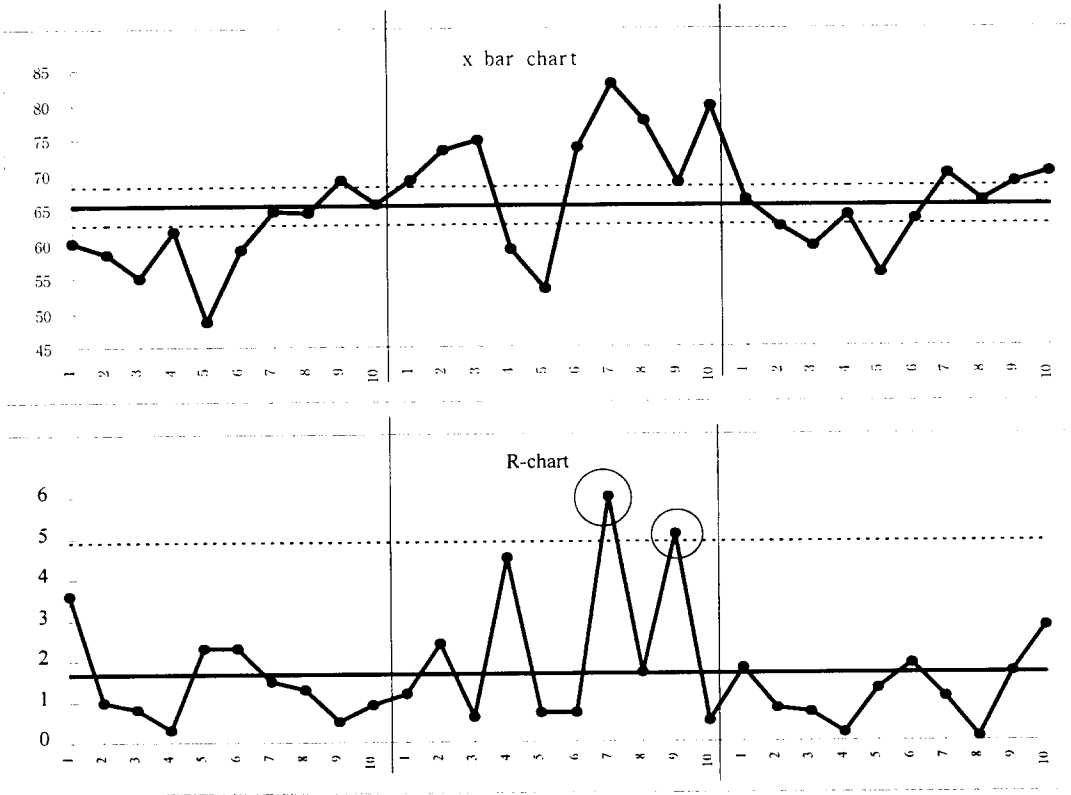
$$CL = \bar{\bar{R}} \quad (3.14)$$

$$LCL = \bar{\bar{R}} - A \times \hat{\sigma}_e d_3 \quad (3.15)$$

이다. 여기서 $\bar{\bar{R}}$ 는 범위들의 평균을 나타내고, d_3 는 n 의 함수로서 Montgomery (1991)의 부록에서 그 값을 쉽게 찾을 수 있으며, 여기서는 0.848이다.

< 그림7 >의 R관리도는 측정시스템의 정밀도중 반복성을 나타낸다. < 그림7 >로부터 두 번째 PCM공정용 측정시스템에서만 관리한계선을 벗어나는 점들이 발견되는 것으로 보아 이 측정시스템의 반복성이 다른 두 측정시스템에 비해 나쁘다는 것을 확인할 수 있다. 반면에 \bar{X} 관리도에서는 점들이 관리한계선을 많이 벗어나 있다. 그러나 이것이 측정시스

템의 문제라고 볼 수는 없다. 그 이유는 \bar{X} 관리도의 관리한계선은 측정오차에 근거하여 결정된 것이지 시료간의 차이에 근거를 두고 결정된 것이 아니기 때문이다. 만일 \bar{X} 관리도에서 대부분의 점들이 관리한계선내에 들어오면 측정시스템의 반복성에 의한 산포의 크기가 제품간의 차이보다 크다고 해석할 수 있다.



< 그림7 > \bar{X} 와 R관리도

4. 안정도 평가

정확도와 정밀도가 평가되어 적절한 수준임을 확인하였다 하여도, 그 결과가 얼마나 지속될지는 장담할 수 없다. 그 이유는 보통 정확도와 정밀도에 대한 평가는 하루만에 실시되기 때문이다. 따라서 측정시스템을 사용하는 시간이 경과함에 따라 정확도와 정밀도가 변화하는지 여부를 살펴보아야만 한다. 이와 같이 시간의 경과에 따른 정확도, 정밀도의 변화 정도를 ‘안정도(Stability)’라고 한다.

시점 t_1 에서의 평균치를 \bar{x}_1 이라 하고, 일정시간 경과후의 시점 t_2 에서의 평균치를 \bar{x}_2 라 하면, %안정도는

$$\%안정도 = [|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| / 공차] \times 100\% \quad (4.1)$$

의 식으로 주어진다 (박성현(1990)). 그러나 이와 같은 산출식을 이용하는 것보다 전통적인 관리도를 이용하는 방법이 여러 가지 면에서 SPC에 더욱 도움이 된다.

아래 < 표4 >는 캠코더를 생산하는 공정에서 안정도를 평가하기 위해, 미리 확보해둔 시료 하나를 매일 같은 시간에 1회씩 측정하 값과 이동범위를 산출한 결과이다. 편의상 단위는 무시한다.

< 표4 > 안정도 평가를 위한 데이터

시료번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
\bar{x}	7.2	7.8	8.9	8.9	8.5	8.4	8.8	8.7	8.9	9.2	7.1	7.3	7.3	7.4	7.1	7.9	8.8	8.3	8.9
R_s		0.6	1.1	0.0	0.4	0.1	0.4	0.1	0.2	0.3	2.1	0.2	0.0	0.1	0.3	0.8	0.9	0.5	0.6

앞의 < 표4 >의 데이터를 이용하여 $X - R_s$ 관리도를 작성한 결과 다음의 < 그림8 >이 얻어졌다. 여기에서 X 관리도의 관리상한선, 중심선, 관리하한선과 R_s 관리도의 관리상한선, 중심선, 관리하한선은 Montgomery(1991)를 따른 것으로 각각

$$UCL(X) = \bar{x} + 3(\bar{R}_s/d_2) \quad (4.2)$$

$$CL(X) = \bar{x} \quad (4.3)$$

$$LCL(X) = \bar{x} - 3(\bar{R}_s/d_2) \quad (4.4)$$

$$UCL(R_s) = D_4 \times \bar{R}_s \quad (4.5)$$

$$CL(R_s) = \bar{R}_s \quad (4.6)$$

$$LCL(R_s) = D_3 \times \bar{R}_s \quad (4.7)$$

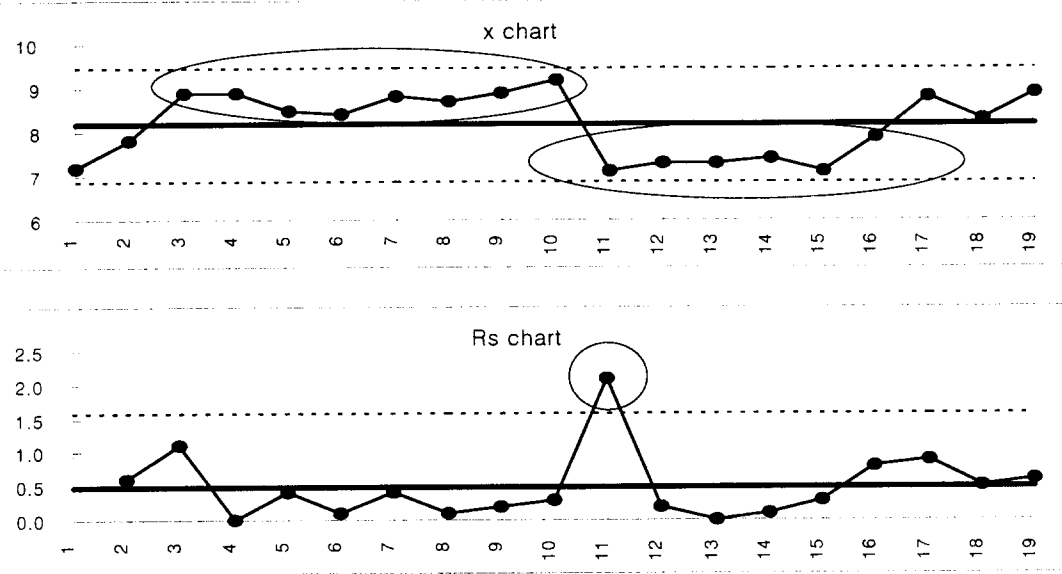
로 주어지며, 각 계수 d_2, D_3, D_4 는 Montgomery(1991)의 부록에서 쉽게 찾아볼 수 있다.

그런데 X 관리도에서 3일째부터 10일째까지의 측정치들이 나머지 측정치들과는 상당히 다른 값을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 그로 인해 X, R_s 관리도가 공통적으로 관리 이탈(Out-of-control) 현상을 보인다. 그 원인으로는 계측기의 변화 뿐만 아니라, 사용한 시료 자체의 오염으로 인한 변화 등 여러 가지가 있을 것이다.

이와 같이 $X - R_s$ 관리도는 정확도의 시간에 따른 변화를 감지할 수 있도록 한다. 또한 정확도 뿐만 아니라 정밀도의 변화까지 감지하기 위해서는 매일 또는 일정시간 간격으로 표준시료를 2회 이상 반복 측정하 후, 그 평균치와 범위를 이용해 $\bar{X} - R$ 관리도를 그려보아야 한다.

5. 결론

지금까지 SPC를 운영하는데 있어서 측정시스템 평가의 중요성 및 방법에 대해 살펴 보았다. 특히 측정시스템을 정확도, 정밀도 및 안정도라는 세 가지 측면에서 살펴보았다. 정



< 그림8 > 안정도 평가용 X-Rs 관리도

확도 면에서는 기존의 정확도에 대한 점추정치에 구간추정방법을 제시하였으며, 산점도와 같은 간단한 그림으로 계측기의 정확도를 살펴볼 수 있음을 보여주었다. 다음으로 실제 자료를 이용하여 정밀도평가는 어떻게 하는지 살펴보았으며, 시계열식 그림이나 관리도 등을 이용하여 정밀도를 평가할 수 있음을 보여주었다. 또한 안정도도 관리도 기법으로 평가할 수 있음을 살펴보았다.

실질적으로 SPC를 추진하는 사람들에게 측정시스템 평가는 기본적인 것 또한 필수적인 것이 되고 있다. 한 예로, 미국의 3대 자동차 회사(포드, GM, 크라이슬러)가 자사 및 협력회사 신제품의 품질수준을 지속적으로 향상시키기 위한 활동의 일환으로 3사의 협력하에 작성한 APQP(Advanced Product Quality Planning and Control Plan; 신제품 품질기획 및 관리계획, 1995)라는 표준서에 의하면, 측정시스템 평가는 양산제품에 대해서 뿐만 아니라 신제품에 대해서도 개발단계에서 부터 반드시 실시해야 한다고 명시해 놓고 있다. 이러한 사실을 볼 때 측정관리의 중요성은 비단 SPC에만 국한되는 것이 아니라 품질보증 및 관리 전반에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

그러나 국내의 기업중에는 일부 자동차 관련 업체나, 반도체 및 통신과 같은 일부 첨단 산업체에서만 미국의 자동차사 및 IBM, AT&T와 같은 유수의 컴퓨터, 통신업체의 요구에 의해 측정시스템 평가를 실시중인 것으로 알고 있다.

따라서 앞으로 국내의 관련 학계 및 산업계에서도 측정시스템 평가의 전파를 위한 많은 연구가 시급하다고 생각된다. 특히 관련용어의 통일과 적절한 소프트웨어의 개발을 통한

저변 확대 노력이 시급하며, 기업내에서는 측정시스템 평가의 개념 및 기법을 필요한 종업원들에게 충분히 교육시켜야 하며, 관련절차의 표준화를 통해 측정시스템평가가 품질개선 체계의 일부분으로 정착될 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 박성현 (1990). <응용실험계획법>, 영지문화사.
- [2] 백재욱, 조진남 (1996). 계측기 능력분석과 실험계획법, <품질경영학회지>, 제 24권, 제 3호, pp. 145-159.
- [3] AIAG (1995). *Measurement System Analysis Reference Manual*.
- [4] Lindsay, Mark W. (1995). <통계적공정 관리(SPC)>, 삼성전자 CS센타刊.
- [5] Lindsay, Mark W. (1995). *MSA(Measurement System Assessment)*, 삼성전자 CS센타刊.
- [6] Montgomery, D. C. (1991). *Introduction to Statistical Quality Control*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York.

[1997년 5월 접수, 1997년 9월 최종수정]

The Study for the Applications of the Measurement System Assessment in Statistical Process Control

Chulhee Min,[†]Jaiwook Baik [‡]

ABSTRACT

Correct measurement system assessment is crucial in helping improve process or quality. In this article, we would like to apply several methods of measurement system assessment in statistical process control. Specifically, focus is on accuracy, precision (both repeatability and reproducibility included), and stability of the measurement process.

[†] Manager, Quality Supporting Group, CS Center, Samsung Electronics Co., LTD., Suwon 441-742, Korea.

[‡] Associate Professor, Department of Applied Statistics, Korea National Open University, Seoul 110-791, Korea.