http://doi.org/10.21186/IPR.2021.6.3.019

품질경영에서 측정시스템분석 방안

백재욱
한국방송통신대학교 통계 · 데이터과학과

Approaches to measurement system analysis in quality management

Jaiwook Baik

Department of Statistics·Data Science, Korea National Open University

요 약 과학적 품질경영을 하기 위해서는 측정시스템에 문제가 없어야 한다. 이에 본 논문에서는 측정과정 중 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 요인들이 무엇인지 확인하여 측정결과가 위치와 변동 면에서 문제점이 발생할 때 이를 야기하는 요인을 나열하고자 한다. 측정시스템의 변동은 크게 위치와 산포의 두 가지 속성으로 묘사되는데, 위치와 관련된 속성으로는 정확성, 안정성, 직선성이 있고, 산포와 관련된 속성으로는 재현성과 반복성이 있다. 측정시스템분석에서는 산포와 관련된 요소를 분석하는 것이 R&R분석인데, 여기서 반복성과 재현성의 크기는 여러 차례의 측정치간 차이인 범위와 측정자간 차이인 범위로 나타내며, 이들 범위를 이용한 99%의 산포로 그 크기를 파악한다. 측정시스템분석은 R&R분석이외에 실험계획을 활용하여 측정치의 변동을 유발하는 요인의 변동의 크기를 추정할 수 있다. 이때 변동을 야기하는 요인인 작업자와 제품이 랜덤요인인지 또는 고정요인인지 점검하여 그에 맞게 각 요인의 변동의 크기를 구해야 적절한 분석이 이루어진다.

주제어 측정시스템분석, 반복성, 재현성, R&R, 실험계획법

Abstract There should be no problem in the measurement system for scientific quality management. In this paper, we want to correctly identify the factors that can affect the measurement results during the measurement process and identify what causes them when the measurement results cause problems in terms of location and variation. Variations in the measurement system are largely described in terms of location and dispersion. Location-related attributes are accuracy, stability, and linearity while dispersion-related attributes are reproducibility and repeatability. Analyzing the factors associated with dispersion is an R&R analysis, in which the size of repeatability and reproducibility is represented by a range of differences between multiple measurements and a range of differences between measurements, and 99% of dispersion is determined. Experimental design can also be used for measurement system analysis. Proper analysis is performed only when the factors causing the fluctuation, the worker and the product, are correctly identified as random or fixed factors.

Key Words Measurement system analysis, Repeatability, Reproducibility, R&R, Experimental design

Received 21 Jul 2021, Revised 26 Jul 2021
Accepted 29 Jul 2021
Corresponding Author: Jaiwook Baik
(Korea National Open University)
Email: jbaik@knou.ac.kr
ISSN: 2466-1139(Print)
ISSN: 2714-013X(Online)

© Industrial Promotion Institute. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

근래의 품질경영은 정량적 데이터에 근거하여 의사결정을 하므로 제품의 수명주기에 걸쳐 많은 측정을 하게 된다. 이때 측정값과 참값과는 차이가 있기 마련이다. 이런 오차는 측정값과 참값과의 차이인 절대오차와 참값에 대한 절대오차의 비율인 상대오차가 있다. 이런 오차는 여러 가지 원인에 의해 발생할 수 있다. 측정기 자체에 문제가 있어서 오차가 발생할 수 있고, 측정자간의 차이에서 오차가 발생할 수 있으며, 측정방법의 차이 또는 기타 간접요인에 의해 오차가 발생할 수 있다.

앞의 여러 오차는 크게 '원인을 파악할 수 없어서 보정할 수 없는 오차'인 우연오차와 '원인을 파악하여 보정할 수 있는 오차'인 계통오차로 분류할 수 있다. 이들 각각은 다시 여러 가지로 세분화할 수 있다. 우연오차는 온도, 진동 등의 미세한 변동으로 인해 생기는 오차인 확률오차와 측정자의 취급부주의 등으로 생기는 오차인 과실오차로 나눌 수 있다. 한편, 계통오차는 계측기의 불완전, 마모 등으로 생기는 오차인 계기오차, 복잡한 이론식 대신 간단한 식의 사용으로 생기는 오차인 이론오차 및 측정자 고유의 능력, 습관 등의 차이로 생기는 오차인 개인오차로 세분화할 수 있다. 측정시스템분석은 앞의 여러 원인으로 인해 생기는 측정치의 변동에 대해 적적히 대처하여 측정시스템을 안정화시키는데 있다.

어느 제품이든 수명주기 전반에 걸쳐 여러 가지 측정을 하게 되며, 이들 측정은 누가, 언제, 어떻게, 어떤 게이지(gauge)로, 몇 번 측정하는지 등에 따라 그 결과가 다르게 나타난다. 따라서 이들 여러 변인으로부터 나타나는 측정치의 관리는 품질경영의 기초가 된다. 이에 측정시스템은 '측정값을 얻기 위해 사용되는 전체공정으로, 측정되는 특성치의 값을 구하기 위해 투입되는 투입물{작업, 절차, 게이지(gage) 및 기타 장비, 소프트웨어 및 인력 등}과 산출물(측정치)의 총합'이라고 정의할 수 있다[1].

측정시스템에서의 문제점을 파악하기 위하여 교정연구(calibration study), 고정효과 ANOVA, gage R&R 등의 방법이 사용되었으며, 구체적인 방법론은 주어진 데이터가 어떤 형태인지에 따라 다르다. 측정시스템분석(Measurement System Analysis, MSA)의 기본 개념과 기초적인 방법론은 Montgomery[2]와 Donald[3]의 품질관리 책에 잘 설명되어 있으며, 실험계획법을 이용한 보다 고차원적인 분석방법은 Burdick 등[4]에 의해 연구가 진행되었다. 측정시스템의 안정화는 전통적으로 제조분야에서 추구되었다. 자동차 제조업체들이 연합해 만든 비영리조직인 Automotive Industry Action Group (AIAG)은 MSA 매뉴얼[5]에서 측정시스템의 안정화 확보를 위해 일련의 절차를 밟을 것을 권장한다. 이 매뉴얼은 AIAG가 발간한 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Statistical Process Control (SPC), Production Part Approval Process (PPAP) 매뉴얼과 함께 자동차 산업분야에서 정량적인 품질관리에 활용된다. 측정시스템분석은 ISO/TS 16949 인증의 요구사항 가운데 하나로서, 생산되는 자동차 부품 겉표면의 변동을 야기하는 품질문제의 해결에 MSA의 기법이 활용되기도 했다[6]. 미국의 경우 시험재료학회와 기계학회에서도 측정치에 대한 분석절차에 대한 기준을 제시하고 있다[7, 8].

측정시스템분석을 통해 측정상의 문제점을 규명하고 적절한 대책을 강구하여 측정된 데이터의 신뢰성을 확보하는 것은 제품의 올바른 개발과 관리 및 공정관리를 위한 기본이다. 특히 공정관리에서 SPC는 품질향상과 품질관리를 위해 오랫동안 사용되어 왔는데, 이러한 도구가 효과를 발휘하기 위해서도 데이터의 신뢰성 확보가 필수적이다. 즉, 공정관리에서는 공정능력을 조사하여 공정의 현황을 파악하고 개선점을 찾아야 하는데, 그 이전에 측정시스템이 잘 관리되어 있어야 한다. 이를 위해서는 계측기 자체뿐만 아니라 측정자, 측정방법, 측정재료, 측정환경 등의 보다 많은 요인들에 대한 정량적인 관리가 필요하다. 측정치의 정량적 관리의 중요성은 병뚜껑을 만드는 압축성형기계용 공구조립판의 개선에 측정시스템분석의 방법론이 적용되어 큰 효과를 본 사례를 통해서도 알 수 있다[9].

측정시스템분석은 품질경영의 실현도구 중 하나인 six sigma에서 프로젝트를 진행할 때 거치는 DMAIC의 다섯 단계 중 두 번째 단계인 측정단계에서 실시하는 활동이다[10]. six sigma는 제조는 물론 서비스 분야 및 공공기관에까지 도입되어 경영성과를 거두었다[11].

측정시스템분석을 위해서는 여러 가지 소프트웨어가 사용될 수 있다. 가장 쉽게 사용할 수 있는 것으로 Minitab[12]을 들 수 있다. 하지만 Minitab이외에 다양한 소프트웨어가 사용될 수 있다. 예를 들어 statgraphics[13]를 사용하면 쉽게 그림을 이용하여 분석을 할 수 있고, R[14]을 활용하면 원하는 분석을 패키지의 형태로도 쉽게 만들어 넣을 수 있다.

측정시스템의 관리는 품질관리의 기본이며 정량적이고 객관적인 의사결정을 중시하는 현 시점에서는 어느 무엇보다 중요하다. 이에 2절에서는 측정시스템에 변동을 많이 야기하는 요소들에 대해 먼저 살펴보고, 3절에서는 특히 측정시스템의 산포에 대한 분석방법인 R&R분석에 대해 알아본다. 다음으로 4절에서는 측정시스템의 산포를 야기하는 요소를 분석하는 실험계획적인 방법을 소개하고, 4절에서 논의를 정리하면서 추후과제를 살펴본다.

2. 측정시스템의 변동 요소

측정시스템의 변동은 위치와 산포의 두 가지 속성으로 묘사될 수 있다. 측정치의 위치와 관련된 속성으로는 정확성, 안정성, 직선성이 있고, 측정치의 산포와 관련된 속성으로는 재현성과 반복성이 있다. 측정치의 위치와 관련된 것으로, 어떤 계측기든 동일 시료의 특성을 무한히 반복 측정하면 측정치의 분포를 얻게 되며, 이때 이 분포의 평균값과 참값과는 차이 즉, 편의(bias, 치우침)가 있게 마련인데, 이 편의가 작으면 정확성(accuracy)이 좋다고 한다. 한편, 동일 시료라고 하더라도 시간에 지남에 따라 측정을 하게 되면 측정결과가 달라질 수 있는데, 이때 그 계측기는 안정성(stability)이 떨어진다고 한다. 다음으로 작은 참값(기준값)에서는 편의가 작고 큰 참값(기준값)에서는 편의가 큰 것으로, 이런 편의가 참값의 크기에 따라 비례적으로 커지는 경우 직선성(linearity, 선형성)이 있다고 한다.

측정치의 산포와 관련된 것으로는, 동일 계측기로 동일 시료에 대해 두 명 또는 그 이상의 작업자가 측정을 하는 경우 측정치 간 차이가 크면 클수록 재현성(reproducibility)이 떨어진다고 한다. 다음으로 동일 작업자가 동일 계측기로 동일 시료에 대해 여러 번 반복 측정해도 측정결과가 일정하지 않은데, 이때 산포가 작으면 반복성(repeatability)이 좋다고 한다.

측정치의 위치와 산포의 면에서 문제가 생기면 그 원인은 여러 가지가 있을 수 있다. 정확성이 떨어지는 원인은 계측기가 마모로 상태가 좋지 않은 경우, 눈금이 잘못된 계측기를 사용하는 경우, 기준값이 틀린 경우 등을 들 수 있다. 반복성이 떨어지는 원인은 적합하지 않은 계측기를 사용하는 경우나 계측기를 고정시키는 방법·위치 등에 문제가 있는 경우 등을 들 수 있다. 안정성이 결여되는 원인은 계측기의 작동준비상태 여부가 측정값에 영향을 미치는 경우, 계측기의 불규칙적인 사용시기나 환경조건의 변화로 공기압이 변화된 경우 등을 들 수 있다. 재현성이 나빠지는 원인은 측정자 사이에 계측기 사용방법이 서로 다르거나 계측기 눈금이 확실하지 않은 경우 등을 들 수 있다. 마지막으로 선형성은 계측기 내부의 설계에 문제가 있는 경우나 기준값 자체가 잘못된 경우 등에 생길 수 있다.

지금까지는 측정시스템의 변동에 대해서만 살펴보았는데, 측정결과로부터 나온 데이터의 총변동은 크게 부품(제품)간 변동과 측정시스템의 변동의 합으로 이루어진다. 이상적인 측정시스템은 측정결과가 제조공정의 현황을 100% 반영하는 것 즉, 측정시스템의 변동이 0인 것이지만 현실적으로 재현성이 낮아 사람들 간 측정치에 차이가 있을 수 있고, 반복성이 결여되어 동일 작업자가 동일 계측기로 동일 시료에 대해 여러 번 반복 측정해도 그 측정결과가 일정하지 않을 수 있다. 이런 현실적인 측면을 감안해도 총변동 중 측정시스템 변동이 차지하는 비중은 10% 또는 1% 이하로 낮춰야 한다.

3. R&R분석

측정시스템분석에서 계측을 여러 사람이 하게 되는 경우가 많은데, 이때 측정치 변동에서 반복성과 재현성을 분리할 필요가 있다. 측정시스템분석에서는 보통 측정치에 영향을 미치는 인자로 측정자, 측정시료 및 반복측정을 드는데 측정자 수 g=3, 측정시료수 n=10, 반복측정횟수 r=3인 경우의 측정치가 <Table 1>에 있는 바와 같다. 이 경우 반복성과 재현성은 각각 어떻게 나오는지 살펴본다.

〈Table 1〉 반복성과 재현성의 분리평가 예

열번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
측정자	A				B				C			
시료번호	1차반복	2차반복	3차반복	범 위	1차반복	2차반복	3차반복	범 위	1차반복	2차반복	3차반복	범 위
1	0,65	0,60		0,05	0,55	0,55		0	0,50	0,55		0,05
2	1,00	1,00		0	1,05	0,95		0,10	2,05	1,00		0,05
3	0,85	0,80		0,05	0,80	0,75		0,05	0,80	0,80		0
4	0,85	0,95		0,10	0,80	0,75		0,05	0,80	0,80		0
5	0,55	0,45		0,10	0,40	0,40		0	0,45	0,50		0,05
6	1,00	1,00		0	1,00	1,05		0,05	1,00	1,05		0,05
7	0,95	0,95		0	0,95	0,90		0,05	0,95	0,95		0
8	0,85	0,80		0,05	0,75	0,70		0,05	0,80	0,80		0
9	1,00	1,00		0	1,00	0,95		0,05	2,05	1,05		0
10	0,60	0,70		0,10	0,55	0,50		0,05	0,85	0,80		0,05
합 계	8,30	8,25		0,45	7,85	7,50		0,45	8,25	8,30		0,25
		8,30		0,05		7,85		0,05		8,25		0,03
				$\overline{R}_A$				$\overline{R}_B$				$\overline{R}_C$
	합	16,55			합	15,35			합	16,55		
	$\overline{X}_A$	0,83			$\overline{X}_B$	0,77			$\overline{X}_C$	0,83		

$\overline{R}_A$	0,05
$\overline{R}_B$	0,05
$\overline{R}_C$	0,03
합	0,13
$\overline{R}$	0,04

반복횟수	D_4
2	3,27
3	2,58

$(\overline{R}) \times (D_4) = \mathrm{UCL}_R$

$(0.04) \times (3.27) = 0.13$

Max. $\overline{X}$	0,83
Min. $\overline{X}$	0,77
$\overline{X}_{Diff}$	0,06

3.1 반복성: 계측기 변동(Equipment variation, EV)

<Table 1>에서 반복성이 좋다는 것은 1차와 2차 측정치간 차이가 없다는 것을 의미하므로 이들 간의 차이를 이용하여 반복성이 얼마나 되는지 구할 수 있다. 한 예로 계측자로 A 한 사람만 있고 시료도 첫 번째 시료 하나만 있다면 반복성은 1차 측정치와 2차 측정치의 차이인 범위 0.65-0.60의 크기를 이용하여 구할 수 있다. 즉, 이 값이 작다면 반복성은 좋다고 할 수 있다. 그런데 측정자가 3명이고, 시료가 모두 10개이므로 30개 범위(또는 이들 30개 범위의 평균 $\overline{\overline{R}}$)를 이용하여 반복성을 구할 수 있다. 이때 반복성의 크기는 $EV = \overline{\overline{R}} \times K_1$(= $\overline{\overline{R}} \times \frac{5.15}{d_2}$)로 나타내는데, 여기서 5.15를 사용한 이유는 표준정규분포에서 $\mu \pm \frac{5.15}{2}\sigma$내부의 면적이 전체 면적의 대부분(99%)을 차지하기 때문이다.

3.2 재현성: 측정자 변동(Appraiser variation, AV)

<Table 1>에서 재현성이 좋다면 여러 측정자의 측정결과는 서로 비슷할 것이다. 한 예로 첫 번째 시료 하나만 있는 경우 첫 번째 측정자의 평균 0.625{=(0.65+0.60)/2}, 두 번째 측정자의 평균 0.55, 세 번째 측정자의 평균 0.525 사이에는 별 차이가 없을 것이다. 따라서 이들 평균치의 산포(예를 들어 범위)를 이용하여 재현성을 측정할 수 있다. 그런데 시료가 하나만 있는 것이 아니고 10개가 있으므로 이들 평균치 0.83, 0.77, 0.83의 산포 예를 들어, 이들의 범위 $\overline{X}_{diff} = 0.06$의 크기를 이용하여 재현성을 측정할 수 있다. 통상적으로 재현성을 나타내는 $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{n \times r}}$로 나타낸다. 여기서 K_2=$\frac{5.15}{d_2^*}$로 얻어지며 d_2^*는 일반적인 품질관리 교재의 계수표에서 그 값을 찾을 수 있다.

3.3 계측기의 반복성과 재현성(Gage repeatability and reproducibility)

반복성과 재현성을 동시에 나타내는 $R\&R$= $\sqrt{EV^2 + AV^2}$로 표현된다. <Table 1>의 데이터의 경우 <Table 2>에서와 같이 $R\&R$은 0.24로 나타난다. R&R 값은 작으면 작을수록 좋다. 한편, %EV, %AV 및 %R&R은 EV, AV 및 R&R의 공차에 대한 백분비를 나타낸다. 이 값 또한 작으면 작을수록 좋다.

〈Table 2〉 반복성과 재현성 분리 예

시료이름	개스킷	계측기이름	두께측정기	날 짜	9/6/2008
측 정 치	두께길이	계측기번호	X-2034	평가자	박 길 남
규 격	0.6~1.0mm	계측기형태	0.0~1.00mm		

데이터 시트 결과 $\overline{\overline{R}} = 0.04$, $\overline{X}_{Diff} = 0.0$

계측기 성질 %공차분석

정밀도-계측기변동(E.V.)

$EV = (\overline{\overline{R}}) \times K_1$
$= (0.04) \times (4.56$
$= 0.18$

반복횟수	2	3
K_1	4.56	3.05

$\%EV = 100[(EV)/(\text{공차})]$
$= 100[(0.18)/(0.40)]$
$= 45.0\%$

재현성-측정자변동(A.V.)

$AV = \sqrt{(\overline{X}_{Diff} \times K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{n \times r}}$
$= \sqrt{(0.06) \times (2.70)^2 - \frac{(0.18)}{(10 \times 2}}$
$= 0.16$

%AV=100[(AV)/(공차)]
=100[(0.16)/(0.40)]
=40.0%

반복횟수	2	3
K_2	3.65	2.70

n= 시료의 수
r=반복횟수

계측기 정밀도와 재현성(R&R)

R&R $= \sqrt{EV^2 + AV^2}$
$= \sqrt{0.18^2 + 0.16^2} = 0.2$

%R&R=100[(R&R)/(공차)]
=100[(0.24)/(0.40)]
=60.0%

4. 실험계획법적 접근방법

전통적으로 실험계획법은 반응변수에 영향을 미치리라 생각되는 독립변수가 여럿 있는 경우 어느 독립변수가 반응변수에 통계적으로 유의한 영향을 미치는지 보기 위해 사용되었다. 측정시스템분석에서도 측정결과에 영향을 미치는 요인의 통계적 중요성을 파악하기 위해 실험계획법이 적용된 바 있다[15].

<Table 1>의 데이터의 경우 작업자와 제품의 두 가지 요인이 있고, 이 두 요인 내에서 2번씩 반복측정이 이루어졌으므로 다음 모형에서 X_{ijk}는 작업자 i가 제품 j에 대해 k번째로 측정한 관측값이다. 그러면 <Table 1>의 데이터에 대해 다음과 같은 2인자 요인배치 모형을 적용할 수 있다.

$X_{ijk} = \mu + O_i + P_j + (OP)_{ij} + R_{k(ij)}$

여기서 μ, O_i (i = 1, 2, ..., o), P_j (j = 1, 2, ..., p), $(OP)_{ij}$, $R_{k(ij)}$ (k = 1, 2, ..., n)는 각각 전체 모평균, 작업자의 주효과, 제품의 주효과, 작업자와 제품간 교호작용 효과 그리고 마지막으로 오차항을 나타낸다. 계측기 능력분석에서 보통 작업자 효과, 제품 효과, 작업자와 제품간 교호작용 효과 및 오차는 서로 독립적인 랜덤효과를 가지며, 평균이 0이고 분산이 각각 σ_o^2, σ_p^2, σ_{op}^2, σ_r^2인 정규분포를 따른다고 가정한다. 특히 제품효과와 작업자 효과는 랜덤효과로 취급된다. 왜냐하면 계측기 R&R 분석에서 제품이나 작업자는 각각 많은 제품이나 또는 많은 작업자들로부터 랜덤하게 뽑힌 것이기 때문이다. 하지만 작업자의 수가 항상 똑같이 2내지 3명으로 고정된 경우 작업자 효과는 고정효과로 취급해야 한다.

2인자 요인배치모형에서 상정하는 가정들이 제대로 맞는다면 분산분석을 실시할 수 있으며 <Table 3>은 그 결과를 나타낸다. 이로부터 계측기의 반복성을 나타내는 $\sigma^2_{repeatability}$은 σ_r^2라고 할 수 있으며, $\widehat{\sigma_r^2}$=0.036 이므로 $\sigma^2_{repeatability}$은 0.036이라고 추정할 수 있다.

〈Table 3〉 〈Table 1〉의 데이터에 대한 분산분석 결과

SOURCE OF VARIABILITY	DEGREE OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F_0	p-value
Operators	2	0.26133	0.130667	3.49	0.05237
Parts	9	3.12871	0.347634	9.29	0.00004
Operator by Part	18	0.67367	0.037426	1.03	0.45827
Repeatability	30	1.08875	0.036292		
Total	59	5.15246			

한편 계측기의 재현성은 작업자와 관련된 측정치의 변동이므로 우선 σ_o^2로 추정할 수 있을 것이다. 그러나 작업자와 제품간 교호작용이 있을 수 있다. 예를 들어 어떤 작업자는 제품을 고정시킨다거나 다루는데 서툴러 작업 초기에 재는 제품의 품질특성치가 작업 말기에 재는 제품의 품질특성치와 서로 다를 수도 있다. 이러한 경우에는 두 요인 간 교호작용 효과도 작업자에 의한 측정오차에 넣어야 한다. 따라서 계측기의 재현성은 $\sigma^2_{reproducibility} = \sigma^2_o + \sigma^2_{op}$으로 표시할 수 있다. 앞의 데이터에 대해 $\sigma^2_{reproducibility}$의 추정치는 0.095로 나옴을 알 수 있다. 이와 같이 실험계획법을 적용하면 각 요인에 대한 변동의 크기를 파악할 수 있다.

본 연구에서 살펴본 <Table 1>의 데이터는 많은 작업자 중에서 3명의 작업자를 고르고, 많은 제품 중에서 10개의 제품을 골라 2번 반복측정한 경우로 실험계획법에서 두 요인 모두 랜덤요인인 랜덤효과(random effect) 모델이다. 하지만 현실적으로는 두 요인 모두 수준이 랜덤하게 변하지 않고 고정일 수 있고, 하나의 요인은 그 수준이 랜덤하게 변하지만 다른 요인은 고정된 것일 수 있다. 전자는 고정효과(fixed effect) 모델에 속하고, 후자는 혼합효과(mixed effect) 모델에 속하는데, 이때에는 각 요인의 평균제곱 항에 대한 기댓값이 달라 작업자의 변동과 제품의 변동을 나타내는 σ_0^2과 σ_p^2의 값을 달리 구해야 한다.

5. 결론

측정시스템분석은 측정과정 중 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 요인들을 올바로 파악하여 측정결과가 위치와 변동 면에서 문제점을 야기할 때 이를 야기하는 요인이 무엇인지 파악하여 올바로 잡는데 있다. 제품을 생산하는 공정에 변동이 있듯이 측정치를 얻는 공정에도 변동이 있다. 측정시스템분석은 측정방법, 측정도구 및 측정과 관련된 모든 과정을 분석하여 측정치 자체에 문제가 없도록 해서 제품 및 공정과 관련된 올바른 의사결정을 내릴 수 있도록 해야 한다. 측정시스템분석은 six sigma 방법론이나 올바른 품질경영시스템의 구축에서 중요한 요소이다.

측정시스템의 변동은 크게 위치와 산포의 두 가지 속성으로 묘사된다. 위치와 관련된 속성으로는 정확성, 안정성, 직선성이 있고, 산포와 관련된 요소로는 재현성과 반복성이 있다. 통상적으로 측정시스템의 산포와 관련된 중요 요소로 측정자, 측정시료수 및 반복측정횟수의 세 가지 요소를 살펴보는데, <Table 1>은 전형적인 측정시스템 분석에 사용되는 데이터이다. 측정시스템분석에서 측정치의 산포를 나타내는 반복성과 재현성의 크

기를 분리하는 것은 중요하며, 이를 R&R분석이라고 한다. <Table 1>과 같은 데이터가 주어진 경우 반복성과 재현성은 여러 차례의 측정치간 차이인 범위와 측정자간 차이인 범위가 각각 작으면 좋다고 보는 것으로, 99%의 산포로 그 크기를 파악한다.

측정시스템분석은 앞에서와 같은 R&R분석이외에 실험계획을 활용하여 측정치의 변동을 유발하는 요인의 크기를 파악할 수 있다. 이때 변동을 야기하는 요인인 작업자와 제품이 수많은 것들 중 랜덤하게 일부 뽑힌 것이면 랜덤요인으로 보고 <Table 3>에서와 같이 각 요인의 변동의 크기를 구할 수 있다. 하지만 경우에 따라서는 두 요인의 수준이 랜덤하게 변하지 않고 한정된 고정요인일 수 있고, 또는 한 요인은 랜덤요인이지만 다른 요인은 고정요인일 수 있다. 이때 전자는 고정효과모형을 적용하고, 후자는 혼합효과모형을 적용하여 각 요인의 변동의 크기를 파악해야 하는데, 이런 다양한 경우에 작업자의 변동과 제품의 변동을 어떻게 구하는지는 다음 연구에서 살펴보기로 한다.

References

[1] 백재욱·이재헌, 품질경영, 한국방송통신대학교출판부, 2020.

[2] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control (7th ed.), John Wiley and Sons, 2013.

[3] D. Wheeler, EMP III: Evaluating the Measurement Process & Using Imperfect Data, SPC Press, 2006.

[4] Burdick et. al., Design and Analysis of Gauge R&R Studies: Making Decisions with Confidence Intervals in Random and Mixed ANAVA Models, SIAM, 2005.

[5] AIAG Measurement System Analysis (4th ed.), Automotive Industry Action Group, 2010.

[6] L. D. Pop and N. Elod, Improving a Measuring System according to ISO/TS 16949, Procedia Technology, 19, 1023-1030, 2015.

[7] Standard Guide for Measurement Systems Analysis, ASTM E2782, ASTM International, 2017.

[8] Guidelines for the evaluation of dimensional measurement uncertainty, B89.7.3.2, ASME, 2007.

[9] C. W. Shelton, Measurement System Analysis : More Than a Line on a PPAP Submission, Quality Magazine, American Society for Quality, 2021.

[10] Valles et. al., Implementation of six sigma in a manufacturing process: A case study, 16, International Journal of Industrial Engineering, 2009.

[11] Antony et. al., Lean six sigma for public sector organizations: is it a myth or reality?, 34, International Journal of Quality and Reliability Management, 2017.

[12] Minitab 19, Statistical Software Package.

[13] statgraphics 19, Statistical Software Package.

[14] Cano et. al., Measurement System Analysis with R. In: Six Sigma with R. Use R!, 36. Springer, New York, NY, 2012.

[15] Kumar et. al., SMEs Perception towards Adoption of Measurement System Analysis Strategy : A Case Study in Pump Manufacturing Industry, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, 954, 2020.

백 재 욱(Baik, Jai Wook)

- 1992년 4월~ 현재 : 한국방송통신대학교 통계· 데이터과학과 교수
- 1986년 9월~ 1991년 5월 : 미국 Virginia Polytechnic Institute and State University 통계학박사
- 1983년 9월~ 1986년 5월 : 미국 University of Wisconsin-Madison 통계학석사
- 1976년 3월~ 1983년 2월 : 중앙대학교 응용통계학과 학사
- 관심분야 : 통계학, 생산관리
- E-Mail : jbaik@knou.ac.kr