

식스시그마 DMAIC 프로세스에서
모집단의 수와 데이터 종류에 따른
품질개선 기법의 오적용 유형 및 이해
Understanding and Misuse Type of Quality
Improvement Tools According to the Kind of
Data and the Number of Population in
DMAIC Process of Six Sigma

최 성 운*

Sung-Woon Choi*

Abstract

The paper proposes the misuse types of statistical quality tools according to the kind of data and the number of population in DMAIC process of six sigma. The result presented in this paper can be extended to the QC story 15 steps of QC circle. The study also provides the improvement methods about control chart, measurement system analysis, statistical difference, and practical equivalence.

Keywords : Misuse Types, Improvement Methods, DMAIC, QC Story 15 Steps, Statistical Difference, Practical Equivalence.

1. 서 론

무한 경쟁의 산업사회에서 고객만족을 위한 품질 개선(Quality Improvement) 및 품질혁신(Quality Innovation)은 필수불가결한 활동으로 인식되고 있다. 우리나라에서도 기업의 경쟁력 제고를 위하여 산업자원부, 기술표준원, 한국표준협회에서 대통령상의 국가품질경영대회에서 품질분임조 경진분야대회를 매년 운영하고 있다.

* 경원대학교 산업공학과

품질분임조활동은 대상에 따라 현장분임조와 설비분임조로 구분되며 현장분임조는 주제선정 절차에 따라 Bottom-Up의 QC Story 15단계형과 Top-Down의 DMAIC 5단계형의 개선단계를 사용한다.[1] QC Story 15단계는 일본의 QC Circle활동에서 작업자, 실무자의 자율적인 과제 설정을 위한 개선 단계이며 DMAIC 5단계는 미국의 Six Sigma운동에서 [7,12] 경영자가 CTQ(Critical To Quality)에 의한 단기적인 Project 수행을 위한 혁신단계이다. 현장분임조는 업종에 따라 제조, 서비스, 공기업으로 분류될 수 있으며 과제 성격에 따라 QC Story 15단계와 DMAIC 5단계를 선택 사용한다.

현장분임조 활동은 넓이와 깊이면에서 운영분임조와 연구분임조로 구분되며 운영분임조는 장기간의 분임조활동의 역사를 탄생기, 성장기, 도약기, 시련기, 성숙기 등의 Life Cycle 단계에 맞추어 전개한다. 이에 반해 연구분임조는 개선 내용과 기법면에서 고수준의 깊이를 갖는 과제활동을 추구한다. 설비 분임조는 TPM분임조라고 하며 넓은 운영분임조와 깊이의 연구분임조 형태를 혼합한 개선단계를 적용한다.

즉 전반부는 TPM 8대 본주인 자주보전, 개별개선, TPM교육훈련, MP초기관리, 품질보전, 안전환경, 사무효율화의 기능에 대해 운영분임조 같은 넓은 장기간 개선단계를 적용하는 반면에 후반부는 개별개선을 연구분임조같은 깊이의 고수준 활동단계를 전개하며 품질보전 8대 전개의 7단계 고유적인 개선프로세스를 적용하기도 하나 QC Story 15단계와 DMAIC 5단계를 주로 사용한다. 3가지 개선단계에 대한 차이는 <표1>과 같다.

<표1> 개선단계별 차이

DMAIC 5단계	QC Story 15단계	품질보전 8자 전개 7단계
1. Define	1. 회사소개 2. 분임조소개 3. 공정소개 4. 주제선정 5. 활동계획수립	1. 현상파악
2. Measure	6. 현상파악	2. 불량복원
3. Analyze	7. 원인분석 8. 목표설정	3. 요인해석
4. Improve	9. 대책수립 10. 대책실시 11. 결과분석 12. 효과파악	4. 요인박멸
5. Control	13. 표준화 14. 사후관리 15. 반성 및 향후계획	5. 조건설정 6. 조건관리 7. 조건관리개선

우리나라 분임조활동은 제도적인 측면에서 심사기준에 대한 담당자, 전문가의 이해부족, 예산과 시간제약에 의해 동일한 개선단계를 업무에 따라 다르게 기술해 놓아 이를 참고하는 기업 실무자들뿐만 아니라 심사자들조차도 큰 혼란을 빚고 있다. 업종이 제조, 서비스, 공공기관이든 분임조 활동은 Top-Down의 DMAIC 5단계형과 Bottom-Up의 QC Story 15단계형의 2가지 형태로 구분된다. 따라서 심사기준은 이 2가지 공통의 개선단계를 통일적으로 사용하고 업무에 따른 독특한 개선단계만을 추가로 기술하면 심사자, 실무자 모두 큰 혼란없이 같은 이해의 선상에서 효과적, 효율적 적용이 가능하다. 또한 과제 및 Project 성격에 따라 두 가지 개선단계를 포함 사용하는 창의적인 절충형(Middle-Updown) 분임조 활동도 수행가능하다. 또 다른 심사기준의 문제점은 TPM분임조 개별개선 활동을 5쪽 이내로 제한하는 강제적인 면과 일부 심사자가 규격간 통일되어 있지 않은 특정 KS용어 사용을 강요하는 데 있다. 이와 같이 혼란스러운 심사기준에 의해 기업실무자들은 개선단계에 따른 개선기법[2-6, 8-11, 13]의 적용에 많은 애로를 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 국가품질경영대회에서 발표한 분임조 원고를 대상으로 DMAIC 5단계에서 오적용된 개선기법의 유형을 제시하고 이에 따른 개선방안을 제안한다. QC Story 15단계와 품질보전 8차 전개 7단계에서의 오적용 유형도 <표1>에서와 같이 DMAIC 5단계와 연계해서 본 연구의 활용이 가능하다.

2. Define, Measure 프로세스에서 오적용 유형 및 개선방안

Define 프로세스의 주제선정배경단계에서 원그래프, 막대그래프, 파레토 차트를 사용할 경우 개선전의 제품특성치와 부적합품률의 연간, 계절, 월간, 주간 변동을 평가할 수 없다. 이 경우 Subgroup Number k 가 25이상 이 되도록 장기간의 년, 분기, 월 또는 주에 대해 해석용 관리도를 작성해야 한다. 관리도를 이탈하는 이상원인 (Assignable Cause)이 발생할 경우 원인분석을 실시하고 문제점에 대한 층별(Stratification)을 실시하여 주제선정을 한다. 또한 장기간 축적된 개선전의 모평균, 모표준편차, 모부적합품률, 모부적합에 대한 모수추정을 해석용 관리도를 이용하여 실시한다. $\bar{x}-R$ 관리도인 경우 $\hat{\mu}_0 = CL = \bar{\bar{x}}$, $\hat{\sigma}_0 = \bar{R}/d_2$, $\bar{x}-S$ 관리도인 경우 $\hat{\sigma}_0 = \bar{s}/c_4$ 이다.

Measure 프로세스의 측정시스템분석(MSA) 단계에서 계측자, 부품이 랜덤변량교차인자인 2인자 이방분할법의 측정 DOE(Design of Experiment)로 게이지 R&R을 실시하거나 또는 계측자가 랜덤변량인자로 지분된 분할법을 사용한다. 그러나 기업 실무자는 두 방법의 차이를 모르면서 사용하는 경우가 대부분이다. 우선 계측자, 부품이 정해진 인원 또는 개수를 모두 사용할 경우 모수고정 교차인자가되고 일부분을 샘플링하여 사용할 경우 랜덤변량인자가 되며 MINITAB에서 지원되는 두가지 게이지 R&R 방법은 모두 랜덤변량인자인 경우이다. 또한 동일한 부품의 재사용이 가능한 경우 2인자 이방분할법을, 파괴시험과 같이 서로 다른 부품을 사용할 경우 2인자 분할법을 이용해야 하며 랜덤화에 따른 데이터를 구하는 실험순서가 다르다는 것을 유념해야 한다. 또한 MINITAB에서는 2인자 게이지 R&R 방법만을 제공하나 실제 측정현장에서는 계측자, 부품외에 측정날짜, 측정위치

등의 다양한 측정조건과 샘플링유무에 따른 고정모수인자와 랜덤변량인자의 선택, 실험순서의 랜덤화에 따른 교차인자와 지분인자의 선택, 반복의 형태에 따른 Replication과 Repetition의 선택에 따라 3인자 이상의 다양한 측정 ANOVA의 분산성분에 의한 게이지 R&R을 측정해야 한다.[2] 특히 계측자, 부품, 측정조건이 랜덤변량 교차인자와 지분인자가 결합한 경우 근사 F_0 검정과 EMS에 따른 Gage R&R을 실시, 분석, 평가해야 한다. 측정평가기준도 해상력(Resolution)을 나타내는 구별되는 범주의 수 (Number of Distinct Categories, Signal-To-Noise Ratio, Discrimination Ratio), 기여율 (Contribution Ratio)를 나타내는 %연구변동(R&R-To-Total Precision Ratio)외에 측정공정능력비를 나타내는 PTR(Precision-To-Tolerance)를 사용하여 측정능력을 분석, 평가해야 한다.

Measure 프로세스의 현상과악 단계에서는 Define 프로세스의 주제선정 단계에서 측정된 개선전의 모평균, 모표준편차, 모부적합품률이 동일하다는 가정하에 통상 1개월 정도의 데이터에 대해 관리그래프 또는 관리도를 사용한다. 그러나 Define 단계에서의 개선전의 추정된 모수가 Measure 단계에서도 변화없이 유지된다는 것을 검증해야 하며 장기간의 데이터를 사용해야 하는 공공기관의 경우 이 방법은 필수적으로 요구된다. Define 과 Measure 두 단계의 데이터가 통계적으로 차이(Statistical Difference)가 없다는 가설검정(Hypothesis Test)을 실시할 경우 두 단계의 데이터 개수, 모표준편차의 정밀도 크기에 따라 모평균의 차이 파악에 오류를 범할 수 있다. 이 경우 샘플의 크기와 정밀도의 영향을 최소화하고 정확도의 변화를 동등성 마진(Equality Margin)으로 평가하는 실제적 동등성(Practical Equivalence)방법을 사용해야 한다. 이 방법은 신약을 평가하는 생물학적 동등성(Bioequivalence)에서 통계적 차이 모형의 단점을 극복하기 위해 이용된 방법이다.

가설검정은 통계적 차이가 있다는 대립가설을 증명하는 것과 다르게 실제적 동등성 모형에서는 동등성이 있다는 대립가설을 증명한다. 실제적 동등성 모형에서는 표준편차, 샘플의 크기의 정밀도를 그대로 두고 유의수준 또는 신뢰수준의 기각치의 값으로 정밀도를 최소화하여 동등성 마진 θ 의 정확도 크기를 보정하는 방법이다. 따라서 Define과 Measure의 두 단계의 통계적 차이가 없다는 실제적 동등성을 파악하기 위해서는 <표2>에서 2, 3영역과 같이 서로 다른 가설이 나와야 한다. 계량연속형, 계수이산형 공정과 관리도에 대한 TOST(Two One-Sided Tests)방법은 <표3> 과<표4>와 같다.[6]

<표2> PE와 SD의 보완관계

실 제 적 동 등 성 (PE)	H_0	1영역 PE : H_0 SD : H_0	3영역 PE : H_0 SD : H_1
	H_1	2영역 PE : H_1 SD : H_0	4영역 PE : H_1 SD : H_1
		H_0	H_1
		통계적 차이 (SD)	

<표3> 공정에서 PE를 위한 TOST 방법

공정	모집단	특징	TOST공정
계량 연속형	1개	σ_0 기저 모평균	$-\theta \leq \bar{x} \pm Z_{1-\alpha} \sigma / \sqrt{n} \leq \theta$
		σ_0 미지 모평균	$-\theta \leq \bar{x} \pm t_{1-\alpha}(v) s / \sqrt{n} \leq \theta$
	2개	σ_1, σ_2 기저 두모평균차	$-\theta \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm Z_{1-\alpha} (\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2) \leq \theta$
		동일샘플, 등분산 두모평균차	$-\theta \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{1-\alpha}(v) s (1/n_1 + 1/n_2)^{1/2} \leq \theta$
		동일샘플, 이분산 두모평균차	$-\theta \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm t_{1-\alpha}(v) (s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2) \leq \theta$
		상이샘플 두모평균차	$-\theta \leq \bar{d} \pm t_{1-\alpha}(v) s d / \sqrt{n} \leq \theta$
	계수 이산형	1개	모부적합품률
모부적합			$-\theta \leq c \pm Z_{1-\alpha} \sqrt{c} \leq \theta$
모단위당부적합			$-\theta \leq u \pm Z_{1-\alpha} (u/n)^{1/2} \leq \theta$
2개		등분산 두모부적합품률차	$-\theta \leq (p_1 - p_2) \pm Z_{1-\alpha} (p(1-p)(1/n_1 + 1/n_2))^{1/2} \leq \theta$
		이분산 두모부적합품률차	$-\theta \leq (p_1 - p_2) \pm Z_{1-\alpha} (p_1(1-p_1)/n_1 + p_2(1-p_2)/n_2)^{1/2} \leq \theta$
		등분산 두모부적합차	$-\theta \leq (c_1 - c_2) \pm Z_{1-\alpha} (2c)^{1/2} \leq \theta$
		이분산 두모부적합차	$-\theta \leq (c_1 - c_2) \pm Z_{1-\alpha} (c_1 + c_2)^{1/2} \leq \theta$
		등분산 두단위당 모부적합차	$-\theta \leq (u_1 - u_2) \pm Z_{1-\alpha} (u(1/n_1 + 1/n_2))^{1/2} \leq \theta$
		이분산 두단위당 모부적합차	$-\theta \leq (u_1 - u_2) \pm Z_{1-\alpha} (u_1/n_1 + u_2/n_2)^{1/2} \leq \theta$

<표4> 관리도에서 PE를 위한 TOST 방법

데이터	관리도	TOST 공식
계량연속형	$\bar{x}-R$	$-\theta \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm 2.78 / (d_2 \cdot \sqrt{n}) \bar{R} (1/k_1 + 1/k_2)^{1/2} \leq \theta$
	$\bar{x}-S$	$-\theta \leq (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \pm 2.78 / (c_4 \cdot \sqrt{n}) \bar{S} (1/k_1 + 1/k_2)^{1/2} \leq \theta$
	$I-MR$	$-\theta \leq (\bar{I}_1 - \bar{I}_2) \pm (2.78/d_2) \overline{MR} (1/(k_1 - 1) + 1/(k_2 - 1))^{1/2} \leq \theta$
계수이산형	p	$-\theta \leq (\bar{p}_1 - \bar{p}_2) \pm 2.78 (\bar{p}(1 - \bar{p})/n) (1/k_1 + 1/k_2)^{1/2} \leq \theta$
	np	$-\theta \leq (n\bar{p}_1 - n\bar{p}_2) \pm 2.78 (n\bar{p}(1 - \bar{p})) (1/k_1 + 1/k_2)^{1/2} \leq \theta$
	c	$-\theta \leq (\bar{c}_1 - \bar{c}_2) \pm 2.78 (\bar{c} (1/k_1 + 1/k_2))^{1/2} \leq \theta$
	u	$-\theta \leq (\bar{u}_1 - \bar{u}_2) \pm 2.78 ((\bar{u}/n) (1/k_1 + 1/k_2))^{1/2} \leq \theta$

Measure 프로세스에서 관리그래프를 작성하여 부서목표치를 데이터의 평균값만 비교하는 오류를 자주 범하고 있다. 그러나 우연원인(Random Cause)과 이상원인(Assignable Cause)에 의한 산포에 따라 평균값의 의미는 달라지며 이를 위해 반드시 해석용 관리도를 작성해서 즉시 개선(Quick Fix)이 가능한 원인은 해결하고 나머지 원인을 Analyze 프로세스의 잠재요인으로 사용해야 한다. 또한 P관리도에서 3교대 조별 부적합품률이 달라 증별해야 하는 데도 이를 종합하여 사용하는 실수를 범하고 있다.

Measure 프로세스에서 히스토그램에 의해 공정능력을 파악하는 경우 Z시그마 수준 또는 PPM을 사용하는 데 계량연속형 데이터인 경우 개선목표를 위한 정확도와 산포 축소를 위한 정밀도를 종합관리하기 위해 공정능력지수(PCI : Process Capability Index)를 필수적으로 사용해야 한다. 개선방향이 정확도인가 정밀도인가에 따라 원인 분석과 대책실시가 다를 수 있다. 또한 고객의 사용수준에 따른 글로벌한 기업의 1.5σ Shift의 치우침을 인정하는 6 시그마 지표를 보정하기 위해 단기, 장기라는 용어를 사용하여 Z시그마 수준에 1.5를 더하는 오류를 범하고 있다. 공정능력은 공정평균의 정확도(치우침)에 따라 정적(Static), 동적(Dynamic)으로, 공정산포의 정밀도에 따라 군내(Within), 종합(Overall)으로 <표5>와 같이 분류된다. <표5>에서 정확도는 히스토그램으로 규격의 공칭치수(기준치수)와 공정데이터의 평균값의 차이로 파악되며 정밀도는 관리도가 정상, 이상의 판정에 따른다. 관리도가 정상인 경우 PCI를, 이상인 경

우 군내 표준편차와 군간 표준편차를 합성한 종합표준편차의 PPI(Process Performance Index)를 사용해야 한다.[3] 통상 Measure단계에서 PCI(Dynamic, Within)를 사용하며 PPI(Dynamic, Overall)인 경우 이상원인에 대한 규명을 우선적으로 실시해야 한다.

<표5> 정확도와 정밀도에 의한 PPI, PCI

정확도 \ 정밀도	Within	Overall
Static	PCI(Static, Within)	PPI(Static, Overall)
Dynamic	PCI(Dynamic, Within)	PPI(Dynamic, Overall)

3. Analyze, Improve, Control 프로세스에서 오적용 유형 및 개선방안

Analyze프로세스의 핵심인자 선정, Improve프로세스의 개선 전후비교 단계에서 통계적 차이를 파악하기 위한 가설검정에서 천편일률적으로 모든 품질분임조 원고에서 2개의 모집단을 사용하는 오류를 범하고 있다. 그러나 Define단계에서 장기간의 데이터로 추정된 개선전의 모수값을 사용하거나 Define프로세스에 대한 Measure프로세스에 대한 모수의 실제적 동등성이 인정된 경우 1개의 모집단에 대한 가설검정 방법을 사용해야 한다. 1개의 모집단을 사용할 경우 장기간 축적된 데이터를 사용해서 개선전의 모수값을 추정하므로 안정된 값으로 사용이 가능하며 단지 개선후의 데이터에 대한 샘플링오차의 불확실성만을 고려하면 된다. 그러나 2개의 모집단의 가설검정인 경우 개선전과 개선후의 통계량을 사용하기 때문에 단기간의 데이터에 따른 불확실성이 양쪽에 모두 존재하기 때문에 판정에 대한 오류를 범하기가 쉽다. 여기서 개선전 모평균, 모표준편차를 알고 있다는 전문가, 실무자의 이해가 선행되어야 한다.

Improve프로세스에서 계량연속형 개선전후 두 모평균차 가설검정에서 상이샘플, 동일샘플, 등분산, 이분산의 전제조건에 대한 이해없이 MINITAB의 2-표본 t검정, 쌍체 t검정을 사용하는 오류를 범하고 있다. 또한 계수이산형 개선 전후 두 모부적합품률차, 두 모부적합차의 등분산, 이분산의 전제조건을 검토없이 1, 2표본 비율 검정과 포아송 비율의 MINITAB 사용의 오류를 범하고 있다. 이에 대한 개선방안은 최[4, 5]의 연구에서 제시하고 있다.

Measure 프로세스에서 부적합품수의 계량연속 데이터를 k^n 요인배치법의 계량연속형 분산분석 방법에 적용할 경우 정규분포를 만족하기 위한 $np > 5$ 의 조건검토를 수행해야 한다. 상관과 회귀의 차이점을 인식하여 구별사용해야 하며 특히 회귀분석인

경우 Binary Regression을 사용해야 한다.

Control 프로세스에서 개선후와 사후관리 데이터의 비교는 Improve단계의 개선전후 효과과약을 위한 1개 모집단의 가설검정과 다르게 2개 모집단의 가설검정 방법을 사용할 수 밖에 없다. 이 경우 두 기간의 샘플크기와 표준편차의 정밀도 영향이 큰 경우 <표3>과 <표4>의 TOST 방법을 사용하여 실제적 동등성을 과약하는 것이 바람직하다. 또한 관리용 관리도 관리한계의 사용시점과 방법을 이해하지 못하여 Measure 단계의 해석용 관리도와 동일하게 적용, 분석, 평가하는 오류를 범하고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 식스시그마 DMAIC 프로세스와 QC Story 15단계를 연계하여 국가 품질경영대회에 출전한 품질분임조 사례에서의 오적용 유형 및 개선방안을 제시하였다. 특히 해석용, 관리용 관리도의 차이점에 따른 적용방안과 다양한 계측조건을 반영하는 측정 DOE를 이용한 게이지 R&R 모형을 제안하였다. 또한 샘플크기, 표준편차의 정밀도에 영향을 받는 통계적 차이 모형을 보완하기 위해 동등성 마진의 정확도를 이용하는 실제적 동등성 모형의 사용을 제시하였다. 향후 연구는 프로세스 단계의 연계별 전개 및 개선방안에 대한 사례분석에 있다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 최성운, “ 식스시그마 혁신프로세스의 유형 ”, 대한안전경영과학회지, 8(4) (2006) :239-247.
- [2] 최성운, “ 측정시스템분석 모형의 고찰 및 새로운 모형의 제안 ”, 대한안전경영과학회지, 10(1) (2008):191-195.
- [3] 최성운, “ 정확도와 정밀도 오차에 의한 PCI, PPI 및 Z시그마 수준의 유형화 ”, 한국경영공학회지, 14(2)(2009):31-40.
- [4] 최성운, “ 동질성 및 이질성 모집단의 가설검정과 구간추정의 비교 ”, 대한안전경영과학회 춘계학술발표문집, (2009):365-370.
- [5] 최성운, “ 가설검정 유형에 의한 신뢰구간 추정의 종류 및 유도 ”, 대한안전경영과학회 춘계학술발표문집, (2009):546-546.
- [6] 최성운, “ 품질개선 프로세스에서 통계적 차이와 동등성 모형의 유도 및 적용방안 ”, In Press.
- [7] Breyfogle F.W., Implementing Six Sigma : Smarter Solutions Using Statistical Methods, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [8] Casella G., Statistical Inference, 2nd Edition, Duxbury Press, 2001.
- [9] Cox D.R., Principles of Statistical Inference, Cambridge University Press, 2006.
- [10] Lehmann E.L., Romano J.P., Testing Statistical Hypothesis, 3rd Edition, Springer, 2008.
- [11] Lim T.S., Loh W.Y., " A Comparison of Tests of Equality of Variances ",

- Computational Statistics & Data Analysis, 22(1996):287–301.
- [12] Pyzdek T., The Six Sigma Handbook : The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels, 2nd Revised and Expanded Edition, McGraw–Hill, 2003.
- [13] Young G.A., Smith R.C., Essentials of Statistical Inference, Cambridge University Press, 2005.