

# 계수이산 공정에서 SPC 관리도에 의한 Z 시그마 수준과 PCI 및 PPI의 산출

최성운\*

\*경원대학교 산업공학과

## Calculation of Z Sigma Level, PCI, and PPI By SPC Charts in the Discrete Process

Sungwoon Choi\*

\*Dept. of Industrial Engineering, Kyungwon University

### Abstract

The research develops the calculation steps of Z sigma level, process capability index(PCI) and process performance index(PPI) applicable to the discrete process in the service industry. The paper presents three following topics used related process indexes according to the precision and accuray in the continuous process.

The contents include diverse process indexes for nonconformities by SPC attribute control charts and bias coefficient. The same technique of the nonconformites is also used in the nonconforming units. The practical examples are provided to help easier understanding for users.

Keywords : Discrete Process, Nonconformities, Nonconforming Unit, Z Signal Level, PCI, PPI, Precision, Accuracy

### 1. 서론

식스시그마 경영혁신 운동은 제조업, 공공기관, 서비스업 등 전 업종에 걸쳐 광범위하게 적용되어 큰 효과를 보고 있다. 적용되는 공정 및 프로세스는 데이터의 종류에 따라 계량연속형 공정과 계수이산형 공정으로 분류된다.

자동화 생산의 제조 공정에서는 자동계측기에 의해 구해진 계량연속형 데이터의 프로세스 평균과 표준편차를 쉽게 산출할 수 있고 SQC(Statistical Quality Control), DOE(Design of Experiment), RE(Reliability Engineering) 등 고등 품질, 신뢰성 통계기법의 적용이 가능하다. 특히 고객의 VOC(Voice of Customer)와 기업의 VOP(Voice of Process)의 상대적 비율로 모든 업종의 비교가 가능한 PCI(Process Capability Index), PPI(Process Performance Index), Z 시그마 수준의 지

표를 활용할 수 있다. 군내(Within), 종합(Overall), 총(Total) 표준편차 등 공정 산포의 정밀도(Precision, Dispersion, Breadth, Width)에 따른 유형과 정적(Static), 동적(Dynamic) 등 공정 평균의 치우침(Bias, Accuracy, Location, Axe, Centrality)에 의한 유형에 따라  $C_p$ ,  $C_{PK}$ ,  $C_{Pm}$ ,  $P_p$ ,  $P_{Pm}$ ,  $P_{PmK}$ 와 Z 시그마 수준, PPM 등의 연구가 이루어지고 있다. [2, 4-5, 7-8]

서비스 프로세스는 시간, 돈 같은 한정된 계량연속형 데이터를 제외하고 서비스 업무의 Error, 실수(Mistake)를 카운트(Count)하고 셀 수 있는 계수이산형 공정이다. 그러나 계수이산형 공정에서는 SPC 관리도, 검추정, 분할표 검정 등 계량연속형 공정에 비해 제한적인 품질통계 기법이 적용되며 성과적도로도 부적합 또는 부적합품률에 의한 정규근사의 방법으로 Z 시그마 수준을 산출하는 정도이다.[1, 6, 9]

† 본 논문은 2009년도 경원대학교 지원에 의한 연구임

† 교신저자: 최성운, 경기도 성남시 수정구 복정동 산 65 경원대학교 산업공학과

M · P: 011-256-0697, E-mail: swchoi@kyungwon.ac.kr

2009년 1월 접수; 2009년 2월 수정본 접수; 2009년 2월 게재확정

따라서 본 연구에서는 첫째 계량연속형 공정에서의 정밀도 관점에서 계수이산형 SPC 해석용, 관리용 관리도를 이용하여 PCI, PPI, Z 시그마 수준을 산출하는 방안을 제시한다. 둘째 계량연속형 공정에서 1.5σ Shift의 정확도 개념을 적용하여 PCI, PPI, Z 시그마 수준의 평가 방법을 제안한다. 끝으로 부적합과 부적합품 각각에 대해 정밀도와 정확도 관점에서 유형화된 PCI, PPI, Z 시그마 수준의 적용 예제를 제시하여 실무자의 사용의 편의성을 도모한다.

### 2. 부적합과 부적합품의 척도

부적합(Nonconformity)과 결점(Defect)은 한 Unit에서의 개개의 스펙(Specification, 규격, 사양, 제원, 시방, 명세)을 벗어나는 개수이다. 이와 다르게 부적합품(Nonconforming Unit, Nonconformance)과 불량(Defective)은 Unit로 스펙을 벗어나는 개수이다. 따라서 부적합품은 1개 이상의 부적합으로 구성된다.

부적합 또는 결점은 포아송 분포를 하며 부적합품 또는 불량은 초기하 분포, 이항 분포, 포아송 분포를 하나 정규근사 방법을 이용하여 Z 시그마 수준을 산출한다.

부적합 또는 결점의 단위로 DPU(Defects Per Unit), DPO(Defects Per Opportunity), DPMO(Defects Per Million Opportunity), DPBO(Defects Per Billion Opportunity) 등이 있으며 부적합품 또는 불량률의 단위로 DVPU(Defective Per Unit), PPM(Part Per Million), PPB(Part Per Billion)가 있다.

식스 시그마 경영혁신 운동에서는 부적합 또는 결점을 대상으로 하기 때문에 DPMO, DPBO의 척도를 사용해야 하나 일부 전문가 또는 일반인들은 부적합품 또는 불량률 대상으로 한 것으로 오인하여 PPM, PPB 부적합률, 불량률의 척도를 사용하고 있다.

본 연구에서 벤치마킹하는 계량연속형 공정의 정확도와 정밀도의 유형화에 의한 공정 능력에 관련된 지표는 <표 1>과 같다.[2]

### 3. 부적합과 Z 시그마 수준, PCI 및 PPI

<표 1>의 계량연속형 공정능력 지표를 벤치마킹한 계수공정의 부적합 DPMO의 PCI 및 PPI, Z 시그마 수준의 공식은 <표 2>와 같다.

#### 3.1 부적합 PCI와 Z 시그마 적용

부적합 또는 결점의 단위로 DPM, DPO, DPMO,

<표 1> 계량연속형 공정능력 관련 지표

공정평균의 정확도 공정산포의 정밀도	Static	Dynamic
근내표준편차 $\hat{\sigma}_w$	1) $\bar{x} - R$ 관리도에서 R 관리도가 In-Control하여 근내표준편차 적용 2) $\bar{x} - R$ 관리도에서 $\bar{x}$ 관리도가 In-Control하여 치우침 $K=0$ 을 적용 3) $C_p = 3Z(\hat{\sigma}_w, \text{Static})$	1) $\bar{x} - R$ 관리도에서 R 관리도가 In-Control하여 근내표준편차 적용 2) $\bar{x} - R$ 관리도에서 $\bar{x}$ 관리도가 구조적으로 Out-of-Control하여 치우침 $K > 0$ 을 적용 3) $C_{PK} = 3Z(\hat{\sigma}_w, \text{Dynamic}) = 3C_p - 1.5$
종합표준편차 $\hat{\sigma}_o$	1) $\bar{x} - R$ 관리도에서 R 관리도가 Out-of-Control하여 종합표준 편차 적용 2) $\bar{x} - R$ 관리도에서 $\bar{x}$ 관리도가 In-Control하여 치우침 $K=0$ 을 적용 3) $P_p = 3Z(\hat{\sigma}_o, \text{Static})$	1) $\bar{x} - R$ 관리도에서 R 관리도가 Out-of-Control하여 종합표준 편차 적용 2) $\bar{x} - R$ 관리도에서 $\bar{x}$ 관리도가 구조적으로 Out-of-Control하여 치우침 $K > 0$ 을 적용 3) $P_{PK} = 3Z(\hat{\sigma}_o, \text{Dynamic}) = 3P_p - 1.5$

<표 2> DPMO의 PCI 및 PPI, Z 시그마 수준

DPMO의 정확도 DPMO의 정밀도	$K=0$ 평균 DPMO = 목표 DPMO	$K > 0$ 평균 DPMO ≠ 목표 DPMO
In-Control	1) U, C 관리도가 In-Control 2) 평균 DPMO가 목표 DPMO와 일치하여 $K=0$ 3) $Z(\text{In-Control}, K=0) = \Phi(1 - DPMO)$ 4) $C_p = 3Z(\text{In-Control}, K=0)$	1) U, C 관리도가 In-Control 2) 평균 DPMO가 목표 DPMO와 일치하지 않아 $K > 0$ 3) $Z(\text{In-Control}, K > 0) = \Phi(1 - DPMO)$ 4) $C_{PK} = 3Z(\text{In-Control}, K > 0) = 3C_p - 1.5$
Out-of-Control	1) U, C 관리도가 Out-of-Control 2) 평균 DPMO가 목표 DPMO와 일치하여 $K=0$ 3) $Z(\text{Out-of-Control}, K=0) = \Phi(1 - DPMO)$ 4) $P_p = 3Z(\text{Out-of-Control}, K=0)$	1) U, C 관리도가 Out-of-Control 2) 평균 DPMO가 목표 DPMO와 일치하지 않아 $K > 0$ 3) $Z(\text{Out-of-Control}, K > 0) = \Phi(1 - DPMO)$ 4) $P_{PK} = 3Z(\text{Out-of-Control}, K > 0) = 3P_p - 1.5$

DPBO 중 백만기회당 부적합수인 DPMO를 가장 많이 사용한다. 포아송 분포를 정규분포로 근사화한  $U$  관리도에서는  $DPMO = \bar{U}$ 로 추정하며 이는 결점수  $c$ , 샘플수  $k$ , 샘플의 크기  $n$ 에 의해

$$DPMO_{\text{하한}} = 0.5 + (1/\sum_{i=1}^k n) \chi_{\frac{\alpha}{2}}^2 (2 \sum_{i=1}^k c_i),$$

$$DPMO_{\text{상한}} = 0.5 + (1/\sum_{i=1}^k c_i) \chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 (2 \sum_{i=1}^k c_i + 1) \text{이다.}$$

$$Z_{\text{하한}} = \Phi^{-1}(1 - DPMO_{\text{하한}}),$$

$$Z_{\text{상한}} = \Phi^{-1}(1 - DPMO_{\text{상한}}) \text{이다. [1]}$$

또한 부적합품률과 DPMO의 관계는  $P(x) = \frac{e^{-DPMO} DPMO^x}{x!}$

에서 부적합수  $x=0$ 인 경우  $P(0) = e^{-DPMO}$ 로  $DPMO = -\ln(\text{수율})$ 로 산출되며 이 경우 DPMO를 FPY(First Pass Yield)라 한다.  $n$ 개의 직렬공정(Series Process)에서 각 공정의 수율이  $Y$ 일 때 RTY(Rolled Throughput Yield) =  $Y^n$ 으로  $Y = \sqrt[n]{RTY}$ 이다.

본 연구에서 제시한 부적합 PCI와  $Z$  시그마 산출 단계는 다음과 같다.

단계 1 : In-Control 정밀도 평가

$U, C$  해석용 관리도를 제 1종 오차  $\alpha$  관점에서 평가하여 In-Control의 우연원인으로 이루어졌거나 관리용 관리도를 적용하는 경우 검토한다.

단계 2 :  $K=0, K>0$ 의 정확도 평가

$U, C$  관리도를 제 2종 오차  $\beta$ 관점에서 평가하여  $CL$ 인 평균 DPMO와 목표 DPMO가 일치하는 경우 단계 3.1로 가며 일치하지 않는 경우 단계 3.2로 간다.]

단계 3 :  $Z$  시그마 수준과  $C_p, C_{PK}$  산출

단계 3.1) In-Control 정밀도와  $K=0$ 인 정확도인 경우  $Z(\text{In-Control}, K=0) = \Phi^{-1}(1 - DPMO)$ 와  $C_p = 3Z(\text{In-Control}, K=0)$ 를 산출한다.

단계 3.2) In-Control 정밀도와  $K>0$ 인 치우침인 경우  $Z(\text{In-Control}, K>0) = \Phi^{-1}(1 - DPMO)$ 와  $C_{PK} = 3Z(\text{In-Control}, K>0) = 3C_p - 1.5$ 를 산출한다.

단계 4 : 대응되는 계량연속형 성능 척도

(단계 4.1) 단계 3.1

<표 1>에서  $Z(\hat{\sigma}_w, \text{Static})$ 와  $C_p$ 에 해당한다.

(단계 4.2) 단계 3.2

<표 1>에서  $Z(\hat{\sigma}_w, \text{Dynamic})$ 와  $C_{PK}$ 에 해당한다.

3.2 부적합 PPI와  $Z$  시그마 적용

식스시그마 운동에서 식스시그마는  $Z$  시그마 수준으로 2 PPB(Parts Per Billion),  $C_p=2$  성과척도를 달성한다는 의미이며  $1.5\sigma$  Shift는 평균( $\mu$ )의 정확도(치우침)을 고려하여 4.5 시그마, 3.4PPM(Parts Per Million),  $C_{PK}=1.5$ 를 달성했다는 의미이다.

$1.5\sigma$  Shift를 사용하는 실무적 용도는 기업의 품질스펙(Quality Specification)의 달성능력이 6 시그마 수준에서 고객의 신뢰성 스펙(Reliability Specification)에서는 4.5 시그마 수준으로 전달된다는 의미이다.  $1.5\sigma$  Shift에서 왜  $1.5\sigma$ 를 사용했느냐의 수치적 의미는 안전계수(Safety Margin) 관점에서 해석이 가능하다.  $6\sigma$  성과 척도는 우연 공정 변동(Random Process Variation)을  $3\sigma$ 로 가정한 Shewhart 관리도의 2배에 해당하는 안전계수이며  $1.5\sigma$ 는 공정변동  $3\sigma$ 의  $\frac{1}{2}$ 에 해당하는 값이다. 이는 Taguchi의 강건설계(Robust Design)에서 기업의 생산자 스펙을 고객의 사용조건인 잡음인자(Noisy Factor)를 고려한 기능한계(Functional Limit)의 안전설계 개념과 같다.

$1.5\sigma$  Shift의 통계적 해석으로는  $\bar{x}$  관리도에서

$$UCL = \mu_x \pm 3\sigma_x = \mu_x \pm \frac{3}{\sqrt{n}} \sigma_x \text{에서 } n=4 \text{ 일 경우}$$

$1.5\sigma$ 에 해당되며 이는 과거 탁상용 계산기가 없을 경우  $n=5$  보다  $n=4$ 를 사용한 결과이다.

$1.5\sigma$  Shift를 고객에게 특별한 설명없이 사용할 경우  $6\sigma$  시그마 수준은 실제  $4.5\sigma$  시그마 수준에 해당된다.

따라서 현재 MINITAB에서 나오는  $Z$  시그마 수준에 장기, 단기의 애매모호한 데이터샘플링 기간에 의하거나 장기 데이터라고 해서 뚜렷한 설명없이  $1.5\sigma$ 를 더해 주어 기업의 공정능력을 과대 평가하는 것은 고객에게는 사기(Fraud)로 비추어 질 수 있다. 또한  $1.5\sigma$  Shift는 과학과 기술의 발전, 업종간 기술력 차이에 따라 달라질 수 있는 신에 대한 인간의 정확도(치우침)로 실제 적용시 다양한 해석과 판단이 요구된다. 이는 계측기 교정(Calibration)에서 기준기의 참값(True Value)을 안다는 가정하에 정밀도와 정확도의 오차를 구했던 과거 방식에서 참값을 계속 찾아 가는 불확도(Uncertainty)의 방식과 일맥상통하는 방식이다. 과학과 기술이 발전되지 못한 옛날에는 안다고 했던 참값이 과학기술이 발전된 현대에서 모른다고 가정하고 계속 찾겠다는 것

은 아이러니하면서도 인간의 한계를 겸허히 인정하는 노력하는 자세로 인식할 수 있다.

부적합 PPI와 Z 시그마 수준의 산출 단계는 다음과 같다.

단계 1 : Out-of-Control 정밀도 평가

U, C 해석용 관리도를 α 관점에서 해석하여 Out-of-Control의 이상원인과 우연원인으로 이루어졌는가를 평가한다.

단계 2 : K=0, K>0의 정확도 평가

U, C 관리도를 β 관점에서 해석하여 CL인 평균 DPMO와 목표 DPMO가 일치하는 경우 단계 3.1로 가며 일치하지 않는 경우 단계 3.2로 간다.

단계 3 : Z 시그마 수준과 Cp, CPK 산출

단계 3.1 : Out-of-Control 정밀도와 K=0인 정확도인 경우 Z(Out-of-Control, K=0) = Φ<sup>-1</sup>(1 - DPMO)와 Pp (Out-of-Control, K=0)를 산출한다.

단계 3.2 : Out-of-Control 정밀도와 K>0인 치우침인 경우 Z(Out-of-Control, K>0) = Z<sup>-1</sup>(1 - DPMO)와 PPK=3Z(Out-of-Control, K>0) = 3Pp - 1.5를 산출한다.

단계 4 : 대응되는 계량 연속형 성능 척도

단계 4.1 : 단계 3.1 <표 1>에서 Z(σ<sub>o</sub>, Static)와 Pp에 해당한다.  
 단계 4.2 : 단계 3.2 <표 1>에서 Z(σ<sub>d</sub>, Dynamic)와 PPK에 해당된다.

3.3 부적합 적용 예제

자동차 엔진룸 메인 리스팟(Main Respot) 재용접 공정에서 용접 부적합품의 Unit는 엔진룸으로 설정될 경우 용접 가시(Burr) 부적합, 용접 에지(Edge) 부적합, 용접 굴곡(Disfortion) 부적합, 딥 스폿(Deep Spot) 부적합, 핀 홀(Pin Hole) 부적합 등으로 구성된다.

(1) In-Control, K=0, K>0인 경우 용접 가시 부적합 지표 파레토 차트에 의하여 전체 부적합 중 80%를 차지하는 용접 가시(Burr) 부적합의 SPC는 일일 생산량의 Lot Size가 다르므로 U 관리도를 작성한다. U 관리도

가 In-Control의 정밀도로 판정되고 실제 평균 DPMO 10,000PPM이 목표 DPMO 10,000PPM가 일치하는 경우 즉 K=0의 정확도로 판정된 경우 3.1 절의 4단계 중 1, 2, 3.1, 4.1 단계를 적용한다. 반면에 실제 평균 DPMO 20,000PPM이 목표 DPMO 10,000PPM과 일치하지 않는 경우 즉 K>0의 치우침으로 판정된 경우 3.1 절의 4단계 중 1, 2, 3.2, 4.2 단계를 적용한다.

(2) Out-of-Control, K=0, K>0인 경우 용접 가시 부적합 지표

U 관리도가 Out-of-Control의 정밀도로 판정되고 K=0의 정확도인 경우 3.2 절의 4단계 중 1, 2, 3.1, 4.1 단계를 적용하며 K>0의 치우침인 경우 3.2절의 4단계 중 1, 2, 3.2, 4.2 단계를 적용한다.

4. 부적합품과 Z 시그마 수준, PCI 및 PPI

<표 1>의 계량연속형 공정능력 관련지표를 벤치마킹한 계수공정의 부적합품 PPM, PPB의 PCI 및 PPI, Z 시그마 수준의 공식은 <표 3>과 같다.

4.1 부적합품 PCI와 Z 시그마 수준

부적합품 또는 불량률의 단위는 DVPU, PPM, PPB가 있는데 가장 많이 사용되는 단위는 PPM이다.

이항분포를 정규분포로 근사화한 P 관리도에서는 PPM = P̄로 추정하며 이는 샘플의 크기 n, 샘플 수

k, 부적합품률 p에 의해 PPM<sub>하한</sub> = 2 ∑<sub>i=1</sub><sup>k</sup> np/

$$((2(\sum_{i=1}^k n - \sum_{i=1}^k np + 1))F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2(\sum_{i=1}^k n - \sum_{i=1}^k np + 1),$$

$$PPM_{상한} = 2(\sum_{i=1}^k np + 1)$$

$$F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2(\sum_{i=1}^k np + 1), 2(\sum_{i=1}^k n - \sum_{i=1}^k np)) /$$

$$((2(\sum_{i=1}^k np + 1))F_{1-\frac{\alpha}{2}}(2(\sum_{i=1}^k np + 1),$$

$$2(\sum_{i=1}^k n - \sum_{i=1}^k np)) + 2(\sum_{i=1}^k n - \sum_{i=1}^k np)))이며,$$

$$Z_{하한} = \Phi^{-1}(1 - PPM_{하한}),$$

$$Z_{상한} = \Phi^{-1}(1 - PPM_{상한})이다.[1]$$

부적합 PCI와 Z 시그마 수준 산출단계는 다음과 같다.

<표 3> PPM의 PCI 및 PPI, Z 시그마 수준

PPM의 정확도 PPM의 정밀도	$K=0$ 평균 PPM = 목표 PPM	$K>0$ 평균 PPM $\neq$ 목표 PPM
In-Control	1) P, NP 관리도가 In-Control 2) 평균 PPM가 목표 PPM와 일치하여 $K=0$ 3) $Z(\text{In-Control}, K=0) = \Phi(1-PPM)$ 4) $C_p = 3Z(\text{In-Control}, K=0)$	1) P, NP 관리도가 In-Control 2) 평균 PPM가 목표 PPM와 일치하지 않아 $K>0$ 3) $Z(\text{In-Control}, K>0) = \Phi(1-PPM)$ 4) $C_{PK} = 3Z(\text{In-Control}, K>0) = 3C_p - 1.5$
Out-of-Control	1) P, NP 관리도가 Out-of-Control 2) 평균 PPM가 목표 PPM와 일치하여 $K=0$ 3) $Z(\text{Out-of-Control}, K=0) = \Phi(1-PPM)$ 4) $P_p = 3Z(\text{Out-of-Control}, K=0)$	1) P, NP 관리도가 Out-of-Control 2) 평균 PPM가 목표 PPM와 일치하지 않아 $K>0$ 3) $Z(\text{Out-of-Control}, K>0) = \Phi(1-PPM)$ 4) $P_{PK} = 3Z(\text{Out-of-Control}, K>0) = 3P_p - 1.5$

단계 1 : In-Control 정밀도 평가

p, np 관리도는  $\alpha$  관점에서 해석하여 In-Control의 우연원인으로 구성되었거나 관리용 관리도를 사용하는 가를 평가한다.

단계 2 :  $K=0, K>1$ 의 평가

p, np 관리도를  $\beta$  관점에서 해석하여 3.1 절의 단계 2와 같이  $K=0$ 인 경우 단계 3.1로  $K>0$ 인 경우 단계 3.2로 간다.

단계 3 : Z 시그마 수준과  $C_p, C_{PK}$  산출

단계 3.1 : In-Control 정밀도와  $K=0$ 인 정확도인 경우  $Z(\text{In-Control}, K=0) = \Phi^{-1}(1-PPM)$ 과  $C_p = 3Z(\text{In-Control}, K=0)$ 을 산출한다.

단계 3.2 : In-Control 정밀도와  $K>0$ 인 치우침인 경우  $Z(\text{In-Control}, K>0) = \Phi^{-1}(1-PPM)$ 과  $C_{PK} = 3Z(\text{In-Control}, K>0) = 3C_p - 1.5$ 를 산출한다.

단계 4 : 대응되는 계량연속형 성능척도

3.1절의 단계 4와 동일하다.

4.2 부적합품 PPI와 Z 시그마 수준

부적합품 PPI와 Z 시그마 수준의 산출 단계는 다음과 같다.

단계 1 : Out-of-Control 정밀도 평가

p, np 해석용 관리도를  $\alpha$  관점에서 평가하여 Out-of-Control의 이상원인과 우연원인으로 구성되었는 가를 평가한다.

단계 2 :  $K=0, K>0$ 의 평균

p, np 관리도를 제 2종 오차  $\beta$  관점에서 치우침을 평가하여 평균 PPM과 목표 PPM이 일치하는 경우 즉  $K=0$ 인 경우 단계 3.1로 간다. 반면에 일치하지 않는 경우 즉  $K>0$ 인 경우 단계 3.2로 간다.

단계 3 : Z 시그마 수준과  $C_p, C_{PK}$  산출

단계 3.1 : Out-of-Control 정밀도와  $K=0$ 인 정확도인 경우  $Z(\text{Out-of-Control}, K=0) = Z^{-1}(1-PPM)$ 과  $P_p = 3Z(\text{Out-of-Control}, K=0)$ 을 산출한다.

단계 3.2 : Out-of-Control 정밀도와  $K>0$ 인 치우침인 경우  $Z(\text{Out-of-Control}, K>0) = Z^{-1}(1-PPM)$ 과  $P_{PK} = 3Z(\text{Out-of-Control}, K>0) = 3P_p - 1.5$ 를 산출한다.

단계 4 : 대응되는 계량연속형 성능 척도

3.2 절의 단계 4와 같다.

4.3 부적합품 적용 예제

자동차 엔진룸 메인 리스팟(Main Respot) 재용접 공정에서 용접 부적합품은 용접가시(Burr) 부적합, 용접 에지(Edge) 부적합 등 1개 이상의 부적합으로 구성된다.

(1) In-Control,  $K=0, K>0$ 인 경우 용접부적합품을 지표

파레토 차트에 의하여 전체 부적합품중 용접 부적합품률이 전체의 70%를 차지하며 다품종 생산으로 Lot Size가 다르므로 P 관리도를 작성한다. P 관리도가 In-Control 정밀도를 나타내고 실제 평균 PPM 13,000PPM 이 목표 평균 PPM 10,000PPM과 일치하는 경우  $K=0$ 이고 실제 평균 PPM 61,000PPM이 목표 평균 10,000PPM가 일치하지 않는 경우  $K>0$ 인 치우침이 발생된다.  $K=0$ 인 경우 4.1 절의 4단계 중 1, 2, 3.1, 4.1 단계를 적용하며  $K>0$ 인 경우 1, 2, 3.2, 4.2 단계를 적용한다.

(2) Out-of-Control,  $K=0$ ,  $K>0$ 인 경우 용접 부적합품률 지표

P 관리도가 Out-of-Control인 정밀도와  $K=0$ 인 정확도를 갖는 경우 3.2절의 4단계 중 1, 2, 3.1, 4.1 단계를 적용하며  $K>0$ 인 치우침인 경우 3.2 절의 4단계 중 1, 2, 3.2, 4.2 단계를 적용한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 서비스 산업에서의 계수이산형 프로세스에 적용할 수 있는 부적합과 부적합품의 Z 시그마 수준과 PCI 및 PPI의 산출평가 단계를 개발하였다. 계량연속형 공정에서 정밀도와 정확도로 유형화된 공정능력 관련지표를 이용하여 식스 시그마 경영혁신 운동시 적용되는 평가지표를 다음과 같이 제시하였다. 첫째 부적합의 Z 시그마 수준과 PCI, PPI 지표 산출방안은 SPC 계수형 관리도에 의한 정밀도와 치우침 계수에 의한 정확도로 유형화하여 제시하였다. 개개의 스펙을 벗어나는 부적합인 경우 군별 DPMO를 U, C 관리도로 작성한 후 관리상태(In-Control)인 경우 군내 표준편차의 공정능력지수(PCI)를 활용하며 비관리 상태(Out-of-control)인 경우 공정성능지수(PPI)를 사용한다. PPI의 경우는 이상원인인 군간 표준편차를 감소시키는 개선노력이 필요하며 PCI는 우연원인인 군내 표준편차로 미래의 공정을 예측하는 용도로 사용된다. 또한 U, C 관리도의 CL의 DPMO가 회사 또는 부서 목표 DPMO가 일치하는 경우는  $C_p$ ,  $P_p$ , 일치하지 않는, 즉 치우침이 있는 경우는  $C_{pk}$ ,  $P_{pk}$ 를 사용한다. 둘째 부적합이 1개 이상 모인 부적합품의 Z 시그마 수준과 PCI, PPI 지표 평가 방법을 4단계로 제시하였다. 1개 이상의 부적합으로 구성되는 부적합품인 경우 군별 PPM을 P, NP관리도로 작성한 후 관리 상태인 경우  $C_p$ ,  $C_{pk}$ 를, 비관리 상태인 경우  $P_p$ ,  $P_{pk}$ 를 활용한다. 또한 치우침이 없는 경우  $C_p$ ,  $P_p$ 를, 치우침이 있는 경우는  $C_{pk}$ ,  $P_{pk}$ 를 활용한다. 끝으로 4단계 절차를 적용할 수 있는 부적합 DPMO, 부적합품 PPM의 적용사례를 제시하여 사용자의 편의성을 도모하였다.

## 6. 참고 문헌

- [1] 이승훈, Minitab을 이용한 공학통계 자료분석, 이레테크, 2006.
- [2] 최성운, "정확도와 정밀도 오차에 의한 PCI, PPI 및 Z 시그마 수준의 유형화," In Press.
- [3] 최성운, "안전 및 환경성능 평가를 위한 관리도에 관한 연구," 대한안전경영과학회지, 6 (4) (2004) : 195-213.
- [4] Bothe D.R., "Statistical Reason for the 1.5 $\sigma$  Shift," Quality Engineering, 14 (3) (2002) : 483-495.
- [5] Breyfogle F.W., Implementing Six Sigma, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [6] Montgomery D.C., Introduction to Statistical Quality Control, 5th Edition, John Wiley & Sons, 2004.
- [7] Pyzdek T., The Six Sigma Handbook, 2nd Edition, McGraw-Hill, 2003.
- [8] Rezaie K, Ostadi B, Taghizadeh M.R., "Applications of Process Capability and Process Performance Indices," Journal of Applied Sciences, 6 (5) (2006) : 1186-1191.

## 저 자 소 개

최 성 운



현 경원대학교 산업공학과 교수. 한양 대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행했으며, 2002년부터 1년 반동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터, 정보시스템의 신뢰성 설계 및 분석, 서비스 사이언스, RFID시스템에서도 관심을 가지고 있음.

주소: 경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지 경원대학교 산업공학과