

High Throughput 프로세스에서 품질혁신의 성능평가를 위한 Z-Factor의 적용방안

최성운*

*가천대학교 산업공학과

Implementation of Z-Factor Statistics for Performance Evaluation of Quality Innovation in the High Throughput Process

Sung-Woon Choi*

*Department of Industrial Engineering, Gachon University

Abstract

The purpose of this study is to introduce the limit of previously used six sigma quality process evaluation metrics, Z_{st} and P_{pk} , and a solution to overcome this drawback by using a metric based on performance evaluation of Z-factor quality innovation. Case analysis on projects from national six sigma contest from 2011 to 2012 is performed and literature review on new drug development HTS (High Throughput Screening) is used to propose innovative performance evaluation metrics. This research shows that experimental study on six sigma evaluation metric, Z_{st} and P_{pk} , have no significance difference between industrial type (Manufacturing, Semi-Public Institute, Public Institute) and CTQ type (Product Technology Type CTQ, Process Technology Type CTQ). Following discovery characterize this quality improvement as fixed target type project. As newly developed moving target type of quality innovation performance metric Z-Factor is used for evaluating experimental study, hypothetical analysis suggests that Z_{st} and P_{pk} share different relationship or even show reciprocal relationship. Constraints of the study are relatively small sample size of only 37 projects from past 2 years and conflict on having interview and communication with six sigma quality practitioner for qualitative experimental study. Both moving target type six sigma innovation project and fixed target type improvement project or quality circle enables efficient ways for a better understanding and quality practitioner use by applying quality innovation performance metric. Downside of fixed target type quality performance evaluation metric, Z_{st} and P_{pk} , is presented through experimental study. In contrast, advantage of this study is that high throughput requiring product technology, process technology and quantum leap typed innovation effect is evaluated based on precision and accuracy and Z-Factor that enables relative comparison between enterprises is proposed and implemented.

Keywords : Z-Factor, High Throughput Process, Z_{st} , P_{pk} , Industrial Type, CTQ Type, Fixed Target Type Quality Improvement, Moving Target Quality Innovation, Case Analysis

이 논문은 2013년 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 것임(GCU-2012-R011)

† Corresponding author: : Prof. Sung-Woon Choi, Gachon Univ., 1342 SeongnamDaero, Sujeong-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, Korea, 461-701. M·P: 011-256-0697, E-mail: swchoi@gachon.ac.kr
Received October 4, 2012; Revision Received November 29, 2012; Accepted December 21, 2012.

1. 서론

식스시그마는 1987년 모토롤라에서 시작하여 1995년 GE의 잭웰치가 전사적인 경영혁신운동으로 품질경쟁력을 향상시켜 주목을 받기 시작했으며 일본에서는 1997년 소니, 한국에서는 삼성을 중심으로 경영혁신에 활용하기 시작하였다.

식스시그마의 성공요인에 대한 기존연구[1,3-4, 6-10]에서는 재무성과, 고객성과, 조직행위성과, 프로세스성과의 종속변수에 대한 최고경영자의 기업전략과 벨트 추진 인프라조직 등의 독립변수관계를 파악하고자 하였다. 이 경우 기업규모와 업종은 조절변수로, 종업원의 연령, 직급, 학력, 근속년수, 직종 등은 통제변수로 사용하였다.

그러나 식스시그마는 기존의 TQM에서 사용되던 품질원리, 품질개선과 품질기법의 재포장과 합성에 불과하다는 비판을 받고 있듯이[5] 식스시그마의 성공요인의 성과, 전략, 제도 등에서 고려된 모든 변수들이 기존의 TQM 개념의 용어들과 큰 차이가 없다. 따라서 TQM, BPM, SPC 등의 여러 품질혁신기법들이 도입된 기업에서 식스시그마 성공요인에 대한 설문조사에 응할 경우 이러한 기존의 품질기법들의 효과를 성공요인으로 오해하여 연구의 타당성에 큰 오류를 범하고 있으나 이에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

품질분임조는 자율적인 Bottom-up 방식에 의해 테마를 정해 지속적인 개선(Continuous Improvement)을 실시하는 반면에 식스시그마는 고객의 CTQ(Critical To Quality)에 기초하여 Top-Down 방식으로 프로젝트를 발굴(Drill Down)하여 획기적인 혁신(Quantum Leap Innovation or Breakthrough)을 실시하는 기법이다. 그러나 식스시그마 프로젝트를 기존의 품질분임조가 실시한 Bottom-Up 방식 또는 약간 변형한 Middle-UP Down 방식으로 선정하면서 품질분임조가 사용하는 QC 7가지 도구와 QC Story 15단계에 단지 통계적 기법을 가미했다고 식스시그마에서 요구하는 DMAIC의 개선단계에 맞춰 실시했다고 혁신 성과가 나오는가는 의문의 여지가 있다.

따라서 식스시그마 프로젝트는 정해진(Static) 스펙을 벗어나는 오차나 불량률을 감소하려는 Fixed Target형 개선활동과 스펙 자체를 획기적(Quantum Leap)으로 변경하는 (Dynamic) Moving Target형 혁신운동으로 유형화된다. 이렇듯 기존의 품질분임조 개선활동에 의한 Fixed Target형 식스시그마에서의 품질 프로세스 성과지표로 Z_{st} , P_{pk} 를 사용하고 있으나 이는 개선 전과 개선 후의 오차인 정밀도나 정확도의 영향보다 정

해지는 스펙의 기준치나 허용차 또는 공차에 따라 영향을 받는다. 그러나 Moving Target형 식스시그마 혁신 운동이 실시되는 HTP(High Throughput Process)에서 혁신 전의 스펙에 비해 획기적으로 변경되는 혁신 후의 스펙과의 정밀도와 정확도에 의해 품질혁신의 성능을 평가할 수 있는 Z-Factor에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

연구목적(Purpose)은 기존의 식스시그마에서 사용하던 품질 프로세스 평가지표인 Z_{st} 와 P_{pk} 의 한계를 실증연구를 통해 보여주고 이를 극복하기 위한 Z-Factor 품질혁신 성능평가지표를 제안한다.

연구방법(Design, Methodology, Approach)은 2011년-2012년 국가품질경영 식스시그마 경진대회에 출전했던 프로젝트[15]를 대상으로 사례분석을 실시하고 신약 개발의 HTS(High Throughput Screening)[2,11-14]의 문헌고찰을 통해 혁신형 성능평가지수를 제안한다.

연구결과(Findings)는 실증연구에서 식스시그마의 평가지표인 Z_{st} 와 P_{pk} 는 기업의 형태별(제조업종, 준공공기관, 공공기관), CTQ 형태별(제품기술형 Product CTQ, 생산기술형 Process CTQ) 차이가 없으며 이는 프로젝트가 Fixed Target형 품질개선의 특성에 기인한다. 새롭게 제안한 Moving Target형 품질혁신 성능지표 Z-Factor로 실증사례를 평가할 경우 비슷한 Z_{st} 와 P_{pk} 도 서로 다른 관계를 가지거나 심지어 역의 관계도 갖는 것으로 분석된다.

연구한계(Research Limitations)는 2년간의 37개 프로젝트만을 대상으로 하여 샘플의 크기가 그리 크지 않다는 점과 식스시그마 담당자와의 면담을 통한 질적인 실증연구자가 이루어지지 못한 점이다.

실무적용(Practical Implications)은 Moving Target형 식스시그마 혁신 프로젝트뿐만 아니라 품질분임조 또는 Fixed Target형 개선 프로젝트 수행 시 품질혁신 성능평가를 하나의 지표로 손쉽게 적용할 수 있어 실무자의 사용과 이해를 돕는다.

연구차별성(Originality, Value)은 식스시그마 프로젝트의 실증분석을 통해 Fixed Target형 품질성능 평가 지표인 Z_{st} 와 P_{pk} 의 문제점을 나타내고, High Throughput이 요구되는 제품기술, 생산기술의 획기적인 혁신효과를 정밀도와 정확도에 의해 평가할 수 있고 기업간 혁신성을 상대적으로 비교할 수 있는 Z-Factor를 제시하고 적용한 데 있다.

2. 품질혁신 성능평가 방안과 문제점

2.1 품질혁신 성능평가 방안

식스시그마의 중요성공요인(Key Success Factor)은 <Table 1>과 같이 4가지 성과의 종속변수에 대해 영향을 주는 3가지 전략과 4가지 제도의 독립변수의 관계를 분석함으로써 가능하다.[1,3-4,6-10]

전략요인에서 최고경영자의 리더십은 지적자극과 개별배려에 의한 변형적(Transformational) 리더십과 성과보상에 의한 거래적(Transactional) 리더십이 있다. 프로젝트는 기업전략과 연계(Alignment)시키기 위해 로드맵의 마스터 플랜에 의해 CTQ를 도출(Drill Down)하기 위해 VOC와 VOB를 파악해야 하며 고객의 신제품 요구사항을 위한 고객 및 시장정보수립이 요구된다.

제도요인에서 식스시그마 사무국 운영, SCM의 협력업체 참여, ICT를 구성하는 ERP, BPM, CRM, KMS 정보시스템 활용, 표준화관리 등의 추진 인프라 구축과 데이터 사실관리, 과학적, 통계적 언어교육 등의 벨트 전문가 양성이 요구된다. 실패를 인정하고 장벽없는 상호협력의 의사소통을 위해 COP(Community of Practice)의 학습공동체와 Acceptance의 공감대 조직문화가 필요하며 DMAIC, DMADV, DIDOV의 프로세스 사고 및 혁신이 요구된다.

성과요인은 BSC의 KPI 관점에서 재무성과는 회사측면의 유형효과금액으로, 고객성과는 클레임율, 고객만족도, 재이용률, 사회적 기여도 등으로, 내부프로세스성과는 Z_{st} , P_{pk} 의 품질프로세스 지표로, 학습 및 성장성과는 종업원만족도, 이직률, 특허, 개선 및 제안 등의 창의적 문제해결 능력 향상 등으로 4가지 CSF의 KPI 인과관계에 의한 분석이 가능하다.

2.2 연속 식스시그마 실증연구에 의한 품질혁신 성능평가의 분석

이미 TQM, MBNQA, ISO 9001, TS 16949 등 기존의 품질시스템과 원리가 도입된 기업에서는 식스시그마만의 성공요인을 파악하는 실증연구방법이 중요하다. 설문조사에서조사대상자(Subject)의 신뢰성을 확보하기 위해 Cronbaha's α 를 구하거나 문항(Question Item)의 타당성 확보를 위해 인자분석을 실시하지만 <Table 1>과 같이 기존 연구에서 수행한 성공요인은 기존의 품질원리와 기법과 용어에서 큰 차이가 없어 조사대상자가 이를 정확히 이해 못할 시 연구의 타당성에 심각한 오류가 발생한다.

<Table 1> Key Success Factors of Six Sigma Implementations

| Variable Type | Key Success Factors | |
|---------------|----------------------|----------------------------------|
| 독립변수 | 전략 | 최고경영자의 Leadership |
| | | Road Map에 의한 Project Drill Down |
| | | 고객 및 시장정보 수립 |
| | 제도 | 추진 및 활동 조직의 Infra 구축 |
| | | 벨트전문가 제도 및 통계적 언어 사용 |
| | | Acceptance의 기업문화 및 Communication |
| 종속변수 | 성과 | 회사측면의 재무성과 |
| | | 품질프로세스측면의 Z_{st} , P_{pk} |
| | | 분임조 측면의 조직구성원 성과 |
| | | 고객측면의 고객성과 |
| 조절변수 | 기업규모와 업종 | |
| 통계변수 | 연령, 직급, 학력, 근속년수, 직종 | |

따라서 본 연구에서 2011년-2012년 국가품질경영대회 식스시그마 분야에 출전한 프로젝트[15]를 대상으로 실증분석을 실시한다.

2.2.1 조사대상기업과 CTQ

조사대상기업(Subject)은 <Table 2>와 같이 계량연속형 스펙을 Target으로 하는 37개 업체를 선정하였으며 불량감소, 결점감소 등과 같이 계수이산형 스펙의 Target 기업과 스펙이 명확하지 않고 Z_{st} , P_{pk} 산출도 안된 기업은 제외하였다. 조사대상기업 형태별 비율(Proportion)은 제조업 중 62%, 준공공기관 24%, 공공기관 14%이며 제조업종은 전자 24%, 화학 22%, 자동차 11%, 조선 5%이다. 제조업종은 조절변수로 기업의 규모에 따라 달라질 수 있어 파악해 본 결과 자동차업종에서 중소기업이 1개 있었지만 이 기업이 자동차 1차 협력업체로 모기업의 식스시그마 추진 조직하에서 개선활동이 이루어지므로 같이 분석하기로 한다.

<Table 2> Subject Frequencies by the Industrial Type in the Empirical Study

| Industrial Type | Frequencies | Proportions |
|-----------------|------------------|-------------|
| 제조업종 | 23개 (19 + 4)* | 62% |
| ·전자업종 | 9개 | 24% |
| ·화학업종 | 8개 | 22% |
| ·자동차업종 | 4개 | 11% |
| ·조선업종 | 2개 | 5% |
| 준공공기관 | 9개 (3 + 6)* | 24% |
| ·전기배전 | 2개 | 5% |
| ·전기발전 | 7개 | 19% |
| 공공기관 | 5개 (2 + 3)* | 14% |
| ·군대정비창 | 3개 | 9% |
| ·철도운송 | 2개 | 5% |
| | 37개 | 100% |

*(# of Product CTQ + # of Process CTQ)

37개 기업에서 Target으로 하는 CTQ의 유형은 <Table 3>와 같이 관리항목, 검사항목의 제품스펙에 대한 24개의 Product CTQ와 설비조건, 금형조건, 치공 구조건의 점검항목인 생산기술 스펙에 대한 13개의 Process CTQ가 있다. Product CTQ는 상한스펙 13개, 하한스펙 2개, 양쪽스펙 9개로 구성되며 Process CTQ는 상한스펙 8개, 하한스펙 1개, 양쪽스펙 4개가 있다. 기업형태별 Product CTQ와 Process CTQ의 비(Ratio)는 <Table 2>의 *로 표시된 괄호 안의 숫자와 같으며 제조업종은 제품스펙향상을 목적으로, 준공공기관은 생산기술스펙향상을 목적으로 식스시그마의 CTQ를 활용한다는 것을 알 수 있다.

그러나 37개 기업의 CTQ를 분석해보면 고정된 스펙에 대해 이를 벗어나는 오차 데이터를 감소하려는 단순 개선용 Fixed Target형 식스시그마 형태만 존재하는 특징을 가지고 있다.

<Table 3> Product CTQ and Process CTQ in the Empirical Study

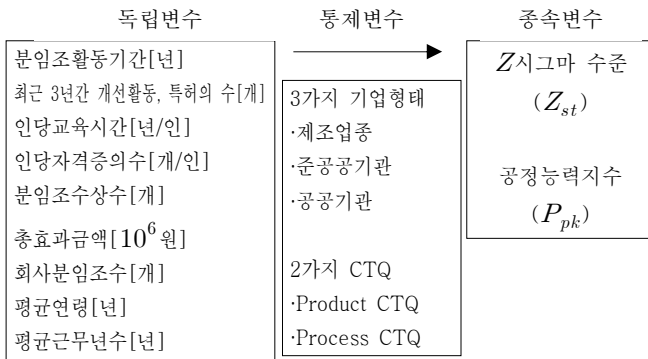
| CTQ 유형 | 스펙 유형 | CTQ |
|--------------------|-------------|---|
| Product CTQ 24개 | 상한스펙 13개 | ·벗어남 ·들뜸유형1 ·깨짐 ·들뜸유형2 ·칩들뜸 ·표면거칠기 ·변형 ·유동성 ·Gel ·표면조도 ·출력변동폭 ·셀당측정 ·셀당보정 |
| | 하한스펙 2개 | ·부착력 ·광택 |
| | 양쪽스펙 9개 | ·체적량 ·치우침 ·금선간격 ·인쇄밀림거리 ·단면높이 ·폭간거리 ·내경치수 ·역률 ·경도 |
| Process CTQ 13개 | 상한스펙 8개 | ·중류스팀사용량유형1 ·스팀사용량유형2 ·SF ₆ 가스수분 ·배기가스온도 ·기동시간 ·게이트진동 ·폐수처리량 ·가공시간 |
| | 하한스펙 1개 | ·생산속도 |
| | 양쪽스펙 4개 | ·온도 ·전압 ·가공시간 ·가스채취량 |

2.2.2 연구모형과 가설설정

본 연구에서 설정한 모형은 <Figure 1>과 같이 Z_{st} , P_{pk} 품질성과의 2가지 종속변수와 3가지 기업형태와 2가지 CTQ 유형의 통제변수 및 8가지 식스시그마 활동요인의 독립변수로 구성된다. 기존 연구에서 <Table 1>과 같이 평균연령, 종속변수를 통제변수로 한 것은 설문조사의 문항이 식스시그마에 참여하지 않은 모든 종업원을 대상으로 하였기 때문이나 본 연구에서는 식스시그마 프로젝트에 참여한 팀원을 대상으로 하였고 식스시그마가 Top-Down에 의한 직제와 더불어 수행

되므로 독립변수로 취급하는 것이 타당하다.

설정된 연구가설은 통제변수에 따라 종속변수의 차이가 있는지를 알아보는 RHPT(Research Hypothesis Present Type)로 <Table 4>와 같이 설정한다. 첫 번째 가설은 “품질성과인 Z_{st} , 프로세스 성과인 P_{pk} , 재무성과인 효과금액이 3가지 기업형태와 2가지 CTQ 형태에 따라 차이가 있는가”로 <Table 5>와 같이 일원 분산분석과 통계가설(Statistical Hypothesis)을 이용하여 분석한다.



<Figure 1> Research Model

<Table 4> Research Hypothesis Present Type

| Type | Research Hypothesis |
|------|---|
| 1 | 3가지 기업형태인자에 따라 Z_{st} , P_{pk} , 효과금액, Z-Factor 등의 특성치에 차이가 있는가? |
| 2 | 2가지 CTQ 형태인자에 따라 Z_{st} , P_{pk} , 효과금액, Z-Factor 등의 특성치에 차이가 있는가? |
| 3 | Z_{st} , P_{pk} , 효과금액, Z-Factor 등의 반응변수에 가장 큰 영향을 주는 품질혁신활동의 독립변수는 무엇인가? |

<Table 5> Statistical Technique and Statistical Hypothesis

| Type | Statistical Technique | Statistical Hypothesis |
|------|-----------------------|--|
| 1 | 일원 분산분석 | $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$ 또는 $a_i = 0$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu$ 또는 $a_i \neq 0$ |
| 2 | 일원 분산분석 | $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu$ 또는 $a_i = 0$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu$ 또는 $a_i \neq 0$ |
| 3 | 단계별 회귀분석 | $H_0: \beta_i = 0$ $H_1: \beta_i \neq 0$ |

또한 <Table 4>에서 Z_{st} , P_{pk} , 효과금액의 반응변수에 가장 큰 영향을 주는 품질혁신활동의 독립변수를 관계를 파악하기 위해 <Table 5> 같이 단계별 회귀분석을 실시하여 <Table 6>의 결과가 나온다.

2.2.3 분석결과와 토의

<Table 6>에서 Z시그마 수준의 품질성가에 대한 3가지 기업형태별, 2가지 CTQ 유형별 일원분산분석 결과 각각 $P-Value = 0.241$ (연구가설 1.1), $P-Value = 0.155$ (연구가설 2.1)가 나와 $\alpha = 5\%$ 에서 H_0 채택으로 차이가 없으며 준공공기관의 평균 $Z_{st} = 5.641$, Product CTQ의 평균 $Z_{st} = 5.232$ 로 가장 높게 나왔다. 단계별 회귀분석 결과 교육시간, 개선실적, 근무년수의 품질혁신활동이 Z_{st} 에 영향을 주는 것으로 나타난다.

<Table 6>에서 공정능력지수 P_{pk} 의 프로세스 성과에 대한 3가지 기업형태별, 2가지 CTQ 유형별 일원분산분석 결과 각각 $p = 0.371$ (연구가설 1.2), $p = 0.328$ (연구가설 2.2)이 나와 $\alpha = 5\%$ 에서 H_0 채택으로 차이가 없으며 준공공기관의 평균 $P_{pk} = 1.312$, Product CTQ의 평균 $P_{pk} = 1.209$ 로 가장 높게 나왔다.

P_{pk} 가 Z_{st} 와 같은 결과가 나온 것은 $Z_{st} = Z_{lt} + 1.5 = 3 \times P_{pk} + 1.5$ 의 관계에 기인한다. 단계별 회귀분석 결과 교육시간과 품질혁신활동이 P_{pk} 에 영향을 주는 것으로 판정된다.

<Table 6> Results of Hypothesis Testing($n = 39$)

| Type | Research Hypothesis | F Statistics와 P-Value | Mean(SD) | | |
|------|---------------------------|---|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| | | | 제조업종 | 준공공기관 | 공공기관 |
| 1 | 1.1 기업형태와 Z_{st} | $F=1.48, P=0.241$ | 4.852(0.935) | 5.641(2.865) | 4.176(0.570) |
| | 1.2 기업형태와 P_{pk} | $F=1.02, P=0.371$ | 0.1352(0.2645) | 1.312(0.993) | 0.8920(0.1901) |
| | 1.3 기업형태와 효과금액(단위: 백만원) | $F=1.69, P=0.199$ | 663(824) | 218.6(168.2) | 297(235) |
| | 1.4 기업형태와 Z-Factor | $F=1.25, P=0.299$ | -6.22(8.61) | -1.792(2.481) | -6.87(7.94) |
| 2 | 2.1 CTQ 형태와 Z_{st} | $F=2.12, P=0.155$ | Product CTQ 5.232(1.829) | | Process CTQ 4.436(0.974) |
| | 2.2 CTQ 형태와 P_{pk} | $F=0.99, P=0.328$ | 1.209(0.622) | | 1.0277(0.2857) |
| | 2.3 CTQ 형태와 효과금액(단위: 백만원) | $F=0.30, P=0.590$ | 551(714) | | 421(648) |
| | 2.4 기업형태와 Z-Factor | $F=1.58, P=0.217$ | -6.38(8.30) | | -3.11(5.78) |
| 3 | 3.1 Z_{st} 와 품질혁신활동 | $y = -0.5865 + 0.0308$ 교육시간 ($P = 0.003$) + 0.178 개선실적($P = 0.017$) + 0.219 근무년수($P = 0.044$) | | | |
| | 3.2 P_{pk} 와 품질혁신활동 | $y = 0.7959 + 0.0054$ 교육시간($P = 0.056$) | | | |
| | 3.3 효과금액과 품질혁신활동 | $y = -1763.2 + 96$ 개선실적($P = 0.000$) + 35 평균연령($P = 0.101$) | | | |
| | 3.4 Z-Factor와 품질혁신활동 | $y = -28.139 - 0.0072$ 효과금액($P = 0.001$) + 0.76 개선실적($P = 0.026$) + 0.50 평균연령($P = 0.047$) | | | |

<Table 6>에서 효과금액의 재무성과에 대한 3가지 기업형태별, 2가지 CTQ 유형별 일원분산분석 결과 각각 $P-Value = 0.199$ (연구가설 1.3), $P-Value = 0.590$ (연구가설 2.3)가 나와 $\alpha = 5\%$ 에서 H_0 채택으로 차이가 없으며 제조업종의 평균 $Z_{st} = 663$, Product CTQ의 평균 효과금액=551로 가장 높게 나왔다. 단계별 회귀분석결과 개선실적, 평균연령의 품질혁신활동이 효과금액에 영향을 주는 것으로 판정된다.

본 실증연구에서 3가지 기업형태별, 2가지 CTQ별 식스시그마 성과인 Z_{st} , P_{pk} , 효과금액에서 차이가 없는 것으로 나타난 것은 우리나라에서 식스시그마가 Moving Target형 개선활동의 연장선에 머물러 있다는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 고정된 스펙에 대해 이를 벗어나는 오차 데이터를 감소하려는 소극적인 Fixed Target형 개선활동에서 벗어나 식스시그마가 명실공히 혁신운동으로 자리 잡기 위해서는 고객의 동적인 요구사항을 Moving Target의 스펙으로 혁신하려는 적극적인 프로젝트 운영과 이러한 획기적인(Quantum Leap) 평가할 수 있는 HTP(High Throughput Process)에서의 새로운 성과지표가 요구된다.

3. High Throughput 프로세스에서 Z-Factor의 의미

고정된 스펙에 대해 벗어나는 오차 데이터를 감소하기 위한 Fixed Target형 개선성과를 평가하기 위해 사용하는 Z_{st} 와 P_{pk} 는 각각 (1), (2)식과 같다.

$$P_{pk} = (USL - LSL) / 6(\sigma_T^2 + Accuracy^2)^{1/2} = \text{Min}\{P_{UPK}, P_{LPK}\} \tag{1}$$

Where

$$P_{UPK} = (USL - \mu) / 3(\sigma_T^2 + Accuracy^2)^{1/2}$$

$$P_{LPK} = (\mu - LSL) / 3(\sigma_T^2 + Accuracy^2)^{1/2}$$

$$Z_{st} = Z_{lt} + 1.5 = 3P_{pk} + 1.5 \tag{2}$$

그러나 (1), (2) 식에서 P_{pk} 와 Z_{st} 는 개선 후의 군내 변동과 군간변동을 합성한 전체 정밀도 σ_T^2 와 평균치우침의 크기인 정확도만을 사용하므로 개선 전에 비해 향상된 정도는 직접 파악할 수도 없고 상한스펙 USL과 하한스펙 LSL에 크게 영향을 받는다.

따라서 High Throughput 프로세스와 같이 혁신 전에 비해 혁신 후의 CTQ 스펙이 획기적으로 변화되는 Moving Target형 식스시그마에서는 USL인 경우 100%를 Target으로, LSL인 경우 0%를 Target으로, LSL~USL인 경우 기준치를 Target으로 수행된 혁신활동성능을 하나의 지표로 평가해야 하며 이런 경우 사용될 수 있는 지수가 Z-Factor[11]이다.

Z-Factor는 식 (3)과 같으며 정밀도의 산포(Precision)를 줄이고 정확도의 이격밴드(Separation Band)는 크게 함으로써 혁신성과를 높일 수 있다.

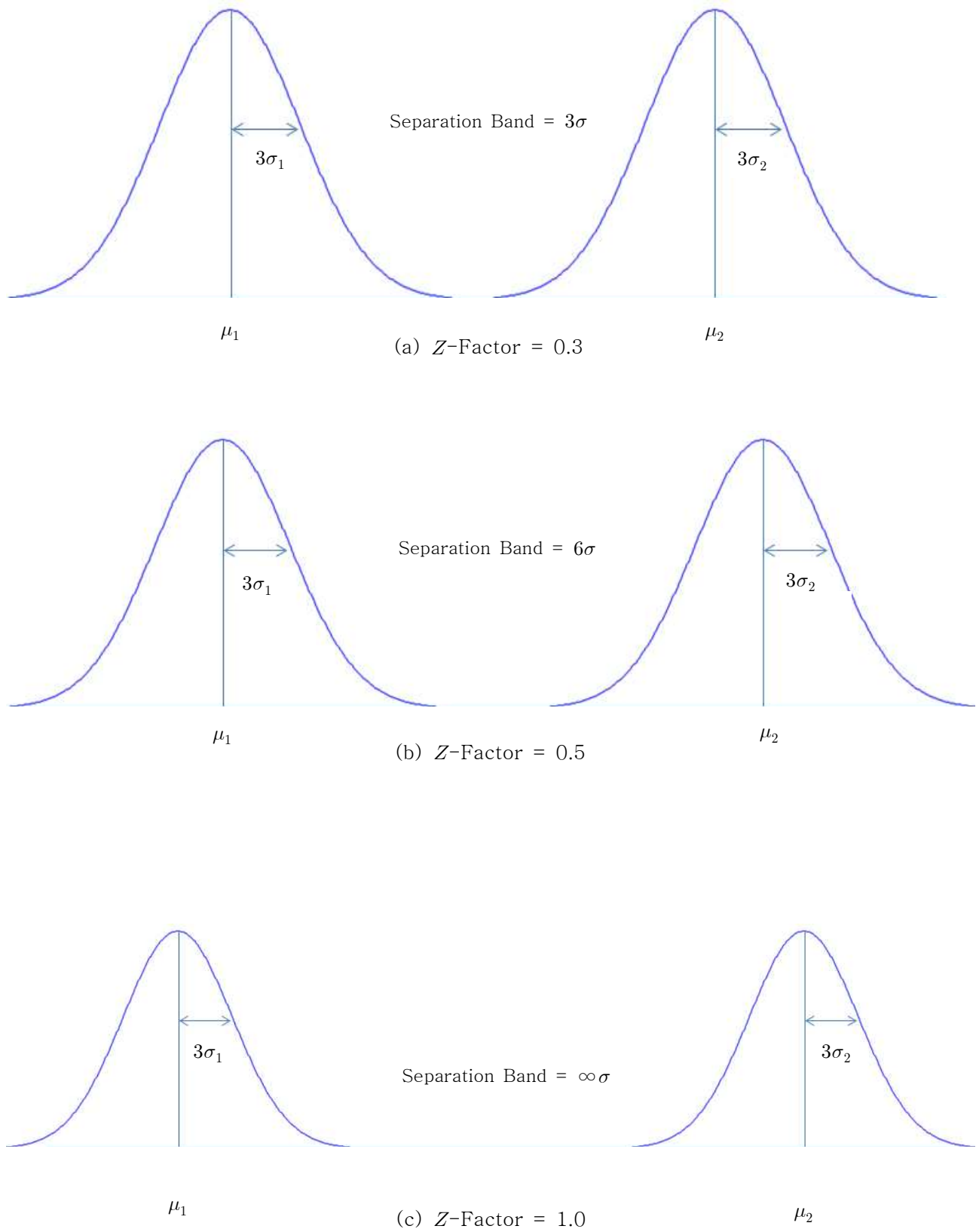
$$Z-Factor = 1 - \frac{3(\sigma_1 + \sigma_2)}{|\mu_1 - \mu_2|} \tag{3}$$

식(3)에서 개선 전의 데이터 $x_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2)$, 개선 후의 데이터 $x_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 이고, 분자항에서 3σ 의 의미는 Shewhart 관리도에서 99.73%의 우연원인(Random, Common, Unavoidable Cause)만 In-Control로 인정한다는 의미이다. <Figure 2>에서 $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$ 로 가정할 경우 정확도의 이격밴드에 따른 Z-Factor 값의 변화를 보여주며 Z-Factor가 1일 경우 가장 이상적인 혁신 성과로 판정되며 등급판정은 <Table 7>과 같이 된다.

4. 6시그마 적용예

Moving Target형 식스시그마 혁신운동에서 적용 가능한 Z-Factor를 <Table 6>에서와 같이 Fixed Target형 식스시그마 개선활동에 적용해서 <Table 4>, <Table 5>에 의한 가설과 통계분석을 실시해보면 3가지 기업형태와 2가지 CTQ 유형에 따라 차이가 없는 것으로 분석된다. 이러한 결과는 2.2.1절의 37개 기업의 CTQ를 분석했을 경우 언급한 바와 같이 모든 프로젝트가 단순 개선용 Fixed Target형 식스시그마를 수행하는 데 기인한다.

따라서 Fixed Target형 개선활동의 경우 스펙의 영향으로 정밀도, 정확도의 혁신성능이 다른 데도 Z_{st} , P_{pk} 가 비슷하게 나오거나 정밀도, 정확도의 혁신성능이 비슷한 데도 스펙의 차이로 Z_{st} , P_{pk} 가 다르게 나오는 경우 Moving Target형 혁신활동지수 Z-Factor의 특성을 적용예를 통해 알아본다.



<Figure 2> Varying Z -Factor Values by the Different Separation Bands Assumed $\sigma = \sigma_1 = \sigma_2$

<Table 7> Structure of Error by Z-Factor Value

| Z-Factor Value $= 1 - \frac{(3\sigma_1 + 3\sigma_2)}{ \mu_1 - \mu_2 }$ | Structure of Error | |
|---|---|---|
| | Accuracy | Precision |
| $Z = 1.0$ | Ideal : 두 정확도의 차 ($\mu_1 - \mu_2$)가 ∞ | Ideal : 두 정밀도의 폭 ($3\sigma_1 + 3\sigma_2$)이 0 |
| $0.5 \leq Z < 1$ | Excellent : 두 정확도의 차 ($\mu_1 - \mu_2$)가 Large | Excellent : 두 정밀도의 폭 ($3\sigma_1 + 3\sigma_2$)이 Small |
| $0 < Z < 0.5$ | Normal : 두 정확도의 차 ($\mu_1 - \mu_2$)가 Medium | Normal : 두 정밀도의 폭 ($3\sigma_1 + 3\sigma_2$)이 Large |
| $Z = 0$ | Bad : 두 정확도의 차 ($\mu_1 - \mu_2$)가 Small | Bad : 두 정밀도의 폭 ($3\sigma_1 + 3\sigma_2$)이 Touch |
| $Z < 0$ | Worst : 두 정확도의 차 ($\mu_1 - \mu_2$)가 Extremely Small | Worst : 두 정밀도의 폭 ($3\sigma_1 + 3\sigma_2$)이 Overlap |

4.1 Z_{st}, P_{pk} 는 비슷한데도 Z-Factor가 다른 적용예

프로젝트 #1[15]에서 변형 Product CTQ의 $USL = 1.50$ 이고 개선 전의 $\mu_1 = 1.35, \sigma_1 = 0.08, Z_{st} = 3.36, P_{pk} = 0.62$ 이고 개선 후의 $\mu_2 = 1.34, \sigma_2 = 0.06, Z_{st} = 3.92, P_{pk} = 0.81$ 이다.

프로젝트 #2[15]에서 표면결치기 $USL = 6.3$, Product CTQ의 $USL = 6.3$ 이고 개선 전의 $\mu_1 = 6.15, \sigma_1 = 0.47, Z_{st} = 1.71, P_{pk} = 0.07$ 이고 개선 후의 $\mu_2 = 4.17, \sigma_2 = 0.88, Z_{st} = 3.99, P_{pk} = 0.83$ 이다.

개선 후의 Project #1과 #2의 Z_{st} 는 각각 3.92, 3.99, P_{pk} 는 각각 0.81, 0.83인데 개선내용을 보면 Project #1의 정확도는 $\mu_1 = 1.35$ 에서 $\mu_2 = 1.34$ 로 정밀도는 $\sigma_1 = 0.08$ 에서 $\sigma_2 = 0.06$ 으로 거의 개선이 이루어지지 않은 반면 Project #2의 정확도는 $\mu_1 = 6.15$ 에서 $\mu_2 = 4.17$ 로 좋아진 반면 정밀도는 $\sigma_1 = 0.47$ 에서 $\sigma_2 = 0.88$ 로 조금 나빠져 있다.

따라서 두 Project가 모두 Moving Target의 스펙을 새로이 정하려는 혁신 프로젝트인 경우라면 Project #1의 $Z-Factor = -41$, Project #2의 $Z-Factor = -1.05$ 로 Project #2가 훨씬 우수한 혁신 프로젝트로 평가된다.

4.2 Z_{st}, P_{pk} 는 다른데 Z-Factor가 비슷한 적용예

Project #3[15]에서 출력변동폭 Process CTQ의 $USL = 100$ 이고 개선 전의 $\mu_1 = 336.7, \sigma_1 = 109.0, Z_{st} = -3.61, P_{pk} = -1.20$ 이고 개선 후의 $\mu_2 = 19.04, \sigma_2 = 1.43, Z_{st} = 4.32, P_{pk} = 0.94$ 이다.

Project #4[15]에서 SF_6 가스채취량 Process CTQ의 $LSL \sim USL = 15 \sim 30$ 이고 개선 전의 $\mu_1 = 30.71, \sigma_1 = 2.32, Z_{st} = 1.16, P_{pk} = -0.11$ 에서 개선 후의 $\mu_2 = 19.04, \sigma_2 = 1.43, Z_{st} = 4.32, P_{pk} = 0.94$ 이다.

개선 후의 Project #3과 #4의 Z_{st} 는 각각 11.26, 4.32, P_{pk} 는 각각 3.75, 0.74의 결과로 나와 Project #3이 우수한 식스시그마 과제로 평가 받을 수 있다. 그러나 개선내용을 보면 Project #3, #4 모두 정확도와 정밀도의 같은 정도의 우수성을 보이고 있으나 스펙의 영향으로 서로 다른 평가를 받고 있다. 따라서 두 프로젝트가 새로운 스펙을 정하려는 Moving Target형이라고 가정할 경우 Project #3의 $Z-Factor = -0.32$, Project #4의 $Z-Factor = 0.04$ 로 정확도와 정밀도에 대한 혁신정도가 거의 비슷하게 평가된다.

따라서 제품기술자 또는 생산기술자가 제품스펙 또는 생산기술의 스펙을 혁신적으로 이동시키려는 High Throughput 프로세스에서는 혁신 전과 후의 정밀도와 정확도에 의한 혁신성능평가를 하나의 지표로 파악할 수 있는 Z-Factor가 유용하게 사용 될 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 식스시그마의 평가지표인 단기 시그마 수준과 장기 공정능력지수의 한계를 실증연구를 통해 보여주고 이를 극복하기 위한 Z-Factor와 품질혁신 성능평가지표를 제안하였다.

실증연구 결과 식스시그마의 평가지표인 Z_{st} 와 P_{pk} 는 제조업종, 준공공기관, 공공기관 등의 기업의 형태별, 제품기술형 Product CTQ, 생산기술형 Process CTQ의 스펙 유형별에 따라 차이가 없었으며 이는 정해진 스펙의 영향을 받는 Fixed Target형 품질개선의 특성에 기인한다. 새롭게 제안한 Moving Target형 품질혁신 성능평가 지표인 Z-Factor로 실증사례를 평가할 경우 같은 Z_{st} 와 P_{pk} 도 서로 다른 관계를 가지거나 역의 관계로 가지는 것으로 분석되었다.

따라서 국내의 식스시그마도 고정된 스펙을 벗어나는 오차데이터를 감소시키려는 소극적인 Fixed Target형 품질개선활동에서 목표스펙 자체를 정밀도와 정확도 관점에서 혁신시키려는 적극적인 Moving Target형 품질혁신운동으로 전환되어야 한다.

6. 참 고 문 헌

- [1] Antony J., Banuelas R.(2002), "Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program", *Measuring Business Excellence* 6(4), 20-27.
- [2] Birmingham A., et al.(2009), "Statistical Methods for Analysis of High-Throughput RNA Interference Screens", *Nature Methods*, 6(8), 569-575.
- [3] Blakeslee J.A.(1999), "Implementing Six Sigma Solution: How to Achieve Quantum Leaps in Quality and Competitiveness", *Quality Progress*, July, 77-85.
- [4] Byrne G.(2003), "Ensuring Optimal Success With Six Sigma Implementations", *Journal of Organizations Excellence*, 45-49.
- [5] Catherwood P.(2002), "What's Different About Six Sigma", *Manufacturing Engineer*, 81(8), 186-189.
- [6] Eckes G.(2001), *Making Six Sigma Last*, John Wiley Sons.
- [7] Gupta P.(2005), *Six Sigma Scorecard*, McGraw-Hill.
- [8] Hahn G.J.(2000), "The Evaluation of Six Sigma", *Quality Engineering*, 12, 317-326.
- [9] Harry M.J.(1998), "Six Sigma: A Breakthrough

Strategy for Profitability", *Quality Progress*, May, 60-64.

- [10] Harry M.J. Schroedor R.(2000), *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*, Doubleday.
- [11] Zhang J.H., Chung T.D., Oldenburg K.R.(1999), "A Simple Statistical Parameter for Use in Evaluation and Validation of High Throughput Screening Assays", *Journal of Biomolecular Screening*, 4(2), 67-73.
- [12] Zhang X.H.D., et al.(2006), "Robust Statistical Methods for Hit Selection in RNA Interference High-Throughput Screening Experiments", *Pharmacogenomics*, 7, 299-399.
- [13] Zhang X.H.D.(2007), "A Pair of New Statistical Parameters for Quality Control in RNA Interference High-Throughput Screening Assays", *Genomics*, 89, 552-561.
- [14] Zhang X.H.D.(2011), *Optimal High Throughput Screening: Practical Experimental Design and Data Analysis for Genome-Scale RNAi Research*, Cambridge University Press.
- [15] www.q-korea.net

저 자 소 개

최 성 운



현 가천대학교 산업공학과 교수. 한양대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행했으며, 2002년부터 1년반 동안 University of Washington에서

Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 통신, 정보시스템의 보안, 신뢰성 설계 및 분석, 서비스 사이언스, RFID 시스템, Wavelet에도 관심을 가지고 있음.

주소: 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 산업공학과