

# 식스시그마 프로젝트에서 연구가설과 통계가설에 의한 통계적 유의성 및 실무적 유의성의 적용방안

최성운\*

\*가천대학교 산업공학과

## Implementation of Statistical Significance and Practical Significance Using Research Hypothesis and Statistical Hypothesis in the Six Sigma Projects

Sung-Woon Choi\*

\*Department of Industrial Engineering, Gachon University

### Abstract

This paper aims to propose a new steps of hypothesis testing using analysis process and improvement process in the six sigma DMAIC. The six sigma implementation models proposed in this paper consist of six steps. The first step is to establish a research hypothesis by specification directionality and FBP(Falsibility By Popper). The second step is to translate the research hypothesis such as RHAT(Research Hypothesis Absent Type) and RHPT(Research Hypothesis Present Type) into statistical hypothesis such as  $H_0$ (Null Hypothesis) and  $H_1$ (Alternative Hypothesis). The third step is to implement statistical hypothesis testing by PBC(Proof By Contradiction) and proper sample size. The fourth step is to interpret the result of statistical hypothesis test. The fifth step is to establish the best conditions of product and process conditions by experimental optimization and interval estimation. The sixth step is to draw a conclusion by considering practical significance and statistical significance. Important for both quality practitioners and academicians, case analysis on six sigma projects with implementation guidelines are provided.

**Keywords** : RHAT, RHPT, Specification Directionality, FBP,  $H_0$ ,  $H_1$ , PBC, Proper Sample Size, Practical Significance, Statistical Significance, Case Analysis

### 1. 서론

식스시그마 경영혁신단계에서 CTQ(Critical To Quality)에 치명적인 영향을 주는 핵심인자(Vital Factor)를 선정하는 분석(Analysis) 단계와 최적조건을 선정하는 개선(Improvement) 단계에서 가장 많이 사용되는 유용한 통계적 기법이 가설검정(Hypothesis Testing)이다.

가설의 종류로는 제품기술자 또는 생산기술자가 핸드북 또는 사고실험(Thought Simulation)에 의해 이론적(Theory)으로 설정하는 연구가설(Research Hypothesis)과 시제품 또는 양산테스트에 의해 실증 데이터(Experimental, Observational Data)로 검증하는 통계가설(Statistical Hypothesis)이 있다.

이 논문은 2013년 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 것임(GCU-2012-R010)

† 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 December 7, 2012; Accepted December 7, 2012.

따라서 식스시그마 프로젝트 수행시 이를 구분해서 사용해야만 통계적 유의성(Statistical Significance)과 실무적 유의성(Practical Significance)을 올바르게 해석할 수 있다. 또한 가설검정에서 개선전과 개선후의 샘플크기에 따라 통계적 유의성의 결과가 달라지므로 제1종오차와 검출력을 고려하지 않고 임의로 샘플의 크기를 결정할 경우 실무적 유의성을 왜곡한 통계적 유의성의 결과가 나온다.

연구가설과 통계가설의 설정에 대한 기존연구로는 경제학[1,6], 마케팅[3,9], 행동과학[5,7], 심리학[8,12] 등이 있으나 식스시그마 등 품질개선분야에 적용된 연구는 이루어지고 있지 않아 연구가설과 통계가설을 혼용하고 있어 실무자의 혼란을 야기하고 있다.

또 목표검정(Directional Test)과 비목표검정(Nondirectional Test) 적용에 대한 기존연구로는 사회과학에서 비목표검정을 보수적 관점으로 많이 사용한다는 점과[2], 생물동등성(Bioequivalence)에서는 FDA 규제기관이 복제약(Generic)에 대한 소비자 안전을 위해 유의수준이 감소하는 목표검정을 상용하지말 것을 권고한다는 연구[13]가 있으나 식스시그마에서는 이에 대한 연구가 이루어지고 있지 않아 품질실무자의 자의적인 판단하에 검정이 수행되고 있다.

또한 가설검정에서  $\alpha$ 와  $1 - \beta$ 를 동시에 고려하여 샘플의 크기를 결정하는 연구는 임상의학통계[4,10,11]에서 활발히 진행되고 있으나 식스시그마에서는 이에 대한 연구가 이루어지고 있지 않아 품질실무자의 임의적인 개선전후의 서로 다른 샘플크기로 인해 검정의 결과가 영향을 받는 우를 범하고 있다.

따라서 본 연구에서는 제품기술자나 생산기술자가 핸드북 또는 이론서를 보고 설정하는 연구가설과 이를 실증적으로 검증하는 통계가설의 적용방안과 제품스펙과 생산기술조건의 관리항목, 검사항목, 점검항목의 스펙유형과 DMAIC단계에 따른 목표검정과 비목표검정의 활용방안을 제안한다.

또한 식스시그마의 프로젝트에서 많이 사용되는 가설검정의 기법별 DMAIC 분석단계에서 치명인자를 선정하는 경우와 개선단계에서 최적조건을 구하려는 경우로 유형화하여 샘플크기 결정방법을 제시하고 본 연구에서 제안한 식스시그마형 6단계 가설검정방법을 2011년-2012년 국가품질경영대회 식스시그마대회에서 발표된 프로젝트[15]에서의 오적용 사례 및 이에 대한 이해방안을 논의한다.

연구목적(Purpose)은 식스시그마 DMAIC에서 사용되는 가설검정의 6단계를 제시하고 실증분석을 통한 오적용 사례와 이해방안을 제안하고자 한다.

연구방법(Design, Methodology, Approach)은 검정방

법에 따른 가설의 종류, 스펙의 유형과 개선단계 특성에 따른 목표 검정방법, DMAIC 분석단계와 개선단계에서 샘플의 크기 결정, 유의성의 종류에 따른 판정방법등을 고려한 가설검정의 6단계를 제시하기 위하여 문헌고찰을 실시하고 2011년-2012년 국가품질경영대회에 발표한 37개의 식스시그마에서 사용된 가설검정의 사례에 적용한다.

연구결과(Findings)는 1단계: FBP(Falsibility By Popper)와 스펙의 목표방향성을 고려한 연구이론가설의 설정, 2단계: 연구이론가설을 통계실증가설로 번역, 3단계: PBC(Proof By Contradiction)와 샘플의 크기를 고려한 통계실증가설의 실시, 4단계: 통계적 유의성과 해석, 5단계: 샘플의 크기를 고려한 최적화 및 구간추정의 실시, 6단계: 실무적 유의성의 종합결론등 식스시그마형 가설검정의 6단계를 제시하고 실증연구를 통한 오적용 사례를 유형화하여 실무자의 적용방안에 대한 이해를 높인다.

연구한계(Limitations)는 지면상의 제약으로 37개의 프로젝트의 실증분석을 통한 오적용 사례를 업종별, CTQ별로 구체적으로 제시하지 못하고 오적용 형태에 따라 유형화하여 제시한 데 있다.

실무적용(Practical Implications)은 식스시그마 DMAIC 프로젝트를 수행하는 품질실무자가 치명핵심인자를 선정하는 분석단계, 최적화를 위한 개선단계에서 본 연구에서 제안한 6단계 가설검정을 적용할 경우 유용하게 활용한다.

연구차별성(Originality, Value)은 식스시그마에서 가장 많이 사용되는 RHPT(Research Hypothesis Present Type)- $H_1$ 형, RHPT-Pseudo  $H_0$ 형, RHAT(Research Hypothesis Absent Type)- $H_1$ 형등 3가지 연구이론가설-통계실증가설의 유형화에 따른 적용방안, FBP와 스펙의 방향성 및 PBC에 의한 가설설정방안, 통계적 유의성과 실무적 유의성의 판정방법등을 고려한 식스시그마형 가설검정 6단계를 제시하고 이에 따른 실증분석을 실시한데 있다.

기호

- $\mu$ : 모평균
- $\mu_0$ : 개선전 또는 목표관리 모평균
- $\sigma^2$ : 모분산
- $P$ : 모불량률
- $U$ : 모결점수
- $\beta$ : 회귀계수(Regression Coefficient)
- $\alpha$ : 주효과(Main Effect)
- $y_{ij}$ :  $i(=1,2,\dots,l)$  실험에서  $j(=1,2,\dots,r)$  수준의 데이터

$\rho_{12}$  : 자동상관계수 (Autocorrelation Coefficient)  
 $\rho$  : 모상관계수  
 $\delta$  : 목표정확도 차이 (Difference), 효과차이 (Effect Size)  
 $\Delta$  : 동등성, 우위성, 비우위성 마진 (Margin)  
 $\alpha$  : 제1종오차 (Type I Error),  
유의수준 (Significance Level)  
 $1-\beta$  : 검출력 (Power of Defection)  
 $n$  : 샘플크기  
 $\delta, \alpha, 1-\beta$  를 고려한 효과차이 (Effect Difference)  
 $z, t, \chi^2, F$  : 샘플링 분포  
 $E$  :  $\alpha$  를 고려한 오차마진 (Margin of Error)  
신뢰한계 (Confidence Interval) 의 절반

## 2. 연구가설과 통계가설의 설정방안

### 2.1 연구가설과 통계가설

연구가설 (Research Hypothesis) 은 이론 (Theory) 또는 사고실험 (Thought Simulation) 에서 연역적으로 설정하는 가설이다. 연구 가설은 두 변수의 영향 (Effect), 관계 (Relation) 의 유무에 따라 RHPT (Research Hypothesis Present or Existence Type) 와 RHAT (Research Hypothesis Absent or Nonexistence Type) 의 두 가지 형태로 유형화된다. 연구가설은 이론을 지지 (Support, Confirmation, Corroboration) 하기 위해 수많은 정합사례들이 제시되어 참으로 인정받을 수 있는 논리실증주의의 검증가능성원리와 반대로, 단 하나의 부정합사례 (Counter Example) 만 제시되어도 거짓으로 판정된다는 Popper의 반증가능성원리 즉 FBP (Falsification or Falsibility By Popper) 를 활용한다. FBP는 닫힌 목표 (Closed End) 가 있다는 역사주의 (Historicism) 와 반대로 열린 사회 (Open Society) 에서는 새로운 이론이 기존의 이론을 Theory-Refutation 하면서 과학의 이론이 계속 바뀐다는 원리이다.

통계가설 (Statistical Hypothesis) 은 실험이나 관측에 의해 귀납적으로 검증하는 실증가설이다. 통계가설은 귀류법 (PBC: Proof By Contradiction) 에 의해 증명 (Proof, Assertion) 하고 싶은 대립가설  $H_1$  (Alternative, Substantive Hypothesis) 에 대한 모순 (Contradiction) 을 찾기 위해 배타적 (MECE: Mutually Exclusive and Collectively Exhaustive, Complementary) 관계인 귀무가설  $H_0$  (Strawman으로 Nullify해서 Zero로 한다는 뜻의 가설) 로 이 가설로 반박 (Disproof, Negation, Opposite, Counter Factual Argument) 하기 때문에 NHST (Null Hypothesis Significance Test) 라고 하여 이 경우 등호 (Equal Sign) 는  $H_0$  가설에 포함한다.

언어로 표현된 연구가설인 RHPT와 RHAT를 통계적인 모형에 의한 모수, 비모수로  $H_0$  와  $H_1$  으로 번역

할 시 주의할 사항이 있다. FBP에 의해 지지된 RHPT가  $H_1$  으로 번역되어, PBC에 의해  $H_0$  유의성을 찾는 형태가 연구가설과 통계가설에서 사용되는 반증원리와 귀류법을 연계해서 이해하는 가장 이상적인 방법이다. 연구가설이 RHAT인 경우는 통계가설에서 등호 (Equal Sign) 가  $H_0$  에 포함되어 있기 때문에  $H_1$  에 맞추기 위해 자기가 주장하려고 하는 RHAT이론을 거꾸로 RHPT로 무리하게 설정하는 경우가 있다. 또한 통계가설은 분포모형의 가정, 샘플링 오차, 샘플크기에 따라 유의성의 결과가 다르게 나올 수 있다. 따라서 통계가설검정에 대한 통계적 유의성 (Statistical Significance) 과 연구가설검정에 대한 실무적 유의성 (Practical Significance) 은 구분되어 해석되어야 하기 때문에 연구가설과  $H_1$  을 같은 개념으로 동일하게 사용할 경우 오도된 결론을 내릴 수가 있다.

### 2.2 식스시그마에서 가설설정 방안

식스시그마 DMAIC의 Analyze (분석) 단계에서는 CTQ (Critical To Quality) 에 영향 (Effect) 을 주거나 관계 (Relation) 가 있는 소수중점의 (Vital Few) 치명인자 (Critical Factor) 를 선정한다. CTQ는 고객이 요구하는 제품스펙으로  $y$  Data라 하고 관리항목, 검사항목, 검정항목, 특성치 (Characteristics), 실험값 (Experimental Value), 반응값 (Response), 종속변수 (Dependent Variable), 생산현장의 KPI (Key Performance Indicator) 인 RPDCQSEM (Revenue, Productivity, Due Date, Cost, Quality, Safety, Environment, Morale) 이다.

CTQ에 영향을 주는 치명인자  $x$  Data는 요인 (Factor), 수준 (Treatment), 설비조건, 금형조건, 치공구 조건등과 5M1JPEIC (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Jig & Fixture, Part, Energy, Information, Capital) 의 제품 및 생산기술조건이 있다.

DMAIC의 분석단계에서 연구가설은 '치명인자  $x$  가 CTQ  $y$  에 (와) 영향을 주는가 (관계가 있는가)' 형태의 RHPT (Research Hypothesis Present Type) 와 '치명인자  $x$  가 CTQ  $y$  에 (와) 영향을 주지 않는가 (관계가 없는가)' 형태의 RHAT (Research Hypothesis Absent Type) 로 <Table 1> 과 같이 설정한다. 연구가설은 2-Sample  $t$  Test를 위한 네가지 통계가설로 번역할 수 있는데 연구가설-통계가설의 유형으로는 RHPT- $H_1$  형, RHPT-Pseudo  $H_0$  형, RHAT- $H_1$  형 세가지가 있다. RHPT- $H_1$  형은 검정의 기본형태로 우위성 (Superior) 검정과 같이 'A가 S보다 우위적이다' 라는 RHPT 연구가설을 'A의 모평균이 S의 모평균 보다 우위 마진

(Superior Margin)만큼 크다( $\mu_A - \mu_S > \Delta$ 의 언어표현)의  $H_1$  통계가설로 가설검정을 실시한다. 동일성(Equality)검정 같은 RHPT- $H_0$  형은 'T가 P와 같지 않다'라는 RHPT 연구가설을 'T의 모평균과 P의 모평균과 같지 않다. ( $\mu_T \neq \mu_P$ 의 언어표현)의  $H_1$  통계가설로 가설검정을 실시하는데, 명칭만  $H_0$  귀무가설의 형태로 주어지고  $H_1$  가설로 귀류법 PBC 원리에 의한 검정을 실시하므로 Pseudo  $H_0$ 라고 부른다. 동등성 검정(비우위성검정도 같지만 예는 들지 않음) RHAT- $H_1$  형은 'A는 S와 동등하다'라는 RHAT 연구가설은 'A의

모평균과 S의 모평균을 동등성 마진(Equivalence Margin)내에서 같다'라는  $H_1$  통계가설로 번역되는데 여기서 대립가설  $H_1$ 은 기존의 귀류법에 의한 검정에서는 귀무가설의  $H_0$ 의 의미를 갖는다. 따라서 언어의 표현으로 연구가설과 통계가설을 모두 세울 경우 3가지 유형에 따른 언어의 의미로 일관성을 기하기가 어려우므로 연구가설은 언어표현으로 통계가설은 검정기법에 따른 모수, 비모수등의 기호를 사용하는 것이 바람직하다.

<Table 1> Test Types of Clinics

Research Hypothesis		Statistical Hypothesis			
Verbal Statement	Type	Title	Type	$H_0$	$H_1$
T is not equal to P	RHPT	Test for Equality	Pseudo $H_0$ Type	$\mu_T = \mu_P$ <i>T: Test Drug</i> <i>P: Placebo</i>	$\mu_T \neq \mu_P$
A is equivalent to S within $\Delta$	RHA T	Test for Equivalence	$H_1$ Type	$ \mu_A - \mu_S  \geq \Delta$ <i>A: Active Agent</i> <i>S: Standard Therapy</i>	$ \mu_A - \mu_S  < \Delta$
S is not inferior to A within $\Delta$	RHA T	Test for Non-Inferiority	$H_1$ Type	$\mu_S - \mu_A \geq \Delta$	$\mu_S - \mu_A < \Delta$
A is superior to S within $\Delta$	RHPT	Test for Superiority	$H_1$ Type	$\mu_A - \mu_S \leq \Delta$	$\mu_A - \mu_S > \Delta$

### 2.2.1 RHPT- $H_1$ 형 검정

CTQ  $y$  데이터에 대해 영향을 주는 치명인자의 수 준처리가 <Table 2>와 같이 모집단(Population) 1개, 2개, 3개 이상일 경우 RHPT 연구가설은 각각 '1개, 2개 또는 3개 이상의 치명인자  $x$ 가 CTQ  $y$ 에 영향(Effect)을 주었는가'로 설정한다. CTQ  $y$  데이터에 대해 관계를 갖는 치명인자가 <Table 3>과 같이 모수(Parameter)의 개수가 1개 또는 여러개일 경우 RHPT 연구가설은 각각 '1개 또는 여러개의 치명인자  $x$ 가 CTQ  $y$ 와 관계(Relation)를 가지고 있는가'로 설정한다. 또 다른 RHPT 연구가설은 '실제 데이터가 이론모형에 적합이 결여(Lack-of-Fit)되어 있는가'로 설정한다. 이와 같이 6시그마에서 연구가설 RHPT는 영향(Effect), 관계(Relation), 적합결여(Lack-of-Fit)가 존재함(Presence)을 나타내는 3가지 유형의 가설로 설정한다.

첫번째 영향(Effect)에 관련된 RHPT 연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과  $H_1$ 가설은 <Table 3>과 같이 1개 모집단인 경우 1-Sample  $Z$ [14] ( $H_1 : \mu = \mu_0, \mu > \mu_0, \mu < \mu_0$ ), 1-Proportion  $Z$  ( $H_1 : P = P_0, P > P_0, P < P_0$ ), 1-Sample Poisson Rate  $Z$  ( $H_1 : C = C_0, C > C_0, C < C_0$ ), 1-Variance  $\chi^2$  ( $H_1 : \sigma^2 \neq \sigma_0^2, \sigma^2 > \sigma_0^2, \sigma^2 < \sigma_0^2$ )로 설정한다. 2개 모집단인 경우 2-Sample  $t$  또는 Paired  $t$  ( $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2, \mu_1 > \mu_2, \mu_1 < \mu_2$ ), 2 Proportions  $Z$  ( $H_1 : P_1 = P_2, P_1 > P_2, P_1 < P_2$ ), 2-Sample Poisson Rates  $Z$  ( $H_1 : C_1 = C_2, C_1 > C_2, C_1 < C_2$ ), 2-Variiances  $F$  ( $H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2, \sigma_1^2 > \sigma_2^2, \sigma_1^2 < \sigma_2^2$ )로 설정한다. 3개 이상의 모집단인 경우 ANOVA ( $H_1 : a_i \neq 0$  또는  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_l = \mu$ )로 설정한다.

<Table 2> Test Types by CTQ

# of Population	CTQ $y$ Data	Data Use of CTQ $y$	Assumption of Distribution
One Population	Continuous Data or Data by Variable	Accuracy : Mean	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\sigma</math> Known or Unknown</li> <li>• Independent or Dependent Sample</li> <li>• Pooled or Nonpooled Variance</li> </ul>
Two Populations		Precision : Variance	
Three or More Populations	Discrete Data or Data by Attribute	Proportion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisher's Exact or Z Approximation Test</li> <li>• Pooled or Nonpooled Variance</li> </ul>
		Poisson Rate	

두번째 관계(Relation)에 관련된 RHPT 연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과  $H_1$  가설은 치명인자  $x$ 가 1개인 경우 Correlation Test ( $H_1 : \rho \neq \rho_0, \rho_1 > \rho_0, \rho < \rho_0$ ), Simple Linear Regression ( $H_1 : \beta_1 \neq 0, \beta_1 > 0, \beta_1 < 0$ )로 설정한다. 2개 이상인 경우 RSM(Response Surface Methodology) ( $H_1 : \beta_i \neq 0, \beta_j \neq 0, \beta_{ii} \neq 0, \beta_{jj} \neq 0, \beta_{ij} \neq 0$ )이고 MD(Mixture Design)는 RSM에서 혼합물의 성질로  $\beta_0$ 만 없는 동일한 형태이고, 실험계획법에서 많이 사용되는 GLM(Generalized Linear Model)은 RSM에서 2차항  $\beta_{ii}, \beta_{jj}$ 가 없는 선형식의 모형으로 가설을 설정한다. Multiple Regression은 RSM에서  $\beta_0, \beta_1$ 만 있는 형태로 실험계획에서 주효과를 검출하는 Plackett-Burman Design의 GLM과 같이  $H_1$  가설을 설정하면 된다.

세번째 적합결여(Lack-of-Fit)에 관련된 RHPT 연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과  $H_1$  가설을 Lack-of-Fit ( $H_1 : \mu_{y_i} - \mu_{y_j} \neq 0$ )으로 설정한다.

### 2.2.2 RHPT-Pseudo $H_0$ 형 검정

RHPT는 2.2.1절의 세가지 유형의 가설과 동일하며 Pseudo  $H_0$  형의 의미는 통계가설을 검정하기 위한 기법의 명칭이 마치 귀무가설  $H_0$ 를 검증(Proof)하고 대립가설  $H_1$ 을 귀류법의 반박의 원리에 의해 유의성을 판정하는 듯한 오해를 불러일으킬 수 있다. 그러나 Pseudo  $H_0$  형은 연구가설의 RHPT에 대응하는  $H_1$ 의 통계가설을 2.2.1절과 같이 사용하므로 가설검정의 명

칭에 의해 귀무가설과 대립가설을 혼동하지 말아야 한다. 예를 들어 등분산(Equal Variance)검정인 경우 통계가설은 ' $H_0$  : 등분산이다', ' $H_1$  : 이분산이다'로 설정되기 때문에 2.2.1절의 RHPT- $H_1$  형을 따를 경우 이분산(Nonequal Variance) 검정으로 명칭을 수정해야 옳다. 그러나 RHPT- $H_1$  형에 익숙한 품질실무자가 RHPT-Pseudo  $H_1$  형 가설검정의 명칭에 대한 오해로 가설설정 및 판정에 애로를 겪고 있다.

첫번째 영향(Effect)에 관련된 RHPT연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과 Pseudo  $H_0$  가설은 Equal Variance( $H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_i^2$ ), Independence of Serial Correlation( $H_1 : \rho_{12} \neq 0$ )로 설정한다.

두번째 관계(Relation)에 관련된 RHPT 연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과 Pseudo  $H_0$  가설은 Independence of Table( $H_1 : P_{ij} \neq P_{i.} \times P_{.j}$ ), Homogeneity of Table( $H_1 : P_{1j} \neq P_{2j} \neq \dots \neq P_{lj}$ ), No Correlation Test( $H_1 : \rho \neq 0$ )로 설정한다.

세번째 적합결여(Lack-of-Fit)에 관련된 RHPT 연구가설에 대응할 수 있는 통계적 기법과 Pseudo  $H_0$  가설은 Normality Test( $H_1$  : ECDF(Empirical Cumulative Distribution Function)에 의해 플롯팅된 점들이 NPP(Normal Probability Plot)의 직선위에 위치하지 않는다.)이고 이는 GLM에서 Mean Effect의 유의성 검정과 동일한 형태의 가설을 설정한다. 정규분포이외의 다른 분포도 Probability Plot의 직선을 이용해서 정규성 검정과 동일하게 설정한다.

<Table 3> Test Types by CTQ and Critical Factor

Test Use	CTQ Data <i>y</i>	Critical Factor Data <i>x</i>	Parameters	Test Techniques
Correlation	Continuous	Continuous	$\rho$	No Correlation Test
			$\rho_0$	Correlation Test
Regression	Continuous Nominal Binary	Continuous Nominal Binary	$\beta_0, \beta_1$	Simple Regression
			$\beta_0, \beta_i$	Multiple Regression Plackett-Burman Design
			$\beta_0, \beta_1, \beta_{11}$	Curvilinear Regression
			$\beta_0, \beta_i, \beta_j, \beta_{ii}, \beta_{jj}, \beta_{ij}$	Polynomial Regression
	Continuous	2 Level	$\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}$	GLM(Generalized Linear Model)of Experimental Design
			$\beta_0, \beta_i, \beta_j, \beta_{ii}, \beta_{jj}, \beta_{ij}$	Fractional Factorial Design RSM(Response Surface Methodology)
			$\beta_i, \beta_j, \beta_{ii}, \beta_{jj}, \beta_{ij}$	MD(Mixture Design)
Independent	Before Data	After Data	$\rho_{12}$	Durbin Watson Test
				ARIMA의 Autocorrelation or Serial Correlation
Homogeneity Independence	Row	Column	$P_{ij}, P_i, P_j$	$\chi^2$ Contingency Table Test
Goodness of Fit	Row		$P_i$	$\chi^2$ Goodness-of-Fit Test
Normality	Actual Data	Normal or Theoretical Distribution Data	Straight Line	Normal Probability Plot or Distribution Probability Plot
Mean Effect or Contrast				
Distribution Fitting				
Special Forms	Data Structure Models			Factorial Design
				SPD(Split Plot Design)
				Lack-of-Fit Test

2.2.3 RHAT- $H_1$ 형 검정

연구가설이 <Table1>에서 ‘A와 S는 동등(Equivalent)하다’ 또는 ‘S가 A에 비열등적(Non-Inferiority)이다’와 같이 영향(Effect), 관계(Relation)가 존재하지 않음(Absent)의 형태인 경우 RHAT로 가설을 설정해야 한다. RHAT 연구가설을 통계가설로 번역할 경우 등호(Equal Sign)가 포함되는 귀무가설( $H_0$ )에 해당된다. 이렇게 되면 2.2.1절의 RHPT- $H_1$ 형 검정과 다르게 귀무가설을 반박하는 귀류법을 사용하게 되므로 사용자의 혼란을 피하기 위해 Equivalence( $H_1 : |\mu_A - \mu_S| < \delta$ ), Non-Inferiority( $H_1 : \mu_S - \mu_A < \delta$ )와 같이  $H_1$ 가설을 연구가설의 Absent 형태의 진술과 일치하도록 변경한

다. 2.2.1절 2.2.2절과 다르게  $H_0$  기각시 연구가설이 영향(Effect), 관계(Relation)가 있다(Present)가 아니고 없다(Absent)로 해석되는 것에 주의해야 하며 실무적 유의성은 RHPT(Research Hypottesis Present Type)과 RHAT(Research Hypothesis Absent Type)에 근거해서 결론을 내려야 한다.

3. 목표검정과 비목표검정의 적용방안

3.1 스펙과 목표성

계량연속형 스펙이 상한규격(Upper Specification Limit, Smaller The Better), 하한규격(Lower Specification Limit,

Larger The Better), 양쪽규격(Nominal  $\pm$  Allowance, Nominal The Best)인 경우 정확도의 향상을 위한 모평균검정을 실시할 시 각각 좌측검정(Left-Tailed Test), 우측검정(Right-Tailed Test), 양측검정(Two-Tailed Test)을 실시한다. 여기서 좌측검정, 우측검정은 각각 상한규격, 하한규격에 대해 작게 또는 크게 개선하려는 목표를 갖는 검정(Directional Testing)이고 양측검정은 두 규격 내에 적정하게 개선하는, 목표를 갖지 않는 검정(Nondirectional Testing)이다. 계량 연속형 스펙에 대한 정밀도 향상을 위해서는 모분산, 모표준변화의 산포를 작게 개선해야 하기 때문에 좌측검정을 실시한다.

계수이산형 스펙인 한도조건본을 벗어나는 결점(Nonconformities), 불량(Nonconforming Unit)인 경우 작게 개선해야 하기 때문에 좌측검정을 실시한다.

### 3.2 DMAIC 단계별 목표검정

DMAIC 분석(Analyze)단계에서는 CTQ에 치명적인 영향을 주는 소수 중점의 핵심 인자를 설정하는 가설검정을 실시해야 한다. 그러나 식스시그마 프로젝트의 대부분이 위와 같은 연구가설을 대충 언급하고 통계가설 검정에 의해 성급히 핵심인자의 선정 여부만을 확인한 후, 개선(Improve) 단계로 넘어가서는, 분석단계와 같거나 유사한 가설검정을 반복해서 실시하고 이에 따른 최적조건을 추정한다.

그러나 분석단계에서는 단지 핵심인자여부만을 선정하는 것이 아닌 3.1절과 같이 스펙에 따른 방향성에 따라 목표검정을 실시한 후 1차 최적조건을 파악해야 한다. 또한 개선 단계에서는 이러한 1차 조건을 중심으로 스펙을 만족하는 최적 생산 기술조건을 찾기 위해 좀더 정밀한 가설검정과 최적화를 수행해야 한다.

### 4. DMAIC 분석단계와 개선단계에서 샘플 크기 적용방안

CTQ에 영향을 주는 핵심인자를 설정하는 DMAIC의 분석단계에서 개선전의 생산기술조건과 개선후의 생산기술조건을 비교하기 위한 가설검정을 실시한 후 유의적인 경우 핵심인자를 설정한다. 따라서 분석단계에서는 2-Sample t검정[14]을 많이 실시하는 데 이 경우 품질실무자의 임의적인 판단하에 개선전의 데이터는 크게 개선후의 데이터는 아주 적게 취하여 검정의 결과를 오도하게 만든다. 또한 개선전의 데이터가 오랜동

안 축적되어 있는 경우 이를 모수화하여 1-Sample Z검정을 실시해야 신뢰할 수 있는 검정결과를 얻을 수 있다.

따라서 분석단계의 가설검정에서는 목표정확도의 차이(Difference, Effect Size), 유의수준  $\alpha$ , 검출력  $1 - \beta$ 를 고려한 산출식에 의해 샘플의 크기를 결정해야 하며 Z검정에 대한 결과는 <Table 4>의 \*표시의 n과 같다.

DMAIC 개선(Improve) 단계에서 개선후의 여러 대안을 비교하는 가설검정을 실시한 후 최적조건을 추정하는 경우 오차마진(Margin of Error)과 신뢰수준  $1 - \alpha$ 를 고려한 산출식에 의해 샘플의 크기를 결정해야 하며 Z추정에 대한 결과는 <Table 4>의 \*\*표시의 n과 같다. <Table 4>는 양측검정일 경우이고 우측검정, 좌측검정일 경우는  $\alpha/2$  대신  $\alpha$ 를 대입하면 새로운 샘플의 크기를 결정할 수 있다.

### 5. 식스시그마에서 가설검정의 6단계

가설검정은 1, 2단계의 연역적(Deductive) 과정과 3~6단계의 귀납적(Inductive) 과정의 6단계로 구성된다.

1단계: CTQ와 핵심인자의 영향(Effect), 관계(Relation)의 유무에 따른 RHPT, RHAT 연구가설을 2절과 같이 설정한 후 포퍼의 반증원리(Falsification By Popper)에 의해 제품기술 및 생산기술의 이론 및 암묵지를 계속 업데이트해 나간다.

2단계: 연구이론가설을 통계실증가설로 번역한 후 2절에서 제시한 RHPT- $H_1$ 형, RHPT-Pseudo  $H_0$ 형, RHAT- $H_1$ 형의 세 가지 유형 중 하나를 선택하여 가설을 설정한다.

3단계: 3절과 4절에서 제시한 스펙의 목표성, 유의수준과 검출력에 의한 샘플의 크기 등을 고려하여 증명하려는  $H_1$  가설에 대해 귀류법(Proof By Contradiction)에 의해  $H_0$  가설의 유의성 검정을 실시한다.

4단계: 통계적 모형의 가정 하에 2단계에서 설정한  $H_0$ 에 대한 통계적 유의성 (Statistical Significance)을 판정한다.

5단계: CTQ에 영향을 주는 3가지 이상의 새로운 제품 및 생산기술조건을 비교검토 후 최적조건과 이에 대한 신뢰구간을 4절에서 제시한 샘플의 크기를 고려하여 결정한다.

6단계: 4단계의 통계적 유의성과 5단계의 최적조건을 기초로 1단계에서 설정한 연구이론가설에 근거하여 실무적 유의성(Practical Significance)을 판정한 후 현장에 적용한다.

<Table 4> Sample Size Determination

# of Population	Use	Title	Sample Size
One Population	Accuracy : Mean	1-Sample Z Test	$n^* \geq \left(\frac{(Z_\alpha + Z_\beta)\sigma}{\delta}\right)^2$
			$n^{**} \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sigma}{E}\right)^2$
	Proportion	1-Sample Proportion Test	$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{p_0(1-p_0)} + Z_\beta\sqrt{p_1(1-p_1)}}{p_1 - p_0}\right)^2$
			$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{p(1-p)}}{E}\right)^2$
	Poisson Rate	1-Sample Poisson Rate Test	$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{u_0} + Z_\beta\sqrt{u_1}}{u_1 - u_0}\right)^2$
			$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{u}}{E}\right)^2$
Two Populations	Accuracy : Mean	2-Sample Z Test	$n \geq 2\left(\frac{(Z_\alpha + Z_\beta)\sigma}{\delta}\right)^2$
			$n \geq 2\left(\frac{Z_{\alpha/2}\sigma}{E}\right)^2$
	Proportion	2-Sample Proportions Test	$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{2p(1-p)} + Z_\beta\sqrt{p_1(1-p_1)} + (p_1 - \delta)(1-p_1 + \delta)}{\delta}\right)^2$
			$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{p_1(1-p_1)} + p_2(1-p_2)}{E}\right)^2$
	Poisson Rate	2-Sample Poisson Rates Test	$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{2u} + Z_\beta\sqrt{u_1 + (u_1 - \delta)}}{\delta}\right)^2$
			$n \geq \left(\frac{Z_{\alpha/2}\sqrt{u_1 + u_2}}{E}\right)^2$

## 6. 식스시그마 프로젝트에서 오적용 및 이해

2011년-2012년 국가품질경영대회 식스시그마 분야에 출전한 37개 프로젝트[15]를 대상으로 본 연구에서 제안한 가설검정의 6단계를 적용하였다. 그 결과 14종류 42개의 오적용사례가 유형화되었으며 7종류 15개는 1-2단계의 연역적 과정에서, 7종류 27개는 3-6단계의 귀납적 과정에서 분석되었다.

### 6.1 1-2단계의 연역적 과정에서의 오적용 사례와 이해

1-2단계를 모두 언어로 표기한 RHPT- $H_1$  형의 오적용 사례로 연구가설은 CTQ와 핵심인자의 영향, 관계를 언어로 표기하고 대립가설은 일원분산분석의 경우  $H_1: a_i = 0$ 으로 설정해야 한다.

1-2단계를 생략하고 3-4단계를 수행하는 RHPT-Pseudo  $H_0$  형의 오적용 사례로 등분산검정이라는 Pseudo  $H_0$ 의 명칭에 혼란을 갖지 말고 연구가설 RHPT와 이에 대응하는 통계가설  $H_1$ 을 설정하여 가설검정을 실시해야 한다.

1단계를 2단계에 쓰고 2단계는 생략하는 RHPT- $H_1$  형의 오적용 사례로 연구가설과 통계가설을 구분해서 설정해야 한다.

1단계는 생략하고 2-3단계로 4-6단계의 결론을 내리는 RHPT- $H_1$  형의 오적용 사례로 통계적 유의성은 모형의 한계성을 인지하고 실무적 유의성을 판단해야 한다. 1-2단계를 언어와 모수로 동시에 표현한 RHPT- $H_1$  형의 오적용 사례로 연구가설은 언어로, 통계가설은 반복 2회의  $2^3$  완전요인 배치법에 맞는 모수표현으로 설정해야 한다. 이 실험에서 주효과와 2차 교호작용까지만 효과를 검출하려면 반복없는 부분요인 배치법을 실시하는 것이 바람직하다.



1단계 연구가설의 언어적 표현이 핵심인자로만 표현되어 있는 오적용 사례로 CTQ와의 영향, 관계의 존재 유무로 명확히 설정되어야 한다.

2단계 생략하고 1단계에서 3단계 적용하는 오적용 사례로 연구가설은 제품 및 생산기술의 이론 및 사고 실험에 의해 설정되며 통계가설은 확률모형에 근거한 모수, 비모수에 의해 설정되어야 한다.

1단계에서 연구가설에 대한 반증이론의 이해가 부족해 비롯된 오적용 사례로 안전성에 영향을 미치는 조건이 작화온도가 아닌 다른 조건도 있는지를 FBPF(Falsibility By Popper)에 의해 이론적으로 지지될(Support) 필요가 있다. 또한 1-Sample  $t$ 검정에서 목표값이  $\mu_0$ 이라면 이 목표값에서 실제 수행된 작화온도의 누적된 데이터로 평균과 표준편차를 구할 경우 정밀도가 좋은 1-Sample  $Z$ 검정을 실시하는 것이 바람직하다.

1단계의 연구가설에서 CTQ와 2단계의 통계가설에서 모수 표현의 연계가 부족한 오적용 사례로 통계가설에서  $P_o$ ,  $\mu_o$  같은 목표 CTQ 값에 대해서는 연구가설이 핵심인자 영향이 아닌 실제 CTQ의 영향으로 설정되어야 한다.

## 6.2 3-6단계의 귀납적 과정에서의 오적용 사례와 이해

3단계의 통계지식부족의 오적용사례로 i) 곡선회귀에서 상관계수를 구하거나 ii) 전수검사에서  $\chi^2$  분할표검정을 실시하고, iii) 등분산, 이분산을 체크를 안하고 2-Sample  $t$ 검정을 실시하고, iv)  $np_i \geq 5$  체크없이 2-Sample Proportions 검정을 실시하고 v) 독립, 종속 샘플 체크없이 Paired  $t$  검정을 실시하고, vi)  $t$  샘플링 분포 검정에서 정규성 확인이 없고 vii) 이항로지스틱회귀분석에서 지수형이 아닌 직선형으로 오류율을 판정하고 viii) 분산분석에서 오차항의 4가지 검토가 이루어지지 않고 ix) 직선형의 회귀분석을 수평형의 분산분석으로 처리하고 x) Robust Design에서 Noise 인자를 RSM 변수에 포함시키고 동특성, 정특성의 개별분석이 이루어지지 않고 있다.

3단계에서 DMAIC 분석단계의 치명인자를 설정할 경우 개선전후에 대한 데이터가 개수가 자의적인 오적용사례로 유의수준과 검출력을 고려한 샘플크기를 결정해야 한다.

3단계의 분석단계와 5단계의 개선단계에서 CTQ에 대한 제품 및 생산기술조건을 동일하게 사용하는 오적용사례로 분석단계에서는 CTQ 스펙에 따른 목표검정을 실시하고 이를 기초로 개선단계에서는 좀 더 정밀한

대안비교검정을 실시해서 최적조건을 선정해야 한다.

3단계의 통계가설검정에서의 귀류법의 이해부족으로 인한 오적용사례로 PBC(Proof By Contradiction)는  $H_1$ 의 증명을 위해  $H_o$ 의 유의성을 찾는 것이므로  $H_1$  채택보다  $H_o$  기각이라고 판정해야 한다.

5단계에서 의미없는 통계를 과다하게 사용하는 오적용 사례로 개선단계의 PDCA에서 Check는 막대그래프로 비교하면 되고 Do에서 새로운 개선안의 3가지 이상에 대한 비교와 최적화를 위한 통계적 기법을 적용해야 한다.

4,5단계 생략하고 6단계 결론을 내리는 오적용사례로 4,5단계의 통계적 유의성과 최적조건은 통계모형의 가정 하에 나온 결과로 6단계의 실무적 유의성은 제품 및 생산기술조건을 고려한 종합결론을 내려야 한다. 즉 통계적으로 유의하더라도 이것이 실무적으로 유의한 것이 아닌 샘플의 크기, 분석모형의 오류로 인한 결과가 될 수 있다는 것을 염두에 두어야 한다.

7) 5단계에서 최적화모형에 대한 이해부족으로 인한 오적용사례로 2절의 <Table 3>과 같은 반응표면분석(RSM), GLM의 모수에 대한 해석을 P-Value에만 의존하지 말고 선형, 포물선, 비틀림의 기하학적 해석과 더불어 심도있는 분석이 이루어져야 한다.

## 7. 결론

본 연구에서는 식스시그마 DMAIC에서 적용 가능한 가설검정의 6단계를 제시하고 실증연구를 통한 오적용 사례를 분석하여 다음의 연구결과를 얻었다.

연구가설은 CTQ에 대해 제품 및 생산기술조건에 대한 영향, 관계의 유무에 따라 이론 및 암묵지의 언어형태로 설정하고, 이를 실증데이터로 검증하기 위한 통계가설을 모수의 형태로 설정한 후 RHPT- $H_1$ 형, RHPT-Pseudo  $H_o$ 형, RHAT- $H_1$ 형으로 번역한다.

DMAIC의 분석단계에서는 CTQ에 대한 치명인자 선정 시 스펙의 방향성에 따른 목표검정을 실시하고 이를 기초로 개선단계에서는 좀 더 정밀한 가설검정과 최적화를 통해 최적 생산기술조건을 설정한다.

가설검정과 최적조건 추정시 유의수준, 검출력, 신뢰수준을 고려한 샘플의 크기를 결정해야 하며 이에 따라 통계적 유의성의 결과가 큰 영향을 받는다.

실증가설에 대한 통계적 유의성(Statistical Significance)이 있다고 판정되더라도 가설통계모형의 한계로 실무적 유의성(Practical Significance)은 없는 경우가 있기 때문에 연구가설의 이론과 경험에 의한 제품기술 및 생산기술적 종합 결론이 요구된다.

## 8. 참 고 문 헌

- [1] Anderson D.R., Sweeney D.J., Williams T.A. (1999), Statistics for Business and Economics, 7th Edition, South Western.
- [2] Cho H, Abe S. (2012), "Is Two-Tailed Testing for Directional Research Hypotheses Tests Legitimate?", Journal of Business Research, In Press.
- [3] Churchill C.A.Jr., Iacobucci D.(2002), Marketing Reserach : Methodological Foundations, 8th Edition, Harcourt College Publishers.
- [4] Dawson B. Trapp R.G.(2004), Basic & Clinical Biostatistics, 4th Edition, McGraw-Hill.
- [5] Gravetter F.J., Wallnau L.B.(2007), Statistics for the Behavioral Sciences, 7th Edition, Thomson Wadsworth.
- [6] Harnett D.L., Soni A.K.(1991), Statistical Methods for Business and Economics, Addison Wesley.
- [7] Harris M.B.(1995), Basic Statistics for Behavioral Science Reaserch, Allyn & Bacon.
- [8] Howell D.C.(2007), Statistical Methods for Psychology, 6th Edition, Thomson Wadsworth.
- [9] Hunt S.D.(1991), Modern Marketing Theory : Critical Issues in the Philosophy of Marketing Science, South-Western Publishing Co.
- [10] Korosteleva O.(2008), Clinical Statistics : Introducing Clinical Trials, Survival Analysis, and Longitudinal Data Analysis, Jones & Bartlett Publishers.
- [11] Mathews P.G.(2005), Design of Experiments with MINITAB, ASQ Quality Press.
- [12] Hamphongsant T. Manchachitara R (2008), "Psychological Antecedents of Career Women's Fashion Clothing Conformity", Journal of Fashion Marketing and Management, 12(4), 438-455.
- [13] Schuimann D.J.(1987), "A Comparison of the Two One-Sided Tests Procedure and the Power Approach for Assessing the Equivalence of Average "Bioavailability", Journal of Phamacokinetics and Biopharmaceutics, 15, 657-680.
- [14] www.minitab.com
- [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 1년 반 동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 자동차 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 통신, 정보시스템의 보안, 신뢰성 설계 및 분석, 서비스 사이언스, RFID시스템, Wavelet에도 관심을 가지고 있음. 주소: 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342 가천대학교 산업공학과