

정확도 및 정밀도 관점에서의 통계적 품질기법의 해석

- Interpretation of Statistical Quality Techniques in the Perspective of Accuracy and Precision -

최성운 *

Choi Sung Woon

Abstract

Engineer and quality statistician use different terms and techniques but they have same meaning and concept. The terms accuracy and precision are frequently used by engineer and scientist in the department of R&D and production technology. This paper makes a contribution to the interpretation of statistical quality techniques by the use of accuracy and precision. Engineer and scientist who have six sigma black belt and statistical background can use efficiently and effectively accuracy and precision in a manner consistent with statistical usage according to this study.

Keywords : Accuracy, Precision, Interpretation, Statistical Quality Techniques

1. 서론

고도로 발달된 첨단산업의 기술력을 제고하기 위해서는 오차가 극히 작은 정확정밀한 개발, 제조 및 측정기술이 요구된다. 국제 표준 단위계인 SI에서는 10의 음의 지수로 정확 정밀도를 표현하고 있으며 10^{-6} 을 마이크로(Micro), 10^{-9} 을 나노(Nano), 10^{-12} 을 피코(Pico), 10^{-15} 을 펨토(Femto), 10^{-18} 을 아토(Atto)로 정의한다. 첨단제품을 생산하는 글로벌 기업은 현재 나노와 피코의 정확 정밀도 기술수준으로 품질경쟁력을 확보하고 있다.

오차, 정확도 및 정밀도에 관련된 연구는 의료[4], 원격 탐사[5], 컴퓨터 사이언스[6], 수학[7], 경영과학[8], 교육[9], 측정[10], 보건[11], 통계[12], 행동과학[13] 등이 있으며

* 경원대학교 산업공학과 교수

2007년 1월 접수; 2007년 2월 수정본 접수; 2007년 2월 게재확정

모든 과학 및 공학 분야에서 광범위하게 많은 연구가 심도 있게 진행되고 있다.

첨단기업에서는 기술 품질 경쟁력을 제고하기 위해서, 전자전기, 기계항공, 재료, 물리화학 등의 학문적 배경을 가진 R&D기술 담당자, 생산기술 담당자, 설비기술 담당자, 교정기술 담당자 등이 신제품개발, 공정개발 및 개선, 설비개발 및 개선, 계측기 교정 업무개발 및 개선 시 오차의 감소를 목표로 정확도와 정밀도를 향상시키는 프로젝트 또는 업무를 수행한다. 이런 기업에서는 기술의 결정체인 품질의 경쟁력을 조직구성원들이 효과적이고 효율적으로 수행할 수 있도록 식스 시그마 활동을 통해 통계적 품질 기법에 관련된 교육에 많은 비용과 시간을 할애하고 있는 실정이다.

그러나 통계적 품질 기법에 관련된 상당한 수준의 지식을 가진 블랙 벨트의 자격을 가진 고유 기술자들도 그들의 업무에서 수행하고 있는 오차, 정확도 및 정밀도의 개념이 통계적 품질 기법에서도 그대로 사용하고 있다는 것을 이해하지 못하여 실제 업무에서의 적용과 해석에서 많은 오류가 발생하고 있다.

이는 식스시그마 교육을 담당하는 산업공학, 통계학의 배경을 가진 전문가가 통계적 품질기법을 전파시킬 경우 사용자인 고유 기술자들의 용도(Why)에 따른 이해부족과 고유기술의 무지로부터의 해방을 위해 통계적 기법의 사용방법(How to)에만 전념할 수밖에 없어 실제 고유 기술자들의 식스시그마 프로젝트 내용을 이해하지 못한 상태에서 DMAIC 5단계별 통계적 기법을 중심으로 교육, 지도 및 심사가 이루어지기 때문이다. 이럴 경우 식스시그마 활동을 효율적이고 효과적으로 수행하기 위해 활용되는 통계적 품질 기법이 도리어 고유기술자들의 업무를 방해하고 시간을 낭비하는 골칫거리로 조직의 고질적인 불만사항으로 이어진다.

이는 관리기술품을 전파하는 전문가가 깊이 반성해야 할 문제로 고유기술의 내용을 선행적으로 심도 있게 파악하지 못한 상태에서 (본인도 용도를 모르는 상태에서) 일방적으로 어려운 통계적 기법의 사용방법을 강요하는 교육, 지도 및 심사는 지양되어야 한다. 이는 사용용도를 모르는 사람에게 칼을 함부로 주어 무조건 휘둘렀을 경우와 같이 사용용도를 정확히 알려주지 않고 사용방법만을 가르쳐 주는 현행 통계적 품질기법의 교육이 조직에 위협한 결과를 초래할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 고유기술자들의 주요 관심의 대상이 되는 오차, 정확도 및 정밀도 관점에서 기업에서 활용되고 있는 통계적 품질기법을 연계 해석하여 고유 기술 업무에 통계적 기법을 효율적이고 효과적으로 적용할 수 있도록 하였다.

2장에서는 스펙과 데이터 관점에서의 불량, 결점, 중심, 산포, 오차, 정확도 및 정밀도의 차이에 관해 논의하고 3장에서는 확률분포, 검정 및 추정에서의 오차, 정확도 및 정밀도, 4장에서는 SPC(Statistical Process Control) 즉 관리도와 공정능력지수에서의 오차, 정확도 및 정밀도, 5장에서는 MSA(Measurement System Analysis)에서 오차, 정확도 및 정밀도, 교정에서의 불확도를 다룬다. 6장에서는 샘플링, 샘플링 검사 및 실험계획법에서의 오차, 정확도 및 정밀도, 7장에서는 회귀분석, 시계열 분석에서의 오차, 정확도 및 정밀도를 다루고 8장에서 결론을 맺는다.

2. 스펙, 데이터, 불량과 오차

2.1 스펙과 데이터

품질은 기술의 결정체이다. 기술은 고객이 요구하는 스펙(Specification)을 새롭게 창조하는 R&D 제품기술과 한 번에 스펙을 제대로 조성하는 생산기술로 구분된다. 기술 품질의 대상이 되는 스펙은 사양, 제원, 규격 등 다양한 용어로 사용되며 원자재, 반제품, 제품, 설비 및 시스템 등의 물적인 기준이 된다. 스펙의 종류로는 상한 스펙(USL : Upper Specification Limit), 하한스펙(LSL : Lower Specification Limit)이 있으며 양쪽규격인 경우 공칭치수(Nominal Size, 기준 치수) \pm 허용차(Allowance)로서 표시되며 2배의 허용차를 공차(Tolerance)로 표시한다. 상한규격은 스펙이 작을수록 좋은 경우(망소특성 : Smaller-Is-Better)로 불순물의 함유량이 있으며 하한규격은 스펙이 클수록 좋은 경우(망대특성 : Larger-Is-Better)로 순도가 있다. 양쪽 규격은 조립품의 치수와 같이 공칭, 기준치수를 목표로 평균이 일치하며 허용차가 작아지는 것이 좋은 경우(Nominal-Is-Best)이다.

기술품질에서 추상적인 고객의 욕구나 요구인 품질 특성(Quality Characteristics)을 구체적인 개발설계 형상(Design Feature)과 기술적 목표치를 고려한 스펙(Specification)으로 QFD(Quality Function Deployment)의 HOQ(House of Quality)를 이용하여 전개(Cascade, Interrelation, Waterfall)되어야 한다. 이렇듯 기술품질 향상을 위해서는 고객의 요구사항인 다양한 스펙의 이해가 선행되어야 한다.

스펙은 통상 도면으로 표현(CAD : Computer Aided Design)되며 GD&T(Geometric Dimensioning and Tolerancing)에 의하면 진직도, 평면도 및 원통도 특성 등을 고려한 형상공차(Form Tolerance),선의 윤곽도, 면의 윤곽도 특성 등을 고려한 프로파일 공차(Profile Tolerance), 평행도, 진직도 및 경사도 특성 등을 고려한 자세공차(Orientation Tolerance), 위치도, 동심도 및 대칭도 특성 등을 고려한 위치공차(Location Tolerance), 원주 흔들림, 전체 흔들림 특성 등을 고려한 흔들림 공차(Runout)등이 있다. 데이터는 기술품질의 목표인 스펙을 실제 확인하는 용도로 사용된다. 계수형(이산형) 데이터는 속성(Attribute)에 따라 개개의 스펙을 벗어나는 결점, 부적합(Defect, Nonconformity, Nonconformance)과 유니트(Unit)로 스펙을 벗어나는 불량, 부적합품(Defective, Nonconforming Unit)으로 분류한다.

현상파악을 위한 관리자 용도의 불량 데이터와 개선을 위한 작업자 용도의 결점 데이터는 정수로 쉽게 카운팅 되어 많은 데이터를 사용할 수 있으나 얻어지는 정보는 정확 정밀하지 못한 단점이 있다.

계량형(연속형) 데이터는 원래 연속된 실수의 데이터를 측정도구의 능력에 따라 임의의 실수로 끊어 보는 데이터로 10^{-9} 의 원자 현미경의 측정도구가 있을 경우 나노(Nano)단위까지 측정할 수 있다. 이렇듯 계량형 데이터는 측정도구의 소수점에 따라

스펙과의 오차, 정확도 및 정밀도 등의 정보량이 달라지게 된다. 계량형 데이터는 측정도구의 구입비용과 사용방법의 숙련으로 인해 계수형 데이터에 비해 많은 데이터를 사용할 수 없으나 정확 정밀한 정보를 얻을 수 있다. 계량형 데이터는 스펙과의 비교를 통한 오차, 정확도 및 정밀도 등의 파악을 하기 전에 데이터의 요약정리 척도인 통계량계산을 우선적으로 하여야 한다.

통계적 품질 기법은 부분인 샘플 통계량(Sample Statistic)으로 전체 모집단 모수(Population Parameter)의 변화를 알아보려는 것으로, 효과적(Effective)이지 못하지만 효율적(Efficient)인 방법이다. 계량형 데이터가 스펙을 벗어나는 면적을 계량형 불량률이라고 하며 이는 개수로 세어 산출한 계수형 불량률과 구분된다. 이런 불량률을 파악하고 개선하기 위해 계량형 데이터는 중심(Centrality) 요약정리 척도인 평균(Mean), 최빈값(Mode), 중앙값(Median)과 산포(Dispersion) 요약정리 척도인 제곱합(Sum of Squares), 불편분산(Unbiased Variance : Mean Squares), 표준편차(Standard Deviation), 변동계수(Coefficient of Variation), 범위(Range)등이 있다. 오차, 정확도 및 정밀도의 개념은 계량형 데이터와 스펙과 비교할 경우 나올 수 있는 개념으로 불량률은 오차로, 중심 요약정리 척도는 정확도로, 산포 요약정리 척도는 정밀도로 연계되어 해석될 수 있다.

2.2 오차, 정확도 및 정밀도

오차는 정확도와 정밀도로 구분하여 사용한다. 즉 오차 = 정밀도 + 정확도로 정의되며 (각 데이터 - 참값) = (각 데이터-평균) + (평균 - 참값)의 의미를 가지고 있다. 여기서 참값(True Value)은 목표값(Target Value)으로서 개발, 생산 프로세스에서는 제품 스펙(Specification)이, 교정(Calibration) 프로세스에서는 기준기(Reference Standard)가 된다. 오차 등식에서 우변에 평균을 넣어 정밀도와 정확도로 구분한 이유는 정밀도는 인간의 눈으로 보기 어려운 숫자의 움직임이다. 정확도는 눈으로 쉽게 볼 수 있어 대부분 경영관리상의 조치로 해결할 수 있기 때문이다. 기술품질뿐 아니고 시스템 품질에서도 조직의 정확도를 도모하기 위해 참값을 ISO 9001 국제 품질시스템요건에 맞추어 인증을 취득하게 된다.

2.1절에서 언급한 바와 같이 실제의 계량형 데이터를 목표의 스펙과 비교할 경우 오차, 정확도 및 정밀도의 개념이 나올 수 있으며 계량형 데이터가 스펙을 벗어나는 면적인 불량률을 고유기술자는 각 데이터와 참값과의 차이인 오차라고 정의한다. 또한 계량형 데이터의 중심 요약정리 척도에서, 중심축(Central Location)을 참값에 맞추려는 노력을 고유기술자는 정확도(Accuracy)라고 정의하며 치우쳐 있을 경우 편의(Bias)되었다고 한다.

교정(Calibration)에서 정확도는 Correctness, Adjustment, Offset 등으로 정의된다. 끝으로 계량형 데이터의 산포 요약정리 척도에서 각 데이터가 평균에 대해 흩어짐, 변동(Variation), 폭(Width), 넓이(Breadth)가 없이 일관성(Consistency)을 유지하는 노력을 고유기술자는 정밀도(Precision)라고 정의한다.

3. 분포와 검추정에서의 오차, 정확도 및 정밀도

3.1 산포와 분포에서의 오차, 정확도 및 정밀도

산포는 실제 데이터의 불규칙한 모양이며 분포(Distribution)는 이론적으로 가정한 일정한 수학적함수이다. 확률(Probability)은 객관적으로 상대비교를 하기 위한 1.0점 척도로서 100점 척도인 퍼센트와 1,000,000점척도인 PPM(Parts Per Million)과 같은 기능을 한다. 즉 확률분포는 실제 데이터인 산포와 차이가 있으나 집단으로 다루기 편한 비교 가능한 확률함수로 정의될 수 있다.

이는 수단지향 관점에서 효율적이나 목적 지향적 관점에서 효과적이지 못하다. 효과적이지 못하다는 것은 실제(산포)와 이론(분포)가 다르다는 것으로 오차의 관점에서 이미 확률분포를 사용하는 경우 정확도의 문제를 체크해 볼 필요가 있으며 통계적 품질 기법에서는 이를 적합도 검정(Goodness-of-Fit Test)이라고 한다.

계량형 데이터가 모인 계량형 산포는 적합도검정의 정확성(참값은 이론분포) 체크에 의해 계량형 분포로 사용이 허용되며 정확도(참값은 스펙, 기준기) 용도의 분포인 정규(Z)분포, t분포와 정밀도 용도의 분포인 χ^2 분포와 F분포 등이 있다. Z분포는 품질 데이터베이스 시스템에 의해 축적된 정보량으로 μ, σ 의 두 가지 모수를 모두 추정하여 사용하는 부지런한 사용자의 분포이며 t분포는 μ 만을 축적해서 사용하는 게으른 사용자의 분포이다.

χ^2 분포는 1개의 공정, 로트 및 배취(Batch)일 경우, F분포는 2개의 서로 다른 공정, 로트 및 배취일 경우 적용되는 분포이다.

3.2 검추정에서의 오차, 정확도 및 정밀도

검정(Test)은 개선후와 개선전의 비교, 실제값과 이론값의 비교, 시제품 결과와 설계 목표치와의 비교를 위해 사용된다. 검정에서는 개선의 효과가 없는 경우 귀무가설(H_0 : Null, Zero Hypothesis), 개선의 효과가 있는 경우 대립가설(H_1 : Alternative Hypothesis)이라고 하여 두 가지 가설중 하나를 채택하게 된다.

검정은 통계적인 방법으로 부분인 샘플(Sample, 표본, 시료, 통계량)로 전체 모집단(Population, 공정, 로트, 배취, 모수)등의 변화의 무·유를 확인하기 위해서 골고루 뽑아(랜덤 샘플링) 정확성을 유지하려고 노력해도 샘플링오류는 발생하게 된다. 이 경우 Random은 Unbiasedness의 정확성(참값은 모집단)을 위한 용어로 정의되며 여론조사와 같은 통계분석에서는 정확성(참값은 앙케이트문항의 이해)을 비표본오류(Nonstandard Error), 타당성(Validation)검토와 같은 용어로도 사용한다.

즉 모든 통계적인 기법은 샘플링을 하는 경우 정확도(참값은 모집단)의 문제를 가지

고 있으며 이를 샘플링오류 α, β 라고 정의 하는데 사실은 샘플링 오류가 아닌 샘플링 치우침이 정확한 표현이다. 검정에서는 α, β 를 동시에 고려하는 방법과 β 를 작게 하고 α 를 5%, 1%로 크게 놓고 검정하는 방법 등 두 가지가 있는데 후자가 사용하기 간편해서 실무에서 많이 사용된다. 검정에서는 α 는 유의수준(Significance Level), P-Value는 유의확률(Significance Probability)로 정의하여 치우침(참값은 모집단) $\alpha=5\%$, 1%내에서 개선효과를 해석하여야 한다.

정확도(참값은 스펙, 기준기)용도 검정으로는 모평균검정을 위한 Z검정, t검정이 있으며 상한 규격인 경우 좌측검정, 하한규격인 경우 우측검정, 양쪽규격인 경우 양쪽검정을 실시한다. 정밀도(참값은 스펙, 기준기)용도 검정으로는 모분산검정을 위한 χ^2 검정, F검정이 있으며 항상 좌측검정을 실시한다.

정확도(참값은 모집단)의 범위를 신뢰수준(Significance Level) $1-\alpha=95\%$, 99%로 구간추정(Interval Estimation)하는 경우 정확도(참값은 스펙, 기준기)용도 추정은 Z추정, t추정, 정밀도 용도(참값은 스펙, 기준기)추정은 χ^2 추정, F추정을 실시한다.

4. SPC에서의 오차, 정확도 및 정밀도

4.1 관리도에서의 오차, 정확도 및 정밀도

관리도(Control Chart)는 치우침(참값: 모집단) $\alpha=0.27\%$ 범위내에서 공정의 장기적인 변동(Variation)을 모니터링, 개선하는 사전 예방(Prevention)활동의 SPC(Statistical Process Control)기법이다. $\alpha=0.27\%$ 인 경우 평균 $3 \times$ 표준편차의 관리한계(Control Limit)가 형성되며 관리한계 내의 점(In-Control)은 정상원인(Random, Common, Chance, Chronic Cause)으로 관리한계 밖의 점은 이상원인(Assignable, Special, Sporadic Spike Cause)등으로 정의된다.

단기적으로는 이상원인을 제거, 개선하는 품질관리(Quality Control)활동이, 장기적으로는 만성적인 우연원인을 제거, 개선하는 품질개선(Quality Improvement)활동이 요구된다. 관리도는 치우침(참값: 모집단) $\alpha=0.27\%$ 유의수준의 검정 또는 정확도(참값: 모집단) $1-\alpha=99.73\%$ 신뢰수준의 추정을 연속적으로 수행하는 방법이다.

정확도(참값: 스펙, 기준기)용도의 관리도는 평균치 관리도, 중앙값 관리도, 개별값 관리도, 최대-최소 관리도, MA(Moving Average), EWMA(Exponentially Weighted Moving Average 또는 GMA: Geometric Moving Average), CUSUM(Cumulative Sum)등이 있으며 정밀도(참값: 스펙, 기준기)용도의 관리도는 범위, 이동범위, 표준편차 관리도 등이 있다.

4.2 공정능력지수에서의 오차, 정확도 및 정밀도

공정능력지수(Process Capability Index)는 목표 스펙의 공차(Tolerance)에 대한 실제 데이터의 우연 산포(관리도의 양쪽 $3 \times$ 표준편차 즉 $6 \times$ 표준편차)와의 비율로 정의된다. 따라서 공정능력지수는 데이터의 표준편차가 예방(Prevention)활동인 관리도에 의해서 작아지면 공정능력지수가 1보다 커지게 되어 탐지(Detection)활동인 검사활동에 의해서 스펙을 벗어나는 면적인 계량형 불량률이 줄어들게 된다.

양쪽규격인 경우 스펙의 공칭치수와 데이터, 평균의 측이 맞았을 경우 정확성(참값: 스펙, 기준기)이 좋아 치우침(참값: 스펙, 기준기)을 고려하지 않는 공정능력지수 C_p 를 사용한다. 즉, 정밀도 용도의 공정능력지수는 C_p 이다.

만약 스펙의 공칭치수와 데이터 평균의 측이 맞지 않을 경우 치우침(참값: 스펙, 기준기)을 고려한 공정능력지수 C_{pk} , C_{pm} 을 사용한다. C_{pk} 는 분자에 있는 치우침(참값: 스펙, 기준기)과 분모에 있는 정밀도(참값: 스펙, 기준기)가 서로 상쇄되어 정확정밀도를 제대로 체크하지 못하여 치우침(참값: 스펙, 기준기)과 정밀도(참값: 스펙, 기준기)를 모두 분모에 위치한 C_{pm} 을 사용하는 것이 바람직하다. 즉 정확도와 정밀도 용도의 공정능력지수는 C_{pk} , C_{pm} 이다.

5. 교정과 MSA에서의 불확도, 오차, 정확도 및 정밀도

5.1 교정에서의 오차와 불확도

교정(Calibration)은 계측기를 소급성(Traceability)이 있는 기준기(Reference Standard)의 참값(True Value)에 조정(Adjustment), 교정(Correctness) 및 영점 조정(Offset)을 하여 정확도(참값:기준기)를 확보하는 방법이다.

과거에는 교정 분야에서도 오차=계통오차 + 우연오차 로 정의되어 사용 되었는데 최근에는 불확도(Uncertainty) = A형 불확도 + B형 불확도의 정의로 사용되고 있다. 오차는 참값을 안다고 하는 가정에서 실제 측정값과의 차이를 보는 방법이고 불확도는 기준기의 참값은 오직 하나지만 안다는 인간의 겸손한 자세에서 모른다는 가정에 불확도를 계속 찾아가는 방법이다. A형 불확도는 반복측정에 의한 표준편차의 통계적인 방법으로 계산되며 B형 불확도는 경험이론적인 분포에 의해 불확도를 정하는 방법이다. 예를 들어 신뢰수준 95%를 $k=2$ 인 정규분포, 직사각분포, 삼각분포, U분포인 경우 Type B 불확도는 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{\sqrt{3}}$, $\frac{1}{\sqrt{6}}$, $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 의 표준편차등을 고려한다. 두 A, B형 불확도는 분산의 가성성 법칙(Root Mean Square Method)에 의하여 합성되며 추정된 신뢰수준 $1-\alpha = 95\%$, 99% 를 고려하여 확장불확도를 구한다.

5.2 MSA에서의 오차, 정확도 및 정밀도

MSA(Measurement System Analysis)는 측정오차를 정확도(참값:스펙, 기준기)와 정밀도(참값:스펙, 기준기)로 구분하여 파악한다. 측정오차 = 정확도(참값:스펙, 기준기) + 정밀도(참값:스펙, 기준기)의 공식으로 정의되며 참값은 제품 스펙이 된다. 정확도(참값:스펙, 기준기)는 정적인 관점에서의 편의(참값:스펙, 기준기) 또는 치우침(참값:스펙, 기준기)의 변화가 1차 회귀로 유의적이지 아닐 경우 즉 선형성이 존재하지 않는 경우가 바람직하다.

정밀도(참값:스펙, 기준기)는 계측기의 변동(Equipment Variation)인 반복성(Repeatability)과 계측자의 변동(Operator, Technician, Appraiser Variation)인 재현성(Reproducibility)으로 파악하여 합성 정밀도(참값:스펙, 기준기)를 구하는 것을 Gage R&R 이라고 한다. 평균 - 범위 관리도를 이용하여 Gage R&R을 구할 경우 계측기 군내변동은 반복성, 계측자 군간 변동은 재현성, 부품간 군간변동은 부품정밀도로 산출되며, 부품간 평균을 관리도로 해석할 경우 안정된 상태의 관리도보다 절반은 관리한계를 벗어나야만 측정감도(Sensitivity)가 좋다고 평가할 수 있다.

반복 있는 2원배치 분산분석(ANOVA : Analysis of Variance)법을 적용할 경우 (두 인자를 A, B 로 가정) A는 재현성, B는 부품변동, A x B 교호작용은 재현성 x 부품변동, E(Error)는 반복성이 된다. 모든 분산 분석법에서의 Error는 정밀도의 개념이다.

6. 샘플링, 실험계획법에서의 오차, 정확도 및 정밀도

6.1 샘플링에서의 오차, 정확도 및 정밀도

샘플링 이론(Sampling Theory)은 모집단에서 샘플을 채취하는 방법이다. 3.2절에서 설명한 바와 같이 랜덤 샘플링에 의해 정확성(참값:모집단)을 확보한다. 앙케이트 조사의 경우 설문조사자의 성별, 외모, 용모에 따른 비표본오차의 차이, 설문조사자의 능력에 따른 설문 응답·문항간의 타당성 차이 등이 정확성(참값:앙케이트)으로 정의될 수 있다. 샘플링 방법에는 단순랜덤 샘플링, 2단계 샘플링, 층별(Stratification) 샘플링, 취락(Clustering) 샘플링이 있는데 이는 정밀도(참값:모집단)를 줄이려는 아이디어에서 비롯된다.

샘플링검사(Acceptance Sampling)는 불량률 선별(Screening, Sorting, Rectifying)하는 효과적인 전수 검사(100% Inspection)와 달리 효율적인 검사 방식이다. 이는 구매 활동에서 계약 품질의 이행 여부를 확인하기 위해 사용된다. 따라서 공급자(Producer)와 구입자(Consumer)는 랜덤 샘플링에 의해 정확성(참값:모집단)을 확보하지만 샘플링의 오류 즉 치우침(참값:모집단)을 사전에 약속하여야한다. 통상 공급자의 치우침에 대한 오류 $\alpha=5\%$ 로 구입자의 치우침에 대한 오류를 $\beta=10\%$ 로 정하여진 샘플링 검사표

를 활용한다. 샘플링 검사에서 데이터를 시험, 측정, 분석하는 경우 반올림, 조작, 압력, 봐주기 등의 고의적인 실수와 부주의, 기술 오류 등과 같은 비의도적인 실수 등은 관리와 교육에 의해 정확도(참값:실제 데이터 값)를 보장해야 하며 이를 샘플의 신뢰성(Sample Integrity)이라고도 한다.

6.2 실험계획법에서의 오차, 정확도 및 정밀도

실험계획법(DOE: Design of Experiment)은 분산분석법(ANOVA)에 의해 인자(Factor)의 수준(Level) 또는 처리(Treatment)가 영향을 주었는가를 확인하는 검정방법이다. 3.2절과 같이 치우침(참값은 모집단) $\alpha=5\%,1\%$ 내에서 검정 결과를 해석해야 한다.

1원배치법의 ANOVA인 경우 데이터의 구조식은 $y_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$ (단, $i=1,2,\dots,l, j=1,2,\dots,m, e_{ij} \sim N(0, \sigma_E^2)$)으로 표시되며 오차항 e_{ij} 는 등분산성(Equal Variance), 불편성(Unbiasedness), 독립성(Independence), 정규성(Normality)의 기본 가정 검토를 통하여 1차적으로 정확성(참값:데이터 구조식)이 보장된다. 2차적으로 오차항 e_{ij} 는 ANOVA의 정밀도(참값:데이터 구조식)로 분석된다. 정밀도(참값:데이터 구조식)를 분석하는 ANOVA는 과대평가되는 경향이 E(V) 또는 E(MS)에서 알 수 있어 순변동에 의한 기여율로 각 인자에 의한 정밀도(참값:데이터 구조식)를 평가한다. 따라서 ANOVA에서 유의적일 경우라도 과대평가된 정밀도(참값:데이터 구조식)에 의한 방법이라는 것을 염두에 두어 기술적인 해석과 연계하여 종합결론을 내려야 한다.

ANOVA 분석 결과 유의적일 경우 3.2절과 같이 정확도(참값:모집단)의 범위를 신뢰수준 $1-\alpha=95\%,99\%$ 로 수준,처리의 구간 측정을 하는 경우 제어 인자와 같은 고정모수 인자인 경우는 정확도(참값:데이터의 구조식)용도의 t추정을 하며, 불력, 날짜와 같은 변량, 집단 인자인 경우는 정밀도(참값:데이터의 구조식)를 계산하기 위하여 E(V) 또는 E(MS)를 사용한다.

타구치(Taguchi)는 기업 내에서 품질(Quality)의 소극적 개념에서 고객의 사용조건(Use Condition)을 고려한 신뢰성(Reliability)의 적극적 개념으로 확장하고 손실함수(Loss Function)와 기능한계(Functional Limit)를 도입하여 새로운 영역의 품질공학(Quality Engineering)의 실용학문 체계를 설정하였다. 타구치 실험계획법에서는 많은 인자를 배치하기 위해 직교배열표(Orthogonal Array Table)를 사용한다.

또한 S/N 비(Signal to Noise Ratio)는 변동 계수 제곱의 역수로 분자의 시그널은 정확도(참값:데이터의 구조식), 분모의 노이즈는 정밀도(참값:데이터의 구조식)에 해당한다. 기존의 방법은 사용조건인 노이즈 정밀도(참값:데이터의 구조식)를 고려하지 않고 시그널의 정확도만을 고려하는 방법을 우선시 하여 비용과 시간도 많이 소요되며 실제 사용조건인 노이즈 변동 정밀도(참값:데이터의 구조식)에 민감하여(Sensitive to Noise) 필드에서 고장이 많이 발생하게 되어 사회적 손실을 끼치게 된다.

기존의 실험계획법의 데이터 구조식에서 $y_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$ 에서 $y_{ij} = \mu + a_i + noise + e_{ij}$

로 변경하여 과거의 미지의(Unknown), 예측불가능(Uncontrollable) 오차 부분에서 주요 과(Main Effect) 즉 시그널에 영향을 주는 사용조건인 노이즈 부분을, 제어는 불가능하나 설명은 가능한 부분으로 검출하여 정밀도(참값:데이터의 구조식)를 향상시키는 방법이다.

7. 회귀분석, 시계열 분석에서의 오차, 정확도 및 정밀도

7.1 회귀분석에서의 오차, 정확도 및 정밀도

상관분석(Correlation Analysis)은 두 데이터의 직선관계를 해석하는 방법으로 x, y 두 변수 모두 확률변수이다. 이와는 달리 회귀분석(Regression Analysis)은 x 의 고정 변수(Fixed Variable)에 대해 확률변수(Random Variable)인 y 를 함수를 이용하여 예측(Forecasting, Prediction)하는 적극적인 방식이다. 1차 (직선, 선형)회귀식인 경우 $y_j = \beta_0 + \beta_1 x_j + e_j$ (단, $j = 1, 2, \dots, n, e_j \sim N(0, \sigma_e^2)$)으로 표시되며 오차항 e_j 는 6.2 절의 실험계획법의 오차항의 가정과 같이 등분산성, 불편성, 정규성, 독립성등을 1차적으로 정확성 관점에서 체크한다.

등분산인 경우 Homoscedacity라 하고 이분산인 경우 Heteroscedacity라고 하며 독립성이 아닌 자기 상관(Autocorrelation)의 여부를 Durbin-Watson 검정으로 판별한다. 2차적으로 회귀식의 정밀도(참값 : 회귀식)를 체크하기 위해서 총 정밀도= 오차 정밀도+회귀 정밀도 즉 $\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2 = \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2 + \sum_{j=1}^n (\hat{y}_j - \bar{y})^2$ 등으로 구분하여 ANOVA 분석을 실시한다. 여기서 오차 정밀도중 정확도 부분에서 검출되지 못한 부분이 있는가를 알아보기 위해 x_j 의 수준 및 처리에 따른 \hat{y}_j 의 적합 결여 검정(Lack-of-Fit Test)을 실시한다. 오차항의 정밀도= 순수오차 정밀도+적합 정밀도

$$\text{즉, } \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \hat{y}_i) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \text{으로 구분하여 ANOVA를}$$

이용하여 검출한다. 정확성(참값 : 회귀식)을 위해 적절한 모형 선택을 위한 변수변환(Variable Transformation)과 독립변수간의 다중 공선성(Collinearity)이 없어야 바람직하나 이를 인정하는 경우 편의 추정(Biased Estimation)을 한다. 예측된 회귀식 \hat{y}_j 와 실제 데이터 y_j 와의 차이를 잔차(Residual)라고 정의하는데 이를 이용하여 이상치(Outlier) 및 영향을 크게 주는 측정값(Influential Observations)을 발견하는 회귀진단(Regression Diagnostics)은 정확성(참값 : 회귀식)을 체크하는 체계화된 학문분야이다.

이상치를 파악하는 경우 표준화 잔차, 스튜던트화 잔차 등을 사용하고 영향치를 파악하는 경우 행렬 H 의 대각선 원소, DEFIST(i), Cook의 통계량, Mahalanobis의 거리, Andrew-Pregibon의 통계량, COVRATIO, FVARVATIO 등을 이용한다.[2]

7.2 시계열 분석에서의 오차, 정확도 및 정밀도

기존의 통계적 품질 기법은 데이터를 i. i. d.(Identically and Independent Distribution)의 랜덤 샘플로 가정하였다. 그러나 자동화, 장치산업이나 이미지, 시그널 프로세싱에서는 데이터 간에 시계열로 자동상관(Autocorrelation)되어 있는 Box-Jenkins (B-J) 모형 [3]을 이용한다.

B-J는 ARMA(p,q) (Autoregressive and Moving Average)와 ARIMA(p, d, q) (Autoregressive Integrated Moving Average)등의 두 모형을 제시하였는데 p와 q는 AR 과 MA의 차수이며 d는 차분(Difference)의 약자로 비정상성(Nonstationary)을 정상성(Stationary)로 변환해 준다.

예를 들어 ARMA(1,1) 모형은 $Z_t = \phi Z_{t-1} + e_t - \theta e_{t-1}$ 로 표현되는데 Z_t 는 데이터, ϕ 와 θ 는 시계열 계수, e_t 는 오차항으로 $N(0, \sigma_e^2)$ 의 White Noise로 가정한

다. B-J모형은 ACF(Autocorrelation Function)와 PACF(Partial ACF)등을 이용하여 모형을 식별(Identification)하고, MLE(Maximum Likelihood Estimation), LSE(Least Square Estimation), EMM(Estimation Method of Moments)등을 이용하여 모형을 추정(Estimation)하고 예측 잔차들로 모형의 적합성 검진(Diagnostic Checking)을 한다.

이미지, 시그널 프로세싱의 경우 Colored Noise를 White Noise로 변환시켜 주는 Filter를 설계, 개발하는 것이 중요하기 때문에 Signal-to-Noise Ratio 로 Filter의 성능을 평가하게 한다. Colored Noise 상태는 예측 잔차들의 퍼토맨토우 검정(Portmanteau Test), 과대적합(Overfitting), 모수과다(Parameter Redundancy), 모수 절약의 원칙(Parameter Parsimony), 모수변형(Modification)[1]등의 정확성 (참값:ARMA 모형)으로 캘리브레이션 시켜야 한다. White Noise 정밀도(참값:ARMA 모형)인 경우 S/N비가 정확도(참값:ARMA 모형)와 정밀도(참값:ARMA 모형)가 최적인 필터설계가 되어 전체 오차를 감소시켜 준다.

8. 결 론

기술의 결정체인 품질향상을 위해서는 제품기술자, 생산기술자, 설비기술자, 교정기술자들의 역할이 중요하다. 이러한 고유기술자는 고객이 요구하는 스펙을 창조하고 유지하기 위해 스펙에 대한 정확도와 정밀도를 척도로 그들의 기술업무를 수행하고 있다. 본 연구에서는 오차, 정확도, 정밀도 관점에서 확률분포, 검정, 추정, SPC, 판리도, 공정능력지수, 교정, MSA의 안정성, 선형성, Gage R&R, 샘플링 이론 및 검사, 실험계획법, 타구치 S/N비, 회귀분석, 박스젠킨스 시계열 분석 등의 통계적 품질 기법을 해석하여 고유기술자들이 효율적이고 효과적으로 기술 품질향상 업무에 활용케 하여 기업의 제품 경쟁력을 제고시키는 데 있다.

향후 연구로는 스펙 중심의 업무를 다루는 고유기술자와 통계적 품질기법중심의 업

무를 다루는 관리기술자의 팀웍에 의한 오차, 정확도, 정밀도 척도의 다양한 프로젝트 사례를 개발하는 데 있다.

9. 참 고 문 헌

- [1] 김은정의, 시계열 분석 입문, 자유아카데미, 1991.
- [2] 박성현, 회귀분석, 민영사, 1991.
- [3] Box G.E.P., Jenkins, G.M., Reinsel G.C., Time Series Analysis, Prentice-Hall, 1994.
- [4] Doumas B.T., "The Evolution and Limitations of Accuracy and Precision Standards", Clinica Chimica Acta, 260 (1997) 145-162.
- [5] Elmore A.J., Mustard J.F., "Precision and Accuracy of EO-1 Advanced Land Imager (ALI) Data for Semiarid Vegetation Studies", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41, (6)(2003)1311-1321.
- [6] Junker M., Hoch R., Denger A., "On the Evaluation of Document Analysis Components by Recall, Precision, and Accuracy", ICDAR, (1999) 713-716.
- [7] Langlois R., "More Accuracy at Fixed Precision", Journal of Computational and Applied Mathematics, 162 (2004) 57-77.
- [8] Mayne J.W., "Accuracy, Precision and Reliability in Operational Research", Operations Research, 11, (6) (1963) 990-996.
- [9] Piskulic L., Racca L., Bottai H., Leiva M., "Accuracy and Precision in Measurements : Two Complementary Approaches", Teaching Statistics, 28, (1) (2000) 14-16.
- [10] Stallings W.M., Gillmore G.M., "A Note on Accuracy and Precision", Journal of Educational Measurement, 8, (2) (1971) 127-129.
- [11] Streiner D.L., Norman G.R., "Precision and Accuracy : Two Terms That are Neither", Journal of Clinical Epidemiology, 59 (2006) 327-330.
- [12] Worring M., Smeulders A.M.W., "The Accuracy and Precision of Curvature Elimination Methods", IEEE, (1992)139-142.
- [13] Yaniv I., Foster D.P., "Precision and Accuracy of Judgemental Estimation", Journal of Behavioral Decision Making, 10(1997) 21-32.

저 자 소 개

최 성 운 : 현 경원대학교 산업공학과 교수 재직 중. 한양 대학교 산업공학과에서 공학사, 공학석사, 공학박사 학위를 취득하고, 1994년 한국과학재단 지원으로 University of Minnesota에서 1년간 Post-Doc을 수행하였으며, 2002년부터 1년 8개월 동안 University of Washington에서 Visiting Professor를 역임하였음. 주요 관심분야는 경영품질시스템, 서비스 사이언스, 자동화 생산 및 장치 산업에서의 품질관리이며, 컴퓨터·정보통신시스템의 신뢰성 설계 및 분석, RFID시스템에도 관심을 가지고 있음. swchoi@kyungwon.ac.kr

저 자 주 소

최 성 운 : 경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지 경원대학교 산업정보시스템공학과