

## 6 $\sigma$ 설계에 관한 고찰

박성현

서울대학교 통계학과 교수

parksh@plaza.snu.ac.kr

### 논문초록

최근 미국의 모토롤라(주)에서 시작된 6 시그마(Six Sigma) 경영이 우리나라의 기업들에게 큰 관심의 대상이 되고 있다. 이 논문은 6 시그마 중에서 설계 및 개발분야에 사용되는 6 $\sigma$  설계(Design for Six Sigma: DFSS)에 관하여 고찰하여 보는 논문이다. 6 시그마에 관한 많은 이론이 나와 있으나 아직 DFSS에 관해서는 매우 미약한 편이다. 이 논문에서는 먼저 DFSS의 정의, DFSS 프로세스의 단계, DFSS의 로드맵 등을 먼저 다루고, 다음으로 DFSS에서 사용되는 각종의 과학적 관리기법들(품질기능전개, Scorecard, FMEA, TRIZ, 다구짜 설계 등)에 대하여 간단히 기술하기로 한다. 마지막으로 DFSS의 실무적용방법을 제안한다.

# 6σ 설계에 관한 고찰

박성현

서울대학교 통계학과 교수

parksh@plaza.snu.ac.kr

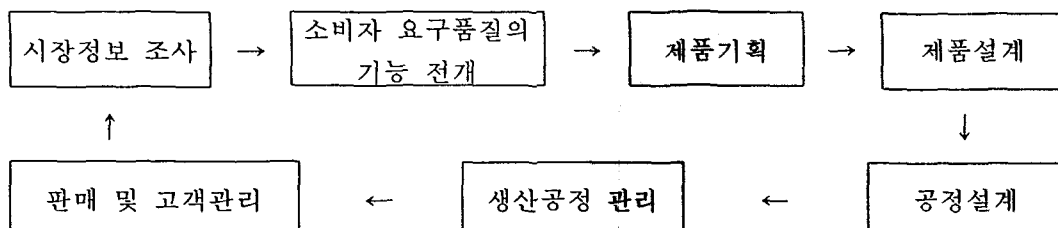
## 1. DFSS란 무엇인가?

DFSS에 대하여 정의하기 전에 먼저 6 시그마(Six Sigma) 경영혁신 전략에 대하여 간단히 설명하여 보자. 6 시그마는 1987년에 미국의 모토롤라사에서 혁신적인 품질개선을 목적으로 만든 기업경영 전략이다. 이후 미국의 GE, Allied Signal, TI, IBM 등과 일본의 소니, 필란드의 노키아 등 세계적인 초우량 기업들이 채택함으로써 널리 알려지게 되었다. 우리 나라에서도 삼성SDI, 삼성전자, LG전자, LG정보통신, 한국중공업 등에서 도입하여 품질 혁신에 성공함으로써 많은 국내 기업들이 커다란 관심을 가지고 도입을 적극 검토하고 있다.

6 시그마란 "최고 경영자의 리더쉽 아래 시그마( $\sigma$ )라는 통계척도를 사용하여 모든 품질수준을 정량적으로 평가하고, 문제해결 과정 및 전문가 양성 등의 효율적인 품질문화를 조성하며, 품질혁신과 고객만족을 달성하기 위하여 전사적으로 실행하는 종합적인 기업경영 전략"이다. 즉, 6 시그마는 통계적 척도를 사용하고, 효율적인 품질문화를 조성하기 위한 기업경영 철학이며, 종합적인 경영혁신 전략이다. 6 시그마의 궁극적인 목표는 '6 $\sigma$  제품'을 생산하여 불량률을 3.4 ppm 이하로 낮추고 고객만족을 도모하고자 하는 것이다. 참고로 '6 시그마'라고 쓸 때는 경영전략을 의미하고, '6 $\sigma$ '라고 쓸 때는 통계적 품질수준을 의미하는 것으로 이 글에서는 사용하기로 한다.

6 시그마의 목표를 달성하기 위해서는 생산부문이나 영업부문보다도 연구개발(R&D)부문이 더 중요하다고 생각한다. DFSS(6 $\sigma$ 를 위한 설계: Design for Six Sigma)는 연구개발 부문에서 6 $\sigma$  제품을 생산하기 위한 제반 프로세스를 의미한다. 신제품 개발이나 기존 제품의 품질개선 과정은 대개 <도표 1>과 같다.

<도표 1> 제품 개발의 단계



6 $\sigma$  제품의 생산은 처음에는 생산공정 관리에 중요성을 두었으나, 제품설계나 공정설계와 같은 그 앞 단계의 준비가 소홀하면 6 $\sigma$  제품의 생산은 불가능함을 인식하게 되었다. 따라서 최근에는 6 시그마 경영에서 DFSS의 중요성이 높게 부각되고 있다.

## 2. DFSS 프로세스의 단계

연구개발 및 설계 단계에서의 6 시그마 추진은 고객의 요구품질을 조사하여 기술 품질특성으로 변환하고, 부품 및 공정의 주요 품질특성을 선정하여 합리적인 방법으로 개발 설계 단계에서 6 $\sigma$  품질수준을 사전에 확보하는 과정이다. 이를 달성하기 위하여 GE에서 고안하여 사용하고 있는 IDOV(Identify(확인), Design(설계), Optimize(최적화), Validate(검증)의 약자) 단계별로 추진하는 것이 바람직하다. DFSS 프로세스를 간단히 조감하여 보면 <도표 2>와 같다.

<도표 2>에 사용되는 몇 가지 용어에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다. 이들 용어로 설명되는 기법들에 대해서는 다음에 상세히 설명하기로 한다.

CTQ: 품질에 결정적으로 영향을 주는 요소(critical to quality)를 의미한다.

QFD: 품질기능전개(quality function deployment)를 말하는 것으로, 고객의 요구를 대응 특성으로 전환하여 완성품의 설계품질을 정하고, 이를 개개의 부품 품질과 공정의 요소에 이르기까지 이들의 관련성을 계통적으로 전개하여 나가는 것.

FMEA: 고장모드 및 영향분석(failure mode and effects analysis)을 의미하는 것으로, 시스템이나 기계의 잠재 고장형태들과 이들의 영향을 조사하여 고장이 나지 않도록 예방조치를 취하는 방법.

TRIZ: 구소련에서 개발된 아이디어 발상법으로, 창조성이 뛰어난 특허들로부터 문제해결의 규칙성과 원리를 발견할 수 있도록 절차화한 이론으로 러시아어의 Teoriya Resheniya Izobretatelskih Zadach(Theory of Inventive Problem Solving을 뜻함)의 약자이다.

Gage R&R: 계측기의 반복성과 재현성(gage repeatability and reproducibility)을 의미하는 것으로, 측정시스템이 갖추어야 할 필수 요소.

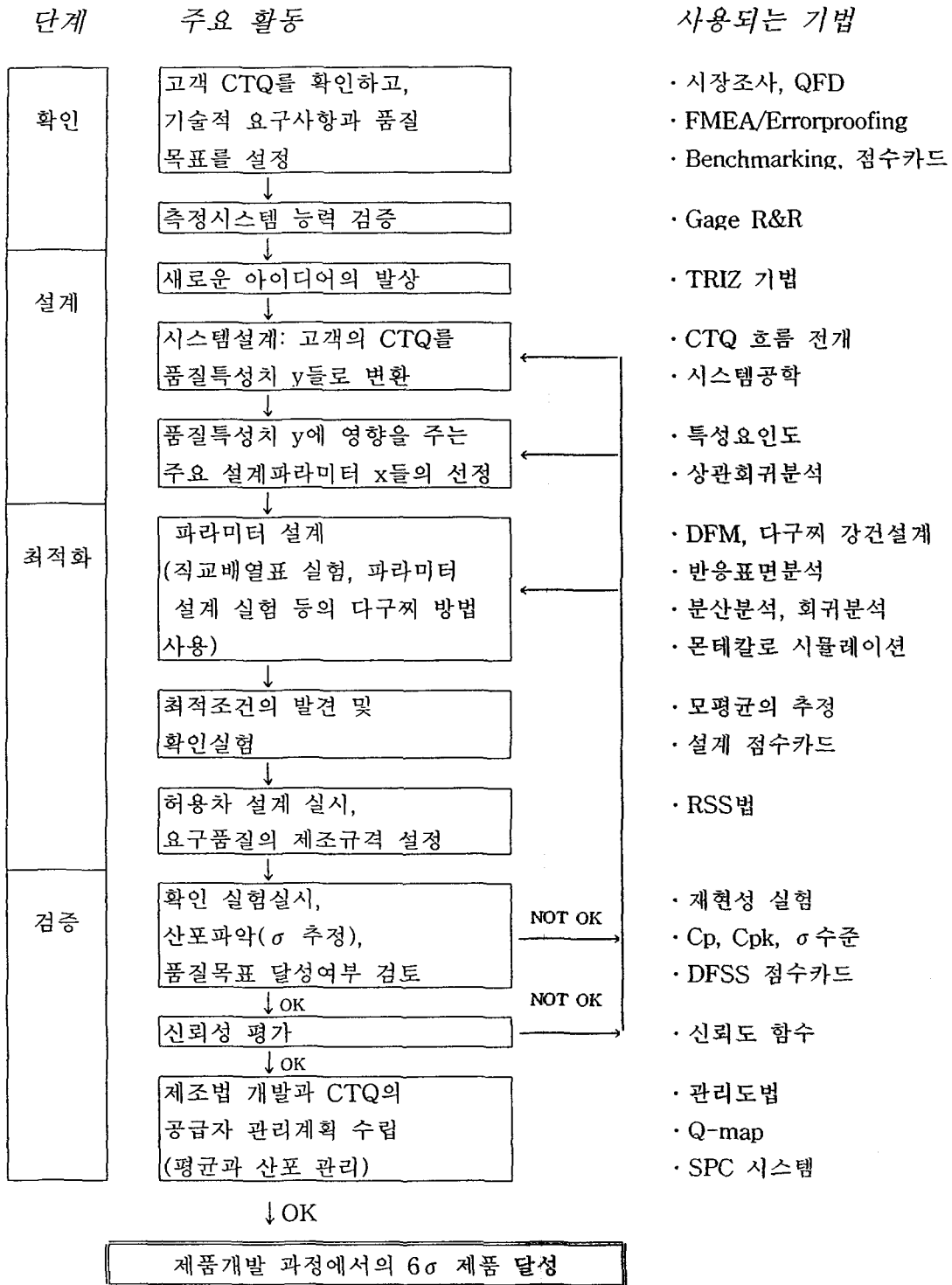
DFM: 제조가 가능하도록 하는 설계(design for manufacturability)를 뜻하는 것.

RSS: 제곱합근법(root sum of squares)을 의미하는 것으로, 시스템을 구성하는 몇 개의 부품과 치수의 능력에 근거하여 시스템 능력을 결정하는 통계적 방법.

SPC: 통계적 공정관리(statistical process control)로 제품품질을 안정적으로 생산하기 위하여 취하는 제반 통계적 방법에 의한 관리활동.

Q-map: 품질지도(quality map)를 의미하는 것으로, 제조단계별로 중요품질과 이에 영향을 주는 공정조건 등과의 관계를 흐름도로 나타낸 것.

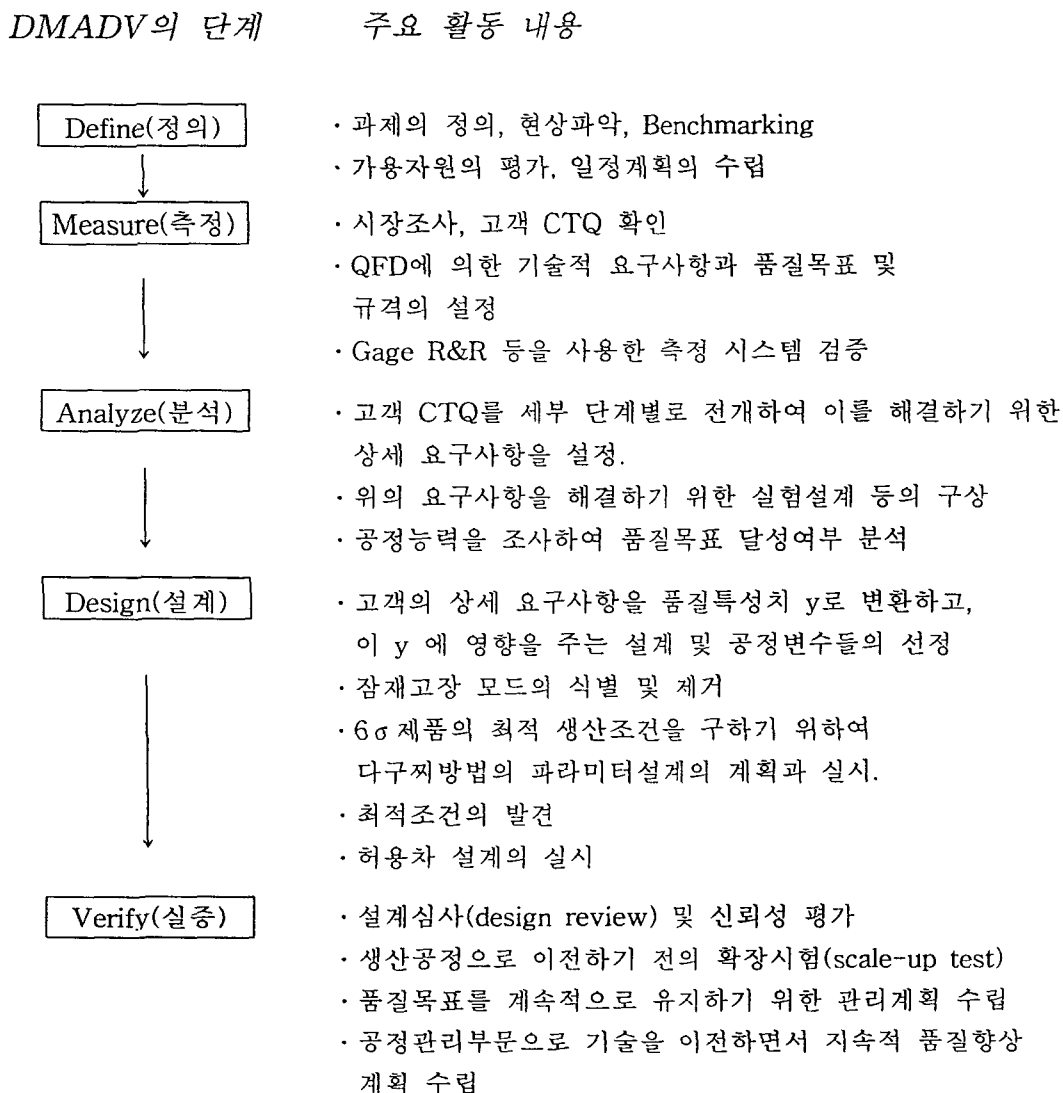
<도표 2> DFSS 프로세스 조감도



### 3. 수정된 DFSS 프로세스의 단계

6 시그마가 초기에는 제조공정에서 6 $\sigma$  제품을 생산하기 위한 품질혁신 수단으로 창안되었다. 이런 취지에서 6 시그마 프로세스를 DMAIC(Define(정의), Measure(측정), Analyze(분석), Improve(개선), Control(관리)의 약자)로 나누어 품질혁신 단계로 취급하고 있다. DFSS의 프로세스도 이와 유사하게 Motorola, GEMS(GE Medical Systems) 등에서 IDOV 대신에 DMAIC를 수정한 DFSS 프로세스로 DMADV를 사용하기도 한다. DMADV는 Define(정의), Measure(측정), Analyze(분석), Design(설계), Verify(실증)의 약자로 연구개발부서에서 사용할 수 있는 품질혁신 프로세스라고 볼 수 있다. 6 시그마를 도입하는 기업에서 DFSS로 DMADV를 선택하거나 IDOV를 선택하거나 큰 차이는 없다고 생각하며, 각 기업의 환경에 적합한 프로세스를 사용하면 좋을 것이다. DMADV의 각 단계에서 이루어지는 주요 사항을 적어 보면 <도표 3>과 같다.

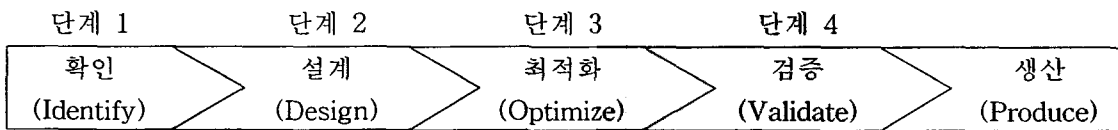
<도표 3> 수정된 DFSS 프로세스의 단계와 주요 활동



#### 4. DFSS 로드맵

앞에서 DFSS(design for six sigma: 6σ를 위한 설계)란 무엇인가를 설명하였다. 이번 호에서는 먼저 DFSS를 실행하기 위하여 사용되는 주요 기법들을 단계별 로드맵(roadmap)의 형태로 소개하고, 이 기법들에 대하여 간단히 소개하기로 한다. 기법 밑에 있는 실선은 이 기법이 직접 사용되는 단계를 의미하고, 점선은 유지·관리되는 단계를 뜻한다.

<도표 4> DFSS 로드맵



DFSS-QFD/CTQ

---

DFSS-Scorecard

---

FMEA/Errorproofing

---

TRIZ

---

Taguchi Robust Designs  
(Parameter Design, Tolerance Design)

---

Computer Simulation

---

RSS/Spec Control

---

SPC/Q-map

---

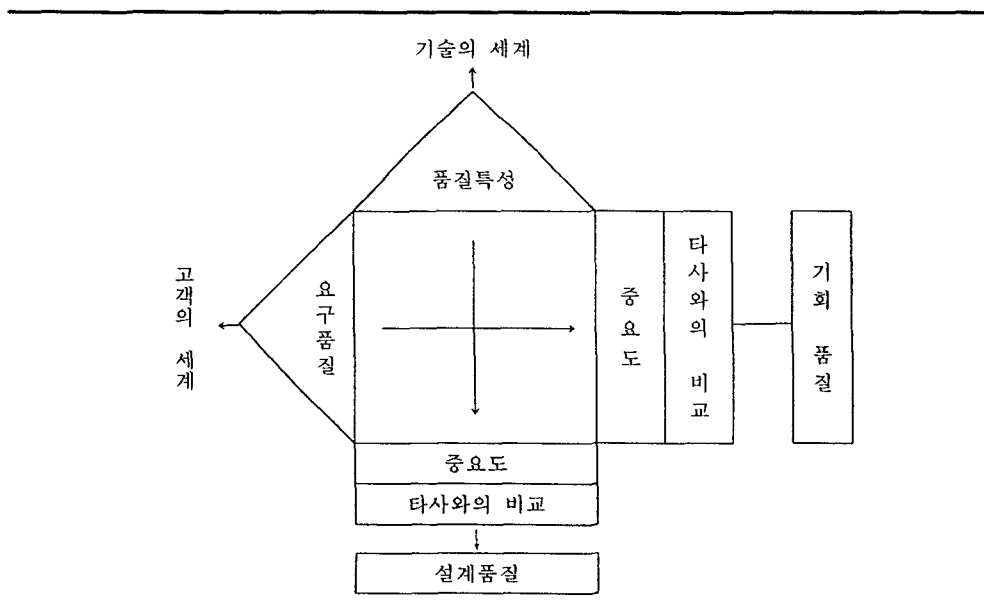
## 5. 6σ 설계를 위한 품질기능전개와 품질 주요 요소의 규명(DFSS-QFD/CTQ)

소비자가 요구하는 소리(VOC: Voice of Customers)를 제품의 대응특성으로 전환하여 제품의 설계품질을 정하고, 이를 각 부품의 기능품질, 그리고 개개의 부품 품질과 공정요소에 이르기까지 이들간의 관련을 계통적으로 전개하여 나가는 것을 품질기능전개(QFD: Quality Function Deployment)라고 부른다. QFD의 목적은 소비자의 요구를 체계적으로 반영하여 신제품개발과 품질보증을 설계 단계부터 동시에 진행시키기 위함이다.

QFD의 시작은 1972년 일본의 미쓰비시 중공업의 고베 조선소에서 원양어선 제작시 처음 개발되어 사용되었다고 한다. 엄격한 정부의 규제조항과 소비자의 요구사항을 설계 과정에서 동시에 고려하기 위한 수단으로 미쓰비시의 기술자들이 사용했던 행렬형태의 도표(이를 품질표(house of quality)라고 부름)가 QFD의 시초가 되었다. 1970년대 중반부터 도요타 자동차와 그 부품업체들은 QFD를 더욱 발전시켰다. 도요타는 QFD의 사용을 통하여 1977년부터 1984년 사이에 생산직전 단계까지의 비용을 60% 가량 절감하였고, 시장 출고까지의 시간도 1/3 가량으로 단축시켰었다. 80년대 중반부터 일본의 대기업들은 물론, 미국의 Motorola, DEC, HP, AT&T, Kodak, GM, Ford 등에서 적극적으로 QFD를 도입하여 큰 성과를 거두고 있다. 1989년부터 American Suppliers Institute 주최로 매년 열리고 있는 USA QFD Symposium에서는 수많은 성공사례들이 발표되고 있다.

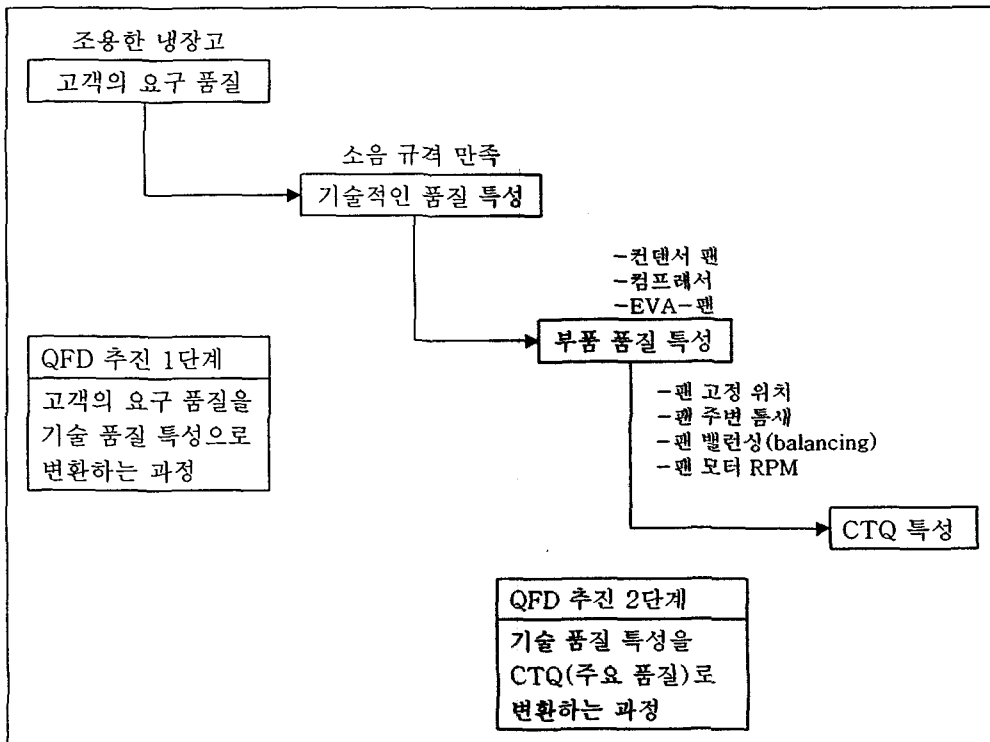
품질표란 소비자가 요구하는 품질을 기능중심으로 체계화하고, 이것을 대응특성으로 전환하여 전개한 다음 양자간의 관련성을 이원표로 작성한 것으로, 소비자의 요구를 반영하는 품질설계를 할 때 중요한 역할을 한다. 품질표의 구성은 <도표 5>와 같다.

<도표 5> 품질표의 구성



CTQ(critical to quality)는 고객이 요구하는 품질에 결정적인 영향을 미치는 요소를 의미한다. CTQ는 고객의 요구사항을 QFD 분석을 실시하는 과정에서 얻어지는 경우가 흔하다. QFD는 제품계획 단계, 부품개발 단계, 프로세스 단계, 생산단계에서 모두 사용될 수 있는데, 일반적으로 앞의 1, 2 단계에서 더욱 중요한 역할을 한다. 예로, 고객이 조용한 냉장고를 요구하였을 때, 이를 QFD를 통하여 부품에서의 CTQ를 찾는 과정을 그림으로 보이면 <도표 6>과 같다.

<도표 6> 조용한 냉장고 개발을 위한 QFD 추진 1, 2 단계



QFD를 좀더 자세히 알고 싶은 독자는 참고문헌(2, 3)을 참고하여 주시기 바란다.

## 6. 6σ 설계를 위한 성과측정기록표(DFSS-Scorecards)

경영학에서 사용되는 'scorecard'의 개념은 참고문헌(11, 12)에서 소개된 균형 잡힌 성과측정기록표(balanced scorecard)에 근거하여 기업의 각종 성과측정에 사용되고 있다. 이 참고문헌에서는 기업활동의 영역을 4개(재무, 고객, 내부 비즈니스, 혁신과 학습)로 구분하여 장기적 목표와 단기적 목표간, 재무적 측정지표와 비재무적 측정지표간, 후행지표와 선행지표간, 그리고 성과에 대한 외부적인 시각과 내부적 시각간에 차이를 기록하여 중점적으로 개선할 부문이 무엇인가를 인식하는데 성과측정기록표를 사용하였다.



DFSS에서 사용되는 성과측정기록표는 QFD를 통하여 CTQ들이 확인되었을 때, 이 CTQ들이 어느 정도의 시그마 품질수준을 가지고 있는가를 측정하여 기록하는 용도로 사용된다. 시그마 수준이 가장 나쁜 CTQ에 대해서는 집중적인 개선활동이 따라야 할 것이다. 성과측정기록표도 그 용도에 따라서 공정(process), 임원(top level), 품질(quality), 설계(design)용 등으로 구분하여 사용되기도 한다. 참고문헌(9, 10)을 보면 도움이 될 것이다. 대표적인 공정용 성과측정기록표의 예를 5개의 CTQ에 대하여 보이면 <도표 7>와 같다. 여기서 LSL, USL은 각각 규격하한과 규격상한을 의미하고, s는 표준편차를 뜻한다. 그리고 DPMO는 백만기회당 결함수를 의미한다.

<도표 7> 공정용 성과측정기록표

Process	CTQ	LSL	USL	Mean	s	DPMO	Z <sub>l</sub>	Z <sub>s</sub>
P1	CTQ1	-1	1	-0.021	0.340	3,338	2.71	4.21
	CTQ2	-1.14	1.14	0.02198	0.2901	91	3.74	5.24
P2	CTQ3	1.0	2.1	1.5714	0.1556	458	3.32	4.82
	CTQ4	-	0.57	0.1647	0.0998	25	4.06	5.56
	CTQ5	90	-	98.9355	2.4655	147	3.62	5.12

총 CTQ 수 = 5 개

DPMO 합계 = 4,059, DPMO 평균 = 812

평균 Z<sub>l</sub> = 3.15, Z<sub>s</sub> = 4.65

<도표 7>에서 장기간의 Z 값(Z<sub>l</sub>)과 단기간의 Z 값(Z<sub>s</sub>)의 계산 방법을 CTQ1에 대하여 보이면 다음과 같다. 여기에서 P<sub>LSL</sub>, P<sub>USL</sub>, P<sub>TOT</sub>는 각각 규격하한을 넘어가는 불량률, 규격상한을 넘어가는 불량률, 전체 불량률을 의미하고, Z<sub>l</sub>은 평균의 1.5σ 변동을 고려한 장기간의 품질수준(2.71σ)이고, Z<sub>s</sub>는 평균의 1.5σ 변동을 생각하지 않는 단기간의 품질수준(4.21σ)이다.

$$Z_{LSL} = \frac{\text{Mean} - \text{LSL}}{s} = \frac{-0.021 - (-1)}{0.340} = 2.88 \Rightarrow P_{LSL} = 0.0019884$$

$$Z_{USL} = \frac{\text{USL} - \text{Mean}}{s} = \frac{1 - (-0.021)}{0.340} = 3.00 \Rightarrow P_{USL} = 0.0013499$$

$$P_{TOT} = P_{LSL} + P_{USL} = 0.0033383 \Rightarrow Z_l = 2.71 \Rightarrow Z_s = Z_l + 1.50 = 4.21$$

<도표 7>의 성과측정기록표를 살펴보면 CTQ1이 가장 품질수준이 불량하며, 이를 시급히 개선하도록 프로젝트를 만들어 추진하는 것이 필요하다 하겠다.

## 7. 고장모드영향분석과 고장발생의 근원적 제거(FMEA/Errorproofing)

고장모드영향분석(FMEA: failure mode and effects analysis)은 개발 시스템의 잠재적인 고장 모드를 찾아내어 그 영향을 조사/평가하여, 영향이 큰 고장 모드에 대한 적절한 대책을 세워 미연에 고장을 방지할 수 있는 시스템 신뢰성 분석기법이다. 이 FMEA는 고장발생 가능성을 근원적으로 제거(errorproofing)하기 위하여 필수적으로 사용되어야 할 도구이다.

FMEA는 50년대초 미국에서 해군기용 주조 시스템설계 개발에 처음으로 사용된 이래, 60년대 중반 아폴로 인공위성 발사계획에서 광범위하게 활용되었고, 74년에 미해군에서 FMEA 활용에 관한 규격(MIL-STD-1629)을 제정하여 널리 보급되기 시작하였다. 최근에는 자동차, 전기전자제품 등의 시스템 신뢰성을 위한 중요한 도구로 애용되고 있다. FMEA도 그 사용용도에 따라서 다음과 같이 5개로 나누어진다.

- (1) Design FMEA: 개발단계에서의 결함으로 인해 제품에 발생할 수 있는 잠재적인 고장을 분석.
- (2) Process FMEA: 제조공정 단계에서 설계된 사항이나 규격을 준수하지 않아서 생길 수 있는 잠재적인 고장을 분석.
- (3) Project FMEA: 주요 프로그램 중에 발생할 수 있는 고장 유형을 분석.
- (4) Software FMEA: 소프트웨어 작동과 관련된 고장 유형을 분석.
- (5) System FMEA: 제품 구상단계의 초기에 시스템과 하위 시스템 수준에서 기능상의 고장유형을 분석.

FMEA를 적절히 사용하면 제품에 대한 know-how를 쉽고 완전하게 이해할 수 있고, 개발시간 및 개발비용을 절감할 수 있다. 또한 Recall/고장보수에 대한 발생빈도 및 심각도를 감소시킬 수 있고, 결국 향상된 품질제공으로 고객만족을 이룰 수 있는 것이다. FMEA에 대한 상세한 설명은 참고문헌(2, 3)을 참조하기 바란다.

## 8. 창조적 과제해결 이론(TRIZ)

TRIZ는 러시아어의 Teoriya Resheniya Izobretatelskih Zadach의 약자로 창조적 과제해결 이론(Theory of Inventive Problem Solving)을 뜻하는 말이다. TRIZ는 1946년부터

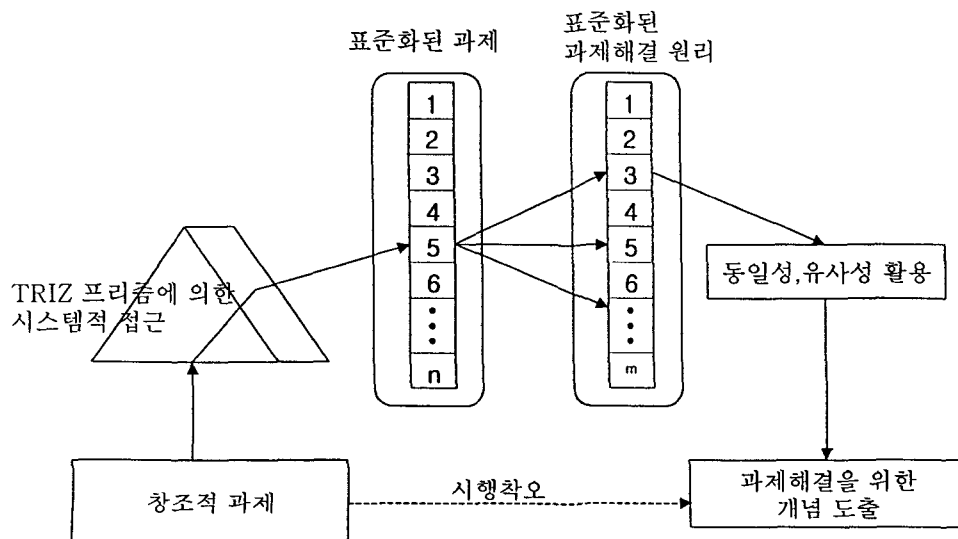
터 구소련에서 연구되기 시작한 것으로 창시자는 Genrich H. Altshuller이다. TRIZ는 창조성이 뛰어난 특허들로부터 과제해결의 규칙성과 원리를 발견하여 절차화한 방법론으로, 체계화된 과학과 공학분야의 다양한 지식으로부터 과제해결의 아이디어를 얻는 방법론이다. Altshuller와 TRIZ 연구기관에서는 먼저 세계적으로 알려진 200,000건의 특허(patents)와 창조적 특허(inventive patents) 40,000건을 분석하여 창조적 과제(종래의 기술로는 해결할 수 없는 기술적 장벽을 가지고 있는 과제)의 특징을 분석하고, 이 과제들의 해결방법들을 기능적으로 정리/분류하여 과제해결을 위한 원천지식으로 이용하고자 한 것이다.

TRIZ는 시스템 진화의 형태(pattern of system evolution)에 관한 정보를 담고 있다. 기술적 시스템이 진화/발전하는 데에는 일정한 형태가 있으며, 기술분야와 시대적 상황이 다르다 하더라도 시스템의 발전에는 동일한 형태가 적용된다는 것이다. 이러한 형태를 활용하여 제품/공정 시스템의 새로운 기술을 개발할 수 있을 것이다.

TRIZ는 서로 상이한 기술분야의 과제라 하더라도, 또한 시대적 차이가 있다 하더라도 동일한 과제해결원리가 반복적으로 사용될 수 있다는 점에 착안하고 있다. 이러한 창조의 동일성(regularity of invention)을 추출하여 당면 기술/시스템 과제를 혁신하는데 과거의 원리가 재 사용될 수 있는 것이다.

TRIZ 소프트웨어는 6,000개에 이르는 물리, 화학, 기하학 등에 관련된 자연법칙과 적용사례를 검색할 수 있도록 지원하고 있으며, 수행하고자 하는 기능을 키워드로 하여 관련된 기술원리와 지식들을 검색할 수 있으며, 또한 동일한 기능을 구현하는 여러 가지 방법들을 찾을 수 있도록 지원하고 있다. TRIZ에서의 일반적인 과제해결 단계는 <도표 8>와 같다.

<도표 8> TRIZ의 과제해결 단계



TRIZ를 사용하면 전통적인 제품개발 방법론들과의 시너지 효과를 내어 기술개발 프로세스를 가속화시킬 수 있을 것이다. 이러한 가속화는 신제품 개발시간과 투자자원을 줄일 수 있으며, 기술적 고정관념의 한계를 극복하여 창조적 기술력을 향상시킬 수 있을 것이다. 외국에서는 이미 연구개발 부문에 TRIZ를 상당부분 사용하고 있으며, 우리나라에서의 적용현황을 살펴보면, LG는 96년에 이미 LG전자에서 도입하여 교육과정을 상설 운영하고 있으며, 삼성은 99년에 삼성SDI내에 러시아 전문가를 채용하여 활용 중이며, 삼성종합기술원에서도 적용사례가 나오고 있다. 현대에서는 99년에 현대반도체를 중심으로 도입하여 활용을 시도하고 있다. TRIZ에 대한 상세한 설명은 참고문헌(1)을 보면 도움이 될 것이다.

## 9. 다구찌 강건설계(Taguchi Robust Designs)

일본의 다구찌 박사에 의하여 제안된 강건설계는 제품이나 공정을 설계할 때에 제품의 성능 특성치가 잡음에 둔감하도록(robust to noises) 하면서, 적은 실험회수로 성능 목표치가 허용한계를 만족시키는 설계변수들의 최적조건을 찾아가 주는 실험설계 방법이다. 강건설계는 파라미터 설계(parameter design)와 허용차 설계(tolerance design)로 나누어진다.

파라미터는 제품성능의 특성치에 영향을 주는 제어가능한 인자(controllable factor)를 의미하며, 파라미터 설계는 제품의 품질변동이 잡음에 영향을 작게 받으면서 목표품질을 가질 수 있도록 파라미터들의 최적조건을 찾는 실험계획 방법이다. 이 때 목표품질을 만족시키는 범위 내에서 가능한 한 비용이 적게 드는 조건이나 부품 등을 이용하여야 하며, 실험회수를 최소화하기 위하여 직교배열표(orthogonal arrays)를 흔히 사용한다. 파라미터 설계에 의하여 최적조건을 구하였으나 품질특성치의 변동이 만족할 만한 상태가 아닌 경우에 허용차 설계가 수행된다. 허용차 설계는 품질변동에 큰 영향을 주는 원인을 찾아내어 허용차를 줄이는 방법을 강구하는 실험계획 방법으로 여기에서도 흔히 직교배열표가 사용된다.

강건설계의 추진 단계를 표로 만들어 보면 <도표 9>과 같다. 좀더 상세한 강건설계의 설명은 참고문헌(2, 4, 8)을 참조하면 좋을 것이다.

<도표 9> 강건설계의 추진 단계

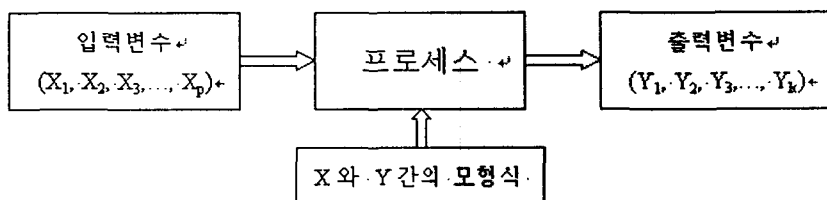
단계	단계별 추진 항목	추진 내용	추진 기법	
계 획 (P)	현 황 파 악	1. 대상 테마 CTQ 선정	①고객·공정·부품·설계 CTQ 선정 ②대상 제품 선정	-매트릭스도법 -파레토그림
		2. 선정동기 및 정의	①CTQ 실험의 정의 ②프로세스 구조 및 문헌 자료 조사 ③기본기능의 원류 특성 명확화	-프로세스 구조도 -품질기능전개
		3. 측정 계측기의 신뢰성 평가	①계측기의 R&R 평가 ②정확도·안정성·직선성 평가 ③이동·설비 장착·금형 셋업 계측기	-차별력 -R&R평가표 -정밀·정확도
	원 인 도 출	4. 설계파라미터 도출	①품질 특성 기능과 원인 추구 ②관찰 연구 데이터 수집 및 분석 ③설계변수의 우선 순위화 ④아이디어 발상 및 정리	-FMEA/FTA -중회귀분석 -OBS법
		5. 주요 인자 구분 및 흐름도	①주요 설계 변수 선정 ②신호·제어·잡음·기록 인자 선정	-프로세스 차트
		6. 실험 인자 및 수준수 결정	①실험 인자 다수 선정 ②실험 수준수(2~3)결정 ③혁신안 발상 및 정리	-실험 인자 및 수준 선정표 -혁신안 체계표
실 시 (D)	원 인 분 석	7. 실험 배치 및 설계	①다수 인자 실험 설계 ②소수 인자 실험 설계 ③조합오차 인자 설계	-직교표(L <sub>18</sub> , L <sub>12</sub> ) -요인실험법
		8. 실험 실시 준비 및 중간 발표	①실험 실시표 작성 ②예산 승인 확보 ③중간 발표	-실험실시표 -중간 발표
		9. 실험 데이터 수집 및 정리	①실험 실시 기간 1~3주 이내 ②동 특성 및 정 특성 SN비 정리 ③ANOVA 및 최적화 분석	-간이분석표 -분산분석표
검 토 조 치 (A)	처	10. 최적조건의 재현성 실험	①최적 조건 확인 실험 ②예측 구간 설정	-신뢰 구간 추정
		11. 허용차 설계	①인과 관계 허용차 설계 ②허용차 설계분석 ③인과 관계 허용차 결정	-허용차 설계 -직교표
	방	12. 효과 파악 및 표준화	①유무형 효과 파악 ②최적 조건 표준화 ③설계 산식 표준화 ④목표 미달시 1단계로 전환	-L(y) -설계함수식
		13. 사후 관리 및 향후 계획	①관리용 관리도 작성 ②최종 보고서 작성	-관리 그래프 -관리도

## 10. 컴퓨터 시뮬레이션(Computer Simulation)

DFSS에서 사용되는 컴퓨터에 의한 시뮬레이션은 프로세스 시뮬레이터(process simulator) 개발과 확률적 공차설정(probabilistic tolerancing)을 위한 몬테칼로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation: MCS)로 나누어진다. 프로세스 시뮬레이터 개발은 <도표 10>에서와 같이 프로세스로 들어가는 입력 변수가 다수 있고 프로세스에서 나가는 출력

변수가 여러 개 있을 때 이들간의 함수관계를 통계적인 방법으로 추정한 모형식(이를 시뮬레이터라 부른다)을 만드는 것을 말한다.

<도표 10> 프로세스 시뮬레이터 개발 관계도



모형식은 각각의 출력변수  $Y_i$  가 입력변수들과 갖는 함수관계

$$Y_i = f(X_1, X_2, \dots, X_p), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

를 과거 데이터나 실험에 의한 추가 데이터 수집에 의하여 중회귀분석 방법으로 추정된 방정식이다. 이러한 시뮬레이터를 개발한다면 프로세스에서 출력변수들의 값을 최적화시킬 수 있는 입력변수들의 조건을 실제 실험을 통하지 않고도 쉽게 찾을 수 있는 장점이 있다.

다음으로 확률적 공차 설정 시에 사용되는 몬테칼로 시뮬레이션(MCS)은 조립품이 여러 개의 부품으로 구성될 때 정확한 공차를 설정하기 위하여 사용되는 분석모델로서, 변수들간의 확률모형을 설정한 후, 컴퓨터로 확률변수(random variable)를 발생시켜 그 결과를 평가하고 공차를 안전하게 설정하여 주는 기법이다. MCS의 실시 단계는 다음과 같이 보통 5 단계로 나뉘어진다. 입력변수가 2개이고 출력변수가 하나인 경우의 예를 들어 설명하여 보자. 더 상세한 설명은 참고문헌(2, 6, 10)을 참조하여 주기 바란다.

- (1)  $X_1, X_2, Y$ 에 관한 충분한 과거 데이터를 수집하거나 문헌조사로 이들간의 관련성을 조사한다.
- (2) 식(1)과 같은 확률 모형식을 기존의 정보를 활용하여 수학적 모형을 가정한다.  
(예:  $Y = 4.976 - X_1 - X_2$ )
- (3) 입력변수  $X_1, X_2$ 의 확률분포를 가정(평균, 표준편차와 분포의 모양)하고  $X_1$ 과  $X_2$ 의 확률변수값들을 컴퓨터로 발생시킨다.
- (4) 모형식으로 얻어지는 출력변수  $Y$ 값들의 변화를 조사한다.  $X_1$ 과  $X_2$ 가  $Y$ 에 주는 영향관계를 검토하고, 만족스럽지 못한 경우에는  $X_1$ 과  $X_2$ 의 더 좋은 조건을 새로이 정하거나, 아니면 단계 (2)로 돌아가서 확률 모형식을 새로이 설정한다.
- (5) 시뮬레이션 결과를 평가하여 공차의 허용한계를 최종적으로 결정한다.

## 11. 제곱합근(Root Sum of Squares: RSS)법

제곱합근법은 조립제품이 여러 개의 구성부품으로 되어 있을 때에 구성부품들의 공차들과의 관계를 고려하여 조립제품의 공차를 설정할 때 사용하는 기법이다. 여기서 사용되는 기본적인 원리는, 만약 하나의 시스템이  $k$ 개의 독립적인 부품으로 연결되어 있고 각 시스템의 길이의 표준편차가  $\sigma_i$  라면, 이 시스템의 표준편차는

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2}$$

으로 계산된다는 것이다.

제곱합근법에 의하여 공차를 설정하는 간단한 예를 들어보자. 신제품으로 개발되는 조립제품이 두 개의 부품으로 연결되어 있고, 두 개의 부품이 서로 독립적으로 생산된다고 하자. 부품 1과 2는 각각 평균과 표준편차가  $\mu_1=3.100\text{mm}$ ,  $\sigma_1=0.008\text{mm}$ 이고,  $\mu_2=2.010\text{mm}$ ,  $\sigma_2=0.005\text{mm}$ 일 때에 조립제품의 규격을  $6\sigma$  한계에 두고 싶다면 규격하한과 상한을 어떻게 설정하면 좋겠는가? 조립제품의 평균과 표준편차는

$$\mu_{(1+2)} = \mu_1 + \mu_2 = 3.100 + 2.010 = 5.110 \text{ mm}$$

$$\sigma_{(1+2)} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{0.008^2 + 0.005^2} = 0.0094 \text{ mm}$$

이므로,  $6\sigma$  한계를 갖는 규격은

$$\text{규격하한} = \mu_{(1+2)} - 6 \sigma_{(1+2)} = 5.110 - 6 \times 0.0094 = 5.0536 \text{ mm}$$

$$\text{규격상한} = \mu_{(1+2)} + 6 \sigma_{(1+2)} = 5.110 + 6 \times 0.0094 = 5.1664 \text{ mm}$$

이 된다.

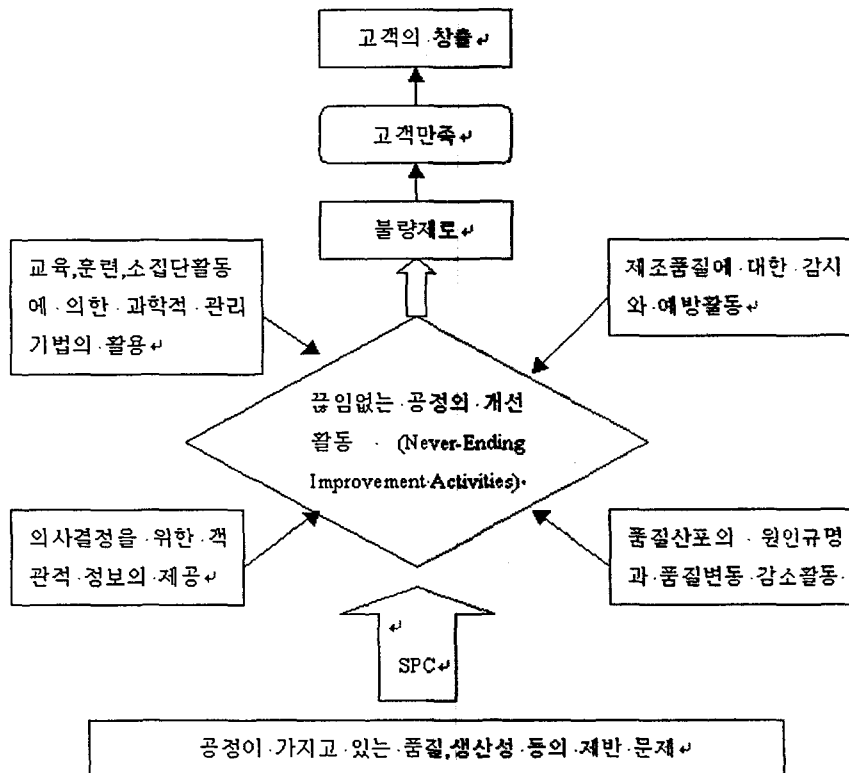
제곱합근법의 원칙을 이용하여 여러 가지 형태의 조립제품의 공차를 설정할 수 있으므로, 제곱합근법은 공차 설정법으로 유용하게 사용된다. 기타 상세한 내용은 참고문헌 (2, 5)을 참조하여 주기 바란다.

## 12. 통계적 공정관리/품질지도(SPC/Q-map)

$6\sigma$  제품을 생산하기 위하여 DFSS 단계에서 각종 기법을 활용하여 잘 설계가 되었다 하더라도 이 제품을 생산하는 단계에서 공정관리가 잘못된다면  $6\sigma$  제품은 만들어지

지 않을 것이다. 통계적 공정관리(Statistical Process Control: SPC)란 통계적 자료와 분석기법을 활용하여 공정의 품질변동을 주는 원인과 공정의 능력상태를 파악하여 품질목표가 달성될 수 있도록 관리하여 나가는 방법을 말한다. SPC의 목표는 공정의 활동상태를 객관적 데이터에 의하여 파악하고, 양호한 제품이 생산될 수 있도록 관리해 줌으로써, 불량제로에 도달하고 고객만족을 도모하는 것이다. 이와 같은 SPC의 목표는 끊임없는 공정의 개선추구 활동으로 가능하며, <도표 11>에서와 같이 네 가지 활동요소가 필요하다.

<도표 11> SPC의 목표에 이르는 활동요소



품질지도(Q-map)는 품질이 형성되는 공정의 흐름을 도시하고, 품질형성에 중요한 영향을 주는 CTQ들을 관리항목으로 선정하여 그 관리방법을 구체적으로 적은 것으로, 품질이 안정되게 생산될 수 있도록 관리기준, 관리방법, 데이터 정리방법, 담당자 등을 규정하여 궁극적으로 원하는 품질보증이 되도록 유도하는 관리지침이다. 품질지도의 일반적인 구성도는 <도표 12>과 같다.



<도표 12> 품질지도의 구성도

공정 구분 코드	공정 흐름 도	공정 명	관리 항목	관리 기준	경고 수준	관리방법			데이터 정리		QA	COST			불량항목					이상시 조치	
						시료 크기	관리 주기	측정 기 당	담 기 당	주 기 당		A	B	C	a	b	c	d	e	방 법	조치 담당

### 13. DFSS의 실무적용 방법

기업의 R&D 부문에서 DFSS를 그대로 적용하기 위해서는 지난 2월 호에서 자세히 설명된 IDOV[Identify(확인), Design(설계), Optimize(최적화), Validate(검증)] 단계나 DMADV[Define(정의), Measure(측정), Analyze(분석), Design(설계), Verify(실증)] 단계를 하나씩 하나씩 순서대로 밟아 나가야 한다. 이 단계를 밟아 나갈 때 사용되는 주요 기법 8가지에 대해서는 지난 3월 호에서 4가지, 이번 호에서 4가지로 나누어 설명하였다.

DFSS를 처음으로 도입하는 연구소에서는 IDOV(또는 DMADV) 단계가 번거롭게 보일 수도 있으나, 이 단계를 밟아 가며 익숙해지면 이것이 매우 과학적이고 고객만족의 지름길임을 알 수 있을 것이다. DFSS의 도입을 강력히 추진하기 위해서 필요한 기타 사항들에 대해서 몇 가지 적어보면 다음과 같다.

- (1) DFSS가 생소한 기법인 만큼 DFSS 추진부서가 있어야 한다. 누군가 책임을 갖고 추진하는 사람이 없으면 추진이 어려운 것이 우리 기업의 현실이다. 추진부서의 이름은 'DFSS 추진팀', '6 시그마 경영혁신팀', 또는 '6 시그마 추진팀' 등으로 부르면 좋고, 추진부서의 위치는 연구소장 직속으로 하는 것이 바람직하다.
- (2) DFSS를 제대로 추진하려면 여러 가지 사용기법들을 익혀야 함으로 충분한 교육이 필수적이다. 교육과정을 교육내용의 깊이에 따라서 White Belt, Green Belt, Black Belt, Master Black Belt, Champion 과정 등으로 나누어 체계적으로 연구원들을 교육시켜야 한다.
- (3) 연구소에 DFSS를 제대로 이해하고 추진할 수 있는 인력이 없는 경우에는 외부의 고문(consultant)을 일정 기간 사용할 필요가 있다. DFSS는 상당히 전문적인 지식을 요구함으로 도입 초기에 투자가 불가피한 경우도 있다.
- (4) 일반적으로 연구원들은 새로운 경영기법의 도입을 싫어하는 경향이 있으므로 DFSS

의 도입을 촉진하기 위해서 DFSS 기법을 먼저 활용하여 성과를 올리는 연구원에게 보상하여 주는 incentive 제도를 가질 필요가 있다. 기업문화에 어울리는 보상제도는 6 시그마 추진에서 바람직하다.

(5) 마지막으로 DFSS가 제대로 추진되려면 영업부서 및 생산부서와 유기적인 협조관계가 이루어져야 한다. 영업부서는 고객의 소리를 연구소에 보내주는 역할을 하고, 생산부서는 설계된 제품을 제대로 생산하기 위하여 SPC/Q-map을 실천하는 부서이다. 영업, 연구, 생산부서의 일사불란한 협조체제의 구축 없이는 DFSS 추진이 사실상 어려운 것이다.

## 참고문헌

1. 김영일: Introduction to TRIZ, 한국 ASI, 1999.
2. 박성현, 이명주, 정목용: 6 시그마 이론과 실제, 한국표준협회, 1999.
3. 박성현, 박영현, 이명주: 통계적 공정관리, 민영사, 1997.
4. 박성현: 품질공학, 민영사, 1993.
5. 박성현, 박영현: 통계적 품질관리, 민영사, 1995.
6. 삼성전관 DFSS 연구회: Design for Six Sigma(II), 삼성전관, 1999.
7. 삼성종합기술원: Six Sigma White Belt 교재 Version 2.0, 1999.
8. 田口玄一: 品質工學講座 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 編, 日本規格協會, 東京, 1988.
9. Pierre Chemarin, Gary Cyr, Steve Fleming, Patty Franzel and Kesiah Nuttall: Transactional DFSS at GEMS, GE Medical Systems, 1998.
10. Harry, Mikel: The Vision of Six Sigma: Tools and Methods for Breakthrough, Sigma Publishing Company, 1994.
11. Kaplan, Robert and Norton, David: "The balanced scorecard - measures that drive performance", Harvard Business Review, 1992.
12. 로버트 캐플런 · 데이비드 노튼 저, 송경근 · 성시중 옮김: 가치실현을 위한 통합경영 지표 BSC, 한국언론자료간행회 출판, 1998.