

## 식스시그마 기법을 응용한 Purified Terephthalic Acid 제품의 품질 향상

김민진, 한중훈, 노의철\*, 이우창\*, 이경훈\*

포항공과대학교 화학공학과, 아이시스텍주식회사, 삼성석유화학주식회사\*

### Quality Improvement of a Purified Terephthalic Acid Product using Six Sigma Technique

Minjin Kim, Chonghun Han, Eui Chul Noh\*, Woo Chang Lee\*, Kyung Hoon Lee\*

Department of Chemical Engineering, POSTECH and ISYSTECH

Samsung Petrochemical Co., LTD\*

#### 서론

전 세계의 산업계가 무한 경쟁의 시대 21세기를 맞이하면서 품질에 대한 관심이 고조되고 있다. 1987년, 미국의 Business Week에서는 1970년대 미국 산업 전반이 일본 제품에 고전한 이유를 품질이라 규명한 바 있으며 이어 1999년, 고가의 고품질 제품이 저가의 제품에 비해 오히려 넓은 시장 규모를 확보하여 높은 수익을 올리는 사실을 조사 발표하였다. 이와 더불어 품질관리기법 또한 빠르게 변모해왔다. quality control (QC), total quality control (TQC), total quality management (TQM)과 같은 전통적인 품질관리 운동의 목표는 최종 생산품의 불량률을 줄이는 것이었다. 생산 과정에서 불량품이 나오는 것엔 별 관심이 없었기 때문에 실제로 생산된 제품은 출하된 제품의 평균 2~3배에 달하여 큰 품질 실패 비용을 야기시켜왔다. 이에 반해 식스시그마 품질혁신 기법은 불량이 일어날 수 있는 원인을 근본적으로 제거하는 데 그 초점이 맞춰진다 (Hahn et al., 2000). 식스시그마는 Motorola의 Mikel J. Harry에 의해 1987년 창안된 이래 Texas Instrument, GE, SONY, ABB, Nokia, Dow Chem., LG, SK 등에서 성공적으로 적용되었거나 적용 중에 있다 (Hahn et al., 2000). 하지만 식스시그마가 품질혁신을 위한 훌륭한 전략적 기틀임은 틀림없으나 품질 저하 원인을 규명하고 제거하여 실질적인 품질 개선에 이르는 세부적인 방법론은 대상 공정의 특성에 따라 천양지차를 보이므로 품질혁신 성과를 달성하기 위해서는 목적에 가장 잘 부합하는 품질 개선안을 찾는 작업이 매우 중요하다 (Montgomery, 2001). 특히 화학 공정은 대부분이 복잡한 인과관계와 강한 비선형 상관관계를 보이므로 품질을 좌우하는 인자를 규명, 조절하여 품질을 개선하는 일련의 작업은 그리 쉬운 일이 아니다. 본 연구는 삼성석유화학의 purified terephthalic acid (PTA) 생산공정을 대상으로 식스시그마가 추구하는 품질혁신 전략을 기틀로 삼아 거기에 센서 검증 및 보정, 다변량 통계적 분석법, 제어시스템 분석법, 실험계획법 등 화학공정의 문제해결에 적합한 세부적인 기법 (Mast et al., 2000) 들을 도구로 활용하여 제품의 품질을 개선하는 방법론을 개발하고 개발된 방법론을 적용하여 목표치의 92%에 달하는 품질 개선을 달성하였다.

#### 식스시그마 품질 혁신 기법

식스시그마는 제품의 에러 발생률을 1백만개당 3.4회로 한다는 아주 높은 차원에 목표를 두고 있는 전사적 경영 혁신 활동이다. 식스시그마는 크게 다음 세 가지의 기치를 갖는다. 첫째 제품  
*화학공학의 이론과 응용 제8권 제2호 2002년*

및 제조 프로세스의 무결점 지향을 목표로 한다. 단지 출하 제품의 품질만을 관리하는 것은 사이클타임 장기화, 과잉 품질 발생, 생산계획 및 설계 변경, 제품 검사 및 수리비용 유발, 납품 지연, 브랜드 이미지 손상, 제품 생산비 증가 및 매출저하 등의 막대한 품질실패비용을 초래하므로 제품 생산 단계에서부터 품질 저하의 원인을 철저히 제거해야 한다. 둘째, 모든 문제의 해결은 고객의 관점에서 해결되어야 하는 고객지향적 경영철학을 갖는다. 문제정의 (definition) 단계에서 달성 목표를 선정할 때 고객의 요구사항 즉, critical to quality (CTQ) 를 파악해야 한다. 셋째, 과학적이고 통계적인 사고와 기법을 활용해서 문제를 해결하는 전략을 갖는다. 식스시그마의 문제 해결 프로세스는 기업의 시장에서의 위치나 업종 등에 따라 다르기 때문에 통일적, 획일적으로 제시하기 어렵지만 큰 줄기는 MAIC 이라고 불리는 프로세스를 따른다. 측정 (measurement) 단계에서는 문제해결을 위해 필요한 데이터만을 효과적으로 수집하기 위한 방법론을 개발한다. 분석 (analysis) 단계에서는 구체적인 문제를 도출하기 위해 개선 기회를 증별하고 분석하여 쉽게 이해할 수 있는 문제 기술서를 정의한다. 개선 (improvement) 단계에서는 올바른 개선 방안을 도출, 평가, 선택하여 해결 방안을 제시한다. 마지막으로 관리 (control) 단계에서는 계획에 따른 실행의 중요성을 이해하고 목표결과의 달성을 보장하기 위해 수행될 접근방법을 결정한다.

### 문제정의 (Definition)

대상 공정은 삼성석유화학의 PTA 생산공정이며 목표 CTQ는 PTA 제품의 particle size distribution (PSD)로 정의한다. PTA 제품은 poly ethylene terephthalate, polyester, filament, fiber 및 film과 같은 제품의 원료로서 PTA 제품의 PSD는 이들의 조업과 품질을 좌우하는 중요한 품질지표 중 하나이다. 현재 PSD의 시그마 수준은 3.5시그마로 평균적인 화학공정의 품질 관리 수준인 3시그마보다 향상된 품질관리 수준을 보이고 있으나 완벽한 품질 관리를 위해 6시그마를 추진 목표로 선정했다. CTQ 관련 내부 공정은 feed 준비조와 용해조, 반응기와 6개의 결정조까지로 정의한다.

### 측정 (Measurement)

측정단계에서는 인터뷰를 통해 지식을 데이터화하고, 공정-품질 관련 데이터베이스를 통해 문제 해결을 위한 데이터를 확보한다. 먼저, PSD 품질 조절 잠재 원인을 규명하기 위해 core-group 인터뷰를 실시한다. 똑같이 설계된 공정이라 하더라도 공정 운전 기술은 기업마다 천차만별이며 오랜 기간 동안 제품을 생산해온 공정의 경우, 공정 및 품질 개선 또는 소비자 요구의 변화와 장치의 마모 등과 같은 이유로 고유의 특성이 변화하기 마련이지만 그 각기의 특성이 기록으로 남겨지지 않는 경우가 대부분이다. 그러므로 인터뷰를 통해 문제를 해결하는데 핵심이 되는 제반 지식이나 운전경험 등을 자료화하는 과정이 필수적이다. 인터뷰는 생산팀 및 기술팀의 오퍼레이터와 엔지니어 총 14분을 대상으로 최종 제품의 품질을 결정짓는 6대 요인 즉 원료, 조업, 설비, 측정계, 환경, 사람에 관한 사항들을 총 망라하여 수행했다. 인터뷰 결과를 통해 그림 1과 같은 특성요인도를 구성하였고 PSD 조절의 잠재 요인으로 총 9가지 사건이 나타났다.

잠재원인 관련 데이터 수집에 앞서 측정시스템 확인작업을 선행한다. PTA 제품과 같은 분말 제품의 대부분이 그러하듯 품질의 분석값에 측정여러가 섞여 있어 적당한 필터링 작업이 필요하다.

PSD 데이터 역시 exponentially weighted moving average (EWMA) 기법을 이용하여 필터링 처리를 했다. 또한 온도, 압력, 레벨, 유량, 밀도 센서를 대상으로 정규분포 시험 (normality test)을 수행하여 적절한 조치를 취해주었다.

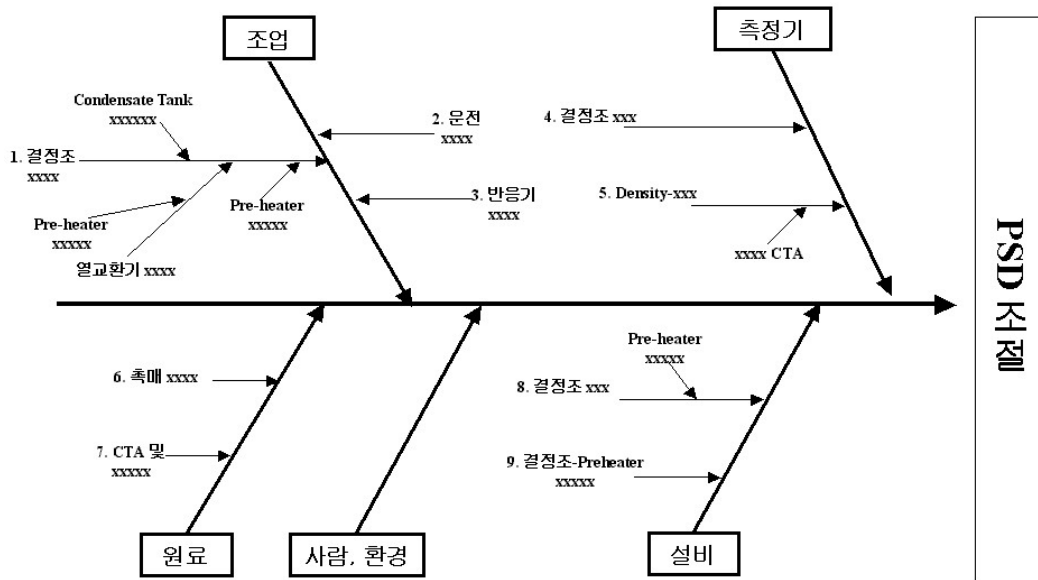


그림1. PSD 조절의 잠재 원인으로 구성된 특성요인도

**분석 (Analysis)**

측정 단계에서 나타난 9가지 사건을 대상으로 추정된 사건이 실제로 품질에 영향력을 미치는지를 데이터로 확인하고 사건의 원인을 규명하여 구체적인 문제를 새로이 도출한다. 이때 사용된 기법은 다변량 통계적 기법 기반 그룹분석, 상관성 분석, 히스토그램, 사이클분석, 변수 추이 분석과 현장 확인 및 실험 등이며 분석완료 결과 가장 유력한 후보로 사건1과 사건5가 선별되었다. 그 결과는 표 1에 요약하였다. 선택된 사건의 분석 과정을 살펴보면, PSD의 시그마수준이 높은 특정 조업 영역과 그렇지 못한 조업 영역 간 차이의 원인을 분석하는 그룹분석 (discriminant analysis)을 수행하였다. 그림 2, 3에서와 같이 PSD 시그마수준이 좋은 조업영역 (그룹1)과 그렇지 않은 영역(그룹2)이 뚜렷한 조업차이를 보이는 것을 알 수 있다. 조업 차의 원인변수의 실제값을 비교한 결과 PSD 조절에 높은 상관성이 있음을 확인했다.

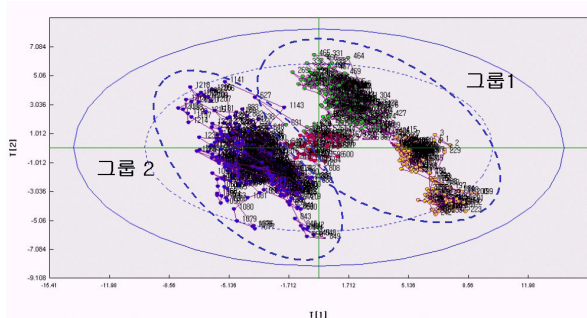


그림 2. 비교그룹과 대상그룹 지정

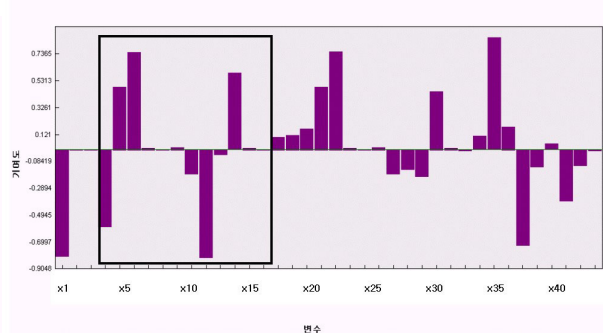


그림 3. 차이의 기여도로 조절변수 추정

표1. 품질 개선을 위한 잠재 원인 규명 결과

사건	1	2	3	4	5	6	7	8	9
영향력	강함	미미	미미	불확실	보통	무관	미미	무관	무관

**개선 및 관리 (Improvement & Control)**

분석 단계의 결과를 실제 공정에서 확인하기 위하여 실험계획법에 기반하여 실험을 계획했다. 실험은 총 3단계로 이뤄지며 실험 조건에 맞춰 공정을 조절한 후 정상상태 도달 이후 7일간의 데이터를 평균하여 결과로 삼은 것을 원칙으로 한다. 또한 조절 변수 이외의 변수들은 가능한한 최근 1달간 운전의 평균값 근처에서 변화를 주지않고 유지시킨다. 1단계 실험은 가장 큰 영향력을 보였던 첫번째 조절변수를 소폭 조절한 실험으로서 PSD 시그마수준이 3.8시그마로 향상되어 첫번째 조절변수가 PSD에 미치고 있는 영향력을 확인할 수 있었다. 2단계 실험은 첫번째 조절변수를 1단계 실험값으로 유지하면서 두번째 조절변수를 추가 조절하는 실험으로서 실험 결과 PSD 시그마수준이 4.2시그마를 보여 두번째 조절변수 또한 PSD를 향상시키는데 효과적임을 확인했다. 마지막 3단계 실험은 상기의 두가지 조절변수를 동시에 대폭 조절하기위해 관련 제어 시스템을 변경한 실험으로서 실험 결과 PSD 시그마수준이 5.5시그마까지 향상되어 목표치의 92%의 품질 개선을 달성하였다. 또한 3단계 실험은 제어 시스템의 변경으로 인한 실험이므로 개선된 품질을 유지시키기에도 적합하다. 본 연구가 완료된 이후 2002년 6월 한달간의 PSD 시그마수준은 5.3시그마로 상당한 품질관리 상태를 유지하고 있다.

**결론**

본 연구는 화학 공정을 대상으로 식스시그마가 지향하는 품질 혁신 전략과 화학공정 현상 파악 및 품질개선에 적합한 기법들을 적절히 활용하여 성공적인 품질 개선을 달성한 사례이다. 본 연구에서 제안한 품질 개선 방법론의 핵심을 간단히 요약하면 다음과 같다. 품질 개선을 위해 가장 먼저 갖춰야 할 것은 바로 고객의 요구를 정확히 파악하는 것이다. 고객의 요구에 맞도록 정확히 문제를 정의하고 목표 달성치를 설정하면 품질 개선 조절인자 규명을 위한 데이터 수집에 돌입한다. 이때 이미 자료의 형태를 갖춘 데이터를 수집하는 것은 물론 인터뷰를 통해 사람의 지식이나 경험을 데이터로 변형하는 과정도 빼놓을 수 없는 중요한 작업임을 명심해야 한다. 데이터 수집이 완료되면 그간 시스템 엔지니어들이 지속적으로 연구해오던 모델링, 다변량 통계적 분석기법, 시뮬레이션, 공정 제어 등의 관련 지식을 총망라하여 수집된 자료를 분석하고 구체적인 문제를 도출한다. 다양한 문제들의 우선순위가 결정되면 효과가 가장 큰 것부터 선택하여 적절한 개선안을 도출, 평가하여 실제 공정에 적용할 최종 개선안을 선별하고 하나씩 적용하여 품질을 단계적으로 향상시킨다. 마지막으로 향상된 품질이 지속적으로 유지될 수 있도록 관리하는 것도 중요하다.

**참고문헌**

- 1) Gerald J. Hahn and Necip Doganaksoy, "The Evolution of Six Sigma", Quality Engineering, 12(3), 317-326, 2000
- 2) Douglas Montgomery, "Editorial: beyond Six Sigma", Qual. Reliab. Engng. Int., 2001
- 3) Jeroen De Mast, Werner A. J. Schippers, Ronald J. M. M. Does and Edwin R. Van Den Heuvel, "Steps and Strategies in Process Improvement", Qual. Reliab. Engng. Int., 16, 301-311, 2000