

應用論文

모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트

홍성훈 · 반재석
 전북대학교 산업공학과

A Six Sigma Project for Reducing the Color Variation of the Monitor Materials

Hong, Sung-Hoon · Pan, Jae-Suk
 Department of Industrial Engineering, Chonbuk National University

Keywords: DMAIC, DOE, Input Variables, Process Map, Sigma Level, Six Sigma

Abstract

This paper considers a six sigma project for reducing the color variation of the monitor materials in a chemical plant. The project follows a disciplined process of five macro phases: define, measure, analyze, improve, and control (DMAIC). A process map is used to identify process input variables. Three key process input variables are selected by using an input variable evaluation table; a melting pressure, a coloring agent, and a DP color variation. DOE is utilized for finding the optimal process conditions of the three key process input variables. The sigma level of defects rate becomes a 4.58 from a 2.0 at the beginning of the project.

1. 서론

고전적 품질관리는 제조공정에서 발생하는 불량률 제거하기 위한 검사의 의미가 강했다. 그러나 검사는 이미 완성된 제품의 품질을 확인하는 절차일 뿐 품질 개선이나 불량품 예방에는 도움을 주지 못한다. 따라서 예방의 원리에 입각해 “품질은 생산공정에서 만들어 넣어야 한다”는 인식이 필요하게 되었으며, 이것은 관리도를 비롯한 통계적 방법을 활용한 통계적 품질관리로 발전하게 되었다. 그러나 통계적 품질관리 역시 검사 기

능과 품질관리 기능만을 강조하는 한계성 때문에 1951년 GE사의 품질책임자였던 파이겐바움은 종합적 품질관리를 제창하게 되었다. 이러한 품질운동은 계속하여 1961년 마틴사에서 미사일의 신뢰도 향상과 원가절감을 목적으로 전개된 무결점 운동, 통계적 품질관리를 바탕으로 인간존중과 소집단 활동을 가미해 탄생한 일본의 전사적 품질관리, 1980년대 초 미국의 경쟁력 회복에 결정적 역할을 한 고객 중심의 품질경영까지 꾸준히 발전하게 되었다.

이러한 일련의 품질운동의 변화는 1987년

인간의 한계에 도전하는 지속적인 개선을 추구하고자 모토롤라가 시작해 GE에 의해 그 가치가 극대화된 6시그마 활동에 이르러 그 절정에 이르게 되었다. 6시그마에서의 품질은 단순히 제조부문의 품질이 아닌 조직 전반의 종합적인 품질을 의미한다. 6시그마는 제조현장 뿐만 아니라 연구개발, 사무간접 등의 분야로 확대 적용되고 있으며, 나아가 최근에는 금융업이나 공공기관, 연구소 등에서도 품질의 개념은 중요시되고 있다. 기업이 복잡한 제품특성 및 고객의 다양한 요구에 대응하기 위해서는 프로세스 개선을 통해 효율성을 극대화하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 맥락에서 6시그마 활동은 모토롤라, Texas Instrument, Asea Brown Boveri, AlliedSignal, GE와 최근에는 Polaroid, Lockheed Martin, Lucent Technology, SONY, 그리고 Nokia 등의 선진기업에서 성공적으로 수행됨으로써 넓은 의미의 품질을 급격하게 향상시킬 수 있는 가장 효과적이고 강력한 수단으로 떠올랐다. 이러한 세계 초일류기업의 성공사례는 국내 기업들의 6시그마 도입의 필요성을 제시하기에 충분하였으며, 현재 삼성전자, 삼성전기, LG전자, LG화학, 현대자동차, 두산중공업 등 다수의 대기업에서 도입하여 활발히 진행 중이다. 또한 이들 대기업과 협력관계에 있는 많은 중소기업들도 커다란 관심을 가지고 도입이 적극 검토되거나 현재 진행 중에 있다. 그 동안 진행된 6시그마 활동의 성공사례는 여러 학자들에 의해 소개된 바 있다; [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

본 논문에서는 모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트를 소개하고, 이를 통해 6시그마 방법론과 최적 개선 안을 도출하는 과정을 소개하고자 한다. 본 논문

의 대상기업인 H화학은 전기/전자, 모니터, 차량 내장재 소재 등으로 사용되는 기능수지인 ABS 혼합물, 엔지니어링 플라스틱 등을 생산하는 회사이다. 제조 방식은 Y사, C사, L사 등의 국내·외 업체에서 주원료와 부원료를 공급받아 십여 개의 공정을 거쳐 통상 펠렛이라고 하는 플라스틱 알갱이 형태의 제품을 제조한다. 주원료로는 ABS 분말과 SAN이 있으며, 부원료로는 활제, 안정제, 가공조제, 안료 등이 있다. 공정은 크게 고객이 원하는 색상을 맞추는 조색공정과 주원료와 부원료를 믹서를 통하여 혼합하는 배합공정, 용융 상태의 고분자 물질에 압력을 가하여 일정한 형태를 가진 통로를 통하여 밀어내어 통상 펠렛이라고 하는 형태의 플라스틱을 만드는 압출 공정으로 나누어진다. 본 논문에서는 프로젝트 진행 과정을 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control)의 5단계로 구분하여 각 단계별 진행 결과를 요약해 소개하고자 한다. 본 원고는 기업 내에서 실제 수행한 프로젝트를 정리한 것으로, 제조 공정 관련 구체적 수치들은 기업 비밀 보호를 위해 저자가 임의로 가공해 논문을 구성하였다.

2. 정의

정의단계는 고객의 요구 사항을 파악하여 문제를 명확히 정의하는 단계이다. 먼저 프로젝트 선정 배경을 살펴보면 H화학에서 생산되는 기능수지는 55만 톤 정도이며 생산품 중 40%인 22만 톤이 착색된 제품이고 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 또한 착색되지 않는 제품에 비해 상대적으로 고수익성이며 이익을 고려한 착색제품의 매출비중은 지속

적으로 증가추세가 예상되고 있다. 이는 고부가가치의 제품구조를 달성하고자 하는 회사의 목표와도 맥을 같이 하였다. 그리고 고수익성의 착색제품을 사용 군별로 파악해보면 전기/전자 소재의 모니터용 소재가 7만 톤으로 가장 큰 비중을 차지하고 있었으며 모니터 고객을 고려할 때 외관품질이 중요시되는 모니터 소재의 색상이 중요한 품질항목으로 대두되고 있었다. 따라서 모니터 소재의 색상 품질과 그 주요 고객인 H전자를 개선대상으로 보다 구체화하였다.

색상규격은 L, a, b 라는 정량화 된 색상 단위가 사용되고 있다. L값은 명도의 정도를 측정하는 단위로서 양수값은 명도가 큰 백색에 가까운 색상을 의미하며 음수값은 검은색에 가까운 색상을 나타낸다. 그리고 a와 b는 채도를 나타내는 정도인데 a의 양수값은 녹색에 가까운 색상을 의미하며 음수값은 빨간색에 가까운 색상을 나타낸다. 마지막으로 b의 양수값은 노란색에 가까운 색상이며 음수값은 파란색에 가까운 색상을 나타낸다. 또한 절대값이 클수록 해당 색상의 정도가 크다는 것을 의미한다. 이를 기준으로 표준과 대비하여 색상편차 ΔE 는 식 (1)과 같이 환산하여 표시할 수 있다. 식 (1)에서 ΔL , Δa , Δb 는 표준과 대비한 각각의 색상 편차를 의미한다.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

따라서 프로젝트 CTQ 및 본 프로젝트의 목표는 ΔE 를 최소화하는 것으로 선정하였다.

3. 측정

측정단계는 프로세스의 현재 상태를 파악하는 단계이다. 따라서 결함의 정의, 측정시스템분석, 공정능력분석을 통한 현재 수준 파악, 프로세스 맵을 활용해 CTQ에 영향을 주는 주요입력변수를 확인하는 단계이다.

3.1 결함의 정의 및 측정시스템 분석

최종 고객인 H전자는 조립되는 사출물의 색상편차 ΔE 를 0.8 이내로 관리하고 있다. 하지만 H화학은 제조되는 압출 ABS와 EPS의 색상 편차를 혁신적으로 개선하기 위해 ΔE 의 규격을 0.3 이내로 강화하여 설정하였다. 이는 소재 색상 편차의 규격 뿐 아니라 고객의 사출 조건에 의한 변동을 감안한 기준이다. 또한 선진사의 규격인 0.37과 비교하여도 혁신적인 품질 목표임을 확인할 수 있다. 따라서 색상 규격과 선진사의 규격 등을 고려하여 색상 편차의 범위는 표준 대비 각각 $0 \leq \Delta E \leq 0.30$, $-0.15 \leq \Delta L \leq 0.25$, $-0.15 \leq \Delta a \leq 0.25$, $-0.20 \leq \Delta b \leq 0.10$ 으로 설정하였으며, 따라서 위의 색상 편차 범위를 초과하는 제품을 결함으로 간주하였다.

색상 편차의 측정은 색차검사 시스템을 이용하여 표준과 대비한 시편의 색상 차이를 확인한다. 측정에 들어가기 전에 측정시스템의 재현성과 반복성의 신뢰도를 확인하고자 게이지 R&R 분석을 시행하였다. 분석 방법은 작업자 3명이 각 로트에서 추출된 10개의 시편을 대상으로 각각 3회씩 반복 측정한 데이터를 이용하였다. 1차 게이지 R&R 분석 결과 측정시스템을 수용할 수는 있으나 작업자별로 시편을 놓는 위치에 습관성이 있음을

확인하고 치구 제작을 통해 시편의 정위치 관리를 위한 측정 작업의 표준화를 시도하였다. <표 1>은 표준화된 색차검사 시스템을 통하여 얻은 게이지 R&R 분석 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 총 변동 중에서 측정시스템에 의한 변동이 차지하는 비율이 5.63%로 나타났다. 일반적으로 이 값이 10%미만일 때는 비교적 양호한 결과라고 말할 수 있다. 또한 측정 시스템을 평가하는 척도인 Number of Distinct Categories가 6으로, 이 값이 4보다 크므로 측정시스템을 인정해도 좋다고 판정한다.

<표1> 게이지 R&R 분석 결과

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7.29E-05	5.63
Repeatability	6.67E-05	5.15
Reproducibility	6.26E-06	0.48
Operators	0.00E+00	0.00
Operators*Part	6.26E-06	0.48
Part-To-Part	1.22E-03	94.37
Total Variation	1.30E-03	100.00

Number of Distinct Categories = 6

3.2 공정능력분석

6시그마 프로젝트에서는 공정능력지수나 불량률이 아닌 시그마 수준으로 현재의 품질 수준을 파악한다. 시그마 수준을 산출하기 위해서는 먼저 수집한 데이터가 정규분포를 따르는지를 검정해야 한다. 만일 정규분포를 따르지 않을 경우 Box-Cox 변환이나 데이터 분할 등의 변환을 행해야 한다. 그 후에 공정능력분석을 통해 DPMO를 구한 후에 그 값에 대응하는 시그마 수준을 산출한다.

데이터의 정규성 검정을 한 결과 ΔL의

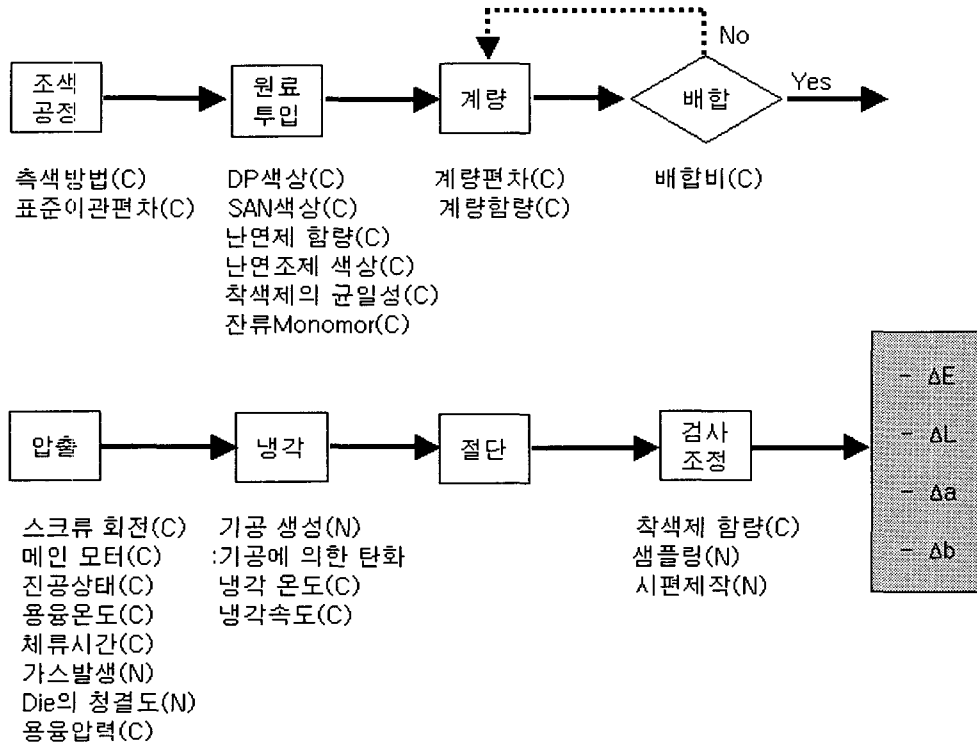
데이터는 정규성을 따르지만 나머지 ΔE, Δa, 그리고 Δb는 정규성을 따르지 않아 Δa, Δb의 데이터는 Box-Cox 변환을 통하여 시그마 수준을 산출하였다. 또한 쌍봉우리형의 형태를 띠는 ΔE의 데이터는 각 봉우리별로 데이터를 두 그룹으로 분할하여 각각의 DPMO를 산출하고, 두 개의 추정치를 통해 최종 시그마 수준을 산출하였다. ΔE, ΔL, Δa, 그리고 Δb 각각에 대해 시그마 수준을 산출한 결과는 <표 2>에 요약하였다. ΔE, ΔL, Δa, 그리고 Δb의 시그마 수준은 각각 2.05, 2.47, 3.36, 그리고 0.94 이었다. Δa의 시그마 수준은 3.36으로 비교적 높다고 할 수 있다. 또한 ΔE, ΔL, 그리고 Δb의 품질이 개선됨에 따라 동반 상승을 유도할 수 있으므로 Δa에 관한 항목은 우선적으로 개선 대상에서 제외하였다. 그리고 나머지 항목의 시그마 수준을 4.5시그마까지 향상시키는 혁신적인 개선 목표를 수립하였다.

<표 2> 개선 전의 시그마 수준

	DPMO	시그마 수준	비고
Δ L	167161.57	2.47	산포의 축소가 시급함
Δ a	30387.37	3.36	평균치의 이동이 필요함
Δ b	711680.95	0.94	평균치의 이동이 시급함
Δ E	289764.89	2.05	산포의 축소가 시급함

3.3 프로세스 맵

CTQ에 영향을 미치는 공정별 주요입력변수 및 출력변수를 규명하기 위하여 프로세스를 상세히 구분하고 각 프로세스의 해당 입력변수와 출력변수를 나열하여 프로세스 맵을 작성하였다. 출력변수 Y로는 ΔE, ΔL, Δa, 그리고 Δb의 네가지 항목을 고려한다. 제품의 제조는 조색공정, 원료 투입, 계량,



<그림 1> 프로세스 맵

배합, 압출, 냉각, 절단, 그리고 검사 조정의 8단계 공정을 거치게 되고, 각 단계 별 입력 변수는 25개가 선택되었다. 각 입력변수는 <그림 1>의 각 단계 별 공정 명 아래 표시하였으며, 입력변수 우측에 표시한 C는 관리 가능한 변수 (controllable input variable)를 의미하며, N은 노이즈 변수 (noise variable)를 의미한다.

프로세스 맵을 통해 선정된 각 공정의 입력변수들 중에서 브레인스토밍을 통해 회사의 실정에 맞게 결정한 세 가지 지수인 중요성, 시급성, 용이성을 고려하여 CTQ와 상관관계가 높은 주요입력변수들은 <표 3>과 같

이 선정하였다. 선정된 주요입력변수들은 다음과 같다.

- 1) 착색제 함량
- 2) DP 색상
- 3) 메인 모터
- 4) 용융압력
- 5) 착색제의 균일성
- 6) 계량편차
- 7) 스크류 회전
- 8) 용융온도

<표 3> 입력변수 지수 평가표

Input Indicator	Process Indicator											Input Indicator					
	D		배합		압출				검사, 조정			주원료		부,착색제			
	표준이관편차	계량편차	난연제함량	스크류회전	메인온도	용융압력	용융온도	체류시간	샘플링	시편제작	착색제함량	DP색상	잔류Monomer	SAN색상	가진제함량	가진제색상	착색제의균일성
Output 척도	편차(Δ)	편차(Kg)	비중	RP M	Amp	압력	온도	sec	재현성		편차	편차(Δ)	ppm	Δb			편차(Δ)
중요성	3	4	2	3	5	3	3	3	1	3	4	5	3	2	1	2	5
시급성	3	4	2	3	3	4	3	1	1	3	5	3	4	3	1	2	5
용이성	2	3	2	5	4	5	5	1	2	2	4	5	3	5	1	1	2
종합평가	8	11	6	11	12	12	11	5	4	8	13	13	10	10	3	5	12

4. 분석

분석단계는 측정단계에서 규명된 주요입력 변수에 대한 데이터를 수집하여, 이들이 CTQ에 미치는 영향을 분석한 후 최종적으로 품질에 가장 큰 영향을 미친다고 판단되어지는 3~6개의 핵심입력변수인 ‘vital few’를 선별하는 단계이다. 일반적인 6시그마 프로젝트의 경우 분석단계에서 여러 가지 통계틀을 활용한 분석을 수행한다. 그러나 본 프로젝트 대상 기업에서는 엔지니어들에게 복잡한 틀의 사용을 추천하기보다는, “vital few” 선정을 위해 출력변수 Y 및 입력변수 X들 간의 상관분석 및 회귀분석을 중시하고 있다. 따라서 분석단계에서는 대상 기업의 진행 프로세스에 맞추어 상관 및 회귀분석에 분석의 초점을 맞추었다.

우선 주원료 계량 편차를 분석하던 중 펠렛 형태의 SAN이 계량 종료 시점에서 분말 형태의 ABS DP보다 큰 계량 편차를 나타내

는 것을 확인하였다. 이에 주원료 계량 공정을 분석하고 응용 기술 지원팀의 도움을 받아 주원료의 계량을 파우더 형상과 펠렛 형상으로 구분하여 셋팅하는 방법으로 SAN의 계량편차를 줄일 수 있었다.

그 외의 주요입력변수의 잠재적인 근본 원인을 검증하기 위해 90톤 단위의 생산량에서 샘플링 주기를 4톤 단위로 하여 3차에 걸친 데이터 수집을 실시한 후 각각의 ΔE, ΔL, Δb와 주요입력변수의 데이터를 얻은 후에 CTQ에 영향을 미치는 인자를 찾기 위하여 상관 분석을 실시하였다. 그 결과는 <표 4>에 제시하였다. 표에서 보는 바와 같이 ΔE에 대해서는 주요입력변수 중 DP색상 변동, 용융 온도, 그리고 용융 압력이 유의한 상관 정도를 보였으며, ΔL의 경우 착색제 함량과 용융 압력, Δb는 DP색상 변동 및 착색제 함량이 높은 상관 정도를 보였다. 한편 스크류 회전, 메인온도, 착색제의 균일성 등은 ΔE, ΔL, 그리고 Δb의 세 가지 출력변

수 모두에 미치는 영향이 매우 적다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 개선 단계 및 추후 분석에서 이들 인자들은 제거하기로 결정하였다.

<표 4> 주요입력변수들의 상관 분석 결과

출력변수 Y	입력변수 X	P value	상관계수
ΔE	DP색상 변동	0.022	0.485
	용융 온도	0.096	0.364
	용융 압력	0.000	0.736
ΔL	착색제 함량	0.088	-0.372
	용융 압력	0.000	-0.811
Δb	DP색상 변동	0.007	-0.555
	착색제 함량	0.086	0.374

또한 용융 온도의 경우 ΔL 및 Δb 에는 영향을 주지 못하였고, ΔE에만 어느 정도의 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 특히 P값이 0.092로 상관분석만 갖고는 명확한 판단이 어려워 ΔE와 주요입력변수들 간의 중선형 회귀분석을 실시하였다. 분석은 MINITAB의 회귀분석 메뉴 중 "Stepwise"와 "Best Subsets"의 두 가지 방법을 활용해 보았다. 두 가지 분석 모두에서 용융 온도는 주요인자로 선택되지를 못했으며, 용융 압력 및 착색제 함량으로 ΔE의 값을 충분히 설명할 수 있다는 결론을 얻었다. 또한 용융 온도는 공정에서 변화를 줄 경우, 품질 상의 큰 문제를 유발할 수도 있다는 엔지니어들의 의견을 최대한 반영해 개선 단계에서 조건을 변화시키지 않고, 일단 나머지 세가지 인자들 즉, 용융 압력, 착색제 함량, 그리고 DP색상 변동만을 "vital few" 변수로 선정해 개선 단계에서 DOE 등을 포함한 개선활동을 전개하기로 결정하였다.

5. 개선

개선단계에서는 "vital few"로 규명된 압출기의 최종 부분에서 수지의 용융 압력, 착색제의 변동, 그리고 DP색상 변동이 최종 품질의 색상 편차에 미치는 영향을 다양한 실험을 통해 분석하고 최적 조건을 찾아 현장에 적용하는 단계이다.

5.1 압출기 용융 압력 상승에 관한 개선안

세 가지 "vital few" 중 첫째로 압출기의 용융 압력 상승에 관한 개선 과정과 적용 단계를 살펴보자. 압출기 최종부분에서 수지의 용융 압력이 상승하는 것은 압출기 내에 들어온 고체수지가 녹지 않는 즉, 가소화 능력이 저하되기 때문이다. 또한 특성 요인도에서 분석한 결과를 통해 압출기의 용융 압력은 압출기 내를 통과하며 생기는 이물질이 걸러주는 스크린의 교체주기와 가소화 능력을 충분히 할 수 있는 스크류 조합의 영향을 가장 크게 받는 것을 확인할 수 있었다.

우선 압출기의 용융 압력 상승을 방지하기 위한 스크린 교체주기의 최적시기를 찾기 위하여 ΔE와 용융 압력의 데이터를 수집하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 식 (2)와 같은 회귀 방정식

$$\Delta E = -0.08374 + 0.0745 \times \text{용융압력} \quad (2)$$

을 얻었으며, 또한 회귀방정식을 통하여 ΔE가 3.0 이내를 유지하기 위해서는 용융 압력이 41.39 Kgf/cm²을 초과하지 않아야 한다는 결론을 내릴 수 있다. 현재 작업자들은 기존의 작업표준에 따라 운전시간 12시간을 주

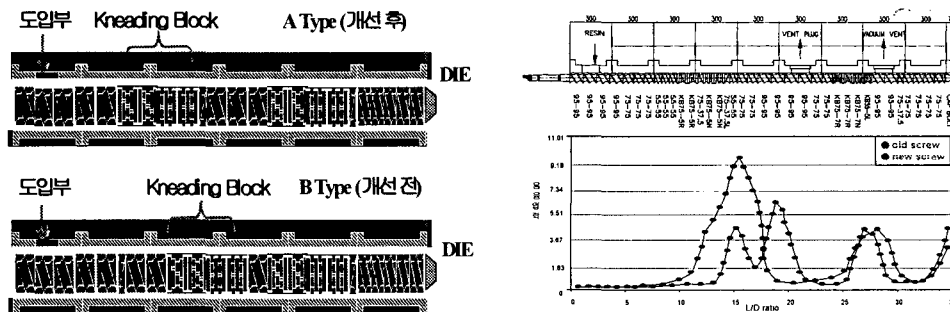
기로 스크린을 교체하고 있었지만, 운전시간 12시간 동안 용융 압력의 변화를 분석한 결과 용융 압력의 산포가 커 41.39 Kgf/cm² 이상인 경우가 빈번히 발생하여 이색불량이 나올 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 개선 전 스크린 교체주기를 무조건 운전시간 12시간 주기로 교체하던 것에서 개선 후 작업자들이 현장에서 용융 압력이 41.39 Kgf/cm² 일 경우 스크린을 교체하기로 작업 표준을 변경하였다. 또한 현장에서 작업자들이 스크린 교체주기를 알 수 있도록 운전 패널에 41.39 Kgf/cm² 일 경우에 표시되도록 경보등을 설치함으로써 작업이 지연되어 이색이 발생하는 것을 미연에 방지하였다.

용융 압력 상승을 억제하기 위한 두 번째 개선안으로 압출기 내의 가소화 부족으로 스크린에 걸리는 이물질을 분석하기로 하였다. 스크린 잔류물질을 적외선 분광분석을 통해 분석한 결과 난연제, 난연조제는 검출되지 않았으며 대부분이 하드스팟으로 규명되었다. 하드스팟이란 압출기 내에서 가소화가 충분히 되지 않아 미용융된 상태로 남게 되는 일반 ABS를 말하며 가소화 영역을 늘리기 위한 방법으로 현재 압출기의 스크류 조합의 변경이 요구되었다. 응용 기술 지원팀

의 협조를 받아 스크류 조합을 변경해보는 유동 해석을 통해 가소화 능력을 향상시킬수 있는 스크류 조합(A-Type)을 설정하였으며 결과적으로 새로운 형태의 스크류 조합은 <그림 2>와 같이 가소화를 위한 Kneading Block이 도입부와 가까와져서 교체수지의 온도가 이전 스크류 조합(B-Type)보다 낮기 때문에 이 구간에서 압력 상승 및 내부 발열이 더 커짐을 알 수 있었다. 결과적으로 새로운 스크류 조합은 <그림 2>와 같이 용융 압력을 스크류 진단에서 상대적으로 더 빨리 상승시켜 초기 가소화를 유도하며 최종 DIE에서 유동성을 향상시켜 압출기 최종부분에서 수지의 용융 압력을 감소시켰다.

5.2 착색제의 함량에 관한 개선안

두 번째 "vital few"인 착색제의 색상편차를 개선하기 위해 특성 요인도를 통하여 분석한 결과, 착색제의 색상편차에 가장 영향을 많이 미치는 인자들은 믹서에 투입되는 착색제량과 드라이 컬러 내 분산제량을 들 수 있었다. 여기서 착색제란 주원료에 색상을 부여하기 위한 일종의 색소로서 용제에 녹지 않는 안료와 용제에 녹는 염료로 나누



<그림 2> 개선된 스크류 조합과 용융 압력

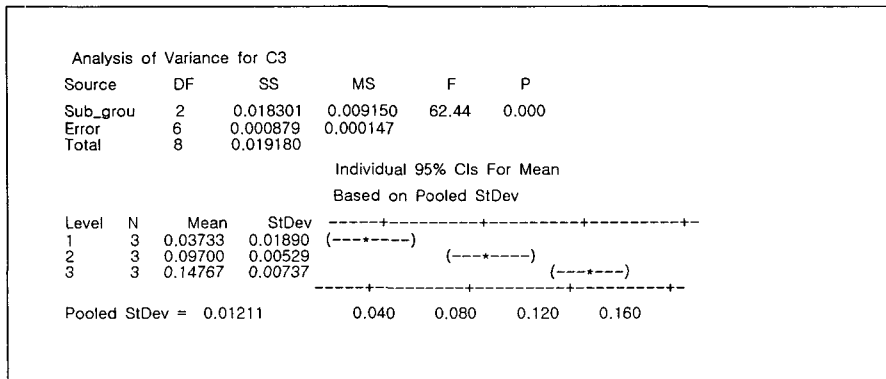
어진다. 그리고 드라이 컬러는 믹서에서 1차로 혼합된 착색제를 의미하며, 활제로 사용되어지는 분산제는 안료와 안료 사이에 도포되어 미리 침투되어 있는 수분을 치환함으로써 커다란 안료 덩어리가 수지 내에서 잘 분산 되도록 하는 역할을 한다. 믹서에 투입되는 착색제량과 드라이 컬러 내 분산제량을 두 개의 인자로 선정하고, 각 인자의 수준을 5개씩 선택하여, 반복 2회의 이원배치법을 적용하였다. 분석 결과 색상편차를 최소화하기 위한 최적수준조합은 믹서 투입량 30Kg과 분산제 함량 1.7% 임을 확인할 수 있었다. 과거에는 드라이 칼라에 포함된 분산제 함량이 높을수록 제품의 색상 균일성이 향상되는 것으로 알려져 왔으나 위 실험결과를 통해 드라이 칼라 분산제량에 따른 색상 균일성은 최적점을 갖고 있으며 그 이상 투입시 오히려 균일성을 저해하는 것으로 확인되었다. 결과적으로 믹서에 투입되는 착색제량은 믹서의 부피를 100%로 환산했을 때 전체의 75%가 최적조건이었으며, 분산제 함량은 전체 착색제량의 1.7%가 최적조건임을 확인할 수 있었다.

5.3 DP색상 변동에 관한 개선안

ABS DP는 현재 협력사인 Y사에서 공급받아 SAN과 함께 주원료로 사용되고 있는 항목이므로 ABS DP의 색상이 최종 제품의 색상에 미치는 영향을 분석하여 그 결과를 협력사인 Y사에 피드백하고 필요시 규격 개정을 요청하기로 하였다. 분석방법으로 두 달에 걸쳐 입고된 ABS DP의 제품 중 L값의 정도에 따라 세 개의 등급으로 구분한 후, 각 등급에서 랜덤하게 추출한 ABS DP를 통하여 제조된 최종 제품의 ΔE값을 얻어 분산분석을 수행하였다. 즉, 세 개의 등급은 각 수준이 되며 반응값은 랜덤하게 추출된 ABS DP를 통하여 제조된 최종 제품의 ΔE값이 된다. 분산 분석의 결과는 <표 5>와 같다. 분산분석에서 P값이 0.000으로 각 수준마다 최종 제품의 색상편차에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

이러한 분석을 통하여 ABS DP의 L값이 최종제품에 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 현재 ABS DP 규격으로는 최종 제품의 ΔE 0.3을 보증하기 어렵다는 결론을 내렸다. 따라서 공급업체인 Y사에 위의 실험결과를 근거로 ABS DP L값을 중요 항목으

<표 5> DP색상 변동에 따른 분산분석



로 관리하며 규격 개정을 요청하였다.

6. 관리

마지막 단계인 관리 단계에서는 개선 단계에서 구해진 "vital few"의 최적 조건이나 개선 사항을 유지하고 관리할 수 있도록 시스템을 관리하고 작업 표준을 설정한다. 또한 개선 후의 공정능력분석을 수행함으로써 개선 정도와 목표 수준과의 비교를 통해 향후 나아갈 방향을 계획한다.

스크린 교체주기, 최적 스크류 조합, 착색제 투입량 및 분산제 함량의 최적 조합, ABS DP 색상규격 개선 등을 통하여 얻은 프로세스의 조건으로 개선 후 ΔL , Δa , Δb 와 색상편차인 ΔE 의 공정능력 분석을 행한 결과는 <표 6>에 정리하였다.

<표 6> 개선 후 시그마 수준의 비교

	개선 전 시그마 수준	개선 후 시그마 수준	향후 방향
ΔL	2.47	4.35	산포의 개선
Δa	3.36	5.60	유지 관리
Δb	0.94	3.82	산포의 개선
ΔE	2.05	4.58	평균치의 이동

<표 6>에서 보는 바와 같이 Δb 를 제외한 ΔL , Δa 는 목표수준 4.5시그마 수준에 도달하였으며, 최종고객의 요구 사항인 ΔE 는 4.58 시그마 수준으로 목표를 달성하였다. 성과를 지속 유지하기 위한 사후관리의 방법은 다음과 같다. 최종 제품의 규격을 보증하기 위한 ABS DP L값의 허용 범위를 규격화 관리하도록 하였다. 단기적으로 ABS DP 색상검사를 강화하기 위해 색상 관리 항목을

개정하고 관리 규격을 축소하였으며 장기적으로 협력사인 Y사의 6시그마 프로젝트를 통하여 ABS DP 라인간 편차 극복과 연계하여 품질 향상을 유도하였다. 회귀분석을 통해 얻어진 스크린 교체주기는 기존의 압출기 가동시간 12시간에서 용융 압력이 41.39 Kgf/cm²일 때 스크린을 교체할 수 있도록 경보등 설치와 함께 관리기준 설정으로 표준화하였다. 또한 스크류 조합은 최적 스크류 조합으로 제작하여 적용 진행 중에 있으며, 착색제의 투입량 및 분산제 함량의 최적 수준 조합을 표준화하였다.

이 밖에도 게이지 R&R 향상을 위해 정위치 치구 제작을 통한 측정방법의 관리 규정 및 자동 계량기에서 계량 시 계량모드를 펠렛 형상과 분말 형태를 구분하여 셋팅을 할 수 있도록 작업방법을 표준화하였다.

7. 결론

6시그마는 시그마라는 통계적 척도를 사용하고 DMAIC라는 프로젝트 추진 절차 및 전문가 양성 등의 효율적인 품질문화를 조성하기 위한 기업 경영철학이며 종합적인 경영혁신 전략이다. 본 논문에서는 각종 가전제품 및 모니터의 케이스, 차량 내장재 소재 등의 플라스틱 수지를 제조하는 화학공장에서 수행된 6시그마 프로젝트 과정을 소개하였다.

제품별 매출비중과 사용군별 매출비중을 고려한 중요한 품질 항목인 모니터 소재의 색상 품질 개선을 위하여 본 프로젝트를 진행하였다. 따라서 고객의 요구사항을 근거로 제품의 색상 편차 개선이라는 CTQ를 선정하였으며, 프로세스 맵을 통해 주요입력변수를 선정하였고, 이를 대상으로 상관분석 및

회귀분석을 통한 "vital few"를 도출하였다. "vital few"로 규명된 압출기의 최종 부분에서 수지의 용융 압력, 착색제 함량의 변동, 그리고 ABS DP색상 변동이 최종 제품의 품질에 미치는 영향을 분석하고 회귀 분석, 분산 분석, 요인배치법 등의 다양한 분석을 통해 최적 조건을 찾아 현장에 적용하였다. 이에 따라 최종 제품의 색상 품질을 ΔE를 기준으로 초기의 2.05 시그마 수준에서 4.58시그마 수준으로 혁신적인 개선을 창출하였으며 현재 안정된 산포를 보여 주고 있다. 이러한 개선 효과는 고객 만족을 비롯하여 2억 6천8백만원의 F-Cost 절감을 기대할 수 있다.

향후 연구 계획으로 본 프로젝트의 성과를 모니터용 소재에만 국한하지 않고 단계적으로 플라스틱 전 제품에 확산 적용하여 고객으로부터 색상 편차로 인한 불만이 아닌 색상에 대한 고객감동을 이끌어 낼 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 권혁무, 김정택, 최준호, "주택건설현장 폐 콘크리트 발생 저감 식스 시그마 프로젝트 추진 사례", 품질혁신, Vol. 1, No. 1, 2000, pp. 4-9.
- [2] 김학수, "삼성전관의 6시그마 추진 사례", 품질경영학회지, Vol. 27, No. 1, pp. 211-222
- [3] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, "식스 시그마 성공사례", 품질경영학회지, Vol. 27, No. 3, 1999, pp. 202-208.
- [4] Harry, M.J., "Six Sigma: A Breakthrough Strategy for Profitability," Quality Progress, May 1998, pp. 60-64.
- [5] Hoerl, R.W., "Six Sigma and the Future of the Quality Profession," Quality Progress, July 1998, pp. 35-42.
- [6] Fontenot, G., Bahara, R., and Gresham, A. "Six Sigma in Customer Satisfaction," Quality Progress, December 1994. 12, pp. 73-76.
- [7] Fred R. McFadden, "Six-Sigma Quality Programs", Quality Progress, June 1993, pp. 37-42.