

게이트 도장 품질 개선을 위한 6시그마 프로젝트 A Six Sigma Project for Improving Gate Painting Quality

홍성훈 · 최익준

전북대학교 산업정보시스템공학과

Abstract

본 논문에서는 한 중소기업에 상대로 진행된 게이트 도장 품질 개선을 위한 6시그마 프로젝트 과정을 소개한다. 프로젝트는 6시그마 개선활동의 로드맵인 DMAIC 절차를 따라 진행하였다. 먼저 Define 단계에서는 고객요구사항 파악을 위해 VOC 기법을 활용하여 CTQ를 선정하였다. Measure 단계에서는 프로세스 맵, 특성요인도, XY 매트릭스, FMEA등을 이용하여 주요 인자들을 규명하였다. Analyze 단계에서는 상관분석, ANOVA, 그래프 분석 등 각종 통계적 기법을 활용해 핵심입력변수인 "Vital Few's"를 규명한 후, Improve 단계에서 DOE를 통한 최적조건을 도출하였다. 또한 Control 단계에서는 최적조건을 유지하기 위한 관리계획 및 실수방지, 표준화 기법을 도입하였다. 이러한 개선 활동을 통해 개선 전 2.957 시그마 수준의 품질을 3.66 시그마 수준까지 높일 수 있었으며, 6천 3백만원의 비용절감을 할 수 있었다. 또한 본 논문에서는 중소기업에서의 프로젝트 진행의 문제점을 제시하였고, 그 해결방안에 대해서도 논하고자 한다.

1. 서론

본 논문은 현대자동차 협력업체인 한 중소기업에서, 상용 트럭의 게이트 도장 품질 개선을 위한 6시그마 프로젝트 진행 결과를 정리한 것이다. 프로젝트 대상품목은 RR DECK라고 하는 상용트럭의 적재함을 구성하는 게이트이다. 제조방식은 납품업체로부터 주원료와 부원료를 공급받아 10여 단계의 도장 프로세스를 거쳐 최종제품으로 완성된다. 주원료인 각각의 게이트 판넬은 공급업체 D사, J사, K사, S사 등으로부터 반 조립 상태로 납품 받으며, 여러 개의 부품과 함께 도장공정을 거친다. 또한 부원료로 고객의 요구에 따른 세 가지 종류의 페인트, 그리고 접착성을 좋게 하기 위한 여러 종류의 화학약품 등이 사용된다. 도장 공정은 납품된 원료의 수입검사 공정, 도장 전 준비 작업으로 구성된 전처리 공정, 자동화된 설비로 1차 도장작업을 하는 전착 공정, 고객의 요구에 맞게 색을 입히는 상도 공정, 최종상품의 도장 품질을 검사하는 전수검사 공정으로 나누어진다. 본 논문에서는 프로젝트의 진행과정을 6시그마 개선활동의 로드-맵인 정의(Define), 측정(Measure), 분석

(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control)의 5단계로 구분하여 각 단계별 주요 진행 사항을 요약해 소개하였다.

2. 정의 (Define)

외관 품질이 중요시 되는 RR DECK은 도장이 중요한 품질항목으로 대두되고 있었다. 먼저 고객의 요구사항을 파악하기 위해서 외부 고객인 현대자동차의 품질담당자, 내부고객인 H사 내부관리자 각각 50명을 대상으로 1차, 2차 고객 설문조사를 통해 VOC 분석을 실시하였다. VOC 분석결과 <그림 1>과 같이 도장 프로세스 개선이 내부고객은 85%, 외부고객은 54%로 개선해야 할 가장 시급한 문제로 지적되었다.



<그림 1> VOC 분석

H사에서 개선해야 할 가장 시급한 문제인 도장불량에 대하여 COPQ(cost of poor quality)분석을 통해 도장 불량으로 인한 손실을 조사한 결과 <표 1>과 같다. 프로젝트 대상의 현 수준과 목표수준은 불량률을 1.5 %로 낮추고 손실비용을 5천 9백만원으로 낮추도록 하는 것이다. 이는 시그마 수준으로 볼 때 현 수준 3.36시그마에서 목표수준 3.67시그마로 공정능력을 개선함을 의미한다. 이와 같은 프로젝트를 수행하기 위한 프로젝트 대상 부품의 상위 프로세스 맵은 <그림 2>와 같다.

생산면적(m ²)	불량면적(m ²)	불량률(%)
538,172.43	16,931.21	3.15
COPQ	1억 2천 4백만원	

< 표 1> COPQ 분석

3. 측정 (Measure)

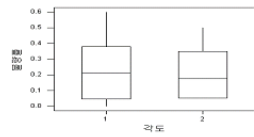
3.1 결함의 정의 및 측정시스템 분석

유형별 불량 제품의 샘플을 수집하여 검사자들에 대한 교육을 실시, 불량에 대한 정확한 판단과

Test and CI for Two Proportions

Sample X N Sample p
1 25 120 0.208333
2 55 252 0.216364

Estimate for p(1) - p(2): -0.00902963
95% CI for p(1) - p(2): (-0.0986939, 0.0798524)
Test for p(1) - p(2) = 0 (vs not = 0): Z = -0.22 P-Value = 0.827



<그림 8> 제품의 로딩 각에 대한 분석

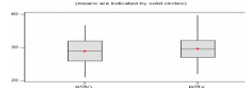
4.3 행거 위치

문제가 발생하는 3단 행거 걸이를 100mm 늘림으로 해서 게이트를 분사기에 가깝게 접근시켜 다른 게이트와 비슷한 양의 페인트를 분사하게 하였다.

Two-sample T for 19도 vs 20도

N Mean StDev SE Mean
19도 22 0.012 0.0029 0.0006
20도 11 0.015 0.004 0.0012

Difference = $\mu_1 - \mu_2$
Estimate for difference: -0.003
95% CI for difference: (-0.019, 0.013)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.24 P-Value = 0.217 DF = 19

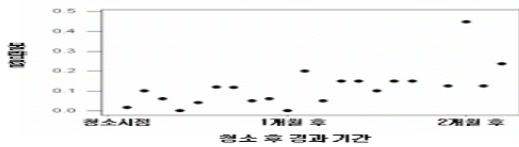


<그림 9> 행거 위치에 대한 분석

<그림 9>는 행거의 위치 변화에 따른 도장 불량률 비교하기 위해서 상도 자동 공정 후 도막 형성 양을 측정 한 결과이다. 그 분석 결과 P-Value 값이 $\alpha = 0.05$ 보다 높으므로 행거의 위치에 따른 도막 형성 양은 차이가 없다고 볼 수 있다.

4.4 건조로 내부 및 컨베이어 레일 청소 후 생산량

H사는 건조로 내부와 컨베이어 레일 청소를 작업 주문과 작업량을 고려하며 3개월의 주기로 실시하고 있다.



<그림 10> 건조로 내부와 컨베이어 레일 청소 후 불량률 분석

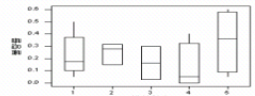
이를 바탕으로 청소 후 생산량에 대한 불량률은 어떤 추이를 보이는지 분석하였다. 산점도 분석 결과 <그림 10>과 같이 미비하나 청소 후 시간이 길어질수록 이물질과 흐름으로 인한 불량률이 높아지고 있음을 알 수 있었다.

4.5 센서 청소 후 생산량

분석결과에서 1은 청소 후 15분 이내 통과, 2는 30분 이내 통과, 3은 45분 이내 통과, 4는 60분 이내 통과, 5는 60분 이후 통과한 게이트의 불량률 나타낸다. 분석결과 <그림 11>와 같이 P-Value는 0.6으로 $\alpha = 0.05$ 보다 크므로 센서 청소 후 경과 시간에 따른 불량률의 차이는 없다고 볼 수 있다.

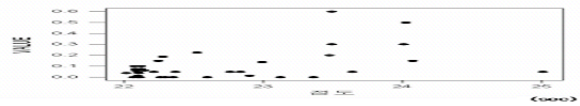
One-way ANOVA: 불량률 versus 센서정소

Method of comparison: Bonferroni
Df for Error: 12
F-Value: 0.0000
P-Value: 0.9999



<그림 11> 센서청소 후 생산량 분석

4.6 도료점도, 온도, 양

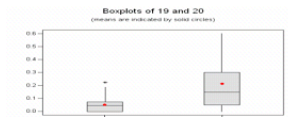


<그림 12> 도료점도에 따른 불량률 분석

Two-sample T for 19 vs 20

N Mean StDev SE Mean
19 22 0.012 0.0029 0.0006
20 11 0.015 0.004 0.0012

Difference = $\mu_1 - \mu_2$
Estimate for difference: -0.003
95% CI for difference: (-0.019, 0.013)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.24 P-Value = 0.217 DF = 19

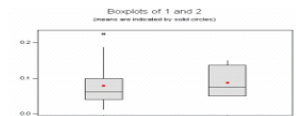


<그림 13> 도료 온도에 따른 불량률 분석

Test and CI for Two Proportions

Sample X N Sample p
1 84 1302 0.06491
2 15 180 0.08333

Estimate for p(1) - p(2): -0.0225519
95% CI for p(1) - p(2): (-0.0640476, 0.0197439)
Test for p(1) - p(2) = 0 (vs not = 0): Z = -1.85 P-Value = 0.296



<그림 14> 도료량에 따른 불량률 분석

도료점도에 대한 산점도 분석에서 점도가 낮을수록 불량률이 적게 발생하고, 23 μ m/초 이후로 높은 불량률을 보이고 있다.;<그림 12> 참조

도료온도에 대한 분석결과 P-Value가 0.020으로 $\alpha = 0.05$ 보다 작으므로 도료 온도에 따른 불량률에 차이가 있다고 볼 수 있다. Box-Plot에서 보는 것처럼 도료온도가 19도일 때가 20도일 때보다 작은 불량률과 산포 나타내고 있다.;<그림 13> 참조

도료량에 대한 분석결과 1은 건1과 건2에 2.0, 1.6의 양만큼 도료를 2는 그 외에 작업조건의 변동에 따른 투입량을 나타내는 것으로, P-Value 값이 0.296으로 $\alpha = 0.05$ 보다 크므로 도료 투입량에 따른 불량률에 차이가 없다고 볼 수 있다.;<그림 14> 참조

4.7 공기흐름

공조장치에서 나오는 공기의 흐름에 직접적으로 영향을 받는 3단행거의 게이트는 도막형성이 잘 이루어지지 않는다. 이러한 이유로 3단 행거에 직접적인 영향을 미치는 부분을 찾아 차단막을 설치하고 제거된 상태와 도막형성을 비교 분석하였다.

Two-sample T for 19도 vs 20도

N Mean StDev SE Mean
19도 22 0.012 0.0029 0.0006
20도 11 0.015 0.004 0.0012

Difference = $\mu_1 - \mu_2$
Estimate for difference: -0.003
95% CI for difference: (-0.019, 0.013)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.24 P-Value = 0.217 DF = 19

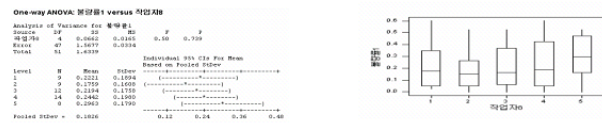


<그림 15> 공기흐름에 의한 도막 형성 분석

그 결과 <그림 15>과 같이 P-Value가 0.079로 $\alpha=0.05$ 보다 크므로 차단막 설치 여부에 따른 도막형성에 차이가 없다고 볼 수 있으나 P-Value값이 유의수준에 가까우며 평균(도막두께)값을 고려하면 효과가 어느 정도 있다고 볼 수 있다.

4.8 상도 수동 작업자

상도 수동 작업자 수에 따른 불량률 분석 결과 <그림 16>와 같이 상도 수동 작업자간의 분석결과를 보면 P-Value가 0.739으로 $\alpha=0.05$ 보다 크므로 작업자간에는 불량발생이 다르다고 말할 수 없다.



<그림 16> 상도수동 작업자간 불량률 분석

최종 단계인 언로딩 및 도장 검사 부분에서 작업자들에 대한 분석은 Gage R&R 측정시스템 분석에서 불량선별이 원활하게 이루어지고 있으므로 실시하지 않았다. 분석결과 선별된 핵심입력변수는 부품의 투입 전 수입검사에서의 검사자 수, 건조로 내부 및 컨베이어 레일 청소 후 생산량, 도료온도, 도료점도, 상도 자동기 내부의 공기 흐름, 상도 수동 공정의 작업자 수가 되겠다.

5. 개선 (Improve)

분석단계에서 선정된 핵심입력변수 중 검사자 수, 건조로 내부 및 컨베이어 레일 청소 후 생산량, 자동기 내부의 공기 흐름, 상도 수동 공정의 작업자 수 대한 개선사항은 <표 2>와 같다.

공정	항목	개선사항
수입검사	검사자 수	검사요원배치(전수검사 실시)
도장건조	컨베이어 레일 및 건조로 청소	청소주기 단축(3개월→1개월) 자동브러쉬설치(컨베이어)
상도수동	작업자	효율적인 작업자 배치 지속적인 교육실시

<표 2> 개선사항

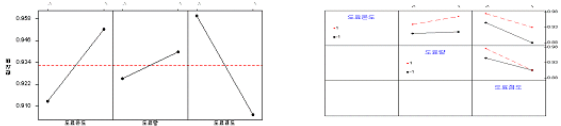
5.1 도료온도, 도료점도에 대한 개선안

실험대상의 각 요인을 <표 3>과 같이 두 가지 수준으로 분류하여 2^3 요인실험을 실시하였다.

요인	수준	
	수준 1	수준 2
도료온도	23°	25°
도료량	1.9 μ m/초	2.0 μ m/초
도료점도	23kg/m·s	25kg/m·s

<표 3> 실험대상 요인들의 수준조합

분석결과 <그림 17>과 같았다. 도료온도와 도료점도의 P-value가 각각 0.028과 0.012로 게이트의 도장 합격에 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다. 그리고 도료점도와 도료량 사이의 교호작용은 없는 것으로 보인다. 전체적인 분석결과 도료온도 25°, 도료점도 23kg/m·s가 최적조건으로 각각의 조건을 유지함으로써 도장품질을 향상시키고, 작업효율을 높이기로 하였다.



Estimated Effects and Coefficients for 합격률 (coded units)

Term	Effect	Coeff	SE Coef	T	P
Constant		0.23250	0.002000	104.50	0.000
작업자 수	0.04000	0.02000	0.002000	4.50	0.028
도료온도	0.01500	0.00750	0.002000	1.50	0.231
도료점도	-0.02500	-0.01250	0.002000	-2.50	0.012
작업자 수*도료온도	-0.01500	-0.00750	0.002000	-1.50	0.231

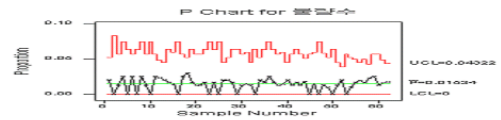
Analysis of Variance for 합격률 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.0027000	0.0027000	0.0022500	16.17	0.023
2-Way Interactions	3	0.0006000	0.0006000	0.0002000	2.22	0.231
Residual Error	7	0.0107500				
Total						

<그림 17> 분석 결과

6. 관리 (Control)

개선 등을 통하여 얻은 프로세스 조건으로 개선 후 게이트 도장 공정의 관리상태를 파악하기 위하여 관리도를 작성한 결과 <그림 18>과 같았다. 그 결과 공정은 관리상태를 유지하고 있었다.



<그림 18> 도장 공정의 P 관리도

6.1 실수방지

공정이 개선된 상태라 하더라도 작업자와 관련된 개입요소로 인해 전체 프로세스에 악영향을 미치는 경우가 발생할 수 있다. 그러므로 개선된 공정에 대해서도 실수방지와 관련된 문제들을 찾아볼 필요가 있다. 사소한 문제라도 그것이 공정에 미치는 영향은 클 수 있기 때문이다. 이와 관련하여 H사에서도 실수방지를 위한 시스템을 다음과 같이 구축하였다.

항목	내용	효과
팔렛	고무호스 부착	게이트 손상 불량률 제거
적재방법	3단 이상 적재 금지	게이트 손상 불량률 제거

<표 4> 실수 방지

6.2 표준화

합리적이고 경제적인 생산 활동 전개를 가능하게 하고, 작업에 관계되는 모든 사람들의 편의를 도모하며, 특정 작업을 바르고 효율적으로 접근하기 위한 규칙을 작성하고 적용하기 위해서 표준화 과

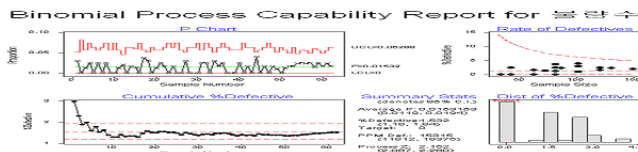
정이 필요하다. H사에서는 프로젝트를 통해 몇 가지 사항에 대해서 <표 5> 같이 표준화를 실시하였다.

공정	항목	표준화
상도자동	ON/OFF 스위치 채널	진 ON/OFF : 1/1 벨 ON/OFF : 1/5
	ON/OFF 스위치 주파수	진 30 → 40 벨 30 → 37
	도로운도	25℃
	도료점도	23kg/m ³ s
전수검사	검사자	도장 불량에 대한 자체 규격 수립

<표 5> 표준화

6.4 프로젝트 성과

관리 단계에서 이루어진 모든 활동을 통하여 얻은 개선 조건을 도장 공정에 적용한 후 도장 품질에 대한 공정능력 분석을 실시하였다. 그 결과는 <그림 19>와 같이 게이트 도장 공정의 불량률은 1.53%로 시그마수준으로 환산하였을 경우, 3.66시그마 수준이었다. 이는 측정 단계에서 실시한 공정의 초기 시그마 수준인 2.957시그마 수준을 넘어, 목표수준인 3.67시그마 수준에 도달한 것이다. 이러한 개선효과는 <표 6>과 같이 유형적으로 6천 3백만원의 F-Cost 절감을 비롯하여 무형적으로 고객만족을 기대할 수 있다.



<그림 19> 개선 후의 공정능력분석

	불량률	시그마 수준	재도장 비용	2002년 대비개선효과
2002년	3.15%	3.36	124,529	
목표수준	1.5%	3.67	59,300	65,229
개선 후 연간 추정치	1.53%	3.66	60,941	63,588

<표 6> 개선 후 프로젝트 성과 달성 비교

7. 결론

본 논문에서는 상용트럭 및 특장차의 구성 부품을 제조하는 한 중소기업에서 6시그마 개선활동의 로드-맵인 DMAIC 절차를 따라 수행한 프로젝트 과정을 소개하였다. 본 프로젝트 수행과정 중 여러 가지 요인으로 인해 프로젝트의 진행이 수월

하지 못했으며, 현장에 적용하는데 어려움이 있었다. 인원들에게 6시그마 활동의 중심이 되는 개념들이 정확하게 인식되어 있지 않으며, 프로젝트에 사용되는 여러 가지 기법들에 대한 지식이 미흡하였다. 또한 납품업체에 대한 관리가 제대로 이루어지지 않았으며, 최종고객인 대기업의 일정에 따라 생산계획이 수시로 변화하기 때문에 데이터 수집에 어려움이 있었다. 그리고 설비의 부적절한 레이아웃과 노후화에 따른 설비 교체가 미흡하지만 이는 비용과 연관된 문제이기 때문에 쉽게 접근할 수 없는 어려운 문제이었다. 무엇보다도 팀 구성원 외에는 프로젝트 진행에 대한 관심이 부족하여 공정에 잠재하고 있는 문제점의 뿌리까지 찾아내는데 많은 시간을 소비하였다. 이러한 사항은 많은 중소기업이 프로젝트를 진행하는 도중에 직면하는 어려움이고, 포기하게 되는 원인일 것이다. 또한 효율적인 품질문화를 조성하기 위한 과학적이고, 혁신적인 프로세스 개선활동으로 각광받고, 우리나라에서도 여러 분야에서 활용되고 있음에도 불구하고 아직까지 중소기업에서 정착되지 못하고 있는 이유가 될 것이다. 그러나 경영자의 마인드 전환, 프로젝트 진행에 필요한 기법들에 대한 지식, 프로세스를 바라보는 안목의 정확성, 구성원 전체의 개선에 대한 의지와 함께 직면해 있는 요인들을 극복한다면 6시그마 활동은 중소기업에서도 정착할 수 있는 혁신적인 활동이 될 것이다.

참고문헌

- [1] 홍성훈, 반재석(2001), “모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트 품질경영학회지, No.3, pp.166-176.
- [2] 김계수(1999), “프로세스 품질경영 성과 개선을 위한 6시그마 프로그램에 관한 연구”, 품질경영학회지, 제27권, 제4호, pp. 266-279
- [3] 권혁무, 김정택, 최준호(2000), “주택건설현장 페콘크리트 발생 저감 식스 시그마 프로젝트 추진사례”, 품질혁신, 1권, 1호, pp.4-9.
- [4] 차원준, 최연선(2003), “6시그마 프로세스를 이용한 소형 직류 모터의 소음 절감”, 한국소음진동공학회논문집, 제13권, 제7호 pp.532-538.
- [5] Brain, C.(1990), “In Search of Six Simga: 99.997% Defect Free”, Industrial Week, pp.60-65.
- [6] Fontenot, Jr., Behara, R., and Gresham, A. (1994), “Six Sigma in Customer Satisfaction Quality Process, pp. 73-76.
- [7] Harry, M.j.(1998), “Six Sigma : A Breakthrough Strategy for Profitability”, Quality Process, pp.60-64.
- [8] Horel, R.W.(1998), “Six Sigma and the future of the Quality Profession,” Quality Progress, No.6, pp.35-42.