

# 스폿 용접공정의 TIP 수명 향상을 위한 6시그마 프로젝트 사례

## A Case Study Six Sigma Project for Improving TIP Life Time in a Spot Welding Process

이민구

인제대학교 시스템경영공학과

곽효창

(주) 카테크 생산기술연구소

### Abstract

This paper consider a six sigma project for improving the TIP life time in a spot welding process. The project follows a disciplined process of five phases: define, measure, analyze, improve, and control. A process map is used to identify process input and output variables. Nine key process input variables are selected by using C&E matrix and FMEA, and finally four vital few input variables are selected from analyze phase. The optimum process conditions of the four vital few input variables are jointly obtained by maximizing TIP life time using DOE.

### 1. 서론

기업의 경쟁력은 고객만족을 얼마나 실현시키느냐에 달려있다. 고객만족을 실현하기 위한 주요 세 가지 활동은 제품의 올바른 특성, 낮은 원가 및 납기준수를 달성하는 것이다. 그동안 기업의 경쟁력을 향상시키기 위한 많은 노력들이 국내외적으로 이루어져 왔다. 이러한 일련의 고객만족을 위한 변화는 1987년 모토롤라에서 6시그마 경영혁신 활동의 도입과 더불어 고객만족을 실현하기 위한 하나의 전환점을 맞이하였다. 잘 알려진 바와 같이 6시그마는 1987년 Motorola에서 처음으로 시작되었다. 1981년 당시 Motorola의 회장이었던 Robert W. Galvin 은 5년에 걸쳐 10%가 아닌 10배의 개선을 달성한다는 야심찬 계획을 구상하였다. 당시 Motorola사에서는 모든 부분

의 낭비를 줄이는 방법에 대한 연구가 활발히 진행 중이었다. 그러한 활동의 일환으로 Smith 라는 엔지니어가 재미있는 연구를 한 가지 하였다. 현장에서 수집된 제품의 A/S(After Sales Support) 데이터 고장 시간과 그 제품이 제조되는 과정에서 재작업을 분석하는 과정에서, 대부분의 고장난 제품이 제조 시에 재작업이나 수리를 거친 제품이었다는 것을 발견하였다. 즉, 고객이 사용한 제품의 초기 즉, 고객이 사용한 제품의 초기 고장 시간과 그 제품이 제조되는 과정에서 재작업을 어느 정도 받았는가에 대한 상관관계를 알아본 결과, 놀랍게도 제조 과정에서 결함이 발견되어 재작업 과정을 거친 제품일수록 고객에 의한 초기 사용 단계에서 고장이 많았다는 사실을 발견하였다. 결함으로 인해 재작업 과정을 거친 제품은

제작업 과정에서 제거된 결함 이외에 다른 결함을 포함하기 쉬우며 이와 같은 결함이 발견되지 못하고 출하되는 관계로 인하여 제품의 사용 초기에 고장이 많이 발생한 것이었다. 이것을 역으로 말하면, 결함 없이 조립된 제품은 고객이 사용할 때 초기 고장이 거의 발생하지 않는다고 말할 수 있는 것이다. 이와 더불어 Motorola사는 어느 분야이든지 그 분야에서 세계 최고인 기업은 제품의 제조 과정에서 수리나 제작업이 없는 제품을 생산한다는 사실을 알았다. 이는 Six Sigma 전략의 주요 개념 가운데 하나인 “숨은 공장 (Hidden Factory)”과 “전체 수율 (Rolled Throughput Yield)” 등에 대한 아이디어를 제공했다고 할 수 있다. Motorola사의 경영층이 Smith의 보고서를 받아들였지만 구체적인 실천전략을 수립하는 것은 또다른 문제였다. 그 이후 Mikel J. Harry 등이 주축이 되어 Six Bill 수정되고 발전되었다.

6시그마는 Motorola사에 이어 Texas Instrument (1988), Asea Brown Boveri (1993), Allied Signal (1994), General Electric (1995) 등에서 성공적으로 적용되었으며, 최근에는 Polaroid, Bombardier, Lockheed Martin, SONY, Nokia 등 미국 기업과 더불어 아시아와 유럽의 많은 기업들도 속속 도입하여 적용하고 있다. 이처럼 많은 기업들이 6시그마를 넓은 의미의 품질을 향상시키는, 그것도 품질을 급격하게 개선하는 가장 적합한 수단으로 생각하여 이를 받아들이고 있다. 이러한 세계 초 일류기업의 성공사례는 국내 기업들의 6시그마 도입의 필요성을 제시하기에 충분하였으며, 현재 삼성전자, 삼성전기, LG전자, LG화학, 현대자동차, 두산중공업, 포항제철 등 다수의 기업에서 활발하게 도입하여 많은 성과를 거두고 있다. 최근에는 금융이나 공공부문 등 서서비스를

주로 제공하는 기업에 까지 빠르게 6시그마가 도입되고 있다. 또한 대기업과 협력관계에 있는 많은 중소기업들도 자신의 기업경쟁력을 위해서 또는 협력관계를 유지하기 위하여 6시그마를 적극적으로 도입하여 6시그마 프로젝트를 진행하고 있다. 그 동안 진행된 6시그마 활동의 성공사례는 국내외의 여러 학자들에 의해 소개된 바 있다; [1], [2], [3] [4],[5],[6],[7], [8].

6시그마의 성공을 위한 여러 가지 요소 가운데 중요한 것이 교육과 훈련이며, 특히 개선의 핵심 요원인 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행은 전체 개선 활동의 성패를 좌우한다. 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행에 많은 비용이 수반되기 때문에 중소기업에서 6시그마를 도입하여 진행하기가 쉽지 않다. 따라서 지금까지 발표된 6시그마 프로젝트 논문은 대부분 대기업의 프로젝트에 국한되어 있다. 이러한 중소기업의 어려운 점을 해결할 수 있는 대안 중의 하나가 산·학 연계 프로그램으로 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행이다. 본 연구에서는 (주) 카테크와 인제대학교가 공동으로 진행하였던 블랙벨트 프로젝트 중에 하나인 “스폿용접공정의 TIP 수명 향상”의 프로젝트를 소개한다. 이를 통해 다른 중소기업에서도 6시그마를 성공적으로 도입하는데 하나의 계기가 마련되었으면 한다. 본 논문의 대상 기업인 (주) 카테크는 르노삼성에 자체를 공급하는 자동차 부품 제조기업이다. 프로젝트의 대상공정은 스폿용접공정으로 생산제품의 대부분은 이 공정을 거치게 되어 있다. 본 논문은 프로젝트의 실제 진행 순서인 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 그리고 관리(Control)의 5단계로 구분하여 구성하였다. 본 논문의 원고는 기업 내에서 실제 수행한 프로젝트를 정리한 것으로, 제조 공정관련 구체적인 수치나 비용관련 수치는 기업 비밀 보호를 위해 비율이나 일부 가공된 수치를 사용하였다.

## 2. 정의

정의 단계는 6시그마 프로젝트를 선정하고 구체적으로 정의하는 단계이다. 6시그마 프로젝트는 고객의 요구사항, 장기 경영전략 및 해결되어야 할 당면 문제 등을 고려하여 선정한다. 선정된 6시그마 프로젝트는 블랙벨트나 그린벨트에 의해 진행될 수 있도록 문제 및 목표, 개선 대상 프로세스와 CTQ를 구체적으로 정의해야 한다. 먼저 프로젝트 선정 배경을 살펴보면 카테크에서 생산되는 제품들은 대부분 용접공정을 거치게 되어 있기 때문에 가장 중요하면서도 기본적인 공정이라 할 수 있다. 용접공정에서 용접에 사용되는 TIP은 소모품으로써 사용 정도에 따라 새로운 TIP으로 교체하여 사용하고 있다. TIP의 연간 사용비용은 매출액 대비 2% 정도로 매우 높은 비중을 차지하고 있으며 경쟁업체에 비하여 TIP의 수명도 90% 수준에 머무르고 있다. 내부고객인 경영층에서는 TIP의 수명향상이나 사용비용 감소에 많은 관심을 가지고 있다. 따라서 프로젝트를 스폿용접공정의 TIP 수명향상으로 선정하였으며 대상 프로젝트의 범위는 스폿용접공정에서 TIP의 부착에서 새로운 TIP으로 교체하는 작업까지로 국한하였다. 스폿용접공정은 TIP부착, 용접작업, TIP드레싱, TIP확인 후 필요하면 교체의 순서로 반복되고 있다. 프로젝트 CTQ는 TIP의 사용비용 절감이며 이와 관련된 프로젝트 Y는 TIP의 수명으로 선정하였다. 현재 본 공정의 시그마 수준은 2.6시그마 정도이며 프로젝트의 목표는 현재보다 TIP의 수명을 40% 정도 향상하여 6시그마 수준에 도달하는 것으로 설정하였다. 프로젝트의 재무성과는 매출액 대비 0.8%이며 프로젝트 기간은 교육일정 등과 프로젝트 진행사항 등을 감안하여 6개월로 설정하였다. 팀원은 모두 5명으로 구성하였다.

## 3. 측정

측정단계는 프로젝트 Y(출력변수)의 현재 수준 및 목표 수준을 설정하고 Y에 영향을 주는 입력변수 Xs를 1차적으로 도출하는 단계로 프로세스 맵과 특성요인도에 의해 도출된 Xs들로부터 C&E 매트릭스와 FMEA를 이용하여 주요 입력변수를 1차 선별한다.

### 3.1 공정능력분석

측정시스템분석을 통해 데이터의 신뢰도를 먼저 확보하고 공정능력분석을 통해 Y의 현재 수준을 정확히 파악한다. 현재 TIP의 수명은 타점수를 가지고 측정하고 있다. TIP의 타점수는 생산된 제품의 종류와 개수가 파악되면 정확하게 알 수 있기 때문에 따로 측정시스템분석을 실시하지 않았다. 6시그마 프로젝트에서는 공정능력지수나 불량률이 아닌 시그마 수준으로 현재의 품질수준을 파악한다. 시그마 수준을 산출하기 위해서는 데이터의 형태가 계량형인지 계수형인지를 구분하여 계산한다. 계량형 데이터일 경우 먼저 수집한 데이터가 정규분포를 따르는지를 검정해야 한다. 만일 정규분포가 아닐 경우는 데이터 변환을 통해 정규분포로 만든 다음 공정능력분석을 통해 DPMO를 구한 다음 이에 대응하는 값에 해당하는 시그마 수준을 산출한다. TIP의 타점수는 정수 형태의 데이터를 갖지만 수집된 데이터의 정규성 검정을 해 본 결과 데이터들이 정규분포를 따름을 알 수 있었다. 따라서 Minitab의 Capability Analysis (Normal)의 모듈을 이용하여 공정능력분석을 실시하였다. <표1>는 스폿용접공정의 각 단위 공정별 현재 시그마 수준과 TIP의 목표 타점수를 정리한 데이터이다.

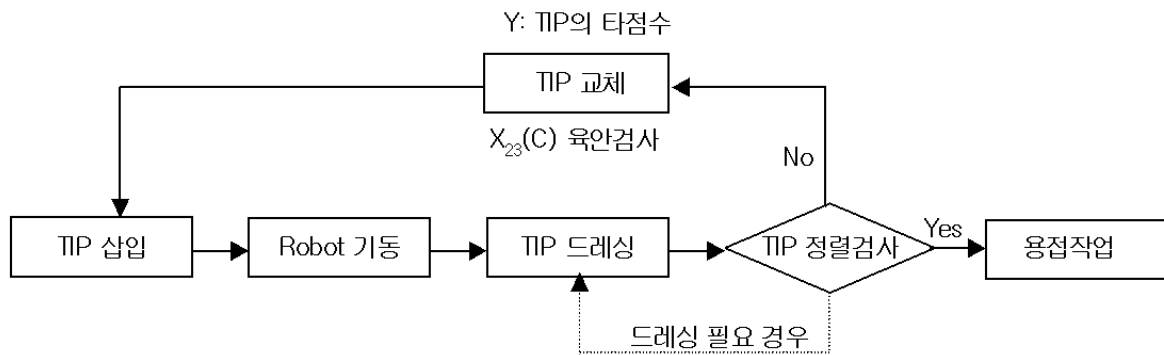
### 3.2 프로세스 맵

스폿용접공정에서 TIP의 타점수에 영향을 미치는 입력변수를 산출하기 위하여 각 단위 프로세스를 상세히 구분하고 각 단위 프로세스에 해당하는 입력변수와 출력변수를 선정

하여 프로세스 맵을 작성하였다. 프로세스 맵 도를 보조 도구로 사용하였다.  
을 보다 상세하게 작성하기 위하여 특성요인

<표 1> 단위공정별 시그마 수준

공정명	TIP타점수 평균 (현재)	시그마 수준	목표 TIP 타점수	가중치
10-상 공정	2475.0	3.1 $\sigma$	4840	1/6
10-하 공정	2475.0	2.4 $\sigma$	6160	1/6
20 공정	15340.0	2.5 $\sigma$	36400	1/6
40 공정	14985.0	2.8 $\sigma$	32400	1/6
50-1 공정	10522.5	2.5 $\sigma$	35300	1/6
50-2 공정	10580.0	2.5 $\sigma$	25300	1/6
전체 공정	9396.3	2.6 $\sigma$	21733	1/6



- Y: TIP의 타점수
- X<sub>1</sub>(C) TIP 홀더상태
  - X<sub>2</sub>(C) 망치작업
  - X<sub>3</sub>(C) TIP 길이
  - X<sub>4</sub>(C) TIP 재질
  - X<sub>5</sub>(N) 드레싱날 각도,
  - X<sub>6</sub>(C) 드레싱 시간,
  - X<sub>7</sub>(C) 드레싱날 마모,
  - X<sub>8</sub>(C) 드레싱날 청결,
  - X<sub>10</sub>(C) 드레싱 주기
  - X<sub>11</sub>(C) 티칭 각도
  - X<sub>12</sub>(C) 상카 각도
  - X<sub>13</sub>(C) 드레싱 가압
  - X<sub>8</sub>(C) 드레싱날 재질,
  - X<sub>14</sub>(C) 육안검사
  - X<sub>15</sub>(C) 전류,
  - X<sub>16</sub>(C) 가압력,
  - X<sub>17</sub>(N) 철판재질,
  - X<sub>18</sub>(C) 냉각수,
  - X<sub>19</sub>(S) 철판청결상태
  - X<sub>20</sub>(C) 가압력
  - X<sub>21</sub>(C) TIP 청결
  - X<sub>22</sub>(C) 재료세팅
  - X<sub>23</sub>(C) TIP 선단경

<그림 1> 용접공정의 프로세스맵

### 3.3 1차 선별된 Xs

프로세스 맵과 특성요인도에 의해 도출된 Xs들로부터 C&E 매트릭스와 FMEA를 이용하여 다음과 같은 주요 입력변수들 Xs을 1차로 선별하였다. C&E 매트릭스를 활용하여 1차로 17개의 입력변수를 선정하였고 FMEA를 통하여 즉개선 입력변수와 분석단계에서 분석할 입력변수로 분류하였다.

1) 즉개선 입력변수들 Xs

- ① 드레싱날 청결
- ② TIP 선단경
- ③ TIP 정렬 상태
- ④ TIP 교체 방법
- ⑤ TIP 배포관리
- ⑥ 육안검사
- ⑦ 냉각수 ON/OFF 관리

2) 분석단계에서 분석 후 추진인자

- ① TIP 길이 (상카의 길이)

- ② TIP 재질
- ③ 로버트 티칭
- ④ 전류
- ⑤ 가압력
- ⑥ 통전시간
- ⑦ 드레싱날 재질
- ⑧ 드레싱주기
- ⑨ 드레싱 시간

분석단계는 측정단계에서 1차로 선정된 Xs들에 대하여 객관적인 방법으로 프로젝트 Y에 영향을 미치는 중요 핵심 입력변수를 선정하는 단계이다. 분석 단계에서 주로 활용하는 도구는 통계적인 방법과 기술적인 분석 방법이다. 분석단계에서 사용된 도구들과 결과들을 요약 정리한 것이 <표 2>이다.

#### 4.분석

<표 2> 분석 단계 분석결과 요약

NO	입력변수 X	분석목적	분석도구	분석결과	개선단계 진행 여부
1	TIP 길이	TIP 길이가 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	기술적 구조분석	유의함	개선단계 진행
2	로버트 티칭	로버트 티칭이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	기술적 현상파악	유의하지 않음	제외
3	드레싱날 재질	드레싱날 재질이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	기술적 현상파악	유의하지 않음	제외
4	TIP 재질	TIP 재질이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의하지 않음	제외
5	드레싱 주기	드레싱 주기가 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의하지 않음	제외
6	드레싱 시간	드레싱 시간이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의하지 않음	제외
7	전류	용접조건 중 전류가 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의함	개선단계 진행
8	가압력	용접조건 중 가압력이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의함	개선단계 진행
9	통전시간	통전시간이 TIP의 타점수에 미치는 영향 파악	가설검정	유의함	개선단계 진행

#### 5. 개선

개선단계는 분석단계에서 선정된 중요 Xs들을 중심으로 문제를 해결하기 위한 대책을 수립하는 것으로 최적 조건 설정이나 최적의 대안을 선정하는 단계이다. 분석단계에서 선정된 입력변수인 TIP길이, 전류, 가압력, 통전시간과 분석 단계에서는 고려하지 않았으나 개선단계를 진행하면서 중요하다고 생각했던 TIP의 관리시스템에 관련된 5가지 입력변수

들에 대하여 개선활동을 하였다.

TIP의 관리시스템에서 개선은 주로 TIP의 교체 시점을 파악하는 것과 관련된 사항을 주로 개선하였으며 많은 효과를 보았다. 자세한 개선 내용에 관한 설명은 생략한다. 나머지4개의 입력변수들에 대해서는 실험계획법을 사용하여 입력변수들의 최적조건을 설정하였다. 설정된 최적조건에 대한 재현성 실험을 통하여 최적조건을 확인한 결과 재현성이 증

분한 것으로 결과가 얻어졌다. TIP의 타점수를 최대로 하는 최적 조건은 <표 3>과 같다. <표 4>은 개선안이 적용된 이후 각 공정별 TIP의 타점수를 기록한 것이다. <표 4>에서

알 수 있듯이 우리가 처음에 목표로 한 수준을 초과하여 달성하였음을 알 수 있다.

<표 3> 최적조건

입력변수	최적조건	TIP의 타점 수
TIP의 길이	23 mm용 TIP	1307.5
전류	9500	
가압력	280	
통전시간	12	

<4 표> 개선 후 공정능력

공정명	TIP 타점수 (개선전)	목표 TIP 타점수	TIP 타점수 (개선후)	달성률(%)
10-상 공정	2475.0	4840	6006	124
10-하 공정	2475.0	6160	11330	183
20 공정	15340.0	36400	48175	132
40 공정	14985.0	32400	28425	87
50-1 공정	10522.5	25300	21084	83
50-2 공정	10580.0	25300	21084	83
전체 공정	9396.3	21733	22694	104

## 6. 관리

관리단계는 프로세스의 최적화를 실시한 후에 지속적으로 유지/관리하기 위한 단계이다. 즉, 체계적인 관리시스템을 갖추어 프로세스를 모니터링 하는 단계이다. 개선 단계에서 진행된 개선방법을 실제 스폿용접공정에 적용한 결과 개선단계에서 수행한 재현성 평가와 동일한 결과가 얻어졌다. 프로젝트의 재무성과는 매출액대비 0.6%의 비용절감효과가 얻어졌다. 재무성과가 목표 대비 80% 수준에 머무른 것은 개선안을 아직 전체 공정으로 전개하지 못한 이유이다. 앞으로 전체 공정으로 수평전개를 하면 무난히 목표를 달성할 것으로 기대된다.

## 7. 결론

본 논문에서는 자동차 부품을 생산하는 제조 공정 중 가장 중요한 공정 중 하나인 스폿용접공정에 대해서 프로젝트를 실제 진행 순서인 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 그리고 관리(Control)의 5단계의 과정을 소개 하였다. 프로젝트 Y인 TIP의 타점수를 목표수준 이상으로 향상을 시켰으면 재무성과도 매출액 대비 0.6% 수준을 달성하였다. 지금까지 발표된 6시그마 프로젝트 논문은 대부분 대기업의 프로젝트에 국한되어 있었다. 그러나 본 프로젝트를 통하여 중소기업에서도 6시그마 기본을 충실히 전개하며 많은 성과를 이룰 수 있다는 사례를 보여준데 대하여

논문의 의미를 부여할 수 있다. 앞으로 우리나라 중소기업에서도 적극적으로 6 시그마를 도입하여 기업의 경쟁력 강화에 발판이 되기를 기대한다. 현재 중소기업에서 대부분 6 시그마 경영혁신은 품질을 향상시키는 것이라는 좁은 관점에서 접근하고 있다. 그러나 6 시그마 경영혁신은 제품의 설계와 제조뿐 아니라 사무간접, 지원 등을 포함하는 모든 종류의 프로세스에서 결함을 제거하고 목표로부터의 이탈을 최소화하여 조직의 이익 창출과 함께 고객 만족을 최대화하고자 하는 혁신 전략이다. 따라서 품질 뿐만 아니라 불합리하고 비효율적인 프로세스를 효율적으로 구축한다는 6 시그마 경영혁신의 기본에서 출발하면 보다 좋은 결과를 도출할 것으로 기대한다.

#### 참고문헌

- [1] 홍성훈, 반재석, "모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트", 품질경영학회지, Vol. 29, No. 3, 2001, pp. 166-176.
- [2] 권혁무, 김정택, 최준호, "주택건설현장 폐콘크리트 발생 저감 식스 시그마 프로젝트 추진 사례", 품질혁신, Vol. 1, No. 1, 2000, pp. 4-9.
- [3] 김학수, "삼성전관의 6시그마 추진 사례" 품질경영학회지, Vol. 27, No. 1, pp. 211-222
- [4] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, "식스시그마 성공사례", 품질경영학회지, Vol. 27, No. 3, 1999, pp. 202-208.
- [5] Harry, M.J., "Six Sigma : A Breakthrough Strategy for Profitability," Quality Progress, May 1998, pp. 60-64.
- [6] Hoerl, R. w., "Six Sigma and the Future of the Quality Profession.", Quality Progress, July 1998, pp. 35-42.
- [7] Fontenot, G., Bahara, R., and Gresham, A. "Six Sigma in Customer Satisfaction,"

Quality progress, December 1994. 12, pp. 73-76.

- [8] Fred R. McFadden, "Six-Sigma Quality Programs", Quality Progress, June 1993, pp. 37-42