

용접조건 개선으로 불량률 감소 -6시그마 프로세스를 중심으로-

박진영

(주)서비스전략경영연구소

Reducing the Rate of Defective to Improve a Welding Condition

-Based on Six Sigma Process-

Jin Young Park*

*Service Strategic Management Consulting Co. Ltd.

Key Word : CTQ, DMAIC, DOE, Process map, Sigma level, Six Sigma

Abstract

This paper considers a six sigma project for reducing the defects rate of the welding process in manufacturing firms. The project follows a disciplined process of five macro phases : define, measure, analyze, improve and control(DMAIC). The need of customers is used to identify critical to quality(CTQ) of project. And a process map is used to identify process input factors of CTQ. Four key process input factors are selected by using an input factor evaluation of teams; an interval of welding, an abrasion, an electric current and a moving freely. DOE is utilized for finding the optimal process conditions of the three key process input factors. Another one key input factor improved to welding machine. The six sigma level of defects rate becomes a 2.01 from a 1.61 at the beginning of the project.

1. 서론

우리나라의 품질관리활동은 60년대 검사중심의 QC활동을 시발로 70년대와 80년대에 SPC와 QA를 중시하였고, 90년대에 와서는 품질활동이 기업의 전략적인 관점에서 운영되어야 함을 직시하고 전사적으로 실행되어야 하는 것을 강조하여 이를 QM이라 불렀

다. 그리고 2000년대에 들어서 미래의 불확실한 기업환경하에 존속하기 위해서는 경영의 모든 부문이 질적 향상이 되어야만 한다는 것을 강조하고 경영품질의 시대를 예고했다.

6시그마활동은 1980년대 말 미국의 모토콜라사에서 혁신적인 품질개선을 목적으로 개발되었으나, 이후 GE에서 세계적인 초우량

기업으로 발돋움하기 위해 기업의 경영전략으로 채택하였다. 이러한 6시그마활동은 제품의 품질을 결정짓는 프로세스에 중점을 두고 있으며, 최근에는 비제조부문(연구개발, 영업, 사무간접, 서비스 등)까지 확대 적용되고 있다. 이는 6시그마활동이 프로세스중심의 개선이고, 제조와 비제조부문을 비교할 수 있는 공통된 척도인 시그마(σ)수준으로 측정이 가능하기 때문이다[1]. 또한 시그마수준이 높아지면 높아질수록 기업의 비용이 절감됨은 이미 증명되어 있기 때문에 기업은 이러한 비용을 절감하기 위해서는 경영의 모든 부문이 품질을 높이는데 모든 노력을 기울여야 한다. 따라서 6시그마활동은 경영품질을 높이는 활동이라 할 수 있다.

본 연구에서는 전자부품인 HVT의 용접조건 개선으로 불량률 감소를 위해 6시그마 기법을 적용하여 최적 개선 안을 도출하고자 한다. 본 연구의 대상기업인 D회사는 S전자 회사에 납품하는 전자부품 HVT를 생산하는 회사로써, HVT 생산공정은 크게 권선공정, 조립공정, 합침공정 등으로 구분되며, 이중 조립공정에 속하는 용접공정을 대상으로 실시하였다. 본 연구에서는 6시그마활동 프로세스인 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve), 관리(Control)의 5 단계를 중심으로 프로젝트 진행 결과를 요약해 소개하고자 한다. 본 연구는 기업 내에서 실제 수행한 프로젝트를 정리한 것으로, 제조공정관련 용어 및 수치들은 기업비밀 보호를 위해 연구자가 임의로 가공하여 적용하였다.

2. 정의(Define)

정의단계는 고객을 정의하고, 그 고객의 요구사항을 파악하여, 개선대상 프로젝트를 선정하는 단계이다. 먼저 프로젝트 선정 배경을 살펴보면 D사에서 생산되는 HVT는 용접공정에서의 불량률은 대부분의 자재가 모두 결합되는 부분이기 때문에 불량으로 인한 손실비용이 가장 크게 나타나는 부분이며, 현재에도 고질적인 불량으로 유실이 많이 일어나고 있는 실정이다.

정의단계에서 먼저 고객의 정의와 요구사항을 조사한 결과 용접설비개선(23.23%), 설계변경(21.29%), 바이어 협의(16.13%) 등으로 분류되었으며, 이중 용접설비개선이 가장 중요한 문제로 인식되고 있기 때문에 이를 프로젝트로 선정하였다.

이 프로젝트의 COPQ를 조사한 결과 연간 8,238만원의 손실비용이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 QFD에서는 용접설비의 진동, 거리, 위치 그리고 압력 중에서 진동이 가장 문제가 되는 부분이었다. 따라서 FMEA에서 이를 중심으로 분석한 결과 고장유형은 용접 Jig불균형, 용접봉 touch현상 등이 발생하는 것으로 나타났으며, 이들의 잠재적 원인으로서는 용접부위의 사이 뜸, 비정렬, 날장 등으로 분석됐다.

이를 해결하기 위하여 담당을 선정하고 일정계획을 수립하였다.

3. 측정(Measure)

측정단계는 현재 공정에서 사용하고 있는 측정시스템에 문제가 있는지를 분석하고, 프로세스의 현재 상태를 파악하여 프로젝트의 달성목표를 설정하는 단계이다.

3.1 측정시스템분석

용접공정에서 용접의 양·불량의 기준은 용접비트 크기와 용접상태를 가지고 판별하고 있다. 용접비트의 크기는 계량 값으로 버니어 캘리퍼스를 사용하여 측정하고 있으므로, 이를 판별할 수 있는 측정시스템분석 방법에는 Gage R&R ANOVA법, Xbar-R법 그리고 Range법 등이 있으나, 이중 ANOVA법이 가장 많은 정보를 나타내 주고 있기 때문에 대부분이 ANOVA법을 많이 활용하고 있다. 그리고 용접상태는 사이 땀, 비정렬, 날장, 기포 등의 유형으로 발생되고 있으며, 이들을 검사하는 검사자들은 모두 육안검사를 실시하고 있으므로 이들이 변별능력이 있는지를 알아보기 위해 측정시스템분석 방법 중 간이 평가법(short method)을 실시했다.

간이 평가법(short method)은 계수형 평가법으로 검사자가 합격과 불합격을 제대로 구별해낼 수 있는지를 파악하는 기법이다. 따라서 본 분석에서는 시료를 20개를 선정하여 실시하였으며, 판정기준은 일치율이 95%이상이어야만 측정시스템으로 인정할 수 있는 것으로 보았다.

첫째, 용접비트의 크기에 대한 측정시스템 분석을 하기 위해서 검사자 3명과 시료 10개를 준비하여 각각 3회씩 랜덤하게 반복 측정하였다. 이를 분석하기 위하여 Gage R&R ANOVA법을 사용하였다.

<표1>에서 살펴보면 총 변동 중에서 측정시스템에 의한 변동이 차지하는 비율이 11.77%로 나타났으며, 일반적으로 이 값이 30%미만일 경우에는 사용 가능하다고 말할 수 있다. 또한 측정시스템을 평가하는 척도인 Number of Distinct Categories 가 4로, 이 값이 4이상이면 측정시스템을 인정해도

좋다고 판정한다. 따라서 측정시스템분석 결과는 사용해도 좋다고 결론을 내렸다.

<표1> Gage R&R 분석 결과

Gage R&R

Source	%Contribution	
	VarComp	(of VarComp)
Total Gage R&R	0.01488	11.77
Repeatability	0.01488	11.77
Reproducibility	0.00000	0.00
B	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.11148	88.23
Total Variation	0.12635	100.00

Number of Distinct Categories = 4

둘째, 용접상태에 대한 측정시스템분석 결과는 다음과 같다.

· 날장불량검사에는 4명의 검사자가 근무하고 있으며, 이들 4명을 대상으로 변별능력이 있는지를 알아보았다. 분석결과 4명의 검사자가 일치율이 35%로 변별력이 없는 것으로 보고 이 측정시스템은 사용할 수 없는 것으로 판정했다. 따라서 날장불량검사는 Go-No gage를 사용하여 양·불량을 판정하는 것으로 결론을 내렸다.

· 사이 땀, 기포 그리고 비정렬 불량검사에서도 각각 4명씩의 검사자가 근무하고 있었으므로 첫째와 동일한 방법으로 실시하였다. 분석결과 각 불량검사 항목별로 검사자의 일치율이 100%로 나타나 변별력이 있는 것으로 판정되어 이 측정시스템은 사용 가능한 것으로 결론을 내렸다.

3.2 공정능력분석

공정능력분석에서는 현재의 품질수준과 목표를 설정하는 데 있다.

6시그마활동에서는 모든 활동을 시그마수준으로 표현하도록 되어 있다. 이는 제조부문뿐만 아니라 비제조부문까지도 동일한 척도로 표현함으로써 품질수준을 측정하고 상호 비교할 수 있도록 하는 데 있다[1].

시그마수준을 산출하기 위해서는 현재의 공정에서 발생된 데이터를 수집해야 한다. 이를 위해서는 먼저 수집할 데이터가 계량값인지 아니면 계수값인지를 먼저 구분하고 이에 맞는 데이터를 수집해야 한다.

만약 수집된 데이터가 계량값일 때에는 먼저 이 데이터가 정규분포를 따르는지를 검정하여야 하고, 만일 정규분포를 따르지 않을 경우에는 Box-Cox변환이나 데이터분할 등을 통해 변환해야 한다. 그 후에 공정능력분석을 통해 DPMO를 구한 다음 그 값에 대응하는 시그마수준을 구한다.

그러나 수집된 데이터가 계수값일 때에는 현재의 DPMO를 구한 다음 그 값에 대응하는 시그마수준을 구한다.

현재 프로젝트에서 측정해야 하는 결과값은 불량률을 감소하는 것이기 때문에 DPMO로 산출한 결과 53,988DPMO로 밝혀졌다. 이를 시그마수준으로 환산한 결과 1.61시그마로 계산되었으며, 이는 용접공정의 현재 품질수준이라 할 수 있다.

또한 측정단계에서 중요한 것은 프로젝트를 진행할 방향을 설정하는 것이다. 이를 위해서는 목표를 설정하는 것이 필수적이라 하겠다. 따라서 이 공정에서의 목표수준을 구하기 위해서는 현재의 공정수준에다 +1.5시그마를 하면 목표품질 수준이 되므로 3.11시그마가 된다.

4. 분석(Analyze)

분석단계는 프로세스 맵핑을 통해 측정단계에서 선정된 결함요인을 발생시키는 잠재인자를 색출하고, 이 잠재인자 중 개선가능 잠재인자를 선정하여 데이터를 수집한다. 수집된 데이터를 통해 CTQ에 미치는 영향을 분석한 후 최종적으로 품질에 크게 영향을 미친다고 판단되어지는 핵심인자(vital few)를 선별해 내는 단계이다.

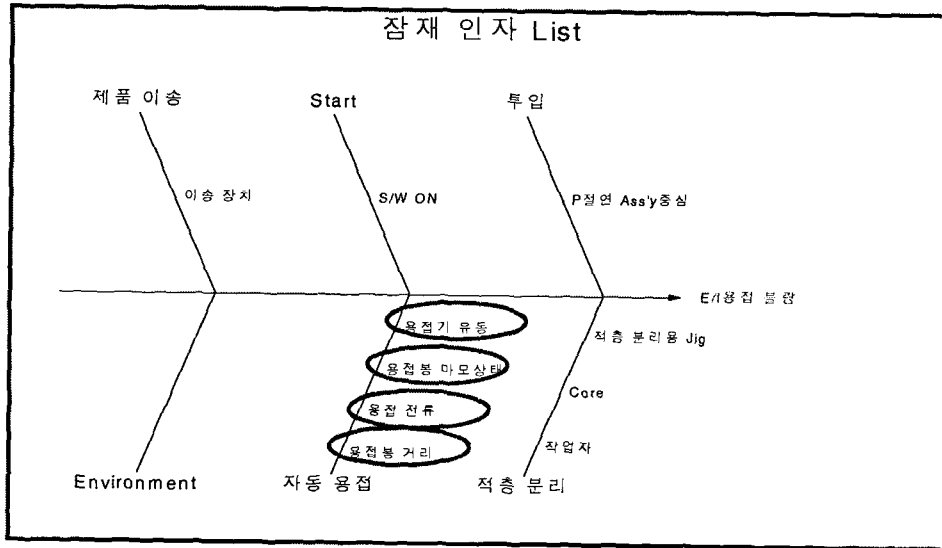
4.1 프로세스 맵핑

본 프로젝트에 대해 프로세스 맵핑을 실시하여 용접불량에 영향을 미치는 잠재인자를 찾아낸 후, 이중 CTQ에 가장 크게 영향을 주고 있다고 생각되는 인자를 팀원들의 브레인스토밍을 통해 선정했다. <그림1>은 이를 Fishbone으로 요약한 결과이다.

이상에서 선정된 개선가능 잠재인자 중 핵심인자를 선별해 내기 위해 다음과 같이 가설을 설정하였다.

- 가설1 : 용접기의 유동이 용접비트의 크기에 영향을 줄 것이다.
- 가설2 : 용접봉의 마모정도가 용접비트의 크기에 영향을 줄 것이다.
- 가설3 : 용접전류가 용접비트의 크기에 영향을 줄 것이다.
- 가설4 : 용접거리가 용접비트의 크기에 영향을 줄 것이다.

주어진 가설을 검정하기 위해 데이터를 수집하여 산점도, 상관/회귀분석, 산포비 그리고 평균차 검정을 실시하였다. 그리고 가설은 시간의 흐름에 따라 차이가 있는지를 검정하였다.



<그림1> 용접불량의 Fishbone 결과 요약

상관분석을 실시한 결과는 다음<표2><표3><표4>와 같다.

<표2> 용접봉교체 5분 후 상관분석결과

	비트	전류	거리	유동	마모
비트		0.457	0.226	0.200	
전류			-0.064	-0.055	
거리				0.457	
유동					
마모					

각 수치는 Pearson 상관계수 값

<표2>를 살펴보면 비트-전류($r=0.457$), 유동-거리($r=0.457$)가 약한 상관관계를 나타내고 있었으나 나머지는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

<표3> 용접봉교체 1시간 후 상관분석결과

	비트	전류	거리	유동	마모
비트		0.859	-0.165	0.264	-0.018
전류			-0.187	0.212	-0.114
거리				-0.037	-0.274
유동					-0.066
마모					

각 수치는 Pearson 상관계수 값

<표3>을 살펴보면 비트-전류($r=0.859$)가 강한 상관관계를 나타내고 있다.

<표4> 용접봉교체 2시간 후 상관분석결과

	비트	전류	거리	유동	마모
비트		-0.193	-0.225	-0.035	0.244
전류			0.020	0.226	0.192
거리				0.208	-0.261
유동					-0.104
마모					

각 수치는 Pearson 상관계수 값

<표4>를 살펴보면 모두 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

산포비 분석을 실시한 결과는 다음<표5>와 같다.

<표5>에서 살펴보면 용접봉교체 후 시간의 경과(5분 후, 1시간 후, 2시간 후)에 따라 측정된 결과 마모와 비트에 차이가 있음이 나타났다. 이는 용접봉의 마모정도에 따라 비트의 크기가 달라짐을 보여 주는 것이라 하겠다.

<표5> 용접봉교체 후 사용시간에 따른 산포비 분석결과

	Test Statistic	p-value
비트	4.669	0.012*
전류	0.975	0.382
거리	2.312	0.106
유동	2.515	0.088**
마모	6.562	0.014*

* p-value<0.05, ** 0.05<p-value<0.10

평균차 분석을 실시한 결과는 다음<표6>과 같다.

<표6> 용접봉교체 후 사용시간에 따른 평균차 분석결과

	F or t-value	p-value
비트	10.38	0.000*
전류	0.64	0.532
거리	8.17	0.001*
유동	12.46	0.000*
마모	-8.91	0.000*

* p-value<0.01

<표6>에서 살펴보면 전류를 제외한 나머지 항목은 모두 유의한 차이를 나타내고 있다는 것은, 전류는 비트의 크기에 영향을 주지 않는 것으로 볼 수 있으며, 거리, 유동, 마모는 비트의 크기에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

따라서 분석단계에서 가설을 검정한 결과 가설 모두가 채택되었으므로 개선가능 잠재인자 중 CTQ에 영향을 주는 핵심인자를 전류, 거리, 유동, 마모로 결정하였다.

5. 개선(Improve)

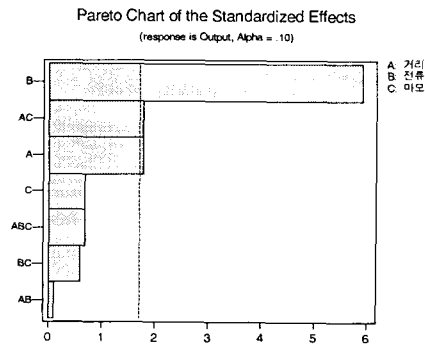
개선단계에서는 핵심인자로 선정된 것을

단순개선 또는 다양한 실험을 통해 최적조건을 찾아 현장에 적용하는 단계이다.

5.1 개선 및 DOE 실시

팀원들이 4가지 핵심인자에 대해 개선활동에 대한 토의를 실시한 결과, 유동인자는 용접설비와 컨베이어가 붙어 있어 컨베이어의 진동에 의해 유동이 발생한다는 사실을 발견하고 이를 해결하기 위해 용접설비와 컨베이어 사이에 간격을 주어 유동을 제거시켰다.

나머지 핵심인자는 실험계획법(DOE)의 3인자 완전요인 배치법을 활용하여 실험을 실시하였다.



<그림2> 파레토 그림 분석

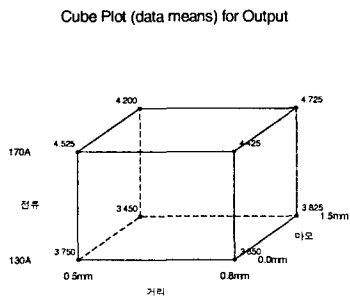
<그림2>에서 살펴보면 A(거리), B(전류) 그리고 AC(거리*마모)가 유의한 것으로 나타났고, C(마모)는 유의하지 않으나 AC교호 작용에서 유의하게 나타났기 때문에 유의한 인자로 선정한다.

위의 분석에서 유의하지 않은 Term은 분석의 모델에서 제거하고 다시 요인분석을 실시하였다. 그 결과 식 (1)과 같은 회귀방정식

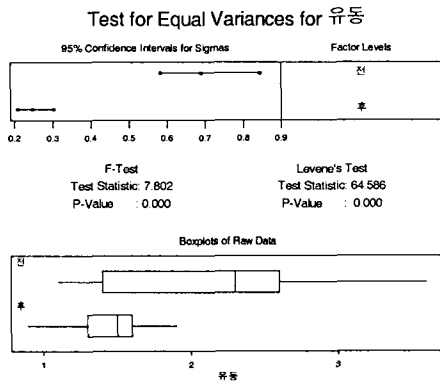
$$\text{비트} = 4.09375 + 0.1125 \times \text{거리} + 0.375 \times \text{전류} + 0.1125 \times (\text{거리} \times \text{마모}) \text{ ---(1)}$$

을 얻었으며, 요인그림(Factorial Plots)으로 최적조건을 찾은 결과 <그림3>과 같이 나타났다.

비트크기의 기준이 4m/m이상이면 되므로 <그림3>에서 이 값에 가장 근접한 것을 살펴보면 거리(0.5m/m), 전류(170A), 마모(1.5m/m)에서 비트의 크기가 4.200으로 나타났다.



<그림3> Cube Plot 분석



<그림4> 유동에 대한 개선 전·후의 산포비 차이 검정

5.2 개선결과 검증

여기서는 개선을 실시한 결과가 개선 전보다 좋아졌는지, 만약 좋아졌다면 얼마나 좋아졌는지를 검증하는 데 있다.

첫째, 유동에 대한 개선 전·후의 검증결과는 다음과 같다.

<그림4>에서 개선 전·후간의 산포비 차이를 검정한 결과 유의 차가 있는것으로 나타났다(p-value=0.000). 그리고 개선 전보다 개선 후의 산포가 더 좋아진 것으로 나타났다.

<표7> 유동에 대한 개선 전·후의 평균 차검정

Two-Sample T-Test and CI: 유동

Two-sample T for 유동

구분	N	Mean	StDev	SE Mean
전	75	2.095	0.690	0.080
후	75	1.441	0.247	0.029

Difference = mu (전) - mu (후)

Estimate for difference: 0.6533

95% CI for difference: (0.4851, 0.8215)

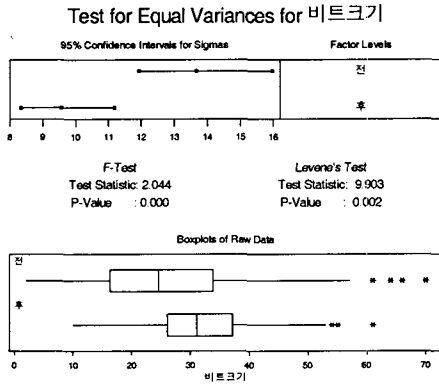
T-Test of difference = 0 (vs not =):

T-Value = 7.72 P-Value = 0.000 DF = 92

<표7>에서는 유동에 대한 개선 전·후간의 평균 차 검정을 실시한 결과 유의 차가 있는 것으로 나타났다(p-value=0.000). 이는 개선 전·후를 비교했을 때 개선이 되었던 것으로 나타났다.

둘째, 비트에 대한 개선 전·후의 검증결과는 다음과 같다.

<그림5>에서 개선 전·후간의 산포비 차이를 검정한 결과 유의 차가 있는것으로 나타났다(p-value=0.000). 그리고 개선 전보다 개선 후의 산포가 더 좋아진 것으로 나타났다.



<그림5> 비트에 대한 개선 전·후의 산포비 차이 검정

<표8> 비트에 대한 개선 전·후의 평균 차 검정

Two-Sample T-Test and CI: 비트

Two-sample T for 비트

전,후	N	Mean	StDev	SE Mean
전	120	27.2	13.7	1.2
후	120	31.51	9.57	0.87

Difference = mu (전) - mu (후)

Estimate for difference: -4.34

95% CI for difference: (-7.34, -1.34)

T-Test of difference = 0 (vs not =):

T-Value = -2.85 P-Value = 0.005 DF = 238

Both use Pooled StDev = 11.8

<표8>에서는 비트에 대한 개선 전·후간의 평균 차 검정을 실시한 결과 유의 차가 있는 것으로 나타났다(p-value=0.005). 이는 개선 전·후를 비교했을 때 비트가 개선되었는 것으로 나타났다.

셋째, 불량률에 대한 개선 전·후의 검증 결과는 다음과 같다.

<표9> 불량률에 대한 개선 전·후의 χ^2 검정

Chi-Square Test: A, B

Expected counts are printed below observed counts

	전	후	Total
1	215400	57049	272449
	2.17E+05	55675.12	
2	11629	1260	12889
	10255.12	2633.88	
Total	227029	58309	285338

Chi-Sq = 8.707 + 33.903 + 184.058 +716.637 = 943.305
DF = 1, P-Value = 0.000

<표9>에서는 불량률에 대한 개선 전·후간의 χ^2 검정을 실시한 결과 유의 차가 있는 것으로 나타났다(p-value=0.000). 이는 개선 전·후를 비교했을 때 불량률이 개선되었는 것으로 나타났다.

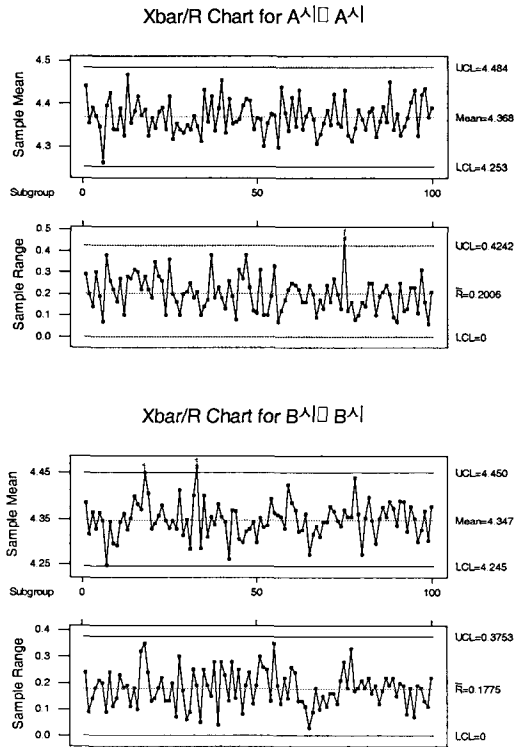
이상과 같이 개선한 결과 불량률이 개선 전에는 53,988DPMO로 시그마수준이 1.61시그마인 것이 개선 후에는 21,086DPMO로 시그마수준이 2.01시그마로 개선되었다. 따라서 COPQ는 개선 전에 8,238만원 이었으나 개선 후에는 3,138만원으로 개선 예상 효과금액이 5,100만원으로 나타났다.

6. 관리(Control)

관리단계에서는 개선단계에서 구해진 핵심 인자의 최적조건이나 개선사항이 지속적으로 유지되고 관리될 수 있도록 품질시스템을 관리하고 작업표준을 설정하는 단계이다.

용접불량을 줄이기 위해 비트를 관리하고 있다. 이를 한달동안 관리상태가 안정적인지

를 살펴보기 위하여 Xbar-R관리도를 활용하여 관리하였다.



<그림6> 비트 Xbar-R관리도

이 밖에도 작업지도서, QC공정도 등을 개정시켰으며, 작업자들이 이를 준수할 수 있도록 교육을 실시했다.

7. 결론

본 연구는 중소기업인 전자부품회사에서 생산되는 제품의 용접불량을 줄이기 위해 수행된 6시그마 프로젝트를 소개하였다. 용접 불량은 이 회사에서 발생하는 불량중에 가장

많은 비중을 차지하고 있었으며, 지금까지 불량을 줄이는 노력을 해왔으나 좀처럼 줄지 않았던 고질적인 불량항목이었기 때문에 이를 해결하기 위하여 6시그마 프로젝트로 선정하여 수행하였다.

6시그마 프로젝트를 수행한 결과 초기의 1.61시그마에서 2.01시그마 수준으로 향상되어 COPQ가 5,100만원이 절감되는 효과를 가져왔다.

그러나 이 회사에서 생산되는 제품이 프로젝트를 진행하는 동안에 해외로 이전하는 관계로 생산량이 극도로 줄어들어 현장에 적용하는 데 어려움이 있었다.

6시그마활동은 기존의 혁신활동보다 더욱 과학적이고 혁신적이라 할 수 있다. 이는 제조뿐만 아니라 비제조부문까지도 시그마라는 통계적 척도를 사용하여 업무의 결함정도를 측정할 수 있도록 하였으며, 또한 이들을 상호비교할 수 있는 공통된 척도를 제시하였다는 점에서 기업의 경영품질을 향상시키는 데 기여할 수 있는 혁신활동이라고 본다.

참고문헌

- [1] 박진영, “서비스기업의 성과측정도구로서 식스시그마”, 인하대학교 경영연구소, 「경영논집」, 제8편 제2호.