

# Brace Complement Center Pillar의 생산성 향상을 위한 6시그마 프로젝트사례

이민구 · 이광호

충남대학교 자연과학대학 정보통계학과  
목포대학교 컴퓨터교육과

## A Case Study of Six Sigma Project for Improving Productivity of the Brace Complement Center Pillar

Min-Koo Lee · Kwang-Ho Lee

Department of Information and Statistics, Chungnam National University  
Department of Computer Education, Mokpo National University

This paper considers a six sigma project for improving productivity of the brace complement center pillar. 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. Eleven key process input variables are selected by using X&Y matrix and FMEA, and finally eight vital few input variables are selected from analyze phase. The optimum process conditions of the vital few input variables are jointly obtained by maximizing productivity of the brace complement center pillar using DOE and alternative selection method.

**Keywords :** Six Sigma, Productivity, Process Input and Output Variables

### 1. 서 론

기업의 경쟁력은 고객만족을 얼마나 실현시키느냐에 달려있다. 고객만족을 실현하기 위한 주요 세 가지 활동은 제품의 높은 품질, 낮은 원가 및 납기준수를 달성하는 것이다. 그동안 기업의 경쟁력을 향상시키기 위한 많은 노력들이 국·내외적으로 이루어져 왔다; 1920년대 제조공정의 불량률 없애기 위한 검사 중심의 품질관리, 1950년대 전 부문에 걸쳐 총체적으로 품질활동을 추진하는 종합적 품질관리, 1960년대 초 미국에서 일기 시작한 무결점운동, 1980년대 초 모든 구성원의 참여로 고객만족과 조직의 모든 구성원 및 사회의 이익을 통하여 조직의 장기적인 성공을 추구하는 품질에 초점을 둔 경영 접근 방법인 종합적 품질경영 등이 대표적인 품질활동들이다 [5]. 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.

6시그마는 Motorola사에 이어 Texas Instrument (1988), Asea Brown Boveri (1993), Allied Signal (1994), General Electric (1995) 등에서 성공적으로 적용되었으며, 최근에는 SONY, Nokia 등 외국의 많은 선진기업들이 6시그마를 도입하였으며 효과를 보고 있다. 이처럼 많은 기업들이 6시그마를 넓은 의미의 품질을 향상시키는, 그것도 품질을 급격하게 개선하는 가장 적합한 수단으로 생각하여 이를 받아드리고 있다. 이러한 세계 초 일류기업의 성공사례는 국내 기업들의 6시그마 도입의 필요성을 제시하기에 충분하였으며, 현재 삼성전자, 삼성전기, LG전자, LG화학, 현대자동차, 두산중공업, 포항제철 등 다수

의 기업에서 활발하게 도입하여 많은 성과를 거두고 있다. 최근에는 금융이나 공공부문 등 서비스를 주로 제공하는 기업에까지 빠르게 6시그마가 도입되고 있다. 그동안 진행된 6시그마 활동의 성공사례는 대기업을 중심으로 여러 학자들에 의해 소개된 바 있다; [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9].

최근 대기업과 협력관계에 있는 많은 중소기업들도 자신의 기업경쟁력을 위해서 또는 협력관계를 유지하기 위하여 6시그마를 적극적으로 도입하여 6시그마 프로젝트를 진행하고 있다. 하지만 중소기업의 6시그마 추진은 아직까지 기존의 품질개선활동과 비슷하게 운동성이나 단지 품질을 개선하는데 주안점을 두고 추진하는 경향이 있다. 따라서 6시그마의 올바른 도입과 추진이 매우 필요한 실정이나 최고경영자의 마인드 및 인력인프라를 포함한 여러 가지의 이유 때문에 6시그마를 성공적으로 추진하기 힘든 상태이다. 따라서 중소기업의 이러한 어려운 점을 해소시킬 수 있는 6시그마의 도입과 추진이 필요하다.

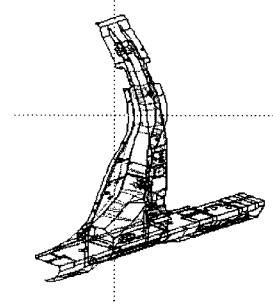
6시그마의 성공을 위한 여러 가지 요소 가운데 중요한 것이 교육과 훈련이며, 특히 개선의 핵심 요원인 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행은 전체 개선 활동의 성패를 좌우한다. 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행에 많은 비용이 수반되기 때문에 중소기업에서 6시그마를 도입하여 진행하기가 쉽지 않다. 따라서 지금까지 발표된 6시그마 프로젝트 논문은 대부분 대기업의 프로젝트에 국한되어 있다. 이러한 중소기업의 어려운 점을 해결할 수 있는 대안 중의 하나가 산·학 연계 프로그램으로 블랙벨트의 교육과 프로젝트 진행이다. 본 논문에서는 (주) K사에서 진행하였던 블랙벨트 프로젝트 중에 하나인 “Brace Complement Center Pillar의 생산성 향상”의 프로젝트를 소개한다. 이를 통해 다른 중소기업에서도 6시그마를 성공적으로 도입하는데 하나의 계기가 마련되었으면 한다. 본 논문의 대상 기업인 (주) K사는 르노삼성에 차체를 공급하는 자동차 부품 제조기업이다. 프로젝트의 대상공정은 Brace Complement Center Pillar를 생산하는 공정이다. Brace Complement Center Pillar는 자동차 앞부분의 차체를 구성하는 중요 부품이다. 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 수치들은 기업 비밀 보호를 위해 일부 가공된 수치를 사용하였다.

## 2. 프로젝트 진행

### 2.1 정의 단계

정의 단계는 6시그마 프로젝트를 선정하고 구체적으로 정의하는 단계이다. 6시그마 프로젝트는 고객의 요구 사항, 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 르노삼성에서 소형차 모델의 양산 등으로 인하여 K사에서 공급하는 부품 중 Brace Complement Center Pillar의 생산 공정에 과부하가 걸리고 있다. 또한 연장 작업에 의한 생산성 저하 및 과도한 비용이 발생하고 있어서 이 공정에 대한 생산성 향상이 매우 절실한 상태에 있어 프로젝트로 선정하였다. Brace Complement Center Pillar의 생산라인은 세 개(A10, A20, A30)의 공정으로 이루어져 있다. <그림 1>은 Brace Complement Center Pillar이다.

Brace Complement Center Pillar를 생산하는데 있어 먼저 두 공정(A10, A20)에서 Brace Complement Center Pillar의 생산에 필요한 부품을 만든다. A10과 A20 공정에서는 주로 용접작업이 진행되며 수동 작업을 포함하고 있다. A30 공정에서 앞 공정에서 만들어진 부품을 조립하는 작업이 진행된다. 이 공정에서의 용접은 로봇에 의해 자동으로 이루어진다.



<그림 1> Brace Complement Center Pillar

세 공정의 평균 공정시간과 표준편차는 다음과 같다.

<표 1> 공정시간의 평균 및 표준편차

	평균	표준편차
A10 공정	84.4	1.73
A20 공정	69.5	1.27
A30 공정	94.8	0.41

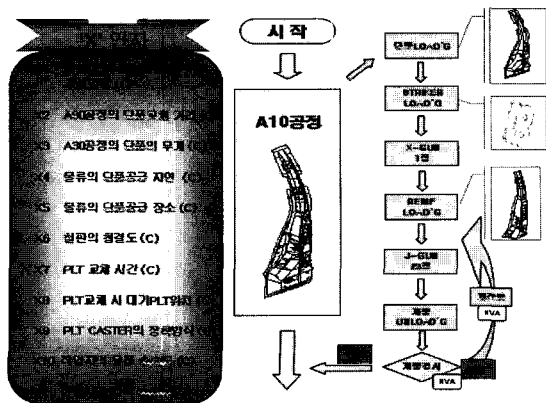
이 라인의 사이클 타임은 95초(대당)이다. 사이클 타임 95초는 가동률이 85%일 경우의 시간이다. 만일 가동률이 100%라고 하면 사이클 타임은  $95 \times 0.85 = 80.7$ 초가 된다. 따라서 프로젝트의 CTQ를 라인의 사이클 타임으로 설정하였다. 프로젝트의 목표는 사이클 타임이 현재 보다 13초 단축한 82초로 설정하였다. 또한 재무성가는 2250만원으로 설정하였다.

## 2.2 측정 단계

측정단계는 프로젝트 Y(출력변수)의 현재 수준 및 목표 수준을 설정하고 Y에 영향을 주는 입력변수 Xs를 1차적으로 도출하는 단계로 프로세스 맵과 특성요인도에 의해 도출된 입력변수 Xs들로부터 X&Y 매트릭스와 FMEA를 이용하여 주요 입력변수를 1차로 선별한다. 프로젝트 Y는 CTQ를 측정가능한 지표로 나타낸 것으로 본 과제에서는 CTQ자체가 사이클 타임으로 측정가능하기 때문에 프로젝트 Y와 CTQ가 동일하다. 측정시스템 분석을 통해 데이터의 신뢰도를 먼저 확보하고 공정 능력분석을 통해 사이클 타임의 현재 수준을 정확히 파악한다. 현재 사이클 타임은 기계에 부착되어 있는 시계를 가지고 측정하고 있다. 다른 프로젝트에서 이미 측정 시스템에 대한 신뢰성이 검증되었기 때문에 따로 측정 시스템 분석을 실시하지 않았다.

### 2.2.1 프로세스 맵

사이클 타임 Y에 영향을 미치는 입력변수 Xs를 산출하기 위하여 각 단위 프로세스를 상세히 구분하고 각 단위 프로세스에 해당하는 입력변수와 출력변수를 선정하여 프로세스 맵을 작성하였다. 프로세스 맵을 보다 상세하게 작성하기 위하여 특성요인도를 보조 도구로 사용하였다. <그림 2>는 프로세스 맵의 일부를 나타낸 것이다.



<그림 2> 프로세스 맵

### 2.2.2 1차 선별된 입력변수

프로세스 맵에 의해 도출된 35개의 입력변수 Xs로부터 X&Y 매트릭스와 FMEA를 이용하여 다음과 같은 11개의 주요 입력변수 Xs를 1차로 선정하였다.

- ① 용접전류                      ② 가압력
- ③ 통전시간                    ④ 불류지연
- ⑤ 드레싱주기                ⑥ 용접시 습속도
- ⑦ 검사 시 습속도            ⑧ 로봇(Robot) 스텝 조정
- ⑨ 건(Gun) 개폐
- ⑩ A10, 20, 30 공정간 용접점 분배
- ⑪ 자동/수동 용접점 분배

## X&Y MATRIX

출력변수 Y	1 2 3 4				합계	점수	순위	차점		
	C/IME	인공	인공	인공						
기대치	10	9	10	8						
순										
1	SPACECIRPLP의SUB입력후적변	C	45	6	3	3	133	28	9	▶
2	A30공정의인공제시이동간	C	6	3	3	3	141	25	11	▶
3	A30공정의인공제시무게	C	3	3	3	3	111	20		
4	용류의인공공급지연	C	75	3	3	3	135	28	9	▶
5	용류의인공공급장소	C	45	3	3	3	126	23		
6	절편의절경도	C	3	6	45	45	135	30	8	▶
7	FLT교제시간	C	6	3	3	3	141	25	11	▶
8	FLT교제시대기PLT유지	C	45	3	3	3	126	23		
9	FLT의이동거리OSI의정확방식	C	6	3	3	3	141	25	11	▶
10	용접시작업의습속도	C	9	6	6	6	232	45	1	▶
11	검사시작업의습속도	C	75	45	45	45	195	35	6	▶
12	수동용접시GUN의용접의각도	SCP	3	45	9	9	225	42	2	▶
13	용접모드AD의GAP	C	3	45	6	75	195	34	7	▶

<그림 3> X&Y 매트릭스

## 2.3 분석 단계

분석단계는 측정단계에서 1차로 선정된 입력변수 Xs들에 대하여 객관적인 방법으로 사이클 타임 Y에 영향을 미치는 중요 핵심 입력변수 Xs를 선정하는 단계이다. 분석 단계에서 주로 활용하는 도구는 통계적인 방법과 기술적인 분석 방법이다. 분석단계에서 실시한 내용 중 일부를 소개하면 다음과 같다.

### 2.3.1 물류지연 분석

물류지연 시 작업 사이클 타임과 정상적인 작업 사이클 타임의 차이 여부를 알아보기 위해서 2 sample-t 검정을 실시하여 <그림 4>와 같은 결과를 얻었다. <그림 4>에서 알 수 있듯이 P값이 0으로 물류지연 시 작업과 정상적인 작업의 평균 사이클 타임의 차이가 존재한다. 따라서 개선단계에서 이에 대한 개선을 추진한다.

Two-sample T for 지연 vs 정상

	N	Mean	StDev	SE Mean
지연	10	123.00	2.75	0.87
정상	10	86.60	1.35	0.43

Difference = mu 지연 - mu 정상

Estimate for difference: 36.400

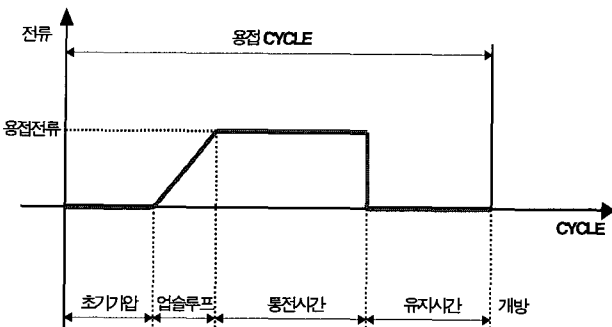
90% CI for difference: (34.688, 38.115)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 37.59 (P-Value = 0.000) DF = 13

<그림 4> 물류지연에 대한 분석

2.3.2 용접조건 분석

측정단계에서 선정된 11개의 입력변수 Xs 중 용접조건과 관련된 입력변수는 가압력, 용접전류, 통전시간이지만 용접 사이클도 이들 변수들과 관계가 있다. 따라서 <그림 5>와 <표 2>와 같이 용접 사이클과 용접조건의 범위에 따라서 용접에 미치는 영향을 정리하였다. <그림 5>와 <표 2>의 결과들은 개선 단계에서 용접조건을 설정하는 실험에 활용할 계획이다.



<그림 5> 용접 사이클

<표 2> 용접조건의 범위 및 영향

항목	범위	영향
가압력	280 ~ 400 kgf/cm <sup>2</sup>	용접 강도
초기가압	25 ~ 45 CYCLE	용접 강도
업슬루프	1 ~ 3 CYCLE	TRANSFORMER
통전시간	6 ~ 12 CYCLE	용접 강도
유지시간	5 ~ 10 CYCLE	용접 강도, SPATTER
개방시간	연속 99, 단독 0 CYCLE	C/TIME

2.3.3 자동/수동 용접 점 분석

자동/수동 용접 점의 분배가 사이클 타임에 미치는 영향을 파악하기 위해 브레인스토밍 방법을 통해 근본원

인 및 영향을 분석하였다. 총 용접 점은 66점이고 이 중 수동용접이 42점이다. 수동 용접의 점유율이 63.6%로 높은 상태이다. 또한 수동 작업자에 따라 사이클 타임에 많은 변화가 발생한다는 점, 로봇 건(Robot Gun)이 한 가지 사양으로 세팅 되어 있다는 점, 작업 흐름에 따라 단품 로딩의 순서가 정해져 있다는 점이다. 이러한 원인들이 사이클타임에 미치는 영향들은 수동 작업자의 피로도 상승으로 인해 사이클 타임 상승 가능성, 수동점 유율이 높음에 따라 사이클 타임의 유동성이 크다는 점, 단품 로딩의 순서는 조정이 불가능, 자동과 수동공정의 건(Gun) 사양이 고정 되어 있어 타점의 이동 불가능하다는 점이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방향은 신규설비의 추가가 필요하지만 향후의 생산량과 경제성을 고려해 볼 때 신규투자가 불가능한 상황이다. 따라서 자동/수동 용접 점에 대한 개선은 개선단계에서 고려하지 않기로 하였다. 위와 같은 분석을 실시한 결과 검사 시 습속도는 통계적으로 유의하지 않았으며 드레싱 주기는 현재 비가동시간에 포함되어 사이클 타임에 영향을 미치지 않기 때문에 개선단계에서 고려할 입력변수에서 제외하였다.

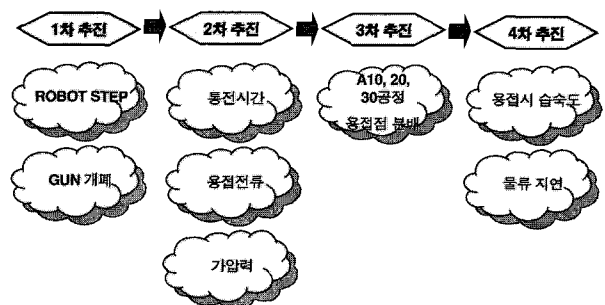
이와 같은 같은 분석을 통하여 측정단계에서 선정된 11개의 입력변수 Xs 중 사이클 타임 Y에 영향을 미치는 중요 입력변수 8개를 선정 하였다.

선정된 8개의 입력변수들은 다음과 같다.

- ① 용접전류                      ② 가압력
- ③ 통전시간                    ④ 물류지연
- ⑤ 용접 시 습속도            ⑥ 로봇 스탭 조정
- ⑦ 건 교체                      ⑧ A10, 20, 30 공정간 용접점 분배

2.4 개선 단계

개선단계는 분석단계에서 선정된 중요 입력변수 Xs를 중심으로 문제를 해결하기 위한 대책을 수립하는 것으로 최적 조건 설정이나 최적의 대안을 선정하는 단계이다. 분석 단계에서 선정된 8개의 입력변수에 대한 개선을 다음과 같이 4차수에 걸쳐서 단계적으로 진행한다.



<그림 6> 개선단계 진행 계획

현장 엔지니어나 연구원들이 과거 경험이나 이론적인 측면에서 살펴볼 때 각 차수별 입력변수들의 교호작용은 없거나 거의 무시할 수 있을 정도로 작은 것으로 파악되었다. 따라서 각 입력변수들에 대하여 단계별로 개선을 하더라도 최적의 대안 도출에는 큰 문제가 없음을 알았다.

2.4.1 1차 추진 개선

1차적으로 로봇 스텝과 건 개폐의 개선을 위하여 실험을 실시하였다. 실험에 관련된 인자는 로봇 이동 후 대기시간, 건 오픈 대기 시간, 초기 가압시간, 가압 전 대기시간 및 용접 후 대기시간 이지만 로봇 이동 후 대기시간과 건 오픈 대기시간은 로봇과 지그(Jig)와 충돌 위험 등 안전상의 이유로 실험에서 인자로 고려하지 않았다. 로봇 이동 후 대기시간과 건 오픈 대기시간은 현재 운영하고 있는 상태로 고정하고 나머지 세 인자들에 대하여 2수준 완전요인실험을 실시하였다. 인자의 수준 선정은 현재 운영상태를 중심으로 하여 운영 가능한 범위에서 낮은 수준과 높은 수준을 선정하였다. 실험에서 고려된 인자와 수준은 <표 3>과 같다.

<표 3> 실험에 포함된 인자와 각 수준

인자	수준	설비조건
초기 가압 시간	-	80 ms
	+	130 ms
가압 전 대기시간	-	80 ms
	+	130 ms
용접 후 대기시간	-	50 ms
	+	80 ms

Fractional Factorial Fit: C/T versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients for C/T (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		72.1750	0.02165	3333.62	0.000
Block		0.0250	0.02165	1.15	0.282
A	-0.2000	-0.1000	0.02165	-4.62	0.002
B	1.9500	0.9750	0.02165	45.03	0.000
C	-0.1000	-0.0500	0.02165	-2.31	0.050
A*B	-0.4000	-0.2000	0.02165	-9.24	0.000
A*C	0.2000	0.1000	0.02165	4.62	0.002
B*C	-0.1500	-0.0750	0.02165	-3.46	0.009

Analysis of Variance for C/T (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0100	0.0100	0.01000	1.33	0.282
Main Effects	3	15.4100	15.4100	5.13667	684.89	0.000
2-Way Interactions	3	0.8900	0.8900	0.29667	39.56	0.000
Residual Error	8	0.0600	0.0600	0.00750		
Pure Error	8	0.0600	0.0600	0.00750		
Total	15	16.3700				

<그림 7> 1차 추진 분석결과

실험은 2개의 블록으로 나누어 2회 반복 실험을 실시하였다. 실험에서 얻어진 데이터를 미니탭 (Minitab)으로 분석한 결과가 <그림 7>과 같다. 분석결과를 살펴보면 블록의 효과를 제외한 모든 주효과와 2인자교호작용의 효과가 유의수준 5%에서 유의하다. 특히 가압 전 대기시간(B)의 주효과가 가장 큼을 알 수 있다. 블록의 효과가 유의하지 않기 때문에 블록의 효과를 오차 항에 풀링하여 분석하면 <그림 8>과 같다. 모든 주효과와 2인자교호작용의 효과가 유의수준 5%에서 유의하다.

Fractional Factorial Fit: C/T versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients for C/T (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		72.1750	0.02205	3273.55	0.000
A	-0.2000	-0.1000	0.02205	-4.54	0.001
B	1.9500	0.9750	0.02205	44.22	0.000
C	-0.1000	-0.0500	0.02205	-2.27	0.050
A*B	-0.4000	-0.2000	0.02205	-9.07	0.000
A*C	0.2000	0.1000	0.02205	4.54	0.001
B*C	-0.1500	-0.0750	0.02205	-3.40	0.008

Analysis of Variance for C/T (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	15.4100	15.4100	5.13667	660.43	0.000
2-Way Interactions	3	0.8900	0.8900	0.29667	38.14	0.000
Residual Error	9	0.0700	0.0700	0.00778		
Lack of Fit	1	0.0100	0.0100	0.01000	1.33	0.282
Pure Error	8	0.0600	0.0600	0.00750		
Total	15	16.3700				

<그림 8> 블록효과 풀링 후 분석결과

따라서 사이클 타임에 대한 예측 식은 다음과 같다.

$$Y = 72.175 - 0.1A + 0.975B - 0.05C - 0.2AB + 0.1AC - 0.075BC \quad (1)$$

여기서 A=초기 가압시간, B=가압전 대기시간, C=용접 후 대기시간 이다. 사이클 타임 Y를 최소로 하는 각 인자들의 최적조건은 A=+1(130 ms), B=-1(80 ms), C=-1(50 ms)이며 사이클 타임은 71.2초 이다. 위의 최적조건에서 재현성 실험을 한 결과 평균이 71초 이었다. 가동률 85%를 고려하면 실제 사이클 타임은 71/0.85=83.5초 이다. 따라서 1차 추진 개선안 적용으로 약 10초 정도가 줄었다.

2.4.2 2차 추진 개선

2차 추진은 용접조건의 최적화이다. 앞에서 파악된 통전시간, 전류 및 가압력의 세 인자에 대하여 A 30공정을 대상으로 완전요인 실험을 실시하였다. 실험의 목적은 품질의 향상과 사이클 타임을 줄이는 것이다. 품질을 측정하는 기준은 용접 후 발생하는 너켓트경이라는 것을 버니어캘리퍼스로 측정하여 이 값이 클수록 품질이

양호하다고 판단한다. 인자의 수준선정은 현재 운영상태를 중심으로 하여 운영 가능한 범위에서 낮은 수준과 높은 수준을 선정하였다. 각 인자의 수준은 <표 4>와 같다.

<표 4> 실험에 포함된 인자와 각 수준

인 자	수 준	설비조건
통 전 시 간	-	12 사이클
	+	20 사이클
전 류	-	8000 A
	+	10600 A
가 압 력	-	250 kgf/cm <sup>2</sup>
	+	360 kgf/cm <sup>2</sup>

실험은 2개의 블록으로 나누어 2회 반복 실험을 실시하였다. 실험에서 얻어진 데이터는 너켓트경의 값이다. 실험 데이터를 미니뱀으로 분석하면 <그림 9>와 같다.

Fractional Factorial Fit: Pi versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients for Pi (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.83750	0.06124	111.66	0.000	
Block	0.07500	0.06124	1.22	0.256	
A	1.00000	0.50000	0.06124	8.16	0.000
B	1.25000	0.62500	0.06124	10.21	0.000
C	-0.05000	-0.02500	0.06124	-0.41	0.694
A*B	0.17500	0.08750	0.06124	1.43	0.191
A*C	0.02500	0.01250	0.06124	0.20	0.843
B*C	0.37500	0.18750	0.06124	3.06	0.016

Analysis of Variance for Pi (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0900	0.0900	0.09000	1.50	0.256
Main Effects	3	10.2600	10.2600	3.42000	57.00	0.000
2-Way Interactions	3	0.6875	0.6875	0.22917	3.82	0.058
Residual Error	8	0.4800	0.4800	0.06000		
Pure Error	8	0.4800	0.4800	0.06000		
Total	15	11.5175				

<그림 9> 2차 추진 분석결과

분석결과를 살펴보면 통전시간의 주효과, 전류의 주효과, 통전시간과 가압력의 교호작용 효과가 유의수준 5%에서 유의하다. 가압력의 주효과는 유의하지 않지만 통전시간과 가압력의 교호작용 효과가 유의하기 때문에 가압력의 주효과는 풀링 대상에서 제외한다. 나머지 유의하지 않은 항들을 오차 항에 풀링하여 분석하면 <그림 10>과 같다. 풀링 후에도 가압력의 주효과는 유의하지 않지만 통전시간과 가압력의 교호작용 효과가 유의하기 때문에 너켓트경에 대한 예측모델 설정에 포함시킨다. 따라서 너켓트경에 대한 예측 식은 다음과 같다.

$$Y = 6.6 + 0.45A + 0.74B - 0.03C + 0.24BC, \dots (2)$$

여기서 A=통전시간, B=전류, C=가압력이다. 너트경의 값이 최소한 6이상이면 제품은 양품이다. 따라서 공정의 여러 가지 문제점을 고려하여 각 인자들의 수준을 다음과 같이 설정하였다. A=-1 (12 사이클) B=0, C=0 이 때 너트경의 값은 약 6.2이다. 위의 조건에서 재현성 실험을 한 결과 너트경의 값이 6.2에 근사한 값들이 얻어졌다.

Fractional Factorial Fit: a면 versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients for a면 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.60625	0.05750	114.89	0.000	
A	0.91250	0.45625	0.05750	7.93	0.000
B	1.48750	0.74375	0.05750	12.94	0.000
C	0.06250	0.03125	0.05750	0.54	0.598
B*C	0.48750	0.24375	0.05750	4.24	0.001

Analysis of Variance for a면 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	12.1969	12.1969	4.06562	76.86	0.000
2-Way Interactions	1	0.9506	0.9506	0.95063	17.97	0.001
Residual Error	11	0.5819	0.5819	0.05290		
Lack of Fit	3	0.0969	0.0969	0.03229	0.53	0.673
Pure Error	8	0.4850	0.4850	0.06063		
Total	15	13.7294				

<그림 10> 풀링 후 분석결과

새로 설정된 용접 조건에서 전류와 가압력의 조건은 기존과 동일하며 통전시간만 20사이클에서 12사이클로 줄어들었다. 60사이클이 1초 이므로 8사이클이 줄어들었고 한 제품당 38개 포인트의 용접을 실시함으로 사이클 타임은  $8 \times 38/60 = 5.0$  초 만큼 줄어들었다. 가동률 85%를 고려하면 실제로 줄어드는 시간은  $5 \times 0.85 = 4$  초이다. 따라서 2차 추진으로 공정의 사이클 타임이 84초에서 80초로 줄어들었다. 위의 최적 조건을 현장에 적용하여 너켓트경과 사이클 타임에 대한 재현성을 확인하였다.

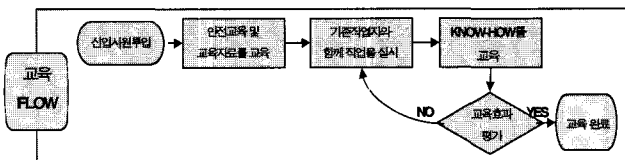
2.4.3 3차 추진 개선

3차 추진에서는 A10, A20, A30 공정의 용접점 분배에 관한 것이다. 2차 개선 후 A10, A20, A30 공정의 사이클 타임은 각각 84초, 70초, 80초이었다. 이를 더 개선하기 위해서 4가지 대안을 제안하였다. 첫번째로 A30공정의 1타점을 A20공정으로 추가하여 작업하는 것이고, 두번째로 A10공정의 타점을 A30공정으로 추가하며 로봇이 작업하는 것이다. 세 번째로 A10공정의 타점을 A30공정으로 추가하여 작업자가 작업하는 것이고, 네 번째로 A10공정의 타점을 A20공정으로 추가하여 작업자가 작업하는 것이다. 각 대안들에 대하여 위험평가와 대안 시험을 해본 결과 새로운 대안들을 공정에 적용하기 위해서는 새로운 건을 설치해야 하지만 경제성이나 안전

성 등으로 인해 추후에 다시 검토하기로 하고 본 프로젝트에서는 추진을 하지 않았다.

2.4.4 4차 추진 개선

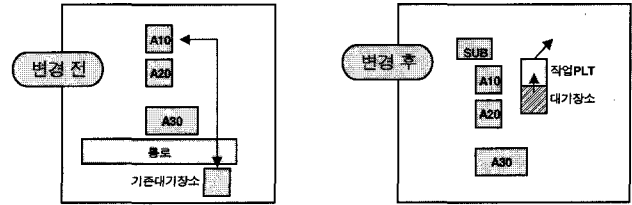
4차 추진에서는 수동용접의 습숙 도를 향상과 물류지연을 개선하는 것이다. 먼저 수동용접의 향상을 살펴보면 다음과 같다. 이를 위해서 다음의 5가지 대안이 제안되었다. 첫 번째로 신입사원은 3일 동안 기존작업자와 함께 동행하여 분위기를 익히게 하는 것이다. 그러나 불필요한 3일간의 인건비 지출이 발생하며, 효과가 크지 않다고 판단되었다. 이 대안은 장기적인 작업자 교육 측면에서는 좋으나 필요성이 크지 않아 최적 안에서는 제외 되었다. 두 번째로 신입사원에게 간단한 교육 후 바로 실습하여 기존 작업자가 검사하게 하는 것이다. 교육보다는 실제 작업을 함으로서 신입사원이 빨리 익힐 수 있고, 노하우를 쌓아 습숙되는 시간을 단축시킬 수 있다고 판단되어 대안으로 선정하였다. 세 번째로 기존 작업자는 신입사원들에게 자기만의 노하우를 교육시키는 것이다. 이는 기존 작업자의 노하우를 그대로 교육시키는 것 이므로 현장에서 가장 알맞은 방법이라고 여겨 다른 대안과 병행하여 추진한다면 더욱 큰 효과가 있을 것이라고 판단된다. 네 번째 대안은 기존작업자는 마스터 샘플을 보며 교육을 하는 것이다. 이 또한 교육의 효과가 크다고 판단해 다른 대안과 병행하여 추진 할 때 더욱 큰 효과를 발생하리라고 판단된다. 다섯 번째 안은 신입사원에게는 K사의 전체적으로 실시하는 교육으로만 으로는 부족하다고 판단되기에 주기적으로 교육을 실시하는 것이다. 위에서 언급한 대안들을 다음과 같이 정리할 수 있다. 기존작업자로부터의 기본적인 교육을 받은 후 (대안2) 작업을 실시하며, 일정기간동안 주기적인 교육 (마스터 샘플을 이용, 대안3,4)으로 이론과 실습의 두 측면을 동시에 적용하여 작업자의 습숙도 향상을 꾀하는 것이다. 그리고 현재 신입사원이 들어왔을 때를 대비해 <그림 11>과 같은 교육 절차를 설정하였다.



<그림 11>교육 절차

위의 절차에 따라 교육을 실시하고 설문을 통하여 교육의 효과를 일부분 확인하였으며 앞으로 교육효과를 전체적으로 파악할 수 있는 평가체계를 구축하려고 한다. 다음으로 물류지연에 대해 살펴보면 다음과 같다.

물류지연을 해결하기 위하여 5가지 대안이 제안 되었다. 첫 번째로 <그림 12>와 같이 하부제품의 위치를 변경하는 것이다.



<그림 12> 하부 제품의 위치변경

기존의 완제품 대기 위치가 A10공정과 다소 거리가 있어 가동률이 저하되었다. 변경된 장소는 A10공정과 거리가 가까우므로 파레트 교체 시간을 단축 할 수 있어 비가동 시간을 단축 할 수 있는 최적 안으로 사료 되어 대안으로 선정하였다. 두 번째로 물류 호출 버튼을 설치하는 것이었는데 현행 라인에도 적용되고 있지만 큰 효과를 보고 있지 못하므로 최적 안에서 제외 되었다.

세 번째 대안으로 파레트의 기준수량을 설정하는 것인데 작업자가 옮길 수 있다는 장점이 있지만 파레트의 잦은 교체와 대기 장소의 확대가 필요하므로 기대 효과가 적어 최적 안에서 제외 되었다. 네 번째 대안은 A10 공정의 작업자가 파레트를 교체하지 않고 A20공정의 작업자가 교체하는 것이다. 그런데 A20공정 작업자간의 사이클 타임에 큰 차이가 없으므로 파레트 교환은 기존을 방법을 그대로 적용하기로 하였다. 마지막 대안으로 물류 담당자와 작업자에게 교육을 실시하는 것인데, 이것은 작업자의 혼란을 없애기 위해 대기 파레트 위치에 라인 표시를 실시하면서 물류 담당자에게 교육을 동시에 실시해 작업성 향상을 기대 할 수 있다는 점에서 대안으로 선정 하였다. 물류에 대한 개선을 통해 처음에는 사이클 타임을 줄일 수 있을 것으로 기대가 되었지만 효과는 없었다. 그러나 작업에 있어 안전성 향상이나 물류관련 의사소통의 효과를 얻은 것으로 만족하였다.

위에서 언급한 순서에 따라 개선을 추진한 결과 A10, A20, A30 공정의 사이클 타임은 각각 74초, 74초, 80초로 개선되었다. A20 공정에서 기존 사이클 타임 보다 오히려 4초가 늘어난 것은 품질체크로 인한 시간이다. 구체적인 개선 내용이나 방법은 지면상 생략하기로 한다. 4차 추진에 있어서는 작업자의 노하우를 전수한다는 것이 매우 어려운데 CEO의 강력한 의지와 이 기업의 당해연도 주된 경영목표가 6시그마의 성공적인 도입과 추진을 종업원들이 모두 인지하고 있기 때문에 추진이 가능했다. 따라서 6시그마 추진에 있어서 CEO의 강력한 의지와 리더십이 다시 한번 중요함을 알 수 있었다.

## 2.5 관리단계

관리단계는 프로세스의 최적화를 실시한 후에 지속적으로 유지/관리하기 위한 단계이다. 즉, 체계적인 관리시스템을 갖추어 프로세스를 모니터링 하는 단계이다.

### 2.5.1 관리계획

관리단계에서 진행할 관리계획을 <표 5>와 같이 세웠으면 이에 따라 관리를 실시하였다.

<표 5> 관리계획

Project Y	관리대상	관리목표	관리방법	주기	담당자	비고
C/TIME	ROBOT & GUN 조건	최적조건 유지관리	조건표/관리도	변경시	서화연	
	LINE 가동률	85% 이상	관리도	월	박미영	
네겟트경	용접조건	최적조건 유지관리	조건표/관리도	분기	서화연	
	네겟트경	최소 강도 유지관리	관리도	월	김진우	

구체적인 관리계획의 실행결과들은 지면상 생략한다. 또한 측정단계 이후에 진행된 내용들을 반영하여 Updated-FMEA를 <표 6>과 같이 실시하였다.

<표 6> Updated-FMEA

NO	PROCESS 단계	장비/공정명	장비/공정명 (FPO)	상위 단계	중요도	장비/공정명 (FPA)	발생도	현재 PROCESS 관리도	RPN	조치대상	장비/공정명	조치내용	실시도	검출도	RPN	
1	A10공정	NUT에 SPALTER 용접	오관	8	▽	용접속도	3	관리없음	3	72						
2	A10공정	용접공의 밀봉발생	오관	7	▽	용접속도	7	관리없음	5	245	직접사	특수관리 04/22	관리없음	7	3	4
3	A10공정	LOCATION에 SPALTER 용접	오관	3	▽	용접속도	7	관리없음	2	42						
4	A10공정	ANCHER에 UFR 용접발생	오관	7	▽	용접속도	6	관리없음	5	210	직접사	특수관리 04/22	관리없음	7	4	3
5	A10공정	A10공정에서 FINISHLOR 용접발생	오관	3	▽	용접속도	8	관리없음	1	24						
6	A10공정	제품양에 BACKCHECK	오관	4	▽	용접속도	9	관리없음	5	405	설비	사출기 04/25	조각반	4	3	5
7	A10공정	용접공의 밀봉	오관	3	▽	PLT관리	7	관리없음	1	21						
8	A10공정	용접공의 밀봉	오관	1	▽	이동관리	7	관리없음	1	7						
9	A10공정	용접공의 밀봉	오관	6	▽	용접속도	7	관리없음	3	126	LAOUT	이동관리 04/25	LOCU변경	6	3	3
10	모든공정	용접공의 밀봉	오관	7	▽	용접속도	5	관리없음	5	175	직접사	특수관리 04/22	직접사	7	3	4
11	A10공정	PLT교체시	오관	2	▽	PLT교체시	10	관리없음	2	40						

개선 단계에서 진행된 개선안을 실제 공정에 적용한 결과 개선단계에서 수행한 결과와 동일한 결과가 얻어졌다.

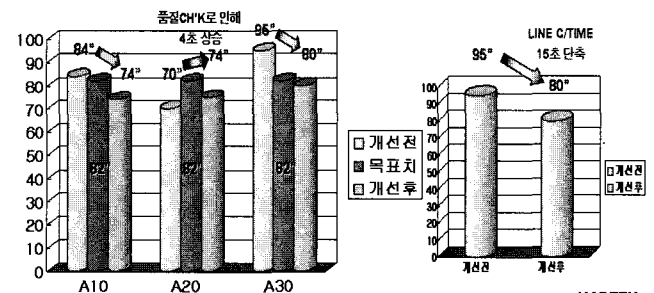
### 2.5.2 프로젝트 추진 성과

개선안을 공정에 적용한 후 공정시간의 평균과 표준편차 및 사이클 타임은 <그림 13>과 <표 7>과 같이 얻어졌다.

<표 7> 개선 후 공정시간의 평균 및 표준편차

	개선 전		개선 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
A10 공정	84.4	1.73	74.0	0.943
A20 공정	69.5	1.27	74.7	0.949
A30 공정	94.8	0.41	79.9	0.316

A20공정에서의 69.5초에서 74.7초로 오히려 약 4초정도가 늘어난 것은 추가적인 품질체크로 인해 발생한 시간이다.



<그림 13> 프로젝트추진 성과

라인의 사이클 타임은 개선 전 95초에서 개선 후 80초로 목표를 달성하였다. 프로젝트를 통하여 얻어진 순수재무성과 금액은 2400만원이다. 현재 본 프로젝트의 결과를 이와 유사한 공정에도 수평전개를 추진하고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 중소기업인 (주) K사에서 추진한 6시그마 프로젝트 사례를 소개하였다. 프로젝트의 수행은 정의(Define), 측정(Measure), 분석(Analyze), 개선(Improve) 그리고 관리(Control) 단계 순으로 진행을 하였다. 각 단계에서의 주요활동들을 객관적으로 수행하였다. 프로젝트 진행결과 재무성과 측면에서 목표대비 106%를 달성하였다. 지금까지 발표된 6시그마 프로젝트 논문은 대부분 대기업의 프로젝트에 국한되어 있었다. 그러나 본 프로젝트를 통하여 중소기업에서도 6시그마 기본을 충실히 전개하면 많은 성과를 이룰 수 있다는 사례를 보여



주었다. 중소기업 6시그마를 도입하는데 있어서 어려운 점은 비용문제와 프로젝트 수행 인력의 부족이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 하나의 방법은 지역 대학과 산·학 연계 프로그램의 활성화이다. 산·학 연계 프로그램을 이용하면 6시그마 도입비용을 줄일 수 있고 교육 및 훈련을 오후시간에 실시함으로써 프로젝트 수행 인력을 확보할 수 있다.

앞으로 우리나라 중소기업에서도 적극적으로 6시그마를 도입하여 기업의 경쟁력 강화에 발판이 되기를 기대한다. 현재 중소기업에서 대부분 6시그마 경영혁신은 품질을 향상시키는 것이라는 좁은 관점에서 접근하고 있다. 그러나 6시그마 경영혁신은 제품의 설계와 제조뿐 아니라 사무 간접, 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 6시그마 경영혁신의 기본에서 출발하면 보다 좋은 결과를 도출할 것으로 기대한다. 또한 중소기업에서 6시그마를 성공적으로 도입하고 추진하기 위해서는 CEO의 강력한 의지와 리더십이 무엇보다도 중요하다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 권혁무, 김정택, 최준호, “주택건설현장 페콘크리트 발생 저감 식스 시그마 프로젝트 추진 사례”, 품질혁신, 1(1):4-9, 2000.
- [2] 구일섭, 김태성, 임익성, “6시그마가 품질분임조 활동에 끼친 영향에 대한 실증 연구”, 품질경영학회지, 31(1): 1-10, 2003.
- [3] 고현우, “6시그마 품질경영 활동에서 TOC 적용방안”, 산업경영학회지 27(1):103-108, 2004.
- [4] 김학수, “삼성전관의 6시그마 추진 사례” 품질경영학회지, 27(1): 211-222, 1999.
- [5] 배도선, 최신통계적 품질관리, 영지문화사, 1998.
- [6] 양정희, 임성욱, “제조부문의 6시그마 개선도구 사용 실태에 관한 연구”, 산업경영학회지 27(1):9-14, 2004.
- [7] 최경석, 윤원영, “식스시그마를 응용한 시장분석 사례 연구”, 품질경영학회지, 30(4): 409-425, 2002.
- [8] 홍성훈, 반재석, “모니터 소재의 색상편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트”, 품질경영학회지, 29(3) : 166-176, 2001.
- [9] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, “식스시그마 성공사례”, 품질경영학회지, 27(3): 202-208, 1999.