

# 게이트 도장 품질 개선을 위한 6시그마 프로젝트 사례 연구

홍성훈\*<sup>†</sup> · 최익준\*

\* 전북대학교 산업정보시스템공학과, 공업기술연구센터

## A Case Study of a Six Sigma Project for Improving Gate Painting Quality

Sung-Hoon Hong\*<sup>†</sup> · Ik-Jun Choi\*

\* Department of Industrial and Information Systems Engineering, Research Center of Industrial Technology, Chonbuk National University

Key Words : Six Sigma Project, DMAIC, KPIVs, DOE, Sigma Level

### Abstract

This paper presents a six sigma project for improving gate painting quality in a medium-sized automotive part company. The project follows a disciplined process of five macro phases: Define, Measure, Analyze, Improve, and Control. A CTQ(critical to quality) is determined based on COPQ (cost of poor quality) analysis, and a process map is utilized for identifying process input variables. Three KPIVs(key process input variable) are selected; Painting Temperature, Painting Quantity, and Painting Viscosity, and DOE(design of experiments) is utilized for finding the optimal process conditions for three KPIVs. MINITAB software is used for data analyses and DOE. The sigma level of defects rate has improved from 2.93 to 3.66.

## 1. 서 론

6시그마 경영은 1987년 모토롤라에서 혁신적인 품질개선을 목적으로 시작한 기업경영전략이다. 이후 Allied Signal, GE, Polaroid, SONY, Nokia 등 세계 초우량 기업들에 의해 도입되어 기존의 그 어떤 품질운동보다도 과학적이고 체계적인 혁신 활동으로 활용되고 있다[16-19]. 또한 우리나라에서도 1990년대 후반부터 LG전자, 두산중공업, 삼성SDI, 삼성전자, 현대자동차, 포스코, LG화학과 같은 굴지의 제조업체에서 6시그마를 도입하여 제품 및 프로세스의 품질 향상에 큰 도움을 받았다. 최근에는 KIST, 삼성종합기술원, 한화종합화학연구소 등의 연구 개발 분야와 KT, 삼성에버랜드, 시티뱅크, 우리

투자증권 등의 서비스 분야, 그리고 정보통신부, 철도청, 한국도로공사 등 정부 및 공공 서비스 분야에서 6시그마가 널리 활용되고 있다. 이렇듯 6시그마 경영이 대기업을 중심으로 정착되면서, 이들과 협력관계에 있는 중소기업에서도 6시그마에 대한 관심이 높아지고 있다[1-13].

이러한 상황 속에서 국내 중소기업들의 6시그마 도입과 프로젝트 진행사례에 대한 논문들이 발표되고 있으며[2-5, 10, 11], 또한 중소기업형 6시그마 경영모형에 관한 연구도 소개되고 있다(정동호와 홍성조, 2004). 한편, 해외에서는 유럽 지역 중소기업들의 성공사례 및 그들에 적합한 6시그마 경영모형이 Bertels(2004)에 의해 소개된 바 있으며, Davis(2003)는 중소기업에서 그린벨트와 블랙벨트의 효율적 운영을 위한 6단계 도입절차를 제시하였다. 또한 Wessel과 Burcher(2004)는 독일의 중소기업들

<sup>†</sup> 교신저자 shhong@chonbuk.ac.kr

이 6시그마 경영 도입 시 고려해야 할 10가지 운영 요소를 제시하였다. 이렇듯 중소기업의 6시그마 경영에 관한 많은 연구가 있으나, 개별 기업들이 자사에 적합한 6시그마 시스템을 선택하는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 실제로 중소기업들 중에는 6시그마 성공사례보다 한정된 성과에 만족하거나 또는 중도에 포기하는 기업이 훨씬 많다고 알려져 있다. 중소기업들이 6시그마를 통해 혁신적인 성과를 얻지 못하는 이면에는 대기업과 달리 다음과 같은 특성을 갖고 있기 때문이다. 첫째, 중소기업들은 조직구조 및 운영시스템이 상당히 열악하다. 6시그마 경영을 추진하기 위한 인적자원이 부족하여 진행 도중 포기하는 경우가 종종 발생한다. 또한 기존의 경험에 의해서 프로세스가 운영되는 경우가 많기 때문에 프로세스를 올바르게 분석하지 못하는 경우가 많다. 둘째, 모기업의 주문에 의해 생산계획 및 인원관리가 수시로 변동되는 등 기업의 잦은 환경 변화로 인해 구성원의 지속적인 교육과 프로젝트 진행이 어렵다. 셋째, 품질관리부서 외에는 품질 개선 기법들에 대한 지식이 부족하기 때문에 프로젝트 진행이 순조롭지 못하다. 이러한 문제점을 극복하고 성공적인 추진을 위해서는 중소기업 자체적인 경영모형 개발과 자 회사에 맞는 프로젝트 진행이 절실히 요구된다.

이 논문에서는 6시그마를 도입한 한 중소기업의 프로젝트 진행사례를 소개하고자 한다. 대상 기업은 상용트럭 적재함을 현대상용차에 납품하는 회사로 규모는 종업원 160여명, 연간 매출액 300억원이다. 프로젝트 대상 공정은 적재함의 게이트 및 부품을 도장하는 공정이다. 이 기업에서는 그린벨트 교육을 이수한 제조 부서, 품질관리 부서, 생산관리 부서의 책임자로 팀을 구성하였다. 또한 전 종업원에게 6시그마 경영에 대한 교육을 여러 차례 실시하였고, 6개월 이상의 준비기간을 통해 문제점의부터 개선안 도출까지의 전반적인 활동 과정을 수행하였다.

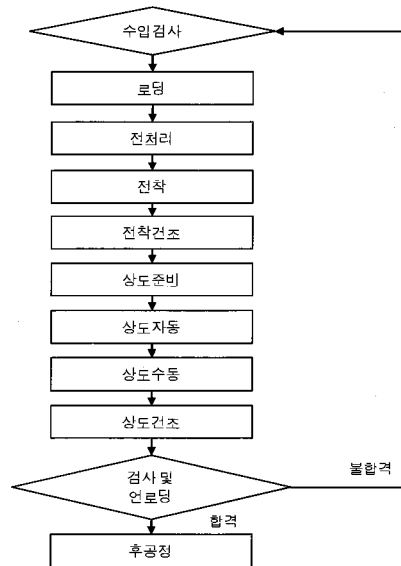
전형적인 6시그마의 로드맵인 정의, 측정, 분석, 개선, 관리의 5단계로 구분해 과제를 진행하였으며, 각 단계별 주요 진행 사항을 요약한 결과는 다음과 같다.

## 2. 정 의

이 과제는 상용 트럭의 적재함인 RR DECK 게이

트의 도장 불량률을 줄이기 위한 것이다. 먼저 고객의 요구사항을 파악하기 위해서 외부고객인 현대상용차의 품질담당자, 내부고객인 H사 내부관리자 각각 50명을 대상으로 1차 및 2차 고객 설문조사를 통해 VOC(Voice Of Customers) 분석을 하였다. 전체 공정 중 개선이 요구되는 주요항목으로 도장, 외관, 조립에 관한 항목을 설정하여 설문을 실시하였다. VOC 분석 결과 내부고객은 85%, 외부고객은 54%가 도장 프로세스를 가장 시급한 개선과제로 지목하였다. 실제로 전체공정 중 도장 공정이 가장 많은 투자를 필요로 하는 부분으로 불량으로 인한 재도장 비용 또한 많이 발생하고 있다. 특히 과거기록을 검토한 결과 도장공정에서의 평균 불량률은 7.25%였으며, 이로 인한 손실비용은 연평균 2억 8천 5백만 원 정도인 것으로 추산되었다.

도장 공정에서는 주로 칠 흐름, 누락, 이물질 발생 등의 원인으로 게이트 및 부품의 제작업이 발생하는데 <그림 1>은 도장공정의 흐름도를 나타낸 것이다.



<그림 1> 흐름도

이 프로세스는 납품업체로부터 게이트 판넬과 조립부품을 공급받아 도장 작업을 한 후, 완성품을 후공정으로 보내는 공정으로 <표 1>은 각 공정에 대한 간략한 설명이다. 특히 검사 및 언로딩 공정은 도장 작업 후의 최종검사 단계로, 여기서 제품의 후공정 투입 여부를 판단한다. 검사결과 제품에 이상

이 없으면 조립라인으로 이동하고, 불량이 있으면 재도장이 이루어진다. 과도한 도장 흐름, 누락, 이물질 발생, 게이트의 힘이나 부품파손불량이 발생할 때는 해당 게이트와 부품을 폐기하고 재도장을 실시한다.

<표 1> 각 공정의 작업내용

| 공정       | 작업내용                                 |
|----------|--------------------------------------|
| 수입검사     | 납품된 부품 로트단위 검사<br>검사항목 : 금형, 그라인딩 자국 |
| 로딩       | 부품의 공정 투입<br>부품내부의 먼지제거 작업 병행        |
| 전처리      | 도장 전 준비작업<br>부품세척, 부식방지 약품처리         |
| 전착       | 1차 도장작업<br>도막형성을 위한 공정               |
| 전착건조     | 전착된 페인트 건조<br>30분 동안 건조로 통과          |
| 상도준비     | 중간검사<br>부품의 과 도막과 먼지 제거              |
| 상도자동     | 고객이 요구하는 페인트 도장<br>자동분사기를 통한 자동화 공정  |
| 상도수동     | 도막 형성이 미비한 부분 도장<br>작업자에 의한 수동 작업    |
| 상도건조     | 상도 작업 후 건조 공정<br>전착건조와 동일 작업         |
| 검사 및 언로딩 | 최종검사<br>제품의 후 공정 투입여부 판단             |

### 3. 측정

#### 3.1 결함의 정의 및 측정시스템 분석

최종고객인 현대사용차는 제품의 외관에 도장 불량으로 인한 결점이 없을 것을 요구하고 있다. 따라서 이 기업에서는 도장 불량률을 출력변수 Y로 선정하였다. 또한 칠흐름, 누락, 이물질 발생, 그리고 공정 이동 간 게이트가 손상되어 후 공정으로 투입이 불가능한 불량부품을 결함으로 정의하였다. 이 기업에서는 제품의 불량으로 인한 재도장 여부를 검사자의 육안에 의해 판단하고 있다. 그러므로 검사자의 정확성을 검증하기 위하여 측정시스템 분석이 필요하다. 분석방법은 작업자 2명이 각 로트에서 랜덤하게 추출한 100개의 샘플을 각각 2회 반복 측정한 데이터를 이용하였다. 품질검사는 단순히 도장의 양, 불

량만을 판단하는 것이므로 계수형 측정시스템분석을 실시하였다. 분석을 실시한 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 검사능력 평가 결과

|         | 개선 전  |       | 개선 후  |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | 작업자 1 | 작업자 2 | 작업자 1 | 작업자 2 |
| E       | 0.79  | 0.80  | 0.93  | 0.94  |
| P(FR)   | 0.54  | 0.54  | 0     | 0     |
| P(FA)   | 0.014 | 0.011 | 0.012 | 0     |
| 작업자 일치율 | 0.78  |       | 0.895 |       |

분석결과 개선 전 양품/불량품을 제대로 평가한 비율인 E(Effectiveness : 유효성)는 각각 79%, 80%이었다. 또한 불량부품을 불합격 시킬 가능성인 FR(Probability of False Reject : 오류불합격확률)은 모두 54%였다. 그리고 불량부품을 합격시킬 가능성인 FA(Probability of False Acceptance : 오류합격확률)은 각각 1.4%, 1.1%로 작업자 1이 약간 높은 수치를 보였다. 마지막으로 작업자간 일치율이 78%로 기준치인 90% 이하이므로 이 측정시스템에는 문제가 있는 것으로 판단되었다. 이러한 문제는 측정규격의 결여, 검사자의 측정방법 차이 등으로 인해 발생한 것으로 여겨진다. 또한 작업자들이 불량판단에 대한 중요성을 인식하지 못하고, 불량은 후 공정에서도 발견할 수 있다는 잘못된 생각 때문에 발생하는 것으로 보여진다. 이 문제를 해결하기 위해 유형별 불량 제품의 샘플을 수집하여 검사자들에 대한 교육을 실시, 불량에 대한 정확한 판단기준과 측정방법을 동일하게 하였다. 이러한 개선 작업 후의 측정시스템분석 결과 유효성 E는 검사자 모두 90%이상이며, FR은 모두 0%이었다. 그리고 FA는 각각 1.2%, 0%로 작업자 1이 비교적 높은 수치를 보였다. 이에 작업자 1에 대해 추가적인 교육을 실시하여 불량부품에 대한 판정기준을 숙지하도록 하였다. 마지막으로 작업자간 일치율도 기준치에 가까운 89.5%를 갖게 되므로 표준화된 측정시스템은 비교적 양호한 것으로 판단되었다.

#### 3.2 공정능력분석

대상기업의 프로젝트 수행 전 도장 작업의 공정

능력을 알아보기 위한 분석을 실시하였다. 공정능력 분석은 불량품 데이터를 이용하는 계수형 공정능력 분석을 실시하였다. 분석을 위하여 5톤 상용차의 적재함 게이트를 대상으로 열흘 동안 주·야간에 로트 40개, 각 로트에서 샘플 20개씩 총 800개의 제품에 대해 불량 검사를 실시하여 <표 3>과 같은 데이터를 얻었다.

<표 3> 공정능력분석을 위한 데이터

| 부분군 | 불량품 수 | 부분군 | 불량품 수 |
|-----|-------|-----|-------|
| 1   | 2     | 21  | 3     |
| 2   | 1     | 22  | 1     |
| 3   | 1     | 23  | 1     |
| 4   | 2     | 24  | 2     |
| 5   | 2     | 25  | 0     |
| 6   | 1     | 26  | 2     |
| 7   | 1     | 27  | 0     |
| 8   | 0     | 28  | 3     |
| 9   | 1     | 29  | 1     |
| 10  | 0     | 30  | 4     |
| 11  | 4     | 31  | 0     |
| 12  | 2     | 32  | 1     |
| 13  | 0     | 33  | 2     |
| 14  | 0     | 34  | 0     |
| 15  | 2     | 35  | 2     |
| 16  | 5     | 36  | 1     |
| 17  | 3     | 37  | 4     |
| 18  | 1     | 38  | 2     |
| 19  | 0     | 39  | 0     |
| 20  | 1     | 40  | 3     |

이 데이터에 기초하여 공정능력분석을 시행한 결과 불량률이 7.62%로 시그마 수준은 2.93이었다.

$$\begin{aligned} \text{시그마 수준(ZST)} &= \Phi^{-1}(0.9238) + 1.5 \\ &= 1.43 + 1.5 = 2.93 \end{aligned}$$

### 3.3 주요입력변수의 선정

주요입력변수를 선정하기 위해 먼저 프로세스를 파악하고 프로세스 맵을 통해 출력변수에 영향을 주는 입력변수를 조사하였다. <표 4>는 그 결과를 정리한 것이다. 표에서 좌측 항목은 공정 명이고 우측

항목은 각 공정 별로 선택된 입력변수이다. 입력변수는 도장 불량에 직접적인 영향을 미치는 상도자동 및 상도수동 공정에서 대부분 선택되었다. 위와 같은 입력변수를 바탕으로 XY 매트릭스를 통해 주요입력변수를 도출하였다. XY 매트릭스에서는 출력변수 Y와 각 공정별 입력변수들을 나열하고, 입력변수에 대한 중요도를 기입하여 가장 높은 점수를 갖는 변수를 주요입력변수로 선정하였다. 주요입력변수는 칠 흐름, 누락의 도장 불량률이 가장 많이 발생하는 상도공정에서 대부분 선정되었다. 선정된 주요입력변수는 <표 4>에서 밑줄 친 12개의 변수 들이 되겠다. 이렇게 XY 매트릭스를 통해 주요입력변수가 선정되면 이를 바탕으로 FMEA(고장유형 및 영향분석 : Failure Modes and Effects Analysis)를 수행한다. FMEA는 각 요인들이 현재 공정에 어떠한 영향을 미치고 있고, 관리상태는 어떠한 지를 파악하기 위해 실시하였다. 특히 FMEA를 통해 파악한 문제점들 중 즉 개선이 가능한 항목들에 대해서는 빠른 조치를 취하였다. <표 5>는 이 기업에서 FMEA를 통해 실시한 주요개선사항이다. 물론 즉시 개선이 어려운 항목들에 대해서는 지속적인 분석을 병행하였다. FMEA 수행 결과 검사인원 부족으로 인해 납품된 부품들의 수입검사가 제대로 이루어지지 않아 불량 제품이 후 공정으로 투입되고 있음을 알았다. 또한 상도 자동기 내의 공기 유회장치에서 공기 흐름이 불규칙하여 도장 작업이 제대로 이루어지지

<표 4> 공정별 입력변수

| 공정           | 입력변수   |
|--------------|--|
| 수입검사         | 검사조건<br><u>검사자 수</u>   |
| 로딩           | 작업자, <u>로딩각도</u><br><u>행거위치</u>  |
| 전처리<br>전착    | 표준업무절차<br>(공정에 미치는 영향 미비)  |
| 상도자동<br>상도수동 | <u>센서 청소 후 생산량</u><br><u>도료량, 도료온도, 도료점도</u><br><u>주변온도, 작업자, 공기흐름</u><br>부스 내부온도, 전압, 제품간 거리, |
| 전착건조<br>상도건조 | 건조시간, 건조로 온도,<br><u>건조로 내부 및 컨베이어</u><br><u>청소 후 생산량</u>                                       |
| 검사 및<br>언로딩  | 검사자, 팔렛의 규격차이  |

<표 5> FMEA를 통한 주요 개선사항

| 공정   | 원인 및 영향                         | 조치 내용                       | 효과           |
|------|---------------------------------|-----------------------------|--------------|
| 전착건조 | 건조로 내부에 이물질 유입<br>부품에 흡착하여 불량발생 | 건조기 열 순환기 박스<br>내부에 필터장치 가동 | 이물질 유입 방지    |
| 상도자동 | 센서에 이물질 발생<br>자동분사기 도장작업 방해     | 센서 보호 장치 설치 및<br>주기적인 청소    | 자동분사기의 작업 원활 |
| 엔로딩  | 팔렛 크기 획일화로 인한<br>부품의 손상         | 부품 크기에 따라<br>팔렛의 크기조정       | 부품의 손상방지     |

않아 흐름 및 누락이 발생하고 있다. 그리고 상도수동 작업자들의 경험미숙과 의식부족 또는 컨디션 문제로 인해 상도 자동기에서 발생하는 도장 불량을 검출하지 못하고 있는 것으로 보인다. 이를 개선하기 위해서는 이들의 잠재적인 고장원인을 쉽고 빠르게 검출할 수 있는 시스템의 마련이 시급하며, 여기에 대한 작업표준의 설정과 프로세스의 개선 및 관리가 필요한 것으로 보인다.

### 4. 분석

측정단계를 통해 선정된 주요입력변수들에 대해

여러 가지 분석을 하고, 이를 통해 핵심입력변수를 도출하는 단계가 분석단계이다. 본 논문에서는 주요 입력변수들 중 핵심입력변수로 선정된 요인들의 분석 결과만을 소개하기로 한다.

#### 4.1 도료온도, 도료량, 도료점도

도료온도, 도료량, 그리고 도료점도가 도막형성은 물론 불량 발생에 어떠한 영향을 미치는 지를 조사하였다. 이 세 가지 요인에 대한 분석을 위한 데이터는 <표 6>과 같다. 데이터 분석결과 <그림 2>와 같이 도료온도와 도료점도는 모두 P-Value가 0.05

<표 6> 도료온도, 도료량, 도료점도에 따른 불량률 데이터

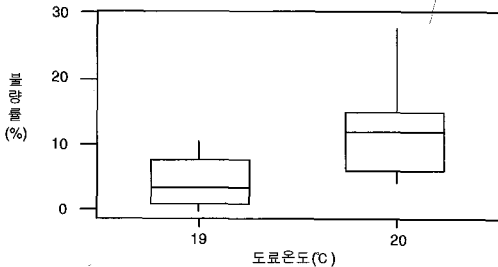
| 도료온도 | 도료량 | 도료점도 | 불량률   | 도료온도 | 도료량 | 도료점도 | 불량률   |
|------|-----|------|-------|------|-----|------|-------|
| 19   | 1.9 | 23   | 0.010 | 19   | 2.0 | 24   | 0.080 |
| 19   | 1.9 | 23   | 0.060 | 19   | 2.0 | 24   | 0.050 |
| 19   | 1.9 | 23   | 0.035 | 19   | 2.0 | 24   | 0.090 |
| 19   | 1.9 | 23   | 0.000 | 20   | 1.9 | 23   | 0.060 |
| 19   | 1.9 | 23   | 0.000 | 20   | 1.9 | 23   | 0.045 |
| 19   | 1.9 | 23   | 0.045 | 20   | 1.9 | 23   | 0.075 |
| 19   | 1.9 | 24   | 0.075 | 20   | 1.9 | 24   | 0.120 |
| 19   | 1.9 | 24   | 0.085 | 20   | 1.9 | 24   | 0.075 |
| 19   | 1.9 | 25   | 0.100 | 20   | 1.9 | 24   | 0.050 |
| 19   | 1.9 | 25   | 0.090 | 20   | 1.9 | 25   | 0.150 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.000 | 20   | 1.9 | 25   | 0.120 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.010 | 20   | 1.9 | 25   | 0.250 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.025 | 20   | 1.9 | 25   | 0.275 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.060 | 20   | 1.9 | 25   | 0.120 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.030 | 20   | 2.0 | 23   | 0.060 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.010 | 20   | 2.0 | 24   | 0.100 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.020 | 20   | 2.0 | 25   | 0.150 |
| 19   | 2.0 | 23   | 0.030 | 20   | 2.0 | 25   | 0.250 |

이하로 불량 발생에 큰 차이가 있다고 할 수 있다. 그러나 세 변수들 간에 교호작용은 없는 것으로 나타났다. 또한 도료온도에 대한 Boxplots 분석결과 <그림 3>과 같이 19도일 때가 20도일 때보다 작은 불량률과 산포를 나타내고 있다. 도료점도의 경우 산점도 분석에서 <그림 4>와 같이 점도가 커짐에 따라 불량률이 높아짐을 알 수 있다.

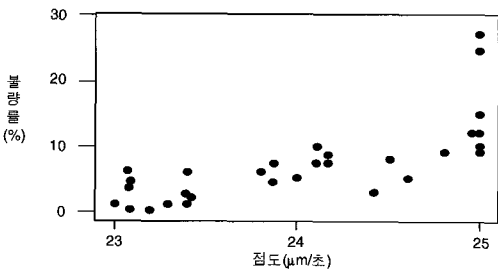
Analysis of Variance for 불량률, using Adjusted SS for Tests

| Source    | DF | Seq SS   | Adj SS   | Adj MS   | F    | P     |
|-----------|----|----------|----------|----------|------|-------|
| 도료온도      | 1  | 0.061112 | 0.009629 | 0.009629 | 6.84 | 0.015 |
| 도료량       | 1  | 0.000030 | 0.000214 | 0.000214 | 0.15 | 0.700 |
| 도료정도      | 2  | 0.060778 | 0.024965 | 0.012483 | 8.87 | 0.001 |
| 도료온도*도료량  | 1  | 0.000097 | 0.000150 | 0.000150 | 0.11 | 0.747 |
| 도료온도*도료점도 | 2  | 0.006101 | 0.004972 | 0.002486 | 1.77 | 0.191 |
| 도료량*도료점도  | 2  | 0.000050 | 0.000050 | 0.000025 | 0.02 | 0.982 |
| Error     | 36 | 0.036601 | 0.036601 | 0.001408 |      |       |
| Total     | 35 | 0.164769 |          |          |      |       |

<그림 2> 도료점도, 도료량, 도료온도의 차이에 따른 분산분석 결과



<그림 3> 도료온도 분석

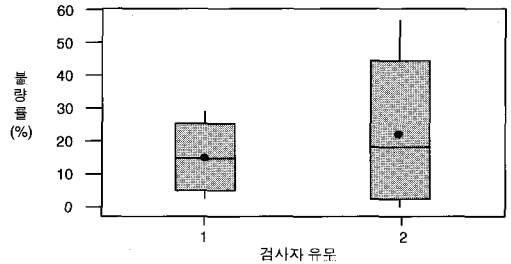


<그림 4> 도료점도 분석

#### 4.2 수입 검사자 수

로딩 공정에서 게이트를 로트단위로 투입할 때 검사자가 있을 때와 없을 때 최종 제품의 불량률이 어떻게 변하는지를 알아보았다. 분석 방법으로 Boxplots

를 사용한 결과는 <그림 5>와 같았다. 그림에서 1은 검사자가 있는 경우, 2는 검사자 없이 부품을 후 공정으로 투입하였을 경우를 나타낸다. Boxplots에서 보듯이 검사를 실시하였을 경우 낮은 불량률을 보이고 있으며, 산포 또한 작음을 알 수 있다.



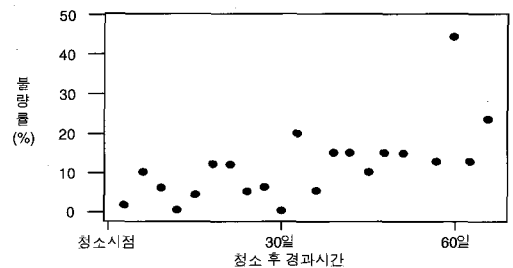
<그림 5> 수입 검사자 분석

#### 4.3 건조로 내부 및 컨베이어 레일 청소 후 생산량

건조로와 컨베이어 레일 청소는 작업량을 고려하여 3개월의 주기로 실시하고 있다. 이를 바탕으로 청소 후 생산량에 대한 불량률은 어떤 추이를 보이는지 분석하였다. <그림 6>과 같은 산점도를 통해 분석한 결과 청소 후 시간 경과에 따라 이물질과 흐름으로 인한 불량률이 미세하게나마 높아지고 있음을 알 수 있었다. 또한 동일한 데이터에 대해 선형 회귀분석을 한 결과

$$Y(\text{불량률}) = -0.0392 + 0.0031X(\text{경과시간})$$

를 얻었고, P-Value는 0.001로 이 회귀식이 유의함을 알 수 있었다.



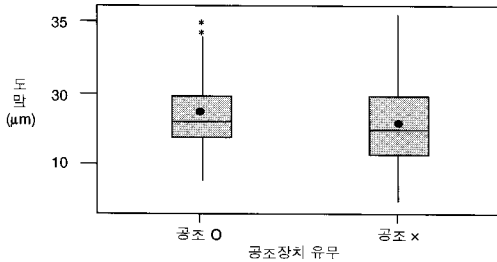
<그림 6> 청소 후 불량률 분석

#### 4.4 공기흐름

이 회사는 상도자동 공정 부스 상단에 공기를 내

뿜는 공조장치를, 하단에는 공기를 흡입하는 흡진장치를 설치하여 자동분사기에서 파생된 도료분진과 이물질을 제거하고 있다. 그런데 공조장치에서 나오는 공기의 흐름에 직접적으로 영향을 받는 3단 행거의 게이트는 도막형성이 잘 되지 못하고 있다. 이러한 이유로 3단 행거 상단에 차단막을 설치하여 공기 흐름에 영향을 받지 않도록 하고 차단막이 없을 경우와 도막형성에 차이가 있는지를 분석하였다.

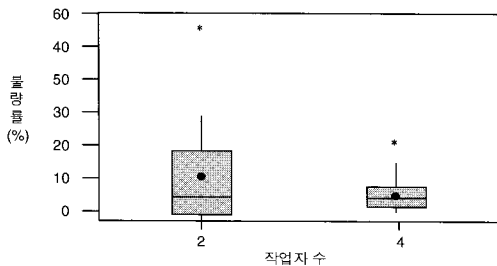
Boxplots 분석결과 <그림 7>과 같이 차단막 설치 여부에 따라 도막형성에 큰 차이는 없었다. 그러나 차단막을 설치하였을 경우가 설치하지 않는 경우보다 도막형성의 평균값이 약간 높았으며 일정하게 형성되는 것으로 보인다.



<그림 7> 공기흐름에 의한 도막형성 분석

#### 4.5 상도수동 작업자

상도수동 공정에서는 5명의 작업자가 교대로 작업을 하고 있으며, 제품의 양과 작업시간을 고려하여 한번에 2명을 투입하는 경우와 4명을 투입하는 경우가 있다. 작업 특성 상 이 공정은 작업자의 숙련도와 컨디션에 따라 불량 발생이 좌우되는 경향이 있다. 작업자 수에 대한 Boxplots 분석에서 <그림 8>과 같이 작업자 수가 4명일 때 불량률이 낮은 것으로 나타났다.



<그림 8> 작업자 수에 따른 불량률 분석

### 5. 개 선

분석단계에서 도료온도, 도료점도는 도장 불량에 큰 영향을 미치고 있으나 도료량은 별 다른 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 개선단계에서 최적조건을 설정하기 위하여 도료량을 포함한 세 요인에 대하여 요인실험을 하였다. 실험대상의 각 요인을 <표 7>과 같이 세 수준으로 구분하여 3<sup>3</sup> 요인 실험을 실시하였다.

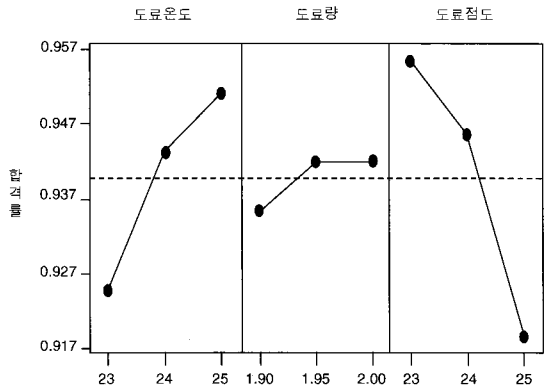
<표 7> 실험대상 요인들의 수준조합

| 요 인                      | 수준   |      |      |
|--------------------------|------|------|------|
|                          | 수준 1 | 수준 2 | 수준 3 |
| 도료온도(℃)                  | 23   | 24   | 25   |
| 도료량(Kg/m <sup>2</sup> s) | 1.9  | 1.95 | 2.0  |
| 도료점도(μm/초)               | 23   | 24   | 25   |

Analysis of Variance for 합격률, using Adjusted SS for Tests

| Source | DF | Seq SS    | Adj SS    | Adj MS    | F     | P     |
|--------|----|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| 도료온도   | 2  | 0.0033476 | 0.0033476 | 0.0016738 | 7.08  | 0.005 |
| 도료량    | 2  | 0.0002759 | 0.0002759 | 0.0001379 | 0.58  | 0.567 |
| 도료점도   | 2  | 0.0067112 | 0.0067112 | 0.0033556 | 14.19 | 0.000 |
| Error  | 20 | 0.0047287 | 0.0047287 | 0.0002364 |       |       |
| Total  | 26 | 0.0150634 |           |           |       |       |

<그림 9> 결과분석



<그림 10> 주효과 분석

분석결과는 분석단계의 결과와 같이 교호작용은 없고, 주효과만 있다는 것을 확인할 수 있었다. <그림 9>는 효과가 없는 교호작용들을 오차항에 풀링

<표 8> 개선사항

| 공정    | 입력변수                | 문 제             | 문제원인                  | 개선 사항  | 결과                        |
|-------|---------------------|-----------------|-----------------------|--|---------------------------|
| 수입 검사 | 검사자 수               | 불량부품의 공정투입      | 검사요원 부족으로 검사 미 실시     | 전수검사 실시<br>공급업체에 대한 품질개선 활동                    | 불량부품의 공정투입 차단<br>불량률 감소   |
| 도장 건조 | 컨베이어 레일 및 건조로 내부 청소 | 제품에 이물질 발생      | 컨베이어 레일 및 건조로 내부청소 미비 | 청소 주기 단축<br>(3개월 → 1개월)<br>자동브러시 장치 설치(컨베이어레일) | 이물질 제거로 인한 불량률 감소         |
| 상도 자동 | 공기 흐름               | 페인트의 흐름 및 누락발생  | 공기흐름의 직접적인 영향         | 차단막 설치   | 기준치 이상의 도막형성<br>흐름 및 누락방지 |
| 상도 수동 | 작업자                 | 페인트의 흐름 및 누락 발생 | 작업자의 과다한 작업과 경험부족     | 효율적인작업자배치<br>지속적인 교육 실시                        | 작업자의 능력 향상으로 불량 감소        |

하여 구한 분산분석 결과이다. 도료온도와 도료점도의 P-value가 각각 0.005와 0으로 게이트의 도장공정에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. <그림 10>등을 활용한 전체적인 분석결과 도료온도 25°, 도료량 2.0Kg/ms, 도료점도 23 $\mu$ m/초를 최적조건으로 얻었다.

이 외에 분석단계에서 선정된 핵심입력변수 중 검사자 수, 건조로 내부 및 컨베이어 레일 청소 후 생산량, 자동기 내부의 공기 흐름, 상도 수동 공정의 작업자 관련 개선사항은 <표 8>과 같다.

먼저 수입검사서에서 시행할 수 없는 부품의 검사는 로딩공정 중 검사요원을 투입하여 해결하기로 하였다. 이 단계에서는 외관 전수검사가 용이하여 입고검사장에서 판단할 수 없는 부품의 부적합 상태를 파악할 수 있다. 이렇게 함으로써 얻을 수 있는 예상효과로는 년 간 2천만 원 이상의 손실비용을 절감할 수 있다.

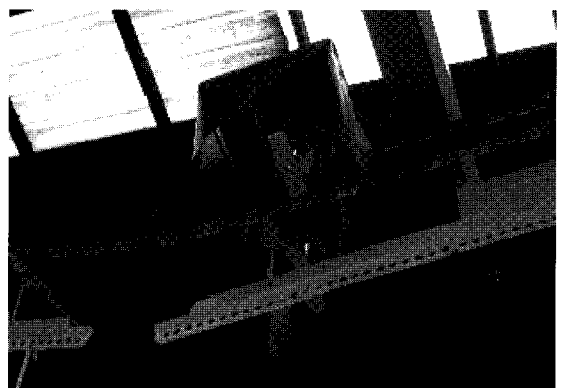
둘째, 건조로 내부에 발생하는 이물질을 제거하기 위해서 청소주기를 기존 3개월에서 1개월로 단축시켰다. 그리고 부품의 이동 중 컨베이어 레일에서 발생하는 이물질의 부품 유입을 막기 위해 <그림 11>과 같이 자동브러시 장치를 설치하였다.

셋째, 상도자동공정 중 제품이 공기의 흐름에 노출되는 것을 막기 위해서 차단막을 설치하여 기준치 이상의 도막을 형성하였고, 흐름 및 누락을 방지하였다.

넷째, 상도수동공정에서는 타 공정에서 요청 시 작업자가 다른 공정으로 이동하는 일이 빈번히 발생

하고 있었다. 이러한 작업자의 부재 상황을 없애 주었고, 숙련자와 비숙련자를 한 팀으로 구성하여 효율적인 작업이 이루어지게 하였다. 또한 상도수동 공정에서 발생하는 불량 제품의 샘플을 비치하여 작업자를 대상으로 작업 방법에 대하여 지속적인 교육을 실시하기로 하였다. 또한 대기 시간과 작업 종료 후 작업자들 간의 토의를 통해 현재의 작업상태와 미비점을 파악하게 하였다.

마지막으로 공정 흐름도를 작성하여 도장 공정의 확실한 업무분담과 작업의 효율성을 높이도록 하였다.



<그림 11> 자동 브러시 장치 설치

## 6. 관 리

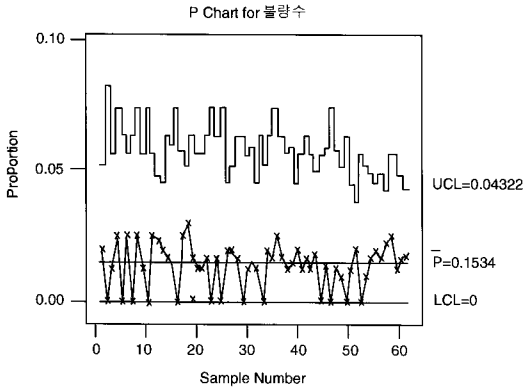
### 6.1 사후관리 방안 및 실수 방지

일련의 단계를 거쳐 프로세스 개선을 하였다 하



더라도 그 개선사항을 지속적으로 유지·관리하지 못한다면 프로세스는 원 상태로 돌아갈 수 있다. 따라서 핵심입력변수의 최적조건이나 개선사항을 유지하고 관리할 수 있는 시스템 구축이 무엇보다 중요하다. 이 기업에서는 먼저 개선 후 게이트 도장 공정의 관리상태를 파악하기 위하여 <그림 12>와 같이 관리도를 지속적으로 작성토록 하였다.

에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 또한 최종제품의 적재함에 대해서도 동일한 원칙을 적용하였다.

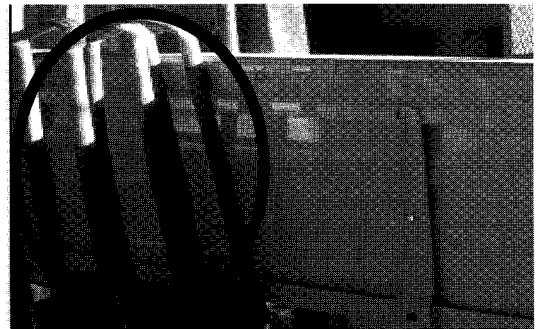


<그림 12> 도장 공정의 불량률 관리도

또한 공정이 개선된 상태라 하더라도 작업자와 관련된 요소로 인해 전체 프로세스가 악영향을 받는 경우가 발생할 수 있다. 사소한 문제라도 그 것이 공정에 미치는 영향은 클 수 있기 때문이다. 이와 관련하여 이 회사에서도 실수방지를 위한 시스템을 다음과 같이 구축하였다.

첫째, 게이트의 이동장치에 의한 실수 요소의 제거이다. 작업자들이 도장 전후게이트를 다른 공정으로 옮길 때, 자체적으로 제작한 이동 도구인 팔렛을 이용한다. 팔렛에 게이트를 장착 시, 작업자의 취급 부주의로 인해 재도장이 발생할 수 있다. 즉, 기존의 팔렛은 안전장치가 없어 팔렛의 모서리와 접촉된 부위가 손상됨으로써 도장품질이 저하되거나 심한 경우 재도장이나 파기의 상황이 발생한다. 이러한 실수를 방지하기 위하여 <그림 13>과 같이 팔렛의 모서리와 연결부위를 고무호스로 처리한 안전장치를 만들었다. 이렇게 처리함으로써 작업자의 부주의나 이동 중 발생할 수 있는 충격에 대비하였다.

둘째, 제품의 재고 적재 시, 팔렛의 적재하중을 고려하여 3단 이상 적재하지 못하도록 하였다. 3단 이상으로 적재하면 가해지는 적재하중에 의해 팔렛이 휘는 현상이 발생하게 되므로 게이트의 도장품질



<그림 13> 팔렛에 고무호스 장착

### 6.2 표준화

개선된 프로세스는 누가 언제 실행하더라도 동일한 실행 결과를 얻을 수 있어야 한다. 또한 개선 과정을 통해 획득한 지식을 축적하고 공유하기 위해서는 표준화가 필요하다. 이 회사에서는 <표 9>와 같이 표준화를 실시하였다. 예를 들면, 상도자동 공정에서 도료온도는 도장 작업의 적정온도인 23℃, 도료점도는 23μm/s, 도료량은 2.0Kg/m<sup>2</sup>로 표준화 하였다. 또한 각각의 조건에 대한 공차를 설정하였다. 다음으로 분사기의 도료 분사량과 이동 시간을 제어하는 제어기의 스위치와 주파수를 표준화 하였다. 도료를 분사하는 건의 경우 37~40Hz, 건의 이동장치인 벨의 경우 35~37Hz를 유지하도록 하였다.

### 6.3 프로젝트 성과

개선 조건을 도장 공정에 적용한 후 도장 품질에 대한 공정능력 분석을 실시하였다. 그 결과 게이트 도장 공정의 불량률은 1.53%로 시그마수준으로 환산하였을 경우, 3.66시그마 수준이었다. 또한 재도장 비용이 6천 1백만 원으로 절감됨과 함께 불량률의 감소로 고객만족을 기대할 수 있게 되었다. 참고로 본 프로젝트를 수행하면서 지출된 비용은 <표 10>과 같다. 로딩공정에서 투입 부품의 전수 검사를 위한 수입검사 인원은 새롭게 채용하지 않고 언로딩공정의 작업자 중 한명을 로딩 공정에 추가 배치하여 검사를 실시하고 있기 때문에 추가비용은 발생하지 않았다.

<표 9> 표준화

| 대상 프로세스 :<br>적재함 도장 공정 |                       | 목표 수준 :<br>불량률 1.5% 이내  | 고객 :<br>조립공정 및 현대상용차 | 고객요구사항 :<br>도장품질개선                        |                          |
|------------------------|-----------------------|---|----------------------|---|--------------------------|
| 체크 사항                  |                       |   |                      |   |                          |
| 하위<br>프로세스             | 항 목                   | 관리사항  | 체크 방법                | 체크 시기                                     | 담당자                      |
| 원료입고                   | 검사요원 배치               | 용접자국 그라인딩<br>자국 없을 것  | 육안<br>Data 자체규격      | 전수검사                                      | QC 담당자<br>도장 팀<br>원료담당자  |
| 진착 및<br>상도건조           | 건조로 내부<br>및<br>컨베이어레일 | 이물질 및 먼지<br>없을 것  | 먼지 측정기               | 청소주기<br>(1회/1개월)<br>열순환기 필터설치<br>자동브러시 설치 | 도장 팀<br>과장               |
| 상도                     | 공기흐름<br>부분적 차단        | 3단행거도막 >27 $\mu$ m  | 도막 두께<br>측정기         | 도막체크<br>(2회/1일)                           | 도장 팀<br>반장               |
|                        | 도료온도<br>도료점도<br>도료량   | 도료온도 : 23 $\pm$ 1 $^{\circ}$ C<br>도료점도 : 23 $\pm$ 0.05 $\mu$ m/s<br>도료량 : 2.0 $\pm$ 0.05Kg/m <sup>2</sup> | 상도자동<br>제어기<br>육안    | 표준화 된<br>규격체크<br>(실시간)                    | 상도자동기<br>담당자             |
|                        | On/Off<br>스위치 세팅      | 스위치<br>건 On/Off : 1/1<br>벨 On/Off : 5/1<br>주파수<br>건 : 37~40Hz 유지<br>벨 : 35~37Hz 유지                        | 스위치 게이지<br><br>육안    | 규격체크<br>(실시간)                             | 도장 팀<br>반장               |
|                        | 상도수동<br>작업자           | 전체도막>27 $\mu$ m 유지<br>흐름, 누락 부분 없을 것  | 도막 두께<br>측정기<br>육안   | 작업자의 교육 및<br>품질회의                         | 도장 팀<br>과장, 반장           |
| 검사                     | 검사조건                  | 재 도장의 불량조건<br>없을 것<br>불량규격 표준화  | 육안                   | 검사자에 대한<br>교육실시<br>품질회의                   | QC 담당자<br>도장 팀<br>과장, 반장 |

<표 10> 프로젝트 지출비용

| 공 정    | 항 목       | 비 용       |
|--------|-----------|-----------|
| 건조     | 청소주기 단축비용 | 1,640천원/년 |
| 컨베이어레일 | 브러쉬 설치비용  | 3,000천원   |
| 로딩     | 수입검사자     | 없음        |

## 7. 결 론

이 논문에서는 한 중소기업에서 6시그마 개선활동의 로드맵인 DMAIC 절차를 따라 수행한 프로젝트 과정을 소개하였다. 대상기업은 도장 품질의 저하로 인해 많은 손실비용이 발생하고 있었으며, 내·외부 고객으로부터 개선되어야 할 가장 시급한 문제

로 지적되었다. 따라서 게이트의 도장 품질을 CTQ로 선정하였다. 프로세스 맵을 통해 입력변수를 선정하였고, 이를 대상으로 여러 가지 통계기법을 활용하여 핵심입력변수를 도출하였다. 핵심입력변수로 규명된 인자들이 도장 품질에 미치는 영향을 분석하였고, 요인실험을 통해 최적조건을 도출하였다. 도출된 인자들의 최적조건을 현장에 적용한 후 관리도를 통해 공정의 관리상태를 체크하였다. 또한 작업 방법과 사람의 실수로 발생할 수 있는 불량을 방지하기 위해 실수방지 시스템을 구축하였다. 그리고 몇 가지 항목에 대하여 표준화를 실시하여 작업 관계자의 편리성과 생산의 효율성을 도모하였다. 이러한 일련의 활동을 통해서 게이트의 도장 공정은 2.93시그마 수준에서 3.66시그마 수준으로 향상되

었다. 이를 통해 2억 2천 4백만 원의 재도장 비용이 절감 되었다. 또한 프로젝트 과정 중 수시로 진행된 회의와 교육을 통해 내부 및 외부고객의 품질요구사항을 충족시킬 수 있는 방법을 작업자들이 깨닫게 되었다.

본 프로젝트 수행과정 중 여러 가지 요인으로 인해 진행이 수월하지 못했으며, 현장에 적용하는데 어려움이 있었다. 작업자들은 6시그마 활동의 중심이 되는 개념과 프로젝트에 사용되는 여러 가지 기법들에 대한 지식이 미흡하였다. 또한 팀 구성원 외에는 프로젝트 진행에 대한 관심이 부족하여 부서별 정보전달이 미흡함에 따라 공정에 잠재하고 있는 문제점의 뿌리까지 찾아내는데 많은 시간을 소비하였다. 또한 설비의 부적절한 배치와 노후화에 따른 설비 교체가 시급하지만 이는 비용 지출과 연관된 문제이기 때문에 쉽게 접근할 수 없는 어려운 문제였다.

그러나 이 회사에서는 6시그마에 대하여 전문적인 교육을 받은 인원들로 팀을 구성하여 장기간의 준비를 통해 프로세스 전체를 정확하게 파악한 후 프로젝트를 진행하였다. 그리고 부서별 책임자들이 수시로 진행되는 회의를 통해 프로젝트 진행사항과 보완사항에 대한 정보를 공유하도록 하였다. 무엇보다도 중요한 것은 경영자를 비롯한 회사 구성원 모두의 품질 개선에 대한 확고한 의지가 프로젝트의 성과를 이룰 수 있게 하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 구일섭, 김태성, 임익성(2003), “6시그마가 품질분임조 활동에 끼친 영향에 대한 실증 연구”, 『품질경영학회지』, 31권, 1호, pp. 1-10.
- [2] 권혁무, 김정택, 최준호(2000), “주택건설현장 폐콘크리트 발생 저감 식스 시그마 프로젝트 추진사례”, 『품질혁신』, 1권, 1호, pp. 4-9.
- [3] 김진필, 박병춘(2001), “중소기업에서의 6시그마 경영 사례 연구-브레이크 마스터 실린더 내경 입구부 개선 사례를 중심으로”, 『품질혁신』, 2권, 2호 pp. 82-97.
- [4] 박재홍, 변재현, 김창현, 정창원, 최영대(2001), “구간세분화 방법을 이용한 철강산업업체의 6시그마 프로젝트 추진사례”, 『품질혁신』, 2권, 1호, pp. 57-65.
- [5] 박진영(2003), “용접조건 개선으로 불량률 감소”, 『품질경영학회지』, 31권, 1호, pp. 23-31.
- [6] 박종인, 이동규, 변재현(2005), “자동차 Steering Wheel 제조공정의 누적수율 개선을 위한 6시그마 적용사례”, 『품질경영학회지』, 33권, 1호, pp. 32-41.
- [7] 신동설, 안영진(2003), “블랙벨트를 통해 본 6시그마 성공의 핵심 요인에 관한 실증적 연구”, 『품질경영학회지』, 31권, 4호, pp. 81-94.
- [8] 이경원, 이정현(2003), “6시그마( $\sigma$ )기법 적용을 통한 응급의료센터 접수취소에 대한 의료의 질 향상 활동 고찰”, 『대한 응급의학회지』, 14권, 제5호, pp. 630-637.
- [9] 정동호, 홍성조(2004), “프로세스 접근방법에 의한 중소기업형 6시그마 경영모형에 관한 연구”, 『품질경영학회지』, 32권, 4호, pp. 140-150.
- [10] 조상명(2001), “자동차용접생산 라인에 있어서 6시그마 적용”, 『한국박용기관학회지』, 25권, 2호, pp. 261-272.
- [11] 차원준, 최연선(2003), “6시그마 프로세스를 이용한 소형 직류 모터의 소음 절감”, 『한국소음진동공학회논문집』, 13권, 7호, pp. 532-538.
- [12] 최경석, 윤원영(2002), “식스시그마를 응용한 시장분석 사례 연구”, 『산업공학』, 15권, 4호, pp. 409-425.
- [13] 홍성훈, 반재석(2001), “모니터 소재의 색상 편차 개선을 위한 6시그마 프로젝트”, 『품질경영학회지』, 29권, 3호, pp. 166-176.
- [14] Arthur G. D.(2003), “Six Sigma for Small Company”, *Quality*, Vol. 42, pp. 20-21.
- [15] Bertels, T.(2004), “Faster Development for Europe Small/Medium Business”, *Europe Six Sigma & Quality Article Archive*, iSix-Sigma.
- [16] Horel, R. W.(1998), “Six Sigma and the Future of the Quality Profession”, *Quality Progress*, Vol. 31, No. 6, pp. 35-42.
- [17] Misczynski, D. J.(1990), “Motorola’s Quality Improvement Strategy”, *Proceedings of*

- 3rd International Conference on Total Quality Management*, pp. 204-229.
- [18] Smith, W. B.(1991), "Six Sigma and Benchmarking : Motorola's Quality Improvement Strategy", *Proceedings of 4th International Conference on Total Quality Management*, pp. 203-229.
- [19] Tadikamalla(1994), "The Confusion over Six-Sigma Quality", *Quality Progress*, pp. 83-85.
- [20] Wessel, G. and Burcher, P.(2004), "Six Sigma for Small and Midium-sized enterprise", *TQM Magazine*, Vol. 16, No. 4, pp. 264-272.