자동차 PCSV (Purge Control Solenoid Valve) 제조공정의 누적수율 개선을 위한 6시그마 적용연구

양 성 남* · 노 성 호** · 서 종 현**
*한국산업기술대학교 디지털경영학과 · **한국산업기술대학교 e-비즈니스학과

A Six Sigma Application Case Study to Improve a Rolled Throughput Yield of an Automobile PCSV(Purge Control Solenoid Valve)

Sung-nam Yang* · Seong-Ho Noh** · Jong-Hyen Seo**
*Department of Ditigital Management, Korea Polytechnic University
**Department of e-Business, Korea Polytechnic University

Abstract

This paper presents a six sigma application case study for an automobile PCSV manufacturing process using rolled throughput yield improvement activity. Hidden factor and first yield concept is introduced and DMAIC procedure is implemented to maximize the first pass yield. The result of the six sigma project amounts to the reduction of failure cost of 0.1 billion won per year in the PCSV manufacturing process. This paper can benefit six sigma practitioners in some ways.

Keywords : six sigma, automobile, PCSV(Purge Control Solenoid Valve)

1. 서 론

6시그마는 고객의 관점에서 사고하여 고객의 핵심요구 사항(Critical to Quality)의 결함발생 가능성을 사전에 제거함으로써 프로세스의 획기적인 향상과 함께 새로운 사업 기회를 창출하고, 고객이 만족하는 제품과 서비스를 제공하여 기업의 수익성을 극대화하는 전사적 경영 혁신 활동이며 성장 전략이다.

6시그마는 모든 프로세스를 정량적으로 평가하여 품질 개선 활동의 우선 순위를 설정하고 이에 따라 효율적으로 프로세스 관리를 수행한다. 여기서 '효율적'이라는 의미는 무조건 열심히 일하는 것(working harder)이 아니라, 주어진 여건 아래서 객관적 통계 데이터에 근거하여 효과를 최대로 올릴 수 있도록 지혜롭게 일하는 것(working smarter)을 뜻한다. 또한 일을 할 때에 처음부터 바르게 하여 실수를 적게 하는 것을 요구하고 있다. 이것은 '처음부터 올바르게 하자(Doing it right the first time)'라는 개념과 동일한 내용이다.

† 교신저자: 서종현, 경기도 시흥시 정왕동 2121 한국산업기술대학교 G302
M · P: 010-7737-1793, E-mail: jhseo@kpu.ac.kr
2011년 12월 24일 접수; 2012년 3월 8일 수정본 접수; 2012년 3월 14일 게재확정

결함이 감소되고 제조시간이 단축되면서 모토로라에서는 6시그마로 인한 재무적 성과가 나타나기 시작했다. 다시 말해 모토로라는 좀 더 우수한 품질의 제품을 생산하고, 고객들은 더욱 저렴한 비용으로 더 큰 만족을 누리게 되었다. 모토로라는 4년 동안 6시그마로 22억 달러를 절감하였고, 6시그마 설계자들은 대다수의 회사들이 불가능하다고 생각했던 성과를 달성했다. 2000년을 전후하여 6시그마는 세계로 확산되었다. [6]

국내에서는 1996년 중반 LG 전자, 삼성 SDI 등이 처음 도입한 이래, 대기업 중심으로 6시그마 경영혁신이 도입되면서, 이제는 제조업뿐만 아니라 금융, 서비스 및 공공부문으로 확산이 가속화되고 있다. [3]

특히, 기존의 품질 관리 활동이 기계 및 전자 산업을 중심으로 전개되었던 것에 반해, 6시그마는 응용분야에 상관없이 탁월한 성과를 올릴 수 있는 품질혁신 활동으로 각광 받고 있다. 고객 관점에서의 품질에 대한 구체적인 목표를 제시하고, 정형화된 문제해결 절차에 따라 정량적인 통계적 도구를 이용하고, 조직 내 품질혁신을 주도할 인재를 체계적으로 양성함으로써, 6시그마는 궁극적으로 전사적 품질경영 혁신활동으로 완성되었다고 할 수 있다. [8][10][11]

본 연구는 6시그마 방법론을 국내 I사에 적용하여 전사적 품질경영혁신 활동을 수행하고 그 성과를 제시한 연구이다. 특히 누적수율을 개념을 도입하여 정량적인 측정 지표를 제시하고 6시그마 방법론을 도입하여 객관적인 성과의 개선 결과를 실제 사례를 기반으로 제시하고자 한다.

2. 선행연구

6시그마의 창시자라고 할 수 있는 마이클 해리(Mikel Harry)는 대부분의 기업에서 사용되는 최종수율이 사이클 타임과 제품의 전반적인 품질, 그리고 생산비용을 무시하게 되는 점을 지적하고, 전체 프로세스 성과를 측정하는 기준으로 누적수율을 사용함으로써 숨겨진 공정을 발견하고 제거하는 것의 필요성을 강조하고 있다.

즉 단위 공정의 수율은 항상 100%보다 작으므로, 어떤 프로세스의 누적수율은 그 프로세스를 구성하는 단위공정의 수가 많을수록 떨어진다. 그러므로 누적수율을 이용하여 2개의 프로세스의 성과를 비교함에 있어서, 각 프로세스를 구성하는 단위공정의 수가 서로 다르다면, 누적수율 자체 보다는 누적수율에 단위공정의 수로 제곱근을 취한 정상수율(normalized yield)을 이용해야 한다.[9]

자동차 Steering Wheel 제조공정의 누적수율 개선을 위한 6시그마 방법론을 적용하여 그 개선의 효과를 정량적으로 측정한 연구에서는 전통적인 DMAIC 과정을 거쳐 의미 있는 개선 효과를 도출하였다.[3]

뿐만 아니라 6시그마 방법론을 게이트 도장 공정에 적용하여 정량적인 개선 효과를 도출하였으며[7], 이외에도 다수의 연구에서 실제 공정에 6시그마 방법론을 적용하여 공정을 개선하였다. [1][2][4][5][6]

본 연구에서는 누적 수율을 정량적인 성과지표로 설정하여 자동차 부품으로 활용되는 PCSV의 개선 효과를 제시하고자 하며 이를 통해 기업에서 달성할 수 있었던 재무적 효과 또한 제시하였다.

3. 제품의 기능 및 공정 개요

3.1 제품의 기능 및 부품 개요

본 연구에서 다루고 있는 제품은 <그림 1>과 같은 자동차 부품 및 모듈을 생산하는 I사의 Purge Control Solenoid Valve이다.

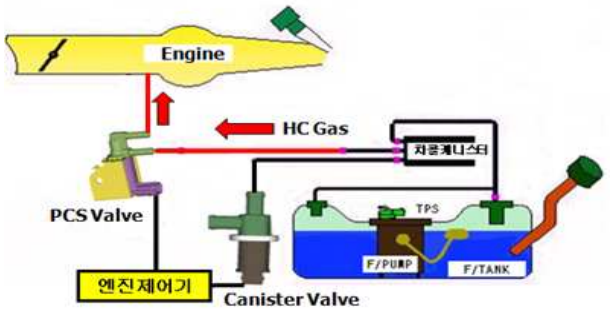
본 제품은 차량의 엔진룸에 장착되므로 진동 및 온도를 고려하여 설계되어야 하므로 높은 기술적인 고려사항을 바탕으로 개발된 제품이다. 가솔린을 연료로 사용하는 자동차에서는 주유 중 또는 운행 중에 연료탱크에서 일산화탄소(Hydro Carbon)가 발생되며, 일산화탄소는 대기로 방출되면 환경오염을 유발하므로 법규로 허용치 이하로 방출되도록 규제하고 있는 물질이므로 이를 예방하기 위하여 차콜 캐니스터(Charcoal Canister)를 설치하여 주유중에는 일산화탄소를 필터링하고 대기유출을 방지하는 시스템으로 구성되어 있다.

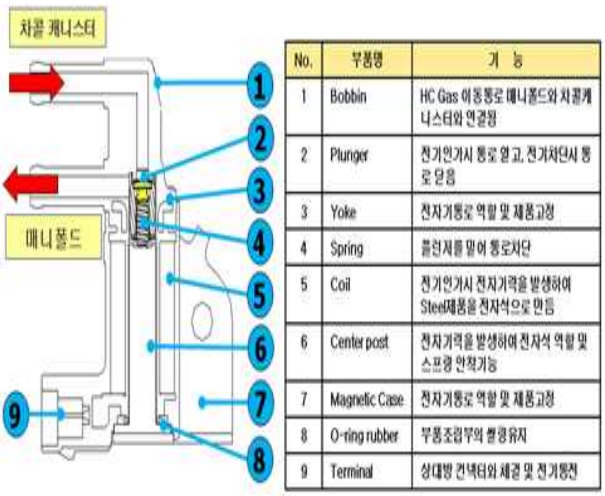
위에서 언급한 밸브누설량은 PCS Valve에 전원이 미인가 되어 작동이 중지된 상태에서 밸브의 유량통로를 플런저가 스프링의 압력으로 차단했을 때의 유량 흐름량인데, 이때 유량의 흐름은 낮은 상태가 유지될수록 OBD모니터링에서의 신뢰성이 증대되어 Fail이 발생될 가능성이 낮아지므로 밸브누설량에 관련된 품질특성항목인 밸브기밀면의 조도, 치수, 플런저의 조도, 테프론코팅의 두께 등이 있다. 만약 PCS Valve의 유량재현성이 부정확하면 연료탱크의 압력하강기울기가 일정하지 않으므로 초기에 설정된 비교조건과 상이하므로 모니터링결과가 Fail로 판정될 것이고 엔진경고등이 빈번히 점등됨으로 인하여 운전자가 불만을 제기하면 차량의 신뢰성 실추로 인한 메이커 이미지 손상은 물론 차량수리로 인한 막대한 경제적 손실이 발생되는 중요한 보안부품이다.

◆ 기솔린 차량의 연료탱크에서 증발되어 캐니스터에 포집된 증발가스를 ECU의 전기적 신호에 따라 Intake manifold로 흐르는 증발 가스량을 제어함.

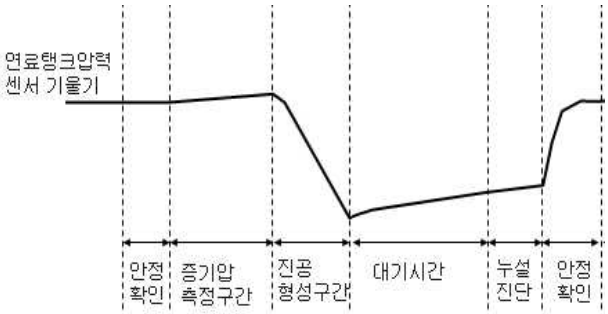
◆ 시동 OFF시에는 증발가스 통로를 차단하여 증발가스가 대기로 방출되는 것을 방지함.

◆ 증발가스계통의 누설량을 검사하기 위하여 ECU의 제어에 의하여 연료탱크에 부압이 형성되도록 작동하고, 일정량의 부압이 형성되면 증발가스 관로를 차단하는 기능을 수행함.





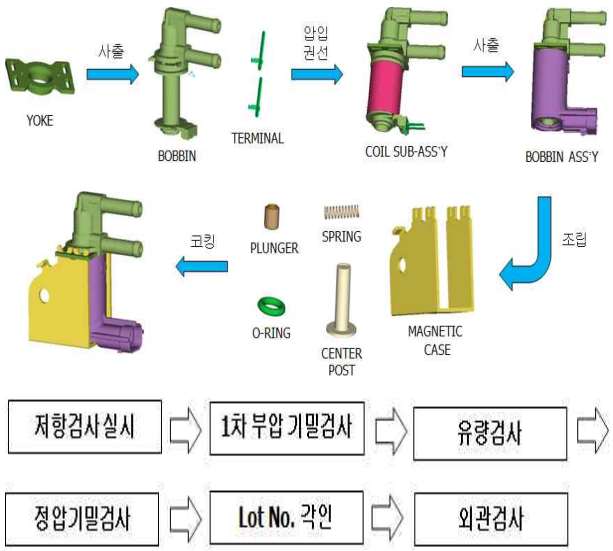
No.	부품명	기 능
1	Bobbin	HC Gas 이동통로 매니폴드와 차콜캐니스터와 연결됨
2	Plunger	전기인가시 통로 열고, 전기차단시 통로 닫음
3	Yoke	전자기통로 역할 및 제품고정
4	Spring	플런저를 밀어 통로차단
5	Coil	전기인가시 전자기력을 발생하여 Steel제품을 전자석으로 만듦
6	Center post	전자기력을 발생하여 전자석 역할 및 스프링 안착기능
7	Magnetic Case	전자기통로 역할 및 제품고정
8	O-ring rubber	부품조립부의 밀봉유지
9	Terminal	상대방 컨넥터와 체결 및 전기통전



<그림 1> 자동차용 PCS Valve의 개요

3.2 제조 공정 개요

PCS Valve의 공정은 <그림 2>와 같이 부품을 제조하는 성형공정, 부품을 조립하는 조립공정, 제품 기능 확보를 위한 검사공정의 세 부분으로 나누어진다.



<그림 2> 자동차용 PCS Valve의 공정

부품제조 공정에서 Bobbin은 고무호스가 체결되어 일산화탄소의 입, 출구의 역할 및 Coil이 감겨지는 권선부, 엔진제어기의 단자와 연결되는 터미널이 조립되는 단자부로 구성되어 있으며, 구조적 강성을 유지하고 열변형 등을 예방하기 위하여 강화플라스틱(PA66+GF30%)을 사용하여 성형공정으로 제조되며, 성형후 제품의 치수 및 강도의 안정성을 높이기 위하여 열처리 공정을 수행한다.

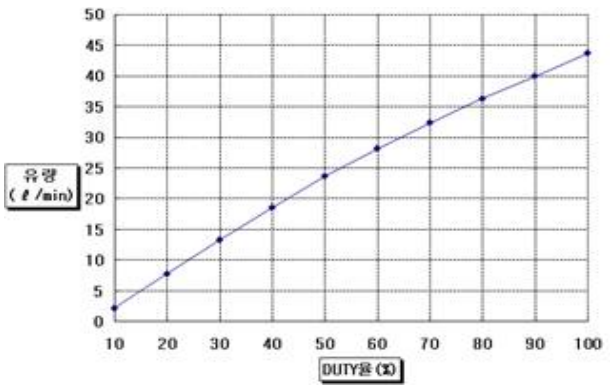
불소수지 코팅공정은 코팅두께관리, 열처리 온도 등의 관리가 요구되어지며 기밀 유지되는 사출물과 접촉되는 부분의 테프론코팅면은 면조도를 향상하기 위하여 추가로 랩핑을 실시하여 품질을 만족하도록 하는 핵심공정이다.

Coil sub-ass'y는 Bobbin에 Terminal을 조립한 후 Coil이 감겨진 상태의 제품이며, 전자기력을 높이기 위해서는 Coil의 감김수를 많게 하는 것이 좋으나 공간적 제약 등을 고려하여 최적화되게 설계하는 것이 핵심기술이며 감김공정에서 코일이 정렬되게 감겨서 설정된 치수를 벗어나지 않게 관리되도록 하여야 한다.

조립공정은 첫째로는 부품의 조립상태에 따라서 제품의 간격이 일정하지 않은 상태를 일정하게 맞추기 위한 Center post길이 선별 단계와 둘째로는 조립된 제품을 고정하기 위하여 Magnetic case의 끝단부를 유압

프레스를 사용하여 구부리는 Caulking(코킹)공정이며, Caulking 공정에서는 각각의 제품을 균일한 높이로 코킹이 이루어지도록 관리하는 것이 본 공정의 핵심이다.

검사공정은 첫째로는 Coil의 특성이 올바른지 검사하는 저항검사와 절연특성검사를 실시하고, 둘째로는 Plunger가 유량통로를 Sealing하는 성능을 측정하는 1차 부압기밀검사를 실시하고, 셋째로는 유량값이 <그림 3>과 같이 설정된 값을 만족하는지 검사하는 유량검사를 실시하고, 넷째로는 부품의 연결부 사이에 삽입한 O-ring Rubber가 Sealing을 유지하고 있는지 평가하는 정압기밀검사 공정을 실시하고 제조일자 식별을 위한 LOT No. 마킹을 실시하여 완제품으로 생산된다. 외관검사공정으로는 외관찍힘검사, Caulking 외관상태검사를 실시한다.



<그림 3> 자동차용 PCS Valve의 유량특성

4. 6시그마를 활용한 단계적 적용 절차

본 연구의 내용을 6시그마의 대표적인 문제해결 절차인 DMAIC의 각 단계별로 정리하였다.

4.1 정의 (Define)

자동차용 PCSV의 품질 수준은 본 6시그마 프로젝트를 시작할 당시 약 25,000PPM으로서 타 제품의100PPM 수준 보다 훨씬 저조하여 시급히 개선이 필요 하였다. 아울러, 본 제품은 타 제품에 비해 제품 구조가 단순하여 단기간 내에 성공 가능성과 공유 사례로서의 전파 가능성이 매우 높아 성형 개선 및 누적수율 개선의 대상으로 선정하였다.

누적수율 개선의 첫 단계는 개선 대상제품 제조라인의 누적수율을 계산하고 그 값을 비용으로 환산하여 개선효과를 정량화 하는 일이다. 대상 라인의 누적수율을 용이하게 산출하기 위해서는 전체 라인을 기능별로 재구성하되 가급적이면 단위 공정별로 직행율 측정이 가능하도록 구분해야 한다.

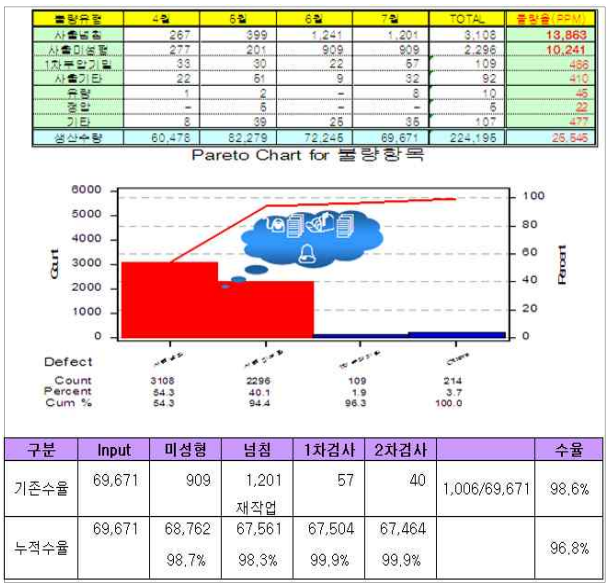
자동차용 PCSV의 제조공정은 <그림 2>와 같이 유형별로 미성형, 넘침, 1차 검사, 2차 검사로 구성되어 유형별 직행율은 98.7%, 98.3%, 99.9%, 99.9%로 계산되었다. 여기서, 성형공정의 1차 직행율은 성형부의 미성형 불량 로스(LOSS)로 정의 하였고 2차 직행율은 넘침으로 정의하여 사출부 표면의 넘침 불량을 수선하기 위해 재작업 공정으로 외관을 손질하여 양품화하는 공정이다.

이 공정의 직행율은 사출된 제품 중 넘침 불량 없이 재작업을 거치지 않고 조립 공정으로 바로 직행하는 제품의 비율로 계산되었다. 따라서 전체 공정에 걸친 누적수율은 각 공정별 직행율을 곱한 값인 96.8%로, 기존 수율 개념으로 계산된 98.6%와 비교하면 낮음을 알 수 있다.

당 제조라인의 실패비용은 재료비, 노무비를 포함하여 연간 총 1,300만원에 이르는 것으로 산출되었다. 참고로 전체 손실금액에는 각 공정별 직행율 저하로 인한 원재료 손실, 완제품 폐기 및 반환, 기타 부자재 손실 등의 재료비 손실 외에, 공정효율 저하에 따른 직접 인건비 손실 등을 함께 계산하였다.

<그림 4>에 표시한 바와 같이, 4개 주요 공정 중 손실 규모가 가장 큰 성형 시 발생하는 불량유형을 개선 대상 공정으로 선정하였으며 넘침 불량은 성형 공정의 숨겨진 공정으로, 궁극적으로 100% 제거되어야 할 비부가가치적 요소이다.

결국, 누적수율을 개선하기 위해서는 성형공정을 집중적으로 향상하는 것이 필요하다.



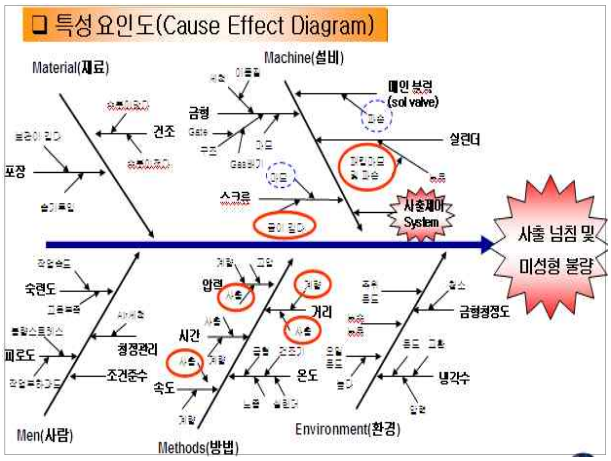
구분	Input	미성형	넘침	1차검사	2차검사		수율
기존수율	69,671	909	1,201 재작업	57	40	1,006/69,671	98.6%
누적수율	69,671	68,762 98.7%	67,561 98.3%	67,504 99.9%	67,464 99.9%		96.8%

<그림 4> 자동차용 PCS 제조라인의 누적수율

4.2 측정 (Measure)

본 제품을 대상으로 6시그마 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위하여 대상 공정의 직행율과 공정효율을 동시에 향상해야 하는데, 공정효율 향상 문제는 통상 시간당 생산량을 높이기 위한 활동이 주류를 이루며 정량적이고 체계적인 방법보다는 경험적인 방법들이 주로 이용되기 때문에 공유가치가 현저히 떨어진다고 판단하여 본 논문에서는 제외하였다.

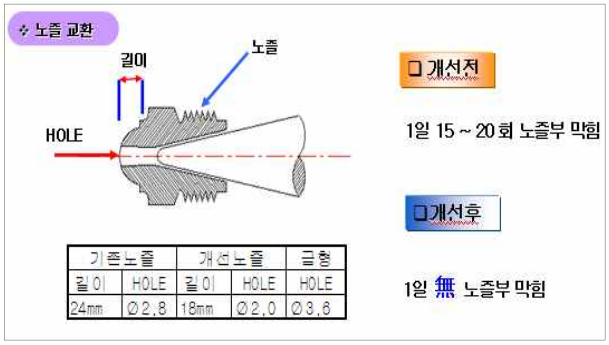
사출공정의 CTQ(Critical To Quality)를 미성형과 넘침으로 정하고 주요 불량형태에 대하여 원인파악을 위해 금형업체, 사출기 제조업체와 기술적 미팅을 실시하여 4M1E(Man, Machine, Material, Method, Environment)를 각 항목별로 특성요인도<그림 5>와 FDM(Functional Deployment Matrix)을 통하여 주요 X's인자를 도출하였다.



<그림 5> 자동차용 PCS 특성요인도

주요 인자에 대한 분석에 앞서 작업일보와 작업자 인터뷰를 통하여 작업도중 노즐이 막히는 숨겨진 요소(Hidden Factor)가 발견 되었으며, 노즐이 막힐 경우 화기를 이용하여 수지를 용융시켜 막힌 부분이 해결되어 노즐부의 온도가 내려가면 재작업을 실시한다. 이로 인하여 노즐 앞부분이 마모되어 금형과 밀착되는 부분에서 수지가 Overflow되어 성형 불량이 발생하였다. 노즐은 사출기에서 적합한 온도로 용융된 수지를 제품의 형상에 맞게 제작된 금형으로 수지가 이동하는 통로이다.

노즐의 막힘은 사출 후 노즐에 잔류하고 있는 수지가 외부온도의 영향으로 고체화되는 것으로, 잔류량을 최소화하고, 외부온도 영향을 제거하기 위하여 즉 개선(Quick Fix)을 위해 <그림 6>노즐의 형상 길이를 축소하고 체적을 줄여 실험한 결과, 노즐 막힘이 1일 15~20회가 발생하던 현상이 완전히 해결 되었다.



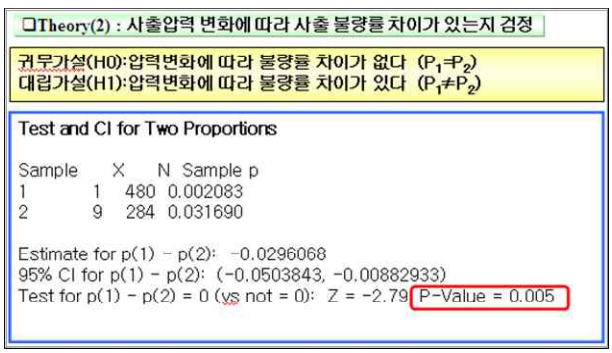
<그림 6> 사출기 노즐부 형상 개선 전후

4.3 분석 (Analyze)

분석 단계에서는 결과 변수인 CTQ(Y)에 영향을 주는 잠재원인 변수들을 알아내고 원인 검증을 통하여 소수 핵심변수로 좁혀 나가는 단계로, 개선 노력을 어디에 집중할지를 결정하기 위한 단계이다.

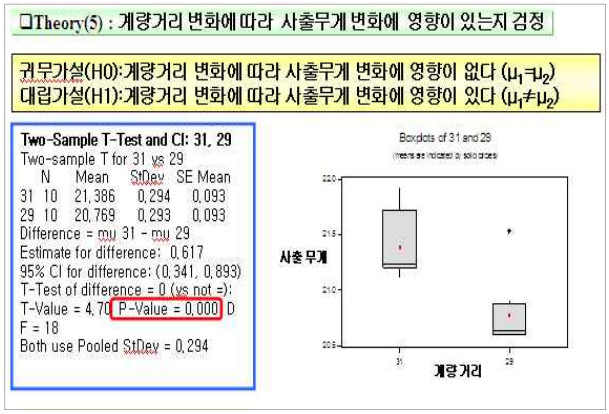
이전 단계에서 파악된 잠재적 인자에 대한 세부 원인을 심층 분석한 결과, 7가지의 잠재적 인자를 도출하였고 4가지의 인자에 대해서는 이상현상이라 판단되어 개선 조치를 하였으며 3가지 잠재인자에 대하여 데이터 수집 및 통계적 기법과 미니탭을 이용하여 분석을 실시하였다.

일반적으로 사출시 발생하는 미성형 또는 넘침의 잠재인자인 사출압력에 대한 평가를 실시하기 위하여 표준 압력 범위로 시험하여 데이터를 수집하였고 수집된 데이터를 분석하기 위하여 이산형 데이터에 맞는 <그림 7> 가설 검정(Hypothesis Test)을 실시한 결과 P-Value가 0.005로 유의수준 0.05보다 작으므로 사출 압력 변화에 따라 불량에 차이가 있다고 분석 되었다.



<그림 7> 변화에 따른 검정결과

두 번째로 성형상태를 결정하는 사출거리에 대하여 동일한 방법인 <그림 8>가설 검정(Hypothesis Test)을 실시한 결과 P-Value가 0.000으로 사출거리 또한 불량에 차이가 있다고 분석되었다.

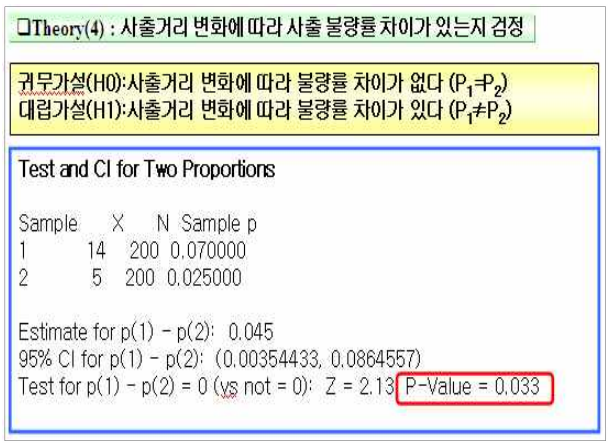


<그림 8> 사출거리 변화에 따른 검정결과

그러나 사출압력과 사출거리를 분석하여 1차 적용을 하여 넘침 불량은 80% 가량 감소되었으나 미성형은 개선의 여지가 보이지 않아 3번째 잠재인자인 계량거리에 따른 제품 중량의 차이가 발생하는지를 분석 하게 되었다.

계량거리란 용융된 수지를 금형에 주입하기 위하여 건조 및 제습 후 호파를 통하여 예열된 스크류 실린더에 공급하면서 수지를 용융시켜 적정량을 준비하는 과정이다. 계량거리가 길면 용융된 수지가 많아 1회 사출 후 실린더 내에 이미 용융된 수지가 잔존하여 수지의 물성이 변하거나 사출표면상태, 제품 경도 등에 영향을 준다. 이와 반대로 계량거리가 짧으면 충진 되는 양이 부족하여 미성형이나 제품 내부에 보이지 않는 부분에 기공이 발생하고 제품 표면이 거칠어진다.

계량거리의 영향을 평가하기 위해 표준 내의 범위로 시험하여 데이터를 수집하였고 수집된 데이터를 분석하기 위하여 계량형 데이터에 맞는 <그림 9>가설 검정(Hypothesis Test)을 실시한 결과 P-Value가 0.033으로 유의수준 0.05보다 작아 계량거리가 사출무게변화에 차이가 있다고 분석 되었다.



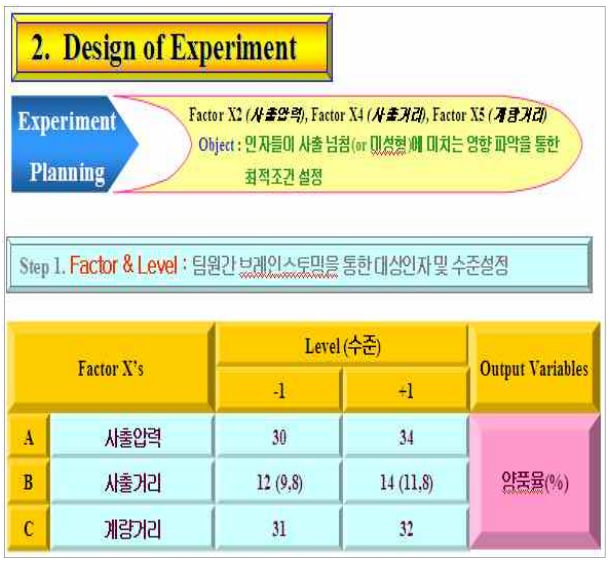
<그림 9> 계량거리 변화에 따른 검정결과

한편, 작업자 인터뷰를 실시하고, 작업조건을 세밀하게 모니터링 한 결과, 동일한 작업 표준을 사용하더라도 작업자 간에 심각한 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 이러한 차이는 3가지의 인자가 서로 상호작용을 하고 있다고 판단되었고, 이상과 같이 과거의 데이터와 현장 실무자들의 의견으로부터 나온 이러한 잠재인자들의 영향 정도를 객관적으로 판단하고 최적조건을 구하기 위한 별도의 실험을 계획하였다.

아울러, 이와는 별도로 초기불량 대응방법, 작업 관심도, 제품에 대한 지식을 높이기 위한 직무교육을 별도로 실시하여 작업자 간 차이를 해소하기로 하였다.

4.4 개선(Improve)

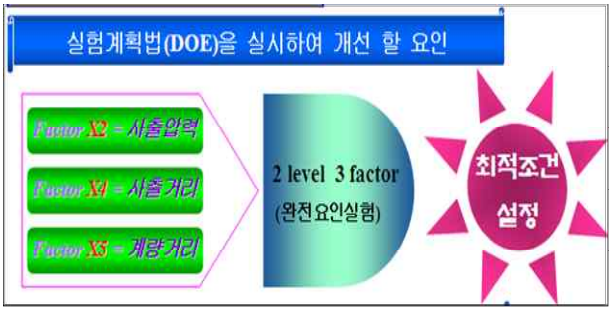
분석 단계에서 도출된 미성형 불량 및, 넘침 직행율에 영향을 미치는 핵심인자는 <그림 10>에 나타난 바와 같이 사출압력, 사출거리, 계량거리의 3가지를 제어인자(Control Factor)로 삼았다.



<그림 10> 미성형 및 넘침 변동의 핵심인자

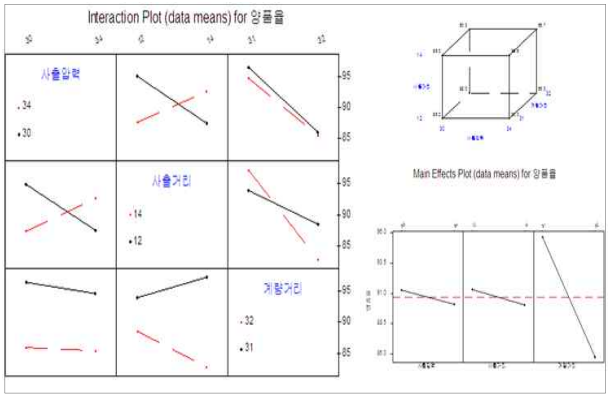
이들 인자들을 대상으로 완전요인 실험(Full Factor Experiment)으로 최적화 실험을 실시하였으며 각 인자의 수준 간격은 작업성이 보장될 수 있는 범위 안에서 직행율의 차이를 최대한 검출할 수 있도록 작업표준 범위 내에서 가능한 넓게 설정하였다.

전체 실험계획은 <그림 11>과 같이 나타낼 수 있으며 총 실험 횟수는 8회가 소요된다. 실험은 개선 대상의 제품 모델 중 특정 모델 1개를 택하여 한 명의 작업자가 동일한 설비를 이용하여 실시하였으며, 제품의 불량 유형은 미성형과 넘침으로 국한하였다.



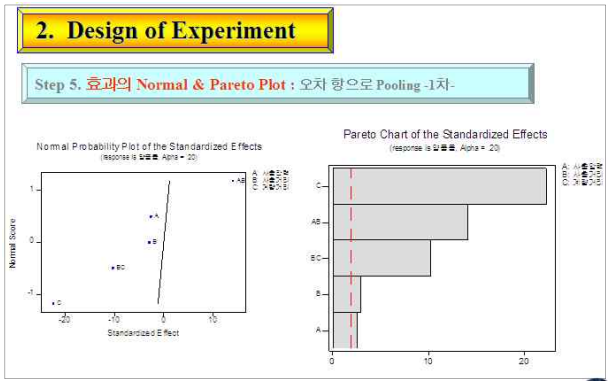
<그림 11> 핵심인자에 대한 실험계획

<그림 12>는 실험 데이터를 이용하여 핵심인자의 효과를 도시한 결과인데, 사출압력과 사출거리에 교호작용이 있으며, 사출압력과 사출거리는 높은 수준, 계량거리는 낮은 수준에서 양품율이 높게 나타남을 알 수 있다.



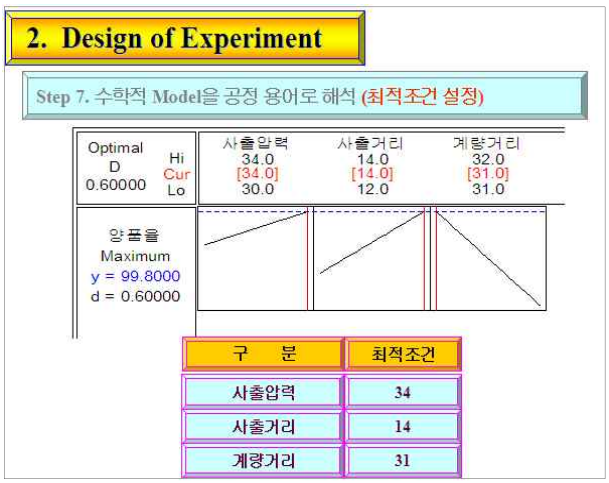
<그림 12> 핵심인자에 대한 주효과 및 교호작용의 효과 Plot

효과의 노말 플로트(Normal Plot)와 파레토 챠트(Pareto Chart)를 이용하여 유의 수준을 확인 한 결과 <그림 13> 알파(Alpha)=0.2에서 계량거리, 사출압력과 사출거리, 사출거리와 계량거리 순으로 유의한 것으로 나타났다.



<그림 13> 핵심인자 효과 Normal & Pareto Plot

이 항목들을 수학적 모델을 바탕으로 최적조건 <그림 14>을 설정하여 적용한 결과, 99.9%의 평균 직행율을 확인 하였다. 따라서 재현성이 확보되었다고 판단하고 해당 최적조건을 표준화하여 양산에 적용하기로 하였다.



<그림 14> 수학적 모델을 통한 최적조건 설정

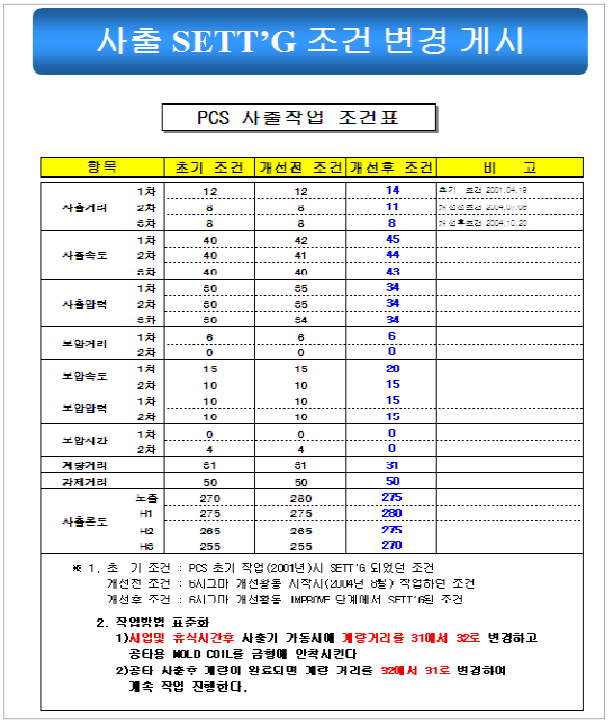
4.5 관 리 (Control)

관리 단계에서는 개선 단계에서 도출된 해결안을 파일럿(Pilot) 실험을 통해 직접 현장에 적용하여 개선 효과가 현장에서도 유지 되는가를 확인하고, 프로젝트를 통하여 개선된 효과를 지속적으로 유지하기 위해서 필요한 조치를 사전에 취하며, 이를 공정관리시스템에 반영하고, 개선 성과를 타 공정 또는 제품에 확산하기 위한 노력을 하게 된다.

본 연구에서 전체 제조라인에 걸쳐 시범 적용하기 위하여 총 10일 간의 파일럿을 실시하고 적용한 개선 결과물에서 확인하였다. 이 때 생산된 제품은 총 24,596개이며 불량율 72% 감소, 생산성 향상 24.2%를 달성하여 약 2,000만원의 실패비용이 절감되었다.

즉, 개선 단계에서 도출된 개선안의 효과가 현장에서도 충분히 발휘됨을 입증할 수 있었다. 따라서 지속적으로 개선 성과를 유지하기 위해 주요 개선사항을 설계 및 작업 표준에 반영하고, 필요한 관리항목과 관리기준에 관한 양식을 만들어 담당자로 하여금 일정 주기마다 점검하도록 하였다.

아울러, 전체 과정을 통해 축적된 Best Practice를 유사 제품을 성형하는 공정에 반영 하여 누적수율 및 공정효율 개선을 통해 전체 성과금액으로 연간 약 1억원의 실패 비용을 절감할 수 있었으며, 지속적인 표준 관리 모니터링을 위해 <그림 15>와 같이 사출 조건표를 표준화하였다.



사출 SETT'G 조건 변경 게시

PCS 사출작업 조건표

항목		초기 조건	개선전 조건	개선후 조건	비 고
사출거리	1차	12	12	14	초기 조건 2001.04.19
	2차	6	6	11	개선후조건 2004.01.05
	3차	6	6	8	개선후조건 2004.10.20
사출속도	1차	40	42	45	
	2차	40	41	44	
	3차	40	40	43	
사출압력	1차	60	65	34	
	2차	60	55	34	
	3차	60	54	34	
보압거리	1차	6	6	6	
	2차	0	0	0	
보압속도	1차	15	15	20	
	2차	10	10	15	
보압압력	1차	10	10	15	
	2차	10	10	15	
보압시간	1차	0	0	0	
	2차	4	4	0	
계량거리		61	61	31	
감제거리		50	50	50	
사출온도	노즐	270	280	275	
	H1	275	275	280	
	H2	265	265	275	
	H3	255	255	270	

※ 1. 초 기 조건 : PCS 초기 작업(2001년)시 SETT'G 되었던 조건
개선전 조건 : 6시그마 개선활동 시작시(2004년 이전) 작업하던 조건
개선후 조건 : 6시그마 개선활동 IMPROVE 단계에서 SETT'G된 조건

2. 작업방법 표준화
1)사업및 휴식시간후 사출기 가동시에 계량거리를 31에서 32로 변경하고 공타용 MOLD COIL을 금형에 안착시킨다
2)공타 사출후 계량이 완료되면 계량 거리를 32에서 31로 변경하여 계속 작업 진행한다.

<그림 15> 사출 최적조건 표준화 조건표

5. 적용결과 요약 및 개선효과

본 연구에서는 6시그마 방법을 이용하여 자동차용 PCSV 제조공정의 비부가가치 요소인 숨겨진 요소(Hidden Factor)를 제거함으로써 누적수율을 향상시켰다.

먼저, 정의 단계에서는 직행율을 이용하여 전체 공정의 누적수율을 산출하고, 숨겨진 공정으로 인해 발생되는 손실을 체계적인 과정을 통해 연간 실패 비용으로 환산함으로써 이후 개선활동을 구체적인 경영성과로 쉽게 연계할 수 있었다.

현장 연구를 통한 즉 개선(Quick Fix)의 방법과 결과는 측정 단계에서 제시하였다. 작업자마다의 작업조건에 따라 수율 저하의 직접적인 원인이었음을 밝히고, 작업 조건 재설정 등을 통해 수율을 획기적으로 개선하였다.

분석 단계에서는 4M1E를 통하여 잠재인자를 찾는 과정을 설명하였고, 핵심인자를 사출압력, 사출거리, 계량거리로 정의 하였다.

개선 및 관리 단계에서 실험계획법을 통해 최적조건을 찾고 이를 공정에 적용함으로써 불량율 72% 감소, 생산성 향상 24.2%를 달성하였고 유사라인에 수평전개를 통하여 I주식회사는 연간 1억 상당의 실패비용을 절감할 수 있었으며, 국내외 자동차업계를 감안 시 I주식회사의 절감금액보다는 더 많은 절감효과가 있을 것으로 예상된다.

6. 결 론

본 연구는 한 기업에서 6시그마 개선활동의 로드맵인 DMIAC 절차를 따라 수행한 프로젝트 과정을 소개하였다. 프로젝트 대상기업은 자동차용 PCSV의 부품을 생산하는 라인의 생산성 저조와 불량발생으로 인한 실패비용이 발생하는 문제가 있었다. 생산성 저조 및 불량발생 방지를 기업과 고객이 원하는 CTQ로 정하여 프로세스 맵을 통해 주요 제어인자로 선정하였고, 이를 대상으로 분석과정을 거쳐 핵심제어인자를 도출하였다. 핵심제어인자로 규명된 인자들이 생산성 및 불량발생에 미치는 영향을 분석한 후, 이를 통해 최적의 개선안을 도출하였다. 도출된 개선안을 생산라인에 적용한 후 공정의 관리 상태를 체크하였다. 또한 작업방법과 사람의 실수로 발생하는 불량을 제거하기 위해 실수를 방지할 수 있는 체계를 마련하였으며 새로 바뀐 설비 및 공정에 대하여 표준화를 실시하여 작업관계자들의 편리성과 생산의 효율성을 도모하였다. 이러한 일련의 활동을 통해서 불량률 72%감소, 생산성 향상 24.2%를 달성하였고, I주식회사는 연간 1억 상당의 실패비용을 절감할 수 있었다.

사실 6시그마 품질이란 목표는 업무 성격, 업체별 예로 소품종 대량생산과 다품종 소량 생산하는 업체별 불량율은 다를 것이다. 그러나 보다 중요한 것은 이러한 목표 보다는 목표에 이르는 개선 활동의 과정이라고 할 수 있다. 그러므로 6시그마 수준의 제품품질을 강조하기 보다는 그 방법론이 강조되어야 할 것이며, 이러한 방법론의 수행이 전사적으로 수평 전개하였다. 본 연구에서도 각 단계별(DMAIC) 과정을 수행하였으며, 통계적 TOOL(미니탭) 사용하여 객관적인 DATA로 결과를 도출할 수 있었으며, 체계적인 개선 진행에 의해 의외의 효과를 얻을 수 있었다.

본 연구 사례를 바탕으로 품질혁신과 고객만족을 달성하고자 하는 업무 프로세스 혁신 전략으로서 제조공정의 결함 발생률을 6시그마 수준으로 줄이고자 하는 공정 엔지니어에게 도움이 될 것으로 기대한다.

7. 참 고 문 헌

[1] 김진필, 박병춘, “중소기업에서의 6시그마 경영 사례 연구-브레이크 마스터 실린더 내경 입구부 개선 사례를 중심으로”, 품질혁신, (2001): 82-97.
[2] 박성현, 이명주, 정목용, “6시그마 이론과 실제”, 한국표준협회, (1999)
[3] 박종인, 이동규, 변재현, “자동차 Steering Wheel 제

조공정의 누적수율 개선을 위한 6시그마 적용사례", 품질경영학회지, (2005): 32-41.
[4] 박재형, 변재현, 김창현, 정창원, 최영대, "구간세분화 방법을 이용한 철강산업업체의 6시그마 프로젝트 추진사례", 품질혁신, (2001): 57-65.
[5] 조상명, "자동용접생산 라인에 있어서 6시그마 적용", 한국박용기관학회지, (2001): 261-272.
[6] 차원준, 최연선, "6시그마 프로세스를 이용한 소형 직류 모터의 소음 절감", 한국소음진동공학회논문집, (2003): 532-538.
[7] 홍성훈, 최익준, "게이트 도장 품질 개선을 위한 6 시그마 프로젝트 사례 연구", 품질경영학회지, (2006): 1-12.
[8] Harry, M. and Schroeder, R., Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations, Doubleday, New York, (2000).
[9] Brefogle III, F.w., Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods, 2nd ed, Wiley, New York, (2003)
[10] Shina, S. G., Six Sigma for Electronics Design and Manufacturing, McGraw Hill, New York, (2002)
[11] Snee, R. D. and Hoerl, R. W., Leading Six Sigma, Prentice-Hall, New Jersey, (2003)

저 자 소 개

양 성 남

국민대학교 경영학부를 졸업하고, 한국산업기술대학교에서 석사학위를 취득하였고, 한국산업기술대학교 디지털경영학과 박사과정을 수료하였다. 동국제강그룹 상무이사(관리본부장)를 거쳐 현재 인지컨트롤스(주) 총괄부사장으로 재직 중이다. 주요 관심분야는 품질경영 및 재무관리 등이다.
주소: 경기도 시흥시 정왕동 1267-3 인지컨트롤스(주)

노 성 호

고려대학교 학사 및 석사로 경제학과를 졸업하고, 프랑스 Aix-Marseille III 대학원에서 산업경제학 박사학위를 취득하였다. 산업연구원 선임연구위원, 한국산업단지공단 상무를 거쳐 현재 한국산업기술대학교 e-비즈니스학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 산업경제 및 지역혁신체계 구축 등이다.
주소: 경기도 시흥시 정왕동 2121 한국산업기술대학교 G301

서 종 현

한국과학기술원 산업공학과에서 학사, 석사 및 박사학위를 취득하였다. LG CNS 컨설팅 부문에서 선임컨설턴트로 근무한 경력이 있으며, 현재 한국산업기술대학교 e-비즈니스학과 조교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 R&D 성과평가, 중소기업 지원정책, 품질경영 및 신뢰성 분석 등이며, 최근에는 기술경영 및 R&D에 관심을 갖고 연구 중이다.
주소: 경기도 시흥시 정왕동 2121 한국산업기술대학교 G302