

대용특성을 이용한 Prism-B 중심능선 캐비티 불량 개선 사례

조성하

경남 창원시 성주동 42번지 삼성테크윈(주) 제1사업장
전화) 055-260-5743 email) jopo.cho@samsung.com

권혁무

부산시 남구 용당동 산 100, 부경대학교 시스템경영공학과
전화) 051-620-1549 email) iehmkwon@pknu.ac.kr

차명수

부산시 남구 대연동 110-1, 경성대학교 산업공학과
전화) 051-620-4723 email) mscha@ks.ac.kr

김영진

부산시 남구 용당동 산 100, 부경대학교 시스템경영공학과
전화) 051-620-1555 email) youngk@pknu.ac.kr

Abstract

본 연구는 S사의 카메라 뷰 파인더 부품으로 사용되는 Prism-B의 손폐율 감소를 위해 중심능선의 품질특성을 개선한 사례이다. 기존에는 중심능선 불량을 전자현미경을 통한 관찰에 의해 판단함으로써 계량적인 측정데이터를 확보하지 못하여 통계적인 분석이 어려웠으나, 본 사례에서는 대용특성을 이용하여 중심능선의 품질특성을 수치로 측정할 수 있는 방법을 먼저 개발함으로써 데이터의 분석과 공정의 개선을 체계적으로 진행하였다. 개선 방법은 6시그마 프로젝트 진행 로드맵을 따랐으며, 그 결과 손폐율을 개선 전 12%로부터 개선 후 0.00%로 거의 완벽하게 제거할 수 있었다.

1. 서론

많은 산업현장에서는 가공 도중의 부품의 적합 여부를 판단할 때, 직접 측정된 데이터를 바탕으로 하는 것이 아니라 한도 표본 등의 어떤 기준과 비교 판단하여 생산 흐름을 원활하게 유지하도록 하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같은 공정에서는 문제점을 분석하여 개선하고자 할 경우, 측정된 계량형 데이터가 없어서 객관적인 분석

과 판단이 어렵다는 단점이 있다.

본 사례 연구에서 대상으로 하고 있는 카메라 렌즈 제작용 Prism-B의 경우에도 최종 성능 평가 시 중심능선 불량으로 인한 손폐율(불량품 중 재생이 불가능하여 폐기되는 부품의 전체 투입에 대한 비율)이 12%로 시급한 개선이 요구되고 있었지만, 전자현미경을 통한 관찰에 의해 얻어지는 데이터가 양 불량만을 알 수 있는 계수형 데이터로서 효과적인 분석에는 한계가 있다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 본 사례에서는 먼저 Prism-B의 중심능선의 품질특성을 대변할 수 있는 측정가능한 계량형 대용특성을 먼저 정의한 후, 데이터를 수집하여 분석하였다.

개선을 위한 접근방법은 6시그마 프로젝트 진행 방법을 따랐고 Prism-B의 캐비티 불량으로 인한 손폐율을 4% 이하로 감소시키는 것을 목표로 프로젝트를 진행하였다. 이하 프로젝트 진행 내용 중 중요사항만을 정리하여 소개한다.

2. 주 품질특성 및 대용특성의 정의

Prism-B의 중심능선은 프리즘 구조적으로 90° edge를 이루는 곳으로 능선각도와 형상 및 상태는 직접적인 중심 분해불량

요인으로 작용된다.(그림 1.) 기존의 Prism-B 검사 방법은 뷰 파인더에 Prism-B를 장착한 후, 뷰 파인더를 통해 일정 거리에 있는 상을 판별할 수 있는지 판정하는데 마치 시력검사를 하는 방법과 유사하다. 세로 방향의 판별력을 검사할 수 있도록 고안된 상을 M상, 가로 방향의 판별력을 검사할 수 있도록 고안된 상을 S상이라고 하는데 Prism-B 중심능선의 형상 혹은 상태의 불량으로 특히 S상의 판별에 문제가 있는 것으로 파악되었다. 따라서 중심능선의 형상 및 상태는 Prism-B의 개선 대상 주 품질 특성이 된다.



그림 1. Prism-B의 형태

단품 상태에서 Prism-B 중심능선의 적합 여부를 판단하기 위해 SEM(주사전자현미경)으로 확대한 이미지를 이용하여 목시 검사를 하고 있으나, 이와 같이 주 품질 특성에 대해 얻어진 정성적 검사 결과는 객관적인 분석에 이용하기 어렵다. 따라서 그림 2의 Prism-B의 정면도 도해 결과를 바탕으로 중심능선의 적합여부를 판단하는데 사용할 수 있는 계량형 대응특성을 정의하게 되었다. 그림 2에서 정상적인 Prism-B 정면도의 꼭지점은 직각이 되어야 한다. 만약 그림 2에서와 같이 5각형으로 나타난 정면도의 양쪽 꼭지점을 잇는 수평선을 그을 경우 $a=b=c$ 가 된다. 즉, Prism-B의 중심능선이 정상일 때는 $a=b=c$ 가 되나 a 의 치수가 이와 같지 않을 경우에는 꼭지점이 직각과 다르게 되어 중심능선 불량이 된다. 이와 같은 원리를 이용하여 Prism-B 중심능선의 품질특성을 계량치로 측정하기 위해 비구면 측정기의 기준점(0점)을 조정하고 $b=c=0.03mm$ (정면도를 출력하여 확대된 그림 기준)로 설정한 후 a 를 측정한다.

측정의 정확도 및 정밀도를 확보하기 위해 측정 치구를 개발하고 비구면 측정기를 사용하여 측정하도록 하였다. 측정시스템을 검증하기 위해 10개의 시료를 두 명의 작업자로 하여금 각 2회씩 랜덤하게 반복 측정하도록 하여 분석한 결과 %R&R 값이 14.42, 변별범주의 수가 10으로서 대체로 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

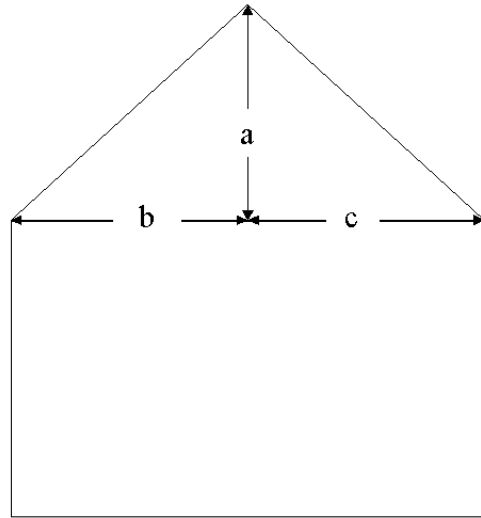


그림 2. Prism-B의 정면도

3. 현재 수준 파악 및 불량원인 분석

전 절에서 정의된 대응특성을 측정하여 현재의 공정능력을 평가한 결과 공정능력지수는 0.1밖에 되지 않고, 불량률은 39%에 이르렀다. 개선을 위한 준비 단계로 높은 불량률의 원인을 찾기 위해 공정을 상세하게 분석하고 각 공정 단계별 중심능선 특성에 영향을 줄 수 있는 잠재 요인들을 모두 도출하였다. 그림 3은 공정의 전반적인 흐름을 보여주고 품질특성을 결정짓는 핵심 공정 단계와 함께 도출된 요인들 중 중요요인들을 함께 정리한 것이다.

그림 3의 중요인자들이 실제로 중심능선 특성 불량률의 원인이 되고 있는지 확인하기 위해 15일간에 걸쳐 데이터를 수집하여 통계적으로 분석하였다. 수집된 데이터가 많지 않아 신뢰성이 다소 떨어지지만 분석 결과 사출성형 공정의 보압 1(x_1), 보압 2(x_2), 온조기 온도(x_3), 절환위치(x_4), 냉각 시간(x_5)의 5개 인자가 유의한 것으로 나타났다. 표 1은 미니탭을 사용하여 회귀분석한 결과를 요약하여 정리한 것으로 보압 1(x_1)과 절환 위치(x_4)는 중심능선특성과 양의 관계이고 나머지 3개 인자는 음의 관계임을 보여주고 있다.

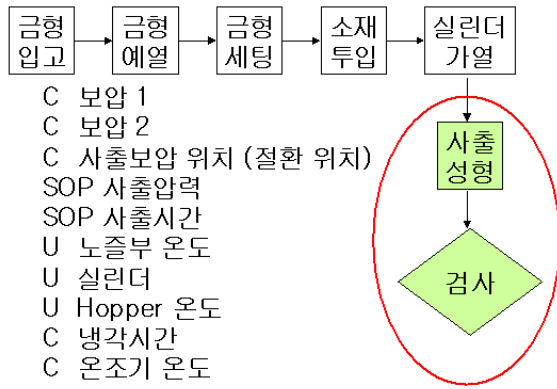


그림 3. 중요 공정단계 및 요인

표 1. 회귀분석 결과

회귀식:					
$y = 242.81 + 0.207x_1 - 0.288x_2 - 4.279x_3 + 278.90x_4 - 2.633x_5$					
t검정 결과					
설명변수	Coef	SE Coef	T	P	
상수	242.81	70.730	3.43	0.014	
x1	0.207	0.077	2.70	0.036	
x2	-0.288	0.047	-6.19	0.001	
x3	-4.279	0.627	-6.83	0.000	
x4	278.90	57.030	4.89	0.003	
x5	-2.633	0.730	-3.61	0.011	
R-Sq = 93.1%, R-Sq(adj) = 87.3%					
분산분석 결과					
요인	자유도	SS	MS	F	P
회귀	5	21.13	4.23	16.15	0.002
잔차	6	1.57	0.26		
계	11	22.70			

4. 공정의 개선 및 관리

공정 분석 결과를 토대로 개선을 시도 하였으나 기본적으로 설비(온조기)의 노후화로 인하여 중요인자들의 조건을 제대로 관리할 수 없어서 수명이 다 된 온조기를 새로운 설비로 교체하기로 하였다. 이에 따라 새로운 설비에 맞는 사출성형 조건을 다시 최적화할 필요가 있어, 실험을 통하여 최적 조건을 찾기로 하였다.

실험인자는 분석 결과 중심능선특성에 유의한 영향을 주는 것으로 판명된 5개 인자를 그대로 사용하고 수준은 기술적인 검토 결과를 토대로 표 2와 같이 정하였다.

표 2. 실험인자 및 수준

인자	수준		
	1	2	3
x1 보압 1 (kg/cm ²)	770	795	815

x2 보압 2 (kg/cm ²)	500	550	600
x3 온조기 온도 (°C)	160	165	
x4 절환위치(mm)	3.1	3.2	3.3
x5 냉각시간 (초)	140	150	160

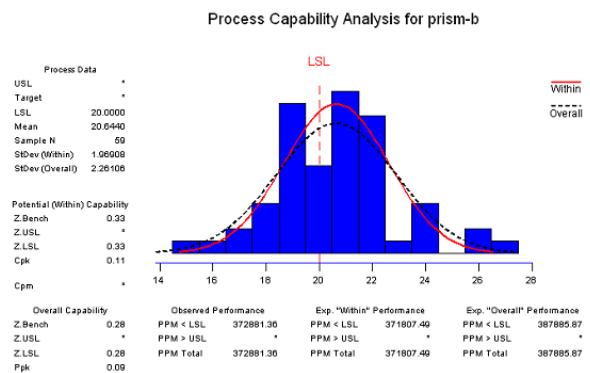
실험은 캐비티별 편차를 작게 하여야 하므로 다구찌 방법을 채용 L18 직교배열표를 사용하였고 실험 당 표본 개수는 5회의 사출 후 2회 사출한 것으로 취하여 각 실험 조건별로 8개 데이터를 얻었다. 측정은 2절에서 설명된 방법에 따라 비구면 측정기와 치구를 사용하여 실시하였다.

2단계 최적화 방식에 따라 산포에 영향을 크게 주는 x1(보압 1), x3(온조기 온도), x5(냉각시간)의 조건을 먼저 정하고 나머지 두 인자의 조건을 정하여 평균을 조정하였다. 표 3은 개선 전에 적용되었던 조건과 개선 후 적용되고 있는 최적 조건을 비교한 것이다.

표 3. 개선 전후 공정 조건의 비교

인자	개선 전	개선 후
x1 보압 1 (kg/cm ²)	795	795
x2 보압 2 (kg/cm ²)	550	500
x3 온조기 온도 (°C)	162	165
x4 절환위치(mm)	3.2	3.1
x5 냉각시간 (초)	150	160

이와 같이 공정조건을 최적화하여 운영되는 상태 하에서 데이터를 수집하여 공정능력분석을 실시한 결과(그림 4), 불량률이 39%로부터 0.0ppm으로 완벽하게 제거되었으며 이에 따라 손패율도 0.00%로 없어졌다. 표 4는 이와 같은 개선 효과를 요약한 것이다.



(a) 개선 전 공정능력

(b) 개선 후 공정능력

그림 4. 개선 전후 공정능력분석 결과 비교

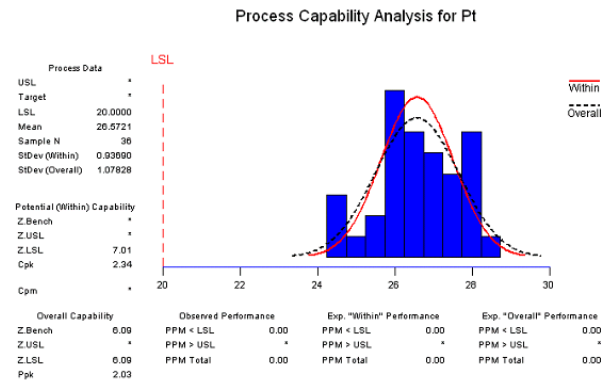


표 4. 개선 효과

항 목	개선 전	개선 후
대용특성 불량률	387,885ppm	0.0ppm
손폐율	12%	0.00%

이 프로젝트 진행 결과 얻은 부수적인 이득으로서 관능검사에 의존하던 검사방법을 대용특성을 도입하여 계량적으로 측정할 수 있는 방법을 개발하여 향후에도 공정이나 품질 문제 분석을 보다 효과적으로 할 수 있는 기틀을 마련하였고, 표준 성형 조건을 설정함으로써 작업을 합리적으로 관리할 수 있는 근거를 제공할 수 있었다.

개선 효과의 지속적인 유지를 위하여 작업표준서를 작성 준수하도록 하고, 사출 성형 검사성적서 표준양식을 고안하였다. 관리를 위해 매일 1회씩 시료를 취하여 표준 양식에 검사 결과를 기입하고 관리도를 작성 공정의 변화를 모니터링 하도록 하였다.

5. 결론

본 사례는 공정의 분석과 개선에 있어서 계량형 데이터 확보의 중요성을 잘 보여주고 있다. 많은 산업 현장에서는 생산성 향상이라는 명분 하에 작업 결과 혹은 가공 결과에 대해 합격 불합격만을 판정하고 있다. 그러나 이와 같은 공정에서 얻어진 정보를 바탕으로 공정에 잠재된 문제를 식별해 내고, 체계적인 분석을 통해 문제의 근본 원인을 밝혀내는 것이 쉽지 않다. 더구나 실험을 통해 공정 조건을 최적화하고자 할 경우, 계수형 데이터를 수집한다면 실험 경비를 도저히 감당할 수 없을 정도로 많은 실험을 해야 하게 된다.

따라서 주 품질특성이 원래 계수형이거나 계량형이지만 측정이 불가능할 경우에는 주 품질특성과 밀접한 관계를 가지고 있는 계량형이면서 비교적 측정이 용이한 대용특성이 없는지 찾아볼 필요가 있다. 본 사례는 관능 검사에 의존한 검사방법을 계량화

할 수 있는 방안을 먼저 고안하고, 고안된 방법에 따라 측정된 대용특성 값을 분석하여 공정을 획기적으로 개선하는 과정을 보여 주고 있다. 다만, 계량형 대용특성을 도입하는 과정에서 그 타당성을 객관적으로 입증하는 근거가 데이터에 의거하여 제시되었으면 더 좋았을 것이다.

향후, 정성적인 특성이나 계수형 품질 특성 혹은 계량형이지만 측정이 불가능한 주 품질특성의 대용특성을 개발한 다양한 사례들을 함께 비교한 연구가 기대된다.

참고문헌

1. 배도선, 류문찬, 권영일, 윤원영, 김상부, 홍성훈, 최인수(2000), *최신 통계적 품질 관리*, 영지문화사.
2. 삼성 6시그마아카데미(2003), *삼성 6시그마 DMAIC*, 삼성테크윈 6시그마아카데미.
3. DaimlerChrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation(2002), *Measurement Systems Analysis reference Manual*, 3rd ed.
3. Ranjit K. Roy(2001), *Design of Experiments using the Taguchi Approach*, John Wiley & Sons, Inc.
4. William Y. Fowlkes and Clyde M. Creveling(1995), *Engineering Methods for Robust Product Design*, Addison-Wesley Publishing Company.