

# 6 시그마를 사용한 Bellow Spining 불량 개선 전략

최면중\*, 홍재복\*, 황인극\*\*

\*공주대학교 산업시스템공학과 대학원

\*\*공주대학교 산업시스템공학과

e-mail:ikhwang@kongju.ac.kr

## A Improvement Strategy for Bellow Spining Defection Using Six Sigma

Myun-Chung Choi\*, Jea-Bok Hong\*, Inkeuk Hwang\*

\*Dept of Industrial & System Engineering,

Kongju National University

### 요 약

이 논문에서는 벨로우 스피닝 불량을 감소하기 위해 6 시그마 방법을 이용하여 전개하면서 Improve 단계에서 일반적으로 많이 사용하는 요인분석에 의한 배치방법을 대신 다푸지 방법을 통한 실험계획법을 적용함으로써 불량을 감소시키는 방법을 사용하였다.

### 1. 서론

모토롤라에서 6 시그마가 소개된 이래로 세계 우수 기업은 물론 많은 한국의 대기업도 6 시그마를 도입하여 COPQ(cost of poor quality)를 줄임으로 기업에 낭비를 제거할 수 있게 되어 수익의 증대로 이끌고, 변동을 줄임으로 제품에 대한 품질의 향상에 기여하였고 기업에 대한 신뢰도와 브랜드 향상에 기여하고 있으며, 매년 6 시그마 적용을 통한 많은 성공 사례가 발표되고 있다.

이러한 성공을 얻기 위하여 6 시그마는 기업의 전략과 연결되어 진행되어야 하며, 고객의 요구사항과 일치해야만 가능하다. 6 시그마가 프로젝트 기반 방법론이기 때문에 조직에 최대한 재정적인 혜택을 제공하는 프로젝트에 우선하여 선정되어야 한다.

6 시그마 프로젝트를 수행하는 과정에서, 프로젝트 선정에 너무 많은 요소들(factors)를 선택하지 말아야 하며, 일반적으로 5개에서 8개 사이의 요소들을 선택하여 진행하는 것이 좋다. 6 시그마의 성과를 측정하는데 비용절감이나 COPQ, 고객 만족 등과 같이 많은 기준들이 사용되지만, 어떠한 기준이 프로젝트를 선정하거나 우선순위를 결정하는데 표준화되었거나 좋은 법칙이라고 말하기에는 부족하다.

이 논문에서는 벨로우 스피닝 불량을 감소하기 위해 6 시그마 방법을 이용하여 전개하면서 Improve 단계에서 일반적으로 많이 사용하는 요인분석에 의한 배치방법을 대신 다푸지 방법을 통한 실험계획법을 적용함으로써 불량을 감소시키는 방법을 사용하였다.

### 2. Define 단계

벨로우 스피닝은 세탁기 세탁조와 연결된 모타 회전축에 장착되는 것으로서 3중 SEAL 작용에 의한 이물질 유입 방지와 바란스 유지 및 떨림 방지 역할을 주 기능으로 하는 제품이다. 기름에 강한(내유성) NBR 재료와 기계적 강도, 주의온도 즉 내구성이 있는 CR 재료의 사용으로 열 가황 방식의 성형 작업을 이루며 외관의 흠집 및 여타의 손상이 없어야 한다. 이 회사의 문제는 현재 공정 불량을 4.6%에서 2.3%로 낮추기 위해 6 시그마를 적용하기로 하였다. 성과지표와 예상되는 효과 금액은 [그림 1]과 같다.

	Metric	현재	목표	B / M
성과측정 측정지표	생산성 향상 (양품율)	95.40%	97.70%	단독제품
	품질 향상 (공정불량율)	4.60%	2.30%	.
	시그마 수준	3.19 σ	3.80 σ	
효과금액	<b>1. 재무효과</b> ■ 손실 COST 절감 현재손실 COST /년      개선후손실COST /년      개선효과금액 /년 3,187만원(월평균불량율4.6%) - 1,694만원(불량율2.30%) = 1,594만원			
	<b>2. 비재무효과</b> ○ 생산성향상    ○ 품질향상    ○ 고객만족			

[그림 1] 성과측정 지표와 예상되는 효과 금액

4월달의 제품별 손실현황을 파악한 결과 손실금액으로 제일 많이 나타난 항목은 벨로우스피닝, Clens 스페샤 Crt, 다이아 프레임, 스페샤캡순으로 나타나 벨로우스피닝 개선을 위해 6 시그마를 적용하기로 하였고, 벨로우스피닝 불량률의 유형을 조사한 결과 [그림 2]와 같은 결과를 얻어 파레토 곡선을 적용한 결과 찢김, 양부족, 에어, 미성형이 전체 불량률의 80%를 넘는 것으로 판명되었다.

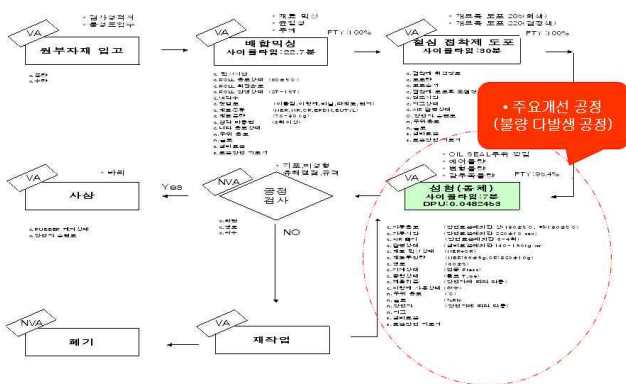
< 벨로우스피닝 불량 유형 >

구분\원인	1월	2월	3월	4월	5월	계
핏김	194	79	1,000	1,018	652	2,941
양부족	89	93	447	785	1,282	2,856
에어	310	212	836	582	183	2,123
변형	511	1,249	76	64	29	1,919
이물질	33	215	75	90	77	490
미성형	189	33	121	267	173	763
사상	31	11	18	9	7	76
기타		87	1	13	12	113

[그림 2] 벨로우스피닝 불량유형

### 3. Measure 단계

현재 프로세스가 어떻게 구성되는지, 누가 무엇을 하는지를 분석하여 개선이 필요한 부분을 효과적으로 추출하여 바람직한 업무수행 프로세스를 파악하기 위해서 [그림 3]과 같이 프로세스 Map을 만들어 본 결과 성형과정에서 불량률이 다수 발생하는 공정으로 나타나 주요 개선공정을 삼았다.



[그림 3] 프로세스 Mapping

벨로우 스피닝의 불량에 영향을 주는 주요 X인자를 찾기 위해 X-Y matrix를 사용하여 이형제 사용상태, Air 빼기, 사출 온도, 가류시간, 제품취출, 압력상태 등이 벨로우 스피닝의 불량에 영향을 주는 것으로 나타났다.

X-Y Matrix를 수행 후 공장이 많이 일어나는 고장모드를 파악하기 위해 FMEA를 적용하여 실시한 결과 [그림 4]와 같이 Oil Seal 부위 찢김으로 인한 누수와 수명단축 등이 제일 높은위험순위를 나타내고 있었으며, 에어불량이 그 뒤를 나타내었다. 측정시스템의 분석결과 4 이상이므로 측정시스템을 인정해도 좋다고 판정을 내릴 수 있었고 현재 시그마수준은 Zlt (장기공정능력) = 3.19 σ 로서 불량개선에 많은 노력이 필요한 것으로 판명되었다.

### 4. Analyze 단계

Measure 단계에서의 주요 X's 인자들에 대하여 Y (불량유형) 인자에 미치는 상관관계를 분석 하였다. Analyze 단계 진행순서로, 주요 인자 X's 영향 분

석, 기계별 영향 관계 분석, 가류시간에 따른 영향분석, 가류온도에 따른 영향분석, 압력변화에 따른 영향분석, 에어빼기에 따른 영향분석, 제품탈취에 따른 영향분석, 이형제살포에 따른 영향분석을 수행하였다.

문제 가능 요구사항	장게적 고장영역	고장영역 장게적 영 영	심카 도	고장영역장게적 원인/ 메카니즘	발생 도	현 공정관리	검 출 도	위험 순위	권고조치사항	책임 및 목표 완료 예정일
윤활유 유량불균 가류시간	OIL SEAL부위 찢김	누수 수명단축	7	대개로 OIL SEAL 부위가 찢 김의 원인으로 추정되 (윤활유) 불량이 발생된 후에 OIL SEAL 부위 찢 김의 원인이 OIL SEAL 부 위에 발생된 것으로 판명될 수 있다.	9	OIL SEAL 부위 찢 김으로 유량불균 발생 사출온도 조절 범위	4, 268	3	OIL SEAL 부위 찢 김으로 유량불균 발생 사출온도 조절 범위	이전로 변경 -측시 실시
가류온도 변화	에어빼기	에어	6	가류시간에 따른 에어빼 기 부족으로 발생 가능하다.	9	가류시간에 따른 에어 빼기 부족으로 발생 가능하다.	4, 180	3	가류시간에 따른 에어 빼기 부족으로 발생 가능하다.	이전로 변경 -측시 실시
직접자	변형	도열기 인접	6	가류시간에 따른 변형 발생 가능성 있음	3	가류시간에 따른 변형 발생 가능성 있음	3, 46	3	가류시간에 따른 변형 발생 가능성 있음	이전로 변경 -측시 실시
가류시간 가류온도	양부족	에어 빼기 가류시간	6	가류시간에 따른 양부 족 발생 가능성 있음	7	가류시간에 따른 양부 족 발생 가능성 있음	3, 106	3	가류시간에 따른 양부 족 발생 가능성 있음	이전로 변경 -측시 실시

[그림 4] FMEA

[그림 5] 측정시스템 평가

단계요약은 [그림 6]에 나타나 있다.

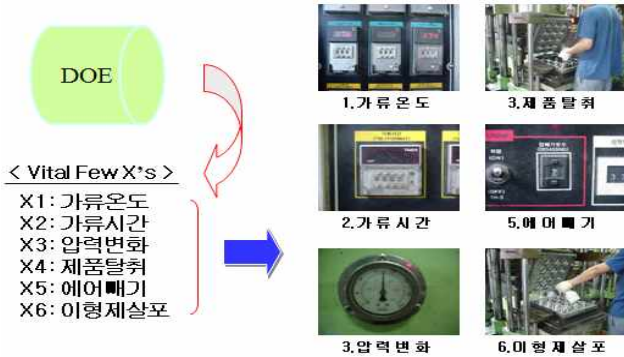
NO	주요인자 X's(분석대상)	검정	P-VALUE	결론
1	기계별 영향관계 분석	On-way (ANOVA)	0.643	기계별 영향관계 큰 차이 없음
2	가류시간에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.000	가류시간에 유의적임
3	가류온도에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.000	가류온도에 유의적임
4	압력변화에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.014	압력변화에 유의적임
5	에어빼기에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.000	에어빼기에 유의적임
6	제품탈취에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.007	제품탈취에 유의적임
7	이형제살포에 따른 영향분석	Chi-Square Test	0.033	에어빼기 후수에 유의적임

[그림 6] Analyze 단계 정리

분석 결과 주요인자 X's중 주요영향인자는 가류시간, 가류온도, 압력변화, 에어빼기, 제품탈취, 이형제살포 이며 기계별로는 영향이 적은 인자로 검증 되었으며, 주요인자에 대하여 세부 행동 계획을 수립하고 개선에 초점을 맞추며, 제조공정은 물론, 개발단계, 신모델 초기대응 및, System적인 부분에서도 개선 조치하고 또한, 집중적인 개선 Project로 추진 하고자 하였다.

### 5. Improve 단계

Analyze 단계에서 추출한 핵심인자에 대해 단순히 개선이 가능한 인자인지 아니면 실험계획법을 통해 개선이 필요한 인자인지를 고려한 결과 Vital Few X's [그림 7]로 선정된 모든 인자에 대해 실험계획법을 통해 최적 수준을 찾도록 하였다.



[그림 7] Vital Few X's의 인자들

DOE의 실시는 실험인자와 수준을 [그림 8]과 같이 선정하였고, 무엇을 비교(검증) 하였는가?에 대한 물음에 대해 [그림 9]와 같이 양품과 불량 상호관계를 수.우.미.양.가로 세분화하고 점수로 환산하여 DATA화 하였다.

NO	인자명	수준 (LEVEL)			단위	비고
		1	2	3		
1	가류온도	160	175	190	℃	
2	가류시간	160	220	280	Sec	
3	압력변화	100	150	180	kg/cm <sup>2</sup>	
4	제품탈취	12	40	90	Sec	
5	에어빼기	1	2	3	회	
6	이형제살포	1	2	3	Cycle	Ex) 3 cycle: 3 cycle 중 1회 이형제 살포

[그림 8] 실험 인자 및 수준

Improve 단계 결론은 우선 주효과 Plot을 통하여 가류온도, 가류시간, 압력변화, 제품탈취에 큰 영향을 미치고 에어빼기, 이형제살포는 영향을 덜 미치는 인자임을 알 수 있었다. 또한, Plot 창과 Response Table의 결과를 종합하여 S/N비를 크게 하는 조건을 정하고, 그때의 S/N비를 추정해 본 결과 가류온도: 175 ℃ (2수준), 가류시간: 220 Sec (2수준), 압력변화: 180 kg/cm<sup>2</sup> (3수준), 제품탈취: 40 Sec (2수준), 에어빼기: 3 회 (3수준), 이형제살포: 2Cycle (2수준)일 때 S/N비( -23.95 )로 가장 좋음을 확인할 수 있었다. 개선 전/후 S/N비 비교하면, 개선 전 작업조건 S/N비 : -40.3839이었던 반면 개선 후 작업조건 S/N비: -23.9495됨으로 S/N비: 16.4344 (40.7%) 향상된 것을 알 수 있었다.

### 6. Control 단계

Improve 단계를 거치면서 불량율이 45864 PPM에서 6 시그마를 적용한 후 불량률이 24000 PPM으로 개선되었다. 자세한 결과는 [그림 10]에 나타나 있다.

### 7. 결론

프로젝트를 진행하면서 전 부서의 Loss가 보이고 수준을 알 수 있었으며, 본 프로젝트 활동을 통하여 제조공정 만이 아니라 자재, 생산, 출하, 개발의 관

련부서 Loss 수준을 알게 되고 개선이 가능해 졌음. 그리고 Data 없이는 문제를 개선 할 수 없다는 것을 이해할 수 있었으며, 지속적인Data 분석, 개선 필요하다는 것을 일 수 있었다.

현재, 공정불량의 주요(일부) Data만 관리 하므로 2차 원인 및 근본적인 문제해결이 어려웠으며, 불량이 재 발생되어 왔는데, Data에 의한 6 시그마 접근 방식을 통해 발생된 문제 뿐만 아니라 어떤 것도 개선할 수 있음을 인식 하였으며, 기업성과 품질 혁신의 효과를 낼 수 있는 기업 경영 전략이라는데 프로젝트 팀의 의견이 일치되었다.

### Taguchi Design

L27 (3\*\*6)  
Factors: 6  
Runs: 27

#### Smaller is better

Level	가류온도	가류시간	압력변화	제품탈취	에어빼기	이형제살포
1	-40.1571	-37.0668	-35.4612	-34.5563	-35.6764	-35.2562
2	-32.0092	-33.3972	-39.1677	-33.9220	-35.5430	-35.0037
3	-34.2306	-35.9328	-31.7679	-37.9185	-35.1775	-36.1369
Delta	8.1479	3.6696	7.3998	3.9965	0.4990	1.1331
Rank	1	4	2	3	6	5

#### Response Table for Means

Level	가류온도	가류시간	압력변화	제품탈취	에어빼기	이형제살포
1	102.000	80.4444	66.0000	67.4815	71.0000	68.0000
2	49.963	57.9639	91.6296	57.2222	68.0000	66.6667
3	53.963	67.5185	48.2963	81.2222	66.9259	71.2593
Delta	52.037	22.4815	43.3333	24.0000	4.0741	4.5926
Rank	1	4	2	3	6	5

#### Predicted values

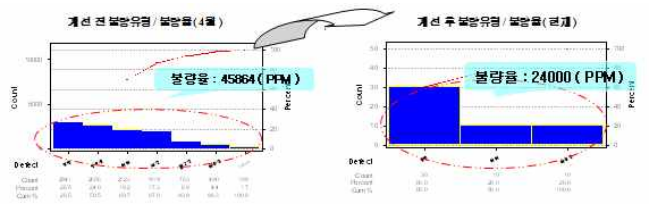
S/N Ratio : -23.9495

Factor levels for predictions

가류온도 2 가류시간 2 압력변화 3 제품탈취 2 에어빼기 3 이형제살포 2

NO	가류온도		가류시간		압력변화		제품탈취		에어빼기		이형제살포		y1	y2	y3	계	평가	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2						
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	3	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	2	1	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	2	2	3	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	2	2	3	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	2	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	2	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	2	3	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	2	3	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	2	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	2	3	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	2	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	2	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	2	3	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	2	3	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	2	3	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	2	3	2	1	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

[그림 9] 실험계획 배열과 결과



Metric	목표	개선 전	개선 후	목표대비달성율
생산성향상(양품율)	97.7%	95.4%	97.6%	95.8%
품질향상(공정 불량율)	22932 PPM	45864 PPM	22932 PPM	
시그마 수준	3.80 σ	3.19σ	3.47	

[그림 10] 효과 분석