

6시그마를 이용한 자동차 범퍼의 치수 최적화에 대한 연구

김주권^{*,**}, 김종선^{***}, 이준한^{***}, 곽재섭^{*,#}

^{*}부경대학교 기계공학과, ^{**}LG전자 생산기술원, ^{***}한국생산기술연구원 금형기술그룹

A Study on Dimension Optimization of Injection-molded Automotive Bumper by Six Sigma

Joo-Kwon Kim^{*,**}, Jong-Sun Kim^{***}, Jun-Han Lee^{***}, Jae-Seob Kwak^{*,#}

^{*}Department of Mechanical Engineering, Pukyong National Univ., ^{**}PRI, LG Electronics Inc.,
^{***}Molds and Dies Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology.

(Received 26 September 2017; received in revised form 13 October 2017; accepted 22 November 2017)

ABSTRACT

In this study, the optimization of the overall dimensions of an automobile bumper was investigated through CAE and experiment using the Six Sigma method and design of experiment (DOE) method, respectively. Injection pressure, injection speed, injection time, cooling time, holding time, injection temperature, and holding pressure were selected as the vital parameters affecting the overall width of product through analysis of trivial many using CAE. The optimal values were determined using the DOE method, and we analyzed the improvement by applying the optimal conditions to the production process. As a result, the mean value of the overall width was close to the target value, with a deviation of 0.05mm, and the processability and I-MR control were remarkably improved. Finally, the dimension pass rate of the product improved by 20%.

Keywords: 6-Sigma(6시그마), Injection Molding(사출성형), Computer-aided Engineering(컴퓨터이용공학), Design of Experiment(실험계획법), Process Capability(공정능력)

1. 서 론

플라스틱 사출성형은 짧은 공정시간을 통해 높은 생산성을 가지며 타 공정과 비교하여 복잡한 형태의 제품을 생산하기가 용이하고 제품의 경량화와 기계적 성질 향상 측면에서 유용하여 고분자 성형 분야에 가장 많이 사용되고 있는 공정이다.^[1] 그러나 사출성형 공정은 고체 상태의 고분자 물질을 고온에서 용융 상태로 만들고 고압으로 금형 내 제품 형상에 채우는 과정으로 금형 설계, 제품

설계, 또는 조건 설정 등에 따라 제품 치수나 외관에 불량 발생할 수도 있고 동일 조건에서도 품질에 차이가 생기기도 하며 이는 제품의 생산성에 영향을 주어 원가 경쟁력을 감소시키기도 한다. 따라서 품질을 일정하게 유지하면서 양질의 제품을 생산하여 정밀도와 생산성을 향상시키기 위한 품질 개선활동들이 사출성형 분야에서 이루어져 왔다. 과거에는 사출성형에 대한 체계적인 지식과 이해가 확립되어 있지 않아 공학적, 과학적 타당성을 배제한 채 생산현장의 경험과 축적된 노하우(Know-how)로 개선 활동을 추진하여 많은 시간과 비용을 소모하였다.

그러나 사출성형 해석용 소프트웨어들과 품질

Corresponding Author : jskwak5@pknu.ac.kr

Tel: 051-629-6139, Fax: 051-629-6126

개선 활동을 위한 다양한 공학적, 통계적 도구들이 개발되면서 공학적 타당성과 효율성을 내제한 품질 개선활동들이 진행되고 있다. 그 중 대표적으로 사용되는 공학적 도구로는 6 시그마 프로세스와 실험계획법이 있으며 이들 도구들을 이용해 사출성형품의 품질에 대한 문제점을 정의하고 개선하여 생산성 등의 향상을 도모한다.^[1-11]

본 논문에서는 자동차 범퍼의 치수 안정성과 생산성 향상을 위해 6 시그마 프로세스와 실험계획법을 사용하여 제품의 치수에 영향을 미치는 인자들을 판별하고 제품의 치수 안정성과 생산성을 향상시킬 수 있는 최적 조건을 연구하였다. 기존에 생산되고 있는 자동차 범퍼의 치수에 관한 현 공정능력을 분석하고, 공정 조건 중 개선시킬 수 있는 부분을 선정하여 최적화를 진행하였다. 그리고 도출된 최적 공정 조건을 실제 생산공정에 적용하여 치수 안정성과 생산성 부분에서의 개선 효과를 분석하였다. 최종적으로 본 연구에서는 제품의 치수 안정성을 확보하여 치수합격률을 향상시키는 것을 목표로 진행하였다.

2. 실 험

2.1 재료

본 논문의 연구대상은 자동차 범퍼로 제품의 치수는 424 x 1,498 x 16mm 이며, 재료는 Hydro S&S industries Ltd사의 XPP A7706 TT EB , PP+EPDM +TF15%를 이용하여 성형하였다. 제품 생산에 사용한 장비는 Krauss maffei의 3000톤 사출성형기 이다. Fig. 1에 연구 대상 제품인 자동차 범퍼를 나타내었다.



Fig. 1 Picture of automotive bumper

Table 1 Injection molding conditions for the currently produced automotive bumper

Process condition	Value	Unit
Mold temperature	40	℃
Melt temperature	220	℃
Injection speed	60	%
Packnig pressure	40	MPa
Cooling time	20	sec
Packing time	6	sec

2.2 진단

현재 생산되고 있는 자동차 범퍼의 사출조건을 Table 1에 나타내었다. 생산된 제품의 품질은 전장 치수로 평가하고 있으며 목표 값은 992.00 mm 이다. 현 생산 공정 능력에서는 제품 전장 치수의 중심 값이 992.14 mm로 목표 값과 0.14 mm 편차를 보이며 공정능력지수 Cpk 값이 0.64로 공정능력이 규격중심에서 한쪽으로 어느 정도 치우친 상태이다.

따라서 본 논문에서는 실험계획법을 이용하여 공정능력의 중심 값과 목표 값의 편차를 최소화하며 공정능력지수 Cpk 값을 증가시키는 방향으로 제품 생산 조건을 최적화하고, 치수합격률을 현 75%에서 약 20% 정도 증가시키는 것을 목표로 진행하였다.

2.3 가인자 선정

제품 치수에 영향을 미치는 인자들을 선정하기 위해 프로세스 맵핑(Process Mapping)과 특성 요인도(Fish Bone Diagram)를 활용하였다. 이를 통해 제어 가능한 인자들과 노이즈 요소(Noize Factor)와 같이 제어 불가능한 인자들을 구분하였고 제어 가능한 인자들 중 현 시점에서 개선 가능하며 목적함수인 제품 치수와 관련이 있는 인자들을 대상과 범위에 따라 구분하여 Fig. 2에 나타내었다.

본 연구에서는 경제적 측면이나 효율성 측면을 고려하여 기존 자동차 범퍼 생산 시스템의 금형이나 제품 형상을 동일하게 사용하였다. 따라서 이와 관련된 인자들을 제외하고 공정 조건과 원재료, 그리고 사용하는 장비와 관련된 인자들로 분류하여 잠재적 인자를 총 13개로 선정하였다.

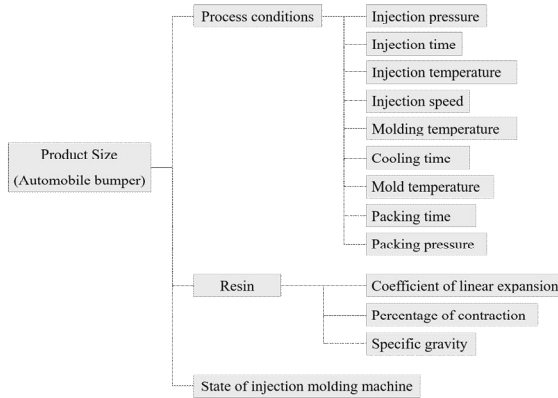


Fig. 2 Logic tree about dimension optimization of automotive bumper

공정 조건은 사출압력, 사출시간, 사출온도, 사출 속도, 성형온도, 냉각시간, 금형온도, 보압, 보압시간 인자로 분류하였으며 원재료는 선팽창계수, 수축률, 비중으로 분류하였다. 본 연구에서는 사출성형공정을 이용하여 자동차 범퍼를 생산하므로 사용하는 사출성형기의 상태도 잠재적 인자로 선정하였다. 선정된 잠재적 인자들에 대하여 사출성형 관련 전문가 집단을 대상으로 중요도 평가를 진행

하고 가인자를 선정하였다. 중요도 평가는 설문이나 면접을 통해 진행하였으며 각각의 잠재적 인자들에 대해 변형, 표면, 강도, 치수, 색상, 사이클 항목으로 중요도를 평가하였다. 각 평가 요소마다 비중을 다르게 하여 잠재적 인자들의 평가 비율을 산정하였고, 기준 이하의 인자들을 제거하는 감법을 사용하여 치명인자를 선정하였다. 그 결과, 최종적으로 사출속도, 사출온도, 냉각시간, 금형온도, 보압을 가인자로 선정하였고 CAE 해석을 통해 가인자 평가를 진행하였다. 성형온도와 비중의 경우 사출속도보다 높은 평가를 받았으나 성형온도는 사출온도와 금형온도에 종속적인 인자이고, 비중은 사용하는 재료에 따라 변하는 인자로 사출성형 공정에서 제어하기 어려운 부분으로 가인자 선정에서는 제외하였다. Table 2에 잠재적 인자에 대한 중요도 평가를 나타내었다. 그리고 CAE 해석을 통해 가인자 평가를 진행하기 위해서는 목표함수를 보다 구체적으로 설정하는 것이 필요하다. 제품 치수의 불량은 사출성형 공정에서 휨(Warpage) 불량으로 인해서 주로 발생한다.

그러므로 목표함수를 보다 명확하게 선정하기 위해서 CAE 해석을 통해 자동차 범퍼의 휨 현상의 주된 원인을 분석하였고 목표함수를 상세히 명시하였다.

Table 2 Importance survey to select trivial many

Latent factor	Importance	Deformation	Surface	Strength	Size	Color	Cycle	% Rate
		10	9	9	7	5	6	
Injection pressure	160	9	3	-	4	3	-	5.22
Injection time	156	6	-	-	6	-	9	5.09
Melt temperature	299	6	9	4	8	6	6	10.19
Injection speed	227	7	8	-	7	-	6	7.41
Molding temperature	264	7	8	-	8	6	6	8.62
Cooling time	290	6	7	9	8	-	5	9.89
Mold temperature	330	7	7	9	8	6	5	11.25
Packing time	328	10	7	6	7	4	7	11.18
Packing pressure	378	9	6	6	6	4	3	12.34
Coefficient of linear expansion	80	8	-	-	-	-	-	2.73
Percentage of contraction	91	7	-	-	3	-	-	2.97
Specific gravity	251	10	5	7	4	3	-	8.56
Sate of injection molding machine	209	100	4	-	-	5	8	7.13

휨 현상의 원인을 온도차 냉각(Differential Cooling), 불균형 수축(Differential Shrinkage), 배향 효과(Orientation Effect), 코너 효과(Conner Effect)로 선정하여 각각의 원인들이 제품의 휨 현상에 미치는 영향을 분석하였다. CAE 해석에는 Autodesk 社의 Moldflow를 사용하였으며 Table 3에 매쉬 (Mesh) 조건을 명시하였다. Fig. 3는 온도차 냉각, 수축 불균형, 배향 효과, 코너 효과에 따른 자동차 범퍼의 휨 해석을 나타내었다. 4 가지 원인 중 수축불균형으로 인한 제품의 휨이 최대 17.37 mm로 가장 큰 변형을 보였다.

Table 3 Mesh conditions for CAE analysis of automotive bumper

Mesh Details	Value
Mesh Type	Dual Domain - Triangles
Mesh Aspect ratio	3.74
Mesh # of	110,112
Part Volume	2,412.4 cm ² (include cold runner, bridge)
Feed System	Hot runner (beam element)
Volume	
Projected Area	4,776.8 cm ²

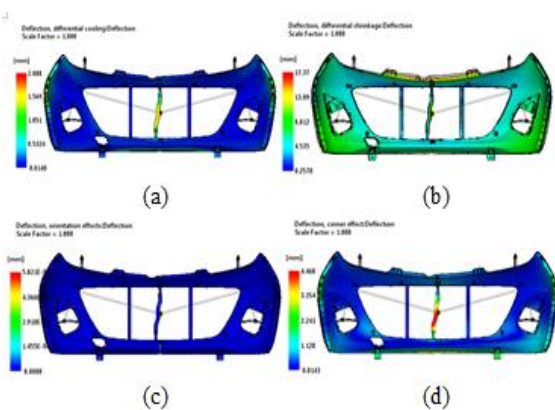


Fig. 3 Predicted warpage of automotive bumper by (a) differential cooling, (b) differential shrinkage, (c) orientation effect and (d) corner effect

그리고 다른 원인에 의한 휨은 수축 불균형에 의한 휨에 비해 제품의 변형량이 미미하였다. 따라서 자동차 범퍼의 휨에 영향을 주는 가장 큰 원인은 수축 불균형이라는 것을 CAE 해석을 통해 확인하였으며 가인자 분석에서 목표함수를 제품의 수축률로 보다 자세하게 선정하였다.

2.4 가인자 분석 및 치명인자 선정

제품의 수축률을 목표함수로 하여 가인자로 선정된 금형온도, 수지온도, 사출속도, 보압, 냉각시간, 보압시간에 대해 6인자 3수준을 사용하여 L27 직교배열로 실험계획법을 진행하였다. Table 4에 가인자와 실험수준을 나타내었다.

Fig. 4는 6인자 3수준 실험계획법에서 수축량에 대한 가인자의 다변량 분석을 나타내었다. 다변량 분석은 각각의 인자 간의 목표함수의 변동, 또는 인자 내의 각 수준 내에서의 목표함수의 변동 등을 나타내어 어떠한 요인이 변동에 중요한 원인이 되며 어느 정도의 영향을 끼치는지를 식별하는데 사용된다. 본 연구에서는 6인자 3수준 사이에서 수축량에 발생하는 변동을 분석하고 이에 미치는 영향을 파악하기 위해 다변량 분석을 실시하였다. 다변량 분석에서 보압시간이 수준에 따라 수축량 평균이 가장 큰 변화를 보였으며 수지온도가 수준에 따른 수축량 변화가 가장 작게 나타났다. 그러나 6개 가인자 중 보압시간을 제외한 모든 인자에서 동일 수준 내 수축량의 분산이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 가인자로 선정된 6개의 인자가 모두 제품의 수축량에 유의미한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Table 4 Conditions of design of experiment

Factor	Level		
	1	2	3
A. Mold temperature (°C)	30	40	50
B. Melt temperature (°C)	210	220	230
C. Injection speed (%)	55	60	65
D. Packing pressure (MPa)	30	40	50
E. Cooling time (sec)	15	20	25
F. Packing time (sec)	3	6	9

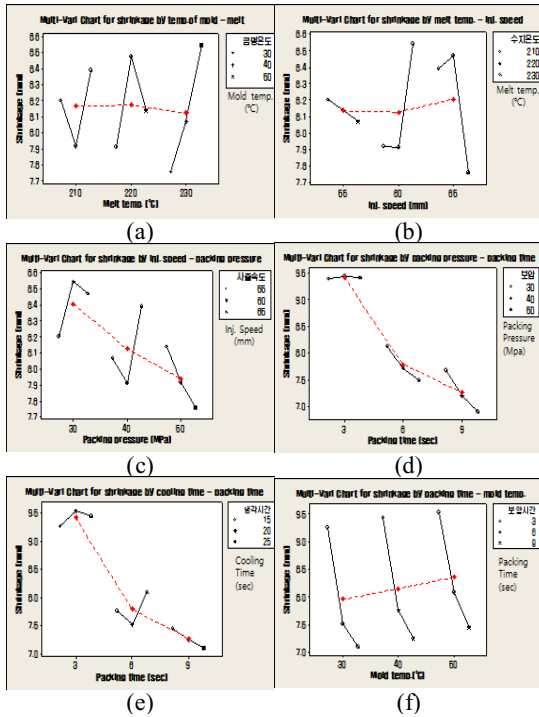


Fig. 4 Multivariate analysis about shrinkage by (a) mold temperature - melt temperature, (b) melt temperature - injection speed, (c) injection speed - packing pressure, (d) packing pressure - packing time, (e) cooling time - packing time and (f) packing time - mold temperature

가인자 분석을 통해 금형온도, 수지온도, 사출속도, 보압, 냉각시간, 보압시간이 제품의 수축량에 유의미한 영향을 미치는 것을 확인하였다. 그러나 6개의 가인자 중 금형온도는 작업장 온도에 쉽게 영향을 받는 인자로 제어 인자 내에 노이즈 인자가 직간접적으로 포함되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 실제 사출성형공정에서는 노이즈에 의한 변수가 어느 정도 포함될 수 있으므로 정확한 인자 제어가 어려운 부분이 있다. 그러므로 CAE 해석을 통해 금형온도가 제품의 수축률에 유의미한 가인자로 판별되었지만 치명인자에서는 제외하기로 하였다.

최종적으로 가인자 분석을 통해 수지온도, 사출속도, 보압, 냉각시간, 보압시간을 치명인자로 선

정하였다. 그리고 금형온도를 대신하여 Table 2의 중요도 평가에서 제외된 후순위 인자를 치명인자로 선정하기로 하였다. Table 2에서 기 선정된 치명인자의 후순위 인자로 사출기 상태가 있으나 사출기 상태는 사출기의 종류나 부품 등에 영향을 받는 기계설계적 요소이므로 본 연구에서는 제어하기 어렵다. 따라서 사출기 상태보다 후순위인 사출압력과 성형시간을 금형온도 대신 치명인자로 선정하여 최적화 연구를 진행하였다. 사출압력과 성형시간은 각각 평가가 5.22%, 5.09%로 유사한 중요도를 가지므로 모두 치명인자로 선정하였다.

2.5 실험계획법에 의한 치명인자 최적화

선정된 치명인자인 수지온도, 사출속도, 보압, 냉각시간, 보압시간, 사출압력과 성형시간을 인자로 하여 실험계획법을 실시하여 자동차 범퍼를 조건에 따라 사출성형하고 전장 치수를 측정하였다. 치명인자 중 사출속도는 실제 사출기에서 설정가능한 단계에 맞추어 1차부터 5차까지 세분화하여 수준을 설정하였다. 그러므로 실험계획법은 11인자 2수준으로 L12 직교배열로 실시하였으며 Table 5에 치명인자와 그에 해당하는 수준을 나타내었다.

Table 6는 실험계획법 결과에 대한 S/N비의 분산분석표를 나타내었으며 분석 결과, 데이터의 산포에 영향을 주는 인자는 사출온도(J), 냉각시간(I), 보압(K), 1차 속도(B), 성형시간(G) 순으로 나타난다. 산포에 영향을 주는 인자들은 자동차 범

Table 5 Conditions of design of experiment

Factor	Level	
	1	2
A. Injection pressure (MPa)	68	66
B. 1 st Injection speed (%)	50	48
C. 2 nd Injection speed (%)	50	48
D. 3 rd Injection speed (%)	50	48
E. 4 th Injection speed (%)	50	48
F. 5 th Injection speed (%)	40	38
G. Injection molding time (sec)	7	6
H. Packing time (sec)	7	6
I. Cooling time (sec)	20	18
J. Melt temperature (°C)	220	230
K. Packing pressure (MPa)	35	33

Table 6 Analysis of variance for S/N ratio

Factor	f	S	V	Fo	Test	Contribute
A	1	5.8814	5.8814	3.6	-	1.1%
B	1	17.843	17.843	11.0	**	4.4%
C	1	1.773	1.773	-	full	
D	1	0.9148	0.9148	-	full	
E	1	1.182	1.182	-	full	
F	1	1.848	1.848	-	full	
G	1	8.1071	8.1071	5.0	*	1.7%
H	1	2.408	2.408	-	full	
I	1	60.3	60.3	37.1	***	15.8%
J	1	231.53	231.53	142.5	***	62.0%
K	1	39.117	39.117	24.1	***	10.1%
e (p)	5	8.12478	1.62496	-	-	4.8%
(e)	(5)	(8.12478)	(1.62496)	-	-	(4.8%)
Total	11	370.9	-	-	-	100.0%

Table 8 Analysis of variance for sensitivity

Factor	f	S (10 ⁻⁶)	V(10 ⁻⁶)	Fo	Test	Contribute
A	1	1	1	-	full	
B	1	1	1	-	full	
C	1	1.4821 x 10	1.4821 x 10	14.6	***	56.6%
D	1	1 x	1	-	full	
E	1	4.9286	4.9286	4.9	*	16.0%
F	1	1.136	1.136	-	full	
G	1	1	1	-	full	
H	1	1	1	-	full	
I	1	1	1	-	full	
J	1	1	1	-	full	
K	1	1	1	-	full	
e (p)	9	9.13637	1.01515	-	-	27.3%
(e)	(9)	(9.13637)	(1.01515)	-	-	(27.3%)
Total	11	2.4385 x 10	-	-	-	100.0%

퍼의 전장 치수를 평균화시켜주는 인자들로 최적화를 진행하면 전장 치수의 편차를 줄여주는 역할을 한다.

Table 7은 실험계획법에서 분석한 S/N 비에 대한 최적 조건 추정을 나타내었다. 추정된 최적 조건은 사출압력(A)가 66 MPa, 1차 속도(B)가 48%, 성형시간(G)가 7초, 보압시간(I)가 7초, 사출온도(J)가 230℃, 보압(K)가 35 MPa일 때이며 기존 공정된 SN 비는 80.283(+/-2.5) db로 기존 공정/실험의 S/N 비보다 13.118 dB 증가하였다.

Table 8은 실험계획법의 결과에서 민감도에 대한 분산분석을 나타내었다. 민감도의 분산분석에서

Table 7 Estimation of optimal conditions about factor A, B, G, I, J and K

Factor	Optimization
A. Injection pressure (MPa)	66
B. 1 st Injection speed (%)	48
G. Injection molding time (sec)	7
I. Cooling time (sec)	7
J. Melt temperature (℃)	230
K. Packing pressure (MPa)	35

치명인자들 중 2차 속도(C), 4차 속도(E) 순으로 전장 치수의 평균에 영향을 미치는 것을 확인하였으며 순수하게 전장 치수의 평균에만 영향을 준다는 것을 확인하였다.

자동차 범퍼의 공정능력에서 중심값과 목표값의 편차를 줄이기 위해 전장 치수의 평균에 영향을 미치는 2차 속도(C), 4차 속도(E)에 대해 망목 특성으로 최적 조건 추정을 진행하였다. Table 9는 2차 속도(C), 4차 속도(E)에 대한 최적 조건 추정을 나타내었다. Table 11에서 목표 전장 치수 992.00 mm에 대해 2차 속도(C)가 47.945%, 4차 속도(E)가 48%일 때 최적조건의 목표값을 도출하였다. 그러나 실제 사출성형기의 속도제어에서 47.945%는 설정하기 어려우므로 48%로 최적조건을 도출하였다.

Table 9 Estimation of optimal conditions about factor C and E

Factor	Optimization
C. 2 nd Injection speed (%)	47.945
E. 4 th Injection speed (%)	48

2.6 최적조건에 대한 개선능력 검증

최종적으로 선정된 최적인자의 수준을 Table 10에 나타내었다. 최적인자 수준에 대해 개선능력을 검증하기 위해 30개의 샘플을 생산하여 전장 치수를 평가하였다. Fig. 5에는 최적인자 수준을 사용하여 생산된 제품에 대한 개선된 공정능력의 히스토그램을 나타냈다.

최적인자 수준으로 개선한 공정에서 중심값은 992.05 mm로 목표값인 992.00 mm와 0.05 mm의 편차를 보였다. 이는 개선 전 공정능력에서 중심값의 편차 0.14 mm와 비교하여 64.29% 감소한 수치로 목표값에 매우 근접한 것을 확인하였다. 또한 개선 후 공정능력에서 Cpk 값은 1.31로 개선 전 공정능력의 Cpk 값인 0.55와 비교하여 현저히 개

Table 10 Result of optimization for process conditions

Factor	Optimal level
A. Injection pressure (MPa)	68
B. 1 st Injection speed (%)	48
C. 2 nd Injection speed (%)	48
D. 3 rd Injection speed (%)	48
E. 4 th Injection speed (%)	48
F. 5 th Injection speed (%)	40
G. Injection molding time (sec)	7
H. Packing time (sec)	18
I. Cooling time (sec)	7
J. Melt temperature (°C)	230
K. Packing pressure (MPa)	35

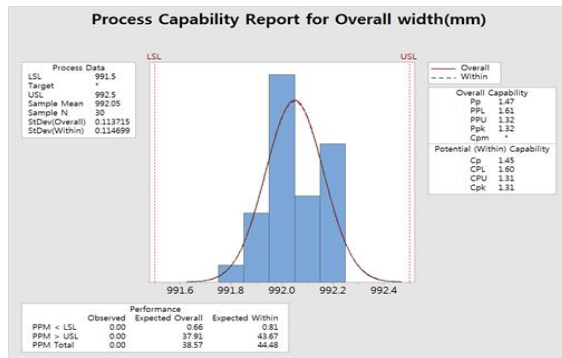


Fig. 5 Process capability of improve process conditions

선되었으며, 이는 규격중심을 기준으로 전장 치수 데이터의 스푼 현상이 상당 부분 개선되었다는 것을 의미한다.

또한 개선 전과 개선 후의 생산 공정의 I-MR 관리도를 비교하면 개별값의 UPL과 LPL의 범위가 현저히 좁아졌으며 이동범위도 50% 정도 축소되었다. 이는 최적인자 수준을 적용하였을 때의 공정능력이 기존의 공정능력에 비해 현저히 개선되었다는 것을 의미한다.

결과적으로 본 연구에서 6 시그마 기법과 실험계획법을 이용하여 도출한 최적 생산 조건으로 제품의 전장 치수의 편차를 최소화하였으며, 이에 따른 공정능력의 개선 효과가 매우 큰 것을 확인하였다. 추가적으로 개선된 생산공정에서 생산한 자동차 범퍼의 치수합격률은 95%로 분석되었으며 기존의 치수합격률 75%보다 20%정도 향상되었음을 본 연구를 통해 확인하였다.

3. 결 론

본 연구에서는 자동차 범퍼를 대상으로 6 시그마 기법과 실험계획법을 이용하여 제품의 전장 치수 편차를 최소화하고 공정능력을 개선시키는 최적의 공정 조건을 도출하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

전장 치수 편차의 최소화에 영향을 미치는 치명인자는 사출압력, 1차 속도, 성형시간, 보압시간, 사출온도, 보압이다. 각각의 인자들을 사출압력 66 MPa, 1차 속도 48%, 성형시간 7초, 보압시간 7초, 사출온도 230°C, 보압 35 MPa으로 최적화하였을 때 최대 78%까지 전장 치수의 편차가 감소하는 것을 확인하였다.

전장 치수의 평균에 영향을 미치는 인자로는 2차 속도, 4차 속도가 있으며 목표값을 992.00 mm로 설정하였을 때 2차 속도는 47.945%, 4차 속도는 48% 수준에서 최적조건인 목표값을 얻을 수 있었다.

이러한 연구결과를 바탕으로 최적인자의 수준을 결정하여 생산공정에 적용한 결과, 전장 치수의 중간값과 목표값 사이의 편차가 기존 0.14 mm에

서 0.05 mm로 64.29% 개선되었으며 Cpk 값은 0.55에서 1.31로 개선되어 전장 치수 데이터의 스펙 현상이 현저히 개선되었다. 또한 I-MR 관리도를 비교하였을 때, 개별값의 상한과 하한의 범위가 현저히 좁아졌으며 이동범위도 50% 축소되었다. 추가적으로 개선된 생산공정에서의 치수합격률은 95%로 검증되었으며 기존의 치수합격률과 비교하였을 때 20% 향상되었다.

따라서 본 연구에서 사용한 6 시그마와 실험계 획법이 자동차 범퍼의 치수 최적화에 매우 효과적인 공학 기법이며 실제 생산공정에 적용하였을 때 유용한 개선 효과를 얻을 수 있다는 것을 실험적으로 확인하였다.

Acknowledgement

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Okatem, T., Erzurumlu, T. and Uzman, I., "Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part," *Materials & design*, Vol. 28, No. 4, pp. 1271-1278, 2007.
- Huang, M. C. and Tai, C. C., "The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 110, No. 1, pp. 1-9, 2001.
- Chang, T. C., "Shrinkage behavior and optimization of injection molded parts studied by the taguchi method," *Polymer Engineering & Science*, Vol. 41, No. 5, pp. 703-710, 2001.
- Lyu, M. Y., Mo, J. H. and Chung, W. J., "Shrinkage in Injection Molded Part for Operational Conditions and Resins," *Elastomers and Composites*, Vol. 38, No. 4, pp. 295-302, 2003.
- Liao, S. J., Chang, D. Y., Chen, H. J., Tsou, L. S., Ho, J. R., Yau, H. T. and Hsieh, W. H., "Optimal process conditions of shrinkage and warpage of thin-wall parts," *Polymer Engineering & Science*, Vol. 44, No. 5, pp. 917-928, 2004.
- Erzurumlu, T. and Ozcelik, B., "Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method," *Materials & design*, Vol. 27, No. 10, pp. 853-861, 2006.
- Lo, W. C., Tsai, K. M. and Hsieh, C. Y., "Six Sigma approach to improve surface precision of optical lenses in the injection-molding process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 41, No. 9-10, pp. 885-896, 2009.
- Altan, M., "Reducing shrinkage in injection moldings via the Taguchi, ANOVA and neural network methods," *Materials & Design*, Vol. 31, No. 1, pp. 599-604, 2010.
- Park, J. C., Kim, K. M., Yin, J. J. and Lee, J. H., "Molding Design Factors Optimization for Maximizing Shrinkage Uniformity of Injection Molded Part using Design of Experiments," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 10, No. 6, pp. 70-76, 2011.
- Park, J. C. and Cha, J. H., "Development of Practical Method to Optimize Two-Quality Characteristics in Injection molded Parts," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 14, No. 6, pp. 90-97, 2015.
- Han, S. R., "A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobiles," *Jornal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineering*, Vol. 16, No. 5, pp. 105-112, 2017.