

실험계획법에 의한 폴리카보네이트 차량 스위치 버튼의 사출성형공정 최적화

김철^{*†} · 박재우^{*}

Optimization of an Injection Molding Process for Polycarbonate Car Switch Buttons Using the Taguchi Method

Cheol Kim^{*†}, Jaewoo Park^{*}

ABSTRACT: The quality of polymeric automotive parts depends highly on an injection molding process, which causes various defects, such as warpage, sink marks, weld lines, shrinkage, residual stress, etc. This study is to determine the optimum processing parameters, such as packing pressure, mold temperature, melting temperature, and packing time for the manufacture of polycarbonate buttons in cars on the basis of FEM, the Taguchi method, and analysis of variance (ANOVA). As a result, the optimum processing parameters of buttons made of polycarbonate material were obtained as follows: 140 MPa of packing pressure, 105°C of mold temperature, 292.5°C of melting temperature and 1 second of packing time. A gain of S/N (signal to noise) ratio, 10.2, was obtained with the optimum values. Moreover, the melting temperature was found to be the most significant factor followed by the mold temperature.

초 록: 고분자 재료로 된 자동차부품들은 주로 사출성형으로 제작되며, 이 과정에서 뒤틀림, 침전 흔적, 용입선, 수축, 잔류응력 등의 결함이 발생한다. 본 연구를 통해서 이들 결함을 제거할 수 있는 차량용 폴리카보네이트 버튼의 사출성형 공정변수를 실험계획법을 이용하여 최적화 하였다. 공정변수로는 충전압력, 금형온도, 용융온도, 충전시간을 고려했으며 FEM, 다구치법, ANOVA를 사용하여 해석하고 최적화 하였다. 최적화 결과, 충전압력은 140 MPa, 금형온도는 105°C, 용융온도는 292.5°C, 충전시간은 1초, 등의 공정변수 값을 얻었으며, 10.2의 S/N 비를 얻었다. 수지의 용융온도가 가장 큰 영향을 미치며, 그 다음으로 금형의 온도였다.

Key Words: 다구치법(Taguchi method), 공정최적화(Process optimization), 사출성형(Injection molding), 폴리카보네이트 버튼(Polycarbonate button)

1. 서 론

고분자 재료의 사출성형 제품은 차량 내장품으로 광범위하게 사용되고 있다. 사출성형의 구성요소로는 크게 사출 금형, 플라스틱 수지, 사출 성형기, 사출 공정조건의 네 가지로 분류된다. 이들 구성 요소가 서로 연관되어 있어서, 하

나의 구성요소가 변하면 다른 것들도 동시에 변하고 공정 변수도 복잡하다. 이 때문에 사출공정 조건의 결정이 어려워서 시행착오에 따른 불량품의 발생이 쉽다. 그러므로 수지의 사출성형에서 발생하는 불량현상의 주요 인자를 파악하고 최적화된 사출공정조건을 찾아내는 것은 주요 관심사이다. 본 논문에서는 사출성형의 구성요소 중에서 사출공

Received 30 July 2015, received in revised form 23 February 2016, accepted 24 February 2016

^{*}Kyungpook National University, Department of Mechanical Engineering

^{*†}Kyungpook National University, Department of Mechanical Engineering, Corresponding author (E-mail: kimchul@knu.ac.kr)

정조건과 사출성형 불량과의 관계를 집중적으로 연구한다.

지금까지 사출성형 공정의 최적화를 위하여 많은 연구가 이루어져왔다. 사출 공정 조건을 변화시키며 플라스틱 합성수지 재료의 뒤틀림을 연구하기 위해서, 다구치 실험 계획법을 이용하여 사출압력, 금형온도, 수지온도, 보압의 최적 조합 조건을 제시하였다[1]. 불량유형에 대한 공정 변수의 영향력을 분석하여 금형온도, 사출압력, 수지온도, 사출속도가 전체 불량 발생에 83.3%의 영향력을 차지하는 것을 증명하고, 사출압력, 보압시간, 냉각시간을 제어인자로 선택하고 다구치법을 통하여 최적의 공정조건을 찾는 연구가 있다[2]. 다구치법과 MOLDFLOW를 이용, 배터리 케이스에 대한 사출성형공정 최적화를 연구하여, 변형률에 대한 기여율은 보압이 92.3%로 가장 크다는 사실을 밝혔다[3]. 자동차 도어트림의 사출성형에 영향을 미치는 성형인자를 분석한 결과, 가장 큰 인자는 코어백(Core-back) 거리이며 20도 변경에서 최적의 사출램 스피드를 설정했을 때, 외관 불량인 없는 제품이 얻어졌다[4]. 수지의 점도를 실제 사출 시 사용되는 점도와 유사하게 보정하여 해석의 신뢰도를 높인 실험적 연구도 있었다[5]. 사출성형법과 용매를 이용한 필름 캐스팅법을 혼용하여 MWNT/PMMA 나노복합재료를 단순 제작하였고[6] 공정변수의 최적화는 시도되지 않았다.

대부분의 연구에서는 사출성형에 대한 주요 공정변수를 입력값으로 선정하고, 그에 따른 수축, 변형과 같은 불량 증상 자체를 출력 반응값으로 정의하여 최적화를 하였다[7]. 여기서 사출공정 전체를 하나의 시스템이라고 본다면, 출력 반응은 사출공정을 통해서 얻고자 하는 결과물이다. 다구치[8,9]에 의하면 단순한 입력과 출력의 시스템적 사고 에너지 전환의 개념을 적용해서 품질의 이상 기능이라고 부르는 상태에 도달하는 방법을 찾아야만 한다. 이상적인 에너지 전환은 시스템에서 입력과 출력 반응과의 이상적인 관계에서 나타날 수 있으며 이를 최적화라고 정의할 수 있다. 즉, 불량 기능의 증상이 아니라 기능 자체에 관심을 집중함으로써 보다 많은 문제들을 좀 더 효율적으로 평가할 수 있게 된다. 따라서, 에너지 전환의 산포가 문제의 원인임을 인식하고 이를 개선하는 것이 목적이 되는 것이다. 본 연구에서는 사출성형기에서 발생되는 힘이 사출금형 캐비티 내부의 사출 압력으로 에너지 전환되는 과정에서의 산포를 최소화 할 수 있는 방안을 제시하여 최적의 사출 공정 조건을 제시하고자 한다.

2. 사출성형조건

Fig. 1과 같은 기존의 버튼 모델에 대하여 우선 사출성형 해석을 수행하였다. Table 1의 데이터를 이용하여 Fig. 2와 같이 MOLDFLOW에서 모델링하였고, 3절점 삼각형요소가 사용되었으며, 3D CAD 모델을 사용하며 겉 표면만 메싱

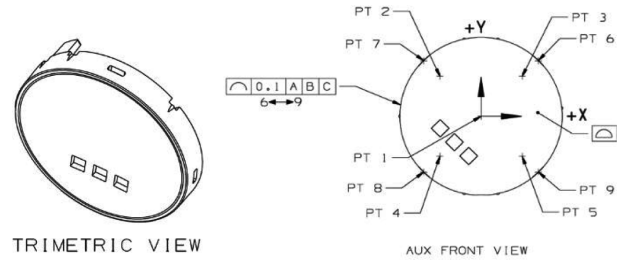


Fig. 1. Shape of a polycarbonete switch button

Table 1. Runner and gate data

Gate	Length (mm)	Shape	Diameter (mm)	
			Start	End
Cold Gate	75.0	Circular/Tapered	2.0	4.0
Cold Sprue	13.5	Circular/Non-Tapered	4.0	4.0
Cold Gate		Circular/Tapered	4.0	0.8

Table 2. Numerical meshing data

Entity Counts	
Surface Triangles	11688
Nodes	5834
Beams	13
Connectivity Regions	1
Mesh Volume	2.2852 cm ³
Runner Volume	0.8084 cm ³
Mesh Area	49.1303 cm ²
Edge Details	
Free Edges	0
Manifold Edges	17532
Non-Manifold Edges	0
Orientation Details	
Elements not Oriented	0
Intersection Details	
Element Intersections	18
Fully Overlapping Elements	0
Duplicate Beams	0
Surface Triangle Aspect Ratio	
Minimum Aspect Ratio	1.156
Maximum Aspect Ratio	5.991
Average Aspect Ratio	2.038
Match Percentage	
Match Percentage	92.40%
Reciprocal Percentage	96.80%

(Meshing)하였다. Table 2에 그 결과가 정리되어 있다.

사출용 수지재료는 사출압력에 가장 큰 영향을 미치는

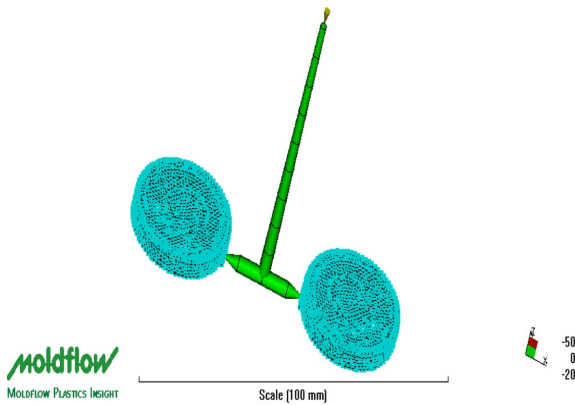


Fig. 2. FE Meshing of injection molding

Table 3. Specification of Trirex 3022IR resin

Property	ASTM Method	Typical Data
Specific Gravity	D792	1.20
Water Absorption (24 Hours at 23°C)	D570	0.15%
Melt Flow Rate (300°C, 1.2 kg)	D1238	14 g/10 min
Mechanical		
Tensile Strength at Yield	D638	69 MPa
Tensile Elongation at Break	D638	130%
Flexural Strength at Yield	D790	93 MPa
Flexural Modulus	D790	2250 MPa
Izod Impact Strength, Notched, 23°C (1/8")	D256	883 J/m
HDT, 18.6 kgf/cm ²	D648	134°C
Coefficient of Linear Thermal Expansion	D696	5~7×10 ⁻⁵ mm/°C
Electrical		
Volume Resistivity	D257	4×10 ¹⁶ Ω cm
Dielectric Strength	D149	30 kV/mm
ARC Resistance	D495	120 sec
UL-94 Flammability (1/6" Thickness)	(UL 94)	V-2
Mold Shrinkage (3 mm Thickness)	D955	0.5~0.7%

인자로써 일반적으로 수지의 유동성이 우선적으로 고려되어야 한다. 그러나 차량용 제품인 경우에는 사용 환경의 특성상 유동성 보다는 내열성이 우선 검토되어야 한다. 본 연구에 사용된 폴리카보네이트 계열의 투명한 Trirex 3022IR 수지(Table 3)는 내열성이 있는 저점도의 사출 원재료이다. 수지 온도는 가소화에 의하여 배럴에 계량되는 온도를 말하며 300°C로 설정하였다. 또한 금형 온도는 캐비티 벽면 온도로서 냉각시스템과 냉각수의 온도 및 속도에 의하여 결정되는데 100°C로 설정하였다. 하지만 수지 온도 및 금형 온도가 높으면 냉각 시간이 길어져 사이클 시간이 길어진다(Table 4).

Table 4. Process requirements for Trirex 3022IR

Specification	Conditions
Drying Temperature	120°C
Drying Time	3~5 hr
Moisture Content, Max	0.02%
Melt Temperature	275~310°C
Nozzle Temperature	275~310°C
Front Temperature	275~300°C
Middle Temperature	260~285°C
Rear Temperature	245~270°C
Mold Temperature	65~105°C
Back Pressure	0.25~0.7 MPa
Screw Speed	40~70 rpm
Vent Depth	0.02~0.08 mm

Table 5. Analysis conditions

Packing Pressure	100 MPa
Packing Time	2 sec
Mold Temperature	100°C
Melt Temperature	300°C

보압은 충전공정 이후에 캐비티 내 수지 냉각에 따른 수축률을 보정해 주기 위하여 적정 압력 및 시간 동안 스크루를 전진시켜 수지를 캐비티 내로 계속 공급하는 압력을 말하며, 제품의 수축률에 가장 큰 영향을 준다. 따라서 보압의 크기는 수축률의 크기를 좌우하는데, 보압을 높이면 제품 치수는 커지고 싱크 마크는 억제된다. 그러나 반대의 경우는 제품 치수는 작아지고 싱크가 발생한다. 또한 너무 높은 보압은 형체력을 및 잔류응력을 증가시켜 제품 변형의 원인이 된다. 일반적으로 적정 보압은 최대 사출 압력의 70~80%로 알려져 있다. 양산 최대 사출 압력이 135 MPa이므로 최대 보압을 100 MPa로 입력한다. 보압 시간은 캐비티의 두께에 관련된다. 제품이 두꺼워서 천천히 냉각되면서 수축이 이루어지면 그만큼 수지가 계속적으로 공급되어야 한다. 그러나 게이트가 고화된 이후에는 캐비티 내로 수지의 출입이 막히게 되므로 결국 보압 시간은 게이트의 고화시간이다. 사출 완료 시점 이후, 최대 보압 도달까지의 시간을 2초, 0 MPa까지의 도달 시간을 2초로 입력한다(Table 5).

사출 속도가 빠르면 유동 선단 온도는 상승하여 점도는 낮아지고 고화층의 두께는 줄어들지만, 고화층과 유동층 사이의 마찰 저항이 크게 증가하여 오히려 사출 압력이 증가한다. 압력은 모든 부분에서 균일 할수록 각 부위별 수축률이 일정하여 변형의 발생 가능성이 감소한다. 일반적으로 게이트에 가까운 곳은 압력을 많이 받고 먼 곳은 충분한 압력을 받지 못한다. 최적의 사출속도는 주어진 조건에서

사출압력이 최소가 되게 하는 것이다. 캐비티의 두께에 따라서도 사출 속도는 달라져야 한다. 사출에 적용된 수지는 폴리카보네이트로 온도 변화에 따라서 점도 변화가 심해서 사출 압력이 사출 속도에 민감하게 변화하는 가파른 U 커브의 관계를 가지고 있다.

최적의 사출은 수지를 유동 선단 온도 변화가 없이 캐비티 끝부분까지 충전하는 것이다. 따라서 유동 선단 온도를 일정하게 유지하려면 유동 선단 속도가 일정하여야 한다. 유동선단 면적이 넓은 곳은 사출 속도를 증가시키고, 좁은 곳은 사출 속도를 줄인다. 따라서, 동일한 속도로 스크루 전진하여 사출한다면 유동 선단 온도가 유동 선단 면적에 따라 상승 또는 하강하게 되어 압력을 증가시킨다.

Fig. 3은 본 연구의 압력사이클로 보압의 크기를 서서히 줄이는 설정을 통하여 캐비티 내압의 위치에 따른 편차를 줄여 줄 수 있다. 보압을 균일하게 가하다가 수직 강하하면 게이트 근처는 보압을 크게 받아 수축률이 적고, 충전 마지막 부위는 상대적으로 압력을 충분히 받지 못하여 큰 수축 불균형이 발생한다. 이러한 불균형은 잔류응력을 증가시켜 변형을 일으키는 주요 원인이 된다.

보압 시간은 게이트의 고화 시간 이상으로 설정하여야 한다. 보압을 게이트 고화 시간 이하로 설정하면, 스크루가

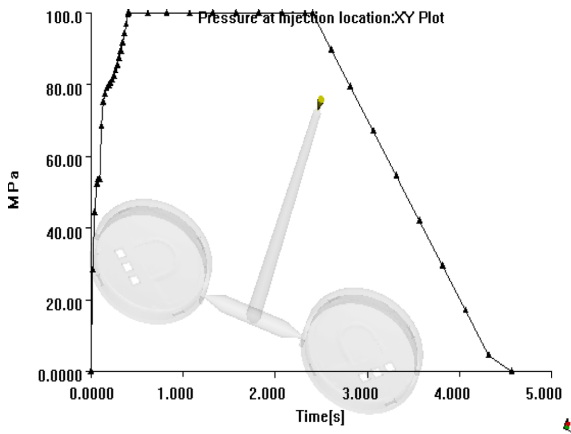


Fig. 3. Pressure cycle used in an injection process

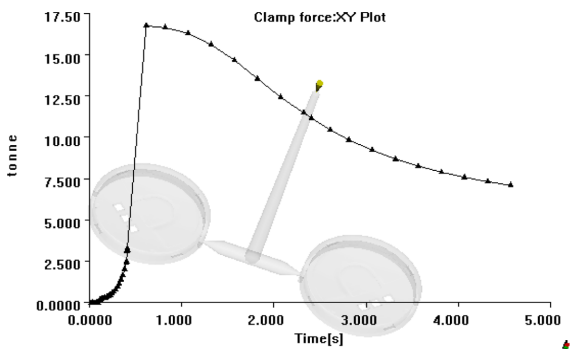


Fig. 4. Clamp Force of interior cavity

가소화를 위하여 후퇴하므로 게이트 앞단에 압축된 수지가 뒤로 흘러나가서 비정상적으로 게이트 주위가 수축률이 커진다. Fig. 4는 사출 압력 사이클 동안에 변화하는 캐비티 내부의 평균압력에 의하여 금형을 가동 측으로 미는 힘(단위: Ton)을 나타낸다. 캐비티의 내부 형체력은 안전율을 고려하여 사출성형기 최대 형체력의 80%를 초과해서는 안 되며, 초과할 경우, 게이트 주위에 플래시(Flash)가 발생할 가능성이 있으며 유동 끝단에는 미성형이 발생할 수 있다.

3. 사출공정변수의 최적화

불량을 최소화 하는 사출공정변수를 최적화하는 것이 중요하기 때문에 Fig. 5와 같이 사출 조건에 따른 금형 캐비티 내부의 압력산포 최소화를 목표로 선정한다. 압력 크기와 시간당 압력의 변화도 고려한다. 이는, Fig 6과 같이 각 노드의 압력 변화 기울기가 모두 다르기 때문이다. 출력은 보압 완료 시점까지의 압력 변화의 합으로 나타낸다.

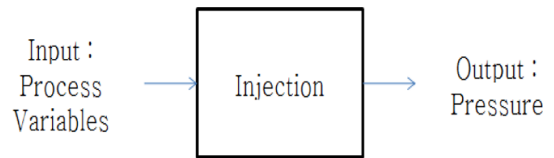


Fig. 5. Optimization objectives

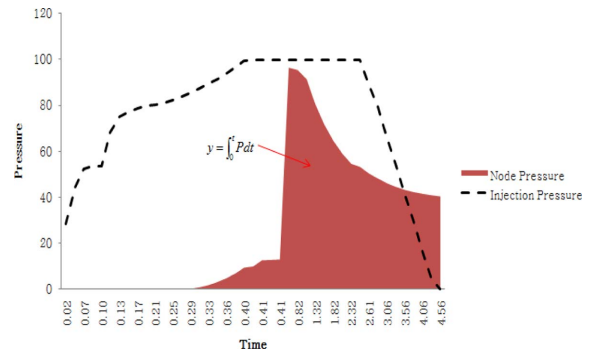


Fig. 6. Pressure change (MPa) vs. time (Sec)

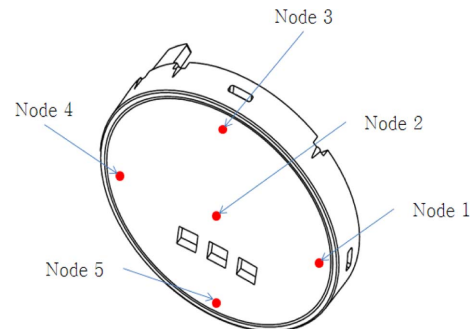


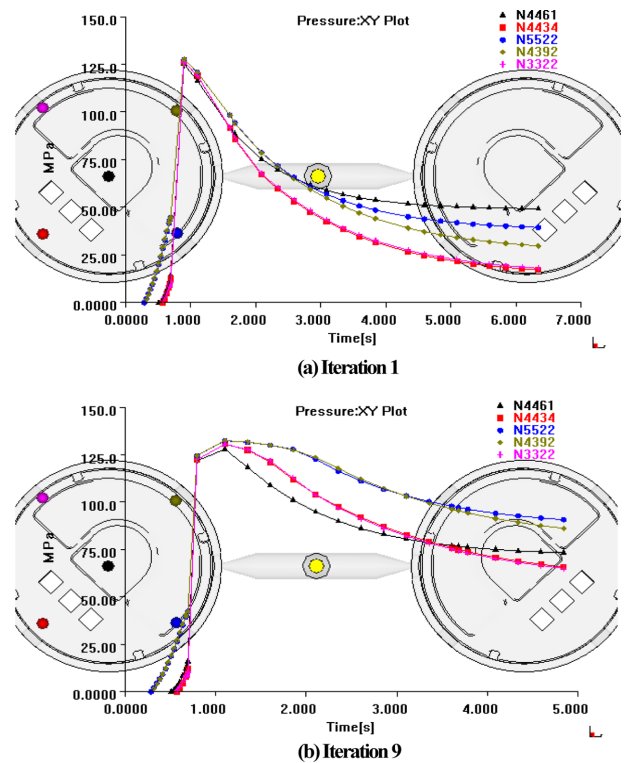
Fig. 7. Node Location

Table 6. Level of control factors

Factor	Level		
	1	2	3
Packing Pressure (MPa)	100	120	140
Packing Time (sec)	1	2	3
Mold Temperature (°C)	65	85	105
Melt Temperature (°C)	275	292.5	310

노이즈(Noise)는 제품 및 금형 형상에 대한 제약조건을 고려하여 Fig. 7과 같이 5개의 노드를 선정하였다. 이는 제품 형상 및 게이트 위치에 따라 각 노드의 압력 분포가 달리 발생하기 때문이다.

Table 6과 같이 보압, 보압시간, 금형 온도, 수지 온도의 4가지 사출 조건을 제어 인자로 선정하고, 각 제어 인자는 3가지 수준으로 구분한다. 최적의 조합을 찾기 위해서는 총 81번의 해석이 필요하지만, 실험계획법의 직교표를 적용하여 9가지 조합으로 전체 해석을 대신하도록 하였다. 금형 온도와 수지 온도는 폴리카보네이트 Trirex 3022IR 표준 공정 조건표의 최대 최소값으로 입력하고, 보압 및 보압 시간은 제품 양산 조건을 참조하였다. 4가지 제어 인자에 3가지 수준이므로, Table 7과 같이 3^4 계열인 $L_9(3^4)$ 직교

**Fig. 8.** Pressure change in 9 iterations with time at five nodes**Table 7.** Orthogonal array

No	A	B	C	D	Packing Pressure (MPa)	Packing Time (s)	Mold Temp (°C)	Melt Temp (°C)
1	1	1	1	1	100	1	65	275
2	1	2	2	2	100	2	85	292.5
3	1	3	3	3	100	3	105	310
4	2	1	2	3	120	1	85	310
5	2	2	3	1	120	2	105	275
6	2	3	1	2	120	3	65	292.5
7	3	1	3	2	140	1	105	292.5
8	3	2	1	3	140	2	65	310
9	3	3	2	1	140	3	85	275

Table 8. S/N ratio with outputs

No	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	\bar{y}	σ_{n-1}^2	S/N
1	1537.7	1133.8	1810.8	1725.5	1145.9	1470.7	317.8	13.3
2	1150.8	1067.0	1708.0	1658.7	1080.4	1333.0	321.9	12.3
3	1157.4	1119.3	1760.1	1708.9	1145.4	1378.2	326.0	12.5
4	1300.2	1446.5	1858.6	1735.5	1432.0	1554.6	232.7	16.5
5	2030.0	1839.4	2516.3	2452.4	1821.6	2131.9	332.7	16.1
6	1102.1	1153.5	1733.6	1724.0	1160.3	1374.7	324.1	12.6
7	2062.9	2107.4	2465.7	2343.2	2079.2	2211.7	181.9	21.7
8	940.3	1180.3	1902.6	1901.9	1216.2	1428.3	445.5	10.1
9	1708.2	1712.8	2358.2	2344.3	1703.2	1965.3	352.3	14.9

Table 9. S/N ratio with control factors

No	A	B	C	D	S/N
1	1	1	1	1	13.3
2	1	2	2	2	12.3
3	1	3	3	3	12.5
4	2	1	2	3	16.5
5	2	2	3	1	16.1
6	2	3	1	2	12.6
7	3	1	3	2	21.7
8	3	2	1	3	10.1
9	3	3	2	1	14.9

표를 선택하였다.

Fig. 8은 직교 배열표(Table 7)의 총 9가지 경우에 대한 결과로, 보압공정 시작과 완료 시점까지의 선정된 5개 노드에 대한 시간에 따른 압력변화 그래프이다. S/N비를 계산하기 위하여 각 노드의 출력값을 식 (1)-(4)에 대입하여 계산하면 Table 8과 같다. 출력값은 Minitab 프로그램을 이용하여 나타내었다. 제어 인자 수준에 따른 S/N비로 다시 표현하면 Table 9와 같다.

$$y = \int_0^t P dt \quad (1)$$

y=output; t=packing time; P=pressure

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad (2)$$

$$\sigma_{n-1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} = \frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2}{n-1} \quad (3)$$

$$\frac{S}{N} = \eta_{dB} = 10 \times \log \left(\frac{\bar{y}^2}{\sigma_{n-1}^2} \right) \quad (4)$$

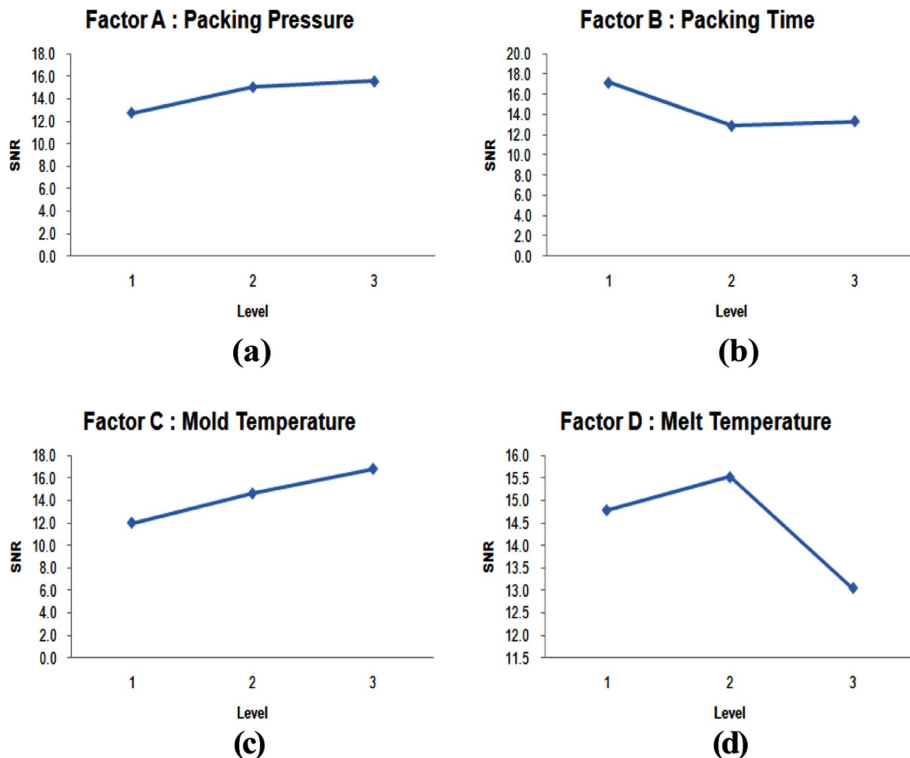
여기서, y 는 출력값, t 는 시간, n 은 노드수, P 는 압력이다. 반응표 및 반응 그래프(Fig. 9)는 Table 10로부터 각 인자

Table 10. Responses table with levels

Level	A	B	C	D
1	12.7	17.2	12.0	14.8
2	15.1	12.9	14.6	15.5
3	15.6	13.3	16.8	13.0

Table 11. Resulting table

	Packing Pressure	Packing Time	Mold Temp	Melt Temp	S/N
Present	100	2	100	300	13.8
Optimized	140	1	105	292.5	23.9
Gain					10.1

**Fig. 9.** S/N ratio according to levels; (a) factor A, (b) factor B, (c) factor C, (d) factor D

수준의 수준평균들을 계산해서 만들어진다(Fig. 8과 관련). 반응표 작성 결과, 보압 3단계, 보압 시간 1단계, 금형 온도 3단계, 수지 온도 2단계로 사출 조건을 설정하면 최소 S/N의 출력값을 가지는 제품을 사출 할 수 있다. 이에 따라, 사출 조건을 설정하면 S/N비는 Table 11과 같다.

4. 최적화 결과 분석

4.1 수지충전시간

시간에 따른 수지의 충전패턴으로 등고선 간격이 좁은 영역은 넓은 영역에 비하여 충전 속도가 느린 것을 의미한다. Fig. 10과 같이 기존 및 최적화 후에 수지 충전시간과 패턴이 비교적 비슷하다.

4.2 압력

보압 완료 시점의 캐비티 내부에 형성되는 압력이다(Fig. 11). 압력은 모든 부분에서 균일 할수록 각 부위별 수축률이 일정하여 변형의 가능성이 감소되는데, 최적화 후의 압력 분포가 더 균일하다.

4.3 유동 선단의 온도

수지가 형틀 내부로 흘러갈 때 유동 선단의 온도는 선단

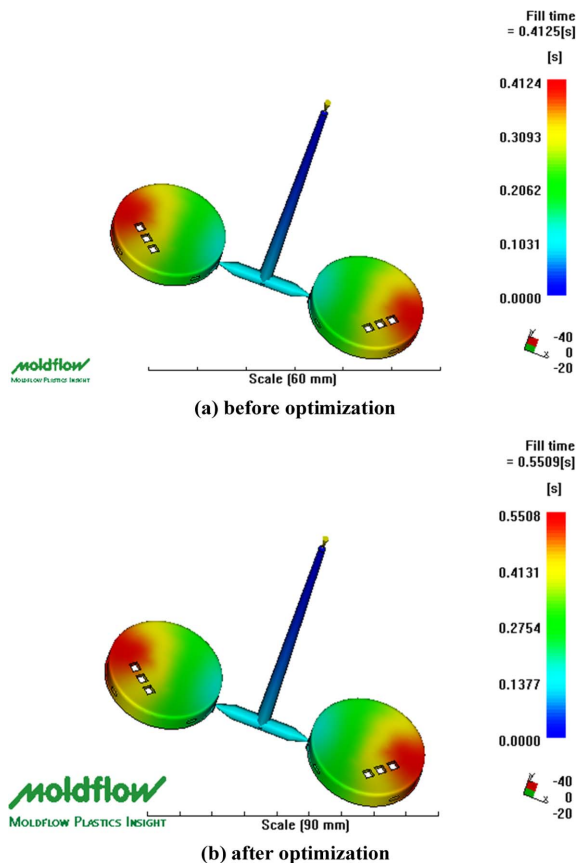


Fig. 10. Pattern and elapsed time for resin charge

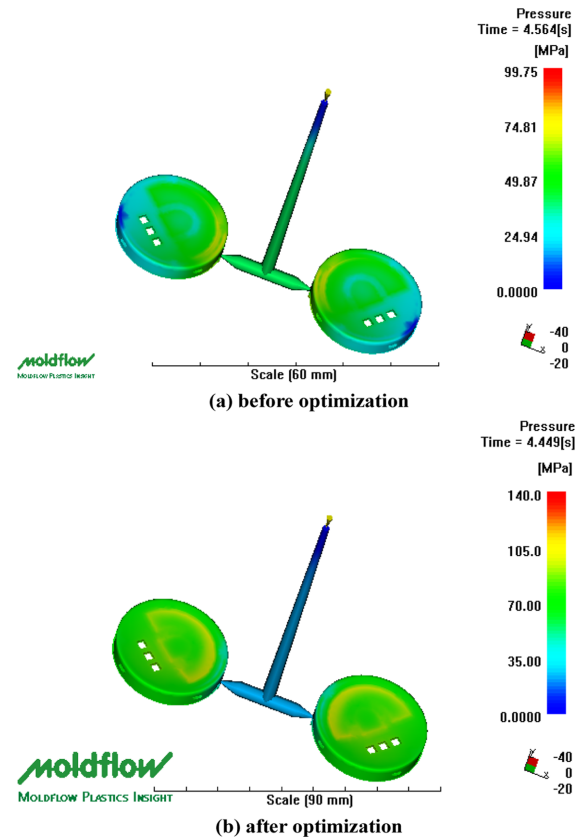


Fig. 11. Pressure distribution before and after optimization

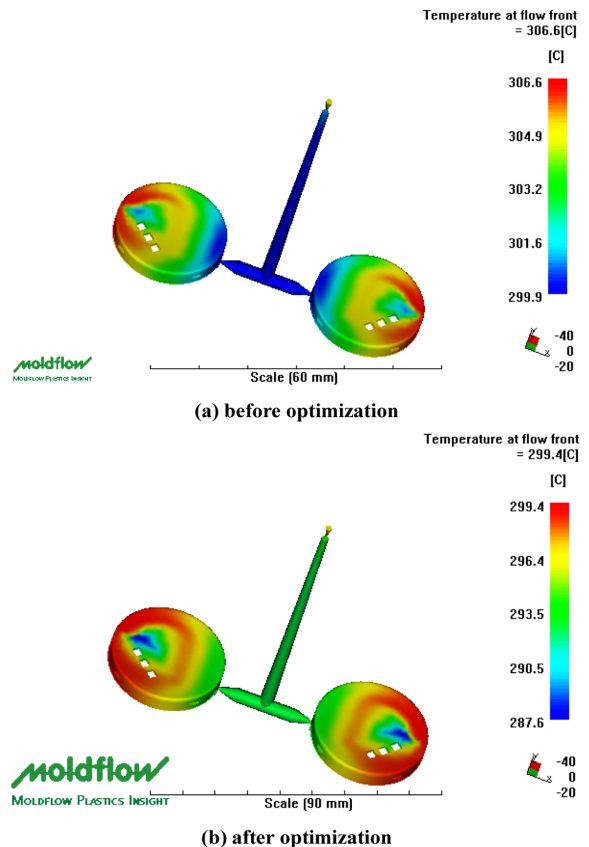


Fig. 12. Temperature at a flow front before and after optimization

의 속도에 크게 영향을 받는데, 유동 속도가 느려지면 수지가 금형과 접하는 시간이 길어져 열손실이 커서 수지의 유동 선단 온도가 낮아진다. 즉, 특정 부위에서 온도가 급격히 낮아지는 유동 정체 현상은 충분한 사출 압력에도 미성형을 초래할 수 있는데, 최적화 후의 유동 선단 온도 변화가 더 작은 것을 알 수 있다(Fig. 12).

4.4 고화 시간(Time to Freeze)

충전이 100% 완료된 직후부터 제품 및 러너시스템이 취출 가능한 온도로 고화되는 시간이다. 취출 온도(Ejection Temperature)란 취출 시스템에 의하여 응력을 받아도 변형되지 않고 충분히 극복할 수 있는 온도를 말한다. 일반적으로 고화 정도가 80% 이상이어야 하고 러너는 약 50% 정도 고화되면 취출 가능하다. 최적화 후에 취출 시간이 3.5초 단축되었다. 또한, 고화층의 비율(Frozen Layer Fraction)도 최적화 전후 모두 100%로 차이가 없었다.

4.5 체적 수축

Fig. 13은 보압 완료 시점에서 제품의 각 영역별 체적 수축률을 나타낸다. 체적 수축률은 보압, 냉각 과정에서 각 부위의 온도이력과 압력이력에 의하여 결정된다. 즉, 냉각 속도가 빠를수록 수축률은 작아진다. 최적화 후 체적 수축률

이 이전 대비 더 일정하며 작아졌다.

4.6 싱크 지수(Sink Index)

특정 부위의 내부 캐비티 압력이 0 MPa가 되었을 경우에 그 부위에서 고화가 완료되지 않은 수지의 양을 %로 나타낸 것이다. 즉, 캐비티 내부 압력이 0 MPa에 도달하였는데도 고화가 되지 않은 수지는 상대적으로 수축이 발생 할 수 있다. 최적화 전/후 제품 형상이 모두 고화되었다.

4.7 웰드라인(Weld Line)

웰드라인은 캐비티의 유동 선단이 갈라져 있다가 서로 마주치면서 합해 질 때 발생하는 선으로 성형품의 표면에 발생하는 결함이다. 웰드라인의 깊이는 유동 선단이 만나는 접촉각에 의존하며, 접촉각이 75° 이상이면 웰드라인이 된다는 연구가 있다. 변경 후 웰드라인 감소가 확인된다(Fig. 14).

4.8 공기 트랩(Air Trap)

공기트랩은 용융수지에서 발생하는 기포와 캐비티에 남아 있던 공기가 성형 시 빠져나가지 못하고 금형에 남아 성형품의 표면 불량률 유도를 하는 결함이다. Fig. 15와 같이 최적화 전후에 비슷한 공기트랩 양상을 보인다.

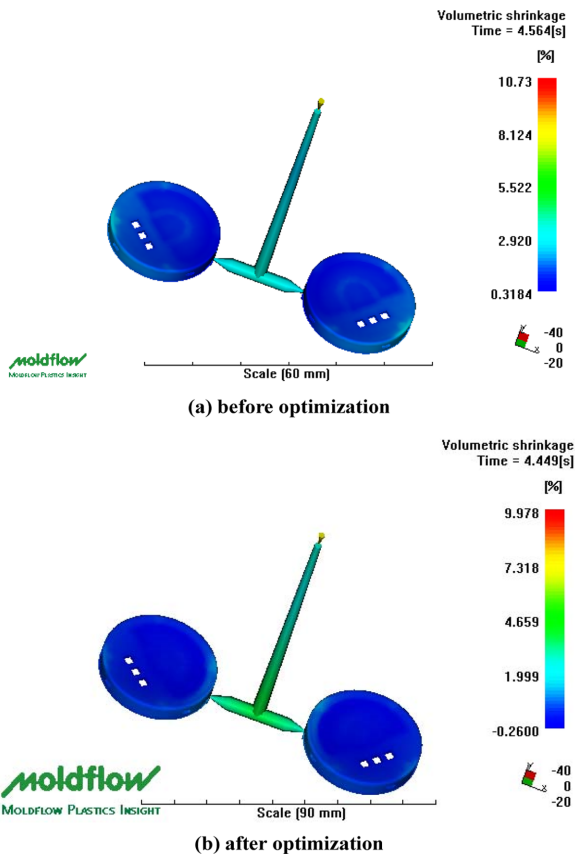


Fig. 13. Volumetric Shrinkage before and after optimization

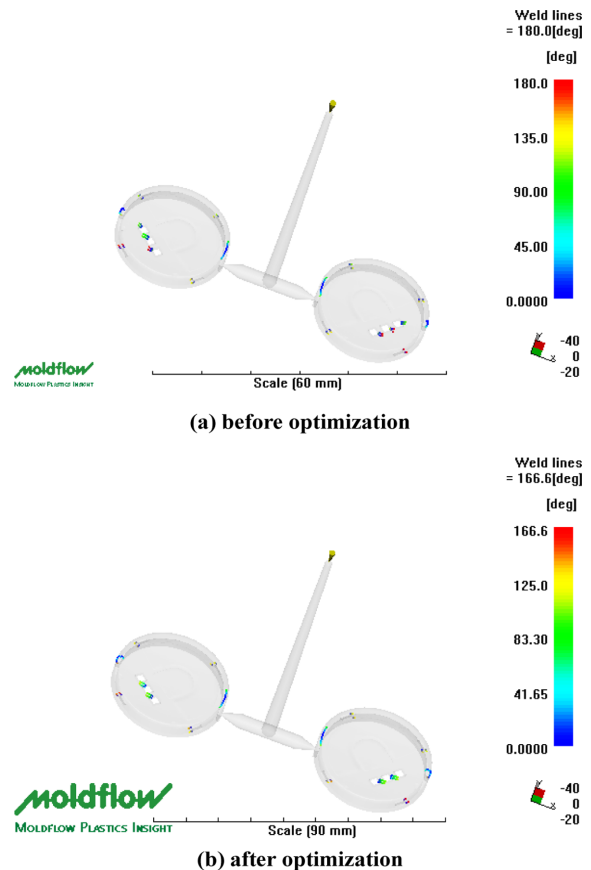


Fig. 14. Weld line before and after optimization

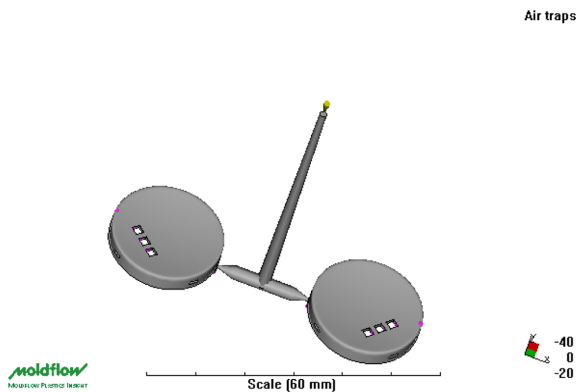


Fig. 15. Air trap before and after optimization

6. 결 론

차량용 인테리어 내장재의 사출 성형 해석을 실시하고, 이를 바탕으로 제품 품질에 영향을 미치는 공정 변수를 인자로 설정하여 다구찌 방법을 이용하여 최적의 사출 성형 조건 조합을 도출하였다. 또한, 도출된 최적 조건으로 제작된 제품을 기존의 조건으로 제작된 제품과 비교하여 품질이 향상되었음을 증명하였다.

(1) 기존 공정조건(보압 크기 100 MPa, 보압 시간 2 sec, 금형 온도 100°C, 재료 온도 300°C)에서 FEM 사출 성형 해석을 수행하여 금형 캐비티 내부의 압력 및 열전달 등의 시간에 따른 변화를 계산하였다.

(2) 금형 내부의 시간에 따른 압력 분포를 출력 반응으로 선정하고 실험계획법을 적용하여 최적의 사출 공정 조건 조합은 보압 크기 140 MPa, 보압 시간 1 sec, 금형 온도 105°C, 재료 온도 292.5°C로 도출하였다.

(3) 다구찌 방법을 이용하여 선정된 최적의 공정 조건으로 사출된 제품은 현재 수준과 비교하여 S/N비가 10.1 향상되었다. 이는 웰드라인 감소, 공정시간 감소, 캐비티 압력

산포 감소 등의 형태로 품질 향상 효과를 보여 줌으로써 다구찌 방법을 통한 사출 성형품 품질 최적화의 신뢰성을 검증하였다.

REFERENCES

1. Ahmad, A.H., Leman, Z., Azmir, M.A., Muhamad, K.F., Harun, W.S.W., Juliawati, A., and Alias, A.B.S., "Optimization of Warp-age Defect in Injection Moulding Process using ABS Material," Proc. the 2009 Third Asia International Conference on Mod-elling & Simulation, 2009, pp. 470-472.
2. Kim, H.J., *Improvement of Connector Injection Molding Process by QFD & Taguchi Method*, M.S. Thesis, Hanyang University, 2010.
3. Oh, J. and Huh, Y., "A Study on Optimization of Injection-molded System Using CAE and Design of Experiment," *J. Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 7, No. 3, 2006, pp. 271-277.
4. Bae, J., "Optimization of Multilayer Injection Molding Process using DOE & CAE", M.S. Thesis, Ulsan University, 2007.
5. Yang, H., Park, H., Na, H., and Park, E., "The Study on the Reli-ability Enhancement for CAE through Modification of Viscos-ity," KSAE 2011 Annual Conference, KSAE11-A0411, 2011, pp. 2246-2251.
6. Lee, W.J., Lee, S.E., and Kim, C.G., "A Study on Mechanical Properties of MWNT/PMMA Nanocomposites Fabricated by Injection Molding," *J. Korean Society for Composite Materials*, Vol. 17, No. 4, 2004, pp. 47-52.
7. Jeong, S., Moon, S., Jeoung, S., Lee, P., and Moon, J., "Optimi-zation of Process Parameters of Die Slide Injection by Using Taguchi Method," *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol. 50, No. 2, 2012, pp. 264-269.
8. Taguchi, G., *Taguchi on Robust Technology Development: Bring-ing Quality Engineering Upstream*, ASME Press, 1993.
9. Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering: Design Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization, 1986.