

자동차 스티어링 휠에 조립되는 플라스틱 베젤의 변형 최적화에 관한 연구

한성렬*[#]

*공주대학교 금형설계공학과

A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobiles

Seong-Ryoel Han ^{*,#}

*Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University
(Received 30 March 2017; received in revised form 11 May 2017 ; accepted 1 June 2017)

ABSTRACT

In this study, plastics were deformed after molding due to the characteristics of the material. The Taguchi experimental design method was utilized to find the molding conditions that minimized deformation of the plastic bezel to be assembled in an automotive steering wheel. The injection molding conditions applied to the experimental design method are the melt temperature, cavity plate coolant temperature, core plate coolant temperature, and cooling time. Each condition was divided into five levels, and a total of 25 experiments were planned. However, instead of performing 25 actual molding experiments, the injection molding analysis was performed using the Moldflow program, and the deformation values for each molding analysis were obtained. The optimal molding conditions were obtained from these deformation values. The actual injection molding experiment using optimal molding conditions was compared with the deformation amount of the current molded product. The deformation was measured using a precise 3D scanner. The deformation amount of the molded product under optimal molding conditions was 16.1% lower than the deformation amount of the current molded product.

Key Words : Injection Molding(사출성형), Plastic Bezel(플라스틱 베젤), Deformation(변형), Taguchi Method (다구찌 법), Injection Molding Analysis(사출성형해석)

1. 서 론

플라스틱 사출성형은 한 번의 가공으로 완제품을 얻을 수 있는 장점을 가진 가공 방법이다. 또한 플라스틱은 특성상 금속보다 대체로 가볍기 때문에 경량화를 목적으로 하는 곳에 적극적으로 적용되고

있다. 특히 자동차 부품의 상당 부분을 플라스틱 성형품을 적용하여 차량 경량화를 실시하고 있다 [1,2].

플라스틱은 위와 같은 장점을 가진 반면에 성형 후 발생하는 변형 문제도 가지고 있다. 성형품의 변형은 어셈블리의 완성도를 하락시킬 뿐만 아니라 성능의 저하에도 영향을 미친다. 따라서 성형 시 성형품의 변형이 최소가 되도록 성형 조건을 설정하여 성형할 필요가 있다.

Corresponding Author : srhan@kongju.ac.kr

Tel: +82-41-521-9269, Fax: +82-41-521-9291

성형품의 변형은 여러 가지 사출성형 조건들이 복합적으로 작용하여 발생하는 것이 일반적이지만 생산 현장에서는 변형의 상태를 확인한 후에 변형에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 생각되는 성형조건을 재설정하고, 재설정된 조건으로 재성형한 후 변형량의 변화를 확인하면서 문제를 해결하고 있다.

사출 성형품의 변형과 관련된 연구에서 kim은 자동차용 송풍팬의 최적성형을 위하여 다구찌 법(Taguchi method)을 적용하고, 사출성형해석으로 연구의 유효성을 검증하였다^[3]. Lee 등은 환경변화에 따른 TV 후면 사출성형품의 변형과 응력을 실시간 측정하는 시스템을 개발함과 동시에 이를 이용한 열변형 거동 평가와 구조해석을 통하여 후 변형을 예측하였다^[4]. Cha 등은 슈퍼 엔지니어링 플라스틱으로 성형한 자동차용 플랜지 부품의 변형을 단순 실험계획법을 수립하여 성형품의 변형에 영향을 주는 인자를 사출성형해석을 이용하여 분석하였다^[5]. Han은 자동차 사이드 몰딩의 변형에 영향을 미치는 인자로서 금형에 유입되는 냉각수의 유동 형태를 선정하고, 유동 해석과 실제 성형으로 변형을 예측하였다^[6]. Kim 등은 금형의 열팽창이 성형품의 변형에 미치는 영향을 요한요소 해석을 통하여 연구하였다^[7]. 이상의 연구들은 대부분 사출성형해석을 통하여 성형품의 변형을 연구하였다. 즉, 실제 성형품의 변형과의 비교를 통한 연구의 유효성 검증이 부족한 측면이 있다. 따라서 본 연구에서는 자동차 스티어링 휠에 조립되는 플라스틱 베젤(bezel)의 변형을 최소화하는 성형조건을 다구찌 법과 사출성형해석을 이용하여 구하였으며, 최적 성형조건으로 성형된 성형품을 최적화 이전 성형품의 변형량과 비교하여 연구의 유효성을 검증하였다.

용된 수지는 ABS+PC로 LG Chemical사의 Lupoy HR5005A 이다. Table 1은 수지의 기계적 물성을 나타낸 것이며, 수지공급처에서 추천 하는 성형조건은 Table 2와 같다.

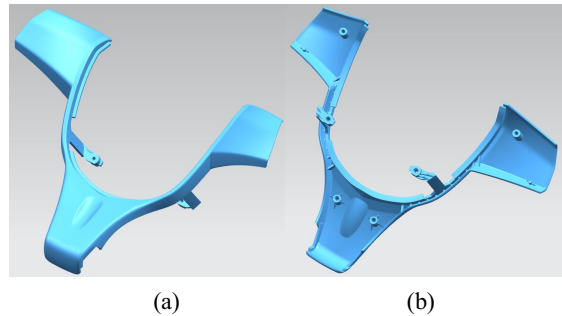


Fig. 1 3D modeling of bezel for automotive steering wheel: (a)front side (b)back side

Table 1 Mechanical properties of Lupoy HR5005A

Mechanical property	Unit	Value
Elastic modulus	MPa	2365
Poissons ratio	-	0.43
Shear modulus	MPa	777
Coefficient of thermal expansion	1/°C	8.5×10 ⁻⁵
Conductivity	W/m/°C	0.17
Specific heat	J/kg/°C	2160
Melt density	g/cm ³	1.028

Table 2 Recommend injection molding process condition Lupoy HR5005A

Process conditions	Unit	Value
Mold temperature	°C	80
Melt temperature		235
Mold temperature range		60 ~ 100
Melt temperature range		220 ~ 250
Ejection temperature		125

2. 플라스틱 베젤의 사출성형

2.1 자동차 스티어링 휠용 베젤

Fig. 1은 본 연구에 적용된 자동차 스티어링 휠에 적용되는 베젤의 3D 모델을 나타낸 것으로 A사의 B 차량에 적용된다. 크기는 약 285×225(mm)이며, 두께는 평균 2.8mm 이다. 베젤의 성형에 사

베젤 성형품의 모양 특성상 사출성형 후 변형 시에 성형품의 바깥쪽이 위로 상승하는 변형이 발생한다. 이러한 변형에 의하여 현재 일부 스티어링 휠에 조립된 베젤에서 자동차의 운행 및 스티어링 휠의 회전 시에 인접한 부품과의 마찰로 인한 잡음으로 운전자가 불편을 끼치는 문제가 발생하고 있다.

2.2 베젤의 사출 성형

베젤의 성형을 위하여 셋업 된 성형조건은 수지 회사에 제공하는 성형조건을 기준으로 현장의 작업자들이 성형품의 변형 상태를 파악하여 성형조건을 조금씩 조절하며 성형이 이루어지고 있는 것이 현실이다. 현재 베젤의 성형을 위한 사출성형 조건은 Table 3과 같다. 그리고 Fig. 2는 현재 베젤의 성형을 위하여 사용되는 HYUNDAI 250톤 수평식 사출성형기를 나타낸 것이다.

Table 3 Injection molding conditions before optimization of molding conditions

Process conditions	Unit	Value
Injection time	sec	3.8
Packing pressure	MPa	120
Packing time	sec	6
Cooling time	sec	20
Mold temperature	℃	75
Melt temperature	℃	240
Fixed plates coolant temperature	℃	25
Moving plates coolant temperature	℃	25



Fig. 2 Injection molding machine for bezel molding

3. 실험계획과 결과 비교

3.1 다구찌 법

변형이 최소로 되는 성형조건을 구하기 위하여 실험계획법을 이용하였다. 특히, 본 연구에서는 현재 산업 현장에서 널리 사용되고 있는 다구찌 법을 이용하였다. 다구찌 법은 적은 회수의 실험으로 대상에 영향을 미치는 유효한 인자를 구하는데 특화된 실험계획법이라 할 수 있다^{8,9)}.

다구찌 법에 적용될 성형조건(주요인자, factor)은 성형품의 변형에 영향을 미칠 것으로 사료되는 수지온도(melt temperature), 캐비티 플레이트 냉각수 온도(cavity plate coolant temperature), 코어 플레이트 냉각수 온도(core plate coolant temperature), 냉각시간(cooling time) 등의 4 가지를 주요인자로 선정하였다. 그 이외의 성형조건으로 사출시간, 보압 및 보압 시간은 실제 성형에 적용되는 조건과 동하며 Table 3과 같고, 주요인자로선 선정하지는 않았다. 특히, 보압은 성형품의 변형에 중대한 영향을 미친다고 알려져 있으나, 본 베젤 성형용 금형에 적용되는 120MPa의 보압은 최대 사출압력의 85%로서 적용 가능한 최대치이다. 이러한 이유로 주요인자로 선정하지 않았다. 각각의 주요인자는 5 단계로 나누어 수준으로 선정하였다. Table 4는 다구찌 법에 적용될 주요인자와 수준을 나타낸 것이다.

Table 4 Factors and levels used in experiment

Factors	Level				
	1	2	3	4	5
A. Melt temp.(℃)	220	228	235	243	250
B. Cavity plate coolant temp.(℃)	19	22	25	28	31
C. Core plate coolant temp.(℃)	19	22	25	28	31
D. Cooling time(sec)	10	15	20	25	30

4개의 성형인자와 인자별 5개의 수준을 모두 포함하는 실험을 위해서는 총 625회의 실험을 수행해야 하지만 다구찌 법을 이용하면 총 25회의 실험만 수행하면 된다. Table 5는 25회의 실험 내용을 정리

한 $L_{25}(5^4)$ 직교배열표를 나타낸 것이다. 참고로 직교배열표를 기준으로 1번 실험은 수지온도 220°C, 고정측 금형 냉각수 온도 19°C, 이동측 금형 냉각수 온도 19°C, 냉각시간 10초를 조합한 것이다.

Table 5 L_{25} orthogonal array

No	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	1	5	5	5
6	2	1	2	3
7	2	2	3	4
8	2	3	4	5
9	2	4	5	1
10	2	5	1	2
11	3	1	3	5
12	3	2	4	1
13	3	3	5	2
14	3	4	1	3
15	3	5	2	4
16	4	1	4	2
17	4	2	5	3
18	4	3	1	4
19	4	4	2	5
20	4	5	3	1
21	5	1	5	4
22	5	2	1	5
23	5	3	2	1
24	5	4	3	2
25	5	5	4	3

위의 직교배열표를 바탕으로 하는 실험은 사출성형 해석 실험으로 대체하여 수행하였다. 실험을 사출성형 해석으로 대체하므로 실험 시간 및 비용을 대폭 절감할 수 있는 장점이 있다.

3.2 사출성형 해석 및 결과

사출성형 실험을 사출성형 해석으로 대체하기 위하여 사출성형 시뮬레이션 프로그램인 Autodesk사의 Moldflow를 사용하였다^[10]. Fig. 3은 사출성형 해석을 위하여 구성한 해석 모델을 나타낸 것으로 실제 금형 설계 데이터를 기준으로 구성하였다. 콜드 스프루와 런너가 적용되고, 게이트는 성형품의

중앙부에 팬 게이트가 1개가 적용되었다. 냉각수 회로는 Ø10의 직선냉각 회로와 Ø15의 배플 냉각 회로로 구성된다. 유한요소 형태는 3-D 테트라(tetra)이며, 총 요소의 개수는 874,751개이다. 적용수지는 실제 성형되는 수지를 동일하게 적용하였다.

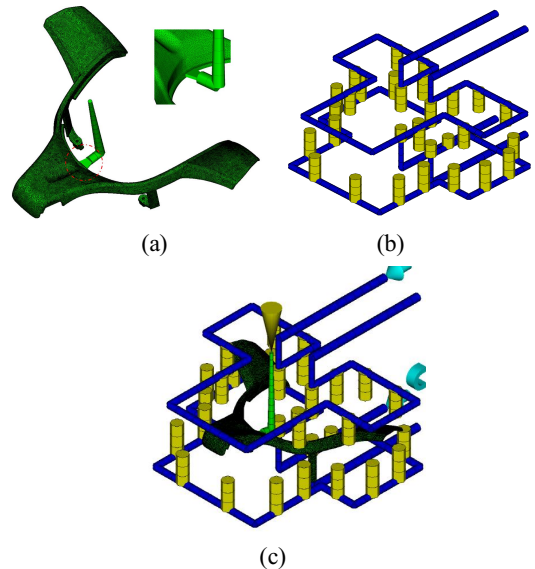


Fig. 3 Mesh models: (a)bezel part mesh (b)cooling channel mesh (c)analysis model

Table 5의 직교배열표를 바탕으로 실시한 사출성형 해석의 변형 결과들의 분석은 SN비(signal to noise ratio, 신호 대 잡음 비)를 활용하여 분석하였다. 변형이 작을수록 양질의 특성이므로 다구찌 법에 따라 망소 특성에 해당하며, SN비를 구하는 식은 (1)과 같다. 단위는 dB이다.

$$SN = -10 \log_{10} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \text{----- (1)}$$

n : 인자의 수준별 실험 횟수
 y_i : 각 실험의 특성치

성형해석을 통한 실험을 진행하기 이전에 앞서 기술하였던 주요인자 중에서 보압을 배제한 이유를

설명하기 위하여 보압을 사출압력의 40%(56MPa)에서 85%(120MPa)로 증가시키면서 성형해석을 수행하였다. 보압을 제외한 그 외의 성형조건은 Table 3과 같다. 해석결과에서 성형품의 최대 변형은 성형품의 좌우측 끝단에서 발생하였으며, 보압 40% 적용 시에 최고 변형량은 4.6mm, 55% 적용 시에는 4.1mm, 70% 적용 시에는 3.4mm, 85% 적용 시에는 2.7mm의 최대 변형량의 결과를 보였다. 본 베젤의 성형 시에는 보압이 증가할수록 변형량이 감소됨을 알 수 있었다. 따라서 보압이 최대일 때 변형량이 최소화되므로 주요인자에서 배제할 수 있었다.

Table 6은 성형해석에서 구한 성형품의 최대 변형량과 SN비를 나타낸 것이다. SN비 값이 클수록 변형이 작은 것을 의미한다. Table 7은 인자의 수준별 SN비를 나타내며, 델타(delta) 값은 인자의 수준별 SN비의 최대값과 최소값의 차이를 나타내고 있다. 랭크(rank)는 델타 값이 큰 순서대로 순위를 부여하였다. 델타 값이 크다는 것은 인자의 수준별 SN비의 변화가 크다는 것을 의미하는 것이므로, 결국 순위가 높은 인자일수록 특성치에 더 많은 영향을 주고 있음을 알 수 있다. SN비의 계산은 Minitab을 이용하였다. Fig. 4는 Minitab에서 계산된 SN비를 나타낸 것이다. 각 성형인자 별로 SN 값이 가장 큰 수준의 조합이 성형품의 변형이 최소화 되는 조건이다. 즉, 성형품의 변형이 최소로 되는 최적 성형조건은 수지온도(A) 220°C, 고정측 플레이트 냉각수 온도(B) 22°C, 가동측 플레이트 냉각수 온도(C) 31°C, 냉각 시간(D) 25초이다.

Table 6 Deformation values and S/N ratio

No.	Deflection	S/N ratio(dB)
1	2.318	-7.30227
2	2.310	-7.27224
3	2.276	-7.14345
4	2.258	-7.07448
5	2.238	-6.99720
6	2.444	-7.76202
7	2.246	-7.02820
8	2.379	-7.52789
9	2.435	-7.72998

10	2.525	-8.04523
11	2.422	-7.68348
12	2.348	-7.41396
13	2.329	-7.34339
14	2.486	-7.91002
15	2.406	-7.62591
16	2.262	-7.08985
17	2.245	-7.02433
18	2.401	-7.60784
19	2.407	-7.62952
20	2.319	-7.30601
21	2.258	-7.07448
22	2.412	-7.64755
23	2.378	-7.52424
24	2.389	-7.56432
25	2.367	-7.48397

Table 7 Result table of S/N ratio for each factor

	Level					Delta	Rank	
	1	2	3	4	5			
S/N ratio	A	-7.158	-7.619	-7.595	-7.332	-7.459	0.461	2
	B	-7.382	-7.277	-7.429	-7.582	-7.492	0.304	3
	C	-7.703	-7.563	-7.345	-7.318	-7.234	0.469	1
	D	-7.455	-7.763	-7.465	-7.282	-7.497	0.215	4

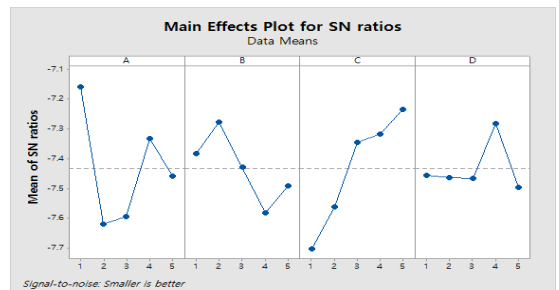


Fig. 4 Main effects of S/N ratio

그러나 이상의 최적 조건 중에서 성형품의 변형에 유의한 영향을 미치는 인자를 확인하기 위하여 SN 값에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 그 결과를 Table 8에 나타내었다. Table 8의 분산분석표에서 유의수준을 5%로 정하면 유의한 인자는 수지온도(A)와 가동측 플레이트 냉각수 온도(C)이며, 그 이외의 인자는 유의하지 않음을 의미한다.

Table 8 Analysis of variance of S/N ratio

Factors	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
A	4	0.7373	0.18433	7.30	0.009
B	4	0.2618	0.06546	2.59	0.117
C	4	0.7506	0.18765	7.43	0.008
D	4	0.1463	0.03658	1.45	0.303
e	8	0.2020	0.02525	-	-
Total	24	2.0981	-	-	-

유의하지 않은 인자를 제외한 후에 수지온도(A)와 가동측 플레이트 냉각수 온도(C)가 성형품의 변형에 미치는 영향을 Table 6의 분석을 통하여 정리하였다.

우선, 수지온도(A)를 220℃로 고정하고, 가동측 플레이트 냉각수 온도(C)를 19℃ ~ 31℃로 증가하였을 경우로서 Table 6의 실험 1~ 5번이 해당된다. 여기서 냉각수의 온도가 증가할수록 변형량이 2.318mm에서 2.238mm로 감소하는 것을 알 수 있었다. 그리고 가동측 플레이트 냉각수 온도(C)를 31℃로 고정하고, 수지온도(A)를 220℃ ~ 250℃로 증가시킬 경우에는 Table 6의 실험 5, 9, 13, 17, 21번이 이에 해당된다. 이 경우에는 수지온도(A)가 220℃일 경우에 변형량이 가장 작았다. 이는 실험 5번으로 수지온도(A) 220℃와 가동측 플레이트 냉각수 온도(C) 31℃가 동시에 적용된 결과로 사료된다.

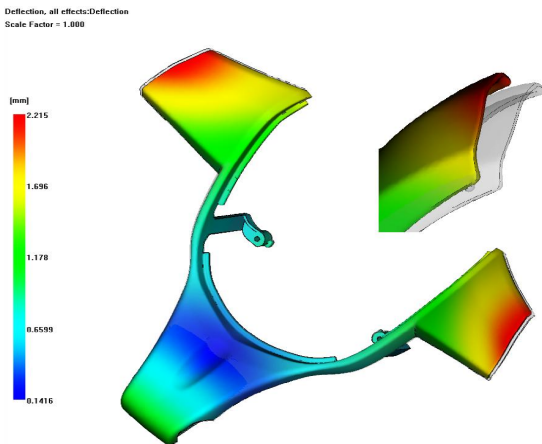


Fig. 5 Deformation results when applying optimal molding conditions

Fig. 5는 앞서 언급한 다구찌 법에 의해서 구한 최적 성형조건을 적용하였을 경우의 사출성형해석의 결과 중에서 성형품의 변형량을 나타낸 것이다. 최대 변형은 성형품의 가장 외측 부분으로 성형품의 외측이 안쪽으로 수축하며 상승하는 경향을 보였다. 최적 성형조건으로 성형된 성형품의 최대 변형량은 2.215mm 이었다.

3.3 변형량 측정과 비교

앞서 구한 최적 성형조건의 유효성을 검증하기 위하여 현재 생산하고 있는 베젤과 최적 성형조건을 적용한 베젤의 변형량을 비교하였다.

성형품의 변형량 측정은 정밀 3D 스캐너를 이용하였다. Fig. 6은 변형을 측정하기 위하여 사용한 Breuckmann사의 SmartSCAN^{3D}이다. 측정 정밀도는 12 μm이다.



Fig. 6 3D scanner for measuring deformation

Table 9는 성형조건 최적화 이전의 현재 성형품의 실제 변형량, 최적 성형조건이 적용된 성형해석상의 성형품 변형량, 최적 성형조건을 적용하여 성형한 성형품의 실제 변형량 등을 성형품의 위치별로 비교하여 나타낸 것이다. Table 9를 바탕으로

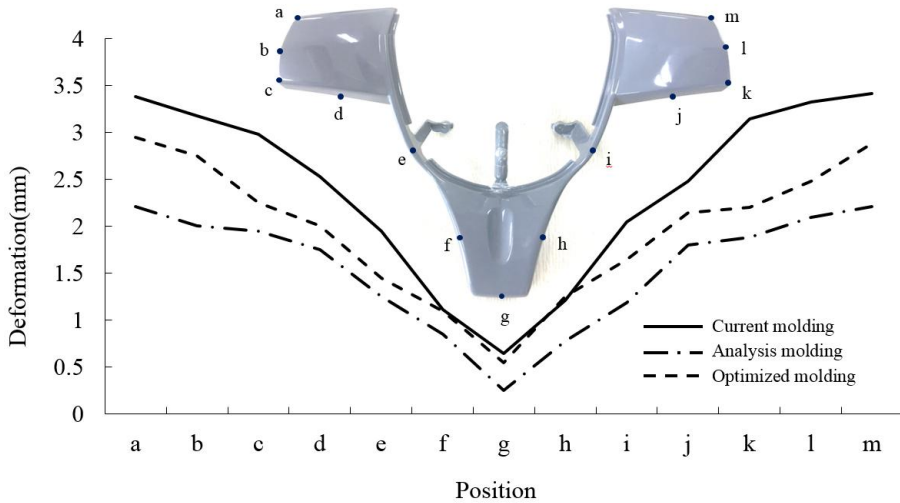


Fig. 7 Comparison of deformations amount on the bezel moldings

Table 9 Deformations amount in each position on the bezel moldings

Position \ Moldings	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
Current molding	3.38	3.18	2.98	2.53	1.95	1.11	0.65	1.21	2.05	2.48	3.15	3.33	3.42
Analysis molding	2.21	2.01	1.95	1.75	1.25	0.85	0.25	0.78	1.19	1.85	1.88	2.18	2.20
Optimized molding	2.95	2.75	2.25	2.01	1.45	1.13	0.55	1.25	1.65	2.15	2.20	2.48	2.88

fig. 7은 각각의 성형품 변형량을 비교하기 위한 그래프를 나타낸 것이다. 세 가지 변형량의 결과 중에서 성형해석에 의한 변형량이 가장 작음을 알 수 있었다. 그리고 공통적으로 모든 경우에 대하여 성형품의 외곽부로 갈수록 변형이 증가하는 경향이 관찰되었다. 현재 성형품의 변형량은 사출성형해석의 변형량과 비교하여 약 35% 이상 변형량이 더 큰 것을 알 수 있었다. 그리고 최적 성형 조건이 적용된 성형품의 변형량은 사출성형해석의 변형량과 비교하면 약 21% 이상 변형량이 더 큰 결과를 보였다. 이러한 결과가 발생하는 원인은 사출성형해석이 완전히 실제 사출성형을 구현하지 못하는 약점에 의한 결과로 사료된다. 그러나 성형해석을 통하여 실제 변형 경향을 예측할 수 있었으며, 또한 최적 성형조건을 적용한 성형품의 변형량이 현재 성형되고 있는 성형품의 변형량 보다 평균 약 16.1% 이상 감소하는 결과는 확인 할 수 있었다. 이상의 결과를 바탕으로 다구찌 법을 이용하여 구

한 최적 성형조건이 성형품의 변형을 감소시키는 것에 효과가 있음을 확인 할 수 있었다. Fig. 8은 최적의 사출성형조건으로 성형된 베젤을 나타낸 것이다.



Fig. 8 Bezel with optimal molding conditions

4. 결 론

자동차 스티어링 휠에 적용되는 플라스틱 베젤의 변형을 최소화하기 위한 사출성형조건을 구하기 위하여 다구찌 법을 적용하여 연구를 수행하였다. 다구찌 법에 의한 사출성형 실험은 성형해석으로 대체하여 수행되었고, 변형량 결과를 종합하여 베젤의 변형이 최소가 되는 성형조건을 구하였다. 변형이 최소가 되는 성형조건을 실제 사출성형에 적용하여 현재 성형품의 변형량과 비교하였다. 변형량의 비교를 위하여 정밀 3D 스캐너를 이용하여 측정하였고, 스캔 결과로부터 현재 성형품과 최적성형 조건이 적용된 성형품과의 변형 형상과 변형량을 비교할 수 있었다. 사출성형조건을 최적화를 통하여 평균 약 16.1%의 변형량 감소를 확인하였다.

REFERENCES

1. Han, S. R., "The Relation Between Injection Molding Conditions and Gloss of ABS Molding," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 14, No. 11, pp. 5352-5356, 2013.
2. Pötsch, G. and Michaeli, W., "Injection Molding an Introduction," Hanser Publishers, pp. 1-3, 1995.
3. Kim, K. H. and Choi, J. Y., "Design of Injection Molding Process Factors Blower Fan using the Taguchi Method," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 92-97, 2012.
4. Lee, H. J., "A Study of Thermal Deformation Behavior of Injection Molded Parts by Using Real-Time Measurement System," Proc. of the KSPE Autumn Conference, pp. OP079-80, 2016.
5. Cha, K. J. and Lee, H. B., "Flow Analysis of Super Engineering Plastic Plunger in Automobile ABS," Proc. of the KSMPE Autumn Conference, pp. 156, 2015.
6. Han, S. R., "Effect of Flow Pattern of Coolant for Injection Mold on the Deformation of Injection Molding," J. of KSMPE, Vol. 14, No. 4, pp. 92-99, 2015.
7. Kim, J. H., Yi, D. E., Jang, J. H. and Lee, S. L., "Deformation Analysis Considering Thermal Expansion of Injection Mold," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 39, No. 9, pp. 893-899, 2015.
8. Kwak, J. S. and Ha, M. K., "Optimization of Grinding Conditions and Prediction of Surface Roughness Using Taguchi Experimental Design," JOURNAL-KOREAN SOCIETY OF PRECISION ENGINEERING, Vol. 21, No. 7, pp. 37-45, 2004.
9. Kim, C. and Ha, T. J., "Optimization of an Automotive Disc Brake Cross-section with Least Thermal Deformation by Taguchi Method," Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 24, No. 1, pp. 1-9, 2016.
10. Han, S. R., "Improvement of Insert Molding for Refrigerator Glass Shelves Using Numerical Analysis," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 50-57, 2016.