

## 자동차 헤드램프 부품의 경량화 사출 성형기술 및 변형 저감에 관한 연구

정의철<sup>1,2</sup> · 손정연<sup>1</sup> · 민성기<sup>3</sup> · 김종현<sup>3</sup> · 이성희<sup>†</sup>

한국생산기술연구원 금형기술그룹<sup>1,†</sup>  
단국대학교 기계공학과<sup>2</sup> · 창대정밀 기술연구소<sup>3</sup>

### A study on light weighted injection molding technology and warpage reduction for lightweight automotive head lamp parts

Eui-Chul Jeong<sup>1,2</sup> · Jung-Eon Son<sup>1</sup> · Sung-Ki Min<sup>3</sup> · Jong-Heon Kim<sup>3</sup> · Sung-Hee Lee<sup>†</sup>

Molds and Dies Technology Group, Korea Institute of Industrial Technology<sup>1,†</sup>  
Dankook University<sup>2</sup> · CHANGDAE Precision Company<sup>3</sup>

(Received May 09, 2019 / Revised June 27, 2019 / Accepted June 30, 2019)

**Abstract:** In this study, micro cellular injection molding of automobile head lamp housing with uneven thickness structure was performed to obtain improvement on deformation and light-weight of the part. The thickness of the presented model was uniformly modified to control the deformation of the molded part. In order to maximize the lightweight ratio, the model having an average thickness of 2.0 mm were thinly molded to an average thickness of 1.6 mm. GFM(Gas Free Molding) and CBM(Core Back Molding) technology were applied to improve the problems of the conventional foam molding method. Equal Heat & Cool system was also applied by 3D cooling core and individual flow control system. Warpage of the molded parts with even cooling was minimized. To improve the mechanical properties of foamed products, complex resin containing nano-filler was used and variation of mechanical properties was evaluated. It was shown that the weight reduction ratio of products with light-weighted injection molding was 8.9 % and the deformation of the products was improved from the maximum of 3.6 mm to 2.0 mm by applying Equal Heat & Cool mold cooling system. Also the mechanical strength reduction of foamed product was less than 12% at maximum.

**Key Words:** Lightweight head lamp housing, Micro cellular injection molding, Core back molding, Equal heat & cool, Gas free molding, Individual flow control, Warpage reduction

### 1. 서 론

최근 석유자원의 고갈 및 환경문제로 야기된 각국의 각종 환경규제로 인하여 많은 자동차 부품들이 플라스틱 부품으로 대체되고 있으며, 발포성형과 같은 경량화 사출성형 공법이 제품에 적용되고 있다. 발포성형은 성형과정에서 수지 내 기포를 균일하게 분산시켜 제품을 생산하는 방식으로 발포방식에 따라 화학적 발포성형과 기계적 발포성형으로

나뉠 수 있다. 기계적 발포성형의 한 종류인 미세발포 성형공정(Mu-Cell)은 초입계 상태의 이산화탄소나 질소를 수지와 혼합하는 방식으로 화학발포제를 이용하지 않은 친환경적 발포기술이며, 수지 내 기포에 의한 제품의 경량화 및 수지의 유동성 향상 등의 장점을 지니고 있다<sup>1-4)</sup>. 그러나 발포율에 따른 제품의 외관불량 및 기계적 강도 저하 등의 단점도 지니고 있어 이를 개선하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>5-8)</sup>. 또한 많은 자동차 부품들이 플라스틱으로 대체되면서 성형과정에서 발생하는 불균일한 냉각 사이클에 의한 제품의 변형문제는 생산성 저하 및 품질저하로 나타나게 된다. 이러한 제품의 변형 문제를 해결하기 위하여 발포 성형 시 섬유보강

1. 한국생산기술연구원 금형기술그룹  
† 교신저자: 한국생산기술연구원 금형기술그룹  
E-mail: birdlee@kitech.re.kr

플라스틱을 사용하거나<sup>9-10)</sup> 발포온도 제어<sup>11)</sup> 및 금형의 균일 냉각을 통한 제품의 변형 개선에 관한 많은 연구들<sup>12-15)</sup>도 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 불균일한 두께 구조를 가지고 있어 변형관리가 매우 어려운 중대형 자동차의 플라스틱 헤드램프 하우징 부품을 대상으로 경량화 사출공법중 하나인 미세발포 사출성형 공법을 적용하고, 제품 생산 과정에서 개별유량제어 시스템을 적용하여 휨/변형에 대한 개선효과와 부품 경량화 효과를 동시에 확보할 수 있는 금형 기술에 관한 연구를 수행하였다

## 2. 미세발포 성형 금형기술

### 2.1. GFM(Gas Free Molding) 금형기술

발포성형 중 사출 충전과정에서 수지 내 기포에 의하여 캐비티 내 가스가 갇히는 현상이 발생하고 제품 말단부에 외관불량 현상이 나타나는데 이를 방지하기 위해 AVS(Auto Venting System) 기술을 적용할 수 있다. AVS 기술은 Fig. 1과 같이 사출 충전이 시작되면 Venting pin을 열어 가스를 배출하고 수지가 일정량 충전되어 온도센서가 감지하면 Venting pin을 닫아 성형을 완료하는 방식이다. AVS 기술은 가스 트랩에 의한 외관불량을 개선하는 효과적인 방법 중 하나이나 사출압력에 의하여 Venting pin이 밀려나는 문제를 지니고 있다. 이에 기존의 AVS 방식의 단점을 보완하여 Fig. 2와 같이 접시머리 모양의 Venting pin을 이용하여 간단하고 안정적인 작동을 가능하게 해주는 GFM 금형기술을 미세발포 사출성형 공정에 적용하였다.

### 2.2. Core back 금형기술

발포성형은 발포 셀에 의하여 제품 표면의 외관 불량 및 충전 말단부의 Swirl Mark에 의하여 실질적 중량감소 구현이 난이한 문제를 지니고 있으며, 이를 개선하기 위하여 Core back 금형기술을 적용하였다. Core back 금형기술은 1차 성형 완료 후 정밀 미세 형개를 통한 캐비티 체적증가 기술로 캐비티 체적 증가에 의한 캐비티 내부압력 감소로 수지의 발포를 촉진시키며, 셀의 발포 방향을 코어 쪽으로 향하게 하여 제품의 외관품질을 확보하고 동시에 최대의 중량절감 효과를 실현할 수 있는 미세발포 사출성형 금형기술이다. 본 실험에서는 GFM기술과 동시에 Core back 금형기술을 미세발포 사출성형 공

정에 적용하였으며, 금형기술 적용에 따른 성형품의 경량화율을 비교하였다.

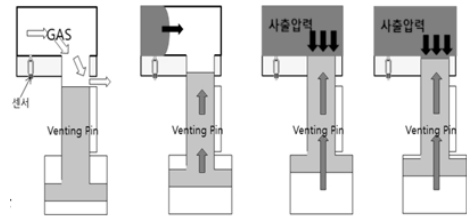


Fig. 1 Schematic diagram of AVS(Auto Venting System)

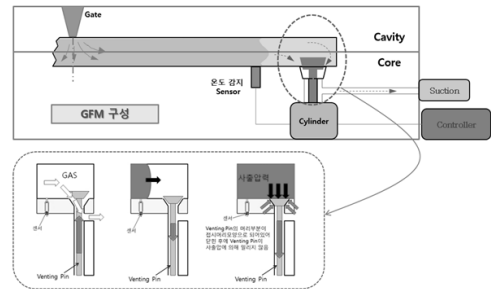


Fig. 2 Schematic diagram of GFM(Gas Free Molding system)

## 3. 제품의 변형관리

### 3.1. 제품의 변형구조 분석

램프 하우징 부품의 변형을 개선하기에 앞서 대상 제품을 크게 아웃보드, 인보드, 후드 매칭부 3부분으로 나누어 변형구조를 분석하였으며, 그 결과 부품 내 후육부의 살 두께 편차와 금형 내 Hot zone에 의한 금형온도 편차가 변형의 주요 원인임을 확인할 수 있었다. 두께 편차가 큰 제품에 대하여 식 (1)과 같이 살 두께 편차를 정량화하였고, 일반적인 사출 부품 K값 30%에 비하여 램프 하우징 부품의 최대 K값은 200%로 높게 나타나 살 두께 편차가 큰 후육부에 대하여 제품 형상 개선을 진행하였다. 후육부의 두께 개선 결과로 제품의 전체 부피는 기존 741.34 cm<sup>3</sup>에서 730.13 cm<sup>3</sup>으로 감소하였다.

$$\text{살 두께 비율}(K) = \frac{(\text{대상 두께} - \text{평균 두께}) \times 100}{\text{평균 두께}} (\%) \quad (1)$$

### 3.2. Equal heat & Cool 금형 냉각 구조설계

금형 내 Hot zone에 의한 금형온도 편차를 줄이기 위해 확산접합 기술을 이용하여 Fig. 3과 같이 3D 냉각코어를 설계하였으며, 기존의 Baffle 형식의

냉각구조를 Bump core 형식의 냉각구로 개선하여 균일한 금형 온도분포를 위한 Equal heat & cool 금형 냉각 구조를 설계하였다. 3D 냉각코어를 적용한 금형의 냉각 채널 구성은 상측 5채널, 하측 4채널, 6개의 슬라이드 코어 6채널로 구성되어 있다. 냉각 과정에서의 금형의 고른 열 분포와 냉각시간 단축 및 공정 안정성 향상을 위하여 유도사의 개별유량 제어 시스템 CALCON을 사용하여 각 채널마다 냉각 조건을 개별 적용하였다

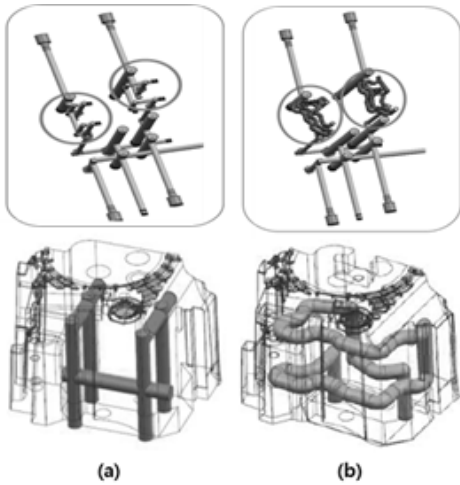


Fig. 3 Structural design of 3D cooling channel for mold cores: general cooling channel(a), diffusion bonding cooling channel(b)

### 3.3. 개별유량제어 냉각시스템 냉각해석

15개의 채널로 구성된 냉각회로를 10, 13개의 개별 유량제어 시스템으로 묶어 냉각해석을 진행하였으며, 확산접합을 이용한 3D 냉각코어 유무에 따른 금형온도 편차를 확인하였다. 해석결과 냉각회로를 13개의 개별유량제어 시스템과 3D 냉각코어로 구성하였을 경우 Fig. 4, Fig. 5와 같이 상측의 경우 평균 금형온도 8.5°C 감소, 하측의 경우 평균 금형온도 0.9°C의 감소 효과가 나타나났으며, 보다 균일한 금형 온도 분포를 확인할 수 있었다.

## 4. 실험결과

### 4.1. 제품의 경량화율

자동차 헤드램프 하우징 부품을 대상으로 GFM 금형기술과 Core back 금형기술을 적용하여 제품을 성형하였고, 제품의 경량화율을 극대화하기 위하여

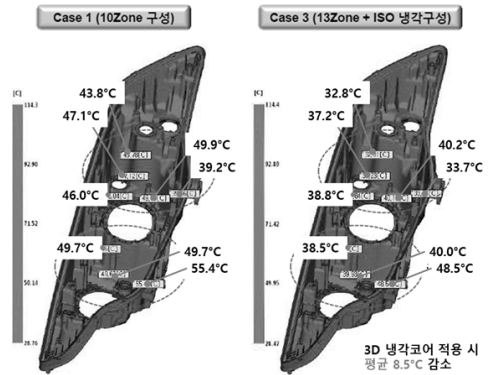


Fig. 4 Analysis results of temperature variation for mold by cooling channel (fixed side)

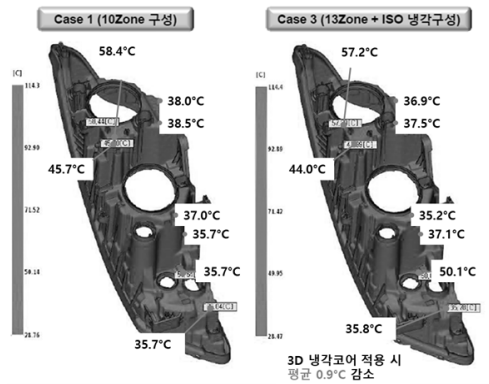


Fig. 5 Analysis results of temperature variation for mold by cooling channel (moving side)

평균두께 2.0 mm의 제품을 1.6 mm로 설계 개선하여 박육 성형하였다. 각 공정에 대한 발포 성형 및 박육 성형에 따른 제품의 경량화 효과를 10개의 성형품 무게를 평균 내어 Table 1에 나타내었으며, 제품 성형결과 발포성형에 따른 경량화율은 약 8.9%, 박육 성형과 발포성형에 따른 경량화율은 약 32.4%임을 확인할 수 있었다.

Table 1 Comparison of weight for injection molded parts according to process change

Process	General molding (2.0 mm)	Cell molding (2.0 mm)	Cell molding (1.6 mm)
weight	835.08 g	760.82 g	564.74 g
Standard deviation	1.24 g	0.68 g	4.00 g
Lightweight ratio	0 %	8.9 %	32.4 %

### 4.2. 기계적 강도평가

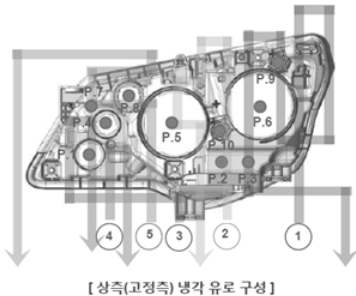
발포성형 제품의 경우 제품내의 셀 형성에 의하여 성형품의 기계적 강도저하가 유발될 수 있다. 기존의 발포성능을 유지하며 성형품의 강도 저하 현상을 최소화하기 위하여 나노 필러가 함유된 복합 수지를 성형품에 적용하였고, 각 공정에 대한 5개의 성형품의 인장, 굽힘, 충격 시험을 통하여 발포성형에 따른 성형품의 기계적 강도 변화를 Table 2에 나타내었다. 시험 결과 기존의 일반 성형품 대비 발포성형품의 인장강도는 약 11.5 %, 굽힘강도는 약 2.4 % 감소하였으며, 충격강도는 약 5.7 % 증가하였음을 확인할 수 있었다.

**Table 2** Comparison of mechanical strength for products according to process change

Process	General molding (2.0 mm)	Cell molding (2.0 mm)
Tensile strength	33.8 MPa	29.9 MPa
Flexural strength	136.9 MPa	133.6 MPa
Impact strength	44.0 J/m	46.5 J/m

### 4.3. 금형온도 편차

제품의 변형분석을 통한 금형 냉각 구조 설계와 개별유량제어 시스템 냉각 해석결과를 토대로 금형을 제작하여 제품을 성형하였다. 사출 과정에서의 금형 표면의 온도 밸런스 확인을 위하여 연속사출 조건 50개에 대하여 Fig. 6의 10개의 위치에 대해 2회 사출성형마다 접촉식 온도계를 사용하여 금형표면 온도를 측정하였다. 측정결과 Table 3과 같이 금형 평균온도는 46.7°C이며, 최대 온도 편차는 -3.1°C~ +4.7°C로 10개 포인트에 대한 표준 온도 편차는 5.0°C이내임을 확인할 수 있었다.



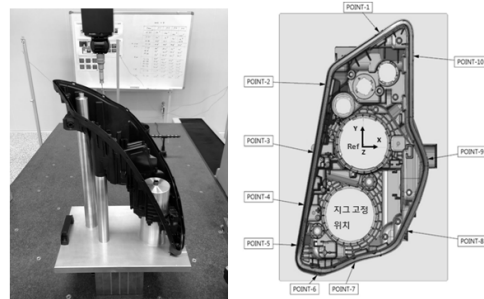
**Fig. 6** Cooling channel and temperature measurement point of mold(fixed side)

### 4.4. 제품의 변형량 평가

제품의 형상 개선과 냉각시스템 적용에 따른 성형품의 변형 개선을 평가하기 위하여 Fig. 7과 같이 헤드램프와 하우징이 결합되는 후크부 위치를 3차원 접촉식 측정기를 이용하여 측정하였으며, 제품의 측정 위치와 모델링 상의 위치 편차를 Table 4에 나타내었다. 측정결과 냉각시스템 적용 전 최대 3.6 mm의 변형량에서 약 2.0 mm 이내의 변형량으로 개선되었음을 확인할 수 있었다.

**Table 3** Measured temperature of mold surface

Position	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5
Temperature(°C)	46.8	44.7	43.4	46.6	48.5
Standard deviation(°C)	0.3	-1.8	-3.1	0.1	2.0
Position	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
Temperature(°C)	45.5	43.8	49.7	48.2	49.7
Standard deviation(°C)	-1.0	-2.7	4.7	1.7	3.0



**Fig. 7** Deformation measurement position of injection molded parts

**Table 4** Result of measured deformation for injection molded product

Position	P.1	P.2	P.3	P.4	P.5
Deformation / Before (mm)	2.40	3.14	1.97	1.08	1.22
Deformation / After (mm)	1.95	1.12	1.81	0.76	1.10
Position	P.6	P.7	P.8	P.9	P.10
Deformation / Before (mm)	2.43	1.28	1.97	3.59	2.34
Deformation / After (mm)	0.80	1.35	1.33	1.12	1.98

## 5. 결론

본 연구에서는 플라스틱 헤드램프 하우징 부품을 대상으로 기존의 발포성형의 단점을 개선하기 위해

GFM 금형기술, Core back 금형기술을 개발하고 적용하였으며, 발포성형에 따른 기계적 강도변화를 최소화하기 위하여 나노 필러가 함유된 복합수지를 사용하여 성형품을 제작하였다. 또한 제품의 변형을 최소화하기 위하여 제품의 변형구조를 분석하고 3D 냉각코어를 이용하여 Equal heat & cool이 가능한 금형 냉각 구조를 설계하고 적용하였다. 효율적인 냉각을 위하여 각각의 냉각회로에 대하여 개별유량 제어 시스템을 도입하였고, 그 결과 사출성형 과정에서 5.0℃ 이내의 금형온도 편차를 유지할 수 있었다. 금형의 고른 열 분포와 균일 냉각의 효과로 제품의 최대 변형량은 약 3.6 mm에서 약 2.0 mm로 개선되었으며, 기계적 강도 저하는 12 % 미만을 유지하며, 약 9 % 이상 경량화가 가능한 미세발포 사출 성형 공정을 개발할 수 있었다.

## 후기

본 연구는 중소벤처기업부 기술혁신개발 혁신형 기업기술개발 사업(S2528716(SE180043))에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) J.J. Lee, S.W. Cha, S.Y. Kim, "Effect of Gas amount on Viscosity Change in Microcellular Plastics," KSME annual conference, pp. 1114-1119, 2004.
- 2) S. Leicher, J. Will, H. Haugen, E. Wintermantel, "MuCell® technology for injection molding: A processing method for polyether-urethane scaffolds," Journal of Material Science, pp. 4613-4618, 2005.
- 3) B.J. Jeon, S.W. Cha, R. Zafar, "A Study on Foaming Method of Microcellular Foaming Plastics," KSPE annual conference, pp. 425-426, 2007.
- 4) Tomoki Mori, Hidetomo Hayashi, Masami Okamoto, Satoshi Yamasaki, Hiroshi Hayami, "Foam processing of polyethylene ionomers with supercritical CO<sub>2</sub>," Composites: Part A, Vol. 40, pp. 1708 - 1716, 2009.
- 5) Shia-Chung Chen, Hai-Mei Li, Shyh-Shin Hwang, Ho-Hsiang Wang, "Passive mold temperature control by a hybrid filming-microcellular injection molding processing," International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 35, pp. 822-827, 2008.
- 6) J.D. Yoon, S.W. Cha, H.J. Kim, "Effect of Microcellular Foaming Process on the Impact Strength of Polypropylene," KSME annual conference, pp. 1084-1088, 1999.
- 7) Y.D. Hwang, S.W. Cha, C.J. Kim, "Impact Strength as Foaming Magnitude of Microcellular Foamed Plastics," KSPE annual conference, pp. 341-345, 2001.
- 8) Shia-Chung Chen, Won-Hsion Liao, Rean-Der Chien, "Structure and mechanical properties of polystyrene foams made through microcellular injection molding via control mechanisms of gas counter pressure and mold temperature," International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 39, pp. 1125-1131, 2012.
- 9) H.K. Kim, S.W. Cha, W.C. Jung, "Warpage reduction of glass fiber reinforced plastic through MCPs applied injection molding process," KSAA annual conference, pp. 1222-1223, 2013.
- 10) S.H. Cho, H.K. Kim, S.W. Cha, "Warpage Reduction and Mechanical Properties of the Microcellular Foaming Glass Fiber Reinforced Plastic," KSPE annual conference, pp. 120-121, 2014.
- 11) S.W. Kim, S.W. Cha, K.H. Kim, "Research of foaming characteristics by MCPs using supercritical fluid according to foaming temperature and thickness," KSPE annual conference, pp. 997-998, 2013.
- 12) H. Hassan, N. Regnier, C. Pujos, E. Arquis, G. Defaye, "Modeling the effect of cooling system on the shrinkage and temperature of the polymer by injection molding," Applied Thermal Engineering, Vol. 30, pp. 1547-1557, 2010.
- 13) H. Hassan, N. Regnier, C. Lebot, C. Pujos, G. Defaye, "Effect of cooling system on the polymer temperature and solidification during injection molding," Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 1786-1791, 2009.
- 14) H. Hassan, N. Regnier, C. Le Bot, C. Pujos, G. Defaye, "3D study of cooling system effect on the heat transfer during polymer injection molding," Int. J. Therm, Vol. 49, pp. 161-169, 2010.
- 15) Y. Liu, M. Gehde, "Evaluation of heat transfer coefficient between polymer and cavity wall for improving cooling and crystallinity results in injection molding simulation," App. Therm, Vol. 80, pp. 238-246, 2015.