

PMMA Lens의 변형에 미치는 설계변수와 금형온도의 영향

이선호*, 허장욱**,#

*금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, **금오공과대학교 기계시스템공학과

Effect of Design Parameters and Molding Temperature on Polymethyl Methacrylate Lens Warp

Seon-Ho Lee*, Jang-Wook Hur**,#

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Industry, Kumoh National Institute of Technology

**Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

(Received 20 June 2016; received in revised form 26 July 2016; accepted 5 September 2016)

ABSTRACT

Polymethyl methacrylate is commonly used in the outer lens of automotive rear lamps. However, if the lens warps above the allowable limit, it may lead to faulty connection with the housing, and failure of the assembly. This study investigated the effects of gate diameter and cooling line distance in the mold design for automotive outer lens. The optimal gate diameter and cooling line distance to minimize the warp of the outer lens were derived as 3.0 mm and 50–60 mm respectively, and the cooling temperature to minimize warp was shown to be 60–80°C (mold surface temperature 48–67°C). A higher cooling temperature may somewhat mitigate the warp, but is undesirable because it may cause injection molding problems, such as sinks. A mold was constructed matching the optimal design and the produced lens properties, particularly the degree of warp, were comparable with the CAE predictions.

Key Words : Molding Temperature(금형 온도), Warp Analysis(변형 해석), Poly-Methyl-Meth-Acrylate(메타크릴 수지), Rear Lamp(후방 램프), Outer Lens(바깥 렌즈)

1. 서 론

플라스틱은 종류가 다양하며, 플라스틱을 만들기 위한 원재료인 수지마다 성질과 특성이 다르다. 그러므로 수지는 사용되는 환경에 적합한 제품을 사용하여야 하며, 용융하여 만들기 때문에 주요 설계 변수로 고려되는 게이트 직경과 냉각라인 거리 등의 적절한 선정과 함께, 성형온도에 대한 고려가 매우 중요하다^[1-2]. 이러한 수지를 이용하여 제품을

만드는 공법 중 가장 많이 사용하는 방법 중의 하나가 사출성형이다. 사출성형을 위해서는 금형이 필요하며, 금형 제작은 큰 비용이 소요됨으로 해석 등을 통해 사출성형에서 발생할 문제점을 미리 파악하는 노력이 요구되고 있다^[3-4]. 사출성형에서 발생할 문제점으로는 게이트 부근에서 발생하는 불량, 성형과정에서 발생하는 불량, 충전완료 단계에서 발생하는 불량 등으로 나눌 수 있고, 이러한 불량은 개발단계에서 해석과 시험 등을 통한 개선이 요구되며, 그렇지 않으면 생산간 비용과 일정 측면의 막대한 손실을 초래할 수 있다^[5].

Corresponding Author : hhjw88@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7399, Fax: +82-54-478-7399

메타크릴 수지(PMMA, polymethyl methacrylate)를 사용하는 자동차 후방 램프(Rear Lamp)의 바깥 렌즈(Outer Lens)가 기준 이상의 변형이 발생하면 하우징과 결합하는 과정에서 불량을 초래한다.

본 연구에서는 바깥 렌즈의 변형을 최소화하기 위해 금형 설계과정에서의 게이트 직경과 냉각라인 거리가 변형에 미치는 영향을 사출성형해석(CAE)을 통해 검토하였다. 이를 통해 변형을 고려한 최적의 게이트 직경과 냉각라인 거리를 선정하였으며, 이러한 조건의 금형을 제작하여 사출성형에서 제품의 변형을 최소로 하는 금형온도를 도출하여 사출성형 해석결과와 비교하였다.

2. 변형에 미치는 설계 변수

2.1 게이트 직경

메타크릴 수지를 사용하는 후방 램프의 바깥 렌즈는 길이 320mm, 높이 38mm, 폭 130mm, 두께 3mm이며, 투명 렌즈(Clear Lens)는 길이 246mm, 높이 27mm, 폭 56mm, 두께 3mm인 두개의 렌즈가 결합하는 2색 구조이다. 성형성을 좋게 하기 위해 제품

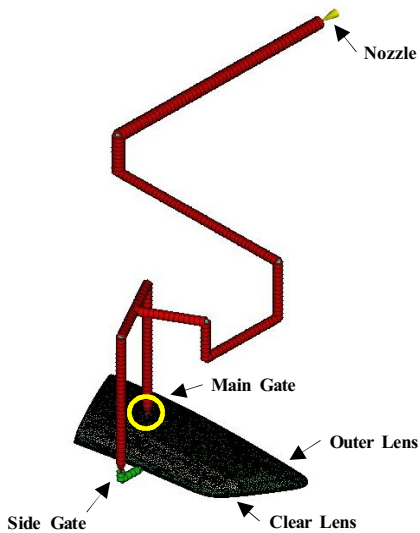


Fig. 1 3D element configuration for gate diameter of outer lens of rear lamp

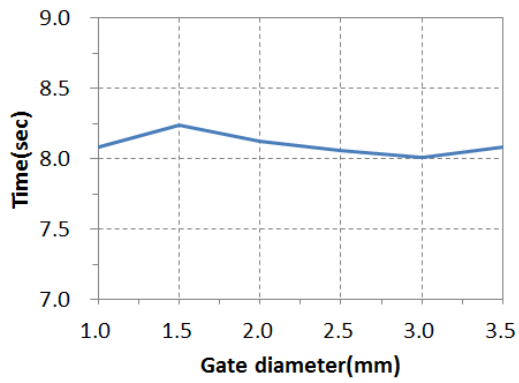
Table 1 Analysis process settings for gate diameter

Conditions	Contents
Molding temperature	75 °C
Melt temperature	240 °C
Injection time	7sec
Velocity/Pressure switch-over	98%
Packing	1st : 3sec, 50MPa 2nd : 2sec, 40MPa
Cooling time	20sec

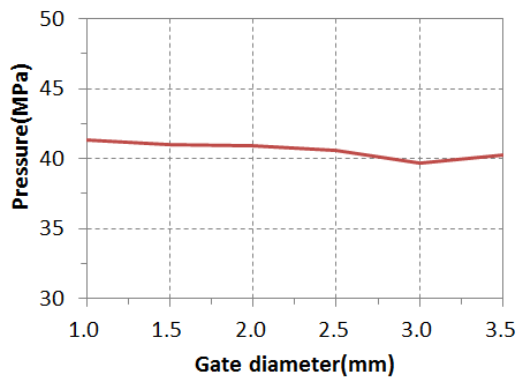
상부 표면으로 수지가 주입되는 부분을 메인 게이트(Main Gate)로 사용하였다. 그리고 하단부의 미성형 부분 발생을 억제하기 위해 측면 게이트(Side Gate)를 추가하여 사출 시 최고 압력을 낮출 수 있도록 하였다. 또한 밸브에 의한 게이트의 열림과 닫힘 시간 조절로 웰드라인(Weld Line) 발생 위치의 제어가 가능하도록 하였다⁶⁾.

최적의 게이트 직경을 도출하기 위해 Autodesk Moldflow Insight(AMI) 성형해석 소프트웨어를 사용하였으며, 바깥 렌즈는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 3D Mesh로 요소를 분할하였고, 요소 수는 497,472 개이다. 게이트 해석에서 제품 표면에 적용된 메인 게이트의 최적 직경을 선정하기 위해 $\varnothing 1.0\sim\varnothing 3.5\text{mm}$ 까지 $\varnothing 0.5\text{mm}$ 단위로 Table 1의 공정 조건을 적용하여 성형해석을 수행하였다.

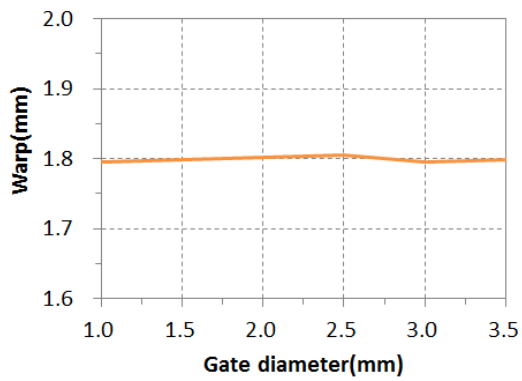
게이트 직경별로 성형해석 결과를 Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 나타내었다. 게이트 직경에 따라 사출시간은 8~8.5sec의 범위에 있으며, 최대 약 0.25sec의 편차가 발생하였다. 충전완료 시 압력은 노즐부분이 높게 나타났으며, 게이트직경이 클수록 압력이 내려가지만, $\varnothing 3.0\text{mm}$ 에서 39.65MPa까지 낮아지다가 게이트 직경이 커질수록 게이트부의 고화가 늦어 압력이 다시 상승하였다. 그리고 변형의 경우 성형이 제일 늦은 부분의 변형량이 최대로 크고 그 부분의 변형은 게이트 직경이 $\varnothing 2.5\text{mm}$ 까지는 직경 증가에 따라 제품의 변형은 다소 증대하지만, 그 이후에는 약간 감소하며, 게이트 직경 $\varnothing 3.0\text{mm}$ 에서 최소를 나타내었다. 따라서 사출시간, 충전완료 시 압력, 제품변형을 고려하였을 때, 게이트 직경은 $\varnothing 3.0\text{mm}$ 가 최적으로 확인되었다.



(a) Fill time

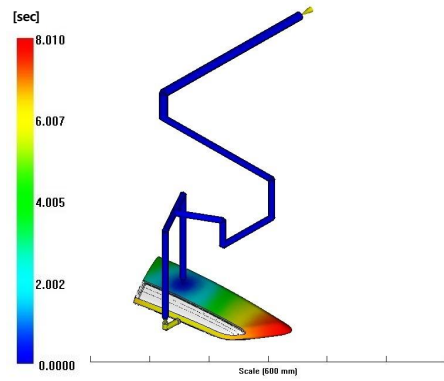


(b) Pressure at end of fill

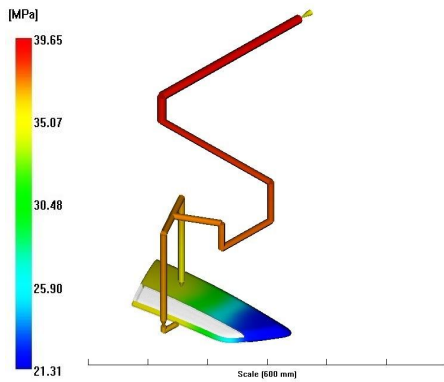


(c) Warp all effects

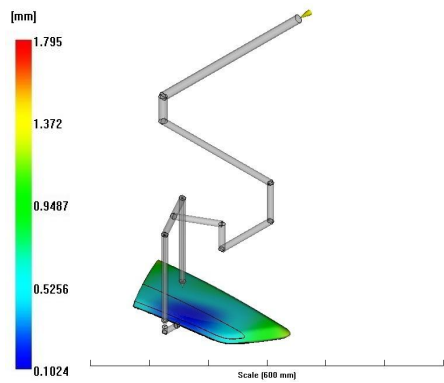
Fig. 2 Gate diameter analysis graphs of outer lens



(a) Fill time



(b) Pressure at end of fill



(c) Warp all effects

Fig. 3 Gate diameter analysis distributions of outer lens ($\varnothing 3.0\text{mm}$)

2.2 냉각라인 거리

최적의 냉각라인 거리를 선정하기 위해 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 냉각라인을 구성하였으며, 이러한 냉각라인은 금형 구조에 영향을 받는다. 상부측 금형의 경우 일체형 소재를 사용하였으며, 게이트 부의 냉각 효율을 높이기 위해 원판 냉각라인과 게이트 냉각라인을 별도로 구성하였다. 하부측 금형의 경우 코어를 적용하여 원판 냉각라인과 코어 냉각라인을 따로 연결하였다. 사출성형의 게이트 직경($\varnothing 3.0\text{mm}$)에 대한 해석결과를 적용하였으며, 냉각라인 거리와 효율의 관계를 알아보기 위해 제품과 냉각라인의 거리를 최대 60mm까지 10mm 단위로 Table 2의 공정 조건을 적용하여 성형해석을 수행하였다.

냉각라인 거리에 대한 성형해석 결과를 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 나타내었다. 냉각라인 거리 변화에 따라 사출시간은 약간의 편차를 보였으며, 냉각라인 거리가 40~50mm에서 사출시간이 최대값을 나타내었다. 충전완료 시 압력은 노즐부분이 가장 높게 나타났으며, 냉각라인 거리가 짧을수록 큰 값을 나타내었다. 또한 냉각라인 거리가 20~30mm에서는 다소 변화가 없었으며, 냉각라인 거리가 30mm 이상에서는 냉각라인 거리가 증가할수록 성형시 냉각라인이 수지 유동에 미치는 영향이 작아지므로 충전 시 압력이 낮아지고 있다.

그리고 변형의 경우 Fig. 3과 동일하게 성형이 제일 늦은 부분의 변형이 최대가 되고, 냉각라인 거

Table 2 Analysis process settings for cooling line distance

Conditions	Contents
Molding temperature	75℃
Melt temperature	240℃
Injection time	7sec
Velocity/Pressure switch-over	98%
Packing	1st : 3sec, 50MPa 2nd : 2sec, 40MPa
Cooling time	20sec
Cooling line diameter	$\varnothing 12\text{mm}$
Baffle diameter	$\varnothing 19\text{mm}$
Cooling type	Water(pure)
Cooling temperature	75℃

리가 클수록 변형은 줄어들었으며, 50~60mm 구간에서 변화폭이 급격히 낮아지고 있다.

따라서 냉각라인과 제품의 최적 냉각라인 거리는 사출시간과 충전 시 압력 및 변형의 효과를 고려하였을 때 50~60mm 구간임을 알 수 있다.

3. 금형온도가 변형에 미치는 영향

3.1 냉각수 온도에 따른 성형해석

제품의 변형에는 금형의 게이트 직경과 냉각라인 거리를 주요 변수로 고려할 수 있지만, 냉각수 온도에 의존하는 금형온도가 사출 시 수지의 유동성과 사출압력의 변화로 나타나기 때문에 냉각수 온도는 추가로 고려해야 하는 주요 인자이다.

따라서 냉각수 온도가 제품에 미치는 영향 부분을 Fig. 7과 같이 나타내었으며, 이때 조건은 사출성형에 대한 해석결과(게이트 직경 $\varnothing 3.0\text{mm}$, 냉각수 라인 거리 60 mm)를 적용하였다. 그리고 순수한 물을 기준으로 55~95℃ 사이 값으로 10℃씩 차이를 두고 Table 3의 공정 조건을 적용하여 성형해석을 수행하였다.

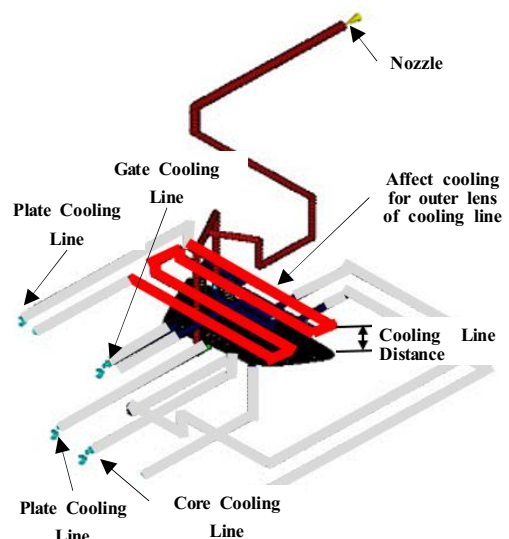
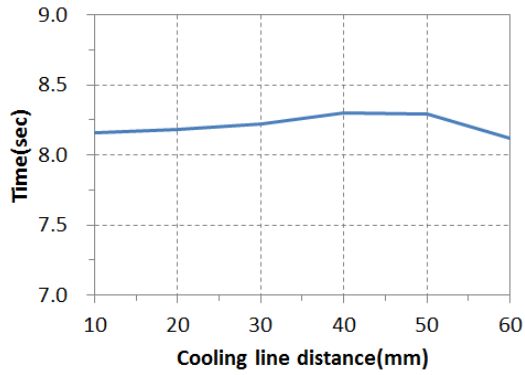
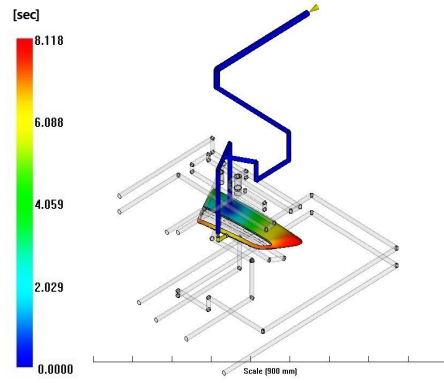


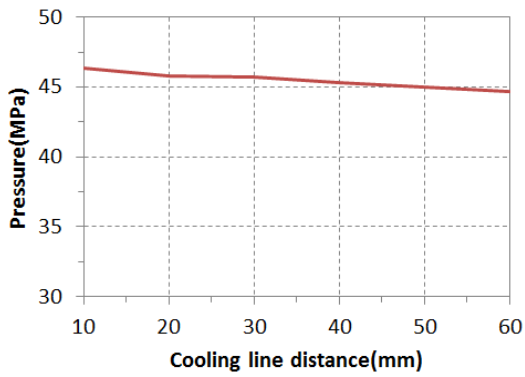
Fig. 4 3D element configuration for cooling line distance of outer lens of rear lamp



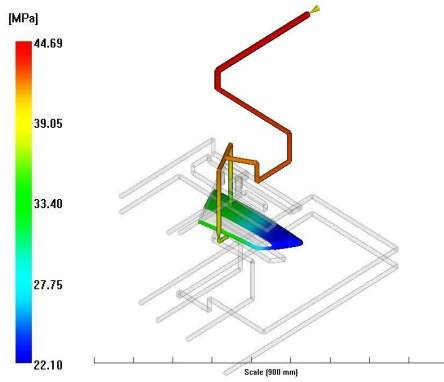
(a) Fill time



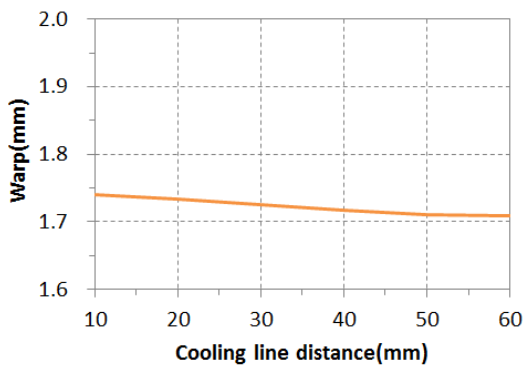
(a) Fill time



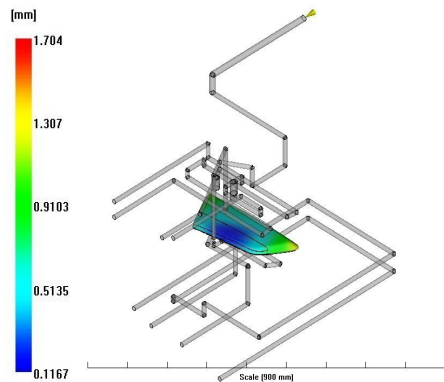
(b) Pressure at end of fill



(b) Pressure at end of fill



(c) Warp all effects



(c) Warp all effects

Fig. 5 Cooling line distance analysis graphs of outer lens of rear lamp

Fig. 6 Cooling line 60mm distance analysis distributions of outer lens of rear lamp

Table 3 Analysis process settings for cooling temperature

Conditions	Contents
Melt temperature	240 °C
Injection time	7sec
Velocity/Pressure switch-over	98%
Packing	1st : 3sec, 50MPa 2nd : 2sec, 40MPa
Cooling time	20sec
Cooling line diameter	∅12mm
Baffle diameter	∅19mm
Cooling type	Water(pure)

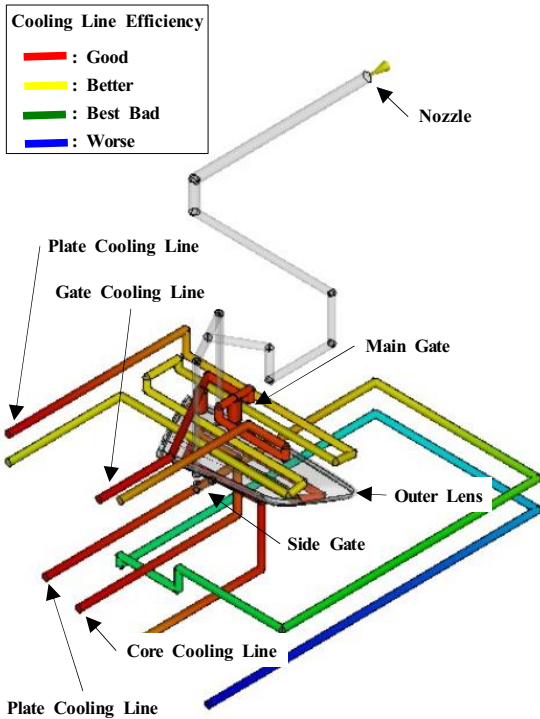
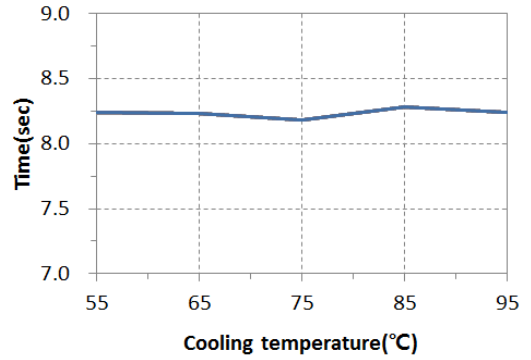
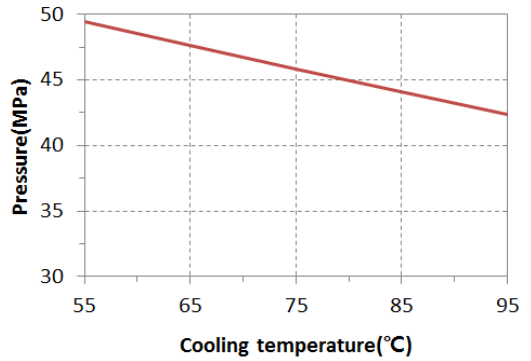


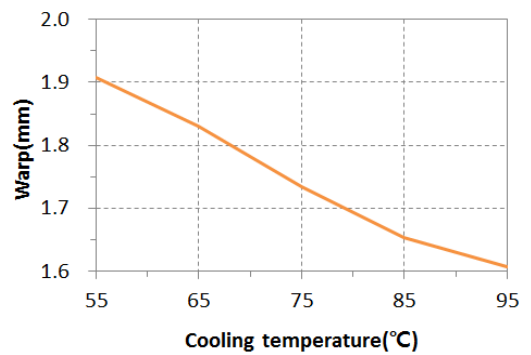
Fig. 7 3D model configuration for cooling temperature of outer lens of rear lamp



(a) Fill time



(b) Pressure at end of fill



(c) Warp all effects

Fig. 8 Cooling temperature analysis graphs of outer lens of rear lamp

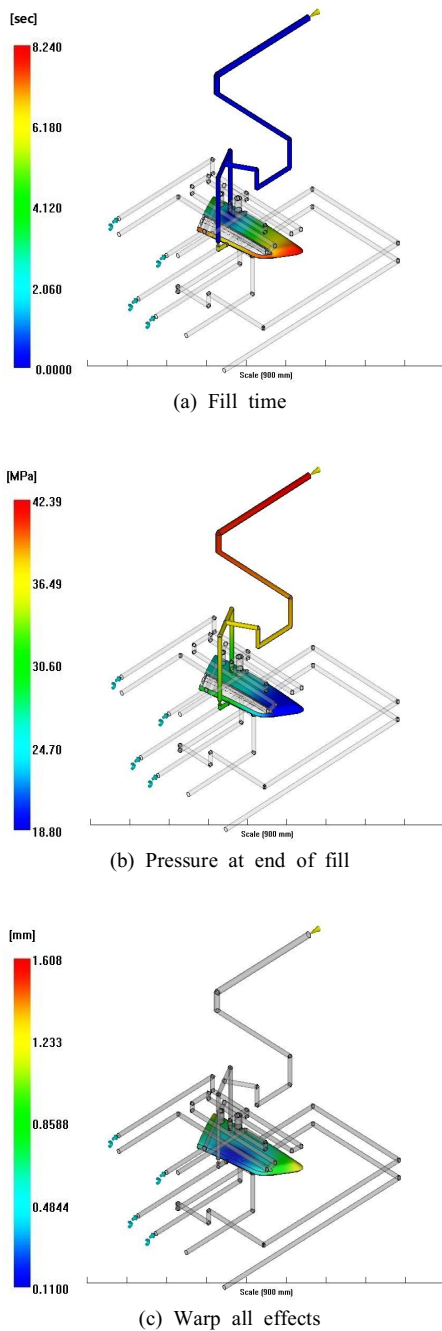
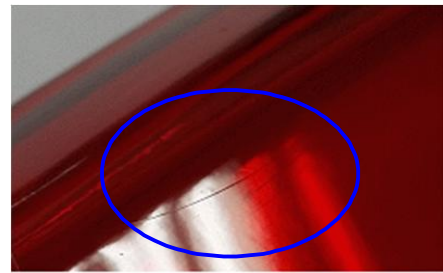
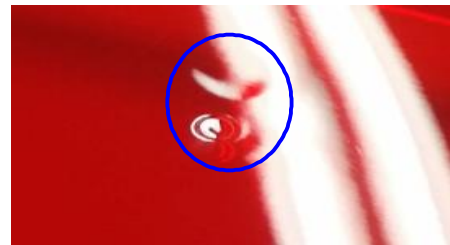


Fig. 9 Cooling 95°C temperature analysis distributions of outer lens of rear lamp



(a) Weld Line



(b) Sink

Fig. 10 Injection flaws of out lens of rear lamp

냉각수 온도에 대한 성형해석 결과를 Fig. 8 및 Fig. 9과 같이 나타내었다. 냉각수 온도가 75°C 미만에서는 사출시간의 변화가 없었으나, 75~95°C에서는 사출시간이 다소 증가하였다. 충전완료 시 압력의 경우 노즐부분이 가장 높게 나타났으며, 냉각수 온도가 높아질수록 성형시 수지 유동에 미치는 영향이 작아지므로 압력은 낮아지고 있다. 또한 제품의 최대 변형은 냉각수 온도가 높아질수록 급격히 감소하고 있으며, 냉각수 온도가 85°C 이상에서는 변형이 다소 작아지고 있다. 따라서 냉각수 온도가 증가하면 노즐부분의 압력과 제품의 최대 변형 측면에서는 냉각수 온도가 증가할수록 개선되고 있으므로 냉각수 온도를 상승시킬 필요가 있다.

3.2 사출성형 시험

사출성형의 게이트 직경과 냉각수 라인 거리에 대한 해석결과(게이트 직경 $\varnothing 3.0\text{mm}$, 냉각수 라인 거리 60 mm)를 적용하여 금형을 제작하였다. 후방 램프의 바깥 렌즈는 2개 색상이며, 다색 사출이 가능한 사출기에서 PMMA LG Chem IH830C를 사용하여 사출성형을 실시하였다^[7-8].

사출성형 결과 냉각수 온도가 50℃(금형표면 측정온도 38℃) 이하에서는 Fig. 10(a)와 같이 다수의 웰드라인이 발생하였으며, 냉각수 온도가 90℃(금형표면 측정온도 76℃) 이상에서는 Fig. 10(b)와 같이 수축(Sink)이 발생하여 사용이 곤란하였다. 따라서 이와 같이 사출불량이 발생하는 냉각수 온도를 제외하고 측정을 진행하였다. 바깥 렌즈의 변형을 측정하기 위해 제품의 외곽 테두리를 대상으로 Fig. 11과 같이 측정 지점(총 15 Points)을 지정하였으며, 3차원 측정기를 사용하여 변형이 발생하는 높이 방향(Z축) 변형을 측정하였다. 냉각수 온도가 후방 램프의 바깥 렌즈 사출 변형에 미치는 변형량을 Fig. 12에 나타내었다. 그림에 의하면, 냉각수 온도가 60~80℃(금형표면 측정온도 48~67℃)에서 변형은 큰 차이가 없으며, 냉각수 온도가 80℃(금형표면 측정온도 67℃)에서 변형이 최소가 되었는데, 이는 Fig. 8(c)에 나타난 해석결과와 유사한 경향을 나타내고 있다.

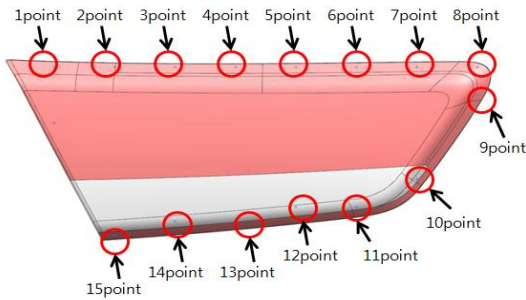


Fig. 11 Measurement points of outer lens of rear lamp

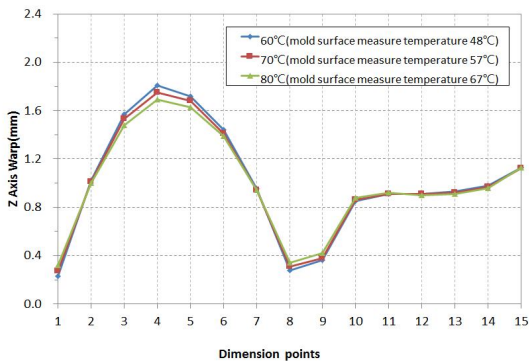


Fig. 12 Test results of warp of out lens of rear lamp

4. 결론

메타크릴 수지를 사용하는 자동차 후방 램프의 바깥 렌즈의 변형을 최소화하기 위한 사출성형 파라미터를 선정하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사출시간과 충전완료 시 압력 및 변형을 고려하였을 때 최적의 게이트의 직경은 $\varnothing 3.0\text{mm}$ 이고, 냉각라인 거리는 50~60mm이다.
2. 변형을 최소화하기 위한 냉각수 온도는 60~80℃(금형표면 측정온도 48~67℃)로 나타났으며, 이는 시험과 해석에서 유사한 경향을 나타내고 있다.
3. 냉각수 온도가 높을 경우에는 변형이 낮아질 수 있으나, 수축이 발생하여 사용이 곤란하다.

REFERENCES

1. Park, C. W., Lee, B. Y. and Lee, S. M., "Study of Injection Molding Process of Shift Lever Using Injection Molding Analysis," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp. 7-8, 2015.
2. Choi, K. K., Hong, S. M. and Han, S. D., "Effect of Flow Pattern of Coolant for Injection Mold on the Deformation of Injection Molding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 92-93, 2015.
3. Lim, M. S., Injection Moulding Processing And Injection Mold, Korean Studies Information, pp. 51-53, 2008.
4. Lee, S. M., Injection Mold Design, Kijeon, pp. 322-324, 2009.
5. Kitagawa, K. and Nakano, R., Jissen Shashutsu Seikei Furryo Taisaku Jireishu, Nikkan Kogyo Shimbun LTD, pp. 107-313, 2010.
6. Kil, S. G., "Effect of Parameters on the Flow Mark of the Polycarbonate Lens", A Thesis for a Master's Degree, Kumoh National Institute of Technology, Republic of Korea, 2013.
7. Lim, S. H., Injection Mold Design, Boseonggak, pp. 53, 2005.
8. Yoo, Y. S. and Lee, G. M., The Newest Injection Moulding, Kijeon, pp. 89, 2004.