

# 차량용 플라스틱 혼 커버의 사출성형 사이클 타임 개선을 위한 냉각 채널의 수치해석 연구

한성렬\*<sup>#</sup>

\*공주대학교 금형설계공학과

## Numerical Analysis of Cooling Channels for Injection Molding Cycle Time Improvement of Plastic Horn Cover for an Automobile

Seong-Ryoel Han <sup>\*,#</sup>

<sup>\*</sup>Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University  
(Received 23 July 2018; received in revised form 6 August 2018; accepted 10 August 2018)

### ABSTRACT

When producing a plastic horn cover for an automobile, since the interval between the ribs on the inner surface is narrow, conventional cooling channels cannot be applied and cooling of the mold is difficult. For this reason, the molding operation cannot be completed within a set cycle time. In this study, a conformal cooling channel was applied on the mold to solve the cooling problem. Injection molding simulation was carried out to confirm the effectiveness of the conformal cooling channel. In the analysis results, the mold temperature at the rib section decreased by 33%, and the mold temperature also decreased by 31%. This reduction in temperature allowed for molding within a set cycle time and demonstrated the effectiveness of the conformal cooling channel.

**Key Words** : Injection Molding(사출성형), Plastic Horn Cover(플라스틱 혼 커버), Injection Molding Analysis(사출성형해석), Conformal Cooling Channel(컨포멀 냉각 채널)

### 1. 서 론

플라스틱을 재료로 사용하는 사출성형은 복잡하고, 미려한 부품 또는 형상이 복잡한 제품을 한 번에 생산할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>[1,2]</sup>. 최근에는 정밀가공 기술이 발전하면서 정밀한 금형제작이 가능하게 되었고, 동시에 치수 정밀도가 우수한 성형품의 생산도 가능하게 되었다.

치수 정밀도가 우수한 성형품을 성형하기 위해서

는 정밀한 금형의 설계와 제작이 기본이 되어야 한다. 그러나 이러한 정밀 금형을 제작한다 하여도 여러 성형조건과 생산성이 뒷받침되지 못한다면 실제 생산으로 진행되기는 매우 어렵다.

사출성형에서 생산성의 향상을 위해서는 매 성형시에 요구되는 사이클 타임을 최대한 줄일 필요가 있다. 사출성형 사이클 타임은 몇 가지 요소로 구성된다. 금형 개폐시간(mold open and close time), 사출시간(injection time), 보압시간(holding time), 냉각시간(cooling time), 취출시간(ejection time) 등으로 구성된다. 이 중에서 가장 긴 시간은 냉각시간으로 전체 사이클 타임의 2/3 이상을 차지한다<sup>[3]</sup>. 따라서

# Corresponding Author : srhan@kongju.ac.kr

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

냉각시간만 개선할 수 있다면 전체 사이클 타임을 대폭 줄이는 것이 가능하다.

금형의 냉각시간을 효과적으로 감소시키기 위해서 최근 10년 내에서 가장 주목 받는 기술은 컨포멀 냉각(conformal cooling) 기술이다<sup>[4]</sup>. 컨포멀 냉각 기술은 금속 3D 프린팅 기술의 발전과 더불어 발전하고 있다. 컨포멀 냉각을 통하여 기존 직선 냉각 채널이 냉각시킬 수 없었던 좁고, 긴 형상의 코어에 냉각 채널을 삽입하므로 금형을 빠르게 냉각시키는 것이 가능하다.

금형 온도와 관련된 연구에서 Choi 등<sup>[5]</sup>은 금형의 냉각 채널을 유동하는 냉각수의 유동 형태가 금형 온도와 성형품의 변형에 미치는 영향을 연구하였다. Sohn 등<sup>[6]</sup>은 사출성형 시에 금형의 성형성과 냉각의 효율을 증가시키기 위해서 냉각수의 온도를 가변으로 하였을 경우의 금형온도 변화를 성형해석 연구를 통하여 수행하였다. 그리고 최근 Lee 등<sup>[7]</sup>은 금형온도가 PMMA 렌즈의 변형에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 연구에서 냉각수 온도와 냉각 채널 거리가 성형품의 변형에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 그리고 최근 Kitayama 등<sup>[8]</sup>은 사출 금형에 컨포멀 냉각을 적용시켜 사이클 시간과 성형품의 변형에 효과적임을 밝혔다. Au 등<sup>[9]</sup>은 블로우 성형(blow molding)에 컨포멀 냉각을 적용하여 중공 성형 사이클 타임을 효과적으로 감소시킬 수 있다는 결과를 얻었다. Kim 등<sup>[10]</sup>은 금속분말을 레이저로 녹여 붙이는 레이저 가열 증착 조형(DMT) 기술을 이용하여 코어를 제작하여 기존 코어 제작 방법보다 경제적임을 확인하였다.

본 논문에서는 상용 트럭의 플라스틱 혼 커버(horn cover)의 구조적 특징으로 금형에 냉각채널을 적용하지 못하고, 이로 인한 고온의 금형온도가 전체 성형 사이클 타임을 길어지게 하는 문제를 해결하기 위하여 성형품의 구조를 변경한 후 컨포멀 냉각 채널을 적용하여 금형을 개선하는 내용을 핵심으로 하고 있다.

## 2. 차량용 플라스틱 혼 커버

### 2.1 혼 커버의 구조

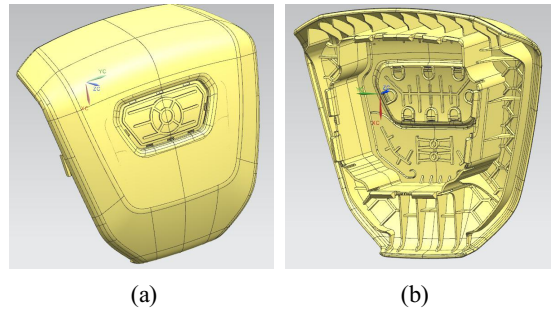


Fig. 1 Automobile plastic horn cover : (a) front (b) back

Fig. 1은 현재 국내에서 생산되어 해외 상용 트럭에 적용되고 있는 혼 커버의 3D 모델링을 나타낸 것이다. 커버의 전면(Fig. 1(a)) 중앙부에는 자동차 사의 로고 삽입을 위한 부분이 있다. 커버의 후면(Fig. 1(b))은 전면과 비교하면 매우 복잡한 구조를 가지고 있다. 혼 커버 후면 중앙부에는 에어 백(air bag) 하우징과 조향 휠과의 조립을 위하여 크고 작은 스냅 핏(snap fit)이 9개 있으며, 혼 커버의 보강을 위하여 다수의 깊은 리브(rib)가 있다. 대략적인 크기는 180(가로) × 200(세로) × 80(높이)(mm)이다. 혼 커버의 재료 Mitsubishi chemical사의 엘라스톰머 재료인 TOSI 818 35D가 사용되었다.

### 2.2 혼 커버의 사출성형

설계된 혼 커버에 대하여 사출성형 해석을 수행하였다. Fig. 2는 현재 생산되고 있는 혼 커버의 성형을 시뮬레이션 하기 위하여 구성한 성형해석 모델을 나타낸 것이다.

사출성형 해석은 Autodesk사의 Moldflow Insight 2018을 사용하였다<sup>[11]</sup>. 해석모델은 3D 요소로 구성되었으며, 요소의 개수는 1,162,963 이다. 혼 커버의 중앙부에 핫 런너(hot runner)와 연결된 직경 Ø3의 메인 게이트가 있고, 성형품의 웰드 라인(weld line) 제어를 위하여 성형품의 하단 측면부에 게이트 열림-단힘의 시간적 제어가 가능한 직경 Ø4의 2개의 밸브 게이트가 구성되어 있다. 밸브 게이트는 다시 최종 직경 Ø2의 코끼리 게이트와 최종 연결된다. 그리고 금형의 냉각을 위하여 고정측 금형과 가동측 금형에 냉각채널이 구성된다. 고정측 금형에는

직경 Ø8 직선 냉각 채널과 직경 Ø15 배플(baffle) 냉각 채널이 구성되어 있다. 가동측 금형에는 리브(rib)와 스냅 핏(snap fit) 등에 의하여 고정측 금형의 냉각 채널보다 복잡한 냉각 채널의 레이아웃이 구성되었다. 직선 채널과 배플(baffle)의 직경은 고정측 금형의 것과 동일하다.

Table 1은 사출성형을 위하여 적용한 성형조건으로, 실제 성형작업에 사용되는 것과 동일한 조건을 적용하였다.

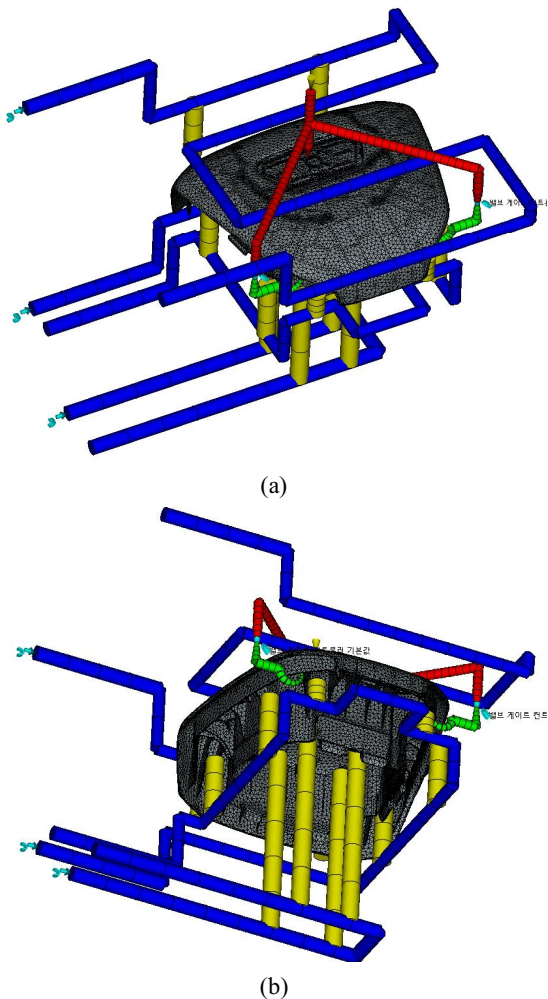


Fig. 2 Injection molding analysis model for automobile plastic horn cover : (a) front (b) back

Fig. 3은 사출성형 충전시간 결과를 나타낸 것이다. 최종 성형 완료 시간은 3.02초이었다. Fig. 4는 성형품의 변형량을 나타낸 결과로서 최대 변형은 성형품의 하단 테두리 부분에서 약 0.40mm가 예측되었다.

Table 1 Injection molding conditions

Process conditions	Unit	Value
Injection time	sec	2.8
Packing pressure	MPa	35
Packing time	sec	6
Cooling time	sec	22
Melt temperature	℃	200
Recommend mold temperature	℃	20 - 80
Ejection temperature	℃	90
Fixed plates coolant temperature	℃	25
Moving plates coolant temperature	℃	25

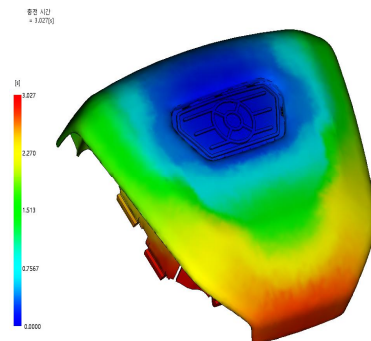


Fig. 3 Injection molding time result

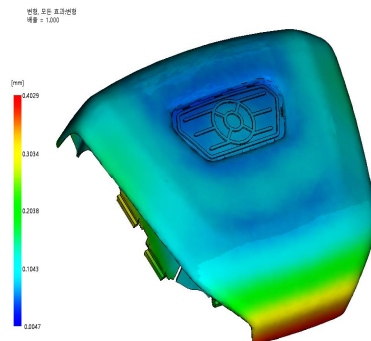


Fig. 4 Deflection result

Fig. 5는 200℃의 용융 수지가 90℃의 취출 온도로 하락되기 까지 필요한 시간을 나타낸 결과이다. 최대 필요한 시간은 전체 싸이클 타임과 동일하게 30초 예측되었다. 최대 긴 시간을 요하는 곳은 성형품 상단의 리브들이 있는 곳이다. 그러나 이곳은 30초의 전체 싸이클 타임 이후에도 취출할 수 없을 정도로 높은 온도를 갖는 부분이다. 이와 관련하여 싸이클 타임 30초 이후의 성형품 온도, 용융수지의 고화율, 금형온도 분포 결과를 Fig. 6 ~ 8에 각각 나타내었다.

Fig. 6은 30초의 싸이클 타임 이후의 성형품의 온도 분포를 나타낸 결과이다. 최고의 온도는 상단 리브부분에서 약 105℃로 예측되었다. 이 온도는 추천되는 취출 온도인 90℃와 비교하여 약 15℃ 이상 높다.

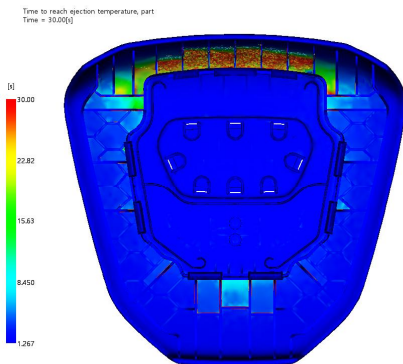


Fig. 5 Time to reach ejection temperature result

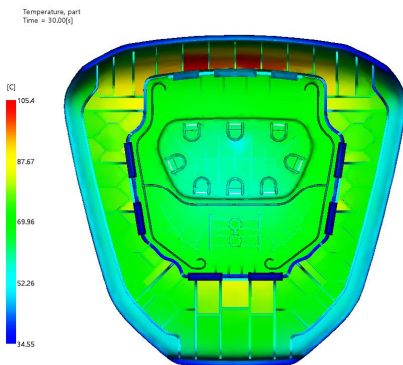


Fig. 6 Part temperature result

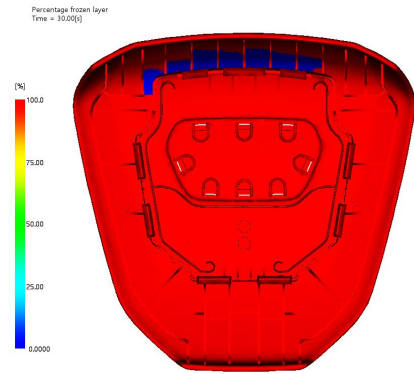


Fig. 7 Percentage frozen layer result

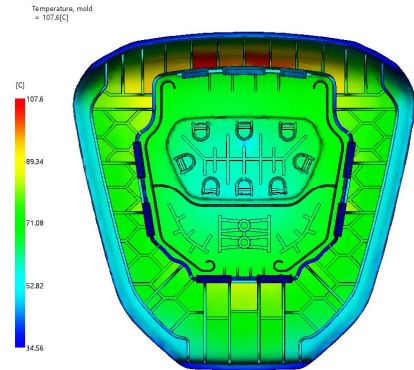


Fig. 8 Mold temperature result

Fig. 7의 고화율 결과값에서 성형품 상단의 리브 사이는 아직 취출할 수 있을 정도까지 고화가 완료되지 못했다는 것을 보여준다. Fig. 8은 금형 온도를 나타낸 결과로서 성형품 상단 리브 부분의 금형온도가 최대 107℃이다. 이와 같은 결과는 추천 금형온도에 비교하여 최대 20℃ 이상 높다.

### 2.3 수정 혼 커버의 사출성형

금형 온도가 국부적으로 상승하는 원인은 성형품 상측에 있는 좁고, 긴 리브들에 의한 것이다. 따라서 혼 커버 개발사와의 구조 및 강도 연구를 통하여 리브의 개수를 줄이고, 리브의 간격을 넓혀서 리브 사이에 컨포멀 냉각 채널을 삽입하는 것을 금형의 개선 방안으로 마련하였다.

Fig. 9는 리브의 수정 전후의 형상을 비교한 것이다. 수정 전 리브 사이의 간격은 15mm이다. 수정 후의 리브 사이의 거리는 약 22.5mm이며, 최대 깊이는 45mm이다. Fig. 10은 리브 간격이 수정된 혼 커버의 사출성형 해석모델을 나타낸 것이다. 리브 수정 전에 냉각 채널을 적용할 수 없었

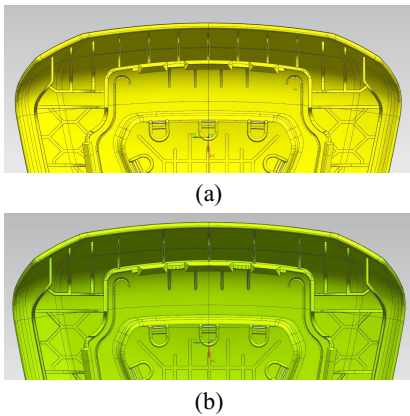


Fig. 9 Before and after of ribs in final deformation of horn cover

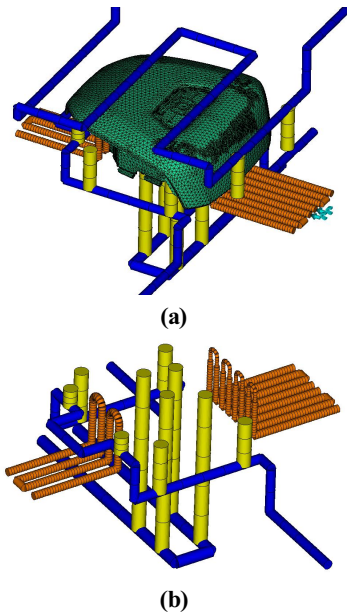


Fig. 10 Analysis model added conformal cooling channel : (a) analysis model (b) moving plate

Table 2 Injection molding conditions

Process conditions	Unit	Value
Moving plates coolant temperature	℃	40
Conformal cooling channel coolant temperature	℃	40

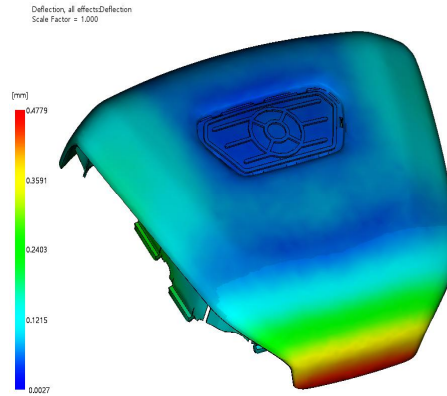


Fig. 11 Deflection result of rib-modified cover

던 부분에 컨포멀 냉각 채널을 삽입하였다. 적용된 컨포멀 냉각 채널의 직경은  $\text{Ø}6 \sim 8\text{mm}$ 이며, 3개의 채널이 추가되었다. 수정된 모델에 대하여 성형해석을 다시 수행하였다. Table 1의 성형해석 조건을 일부 수정하였다. 수정된 성형해석 조건은 Table 2와 같다.

Fig. 11은 수정된 혼 커버의 성형 후 변형값을 나타낸 것이다. 최대 변형은 0.47mm로 개선 전의 변형보다 약 1.75%가 증가하였다. 그러나 변형량이 허용 범위 내에 있으므로 품질 문제는 되지 않았다. Fig. 12는 성형완료 후의 성형품 온도를 나타낸 것이다. 최고 성형품 온도는 리브 수정 이전과는 다른 부분에 발생하였다. 최고 성형품 온도가 94.99℃로 예측되었으나, 이 부분은 극히 일부이며, 추천되는 성형품 취출 온도와 비교하여 불과 5℃ 밖에 높지 않으므로 문제가 될 것으로 생각되지 않는다. 리브 수정 이전에 문제가 되었던 리브 사이의 성형품 온도는 최대 35℃ 정도 하락하여 약 70℃ 정도의 성형품 온도가 예측되었다. 이 온도는 추천되는 취출 온도 범위를 만족하는 수준이다.



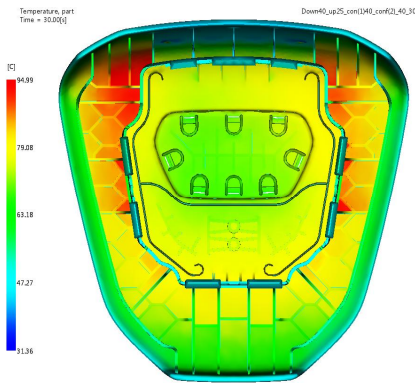


Fig. 12 Part temperature result after cooling of rib-modified cover

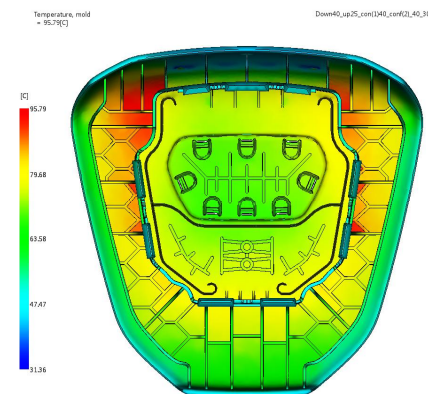


Fig. 13 Mold temperature result after cooling of rib-modified cover

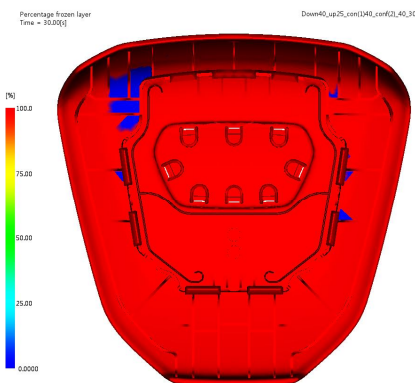


Fig. 14 Percentage frozen layer result after cooling of rib-modified cover

Table 3 Change rate of max. deflection, part temperature and mold temperature at the ribs section

Comparison factor	Before	After	Change rate
Max. deflection	0.4	0.47	0.17% ↑
Part temperature	105	70	33.3% ↓
Mold temperature	107	73	31.7% ↓

이런 결과와 관련하여 금형 온도를 Fig. 13에 나타내었다. 최대 금형 온도는 95.79℃로서 리브 수정 이전과 비교하여 약 11.2℃ 감소하였다. 그러나 이 결과도 성형품 온도와 동일하게 문제가 되었던 리브 사이의 금형 온도는 대략 73℃로 추천되는 금형온도 범위를 만족하였다. Fig. 14는 리브를 수정하여 성형한 혼 커버의 고화율을 나타낸 것으로 이전에 Fig. 7과 비교하여 문제가 되었던 리브 사이의 비(非)고화 문제는 상당히 해결되었음을 알 수 있다. 그리고 일부 고화가 이루어지지 못한 부분을 확인할 수 있으나, 취출 작업을 진행하지 못할 정도는 아니라고 판단된다.

Table 3은 리브 수정 전과 후의 성형품 변형량의 변화와 리브가 수정된 부분에서의 성형품의 온도와 금형 온도의 변화를 나타낸다.

혼 커버 내측의 리브를 수정한 후 컨포멀 냉각 채널을 삽입하므로서 성형품 온도와 금형 온도가 정해진 사이클 타임 내에서 요구되는 수준까지 효과적으로 하락됨을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

차량용 플라스틱 혼 커버 성형품의 구조상 냉각 채널을 적용할 수 없었던 리브 사이에서는 성형 후에 취출 작업을 할 수 없을 정도의 매우 높은 성형품 온도와 금형 온도가 예측되어 정해진 성형 사이클 타임 내에서는 성형할 수 없는 결과가 예측되었다. 이런 문제를 개선하기 위해서 리브가 성형되는 부분에 컨포멀 냉각 채널을 적용하였다.

컨포멀 냉각 채널이 적용된 상태에서 성형이 완료된 후 리브 부위의 성형품 온도는 리브 수정 전

과 비교하여 35℃가 하락되어 약 70℃, 금형 온도는 30℃가 하락하여 약 73℃로 나타났다. 이 값들은 모두 추천되는 범위를 만족하는 결과이었다. 따라서 이러한 결과를 종합하면 컨포멀 냉각 채널의 적용을 통하여 생산성과 경제성을 고려하여 정해진 사이클 타임을 만족한다는 결론을 얻었다.

## REFERENCES

1. Han, S. R., "A Study on Improvement of 100 Tons Toggle Injection Molding Machine's Weight Using Numerical Analysis," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 14, No. 10, pp. 4713-4718, 2013.
2. Jung, S. K. and Lee, S. H., A Guide of shot peening Processing, Sehwa Publishers, pp. 6-12, 2001.
3. Ahn, D. G., Kim, H. W. and Lee, K. Y., "Design of the Thermally Conductive Mould to Improve Cooling Characteristics of Injection Mould for a Mouse," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 33, No. 3, pp. 201-209, 2009.
4. Dimla, E., Rull-Trinidad, J., Garcia-Granada, A. A. and Reyes, G., "Thermal Comparison of Conventional and Conformal Cooling Channel Designs for a Non-Constant Thickness Screw Cap," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 35, No. 1, pp. 95-101, 2018.
5. Choi, K. K., Hong, S. M. and Han, S. R., "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. 92-99, 2015.
6. Sohn, D. H. and Park, K., "Investigation of Cooling Performance of Injection Molds Using Pulsed Mold Temperature Control," Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers - B, Vol. 37, No. 1, pp. 35-41, 2013.
7. Lee, S. H. and Hur, J. W., "Effect of Design Parameters and Molding Temperature on Polymethyl Methacrylate Lens Warp," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 109-116, 2016.
8. Kitayama, S., Miyakawa, H., Takano, M. and Aiba, S., "Multi-objective Optimization of Injection Molding Process Parameters for Short Cycle Time and Warp Reduction Using Conformal Cooling Channel," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 88, No. 5-8, pp. 1735-1744, 2017.
9. Au, K. M. and Yu, K. M., "Conformal Cooling Channel Design and CAE Simulation for Rapid Blow Mould," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 66, No. 1-4, pp. 311-324, 2013.
10. Kim, W. S., Hong, M. P., Park, J. S., Lee, Y. S., Cha, K. J., Sung, J. H., Jung, M. W. and Lee, Y. H., "Case Studies on Applications of Conformal Cooling Channel Based on DMT Technology," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 9-14, 2015.
11. Han, S. R., "A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobile," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 105-112, 2017.