https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.85

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

Technical Papers

Check for updates

게이트의 위치가 사출 성형품의 변형에 미치는 영향

장성민[a], 백승엽[b*]

Effect of Gate Position on the Deformation of Injection Molds

Sung-Min Jang[a], Seung-Yub Baek[b*]

[a] Dept. of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Technology
[b] Dept. of Mechanical Convergence Engineering, Induk University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 24 November 2020
Revised 16 December 2020
Accepted 27 December 2020

Keywords:
Injection mold
Thermal stress
Heat distribution
Filling conditions
Mold deformation
Computer aided engineering (CAE)

ABSTRACT

This study investigates the effect of the gate position on the deformation of injection molded products during injection molding. This study was conducted with four types of gate conditions using the CAE analytical method.
As a result of analysis according to each gate condition, the heat distribution and deformation of the injection molded product owing to the filling of the resin in the mold were considered. As a result, displacement occurred in the injection molded product owing to the imbalance of thermal stress during the resin filling process, and it was verified that relatively stable injection molded products could be manufactured in the first and third of the four types of gate conditions.

1. 서 론

사출 성형을 통한 플라스틱 제품은 성형품의 변형 여부가 구매 여부에 크게 영향을 미친다. 고 정밀이 크게 요구되지 않는 플라스틱 사출성형 제품의 경우, 제품의 변형은 그 기능에는 크게 영향을 미치지 않을 수 있으나 소비자의 심미적 관점에서는 영향을 미치게 된다. 그러나 산업용품의 경우에는 다른 부품 요소와의 조립품질 및 기밀유지 등과 같은 기능에 영향을 미치게 되므로 매우 중요한 요인이라 할 수 있다. 이와 같이 정밀도를 요구하는 플라스틱 사출 성형품의 변형은 조립공정 등에서 그 기능과 품질 저하를 초래할 수 있을 뿐만 아니라 생산성에도 영향을 미치게 된다. 사출 성형품의 품질 제어를 위해 사출금형 제작 후 성형품을 직접 생산함으로써 제품의 품질을 실험적으로 테스트하는 방식은 과거에 많이 채택되었다. 이와 같은 방식은 엔지니어의 축적된 경험에 기인한 노하우에 따른 매우 확실한 방법이지만 그 결과에 따라 금형 및 성형 조건의 다양한 수정과 보완을 요구할 수 있기 때문에 고가의 금형을 대상으로 적용하기에는 물리적, 경제적 손실을 크게 초래할 수 있다는 단점이 있다. 그리고 계약 후 짧은 납기 내에 고객의 니즈에 적합한 품질의 금형을 인도해야 하는 실정 등을 고려할 때 실제로 적용하기에는 매우 어려운 여건에 직면해 있다. 이와 같은 현실을 극복하기 위해 금형 제조업체에서는 고 품질의 사출 성형 제품 생산을 목적으로 설계 단계에서 CAE를 적용하고 있으며 그 결과에 따라 설계 변경을 하는 등 사출 금형 제작에 이용하고 있다. CAE는 컴퓨터를 이용하여 연구자가 도출하고자 하는 최적의 제품 생산을 위한 해석 기법으로써 사출 성형품의 생산에 앞서 사전 검토 단계에서 적용할 수 있으므로 매우 경제적이며 효율적

* Corresponding author. Tel.: +82-2-950-7525
E-mail address: sybaek@induk.ac.kr (Seung-Yub Baek).

인 방법이다. 이에 대한 연구 노하우는 사출 성형품에 대한 변형을 예측하여 최종 플라스틱 제품에 대한 품질 제고에 기여할 수 있다. 사출 성형품의 품질에 영향을 미치는 불량의 형태는 금형의 구조적 문제가 원인이 되는 경우도 있으나, 사출압력, 게이트의 위치 등 부적합한 사출성형 조건에서 초래하기도 한다. 사출 성형품의 미시적 구조는 사출성형 공정과 성형품의 디자인에 영향을 받는다고 알려져 있고 사출압력, 위치(stroke), 속도, 금형 및 수지의 온도 등은 사출 성형품의 품질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[1]. 미세 구조물의 사출성형 중 변형의 최소화 및 제품의 균일성 확보를 위해서는 보압과 보압의 유지시간을 적절하게 하여야 한다[2]. Park[3] 등은 마이크로 패턴의 사출 성형제품의 이형은 보압의 영향에 따른 사출 성형품의 수축에서 기인한다는 것을 실험적으로 확인하였다. Park[4] 등은 수지의 열적 팽창에 의해 사출 성형품의 변형량 감소에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. Yoon[5] 등은 핸드폰 카메라 VCM (voice coil motor) 하우징 제조를 위한 사출성형에서 사출품의 변형량을 게이트 위치별로 확인 후 변형량 최소화를 위한 연구를 수행하였다. Jung[6] 등은 박판의 고속 사출성형에서 게이트의 폭과 충전 불균형과의 영향을 연구하여 게이트 폭의 넓이와 충전 불균형이 상호 비례 관계에 있음을 확인하였다. 사출 성형품의 불량 형태 중 변형(warpage)은 성형공정 중 잔류 열응력의 불균형에 기인하며, 이를 제거하기 위한 냉각 시스템에 관한 많은 연구들이 수행되었다[7]. 냉각 시스템을 위한 기술개발 및 그 위치의 최적화를 위한 연구도 중요하나, 이러한 냉각 시스템의 설치를 최소화하기 위한 연구가 선행되어야 한다. 그러므로 성형공정 중 잔류 열응력의 불균형을 사전에 예방하여 사출 성형품의 변형을 최소화시키기 위한 노력이 필요하다. 특히 비교적 두께가 얇은 사출 성형품에서의 변형 발생은 제품의 사용 시간이 증가함에 따라 그 크기의 증가를 초래할 개연성이 있으므로 초기 변형을 최소화할 필요가 있다. 이와 같은 성형 불량은 제품의 품질과 기능의 저하를 초래할 수 있으므로 금형 품질의 신뢰도 악화 및 제조사에 대한 기업 경쟁력을 떨어뜨릴 수 있다. 그러므로 사출 성형제품의 생산 전 단계에서 CAE 기술 도입에 의한 해석을 통해 성형 불량을 예측하고 이를 최소화하기 위한 연구가 설계 단계에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 사출 성형품의 품질에 영향을 미치는 게이트의 위치에 변화를 주어 사출 성형품의 변형을 최소화하기 위한 적절한 게이트의 위치를 선정하기 위한 목적으로 수행되었다.

2. 성형해석 방법

본 연구에서는 사출성형 해석을 위한 전용 S/W로써 Moldflow를 사용하여 4가지 유형의 게이트 형상 및 위치에 변화를 주었을 때 성형 제품의 변형에 미치는 영향을 분석하여 고찰하였다. 연구의 해석 대상은 자동차의 실내로 유입되는 공기 중의 오염물질을 걸러주는 공기 정화기의 보호 덮개로써 외부와의 기밀유지 기능을 갖는다. 연구에 적용된 수지 및 성형해석 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Injection molding conditions for analysis[8]

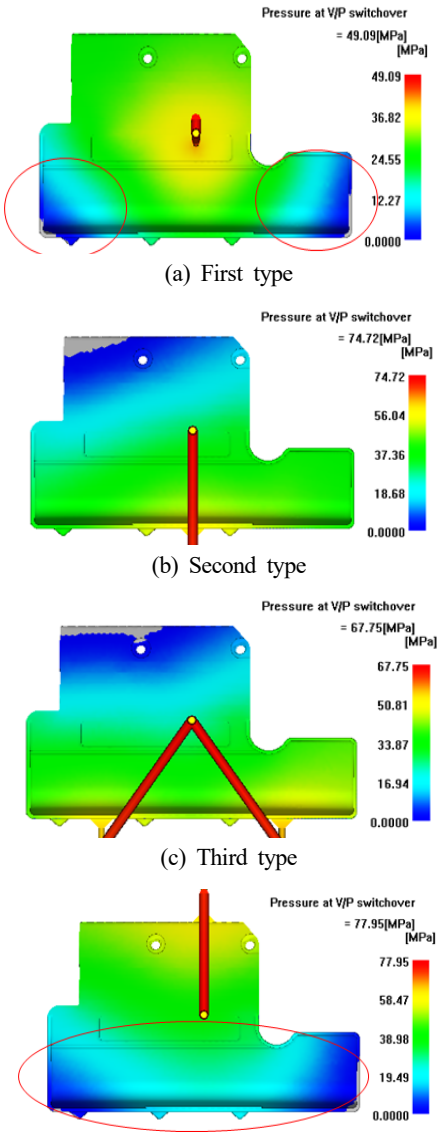
Factors	Conditions
Mold Temperature (°C)	46 (Min 38~Max 53)
Resin melting temperature (°C)	244 (Min 232~Max 255)
Cycle time (sec)	60
V/P switch	By 98% Volume filled
Packing pressure (psi)	1850
Part Volume (cm^3)	690.1
Part Weight (g)	781.5
Material Description	PP+30% Glass Fiber Filled
Manifold (mm)	18
Hot nozzle (mm)	16.8 to 18
Hot gate (mm)	2.4
Runner (mm)	12

3. 성형해석 결과 및 고찰

본 연구에서는 게이트의 위치 변화에 따른 수지의 안정적 충전 조건과 수지의 충전으로 인한 온도 분포를 확인하였다. 게이트의 모든 유형에 대하여 스프루는 공기 정화기 덮개의 중심부에 있도록 하였다. Fig. 1의 (a)는 첫 번째 유형으로써 공기 정화기 덮개의 중앙에 게이트가 오도록 설계한 것이며 (b)는 두 번째 유형으로써 게이트가 공기 정화기 덮개의 측면에 있도록 설계하였다. 세 번째 유형인 (c)는 두 번째 유형과 게이트의 위치는 동일하나 2 Drop으로 설계하였다. (d)는 네 번째 유형으로써 게이트가 공기 정화기 덮개의 측면에 위치하도록 설계한 것은 두 번째 유형과 동일하나 그 방향이 반대에 위치하도록 한 것이다.

3.1 Pressure at V/P switchover

Fig. 1은 사출성형 시 게이트의 위치 변화에 따른 Pressure at V/P switchover 해석 결과를 나타낸 것이다. 두 번째와 세 번째 유형의 경우, 수지의 충전 중 마지막 코너 부분에서 미 충전이 예상되므로 보압을 필요로 할 것이라 예상된다. 이와 같은 결과는 동일 모델의 선행 연구에서 나타내었듯이 금형 내부의 수지충전 과정 중 수지의 정체가 발생하였기 때문이다[8]. 이상적인 수지의 충전은 금형 내에서 고르게 충전되어야 한다. Fig. 1의 첫 번째와 네 번째 유형의 경우에서 수지의 충전이 비교적 안정적인 상태로 진행되었



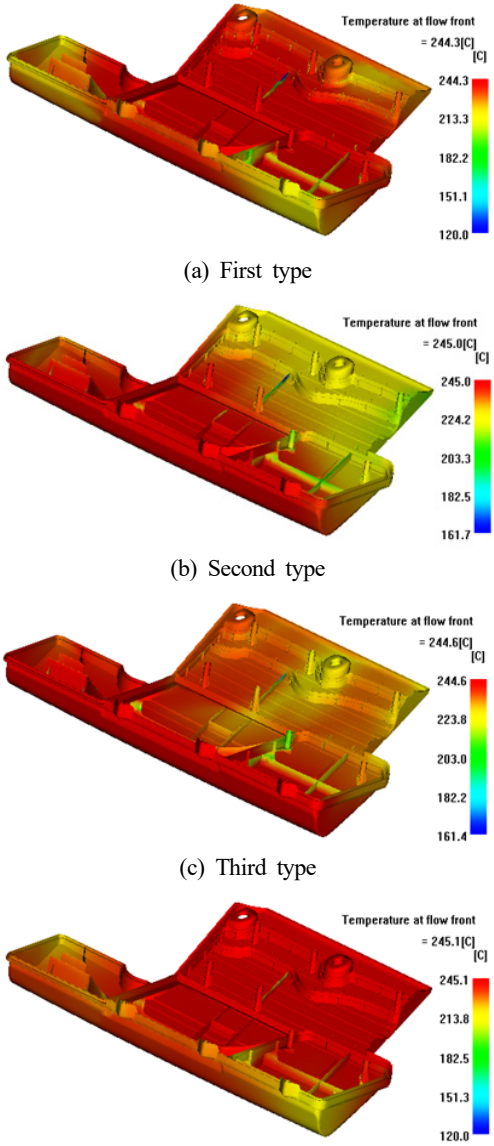
(a) First type

(b) Second type

(c) Third type

(d) Fourth type

Fig. 1 Pressure at V/P switchover



(a) First type

(b) Second type

(c) Third type

(d) Fourth type

Fig. 2 Heat distribution of injection molding

음을 확인하였다.

3.2 열 분포

Fig. 2는 금형 내에서 사출 성형품의 열 분포를 나타내고 있다.

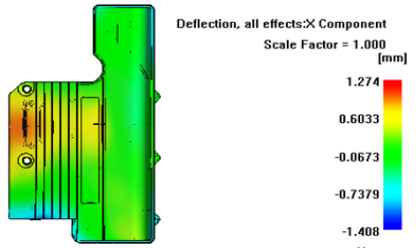
첫 번째와 세 번째 유형의 경우, 금형 내 수지의 유동에 따른 온도 분포가 전체적으로 큰 차이를 보이는 영역은 넓지 않은 것으로 나타났다. 또한 두께가 얇은 리브(rib) 부분에서 온도가 급격히 떨어지는 것으로 보이나 리브를 두껍게 하고 높이를 낮게 조절할 경우 온도의 급격한 하락을 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

3.3 변형량 분포

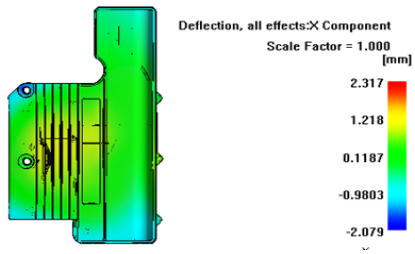
Fig. 3~5는 사출 성형해석을 통한 사출 성형품의 처짐에 의한 변형량 분포를 X, Y, Z의 3 방향으로 나타낸 것이다. Table 2는 그 결과를 정리하여 나타낸 것으로써 사출압력은 금형 내 수지의 충전을 위한 필요 압력으로써 수지의 유동저항과 연관된다. 사출압력과 형체력이 가장 낮은 첫 번째 유형이 수지의 유동성이 가장 좋고 형체력 또한 다른 유형보다 개선되었음을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 사출 성형해석을 통한 변형량 결과 중 X 방향에 대한 분포 변화를 나타낸 것이다. 첫 번째 유형의 경우에서 변형은 -1.408~1.274 mm의 크기로 발생하였고 음의 방향과 양의 방향 간 최대 변위의 차이는 2.682 mm이다. 두 번째 유형의 경우에는 -2.079~2.317 mm 크기로 변형이 발생하여 음과 양의 방향 간에는 4.396 mm의 변위 차이가 발생하였다.

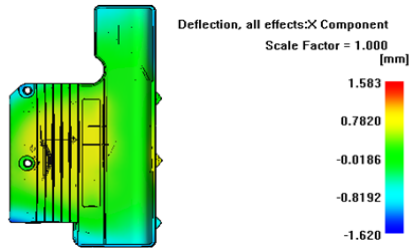
세 번째 유형에서 발생한 변형량은 -1.62~1.583 mm로 나타났



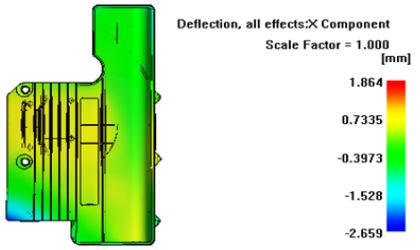
(a) First type



(b) Second type

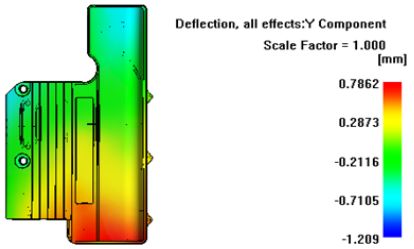


(c) Third type

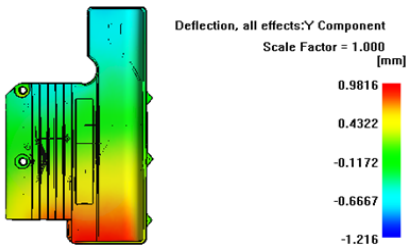


(d) Fourth type

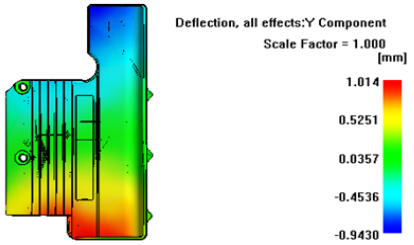
Fig. 3 Deformation of x-axis



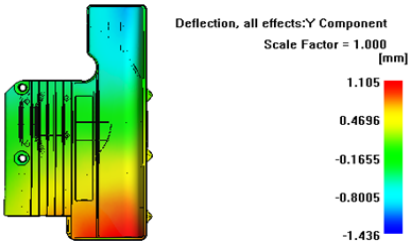
(a) First type



(b) Second type



(c) Third type



(d) Fourth type

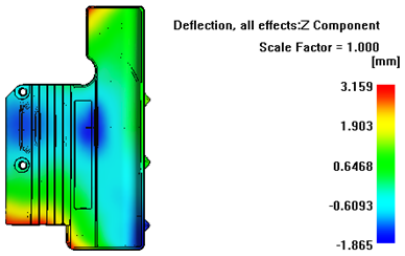
Fig. 4 Deformation of y-axis

으며 음과 양의 방향으로는 3.203 mm의 변위 차이가 있음을 확인하였다. 네 번째 유형에서는 -2.659~1.864 mm 크기로 변형량이 발생하였고, 음과 양 방향 간에는 4.523 mm의 변위 차이가 발생하는 것으로 나타났다. X 방향으로 발생하는 변형에 대한 분석 결과, 가장 큰 변위는 네 번째 유형의 경우에서 발생하였으며, 가장 작은 변위는 첫 번째 유형에서 발생하는 것으로 확인할 수 있다.

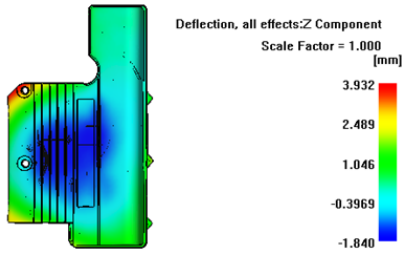
Fig. 4는 Y 방향으로의 변형에 대한 분포를 나타낸 것이다. 첫 번째 유형의 경우에서 변형은 -1.209~0.7862 mm의 범위 내에서 발생하여 음과 양의 방향 간에 최대 변위가 1.9952 mm인 것으로 나타났다. 두 번째 유형의 경우 -1.216~0.9816 mm 크기로 변형이 발생하여 음과 양의 방향 간에서 2.1976 mm의 변위 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 세 번째 유형에서는 -0.9430~1.014

Table 2 Conditions for each type and deformation in the X, Y, and Z directions

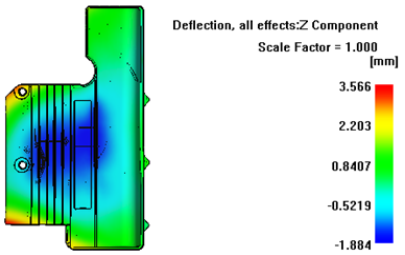
	First type	Second type	Third type	Fourth type
Filling stability	Possible to fill the part completely			
Injection pressure (MPa)	49	74	67	77
Clamping Force (Ton)	380	483	450	483
X-deflection (mm)	-1.408 ~1.274	-2.079 ~2.317	-1.62 ~1.583	-2.659 ~1.864
Y-deflection (mm)	-1.209 ~0.7862	-1.216 ~0.9816	-0.9430 ~1.014	-1.436 ~1.105
Z-deflection (mm)	-1.865 ~3.159	-1.840 ~3.932	-1.884 ~3.566	-2.412 ~5.903



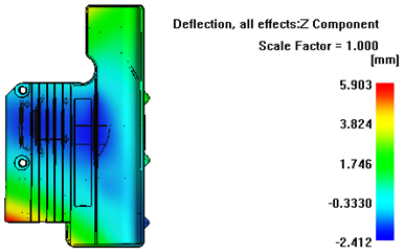
(a) First type



(b) Second type



(c) Third type



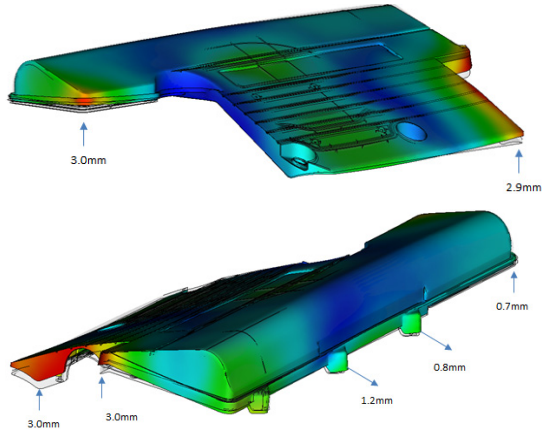
(d) Fourth type

Fig. 5 Deformation of z-axis

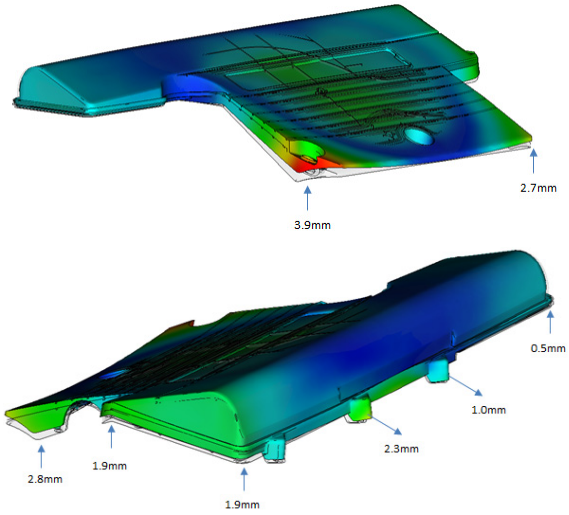
mm의 범위 내에서 변형이 발생하였으며 음과 양 방향 간에는 1.957 mm의 변위 차이가 발생하였다.

네 번째 유형의 경우에서는 -1.436~1.105 mm의 범위 내에서 변형이 발생하였고 음과 양 방향 간에는 2.541 mm의 변위 차이가 발생하였음을 확인하였다. Y 방향으로의 변형량 발생 결과, 가장 크게 변위를 발생시키는 경우는 네 번째 유형인 것으로 나타났으며 세 번째 유형에서 가장 작은 변위를 발생시키는 것으로 나타났다.

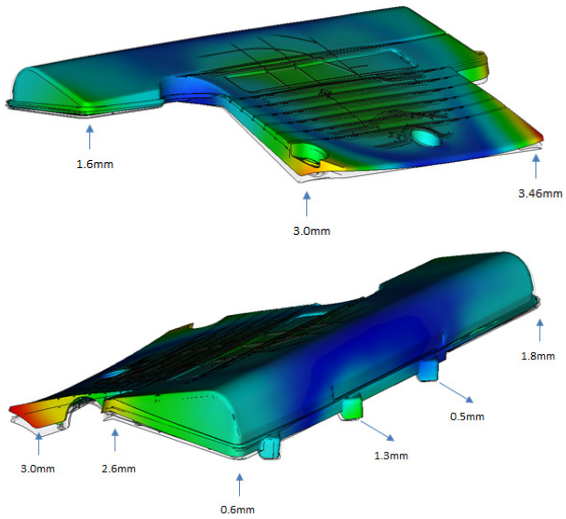
Z 방향에 대한 변형량 분포도는 Fig. 5에 나타내었다. 첫 번째 유형에서의 변형은 -1.865~3.159 mm의 범위에서 발생하였고, 음과 양의 방향 간에 최대 변위의 차이는 5.024 mm 발생하였다. 두 번째 유형의 경우 -1.840~3.932 mm의 크기로 변형이 발생하였음을 확인하였고 음과 양의 방향 간에 최대 5.772 mm의 변위 차이가 있음을 확인하였다. 세 번째 유형에서의 변형은 -1.884~3.566 mm의 범위에서 발생하였고 음과 양의 방향 간에 최대 5.45 mm의 변위



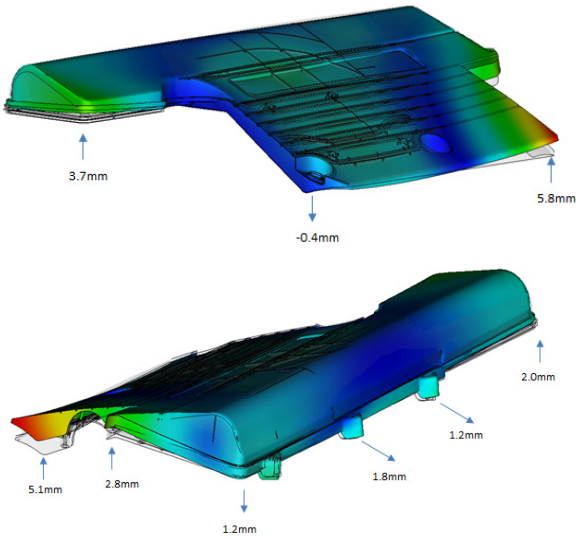
(a) First type



(b) Second type



(c) Third type



(d) Fourth type

Fig. 6 Deformation of the three dimensional form for each type

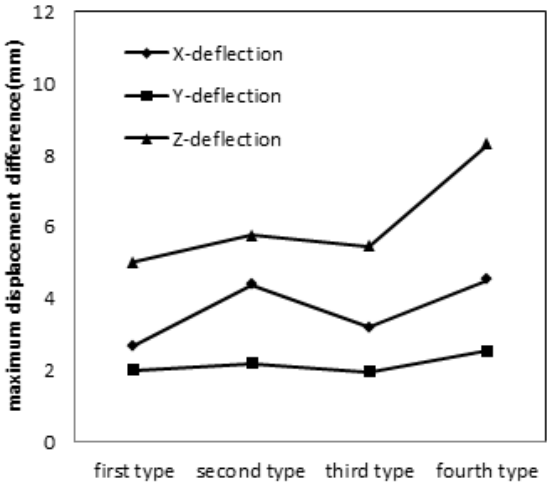


Fig. 7 Maximum displacement difference for each direction

차이가 발생하였다. 네 번째 유형에서 변형 발생은 2.412~5.903 mm의 범위 내에서 발생, 음과 양의 방향 간에는 최대 8.315 mm 변위 차이가 있음을 확인하였다. Z 방향으로의 변형량 분포를 분석한 결과, 가장 큰 변위는 네 번째 유형에서, 그리고 가장 작은 변위를 나타내는 것은 첫 번째 유형인 것으로 확인하였다.

Fig. 6은 각 유형에 대한 X, Y, Z 각 방향으로의 휨 변형의 크기를 3D 형태로 나타낸 것이다. 사출 성형품의 변형이 음과 양의 방향으로 크게 발생할수록 변위 차이를 더 크게 하므로 심미적 관점에서 품질을 떨어뜨린다. Fig. 7은 X, Y, Z 각 방향에 대한 각 유형별 최대 변위량을 나타낸 것이다.

X 방향으로의 최대 변위량 발생은 첫 번째 유형에서 가장 작게, 네 번째 유형에서 가장 크게 나타났다. Y 방향으로는 세 번째, 첫 번째, 두 번째, 네 번째의 순서로 작게 나타났고 각 유형에 대하여 변위량의 차이는 매우 작게 나타났다. Z 방향으로의 최대 변위량은 첫 번째, 세 번째, 두 번째, 네 번째의 순서로 작게 나타났으며, 비교적 네 번째의 경우에서 두드러지게 크게 발생하였다. 이와 같은 결과에서 알 수 있듯이 모든 경우에 대하여 Z 방향에서 최대 변위량의 크기가 가장 크게 발생한 것으로 나타났다. 변위량이 크게 발생한 부위는 두께가 비교적 얇은 부분에서 발생하였음을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구를 통한 게이트 위치의 적절한 설계변경은 수지의 유동성과 형체력 개선뿐만 아니라 사출 성형품의 변형 최소화를 달성할 수 있으며, 이를 통해 사출 성형품의 품질 개선에 기여할 수 있음을 확인하였다. 연구 결과, 금형 내 수지의 온도 분포와 사출 성형품의 변형과 관련하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 수지의 유동에 따른 온도 분포가 첫 번째와 세 번째 유형에서 비교적 양호하나 두께가 얇은 리브(rib) 부분에서 온도가 급격히 떨어질 것이 예상되므로 리브 두께 조절 및 리브의 높이를 낮게 조절하는 보강이 필요하다.

2. 두 번째와 네 번째 유형에서 상대적으로 온도 분포의 급격한 차이가 넓은 영역에서 발생하여 사출 성형 후 열응력의 불균형에 의한 제품의 변형이 예상된다.

3. 모든 유형에서 최대 변위량은 Z 방향에서 발생하였고 비교적 얇은 두께부를 갖는 부위에서 발생하였다. 특히 네 번째 유형에서 가장 크게 발생하였다.

4. 수지의 유동과 온도 분포, 변위량 발생 등을 고찰한 결과 첫 번째와 세 번째 유형에서 비교적 안정적인 사출 성형품이 제조될 수 있다.

References

[1] Kim, D. H., Lee, J. W., Kim, T. W., 2003, Effects of Mold Temperature on the Weldline and Dimensional Stability of Infection-molded Parts, J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc., 4:3 172-176.

[2] Woo, S. W., Park, S. H., 2016, Effects of Packing Pressure and Time on Injection Molding of Plastic Micro-channel Plates, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 25:3 224-229, https://doi.org/10.7735/ksmte.2016.25.3.224.

[3] Park, S. H., Lee, W. I., Moon, S. N., Yoo, Y. E., Cho, Y. H., 2011, Injection Molding Micro Patterns with High Aspect Ratio

Using a Polymeric Flexible Stamper, Express Polym. Lett., 5:11 950-958, https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2011.93.

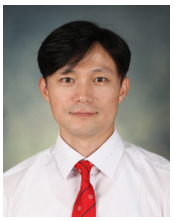
[4] Park, J. Y., Yoon, G. S., Lee, J. W., Choi, J. M., 2013, A Study on Deformation of LSR Injection Moldings Having the Runners with Same Flow Distance, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, 7:1 60-63.

[5] Yoon, S. J., Cho, Y. M., 2017, Injection Molding Analysis of Smart Phone Camera VCM Housing, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, 11:3 13-18.

[6] Jung, T. S., Jang, J. H., Kim, J. S., 2017, A Study on the Filling Pattern Imbalance by Width of Gate in the Thin Plate Injection Molding, Journal of the Korea Society of Die & Mold Engineering, 11:1 14-18.

[7] Ahn, D. G., Park, M. W., Kim, H. S., 2012, A Study on the Design of Cooling Channels of Injection Mould to Manufacture a Flat Part with a Partly Thick Volume, J. Korean Soc. Precis. Eng., 29:8 825-834, https://doi.org/10.7736/KSPE.2012.29.8.824.

[8] Jang, S. M., Kim, I. S., 2015, A Study on Decision of Gate Location for Injection Molding of Automobile Air Cleaner Upper Cover, J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc., 16:7 4411-4417, http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.7.4411.



Sung-Min Jang
Associate professor in the Department of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Technology. His research interest is injection molding and manufacturing.
E-mail: twkjsm@cst.ac.kr

Seung-Yub Baek
Professor in the Department of Mechanical Convergence Engineering, Induk University. His research interest is Machine Tool, Precision Machining and Green Manufacturing System.
E-mail: sybaek@induk.ac.kr