



게이트 위치선정이 휴대용 구강용품 사출성형에 미치는 영향

김대호^{a,*}, 김동환^b, 홍준희^c

Effect of Gate Positioning on Injection Molding of Portable Oral Products

Dae Ho Kim^{a,*}, Dong Hwan Kim^b, Jun Hee Hong^c^a Department of Research & Development, Daegu Precision^b Innovation Center for Smart Optics, Hanbat National University^c Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	8	July	2024
Revised	30	July	2024
Accepted	31	July	2024

Keywords:

Computer aided engineering
Injection mold
Root industry
Warpage

ABSTRACT

Products produced via injection molding, even if they have the same shape, can exhibit problems such as deformation and flow imbalance depending on the mold structure, which is determined by factors such as the gate location. In addition to problems with the product, there may be cases where the current mold design cannot be manufactured with the equipment the company has, and injection molding simulation is widely used to predict and prevent this.

In this study, to identify a suitable mold structure by analyzing the effect of the gate location of portable oral products produced via injection molding, a mold structure is adopted based on quantitative data obtained via injection-molding analysis. The results confirm that injection-molding analysis facilitates quality improvement.

1. 서론

금형을 활용한 사출성형은 다양한 형태와 크기의 제품을 효율적으로 생산할 수 있는 공정으로 국방, 자동차 등의 첨단 기술이 요구되는 부품에서 일상 생활용품에 이르기까지 대량생산에 적합하다. 다양한 산업군의 제조 공정 및 품질 경쟁력에 크게 영향을 미치는 공급 사슬의 바탕이 되는 기술로, 용접, 소성가공, 표면처리, 열처리, 주조와 함께 금형 산업을 뿌리산업으로 지정하여 국가적으로 육성, 관리하고 있다.

사출성형 공정으로 제작되는 플라스틱 제품은 금형 내에서 냉각되는 과정에서 발생하는 응력, 냉각과정에서 발생하는 수축 등 다양한 공정변수가 작용하여 변형이 발생하며, 이는 제품의 품질에 큰 영향을 미치게 된다. 정밀한 치수가 요구되지 않는 제품의 경우

표면 수축 현상(sink mark)이나 휨(warping)으로 인한 변형으로 정밀한 치수가 요구되는 부품의 경우 끼워맞춤 공차 관리 및 유체의 기밀 유지와 같은 기능적 문제로 인한 불만족을 야기하게 된다. 사출 성형품이 제작되는 과정에서 크게 응용 수지가 주입되는 게이트 위치, 밸런스과 같은 금형의 구조적 문제가 원인이 되는 경우와 같은 금형이라도, 사출 압력, 속도, 보압과 같은 사출성형 조건의 부적절한 설정이 있다. 특히 얇은 제품(두께 1 mm 이하)이나 미세 구조물과 같은 고기능성 부품이면서 특수한 형상을 가지는 제품일수록 사출성형 중 변형의 최소화 및 제품의 균일성 확보를 위해서는 보압과 보압의 유지시간을 적절하게 하여야 한다^[1].

대다수의 금형업체에서는 사출 성형품의 품질관리를 위해 사출 금형 제작 후 성형품을 직접 생산하여 테스트 및 보완하는 실험적 방식을 채택하고 있다. 이는 축적된 경험이 필요하며, 실험 결과에

* Corresponding author. Tel.: +82-42-622-5634

E-mail address: scv3323@naver.com (Dae Ho Kim).

따라 사출성형기에서의 조건 변경만이 아닌 제작된 금형을 수정 및 보완해야 하는 경우가 발생하며, 사출성형기 사양 결정에도 영향을 미치기 때문에 시간, 비용의 손실의 리스크가 있다. 이와 같은 애로점을 금형 제조업체에서는 설계 단계에서 CAE(computer aided engineering)을 활용하여 해석 결과에 따라 설계 변경을 함으로써 해결하고 있다. CAE는 연구/개발 단계에서 최적의 제품 생산을 위한 기법으로 사출성형으로 제작되는 제품의 사전 검토단계에서 적용할 수 있으므로 제작된 금형을 수정하는 시행착오법에 비해 경제적이고 효율적이며, 축적된 CAE 노하우는 플라스틱 제품의 품질 제고에 기여할 수 있다.

Park 등은 마이크로 패턴의 형상을 가지는 사출성형 제품의 변형이 보압의 영향에 의한 사출성형품의 수축에서 기인한다는 것을 실험적으로 확인하였다^[2]. Yoon 등은 스마트폰 카메라의 VCM (voice coil motor) 하우징의 사출성형 공정에서 게이트 위치 변화에 따른 사출 성형품의 변형량을 최소화 방안을 연구하였다^[3]. Park 등은 플라스틱 수지의 열적 팽창이 사출 성형품의 변형량 감소에 영향을 미칠 수 있음을 연구하였다^[4]. Jung 등은 박판의 고속 사출성형에서 게이트의 폭과 충전 밸런스와의 영향을 연구하여 게이트 폭과 충전 밸런스가 상호 비례관계에 있음을 확인하였다^[5]. Kim은 플라스틱 랙기어를 사출성형 하는 과정에서 발생하는 변형을 개선하기 위해 사출성형 해석으로 변형을 최소화하는 조건을 도출하고 시험 사출하여 확인하였다^[6]. 위에 서술한 연구자들의 사례와 같이 적절한 사출성형 조건을 찾기 위하여 사출성형 해석을 통하여 실제 변형 경향을 예측할 수 있으며, 생산자의 경험에 의존하여 발생할 수 있는 시행착오를 줄일 수 있다^[7].

본 연구에서는 자체적으로 개발한 휴대용 구강용품의 사출성형 공정에서 발생하는 영향을 분석하여 적합한 게이트 위치를 선정하기 위한 사출성형 해석을 수행하였다.

2. 실험장비 및 방법

본 연구에서는 사출성형 해석을 위한 상용 S/W로써 Solidworks Plastics를 사용하여 3종의 유형의 게이트 위치에 따른 휴대용 구강용품 제품의 사출성형 공정에서 발생하는 변형, 캐비티 내 사출 압력을 분석한다. 연구하고자 하는 제품은 휴대용 구강용품으로 Fig. 1의 형상을 지니며 86 mm x 54 mm의 크기를 가지며, 가장 두꺼운 부분의 두께가 0.9 mm, 가장 얇은 부분이 0.32 mm로 전체적인 형상이 얇은 제품에 속한다.

사출성형 해석에 사용된 수지는 한국폴리아세탈의 KEPITAL F30-03을 사용하였다. Fig. 2는 해석에 사용된 수지의 점도 특성을 나타내며, PVT 곡선은 Fig. 3과 같다.

형체력, 한계 사출압력과 같은 사출성형기에 관련한 설정은 Fig.

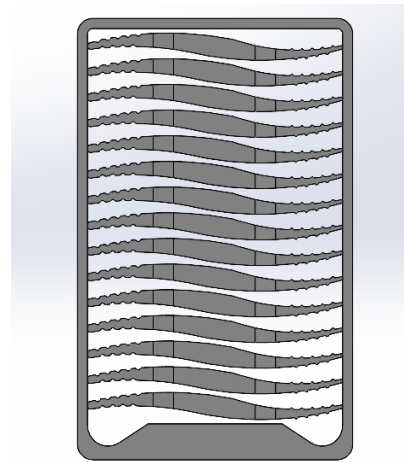


Fig. 1 Portable oral care product

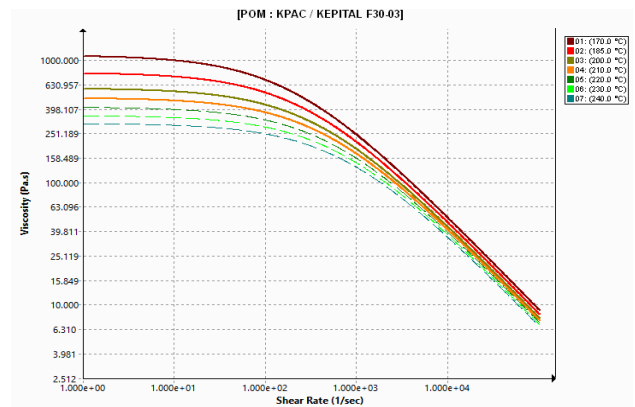


Fig. 2 Viscosity flow curve

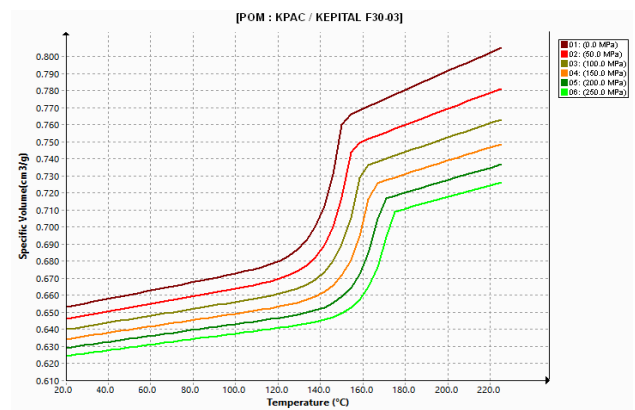


Fig. 3 PVT Curve

Table 1 Injection molding conditions for analysis

Factor	Value	Unit
Mold temperature	70	°C
Resin melting temperature	200	°C
Injection pressure limit	140	MPa
V/P switch	98% filled	-
Clamping force	120	ton

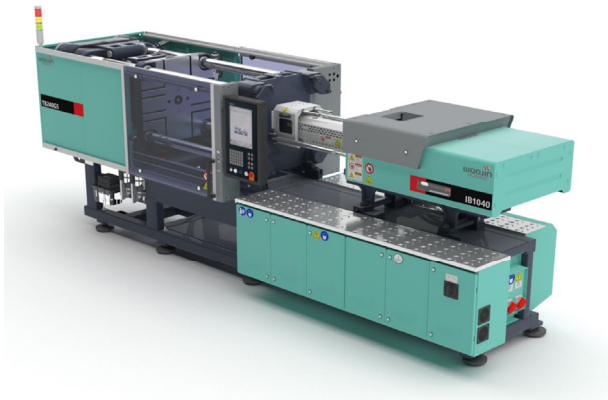


Fig. 4 Injection molding machine – TB120G5

Table 2 Mesh information for analysis

Factor	Case 1	Case 2	Case 3
Mesh type	Solid, Tetrahedral hybrid mesh		
Elements	493,830	493,947	493,764
Nodes	158,049	158,083	158,029

2과 같은 외관의 하이브리드 사출성형기인 TB120G5(우진플라임: 대한민국)를 기준으로 Table 1과 같이 설정하였다.

게이트 위치는 총 3가지 유형으로, Case 1은 게이트를 2개 설치하여 금형가공을 최소화하기 위해 배치한 것이며, Case 2는 x, y 축선을 따라 4개의 게이트를 배치하였고, Case 3 유형은 (b)와 유사하게 4개의 게이트를 배치하였으나 각 2개의 게이트를 측면에 배치한 것이다.

CAE를 위한 Case 별 메쉬 정보를 Table 2에 정리하였다.

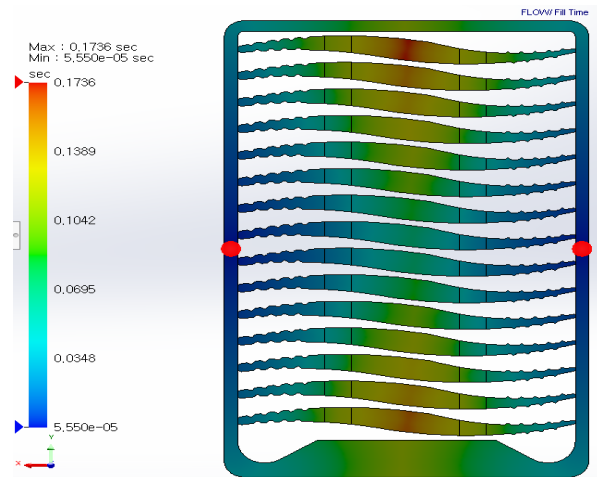
3. 성형해석 결과 및 고찰

본 연구에서는 게이트의 위치 변화에 따라 수지가 금형에 충전되는 과정에서 발생하는 압력과 유동 선단에서의 온도 분포를 확인하였다. 모든 유형에서 게이트 위치는 실제 소비자가 사용하는 부분을 피하여 설치하였다. Fig. 5는 사출 성형시간에 따른 충전 패턴을 나타낸다. Case 1이 1.7 sec, Case 2, 3 이 약 1.5 sec의 충전 시간이 예측됨을 확인할 수 있었다. 이는 게이트 개수에 따른 것으로 시간 차이로 통상적으로 예측할 수 있는 결과이다.

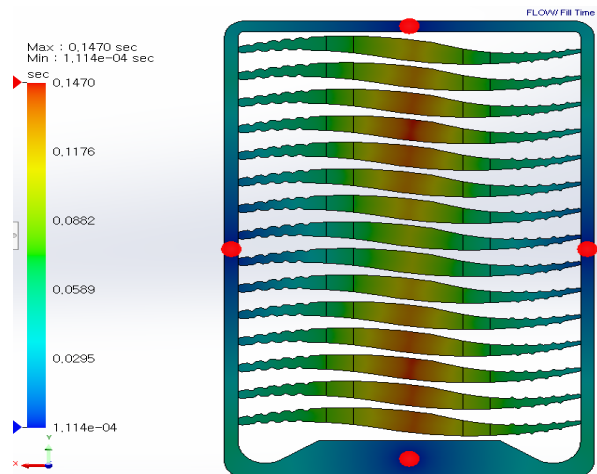
Fig. 6은 충전에서 보압으로 전환되는 시점에서의 압력 분포를 나타내며, 3가지 유형에서, Case 3을 제외한 Case 1, 2에서 장비의 최대 사출 압력인 140 MPa가 발생하였으며, 이는 현재 설정한 사출성형기의 최대 압력 수준이다.

수지 용융온도 및 금형온도 조건을 변경하거나, 사출성형기의 사양을 재검토하는 것이 적합함을 알 수 있다.

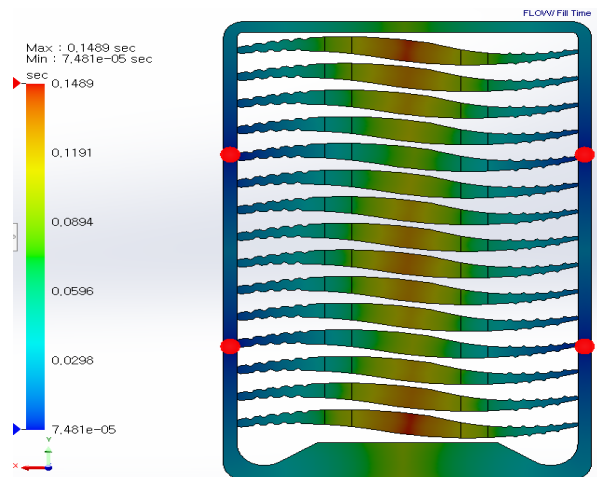
Fig. 7은 유동 선단 온도 분포를 나타낸다. 금형 내에 수지가



Case 1 : 2 gate



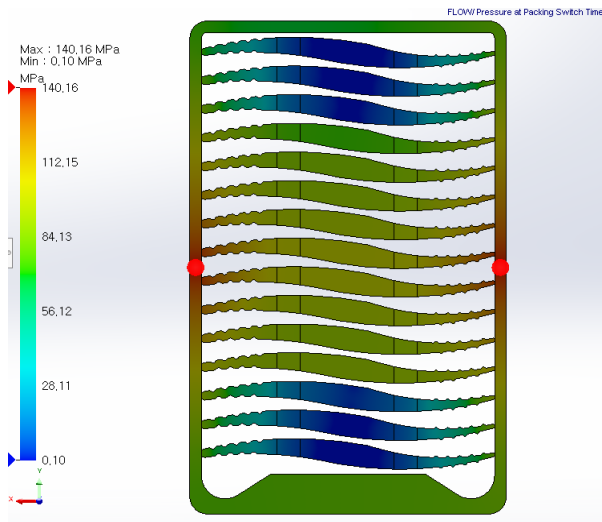
Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



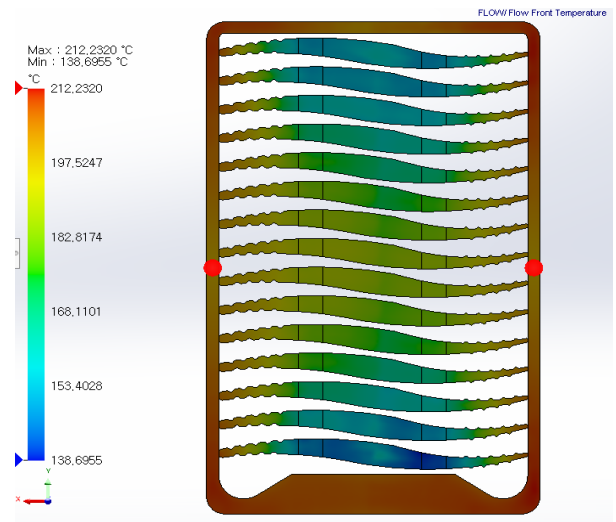
Case 3 : 4 gate located frame side

Fig. 5 Filling pattern analysis according to injection time

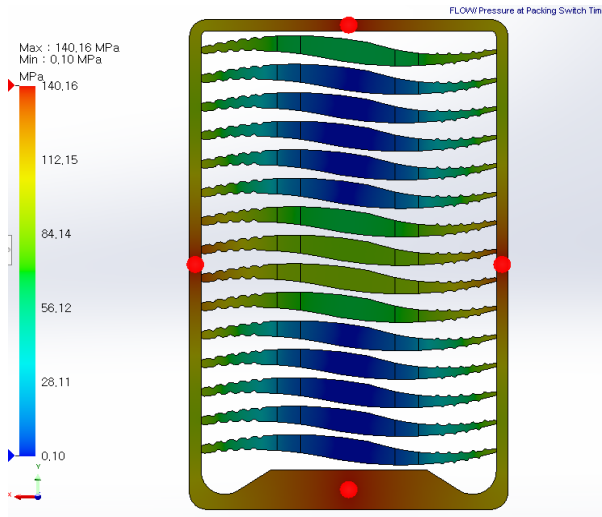
충진되는 과정에서 온도가 감소하는 경우가 많으며, 너무 낮은 경우, 성형 불량이가 발생할 수 있다. 해석 결과 모든 유형에서 오히려 수지의 용융 온도인 200 °C보다 높은 선단 온도가 발생하여, 이는



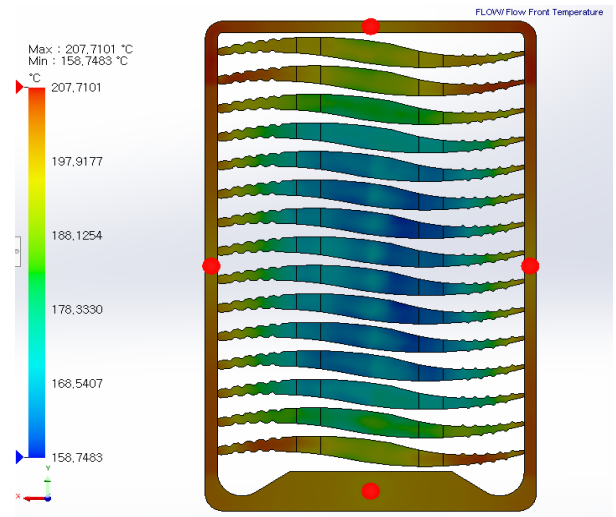
Case 1 : 2 gate



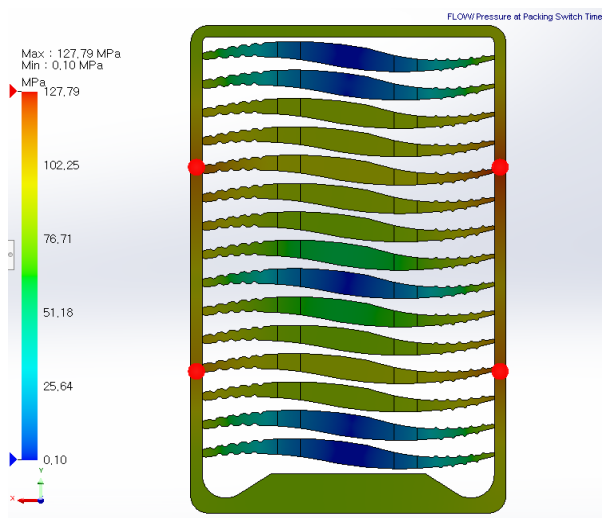
Case 1 : 2 gate



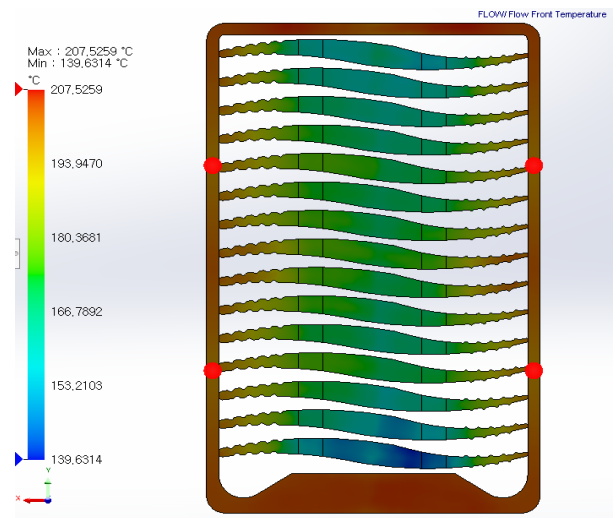
Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



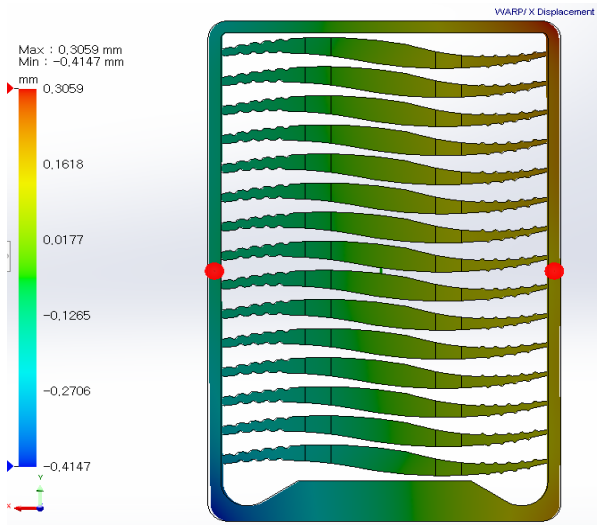
Case 3 : 4 gate located frame side



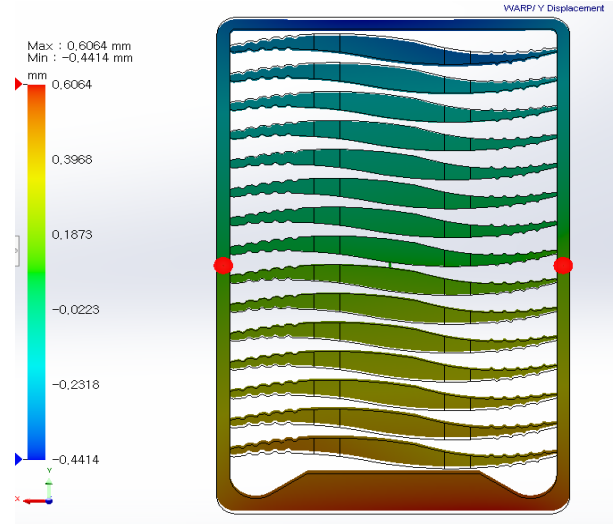
Case 3 : 4 gate located frame side

Fig. 6 Pressure distribution at V/P switch over

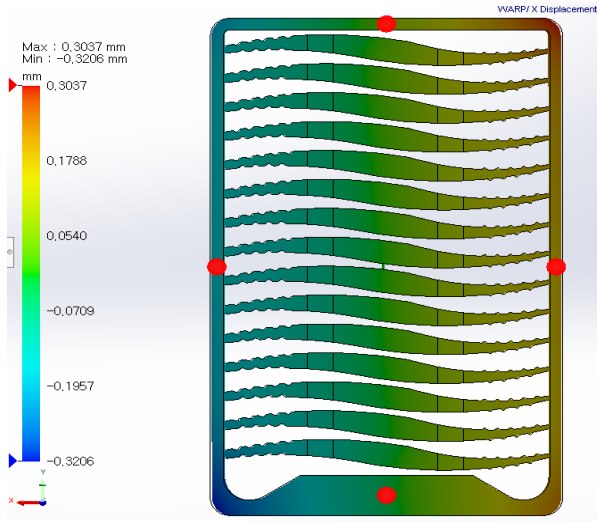
Fig. 7 Temperature at flow front



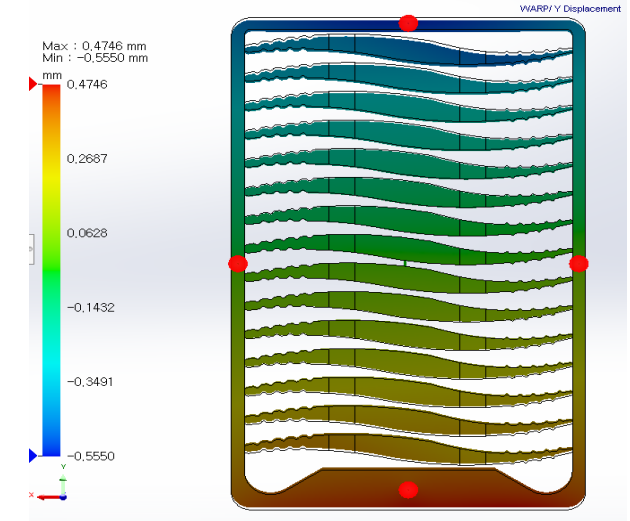
Case 1 : 2 gate



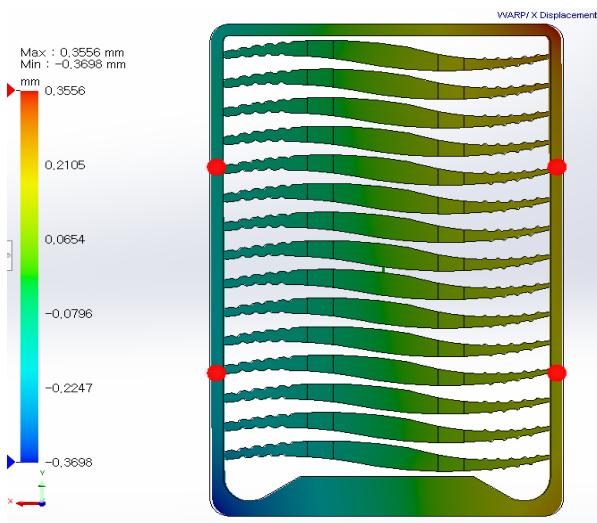
Case 1 : 2 gate



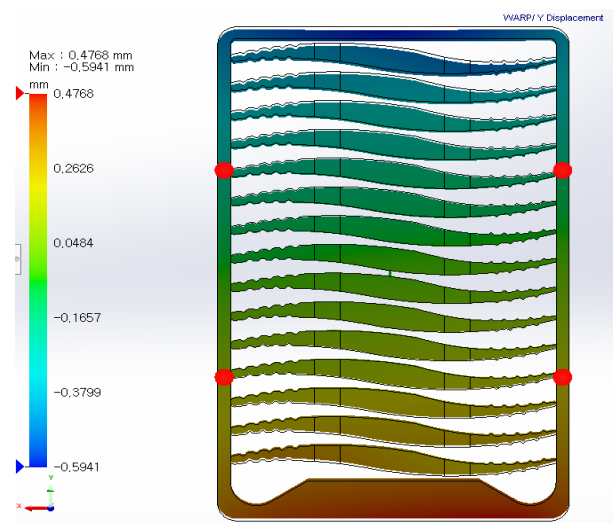
Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



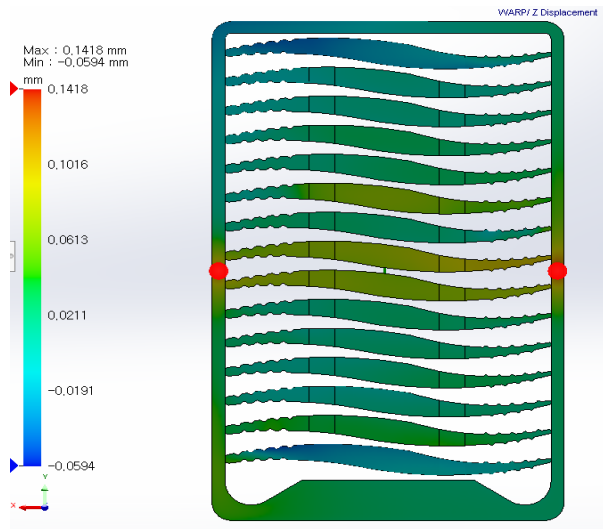
Case 3 : 4 gate located frame side



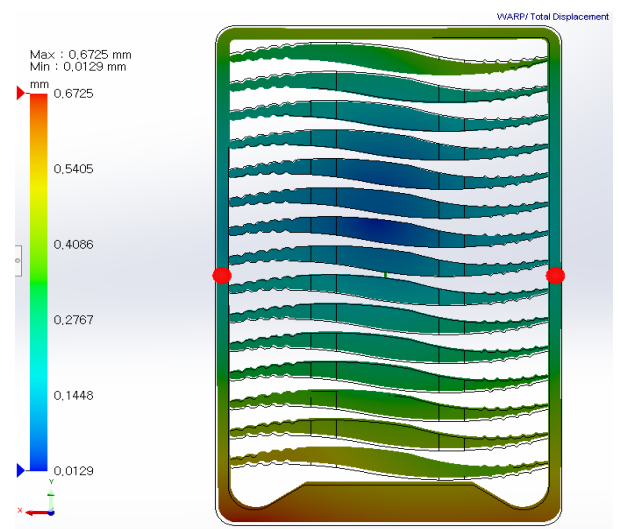
Case 3 : 4 gate located frame side

Fig. 8 Deformation in the X-axis direction

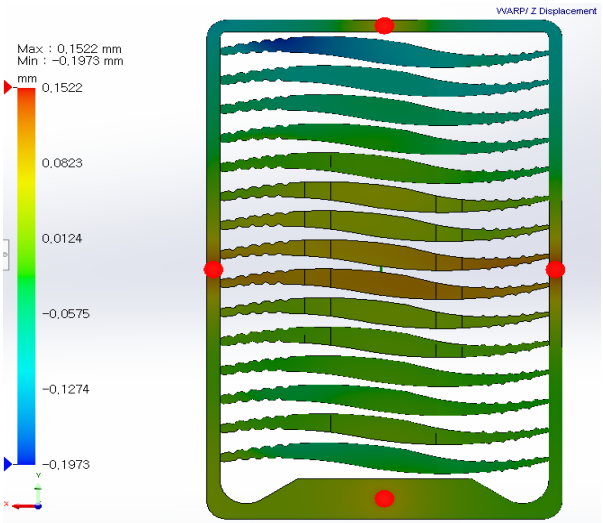
Fig. 9 Deformation in the Y-axis direction



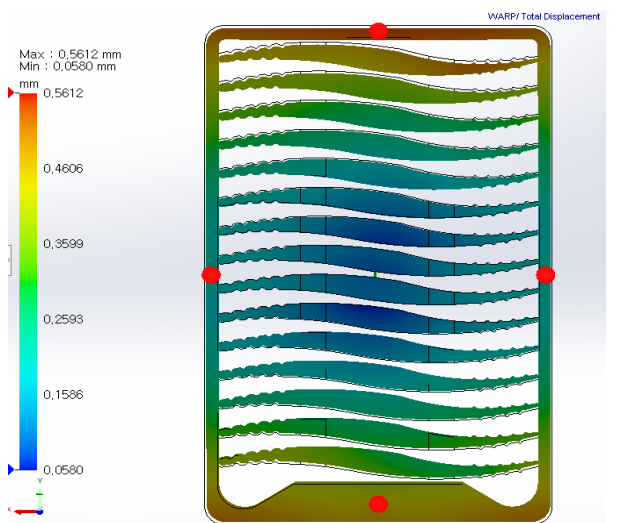
Case 1 : 2 gate



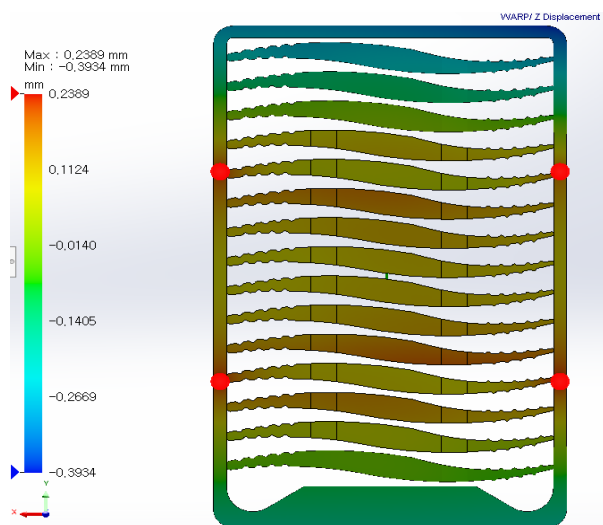
Case 1 : 2 gate



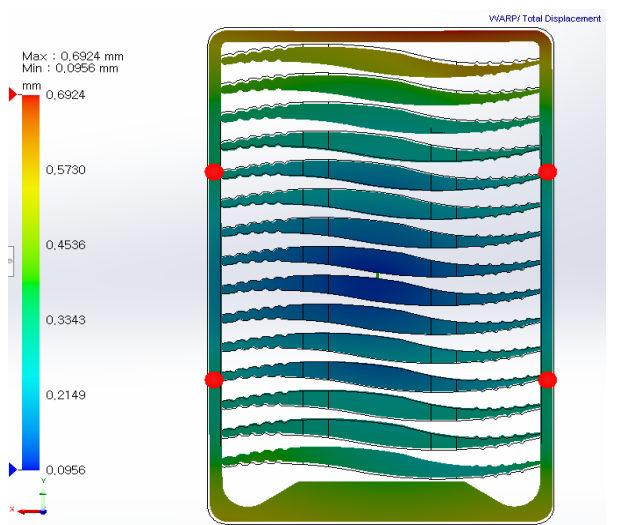
Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



Case 2 : 4 gate located along the x, y axis



Case 3 : 4 gate located frame side



Case 3 : 4 gate located frame side

Fig. 10 Deformation in the Z-axis direction

Fig. 11 Deformation of three dimensional

Table 3 Injection molding conditions for analysis

Factor	Case 1	Case 2	Case 3
Filling time (sec)	0.17	0.15	0.15
Injection pressure at V/P switch over (MPa)	140.16	140.16	127.79
Deformation x (mm)	-0.41~ 0.31 (0.72)	-0.32~ 0.3 (0.62)	-0.37~ 0.36 (0.73)
Deformation y (mm)	-0.44~ 0.61 (1.05)	-0.56~ 0.47 (1.03)	-0.59~ 0.48 (1.07)
Deformation z (mm)	-0.06~ 0.14 (0.2)	-0.2~ 0.15 (0.35)	-0.39~ 0.24 (0.63)
Deformation 3d (mm)	0.01~ 0.67 (0.66)	0.06~ 0.56 (0.5)	0.1~ 0.69 (0.6)

유동하는 과정에서 전단 가열이 일어나는 경우로 판단할 수 있다.

Fig. 8~10은 각각 X, Y, Z방향의 변형량 분포이며 Fig. 11은 3차원 변형량 분포이다.

총 세 가지 유형의 사출성형 해석을 진행하였고, 실험 결과를 Table 3에 정리하였다. 결과 값은 소수점 셋째 자리에서 반 올림하였다.

사출성형 해석 결과, Case 2 유형에서 변형이 가장 적게 발생하여 우수하였다. 하지만 Case 1, 2 유형에서 현재 설정한 사출성형 조건(수지 용융 온도 200 °C, 금형 온도 70 °C)에서는 보압 전환 시점에서 실험에서 사용한 사출성형기의 최대 사출 압력인 140 MPa에 가까운 압력이 요구되어, 현재 사출성형 조건에서는 Case 3만이 보압전환 시점에서의 압력으로 인한 문제가 없이 성형이 가능함을 확인하였고, 이를 개선하기 위하여 사출성형기 사양을 변경하거나, 수지 용융 온도, 금형 온도의 조건을 변경해야 함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 사출성형 공정으로 양산되는 휴대용 구강용품의 개발과정에서 게이트 위치에 따라 제품의 변형, 사출성형 과정에서 충전에서 보압으로 전환되는 시점의 압력 등을 분석하여, 적합한 게이트 위치 및 개수를 결정하고, 사출성형기 사양이 적합한지 검토하기 위해 사출성형 해석을 진행하였다. 총 3개의 유형의 게이트 위치에 대한 사출성형 해석 결과, 변형만을 고려하였을 때, 4개의 게이트를 중심을 기준으로 X, Y 축선으로 배치한 Case 2가 변형이 가장 적었으나, 보압으로 전환되는 시점에서 선정한 사출성형기(TB-120G5)의 최대 사출 압력과 유사한 압력이 소요되어,

현재의 사출성형기의 사양을 변경하거나, 사출성형 조건을 변경해야 함을 확인하였다.

이번 연구에서는 사출성형 공정으로 생산하는 제품의 사출성형 해석을 통하여 정량적인 데이터를 기반으로 금형 구조, 사출성형 조건을 분석하고, 개선 방안을 찾아가는 과정을 제안하였다. 차후에는 이러한 프로세스를 기반으로 양산 중인 제품의 품질 개선을 실현하고자 한다.

후 기

본 논문은 대전테크노파크에서 지원하는 [2024 뿌리산업 활성화 지원사업]의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 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>.
- [2] 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>.
- [3] Yoon, S. J., Cho, Y. M., 2017, Injection Molding Analysis of Smart Phone Camera VCM Housing, Design & Manufacturing, 11:3 13-18.
- [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, Design & Manufacturing, 7:1 60-63.
- [5] 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, Design & Manufacturing, 11:1 14-18.
- [6] Kim, H. K., 2020, A Study on Injection Molding Analysis of a Plastic Rack Gear, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., 19:8 50-55, <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2020.19.08.050>.
- [7] Han, S. R., 2017, A Study on the Deformation Optimization of a Plastic Bezel Assembled on the Steering Wheel of an Automobiles, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., 16:5 105-112, <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2017.16.5.105>.
- [8] Wi, E. C., Ko, M. S., Yun, Y. S., Baek, S. Y., Lee, J. B., Kim, M. S., Jang, S. M., 2022, Analysis of the Injection Molding Process for an Eco-pump Module Formed from Eco-friendly Materials,

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 31:1 70-76, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2022.31.1.70>.



Dae Ho Kim

He is currently working as the Head of Research and Development at Daegy Precision.

His research interest is PDM, CAD/CAM, and Injection Mold.

E-mail: scv3323@naver.com



Dong Hwan Kim

He is working as Researcher at the Hanbat National University's innovation Center for Smart optics.

His research interest in Ultra-precision Processing.

E-mail: kimdh91@hanbat.ac.kr



Jun Hee Hong

Professor in the School of Mechanical Engineering, Chungnam National University.

His research interest is Intelligent Measurement.

E-mail: hongjh@cnu.ac.kr