

친환경 소재를 이용한 화장품 쿠션 팩트 용기의 힌지 설계와 사출 성형 시뮬레이션

정성택^{1,4} · 김현정^{1,3} · 위은찬^{1,3} · 이중배² · 김민수² · 백승엽[†]

인덕대학교 융합기계공학과^{1,†}

(주)이루팩²

서울과학기술대학교 기계설계로봇공학과³

인하대학교 기계공학과⁴

Hinge Design and Injection Molding Simulation of Cosmetic Cushion Fact Container Using Eco-Friendly Materials

Sung-Taek Jung¹ · Hyun-Jeong Kim¹ · Eun-Chan Wi¹ · Min-Su Kim² ·

Joong-Bae Lee² · Seung-Yub Baek[†]

Department of Mechanical Convergence Engineering, Induk University^{1,†}

ILLUPACK Co., Ltd.²

Department of Mechanical Design Robotics Engineering, Seoul National University of Science And Technology³

Department of Mechanical Engineering, Inha University⁴

(Received September 10, 2019 / Revised September 26, 2019 / Accepted September 30, 2019)

Abstract: As the consumer market in the cosmetic, vehicle manufacturing and aerospace industries grows, the demand for manufacturing industries using on injection mold technology. Also, such manufacturing technology of metal machining is expensive, and the shape is limited. Cosmetic cushion fact products are divided into outer relevant to the exterior of the product and inner containers containing the actual contents. In the case of the inner container, it needs to be combined with the upper and lower cases. As environmental regulations are strengthened internationally, the use of a large number of component parts can result in significant losses in recycling and economics. Therefore, this study aims to perform injection molding analysis through injection molding simulation to develop a cushion fact container that can be recycled through the unification of products and materials using polypropylene to cope with environmental regulations. In the case of injection molding conditions, Injection Time(sec): 4.5, Cooling Time(sec): 13, Resin Temperature(°C): 240, and Pressure(MPa): 30 were determined. The results of injection molding simulation according to the two design methods were compared with the sync mark which shows the problem of filling and injection molding.

Key Words: Cosmetic Cushion Pact, Eco-friendly Material, Injection Mold, Injection Simulation, PP(Polypropylene)

1. 서 론

사출 금형(Injection Mold) 기술을 적용한 제조 기술은 다양한 산업 분야에서 사용되고 있으며 특히,

일상생활에서 가전제품, 자동차, 화장품에 많이 접하고 있다. 사출 금형의 기술은 오랜 기간 동안 수많은 연구자들이 시행착오와 다양한 연구 방법을 제시하여 산업 분야에 근간을 이루고 있다. 사출 기술은 대량 생산에 가장 적합한 기술이며 초기 투자 비용은 많이 들어갈 수 있으나 장기적인 측면으로 살펴볼 때 경제적 측면이 높다.

1. 인덕대학교 융합기계공학과

† 교신저자: 인덕대학교 융합기계공학과

E-mail: sybaek@induk.ac.kr

최근 들어 지구 온난화(Global Warming)와 환경 오염에 대한 문제로 인해 국제적으로 환경 규제(Environmental Regulation)에 대한 법규가 강화되는 추세이다. 이러한 문제들은 다음과 같은 문제로 시작된다. 수 많이 쌓여 지는 제품 폐기물과 폐기 비용 처리에 대한 경제적 부담과 환경오염으로 발생 되는 오염물질을 고려하지 않을 수 없다. 이러한 산업 분야의 트렌드를 고려하여 환경 규제에 대응하기 위한 친환경 소재(Eco-Friendly Material)를 적용한 사출 성형 공정 연구를 시작하였다.

사출 성형 분야가 다양한 만큼 모든 기술을 다룰 수 없으므로 여성 화장품(Cosmetic)에서 기초 메이크업 뷰티(Make-up Beauty)로 가장 선호 받는 쿠션 팩트(Cushion Pact)를 설계하고 시성형 전 사출 성형 시뮬레이션으로 성형공정에 대하여 다루고자 한다. 김선경¹⁾과 박근²⁾은 금형의 대류열전달(Convective Heat transfer) 특성에 대하여 분석하기 위해 수치 해석을 수행하여 방법을 제시 하였으며, 안동규³⁾는 진공 열성형 해석을 통해 냉장고 내상의 진공 열 성형 특성을 분석하여 제품의 변형 형상에 대하여 제시 하였다. 사출 금형 기술을 이러한 기술 사례 말고도 금형 코어 및 이중사출에 대한 연구도 수행하고 있는 추세이다. 이중사출의 경우 특히, 일상생활에서 많이 찾아볼 수 있는 마우스, 키보드이며 성형 결과물을 합치는 방식이다^{4,7)}.

사출 성형의 불량에 대한 요인은 여러 가지가 있으나, 대표적으로 웰드라인(Weld Line), 플로우 마크(Flow Mark), 싱크마크(Sink Mark) 등이 존재한다. 지난 연구자들은 사출 성형의 불량의 요인을 줄이기 위해 실험계획법(Experiment Design)을 통하여 요인 분석과 살 두께에 따라서 성형 불량에 대한 문제점을 개선하는 연구들이 진행되어왔다. 또한 게이트 위치에 따라서 발생 되는 수지 충전 밸런스에 대하여 연구들이 진행되고 있다⁸⁻¹⁰⁾.

이에 본 연구에서는 지금까지 수행되어온 수많은 연구자들의 사례와 친환경 문제를 고려하여 소재 유니화 및 제품 용기의 일체형 단일 용기를 반영하여 사출 성형 시뮬레이션을 수행하고자 하며, 일체형 구조로 설계 제작이 이루어지기 때문에 개폐 방식을 두가지 방식으로 설계를 수행하였다. flat 방식과 나비 형태의 구조를 가지는 모델에 따라 시성형 전 사출 성형 분석을 수행하고 설계 모델에 대하여 연구를 수행하고자 한다.

2. 친환경 소재를 이용한 쿠션 팩트

2.1. 환경 규제에 대응하기 위한 문제 분석

소비자의 사용 빈도에 따라 내용물의 보관 기간이 달라지나, 일반적으로 제조 후 밀폐상태에서 3년까지 성장 유지가 되어야 하며, 개봉하여 사용 할 경우 최소 1년 ~ 1년 6개월까지 내용물의 안정성이 확보되어야 한다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 (a)와 (b)는 화장품 쿠션 팩트에 대한 밀폐구조에 대하여 나타 내었다. 밀폐구조를 가진 제품 디자인은 성형 및 공정 흐름에 따라 불량률이 높아지면서 생산성이 저하되며, 밀폐기능의 장기적인 유지가 어려워 제품 신뢰도 저하를 초래 할 수 있다. 국제적으로 환경 규제가 강화됨에 따라 폐기물에 대한 심각 있으며, 이에 재활용을 하기 위한 제품 공정 연구들이 수행 되고 있다.

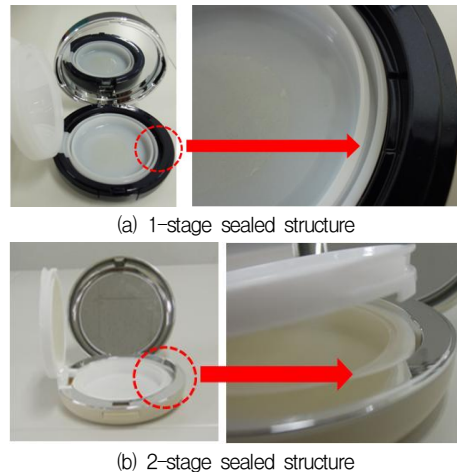
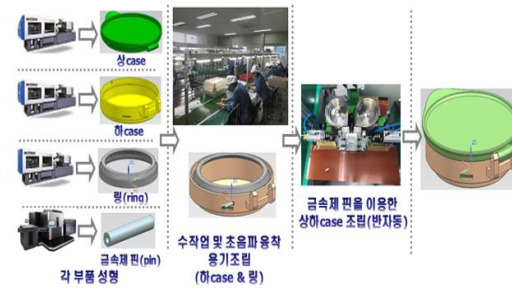


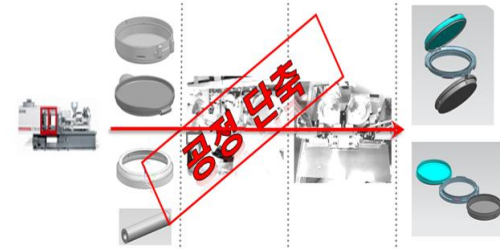
Fig. 1 Design analysis of existing cushion pact

2.2. 쿠션 팩트 용기 설계

Fig. 2 (a)와 (b)에서 보이는 바와 같이 기존 쿠션 팩트 용기 제작 과정에 대한 모습을 보이고 있으며, (b)의 경우 요소 부품수를 줄이기 위해 사출 공정을 통해 제품 단일화와 소재 단일화를 통해 공정을 줄이고자 한다. 사출 성형 기술을 활용하면 기존 쿠션 팩트 용기제품에 비해 다양한 디자인과 기능성의 제품 생산이 가능함은 물론 공정혁신을 통해 원가 및 환경오염 물질 배출 등을 획기적으로 저감시킬 수 있는 시너지 효과를 볼 수 있다.



(a) Existing Process (Multi-Part Molding / Assembling)



(b) Cushion Pact of hinge in butterfly shape

Fig. 2 Comparison of manufacturing in Cushion Pact Containers

일체형 구조의 쿠션 팩트 용기 설계에 대한 3차원 형상의 모습을 Fig. 3에서 나타내었다. 제품 설계의 경우 힌지(Hinge) 부분이 평평한(Flat) 구조의 부분과 나비(butterfly) 모양의 형상을 가지는 제품을 설계하였다. 나비 모양의 힌지는 개폐 시 힌지가 휘어짐의 현상을 방지하기 위해 설계를 수행하였다. 또한, 리브 두께 보강과 개폐-작동성을 확보하기 위한 손잡이 부분을 사각 타입으로 설계 변경을 수행하였다. 이는 중체와 결합되어 커버(cover)를 개폐시키는 힌지 부위의 강도가 약해 쉽게 비틀어지고 끊어짐을 방지하기 위해 살 두께와 형상에 대한 부분을 보강하였다.

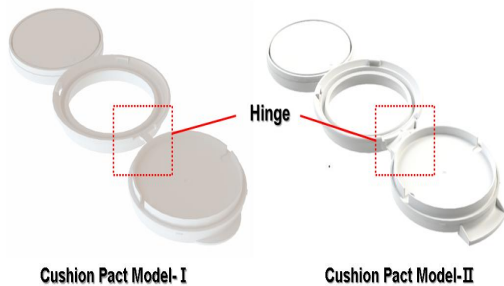


Fig. 3 3D-injection simulation modeling design

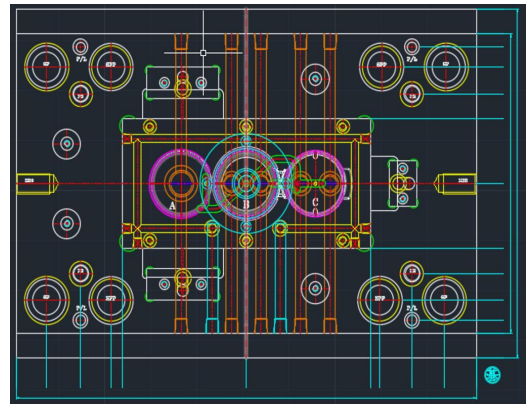


Fig. 4 2D-injection mold system

Fig. 4의 경우 사출 금형 설계에 대한 사진의 모습을 보였다. 시성형 전 금형 설계에 대한 금형 core와 러너 및 냉각 채널(Cooling Channel)에 대한 설계를 수행하였고, 단일 소재로 별도의 분리 없이 재활용성을 높이기 위해 단일 공정을 수행하고자 금형의 캐비티(Cavity) 수는 한 개를 사용하여 금형 설계를 수행하였다. 캐비티 설계의 중요성은 시성형 후 밀폐성능에 대한 문제와 작동에 대한 성능 테스트에서 발생하는 문제들이 있으므로 금형 제작 시 면밀한 검토가 필요하다.

3. 플라스틱 사출 성형 시뮬레이션

쿠션 팩트 내용기 구성부품을 단일 소재로 제작하기 위해서는 각 부품별로 담당하는 기능을 우선 분석하여 해당 기능을 구현하기 위해 소재 측면에서 확보되어야 할 수준 분석이 필요하며, 이 경우 높은 수준의 기계적 물성이 확보되어야 하는 부품에 적용 가능한 소재를 기준으로 단일 소재화를 진행해야 한다.

단일 소재를 수행하기 위해 본 연구에서는 수지 소재를 PP로 선정하였고, 이에 대한 물성 자료를 Fig. 5에서 나타내고 있다. 또한, 금형 소재에 대한 사출 성형 시뮬레이션을 수행하기 위한 성형 조건(사출 시간(Injection Time): 4.5 sec, 냉각 시간(Cooling Time): 13 sec, 온도(Temperature): 240 ℃, 압력(Pressure): 30 MPa)은 Table 1에서 보이는 바와 같이 정하였다. 성형 분석을 수행하기 위한 시뮬레이션은 Solidworks 2017 plastic study를 사용하여 사출 시뮬레이션을 수행하였다.

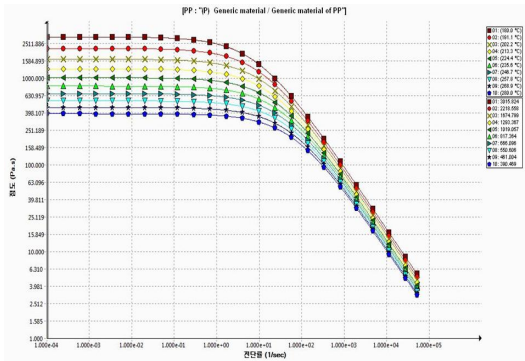


Fig. 5 Mechanical properties of PP material

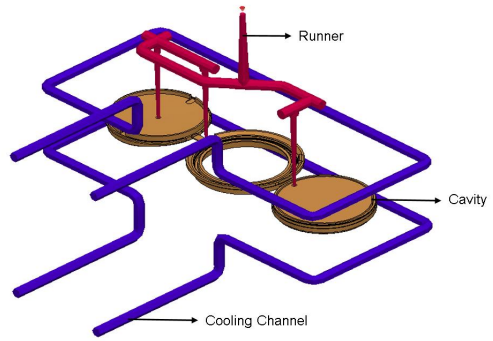
Table 1 Injection process parameters

Process	Value
Injection time (sec)	4.5
Cooling time (sec)	13
Temperature (°C)	240
Pressure (MPa)	30

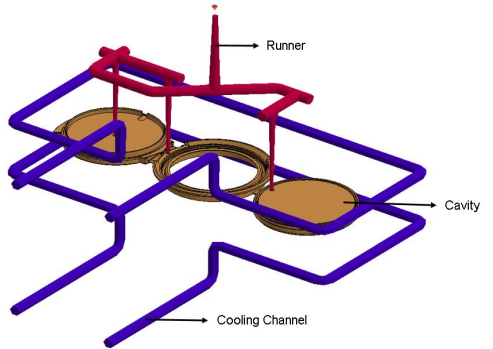
Fig. 6에서는 다음과 같이 러너(Runner)와 냉각 채널(Cooling Channel)의 금형 구조를 나타내고 있다. (a)는 flat 모양의 힌지 구조를 가지는 용기를 사출하기 위한 금형 설계 구조를 보였고, (b)는 나비 모양의 힌지 구조를 가지는 내용기에 대한 금형 설계 구조의 모습을 나타내고 있다.

냉각 채널의 경우 냉각 효과가 가장 좋은 난류 현상의 물을 사용하였고, 두 설계 제품에 대한 금형의 러너와 스프루(Sprue) 설계 구조를 실제 금형 구조와 동일한 구조로 시뮬레이션을 수행하였고, 러너 5.5 mm, 냉각 채널 크기 7.5 mm로 설계하였다. 수지가 들어가기 위한 게이트 위치는 각 중앙에 위치하는 부분에 3개의 포인트를 설정하였다. 또한, 사출 직경에 대한 크기는 3.5 mm로 동일하게 부가하였다.

사출 성형 시뮬레이션을 예측하기 위해 화장품 용기 부분의 매쉬(Mesh)의 값을 계산이 필요하다. 따라서 본 설계에 대한 요소(Element)를 300만개와 절점수를 200만개로 계산하여 경계조건을 부가하였다. 나비 구조의 힌지를 가지는 모델의 경우 내용기의 사이즈와 두께가 크기 때문에 요소의 계수가 많이 필요하다. 따라서 요소를 500만개와 절점수를 300만개로 계산하여 사출 성형 해석을 수행하였다.



(a) Cushion Pact of hinge in flat shape



(b) Cushion Pact of hinge in butterfly shape

Fig. 6 Mold design model for injection molding in (a) flat hinge and (b) butterfly hinge

4. 사출 성형 시뮬레이션 결과

단일 소재 및 힌지 구조에 따른 화장품 쿠션 팩트에 대한 사출 성형 시뮬레이션 결과를 Fig. 7에서 예측 결과를 각각 보이고 있다. (a)는 사출 충전에 대한 결과를 보였으며, (b)는 사출 성형의 불량 요소로 적용되는 싱크마크(Sink Mark)에 대하여 비교를 보였다. 또한 (c)의 경우 수지 충전에 대한 모습을 확인하기 위한 백터를 확인하였다. 화장품 용기의 성형 결과 사출 성형 조건에서 미 충전 된 부분이 없이 완충된 결과를 보였으며, flat 타입 모델의 경우 충전 밸런스가 부족한 반면에 나비 구조의 설계 타입은 수지 충전 밸런스가 좋은 것으로 예측되었다. 두 모델에 대한 사출 성형 시뮬레이션의 변형률은 최대 약 1 mm 정도 변형이 이루어지는 것을 예측하였으며, 성형 불량 요소로 보이는 웰드라인(Weld Line)은 성형 결과에서 확인되지 않아 사출 성형 조건에 타당성이 있다고 사료 된다.

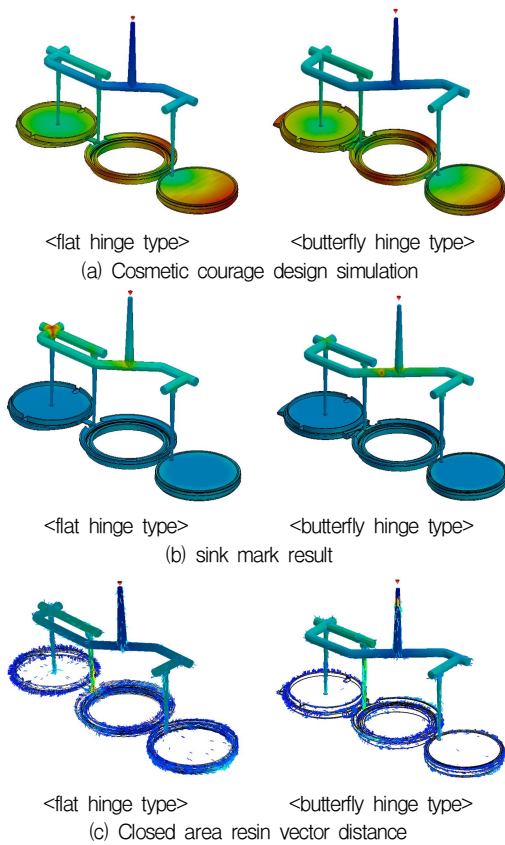


Fig. 7 Injection mold simulation data

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 여성용 기초 메이크업 화장품으로 가장 많이 선호 받고는 쿠션 팩트 용기를 개발하고자 성형 시뮬레이션 연구를 수행하였다. 국제적으로 환경 규제에 의해 법규가 강화되고 있는 시점에서 재활용 및 분리수거 배출에 대한 폐기물 처리의 심각성이 불거지고 있으므로 소재 단일화 및 일체형 용기 개발을 수행하였다.

쿠션 팩트의 경우 밀폐구조를 가진 제품 디자인은 성형 및 공정 흐름에 따라 불량률이 높아지면서 생산성이 저하되고 밀폐기능은 장기적인 유지가 어려우므로 제품 신뢰도 저하를 초래할 수 있기에 소재 단일화를 통하여 내구성 강화와 경제성을 위해 본연구의 필요한 실정이다.

단일 소재 용기의 쿠션 팩트는 두가지 타입으로 설계를 수행하였다. 조립되는 힌지 모양이 flat과 나

비 모양의 힌지로 구성하였고, 나비 모양의 힌지는 개폐 시 힌지가 휘어짐의 현상을 방지하기 위한 방법이며, 개폐 작동의 편리성을 위해 손잡이 부분을 사각 타입으로 설계하여 두가지의 차별된 결과를 보고자 하였다. 힌지 부분의 살 두께가 얇을 경우 힌지 부위가 약해 쉽게 비틀어지고 끊어짐을 방지하기 위해 살 두께와 형상에 대한 부분을 보강하였다.

두 가지의 모델을 이용하여 사출 성형 시뮬레이션을 수행한 결과 미 충전 된 부분이 없이 수지가 충전 된 것을 확인하였다. flat 타입 모델의 경우 충전 밸런스가 부족한 반면에 나비 구조의 설계 타입은 수지 충전 밸런스가 좋은 것으로 분석되었다. 또한, 사출 성형 후 변형률은 약 1 mm로 예측되었으며, 사출 성형의 불량으로 보이는 웰드라인과 싱크마크에 대한 문제는 확인되지 않았다.

따라서 본 사출 조건이 해당 모델과 수지 조건에 적합하다고 사료 되며, 향후 본 결과를 통해 시사출 결과와 비교 검증이 필요하다. 여성용 화장품에서 기초 메이크업으로 가장 많이 사용되고 있는 제품이므로 폐기물 감소와 경제성 향상 그리고 재활용이 실현된다면 일상생활에서 편리하게 사용될 것으로 전망된다.

후기

본 논문은 중소벤처기업부 구매조건부 신제품개발 사업의 “부품, 소재 및 조립공정 단순화를 통한 친환경 고생산성 쿠션 팩트 화장품 용기 제품개발” 과제번호(S2555178) 연구비 지원으로 진행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Eun Min Park, Sun Kyoung Kim. “Effects of Mold Heat Transfer Coefficient on Numerical Simulation of Injection Molding”, Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - B, Vol. 43, No.3, pp. 201-209, 2019.
- 2) Jin-Woo Jung, Nam-Hoon Chang, Hyun-Joong Lee, Keun Park., “A Study on Embedded Heating Structure for Plastic Metal Hybrid Molding”, Transactions of the Korean Society of Mechanical

- Engineers - A, Vol.43, No.2, pp. 145-152. 2019.
- 3) Ho Jin Lee, Dong Gyu Ahn, Sang Hun Lee, Jun Chul Ki, Jae Hong Ko., "Three-Dimensional Thermoforming Analysis of an Inner Case with Three Cavities for Refrigerator", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol. 40, No.5, pp. 505-511. 2016.
 - 4) Sung Hyun Shin, Eui Chul Jeong, Mi Ae Kim, Jung Eon Son, Sung Yoon Kim, Kyung Hwan Yoon, Sung Hee Lee, "A Study on The Thickness Shrinkage of Injection Molded Parts with The Variation of Injection Mold Core and Molding Materials", Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.13, No.2, pp. 17-21. 2019.
 - 5) Sung Taek Jung, Seong Hyun Kim, Hyun Jeong Kim, Jeong, Joong Bae Lee, Seung Yub Baek, "An analysis on the injection mold simulation of single cushion pact cosmetic container for the friendly-environment and high productivity", Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol.12, No.2, pp. 51-56. 2018.
 - 6) Dong Gyu Ahn, Min Woo Park, Jeong Woo Park, Hyung Su Kim., "Determination of Molding Conditions of Double-Shot Injection Mold for the Computer Mouse via Three-Dimensional Injection Molding Analysis", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A, Vol.35 No.12, pp. 1619-1625. 2011.
 - 7) Dong-Gyu Ahn, Min-Woo Park, Hyung-Soo Kim., "A Study on the Design of Cooling Channels of Injection Mould to Manufacture a Flat Part with a Partly Thick Volume", Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol.29, No.8, pp. 825-834. 2012.
 - 8) Hakimian, E., and Sulong, A. B., "Analysis of warpage and shrinkage properties of injection-molded micro gears polymer composites using numerical simulations assisted by the Taguchi method", Materials & Design, Vol.42, pp. 62-71. 2012.
 - 9) Liu, Y., and Gehde, M., "Evaluation of heat transfer coefficient between polymer and cavity wall for improving cooling and crystallinity results in injection molding simulation", Applied Thermal Engineering, Vol.80, pp. 238-246. 2015.
 - 10) Zink, B., and Kovács, J. G., "The effect of limescale on heat transfer in injection molding", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol.86, pp. 101-107. 2017.