

친환경 소재로 형성된 에코 펌프 모듈의 사출 성형 해석 연구

위은찬^a, 고민성^a, 윤이섭^a, 백승엽^a, 이종배^b, 김민수^b, 장성민^{c*}Analysis of the Injection Molding Process for
an Eco-pump Module Formed from Eco-friendly MaterialsEun-Chan Wi^a, Min-Sung Ko^a, Yi-Seob Yun^a, Seung-Yub Baek^a, Joong-Bae Lee^b,
Min-Su Kim^b, Sung-Min Jang^{c*}^a Department of Mechanical Convergence Engineering, Induk University^b ILLUPACK Co., Ltd^c Department of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Technology

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 November 2021

Revised 3 January 2022

Accepted 7 January 2022

Keywords:

Eco-friendly materials

Injection mold

Eco-pump module

Filling conditions

Computer aided engineering (CAE)

ABSTRACT

A pump cap, which is widely used in daily life, is a cap which holds contents inside a container and can discharge it through a simple pump operation. It provides a useful storage solution and is easy to use. However, existing pump caps contain heterogeneous materials, making it difficult to separate, and this causes many problems for recycling. In this study, an eco-pump module made of an eco-friendly plastic material was designed for easy recycling and injection molding analysis was performed using a CAE program. In addition, the moldability according to the injection conditions was analyzed to enable the selection of conditions which produce high-quality eco-pump modules.

1. 서론

삼푸, 핸드크림, 손 소독제 등 생활용품 전반에 널리 사용되는 펌프 캡(pump-cap)은 용기 내부에 각 용도에 필요한 내용물을 저장한 후 간단한 조작을 통하여 외부로 배출하는 기구로써, 보관 및 사용 편의성이 우수하다. 그러나 펌프 캡의 핵심 부품인 펌프 SET은 플라스틱 외에 금속제 스프링 등 이중 소재 부품이 포함되어 있어 사용 후 폐기 시 분리배출이 요구되지만, 용기 특성상 분리 배출의 어려움에 따라 재활용 및 재자원화에 많은 문제가 발생한다. 이러한 문제는 펌프 캡에서 뿐만 아니라 화장품 등 용기 전반에 관한 문제로 기존 용기의 재활용 비율 제고를 위해 많은 연구 및

개발이 진행되고 있다^[1-3].

재활용 촉진을 위한 국가 정책과 높아진 사회적 관심도에 따라, 모든 요소 부품은 재활용이 가능한 친환경적인 에코 펌프 캡으로 개발할 필요가 있다. 그 핵심은 기존 펌프 캡 내부의 금속제 스프링 기능을 대체할 수 있는 부품을 개발하는 것이다. 에코 펌프 모듈은 플라스틱 부품이므로 제작 및 생산에 사출금형(injection mold) 기술을 필요로 한다. 사출금형 기술을 이용한 제조 기술은 다양한 산업 분야에서 사용되고 있으며, 화장품 용기 제작 분야에서도 많이 활용되고 있다. 사출 기술은 플라스틱 제품의 대량 생산에 가장 적합한 기술이며, 초기 투자 비용이 큰 단점이 있으나 대량 생산의 장기적 측면에서는 경제적 효율이 높은 장점이 있어 기업의 경쟁

* Corresponding author. Tel.: +82-62-230-8203

E-mail address: twkjsm@est.ac.kr (Sung-Min Jang).

력 제고에 기여한다. 또한 사출금형 설계 단계에서 CAE 기술의 적용은 사출 성형품의 생산에 앞서 설계의 문제점을 파악한 후 설계 변경으로 보완할 수 있으므로 경제적인 손실을 최소화 할 수 있다. Jang^[4] 등은 사출 성형에 있어 게이트의 위치에 따른 사출 성형품의 품질을 CAE 기술로 연구하여 고품질로 사출 성형품을 제조할 수 있는 게이트의 위치 조건을 수립하고, 문제가 발생하는 부분을 예측하였다. Kim^[5] 등은 사출 성형에 있어 불량 요인 중 하나인 웰드 라인(weld line)의 발생을 억제하기 위하여 CAE 기술을 통하여 사출 성형 변수에 따른 불량 요인의 분석 및 웰드 라인의 생성을 최소화할 수 있는 조건을 수립하였다. 금형을 이용한 사출 성형 기술에는 다양한 설계 변수가 있으며, 그로 인한 사출 성형성 및 불량 요인을 분석한 후 설계 보완을 하기 위한 많은 연구들이 수행되었다^[6,7]. 이와 같은 성형 불량은 제품의 기능 저하에서 뿐만 아니라 제조사에 경제적 손실을 초래할 수 있으므로, 사출 금형 설계 단계에서의 CAE 프로그램을 이용한 설계 검증이 매우 중요하다.

이에 본 논문에서는 재활용이 용이한 친환경 플라스틱 소재의 에코 펌프 모듈을 설계하였으며, 에코 펌프 모듈의 제작을 위한 사출 성형 해석을 수행하였다. 사출 성형 해석을 통하여 에코 펌프 모듈의 사출 성형성을 분석하여 사출 조건의 선정 및 금형 설계를 위한 타당성을 검증하고자 한다.

2. 에코 펌프 모듈

2.1 에코 펌프 모듈 설계

Fig. 1은 설계된 에코 펌프 모듈을 적용한 친환경적인 펌프 캡 용기를 나타내고 있으며, 버튼(button), 펌프 가이드(pump guide), 숄더(shoulder), 펌프 세트(pump set), 내용기(inner

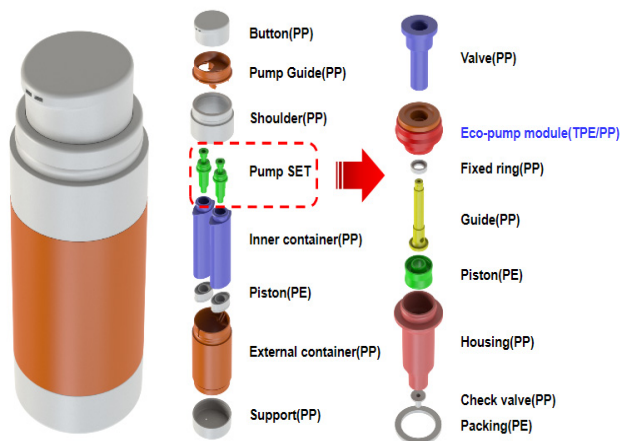


Fig. 1 Components and application materials of the designed pump cap container

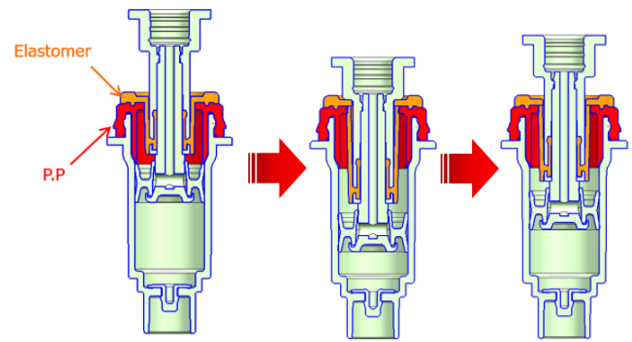


Fig. 2 The working mechanism of the eco pump module

container), 피스톤(piston), 외용기(external container), 받침(support)으로 구성된다. 이때 펌프 세트는 금속제 스프링을 대체할 수 있도록 PP (polypropylene), TPE (thermo plastic elastomer) 소재의 에코 펌프 모듈이 적용되었고, 펌프 캡 용기의 모든 구성 부품은 플라스틱 재질로 되어있어 폐기 시 별도의 분리 작업이 불필요하여 재활용이 용이하다. Fig. 2는 에코 펌프 모듈의 작동 메커니즘을 나타내고 있으며, TPE 소재의 탄성력을 이용한 인장 및 압축 동작을 통하여 펌프 기능을 할 수 있다.

3. 에코 펌프 모듈 사출 성형

3.1 사출 성형 해석 모델 및 조건

Fig. 3은 에코 펌프 모듈의 사출 성형 해석 모델이다. 에코 펌프 모듈은 PP 재질 및 TPE 재질의 이중사출 성형 제품으로, PP 재질을 사출 성형하는 1차 금형과 TPE 재질을 사출 성형 하는 2차 금형을 통해 제조된다. Fig. 4는 에코 펌프 모듈의 이중사출 성형 과정을 개략도로 나타내고 있다. 에코 펌프 모듈은 공용 금형(common Mold)이 1차 금형(first mold)과 2차 금형(second mold)에 차례로 결합 및 사출을 진행하여 성형되는 이중 사출 제품이다. 사출 성형 해석 시 PP 재질의 사출 성형 해석과 TPE 재질의 사출 성형 해석, 즉 2가지 재질에 관한 이중 사출 성형 해석을

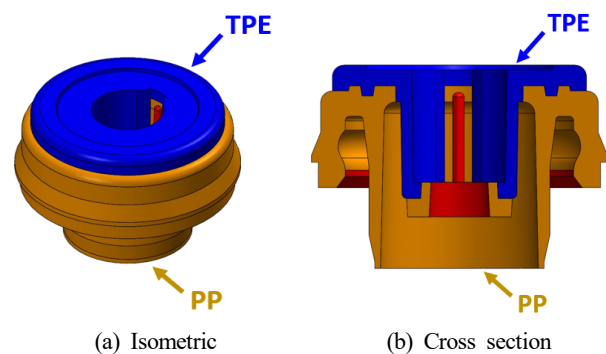


Fig. 3 Injection molding analysis model of eco-pump module

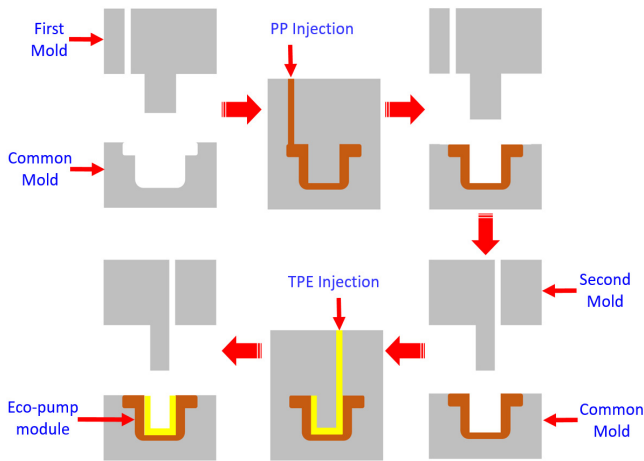


Fig. 4 Schematic of the double injection molding process of eco pump module

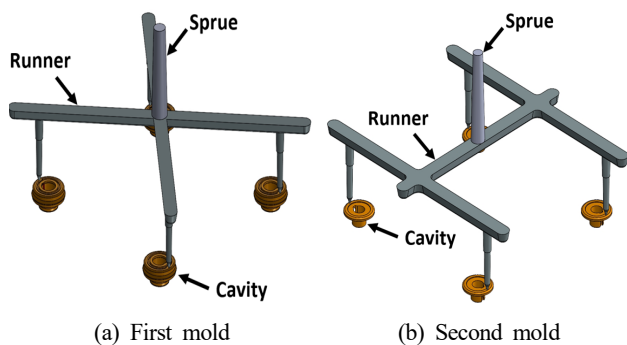
수행하였다. 사출 성형을 위한 S/W는 Solidworks 2020 plastic study를 이용하였으며 4 캐비티 모델로 해석을 수행하였다.

스프루 형상은 시작($\varnothing 4.5$ mm), 끝($\varnothing 6$ mm), 높이(35 mm)의 치수를 적용하였으며, 런너 형상은 금형 조립구조 및 가공에 용이한 형상인 수정 사다리꼴 런너(modified trapezoidal runner)를 참조해서 설계하였다. 이와 관련한 3차원 형상 모델은 Fig. 5에 나타내었고 정밀 해석 결과를 위하여 Solidworks의 솔리드 사면체 하이브리드 형식의 mesh를 생성하였다.

사출 성형 해석 조건으로 PP 재질은 수지 온도 230°C, 금형 온도 50°C, 사출 압력 100 MPa, 형체력 한계 250 Ton으로 설정하였고, TPE 재질은 수지 온도 235°C, 금형 온도 50°C, 사출 압력 100 MPa, 형체력 한계 250 Ton으로 설정하였다. Fig. 6은 PP 재질과 TPE 재질의 물성으로써 온도 변화에 따른 점도와 전단률의 관계를 나타내고 있다.

3.2 1차 사출 성형 해석

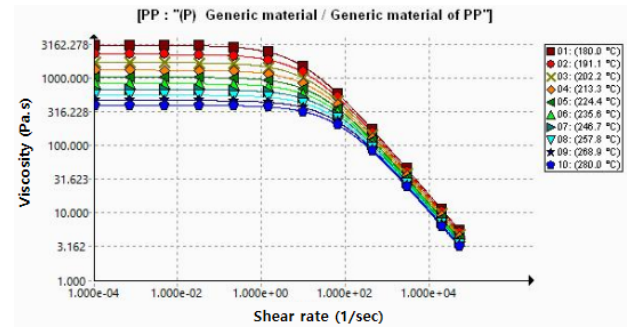
Fig. 7은 1차 사출 성형 해석 결과를 나타내고 있는데, PP 재질의 사출 성형에서 충전시간 1.37초에 미충전 부분이 발생함으로써



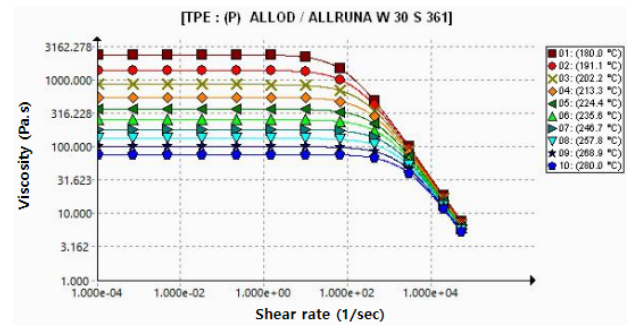
(a) First mold

(b) Second mold

Fig. 5 Analysis model of sprue and runner

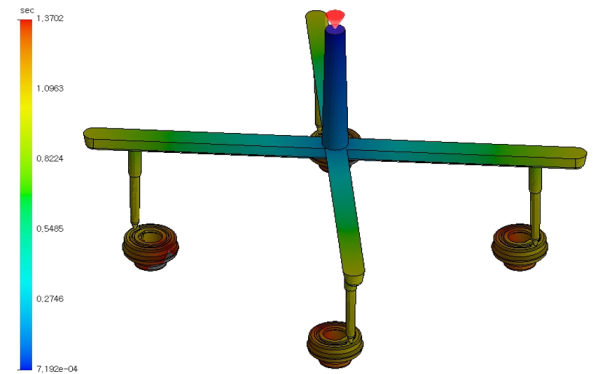


(a) PP material properties

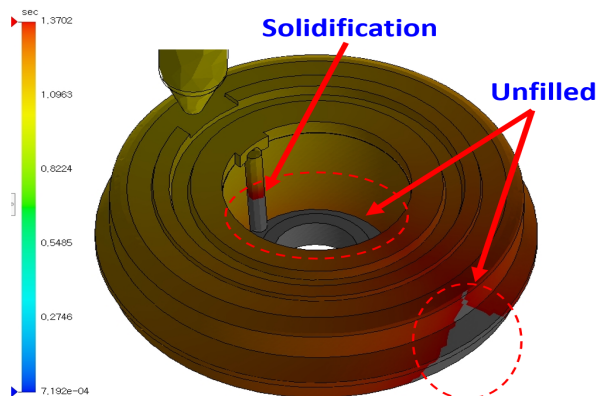


(b) TPE material properties

Fig. 6 Material properties applied to injection molding analysis

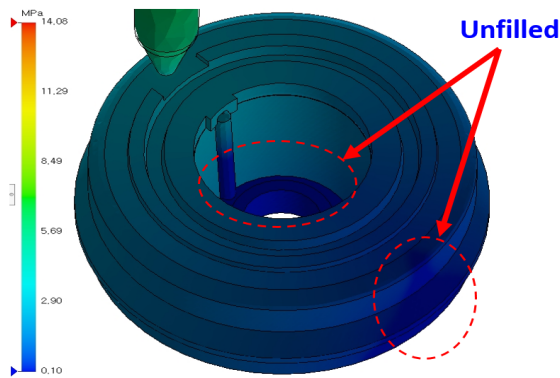


(a) Isometric

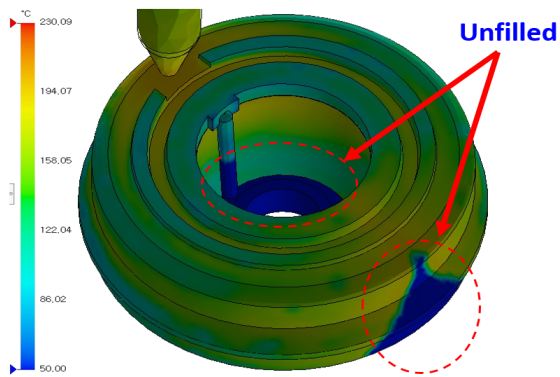


(b) Enlarged view of unfilled area

Fig. 7 Injection molding analysis results (time)



(a) Pressure



(b) Temperature

Fig. 8 Injection molding analysis results (pressure and temperature)

이중 사출이 불가능한 것으로 예측되었다. Fig. 8은 미충전 부분의 압력과 온도 분포를 나타내고 있으며, 미충전 영역에서의 압력이 매우 낮은 분포로 형성된 것을 확인하였다. 본 해석에서는 캐비티 내부까지 완충되기 전에 수지의 압력과 온도가 낮아지며 고화가 진행되었고, 이로 인한 유동성 악화가 미충전을 발생시킨 것으로 판단된다. 또한 수지의 높은 점도가 소형의 에코 펌프 모듈의 캐비티 내부까지의 좁은 유동로에 적합하지 않은 것으로 판단된다. 이것은 PP 재질의 점도를 조절해야 할 뿐만 아니라 수지의 유동성 개선을 위해서는 일정 수준 이상의 압력과 온도가 유지되어야 한다는 것을 의미한다.

3.3 사출 성형 조건 보완

미충전 부분이 발생하는 문제를 보완하기 위하여 PP 재질을 저 점도 재질로 변경하였으며, 충전이 완료되기까지 수지에 고화가 발생되지 않도록 수지 온도를 높게 설정하여 사출 해석을 수행하였다. 선정된 PP 재질의 물성은 Fig. 9와 같다. 이때, 수지와 금형에 급격한 온도 차이가 발생할 경우 수지의 온도를 높여도 고화는 빠르게 진행될 수 있다. 그러므로 수지의 온도 상승에 비례하여 금형의 온도를 상승시켜 주어야 한다. 따라서 PP 수지의 온도는

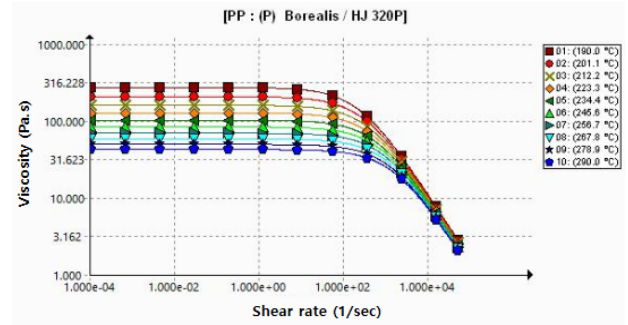
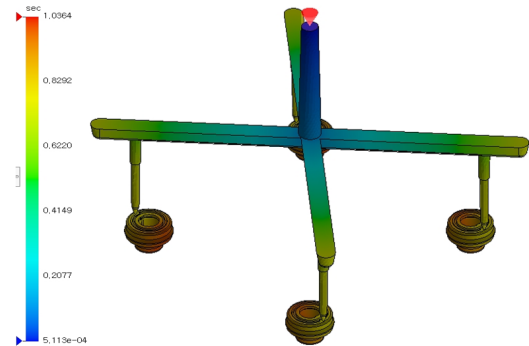
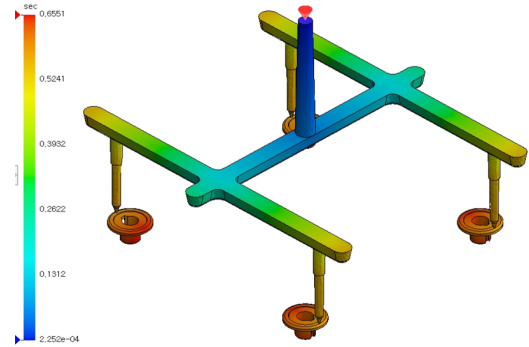


Fig. 9 Changed PP material properties



(a) PP material



(b) TPE material

Fig. 10 Double injection molding analysis results (time)

기존 대비 40°C 증가시키고 이에 따라 금형의 온도를 85°C로 증가시켰다.

3.4 2차 사출 성형 해석

Fig. 10 ~ 12는 이중 사출 성형의 2차 해석 결과이다. 캐비티 내 수지의 충전 시간은 PP 재질의 경우 1.03초가 소요되었고 TPE 재질의 경우 0.65초가 소요되었다. 충전 완료 시 압력과 온도를 분석한 결과 PP 재질은 충전이 완료된 후 약 170°C 이상의 온도를 유지하였으며, 캐비티 내 수지가 완충됨에 따라 압력은 거의 소멸되는 것을 확인하였다. TPE 재질의 경우, 충전 완료 후 온도는 PP 재질보다 낮은 약 90°C 이상의 온도를 유지하고 있었으며, 수지의 완충 후 압력 변화는 PP 재질의 경우와 유사하게 나타났다.

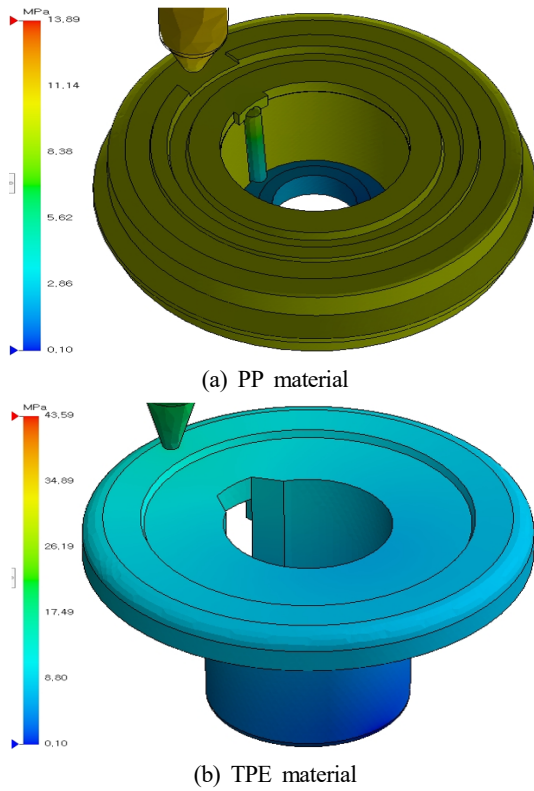


Fig. 11 Double injection molding analysis results (pressure)

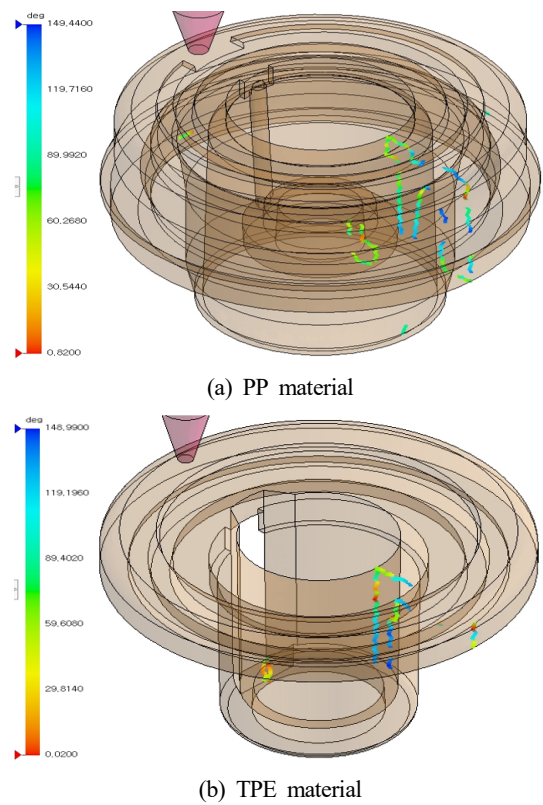


Fig. 13 Double injection molding analysis results (weld line)

나타내고 있다. PP 및 TPE 재질 모두 게이트 반대 부분에서 웰드 라인의 형성이 우려되나, 두 재질 모두 온도가 높게 나타나 고화의 진행이 억제되어 있으므로 웰드 라인이 미미하게 형성 또는 억제 될 것으로 판단된다. 또한 웰드 라인의 형성 방향은 캡의 펌프 작동 시 작용력의 방향과 평행하게 형성되어 웰드 라인으로 인한 크랙의 발생 가능성은 매우 미미할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 펌프 캡 내부의 금속제 스프링을 대체할 수 있는 친환경 플라스틱 소재의 에코 펌프 모듈 개발을 위한 일환으로 수행되었다. 이를 위해 에코 펌프 모듈의 사출 성형 해석을 위한 모델 완성 및 CAE 기법을 이용한 사출 성형 해석을 수행하였다. 그 결과 수지의 물성 그리고 수지 및 금형의 온도에 따른 충전 여부와 웰드 라인 발생에 관하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 1차 성형 해석 결과, 수지의 높은 점도와 낮은 압력 및 온도 조건은 소형의 에코 펌프 모듈의 캐비티 내부에 수지의 미충전을 초래하였고 이를 개선하기 위해 수지의 점도 개선 및 온도, 압력 조건을 변화시켰다.

2. 2차 성형 해석 결과, 수지의 조건 변경으로 인하여 캐비티 내 수지의 미충전 현상은 발생되지 않았고, 변경 전 PP 재질의 충

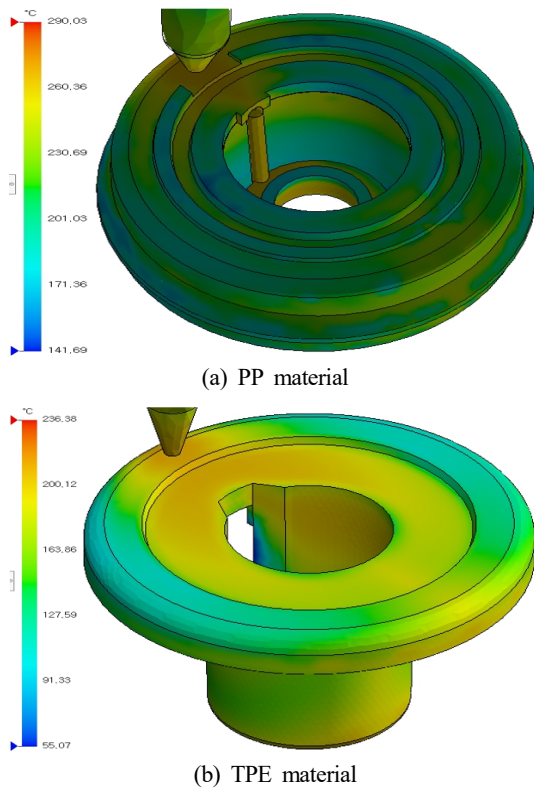


Fig. 12 Double injection molding analysis results (temperature)

Fig. 13은 사출 성형 후 불량 요인 중 하나인 웰드 라인 결과를

전시간인 1.37초보다 약 0.34초 단축된 1.03초로 예측되었으므로, 약 25%의 PP 재질 충전시간을 단축하였다.

3. 사출 성형 후, 게이트 반대부에서 웰드 라인의 형성이 우려되었다. 그러나 수지의 완전 충전 후, 모두 높은 온도를 유지하고 있어 웰드 라인의 형성 가능성은 낮은 것으로 판단하였으며 만약 웰드 라인이 형성되더라도 그 방향이 캡의 펌프 작용력과 평행하므로 크랙을 초래할 가능성은 매우 미미할 것으로 판단된다.

4. 향후 TPE 재질의 부품에 대한 높이 조절 등 기하학적 형상에 따른 탄성력 개선을 위한 추가 연구를 통해 펌프 캡의 편리한 사용에 문제가 없도록 해야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 논문은 중소벤처기업부 구매 조건부 신제품 개발 사업의 “이종 기능성 화장품의 정량토출과 밀폐성능 강화를 위한 친환경 듀얼 펌프 캡 용기제품 개발” 과제번호(S2949809) 연구비 지원으로 진행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] Jung, S. T., Kim, S. H., Kim, H. J., Lee, J. B., Baek, S. Y., 2018, An Analysis on the Injection Mold Simulation of Single Cushion Pact Cosmetic Container for the Friendly-environment and High Productivity, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, 12:2 51-56, <https://doi.org/10.22847/ksdme.12.2.201808.009>.
- [2] Jung, S. T., Kim, H. J., Wi, E. C., Kim, M. S., Lee, J. B., Baek, S. Y., 2019, Hinge Design and Injection Molding Simulation of Cosmetic Cushion Fact Container Using Eco-Friendly Materials, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, 13:3 35-40, <https://doi.org/10.22847/ksdme.13.3.201909.007>.
- [3] Wi, E. C., Ko, M. S., Kim, H. J., Lee, J. B., Kim, M. S., Lee, J. H., Kong, J. S., Baek, S. Y., 2021, An Analysis on the Drop Impact Simulation of Dual Pump Cap Container made of Eco-friendly Materials, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, 15:1 57-65.
- [4] Jang, S. M., Baek, S. Y., 2021, Effect of Gate Position on the Deformation of Injection Molds, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:1 85-91, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.85>.
- [5] Kim, H. P., Kim, Y. J., 2001, Flow Analysis for an Effective Weld Line Control in Injection Molding, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 10:2 64-72.
- [6] Choi, B. J., Kang, I. J., Jeon, Y. H., Hong, M. S., 2018, Deformation Analysis for Injection Molding of Lower Stiffener in Automobile Bumper, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 27:6 564-569, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.6.564>.
- [7] Kim, B. L., Lee, S. H., Kwon, H. H., 2021, Determination of Injection Conditions for ASTM Flexural Specimen Using Injection Molding Analysis, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:3 212-217, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.3.212>.

	Eun-Chan Wi Researcher affiliated with the Department of Convergence Mechanical Engineering, Induk University. His research interest is Machine Tool, Precision Machining and Green Manufacturing System. E-mail: eunchanwi93@gmail.com
	Min-Sung Ko Researcher affiliated with the Department of Convergence Mechanical Engineering, Induk University. His research interest is Machine Tool, Precision Machining and Green Manufacturing System. E-mail: koms0912@gmail.com
	Yi-Seob Yun Researcher affiliated with the Department of Convergence Mechanical Engineering, Induk University. His research interest is Machine Tool, Precision Machining and Green Manufacturing System. E-mail: yiseob.yun@gmail.com



Seung-Yub Baek

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



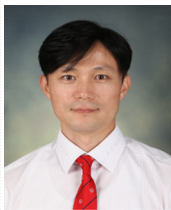
Joong-Bae Lee

of ILLUPACK Co., Ltd. His research interest is injection molding and Green Manufacturing System. E-mail: illu01@illupack.com



Min-Su Kim

Researcher affiliated with ILLUPACK Co., Ltd. His research interest is injection molding and Green Manufacturing System. E-mail: illu13@illupack.com



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