

사출성형 시뮬레이션에 의한 휴대폰 스피커 인클로저의 에어트랩 위치 최적화

박기윤*, 박종천#

Optimizations of Air-trap Locations in the Speaker Encloser of Mobile Phone by Injection Molding Simulations

Ki-Yoon Park*, Jong-Cheon Park#

(Received 31 May 2011; received in revised form 19 August 2011; accepted 6 October 2011)

ABSTRACT

In this paper a design procedure via computer-aided molding simulation is presented to optimize the air-trap locations in a speaker encloser of mobile phone. The molding flow simulation reveals that the race-tracking phenomenon is the dominant feature in the current mold design. In obtaining an optimal filling pattern, the local modifications of the wall thickness such as in a flow leader attachment are considered as the primary control factor, and both the gate position and the filling time become the secondary control factor. In the one-at-a-time approach, the last location to be filled in the mold cavity could be successfully moved to the extremities of the part, allowing a natural ventilation of entrapped air through the mold parting plane.

Key Words : Injection Molding Simulation(사출성형 시뮬레이션), Filling Pattern Optimization(충전패턴 최적화), Air Traps(에어트랩), Race Tracking(레이스 트랙킹), Flow Leader(플로우리더)

1. 서 론

에어트랩(air traps)은 금형 캐비티 안에서 수지의 유동에 의해 공기가 갇히는 현상으로서, 증공, 미충전, 수축 또는 타버림 자국 등의 성형불량을 일으킨다^[1]. 일반적으로 에어트랩은 금형 안에서 수지가 최종 충전되는 영역이나 유동선단들에 의해 둘러싸여

고립되는 영역에서 발생한다. 따라서 에어트랩의 발생은 수지의 충전패턴에 의해 결정된다고 할 수 있다. 그러므로 에어트랩 발생을 최소화시키거나 또는 발생 위치를 공기 배출이 용이한 금형 부위로 이동시키기 위해서는 충전패턴이 최적화될 필요가 있다.

사출성형은 유변학적으로나 열적, 유동적으로 매우 복잡한 공정이어서 성형 결과에 대한 예측이 어렵다. 그러나 컴퓨터와 CAE의 발달로 수치해석 프로그램에 의해 사출성형 공정을 시뮬레이션 할 수 있게 됨에 따라 경험에 의해서는 해결이 어려웠던 고난도, 고정밀 제품에 대해서도 성형불량을 예측하

* ED&C, LTD. 기술지원부

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학과

E-mail : cadpark@kumoh.ac.kr

고 그 결과를 설계에 반영할 수 있게 되었다^[2-10]. 일반적으로 사출성형 시뮬레이션 프로그램은 크게 충전, 보압, 냉각, 변형 모듈로 구성된다. 충전 모듈은 용융수지가 사출시간에 따라 금형 캐비티를 채워가는 과정을 시뮬레이션 할 수 있는 모듈로서 수지의 충전패턴을 예측하여 제시해 준다. 따라서 에어트랩의 발생 위치와 크기도 충전 시뮬레이션을 통해 예측할 수 있다.

본 연구에서 시뮬레이션 해석에 의해 에어트랩 위치를 최적화하고자 하는 제품은 휴대폰 내장품인 스피커 인클로저(speaker enclosure) 부품이다. 이 부품은 현재 설계조건에서 에어트랩으로 인해 국부적으로 미성형 또는 수축이 발생하는 문제점을 갖고 있다.

본 연구의 목적은 사출성형 시뮬레이션 소프트웨어의 충전 모듈을 이용하여 스피커 인클로저 부품에서 에어트랩의 발생 위치를 최적화하는 설계수정 방안을 찾는 것이다. 본 연구에서는 Moldflow^[11]의 충전 모듈을 이용하여 스피커 인클로저 부품에 대해 충전패턴 형성에 영향을 미치는 요소인 게이트 위치, 제품의 두께분포 및 공정조건을 순차적으로 개선하는 방식을 통해 에어트랩을 최적의 위치로 이동시킬 수 있는 설계조건을 제시하였다.

2. 해석모델 및 문제 정의

Fig. 1은 해석모델인 휴대폰 내장용 스피커 인클로저 부품으로서 초기 설계조건에 의해 성형된 결과를 보인 것이다. 이 성형품에서 에어트랩으로 추정되는 원인으로 인해 제품 내부의 앵글러 인서트 코어(angular insert core)가 위치하는 부위에 국부적인 미성형 또는 수축 불량을 관찰할 수 있었다. 에어트랩으로 인해 갇힌 공기가 에어벤트(air vent)나 금형 분할면의 미세한 간극을 통해 외부로 적절히 배출되지 못하면 공기압 저항으로 인해 그 부위에 미충전이 발생하거나 수지가 채워지더라도 불충분한 압력 전달로 인해 수지 밀도가 낮아져서 결국 국부적인 수축이 일어나게 된다. Fig. 1에 보인 스피커 인클로저 부품은 휴대폰 내부에 조립된 상태에서 스피커의 소리 울림통으로서의 기능을 한다. 따라서 음향의 증폭 역할을 하는 기능의 특성상 제품에 미성형 또

는 수축이 생기면 음질과 관련한 품질이 크게 떨어지게 된다. 현재의 에어트랩 문제를 해결하기 위해서 수지의 최종 충전부에 에어벤트 설치를 고려할 수 있겠으나 Fig. 1에서 미성형 또는 수축의 발생 위치로 보아 최종 충전부가 앵글러 인서트 코어 부위에서 형성되는 것으로 추정이 된다. 그러나 일반적으로 인서트 코어에 에어벤트를 설치하는 것은 기술적으로나 경제적인 측면에서 바람직하지 못하다. 따라서 이 경우에 현실적인 설계 방안은 수지 최종 충전부의 발생 위치를 현재의 앵글러 인서트 코어 부근에서 공기의 배출이 용이한 금형 부위로 이동시키는 것이다.

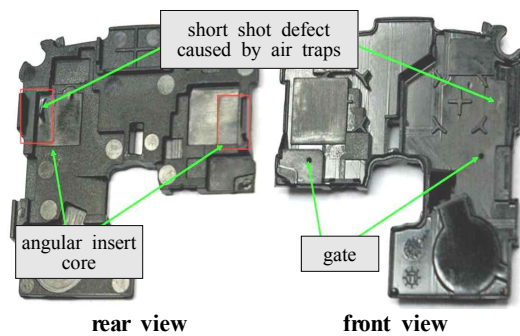


Fig. 1 Molded speaker enclosure part

본 연구에서는 수지 최종 충전부의 위치를 제품의 최외곽 영역으로 이동시켜 갇힌 공기가 금형 분할면을 통해 자연 배출되도록 설계목표를 설정하였다. 이를 위해서는 수지 충전에 영향을 미치는 주요 설계인자들을 고려하여 충전패턴을 최적화하는 것이 요구된다.

3. 충전 시뮬레이션의 재현성 검증

시뮬레이션 해석에 의한 설계 최적화를 위해서 먼저 스피커 인클로저 부품에 대한 충전 시뮬레이션의 신뢰성을 검증하였다. 이를 위해 Fig. 1에 보인 실제 사출품의 설계조건과 동일한 조건하에서 충전 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 실제 사출품의 성형 결과와 비교하였다.

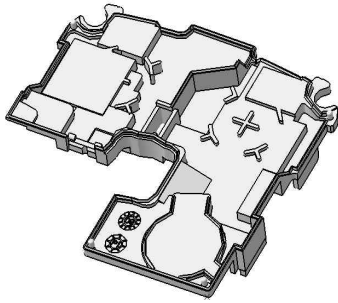


Fig. 2 3D CAD model of part

Fig. 2는 충전 시뮬레이션을 위해 CATIA^[12]를 사용하여 모델링한 스피커 인클로저 부품의 CAD 모델이다. 제품 형상을 최소-최대 육면체(min-max box)로 근사화했을 때 가로는 40.8mm, 세로는 39.4mm, 높이는 3.6mm이다. 이 제품은 형상이 복잡하고 제품의 기능적 요구에 따라 단면의 두께가 최소 0.4mm부터 최대 1mm까지 영역별로 불균일한 분포를 갖는다. 단면이 상대적으로 두꺼운 외곽 경계 부위는 조립성과 강도를 유지하기 위한 차원이고, 제품의 가운데 부위에서 두께가 얇은 것은 소리울림 기능을 위해 공간을 최대한 확보하기 위해서이다. 해석모델 생성에 사용된 유한요소는 3차원 사면체 형상이고 요소의 갯수는 224,243개이다. 설계 조건으로 수지는 Generic PC(Lexan)이고 사출온도는 310℃, 금형온도는 95℃,

사출시간은 1.6sec이다.

Fig. 3은 시뮬레이션 결과로 얻은 사출시간대별 충전패턴이다. 충전이 완료되어 가는 마지막 시점에서 제품 내부의 인서트 코어 부위에서 수지의 최종 충전부가 형성되면서 에어트랩이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 충전 시뮬레이션에 의한 성형 결과가 Fig. 1에 보인 실제 성형 결과를 잘 모사한다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Moldflow에 의한 충전 시뮬레이션이 해석 대상인 스피커 인클로저 부품의 충전패턴에 대해 높은 재현성이 있음을 의미한다.

4. 설계 최적화

에어트랩의 발생을 예측할 수 있는 충전패턴은 게이트 위치, 제품의 형상과 단면 두께 분포, 공정조건에 의해 결정된다. 본 연구에서는 이러한 설계공간들의 주요 설계인자들을 유동 제어변수로 하고 시뮬레이션 해석 결과를 기초로 설계인자들을 수정해 나가는 방식으로 최적화를 수행하였다. 먼저 게이트 위치를 변경하여 충전 시뮬레이션을 수행하고 결과를 분석하였다. Fig. 4는 네 가지 경우의 게이트 위치 설계 변경 방안에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과로 얻은

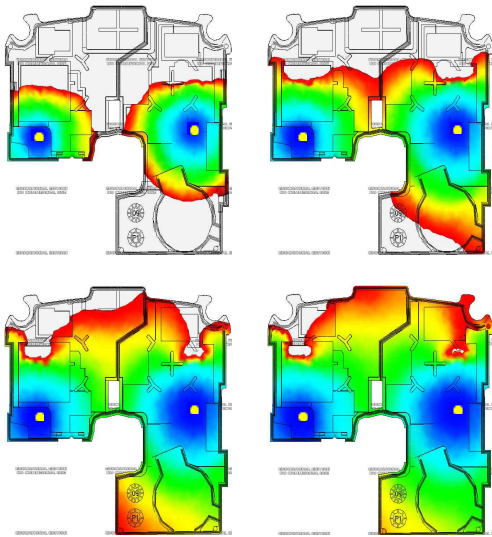


Fig. 3 Filling pattern simulated for initial design

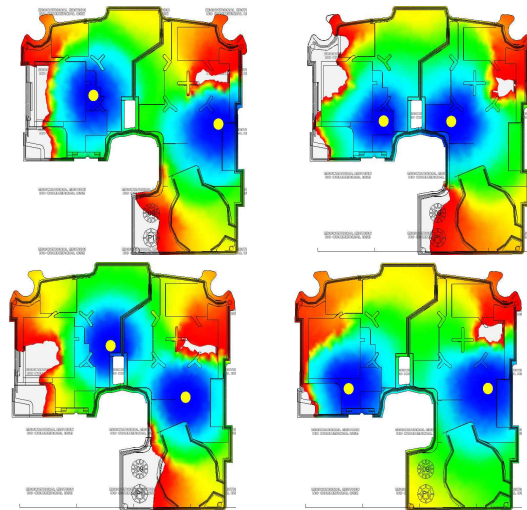


Fig. 4 Filling patterns simulated for four design alternatives with different gate locations

충전패턴이다. 초기 설계(Fig. 3)와 비교해 보면 제품 좌측부는 좌측 게이트의 위치 변경에 따라 최종 충전부의 위치가 제품 외곽으로 이동될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 제품 우측부는 게이트 위치의 변경에도 불구하고 최종 충전부가 여전히 인서트 코어 부위에 형성되는 것을 알 수 있었다. 해석 결과 이것은 인서트 코어가 놓이는 제품의 가운데 부위와 그 외곽 부위의 큰 두께 편차로 인한 수지의 레이스 트래킹(race tracking)^[1,13] 현상 때문인 것으로 분석되었다. 네 가지 설계방안 모두에서 Fig. 3에 보인 제품 우측부의 충전 양상과 거의 동일한 결과를 보였는데, 게이트에서 유입된 수지가 두께가 얇은 중심부에서 흐림이 지체되는 동안에 그 둘레의 두꺼운 부위로 빠르게 전진해서 정체 상태의 중심부를 에워싸고 결과적으로 인서트 코어가 있는 중심부가 마지막으로 충전되는 유동패턴을 보였다. 이 결과로부터 이 제품의 경우에 게이트 위치가 충전패턴 최적화를 위한 유일한 설계변수가 될 수 없음을 확인하였다. 따라서 게이트 위치 변경에 따른 해석 결과를 토대로 하여 제품의 국부적 두께 수정에 의한 설계변경을 시도하였다.

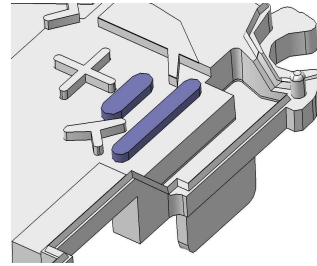
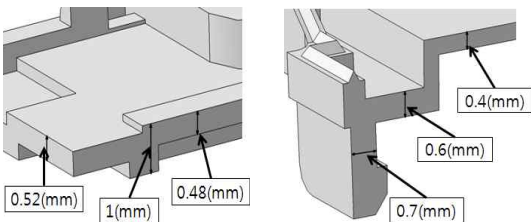
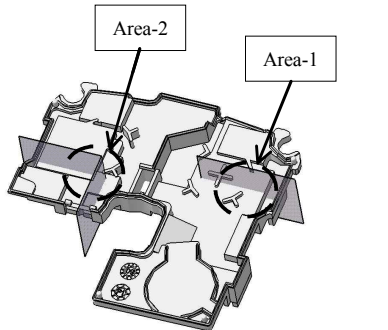


Fig. 6 Designed flow leaders

충전패턴에서 분석된 유동정체영역(Fig. 5의 Area-1)에 대해 플로우리더(flow leader)^[13]를 설치하는 설계 수정안에 대해 유동 시뮬레이션 해석을 수행하였다. Fig. 6은 제품 우측부의 유동정체영역(Area-1)의 표면에 수지 유동성을 개선하기 위한 제품 형상요소인 플로우리더를 설계한 결과를 보였다. 두 개의 플로우리더의 설계 치수는 높이가 0.4mm, 폭은 각각 1.2, 1mm, 길이는 각각 5, 7mm이다. Fig. 7은 플로우리더를 설치하고 동시에 Area-1 우측의 골 영역의 단면 두께를 0.6mm에서 0.45mm로 축소한 경우에 대한 유동해석 결과이다. 이 설계변경은 수지의 레이스 트래킹 현상을 완화하기 위한 것으로 골 영역을 통과하는 수지의 유동저항을 증가시켜서 유동선단의 속도를 늦추고, 반면에 유동정체가 일어나는 Area-1에서는



Sections in Area-2 Sections in Area-1

Fig. 5 Section thicknesses distribution at flow hesitation area(Area-1) and flow outrunning area(Area-2)

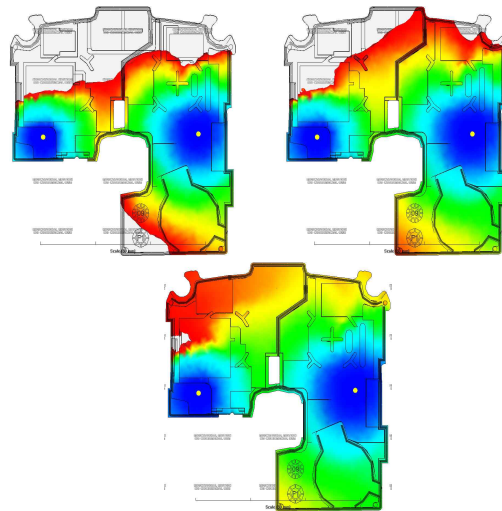


Fig. 7 Filling pattern simulated after designing two flow leaders on Area-1 and thinning thickness of adjacent valley bottom

플로우리더에 의해 유동속도를 증가시켜 전체적으로 유동선단의 균일한 전진을 시도하였다. 결과적으로 Fig. 3과 비교해서 Fig. 7에서 보면 제품 우측부에서 유동선단이 거의 일정한 속도로 전진하여 최종 충전부가 제품 상단의 금형 분할면 부위에서 형성되는 것을 알 수 있었다. 이때 0.7mm 두께의 제품 우측 벽은 강도 유지를 위해 설계변경을 하지 않았다.

한편 제품의 우측부는 설계변경을 통해 설계목표를 달성하였으나 Fig. 7의 제품 좌측부에서는 수지의 최종 충전부가 여전히 인서트 코어 부위에서 형성되는 문제가 남아있음을 알 수 있다. 해석 결과 제품 좌측부의 Area-2의 단면 두께가 0.52mm로 상대적으로 두꺼워서 얇은 인서트 코어 부위에서 유동이 정체되는 동안 이 영역으로 수지가 빠르게 유입되어 위쪽으로 흐르는 레이스 트래킹 현상이 발생하는 것을 관찰하였고, 이 후에 제품 우측부에서 유입되어 넘어오는 유동과 합쳐지면서 더욱 빠른 속도로 전진하여 아직 미충전된 인서트 코어 영역을 위로부터 에워싸는 충전패턴을 보였다. 따라서 유동선단이 인서트 코어 영역과 Area-2에서 균일하게 전진하도록 Area-2의 단면 두께를 0.15mm만큼 줄여 0.37mm로 수정하고 유동해석을 수행하였다. Fig. 8에 시뮬레이션 결과를 보였다. 해석 결과 제품 좌측부의 중앙 부위까지는 유동

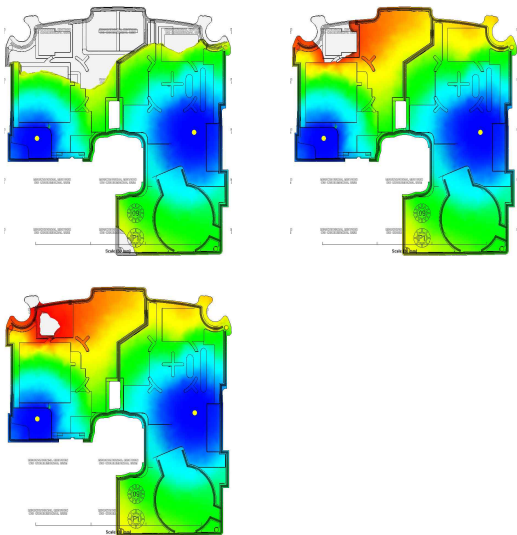


Fig. 8 Filling pattern simulated after thinning section thickness of Area-2

선단이 균일하게 전진하여 최종 충전부의 위치가 인서트 코어의 위쪽으로 이동되었으나 금형 분할면에 형성시키기 위한 설계목표에는 불충분한 것으로 분석되었다. 따라서 인서트 코어 부위를 통과하는 수지의 유동속도를 증가시키기 위해 좌측 게이트의 위치와 사출시간에 대한 설계를 변경하였다. 이를 위해 Fig. 5에서 인서트 코어 영역에 비해 한 단계 높은 위치의 제품면 위에 놓여 있는 현재의 좌측 게이트를 인서트 코어에 근접한 부위로 위치를 변경하고 사출시간도 1.6sec에서 1.4sec로 단축하였다.

Fig. 9는 최종적으로 변경된 설계안에 대한 해석 결과이다. Fig. 9의 해석 결과를 Fig. 8과 비교해 볼 때 인서트 코어 영역에서 유동선단의 전진 속도가 상대적으로 개선되었고 이에 따라 제품 좌측부에서도 설계목표대로 최종 충전부가 제품의 좌상단 금형 분할면에 형성됨을 알 수 있었다. 또한 이때 좌측부의 설계변경에 대해 제품 우측부에서 이미 최적화된 유동패턴은 변화가 없이 유지되고 있음을 확인하였다.

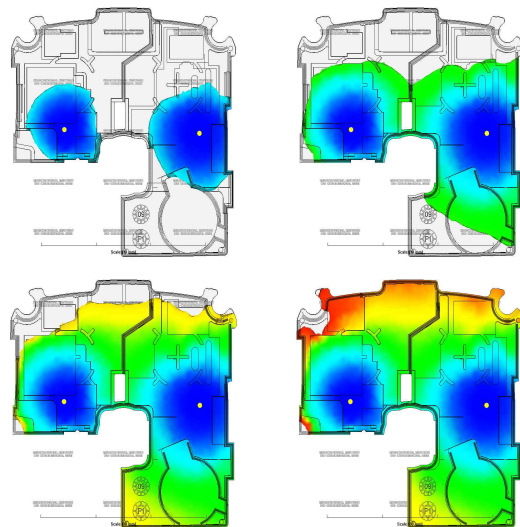


Fig. 9 Filling pattern simulated after moving the left-hand gate toward Area-2 and shortening the filling time

5. 결론

본 연구에서는 휴대폰 스피커 인클로저 부품의 앵글러 인서트 코어 부근에서 발생하는 에어트랩으로

인한 미성형과 수축 문제를 충전 시뮬레이션 해석을 이용하여 해결할 수 있음을 보였다. 본 제품에 대한 시뮬레이션 해석과 최적화 결과는 다음과 같다.

- 1) 제품 내부에서 수지 유동의 레이스 트랙킹 효과를 확인할 수 있었다. 레이스 트랙킹 효과로 인해 게이트 위치 변수는 에어트랩 발생위치를 제어하는 주 설계인자가 될 수 없으며 제품의 단면 두께 분포가 지배적 변수임을 알 수 있었다.
- 2) 제품 우측부에서 유동이 정체되는 인서트 코어 부위에 0.4mm 높이의 두 개의 플로우리더를 설치하고 그 인접한 골 영역의 단면 두께를 0.15mm만큼 줄이는 설계변경을 통해 최종 충전부를 금형 분할면 부위로 이동시킬 수 있었다.
- 3) 제품 좌측부에 대해서는 인서트 코어와 인접한 우측부위의 두께를 0.15mm만큼 줄이고 게이트 위치 변경과 사출시간을 0.2sec 단축시켜 인서트 코어 부위로 유동의 전진속도를 증가시킴으로써 최종 충전부를 금형 분할면 부위로 이동시킬 수 있었다.

본 연구에서는 최적화 결과를 실험을 통해 검증하지는 못하였으나, 본 사출품의 재현 과정에서 확인된 충전 시뮬레이션의 높은 신뢰도에 비추어 최적 설계 결과가 실제 실험에서도 재현될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국산업단지관리공단의 중소기업 시뮬레이션 지원 사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 권태현 외 4인 공역, "사출성형 CAE 설계지침", 문운당, pp. 173-175, 2001.
2. Pandelidis, I. and Zou, Q., "Optimization of Injection Molding Design, PartII: Molding Condition Optimization", Polymer Eng. and Science, Vol. 30, No. 15, pp. 883-892, 1990.
3. Lee, B.H. and Kim, B.H., "Optimization of Part Wall Thickness to Reduce Part Warpage Based on the Modified Complex Method", Polym.-Plast. Tech. Eng., Vol. 34, No. 5, pp. 793-811, 1995.
4. Chen, M., Yao, D., and Kim, B., "Optimization of process conditions in gas-assisted injection molding", Polym.-Plast. Tech. Eng., Vol. 40, No. 4, pp. 479-489, 2001.
5. Ni, S., "Reducing shrinkage and warpage for printer parts by injection molding simulation analysis", Journal of Injection Molding Technology, Vol. 6, No. 3, pp. 177-186, 2002.
6. 권오관, 박종천, 김경모, "강건성을 고려한 모니터 장식패널 사출품의 휨 최소화", 한국CAD/CAM학회 논문집, Vol. 9, No. 4, pp. 351-360, 2004.
7. Shen, C.Y., Yu, X.R., Li, Q., and Li, H.M., "Gate Location Optimization in Injection Molding By using Modified Hill-Climbing Algorithm", Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol. 43, No. 3, pp. 649-659, 2004.
8. Erzurumlu, T. and Ozelik, B., "Minimization of warpage and sink index in injection-molded thermoplastic parts using Taguchi optimization method," Materials and Design, Vol. 27, pp. 853-861, 2006.
9. 예상돈, 민병현, "CAE를 이용한 드럼 세탁기용 Tub-drum의 사출성형 해석", 한국기계가공학회지, 제9권, 제2호, pp. 60-65, 2010.
10. 이호상, 박민규, "사출성형 조건이 디스크의 복굴절에 미치는 영향", 한국기계가공학회지, 제9권, 제5호, pp. 28-33, 2010.
11. ED&C, Autodesk Moldflow Insight: The 4th edition of AMI Korean Manual, 2009.
12. 이석순 외 2인 공저, "CATIA V5 입문", 경상대학교 출판부, 2005.
13. 신남호 외 2인 공저, "CAE를 응용한 사출성형 최적화", 대광서림, pp. 133-134, p. 222, 2007.