

다수 캐비티 사출금형에서의 균형 충전을 위한 러너 시스템 연구

전강일¹, 노승규¹, 김동학^{1*}
¹순천향대학교 나노화학공학과

A study on the runner system for filling balance in multi-cavity injection molds

Kang-Il Jeon¹, Seung-Kyu Noh¹ and Dong-Hak Kim^{1*}

¹Dept. of Chemical Engineering SoonChunHyang University

요 약 사출성형은 열가소성 수지의 가공법으로 정밀도나 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는데 널리 이용되는 기술이다. 다수 캐비티 사출성형에서 캐비티 충전 불균형이 발생하는데 이러한 현상은 사출성형품의 치수 및 중량의 편차 뿐 아니라 물리적 특성에 영향을 미치고 있다. 충전 불균형은 충전 단계에서 러너 내에서 발생하는 불균일한 전단분포에 기인하여 발생되므로 점도 변화에 영향을 주는 수지의 물성, 사출조건 등 성형공정 조건 요인에 의해 충전 불균형의 양상이 다르게 된다. 본 논문에서는 점도 및 물성이 다른 PC, PP 수지에 대하여 성형조건에 따른 충전 현상을 관찰하고 원인을 분석하였고 사출속도에 따른 충전 불균형 현상의 원인을 고찰하기 위해 사출성형실험과 CAE 해석을 수행하였다. CAE 해석을 수행하여 각 수지마다 사출속도에 따른 충전 패턴 경향과 온도분포를 예측하고 캐비티 간 충전 균형을 위해 새로운 볼륨 러너 시스템을 제시하였고 캐비티 간 충전 균형을 확인 할 수 있었다.

Abstract In this study, flow characteristics in a multi-cavity injection molding process were investigated. One of main problems occurred in the multi-cavity molding is a flow imbalance among cavities since it affects physical properties and quality of products. Charge imbalance is caused by the uneven shear stress. Therefore, changes in viscosity affect the physical properties of resin and injection conditions differ in the filling imbalance phenomenon. Through, this study focus on experimental studies of flow imbalance for PC and PP resin occurring in a balanced delivery system. Experimental results were compared with CAE results. By experimental and CAE analysis, main cause for the flow imbalance is temperature distribution in cross section of runner. New runner system with a simple change of runner shape was suggested to avoid the flow imbalance. A series of simulation to confirm feasibility of Volume Runner's effects was conducted using injection molding CAE

Key Words : CAE, Runner imbalance, Multi-cavity, Runner, Injection molding

1. 서론

플라스틱 재료는 금속에 비하여 경량화에 의한 비강도와 비탄성률이 우수하며, 밀도가 낮고, 낮은 온도에서 성형가공 될 수 있다. 또한 다양한 용도로 쉽게 가공될 수 있어 현재 가장 널리 사용되는 재료가 되었고 최근에는 금속, 나무, 유리, 세라믹 등으로 만들었던 부품들이 플라

스틱으로 설계되고 있다[1,2]. 사출성형 공정에서 생산성을 향상시키기 위해서는 성형 사이클 타임의 단축과 다수 캐비티 금형 개발이 필수적인데, 성형 사이클 타임의 단축을 위해서는 냉각시스템과 고속 사출성형기 등에 관한 연구가 필요하며, 다수 캐비티 금형에서는 캐비티에서 성형되는 성형품에 대한 균일한 품질의 확보를 위한 성형조건과 금형구조의 개선에 관한 연구가 선행되어야 한

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

*교신저자 : 김동학(dhkim@sch.ac.kr)

접수일 11년 02월 25일

수정일 11년 03월 29일

게재확정일 11년 04월 07일

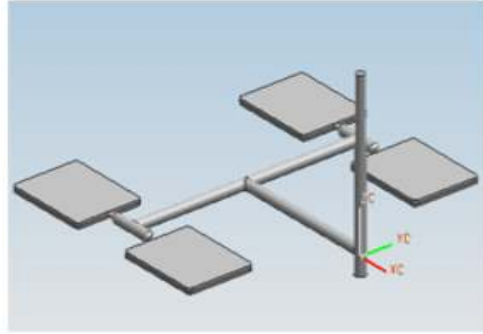
다[3]. 다수 캐비티 사출금형에서 충전 불균형은 1997년 Beaumont에 의해 그 현상의 원인이 규명되기 이전에는 단순히 불균일한 금형온도의 분포, 러너시스템 및 캐비티 가공시의 오차, 사출 압력에 의한 금형형관의 휨 등에서 오는 결과로 간과되어 왔다[4]. 러너의 기하학적인 형상에 따른 충전 불균형 현상의 연구 및 사출속도, 수지온도, 금형온도 등 성형조건과 재료에 따른 충전 불균형의 현상이 연구되었다[5,6]. 컴퓨터 모사를 통하여 충전 불균형이 예측 및 러너에서 전단열의 형성 및 거동에 대해서도 연구되었다[7,8]. 충전 불균형 해결을 위해서 모든 캐비티의 압력이 균형을 이루도록 인위적으로 설계된 러너 시스템의 연구와 Melt Rotate Technology를 적용한 금형에서 충전 불균형에 영향을 주는 변수와 이를 해결하기 위한 방법 및 러너 내 전단열에 의한 불균일한 흐름을 균일하게 하는 Melt Flipper가 연구되었다[9-12]. 또한 가변 러너 시스템의 개발과 러너 코어핀을 설치한 러너 시스템의 개발을 통한 충전 불균형 현상의 원인 검토 및 충전 균형을 위한 연구도 진행되었다[13,14]. 여러 특허에서도 러너 균형을 위한 장치를 소개하고 있다[15-21].

본 논문에서는 기하학적으로 균형 잡힌 러너시스템을 가진 다수 캐비티 사출금형에서 발생하는 충전 불균형 현상에 대해 그 원인을 구체적으로 규명하고, 충전 불균형에 영향을 주는 외부요인 중의 하나인 러너시스템 형상에 따른 균형 충전을 중점으로 연구하였으며, 점도가 다른 두 재료에서 사출 속도에 따른 충전 불균형 현상의 관찰 및 원인을 고찰하였다. 충전 불균형을 최소화하기 위한 새로운 러너 시스템을 제시하고 충전 균형을 확인하였다.

2. 실험

2.1 실험 모델

그림 1은 본 연구에서 충전 불균형을 알아보기 위해 사용한 실험 모델로 캐비티 사출금형에서 캐비티의 형상을 나타내고 있다. 스프루에서 각 캐비티 간 거리는 모두 같은 기하학적으로 균형 있게 설계되어 있다. 캐비티의 두께는 2.5mm, 폭은 40mm, 길이는 50mm 이다.



[그림 1] 게이트, 러너, 스프루와 캐비티

2.2 실험장비 및 실험조건

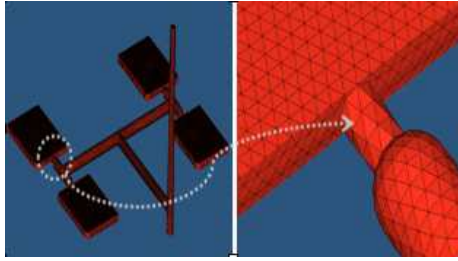
본 연구에서 사용된 사출기는 우진 섀렉스 사출기 (NE220 A)이며 형체력 220ton, 최대 사출압은 2117kg/cm² 최대사출속도는 91mm/sec, 스크류 지름은 50mm이다. 수지는 제일모직의 PC(SC-1620) 와 삼성토탈의 PP(HJ-700)를 사용하였다. 각 수지의 건조 조건은 PC는 110℃에서 10시간, PP는 100℃에서 6시간 이다. 사출속도가 각 캐비티의 충전에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 표 1에 나타난 성형 조건으로 사출성형 실험을 수행하였다. PC와 PP는 각각 휴대폰 카메라 모듈과 하우징과 배럴 등에 사용되는 수지로써, 재료의 금형온도는 실제 양산시 사용되는 온도를 적용하였다. 사출 성형 실험에서 최초 정상 사출 상태에 이르기까지 약 50shot 이상을 수행하고 각 조건별 시편을 얻기 위해 약 30shot 수행 후 5개의 시편을 얻어 측정하였다. 시편의 무게는 평균값을 이용하여 분석하였다.

2.3 CAE 해석

각 캐비티에서의 충전 불균형을 모사하기 위해 Autodesk사의 Moldflow를 사용하였다. Moldflow는 사출 성형 해석 전용 프로그램으로서 2차원 해석뿐 아니라 관성 및 비등온 유동과 같은 실제적인 3차원 해석을 지원한다. 사출성형 과정에서 충전, 보압, 냉각 해석 및 사출성형 후 제품의 수축 및 휨 현상도 예측할 수 있으며 각 과정의 마지막에서의 수지의 유동, 온도, 압력, 전단응력 등을 예측한다, 또한 압력이나 형체력 및 웰드라인, 에어트랩의 발생 가능한 위치도 해석으로 예측 가능하다.

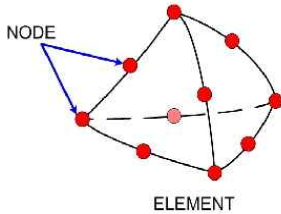
[표 1] 사출성형 조건

Resin	Melt T.	Mold T.	Inj. Speed
PC	180℃	35℃	50,70,90 mm/sec
PP	280℃	35℃	50,70,90 mm/sec



[그림 2] 시뮬레이션을 위한 러너와 캐비티의 3D 메쉬

그림 2는 본 연구 모델의 상용된 3차원 메쉬 타입과 러너와 캐비티에서 생성된 3차원 메쉬 형태를 보여주고 있다. 메쉬는 하나의 완전한 방정식을 구성하는 요소와 그 요소들을 두 개 이상의 요소들이 공유하는 절점으로 구성되어 있다. 절점에는 수많은 방정식이 포함되어 있으며 유한요소법에서는 조합된 방정식을 풀기 때문에 이러한 절점들은 인접한 요소에 있는 절점들과 반드시 공유되어 있어야 한다. 해석 모델에서는 캐비티 뿐 아니라 delivery system 전체에서 흐름을 잘 관찰하기 위하여 테트라 형태의 3차원 요소로 해석을 하였으며 해석 조건은 사출 성형실험의 조건과 동일하게 적용하였다.



[그림 3] 실험 모델의 3D 메쉬 타입

2.4 성형품 관찰

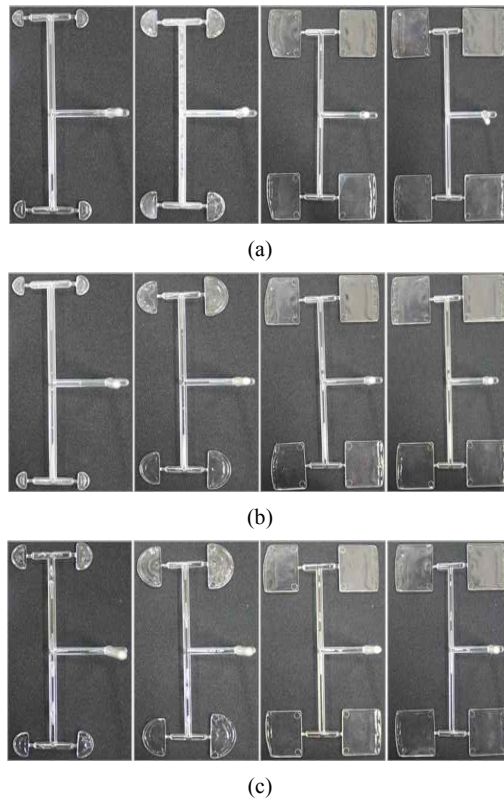
충전량이 큰 내측 캐비티와 충전량이 작은 외측 캐비티 사이에서 발생하는 충전 불균형 현상을 정량적으로 나타내기 위해 시편중량을 측정하여 충전 불균형도(DFI; Degree of Filling Imbalance)을 사용하였다[23]. DFI는 0% 일 때 완전한 균형 충전을 의미한다. 시편중량 측정을 위해 Precisa의 XB-220A 전자저울(0.001g 정밀도)을 사용하여 시편 중량을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사출속도에 따른 충전 불균형

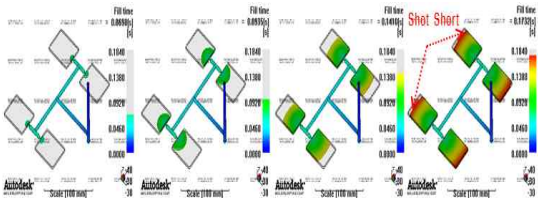
PC와 PP 두 재료에 대하여 여러 사출속도에서 충전에

미치는 영향을 관찰하였다. PC에서 사출속도에 따른 충전현상을 그림 4에 나타내었다. 본 연구에서 관찰하고자 하는 캐비티 충전의 차이는 관찰할 수 있었다. 충전 현상은 사출속도를 조절하며 미성형 실험을 수행한 것이다. 사출속도를 50, 70, 90 mm/sec로 변경시켜 미성형 실험한 결과 모든 조건에서 충전 불균형이 나타났다. 속도가 낮은 50 mm/sec일 때 보다 속도가 높은 90 mm/sec에서 충전 불균형이 컸다. 스프루와 가까운 내측 캐비티 3,4가 스프루에서 멀리 떨어진 외측 캐비티 1,2보다 먼저 충전되었다. 이러한 현상은 유동채널 단면의 온도분포에 기인되며 러너단면에서 온도상승은 전단변형율과 관계가 있다. 따라서 이러한 충전 불균형 현상은 사출속도가 증가될수록 심화됨을 알 수 있다. 즉, 사출속도가 증가되면서 유동채널 단면 내 전단변형율의 불균일한 분포가 크게 되어 온도 불균형이 더욱 심화되기 때문에 캐비티 간의 충전 불균형 차가 더 크게 된다.



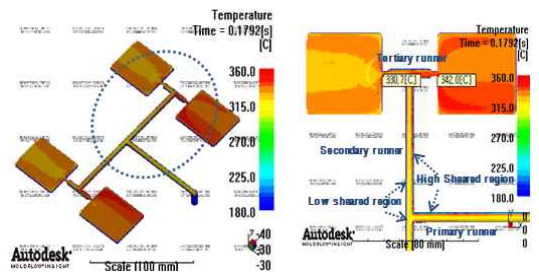
[그림 4] 사출속도에 따른 PC의 유동패턴
(a) 50 mm/sec 속도의 미충전 실험
(b) 70 mm/sec 속도의 미충전 실험
(c) 90 mm/sec 속도의 미충전 실험

그림 5는 사출속도 90 mm/sec에서 PC의 충전상태를 컴퓨터 모사한 것이다.



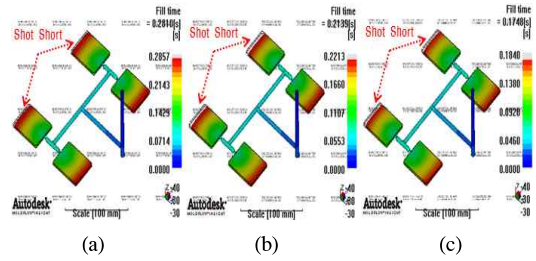
[그림 5] 90 mm/sec 속도에서 PC의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션

유동 채널의 온도 불균일로 캐비티 간 충전 불균형 현상이 나타남을 알 수 있는데 컴퓨터 모사를 통해 계산된 러너에서의 온도 분포를 그림 6에 나타내었다. 스프루를 통해 유입된 용융수지는 1차 러너를 지나게 된다. 이 때 러너벽면은 큰 전단속도를 갖게 되어 온도상승이 크고 중앙부분은 온도상승이 작고 대칭적인 온도분포를 나타내고 있다. 1차 러너에서 2차 러너로 나누어지면서 벽면의 온도가 높은 수지는 2차 러너에서 흐름 진행방향으로 내측으로 위치하고 중앙의 낮은 온도의 수지는 흐름방향의 외측에 위치하여 비대칭적인 온도분포를 나타내게 된다. 3차 러너로 넘어오면서 흐름이 나뉘어 질때 내측으로 온도가 높은 수지가 흐르고 외측으로 온도가 낮은 수지가 흘러간다. 이러한 현상 때문에 높은 쪽의 점도가 낮아 흐름이 좋아 캐비티의 충전이 빠르게 된다.



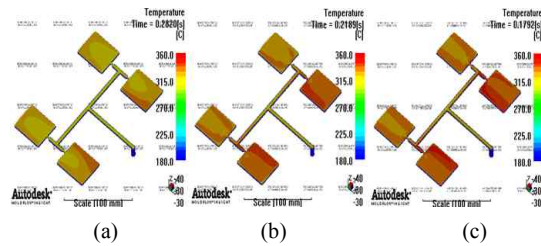
[그림 6] 90 mm/sec 속도에서 PC의 온도분포 컴퓨터 시뮬레이션

PC의 속도에 따른 충전 패턴을 컴퓨터 모사를 통해 그림 7에 나타내었다. 모든 속도에서 내측 캐비티가 외측 캐비티보다 먼저 충전됨을 알 수 있다.



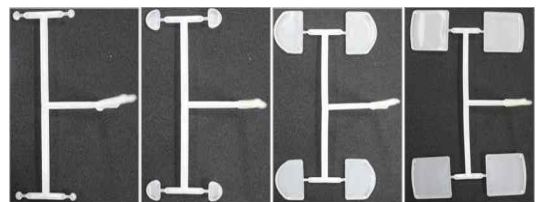
[그림 7] 속도 변화에 따른 PC의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션
(a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

그림 9를 보면 PC의 사출속도에 따른 온도분포를 나타내고 있다. 사출속도가 증가될수록 캐비티 간 온도 불균형이 심화됨을 알 수 있다.

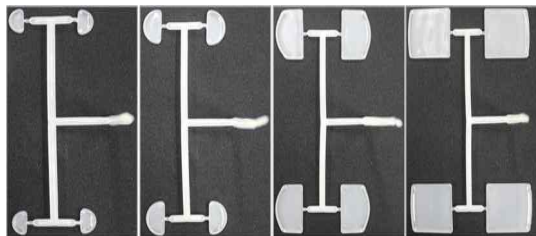


[그림 9] 속도 변화에 따른 PC의 온도분포 컴퓨터 시뮬레이션
(a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

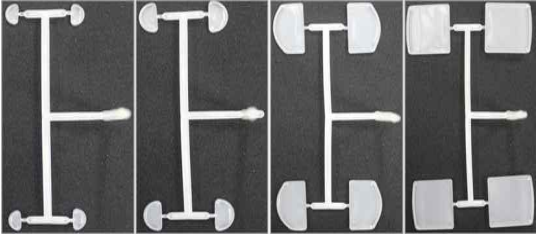
그림 10은 PP의 사출속도에 따른 충전현상이다. 사출속도를 50, 70, 90mm/sec로 변경시켜 미성형 실험한 결과 모든 조건에서 충전 불균형이 나타났고 속도가 증가할수록 충전 불균형이 컸다.



(a)



(b)

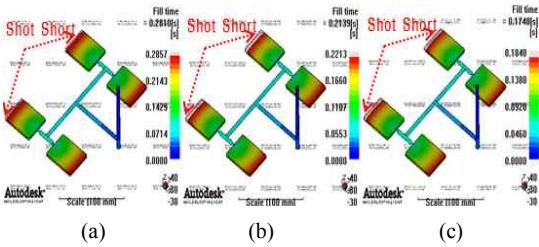


(c)

[그림 10] 사출속도에 따른 PP의 유동패턴

- (a) 50 mm/sec 속도의 미충전 실험
- (b) 70 mm/sec 속도의 미충전 실험
- (c) 90 mm/sec 속도의 미충전 실험

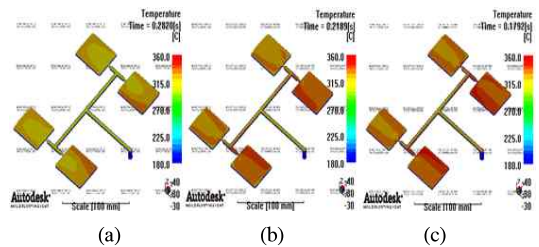
그림 11은 속도에 따른 충전패턴을 컴퓨터 모사한 것이다. PC 결과와 유사한 캐비티 충전 불균형 현상을 관찰할 수 있었고 사출속도에 따른 캐비티 온도분포는 그림 12에 나타내었다.



(a) (b) (c)

[그림 11] 속도 변화에 따른 PP의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션

- (a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

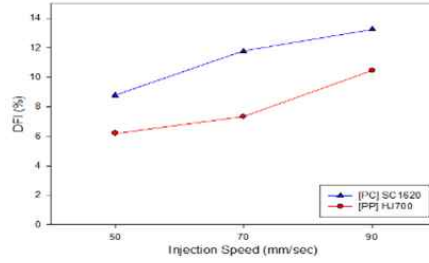


(a) (b) (c)

[그림 12] 속도 변화에 따른 PP의 온도분포 컴퓨터 시뮬레이션

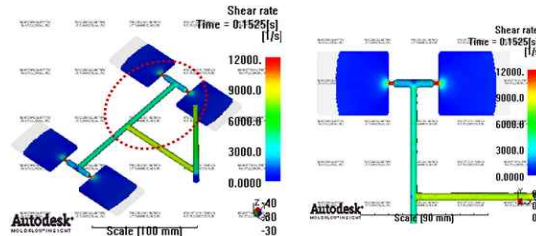
- (a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

사출속도에 따른 PC, PP의 충전 불균형도 값의 변화를 그림 13에 나타내었다. DFI는 0%에 가까울수록 균형 충전에 가까워지며 사출속도 증가에 따라 각 충전 불균형도는 증가되는 경향을 보였다.

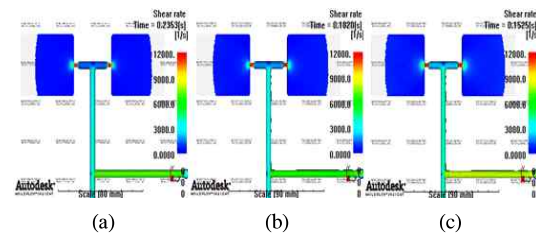


[그림 13] 사출속도에 따른 PC와 PP의 DFI

사출속도가 증가 할수록 러너 내부에서의 전단율 분포 그림 14, 그림 15는 증가 하였다. 그로인해 전단 변형율이 커지면서 용융수지 온도가 높아지며 점도를 낮게 하는 전단감소 현상이 발생되며 유동성을 증가시켜 사출속도가 증가할수록 충전 불균형도가 증가하는 것이다.

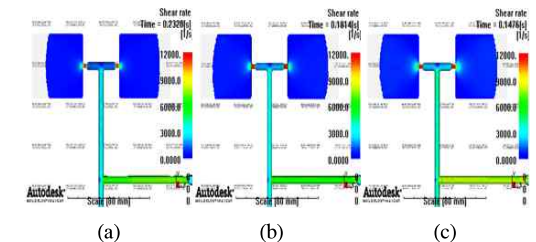


[그림 14] 90 mm/sec 속도에서 러너에 대한 PC의 온도분포 컴퓨터 시뮬레이션



[그림 15] 속도 변화에 따른 PC의 전단률 분포 컴퓨터 시뮬레이션

- (a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

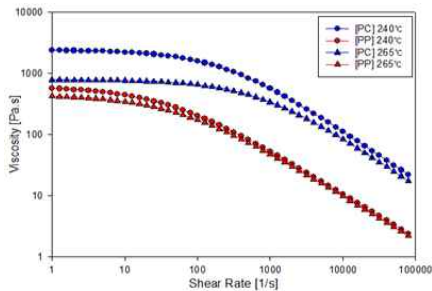


[그림 16] 속도 변화에 따른 PP의 전단률 분포 컴퓨터 시뮬레이션

- (a) 50 mm/sec (b) 70 mm/sec (c) 90 mm/sec

3.2 재료에 따른 충전 불균형

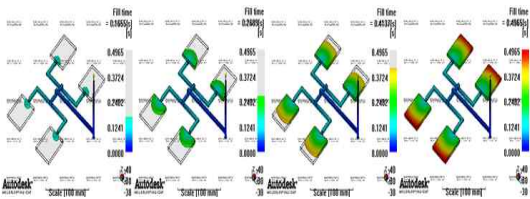
사출속도가 증가 할수록 PC, PP의 충전 불균형도는 증가하는 것을 관찰 할 수 있었다. 이러한 현상은 수지간의 열 발생이 다르기 때문이며 이것은 점도 차이에 기인된다. PC는 PP보다 높은 점도를 가지고 있기 때문에 그림 17에 같은 사출속도에서 열 발생이 더 크게 나타난다. 따라서 온도발생이 크다고 볼 수 있다. 이에 따라 유동채널 내 벽면부 온도가 더 높게 나타나고 온도 불균형이 심화되어 PC 경우 충전 불균형이 더욱 심하게 나타나며 따라서 수지의 충전 불균형이 다르게 나타난다.



[그림 17] Moldflow에 등재 된 PC와 PP의 점도곡선

3.3 충전 불균형 개선 방안

충전 불균형 개선 방안은 2가지로 요약 할 수 있다. 핫 러너 설계를 적용하여 러너 방향이 변경되는 곳에 믹서를 설치하여 유동 마찰열에 의한 고온층 불균형 분배를 차단하는 방법이 있다. 하지만 콜드 러너 금형에는 적용이 어려운 실정이다. 그리고 고온층 위치를 변경하여 분배 방향과 수직되도록 러너 설계를 하여 고온층 위치를 회전하는 방법으로 Melt Flipper 그림 18가 있다. Melt Flipper는 콜드 러너, 핫 러너 설계에 모두 적용 가능한 기술이다.



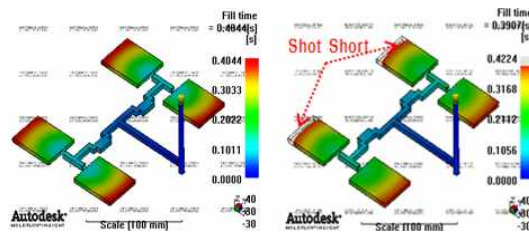
[그림 18] 멜트플리퍼 기술이 적용 된 모델의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션

3.4 충전 균형을 위한 러너 설계 및 CAE 해석

충전 불균형의 원인은 러너 내 불균일한 전단속도 분포에 기인하고 그로인해 불균일한 온도 차이를 야기하며

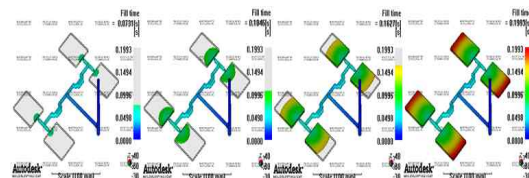
러너 내 수지의 흐름 차이를 발생시킨다. 따라서 충전 균형을 위해서는 러너 내 온도를 균일하게 하여 흐름을 균일하게 할 수 있는 delivery system의 설계가 필요하다. 균형 충전을 위한 볼륨 러너 시스템은 내측 용융수지 흐름에 대한 흐름을 길게 함으로써 기본 러너 시스템에 비해 속도를 줄이게 되어 속도 기울기 또는 전단율이 감소하게 되어 충전 불균형을 해소할 수 있게 되는 것이다.

스프루 기준 내측과 외측으로 볼륨 러너 설계 시 유동 패턴 해석 결과 스프루 기준 외측 설계에서는 충전 불균형 현상이 나타났고 내측 설계에서는 균형 충전을 이루는 것을 관찰 할 수 있었다 그림 19.



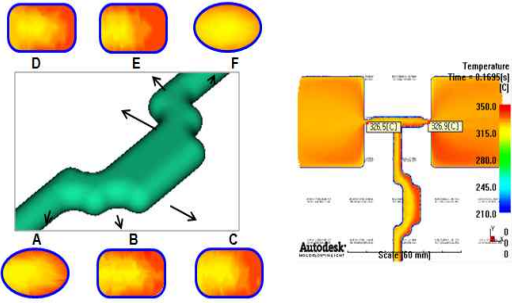
[그림 19] 볼륨러너의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션

그림 20은 PC에서 캐비티 간 충전 패턴을 컴퓨터 모사로 나타내고 있고 볼륨 러너를 지나게 되면서 캐비티 간의 충전이 균일하게 이루어지고 있다.



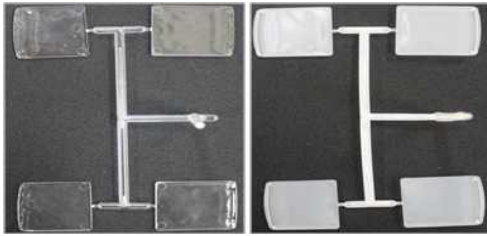
[그림 20] 90 mm/sec 속도에서 볼륨러너에 대한 PC의 유동패턴 컴퓨터 시뮬레이션

그림 21은 PC에서 볼륨 러너를 적용한 다수 캐비티 간의 온도 분포 및 러너단면의 온도는 다음과 같다. 볼륨 러너 단면의 온도분포를 보면 A의 러너 단면의 온도분포는 스프루와 가까운 벽면의 온도분포가 높게 나타나는 온도 불균일을 보이나 볼륨 러너 B, C, D, E를 용융수지가 흘러가며 F에서 온도가 균일해 짐을 알 수 있다. 새로운 러너 시스템인 볼륨 러너는 러너 벽면부와 러너 중심부의 용융수지의 전단율의 차이를 개선하기 위하여 상대적으로 전단율이 큰 유동선단을 감소시킬 수 있도록 함으로써 유동선단의 전단율을 균일하게 하여 내측 캐비티와 외측 캐비티가 동시에 충전할 수 있도록 하였고 러너 벽면 간 온도편차는 0.4°C의 온도편차를 나타내었다.

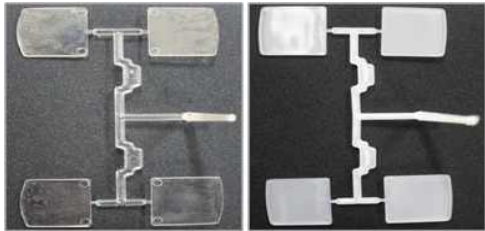


[그림 21] 볼륨러너 내부의 온도분포 컴퓨터 시뮬레이션

그림 22은 기본 러너와 볼륨 러너의 실험 결과를 나타내었다. 기본 러너의 내측과 외측의 캐비티에서는 충전 불균형 현상이 보이는 반면 볼륨 러너의 내측과 외측의 캐비티는 충전 균형을 이루고 있다.

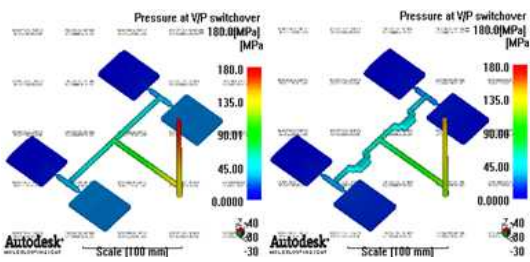


(a)



(b)

[그림 22] 기본러너와 볼륨러너의 충전패턴 비교
(a) 기본러너 (b) 볼륨러너 (좌:PC, 우:PP)



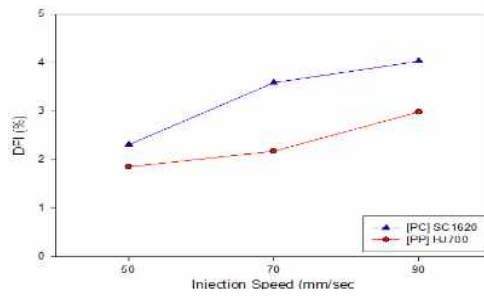
(a)

(b)

[그림 23] 러너형태에 따른 압력분포 컴퓨터 시뮬레이션 비교
(a) 기본러너 (b) 볼륨러너

러너의 캐비티 압력분포는 그림 23와 같다. 볼륨 러너부의 내측과 외측 캐비티 압력분포는 균일한 반면 기본 러너의 캐비티 압력 분포는 불균일한 분포를 보였는데 먼저 채워지는 내측 캐비티의 압력이 외측 캐비티의 압력보다 높게 나타났다.

사출속도에 따른 볼륨 러너의 PC, PP의 충전 불균형도 값의 변화를 그림 24에 나타내었다. 볼륨 러너 시스템은 기본 형태의 러너의 비해 충전 균형은 PC의 경우 최대 약 4배, PP의 경우 최대 약 5배 향상되었고 사출속도 증가에 따라 각 충전 불균형도는 증가되는 경향을 보였다. 볼륨 러너에서 DFI 값이 2~4%인 이유는 이론적으로 러너의 효과를 보기위해 미성형 사출성형 실험을 하였고 완전한 충전과 보압 과정을 통해 제품을 성형했다면 증량 편차가 적은 제품을 얻었을 것이다.



[그림 24] 사출속도에 따른 PC와 PP의 DFI

4. 결론

본 연구는 다수 캐비티 금형에서 충전 불균형 현상에 대한 원인을 검토하고 사출성형해서 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 하여 충전 패턴을 예측 하였고 점도 및 물성이 다른 PC, PP에 대한 사출속도에 따른 충전현상을 알아보기 위해 사출성형 실험과 성형해석을 수행하였다.

충전 불균형 현상은 러너 내부의 불균일한 전단분포에 의해 발생되며, CAE 해석을 통해 각 수치마다 사출속도에 따른 충전 패턴 경향과 온도분포를 예측 할 수 있었고, 사출성형 실험과 일치함을 알 수 있었다. 다수 캐비티 사출 금형에서 충전 불균형도는 각 수치마다 다르게 나타났다며 러너 내부에서의 불균일한 전단열의 차이로 인해 온도분포가 다르게 나타나기 때문이다. 사출속도가 증가함에 따라 충전 불균형도가 증가하는 것을 확인 할 수 있었고 PC는 PP보다 높은 점도를 가지고 있기 때문에 동일한 사출 속도에서 열 발생이 크게 나타난다. 따라서 온

도발생이 크고 유동채널 내 벽면부 온도가 더 높게 나타나고 온도불균형이 심화되어 충전 불균형이 더욱 심하게 나타나게 되는 것이다.

참고문헌

[1] 한동엽, "비결정성 수지에서 성형조건이 성형품질에 미치는 영향", 공학석사 논문, 부경대학교, pp 1-2, 2003.

[2] N.G. McCrum 외, "고분자공학원론", Oxford University. pp.1-8, (1999).

[3] 정영득, 박태원, 김현필 공저, "플라스틱 성형을 위한 알기 쉬운 금형설계", 도서출판 인터비전, pp.224-227, 2003.

[4] Jack H. Young and J.P. Beaumont, "Mold filling imbalances in geometrically balanced runner system", *Journal of Injectino Molding Technology*, Vol. 1, No. 3, pp.133-143, 1997.

[5] J. Coulter, K. Takarada, J. Beaumont, and M. Myers, *ANTEC*, **52**, 1098. 2006.

[6] Yang Weimin and Xie Pengcheng, *China Plastics*, **18**, 93. 2004.

[7] P. S. Cook, H. You, C. V. Kietzmann, and F. S. Costa, *ANTEC*, **51**, 526. 2005.

[8] C. C. Chien, C. C. Chiang, W. H. Yang, V. Tsai, and D. C. Hsu, *ANTEC*, **51**, 55. 2005.

[9] K. Boell, J. P. Beaumont, and B. Young, *ANTEC*, **49**, 430. 2003.

[10] J. A. Cypher and A. M. Neely, *ANTEC*, **51**, 3363. 2005.

[11] H. E. Casaldi and T. Michel, *ANTEC*, **47**, 3112. 2001.

[12] Beaumont and J. Ralston, *ANTEC*, **45**, 77. 1999.

[13] H. P. Park, B. S. Cha, and B. O. Rhee, *Transactions of Materials Processing*, **15**, 47. 2006.

[14] C. M. Kang, Y. D. Jeong, and K. T. Han, *Transactions of Materials Processing*, **15**, 42. 2006.

[15] J. P. Beaumont, US Patent 6,077,470. 2000.

[16] J. P. Beaumont, US Patent 6,503,438. 2003.

[17] Charles A. Wiechard and Ga Tucker, US Patent 4,620,958. 2003.

[18] D. K. Je and Y. D. Jeong, Korea Patent 20-2006-0012494. 2006.

[19] N, Katsttoshi, JP Patent 0020563. 1993.

[20] H. T. Kim and Y. R. Jeon, Korea Patent 10-2006-0079007. 2006.

[21] H. T. Kim and Y. R. Jeon, Korea Patent 10-2006-0075199. 2006.

[22] 제덕근, 정영득, "다수 캐비티를 갖는 3매 구성 사출금

형에서의 충전 불균형", *한국정밀공학지*, 제**21**권, 제6호, pp. 177-122, 2004.

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 화학공학(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 화학공학(공학석사)
- 1993년 8월 : KAIST 화학공학(공학박사)
- 1998년 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상

전 강 일(Kang Il Jeon)

[정회원]



- 2009년 2월 : 순천향대학교 나노화학공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 순천향대학교 나노화학공학과 (공학석사)

<관심분야>

고분자가공, 사출성형

노 승 규(Seung Kyu Noh)

[정회원]



- 2010년 2월 : 순천향대학교 나노화학공학과 (공학사)

<관심분야>

고분자가공, 사출성형