

# 다수 캐비티 사출성형에서 충전 불균형 현상에 관한 시뮬레이션

전강일\*, 김동학\*

\*순천향대학교 나노화학공학과

e-mail:dhkim@sch.ac.kr

## CAE Simulation Study an Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molding

Kang-Il Jeon<sup>1</sup>, Dong-Hak Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept of Chemical Engineering, Soonchunhyang University

### 요 약

사출성형은 열가소성수지의 가공법으로써 정밀도나 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는데 널리 이용되며 플라스틱은 현재 광범위하게 사용되고 있는 공업재료 중의 하나이다. 과거에는 플라스틱을 일회용품 및 외장재로 사용하였다. 그러나 산업기술이 발전하며 플라스틱은 금속을 대체 할 수 있는 재료로서 사용할 수 있다는 인식의 변화로 점차 기계요소용 재료로 사용되고 있으며 기계요소용 재료로 사용됨에 따라 플라스틱 제품이 정밀한 부품으로 사용되기 위해서는 금형의 가공뿐만 아니라 사출성형 시 용융수지가 금형의 각 캐비티에 균형적으로 충전되는것이 요구된다. 이러한 요구조건을 만족하기 위해서는 각 캐비티의 가공치수는 매우 높은 정밀도를 유지해야 하며, 각 캐비티에서의 충전과 냉각도 동일한 상태를 유지해야 한다. 충전 불균형은 성형품의 품질에 큰 저해 요인으로서 플라스틱 제품의 치수성, 밀도, 외관품질, 강도 등에 불균일한 결과를 가져오는 요인으로 지적되고 있다. 실제로 충전 불균형은 충전 단계에서 런너 내에서 발생하는 불균일한 전단분포에 기인하여 발생되므로 점도 변화에 영향을 주는 수지의 물성, 런너의 배열과 같은 외부 요인과 사출압력, 사출속도, 수지온도, 금형온도와 같은 성형공정 조건에 의한 요인에 의한 충전 불균형의 양상이 달라지게 된다. 본 연구는 다수 캐비티 금형에서 충전 불균형 현상에 대한 원인을 검토하고 실제로 사출성형을 실시하기 전 사출성형해석 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 하여 다수 캐비티에 대한 충전 패턴을 미리 예측하여 보았다.

### 1. 서론

사출성형은 열가소성 수지의 가공법들 중에서 정밀도나 고품질의 제품을 효과적으로 생산하는 데에 널리 이용되는, 플라스틱 산업의 가장 일반적인 공정으로 고분자 용융체를 금형의 캐비티에 높은 압력으로 채워 넣음으로써 캐비티 형상과 같은 제품을 생산하는 공정으로 단순한 형상의 제품은 물론이고 복잡한 형상의 플라스틱 제품의 생산에 가장 널리 사용되고, 다양한 플라스틱 소재를 재료로하여 가공할 수 있으며, 상대적으로 생산 Cycle time이 짧아서 다른 생산 방식보다 저렴한 생산가로 복잡한 형태의 제품을 효율적으로 생산할 수 있는 방식이다.[1]

사출공정에서 생산성을 향상시키기 위한 여러 가지 요소중 다수 캐비티 사출성형은 필수적이다. 이렇듯

제품의 대량 생산을 위해서는 금형상에 다수 캐비티를 채택하여 성형하고 있다.[2]

다수 캐비티를 적용할 때 설계자는 모든 캐비티에 균일한 충전을 위해서 기하학적으로 균형잡힌 런너를 설계한다. 그러나 균형잡힌 런너를 갖는 금형으로 실제 사출성형을 해보면 의도한 것과는 다르게 캐비티에 충전 불균형이 이루어 지는 것을 볼 수 있다. 충전 불균형 상태에서 성형 된 제품은 치수정밀도, 잔류응력, 기계적 강도 등이 서로 다른 제품이 되며, 제품 불량률의 원인이 된다.[3]

충전 불균형 현상은 사출성형시 런너 내에 발생하는 불균일한 전단분포에 기인하여 발생되므로 점도 변화에 영향을 주는 수지의 물성, 런너의 배열과 같은 외부요인과 사출압력(injection pressure), 사출속도(injection speed), 수지온도(melt temperature), 금형온도(mold temperature)와 같은 성형공정 조건에 의한 요

인에 의해 충전 불균형의 양상이 달라지게 된다.[4] 산업현장에서는 각 캐비티에 발생하는 충전 불균형을 해소 하기 위해 게이트 크기를 조정하거나, 내측 및 외측 캐비티 중 한쪽 캐비티의 유로를 막아 일부 캐비티만을 사용하기도 한다. 그러나 게이트 크기를 조정하여 각 캐비티의 용융수지의 충전량을 동일하게 하더라도, 각 캐비티의 성형품에 작용하는 압력과 수지 밀도는 달라지게 되어 여전히 충전 불균형 현상은 일어나게 된다. 또한, 캐비티의 한쪽 유로를 막을 경우, 불균형이 일어난 캐비티 측의 생산량은 절반으로 감소하게 되어 생산성에 손실을 가져온다.[5]

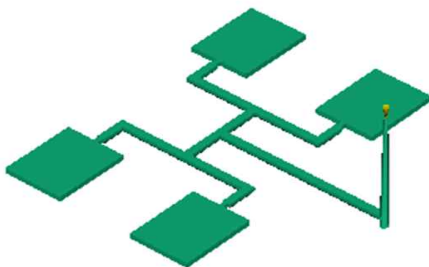
다수 캐비티 사출성형 충전 불균형에 관련된 연구는 Beaumont에 의해 발표되었으며 캐비티의 충전 불균형은 수지가 유동하면서 금형의 런너내에서 일어나는 전단에 기인한 점도변화와 전단가열에서 오는 수지유동의 근원적인 문제로 규정하였다.[3]

본 연구에서는 다수 캐비티 금형에서 충전 불균형 현상에 대한 원인을 검토하고 실제로 사출성형을 실시하기 전 사출성형해석 소프트웨어(Moldflow)를 이용한 시뮬레이션을 통한 다수 캐비티에 대한 충전 패턴을 미리 예측하여 보았다.

## 2. CAE Analysis

### 2.1 Modeling & Condition

본 연구에서는 충전 불균형 Simulation을 알아보기 위해 3D CAD Program을 이용하여 Model을 Design 한다. 그림.1 은 3D CAD Program 중 하나인 NX UG 6.0 을 이용하여 Modeling 한 것이다. 사용수지는 PC(CheilIndustries HF-1023IM)이고 표.1 은 CAE Analysis Condition을 나타낸다.



[그림 1] Basic Model

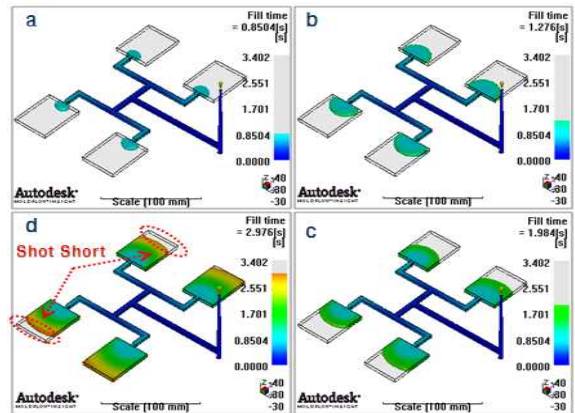
[표 1] CAE Analysis Condition

Inj. Speed	Melt Temp.	Mold Temp.	P/F Switch over	Cooling Time
200 cm <sup>3</sup> /s	290℃	80℃	98%	8sec

## 3. CAE Analysis Results

### 3.1 Basic Model 충전패턴

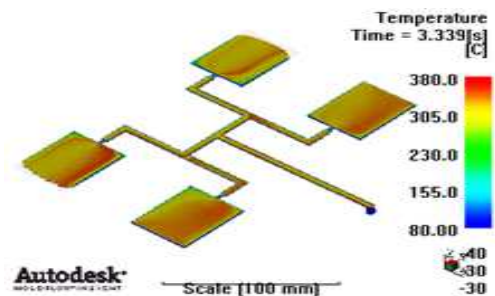
각 캐비티에서의 충전 불균형을 모사하기 위해 Autodesk사의 Moldflow를 사용하였다. Moldflow는 사출성형 해석 전용 프로그램으로서 2차원 해석뿐 아니라 관성 및 비등은 유동과 같은 실제적인 3차원 해석을 지원한다. 사출성형 과정에서 충전, 보압, 냉각 해석 및 사출성형 후 제품의 수축 및 휨 현상도 예측할 수 있으며 각 과정의 마지막에서의 수지의 유동, 온도, 압력, 전단응력 등을 예측한다. 또한 압력이나 형체력 및 웰드라인, 에어트랩의 발생 가능한 위치도 해석으로 예측 가능하다. 그림.2 는 Basic Model 충전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



[그림 2] Basic Model Flow Pattern

### 3.2 Runner 온도 불균형

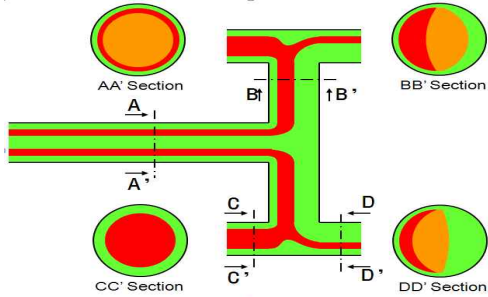
충전 불균형 현상은 런너 내부의 온도 불균일로 캐비티간 충전 불균형 현상이 나타남을 알 수 있는데 컴퓨터 해석을 통해 계산된 런너에서의 온도 분포를 그림.3 에 나타내었다.



[그림 3] Basic Model Temperature

스프루에서 온 수지는 1차런너를 지나게 된다. 이때 런너벽면은 큰 전단속도를 갖게 되어 온도상승이

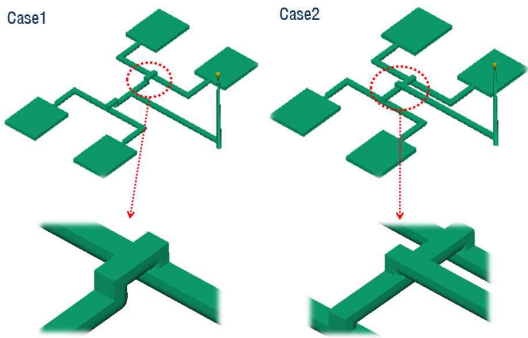
크고 중앙부분은 온도상승이 작다. 1차 런너에서 2차런너로 나뉘어지면서 벽면의 온도가 높은 수지는 2차런너에서 흐름진행방향으로 좌측에 위치하고 중앙의 낮은 온도의 수지는 흐름방향으로 우측에 위치하게 된다. 다음 3차 런너로 넘어오면서 흐름이 나뉘어 질 때 내측 캐비티로 온도가 높은 수지가 흐르고 외측으로는 온도가 낮은 수지가 흘러간다. 이러한 현상 때문에 온도가 높은쪽에 점도가 낮아 흐름이 좋아 캐비티의 충전이 빠르게 된다. 런너 내부에서의 온도 분포를 그림.4 에 나타내었다.



[그림 4] Runner에서의 온도 불균형

### 3.3 Meltflipper Model

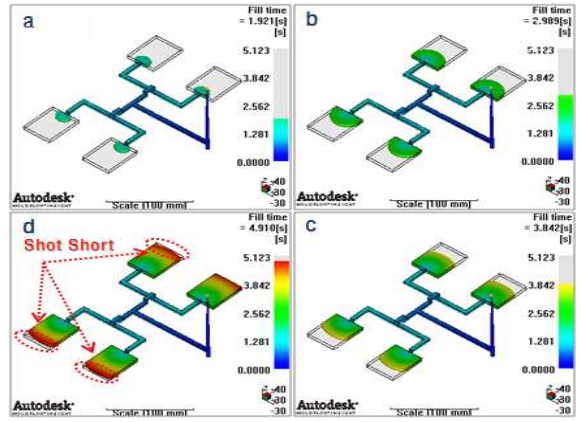
충전 불균형 개선 방안으로 런너 방향이 변경되는 곳에 믹서를 설치하여 혼합 함으로써 유동 마찰열에 의한 고온층의 불균형 분배를 차단하고 런너 구조를 변경하여 고온층 위치를 회전 하고 Meltflipper Design을 적용하여 고온층 위치를 변경하여 분배 방향과 수직되도록 런너 구조를 Design 하였고 그림.5 에 나타내었다.



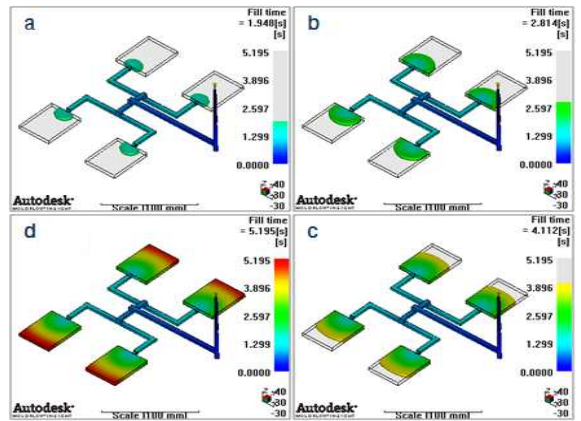
[그림 5] Meltflipper Model

### 3.4 Meltflipper 충전패턴

2단 런너 구조인 Case1(그림.6) 과 3단 런너 구조인 Case2(그림.7) 충전 해석 결과, Case2에서 균형적인 충전이 나타나는것을 확인할수 있었다. 이러한 이유는 런너 내부에서의 고온층 회전이 Case1 보다 Case2가 우수하기 때문이다.



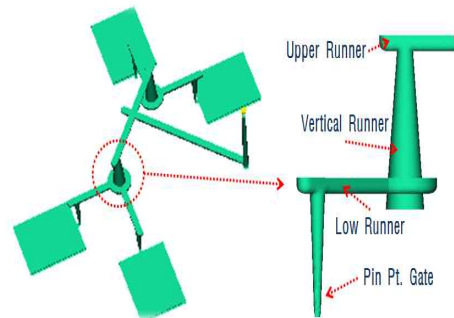
[그림 6] Case1 Flow Pattern



[그림 7] Case2 Flow Pattern

### 3.5 Balance Runner System

균형충전을 위해서 상부런너, 수직런너, 하부런너 구조의 3단 런너를 Design 하였고 그림.8 에 나타내었다. 3단 구조를 설계하게된 이유는 런너 상부에서 런너 유동을 수직 런너부를 지나게 함으로써 Beaumont가 제안하는 Meltflipper을 적용하여 균형적인 충전이 가능하게 하기 위함이다.

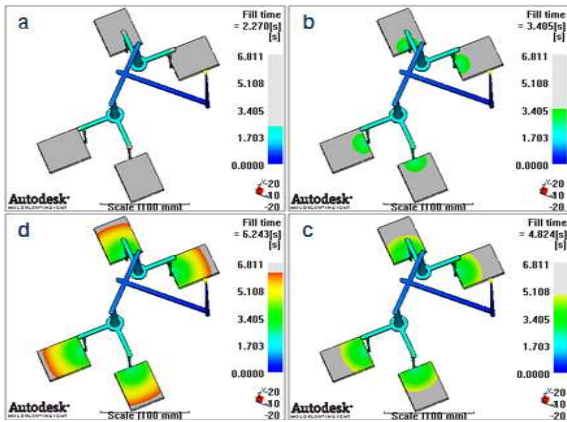


[그림 8] Balance Runner Model

### 3.6 Balance Runner 충전패턴

Balance Runner 해석 결과를 그림.9 에 나타내었고 충전 해석 결과 런너 내부에서의 유동이 균형을 이

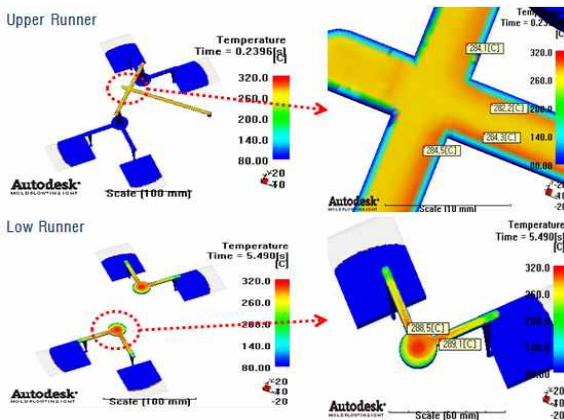
문다는 것을 예측할 수 있었다.



[그림 9] Balance Runner Flow Pattern

### 3.7 Balance Runner 온도

1차 분기점(Upper runner)을 지나는 수지는 2차 분기점(Vertical runner)을 지나며 Meltflipper를 생성시켜 고온층의 회전을 주어 유동 균형을 취하게 되고 3차 분기점(Low runner)에서 각 캐비티에 균형충전이 가능하고 결과를 그림.10 에 나타내었다.



[그림 10] Balance Runner Temperature

## 4. Conclusion

본 연구에서는 4캐비티를 갖는 3단 금형을 대상으로 수지재료 PC에 대한 충전 불균형도를 실험하였다. 사출성형 CAE 해석 결과 런너에서의 흐름상의 균형충전을 위해서는 런너 구조를 변경하여 고온층의 위치를 회전을 줘야 하며, 런너 상부에서 런너 유동을 수직 런너를 지나게 함으로써 Beaumont가 제안하는 Meltflipper를 생성시켜 유동 균형을 취하게 하여 각 캐비티에 균형 충전이 가능하게 하였고 충전 불균형을 개선하기 위한 대안으로 3단 Balance

Runner을 디자인 하여 균형충전을 확인 할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임.

## 참고문헌

- [1] Kim, B. H., Jang, W. J., Kim, J. H., Cho, J. H., Park, Y. H. and Choe, S. J., "Application of CAE in Injection Molding Process," HWAHAK KONGHAK, Vol. 41, pp. 577~584, 2003
- [2] Jeong, Y. D., Park, T. W. and Kong, H. P., "Easy mold design for plastic injection molding," INTERVISION, pp. 224-227, 2003.
- [3] Beaumont, J. P. and Young, I. H., "Mold filling imbalances in geometrically balanced runner systems," J. of injection molding technology, Vol. I, No.3, pp. 113~143, 1997
- [4] Beaumont, J. P., Young, J. H. and Jawoski, M. J., "Solving Mold Filling Imbalance in Multi-Cavity Injection Molds," Journal of Injection Molding Technology, Vol. 2, No. 2, pp. 47~58, 1998
- [5] Kwon, Y. S., Jeong, Y. D., "Optimization of Processing on Filling Balance of the HR3P Mold Structure" 한국정밀공학회, 2009