다이렉트 에지 게이트를 적용한 멀티캐비티 금형 최적설계에 관한 연구

The study of optimum design for multi-cavity mold by using direct edge gate

*조지현[1], #서태일[1], 박동삼[1], 이정원[2], 손종인[2], 신장순[3]
*J. H. Cho[1], #T. I. Seo(Tiseo@incheon.ac.kr)[1], D. S. Park[1], J. W. Lee[2], J. I. Son[2], J. S. Sin[3]
[1]인천대학교 기계시스템공학부, [2]한국생산기술연구원, [3]알케미몰드앤플라스틱

Key words : Direct edge gate, Multi-cavity

1. 서론

열가소성 플라스틱 제품을 성형하기 위한 런너의 형식에는 콜드런너(Cold runner)방식과 핫런너(Hot runner)방식이 있다. 콜드런너 방식은 금형의 제작비용이 저렴하고 다양한 방식의 게이트 시스템을 적용할 수 있어 많이 사용되어지는 방식이다. 하지만 재료의 손실이 크고 제품에 비하여 두꺼운 런너에 의한 냉각시간이 길어져 전체적으로 사이클 타임이 길어지게 된다. 또한 멀티캐비티(Multi-cavity)를 적용함에 있어 제한적이다. 멀티캐비티를 적용할 경우 유로의 증가로 인해 수지의 유동성이 저하되고 사출압력이 증가하여 큰 사출기가 필요하게 되므로 생산원가가 증가하는 원인이 되기도 한다.

성형원료의 절약과 무인 자동화를 통한 비용의 절감을 위해서는 핫런너 방식에 의한 런너리스(Runnerless) 성형을 생각하지 않을 수 없다. 멀티캐비티를 위한 런너리스 성형방식에는 Insulated runner, Open gate hot runner, Valve gate hot runner 등이 있다. 이러한 성형방식의 이점으로서는 압력의 손실이 적고 수지 온도를 낮게 하는 것이 가능하여 가소화 능력이 향상되고 수지의 물성도 개량되며 게이트 주위의 잔류응력 감소로 인해 제품의 품질도 향상된다. 하지만 게이트의 흔적이 제품의 상면에 남기 때문에 제품의 가치를 하락시키는 원인이 되고 제품의 특성상 상면에 게이트 흔적이 남아서는 안 되는 경우에는 적용하기가 어렵다. 게이트 흔적을 눈에 잘 보이지 않게 하기 위해서는 게이트를 제품의 내측, 또는 측면의 외측에 설치하여야 한다. 그러나 제품의 내측에 핫런너 시스템을 설치하는 것은 너무 어렵고 복잡하기 때문에 불가능하다.

핫런너 방식의 다이렉트 에지 게이트(Direct edge gate)를 적용한 런너리스 성형에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있다. 게이트의 위치를 제품의 측면에 설치하여 게이트 흔적을 최소로 하여 품질을 향상시킬 수 있다. 또한 노즐 하나에서 2~4개의 제품을 성형할 수 있으므로 노즐 수 감소로 인해 금형의 제작비용을 절감할 수 있다. Fig 1에 다이렉트 에지 게이트의 단면도와 게이트의 형상을 나타내었다.

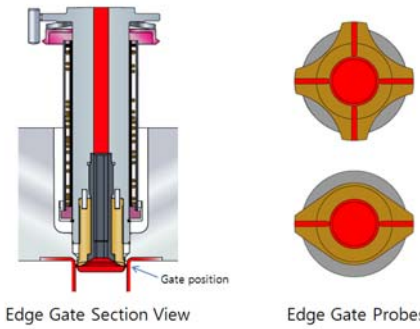

Fig. 1 Direct edge gate product overview

본 논문에서는 멀티캐비티 금형은 균일한 충전과 균일한 냉각에 의한 제품의 성형이 중요하다. 유동해석을 통해서 각 캐비티마다 균일한 충전이 이루어지는지 확인하고 냉각해석을 통해서 캐비티 마다 균일한 냉각이 이루어지는지 확인하고자 한다. 냉각방식에서는 직렬방식이 병렬방식에 비하여 효율이 좋다. 병렬방식은 분기점에서 유량의 변화로 인해 열전달 효율이 변화하기 때문이다. 하지만 금형의 구조상 멀티캐비티 금형에서는 직렬방식을 적용하기가 어려우므로 병렬방식에서 유량과 냉각회로의 직경 및 배치를 최적화하여 금형설계에 적용하고자 한다.

사출성형해석은 성형품 최적설계를 토대로 시행착오를 방지하여 개발기간을 단축하며, 신뢰성 있는 품질을 유지하도록 하는 것이 가능하도록 하는 효과적이며 효율적인 방법으로 알려져 있다. 성형해석을 금형제작 이전에 시행함으로써 종래의 방법에서 빈번하게 발생하던 제품설계 변경, 금형설계 변경으로 인한 금형의 수정과 반복적인 시험사출로 인한 시간과 비용을 절약할 수 있다.

2. 사출성형해석

멀티캐비티 금형의 경우 캐비티의 배열이 규칙적이다. 모든 제품에 대해서 해석을 진행할 경우 시간이 많이 걸리므로 하나의 노즐에서 성형되는 2캐비티를 대상으로 유동해석을 진행하였다. 또한 퓨전 메쉬(Fusion mesh(45874 elements))의 경우 미드플레인 메쉬(Midplane mesh(17404 elements)) 보다 메쉬 수의 증가로 해석에 어려움이 있다. 동일한 조건에서 유동해석을 진행한 결과 Fig.2와 같이 거의 같은 결과 값을 나타내므로 48캐비티에 대한 해석은 미드플레인 메쉬로 진행하였다.

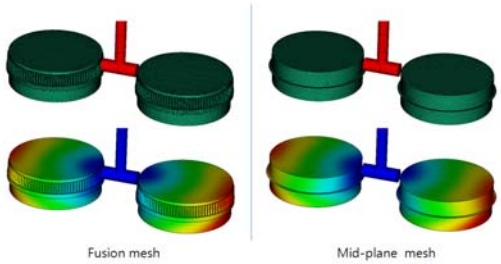

Fig. 2 Comparision of fusion mesh and midplane mesh

최적의 성형조건을 찾기 위해서 사출속도를 0.5초, 1초, 2초 등으로 선정하여 해석을 수행하였다. Table 1에서와 같이 사출속도가 0.5초 인 경우는 유동선단 온도가 208℃~210℃로써 거의 차이가 없이 고르게 분포를 되었으나 사출압력의 상승과 게이트 부에서의 전단변형률이 급격히 상승하였다. 높은 전단변형은 수지의 흐름을 배향되게 하고 전단응력을 상승시킴으로서 적절한 조건이 아니라고 판정하였다. 사출속도가 2초인 경우는 유동선단의 온도차가 너무 크게 발생하였고 사출속도가 1초인 경우는 유동선단의 온도가 20℃ 이내로 발생하였고 전단변형율도 크지 않아 가장 적절한 사출속도로 판단되었다. 보압시간은 제품이 충전 후 3초 전후에서 천이 온도(Transition temperature)에 도달하기 때문에 2초로 설정하였다.

Table 1 Analysis results with injection time (material: PP)

사출시간 [sec]	사출압력 [MPa]	유동선단온도 [℃]	전단변형율 [1/s]
0.5sec	21	208~210	1.8635E+04
1sec	18.32	197~210	9310
2sec	16.90	167~210	1976

이러한 조건으로 48 캐비티에 대한 유동해석을 실시한 결과는 Fig 3과 같으며 각 캐비티 마다 균일한 충전이 이루어짐을 알 수 있다. Processing parameter는 Fig 4에 나타내었다.

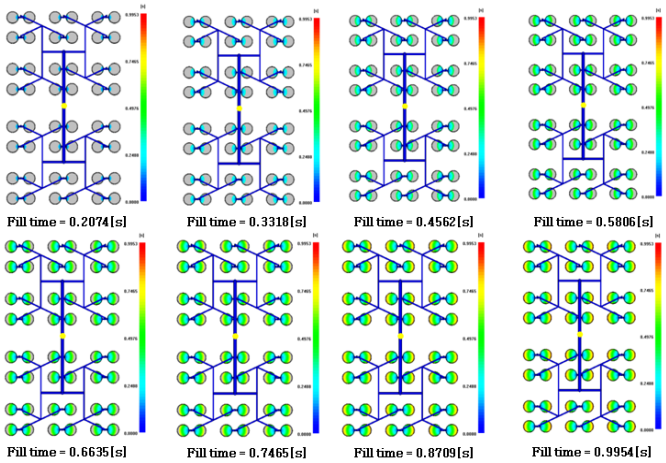

Fig. 3 Flow front advancement(step by step)

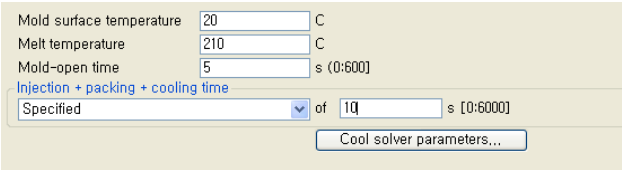

Fig. 4 Processing parameter

Fig 5와 같이 게이트의 반대쪽에서 웰드라인(Weld line) 및 에어트랩(Air trap)이 집중되었다. 금형 제작시 에어벤트(Air vent)를 충분히 설치할 필요가 있다. 해석의 결과를 바탕으로 제품의 내부에 레이스 트랙(Race track)을 설치하여야 하나 실제 실험 금형을 통해서 발생하는지 확인하고 그 후에 문제를 해결하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

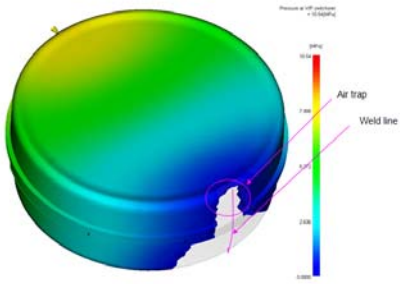

Fig. 5 Position of weld line and air trap

사출금형은 제품을 대량 생산하기 위한 수단으로써 생산성 향상을 위해 전체 사이클 타임(Cycle time) 길어서는 안 된다. 전체 공정의 사이클 타임 중에 냉각시간이 차지하는 비중이 70~80%를 차지하므로 최대한 효율이 좋은 냉각회로를 구성하여야 한다. 냉각회로 직경은 8mm로 하였으며 상측은 중앙부와 외곽부에 이중으로 회로를 구성하였다. 하측은 외곽부와 중심코아에 냉각회로를 별도로 구성하였다. 성형해석을 통해서 유량에 의한 해석을 진행한 결과 Fig 6에 나타낸 것과 같이 유량이 2.5(lit/min) 인 경우는 inlet과 outlet의 온도 차이가 3~4℃ 였으며 6(lit/min) 인 경우는 1~2℃의 차이가 났다. 유량이 9.96(lit/min) 인 경우는 1℃ 이하의 온도 차이가 발생함을 해석적으로 분석할 수 있었다. 해석결과 유량에 의한 온도 차이가 크게 발생 하였으므로 용량이 큰 펌프가 필요 하였다. Fig 7은 제품으로부터의 열을 냉각채널의 각 부분에서 얼마나 효과적으로 제거하는지에 대한 효율의 비를 나타 낸 것이다. 설계된 회로의 각 부분에서 효율적으로 열을 제거하였으며 특히 하측의 중심부에 설치한 냉각회로에서 가장 효율적으로 열이 제거되었다.

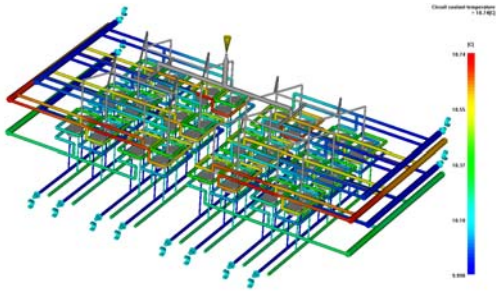

Fig. 6 Circuit coolant temperature [9.96(lit/min)]

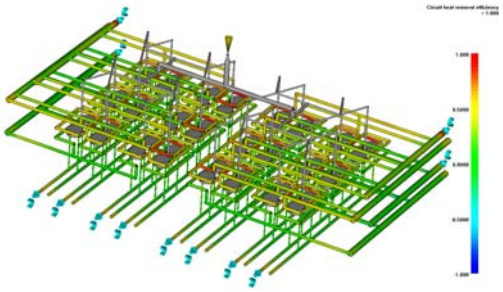

Fig.7 Circuit heat removal efficiency

4. 결론

본 논문에서는 다이렉트 에지 게이트를 적용한 멀티캐비티 용기제품 금형 제작에 있어 사출성형해석을 통해 최적의 성형조건을 평가하여 금형 제작 시 적용하였다. 48 캐비티 모든 제품에서 균일한 충전과 냉각이 이루어져 고속 성형이 가능하나 금형 제작 시 사전에 캐비티 전체에 충분한 에어벤트를 설치하여야 한다. 본 연구에서는 금형 선진국에서 보편화 되어 있는 다이렉트 에지 게이트 기술을 소개함으로써 국내의 멀티 캐비티 금형을 제작하는 업체에서의 활용이 기대된다. 그러나 다이렉트 에지 게이트는 게이트 랜드(Gate land)부가 제품의 두께 보다 길어서는 안 되는 전제 조건이 있으며, 제품에 게이트가 1개 이므로 중량이 큰 성형품에는 제한적이다(30g/s 이하에 적합).

또한 본 연구에서는 금형을 제작하기 이전에 사출성형해석을 시행함으로써 빈번한 금형 수정으로 인한 시간과 비용을 절약할 수 있었다.

후기

본 연구는 대·중소기업협력재단의 '구매조건부 신제품개발사업'의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 유병렬, "런너리스 사출금형," 성안당, 1991.
2. Hans Gastrow, "GASTROW Injection Molds," 성안당, 1996.
3. 신남호, 오희성, 강승규 공저, "The Optimization of Injection Molding Process by CAE," 대광서림, 2008.
5 William D, Callister, Jr. 김용석, 김형준, 박인규, 이재갑 공역, "MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING" 사이텍미디어, 2004.
4. 김형국, 연규현, "CAE를 활용한 플라스틱 팬 제품의 금형설계개선," 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계학술대회, pp109~114, 2008.
5 Husky Injection Molding Systems Manual
6 Mold Masters Product Manual