

# 인서트 코어 타입 Cap 성형용 대용량 금형 제작에 관한 연구

정우철<sup>†</sup> · 허영무 · 신광호 · 윤길상 · 이정원

한국생산기술연구원 금형·성형기술연구부  
(2008. 2. 20. 접수 / 2008. 4. 30. 채택)

## Fabrication of large-capacity injection mold with the insert core for molding cap

Woo-Chul Jung<sup>†</sup> · Young-Moo Heo · Gwang-Ho Shin · Gil-Sang Yoon · Jeong-Won Lee

Molding & Forming Technology R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology  
(Received February 20, 2008 / Accepted April 30, 2008)

**Abstract :** In recent, the demands of household cases and disposable products is increased significantly because a living standard of newly-emerging nations was risen. Therefore, multi-cavity mold and stack mold for the realization of high-productivity have been researched in forefront nations. In this paper, CAE analysis for minimizing the mold core deformation was performed. Finally, 64 cavities injection mold for molding cap which has the insert-type core was fabricated according to the result of CAE analysis.

**Key Words :** Injection molding, Large-capacity mold, Insert core, CAE analysis

### 1. 서 론

Cap 성형용 금형의 경우 일반 사출 금형 제작 프로세스와 유사한 과정을 거쳐 제작되나 일회성 생활용품 사용이 급증하면서 관련 제품을 성형하는 생활용품 금형이 현재 선진국에서는 고부가가치 금형으로 분류되어 있는 실정이며, 금형 제작 기술은 대용량 금형, 인 볼드 라벨링, 다중사출 기술, 스택 금형 등으로 변화하고 있는 추세이고, 복합적이고 융합기술이 필요한 최신 금형기술의 집적화가 많이 시도되고 있는 실정이다. 본연구에서는 인서트 코어 타입 Cap 성형용 64 캐비티 대용량 금형을 설계/제작 하였으며, CAE해석을 통하여 변형을 최소화 하는 사출성형 공정을 설계 하는데 그 목적이 있다.

### 2. 제품 및 유동시스템설계

본 연구에서 설계된 제품은 휴대용 소형 용기의 Cap 부분으로 약 34mm×22mm×10mm 가량의 박스형 제품이다. 제품의 살두께는 0.85mm로 제품 전영역에

걸쳐 일정한 값을 가지고 있는 형상이다. 제품의 형상이 제품의 중앙면을 중심으로 좌우 대칭인 형상을 가지고 있어 한 개의 게이트를 적용하여 유동밸런스를 확보하기 용이할 뿐만 아니라, 제품 전체 크기도 상대적으로 소형이기 때문에 유동성 확보에도 큰 어려움이 없을 것으로 판단되어 1개의 핀 포인트 게이트(pin point gate)를 적용하였다. 캐비티는 64개를 적용하였으며, 대용량 멀티 캐비티 금형이기 때문에 수지 주입에서부터 성형 완료까지의 유동거리가 일반 금형에 비하여 상당히 크기 때문에 수지의 유동성 확보를 위하여 유동 시스템은 핫 런너(hot runner), 콜드 런너(cold runner), 콜드 게이트(cold gate)를 복합적으로 적용하여 설계 하였다.

주입된 용융수지는 핫 스프루(hot sprue)와 메니폴더(manifolder)를 거친 뒤 16개의 핫 노즐(hot nozzle)로 분배되며, 각각의 핫 노즐에서는 다시 콜드 런너를 거쳐 4개의 캐비티로 수지를 유입시키는 유동시스템으로 구성하였다. 일반적으로 대형 금형이나, 대용량 멀티 캐비티 금형에서 핫 런너 시스템을 적용할 경우에는 핫 노즐과 핫 게이트를 이용하여 제

폼에 직접 수지를 주입시키는 방법이 사용되나, 본 연구에서와 같은 다캐비티를 적용한 소형 제품에 상기와 같은 방법으로 금형을 제작할 경우에는 금형의 제작단가가 상승할 뿐만 아니라, 전체적인 금형의 크기도 증가하여 적용 사출성형기도 대형화되기 때문에 비효율적인 사출성형 공정을 초래할 수도 있다. 본 연구에서 설계된 캐비티의 배치 및 유동시스템의 형상은 Fig. 1에 도시하였다.

### 3. 냉각시스템 설계

사출성형 공정을 이용하여 제품을 생산하는데 있어 금형냉각이 전체 사이클 타임의 2/3이상을 차지하고 있다. 따라서 생산적 측면으로 볼 때 효율적인 냉각회로 설계는 냉각 시간을 감소시켜 생산성을 증가 시킬 뿐만 아니라 균일한 냉각은 잔류응력을 줄이고 치수 정확도 및 안정성을 유지함으로써 품질을 향상시키기 때문에 설계 단계에서부터 냉각시스템에 대한 중요성을 인지할 필요가 있다<sup>1)</sup>. 단일 캐비티 금형의 경우에는 제품의 균일한 냉각만 고려하여 냉각시스템을 설계하면 되지만, 본 연구에서와 같이 대용량 멀티 캐비티 금형의 경우 제품의 균일한 냉각뿐만 아니라 설계되어 있는 모든 캐비티 내에서 균일한 냉각 밸런스를 확보하여야 한다. 만약 설계된 냉각시스템이 캐비티 마다 서로 다른 냉각 효과를 준다면 캐비티 마다 서로 다른 품질의 제품이 생산되기 때문에 제품의 품질에 큰 악영향을 미치게 된다.

냉각시스템 설계는 제품의 균일한 냉각을 위하여 각 제품의 하단부에 지름 8mm의 베플(baffle)을 2개씩 배치하였으며, 제품 측면 냉각을 위하여 제품과 제품 사이에 지름 10mm의 냉각 채널을 설계하였다. 또한 캐비티 플레이트 및 코어 플레이트의 균일한 냉각을 위하여 유동시스템과 핫 런너 시스템의 위치를 고려하여 지름 6mm-10mm의 냉각채널을 골고루 배치하였다.

### 4. 유한요소해석 모델 생성

해석에 적용할 금형의 경우에는 64개의 제품이 한번에 성형되는 64캐비티 금형이므로 요소 생성시

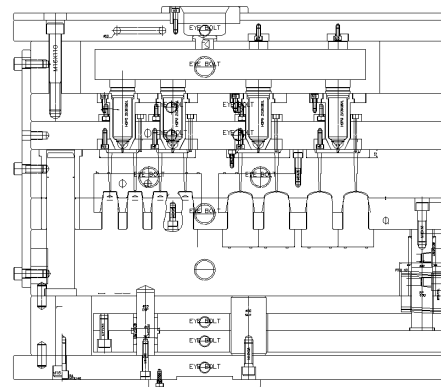
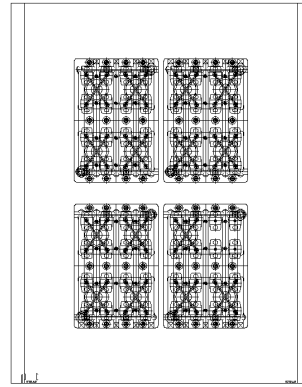


Fig. 1 Cavity location and design of delivery system

요소 사이즈 및 요소 종류에 따라 요소의 수가 많은 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 요소수의 최소화 및 더불어 해석 결과의 신뢰성 확보를 위하여 3가지 요소 형태의 테스트 해석 모델을 생성한 뒤 각각의 모델에 Auto setting을 적용 한뒤 해석을 수행하여 그 결과를 비교분석 하였고 그 결과는 Table 1에 나타내었다. 결과에서 확인할 수 있듯이 세 가지 요소 모두 유사한 결과를 나타내었으며, 특히 3D 요소와 Mid-plane 요소의 경우에는 거의 동일한 해석 결과를 보였다. 따라서 본 연구에서는 Mid-plane 요소를 이용하여 해석 모델을 생성하였다.

### 5. 충전해석 및 사출시간선정

일반적으로 사출속도에 대한 사출압력은 U형태의 커브를 보인다. 사출속도가 느리면, 열 발생보다 열 손실이 더 커서 유동선단 온도가 강하하여 점도가

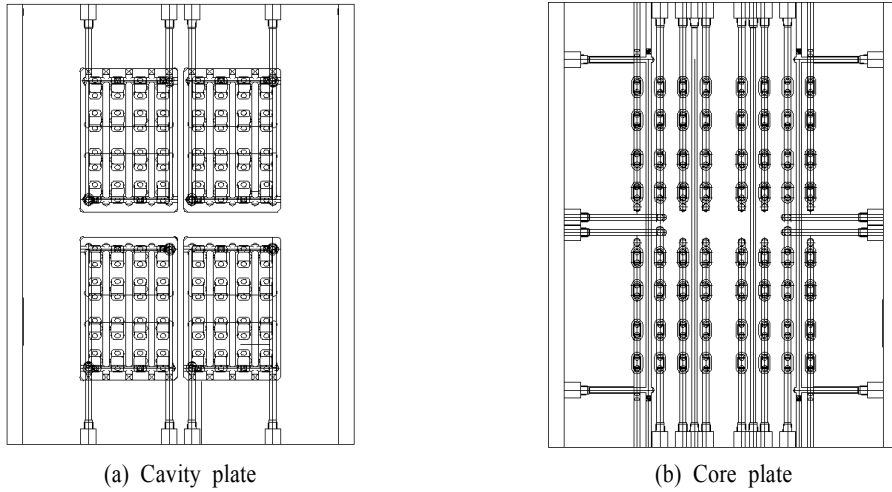
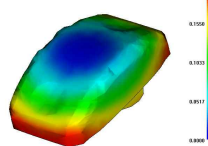
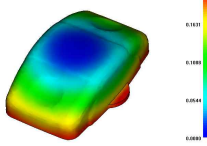
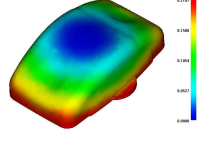


Fig. 2 Design of cooling system

Table 1. Analyze the CAE result according to mesh type

	Mid-Plane Mesh	Fusion Mesh	3D Mesh
Filling shape			
Injection time	0.2067 sec	0.2175 sec	0.2107 sec
Max. Injection pressure	7.8828MPa	8.1936MPa	7.8978MPa
Max. Clamping force	0.3242ton	0.3593on	0.3448ton
Part Volume	0.9688cm <sup>3</sup>	0.9732cm <sup>3</sup>	0.9732cm <sup>3</sup>
Projected Area	6.8986cm <sup>2</sup>	6.9182cm <sup>2</sup>	6.9123cm <sup>2</sup>

증가하고, 고화층의 두께가 증가하여 사출 압력이 상승한다. 반대로 사출 속도가 빠르면 유동선단의 온도는 상승하여 점도는 낮아지고 고화층의 두께는 줄어들지만, 고화층과 유동층 사이의 마찰저항이 크게 증가하여 오히려 사출 압력이 증가한다. 따라서 캐비티 내에서 유동선단이 적절한 일정속도로 흐를 때 사출 압력이 가장 낮아진다. 또한 사출 제품 변형측면에서 보면 최대 사출압력이 작을수록 사출 후 제품에 작용하는 잔류응력의 크기가 작아지기 때문에 최대 사출압력이 가장 작은 사출 시간을 선

정하는 것이 제품 품질을 향상시키는 것에도 유리하다<sup>2-3)</sup>.

본 연구에서는 사출시간 선정을 위하여 사출시간을 0.2초에서부터 3초까지는 0.2초 간격으로, 3초에서부터 5초까지는 0.5초 간격으로 사출시간을 선정하여 총 19회의 해석을 수행하였으며 해석 결과 시간대별 최대 사출압력의 변화는 Fig. 4와 같다. 수지는 실제 사용 수지인 호남석유화학 PP J-150 수지가 MPI 물성 DB에 없어 대응 수지인 GS Caltax Hiprene-M540을 적용 하였고, 해석 조건은 금형온도

40℃, 수지온도 240℃ 로 모두 동일하게 적용하였다. 해석결과 사출시간이 2초일 경우에 가장 작은 사출압력이 작용하며, 사출시간이 3초 이상부터 수지 고화에 따른 미충전이 발생 하였다. 상기 해석결과를 이용하여 사출시간을 2초로 선정 하였다.

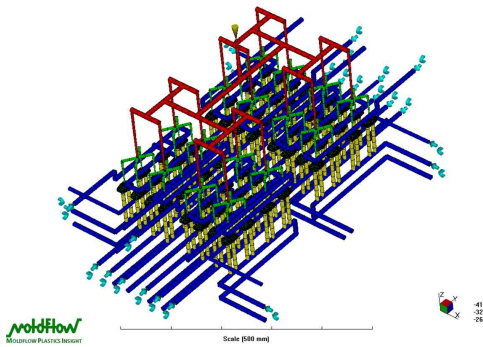


Fig. 3 CAE analysis model generated using mid-plane mesh

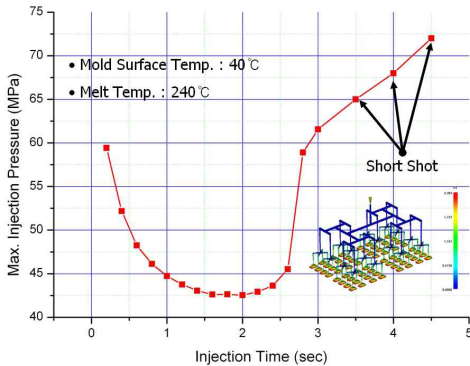


Fig. 4 Variation of Max. injection pressure according to injection time

## 6. 보압해석 및 보압력선정

금형 안에 사출된 용융 수지는 고압으로 충전되기 때문에 역방향으로 압력이 작용되므로 용융 수지가 고화 될 때까지 강한 힘으로 압력을 가해 주어야 한다. 이 압력을 보압이라 하고, 보압을 해주면 금형 캐비티 안에 사출된 용융 수지가 냉각될 때 체적 감소에 의한 부족량만큼 보충을 하여 주는 역할을 함으로 수축에 의한 불량률을 해결 할 수 있다. 부피 수축이란 보압에 의하여 결정되는 재료의 최종 체적 수축을 나타내는데, 수축이 크면 제품의 치수 정밀

도 유지가 어려워지며 지역적으로 수축율의 편차가 커지면서 내부 응력이 발생되어 변형 발생의 주요한 요인이기도 하다. 체적 수축은 전체적인 크기보다 지역적인 편차를 감소시켜주는 것이 더욱 중요하며 이러한 수축 편차는 변형 발생에 주요한 원인이기도 하다. 체적 수축은 재료 고유의 PVT 특성에 의존하는데 비결정성 수지는 결정성 수지에 비하여 수축율이 작는데 비하여 결정성 수지의 경우 결정화도에 따라 체적의 변화가 매우 큰 경우도 있다. 작용 보압의 크기가 너무 낮게 되면 성형품의 표면에 싱크 마크나 내부에 기포가 발생하며 너무 높은 보압이 작용하게 되면 플래쉬(flash)현상이 발생하므로 보압의 크기와 유지 시간이 적정하게 선정 되어야 한다<sup>1)</sup>. Fig. 5는 사출 시간 2초일 경우 Time to freeze 결과로 그림에서 확인 할 수 있듯이 Hot Runner 부분은 계속 하여 수지가 용융상태를 유지하기 때문에 결과를 보여 주고 있지 않고, 제품과 연결된 Cold Gate 부분에서는 충전 공정이 끝난 후 약 1초 후에 고화가 발생하는 것을 알 수 있다.

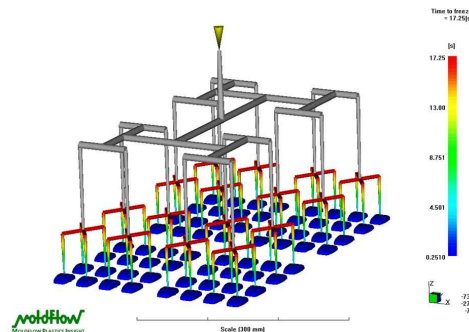


Fig. 5 Time to freeze result at injection time is 2sec

본 연구에서는 보압력의 선정을 위하여 보압 유지 시간을 위의 해석결과를 적용 1초로 선정 한 뒤 사

출압력의 40%-200% 까지 20% 간격으로 총 9회의

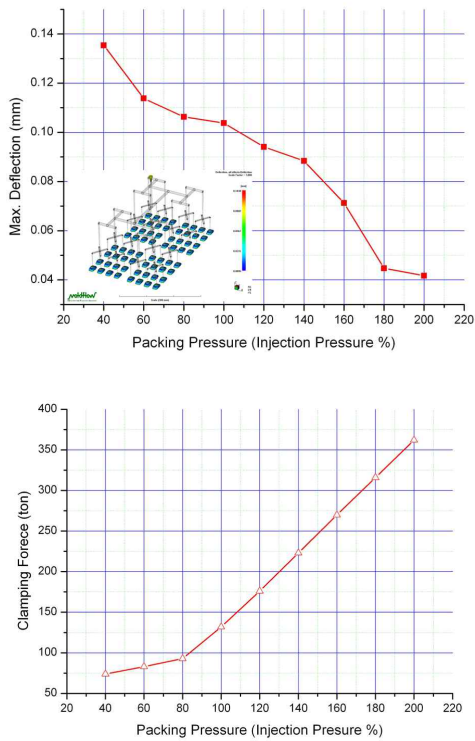


Fig. 6 Variation of Max. warpage and clamping force according to packing pressure

해석을 수행하였으며, 각 해석에는 냉각의 영향은 반영 하지 않았다. 해석 결과 보압의 크기가 클수록 제품에서 발생하는 변형이 작아지는 것을 확인 할 수 있었으며, 보압 크기에 따른 제품 변형의 크기를 Fig. 6에 나타내었다. 위의 그림에서 확인 할 수 있듯이 보압력이 사출압력의 150%의 크기로 작용 하였을때 적용 사출성형기의 최대 형체력인 250 ton 가량 작용하는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 보압력의 크기는 사출 성형기의 안정성을 고려하여 사출압력의 120%로 선정 하였다.

### 7. 냉각시간선정 및 사출성형 공정설계

냉각을 균일하게 하기 위해서는 우선 제품 두께의 불균일을 피해야 하고 냉각회로의 배열을 적절하게 하여 제품과 맞닿는 금형 표면온도 차이를 줄여야 한다. 적정 냉각 시간을 선정 하기위해 상기 해석결과를 이용하여 냉각시간을 아래의 표와 같은 성형

조건을 적용 후 냉각 해석을 수행하였다. 해석에 적용된 냉각시간은 4초에서 12초까지 2초간격으로 전체 사이클 타임을 20초하여 사출시간, 보압시간, 취출시간 등을 고려한 뒤 계산 하였으며, 냉각 성능의 평가는 제품의 변형량과 비교하여 분석하였다. 각 조건에 따른 냉각 해석 결과는 Fig. 7에 도시하였다.

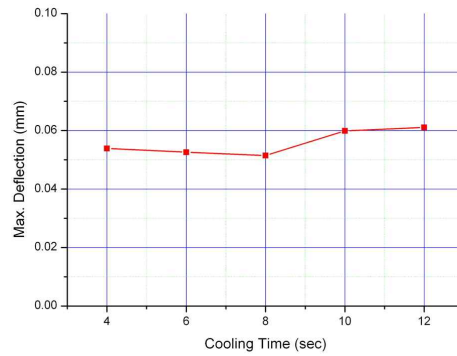


Fig. 7 Variation of Max. warpage according to cooling time

상기의 해석결과를 이용하여 사출성형공정을 설계 하였으며 설계된 공정은 Table 2와 같다. 제시된 사출성형조건은 사출성형기와 금형 상태가 이상적인 경우를 가정으로하여 작용 압력이나 사출시간 등 사출성형 조건이 설정값과 동일하게 적용되지만 실제 사출 성형기의 경우에는 관리 상태 및 노후화 정도에 따라 장비에서 발생하는 오차로 인하여 약간의 차이를 보일 수 있으나, 도출된 사출 조건은 큰 문제가 없음을 시사출을 성형을 통하여 확인 하였다.



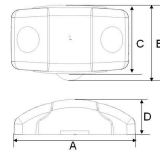
Fig. 8 64cavity mold and shape of product

Table 2. Injection molding process control using CAE analysis result

Polymer	GS Caltex Hiprene M-540
Injection molding machine	Selex MS250
Melt temperature	240 °C
Mold temperature	40 °C
Injection time	2 sec
Packing time	1 sec
Packing pressure	120% of injection pressure
Cooling time	8sec
Mold open/close time	5sec(included eject time)
Cycle time	16sec
Productive capacity	14,400 ea/hr

Table 3. Measurement locations and result

	A	B	C	D
Design	34.56	23.17	21.17	9.94
Tolerance(±)	0.30	0.30	0.30	0.20
Measurement value(average)	34.59	22.95	20.94	9.96
error	0.03	0.22	0.23	0.02



### 8. 금형제작 및 시성형

설계된 금형의 코어, 캐비티 및 각 요소부품에 대한 가공과 후처리 공정이 끝난 뒤 64 캐비티 금형의 조립을 수행하였으며 조립된 금형은 Fig. 8에 도시하였다. 제작된 금형을 이용하여 시성형을 수행한 뒤, 생산된 제품 64 캐비티에서 나온 제품을 모두 수거하여 3차원 측정기를 이용하여 측정 하였으며, 측정 결과는 Table 3에 나타내었다.

### 9. 결 론

본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 인서트 코어 타입 Cap 성형용 64 캐비티 대용량 금형을 설계 하였으며, 설계된 금형을 바탕으로 유동해석, 보압해석, 냉각해석, 변형해석 등을 수행하였다.
- 유동해석결과 설계된 유동시스템의 유동 밸런스와 게이트의 위치 및 크기, 제품내 유동 밸런스에는 문제가 없음을 확인 하였다.

- CAE 해석을 통하여 사출성형 제품 변형이 최소화 될 수 있도록 사출압력이 가장 작게 작용하는 사출시간을 선정하였으며, 선정된 사출시간을 적용한 뒤 보압시간, 보압력, 냉각시간 등을 선정하였다.
- 설계된 64 캐비티 금형을 제작하였으며, 제작된 금형을 이용하여 시성형을 수행 하였다.
- 설계된 사출성형공정을 시사출 성형에 적용한 결과 다소 차이가 발생한 부분도 있었으나, 시성형 공정 시간 단축에는 큰 효과가 있었다.
- 성형제품 측정결과 모두 허용공차 범위내의 값을 나타내는 양호한 결과를 나타내었다.

### 참고문헌

- 1) 권태현, 박성진, 윤경환, 이상봉, 정영득, “사출성형 CAE 설계지침”, 문운당, 2002
- 2) Beaumont, Nagel & Sherman, "Successful Injection Molding", Hanser gardner publication, Cincinnati, 2002
- 3) Paul A. Tres, "Designing Plastic Parts for Assembly", Fifth Edition, Hanser gradner publication, Cincinnati, 2003