

# 다층두께 Jar용기의 곡률반경에 따른 냉각변형 CAE 해석

신남호\* · 최석중\*\*  
\*공주대학교 · \*\*(주)다인산업  
e-mail: [nhshin@kongju.ac.kr](mailto:nhshin@kongju.ac.kr)

## CAE Analysis for Cooling Deformation on the radius curvature of Multi-layer Jar Vessel

Nam Ho Shin\*, Jong Suk Choi\*\*

\*School of Mechanical and automotive Engineering, Kongju National  
University

\*\*Da-In Industries Co., Ltd.

### 요 약

본 논문에서는 다양한 곡률반경의 연속에 의하여 살 두께 차가 큰 사출성형품에 불균일한 수축으로 인한 변형이 생성되어 이를 방지하기 위한 적정 CAE 냉각설계를 수행하였다. SAN 및 PMMA 재질의 Jar용기에 대한 균일냉각구조와 최적성형조건을 금형설계에 적용하고자 사출성형의 중요한자인 사출압력, 수지온도, 금형온도, 냉각조건 등을 moldflow 프로그램을 활용하여 연구를 수행하였다. 연구결과로서, 적정 변수인 사출압력 상승, 수지온도 낮춤, 급속냉각으로 후로우 등의 불량현상을 분석하였고 변형 및 불량을 극소화시킬 수 있는 냉각구조와 사이클 시간을 단축시킬 수 있는 사출성형조건을 제시하였고 적정 냉각모듈로부터 냉각시간을 단축하였다.

### 1. 서론

합성수지재료가 개발 생산되어 일용품으로부터 산업기기 및 첨단기기부품까지 광범위하게 사용되고 있다. 이를 성형 가공하는 사출성형과정을 충전, 보압, 냉각으로 크게 분류하며, 충전과정은 Spencer와 Gilmore [1, 2] 의 실험적 연구에 의하여 금형내 수지 유동상태에 관한 연구가 진행 되었고 [3, 4] 보압과정 중에는 점성모델과 수지의 압축성이, 냉각과정에서는 온도와 수축률에 따른 수지의 물성치 변화의 중요성을 언급하였으며, Sherbelis와 Friedl [5] 는 충전과 보압단계에서 수지의 전단율과 온도 의존성에 관하여 연구하였다. 냉각과정 중 고화 층 두께 변화해석에서 캐비티 입구의 고화 층 두께 과다계산의 단점을 보완하기 위하여 Richardson [6] 은 원형관내의 유동과 평판내의 유동에 대하여 마찰열 발생을 고려하여 고화 층의 두께 및 온도분포의 계산을 위한 식을 제시하였으나 보압, 냉각과정에서 수지의

복잡한 거동으로 발생하는 수축현상에 대하여 이론적으로 충분하게 해명되지 못하고 있다. 사출성형제품의 요구된 품질은 압력, 온도, 게이트 개수, 고분자 재료의 특성, 성형성 등 복잡하고 다양한 변수 관계를 가지고 있어 다양한 지식과 오랜 경험이 요구되는 어려운 기술이다.

다양한 곡률반경의 연속에 의한 살 두께 차가있는 성형제품은 고분자 재료의 특성에 의하여 고압 사출성형시 충전, 보압과 균일한 냉각여부가 변형에 많은 영향을 주므로 현장전문가의 축적된 경험에 의하여 시행되고 반복적인 시행착오를 통하여 근접된 제품을 얻고 있다.

본 연구에서는 다층두께의 Jar용기 금형의 냉각구조를 최적화하여 먼 수축변형을 극소화로 연속곡률의 제품을 성형 가능하도록 CAE해석으로 보완, 품질향상과 생산성향상을 위하여 해석을 실시하였다

## 2. 다층두께인 Jar용기의 유동 및 변형해석

본 연구는 다양한 곡률반경에 의한 다층두께 제품의 성형과정에서 발생하는 변형과 사이클 시간문제를 효율적으로 해결하기 위하여 3차원 모델링과 moldflow 프로그램을 활용하여 냉각구조에 따른 유동, 냉각, 변형해석과 이상적인 냉각구조에 의한 수지 SAN, PMMA의 최적의 성형조건을 모색하고자 한다.

### 2.1 제품형상 및 냉각회로

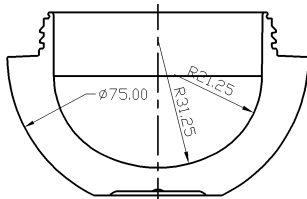
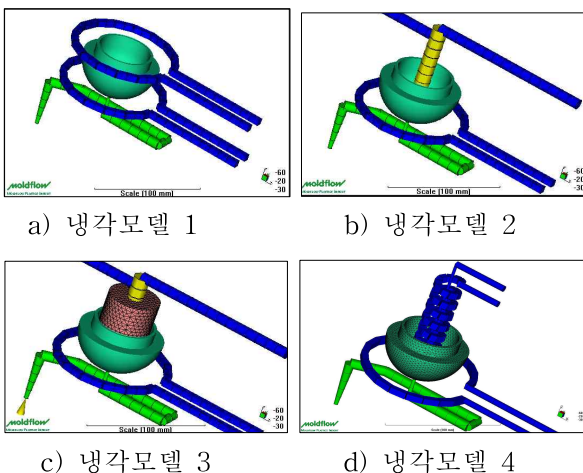


그림 1. Jar용기 단면도

[그림 1]과 같이 Jar용기 살 두께는 2.35mm부터 11.45mm까지 두께차가 다양하며, 제품외측은 동일 곡률반경, 내면은 직선과 곡률반경이 다른 2개 곡선의 연속으로 다층두께인 성형품의 두께편차에 따른 수축으로 제품 내면의 곡률에 단차가 발생하여 코팅 후 불균일한 반사율이 나타나며, 두꺼운 두께에 의한 냉각시간 지연으로 생산성이 떨어지는 것이 예견된다. [그림 2]는 캐비티의 냉각채널에 따른 냉각모델을 도시한 것으로 각각 a)는 캐비티와 하코아의 외부에 원형 냉각회로, b)는 캐비티 코아의 외부에 원형 냉각회로와 하코아에 버플식 냉각회로 c)는 캐비티 코아의 외부에 원형 냉각회로와 하코아(Be-Cu)에 버플식 냉각회로 d)는 캐비티의 외측과 하코아 내측에 나선형 냉각회로로 구성하였다.



a) 냉각모델 1      b) 냉각모델 2  
c) 냉각모델 3      d) 냉각모델 4

그림 2. 냉각모델

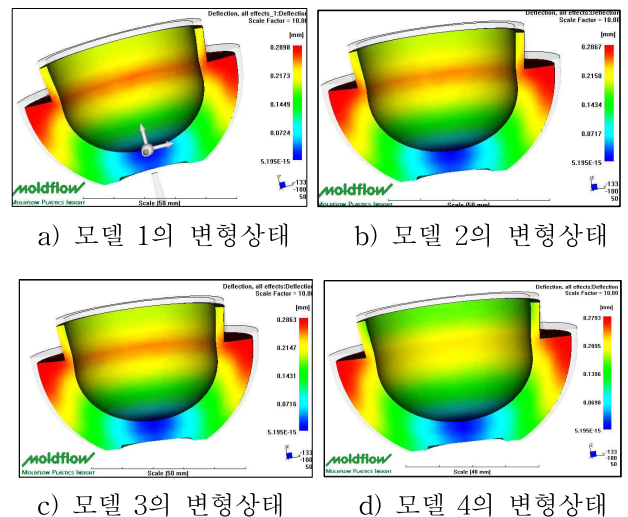
## 2.2 PMMA수지의 유동해석

### 2.2.1 해석조건 및 유동형태

사용수지는 LG화학 IF850(PMMA)이며, 금형온도 45°C, 수지온도 240°C, Cycle time 120초, 사출시간 2.5초, 보압은 45Mpa의 성형조건에서 해석결과 어느 냉각회로를 사용하던지 캐비내 수지의 충전은 원활하게 이루어지며, 충전 중 문제점은 발견되지 않았으나 게이트 근처와 두께의 편차가 심한 제품의 목부근에서 사출속도의 변화에 의하여 표면에 Flow mark가 발생할 가능성이 있다.

### 2.2.2 변형의 형태

이 제품은 살 두께의 변화가 급격하여 수축율의 편차가 크게 발생되며 이는 변형발생의 원인이 되며, 냉각방식을 변경하면 수축율의 편차가 다소 완화되고 변형이 감소하여 내측면 곡률의 변화도 최소화 할 수 있다. [그림 3]은 냉각에 대한 변형해석으로 내측 바닥 면을 기준으로 변형된 크기를 비교하면 두께가 두꺼운 부분에서 [그림 3] a)는 최대 0.3815mm, b)는 [그림 3] 최대 0.3805mm, [그림 3] c)는 최대 0.3795mm, [그림 3] d)는 최대 0.3763mm의 변형이 발생한다.



a) 모델 1의 변형상태      b) 모델 2의 변형상태  
c) 모델 3의 변형상태      d) 모델 4의 변형상태

그림 3. 냉각모델 변형상태

## 2.3 SAN수지의 유동해석

### 2.3.1 해석조건 및 유동형태

사용수지는 금호석유화학 SAN350, 금형온도 45°C, 수지온도 200°C, Cycle time 120초, 사출시간 2.5초, 보압 45Mpa의 성형조건에서 온도, 압력 등의 분포는 PMMA수지와 차이가 있었지만 충전 형태와 변형모습은 유사하였다. 성형불량은 관측되지 않았고 수축과 변형은 PMMA보다 작았다.

### 2.3.2 변형의 형태

[그림 4]의 a)~d)는 각각 냉각모델에 대한 변형 해석 결과이다. 내측 바닥면을 기준으로 변형 크기를 비교하면 두께가 두꺼운 부분에서 [그림 4] a)는 최대 0.3139mm, [그림 4] b)는 최대 0.3099mm, [그림 4] c)는 최대 0.3093mm, [그림 4] d)는 최대 0.3030mm의 변형이 발생한다.

SAN수지가 PMMA보다 전체적으로 변형이 더 감소하며 변형의 형태는 PMMA 수지와 동일하다. PMMA와 SAN 수지 모두 냉각방식에 의하여 영향을 받으며 냉각모델 4가 가장 양호하다.

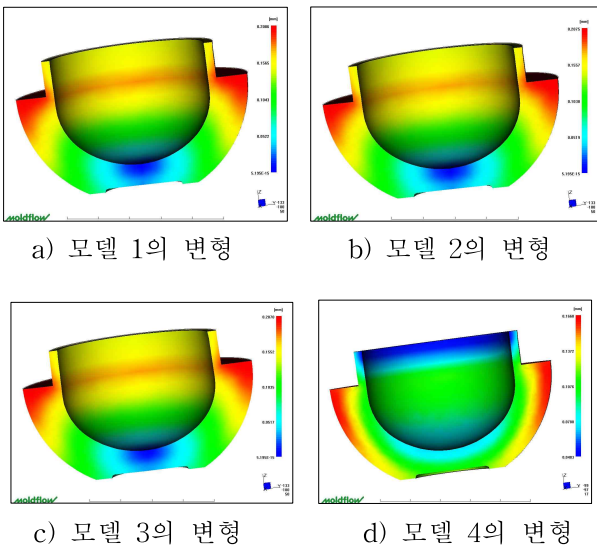


그림 4. 냉각모델 변형

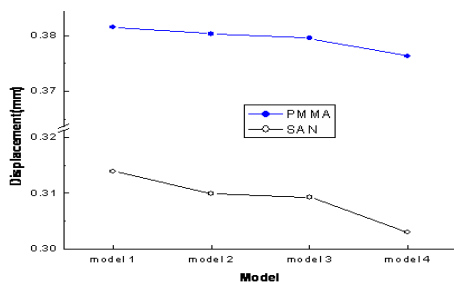


그림 5. 수지별 냉각모델에 의한 변형 량

## 2.4 PMMA수지의 변형해석

### 2.4.1 금형온도에 따른 변형의 형태

사용수지는 PMMA(LG화학 IF850)이며 수지온도 200℃, Cycle time 110sec, 사출시간 2.5초, 보압 45 Mpa, 냉각모델 4를 적용하고, 금형온도를 45℃, 50℃, 55℃, 60℃로 변화시켜 해석한 결과 [그림 6]과 같이 60℃의 금형온도를 유지하는 것이 가장 적은 변형량을 보이고 있다. 또한, 또한, 그림으로부터 얻어진 온도 상관관계는 3차원 다항식으로 곡선

맞춤으로 그림에 나타난 것과 같다.

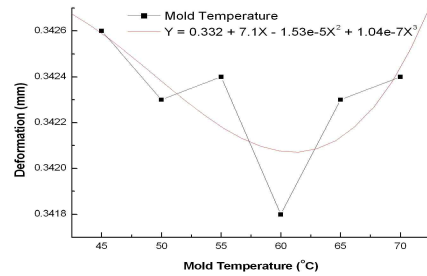


그림 6. 금형온도에 의한 변형 량

### 2.4.2 수지온도에 따른 변형의 형태

2.4.1의 해석조건에서 금형온도 60℃와 수지온도 180℃, 200℃, 230℃, 250℃, 270℃의 각각의 경우에 대하여 사이클 시간을 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140sec로 변경 해석결과 [그림 7]과 같이 수지온도가 낮을수록 변형 량은 적으며, 사이클 타임에는 크게 영향력을 받지 않고 있다.

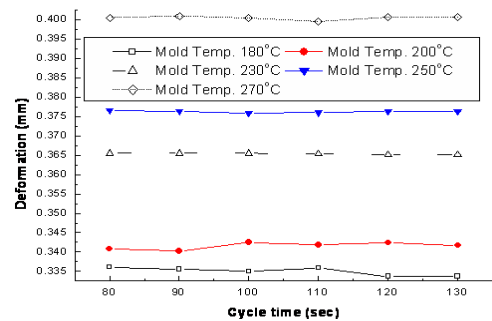


그림 7. 수지온도별 사이클 타임에 의한 변형 량

## 2.5 SAN수지의 변형해석

### 2.5.1 금형온도에 따른 변형의 형태

사용수지는 금호석유화학 SAN350이다, 적용된 설정조건은 수지온도 220℃, 사이클 타임 110sec, 사출시간 2.5초, 보압 45Mpa, 냉각모델 1~4의 해석조건에서 금형온도를 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°로 변화시켜 해석한 결과는 [그림 8]과 같다. 그림으로부터 40℃의 금형온도를 유지하는 것이 가장 적은 변형량을 보이고 있다.

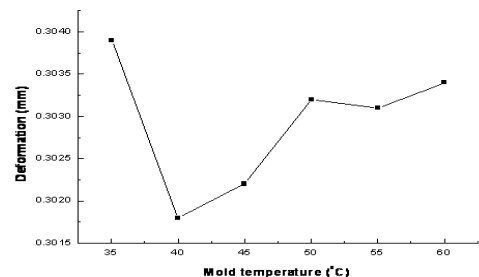
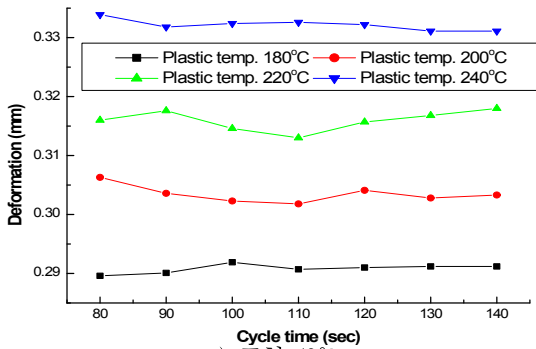


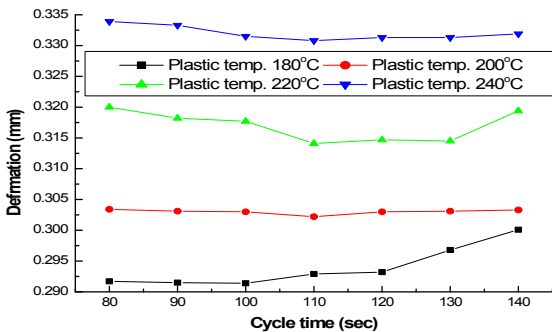
그림 8. 금형온도에 의한 변형 량

### 2.5.2 수지온도에 따른 변형의 형태

3.5.1의 조건 중 금형온도 40°C, 45°C에서 수지온도 180°C, 200°C, 220°C, 240°C의 각각의 경우에 대하여 사이클 시간을 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140sec로 변경시킨 결과 그림과 같이 수지온도가 낮을수록 변형량은 적으며, 사이클 타임에는 크게 영향력을 받지 않고 있다.



a) 금형 40°C



b) 금형 45°C

그림 9. 수지온도와 사이클 의한 변형량

### 3. 결론

본 연구로부터 Jar용기 제품의 다양한 곡률반경에 의한 다층 두께인 성형품에서 살의 두께차가 3mm 이상 큰 제품에 대한 냉각방식은 제품의 생산성뿐 아니라 품질에도 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 어떠한 냉각회로를 사용하던지 캐비내 수지의 충전은 원활하게 이루어진다. 충전 중 문제점은 발견되지 않았으나 게이트 근처와 두께의 편차가 심한 제품의 목 부근에서 사출 속도의 변화에 의하여 표면에 Flow mark가 발생할 가능성이 있다. 각각의 냉각변형으로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 사출압력은 게이트 통과시 최대 29MPa 까지 증가하며, 캐비티 충전 시에는 약 24Mpa이 작용한다. 그러나 보압과정에서 수축을 최소화하기 위해서는 보다 높은 압력이 요구된다.
- (2) 냉각모델에 따른 변형량은 모델 1, 2, 3에 비하여 모델 4가 가장 작은 것으로 나타난다.

- (3) SAN 350 수지는 성형조건에 따라 온도, 압력 등의 분포는 PMMA수지와 차이가 있었지만 충전 형태와 변형된 모습은 유사하며, 수축과 변형은 PMMA보다 작았다.
- (4) 수지온도가 낮을수록 변형량은 작아지나, 사이클 타임에는 크게 영향력을 받지 않고 있다
- (5) 캐비티 외측을 급속 냉각시키면 내부의 과도한 체적수축으로 인하여 void와 불연속 곡률이 나타난다. 따라서 내측은 최대한 빨리 냉각시켜, 수축을 최소화함으로 가능한 연속 곡률을 유지시키고, 반면에 외측은 금형온도가 낮은 상태에서 충분한 충전이 가능한 금형 온도관리가 요구된다.

◆ 본 연구내용은 ‘2005 중소기업 기술혁신개발사업 연구과제로 (주) 다인산업에서 이루어진 것임을 밝혀두며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- [1] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Some Flow Phenomena in the Injection Molding of Polystyrene", Journal Collid Science, Vol.6, pp. 118-132, 1950.
- [2] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D., "Equation of State for High polymers", Journal of Applied Physics, Vol.21, pp. 525-526, 1950.
- [3] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part I: Theoretical Models", Polymer Engineering and Science, Vol.12, No.4, pp. 294-301, 1972.
- [4] Kamal, M. R. and Keing, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part II: Experimental Test of the Model", polymer Engineering and Science, Vol.12, No.4, pp. 302-308, 1972
- [5] Sherbelis, G. and Friedl, C., "the Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", SPE ANTEC, pp. 954-957, 1992.
- [6] Richardson, S. M., "Injection Moulding of Thermoplastics : Freezing During Mould Filling", Rheologica Acta, Vol.22, No.2, pp. 223-236, 1993.