

# 다수 캐비티 프리폼 금형 설계 및 제작

김종덕\* · 고영배\* · 김옥래\* · 김홍렬\*\* · 권창오\*\*

\*한국생산기술연구원 · \*\*동아정밀공업(주)

## 1. 서론

사출-연신 블로우 성형은 사출성형에 의해 프리폼(preform)을 성형한 후 블로우 금형안에서 블로우 직전에 스트레칭 로드(stretching rod)를 사용하여 프리폼을 축 방향으로 연신하면서 고압의 공기를 불어넣어 중공 성형품을 만드는 성형 방법을 의미한다. 이러한 성형 방법은 비교적 축방향으로 길이가 긴 중공 성형품을 성형할 때 프리폼이 축방향으로 연신을 도와주는 효과가 있으며, 프리폼이 사출성형에 의해 성형되기 때문에 프리폼의 두께 분포를 정밀하게 성형 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 사출-연신 블로우 성형에서 프리폼은 최종 제품의 품질에 절대적인 영향을 미친다. 균일한 두께의 제품을 생산되기 위하여 프리폼 성형 단계에서부터 정밀한 금형의 설계와 제작이 이루어져야 한다. 또한 프리폼 제작에서 다수 캐비티(multi-cavity) 금형이 제작되면 한번의 사출성형에서 생산 될 수 있는 프리폼의 생산량을 극대화 할 수가 있다

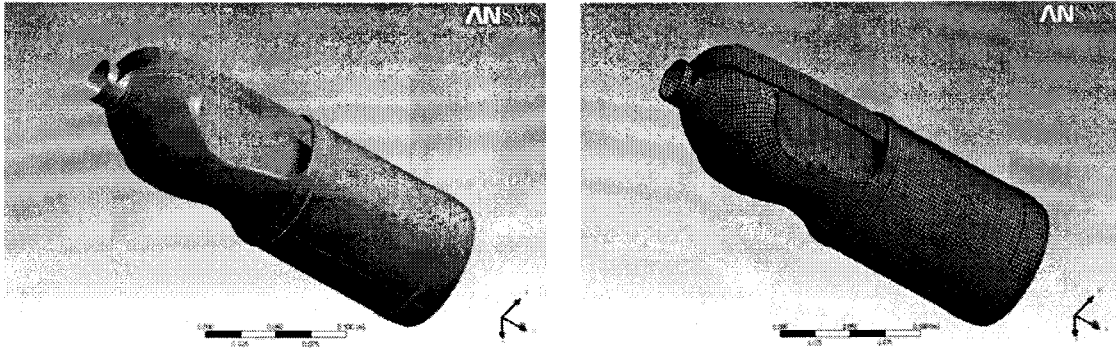
## 2. 프리폼 형상 결정을 위한 CAE 해석

### 2.1 프리폼 형상 결정을 위한 보틀 설계 및 구조 해석

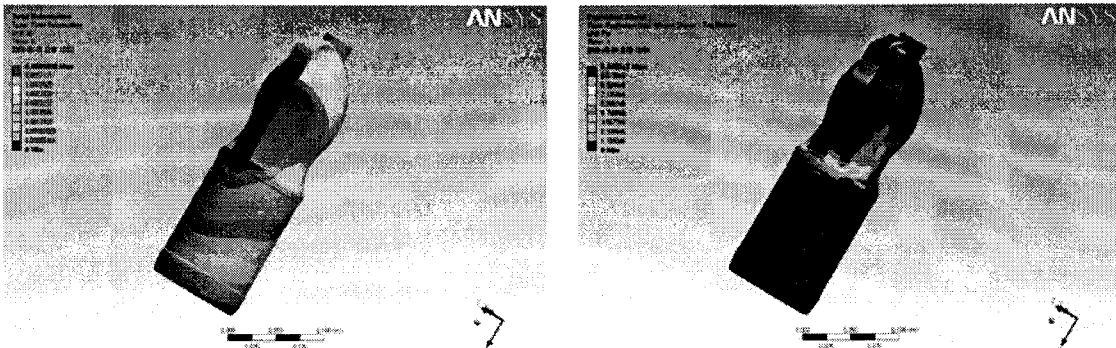
용기의 프리폼을 개발하기 위한 초기 단계로 페트 보틀 설계 기술을 개발하고자 한다. 일반 페트 용기에서 많이 적용되는 원형 및 타원 형태의 오발(oval) 보틀을 적용하여 설계 기술을 적용해 보았다[그림 1 참조].

앞에서 선정 보틀의 구조 평가 해석을 하기 위하여 ANSYS 를 사용하였다. 그림은 구조 해석 과정을 설명한 그림이다. 구조 해석에 앞서 그림과 같이 3D CAD프로그램을 이용한 CAD 모델링 작업과 CAE 해석을 위한 최소단위로 모델을 분할하는 요소생성 작업을 수행하였다. 해석 과정에서는 분할된 요소를 바탕으로 수학적 계산이 수행되므로 정의된 CAD모델에 요소를 효과적으로 분할해 주는 기술이 요구된다. 요소의 모양은 해석의 종류와 목적에 따라 대표적으로 삼각형 형태와 사각형 형태의 두가지를 주로 사용한다. 요소는 해석 정밀도와 해석 시간의 결정에 커다란 영향을 주므로 요소 분할시 이러한 사항에 주의를 기울여야 한다. CAD모델로부터 요소를 생성하는 과정에서 요소와 요소간의 절점(node)이 일치하지 않는 예러가 발생하는 경우가 있으므로 공유하고 있는 절점이 일치하고 있는지 필수적으로 검사해야 한다. 또한 해석의 정밀도는 요소의 크기와 면비와도 상관관계가 있으므로 요소의 숫자를 증가시켜 주는 경우에는 해석시간이 기하급수적으로 늘어나고 지나치게 잘게 분할된 요소는 계산오차가 누적되

면서 해석정밀도가 오히려 낮아지는 경향이 있다. 해석의 목적을 고려하여 요소수를 적당한 수준으로 유지하는 것이 바람직하다[그림 2 참조].



(a) 유한요소 모델을 위한 제품모델 단순화      (b) 4각형 shell 유한요소 모델  
**[그림 1] 제품 구조 해석을 위한 제품 및 유한요소 모델링**

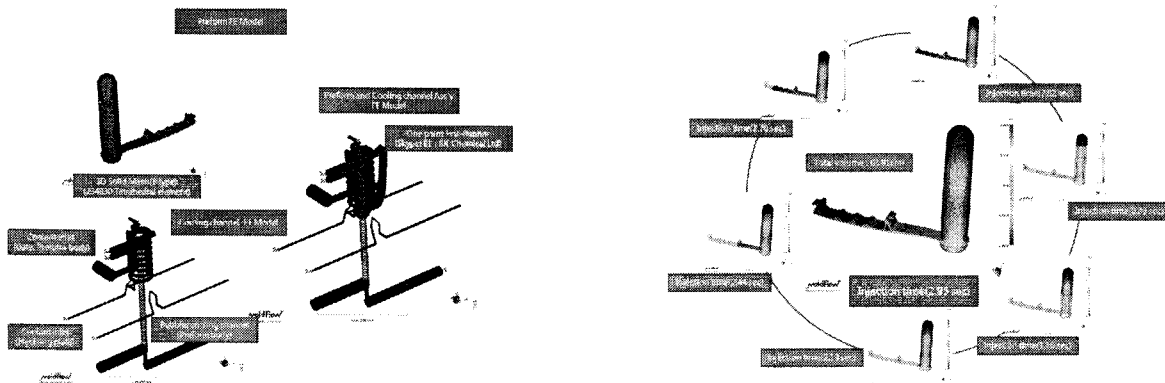


(a) Total deformation      (b) Equivalent stress  
**[그림 2] 페트 보틀 하중 적용시 구조 해석 결과**

**2. 2 프리폼 사출 성형 해석**

사출성형에서 제품 생산에 문제점을 해결하는 방법으로 전통적으로 금형 설계자의 축적된 경험과 시행착오에 의존하였다. 이러한 경우 많은 시간과 비용을 필요하게 되며, 또한 제품의 형상이 복잡해지고 요구되는 품질의 수준이 높아짐에 따라 최적의 결과를 얻기가 어려워진다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 실제 금형을 제작하기 전에 발생될 문제점들을 파악 하기 위하여 사용되고 있는 방법으로는 상용 해석프로그램을 이용하여 시행착오를 줄이며, 짧은 시간에 금형을 제작할 수 있게 되었으며, 이를 통하여 많은 비용을 절감할 수가 있다. 상용 해석 프로그램을 사용할 때 설계자가 매 해석 후 마다 결과를 비교하고 새로운 안을 도출하여 다시 해석을 수행하는 방법을 통하여 최적화 및 표준화를 수행하였다. 이러한 과정을 이용하여 최적화 프로그램을 수

행하면 설계자들의 일이 줄어들며, 더 좋은 결과를 더 빠른 시간에 도출해 낼 수가 있다. 사출성형에 있어서 러너나 스프루같은 용융된 수지의 수송 시스템, 공정조건, 냉각 채널, 게이트의 위치 등이 최적화 및 표준화의 주요 대상이 된다. 이 가운데 가장 어려운 것 하나가 게이트를 결정시키는 것으로서 게이트에 따라 수지의 유동 형상과 압력 분포 등이 달라지게 되며, 변형 및 휨, 수축, 잔류응력 등에 큰 영향을 미친다. 또한 게이트는 금형 가공 후에도 제약을 갖게 되므로, 가공 전에 미리 충분히 검토하는 것이 중요하다. 상용 사출해석 프로그램을 이용하여 사출품을 해석하기 위하여 CAD 프로그램인 Unigraphics를 사용하여 형상을 모델링 하였다. 그러나 모델링 한 제품 형상을 바로 사출 해석용 프로그램에 사용 할 수가 없기 때문에 Unigraphics NX 버전의 모델 파일을 중립 파일인 iges로 바꾸어 사출해석 프로그램의 모델 파일로 사용하였다. 사출해석 프로그램에서 사용할 수 있는 모델은 3차원 솔리드 모델, 표면만 인식하는 fusion 모델, 두께를 고려한 모델인 중립면을 사용 할 수가 있다. 본 연구에서는 형상 자체가 높지 방향으로 두께의 변화가 일정하지 않기 때문에 두께에 대한 유동 및 냉각 현상을 고려하기 위하여 3차원 모델을 이용하여 해석을 수행 하였다. 사출성형해석에 사용된 유한 요소 모델은 그림 3(a)와 같다. 프리폼에 사용된 유한요소모델은 3D 격자를 사용하였으며, 사용된 격자수는 약 267,000개 이다. 냉각채널은 프리폼 몸체 부분에서는 스파이럴 모양을 냉각 채널을 사용하여 최대한 빨리 냉각이 이루어 질 수 있도록 설계하였으며, 프리폼 안쪽 부분은 bubble 형태의 냉각 채널로 구성하였다. 러너는 핫러너를 이용하여 프리폼 바닥부와 손잡이 부분에 1점의 핀 게이트를 구성하여 충전 평형을 유지 하도록 설계하였다. 사출성형에서 사용된 수지는 SK 케미컬에서 생산되는 페트 수지를 사용하였으며, 사출시간 2.0 sec, 금형 온도 35℃, 용융 온도 290℃, 보압 시간 10 sec 및 보압은 최고 사출압의 80%로 설정 하였다. 그림 3(b)는 프리폼 형상을 충전하는 수지의 흐름을 나타낸 그림이다. 완전충진 까지는 약 2.95초 정도 시간이 소요 되었으며, 게이트에서 유동의 말단까지 수지가 균일하게 충전 되고 있는 것을 알 수가 있다.

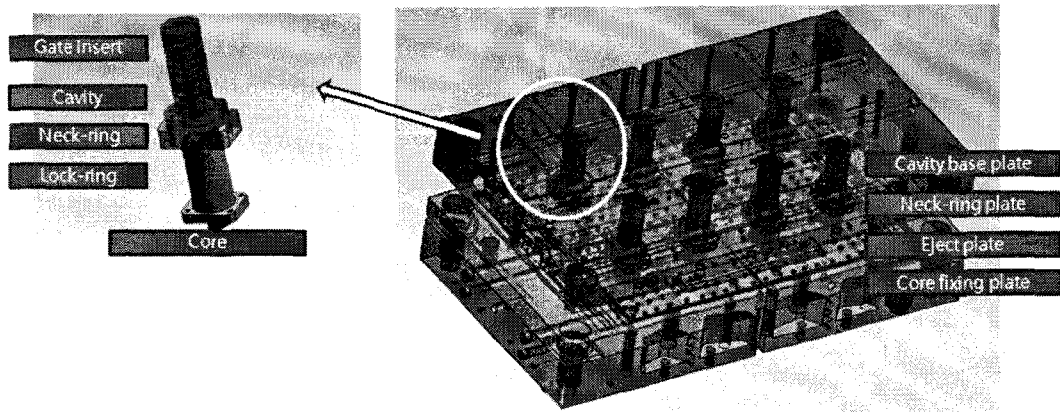


(a) 프리폼, 러너 및 냉각시스템 유한요소 모델 (b) 시간에 따른 충전 결과

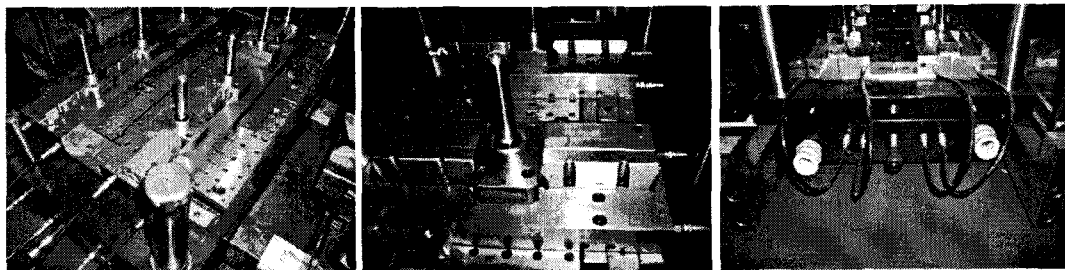
[그림 3] 유한요소 모델링 및 해석 결과

### 2. 3 다수 캐비티 프리폼 금형 제작 및 제품 평가

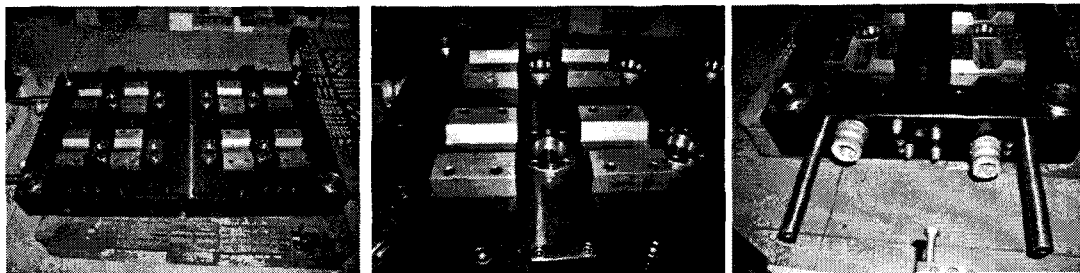
다수 캐비티 프리폼 금형의 성형부 및 몰드베이스 설계를 위하여 상기에서 진행된 해석을 토대로 하여 설계에 적용해 보았다. 해석에서 도출된 결과와 지원 업체의 실제 적용되고 있는 설계 데이터를 조합하는 방향으로 진행되었다. 핫-러너의 열에 의한 프리폼 백화를 방지하기 위하여 게이트를 인서트 하였다. 또한 프리폼의 사이클 타임을 줄이기 위하여 캐비티 부분에서는 나선형 냉각 채널, 코어 쪽에서는 버블(bubble)형의 냉각 채널을 채택하여 설계에 반영하였다.



(a) 다수 캐비티 프리폼 금형 설계 결과



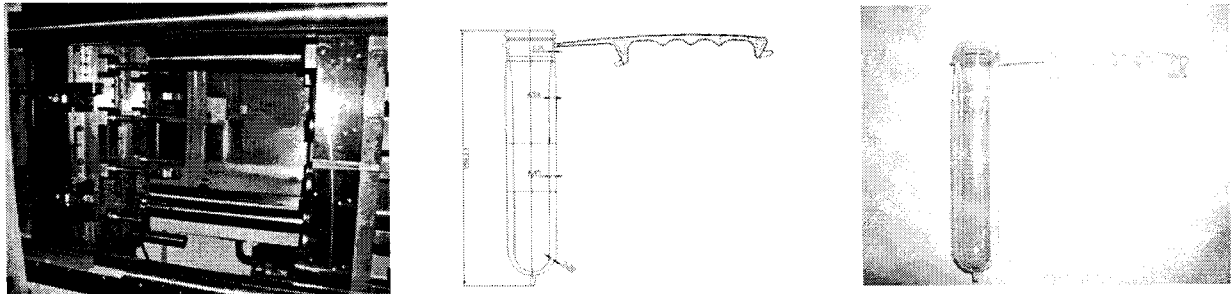
(b) 이동측 프리폼 금형



(c) 고정측 프리폼 금형

[그림 4] 다수 캐비티 프리폼 금형 설계 및 제작

설계 제작된 다수 캐비티 프리폼 금형을 이용하여 제품을 성형하기 위하여 프리폼 전용 사출기를 이용하였다. 사출성형된 프리폼의 성능 평가를 하기 위하여 기 성형된 프리폼을 무작위로 샘플링하여 검수 테스트에서 중요한 프리폼의 중량, 프리폼의 전장 및 두께 분포에 대하여 측정해 보았으며 결과는 아래 표와 같다.



[그림 5] 사출성형기에 장착된 다수 캐비티 프리폼 금형 및 사출 성형품

표 1 샘플링된 프리폼 두께 편차 측정표

측정위치	도면치수	(a)실측치수(좌)	(b)실측치수(우)	치수편차
1	1.21	② 1.34	⑬ 1.33	10 $\mu$ m
2	4.54	④ 4.54	⑪ 4.51	30 $\mu$ m
3	4.45	⑤ 4.48	⑩ 4.42	60 $\mu$ m
4	3.22	⑥ 3.27	⑨ 3.22	50 $\mu$ m

표 2 샘플링된 프리폼 두께 편차 측정표

시편	목표 높이	실측 높이	치수편차
1	158.23	158.33	0.10mm
2	158.23	158.34	0.11mm
3	158.23	157.69	0.54mm
4	158.23	158.39	0.16mm

표 3 샘플링된 프리폼 중량 편차 측정표

시편	목표 중량	실측 중량	치수편차
1	82.0	81.9	0.1g
2	82.0	81.9	0.1g
3	82.0	81.8	0.2g
4	82.0	81.8	0.2g

## 4 결 론

본 연구에서는 다수 캐비티 프리폼 금형 개발하기 위하여 사출성형 해석 및 사출-연신 블로우 해석을 수행하였다. 그 결과를 이용하여 프리폼 설계 및 금형을 제작 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수가 있었다.

1. 사출-블로우 성형 해석 결과를 이용하여 프리폼 설계시 반영함으로 약 2% 미만의 PET 용기 두께 편차를 줄일 수가 있었다.
2. 프리폼 사출 성형해석을 통한 예측 결과와 실험 결과를 비교했을 때 전체적으로 유사한 경향을 보여 주고 있으며, 이러한 사출성형 해석을 검증데이터로 활용 할 수 있다.

## 5 후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업혁신기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 6 참고문헌

- [1] J. P. MCEVOY, C. G. ARMSTRONG, and R. J. CRAWFORD " Simulation of the Stretch Blow Molding Process of PET Bottles " *Advancds in Polymer Technology*, Vol.17, NO.4, 339-352, 1998
- [2] X. -T. PHAM, F. THIBAUT, and L-T. LIM " Modeling and Simulation of Stretch Blow Moulding of Polyethylene Terephthalate " *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE*, AUGUST 2004, VOL.44, NO.8, pp 1460~1472
- [3] SONG WANG and AKITAKE MAKINOUCHI " Three-Dimensional Viscoplastic FEM Simulation of a Stretch Blow Molding Process " *Advancds in Polymer Technology*, Vol.17, No. 3, 189-202, 1998
- [3] Z. J. YANG, E. HARKIN-JONES, G.H. MENARY, and C. G. ARMSTRONG " A Non-Isothermal Finite Element Model for Injection Stretch-Blow Molding of PET Bottles With Parametric Studies " *POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE*, JULY 2004, VOL.44, NO.7, pp.1379-1390