

Multi-Cavity Preform 금형시스템 개발에 관한 연구

서태일* 허영무* 이성희* 이영훈* 박용석**

Study of Development for Multi-Cavity Preform Mold

T.I. Seo, Y.M. Heo, S.H. Lee, Y.H. Lee and Y.S. Park

Abstract

The paper presents our study of development for multi-cavity preform mold system which consists of hot runner system and valve gate. For this purpose, stretching blow molding process and preform injection process were simulated by Polyflow and Moldflow. Based on various results of the preform injection process analysis, process planning was established. The sectional thickness distribution of preform was optimized. Preform injection mold system was designed by these technical analysis data. Finally, 24-cavity preform mold system was successfully developed.

Key Words : Preform, Blow Molding, Multi-Cavity, Hot Runner, Injection process, Valve Gate

1. 서 론

사출성형(Injection molding)이란 플라스틱 소재를 이용하여 열을 가하여 녹인 용융된 재료가 정해진 틀로 주입되어 일정한 시간을 거치면서 원하는 형상의 제품을 얻는 생산방식이다. 생활의 기본생활에 사용되는 여러 가지 생활품에서부터 전자부품, 자동차부품, 최첨단 항공소재에 이르기까지 플라스틱을 빼놓고는 말할 수 없을 정도로 플라스틱은 이미 우리생활 속의 큰 축으로 자리 잡고 있다. 그러나 고부가가치의 상품개발에 있어 원하는 형상을 쉽게 형상화하는 과정에서는 타 재료에 비해 플라스틱을 이용한 사출성형방식이 절대적으로 유리하고, 대량생산에 있어서의 유리함, 저렴한 개발비용 등 타 재료, 타 생산방식에 비해 월등한 우수성으로 다수의 기업에서 많은 관심을 가지고 접근함으로써 추후 사출성형분야의 급속한 발전이 예상된다.

사출성형에서도 다양한 기법들이 이용되고 있으나 그

중에서 증공성형(Blow molding)은 현재 플라스틱병류의 대부분의 생산방식이라고 하여도 과언이 아니다. 사출단계에서는 열가소성 재료를 사용하여 튜브 형태의 얇은 Preform이 제작된다. 제작된 Preform은 코어 로드(Core rod)로 불리는 Metal shank위의 Blow 금형으로 전달된다. 증공성형에서는 Preform을 미리 정해진 형상으로 만들기 위해 사용된 가스의 압력을 견딜 수 있는 형체력이 고려되어야 한다. 공기 또는 다른 가스는 특별히 설계된 코어로드를 통해 들어가고 코어로드가 열리고 열가소성 재료를 Blow할 수 있도록 한다. 이때 수지는 용융점 이하로 미리 정해진 형상의 금형으로 들어가게 된다. 그래서 사출 블로우 성형으로 일컬어진다. 블로우 성형에서 Preform의 제작이 우선되어야 하는데 이는 완제품의 품질의 절대적인 영향을 미친다. 블로우 성형시 균일한 두께의 제품이 생산되기 위하여 Preform 제작단계에서부터 정밀한 금형의 설계와 제작이 이루어져야 한다. 또한 Preform의 제작에서 Multi-Cavity 금형이 제작되면 한

* 한국생산기술연구원 정밀금형팀

** 대전대학 자동차기계열

번의 사출성형에서 생산할 수 있는 Preform의 개수를 증가시킬 수 있기 때문에 생산성을 극대화 할 수 있다. 본 연구에서는 24개의 Multi-Cavity Preform 성형용 금형시스템을 개발하고자 한다. 24-Cavity Preform 금형을 개발하기 위하여 중공성형의 해석과 사출유동해석을 수행하였고 금형의 주요 파라미터(Parameter)들을 최적화 하였다. 핫런너 시스템(Hot Runner system)을 적용하였고 밸브게이트(Valve Gate)를 사용하여 사출성형공정의 효율을 극대화하였다. 다음은 구체적인 연구수행과정을 보여준다.

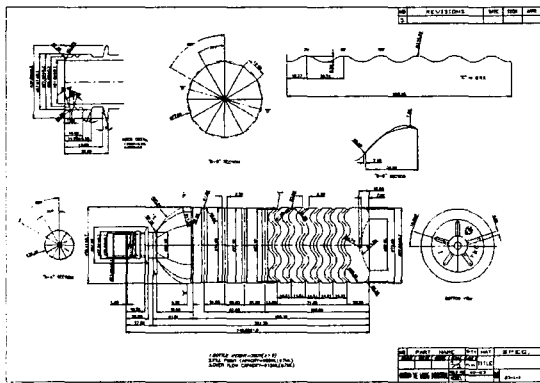


Fig. 1 완제품의 형상

2. Preform의 형상설계

2.1 Preform의 단면형상설계

24-cavity Preform 금형시스템의 제작을 위하여 우선적으로 고려되어야 할 사항은 제작하기 위한 Preform의 형상의 결정이다. Preform의 형상중에서 가장 중요한 요인은 Preform의 단면두께의 분포이다 [1,2]. 이는 중공성형시 완제품의 형상에 따라 수지의 늘어나는 정도의 차이가 존재하기 때문에 완제품의 균일한 두께분포를 갖기 위하여 초기에 Preform의 두께분포를 효율적으로 처리할 필요가 있다. Fig. 1은 성형제품의 형상의 도면이다.

2.2 Polyflow를 이용한 중공성형해석

Polyflow를 이용한 연신중공성형의 공정 예측은 프리폼의 단면형상을 어떻게 설계하여야 하는 기술적인 데이터를 도출하여 준다. 초기의 프리폼의 단면두께가 중공성형을 통하여 어떻게 변화하여 가는지를 시간적인 흐름을 통하여 보여준다. Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 시간별로 연신중공성형의 공정을 예측한 결과를 보여준다.

초기의 프리폼 형상은 Fig. 1에서 보여주는 완제품을 만들기 위하여 그 동안의 기술적 경험을 토대로 설계하였다. 또한 완제품의 형상은 겉면에 물결무늬가 있는데 이들을 간략화하여 시뮬레이션 내에서는 중앙에만 돌기의 형상을 삽입하였다. 축방향을 따라서 방사형으로 대칭은 사항도 참고하여 수치해석의 계산량을 최적화 할 수 있도록 노력을 경주하였다. 이를 기준으로 Polyflow의 해석에 이용하였다.

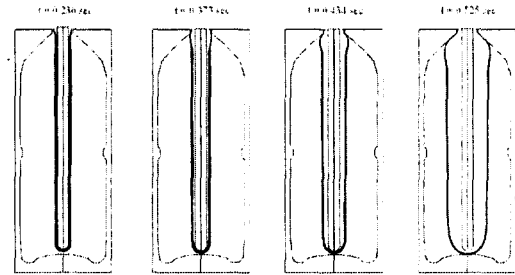


Fig. 2 Stretching Phase

연신중공성형에서 첫 번째 단계인 연신공정은 Fig. 2에 잘 나타나 있다. 복사열로 1차로 가열된 프리폼에 연신로드(Stretch Rod)를 이용하여 일정한 길이만큼 늘려서 중공성형을 수행하기 위한 초기 가공을 수행한다.

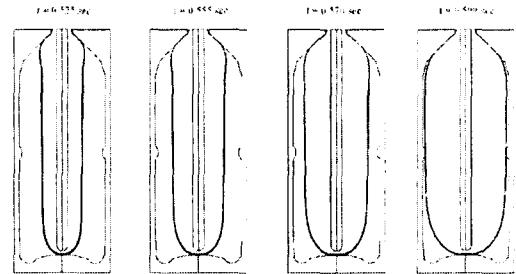


Fig. 3 Blowing Phase

Fig. 3과 Fig. 4은 중공성형의 과정으로 병목의 이외의 부분에서는 물리적인 제약 없이 Blowing과정을 수행하게 된다. 그러나 Fig. 5는 병의 윗부분이 먼저 Blowing 금형 내에서 접촉이 일어나고, Fig. 6은 중공성형의 과정중에 바닥이 만나게 되는 상황을 보여주고 있다. 뿐만 아니라 연신중공성형공정의 완료 후에 완제품의 두께 분포를 예측할 수 있다. 이는 프리폼의 초기형상의 설계의 효율성을 확인할 수 있는 해석적인 근거로 활용할 수 있다. Polyflow에서는 중공성형 이후의 지역적인 두께분포

(Local Thickness Distribution)가 성형이전의 프리폼형상에서 어느 부분의 두께였는가를 추적할 수 있다.

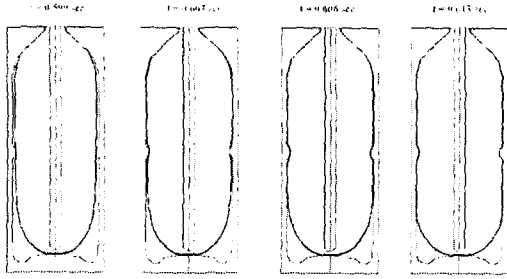


Fig. 4 Blowing Phase

따라서 두께의 균일화를 위하여 프리폼의 형상에서 어느 부분을 조정하여 최적화하여야 하는지를 알 수 있다. 일반적으로 병의 밑바닥의 두께는 두껍게 성형하는 것이 좋다. 이는 병의 지지대가 자연적으로 바닥이 되어야 하기 때문에 병목의 부분도 역시 다른 부분보다 두껍게 성형되어야 한다.

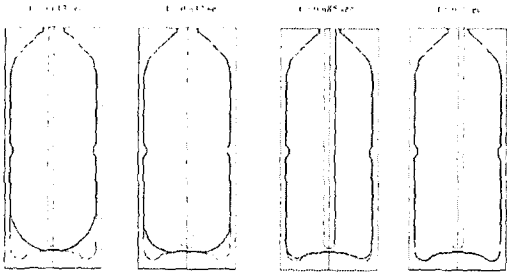


Fig. 5 Top Contact Phase

이는 뚜껑이 장착되는 부분이기 때문이다. 다른 부분은 최대한 균일한 두께분포를 가질 필요가 있다. 이는 제품의 품질과 직결되기 때문에 사용자가 손을 쥐었을 경우 형상을 유지하면서 너무 두껍거나 너무 얇아서도 안 된다. Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8은 Polyflow를 통하여 예측한 지역적인 두께분포의 결과를 보여준다. 이들 결과를 토대로 본 연구에서 사용될 프리폼의 형상을 결정하였다 (참조 Fig. 9).

2. Preform의 사출성형해석

2.1 Global Analysis Results

본 연구에서는 Moldflow를 이용한 사출성형해석을 수

행하여 금형시스템의 설계 및 사출성형조건의 선정 등 다양한 기술적인 데이터의 획득을 수행하였고, Pre-Engineer를 이용하여 Preform의 3차원 형상을 모델링 하였다. 사출성형해석 시 발생할 수 있는 Mesh Generation에서의 문제점을 고려하여 약간의 치수적인 조정이 있었으나 단면의 두께분포나 형상의 재현을 위하여 설계하였다.

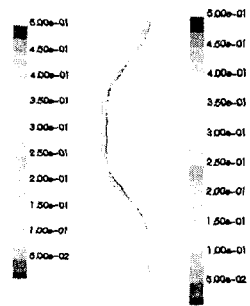


Fig. 6 두께분포-1

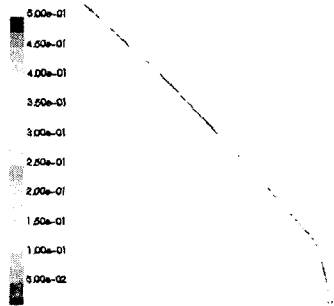


Fig. 7 두께분포-2



Fig. 8 두께분포-3

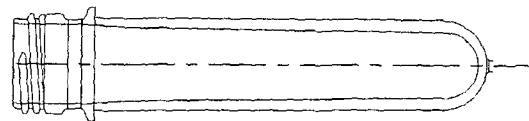


Fig. 9 Preform의 단면형상

Fig. 10은 Pre-Engineer에서 모델링된 Preform의 3차원형상을 보여주고 있다. 13회에 걸쳐 해석을 수행한 결과 사출압력과 충전시간과의 관계는 길항적인 관계로 이루어져있음을 알 수 있었다. 따라서 사출압력이 높을수록 충전시간이 감소하지만, 충전시간을 감소시키기 위하여 사출압력이 급격히 증가하는 경향을 볼 수 있다.

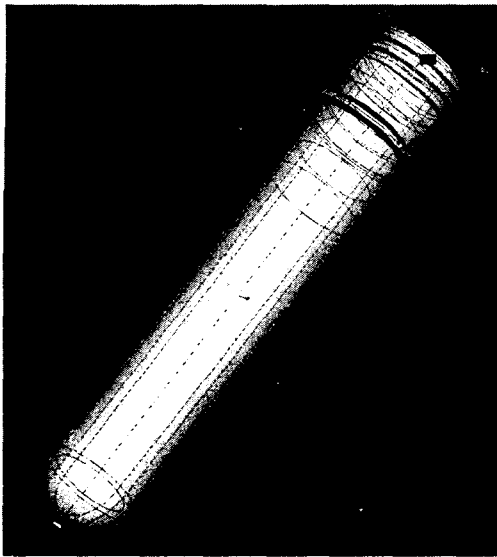


Fig. 10 Preform의 3차원모델링 형상

Fill time과 Maximum injection pressure와의 관계를 예측하기 위하여 임의의 13가지의 조건들을 이용하여 Simulation을 실행하였다. 결과 Fill time을 줄이기 위하여 Pressure를 높일 경우 압력의 급격한 상승과 다르게 Fill time은 근소하게 감소한다. Fig. 11은 결과를 나타낸 그래프이다.

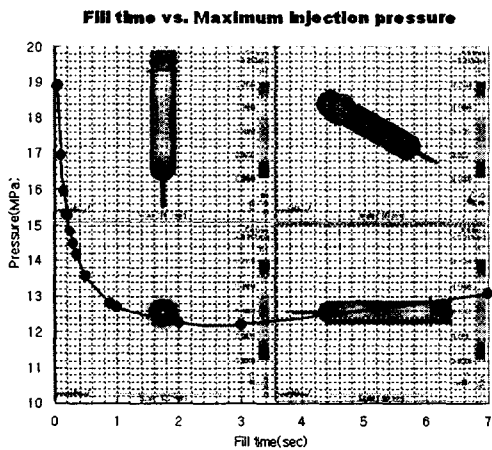


Fig. 11 충전시간과 최대사출압력과의 관계

압력을 낮추면 Fill time이 증가한다. 위 해석결과를 고찰하여 보면 가장 적절한 조건으로 판단되는 것은 약

0.2sec의 Fill time으로 약 17MPa의 압력이 요구된다. 이때를 기준으로 다양한 사출성형공정에 관한 해석결과를 고찰하였다.

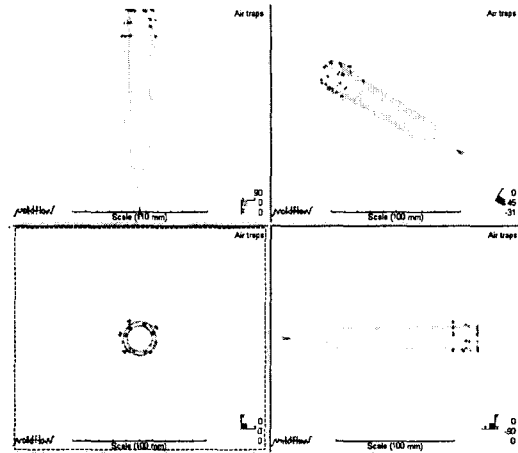


Fig. 12 Air Vent Analysis 결과

3.2 Air Vent Analysis

Air Vent Analysis는 사출성형시 금형 Cavity내에 수지가 충전되어 금형 내에 있던 공기가 빠져나가는 최적의 위치를 예상하는 해석을 말한다. 원활한 Air Vent가 이루어지지 않을 경우 미성형이 발생할 수 있는 가능성이 있다.

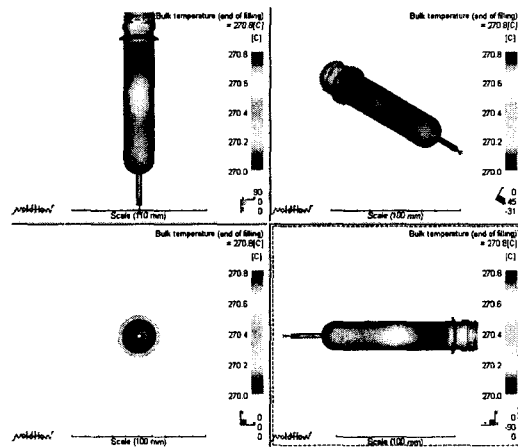


Fig. 13 Bulk Temperature Analysis 결과

3.3 Bulk Temperature Analysis

End of Filling의 순간의 수지의 온도분포를 해석한 결과이다. Fig. 13은 프리폼의 두께방향으로 온도구배 (Temperature Derivative)가 없이 균일하다는 가정 하에서 해석한 결과이다. 프리폼 전체영역내에서 온도분포는 약 270.2°C~270.8°C의 균일한 온도분포를 보이고 있다.

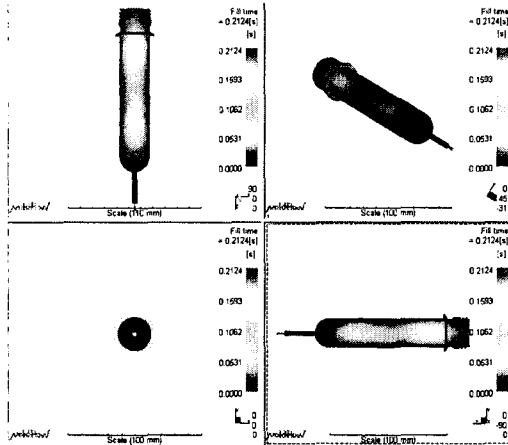


Fig. 14 Fill Time Analysis 결과

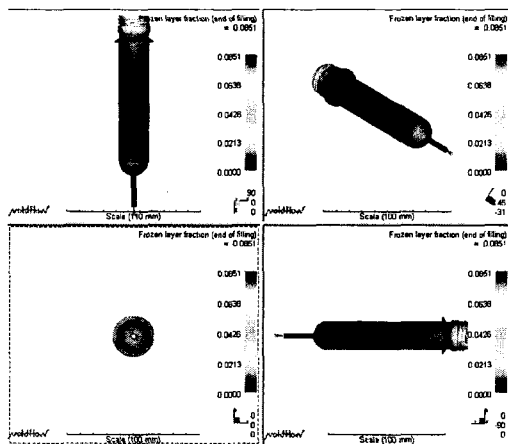


Fig. 15 Frozen Layer Analysis 결과

3.4 Fill Time Analysis

Fill time Analysis에서는 사출성형공정을 수행하여 프리폼의 성형을 위한 수지의 충진이 끝나는 시간을 예측하였다. Global Analysis의 결과를 통하여 다양한 조건에서의 결과를 도출하였고 이를 정량적인 비교를 가능하게 되었다.

Fig. 14는 이들 다양한 결과 중에서 Packing 전 단계까지의 Fill time이 0.2124 sec로 예측된 결과를 보여주고 있다.

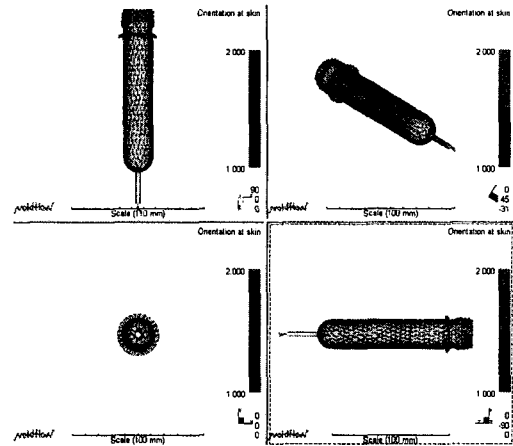


Fig. 16 Orientation at skin Analysis 결과

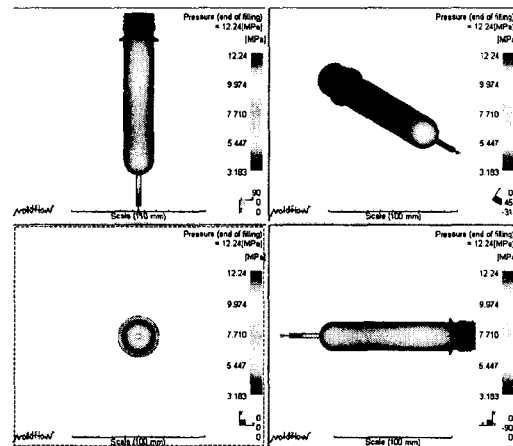


Fig. 17 Pressure Distribution Analysis 결과

3.5 Frozen Layer Analysis

Fig. 15는 수지고화 현상의 해석결과이다. Frozen layer fraction 수치가 1일 경우 100% 수지고화(frozen)가 된 것을 의미한다. 해석결과를 고찰하면 Frozen layer fraction 수치가 0.0851이 최고이므로 냉각과정이 요구됨을 알 수 있다.

3.6 Orientation at skin Analysis

Orientation at skin은 수지의 배향성을 나타낸다. 배향성은 일반적으로 균일한 방향성을 갖는 것이 좋은데 Fig. 16에서와 같이 방향성을 갖고 균일하게 나타나고 있다.

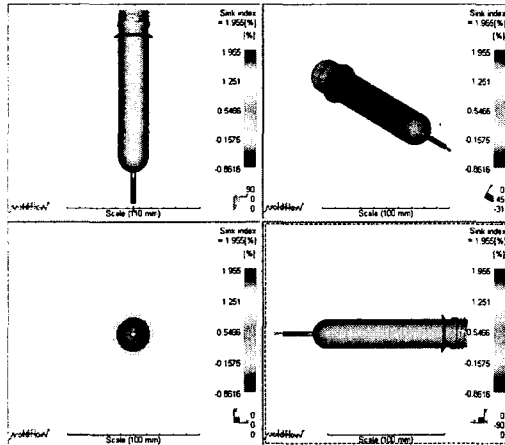


Fig. 18 Sink Index Analysis 결과

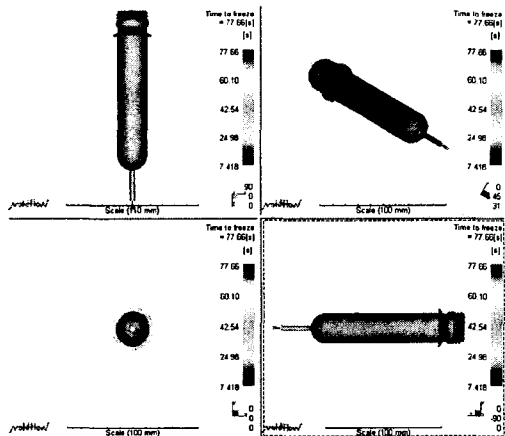


Fig. 19 Time of Freeze Analysis 결과

3.7 Pressure Distribution Analysis

Fig. 17은 수지충진(End of Fill)이 끝날 순간의 압력 분포를 해석한 결과이다. 압력의 최고치가 12.24MPa로 결과가 예측되었다. 일반적으로 60MPa 이하의 압력이 적절한 요구압력으로 알려져 있기 때문에 현재의 해석결과를 통하여 적은 압력으로 수지충진이 적절히 이루어짐

을 알 수 있다. 이는 수지고화에 의한 압력상승이 없이 수지충진이 적절히 이루어짐을 알 수 있는 데이터이다.

3.8 Sink Index Analysis

Sink Index Analysis는 수지수축에 의한 제품의 함몰(Sink mark)이 발생하는가 여부에 관한 수치를 예측한 결과임을 뜻한다. Fig. 18에서 보면 Sink index가 4%이하가 적정한데 Sink index 최고치가 1.955%로 Sink mark 발생가능성이 매우 낮게 예측되었다.

3.9 Time of Freeze Analysis

Time of freeze는 상온에서 냉각할 경우에 요구되는 시간을 의미한다. Fig. 19에서의 해석결과를 고찰하여 보면 Time of freeze의 최고 값이 77.66sec이다.

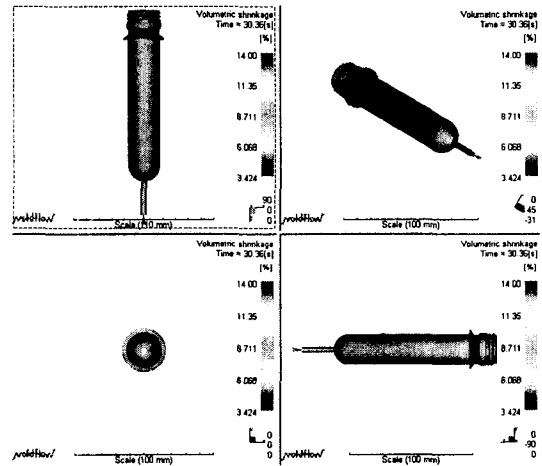


Fig. 20 Volumetric Shrinkage Analysis 결과

3.10 Volumetric Shrinkage Analysis

Fig. 20은 부피 수축률(Volumetric shrinkage)의 발생가능성을 예측한 결과이다. 일반적으로 부피 수축률의 수치가 4%이내가 되어야 한다. 해석결과를 고찰하여 보면 부피 수축률의 수치가 약 8~9%가 예측되었다. 따라서 부피수축의 발생을 막기 위하여 보압(Packing)이 요구됨을 알 수 있다.

4. 24-cavity preform 금형시스템 설계

4.1 핫런너 시스템의 설계

플라스틱 사출금형에서 Cavity를 충전시켜 주기 위한

용융수지의 유로 역할을 하는 Sprue와 Runner를 적절한 방법으로 가열하여 항상 용융된 상태로 유지시켜 제품만 연속적으로 사출 할 수 있도록 고안된 방법이 핫런너(Hot Runner System)이다. 핫런너 시스템을 이용할 경우 원료를 100% 제품화 할 수 있으며, 항상 신재(新材)만을 사용할 수 있기 때문에 이 물질에 의한 불량이나 Trouble이 방지된다. Gate까지는 항상 수지가 녹아있는 상태이므로 용융된 수지는 Cavity만 충전시키면 되므로 Sprue와 Runner의 양만큼 사출, 계량, 냉각, 형 개폐시간이 단축된다 [3,4].

또한 사출 성형기의 사출압력이 직접 Cavity로 전달되므로 제품수축, Weld, 내부응력에 의한 변형 등의 문제가 해결되어 제품품질의 향상을 꾀할 수 있다. Sprue, Runner의 양만큼 사출용량, 압력, 형개거리 등이 작아져도 되므로 성형기의 효율이 향상되어 기계효율의 증대를 이룰 수 있다. 사출압력이 감소되어 금형 내에서 받는 압력이 줄어들고 특히, 대형의 삼단금형은 Hot Runner System을 적용할 경우 2단 금형으로 할 수 있으므로 3단 금형에서 발생 될 수 있는 Trouble을 방지할 수 있다. 따라서 금형수명의 연장을 이룰 수 있다.

24-cavity Preform 금형 시스템에서 사용할 핫런너 시스템의 설계를 수행하였다. Fig. 21은 24-cavity Hot Runner Manifold 시스템을 보여주는 도면이다. 수지 주입구와 런너와의 길이를 동일하게 하여 Balancing을 맞추었다. 모두 장착되도록 설계하였다. 24-cavity를 위하여 게이트 노즐부가 6-cavity씩의 분리형으로 설계하였다. 6-cavity씩의 매니폴더 부위는 런너의 길이가 위상학적(Topological)으로 축대칭이 되도록 설계하여 자연스럽게 게이트 밸런싱이 이루어지도록 하였다.

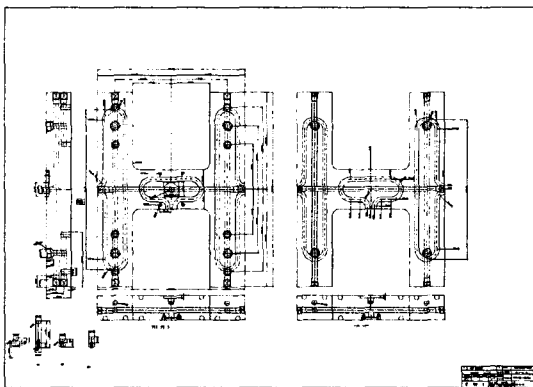


Fig. 21 핫런너 시스템

Fig. 22는 24-cavity cooling Channel과 Preform의 형상을 결정하는 코어와 cavity부분을 보여주고 있다.

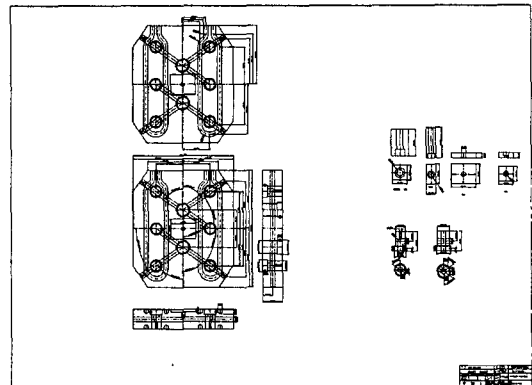


Fig. 22 Cooling Channel과 Cavity-Core

5. 금형시스템의 제작 및 사출성형

앞에서 소개한 과정을 통하여 본 연구에서는 24-cavity Preform 금형 시스템의 설계와 시제작을 수행하였고 이에 따라 Preform의 사출성형공정을 수행하였다.

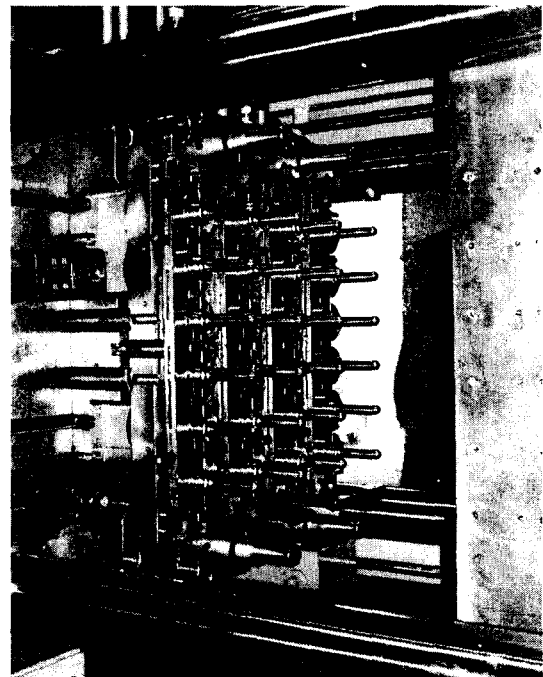


Fig. 23 24-cavity preform mold

Fig. 23은 사출성형공정중인 24-cavity Preform 금형 시스템을 보여주고 있다. 뿐만 아니라 금번 개발된 금형 시스템을 이용하여 Preform 사출성형공정을 양산화하여 생산성을 극대화하는데 성공하였다.

6. 결 론

이러한 요구되는 기술의 개발을 위하여 본 연구에서는 궁극적으로 24-Cavity Preform 금형시스템의 개발을 구체적인 과제의 목표로 삼았다. 이를 위하여 다음의 구체적인 기술개발을 위한 연구작업을 수행하였다. 본 연구의 개발목표인 24-cavity Preform 금형시스템의 개발을 위하여 기초적인 금형설계와 관련된 자료조사 및 연구를 통하여 금형시스템의 개발을 위한 기술적인 숙련력을 배양하고 더 나아가 금형시스템 개발의 기술적인 노하우를 효율적으로 축적하는데 기초적인 준비를 수행하였다.

Preform의 단면형상 설계는 증공성형시 완제품의 균일한 두께분포를 갖기 위한 중요한 요인이다. 이를 최적적인 형태로 설계하기 위하여 Polyflow라는 증공성형 해석시스템을 이용하여 두께분포의 해석적인 예측결과를 얻을 수 있었으며 이를 토대로 한 Preform 단면형상의 설계를 할 수 있었다. Preform의 사출성형공정을 위한 공정변수 및 금형시스템의 설계를 위하여 Moldflow를 이용한 사출성형공정 해석과정을 수행하였다. 다양한 관점에서의 해석결과를 도출하였으며 이를 통하여 Preform 사출성형 및 금형시스템 설계 및 제작에 중요한 기술적 데이터로 활용되었다. 24-cavity preform 금형시스템의 설계 및 제작을 위하여 핫런너 시스템을 도입하였다. 핫런너 시스템의 기본적인 자료조사 및 기초

연구를 통하여 핫런너 시스템의 설계를 위한 기술적인 접근을 하였으며 핫런너 매니폴더를 위상학적 (Topological) 균형을 유지하면서 설계 및 시제작을 수행하여 성공적인 금형시스템의 개발의 근간을 이룰 수 있었다. 24-cavity Preform금형시스템의 개발을 위하여 앞서 언급된 일련의 과정을 수행하여 궁극적으로 24-cavity를 사출하는 Preform 금형시스템을 개발하고 시제작을 성공적으로 수행하였다. 이 시스템을 이용하여 시사출을 성공적으로 수행하였다.

본 연구를 통하여 Preform 금형시스템의 개발 및 제작과 관련한 기술의 수준을 한층 증대시켰으며 24-cavity Preform 금형시스템의 개발을 통하여 시사출 및 양산화에도 성공을 거두었다. 본 연구를 통하여 개발한 금형시스템을 토대로 금형생산업체에서 Preform 사출성형업체로 업종을 다변화할 수 있었으며 더 나아가 더 많은 수의 cavity를 사출할 수 있는 금형시스템의 개발에 기술적인 용기를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Rosato, Donald V. and Rosato, Dominick V., "Blow Molding Handbook (Technology, Performance, Markets, Economics, The Complete Blow Molding Operation)," Hanser Publishers, Munich Vienna New York, 1989.
- [2] 사출성형 금형설계기술, 조용식, 기전연구사, 1997.
- [3] 한국플라스틱기술정보센터, "금형과 핫런너시스템," 월간 플라스틱 사이언스 별책부록, 10월 1997.
- [4] 유도실업 홈페이지, <http://www.yudo.co.kr>