

플라스틱 성형법의 개요와 연구동향의 고찰

류민영

(서울산업대학교 금형설계학과)

Introduction to Plastics Processing and Its Research Trend

Min Young Lyu

Abstract

Overview of plastics processing is described and the research trend of the processing is also noted. The main manufacturing processes in the plastics industry are injection molding, blow molding, compression molding, transfer molding, extrusion and thermoforming. The principles of those processes have been discussed and molds for shaping operation have been mentioned. References for each process have also been presented.

Key Words : Injection Molding, Blow Molding, Compression Molding, Extrusion, Thermoforming

1. 서론

플라스틱 성형에서의 주요점은 경쟁력 있는 가격으로 품질의 만족을 꾀할 수 있도록 하기 위한 소재의 선택, 제품설계, 금형설계 그리고 성형기계의 운전이라고 할 수 있다.^(1~3) 여기서 품질의 만족은 표면의 상태나 치수가 요구에 만족할 뿐만 아니라 기계적 물성, 분자의 배향, 최소의 잔류응력 그리고 소재의 내부에서 적절한 결정구조를 갖는 것이라 말할 수 있다.^(4,5) 플라스틱 성형을 위한 수지의 선택은 매우 다양하다. 수지의 선택 시 물리적, 기계적, 열적 그리고 화학적 그리고 유변학적 성질이 중요하다. 이외에도 수지가 결정성인지 비결정성인지 그리고 최대 결정화도가 얼마인지도 역시 중요하다. 이것은 성형작업을 통해 성형된 제품의 물성에 큰 영향을 주기 때문이다. 제품의 설계는 성형공정 그리고 소재에

맞도록 해야하기 때문에 플라스틱 성형법을 충분히 이해하는 것이 최적의 제품을 설계하는데 우선적이라 하겠다. 플라스틱금형은 플라스틱 성형에 있어서 요구하는 모양을 형성하기 위해 쓰이는 기본적인 도구로써 제품의 형상에 직접적인 영향을 주며 이 금형설계의 어려움 때문에 제품설계에 많은 제약을 받기도 한다.^(6~8)

플라스틱 성형 방법은 매우 다양하나 대략 열거하면 사출성형, 압축성형, 트랜스퍼성형, 열성형, 블로우성형, 필름 블로잉, 압출성형, 카렌더링 그리고 파이버 스피닝 등으로 나눌 수 있다. 사출성형, 압축성형 그리고 트랜스퍼 성형은 성형품을 성형하기 위해 막혀있는 금형, 즉 두 금형이 단혀있는 사이에 형성된 공간 내에 플라스틱 재료를 밀어 넣어 성형하는 방법이다.

열성형과 블로우성형은 주로 두께가 얇은 제품에 한정되며 성형품이 금형의 한쪽 면에만 접촉되면서 최종현상

이 결정되는 공정인데 열성형은 상하 금형을 이용하는 경우도 있다. 필름 블로잉은 압출 다이에서 나오는 튜브 모양의 플라스틱 용융물을 튜브 안에서 공기를 주입하여 공기 중에서 풍선 모양으로 만들고 압착시켜 봉지를 만드는 공정으로 최종 성형품은 금형을 전혀 사용하지 않는다. 압출성형은 프로파일 다이를 이용하여 연속적으로 제품을 뽑아내며 냉각수 안이나 공기 중에서 냉각을 시키고, 어떤 경우는 다이 이후에 롤러를 이용하여 제품을 냉각시키며 제품의 최종 형상을 결정짓는다. 카렌더링은 용융 플라스틱이 여러 개의 롤러를 지나면서 일정한 두께의 연속적인 판재모양을 만드는 공정이며, 파이버 스피닝은 스피너렛이라 불리는 다이에 수많은 구멍이 있어 여기에서 용융 플라스틱이 빠져 나올 때 흐름 방향으로 연신을 시키면서 파이버나 가는 실을 뽑아내는 공정이다. 따라서 필름 블로잉, 압출성형, 카렌더링 그리고 파이버 스피닝 공정에서는 최종 플라스틱 제품의 형상이 금형에 의해 좌우되지 않는다. 이러한 공정에서 사용되는 금형은 주로 최종형상의 모양을 이루기 전에 대략적인 형상을 만들어 주며 최종형상은 플라스틱이 금형을 빠져 나온 후 냉각이 되면서 형성된다.⁹⁻¹⁰⁾

본 고찰에서는 플라스틱 성형법 중에서 가장 활용빈도가 높은 공정인 사출성형, 블로우 성형 그리고 압출성형에 대해서 그의 개요를 설명하고 연구동향을 언급하고자 한다. 또한 그 외의 성형공정에 대해서도 성형의 개요를 소개 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 사출성형 (Injection Molding)

일반적인 사출성형기가 Fig. 1에 나타나 있다. 사출성형기는 사출장치 (injection unit)와 형체장치 (clamp unit)로 구분되어 있다. 사출장치에는 실린더가 있고 거기서 스크류 또는 플런저를 이용하여 고체 플라스틱 (powder, granule, pellet)을 녹이며 실린더 앞쪽으로 이송시키고, 이송이 끝나면 앞으로 이송된 플라스틱 용액을 높은 압력으로 노즐을 통과시켜 결국 금형 안으로 들어가게 한다. 사출장치에서 플라스틱을 녹이는 방법은 크게 두 가지가 있는데, 하나는 Fig. 2에 보는 것 처럼 스크류의 회전에 의한 마찰열과 외부의 가열장치에 의해 플라스틱을 녹이는 방법인데, 녹은 플라스틱은 스크류의 채널을 따라 앞으로 이송되고 이송이 끝나면 스크류의 회전이 정지하고 스크류가 플런저 역할을 하여 앞에 모인 용융 플라스틱을 높은 압력으로 노즐 쪽으로 밀어낸다. 사출장치에서 플라스틱을 녹이는 다른 하나는 Fig. 3에 보는

것처럼 순전히 외부의 열을 이용하여 실린더 안에서 플라스틱을 녹이고 플런저를 이용하여 녹은 플라스틱을 노즐 쪽으로 밀어내면서 사출을 한다.

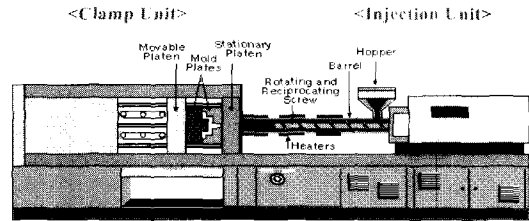


Fig. 1 Injection molding machine

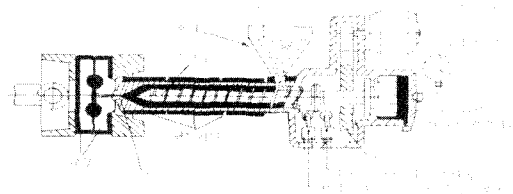


Fig. 2 Screw type injection molding machine

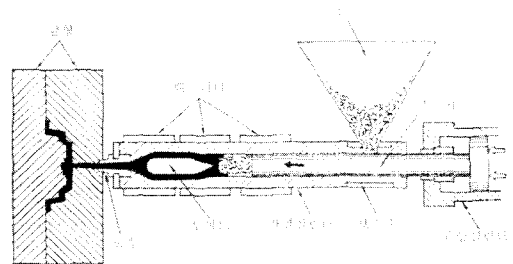


Fig. 3 Plunger type injection molding machine

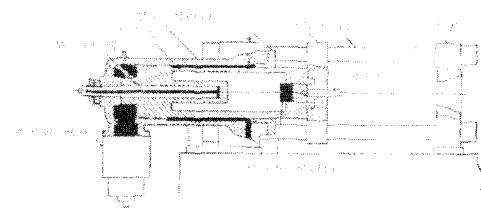


Fig. 4 Clamp unit with hydraulic system

형체장치는 상하 두 금형을 고정하고 있으며 사출 시 캐비티에 높은 압력이 작용될 때 의해 금형이 열리지 않도록 큰 힘으로 두 금형을 밀착시킨다. 금형을 밀착시키는 방법은 유압식과 기계식이 있는데 유압식은 (Fig. 4)

유압의 힘으로 금형을 밀착시키고, 기계식은 토글식(Fig. 5)으로 금형을 밀착시킨다.

두 가지 방식 모두 금형을 열고 닫는 역할을 하는데, 금형이 열릴 때 초기에는 낮은 속도로 열리고 그후에는 빠른 속도로 열린다. 금형이 닫힐 초기에는 빠른 속도로 그리고 금형의 닫힘이 끝날 쯤에는 낮은 속도로 닫히며 큰 힘을 낸다. 이러한 속도의 변화를 주는 것은 성형품과 금형을 보호하고 성형사이클을 단축하기 위해서 이다.

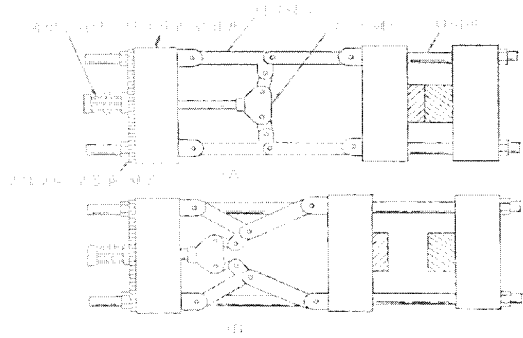


Fig. 5 Clamp unit with toggle system

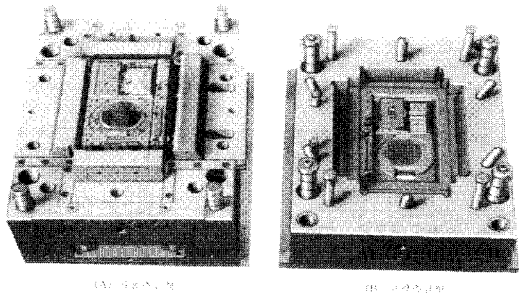


Fig. 6 Stationary and moving plates for injection molding

사출성형에 쓰이는 금형은 Fig. 6과 같이 형체장치의 고정판에 부착되는 고정측 금형과 형체장치의 이동판에 부착되는 가동측 금형으로 나뉘어져 있다. 이 두 금형에는 형상이 새겨져 있어 서로 결합하면 제품의 형상을 갖는 공간 (캐비티)을 이루고 여기에 용융 플라스틱이 채워지고, 낮은 금형의 온도에 의해 플라스틱이 굳으면서 제품을 만든다. 금형은 단순히 두 개의 형판으로 이루어져 있는 2단 금형 (Fig. 7)과 세 개의 형판으로 이루어져 있는 3단 금형 (Fig. 8)이 있다. 이러한 금형은 표준화가 되어 있는 몰드 베이스 (Fig. 9)에 코어나 캐비티의 형상

을 파거나 삽입하여 금형을 완성한다. 용융 플라스틱이 캐비티에 들어가는 경로는 사출 장치의 노즐에서 금형의 스프루, 런너 그리고 게이트를 통하여 캐비티로 들어간다.

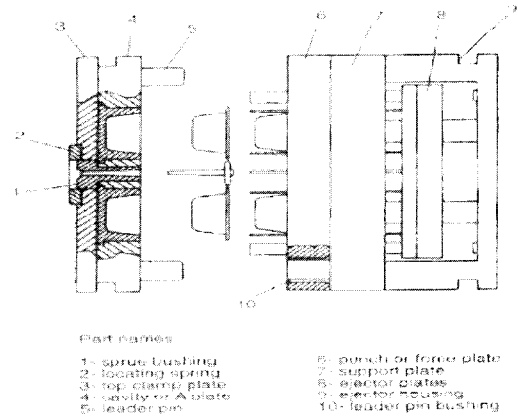


Fig. 7 Mold with two plates

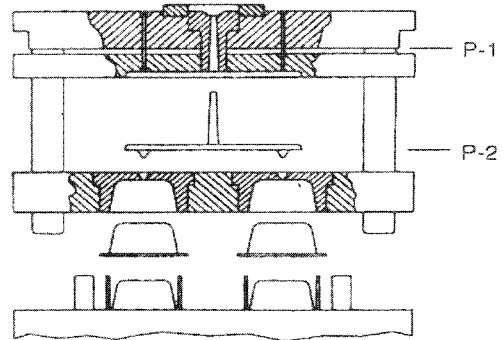


Fig. 8 Mold with three plates

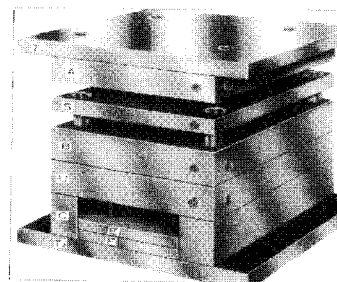
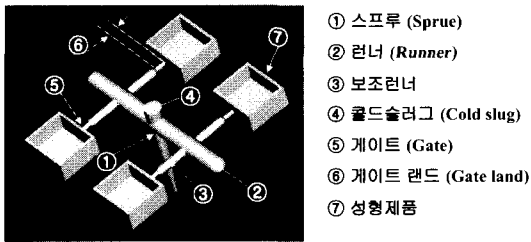


Fig. 9 Moldbase

Fig. 10에 스프루, 런너, 게이트 그리고 캐비티의 연결 상태가 나타나 있고, Fig. 11에는 게이트의 종류가 나타나 있다. 캐비티 내에서 플라스틱이 굳으면 성형품을 빼내기 위해 금형이 열리고 가동측 금형에 붙어있는 성형품은 이젝터핀이나 스트리퍼 플레이트에 의해 금형으로부터 취출이 된다. 사출성형의 사이클은 사출, 보압, 냉각 그리고 취출의 순으로 이루어지며 이중 냉각은 전체 사이클의 80% 내외를 차지한다. 사출성형에서 스프루와 런너 부분을 성형사이클 중 냉각을 시키지 않고 용융상태로 유지되도록 하는 런너리스 금형이 있는데 이것은 핫런너가 대표적이다. Fig. 12에 핫런너 형식의 금형이 나타나 있다. 이 방식은 고속 및 저압사출을 가능하게 하고 성형사이클을 단축시키는 특징을 갖고 있다.



- ① 스프루 (Sprue)
- ② 런너 (Runner)
- ③ 보조런너
- ④ 콜드슬러그 (Cold slug)
- ⑤ 게이트 (Gate)
- ⑥ 게이트 랜드 (Gate land)
- ⑦ 성형제품

Fig. 10 Connection of sprue, runner, gate and product

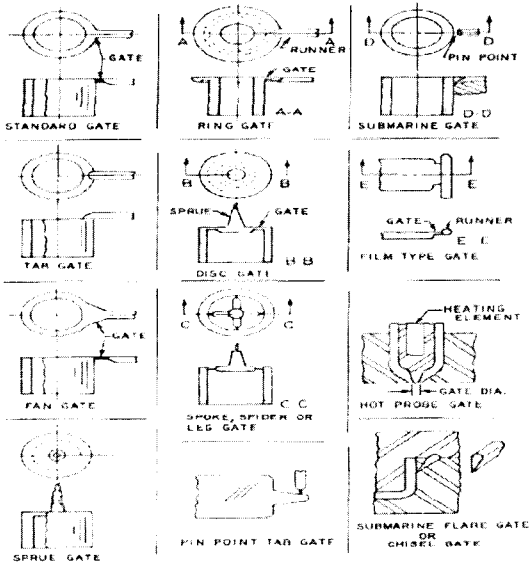


Fig. 11 Class of gate

일반적인 사출성형 외에도 여러 가지의 사출성형방법 (GIM, gas injection molding 또는 gas assisted injection molding)이 있다. 일반적인 사출성형에서 성형품의 두께

가 두꺼울 경우 싱크마크나 기공 등의 성형결함이 생기는데 이러한 결함을 극복하기 위해서 가스 사출성형법이 쓰인다.⁽¹¹⁻²⁷⁾ 이 방법은 두께가 두꺼운 부분의 중심에 가스를 주입하여 부분적으로 중공부를 만들며 사출성형을 하는 방법이다. 이는 재료의 질감에도 장점이 있으며 재료의 일부분만을 사출하고 가스를 주입하기 때문에 낮은 사출압으로 사출 할 수 있고, 제품이 가벼워지는 잇점도 있다. 가스사출성형에서 가스는 속이 빈 부품을 만들뿐만 아니라 가스 통로에서 균일한 압력을 유지하게 된다. Fig. 13에 일반적인 사출과 가스사출에서 요구되는 사출압의 차이를 보여주고 있다.

가스 통로의 배치는 가스 주입 시 가스의 흐름과 용융수지의 흐름을 미리 결정하게 된다. 이 때문에 가스사출 금형의 제작에서 가장 중요한 것이 바로 가스 통로의 배치인 것이다. 가스 주입은 노즐을 통하여 주입하는 방법과 런너나 캐비티를 통하여 주입하는 방법으로 나뉘어진다. Fig. 14는 가스주입위치에 따른 차이를 나타낸 것이다. 이 가스사출에 의한 제품은 수지의 양이 작아 수축의 양이 작기 때문에 일반사출에 비해 금형의 치수에 일치하는 제품을 얻을 수 있다.

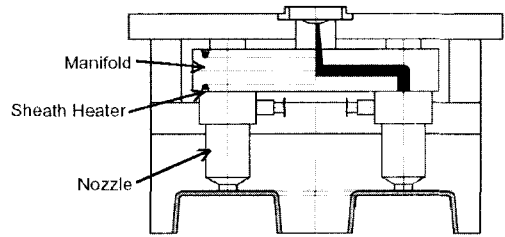


Fig. 12 Mold with hot runner

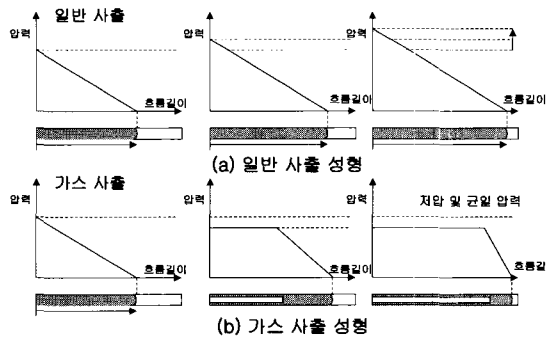


Fig. 13 Comparison of injection pressure for conventional and gas injection molding

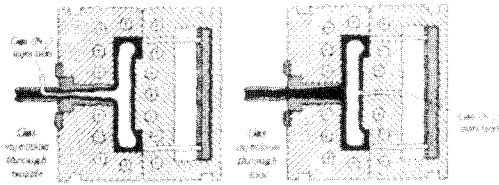


Fig. 14 Location of gas channel in gas injection molding

일반적인 사출성형이나 가스 사출성형은 열가소성 수지를 이용하는데 열경화성 수지를 사출하기 위해서는 반응 사출성형법 (RIM, reaction injection molding)이 쓰인다. 열경화성 수지는 수지가 한번 만들어지면 다시 용융할 수 없기 때문이다. 이 방법은 반응하여 플라스틱이 되는 두 화학 물질을 따로 공급하며 금형에 들어가기 직전에 믹싱 헤드에서 서로 섞이도록 한 후 풀런저를 이용하여 금형에 들어가게 한다. 이렇게 함으로써 점도가 매우 낮은 용액이 금형의 캐비티에 낮은 압력으로 채워지며 금형 안에서 반응이 완성되어 열경화성 수지의 제품을 얻는다. Fig. 15에는 반응사출성형의 예가 나타나 있다. 그리고 Fig. 16에는 반응 사출성형을 이용한 성형품 내부에 폼 (foam)을 갖는 제품을 성형하는 과정을 보여주고 있다. 하나의 제품에 두 가지 이상의 플라스틱재료 또는 두 가지 이상의 색을 갖는 플라스틱을 사출성형 할 때는 동시 사출성형 (co-injection molding, 또는 sandwich injection molding) 또는 다색 사출성형을 이용한다.⁽²⁸⁻²⁹⁾

Fig. 17에 이러한 예가 나타나 있다. 그 외에도 분말사출 (PIM, powder injection molding)⁽³⁰⁾, 금속사출성형(MIM, metal injection molding) 그리고 썩소몰딩(Thixomolding, 마그네슘소재의 사출)도 있다. 사출성형품의 결합을 없애기 위해서 Fig. 18과 Fig. 19에서 보는 것처럼 라이브 피드 사출성형 (live-feed injection molding)과 풀 푸시 사출성형 (pull-push injection molding) 방법도 있다. 사출과 압축의 두 공정이 결합된 사출 압축성형방법⁽³¹⁻³³⁾이 Fig. 20에 나타나 있는데 이는 사출품의 밀도를 높고 균일하게 해주고, 잔류응력 또한 낮고 균일하게 해 준다. 따라서 이 공정은 성형품의 치수 안정성을 좋게 해주고 투명한 플라스틱의 경우는 복굴절양을 줄여 광학적 특성을 좋게 해주는 장점을 갖고 있어 CD나 DVD등과 같은 광 저장 장치의 제작에 응용된다.

사출성형과 관련된 연구는 실험 및 해석적 연구를 포함하여 크게 성형공정 및 CAE⁽⁴⁰⁻⁷¹⁾, 웰드라인 강도⁽⁷²⁻⁹⁵⁾, 성형수축⁽⁹⁶⁻¹⁰²⁾, 표면결함⁽¹⁰³⁻¹¹¹⁾, 그리고 잔류응력 및 분자배향⁽¹¹²⁻¹⁷⁰⁾ 등으로 나누어 볼 수 있다.

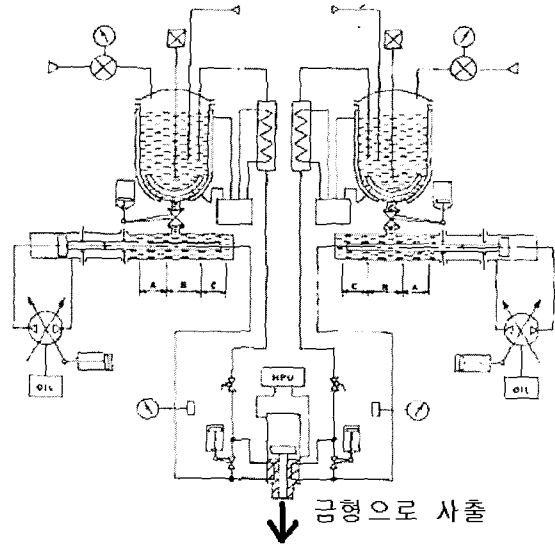


Fig. 15 Schematic drawing of reaction injection molding

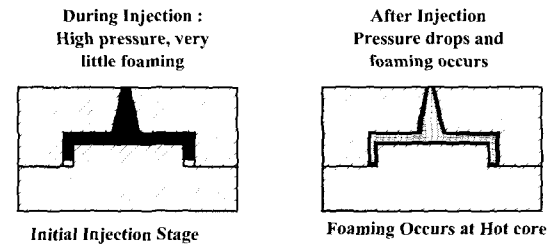


Fig. 16 Reaction injection molding for foamed structure

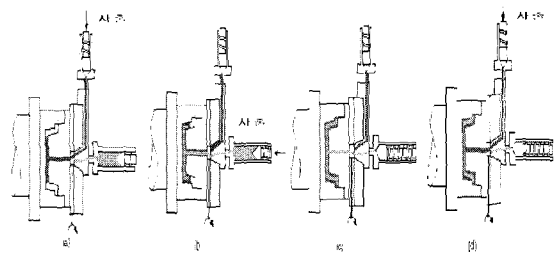


Fig. 17 Sandwich Injection Molding

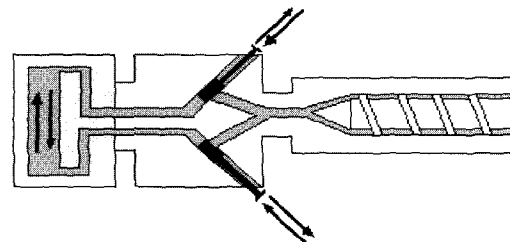


Fig. 18 Live-feed Injection Molding

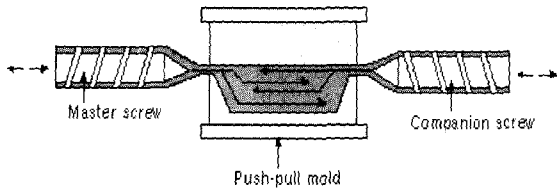


Fig. 19 Pull-push Injection Molding

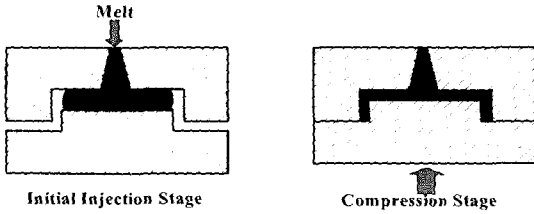


Fig. 20 Injection compression molding

2.2 블로우성형 (Blow Molding)

블로우성형은 중공 플라스틱 제품을 만드는 공정인데 크게 세 가지 방법, 즉 압출 블로우, 사출 블로우 그리고 사출 스트레치 블로우성형 등에 의해 행해지고 있다. 압출 블로우성형은 Fig. 21에 보는 것처럼 압출기를 이용하여 플라스틱을 녹이고 압출기 끝에 중공 파이프 모양의 속이 빈 모양을 형성할 수 있는 다이를 부착하여 패리슨 (parison)을 만든다. 보통 수직으로 내려오는 패리슨을 열려있는 블로잉 금형 안으로 들어가게 한다. 그리고 금형을 닫고 패리슨 안에 공기를 불어넣어 패리슨이 팽창하면서 금형에 부착되어 중공 제품을 형성하고, 낮은 금형의 온도에 의해 성형품이 냉각되면 금형을 열고 제품을 빼낸다. 패리슨을 만드는 압출공정에서 패리슨의 중력에 의해 처짐현상이 발생되어 두께가 변하는 것을 보상하거나, 또는 패리슨의 길이 방향으로 두께를 조절할 때는 압출 다이에 있는 맨드릴 (또는 parison variator)의 위치를 압출 중에 변화시키며 조절한다. Fig. 22는 압출 블로우성형에서 금형이 장착된 모양을 보여주고 있다.

사출 블로우성형은 프리폼 (preform, parison이라 부르기도 하는데 parison은 주로 압출 블로잉에 쓰이는 튜브 모양의 형상을 말한다)이라 불리는 중공품을 사출성형에 의해 제작하고 금형의 코어에 끼워져 있는 프리폼을 블로우금형 속으로 이송하고 공기를 주입하여 블로잉 작업을 한다 (Fig. 23, 24). 사출 스트레치 블로우성형은 사출성형에 의해 프리폼을 성형한다. 그리고 병에 담겨질 내용물의 종류에 따라 병 주입구에 결정화 처리를 한다. 그후 프리폼을 가열하여 블로우 금형 안으로 이송시킨 후 금형을 닫고 블로우 준비를 한다. 블로우 직전에 스

트레칭 로드를 사용하여 프리폼을 축 방향으로 스트레치시키면서 블로잉하여 중공 성형품을 만든다. (Fig. 25, 26) (171~188) 이 방법은 비교적 길이가 긴 중공품을 성형할 때 프리폼이 축 방향으로 확실히 연신 되게 하는 효과가 있다. 일반적으로 튜브모양의 프리폼내에 고압의 공기가 주입되면 길이 방향보다 원주방향 (hoop 방향)으로 연신이 더 크게 일어나기 때문에 스트레치 로드로 축 방향으로 연신시킨다. (189~190) 사출 블로우성형이나 사출 스트레치 블로우성형은 프리폼이 사출성형에 의해 제작되기 때문에 프리폼 두께의 분포를 정밀하게 성형할 수 있는 장점을 갖고 있다. 블로우 금형은 중공품의 외곽 모양을 형성하는데 중공품의 두께분포는 정해진 외곽 즉 주어진 블로우 금형 상태에서 프리폼의 두께 분포에 의존된다. 블로잉된 병은 소재의 스트레치에 의해 높은 기계적 물성을 갖는데 블로우 성형에서는 두 방향 즉, 축방향과 원주방향으로 물성의 증가가 있다. 그러나 이러한 물성의 증가도 natural draw ratio이상으로 연신이 되어야 가능하며 그 이하의 연신에서는 강도의 증가가 없이 두께만 얇아져 구조적 강도가 저하된다.

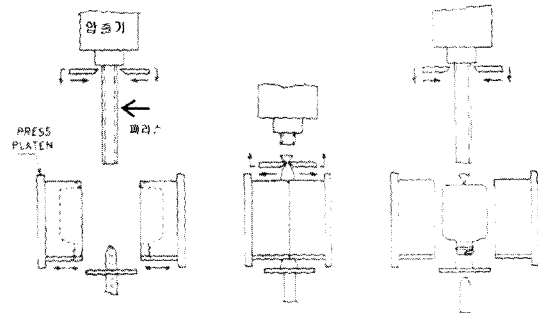


Fig. 21 Schematic drawing of extrusion blow molding process

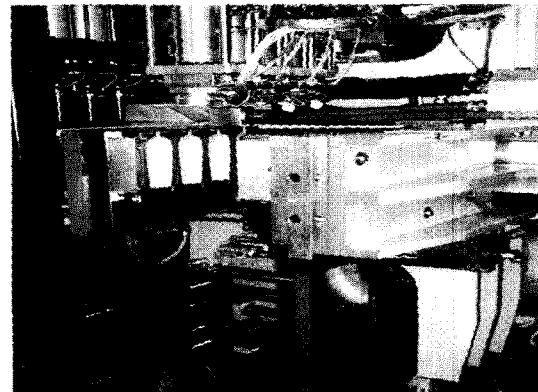


Fig. 22 Attachment of molds in extrusion blow molding

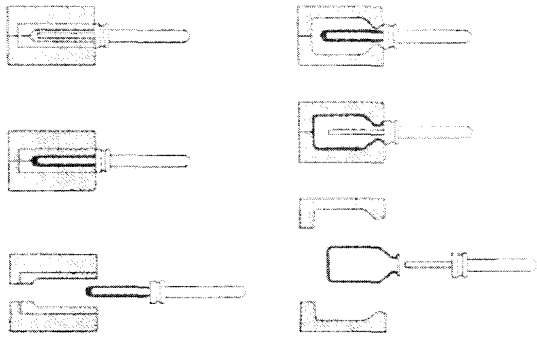


Fig. 23 Injection blow molding

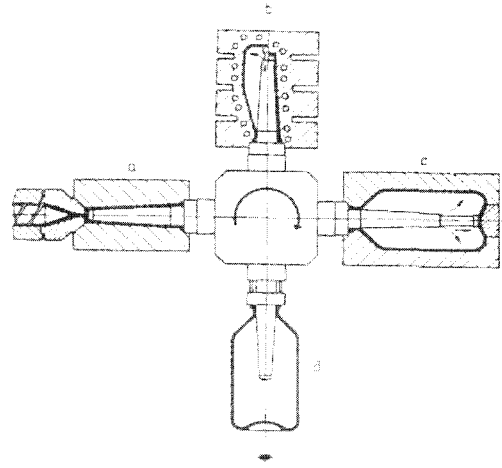


Fig. 26 Continuous operation of injection stretch blow molding

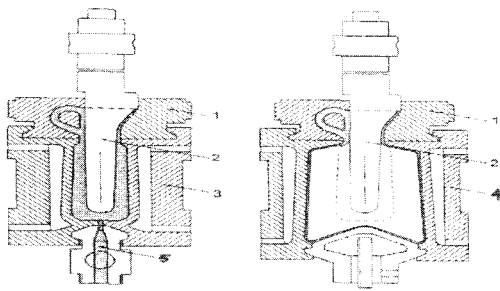


Fig. 24 Injection blowing of bottle with handle

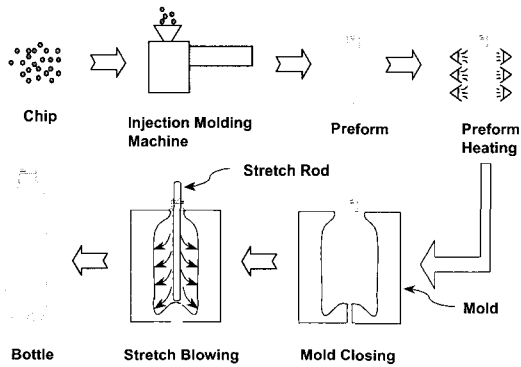


Fig. 25 Schematic drawing of injection stretch blow molding process

이렇게 natural draw ratio까지 연신 시키기 위해서는 최종병의 형상에 따른 프리폼의 두께 설계가 매우 중요하다. 병의 두께는 공정상의 변수, 즉 프리폼 가열온도나 블로잉 압력 그리고 스트레칭 로드의 스트레칭 조건에 의해 좌우된다.⁽¹⁹¹⁾

대부분의 PET병은 사출 스트레치 블로잉법으로 제작되는데 병의 투명도는 성형조건과 밀접하게 관련이 되어

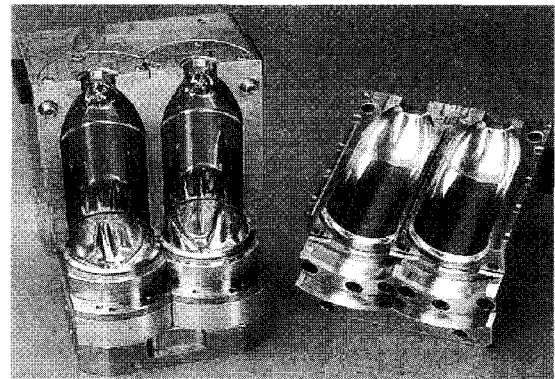


Fig. 27 Mold for injection stretch blow molding for carbonated soft drinks

있다. 원래 PET는 결정성 플라스틱이기 때문에 불투명하다. 그래서 사출성형에 의해 프리폼을 성형할 때 급랭시켜 결정화도를 아주 낮게 (약 5% 미만) 하여 투명한 프리폼을 얻는다. 그후 스트레치 블로잉에 의해 병을 성형할 때 소재에 가해지는 응력에 의해 PET는 결정을 이룬다. PET병의 몸통은 실제로 약 50% 정도의 결정을 갖고 있다. 그러나 응력에 의한 결정은 그 크기가 빛의 파장보다 작기 때문에 투명하게 보인다. 그러나 성형중 프리폼의 가열온도 (보통 110 °C)가 너무 높거나 연신이 작으면 열결정이 진행되어 결정크기가 커져 투명도가 저하된다.⁽¹⁹²⁻¹⁹⁴⁾ Fig. 27에 탄산음료용 사출 스트레치 블로잉성형의 금형이 나타나 있다.

2.3 압출성형 (Extrusion Based Shaping)

압출성형은 주로 열가소성 플라스틱을 이용하여 파이프와 봉 및 필름 시트 등 동일한 단면을 가진 길이가 긴 제품을 연속적으로 성형하는 방법으로 상당히 능률적인 가공법의 하나이다. 원리로는 플라스틱을 실린더 (또는 배럴, barrel) 안에서 용융시켜 스크류의 압출압으로 실린더 끝에 설치된 다이 (금형)로 압출한다. 압출된 소재는 물 또는 공기에 의해 냉각 고화되어 원하는 형상 및 치수로 성형된다. 압출성형기는 배럴 안에 스크류가 1개만 있는 단축 압출기와 2개 이상 있는 다축 압출기가 있다. 압출성형에서는 토출량이 일정한 단축 압출기가 주로 쓰이며 스크류 끝에 기어펌프 등을 부착하여 토출량을 더욱 일정하게 하는 경우가 많다. Fig. 30은 페리슨을 성형하는 압출기의 구조를 나타내고 있다.

Fig. 29는 통상 사용되는 단축 스크류 형상을 나타내는데 이것은 재료를 호퍼로부터 스크류에 이송시키는 공급부 (feed), 재료를 압축과 함께 가소화 용융시키는 압축부 (compression), 일정량의 용융된 재료가 압출 되도록 제량하는 제량부 (metering)로 구분된다.^{(119)~(120)} 스크류 끝과 다이 사이에 스크린 팩 (screen pack)과 브레이커 플레이트 (breaker plate)를 끼워서 불순물을 걸러내며 소재의 'truning memory' 현상을 방지한다. 그림 30에 여러 스크류의 형태를 보여주고 있는데 플라스틱의 녹는 양상에 따라 이에 맞는 스크류의 설계 및 선택이 중요하며 스크류의 압축비 및 길이와 직경의 비 (L/D) 역시 스크류의 디자인에서 중요한 요소이다.

파이프의 압출용 다이로는 스트레이트 다이, 크로스헤드 다이, 업셋 다이가 있다. (Fig. 31) 다이로부터 압출된 용융수지는 냉각조에서 수행하기 전에 파이프 직경의 사이징을 행한다. Fig. 32에 스트레이트 다이의 형상이 나타나 있다. 다이에서 빠져나온 소재는 사이징을 거쳐 최종형상이 결정되는데 사이징 방법은 내부 사이징과 외

부 사이징으로 나뉘어 진다. (Fig. 33) 내부 사이징은 프로파일의 내측 치수의 정밀도가 요구될 때 사용하고 외부 사이징은 외측치수의 정밀도가 요구될 때 사용된다. 외부 사이징은 공기압과 진공에 의한 방법이 있다.

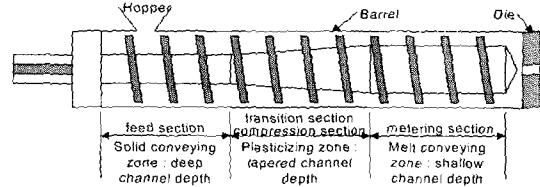


Fig. 29 Schematic drawing of single screw extruder

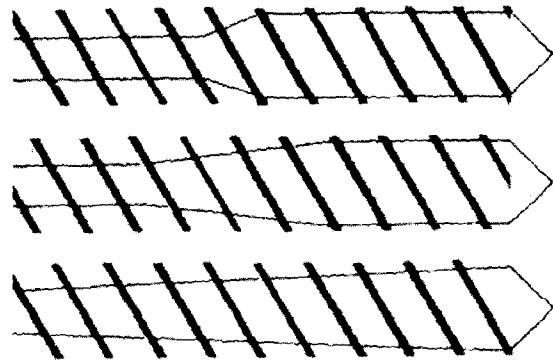


Fig. 30 Various screw designs

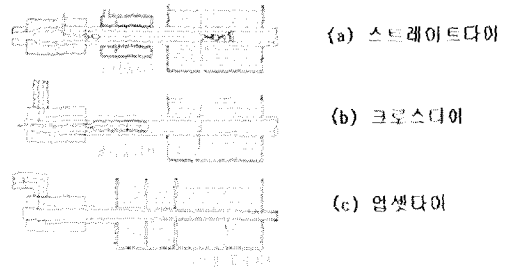


Fig. 31 Die and sizing system for pipe extrusion

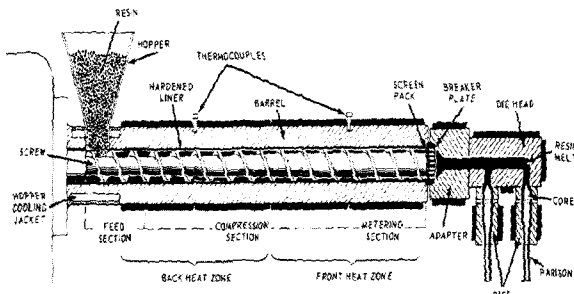


Fig. 28 Cross-section of screw extruder for the extrusion of parison

일반적으로 프로파일 압출 시 사용되는 다이는 플라스틱이 다이를 빠져 나올 때 보이는 다이 스웰 (die Swell 또는 extrudate swell)을 고려하여 Fig. 34의 점선과 같은 모양으로 설계하여 실선과 같은 형상의 제품을 얻는다.^{(239)~(240)} 고분자 소재가 다이를 빠져나오며 스웰을 하는 현상은 다이벽에 작용하는 수직응력, 탄성 복원력, 메모리 효과, 고분자 용융물의 엔트로픽 탄성 (entropic elasticity of polymer melt) 등으로 설명되는데 이는 점

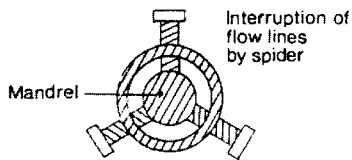
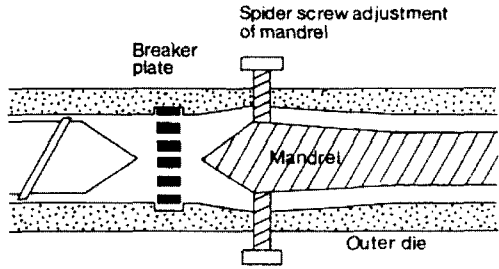
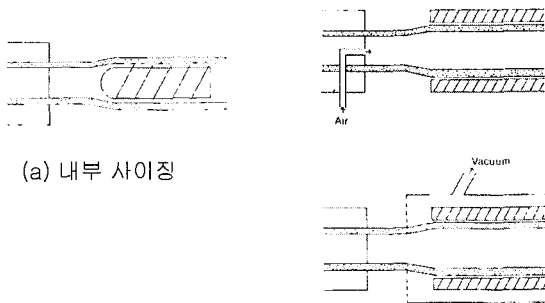


Fig. 32 Straight die for pipe extrusion



(a) 내부 사이징

(b) 외부 사이징

Fig. 33 Internal and external sizing

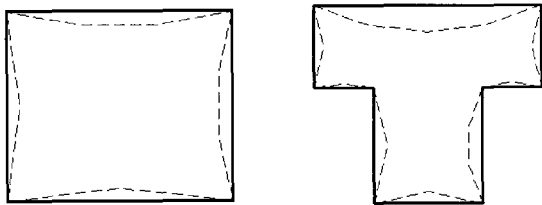


Fig. 34 Die design for profile extrusion

탄성 소재 갖는 탄성특성 때문이다. 다이 스웰의 정도는 소재가 갖고 있는 탄성 특성의 크기에 의해 결정되는데 이것은 성형조건에 따라 다르게 표출된다. 주어진 성형 공정에서 전단응력이 클수록, 온도가 낮을수록 그리고

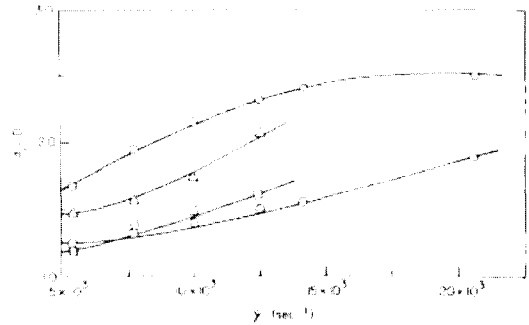


Fig. 35 Die swell vs. shear rate

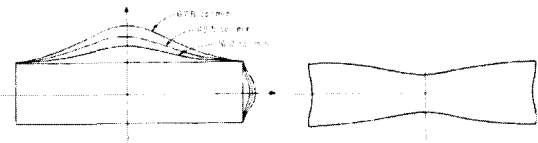


Fig. 36 Die swell in rectangular die for various flow rates

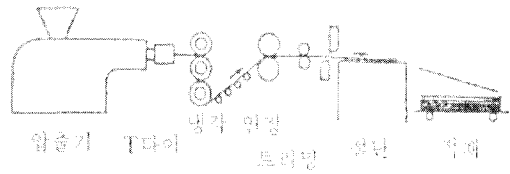


Fig. 37 Example of sheet extrusion process

다에서 소재의 이동 경로가 작을수록 즉 성형 다이에서 Deborah 번호가 클수록 스웰이 증가되기 때문에 성형 조건을 고려한 다이 형상의 설계가 중요하다. Fig. 35와 36에 성형조건 및 다이 형상에 따른 다이스웰이 나타나 있다. 이 부분의 연구는 주로 최적 제품의 프로파일을 예측하기 위한 연구가 주를 이루고 이를 위해 수치해석적인 연구가 많다. 특히 고무재료는 탄성의 성질이 매우 크기 때문에 다이스웰이 커서 정확한 형상의 압출을 어렵게 하고 있다.^{(22)~(23)}

압출공정에 의한 필름이나 판재의 제조과정의 예가 Fig. 37에 나타나 있다. 압출기에 의해 균일하게 가소화된 수지를 T 다이의 슬리브로부터 압출하고, 압출물 상에서 냉각하고 양 귀를 트리밍하여 소정의 치수로 제작한다. Fig. 38에 다이의 종류가 나타나 있다. 다이의 출구부는 간격이 조절되게 되어 있어 하나의 다이로 여러 두께의 판재를 압출 할 수 있다. 다이는 치수 정밀도보다는 플라스틱 용융물의 균형 있는 흐름에 설계의 주안점이 있다. Fig. 39에는 전선피복용 다이의 모양이 나타나 있다.

며, Fig. 40은 블로잉 방법에 의한 필름제조공정으로 (필름 블로잉) 링 다이를 사용해 용융된 튜브를 압출하여 그 속에 공기를 불어넣어 원하는 치수로 만들고 연속적으로 코일링해서 튜브상의 필름을 만든다. 이 공정에서 중요한 사항은 필름이 밖으로 불어지면서 수지가 식는 frozen Line의 위치와 성형공정 중에 필름이 터지지 않는 것이다. 이 공정에 사용되는 수지는 분자 구조가 가지구조를 갖는 수지를 사용하여 용융강도가 높고 tension stiffening이 되는 것이 좋다.

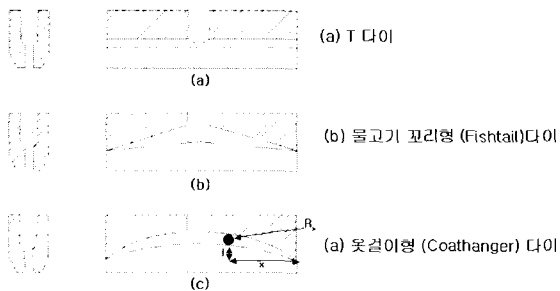


Fig. 38 Die for film and sheet extrusion

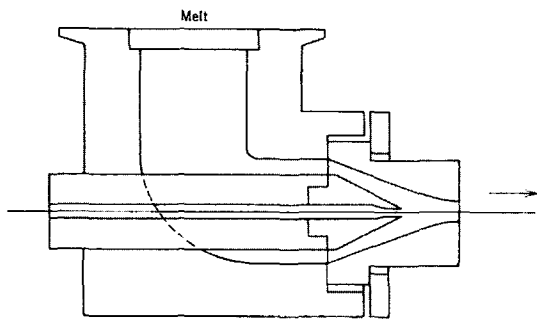


Fig. 39 Die for wire coating

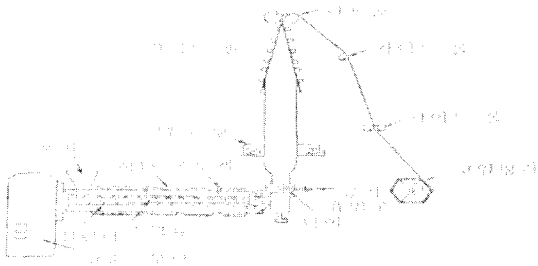


Fig. 40 Film blowing process

2.4 기타 플라스틱 성형법

2.4.1 압축성형 (Compression Molding)

압축성형은 각종 플라스틱 성형법 중 가장 역사가 오

래 되고, 열경화성 수지 성형의 대표적인 성형법 이다.

Fig. 41과 같이 분말상태의 성형재료를 적절한 온도로 조절되는 캐비티 안에 넣고 가열, 가압하여 성형한다. 성형재료가 캐비티 안에서 가열되면 유동상태로 되고 금형의 코어가 캐비티 안의 성형재료를 가압하여 캐비티 안을 채우게 된다. 그리고 화학반응에 의해 경화되어 제품을 형성하게 된다. Fig. 42는 압축 성형기를 보여주고 있다.

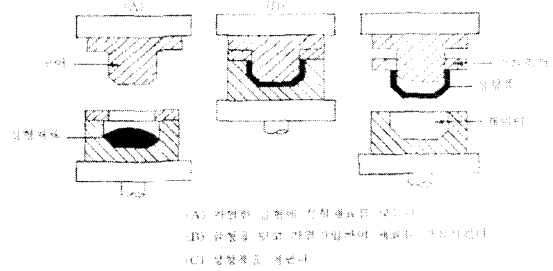


Fig. 41 Principle & Compression molding

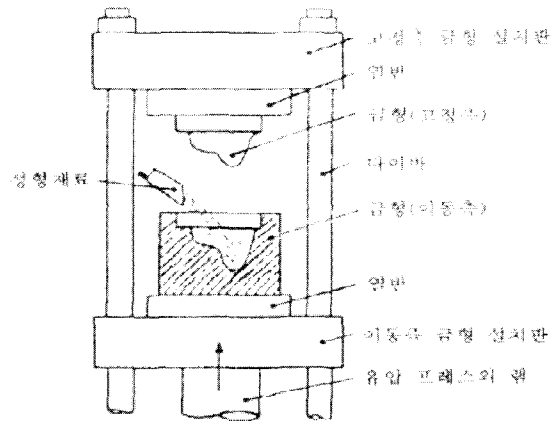


Fig. 42 Compression molding machine

2.4.2 트랜스퍼 성형 (Transfer Molding)

트랜스퍼 성형은 사출성형법과 유사하며 사용되는 재료는 주로 열경화성 플라스틱의 제품을 성형한다. 압축 성형과 다른 점은 재료를 캐비티 안에 넣은 상태에서 성형하는 것이 아니라 별도로 마련된 실린더에서 가열하여 플런저나 유압실린더의 작용으로 유동상태의 재료를 금형 속으로 압입하는 것이다. Fig. 43은 그 원리를 나타내고 있고, Fig. 44는 트랜스퍼 성형기를 나타낸다. 성형원리는 금형을 미리 열어 놓고 예열시킨 열경화성 수지를 포트라고 부르는 재료실에 투입한다. 포트에 투입된 재료를 가열하고 플런저로 가압하여 스프루, 런너를 통

해 금형의 캐비티에 들어가게 하며 금형 내에서 일정시간 가열 경화시키는 방법이다. 사출성형의 응용범위가 넓어지면서 현재는 극히 한정된 분야 즉, 고무성형과 반도체 금형 등에 응용되고 있다.

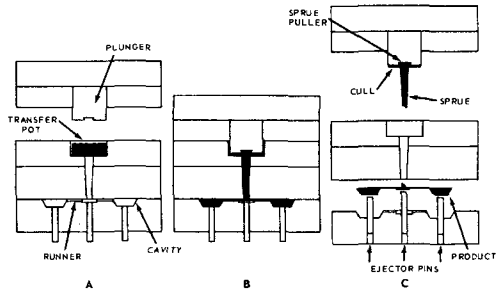


Fig. 43 Principle of transfer molding operation

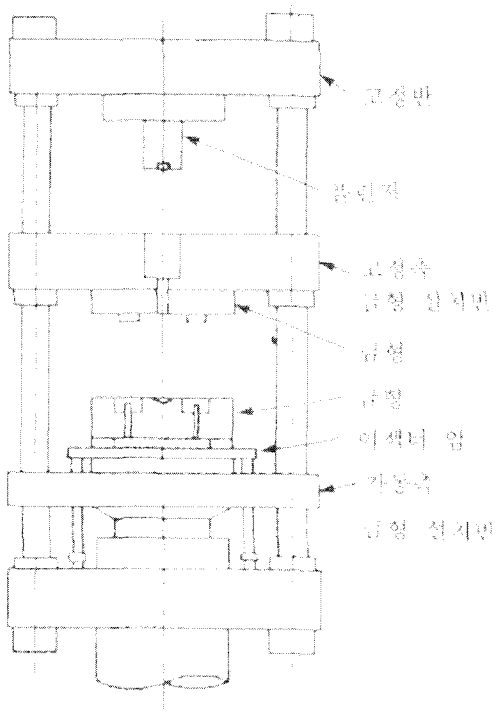


Fig. 44 Transfer molding machine

2.4.3 열성형 (Thermoforming)

열성형법이란 플라스틱 시트를 가열하여 연화시키고 여기에 외력을 가해 성형하는 방법이다. 가장 많이 사용되는 방법은 열가소성 플라스틱의 진공성형법과 압축 공기압 성형법이 있다. 진공성형의 원리는 Fig. 45와 같이

열가소성시트를 금형 위에 고정하고 히터로 가열해 연화된 시트를 진공으로 금형에 흡착시켜 성형하는 방법이다. 진공성형의 압력은 1기압 (1 kg/cm²) 이하이므로 금형은 금속, 석고, 목재, 열경화성 수지 등을 사용할 수 있지만 대량생산의 경우에는 금속을 사용한다. Fig. 45는 가장 간단한 방법으로 스트레이트 성형법 이고, 깊게 드로잉되는 경우에는 두께가 불 균일하므로 예비연신을 행한다. 그리고 진공으로 금형에 흡입시켜 성형하는 방법이다 그 방법은 Fig. 46와 같은 드레이프법 이다. Fig. 47은 압축 공기압 성형의 공정을 보여주고 있다. (A): 가열판과 금형과의 사이에 시트를 이동해 넣고, (B): 히터를 내리고 시트를 클램프하고 밀판으로부터 압축공기를 보내 히터면 판에 밀착시켜 가열한다. (C): 시트가 성형온도로 되면 역으로 히터 측으로부터 압축공기를 보내 금형에 밀어붙임과 동시에 시트와 금형 사이를 진공 한다. (D): 성형품이 냉각하면 히터를 내리고 금형날로 시트를 절단한다. (E) 히터를 올리고 금형 측에서 공기를 보내 성형품을 빼낸다. 열성형은 소재를 가열하고 공기를 이용하여 성형하는 블로우 성형과 유사하다.

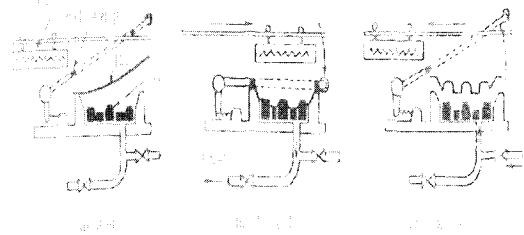


Fig. 45 Thermoforming operation - straight process

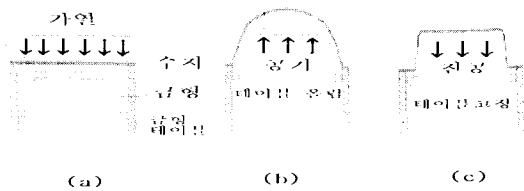


Fig. 46 Thermoforming operation-drape process

용도는 능률이 좋고 값싼 얇은 제품을 얻을 수 있어서 종이를 대체하는 각종 1회용 용기, 포장용기, 자동차 센터 필리와 냉장고의 내장 부품, 가변 등의 완구, 입체간판 등에 많이 사용한다. Fig. 47에 열성형에 의한 제품의 예가 나타나 있다.

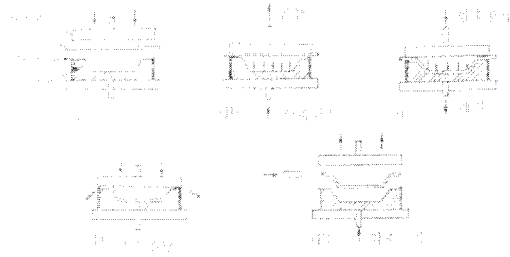


Fig. 47 Thermoforming using compressed air

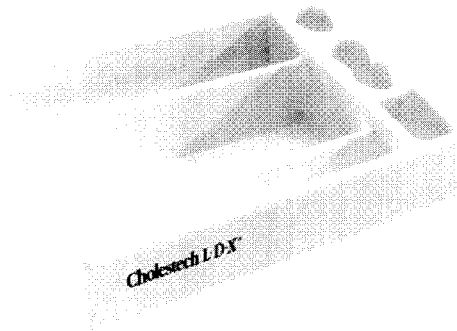


Fig. 48 Example of thermoforming product

3. 결 어

플라스틱성형 방법 중 대표적인 몇 가지에 대해서 성형의 원리 및 연구 동향에 관해 살펴보았다. 올바른 성형을 위해서는 성형공정에 맞는 플라스틱의 선택 그리고 성형기 에서 공정변수가 적절히 조절하여야 하겠다. 플라스틱 재료의 선정시 용도에 맞는 기계적 및 물리적 성질을 충족하는 재료가 선택이 되어야 하지만 그 중에서도 성형원도우가 넓은 재료의 중요하다. 성형원도우는 플라스틱의 유연학적 성질이 가장 중요할 텐데 같은 종류의 플라스틱에서도 분자구조나 분자량 등에 따라 그의 흐름 특성은 많이 다르게 나타난다. 그래서 충분한 유연학적 물성의 검토가 선행되어야 한다고 생각된다.

선택한 재료를 가지고 성형작업을 할 때에는 원하는 모양이 잘 성형되도록 하여야함은 물론 재료의 물성 감소가 없이 성형되어야 할 것이다. 따라서 성형기의 조작에 있어서는 외관모양이나 치수뿐만 아니라 성형 중에 형성되는 플라스틱 재료의 내부형태에도 물성증가에 도움이 되는 형태로 성형되도록 하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) I. Rubin, 1972, "Injection Molding", John Wiley & Sons, NY.
- (2) 조웅식, 2001, "사출성형 금형형설계기술", 기전연구사.
- (3) R.A. Malloy, 1994, "Plastic Part Design for Injection Molding", Hanser, NY.
- (4) J.-F. Agassant, P. Avenas, J.-Ph. Sergent and P.J. Carreau, "Polymer Processing, Hanser, 1991, NY.
- (5) T.A. Osswald and G. Menges, 1995, "Materials Science of Polymers for Engineers", Hanser, NY.
- (6) E.V. Buckleitner, 1995, "Plastics Mold Engineering Handbook", Chapman & Hall, NY.
- (7) Donald V. Rosato and Dominick V. Rosato, 1995, "Injection Molding Handbook", Chapman & Hall, NY.
- (8) W. Michaeli, 1992, "Extrusion dies for Plastics and Rubber", Hanser, NY.
- (9) C.D. Han, 1976, "Rheology in Polymer Processing", Academic, NY.
- (10) J. L. White, 1990, "Principles of Polymer Engineering Rheology, John Wiley & Sons, NY
- (11) H. Potente and M. Hansen, 1993 Intern. Polym Proc. 8, p. 345.
- (12) S. C. Chen, N. T. Cheng and K. S. Hsu 1995 International Communication in Heat and Mass Transfer, 22, p. 319.
- (14) Shia C. Chen, Ke S. Hsu, and Jeng S. Huang, 1995 Ind. Eng. Chem. Res, 34, p. 416.
- (15) S. Y. Yang and S. J. Liou, 1995 Adv. Polym. Tech., 14, p. 197.
- (16) L. S. Turang, 1995 Adv. Polym. Tech., 14, p. 1.
- (17) H. Potente, E. Moritzer, and C. H. Obermann, 1996 Polym. Eng. Sci. 36, p. 2163.
- (18) D. M. Gao, K. T. Nguyen, A. Garcia-Rejon and G. Salloum, 1997 Polym. Proc 3, p. 267.
- (19) G. A. A. V. Haagh, H. Zuidema, F. N. van de Vosse, G. W. M. Peters and H. E. H. Meijer, 1997 Polym. Proc, 3, p. 207.
- (20) Shia-Chung Chen, Sheng-Yan Hu, and

- Jeng-Sheng Huang, 1998 Polym. Eng. Sci., 38, p. 1085.
- (21) W. Michaeli and G. Menges, 1989 Adv. Polym. Tech. 9, p. 69.
- (22) S. C. Chen, K. F. Hsu and K. S. Hsu, 1993 ANTEC, p. 82.
- (23) K. Himasekhar, L. S. Turing, V. W. Wang, and H. H. Chang, K. K. Wang, 1993 Adv. Polym. Tech., 12, p. 233.
- (24) L. S. Turing, V. W. Wang, K. K. Wang, 1993 J. Eng. Mater. Tech. 115, p. 48.
- (25) W. F. Zoetelief, G. W. M. Peters and H. E. H. Meijer, 1997 Polym Proc, 3, p. 216.
- (26) S. Y. Yang, P. T. Chu, 1999 Adv. Polym. Tech. 18, p. 11.
- (27) Nan Shing Ong, H. L. Lee, M. A. Parvez, 2001, Adv. Polym. Tech. 20, p. 270.
- (28) 강신일, 1999, 소성가공학회, 춘계학술대회, p. 213.
- (29) 문종신, 신호철, 2000, 대한기계학회, 24, p. 1575.
- (30) 조태식, 정원용, 2001, polymer(korea), 25, p. 240.
- (31) S. Y. Yang and M.Z. Ke, 1995, Adv. Polym. Tech., 14, p. 15.
- (32) S. Y. Yang and L. Nien, 1996, Adv. Polym. Tech, 15, p. 205.
- (33) W. B. Young, 2000, Intern. Polym. Proc.15, p. 416.
- (34) S. Y. Tang, L. Nien, 1996, Adv. Polym. Tech. 15, p. 205.
- (35) S. Y. Yang, Y.C. Chen, 1998, Adv. Polym. Tech. 17, p. 353.
- (36) M. Evstatiev, S. Fakirov, G. Bechtold, K. Friedrich, 2000, Adv. Polym. Tech. 19, p. 249.
- (37) Shia-Chung Chen, Yung-Cheng Chen, Hsin-Shu Peng, Lei-Ti Huang, 2002, Adv. Polym. Tech. 21, p. 177.
- (38) 김종성, 1999, 소성가공학회, 춘계학술대회, p.218.
- (39) 김일환, 박성진, 정성택, 권태현, 1998, 대학기계학회, 22, p. 289.
- (40) I. Pandelidis and Q. Zou, , 1990, Polym. Eng. Sci. 30, p. 873.
- (41) I. Pandelidis and Q. Zou, 1990, Polym. Eng. Sci. 30, p. 883.
- (42) N. Dontula, P. C. Sukanek, H. Devanathan, and G. A. Campbell, 1991, Polym. Eng. Sci., 31, p. 1674.
- (43) C. P. Chiu, M.C. Shih, and J. H. Wei, 1991, Polym. Eng. Sci., 31, p. 1417.
- (44) C. J. Yu and J. E. Sunderland, 1992, Polym. Eng. Sci., 32, p. 191.
- (45) M. Yoshii and H. Kuramoto, 1993, Polym. Eng. Sci., 33, p. 1251.
- (46) D. M. Gao, K.T. Nguyen, P. Girard and G. Salloum, 1994, ANTEC, p. 712.
- (47) K. Amellal, C. Tzoganakis, A. Penlidis, and G. L. Rempel, 1994, Adv. Polym. Tech., 13, p. 315.
- (48) P. R. Oehler, 1996, ANTEC, p. 571.
- (49) A. J. Poslinski, P. R. Oehler, 1996, ANTEC, p. 470.
- (50) L. Q. Tang, K. Pochiraju, C. Chassapis and S. Manoochehri, 1996, ANTEC, p. 714.
- (51) B. A. Salamon and R. J. Donald, 1996, ANTEC, p. 680.
- (52) M. C. O. Chang, 1996, Intern. Polym. Proc., 11, p. 76.
- (53) G. Bateh, 1997, Intern. Polym. Proc. 12, p. 257.
- (54) R. Singh, F. Chen, and F. R. Jones, 1998, Polym. Compos, 19, p. 37.
- (55) S. S.L. Wen, C. K. Jen and K. T. Nguyen, 1999, Intern. Polym. Proc. 14, p. 175.
- (56) J. L. Berger and C. G. Gogos, 1973, Polym. Eng. Sci., 13, p. 102.
- (57) P. C. WU, C. F. Huang, and C. G. Gogos, 1974, Polym. Eng. Sci., 14, p. 223.
- (58) C. C. Lee, 1990, Polym. Eng. Sci., 30, p. 1607.
- (59) M. Gupta and T.H. Kwon, 1990, Polym. Eng. Sci. 30, p. 1420.
- (60) H. F. Nied, C. A. Taylor, and H. G. Delorenzi, 1990, Polym. Eng. Sci., 30, p. 1314.
- (61) H. H. Chiang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, 1991, Polym. Eng. Sci., 31, p. 116.
- (62) H. H. Chiang, C. A. Hieber, and K. K. Wang, 1991, Polym. Eng. Sci., 31, p. 125.
- (63) D. Fauchon, H. H. Dannelongue and P. A. Tanguy, 1991, Intern. Polym. Proc. 6, p. 13.
- (64) H. H. D. Frahan, V. Verleye, F. Dupret, and M. J. Crochet, 1992, Polym. Eng. Sci., 32, p. 254.
- (65) I. Karidio and J. J. C. Picot, 1993, Polym. Eng. Sci., 33, p. 149.
- (66) D. M. Gao, K. T. Nguyyin, P. Girard and G.

- Salloum, 1994, ANTEC, p. 554.
- (67) S. Cha and F. S. Lai, 1996, TEC, p. 831.
- (68) C. Friedl, M. P. Lid, 1996, ANTEC, p. 731.
- (69) G. Titomanlio and V. Speranza, V. Brucato, 1997, Intern. Polym. Proc., 12, p. 45.
- (70) M. Buchmann, R. Theriault, and T. A. Osswald, 1997, Polym. Eng. Sci., 37, p. 667.
- (71) C. Likakou, 1997, Polym. Eng. Sci., 37, p. 529.
- (72) S. Y. Hobbs, 1974, Polym. Eng. Sci, 14, p. 621.
- (73) W. K. Krueger and Zehev Tadmor, 1980, Polym. Eng. Sci, 14, p. 426.
- (74) S. C. Malguamera and A. M. anisali, 1981, Polym. Eng. Sci, 21, p. 586.
- (75) S. C. Malguamera, A. I. Manisali, and D. C. Riggs, 1981, Polym. Eng. Sci, 21, p. 1149.
- (76) R. M. Criens and H. G. Mosle, 1983, Polym. Eng. Sci, 23, p. 591.
- (77) Sang-Gook Kim and Nam P. Suh, 1986, Polym. Eng. Sci, 26, p. 1200.
- (78) D. Singh, H. G. Mosle, M. Kunz, W. Wenig, 1990, J. Mater Sci, 25, p. 4704.
- (79) K. Tomari, S. Tonogal and T. Harada, 1990, Polym. Eng. Sci, 30, p. 931.
- (80) B. Fisa and M. Rahmani, 1991, Polym. Eng. Sci, 31, p. 1330.
- (81) K. Tomari and T. Harada, 1993, Polym. Eng. Sci, 33, p. 996.
- (82) B. Brahim, A. Ait-Kadi and A. Aji, 1994, Polym. Eng. Sci, 34, p. 1202.
- (83) S. Fillahi, B. Fisa and B. D. Favis, 1995, J. Appl. Polym. Sci. 57, p. 1319.
- (84) Kiyotaka Tomari, Hiroki Takashima and Hiroyuki Hamada, 1995, Adv. Polym. Tech. 14, p. 25.
- (85) N. Mekhilef and A. Ait-Kadi, A. Aji, 1995, Adv. Polym. Tech. 14, p. 315.
- (86) Garrett P. Gardner, Robert A. Malloy, 1996, ANTEC, p. 685.
- (87) W. Wenig, C. Stolzenberger, 1996, J. Mater. Sci. 31, p. 2487.
- (88) 고득현, 이성우, 김현경, 모정혁, 류민영, 2002, 한국 고분자학회, 추계학술대회.
- (89) R. Selden, 1997, Polym. Eng. Sci, 37, p. 205.
- (90) Jin Kon Kimm Ju Ho Song, S. T. Chung and T. H. Kwon, 1997, Polym. Eng. Sci, 37, p. 228.
- (91) 이서춘, 김형수, 홍인권, 윤용수, 1997, The Korea Journal of Rheology, 9, p. 133.
- (92) A. Chrysostonou, S. Hashemi, 1998, J. Mater. Sci. 33, p. 1165.
- (93) A. Chrysostonou, S. Hashemi, 1998, J. Mater. Sci. 33, p. 1165.
- (94) J. Rioux, D. Yao and B. H. Kim, 1998, Polym. Plast. Tech. Eng, 37, p. 369.
- (95) D. F. Mielewski, D. R. Bauer, P. J. Schernitz and H. van oene, 1998, Polym. Eng. Sci. 38, p. 2020.
- (96) N. Shah and S. M. Carthy, D. Colford, 1993, ANTEC, p. 1599.
- (97) W. C. Bushko, V. K. Stokes, and A. J. Poslinski, 1996, ANTEC, p. 491.
- (98) A. J. Poslinski, W. C. Bushko, and V. K. Stokes, L. R. Cosma, 1996, ANTEC, p. 486.
- (99) W. C. Bushko, V. K. Stokes, 1996, ANTEC, p. 482.
- (100) S. Han and K. K. Wang, 1997, Intern. Polym. Proc. 12, p. 228.
- (101) K. M. B. Janses, D. J. van Dijk and E. V. Burgers, 1998, Intern. Polym. Proc. 13, p. 99.
- (102) 유중철, 김희승, 1995, 대한기계학회, 19, p. 322.
- (103) 김현진, 김정화, 김화영, 모정혁, 류민영, 2002, 한국고분자학회, 추계학술대회.
- (104) Shia-Chung Chen, Yung-Cheng Chen, Hsin-Shu Peng, Lei-Ti Huang, 2002, Adv. Polym. Tech. 21, p. 177.
- (105) 신희철, 양승관, 류민영, 1999, 한국고분자학회, 추계학술대회, 10, p. 15.
- (106) 류민영, 2002, 한국소성가공학회 금형가공심포지움.
- (107) 류민영, 신희철, 배유리, 2000, 폴리머, 24, p. 545.
- (108) K. Oda, J. L. White. And E. Clark, 1976, Polym. Eng. Sci., 16, p. 585.
- (109) J. L. White, 1979, Polym. Eng. Sci., 19, p. 1081.
- (110) H. Hamada, H. Tsunasawa, 1995, ANTEC, p. 722.
- (111) S. Y. Hobbs, 1996, Polym. Eng. Sci., 32, p. 1489.
- (112) R. G. Treuting and W. T. Read, JR., 1950, J. Appl. Phys., 22, p. 130.
- (113) R. D. Andrews, 1954, J. Appl. Phys., 25, p. 1223.
- (114) E. F. Gurnee, 1954, J. Appl. Phys., 25, p. 1232.
- (115) A. J. Bush and F. J. Kromer, 1973, ISA Trans., p. 12, 249.
- (116) L. D. Coxon, J. R. White, 1979, J. Mater. Sci,

- 14, p. 1114.
- (117) A. I. Isayev and C. A. Hieber, *Rheol. 1980, Acta*, 19, p. 168.
- (118) J. R. Saffell and A. H. Windle, 1980, *J. Appl. Polym. Sci.*, 25, p. 1117.
- (119) J. G. Williams and J. M. Hodgkinson and A. Gray, 1981, *Polym. Eng. Sci.*, 21, p. 822.
- (120) L. K. Agbezu, 1981, *Polym. Eng. Sci.*, 21, p. 534.
- (121) J. F. Mandill, K. L. Smith, and D. D. Huang, 1981, *Polym. Eng. Sci.*, 21, p. 1173.
- (122) J. Greener and G. H. Pearson, 1983, *J. Rheol.*, 27, p. 115.
- (123) A. I. Isayev, 1983, *Polym. Eng. Sci.*, 23, p. 271.
- (124) C. J. Wust, JR. and D. C. Bogue, 1983, *J. Appl. Polym. Sci.*, 28, p. 1931.
- (125) M. Thompson and J. R. White, 1984, *Polym. Eng. Sci.*, 24, p. 227.
- (126) S. Lee, J. D. L. Vega, and D. C. Bogue, 1986, *J. Appl. Polym. Sci.*, 31, p. 2791.
- (127) M. R. kamal and P. G. Lafleur, 1986, *Polym. Eng. Sci.*, 26, p. 103.
- (128) J. F. Stevenson, L. J. Lee, and R. M. Griffith, 1986, *Polym. Eng. Sci.*, 26, p. 233.
- (129) J. C. M. Li, 1967, *Canadian Journal of Phys.*, 45, p. 493.
- (130) L. J. Broutman and S. M. Krishnakumer, 1974, *Polym. Eng. Sci.*, 14, p. 249.
- (131) L. J. Broutman and S. M. Krishnakumar, 1976, *Polym. Eng. Sci.*, 16, p. 74.
- (132) P. So and L. J. Broutman, 1976, *Polym. Eng. Sci.*, 16, p. 785.
- (133) H. J. Kriegl, 1977, *Rheol. Acta*, 16, p. 327.
- (134) L. Hoare and D.Hull, 1977, *Polym. Eng. Sci.*, 17, p. 204.
- (135) W. Dietz and J. L. White, 1978, *Rheol. Acta*, 17, p. 676.
- (136) A. Siegmann, M. Narkis, and N. Rosenzweig, 1979, *Polym. Eng. Sci.*, 19, p. 223.
- (137) L. Schmidt and J. Opfermann and G. Menges, 1981, *Polym. Eng. Rev.* 1, p. 1.
- (138) J. L. White and A. Agrawal, 1981, *Polym. Eng. Rev.* 1, p. 267.
- (139) A. Siegmann, A. Buchman and S. Kenig, 1982, *Polym. Eng. Sci.*, 22, p. 40.
- (140) A. I. Isayev and D. L. Crouthamel, 1984, *Polym. Eng. Sci.*, 22, p. 177.
- (141) J. R. White, 1985, *J. Mater. Sci.*, 20, p. 2377.
- (142) P. G. Lafleur and M. R. Kamal, 1986, *Polym. Eng. Sci.* 26, p. 92.
- (143) R. K. Mittal and V. Rashmi, 1986, *Polym. Eng. Sci.*, 26, p. 31.
- (144) G. D. Gilmore and R. S. Spencer, 1950, *Modern Plastics*, 27, p. 143.
- (145) R. I. Dunlap, F. J. Pokigo, and S. E. Glick, 1950, *Modern Plastics*, 27, p. 83.
- (146) J. A. Neumann, 1950, *Modern Plastics*, 27, p. 97.
- (147) R. L. Ballman and H. L. Toor, 1960, *Modern Plastics*, 38, p. 113.
- (148) F. J. Rielly and W. L. Price, 1961, *SPE J.*, 17, p. 1097.
- (149) C. T. Hathaway, 1961, *SPE J.*, 17, p. 567.
- (150) Joy L. Vermillion, 1961, *Modern Plastics*, 39, p. 121.
- (151) Gnter Peilstcker, 1962, *British Plastics*, p. 365.
- (152) Lowell S. Thomas and Kenneth J. Cleereman, 1962, *Modern Plastics*, 40, p. 39.
- (153) L. I. Johnson, 1963, *Modern Plastics*, 41, p. 111.
- (154) James K. Harkleroad, 1966, *SPE J.*, 22, p. 29.
- (155) Edward S. Clark, 1967, *SPE J.*, 23, p. 46.
- (156) Robert Rager, 1967, *Modern Plastics*, 23, p. 131.
- (157) Dipl-Phys. Bodo Carlowitz and Dipl-Phys. Norbert Kallus, 1970, *Frankfurt a. M.*, 60, p. 19.
- (158) Lowell S. Thomas and Kenneth J. Cleoroman, 1972, *SPE J.*, 28, p. 39.
- (159) Lowell S. Thomas and Kenneth J. Cleoroman, 1972, *SPE J.*, 28, p. 62.
- (160) E. Morales, J. R. White, 1988, *J. Mater. Sci.* 23, p. 3612.
- (161) Erik Andreassen and Ole Jan Myhre, 1993, *J. Appl. Polym. Sci.*, 50, p. 1715.
- (162) 류민영, 조성환, 2002, *금형기술개발과 CAE해석 적용 세미나*.
- (163) A. Siegmann, A. Buchman, and S. Kenig, 1981, *Polym. Eng. Sci.*, 21, p. 997.
- (164) M. Rezayat and R. O. Stafford, 1991, *Polym. Eng. Sci.*, 31, p. 393.
- (165) H. Wang, K. K. Kabanemi, and G. Salloum,

- 2000, Polym. Eng. Sci., 40, p. 826.
- (166) T. Matsuoka, J. I. Takabatake, A. Koiwai, Y. Inoue, S. Yamamoto, and H. Takahashi, 1991, Polym. Eng. Sci., 31, p. 1043.
- (167) K. M. B. Jansen, D. J. van Dijk and K. P. keizer, 1998, Intern. Polym. Proc. 13, p. 417.
- (168) E. J. Fahy, 1998, Polym. Eng. Sci., 38, p. 1072.
- (169) Yuanxian Gu, haimei Li, Changyu Shen, 2001, Adv. Polym. Tech. 20, p. 14.
- (170) 정성택, 김진관, 2000, 대한기계학회, 24 p. 1968.
- (171) D. H. Morton-Jones, 1989, Polym. Proc..
- (172) C. Bridle, A. Buckley, J. Scanlan, 1968, J. Materials Sci., 3, p. 622.
- (173) J. H. Dumeleton, 1968, J. Polym. Sci., 6, p. 795.
- (174) K. Thiruvillakkat and G. K. Mahajan, 1975, Polym. Eng. Sci., 15, p. 272.
- (175) C. Bonnebat, G. Rouillet, and A. J. de Vries, 1981, Polym. Eng. Sci., 21, p. 189.
- (176) R. Y. Wu and Z. H. Stachurski, 1982, Polym. Eng. Sci., 22, p. 472.
- (177) L. Brwin and M. A. Pollock and H. Gonzalez, 1983, Polym. Eng. Sci., 23, p. 826.
- (178) M. Cakmak, J. E. Spruiell, and J. L. White, 1984 Polym. Eng. Sci., 18, p. 1390.
- (179) M. Cakmak, J. E. Spruiell, and J. L. White, 1984 Polym. Eng. Sci., 24, p. 1390.
- (180) J. Granata, 1986, ANTEC, p. 825.
- (181) F. P. Gay, 1988, J. PLASTIC FILM & SEETING , 4, p. 130.
- (182) F. Rietsch, Eur. 1990, Polym. J, 26, p. 1077.
- (183) S. A. Jabarin, 1992, Polym. Eng. Sci., 32, p. 1341.
- (184) S. A. Jabarin and P. Chandran, 1992, ANTEC, p. 653.
- (185) A. Silberman, M. Omer, A. Ophir and S. Kenig, 1998, ANTEC, p. 803.
- (186) L. Martin and D. Stracovsky and D. Laroche, A. Bardetti, R. Ben-Yedder and R. Diraddo, 1999, ANTEC, p. 982.
- (187) C. S. Randall and David P. Prior, 1999, ANTEC, p. 972.
- (188) S.Wang, A. Makinouchi, M. okamoto, T. kotaka, M. Maeshima, N. Ibe, T. Nakagawa, 2000, Intern. Polym. Proc., 15, p. 166.
- (189) 주성택, 김용환, 류민영, 2001 한국소성공학회, 10, p. 525.
- (190) Min-Young Lyu, H. C. Kim, J. S. Lee, 2001, Inter. Polym. Proc. 16, p. 72.
- (191) 김진환, 오창석, 홍성택, 류민영, 2002 한국소성가 공학회 추계학술대회, 10 p.11.
- (192) 류민영, 김학철, 이재식, 신희철, 2000 한국고분자 학회, 춘계학술대회, 4, p.14.
- (193) 김학철, 이재식, 신희철, 류민영, 2000, 한국고분자 학회 추계학술대회, 10, p. 13.
- (194) 신희철, 김명욱, 류민영, 주성택, 김용환, 한국고분자 학회, 춘계학술대회, 4, p. 13.
- (195) 신희철, 류민영, 김용환, 2001, 한국소성가공학회, 추계학술대회, 10, p. 11.
- (196) Min-Young Lyu, H. C. Kim, H. C. Shin, J. S, Lee, S. T. Joo and Y. W. Kim, 2001. ANTEC, p. 2808.
- (197) 류민영, 김용환, Inter. Polym. Proc. (in press).
- (198) 류민영 J. Appl. Polym. Sci. ((in press).
- (199) C. Rauwendaal, 1990, "Polymer Extrusion", Hanse, NY.
- (200) Min-Young Lyu, James L. White, 1995, Intern. Polym. Proc. 10, p. 305.
- (201) Min-Young Lyu, James L. White, 1996, Intern. Polym. Proc. 11, p. 208.
- (202) Min-Young Lyu, James L. White, 1997, Intern. Polym. Proc. 12, p. 104.
- (203) Min-Young Lyu, James L. White, 1997, Polym. Eng. Sci., 37, p. 623.
- (204) Min-Young Lyu, James L. White, 1997, Polym. Eng. Sci., 38, p. 1366.
- (205) 류민영, 1998, 고분자과학과 기술, 9, p. 297.
- (206) Min-Young Lyu, James L. White, 1998, J. Polym. Plast Tech. Eng, 37, p. 385.
- (207) Min-Young Lyu, James L. White, 2000, J. of Reinforced Plastic and Composites, 19. p. 756.
- (208) D.-S. Kwag, M.-Y. Lyu, W.-S. Kim, 2002, Intern. Polym. Proc., 17, p. 95.
- (209) P. HurezandP.A Tanguy, 1996, Polym. Eng. Sci. 36, p. 626.
- (210) P. HurezandP.A Tanguy 1993, Polym. Eng. Sci. 33, p. 971.
- (211) B. Yang and L. J. Lee 1988, Polym. Eng. Sci. 28, p. 697.
- (212) B. Yang and L. J. Lee 1988, Polym. Eng. Sci.

- 28, p. 708.
- (213) Jing-Pin Pan, Ping-Yao Wu, and Ta-Jo Liu
1997, Polym. Eng. Sci. 37, p. 856.
- (214) E. B. Rabinovitch and J. G. Quisenberry 1988,
Vinyl Tech 10, p. 200.
- (215) B. Yang and L. J. Lee 1987, Polym. Eng. Sci.
27, p. 1079.
- (216) James F. Stevenson. L. J. Lee. and Richard M.
Griffith 1986, Polym. Eng. Sci. 26, p. 233.
- (217) Chris Rauwendaal, 1991, Plastics World p. 73.
- (218) W. Michaeli and G. Menges 1989, Adv. Polym.
Tech. 9, p. 69.
- (219) F. Thibault and P.A. Tanguy 1994, Polym. Eng.
Sci. 34, p. 1386.
- (220) L. Mascia and T. Schwarzbach 2001, Adv.
Polym. Tech. 20 p. 99.
- (221) W. A. Gifford, 1998, Polym. Eng. Sci. 38 p. 1167.
- (222) Michel A. Huneault, Pierre G. Lafleur, and
Pierre J. Carreau, 1990, Polym. Eng. Sci. 30,
p. 1544.
- (223) Woei-Shyong Lee and Hsueh-Yu Ho, 2000,
Polym. Eng. Sci. 40, p. 1085.
- (224) Michel A. Huneault, Pierre G. Lafleur, and
Pierre J. Carreau, 1989, Plastics Engineering p. 39.
- (225) Bing Yang and L. James Lee, 1987, Polym.
Eng. Sci. 27, p. 1088.
- (226) S. G. Turley, 1968, Appl. Polym. Symp. 7, p. 237.
- (227) Pawan K. Agarwal, Edward B. Bagley and
Christopher T. Hill, 1978, Polym. Eng. Sci, 18,
p. 282.
- (228) C. S. Randall, 1991, ANTEC, p. 2642.
- (229) M. D. Migahed, H. R. Hafiz, A. M. Shaban and
M. Ishra, 1991, J. Polym. Mater. 8, p. 329.