

ISBM-PP 기술의 현황과 전망

최창현 · 김영우

1. 서론

PP의 injection stretch blow moulding(이하 ISBM; 사출연신중공성형) 기술에 관한 플라스틱 업계의 관심이 고조되고 있다. 다른 ISBM의 경우와 마찬가지로 PP도 분자의 배향을 통해서 물성의 개선을 이룰 수 있다. 과거에는 적정 연신 성형온도와 투명성의 확보 측면 등에서 PP의 경우 해결하지 못한 어려움이 있어 그 보급이 활발하지 못했었다.^{1,2,3} 하지만 최근에 들어서 PP의 연신 성형온도의 적정 콘트롤을 통한 획기적인 투명성 개선이 가능하게 되면서,^{4,5,6} ISBM-PP의 다양한 용도에 관심이 모아지고 있다.^{7,8,9} 본고에서는 ISBM 기술의 정의 및 현황, PP의 적용, 그리고 ISBM-PP의 향후 전망에 대해서 살펴보기로 하겠다.

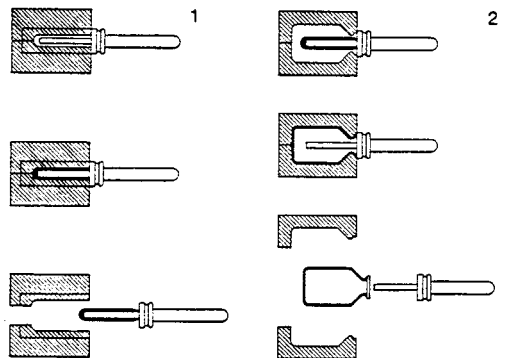


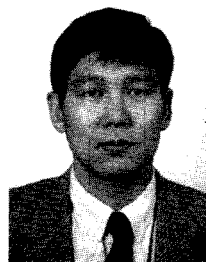
그림 1. Injection blow의 원리.

2. ISBM 기술의 정의 및 현황

2.1 Injection Blow Moulding (IBM)

일반적으로 injection blow moulding (IBM)은 일반적인 extrusion blow (EBM)의 parison을 사출성형으로 만드는 것(preform)을 말한다. 그림 1에 기본적인 injection blow 성형공정을 나타내었다.¹⁰

IBM은 넥(neck) 금형, 코아(core) 금형, 캐비티(cavity) 금형을 설치한 후 코아 금형의 주위에서 수지를 사출해서 preform을 성형하며, 이 단계에서 넥부는 최종 형태로 성형된다. preform은 코아 금형에서 지지받아 캐비티 금형에서 블로우 금형으로 옮겨진다. 블로우 금형을 닫고 코아 금형에 설치되어진 공기취입구에서 공기를 불어 넣어서 성형한다. 냉각 후 넥금형과 블로우 금형을 열어서 성형품을 꺼낸다. 즉, 성형 system은 다음의 순서로 행해진다고 할 수 있다.



최창현

1974~ 1978 고려대학교 재료공학과
1980~ 1982 고려대학교 재료공학과 대학원
1982~ 1985 LUCKY 중앙연구소
1985~ 1989 FRANCE LYON I 대학교
고분자공학 Ph. D
1990~ 1993 BELGIUM SOLVAY
중앙연구소
1993~ 현재 삼성종합화학연구소
사출연구팀장



김영우

1987~ 1991 연세대학교 화학공학과
1991~ 1993 미국 COLORADO대
화학공학과 대학원
1993~ 현재 삼성종합화학연구소 사출팀
연구원

ISBM(Injection Stretch Blow Moulding)-PP

삼성종합화학연구소(Chang-Hyun Choi and Young-Woo Kim, Injection R & D Team, Samsung General Chemicals, 103-6, Moonji-dong, Yusung-ku, Taejon 305-380, Korea)

- ① Preform mold 단계(사출 성형)
- ② Preform의 이동 단계(사출 mold → blow mold)
- ③ Blow mold 단계(blow 성형)
- ④ 이 형

기존의 EBM 대비, IBM 성형 기술의 특징을 다음의 표 1에 나타내었다.

IBM의 일반적인 응용으로는 화장품, 요구르트, 유산, 탄산음료, 약품병, 조미료병 등 많이 있으며, 이들 용기의 바닥부를 보면 preform을 사출 성형 했을 때 생긴 게이트 자국이 약간 둥글게 남아 있고, 다이렉트 블로우법 특유의 preform을 끼웠을 때에 생긴 핀치오프(pinch off; 선상으로 보임)가 없기 때문에 곧 알 수 있다. 일본에서 처음으로 이 방법으로 성형된 용기가 야구르트 용기(PS)이며, 성형기는 Netstal사(→ 住友重機械工業)가 만들었다. 간단한 공정(2단계; flip-flop system)으로 이루어져 있지만 그 당시로서는 꽤 획기적인 일이었다. 현재 국내 야구르트 용기 생산용 기기의 상당량이 바로 이 住友重機械工業의 제품이며, 대다수가 꽤 오래된 기기들이다.

그림 2에는 3단 IBM 기기의 단면을 보였다. 이와 같은 형태의 IBM 기기는 화장품 및 약품용 중소형 용기의 생산에 널리 쓰이며 PS, LDPE, HDPE, PVC, PP,

표 1. IBM의 특징

장 점	단 점
• 사출성형으로 정밀하고 견고한 neck 부분을 얻을 수 있음 • scrap이 없으므로 원료면에서 경제적인 • preform의 두께를 정밀하게 조절 가능 • 다수 생산 유리 → 생산력 향상	• 성형기, 금형 등의 설비비가 높음 • 금형, 성형 등에 고도의 기술이 필요 • 細物, 深物, 大物의 성형은 어려움

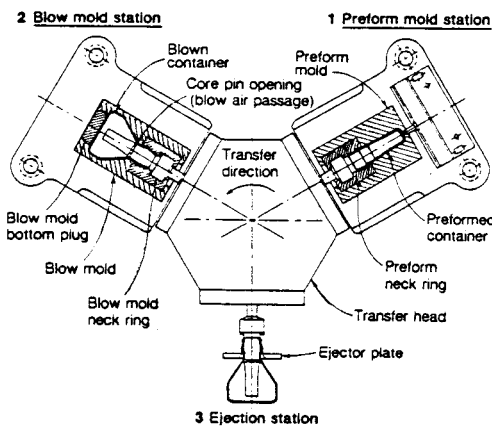


그림 2. 3단 IBM 기기의 단면.

PET 등 다양한 수지의 사용이 가능하다.

2.2 Injection Stretch Blow Moulding (ISBM)

응용하고 있는 플라스틱을 급냉한 다음에 연화 온도 이하에서 인장하여 신장시키면 얇아지는데, 인장한 방향으로 분자가 규칙적으로 정렬하여 투명성, 강성, 가스배리어성 등의 물리적 성질이 향상된다. 가로, 세로 방향으로 인장하는 것을 2축연신이라 한다. 이 경우 결정성 플라스틱(polyethylene terephthalate (PET), PP, nylon 등)의 투명도는 현저히 향상되며 특히 PET는 가장 널리 사용되고 있는 재료중의 하나이다.^{11,12}

그 원리를 응용한 blow process를 ISBM (2축 연신 블로우 성형)이라 부른다. 즉, 보통의 injection blow 공정에 preform을 blow 성형과 더불어 연신하는(stretching) 공정을 추가한 형태이다.

Injection stretch blow의 장점은 우수한 투명성과 아울러 상당한 내압에 견딜 수 있다는 점이다. 이는 금형에 의한 parison의 끼워 넣는 부분이 일체 없으므로 생기는 성질이다. 또한 수지 자체가 direct extrusion blow로는 패리슨을 형성하기가 어려운 것이라도 이 방식으로는 가능해진다. 예를 들면 melt strength가 약한 PET나 PC 등은 draw down 현상이 너무 심해서 다이렉트 블로우로는 성형하기가 어려우나 ISBM으로는 가능하다. 따라서 PET 용기의 성형에는 ISBM 기술이 많이 사용되며, 우리 주변에서 흔히 볼 수 있는 콜라나 사이다 등의 탄산음료나 주스, 생수병 등의 투명한 용기는 모두 이 방법으로 성형되는 것이다. 반면 단점으로는 장치가 복잡해져 대형화 하고 가격이 비싸지며, 복잡한 모양의 성형품은 성형할 수 없는 한계를 가진다는 것이다.

이러한 ISBM 공정에 적용이 되고 있는 수지들은 대표적인 PET를 비롯, PVC, PP, PAN (polyacrylonitrile), PC (polycarbonate)가 있으며 최근 들어서는 PEN (polyethylene naphthalate)의 적용도 소개되고 있다.¹³

기본적인 ISBM의 공정도가 다음의 그림 3에 나타나 있다. 그림 3의 ISBM 공정은 크게 4단계로 나뉘어진다.

- (a)에서 injection으로 성형된 preform은
- (b)에서 재가열되고
- (c)에서 blowing air와 stretching rod로 이축연신된 후, 완성품이
- (d)에서 취출(eject)되는 형식이다.

이러한 4단계 공정은 기존의 일반적인 3단계 공정(injection → stretch/blow → eject)에 (b)의 재가열(reheat or conditioning) 단계가 부가된 형태로서, blowing stage 전에 preform의 표면온도 및 온도 편차를 적정 수준으로 조절할 수 있는 기회를 가짐으로써 최종 성형물의 완성도를 높일 수 있는 발전된 모습을 보인다.

다음의 그림 4는 stretch/blow 단계에서 이축연신되는

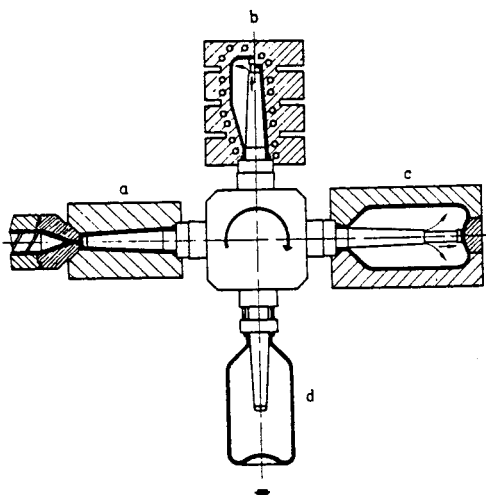


그림 3. 기본적인 ISBM의 공정도(hot preform, 1 step type).

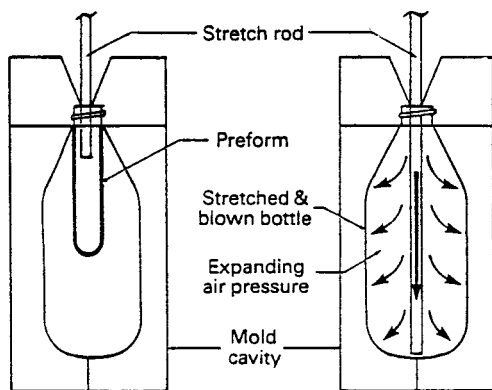


그림 4. stretch/blow 단계에서의 2축연신.

병의 단면을 보인다. 그림에서 볼 수 있듯이 stretch rod는 병의 축 방향 연신을, 공기압은 병의 방사(放射)상 방향의 연신을 돕게 된다. 이러한 이축연신을 통해 결정성 플라스틱의 경우 투명도, 강도 등의 급격한 향상을 가져오게 된다.

ISBM 기술은 preform의 적용방식에 따라 크게 hot preform 방식(1단법)과 cold preform(2단법) 방식의 두가지로 나눌 수 있다. 위의 그림 3에서 소개한 방식은 injection으로 preform을 만든 후 바로 stretch/blow 단계로 넘어가서 병의 성형을 마치는 1단법으로, 사출과 blowing이 동일기계에서 이루어져 preform이 따뜻한 온도를 유지하므로 hot preform 방식이라고 한다. 비교적 작은 scale의 공정에서 사용되며 국내에서는 일본의 AOKI, NISSEI의 제품이 널리 사용되고 있다. 반면 cold preform 방식은 사출기를 이용, 미리 preform을 대량으로 생산해 두었다가 blowing machine에서 재가

열, 병을 성형하므로 2단법이라고도 하며 빠른 속도로 대량 생산이 가능한 대형 scale의 방식이다. PP 및 PAN, PVC 등도 가능하나 일반적으로는 PET가 주종을 이루고 있으며 Sidel, Krupp Corpoplast, Cincinnati Milacron, Husky 등이 이러한 PET용 2단법 ISBM 기기를 제작하는 대표적인 회사이다.

3. ISBM-PP 기술

3.1 ISBM-PP 기술의 배경

80년대에 들어서면서 기존에 주로 PET를 중심으로 적용이 이루어지던 ISBM 기술에 PP를 적용하려는 연구가 활발해지기 시작했다. 기존에 PP가 가지고 있던 문제점들—좁은 processing window(적정성형온도), 저온에서의 강도 저하, 투명성 미비 등으로 인해 ISBM 기술에 PP의 적용을 어렵게 하던 장벽들을 해결하려는 노력이 기기회사 및 수지 메이커들을 중심으로 상당한 성과를 보기 시작했다. 가격적인 장점 외에도 recycling이 용이한 환경 친화적인 성질이 PP의 적용에 대한 사람들의 관심이 높아지고 있는 이유로 보인다. 다음의 그림 5에 PP 및 그 밖의 bottle용 material의 현 적용 용도별 분야를 나타내었다. 이중 상당 분야가 ISBM-PP의 향후 잠재 시장이기도 하다.¹⁴

3.2 ISBM-PP 기술의 동향

현재 ISBM-PP의 개발이 가장 활발하게 이루어지고 있는 곳은 유럽 지역이다. 이는 환경에 대한 관심이 높고, 물을 사서 마시는 지역적 특징이 다른 지역에 비해 상대적으로 일찍 형성되어 있었기 때문에 물병용 재료인 유리나 PVC, PET를 값이 싸고 환경문제에 보다 유리한 범용 수지로 대체하려는 관심이 일찍부터 형성되었기 때문으로 보인다. 이러한 관심은 93년(2회)과 94년(3회) Zurich에서 열린 POLYPROPYLENE Global Conference에서도 나타났는데, 특히 작년 10월초 열린 POLYPROPYLENE '94에서는 PP의 ISBM 기술이 집중적으로 발표되어서 참석자들의 눈길을 끈 바 있다. 독일의 기기업체 Bekum과 일본의 Nissei가 PP용 ISBM 기기개발의 선두 주자이며, 특히 Bekum사는 cold preform system을 도입, PP를 이용해서 PET 수준의 투명성을 가지는 병의 성형에 성공한 최초의 회사이기도 하다. 또한 Himont, Solvay, PCD Polymer, BASF, Hoechst 등의 수지메이커들도 앞을 다투어 ISBM용 PP 수지의 개발을 추진하고 있다.

미주 시장에서는 PP의 ISBM 기술이 주로 소형 용기들을 위주로 확대되고 있다. 주스병, 아기우유병, 약품용기 등에 사용되고 있는데 Exxon이 다양한 ISBM용 PP grade를 생산하고 있으며, 기기는 AOKI-FORMEX의

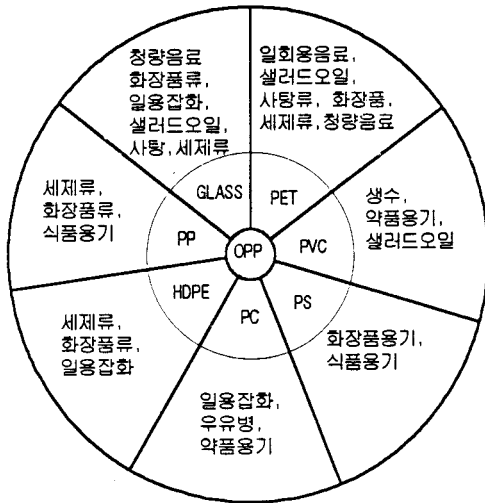


그림 5. 각종 Bottle용 플라스틱 재료의 적용 분야.

single-stage 방식(hot preform type)이 널리 쓰이고 있다.

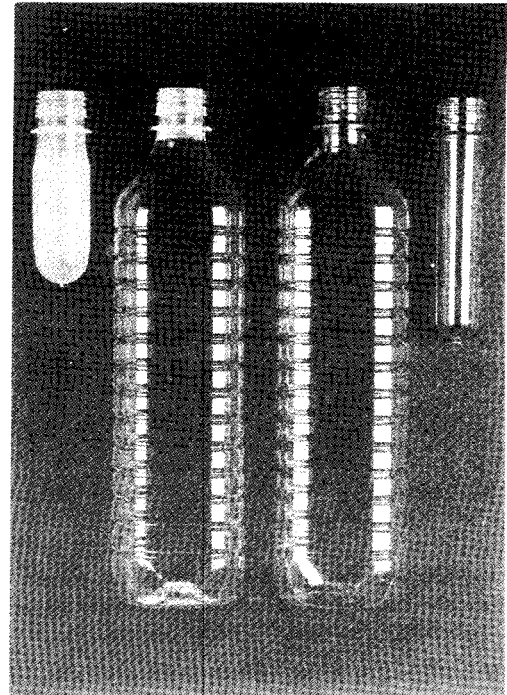
일본에서는 현재 PP의 ISBM 기술이 거의 도입되지 않은 실정이나, 최근에 Frontier사에서 PP/PET 겸용 ISBM 기기의 개발을 발표해서 관심을 모으고 있다. Frontier사의 기기는 2-stage 방식(cold preform type) 이면서 가격은 기존의 기기보다 상당히 낮은 특징을 보인다.

3.3 ISBM-PP Process

최근 들어서 ISBM-PP의 적용 범위가 넓어지고 있는 이유는 기존의 stiffness나 HDT 및 stress cracking resistance, 내약품성 등의 물성에 거의 영향을 주지 않으면서 저온에서의 강도 보완을 이룰 수 있었기 때문이다. 또한 유기해제의 첨가와 높은 연신비의 도입으로 PET 수준의 투명성 확보가 가능해졌고, preform 표면 온도 측정을 통한 가공 온도 control system의 도입으로 좁은 가공온도를 효율적으로 유지함으로써 생산성을 높일 수 있게된 점도 ISBM-PP가 주목을 받게된데에 기여한 요소라고 할 수 있다.

독일의 Bekum사에서 제작한 RBU series는 기존의 PP 가공에 있어 문제점이 되었던 적정가공온도 범위의 조절을 상당부분 해결함으로써 PP의 투명성을 PET 수준으로 끌어올리는데 성공했다.^{15,16} 사실 많은 가공 기기 업체들이 이러한 문제를 해결하기 위해 single-stage나 reheating process를 도입한 공정의 개발에 주력해온 것이 사실이다. 하지만 투명성이 떨어지거나, price/performance 비가 우수하지 못해 실제 적용에 많은 어려움을 겪었다.

Bekum의 RBU series는 비교적 우수한 생산성을 보인다. 특히 이 기기는 PET와 PP를 별다른 부품의 교환



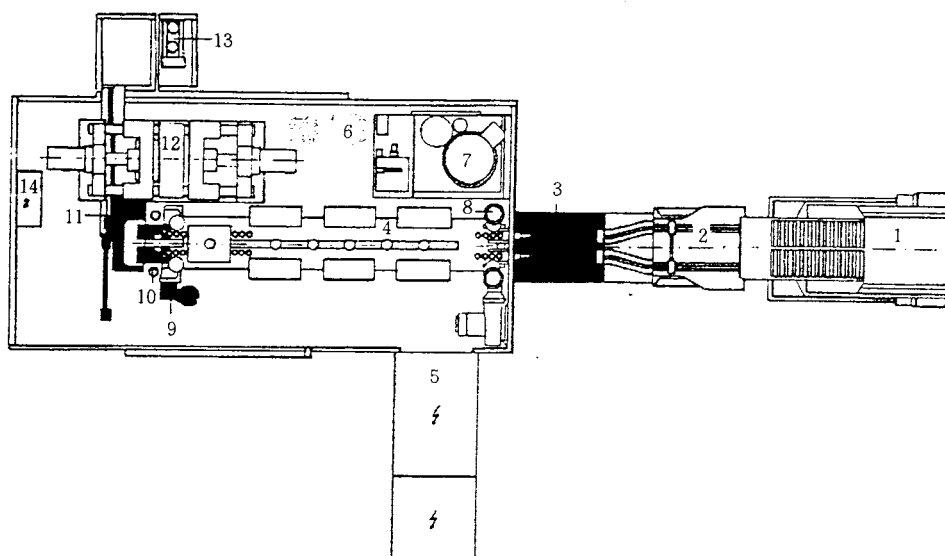
재질 :	PP	PET
용량 :	1 L	1 L
부피 :	30.5 g	36 g

그림 6. PP와 PET의 preform 및 bottle 비교.

없이 동시에 사용 가능하다는 장점을 가지고 있다. 즉, 용도에 따라 재료만 바꾸면 얼마든지 다양한 형태의 병을 생산할 수가 있다. 그림 6에 RBU-445로 생산된 ISBM bottle과 사용된 preform을 비교한 사진을 보였다. 그림에서 보이듯이 같은 크기의 병을 성형하기 위한 PP와 PET의 preform 형상은 stretching ratio에 따라 차이가 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 투명도 및 강성을 얻기 위한 stretching ratio는 PP의 경우가 더 크므로 preform은 짧고 두꺼운 형태이다.

다음의 그림 7에 나타난 Bekum의 RBU-225는 전형적인 2-stage 방식을 보인다.

[1]부분에 투입되는 preform들은 사전에 전용 mold에서 사출로 제작된 것들이다. 이 preform들은 [2]에서 분류되어 [3]을 통해 이동 핀으로 load된다. [4]는 preform heating zone으로서 2개의 chain으로 구동된다 [8]. 각 oven line은 RBU-225의 경우 두 개의 heating panel과 두 개의 equilibration zone으로 구성된다. 각 heating line은 독립적으로 온도가 control되기 때문에 preform의 온도를 정확하게 조절할 수 있다[10]. [11]은 예열된 preform을 oven으로부터 mold로 이동시킴과 동시에 완성된 병을 이송하는 역할을 한다. Stretch와 blow가 동시에 일어나는 곳이 [12]인데, 수압(水壓)으



[1] preform container, [2] preform 정렬기, [3] preform 이송기, [4] IR heating zone, [5] control panel, [6] blow air 발생기, [7] stretching rod 수압조절기, [8] preform 이송동력장치, [9] indexing chain drive, [10] IR temperature controller, [11] shuttle transfer, [12] stretching blow station, [13] bottle removal, [14] operator display

그림 7. RBU-225의 lay-out (Bekum Maschinenfabriken GmbH, Germany).

로 구동되는 막대가 축방향 연신을 시킴과 동시에 42 bar 이하의 공기압으로 방사상 방향 blowing이 이루어진다. 병의 오목한 바닥면을 형성키 위해 mold의 상부에는 수축용 part가 설치되어 있다. 완성된 병은 [13]을 통해 외부로 이송된다.

원하는 ISBM-PP bottle의 성형을 위해서는 preform의 제작에서부터 매우 정밀한 설계가 필요하다. 또한 병의 모양, 용도에 따라 병마다 preform의 설계가 달라지므로 customer가 원하는 병의 용도 및 모양을 결정할 후 preform을 설계하는 것이 일반적이다. 이는 PP의 경우 정확한 두께 및 충격강도, top-load성을 가지는 병의 제작에 preform의 설계가 미치는 영향이 지대하다는 것을 의미한다. 따라서 원하는 preform의 성형을 위해서는 금형의 설계 및 preform 사출조건 등에서부터 각별한 주의를 기울여야 한다. 특히 PP의 경우는 blow mold 표면에서의 빠른 냉각 및 비교적 높은 수축율을 감안하는 일이 중요하다.

완성된 preform을 사용, stretch/blow하기 위해서 preform을 IR-heating zone으로 통과시켜 가열하는 공정을 거치게 되는데, 성형할 병의 두께, stiffness, 투명성을 결정하는데 preform의 온도 컨트롤은 매우 중요한 역할을 한다. 적절한 blowing 효과를 내기 위해서는 preform 내/외부의 온도 편차를 줄이는 작업이 아울러 선행되어야 하는데 이를 위해서 preform의 이송시 heating panel사이에서 fan을 적절히 활용, preform의 내부온도(t_i)와 외부온도(t_o)의 차(Δt)를 최대한 줄이는

방향으로 공정을 운전하게 된다. 일반적으로 $\Delta t \leq 2^\circ\text{C}$ 로 유지하는 것이 바람직하다. 또한 PP는 IR heat의 흡수율이 40~45% 정도로 PET의 75%에 비해 상대적으로 낮으며, 이로 인해 cycle time이 약간 길어지게 된다. 적정 blow 효과를 내기 위해 필요한 최소한의 preheating time은 PET의 경우엔 30초 인데 비해 PP의 경우엔 2~3분으로 늘어난다. 일반적으로 적정 성형을 이루기 위한 preform의 표면온도(effective stretching temperature)는 homo PP의 경우 162~168 $^\circ\text{C}$, random PP의 경우 150 $^\circ\text{C}$ 이다.

최적의 투명성 및 stiffness를 얻기 위한 blowing ratio도 중요한데 앞의 그림 6에서 보이듯이 PP는 그 특성상 PET보다 큰 blowing ratio를 갖는 것이 일반적이다(PET=1:8, PP=1:12).

현재까지 RBU series로 성형이 가능한 PP bottle의 크기는 200~2,000mL이며 같은 용량의 bottle을 성형하는데 드는 수지의 중량은 그림 6에 나타나 있듯이 PP가 약 15% 가벼우므로(1L square bottle 기준) 이로 인한 원료 절감의 효과를 기대할 수 있다.

4. ISBM용 Polypropylene

Polypropylene은 semi-crystalline polymer로서 crystalline 부분은 강성을 띄는 역할을 하는 반면 amorphous 부분은 충격을 보완하는 역할을 하는 것으로 알려

저 있다. 비극성 수지이기 때문에 일반적인 화학 물질에 대한 저항력이 강하며 stress cracking resistance도 우수하다. 또한 열적 성질이 우수, hot filling 용도에 쓰일 수 있으며 아울러 포장후 살균 공정(sterilization)이 필요한 분야에도 그 적용이 가능하다는 장점을 지닌다.

PP는 stretching 과정을 이용, 저온충격강도의 향상을 가져올 수 있다는 것이 널리 알려져 있는데, 이미 이러한 PP의 성질을 이용, monofilament (fiber, 섬유) 등에 활용되고 있다. 또한 다른 고분자에 비해 상대적으로 낮은 밀도를 가지고 있으므로 같은 제품을 성형할 때 유리한 측면을 가지며 recycling도 비교적 용이하다는 장점을 지닌다.

4.1 ISBM-PP의 투명성

PP의 투명성을 올리는 작업은 ISBM-PP의 적용분야를 넓히기 위해서 기본적으로 가장 중요한 요소가 된다고 할 수 있다. 일반적으로 random-PP가 homo-PP보다 우수한 투명성을 보인다는 사실은 널리 알려져 있으며, 이는 random-PP의 경우 propylene의 chain 사이에 ethylene이 불규칙적으로 분포되어 있는 분자구조가 crystalline domain의 형성을 방해하는 역할을 함으로써 얻어지는 결과라고 볼 수 있다. 이러한 투명성은 PP를 crystalline melt temperature 이하의 온도에서 연신시킴으로써 향상시킬 수 있으며 적절한 유기해제의 첨가를 통해서도 눈에 띄는 상승효과를 얻을 수 있다. 결국 이러한 유기해제의 첨가와 2축연신을 통한 2-stage 방식의 ISBM을 통해 PP의 투명도와 표면광택도를 더욱 향상시켜 PET 수준으로 끌어올리는 것이 가능하다.

그림 8은 PP의 ISBM 공정이 일어나는 온도 범위의 cycle을 나타낸다. 그림에서 보이듯이 연신온도 범위는 crystalline melt temperature 아래에 위치하는 것을 알 수 있으며 single-stage 방식의 경우보다 2-stage 방식의 경우에 더 낮은 연신온도 범위를 가질 수 있다는 것을 알 수 있다. 결국 2-stage 방식의 경우에 single-stage 방식의 경우보다 crystal의 크기를 작게 하는 것이 가능하며 이로 인한 투명성의 증가를 가져올 수 있게 된다.

4.2 ISBM-PP의 강도

PP의 ISBM 적용을 저해해온 요소중의 하나인 충격강도(특히 저온에서)의 저하는 2-stage ISBM 공정을 도입함으로써 큰 개선 효과를 낼 수 있다는 사실이 확인되었다. **표 2**에는 각기 다른 종류의 PP와 PET의 종류별, 가공 process별 용기의 강도가 비교되어 있다. 표에서 볼 수 있듯이 extrusion blowing의 경우보다 ISBM의 경우 더 우수한 물성을 얻을 수 있으며, PET에 비해서는 거의 동등한 성질을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

일반적으로 이축연신된 PP bottle의 저온충격강도는 orientation을 높임으로써 현저하게 증가시킬 수 있다고 알려져 있으며 또한 stiffness는 병 두께의 2.5승에 비례

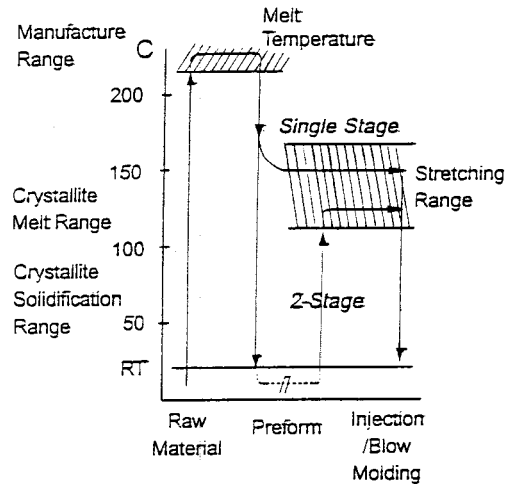


그림 8. ISBM-PP의 온도 cycle.

표 2. 수지의 종류/공정별 강도의 변화

Material	PP (Random)	PP (Random-1)	PP (Random-2)	PP (Homo)	PET
Process	Extrusion Blowing	ISBM (2 stage)		ISBM (2 stage)	ISBM (2 stage)
병무게 (g)	35	30.5	30.5	30.5	36
밀도 (g/cm ³)	0.900	0.900	0.905	0.900	1.362
Top Load (N)					
1mm deform	12	30	30	38	39
3mm deform	42	81	60(2mm def.)	95	100
max	75	120	-	185	213
낙하시험 (m)					
23°C	1.5	>3	>7	>3	>3
4°C	1	>3	>7	>3	>3
0°C	0.8	>3	>7	>3	>3

한다는 실험 결과가 나와 있다. 따라서 완성된 병의 강도를 높이기 위해서는 투명도가 확보되는 적당한 두께를 유지하면서 stretching ratio를 최대한 올리는 것이 중요하다.

4.3 ISBM-PP의 Barrier성

PP는 물(H₂O-vapor)에 대해서는 우수한 barrier성을 보이지만 O₂나 CO₂에는 상대적으로 barrier성이 떨어지는 성질을 가지고 있다. **그림 9**에 나타나 있듯이 PP의 물에 대한 permeability는 일반 PET 대비 10% 수준으로 아주 우수하다. 반면 **그림 10**에서 볼 수 있듯이 PP의 O₂ 및 CO₂에 대한 permeability는 PET의 10배 이상임을 알 수 있는데 이는 연신을 통해서도(OPP) 그다지 나아지지 않는 것을 알 수 있다.¹⁷ 이러한 특징이 PET bottle 시장의 50% 이상을 차지하는 탄산음료 시장에서의 PP 적용을 제한하는 중요한 원인이 된다. 따라서 현재로서는 ISBM-PP의 적용가능 시장을 일반 탄산음료 시장을 제외한 기존 PET 및 PVC 투명용기 시장이라고 할 수 있겠다.

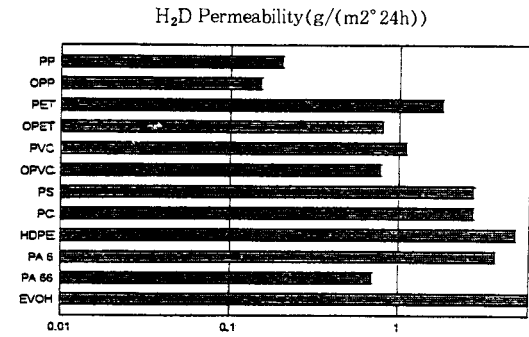


그림 9. 각종 수지의 H₂O에 대한 permeability.

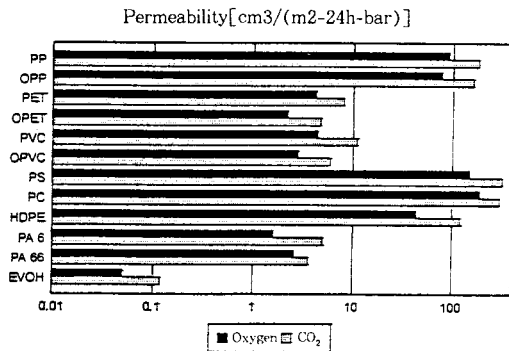


그림 10. 각종 수지의 O₂ 및 CO₂에 대한 permeability.

4.4 경제성 평가

PP의 투명성 및 강성을 기존 PET-ISBM bottle 수준으로 끌어올리려는 위와 같은 노력의 저변에는 범용 수지로서의 PP가 가지는 가격적인 장점이 있다. PP는 일반 PET 대비 원재료의 가격 면에서 매우 유리하며 밀도도 낮기 때문에 단위 부피당 필요한 재료비도 적다(그림 6 참조). 다음의 그림 11에 Bekum의 RBU series를 사용, 병 1개를 성형할 경우 PET, homo-PP, random-PP 각기 드는 비용을 비교해 놓았다. 원재료 가격은 PET의 경우 2.60 DM/kg, random-PP의 경우 1.50 DM/kg, homo-PP의 경우 1.10 DM/kg을 기준으로 계산했다. 원재료의 가격만을 보자면 PP가 PET의 경우보다 40% 이상 싸지만 실제 가격에서 random-PP의 경우 14%, homo-PP의 경우 24%의 비용절감 효과가 나타나는 것은 PP의 특징상 conditioning (preform의 재가열)이 길어지기 때문에 늘어나는 cycle time에 따른 생산성 저하를 고려했기 때문이다.

현재 국내 시장에는 일부 경우를 제외하고는 PP의 ISBM 기술이 상업화된 예는 거의 없으며, 이는 ISBM-PP 기술에 대한 인식부족과 현재로서는 기존 기기 대비 비교적 고가인 기기의 가격 때문으로 볼 수 있다. 하지만 현재는 초기 단계인 생수 시장에서부터 시작해서 향후 그

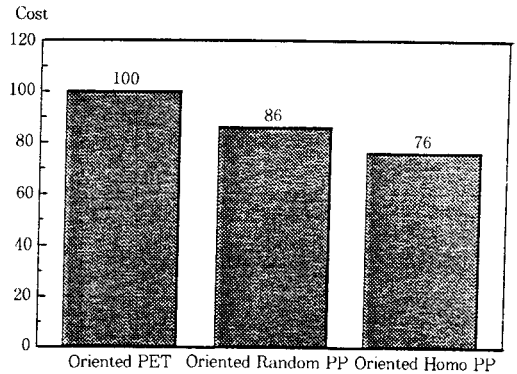


그림 11. 각 수지별 비용 비교(30 g, 1L 병 기준).

잠재 수요는 급증할 것으로 예측되며, 원가 절감 및 환경 문제까지 고려해 볼 때 국내의 ISBM-PP 시장의 향후 전망은 매우 밝다고 할 수 있겠다.

4.5 ISBM용 PP의 조건

앞에서 살펴본 바와 같이 ISBM을 위한 PP는 다양한 특징을 지니며 이러한 점들을 살려서 필요한 용도에 부합되는 제품을 성형하기 위해서는 PP의 선택에 있어 아래와 같은 몇가지 점들을 고려하는 것이 필요하다.

첫째, ISBM용 PP는 유동성이 좋은 사출 grade가 바람직하다. 이는 유동성이 좋지 못한 수지는 사출단계에서부터 응력을 심하게 받아서 연신 단계를 거치면서 crack이 발생할 우려가 있고 이는 바로 완성품의 투명도와 직결되기 때문이다.¹⁸ 또한 유동성의 저하로 인한 cycle time의 증가는 생산성을 떨어뜨리는 역할을 할 수 있기 때문에 ISBM용 PP에 적당한 melt index는 8~25 g/10 min이다.

둘째로 molecular weight distribution (MWD)이 좁은 제품이 균일한 molecular chain length를 가지므로 우수한 투명성을 보임과 아울러 processing window를 넓히는 역할을 하므로 공정이 편리해진다.

그리고 ISBM-PP의 식음료 분야에의 적용을 위해서 PP 제조시 투입되는 첨가제의 종류 및 함량에 각별히 주의를 기울여야 한다. 최근에는 장기간의 저장 후에도 내용물(생수의 경우)의 맛에 별다른 영향을 끼치지 않는 유기해제가 개발되어 있으며, 실제로 extrusion blow를 이용, 남미 및 동남아시아 지역에서는 핵제처방된 PP가 생수병 용도로 적용이 확인되고 있다. 일반적으로 첨가제의 총량이 5,000 ppm을 넘지 않는 것이 바람직하다.

5. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 ISBM-PP는 많은 장점을 가지고 있으며 따라서 앞으로 적용 가능 분야도 넓다. 그림

5에 나타나 있듯이 기존의 다른 수지들이 적용되고 있는 용도중 상당부분에의 적용이 가능하며 이러한 분야들을 간단히 정리해 보면 다음과 같다.

- (1) 생수병(mineral water bottle)
- (2) 주스류(유효기간이 길지 않은 종류)
- (3) 스포츠 음료
- (4) 식초, 간장, 식용유 등
- (5) 화장품 용기
- (6) 아기우유병
- (7) 자동차용 윈도우워셔액 용기
- (8) 그 밖에 산소에 예민하지 않은 각종 제품들

ISBM-PP가 가지는 가장 중요한 한계점은 앞서서도 설명한 바와 같이 CO₂ barrier성이 요구되는 탄산음료 시장에서의 적용이 어렵다는 점이며 아울러서 가공기기의 가격이 상대적으로 높다는 점이 ISBM-PP의 확대 적용을 어렵게 하는 요인중의 하나이기도 하다.

현재 선진 수지업체들에서는 PP의 투명성을 유지하면서 아울러 강성을 높이는 연구를 계속하고 있으며 이는 comonomer의 종류와 함량의 변경과 HRPP의 적용실험 등으로 이루어지고 있다. 또한 PP를 다른 수지와 co-injection하으로써 barrier성을 높이는 실험도 이루어지고 있다. 이러한 연구 결과에 따라 ISBM-PP의 적용 분야는 점차 넓어질 것으로 보이며 이는 사람들의 환경에 대한 관심과 recycle의 중요성과 맞물려 가속화될 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. E. Winkel, H. Gross, U. Masberg, and J. Wortberg, *Adv.*

- Polym. Technol.*, **2**, 107 (1982).
2. U. Nuendorf and E. Seidel, *Industrial Production Eng.*, **3**, 71 (1979).
3. D. P. Novak, Proc. 3rd Blow Molding Regional Technical Conference, Hasca, III. (Oct. 1987).
4. K. Esser & G. Menges, "Influence of processing parameters on the properties of stretch blow moulded PP" ANTEC '84.
5. S. E. Everett, "Comparative cost analysis of PP and PET on injection stretch blow machines" ANTEC '93.
6. E. H. Neumann, "Injection Stretch Blow Moulding to Produce Water Bottles and Jars Made from PP" Polypropylene '93 2nd Global Conference.
7. R. Mikielski, "Recent Advances in PP Resins Shape the Future of Biaxially Oriented Bottle Market" Polypropylene '94.
8. H. Heyn, "The Two-Stage Injection Stretch Blow-Moulding Process", *Kunststoffe Plast Europe*, 10/94.
9. H. Heyn, "PP processing in 2 phase Injection Stretch Blow Moulding for Packaging", *Polypropylene '94*.
10. Blow Molding Handbook, Donald Rosato and Dominick Rosato, eds., Hanser Publishing Co., New York.
11. S. L. Kim, *Polym. Eng. Rev.*, **4**, 239 (1984).
12. M. Cakmak, J. L. White, and J. E. Spruiell, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 3679 (1985).
13. J. Myers, *Modern Plastics International*, December 1993.
14. H. Hammer, "Injection Stretch Blow Moulding: A Major Challenge for PP" *Polypropylene '94*.
15. "RBU-225, 445 Reheat Stretch Blow Moulders for PET", Bekum.
16. H. Heyn, "The Universal RBU-Technology for PET and PP Bottles" *Europak '93*.
17. "Workshop Injection Stretch Blow Moulding with PP", PCD Polymere, Dec. 1994.
18. S. A. White and S. K. Doun, "The Development of Surface Texture in Injection Stretch-Blow Molded Polypropylene", *Polymer Engineering and Science*, Mid-Oct. 1992, Vol. 32, No. 19.