

# 열성형 가공기술에 대하여(1)

김형일 · 김광호 / 대림산업(주) 대덕연구소 고분자연구소

## 목차

- 1. 머리말
- 2. 열성형의 기본요소
  - 2-1 열가소성 플라스틱 시트
  - 2-2 고정장치
  - 2-3 가열
  - 2-4 주형
  - 2-5 성형
  - 2-6 성형품 다듬질
- 3. 열성형 가공의 적용분야
- 4. 열성형의 경제적 이점
- 5. 맺는 말

### 1. 머리말

열성형(Thermoforming)은 시트(Sheet) 형태의 플라스틱 수지에 열을 가하여 다양한 형태의 생산물로 만들어 주는 방법으로 제품의 생산 속도가 빠르고 상대적으로 주형(Mold) 가격이 싸고, 불량품과 다듬질(Trimming)시 남은 물질이 재가공(Reprocessing) 또는 재활용(Recycle)되기 때문에 다른 어떤 가

공법보다 가장 가격효율이 높은 가공 방법이다.

열성형 방법으로 얻어지는 제품은 식품 용기 등의 1회용품에서부터 선박, 항공기, 자동차 분야까지 적용되는데 이 중에서 상당부분이 포장산업 분야에 적용되고 있다.

[표1]은 일본에서의 각종 수지의 열성형 시장 규모를 나타내는 것으로 PP가 열성형 플라스틱 재료로 비교적 빠른 성장을 하고 있는 것을 보여

[표 1] 일본의 열성형 시장 규모

Material	단위(톤/년)				연간 성장률 (%)
	1989	1990	1991	1992	
PS	376,350	396,830	418,960	442,580	5.5
PVC	155,640	175,300	176,600	163,000	-
PP	76,215	89,445	98,605	105,475	11.4
Filler 배합 PE	3,400	3,720	3,900	4,060	6.1
PAN	1,640	1,830	2,000	2,160	9.4
기타 공압출	40,520	45,390	48,865	52,790	5.6
Total	653,765	712,515	748,930	770,065	8

(자료 근거: 『포장 정보』 1993. 5)

준다.

열성형은 Extrusion Blow Molding, Injection Blow Molding, Rotational Molding, Injection Molding에 비해 낮은 성형 압력, 값싼 주형으로 큰 규모를 경제적으로 제조할 수 있는 등 가공상 이점이 많다. 특히 얇은 두께 용품(Thin Wall Part)의 제작 시간이 매우 짧고 많은 양을 빨리 가공할 수 있다.

## 2. 열성형의 기본 요소

열성형 과정을 이루는 기본 요소는 다음 여섯 가지로 나눌 수 있다.

- ▲ 열가소성 플라스틱 시트 (Thermoplastics Sheets)
- ▲ 고정 장치, (Clamping Mechanism)
- ▲ 가열 (Heating System)
- ▲ 주형 (Mold)
- ▲ 성형 (Forming Force)
- ▲ 성형품 다듬질 (Trimming)

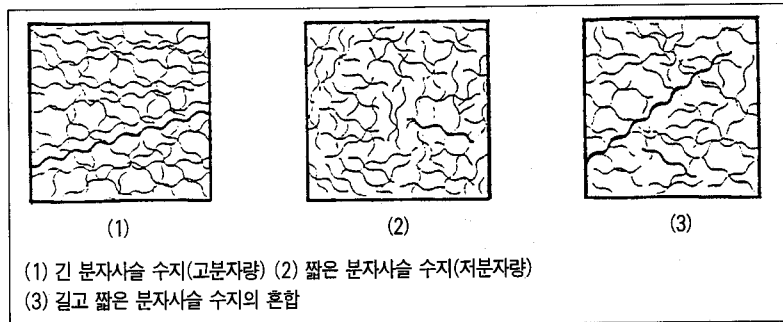
### 2-1. 열가소성 플라스틱 시트

시트없이 열성형을 할 수 없으므로 가장 중요한 요소라 할 수 있다.

시트에 열을 가하면 유연해지며 액체와 같이 흐름성을 갖는 상태로 된 후 냉각시키면 다시 딱딱한 본래의 상태로 돌아온다. 이 온도를 Setup Point라 하며 열성형을 할 수 있는 상태이다.

열가소성 플라스틱은 긴 사슬(Long Chain) 분자내 강한 공유결합을 형성하고 서로 강하게 얽혀 있고 Woven Intermolecular Bond를 형성한다(그림 1). 이들 사슬의 길이와 얽힘(Entanglement)은 생성된

(그림 1) 분자 길이와 얽힘



열가소성 플라스틱의 강도와 탄력을 결정하는 요인이 되어 시트에 열을 가할 때 발생하는 처짐(Sagging) 현상을 방지해 주고 유변성질(Rheological Property)을 향상시켜 준다.

열성형에 사용되는 수지로는 Polystyrene, Polyethylene, Polypropylene, Polyvinylchloride, Acrylonitrile-Butadiene-Styrene, Styrene-Acrylonitrile 등이 주로 사용된다. 이와 같은 수지를 열성형하려면 Pellet 상태의 수지를 Sheet 형태로 바꾸어야 하는데 그 방법으로는 Calendering, Casting, Extruding으로써 여러 형태(폭, 두께, 길이의 변화)의 Sheet를 만들 수 있다. 최근에는 높은 생산성과 경제적 이점이 있는 압출기(Extruder)를 통해 대부분 Sheet를 제조하고 있다.

압출기를 통한 Sheet 제조에서는 얇은 치수(0.25 mm 이하)와 두꺼운 치수(0.25 mm 이상) Sheet로 구분된다. 우선 얇은 치수 Sheet의 경우는 Roll에 감겨 있는 상태로 연속적인 성형을 할 수 있고, 두꺼운 치수 Sheet의 경우는 세부적으로 Medium Gauge Sheet(0.25~1.5 mm)와 Heavy Gauge Sheet(1.5

mm 이상)로 구분되는데 이와 같은 경우는 일정한 크기로 절단된 Sheet 상태로 성형이 실시된다. 이렇게 얻어진 Sheet는 부드럽고 유연한 상태로 될 때까지 가열을 하여야 성형을 할 수가 있다.

### 2-2. 고정 장치

열성형을 성공적으로 수행하려면 열가소성 Sheet를 네 방향에서 모두 고정시켜 주어야 한다(그림 2). 이는 얇고 유연한 Sheet, 크고 단단한 Sheet 등 모두에 필요하다. 모든 열가소성 수지는 열을 가하면 부드러워지며 자체 지지력을 잃는 경향이 있고, 변형되고 처짐이 발생한다. 따라서 네 방향이 모두 고정되지 않을 경우 고정되지 않은 부분에서 변형이 일어나 일부분이 두꺼워지고 뭉치는 현상이 일어나 불량품이 발생하게 된다.

가공 과정에서 다른 부분으로 Sheet의 이동이 필요할 경우 아래와 같이 고정 Sheet의 이동이 가능하다.

- ① 가열된 Sheet를 Molding 지역으로 이동
- ② 주형으로 이동
- ③ 주형으로 부터 생산물을 제거할 때

④ 다듬질 단계로 이동  
다양한 형태의 Sheet 고정 장치와 이동 Mechanism이 사용된다.

Sheet-Fed 기계를 사용한 열성형 과정에서는 개개의 판넬을 고정하고 조절 또는 조작할 수 있어야 한다.

한편 연속적인 Roll-Fed 기계에서는 체인(Chain)을 이용한 Sheet 이동과 Sheet 고정 장치가 필요하다.

### 2-3. 가열

열가소성 플라스틱의 경우 각각의 연화점 온도까지 가열했을 때 성형을 할 수 있으므로 열성형 과정에서 가열은 아주 기본적인 요소가 된다.

열성형 과정에서 가열 부분이 총 에너지 소비의 80% 이상을 차지하므로 가열 부분을 잘 조절하면 경제적인 이점을 얻을 수 있다.

열가소성 Sheet를 가열하는데 사용되는 기본적인 열원으로는 가스와 전기가 있는데 이는 모두 열성형 과정에서 적절하게 사용된다. 열원으로 가스를 사용하게 되면 가격 면에서 전기보다 더 싸나 온도 조절이 힘들고 연소되면서 CO 가스가 발생하게 되므로 환류장치를 필요로 하게 되는 단점이 있다. 이에 반해 전기적 열원은 비싸긴 하나 온도 조절이 용이하

고 높은 정확성으로 인해 열원으로서 가장 폭넓게 사용된다. 열성형 과정에서 열가소성 플라스틱을 가열하는데 90% 이상이 전기를 사용한다.

열성형 과정에서 사용되는 기본적인 가열 방법은 ▲Gas-Fired Convection Oven ▲Contact Heating ▲Radiant Heating 등이 있다.

첫째로 Gas-Fired Convection Oven의 경우는 뜨거운 공기의 대류에 의해 Sheet를 가열하는 방법으로 매우 큰 판넬과 무겁고 두꺼운 Sheet를 가열할 때 사용한다.

둘째로 Contact Heating의 경우 Sheet를 두꺼운 금속판과 같은 가열된 열판과 접촉시켜 가열하는 방법으로 여기서는 Sheet와 가열된 열판 사이의 완벽한 접착이 필수적 요소이다.

따라서 아주 두꺼운 Sheet를 가열하기가 힘들고 30mils 이하의 Sheet를 성형하는데 사용된다.

셋째로 Radiant Heating의 경우는 적외선-광-스펙트럼 파장 (Infrared-Light-Spectrum Wavelength)을 사용하는 방법으로 방사 에너지 히터 (Radiant Energy Heater)와 물체의 표면과의 물리적 접착이 필요없이 3.00 ~ 3.50 $\mu$ 의 파장을 물체에 조

사시켜 가열해 주는 방법이다. 이 Infrared Radiation은 Convection이나 Contact Heating 방법보다 조절이 쉽고 에너지 효율이 크기 때문에 열성형 분야에서 가장 이상적인 열원으로 사용된다.

대부분의 플라스틱 Sheet(PS, ABS, PVC, PE, PP)는 120 $^{\circ}$ C ~ 230 $^{\circ}$ C에서 성형이 가능하다.

### 2-4. 주형

주형은 열성형 과정에서 가열된 Sheet를 원하는 모양으로 얻게 해주는 장치로서 이 주형없이 성형을 할 수가 없다. 여기에는 ▲Female Mold ▲Male Mold ▲Matched Mold (그림 3, 4, 5) 등 세 가지 기본적인 형태가 있다.

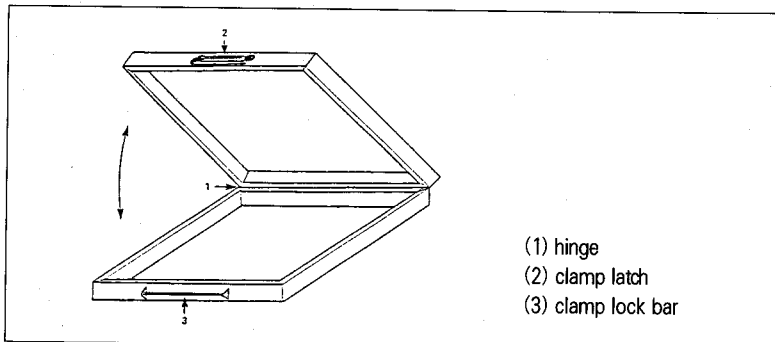
열성형 과정에서 주형의 기능은 가열된 열가소성 Sheet의 형태 유지와 열성형된 Sheet로부터 열을 제거하고 냉각시키는데 있다. 그리고 정확한 모양과 치수를 얻으려면 최대한 Sheet 표면이 주형에 많이 접촉하여야 한다. 따라서 주형에 진공이나 공기압을 작용시킬 수 있는 장치가 필요하게 된다.

### 2-5. 성형

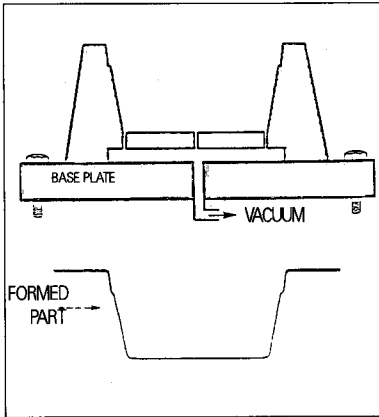
고무상태의 Sheet를 최종 모양으로 Stretching하는 작업으로 Sheet의 두께에 따라 Stretching 정도가 다르게 된다. Stretching이 크거나 또는 두껍고 무거운 Sheet를 성형할 경우 간단한 Stretching 기법을 사용할 수 없고 성형 방법을 분할하여야 한다.

- ▲단단계 성형  
(One Step Forming)
- ▲다단계 성형

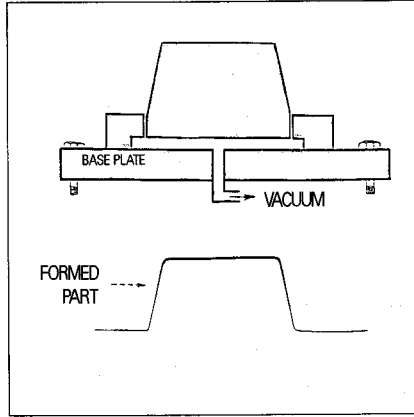
(그림 2) Clamp Frame(witth flat clamp-frame lip)



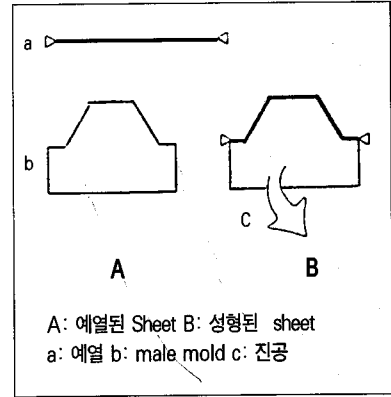
(그림 3) 전형적인 Female Mold



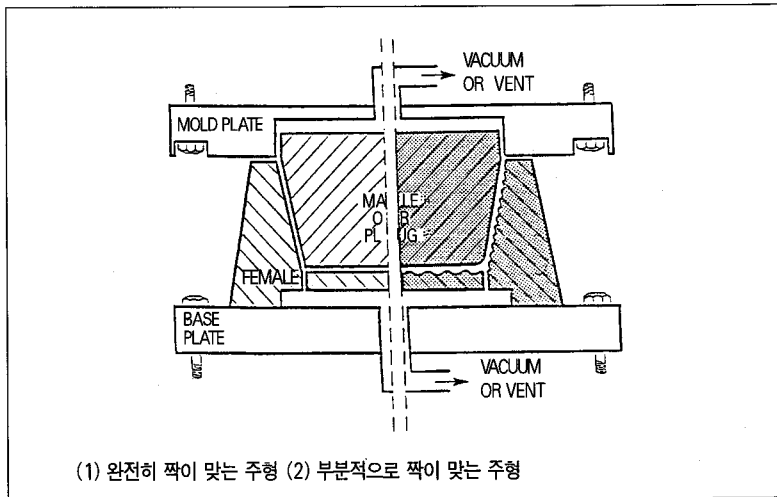
(그림 4) 전형적인 Male Mold



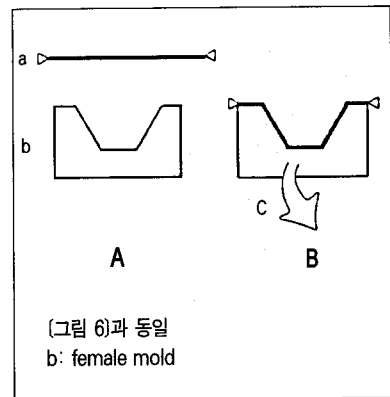
(그림 6) Drape Forming



(그림 5) Matched Mold



(그림 7) Vacuum Forming



(Multi-Step Forming)

▲ 다른 방법(Other Variation)으로 크게 구분할 수 있다.

첫번째로 단단계 성형 방법에는 아래의 다섯 가지 형태가 있다.

① Drape Forming : 가열된 Sheet를 Male Mold나 반대(Female)의 주형에 형태가 유지되도록 걸치는 방법으로 진공이나 공기압을 사용할 수도 있다. 이때 얻어지는 성형 물질은 바닥이 두껍고 모서리 부분은 얇은 형태로 얻어진다 [그림 6].

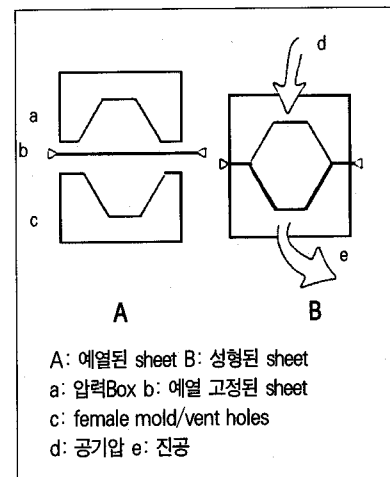
② Vacuum Forming : 진공을

사용하는 방법으로 Cavity Forming 이라고도 한다. 이때 얻어지는 성형 물질은 주형의 테두리 부분은 두껍고 바닥 모서리 부분이 얇은 형태로 얻어진다 [그림 7].

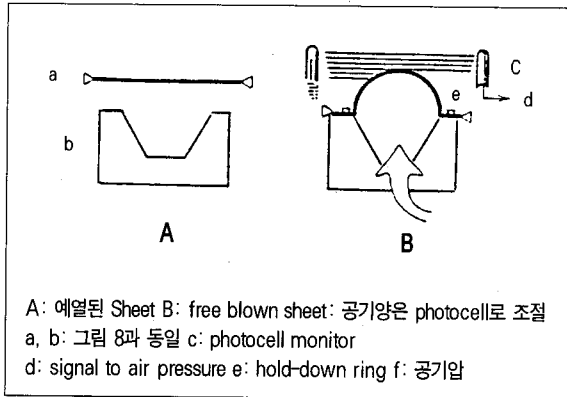
③ Pressure Forming : Vacuum Forming과 유사한 방법으로 공기압으로 Sheet를 주형 구석까지 밀어 성형하는 방법이다. 이 방법으로는 틀에 감겨있는 얇은 두께의 Sheet를 성형하기 힘들고 두껍고 무거운 Sheet를 성형하는데 적합하다 [그림 8].

④ Free Blowing : 공기압에 의

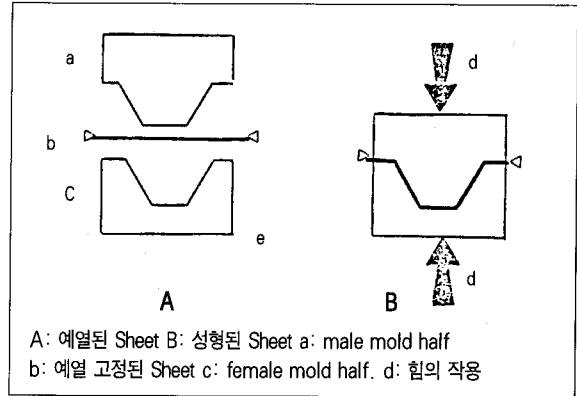
(그림 8) Pressure Forming



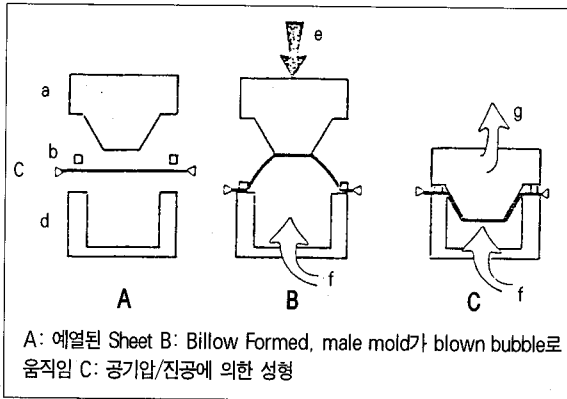
(그림 9) Free Blowing



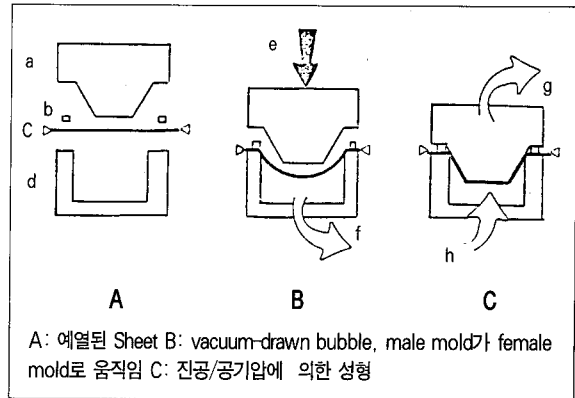
(그림 10) Matched Die Forming



(그림 11) Billow Drape Forming



(그림 12) Vacuum Snap-Back Forming



해 가열된 고무형태의 Sheet를 자유로운 모양으로 Stretching 하는 방법이다. 공기압의 양은 팽창하는 구(球)의 크기를 감지하는 Photocell로 조절할 수 있다. 이 방법은 Sheet가 주형 표면에 접촉하지 않기 때문에 손상을 입지않고 고정부분을 제외한 구면(球面) 두께가 아주 균일한 생산품을 얻을 수 있는 장점이 있다. 물에 감긴 얇은 치수에 적용 (그림 9).

⑤ Matched Die Molding : Male Mold와 Female Mold가 동시에 사용되는 성형방법으로 Male Mold가 닫히면 성형을 지원하기 위해 Female 쪽에 진공이 걸린다. 이 방법은 PS Foam과 같은 딱딱한 고

분자를 성형하는데 쓰이는 방법이다 (그림 10).

두번째로 다단계 성형 방법으로는 다음과 같은 방법이 있다.

얇은 두께 생산물은 생산 시간이 짧고 모양도 단순하여 성형이 한 단계로도 가능하나 두꺼운 두께 생산물과 같이 복잡하고 아주 깊은 깊이를 성형할 경우 한단계 이상을 필요로 한다. 특히 벽막 두께의 균일성이 가장 중요한 요소이기 때문에 이를 위해 다단계 성형 방법이 필요하다.

▲1단계 : Sheet Stretching (Plug Assist or Billowing)

▲2단계 : Press

① Billow Drape Forming (그림

11).

가열된 Sheet를 공기압으로 Bubble Expansion (0.014 - 0.055 MPa) 한 후 Male Mold를 Bubble에 삽입하는 방법으로 Drape Forming 보다 균일한 벽막 두께를 얻을 수 있다.

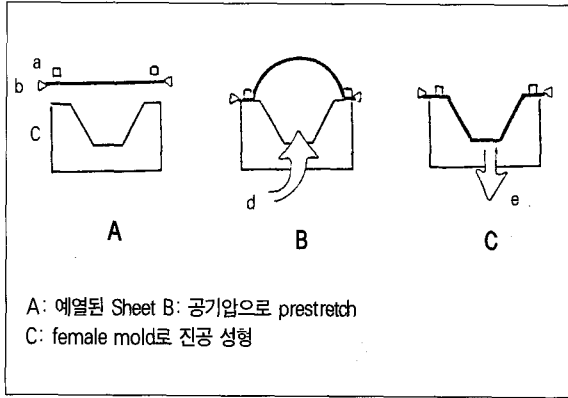
② Vacuum Snap-Back Forming (그림 12).

Plug와 진공으로 Sheet를 Drawing한 후 Male Mold에서는 진공으로, Female Mold에서는 공기압을 사용하여 모양을 형성하는 방법.

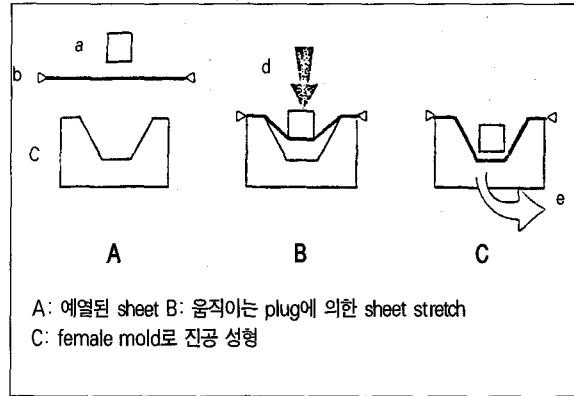
③ Billow Vacuum Forming (그림 13).

매우 깊은 Female Part에서

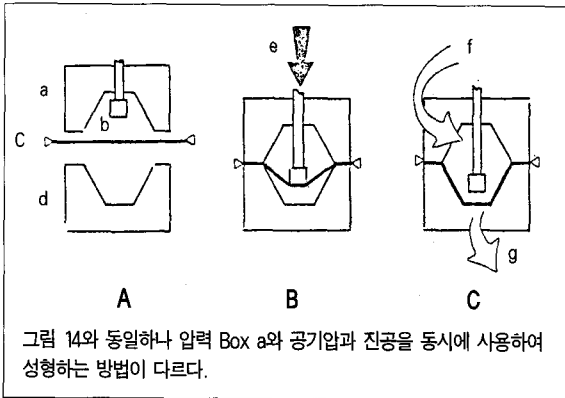
(그림 13) Billow Vacuum Forming



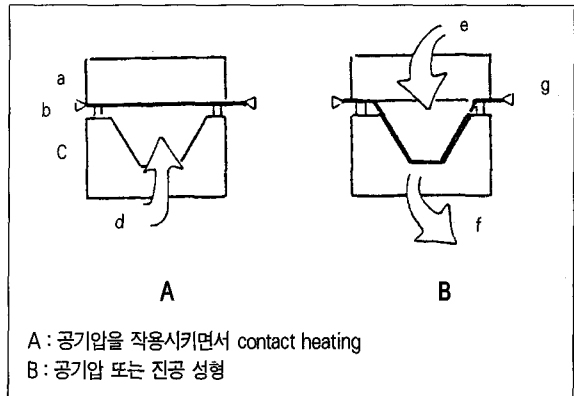
(그림 14) Plug-Assist Vacuum Forming



(그림 15) Plug-Assist Pressure Forming



(그림 16) Trapped Sheet Forming



Forming을 할 때 우선 Sheet를 공기압으로 Blowing한 후 진공을 이용하여 Female Molding하는 방법.

이외에 플러그 지원 진공 성형 (Plug-Assist Vacuum Forming)과 플러그 지원 압력 성형 (Plug-Assist Pressure Forming) 등이 있다 (그림 14, 15).

이러한 모든 방법들은 균일한 벽두께와 더 깊은 깊이를 얻기 위해 성형 전에 Sheet를 Prestretching한다.

세번째로 다른 방법 (Other Variation)으로는 다음과 같은 방법이 있다.

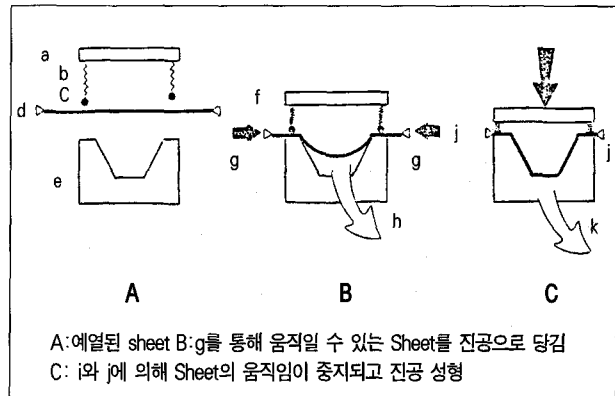
① Trapped Sheet Forming : Highly Oriented(OPS)나 온도에

민감한 Sheet(PP, PE)에 적용 (그림 16).

② Slip Forming (그림 17).

③ Diaphragm Forming(그림 18).

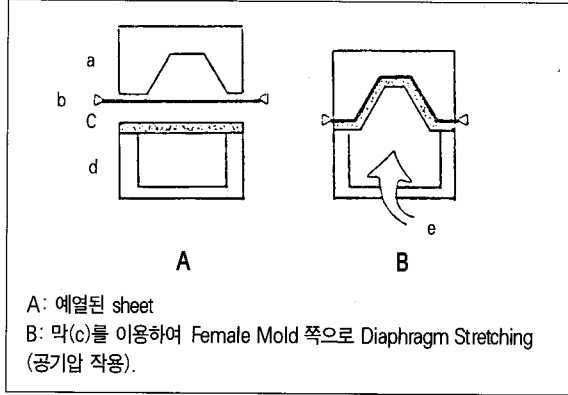
(그림 17) Slip Forming



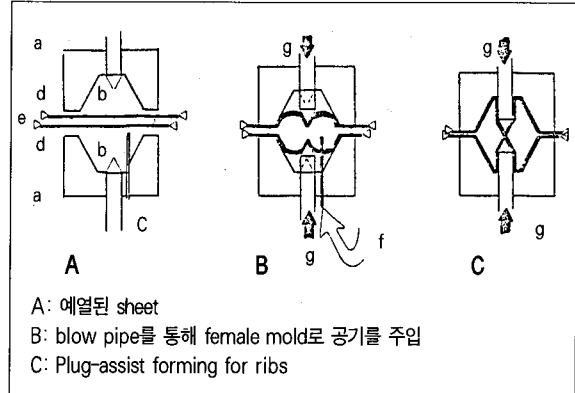
④ Twin-Sheet Thermoforming (그림 19).

2개의 Sheet를 각각 가열한 후 Blow Pipe와 공기압을 이용하여 2개의

(그림 18) Diaphragm Forming



(그림 19) Twin-Sheet Thermoforming



Female Mold에 성형하는 방법이다.

### 2-6. 성형품 다듬질 (Trimming)

열성형의 마지막 단계로 성형된 제품을 다양한 방법에 의해 손질하는 과정이다. 대부분의 열성형에 사용되는 수지는 비싼 물질이므로 다듬질에 의한 손실을 최소화 하려야 한다.

다듬질 장비로는 여러 가지가 있는데 모든 플라스틱에 적절한 것은 아니다. 예로서 Automatic Programmed Laser Cutting은 깨끗하고 정확하나 Thin-Gauge Rollfed 성형품의 다듬질에는 실용적이지 못하다. Die Cutting은 빠르고 싸고 Mold Forming Process 내에 장치할 수 있는 이점이 있다.

Abrasive Grit Cutting은 탄성이 크고 딱딱한 고분자에 적당하나 다듬질시 먼지가 발생하는 단점이 있어 PMMA, ABS, PS 등의 두꺼운 두께 생산품의 절단시 먼지 발생을 최소화 하기 위해 다듬질 전에 정전기 방지제를 분사한다.

[표2]에 다듬질 기법의 종류와 순위를 소개하였다

### 3. 열성형 가공의 적용 분야

(표 2) 물질 성질에 따른 Trimming 기법

9=preferred, Best 0=unsuitable ( )=Heavy Gauge

Material Nature	Typical Polymers	Die Cut	Shear Cut	Nibble Cut	Router	Circular Saw	Abrasive Wheel
very Brittle	PS, PMMA, SAN	9(0)	6(2)	4(4)	0(4)	2(6)	2(9)
Brittle	ABS, RPVC, CA, CPET, CAB	9(0)	7(2)	5(4)	2(5)	3(7)	4(9)
Tough	PPO, CAP, PPS, PA-6, PA-66, PET, OPS	5(2)	9(6)	6(8)	3(8)	5(9)	5(7)
Ductile, Rubbery	LDPE, FPVC, HDPE, PP, PTFE, TPE	8(2)	9(8)	7(8)	5(3)	7(6)	7(5)

Material Nature	Typical Polymers	Band Saw	Hot Wire	Hot Gas Jet	Water Jet	Grit Blast	Laser Cut
very Brittle	PS, PMMA, SAN	3(4)	6(7)	4(6)	5(2)	8(8)	7(8)
Brittle	ABS, RPVC, CA, CPET, CAB	3(4)	4(7)	5(4)	6(2)	8(8)	7(8)
Tough	PPO, CAP, PPS, PA-6, PA-66, PET, OPS	4(7)	3(8)	7(6)	5(2)	8(2)	7(8)
Ductile, Rubbery	LDPE, FPVC, HDPE, PP, PTFE, TPE	2(3)	2(8)	3(6)	3(5)	0(0)	7(9)

열성형 가공제품의 용도 및 특성을 [표3]에 나타냈다.

### 4. 열성형의 경제적 이점

얇은 두께 생산품의 경우 종이, 종이판, 종이 펄프, 알루미늄과 Roll-

Sheet Steel보다 경제성이 있고 플라스틱 Extrusion, Stretch-Blow Molding, Injection Blow Molding 과 비교해서 경쟁력이 있다.

또한 두꺼운 두께 생산품의 경우 Rotational Molding, Injection Molding, Blow Molding, Fiber-Glass-Reinforced Polyester Resin

(FRP), Sheet Molding Compound(SMC), Bulk Molding Compound(BMC), Die Casting과 비교해서 경쟁력이 있다.

열성형은 장비와 설치 가격이 싸고 Setup 시간이 짧다. 특히 다른 성형법에 비하여 생산속도가 빠른 이점이 있고 Multilayer Laminates Process도 Single Component Sheet와 같이 쉽게 성형할 수 있다.

### 5. 맺는 말

이상에서와 같이 열성형법은 여러 분야에 널리 응용될 수 있고, 다른 성형법과 비교해서 경제적 이점이 우수한 것으로 평가되고 있다.

그러나 이 방법은 Sheet라는 기본

[표 3] 열성형 가공으로 얻어진 생산품의 용도 및 특성

용도	생산품 및 특성
Packaging Industry	다양한 모양과 크기의 컵, 샌드위치, 햄버거 포장 등(가장 큰시장)
Fast-food Industry	신선함을 요구하는 고기, 계란, 과일 용기. PS foam, HIPS 사용.
Transportation Industry	버스나 기차의 의자, 비행기 좌석 등받이, 팔걸이, 자동차 door liner, 계기판, 트렁크 liner, 범퍼 cap, 스포일러 등
Sign Manufactures	환경 저항성이 좋은 Acryl 수지를 열성형
Appliance Industry	냉장고 door liner, 캐비닛 liner, 그릇 세척기, 라디오, TV box 등
Medical Industry	외과용 장비, 수술대, 치과용 의자
Recreation Industry	보트, 눈자동차, 오토바이의 바람막이, 카누, 돛단배
Housing Industry	욕조, 천장의 투명한 Dome에 사용

형태로부터 완전한 성형품을 만들어 내는 방법이므로 가열된 플라스틱 Sheet의 Melt Strength나 Elongational Viscosity의 제한을 받아 균일한 두께 분포를 갖는 성형품을 제조하는데는 경우에 따라 어려움이 뒤따르게 된다. 이러한 문제점은 많은 장비업자들의 장치 개선으로 어느 정도

보완되었으나 올레핀계 수지의 경우는 아직도 열성형이 까다로운 상황에 있다. 따라서 다음호에는 열성형에 적용할 수 있는 여러 가지 수지의 종류와 개발 동향에 대하여 소개를 할 것이다.

## ‘포장관련 자재·기기 총람’ 발간

포장산업 총망라해 수요자·공급자 정보교환 도와



· 면 수 : 308쪽  
· 수록업체 : 135개사  
· 보급가 : 15,000원

한국포장산업의 외형성장에도 불구하고 포장용 원부자재·용기·포장기·가공기 등에 대한 전반적인 데이터를 집적한 총람류의 필요성이 그동안 절실했었다.

이러한 배경 아래 최근 한국포장기술연구소(소장 김영호)가 펴낸 <'94 포장관련 자재·기기> 총람은 업계에 '정보해갈'이 되어줄 것이다.

이 총람은 국내 포장산업관련 제조·가공업체, 유통업체를 최대한 망라해 수요자와 공급자가 연결될 수 있도록 정보제공의 편의를 도모하고 있다.

해외시장 진출의 자료 기능도 겨냥하고 있는 이 총람은 앞으로 매년 10월에 정기적으로 간행될 계획이다.

- 구독 및 광고 문의 : 서울특별시 영등포구 여의도동 35-3  
대한교원공제회관 506호 한국포장기술연구소
- 전화 : 780-7472/팩스 : 785-0889