



진공성형용 A-PET

1. 개요

PET(Polyethylene terephthalate)는 강도 및 투명성이 우수하여 섬유, 용기, 압출용 코팅 및 필름에 널리 쓰이는 열가소성(Thermoplastic) 플라스틱이다.

PET는 사용제품의 온도, 내약품성(resistance of chemical attack)과 같은 물성을 압출생산 및 성형공정에서의 결정화정도, 연신(orientation)방향 등으로 변화시킬 수 있다.

현재 많이 사용되고 있는 PET의 종류로는

·C-PET: 전자오븐용 트레이에 많이 사용되는 결정화된 PET

·O-PET: 강도, 고온, 내약품성이 우수한 연신 PET

·E-PET: 용기의 압출 브

로우 성형에 많이 사용되는 압출 PET

·A-PET: 진공성형 및 열성형에 많이 사용되는 비정형(amorphous)PET등이 있다.

A-PET는 열성형 포장재용으로 투명하고 비정형(amorphous)PET이며 유리전이 온도(Tg) 이하의 온도에서 사용될 수 있는 제품으로 개발된 것이다.

A-PET 시트를 열성형하는 방법은 Tg온도이상으로 시트에 열을 가한후 금형(mold)내부에서 제품을 성형하기 위해 진공 또는 압을 가해 제품을형상화 시키는 작업이다.

열성형은 여러가지 부가적인 작업이 병행되어 지는 성형방법으로, 부가적인 작업으로는 시트 공급공정, 인쇄 및 라벨링, 절단, 사용되지 않은 재료의 회수, 충전 및 lidding 작업등이 있다.

목차

1. 개요
2. A-PET 필름의 물성
3. 시트의 품질 기준
4. 열성형제품의 분리성
5. 열성형을 위한 금형디자인
6. A-PET 시트의 열성형장치
7. A-PET 시트의 절단

[표 1] Properties of Film Extruded From Eastapak PET Copolyesters.

Property, Units	Typical Value	Test Method	
		ASTM	ISO
Intrinsic Viscosity	0.74	-	-
Thickness of Film Tested			
microns	250	D 374	-
mils	10		
Density, g/cm ³	1.33	D 1505	1183, Method D
Haze, %	85	D 1003	-
Gloss @ 45°	108	D 2457	-
Transparency, %	85	D 1746	-
Transmittance, %			
Diffuse	91	D 1003	-
Specular	89	Modified	
Water Vapor Transmission Rate			
g/m ² ·24h	6	F 372	-
g/100in. ² ·24h	0.4		
Gas Permeability, cm ³ ·mm/m ² ·24h ² ·24h·atm			
CO ₂	28(70)	D 1434	-
O ₂	5.1(13)	D 3785	-
Elmendorf Tear Strength, N(gf)			
M.D.	9.8(1,000)	D 1922	6383/2
T.D.	12.7(1,300)		
PPT Tear Strength, N (lbf)			
M.D.	102(23)	D 2582	-
T.D.	120(27)		
Tear Propagation Resistance, Split-Tear Method @254mm/min 10in./min)			
M.D., N(lbf)	15(3.3)	D 1938	-
N/mm (lbf/in.)	58(330)		
T.D., N(lbf)	16(3.6)		
N/mm (lbf/in.)	63(360)		
Tear Resistance, Trouser @200mm/min speed, N/mm (lbf/in.)			
M.D.	54(310)	-	6383/1
T.D.	59(340)		
@250mm/min speed, N/mm (lbf/in.)			
M.D.	54(310)		
Tensile Stress @ Yield, MPa(psi)			
M.D.	59(8,500)		
T.D.	57(8,300)		
Tensile Stress @ Break, MPa(psi)			
M.D.	59(8,400)	D 882	DIS 527-3
T.D.	39(5,600)		
Elongation @ Yield, %			
M.D.	4		
T.D.	4		
Elongation @ Break, %			
M.D.	300		
T.D.	200		
Tensile Modulus MPa(10 ³ psi)			
M.D.	2,200(3.2)	D 882	DIS 527-3
T.D.	2,200(3.2)		
Dart Impact, g @ 23°C (73°F)	500	D 1709A	7765/A
@ -18°C (0°F)	400		

2. A-PET 필름의 물성

APET 필름의 일반적인 물성은 아래 [표 1]과 같다.

3. 시트의 품질 기준

열성형될 A-PET는 압출된 시트의 품질기준이 중요한데, 특히 MD(machine direction)과 TD(Transverse direction)의 두께 차이는 5%이내 야만 한다.

시트내의 응력(stress)은 국소적인 두께편차(localized thinning)를 유발할 수 있고 연신이 불균일 할때는 시트 주름(wrinkling)의 원인이 된다. 따라서 시트의 품질을 점검하기 위해서는 아래의 두가지를 우선적으로 점검해야 한다.

- 응력분포의 균일성 점검: 형광빛을 이용하여 점검할 수 있는데, [그림 1]은 응력분포에 대한 점검방법을 보여주고 있다.

- 열성형시 시트의 처짐(sag)현상 점검: 열성형동안 시트의 처짐현상이 발생하는데 과도한 시트처짐은 내부응력 응집과 동일한 결과를 발생시키므로 시트 처짐은 교정 되어 져야 한다.

A-PET 시트는 적정온도와



포장강좌 2

습도가 유지되는 장소에서 보관되어야 한다. 결정화 폴리에스터를 비롯한 열가소성 폴리머는 저장조건이 열악할 경우 내부에 자유체적(free volume)현상이 발생되어 폴리머가 경화(brittle)된다. 그러나 유리전이 온도인 Tg 이상에서 열성형이 되는 성형 제품의 경우 자유체적현상이 제거되므로 성형제품이 경화된다고 볼수는 없지만, A-PET로 열성형된 제품을 보관할때의 경우에도 자유체적 현상이 발생하므로 유의하여야 한다.

열성형제품의 강도(toughness)는 PET의 내부 점성(IV)과 직접적인 관련이 있는데, PET 레진의 초기 내부점성도 중요, 압출시 내부점성(IV)변화에 의해서 시트의 충

격강도와 연신율이 많은 영향을 받는다. 몰드내부에서의 응력과 라운드가 없는 모서리부분의 성형은 강도를 줄이는 요소로 작용한다.

결정화 가능성이 있는 P-ET 시트는 원형의 결정(spherulitic crystal)이 시트내부에 존재하여 투명성이 저하될수 있다. 압출시 냉각속도(quenching rate)가 너무 낮을 경우는 PET 시트 내부에 결정화가 발생하고 이로 인해 투명성과 강도저하는 물론 열성형조건에 영향을 미친다. A-PET의 성형조건(시간, 온도)이 맞지않는 경우, 즉 성형 전의 전처리 가온(preheating) 공정중에도 결정화에 의해 시트내부의 투명성 저하가 발생할수 있다.

Copolymer나 점성이 높은

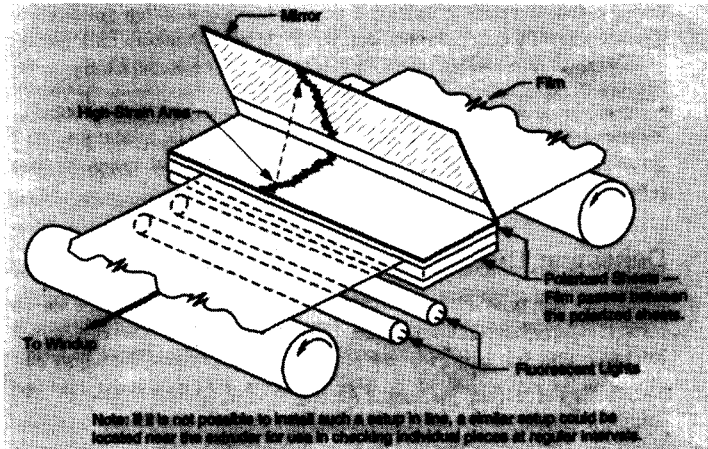
homopolymer는 결정화되는데 시간이 많이 소요되어 압출시 또는 성형전 전처리 가온공정에서의 투명성 저하는 거의 발생하지 않는다.

4. 열성형제품의 분리성(denesting)

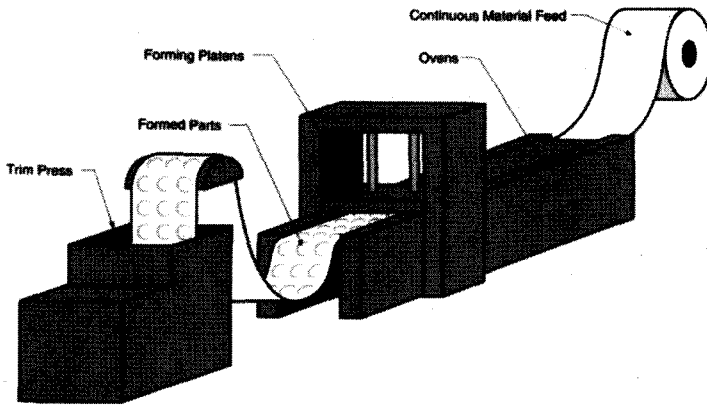
A-PET는 광택이 우수하지만 블럭현상이 발생하여 성형제품이 잘 분리되지 않는 경우가 있다. 이런 경우 분리제(denest concentrate)와 분리 돌출구(denest lug, 그림참조)를 만들어 주면 제품의 분리를 용이하게 할수 있지만, 분리제는 시트와 성형품의 투명성을 저하시킬수 있다.

압출시 시트 또는 성형 몰드에 실리콘 코팅을 하여 분리성을 높일 수도 있다. 시트 생산시 롤상태로 감을 경우 코팅액이 다른 한쪽으로 전이가 되므로 시트 양쪽에 코팅을 할 필요는 없다. 실리콘 코팅은 최소의 양과 농도만 사용되어야 하는데, 과도한 양과 농도 사용시 실리콘 농축액이 시트에 잘 분산되지 않아 균열(craze)과 내부응력 집중(stress cracking)의 원인이 되기도 한다.

[그림 1] Setup for checking the strain Uniformity in Nip-Polished Film



(그림 2) In-Line Thermoformer



실리콘 코팅은 내부 분리제의 투명성 저하를 보완할 수 있으며, 성형시 슬립성을 향상시킨다. 그러나 인쇄와 밀봉(sealing)성 저하의 요인이 되므로, 인쇄와 밀봉이 필요한 경우의 제품에는 실리콘 코팅사용에 제한이 따른다. A-PET에 주로 사용되고 FDA승인을 받은 실리콘 코팅액으로는 Dow Corning 24 Silicon Emulsion이 있다.

5. 열성형을 위한 금형 디자인

금형제작을 위한 재료로는 나무나 에폭시와 같은 재질이 사용될 수 있지만, 열전도성 과 기계적성이 우수하고 마모성이 적은 알루미늄이 많이 사용되

고 있다.

진공을 잡아주는 구멍의 크기는 0.635mm에서 0.457mm사이로 금형표면에서의 구멍 크기는 3.2mm를 초과하지 않아야 하고, 제품에서의 진공을 잡아준 자국은 200~250 마이크론 이하여야 한다.

개별 캐비티의 간격은 플렌지 넓이의 2배이상으로 배열되어야 한다. Female금형은 draft angle을 가져야 하는데 이는 웨빙으로 야기될 수 있는 문제를 줄이고, 보다 나은 플렌지의 형태성 유지와 분리성을 좋게 해준다. 어려운 undercut은 피하고 라운드는 가능한 커야 한다.

압력기(pressure box)를 사용하면 생산성 향상과 형상의 균일성을 유지할 수 있는 두가

지의 장점이 있으며, 컷팅 작업을 최대한 단순화 할 수 있다.

보조 플러그(plug-assist)는 deep drawing제품이나 drawing비율이 높은 제품(73:1)에는 필수적이다. 열성형업체에서 주로 사용되는 플러그 치수, 높이, 허용오차에 대한 자료는 금형의 형상을 결정하는데 주요한 요소가 된다.

6. A-PET 시트의 열성형 장치

일반 열성형 장치에서도 A-PET 시트를 성형 할 수 있다. A-PET의 점탄성력은 PVC나 HIPS와 같은 비정질 프라스틱과 유사하므로 열성형조건은 거의 동일하다.

열성형기의 라인 : (그림 2) 참조

6-1. A-PET 시트에 대한 히팅조건

열성형되는 동안 결정화 되는 PET는 시간과 온도에 따라 결정화가 좌우된다. 시트의 처짐과 투명성저하(결정화)의 원인이 되고 경도(brittleness)가 높아져 성형성이 저하된다.



결정화와 그로 인한 투명성저하(hazeness)는 히팅시간이 길어지는 두꺼운 시트에서 많이 발생하는데, 결정화에 의한 투명성저하는 재입출에 의해서만 제거된다.

접촉 히팅(contact heating)은 성형-충진-실링 라인에서 주로 사용되는데, PET가 가열된 히팅판에 부착되는 경향이 있기 때문에 알루미늄이나 금속히팅판에 테프론 코팅을 하여 사용하여야 한다. 복사 히팅 방식은 시트를 공급하여 성형하는 시스템에만 사용을 한다.

연속 롤 공급 시스템에는 반사 및 복사 히팅방법을 사용한다. 텅스텐 필라멘트, 세라믹 히터, 수정관을 주로 사용하는 반사히터는 시트 표면이 결정화 되지 않도록 급속히 시트를 가열할 수 있는 반사열을 제공하는데, 시트의 처짐과 결정화를 방지하기 위해서는 가능한 히팅 사이클을 짧게 해야 한다.

6-2. A-PET 시트의 성형 조건

성형조건에는 여러 가지가 있다. 예를 들어 male/female금형 사용여부, female금형에 보조 플러그 사용여부, 라인상에서의 컷팅여부, 컷팅 및 성형시의 압력을

유지할 수 있도록 압력기 사용여부 등의 성형조건이 있다.

PET의 종류 및 성형조건은 사용기계의 조건에 일치되어야 하는데 아래의 도표는 시트의 두께가 1250마이크로 이하일 경우에 사용될 수 있는 조건이다.

1. 27°C이하의 금형온도에서는 시트에 "프리징(freezing)"현상, 두께 불일정과 제품에 응력집중 현상이 발생할수 있다. 또한 금형온도는 생산성에 영향을 준다.

금형온도가 60°C이상 일 경우 제품 생산 사이클이 길어 질 수 있고 이로 인해 제품변형이 유발 될 수 있다.

2. 80°C정도인 Tg 이상의 온도에서는, PET가 방향성을 가질수 있지만, 진공성형에 소요되는 성형압력이 상승될수 있다. A-PET 시트의 온도가 150°C정도가 되면 점성이 저하되어 압력과 진공에 의해 쉽게 성형이 된다. 이런 경우 응력집중이 발생하여 제품이 깨어지기 쉽게 된다.

7. A-PET 시트의 절단 (Cutting)

A-PET 시트의 절단은 성형작업에서 가장 필요한 작업 중 하나이다. PVC나 HIPS는

시트두께 의 75%정도만 절단한 후 분리할 수 있지만, A-PET 시트는 완전히 절단되어야만 한다. 성형 시트에서의 절단법으로는 일반적으로 금속자 다이스(steel rule dies)와 조합형 다이스 (matched metal dies)에 의한 절단법이 많이 사용되고 있다.

7-1. Steel rule dies에 의한 절단법

Steel rule dies는 부피가 적은 제품의 절단에 주로 사용된다. 이러한 들은 15~20mm 정도의 나무판위에 만들어져 있는데(그림 참조) 캐비티에서의 정확한 수축을 측정할 수 있지만, A-PET 시트의 경우 0.005mm/mm정도의 수축을 감수해야 한다. 단순형태이며 두께가 0.25mm이상의 시트를 절단하기 위해서는 Rockwell 경도 50~55정도의 다이(die)를 사용한다. 다이의 경도가 강할수록 좋지만, 복잡한 형상이 휘기 쉬운 형상의 제품 절단시에는 Rockwell 경도 45~50정도가 유리하다.

다이는 후판(backing plate)과 직접 접촉하고 있기 때문에 사용하기전 다이의 손상 여부

를 반드시 점검한 후 사용하여야 한다.

사용절차는 아래와 같다.

1. 후판 표면 손상 방지를 위해 두께 0.15~0.20mm 정도의 종이를 테이핑한 후 절단 다이를 정위치에 둔다.

2. 종이위에 카본용지를 아래로 향하게 두고, 다이를 아래로 누른후 다이의 위치를 정확하게 표시한다.

3. 절단판 위에 있는 종이에 위치를 표시하여, 종이의 상하부에 동일한 위치를 표시한다

4. 절단판 위에 표시가 마크된 종이를 절단할 A-PET 시트를 놓고서 천천히 가압을 한다. 이때 한번에 절단되지 않도록 주의한다.

5. 4의 동작을 반복하여 위치를 조정후, 시트의 75~80%가 절단될 때까지 누르는 힘을 조정한다.

6. 테이핑된 종이를 제거한후 절단되지 않은 부위에 0.8~0.15mm 정도의 여유를 두고 종

이를 테이핑한다. 이때 테이프가 겹쳐지지 않도록 주의한다.

7. 절단판 아래에 다른 종이를 놓고서 다시 절단면을 조정한다.

8. 완전히 절단될 때까지 위의 절차를 반복하여 조정한다. 다이의 수명이 연장될 수 있도록 천공의 날(bearer)을 판에서 시트의 바깥쪽에 위치하도록 하고, 다이를 사용하지 않을 때 판위에 항상 정위치에 있도록 펀치 프레스(punch press)를 해두는 것이 다이의 손상을 줄이수 있는 한 방법이다.

7-2. 조합형 다이 (Mached Metal Die)

조합형 다이는 일명 punch and die라고도 하며 부피가 큰 제품에 주로 사용한다.

대개 연속성형작업이 이루어지는 공정에서 커팅 프레스가 따로 장착되어 있는데 다이(die)를 통하여 절단이 이루어지도록 되어 있다.


조합형 다이에서는 다이의 경도는 Rockwell 경도43이고 펀치의 경도는 55정도 되는 것을 사용한다. 허용오차는 0으로 유지하며, 마모가 되면 다이를 재가공하여 허용오차를 0(

zero)으로 두어야 한다.

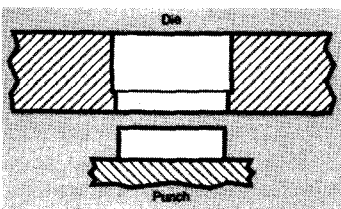
또다른 방법은 펀치와 다이의 경도가 62정도 되는 강판 재질을 사용하는 방법이다.

이때 허용오차를 0으로 유지하기 위해서는 펀치와 다이를 동시에 재가공하여야 하는 번거로움이 있다. A-PET 시트의 절단은 반드시 허용오차가 없도록 작업을 해야 한다.

조합형 다이에서는 모든 절단면이 수평을 이루어야 하고 절단은 동시에 되어야 한다.

열성형시에 대한 문제가 있을 경우 코이닝(coining)을 사용하고 있는데 코이닝을 사용하여 두께를 줄일 수 있고 다이의 수명을 연장할 수 있기 때문이다. 절단다이에 대한 코이닝의 위치를 조정하여 제품의 수축을 고려 하여야 한다. 

(그림 3) Punch and Die



이 자료는 지난 9월 6일 한국아스ٹ만화학과 태광수지공업이 공동주최한 세미나 자료중 발췌한 것입니다.

- 편집자주 -