

1. Polyester Film의 역사

Polyester Film 은 1941 년 영국의 J.R. Whinfield 에 의해 발명되었으며, 1948 년에는 영국의 ICI, 미국의 DuPont 이 합성섬유의 공업화에 성공하였다. Film 의 사업화는 1955 년 미국의 DuPont, 영국의 ICI 를 비롯하여 독일의 Hoechst 가 성공하였고, 이어서 프랑스의 Rhone Poulenc 과 Cellanese 가 사업화 하였으나, 후일 Cellanese 는 Rhone Poulenc 으로 사업이 이전된다. 일본의 경우에는 1957 년 ICI 가 Teijin, Toray 에 섬유에 관한 기술을 이전하였고 이를 바탕으로 1959 년에 Toray 가 Film 사업에 참여하였으며 1970 년에 Teijin 이 사업화에 성공하였다.

우리나라의 경우에는 일본을 통하여 Polyester 관련 기술이 도입되어 선경합섬(현 SK Chemical), 제일모직, 코오롱 등이 섬유 사업화를 하였고, Film 사업화는 1978 년에 SKC 에서 독점적 기술 개발에 성공하여 이를 선두로 1985 년 제일합섬(새한)과 코오롱이, 1989 년에는 동양 Nylon(효성)과 서통(화승)이 참여하였으며, 후발로 고려합섬이 대열에 끼어 들었다. 이후 글로벌 생산거점을 확보하려는 Major 의 극심한 경쟁 속에 Toray 가 Rhone Poulenc 를 흡수·합병하였으며, DuPont 은 ICI 를 각각 인수하였다. 또 DuPont 은 Teijin 과 사업을 제휴하여 DuPont-Teijin 으로, 또 일본의 Toray 는 한국의 새한을 합병하여 공격적으로 증설에 나갔고, 국내업체 선두 업체인 SKC 도 글로벌 거점을 확보하고자 미국에 3 개 Line 을 증설하여 지금에 이르고 있다.

2. PET film 의 특성

폴리에틸렌테레프탈레이트(Polyethylene-terephthalate, PET)는 분자적 구조로 보아 Hard 한 구조와 Soft 한 구조가 잘 어우러져 전체적으로 여러 가지 기본적인 물성이 우수하게 나타나고 있다. 여기에 각종 첨가물을 첨부하여 표면조도를 조절한다든지, 투명성을 조절한다든지, 내열성을 보완한다든지 하는 전개가 이루어지고 있다. 분자적 구조상 Hard 한 부분이란 분자식에서 대부분을 차지하는 벤젠링 부분으로 그 특징은 분자 사슬의 Rotation 이 어렵고 넓은 평면 구조로 되어 있어 마치 Tennis Racket 의 Hard 한 부분처럼 강하고 Stiffness 가 높은 것을 연상할 수 있다. 구조상 Soft 한 부분은 Ethylene 기가 있는 중간 부위로 분자 길이가 길지는 않지만 분자 Rotation 이 가능하고 결정화도를 조절할 수 있도록 해주는 부분이다.

예로써 벤젠링이 두개 붙어 있는 Naphthalate 의 경우 열적 성질과 물리적 특성이 훨씬 우수해지며 반면 전체적으로 Ethylene 기의 상대적인 양이 줄어들어 결정화 속도와 최종 결정화도가 떨어지게 된다. 구조상 Soft 한 Ethylene 기의 경우

Ethylene 기 대신 Propylene 기가 있게 되면 결정화가 훨씬 잘되어 Film 제조가 훨씬 어렵게 되고 Film의 물성은 PET보다 떨어지게 된다. PET Film은 일반 범용 Plastic Film에 비하여 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

(1) 기계적 특성

PET Film은 강도가 특히 강하고 적당한 신도를 가지고 있어, 자기기록 매체 전기 절연 매체를 비롯한 주행이 필요한 제반 용도에 매우 유용한 재료이다. 기계적 특성을 좀더 세분하면 강도, 신도, Young율, F5치, Stiffness, 회절강도, 과열강도, 인열강도를 비롯하여 내 Pinhole 강도 등으로 세분할 수가 있다. 강도, 신도, Young율, F5치는 모두 강신도 곡선 (S-S Curve)으로부터 얻어지며, 측정 방법과 조건에 따라 달라질 수 있음에 유의가 필요하다. 다음 [표 1]에 대표적인 일반용 PET Film과 기계적 특성을 향상시키기 위하여 이축 배향된 Film을 종축으로 더 배향시킨 자기용의 Tensile Film (T/F)의 기계적 특성을 나타내었다.

[표1] PET Film의 기계적 특성

| 기계적 특성 (단위) | 일반 PET film | | T/F (자기용) | |
|------------------------------|-------------|-----|-----------|-----|
| 강도(Kgf/mm ²) | 22 | 22 | 35 | 20 |
| 신도 (%) | 120 | 120 | 60 | 110 |
| F-5치(Kgf/mm ²) | 12 | 12 | 18 | 11 |
| Young율(Kgf/mm ²) | 400 | 400 | 750 | 350 |

(2) 열적 특성

PET Film은 분자를 배향시키고 결정화에 의해 묶어주는 방식에 의해 만들어지며 각 공정에서 열과 힘을 받음으로 원상으로 돌아가려는 성질이 있으며, 이러한 이력 이외에 수지가 갖는 열적 성질에 의하여 온도 또는 열에 대한 특성이 나타나게 된다. [표 2]는 DSC(Differential Scanning Colorimeter, 20°C/min)에 의해 측정된 PET 수지와 필름의 열적 특성을 나타내고 있다.

[표2] PET Film의 열적 특성

| 열적 특성 | PET 수지 (Chip) | PET film |
|----------------------------|---------------|----------|
| 유리 전이 온도 (T _g) | 75~80°C | - |
| 결정화 온도 (T _c) | 130°C | - |
| 융융 온도 (T _m) | 255°C | 255°C |

또한 Film 의 열적 성질로서 상품과 관련하여 중요한 항목은 열수축율이다. 열수축율은 Film 을 가공함에 있어서 변형의 크기를 나타내는 바, 코팅, 인쇄, 증착 등의 분야에 매우 민감한 사항이다. 일반적인 PET film 의 열수축율은 150℃에서 20 분간 방치시 2%내외의 수축율을 갖게 된다.

(3) 전기적 특성

PET Film 은 우수한 기계적 특성 및 열적 특성과 더불어 우수한 전기 절연의 특성이 있어, 전기 절연의 소재 분야에 널리 쓰이고 있다. 우수한 전기 절연의 특성이라 함은 유전율이 비교적 높고, 유전 손실(tanδ)이 비교적 작고, 절연 파괴 전압이 높고, 표면 체적 저항이 높은 점을 들 수 있다. 아래의 [표 3]에 몇가지 중요한 전기적 특성을 요약하였다.

[표3] PET Film의 전기적 특성

| 항 목 | 대표치 | 측정 조건 |
|----------------------|--------|-----------|
| 유 전 율 | 3.3 | 23℃ 1KHz |
| | 2.9 | 23℃ 1KHz |
| 유 전 손 실 | 0.0052 | 23℃ 1KHz |
| | 0.0210 | 23℃ 1KHz |
| 절연 파괴 전압 (KV/mm) | 580 | 23℃ DC |
| | 410 | 23℃ 60KHz |
| 체적 저항 (Ω cm) | 1018 | 23℃ |
| | 1018 | 150℃ |
| 표면 저항 (Ω /□) | 1014 | 23℃ 50%RH |

● 유전율이란 Capacitor 의 원리에 있어서 두 전극간의 저장되는 정전 용량에 있어 공기에 대한 필름의 전전용량의 차를 의미한다.

$$Q = C * A / d$$

Q : 정전 용량, A : 전극 면적, d : 전극간 거리

C : 유전 상수 (C : 공기에 대한 유전상수)

● 유전 손실이란 (+)와 (-)의 교번하는 전류에 대하여 매 Cycle 에 대해 전장한 에너지량에 대한 손실을 의미한다, 다시 말해 유전 손실이 0.0001 이라 함은 0.01%의 전기에너지가 열손실로 달아남을 의미한다. 따라서 이상적인 Capacitor 의 소재는 유전율이 높고 유전 손실이 적으면서 필요한 타특성을 지닌 것을 의미한다.

(4) 내약품성과 기체 투과성

PET Film 의 내약품성은 폴리에틸렌테레프탈레이트의 화학적 구조나 결정화와 같은 구조적인 부분에 기본을 두고 있으며, 화학적인 특성은 다시 Bulk 특성과 표면특성으로 나누어 생각할 수 있다. 표면특성은 젖음성(Wetting), 접착력 또는 이로 인한 마찰 계수 등도 생각할 수 있다. 우성 화학적 특성중 수지 자체의 성질에 의해 결정되는 요인으로서 화학약품에 대한 내구성과 기체 투과성을 생각할 수 있으며 아래의 [표 4]는 이에 대한 대표치인데 강알칼리를 제외한 대개의 약품에 침투되지 않음을 알 수 있다.

(표4) PET Film의 내약품성

| 약품명 | 시험조건 | 내약품성 | | | 기체명 | 시험조건(°C) | 기체투과율 |
|------------------------|----------|------|------|------|---------|----------|------------------------------------|
| | | 강도 | 신도 | 파단강도 | | | |
| Acetic Acid | 23°C 31H | 100% | 100% | 100% | CO2 | 25 | 16 cc/m ² 24hr. atm/mil |
| 10% Hydrochloric Acid | | 100% | 100% | 100% | | | |
| 60% Sulfuric Acid | | 100% | - | - | | | |
| 20% Sulfuric Acid | | 92% | - | - | | | |
| 2% Sodium Hydroxide | | 100% | 100% | 70% | Acetone | 40 | 2.2 g/m ² 24hr. atm/mil |
| 10% ammonium Hydroxide | | 0% | - | - | | | |
| 10% Sodium Hydroxide | | 0% | 0% | 0% | | | |
| Trichloro ethylene | | 100% | 88% | 100% | | | |
| Hydrocarbon oil | | 92% | 3% | 87% | | | |
| Acetate | | 98% | - | - | | | |
| Xylene | | 93% | - | - | | | |
| Benzene | | 91% | - | - | | | |

(표5) PET 소각에 따른 발생가스 조성

| | | | |
|---------------|--------|------|------|
| 배출 가스 조성 (%) | CO2 | 4.5 | 3.5 |
| | O2 | 14.9 | 17.5 |
| | N2 | 80.6 | 79.0 |
| | CO | 0 | 0 |
| 규정 유해물질 비교(%) | Nox | 0 | 0 |
| | HCl | 0 | 0 |
| | 암모니아수 | 0 | 0 |
| | 시안화 수소 | 0 | 0 |
| | 기타 | 0 | 0 |

(5) 광학적 특성

PET 는 약 300micron 파장 이하의 자외선을 차단한다. 투명한 제품의 경우 가시광선 영역에서는 약 85~90%로 투과율이 높고, Haze 가 0.5~1.2%를 갖는 투명성 제품이 있다. 투명도가 필수적이지 않은 일반 제품에서는 Haze 1~4%의 제품이 사용되며 투명도가 낮은 Film 으로는 Matt Film, White Film 그리고 Color 를 집어넣은 원착 Film, Black film 등이 있다.

(6) 안정성 및 위생성, 환경 친화성

PET Film 은 가공시에 가소제나 안정제를 사용하지 않기 때문에 위생상 안정성이 확인되었으며, 소각시 환경에 유해한 성분의 발생이 없다고 확인되었다.

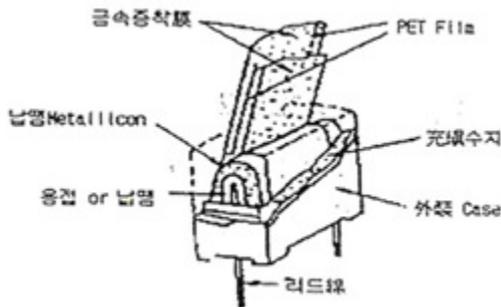
3. PET Film 의 응용

(1) 전기/절연용 Film

일반적으로 PET Film 의 전기/절연용도로 Condenser 용 Wire wrapping 용, Trans 절연체용, Printed circuit Board 용, Motor 절연용 등 다양하게 사용되고 있다. PET Film 은 가수분해가 쉽고, Oligomer 가 많고, 유전손실($\tan\delta$)이 다소 높은 단점도 있지만 타 소재의 Plastic Film 에 비해 다음과 같은 장점이 있어 Motor, 발전기, 변압기 등의 전기/절연 재료로 널리 쓰이고 있다.

- 사용 두께 범위가 1~500 μm 정도로 넓고, 두께 편차 수준도 양호하다.
- 기계적 특성이 양호하다 (강도, 탄성율이 높은 편임).
- 전기 절연 특성이 양호하고 절연결함이 적다.
- 치수 안정성이 높고 경시 변화가 적다.
- 내열특성, 내약품성, 내유성, 후가공성 (증착, 성형, coating 등)이 양호하다.

일례로 Motor 에 사용되는 용도를 살펴보면 지면과의 절연에 사용되는 부분 (Slot Liner, Spacer Separator, Wedge 등),



층간 절연 부분, 도체의 절연 부분 등이 있다. 내열성에 크게 문제가 되지 않는 범용의 소형 Motor 에는 일반 절연용 PET Film 이 사용되고 냉동기의 Compressor 등의 용도에는 특수 설계된 저 Oligomer Type 의 PET Film 이 사용되고 있다. 이외 속도의 증가, 경량화, 고전압화,

고내열안정화 하는 추세로 기술 개발이 진행되고 있다. 통상의 PET Film 은 종방향과 횡방향의 2 축 연신을 통해 연신되어 열처리되지만 Film 내에 잔존하는 응력을 완전히 없앨 수는 없기 때문에 결과적으로 고온에서 열수축을 일으키게 된다. FPC 나 Membrane Switch 등은 안정된 치수 변화를 요구하기 때문에 별도의 열처리 기술로 150°C에서 30 분간 방치시 종방향이 1.0~1.5%, 횡방향이 0.0~0.3%을 유지하고 있다. 또한 PET Film 은 Condenser 의 용도로도 사용되는데, Condenser 의 용도나 사용 조건, 가격 등에 따라 적합한

유전체를 선택하는데 절연내력이 뛰어난 PP Film 다음으로 많은 사용량을 보이고 있다.

(2) 포장용 Film

포장 용도로 사용되는 PET Film 은 대부분이 식품 포장용이고, 그 요구 성능은 수송, 보관등에 있어서 충격, 강도 등의 물리적 외력에 견디는 보존성, 산소/습도/광 등으로부터 식품의 변질을 방지하는 성능 등이 있다.

포장용 PET Film 은 플라스틱 Film 중 최고의 강도를 지닌 Film 에 속하며 고온에서도 그 성능 저하가 작기 때문에 인쇄, 라미네이팅 등의 2 차 가공시에 장력에 대한 신도변화가 작고, 치수 안정성면에서도 유리한 성질이 있다.

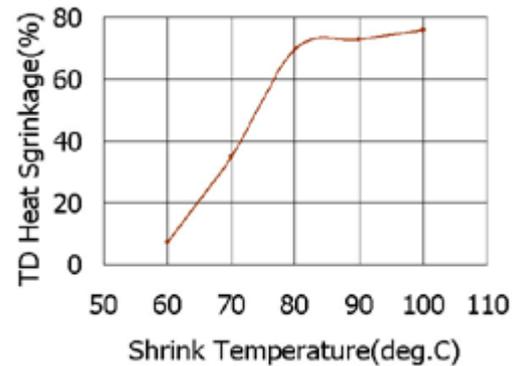
또한 습도/Gas Barrier 성 또한 우수한 편에 속한다. Cellophane, Nylon, PVA 등에 비해서는 습도의 경향이 적고, 흡습으로 인한 Barrier 성의 저하는 인식할 수 없을 정도로 작다. 용점이 260℃로 내열성이 높은 분류에 속하며 저온에 대한 내성 또한 우수하다. 따라서 포장용이라면 냉동식품에서 Retort 처리와 같은 고온 열처리 (살균) 용도까지 가능하다.

또한 포장용 Film 은 응용분야도 다양하여 PET Film 에 Heat Seal 성을 부여하기 위하여 폴리에틸렌이나 폴로프로필렌을 라미네이팅하거나 In Line 에서 공압출을 이용하여 이러한 성질을 주는 경우도 있다. 또한 온습도에 대한 치수변화가 적고, 장력에 대한 변화도 적기 때문에 그라비아에서의 고속 다색 인쇄가 가능하다.

(3) 환경 친화적인 열수축 Film

환경에 관한 문제가 대두되면서 환경오염방지 뿐만 아니라, 용기와 라벨의 동일 소재화에 의한 자원 재활용 제고 측면에서 PET 소재의 수축 Film 들이 나오게 되었다. 꾸준한 시행착오를 거쳐 현재는 많은 용도에서 다이옥신 방출 소재인 PVC 를 PET 수축 Film 으로 대체되었다. 일반적 PET Resin 의 경우에는 결정성이 너무 강하기 때문에 필름 연신 가공시 필연적으로 결정화도가 높아지게 되고 이에 따라 치수 안정성도 증가하기 때문에 원하는 수준의 열수축율을 얻는 것이 불가능하게 된다. 그래서 PET 의 결정성을 감소시키기 위하여 DMI 나 CHDM 과 같은 제 3 의 원료와 함께 공중합하는 방법과 특성이 다른 폴리에스터들을 Blending 또는 Compounding 하여 쓰는 것이 일반적이다.

이러한 열수축 Film 은 타소재에 비해 자연 수축 현상인 경시 변화에 안정적이고 고온의 Retort 처리가 가능 하진 않지만 기존의 OPS 나 PVC 대비 우수한 내열성을 갖고 있다 그러나 PVC 에 비해 내유성이나 내화확성은 약간 떨어지지만 투명성이나 광택성이 뛰어나기 때문에 인쇄성이 좋아져 고급 제품의 Label 에도 적합하다.



(4) 기타 용도

이외에도 PET Film 은 아주 많은 분야에 응용되고 있다. 먼저 PCB(Printed Circuit Board)를 제작함에 있어서 기존의 습식법의 단점을 보완하고 환경 위해 요소를 줄일 수 있도록 개발된 것이 DFR (Dry Film photo-Resist)이며, 이 DFR 용 Film 의 여러 Plastic Film 중에서 PET 가 Carrier 용으로 사용된다. 그리고 MLCC 는 Multi Layer Ceramic Capacitor 의 약자로 기존의 Film 콘덴서와 달리 박막의 세라믹층을 유전체로 사용하는 소형 콘덴서이다. 전자제품의 소형화가 진행되면서 이에 맞물려 MLCC 의 경박단소화와 맞물려 사용량이 폭발적으로 늘어나고 있으며, 이 MLCC 의 Casting 과정에서 PET Film 이 Carrier 용으로 사용되고 있다. 또 세탁기 전자레인지의 Membrane Touch Switch 용인 MTS 용, 그밖에도 사진용, 그래픽용, TTR (Thermal Transfer Ribbon)에 이르기까지 다양한 용도에 널리 사용되고 있다.