특 집

폴리올레핀 필름의 제조 및 현황 -PP 필름을 중심으로

강경보

1. 서론

필름성형을 위하여 이용하고 있는 주원재료는 각종 종이류, 셀로판, 천연고분자재료, 알루미늄호일 등 금속박의 천연재료와 PP, PE로 대표되는 합성고분자 재료로 크게 나눌 수 있다. 일반 플라스틱의 가공방식으로 사출성형, 압출성형, 캘린더성형, 압축성형 등으로 나누며, 이중 필름성형은 일반적으로 0.25 mm(1/100 inch) 이하의 비섬유형 평판상의 압출 성형물을 일컫고 있다. 종류로는 연신여부에 따라 무연신, 연신필름 그리고 단층필름을 적층한 경우 복합필름으로 구분한다 (**표 1**). 재료에 있어서는 최종제품에 요구되는 성능, 가격, 및 성형성으로부터 수지의 종류 및 그 수지의 등급 (grade)을 선정하여 사용하고 있다.[13] 국내에서 범용적으로 사용되는 수지로서는 폴리프로필렌 (PP), 폴리에틸렌 (PE), 폴리비닐아세테이트 (PVA_C), 폴리비닐클로라이드 (PVC), 폴리에틸렌테레프탈레이트 (PET) 등을 꼽을 수 있고 폴리에틸렌은 밀도와 공중합에 따라 저밀도 폴리에틸렌 (LDPE), 선형 저밀도 폴리에틸렌 (LLDPE), 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE)으로 나눌 수 있다. 최근에 상용화가 진행된 메탈로센 촉매계 폴리에틸렌도 선형 폴리에틸렌의 범주로 나누기도 한다. **표 2**에 각종 범용필름의 특징 및 용도를 나타내었다.

언급한 수지들은 열가소성 범주에 속하여 가소화 과정은 일반적인 스크류 압출방식을 사용하고 있으며 필름을 성형하는 방법은 다이의 모양, 연신방법, 인플레이션 여부, 냉각방법, 공압출여부, 다층복합화 여부, 증착여부 등에 따라 다양한 종류의 필름이 다양한 이름으로 시중에서 판매되고 있다. 본고에서는 폴리프로필렌 필름을 중심으로 하여 폴리올레핀계 필름의 시장현황, 용도 및 성형법에 대하여 대략적으로 소개하고자 한다.

2. 폴리프로필렌 필름

PP 필름은 기계적 강도, 강성, 충격강도, 방습성이 뛰어난 필름이나 기체 투과성이 PE보다는 낮으나 다소 큰 편이다. 비중이 0.9로서 범용 플라스틱 중에서 가장 가볍고 투명도도 좋은 것이 포장재에 널리 사용할 수 있는 특징이다. PP 필름은 최초 플라스틱 포장재로 사용되던 셀로판을 대체하면서 포장재의 혁신을 일으키며 우리 생활전반에 걸쳐 널리 사용되고 있는 포장재로 크게 무연신 PP 필름 (CPP, IPP)과 연신 PP 필름 (OPP)이 있다. 필름의 용융압출제조법은 압출다이형상에 따라 분류하

강경보

1990 서울대학교 화학공학과 (학사)
1992 포항공과대학교 화학공학과 (석사)
현재 한국과학기술원 생명화학공학과 박사과정
1992~현재 호남석유화학 대덕연구소 연구1실/책임연구원

Introduction to Market and Manufacturing of Polyolefin Film – Focusing on PP Film

호남석유화학 대덕연구소 연구1실 (Gyung-Bo Kang, Honam Petrochemical Corp., 24-1 Jang-dong, Yoosung-ku, Daejeon 305-720, Korea) e-mail:kanggb@hpc.co.kr

표 1. 식품포장용 플라스틱 필름의 종류

종별	구성	성질	비고
1종	단층필름	무연신필름	필름성형후 연신가공을 실시하지 않은 것
		연신필름	필름성형 후 연신가공을 실시한 것
2종	복합필름	-	두가지 이상의 다른 플라스틱 재료를 적층한 것

표 2. 각종 범용필름의 특징 및 용도

범용필름의 종류	특징	용도
저밀도 폴리에틸렌 (LDPE)	· 가공성 양호 Heat Seal성 양호 · 투명성이 양호 · 내유성, 강성이 떨어짐	· 식품포장 전반 · 의약품 포장 · 산업자재
선형 저밀도 폴리에틸렌 (L-LDPE)	· 협잡물 열접착성, Hot Tack성 우수 · 내충격성 양호 · 가공성이 다소 떨어짐.	· 식품포장 · 산업자재
고밀도 폴리에틸렌 (HDPE)	· 내열성 방습성, 강성우수	· 식품포장 · 산업자재
폴리프로필렌 (PP)	· 내열성 양호, 내유성, 강성 · Heat Seal 온도 높다	· 식품포장 · 산업자재
에틸렌 비닐 아세테이트 공중합체 (EVA)	· 열접착 강도, 저온 열접착성 양호 · 협잡물 열접착성 Hot Tack성 양호 · 내충격성, 내 Pin-Hole성, 내한성 양호	· 식품포장 · 산업자재
폴리에틸렌 테레프탈레이트 (PET)	· 내열성, 내약품성, 강성, 내마모성 우수 · 가공기술 필요, 고가	· 식품포장 · 산업자재

면 T-Die법 (Flat법, Casting법), 원형 Die법(Inflation법, 튜블러법)으로 크게 나눌 수 있다. 국내 전체 PP 필름의 연간 수요량은 280,000 MT으로 추정된다.[14]

2.1 캐스팅 폴리프로필렌 필름 (CPP, Casting Polypropylene Film)

2.1.1 현황

CPP 필름은 T-Die법에 의해 성형된 필름을 의미한다. CPP 필름은 투자비용이 많이 들지만 광폭 및 다층필름 생산이 용이하고 제품의 균일성과 생산성이 뛰어난 장점을 갖고 있어 대량생산에 적합하며, 국내, 중국 및 동남아시아에서는 3층 공압출 필름을 주로 생산하고 있으나, 일본에서는 재활용비용이 원료 비용보다 크므로 단층필름성형도 많다. 최근에는 일부 생산 기업들을 제외하고는 대부분 진공증착설비를 보유해 필름생산에서 알루미늄 증착, 인쇄 및 완제품에 이르기까지 일괄 생산체제를 갖추고 있다. 국내 CPP 필름은 삼영화학에서 1970년대 초 생산하기 시작하였으며, 현재는 삼민화학, 삼영화학, 유상공업, 성일화학, 서통의 선발업체와 기린화학, 화인화학, 인성화학 등이 신규로 진출하여 경쟁이 심화된 상태이다. 생산능력이 7만톤을 상회하나 수요가 3만 톤 정도에 불과한 것도 경쟁의 원인이다 (**표 3**). CPP 필름의 경우 유상공업, 성일화학, 기린화학 등은 자가 소비량이 많으며 대부분 내수중심의 시장을 이루고 있다.[1] CPP 필름은 단독으로 사용되는 경우가 거의 없고 OPP 필름이나, PET 필름, Nylon 필름 등과의 드라이 라미네이션 (Dry Lamination)이나 압출코팅(Extrusion Coating) 등의 후가공을 거친 최종 포장재의 열접착층에 주로 사용된다. CPP 필름은 용도에 따라 일반 열접착용 CPP 필름, 알루미늄 증착용 CPP 필름 및 레토르트 파우치용 필름으로 크게 나눌 수 있다. CPP 필름의 용도는 제과류, 스낵류, 라면류, 기타 식품 및 산업 포장재 등이다.[2] **그림 1**에 일반적인 CPP 필름의 구성을 보였다. 그리고 **표 4**에 CPP 필름의 물성을 OPP 필름과 비교하여 나타내었다.

2.1.2 CPP 필름의 성형

표 3. 국내 CPP 필름의 생산현황[1] (2001년)

업체	생산능력
서 통	8,400
유상공업	8,400
삼영화학	6,900
성일화학	9,900
삼민화학	9,600
기린화학	6,900
삼진화학	6,000
인성화학	6,000
화인화학	6,000
삼경화성	6,000
합계	74,100

Corona층(5~15%)	HOMO-PP	R-PP or TER-PP	BLOCK-PP
Core층(65~80%)	HOMO-PP	HOMO-PP	BLOCK-PP
Heat Seal층(10~25%)	TER-PP	TER-PP	BLOCK-PP
	(A)일반접착용	(B)증착용	(C)하이레토르트용

그림 1. CPP 필름의 구성.

표 4. PP 필름의 물성비교[7]

성질	단위	CPP FILM	OPP FILM
인장강도	kg/mm^2	2~4	10~25
신 율	%	300~700	10~150
초기탄성율	kg/mm^2	60~100	200~600
인 열 강 도	g/mm	50~550	7~15
마찰계수		0.1~0.4	0.2~0.5
HAZE	%	2~5	1~3
열접착온도	℃	120~140	140~160
수분 투과율	$g/(m^2 \cdot 24h \cdot bar)$	5	8
가스 투과율 (O2)	$cc/m^2 \cdot 24\ hr$	4000	2200

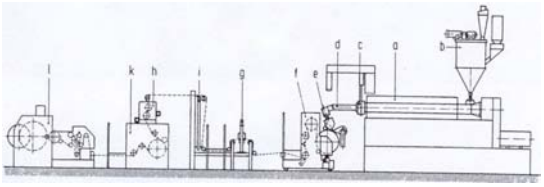


그림 2. CPP film line.[9] (a) extruder, (b) mixing and metering unit, (c) filter, (d) adaptor system, (e) slot die, (f) chill-roll take-off unit, (g) thickness scanning system, (h) surface treatment unit, (i) film oscillating unit, (k) intermediate take-off unit, and (l) winder.

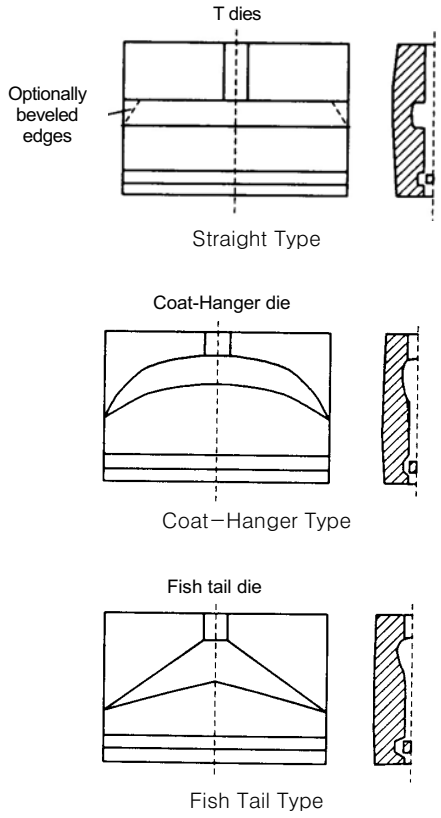


그림 3. 필름 성형기의 T-Die형태.[11]

CPP 필름 (**그림 2**)은 다이의 형태상 T-Die법으로도 불리는데 직선상의 slit을 가진 다이에서 폭넓은 용융필름을 압출해 냉각롤에 밀착하여 냉각 고화시키는 방법이 주를 이루고 있다. 필름성형기의 T-Die 형태와 일반적인 Coat-Hanger형 T-Die를 **그림 3**과 **그림 4**에 보였다. T-Die 압출법은 원형다이압출법에 비해 (가)냉각능률의 향상으로 고속생산 가능 (나)필름의 두께조정의 용이 (다)고온압출에 적합하다. T-Die 필름가공장치는 압출기,

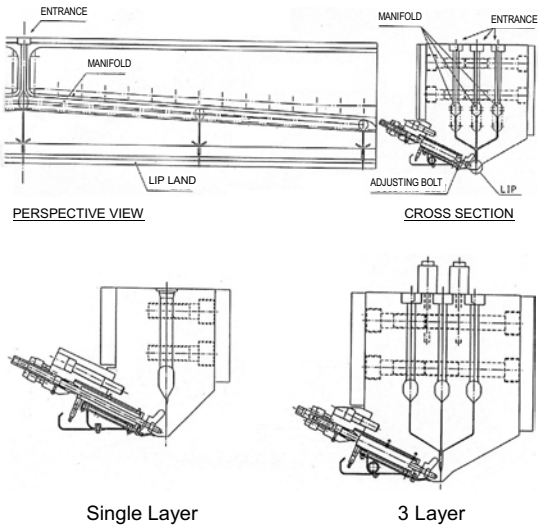


그림 4. 3-Layer Coat-Hanger Type T-Die.[6]

T-Die, 냉각롤, 인취기, 권취기로 구성되며 부속설비로는 냉각롤에 에어나이프 (Air-Knife), 에어챔버 (Air Chamber)를 부착하여 필름의 냉각을 균일하게 유지하며, 권취기 사이에 정전기 제거장치를 부착하거나 Corona 방전장치를 통한 필름의 표면처리를 행하고 있다. 압출기에 있어서 중요한 것은 필름의 고속제막, 광폭화에 따른 압출량의 능력향상이다. 압출량을 증가시키기 위해서 단축압출기의 용량을 크게 하면 운전조작이 곤란하므로 기능별로 제1단/제2단 압출기로 분리한 탠덤 (Tandem) 압출기가 사용되기도 한다.[6]

T-Die 필름가공에서는 필름의 두께를 균일하게 하는 것이 가장 중요하므로 가공온도의 정밀한 제어, 압력분포의 균일화, Die-Lip 조절이 충분히 고려된다.[3] 컴퓨터의 발달과 함께 제막 노하우가 축적되어 두께자동제어가 실용화되고 있다. 자동다이로는 다이립 조정볼트를 기계적으로 회전시켜서 조정하는 방법과 열변형에 의하여 조정하는 방법이 있으며, 주로 사용되는 열변형방식에서는 히트볼트방식과 히트슬립방식이 있다. 히트볼트방식은 Flexible Lip 조정볼트에 히터를 붙여 가변전압에 의해 온도를 제어하고 이것으로 조정볼트의 열팽창량을 제어하여 립간격을 조정한다. 구조는 간단하지만 열팽창을 이용하고 있어서 조정량을 크게 하면 다이립을 넓히기 위한 냉각시간이 긴 결점이 있다. 이들 두께자동제어를 설치하여 필름두께 정밀도를 1.5% 이하로 낮추는 것이 가능하다. 두께정밀도의 향상

에 의한 합격률의 향상, 완성시간 단축에 의한 Loss 감소, 숙련작업자의 부하경감 혹은 무인화를 꾀하는 것이 현실적으로 실증되고 있다.

최근 공압출 다층필름을 위한 다층다이의 진보는 현저하여 일반적으로 2~3층, 더 나아가서는 7층, 방식에 따라서는 10층 이상의 복합화도 가능하다. 공압출에 의한 다층필름은 통상 2대 이상의 압출기를 사용해 특성이 다른 2종이상의 수지를 각각 압출기에서 동시에 압출해 용융상태로 적층하여 복합필름을 제조한다. 공압출에는 피드블록형 (Feed Block), 멀티매니폴드 (Multi-Manifold)형, 슬롯다이 (Slot Die)형의 3가지 방식이 있다 (**그림 5**).

피드블록법은 압출기에서 다이에 들어가기 전에 피드블록 혹은 어댑터가 있어 여기에서 2층 또는 3~5층으로 적층된다. 일반적인 다이를 사용할 수 있고 어댑터도 간단하게 제작할 수 있기 때문에 종합적인 설비비용이 싸다. 편육조정은 어댑터 형상에 따라 다르기 때문에 어댑터 설계연구가 필요하다. 용융온도가 현저하게 다른 조합으로는 각층의 두께조정이 어렵게 되는 단점이 있다. 멀티매니폴드 방식은 다이 가운데서 적층하는 방식이다. 각층의 두께조정은 다른 방식에 비해 용이하며 용융점도가 현저하게 다르지 않으면 비교적 쉽게 가능하다는 장점이 있다.

캐스팅 (Casting)은 다이에서 압출된 용융수지를 냉각하여 시트상으로 성형하는 것으로 최종필름의 편육정도를 좌우하는 중요한 공정이다. 캐스팅에서는 냉각능력, 필름의 안정화, 필름의 롤과의 밀착성이 중요한 항목이다. 냉각능력은 공기냉각구간을 짧게 하고 냉각롤에서의 접촉면을 크게 하여 (롤수 증가, 롤경 크게) 냉각롤 표면온도를 적정화하는 방법이 선택된다. 냉각열량의 산출을 컴퓨터로 해석하고 있다. 대부분의 경우 성형속도를 증가시킴에 따라 필름의 냉각롤과의 밀착이 문제가 되는데 필름과 롤과의 밀착을 높이기 위해 PP필름에서는 에어나이프법, 에어챔버법, 터치롤법이 채용되고 있다. 에어나이프법은 슬릿폭, 균일한 공기의 취출, 공기의 압력, 취출각도 및 필름과의 간격 등이 중요하다. 필름성형의 고속화에 따라 필름의 밀착성 향상을 위해 진공흡인을 병용하는 방법이 사용된다 (**그림 6**). T-Die의 제막조건은 장치의 구조 (스크류, 다이종류, 냉각방법, 코로나처리여부 등), 형상 및 필름제품의 품질목표 (투명성, 인장강도, 충격강도, 열접착온도)에 따라 폭넓게 변하므로 일률적으로 정하기 어렵다. 먼저 성형을 함에 있어서 감안해야 하는 변수로는 투명성, 블로킹성, 슬립성, 표면상태, 두께의 균일성, 기계적 강도, 생산성 등을 들 수 있다. 이외에도 필름성형, 연포장의 후가공 단계에서 염두에 두어야 할 사항들을 **표 5**에 나타내었다. 필름의 물성은 수지의 MFR, 압출온도, 압출속도, 냉각온도 등이 영향을 미치는데, CPP의 경우 MFR이 6~10정도가 보통이며 MFR이 높을수록 투명성은 향상되는 경향을 보인다. 투명성의 면에서는 압출온도가 높은 편이 좋으나 블로킹성과 슬립성은 반대현상을 보이므로 투명성을 지나치게

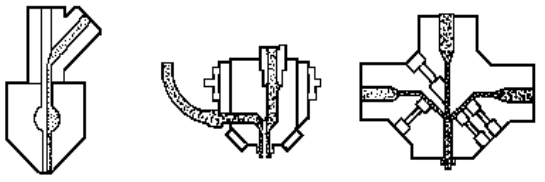


그림 5. 다층구성 방식.

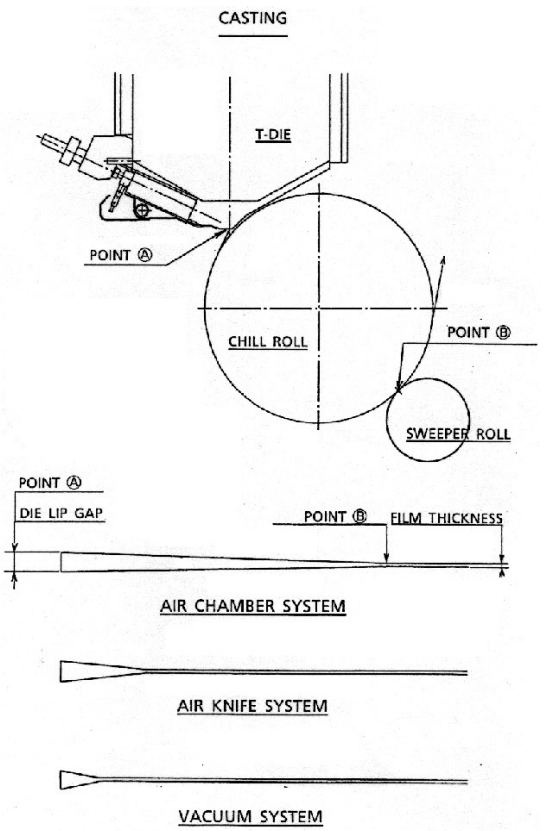


그림 6. 필름 냉각 시스템의 비교.

표 5. 필름의 품질 및 성능인자[9]

Mechanical Properties	Physical Properties	Product Technical Properties
Tensile Strength(MD/TD)	Water Absorption	Width Tolerance
Elongation Break(MD/TD)	Sealability	Thickness Tolerance
Impact Strength	Weldability	Weight Per Unit Area
Tensile Modulus	Seam Strength	Flatness
Flexural Modulus	Aroma Barrier	Rigidity
Hardness	Gas Barrier	Machinability
Tear Propagation	Water Vapour Barrier	Crystallinity
Resistance	Odor Neutrality	Printability
Tear Initiation Resistance	Taste Neutrality	Ink Adhesion
Toughness	Food Contact Purity	Slip
Stiffness	Antistatic Behaviour	Curling Tendency
	Thermoformability	Elastic Recovery
	Friction Coefficient	Stretchability
	Interlaminar Adhesion	Static Build-Up
	Surface Tension	Blocking Tendency

높이지 않도록 주의한다. 원료수지에는 성형시의 열안정제, 활제, 안티블록킹제 등이 첨가되어 있으므로 그 효과를 이용할 수 있는 조건을 선택할 필요가 있다. 압출온도의 면에서는 230~280 ℃가 적당하지만 물성의 측면에서 낮은 온도에서 성형하는 것이 유리하다.[4-6]

2.2 이축연신 폴리프로필렌 필름(BOPP : Biaxially Oriented PP Film)

2.2.1 현황

BOPP 필름은 T-Die를 통하여 압출캐스팅하여 먼저 일차시트를 만든 후 이 시트를 종방향 (MD)과 횡방향 (TD)으로 축차연신하여 최종 이축연신된 PP 필름을 얻는다. BOPP 필름의 특징으로는 비중이 가장 작으므로 같은 무게로도 더 많은 것을 포장할 수 있어 경제적이며, 광택, 투명성이 우수하여 포장된 상품의 미려함을 부여하고 미연신 필름에 비해 충격강도와 인장강도, 수증기 차단성, 내열성, 내약품성, 내후성, 전기 절연성이 우수한 특징을 가진다. 필름성형기의 발달로 BOPP 필름의 대량 고속 생산 (~500 /min) 및 광폭의 필름 생산이 가능하여 포장분야에서 비약적인 성장을 하고 있는 필름이다. BOPP 필름은 크게 일반용과 증착용으로 나누며 일반용은 인쇄용, 합지용, 화이트펄용, 매트용, 섬유포장용, 담배포장용 등으로 용도별로 세분하여 생산하고 있고 증착용은 일반적으로 알루미늄 진공증착법을 사용하여 가스차단성, 수증기 차단성이 필요한 분야에 사용되고 있다. **표 6**에 용도별 BOPP 필름을 소개하였다.

국내 BOPP 필름생산업체 (**표 7**)는 국내 최초로 1973년에 BOPP 필름 생산을 시작한 삼영화학, 삼영필름을 비롯하여 서통, 율촌화학, 화승, 대림산업, 자강이 있으며 2001년 한국포장협회 회원사를 기준으로 생산능력은 151,000 MT/년이며, 이 중에 내수 68%, 수출 32%를 기록하고 있다.

표 6. BOPP 용도에 따른 종류 및 특성

종류	용도	두께(μm)	요구 특성
일반 인쇄용	일반포장재	20,25,30	대전방지성, 인쇄적성, 높은 영율, 적절한 슬립성
일반 증착용	일반포장재, 알루미늄 증착용	20,30	코로나 유지도, 증착강도, 투명성
테이프용	접착 테이프	25,30,40	내열수축성, 대전방지성 외면 이형제 코팅적성
앨범용	자착식 앨범, 포켓식 앨범	40,45,50	투명성, 대전방지성, 개구성
섬유포장용	의류 포장, 건과류 포장	30,40	투명성, 대전방지성, 개구성
합지용	종이 합지, 책 표지	15,18,20	슬립성, 대전방지성, 개구성
담배 포갑용	담배 포갑	20,25,30	고속포장(슬립성), 대전방지성 양면 열접착성
매트용	스낵포장, 앨범, 종이합지	25,30	소광성
Pearl용	Pearl-라벨지 인쇄 합지	25,30	White Opaque, $CaCO_3$ 함유 내열수축성, 슬립성
열접착용	빙과류 포장, 껌 상자 포장, 담배 포장	20,25,30	내면 또는 양면 열접착

표 7. BOPP 생산업체 동향 (2001년 기준, MT/년)

생산업체	생산능력
삼영화학(주)	35,000
율촌화학(주)	26,000
(주)화승인더스트리	30,000
(주)서통	25,000
대림산업(주)	25,000
자강	10,000
총계	151,000

2.2.2 BOPP 필름의 성형

압출기를 통해 용융된 PP수지는 압출기 다이를 거쳐 성형된 시트는 35~40 ℃로 냉각된다. 그런 다음 110~140 ℃로 가열되며, 롤간의 속도차이에 의해 종방향 (MD)으로 연신된다. 종방향 (MD)으로 연신된 필름은 다시 35~40 ℃로 냉각된 후 150~180 ℃로 가열되고, 텐터프레임 (Tenter Frame) 방식의 연신 레일을 따라 횡방향 (TD)으로 연신된다. 횡방향 (TD)으로 연신된 필름은 후수축에 의한 불량을 방지하기 위해 160~180 ℃에서 열고정 (Heat Setting) 공정을 거친다. MD연신, TD연신, 열고정 등의 공정은 열풍이 있는 챔버내에서 이루어 진다. 최종적으로 열고정을 거친 필름은 20 ℃~30 ℃로 냉각된 후 필요에 따라 코로나방전처리한 후 권취된다. 권취 후 일정기간 어닐링 후 규격

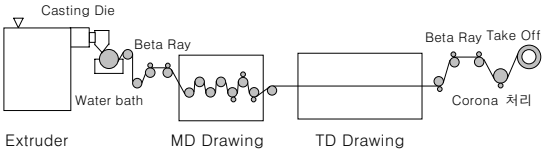


그림 7. BOPP 필름 생산공정의 개략도.

에 맞춰 제단된다. 이들 공정은 연속적으로 이루어지며, 생산 속도는 기계의 특성에 따라 100~450 m/min으로 기계의 기술적인 영향이 매우 크다. 일반적으로 연신가공은 수지를 융점이하의 적당한 온도로 연신해 분자와 결정에 배향성을 주어 미연신시에 얻을 수 없는 기계적 강도의 향상, 광학적 성질과 가스 투과성의 개선, 가열에 의한 수축성 등을 부여하는 것이다.[8] **그림 7**에 BOPP 필름의 개략도를 나타내었다.

2.3 IPP(Inflation Polypropylene) 필름

2.3.1 현황

IPP 필름은 성형이 간단하고, OPP나 CPP에 비해 기기 가격이 저렴하여 대부분 소규모 업체에서 각각의 용도에 따라 다양하게 성형하고 있다. 국내 IPP 필름시장은 연간 50,000 MT 규모로 CPP 필름, BOPP 필름 못지 않게 큰 편이다. IPP 필름은 주로 문구류, 식품류, 의류 등의 포장용 필름으로 사용되며, 대부분 가격이 싼 단일 PP가 적용되며, 겨울철에는 파단 문제로 인하여 랜덤 PP 공중합체나 랜덤 PP 삼원공중합체 등을 섞어서 사용하기도 한다. IPP 필름은 보통 하향식 성형, 수냉식 냉각의 방식을 취하며 압출된 수지를 냉각수에 직접 접촉시킴으로써 급속한 냉각을 이루어 투명성과 광택을 높일 수 있고 edge에 의한 수지의 손실이 없는 특징을 가진다. 또한 CPP 필름나 BOPP 필름에 비해 기기가 간단한 장점이 있으나 고속 성형이 불가능하고 bubble에 의한 성형으로 두께 조절이 쉽지 않은 편이다.

2.3.2 IPP 필름의 성형

열가소성 고분자 재료를 가열하여 유동성을 부여하고 원형 다이에서 열용융상태의 원통상 필름으로 압출하고 내부에 공기를 내뿜어 팽창시킴과 동시에 냉각고화 시켜 제품을 얻는 가공법이다. 이러한 인플레이션을 이용한 필름의 성형은 크게 상향식과 하향식으로 구분할 수 있는데, 폴리프로필렌은 특별한 경우를 제외하고는 대부분 하향식 인플레이션에 의해 성형된다. 하향식은 원형 다이에서

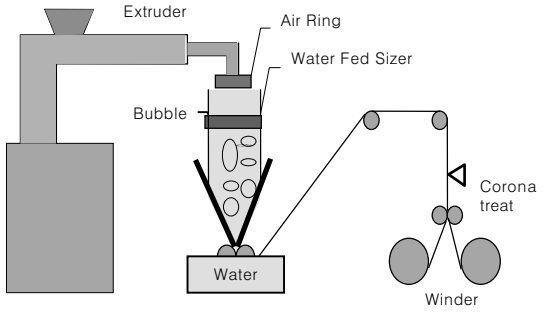


그림 8. IPP 필름성형 공정.

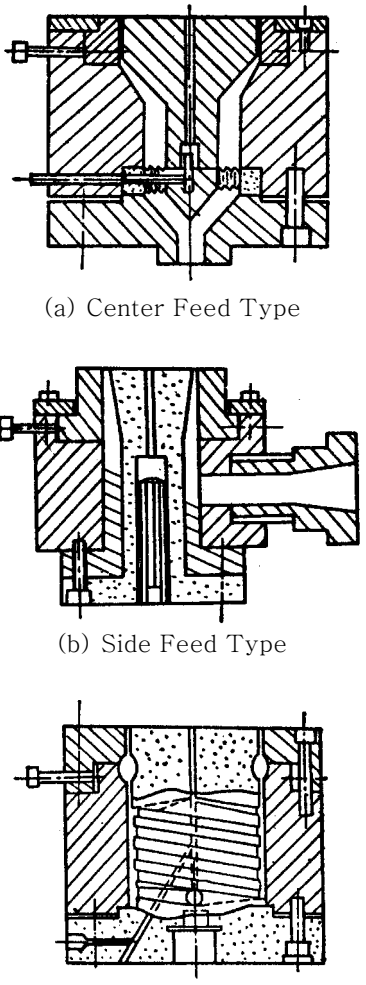
공기를 주입하므로 bubble을 형성하고 water feeder의 흐르는 물을 이용하여 냉각시키는 성형법이다. 간단한 IPP 필름 성형공정을 **그림 8**에 보였다.

IPP 필름의 가공장치는 압출기, 원형다이, 공기냉각환, 가이드판 및 인취부와 권취부로 구성된다. 수지는 hopper에서 압출기의 screw에 넣어져 실린더 배럴의 가열과 스크류의 마찰열에 의해 용융균질화되어 원형 다이부분으로 보내진다. 원통상으로 1차 부형된 뒤 좁은 slit에서 압출됨과 동시에 다이내부를 통해 불어 넣어지는 공기에 의해서 (공냉법) 팽창되어 bubble을 형성한다. 동시에 bubble의 외측을 냉각수에 의해 (수냉법) 냉각 고화되어 2차 부형이 행해진다. 냉각 고화된 필름은 nip으로 끌어내려 인취롤을 거쳐 권취된다. 상향식의 경우 용융장력이 큰 HDPE, LDPE 등이 사용되며 외부 공기에 의한 냉각으로 투명성을 크게 요하지 않는 필름 등에 주로 적용된다. 압출기는 보통 30 mm 내지 65 mm 정도의 소형의 것이 많이 사용되는데 배럴의 길이, 스크류의 형상 등은 CPP 필름에서와 거의 유사하다. 일반적으로 필름성형기에는 L/D 20~32, 압축비 3~4 정도의 것이 사용되며 다이 형상은 **그림 9**에 보이고 있으며 균일한 두께와 혼련효과가 좋은 스파이럴형이 주로 사용된다.[10]

2.4 IOPP(Inflation Oriented Polypropylene) 필름

2.4.1 현황

IOPP 필름은 튜블라 필름성형을 이용한 동시 2축 연신법으로 종방향의 연신과 횡방향의 연신을 동시에 행하는 방법으로 축차 2단 연신법와 비교해 MD, TD 방향의 물성밸런스가 맞는 필름을 얻을 수 있다. 그러나, 이러한 성형법은 기계장치의 특성상 가공속도가 떨어지는 결점이 있어 텐터프레임 방식에 비해 상업적으로 실용화가 확대되지는



(a) Center Feed Type

(b) Side Feed Type

(c) Spiral Type

그림 9. IPP 필름 성형용 다이의 종류.

못한 편이다. 국내 IOPP 필름은 거의 대부분이 수축 포장에 사용되는 것으로 요쿠르트, 용기면, 도서, 앨범, 문구류와 기타 잡화품에 적용되고 있다. PP 수축필름은 국내에서 서통, 위더스케미칼, 율촌화학 등 3개 업체에서 생산하고 있으며, 생산능력은 연간 4,000 MT수준이나 PP 수지단독으로 사용하기보다는 LLDPE와 같은 개질수지와의 공압출 혹은 블렌드를 통하여 물성과 가공성을 개선하는 방향으로 생산이 이루어지고 있다. PP 수지로서는 투명성, 열접착성, 수축성 등을 고려하여 PP 랜덤 삼원공중합체가 주로 적용되고 있다.[12]

2.4.2 IOPP 필름의 성형

IOPP 필름의 튜블러 연신은 공정면에서 일반 인플레이션 필름의 성형과 달리 하향식으로 성형된다. 또한 연신 오븐에서 순차적으로 연신되는 텐터 프레임방식의 필름과 달리 일차적으로 압출된 튜브를 냉각하고 다시 가열하는 과정을 거친 다음 대기중에서 인플레이션에 의해 동시에 양방향으로 연신되는 특징을 갖고 있다. IOPP 필름의 개략적인 성형법은 **그림 10**과 같다. IOPP 필름의 첫 단계인 연신용 시트 성형은 인플레이션 필름에서와 동일하게 원형 다이에서 수지가 튜브형으로 용융 압출된다. 이러한 원형 다이는 필요한 경우 다층 필름성형이 가능한 형태나 내부 냉각이 가능한 형태 등도 사용된다. 또한, 용융되는 수지의 두께 편차를 줄이고 이러한 편차가 편중되는 것을 막기 위하여 압출기에서부터 회전식을 사용하는 경우도 있다. 압출되는 튜브의 두께는 가공기기와 필름두께에 따라 다르나 대개 0.4~1 mm 정도이다.

튜블러 필름의 냉각은 주로 melt tube를 냉각 수조의 롤을 거치게 하여 튜브의 외부가 물에 접촉됨으로 이루어진다. 이러한 냉각 공정은 최대한 균일하게 이루어져야만 후공정에서의 두께 편차를 줄일 수 있다. 연신을 위한 필름의 예열은 냉각된 튜브를 가열오븐내의 히터 (주로 Radiant Heater)로 통과시킴으로 이루어진다. IOPP에서는 텐터프레임 방식과는 달리 MD, TD 연신이 동시에 이루어지지만 각방향으로의 연신을 주도하는 힘은 별개이다. MD 방향으로의 연신은 bubble을 형성하고 있는 두개의 닙롤의 속도차에 의해 이루어진다. 반면에 TD 연신은 IPP 필름에서와 같이 bubble내의 공기 압력에 의해 전체 방향으로 이루어진다. 열고정과정은 연신 필름의 내부 수축을 줄이기 위한 공정이나 최종용도가 수축필름의 경우는 생략하기도 한다.

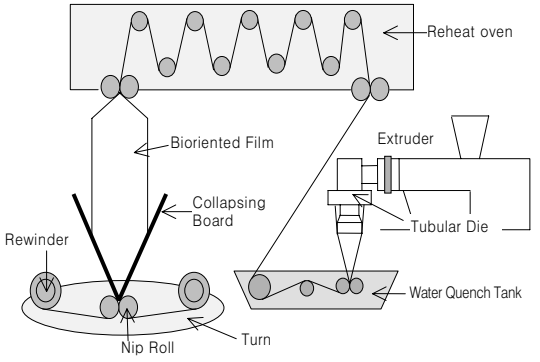


그림 10. IOPP 필름 성형공정.

3. 폴리에틸렌 필름

3.1 고밀도 폴리에틸렌 필름

3.1.1 현황

LDPE에 비해 중합압력 (1,000~3,000기압)이 현저하게 낮은 중저압 중합공정 (30~50기압)에서 지글러-나타 촉매를 사용하여 밀도 0.94~0.97 범위의 폴리에틸렌을 고밀도 폴리에틸렌으로 칭하며 이를 이용한 필름은 높은 강성, 충격강도, 내한성, 내약품성 등이 뛰어나 여러 용도로 사용 중이며 주요용도는 강한 인장강도를 활용한 쇼핑대, 쓰레기 봉투이며 농업용으로는 멀칭용, 가정에서는 주방용으로 사용되고 있다. 하지만 밀도가 높아 인열강도가 약해 쉽게 파열되는게 단점으로 지적된다. 국내 HDPE 필름 수요량은 연간 152,000 MT 정도로 추산된다.[14]

3.1.2 HDPE 필름의 성형

일반적으로 공냉식 냉각법인 상향식 인플레이션 방식이 사용되며 원형 다이를 통하여 용융체를 수직선상의 튜브를 만든 후 공기 주입하여 Captive Bubble을 만들고 내부공기는 마찰 없는 맨드렐 역할을 하며 인취롤의 속도에 따라 두께를 조절하여 필름을 성형하는 방법이다. 수지로서는 분자량분포가 넓고 MI가 낮아 용융장력을 높힌 MI 0.03~1.0, 밀도 0.95 내외의 그레이드가 사용된다. 너무 높은 분자량은 압출 불량이 문제가 되므로 바이모달 (Bimodal) 방식으로 중합하여 수지의 분자량분포를 넓히고 공중합을 통한 분지를 도입하는 방법이 HDPE 생산업체에서 사용되고 있다. 다이는 앞에서 언급한 스파이럴 타입이 일반적이며 가공온도, 블로업비, 권취속도, 냉각 등의 가공조건의 변경을 통해 안정된 필름을 성형한다. **그림 11**에 상향식 인플레이션 필름공정을 보였다.

3.2 저밀도 폴리에틸렌 필름

3.2.1 현황

1933년 ICI사에서 합성에 성공한 후 뛰어난 전기적 성질이 주목되어 군사용 레이더의 절연재료로서 사용되다가 각종 포장재를 중심으로 용도가 확대된 범용수지의 하나다. 필름의 성형성이 뛰어날 뿐만 아니라 열접착, 충격강도, 광학적 성질, 방수성, 유연성, 전기적 성질, 내약품성이 우수하여 필름용도로 가장 널리 사용되고 있다. 주요용도로는 일반포장용, 농업용, 수축필름용, 종이코팅용 등이 있으며 특히 장쇄분지를 가지고 있어 용융장력이 뛰어나 코팅용도에는 타수지의 대체가 용이하지 않다. 투명도가 요구되는 일반 경포장으로는 MI 2-4, 밀도 0.920~0.925 정도의 제품이 사용되고 자동포장기나 섬유포장용에는 밀도가 높은 제품이 요구된다. 파대강도가 요구되는 중포장용도로는 MI 0.5수준, 하우스용 등의 농업용으로는 주로 기계적 강도의 점에서 MI 1-2, 밀도 0.920~0.924 정도에서 내후성을 고려한 제품이 사용되고 있다. 압출코팅용으로는 연전성과 네크인으로 대표되는 가공성과 기재와의 접착성, 열접착성, 투과성 등을 고려하여 MI 2-15, 밀도 0.915~0.930의 범위의 제품이 사용되고 있다. 국내 수요량은 2002년 기준 232,000 MT 수준으로 조사되고 있다.[14]

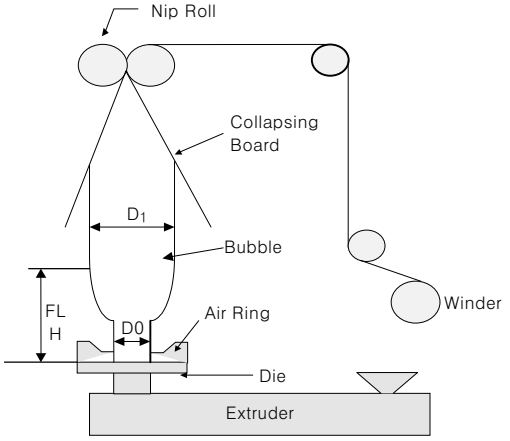


그림 11. 상향식 공냉식 인플레이션 필름 성형기.

3.2.2 LDPE 필름의 성형

필름의 성형법으로는 인플레이션법과 T-Die법이 사용되며 T-Die법은 일반용, 농업용 일부에서 사용되며 대부분은 LDPE의 용융장력을 활용한 공랭식의 인플레이션 필름방식이 널리 사용된다. T-Die 성형법의 일종인 압출코팅, 라미네이션 방법은 고무롤과 금속롤에 의해서 기재와 용융 LDPE를 압착시키는 방법이 일반적이다. 접착개량을 위해서 기재가 되는 종이, 플라스틱 필름, 금속박에 방전처리하거나 앵커코트가 널리 실시된다. 압출코팅에서는 기재와의 접착성을 높이려고 290~330 ℃의 고온에서 압출되는데 기계적 물성을 향상하기 위해 저온압출할 수 있는 방법이 연구되고 있다.

3.3 선형 저밀도 폴리에틸렌 필름

3.3.1 현황

선형 저밀도 폴리에틸렌은 중합촉매를 사용하여

저압에서 에틸렌과 알파올레핀을 공중합하여 제조되어 분자량분포가 좁고 일정한 길이의 단쇄분지를 가지며 장쇄분지가 없는 수지이다. 선형저밀도 폴리에틸렌 필름은 일반 폴리에틸렌의 특성과 더불어 파단강도와 신율이 높고 인열강도, 타공강도, 열접착성, 열간접착성이 우수하여 기존의 저밀도 폴리에틸렌이 적용이 어려운 스트레치 필름, 오버랩 필름, 특수 열접착용도에 사용이 증가하고 있다. 2002년 기준으로 필름용도로 279,000 MT 정도의 수요를 보이고 있다.[14]

3.3.2 LLDPE 필름의 성형

분자량분포가 좁아 용융압출시 부하증대, 발열이 큰 단점이 있으며 용융장력이 작아 인플레이션 필름 성형시 필름의 bubble이 불안정해지기 쉬워 LDPE 수지를 블렌드성형하는 경우가 많다. 그런 이유로 단독성형시는 고속성형이 가능한 T-Die법을 사용한 캐스팅방법이 많이 사용되고 있다.

4. 결론

본고에서는 폴리프로필렌을 중심으로 폴리올레핀 필름에 대한 개괄적인 시장현황과 용도 및 성형법에 대해서 소개하였다. 전반적인 폴리올레핀 필름시장의 경쟁이 심화되는 가운데 최근 중국의 BOPP 필름의 생산량이 최신 대형설비의 도입과 선진국과의 기술제휴를 통해 비약적으로 증가하여 국내업체의 대중 수출량이 감소하고 아시아 국가간 경쟁이 심화되고 있는 실정이다. 이런 상황에서 경쟁우위를 가지기 위한 노력의 일환으로 삼영화학의 경우 중국의 현지에 신규로 BOPP 필름사업에 투자하여 금년 가동 예정이며 일부업체는 현재 인수합병을 통한 경영합리화를 추진하고 있고, 기타 국내의 필름업체들도 신규 고부가가치 용도개발, 생산성 향상을 통한 원가절감, 품질개선 등 각 사별로 나름의 해결방안을 모색 중이다.

참고문헌

1. J. W. Park, *Chemical J. Weekly*, **12**(21), 12 (2002).
2. H. S. Chang, *The monthly packaging world*, **42**, 120 (1996).
3. J. J. Chalmers, *The monthly packaging world*, **79**,174 (1999).
4. K. R. Osborn and W, A, Jenkis, "Plastic Films", p. 39-74, p. 179, Technomic Publishing, Pennsylvania, 1992.
5. J. Ulcej, "Polypropylene", ed. by J. Karger-Cocsis, p. 122, Klumer Academic Publishers, 1999.
6. Mitsubishi Heavy Industries Introduction Manual, 1997.
7. H. W. Park, *The monthly packaging world*, **66**, 122 (1998).
8. K. Ito, *et al., Plastic Science*, **3**, 134(2001).
9. H. Bongaert, "Plastics Extrusion Technology", 2nd ed., ed. by F. Hensen, p.161-221, Hanser Publisher, Munich Vienna, New York,1997.
10. M. Chanda and S. K. Roy, "Plastics Technology Handbook", 2nd ed., p.175, Marcel Dekker, New York, 1993
11. C. Rauwdndaal, "Polymer Extrusion", p. 442, Hanser Publishers, New York, 1985
12. S. K. Yoon, *The monhly packaging world*, **68**, 120 (1998).
13. H. J. Park, *The monthly packaging world*, **66**, 130 (1998).
14. J. W. Park, *Chemical J. Weekly*, **1**, 14 (2003).