

기능성 필름의 용도와 가공기술

김용원 · 김성원

1. 서론

기능성 고분자 재료는 기계적, 전기적, 광학적, 열적 특성 등 뛰어난 성능뿐만 아니라 후가공이 용이하기 때문에 오늘날 다양한 산업 분야에서 널리 사용되고 있다. 그 중에서도 고분자 자체의 기능성과 가공기술을 조합한 기능성 고분자 필름은 첨단 전자부품으로부터 식품, 의료/의약품, 포장재, 건축 자재 등 넓은 범위에 걸쳐 상품개발에 빠뜨릴 수 없는 재료로서 최종 상품의 고기능화/부가가치화에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

기능성 필름과 일반 플라스틱 필름의 범위를 명확하게 구분할 수는 없으나 통상적으로 한가지 이상의 기능을 지니고 있는 것을 기능성 필름이라 말한다. 기능성 필름은 대부분 전자부품 산업, 연포장 (Flexible Packaging) 산업, 일반 산업 등의 분야에서 재료로 활용되고 있다. 예로 연포장 산업에서는 플라스틱 필름을 가공하거나 인쇄하여 다시 식품이나 의약품, 기타 포장재로 사용되고 있으며, 전자부품 산업에서는 특수소재를 라미네이팅하거나 가공하여 각종 전자제품의 부품으로 사용되고 있으며, 그 외에도 각종 코팅이나 표면처리, tinting 등의 가공을 통해 윈도우나 그래픽아트 등 다양한 산업 분야에서 중요한 재료로 부각되고 있다.

기능성 필름의 최근 기술동향은 이질적 소재간의 결합을 통한 복합화라는 특징을 보이고 있다. 이는 식품이나 의약품 산업 그리고 전자 산업 분야에서 다양한 물성이 요구되고 있기 때문이다. 이러한 복합화의 경향을 세분해 보면 필름성형 이전

에 타 소재를 섞어 새로운 물성을 발현시키는 방법이 있으며 (복합수지화), 생봉피성 필름이나 항균성 필름 등이 이에 속한다. 또 다른 하나의 경향으로는 두 가지 이상의 소재를 적층하거나 필름에 알루미늄 등을 증착, 또는 종이 등을 라미네이팅하여 복합화하는 것으로서 다층 필름이나 알루미늄 증착 필름, 종이에 필름을 코팅한 paste board 등이 있다.

최근에는 각종 소재의 코팅이나 증착 등 표면처리 기술이 고도화해 가면서 기존 대비 기능성 필름의 적용 분야가 한층 더 확대되고 있다. 액정 디스플레이 생산에 필수적인 위상차 필름이나 편광 필



김용원

1978 서울대학교 섬유공학과(학사)
1983 Georgia Tech 고분자공학(석사)
1989 Case Western Reserve University 고분자공학(박사)
1989~ SKC(주) 필름연구소장
현재



김성원

1986 아주대학교 화학공학과(학사)
1988 아주대학교 화학공학과(석사)
1991~ SKC(주) 필름연구소
현재 책임연구원

Technology and Application of High Performance Films

SKC (Yongwon Kim and Sungwon Kim, SKC Co., Ltd., #911, Chongja-1 dong, Changan-gu, Suwon, Kyonggi-do 440-301, Korea) e-mail:ykim@mail.skcc.co.kr, swonkim@mail.skcc.co.kr

름 등의 광학 기능 필름, 전자제품의 소형화/경량화 요구에 대응되는 일렉트로닉스용 필름, 가공 식품 및 신선식품의 위생 보존을 위한 차단성 필름, 주택/건축물의 에너지 절약에 기여하는 적외선 차단 필름, 환경 문제 해결의 실마리를 제공하는 생분해성 플라스틱 필름 등 수 많은 기능성 고분자 필름은 향후에도 그 적용 범위나 사용량이 계속 늘어날 것으로 전망된다.

본 고에서는 일반적으로 사용되는 범용 고분자 필름에 대한 언급은 가급적 줄이고 21세기 산업의 밑거름이 될 수 있는 기능성 필름의 용도와 가공 기술에 대한 최근 연구 동향에 대하여 다루고자 한다.

2. 기능성 필름의 특성 및 종류

일반적으로 플라스틱 필름의 기능성을 언급할 때 주목하는 기능은 연포장재의 경우 가스 배리어성, 잉크 적성, 방습성, 내약품성, 대전방지성, 생/광분해성, 수축성, 항균성 등을 들 수 있으며, 전자부품 용도의 경우에는 내열성, 난연성, 치수안정성, 절연성, 투명성 등이 요구되어 지는데, 기능성 필름은 대체로 이러한 기능들을 한 가지 이상 지니고 있다.

기능성 필름의 원료로는 기본적으로 PE, PP, PVC, PS, PAN, PVA, PVDC, EVOH 등과 같은 범용 플라스틱과 PA, PET, PC, PEN 등 엔지니어링 플라스틱, PPS, PI 등 슈퍼엔지니어링 플라스틱에 이르기까지 다양한 원료가 사용되고 있으며, 물성을 보완하기 위하여 여러 가지 첨가제를 섞기도 하고, 때로는 독특한 기능의 발현을 위하여 특수 가공 방법을 이용하기도 한다. 국내에서는 기능성 필름으로 PET, OPP, CPP, Nylon 필름이 주로 사용되고 있으며 그 외에 PEN, PC, OPS, PI 등이 사용되고 있다. 국내에서 주로 사용되는 기능성 필름의 일반적인 특성은 표 1에 표시하였다.

위에 언급된 필름들은 단독으로 사용되는 경우도 많이 있으나, 흔히 기능성 향상을 위하여 각종 코팅이나 코로나, 플라즈마 처리, 공압출을 이용한 다층화, 타 소재와의 공중합 등을 통하여 부가적인 기능성을 부여하고 있다.

3. 필름의 제조방법

여러 산업분야에서 기초 재료로 사용되는 PET,

OPP, CPP, Nylon, PC 등 기능성 필름의 생산시 가장 보편적으로 사용되는 제조공정은 축차 2축연신법 (그림 1), Blow 성형법 (그림 2), 압출 Casting법 (그림 3) 등이 있다.

그림 1의 축차 2축연신 설비는 PET와 OPP, Nylon의 2축연신 필름 생산에 사용되고 있으며, 그림 2의 Blow 성형기는 PE, PVC를 비롯하여 IPP 필름 생산에 사용되고 있다. 그림 3에 나타난 Casting 설비는 CPP 필름이나 Nylon 무연신 필름, PC sheet의 생산에 사용된다.

그 외에도 PI, PC, PVA의 경우에는 Solution Casting법을, PTFE, UHMPE의 경우에는 Ski-ving법을 사용하여 필름을 제조하고 있다. 필름 제조 방법은 고분자 자체의 결정성, 성형성, 물리적 특성이나 용도 등에 따라 그 공정을 달리하고 있으며 부가적인 기능성을 부여하는 방식에도 다소의 차이는 있으나 In-line 또는 Off-line으로 표면처리 하거나 다층화하는 방법이 적용되어 기능성 필름의 고기능화/고부가가치화 요구에 대응하고 있다.

표 1. 기능성 필름의 주요 물성

구분		PET	PEN	OPP	Nylon	PC	PI
비중	g/cm ³	1.4	1.4	0.91	1.15	1.15	1.4
파단강도	Kgf/mm ²	22	28	19	22	10	18
파단신도	%	120	100	110	100	140	70
인열강도	Kgf	22	20	15	20	10	8
흡수율	%	0.3		0.01	0.05	0.05	2.2
산소투과도	cc/m ² /hr/atm	3	30	100	2	30	25
투습도	g/m ² /day/atm	28	2.5	8	130	60	100
사용온도	℃	-70~150	-70~180	-40~120	-70~130	-90~130	-150~250
최소두께	μm	0.7	1	3	10	1.5	7.5
유전율	0.1 kHz, 25 ℃	3.2		2.1	3.8	3.0	3.5
파괴전압	kV	6.5	10	6.0	3.0	5.0	14

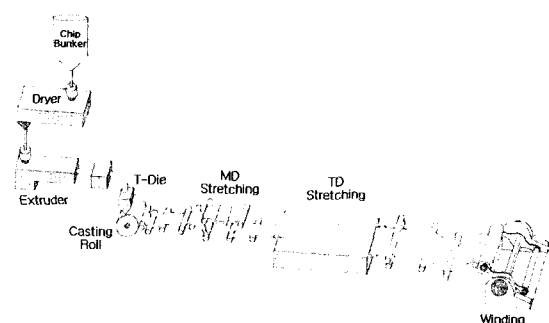


그림 1. 축차 2축연신 필름 제조공정.

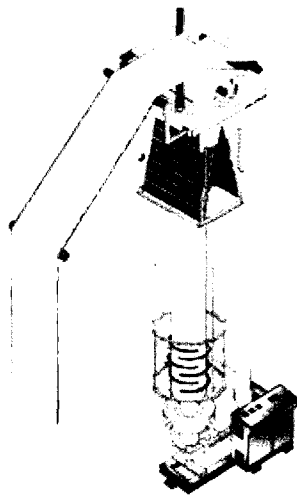


그림 2. Blown 필름 제조공정 (Swallow Machinery Ltd. 자료).

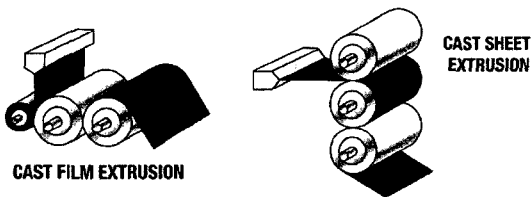


그림 3. Casting 필름 제조공정 (American Roller Ltd. 자료).

4. 기능성 필름의 용도 및 가공 기술

기능성 필름의 주 용도로는 일렉트로닉스용, 식품·비식품 포장용, 원도우·이형 등의 일반 산업용, 그래픽용, 정보 기록 매체용 등으로 크게 구분할 수 있다. 이들 기능성 필름들은 소재별 특성에 따라 사용되는 산업분야에는 다소 차이가 있으나 연포장 용도에서 가장 폭 넓게 사용되고 있으며, 최근에는 일렉트로닉스 용도의 수요가 급증하고 있다. 따라서 일렉트로닉스 용도와 포장용도에 있어서 기능성 필름의 용도 및 가공기술을 중심으로 고찰해 보고자 한다.

4.1 일렉트로닉스용

휴대전화의 급속한 보급이나 평면 디스플레이의 보급 확대로 상징되듯이 최근의 정보통신기기를 중심으로 한 각종 전자 제품의 고기능화 흐름은 그 추세가 더욱 더 가속되고 있다. 이러한 고기능화 경향은 부품의 소형화, 박막화, 경량화와 더불어 제품 자체의 특성 및 품질 향상에 의해 발전되고 있다.

이러한 관련산업의 발전에서 전자부품의 소형화를 소재 측면에서 담당하고 있는 기능성 플라스틱 필름, 시트, 테이프 재료의 수요 및 그 중요성은 더욱 더 높아지고 있으며, 이를 이용한 2차 가공기술도 비약적으로 발전되고 있다.

각 부품산업별 기능성 필름의 사용 용도와 가공 기술을 살펴 보면 다음과 같다.

4.1.1 디스플레이 관련

최근 TFT-LCD나 PDP, EL 등 평면 디스플레이의 수요가 증대되면서 이에 필요한 플라스틱 필름이나 가공 제품의 개발과 상업화가 본격화되고 있다. 주요 소재로는 PET, PC, TAC, PES 등의 필름이 사용되고 있으나, 필름 자체로 사용하기 보다는 특수 가공에 의해 기능성을 부여한 필름이 사용되고 있다 (그림 4 참조).

그 외에도 평면 디스플레이 관련 기술 발전과 고기능화를 위한 연구개발이 진행됨에 따라 시야각 확대, 반사방지(AR), 반형(AG), 휘도상승 필름 등 광학 기능 필름과 백라이트 주변의 기능성 필름 사용량이 급속히 증가되고 있다.

21세기 IT 산업과 관련하여 지속적인 성장이 예상되는 분야로 국내외 대학, 국책 연구소 및 기업체 연구소 등에서 집중적으로 가공기술을 연구 개발하고 있는 상황이다.

4.1.2 연성회로기판 (FPCB)

연성회로기판 (Flexible Printed Circuit Board)은 에폭시 혹은 페놀 등의 열경화성 수지 sheet에 동

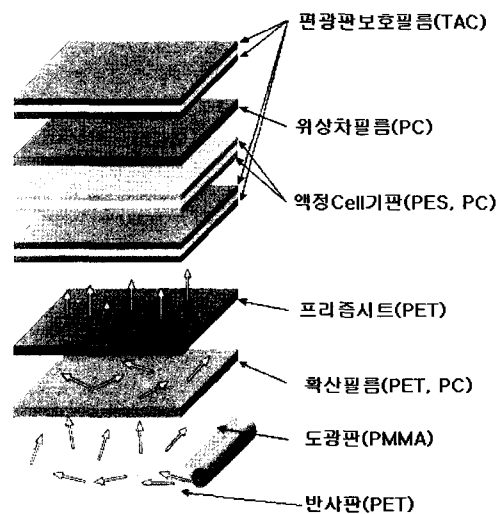


그림 4. TFT-LCD 패널의 플라스틱 필름 사용 예.

박을 적층한 경성회로기판 (Rigid Printed Circuit Board)과는 달리 그 두께가 매우 얇고, 굴곡이 자유로우며, 무게가 가볍기 때문에 작은 공간에 효율적인 배열이 가능하고, 소형/경량화 설계가 가능하며, 디자인의 자유도가 매우 높은 프린트 배선기판으로서 전자제품의 경박 단소화 및 디지털화 추세에 따라 그 수요가 매년 급격히 증가하고 있다.

주요 용도로는 노트북 컴퓨터, 카메라, 휴대전화, 각종 AV 기기 등이 있으며 특히, 소형 정밀 전자 기기류에 많이 사용되고 있다. 우리나라의 경우 휴대전화, TFT-LCD 등 정보통신기기의 세계적인 공급기지로 발돋움하고 있기 때문에 연성회로기판의 수요는 매년 15% 이상의 시장 성장율을 나타낼 것으로 전망된다.

연성회로기판에 사용되는 플라스틱 필름으로는 폴리이미드 필름이 약 80% 정도를 차지하고 있으며, 그 외에는 PET, PEN 등의 필름이 사용되고 있다. 연성회로기판에 사용되는 필름의 특성중 가장 중요한 것이 납땀과 관련된 내열성으로 플라스틱 필름 중 내열온도가 가장 높은 폴리이미드 필름이 이러한 특성때문에 가장 많이 사용되고 있으며, 그 외에 저전압 용도에서 PET, PEN이 사용되고 있다. 폴리이미드의 경우 고분자의 특성상 불연재료로서 전자제품에 사용되기에 문제가 없으나, PET 또는 PEN 등의 경우에는 난연제를 첨가하여 UL이 정하는 난연규격을 충족시키고 있다.

4.1.3 콘덴서

콘덴서에 사용되는 플라스틱 필름 소재로는 OPP, PET, PPS, PC 등이 있으나 OPP와 PET가 가장 보편적으로 사용되고 있으며 PPS와 PC는 특수 용도에 사용되고 있다.

일반적으로 PET를 기재로 한 콘덴서는 저가격의 이점이 있으나, 오차가 대략 $\pm 5\%$ 에서 $\pm 10\%$ 정도로 높은 정밀도는 기대할 수 없다. 따라서 높은 정밀도가 요구되는 경우에 PET 콘덴서 보다 OPP를 기재로 한 콘덴서가 사용된다. 그 외에 고기능성이 요구되는 전자제품의 경우에는 PPS를 기재로 한 콘덴서가 사용되는데, PPS 고분자 자체의 내열성과 전기적 특성으로 인해 고주파 용도나 적층형 콘덴서 분야에서 그 사용량이 증가되고 있다. **그림 5, 6**에 필름 소재별 콘덴서의 특성을 표시하였다.

일렉트로닉스 분야 전반에 걸친 경량, 소형화와 마찬가지로 콘덴서용 필름의 고기능화에는 박막화 기술이 가장 중요한 기술로 여겨지고 있다. PET의

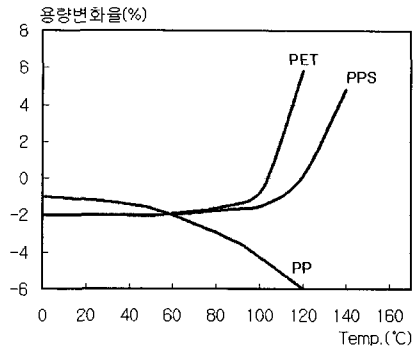


그림 5. 필름별 정전용량과 온도 특성.

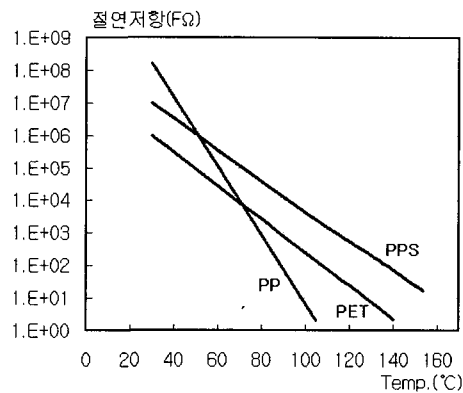


그림 6. 필름별 절연저항과 온도 특성.

경우 과거 1 μm 대 두께가 기술의 한계로 여겨졌으나, 최근에는 0.7 μm 의 필름까지 상용화되었으며, OPP의 경우에는 3 μm , PPS의 경우에는 1.5 μm 의 박막 필름이 상용화되어 있다. 이러한 박막화 기술의 발전은 고분자의 물성 개질 연구, 연신 설비의 정밀화 및 공정기술 개발 등에 의하여 뒷받침되고 있다.

4.1.4 기타

일렉트로닉스용 기능성 필름은 위에 언급된 용도 이외에도 고내열성이 요구되는 분야에서 사용되는 절연용 필름, 냉동기나 에어컨용 저울리고머 필름, 멤브레인 스위치, 플라이백 트랜스포머용 특수 필름 등 여러가지 용도에 다양한 소재가 사용되고, 각각의 용도에 알맞게 대전 방지성이나 인크적성, 저수축성 등의 기능성을 부여하고 있다.

4.2 포장용

포장용 기능성 필름의 용도별 수요 구조를 보면 대체로 식품포장 분야에 가장 많이 사용되고 있으며, 그 다음으로 의약 및 의료기구 포장, 그리고 나

머지는 일반 잡화, 화장품 포장 등의 순으로 많이 쓰이고 있다.

연포장용 플라스틱 필름의 세계시장 규모는 2002년 기준 약 310만 톤으로 추정되고 있다. **그림 7**은 플라스틱 필름 종류별 사용량을 나타낸 것으로 이 중 OPP가 57%를 차지하고 있으며, 이어서 PET가 약 24%, 그 외에도 PS계, Nylon계 등이 약 10%, shrink 용도가 약 10%를 차지하고 있다.

포장용 기능성 필름으로 가장 많이 사용되는 소재는 OPP 필름으로 인쇄용, 라미네이트용, 테이프용, 증착필름용, 랩용, 봉투용, 섬유 포장용 등 다양한 용도에 사용되고 있으며, OPP 필름의 대부분인 약 91%가 포장용으로 사용되고 있다.

CPP 필름의 경우에는 비포장용이 14.3%이고, 그 외에는 대부분 포장용으로 쓰이고 있는데 그 중 식품포장용의 비중이 절반을 넘으며 나머지는 의약품용, 합지용, 증착용 필름의 기재로 사용되고 있다. PET 필름의 경우에는 비포장용이 약 73%인데 이는 PET 필름이 자기기록용, 콘텐서용, 전기절연 등 전기전자용 뿐만이 아니라 기타 산업용 수요가 많기 때문이다. Nylon 필름의 경우에는 냉동식품이나 진공포장용 식품의 수요가 상대적으로 매우 높

으며, 향후에도 고급 식품 포장재로서 수요가 지속적으로 늘어날 것으로 예상되고 있다. 위에 언급한 포장용 기능성 필름의 국내 시장 상황은 **표 2**와 같다.

기능성 필름은 고분자 소재별로 물리적 특성에 차이가 있지만 용도별로 요구되는 물성이 다르기 때문에 소재별로 한 가지의 기능성만을 가지고 있는 것이 아니라, 그 적용 용도에 맞게 여러 가지의 기능성을 가질 수 있다. 또한 수요 측면에서 볼 때에도 동시에 여러 가지 기능성이 요구되는 경우가 많기 때문에 어떤 소재가 한 용도에 절대적인 우위를 점하고 있다고는 말하기 어렵다.

기계적 특성이나 열적 특성 등 물성 측면에서 다소 불리하더라도 가공성, 공정성이나 가격상의 이점 때문에 사용되는 수도 있고, 이와는 반대로 공정성이나 가격이라는 측면에서 다소 불리함에도 불구하고 사회적, 환경적인 차원에서 종합적으로 유리하게 되어 대체재로 사용되는 경우도 있다. 한 예로 식품포장용 랩 분야에서 폴리올레핀계 필름은 PVC 필름에 비해 물성이나 가격적인 면에서 불리함에도 불구하고, 환경적인 측면이 강조되어 PVC를 빠르게 대체하고 있는 것이 그 좋은 예라고 할 수 있다.

이와 같이 플라스틱 필름 소재간의 경쟁관계는 기능성 필름 산업에서 두 가지 경향을 보이고 있다. 하나는 소재간의 경쟁에서 확실한 경쟁우위를 점하고 있는 재질은 매우 빠른 성장을 보이고 있는 반면에 경쟁력을 상실한 소재는 수요가 감소하고 있다는 점이고, 또 다른 하나의 경향은 각 소재별 단점을 보완하고 장점을 살리기 위하여 기능성 필름의 복합화 경향이 나타나고 있다는 것이다.

예를 들어 배리어 필름으로 가장 보편적으로 사용하고 있는 PVDC 코팅 필름의 경우, 공압출을 통한 다층 필름이나 환경대응과 관련하여 PVA, EVOH 코팅 필름, 알루미늄 증착 필름 등으로 대체되기도 한다.

표 3에 기능성 포장용 필름의 종류와 용도에 대해 표시하였다.

5. 기능성 필름의 최근 연구 동향

21세기 산업동향은 크게 NT, IT, BT, ET 4개의 축으로 성장 발전할 것으로 예견되고 있다. 이중

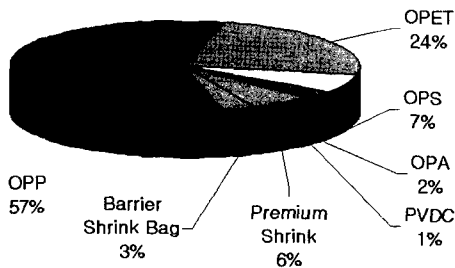


그림 7. 플라스틱 필름 종류별 세계시장 (Oriented Films for Flexible Packaging, 2002).

표 2. 국내 4대 기능성 필름의 용도 및 시장 규모 (2001)

구분	OPP(톤, %)	CPP(톤, %)	PET(톤, %)	Nylon(톤, %)
포장용*	94,700 (72%)	28,365 (86%)	18,000 (12%)	11,520 (91%)
기타포장용	4,800 (4%)		21,700 (15%)	1,120 (9%)
비포장용	31,300 (24%)	4,749 (14%)	109,800 (73%)	
계	130,800 (100%)	33,114 (100%)	149,500 (100%)	12,640 (100%)

*포장용 : 인쇄, 라미네이트, 증착, 랩핑, 테이프, 라벨, 봉투 등.

표 3. 기능성 포장용 필름의 종류와 용도

구분	필름의 종류	기능성	용도
배리어 필름	· PVDC 코팅- OPP, PET, Nylon, 셀로판 등 · 알루미늄, 실리카 증착 - PET, Nylon, OPP · EVOH, PVDC 공압출 · 비염소계 코팅 · 이축연신 PVA	가스 차단성, O ₂ , CO ₂ , 습기, N ₂	식품, 용기 포장
라벨용 수축 필름	PVC, OPS, PET계, PP계 등	열수축성	용기 라벨
이인열성	HDPE, OPP, Nylon, PET계	인열 직전성	식품, 의약품 등의 용기나 봉투 포장
랩 필름	PVDC, Polyolefin	공기 차단성, 물, 열에 대한 저항성	식품포장(전자레인지, 냉장고)
선도유지필름	OPP, OPS	에틸렌제거, 수분증발억제, 산소투과억제	청과물 포장
생분해성필름	PE+ 전분 지방족 폴리에스테르	플라스틱에 의한 토양 오염 방지	쓰레기 봉투, 농업용 각종 제품 포장재
배달로센계	LLDPE	열봉합성	식품, 비료, 곡식 포장
PAN 필름	PAN 단독 또는 PE, PET 공중합	비흡착성, 보향성, 가스배리어성, 내약품성, 이인열성	식품, 의약품 포장
기타 연포장	PE, PVC, PVDC, PS, EVOH, 셀로판, PVA 등		

표 4.

IT(정보통신)	내열성, 전기적 특성이 우수한 소재 및 필름
NT(Nano Tech.)	나노 복합체 기술을 활용한 고기능 필름
ET(Energy & Environment)	에너지 절감형 소재/필름, 생분해성 소재/필름

고분자 소재 필름과 관련하여 주목되고 있는 내용은 표 4와 같다.

전략적인 측면에서 사업화가 가능한 분야는 향후 수요 증대가 예상되면서 시장의 규모가 일정 수준 이상으로 형성될 것으로 보이는 분야 및 기술 장벽이 높아 후발업체의 추격이 어려운 분야 등을 들 수 있다.

위의 기준을 감안하여 사업화가 유망한 분야를 살펴보면 일렉트로닉스용 필름 가공분야와 포장용도 중 고차단성을 필요로 하는 고기능성 선도유지 필름, 실리카 증착필름 분야나 환경 대응 생분해성 필름 등을 들 수 있다.

5.1 일렉트로닉스용

일렉트로닉스용 기능성 필름 분야에서는 평면 디스플레이와 관련된 광학 기능 필름과 제품의 경량, 소형화에 중요한 역할을 담당하는 연성회로기판, 콘덴서용 베이스 필름의 중요성이 증대되고 있다. 특히, 평판 디스플레이 관련 기능성 필름은 수요가 급속히 증대될 뿐만 아니라 필름 자체의 기능성과 가공기술이 접목된 고기능, 고부가가치 필름으로 그 기술 개발 동향을 살펴보면 다음과 같다.

5.1.1 광학 기능 필름

최근의 일렉트로닉스 제품을 살펴보면 전자기술과 광학기능과의 결합이 증가하고 있다. 대표적인 제품이 액정 디스플레이로서 컴퓨터용을 시작으로

하여 비디오 카메라 등은 소형, 박막 칼라 액정 모니터를 탑재하고 있으며, TFT-LCD, PDP 등은 대형화되는 추세이다. 따라서 여기에 소요되는 플라스틱 필름과 그 가공기술 또한 급속한 발전을 이루고 있다. 국내에서도 차세대 이익 창출을 위한 핵심 분야로 여겨져 기존 화섬업계를 중심으로 집중적인 투자 및 연구개발이 진행되고 있다.

광학 기능 필름은 투명성을 갖거나 편광, 확산 등의 특수한 광학 기능을 보유하여야 한다. 이러한 기능성을 발현시키기 위해 기재인 플라스틱 필름의 경우 고기능성 투명 필름, 내열 필름 등의 연구개발이 진행되고 있다. 또한 필름 가공기술에 있어서는 기능별, 용도별로 다양한 기술이 적용되고 있으며 또한 지속적으로 발전되고 있다. 이들 기술을 정리해 보면 다음과 같다.

(1) 소재의 다양화

광학 기능 필름의 기재로 사용되는 플라스틱 필름은 고투명성의 PET, PC를 비롯하여 편광판 용도에는 TAC, PVA 필름이, 액정 주변에는 PES, PC 필름 등이 주류를 이루고 있다. 최근에 개발된 소재로는 기존 필름 대비 내열성/투명성이 뛰어난 싸이클로올레핀계 (COC) 필름이 상용화되어 평판 디스플레이 관련 고기능성 필름으로 전개되고 있다.

(2) 가공기술의 발전에 따른 고기능화

평판 디스플레이에 사용되는 기능성 필름은 크게 편광판용 필름과 시야각 확대나 위상차, 반사방지 등의 광학 기능 필름 및 백라이트 주변 장치에 사용되는 필름으로 구별된다. 3M, Fuji, Sumitomo 등 세계적인 일류 회사들이 자체적인 가공 기술력을 바탕으로 대형화 및 고성능화로 차별화를 꾀하고 있

는 분야로서 고도의 가공기술 Know-How가 필요한 부분이다.

5.1.2 기타 일렉트로닉스용 기능성 필름

전자제품의 박막화 및 소형화에 필수 소재인 연성회로기판이나 콘텐서의 경우 필름의 가공 기술 보다는 기자재인 필름의 영향을 많이 받는 부분이라 할 수 있다.

일반적인 연성회로기판의 경우 폴리이미드 필름이 가장 많이 사용되고 있으며, TAB, COF 등의 반도체 용도로 사용되기 위해서는 내열성과 치수안정성, 흡습성의 개량이 필요하다.

콘텐서 용도의 경우 OPP와 PET 필름이 주로 사용되고 있으나 전자제품의 소형화와 고주파 특성에 맞추어 PPS 필름의 수요가 확대되고 있다. 현재 PET의 경우 0.7 μm 두께의 필름이 상용화되는 등 콘텐서용 필름은 박막화 기술이 고기능화의 핵심기술로 되어 있다. **그림 8**은 동시 2축연신 설비로서 플라스틱 필름의 고강력화 및 박막화 등 고기능화와 관련해서 새로이 주목받고 있는 연신 설비이다.

5.2 포장용

포장 기술분야는 선진국과 개발도상국 및 후진국 간의 차이가 심하다. 선진국의 경우 이미 제조 중심의 포장산업에서 벗어나 정보기술, 생명공학, 환경공학 등 신규 산업과 융합되면서 고부가가치를 창출하는 지식기반 산업으로 전환되어 있는 상태이다. 특히 환경 issue와 관련하여 포장 폐기물은 전세계의 공통적인 문제로 이를 해결하기 위한 연구개발 활동이 활발하며 분해성 필름, 포장 감량화 등 다양한 방법이 제시되고 있다.

포장용 기능성 필름의 최신 주요 issue는 다음과 같다.

- 환경대응 포장 설계 및 개발기술

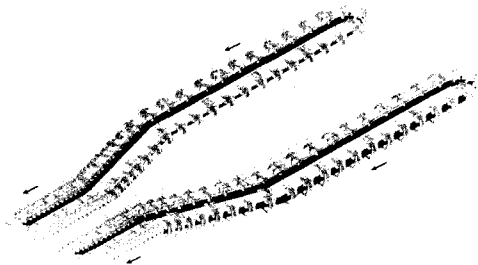


그림 8. 동시 2축연신 설비 (Bruckner Inc. 자료).

- 편리성 (Convenience)
- 안전성 (Security)
- 기능성 포장재 개발

향후 기능성 필름산업에 영향을 미치는 요소 중 소비형태의 다양화, 인구구조의 변화, 유통산업의 다양화, 포장재질의 기술 혁신 등은 긍정적인 요소로, 반면에 공급과잉이나 정부의 환경규제 등은 부정적인 요소로 작용할 것이라 예상된다. 따라서 포장재질의 측면에서 보면 OPP의 경우 현상 유지를, Nylon과 PET 필름의 경우에는 꾸준한 상승세를, PVC의 경우에는 수요 감소를 예상할 수 있다.

현재 가장 각광받고 있는 포장용 필름과 가공 기술 동향은 환경문제와 관련하여 생분해성 필름의 상용화와 탈 PVC/PVDC, 고기능성 관련 고차단성 필름에 관련된 기술 개발이 중요한 과제로 대두되고 있다.

5.2.1 생분해성 필름

생분해성 플라스틱은 현재 의료용 봉합사, 퇴비용 쓰레기 봉투 등 일부 분야를 제외하고는 거의 실용화가 이루어지지 않고 있다. 이에 따라 생분해성 플라스틱이 전체 플라스틱 시장에서 차지하는 비중은 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서도 0.1% 정도의 수준에 머무르고 있는 것으로 추정된다. 실용화가 부진한 가장 큰 이유는 높은 가격 대비 기능이 시원치 않은 것으로 볼 수 있다. 우선 생분해성 플라스틱은 일반 플라스틱 소재에 비해 5~10배 정도 비싼 수준이다. 생분해성 플라스틱이 대량 생산될 경우 가격이 떨어질 소지는 충분히 있으나, 가격경쟁력을 확보하기는 쉽지 않을 것으로 추정된다.

기능상에 있어서도 생분해성 플라스틱은 아직까지 많은 문제점을 안고 있는 것으로 지적되고 있다. 기계적 강도 등 일반적 기능은 물론, 생분해 정도가 주위 환경에 따라 영향을 많이 받기 때문에 아직은 신뢰를 얻지 못하고 있는 실정이다. 그럼에도 불구하고 많은 기업들이 생분해성 플라스틱이 미래의 성장분야로 부상할 것에 대비, 적극적인 투자를 아끼지 않고 있다.

또한 생분해성 필름의 시장 확대는 아직은 미흡하지만, 최근에 Sony 등의 일류 대기업을 중심으로 전자제품의 포장재에 이용하는 등 급성장의 조짐도 보이고 있다.

현재 생분해성 플라스틱이나 필름의 용도 확대를 위해 전략적으로 개발하고 있는 내용은 다음과 같다.

- (1) 생분해성 플라스틱의 기능성 강화 : 생분해성

플라스틱의 기능은 일반 플라스틱 수준에 빠르게 근접하고 있는 것으로 보인다. 이에 따라 일부 업체들은 기능의 우수성을 내세워 시장을 공략하고 있는 상황이다. 예로 PLA 필름의 경우 대표적인 선두주자로서 트위스트 포장용 및 일반 식품포장 용도로 상품화 연구개발이 활성화되고 있다.

(2) 생산설비의 증설 등 생산기술을 통한 가격 경쟁력 확보 : 듀폰, 바스프, 바이엘 등이 본격적인 시장 진출을 시도하고 있는데 이어 일본에서도 미쓰이화학, 쇼와고분자, 다이셀화학 등이 대규모 증설에 나서고 있는 상황이다.

(3) 생분해성 플라스틱 제품과 관련된 인프라 정비 : 생분해성 플라스틱 제품의 정확한 분류와 함께 검사기준 정립, 더 나아가 식별표시 제도의 운영 등 인프라를 정비하기 위한 작업이 한창이다.

5.2.2 고차단성

일반적으로 고차단성 플라스틱 포장 재료라고 하는 것은 그 기준 물성으로 산소투과도의 수치가 8(cc/m².24시간)이하인 경우를 초고급 차단재, 15(cc/m².24시간)이하인 경우를 고급 차단재로 보고 있다. 일반적인 범용 수지의 경우 분자구조상 유리나 금속 캔과는 달리 수증기나 산소 등이 투과되는 결점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위해 차단성이 우수한 소재를 찾게 되었고, 기존의 차단성 재료인 PVA, PAN, Nylon과 더불어 EVOH, PVDC 등이 우수한 차단성을 갖는 포장재료로 알려져 있다. 이러한 재료는 고차단성 필름, 시트, 병 등으로 제품화되어 식품이나 기타 특수용도에 사용되고 있다.

고차단성 플라스틱 포장재료는 단일 필름으로는 포장용으로 사용되기 어려우며 공압출이나 코팅, 라미네이션과 같은 가공에 의해 다층 필름으로 만들어 사용되고 있다. 차단성 플라스틱 포장재료의 최고 기술 보유국은 미국, 유럽, 일본을 들 수 있는데, 이들 국가는 식습관상 육류 및 유가공품의 소비가 국내와는 비교가 되지 않을 정도로 차이가 나며 고차단성 포장재료에 필요한 원료에서부터 기계/설비 및 필름의 생산기술이 전통적으로 잘 발달되어 있고 각 제조사마다 많은 Know-How를 보유하고 있다.

생산기술에 있어 가장 중요한 핵심은 생산기술 보다는 제품 설계라 할 수 있다. 일반 라미네이트 공법에서는 T-Die 코팅이나 드라이 라미네이션에 의해 제품 설계가 결정되는 반면, 공압출에서는 원료

의 조성 및 두께 및 작업조건에 따라 필름의 물성 자체가 변하기 때문이다. 공압출 다층 필름의 생산 기술에 있어 가장 중요한 요소는 산소 차단성이며, 주어진 전체 두께 내에서 산소 및 습기를 최대한으로 차단할 수 있어야 한다. 그러나 산소 차단성을 높이기 위해 차단층의 두께를 높이면 상대적으로 방습성 쪽의 두께가 낮아지며 가격도 올라가게 된다. 결국 차단층 두께를 최소로 설정하되 생산기술에 의한 차단 기능의 극대화가 핵심 기술이라 할 수 있다.

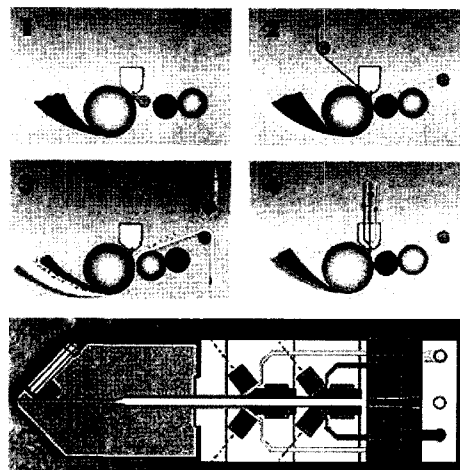
일반적으로 공압출에 의한 다층 필름의 제조공정 및 주요 설비인 die를 그림 9에 표시하였다.

5.3 신규소재

다양한 고기능 소재의 개발이 플라스틱 산업의 발전을 이끌어 왔듯이 기능성 필름 분야에 있어서도 신규소재의 개발 및 이를 활용한 필름화 연구개발이 고기능화 추세에 촉매 역할을 해오고 있다. 예로 90년대에 등장한 메탈로센 촉매계 고분자나 액정 고분자, 열가소성 엘라스토머, 나노 복합체, 고분자 알로이 등을 이용한 필름 개발이나 고기능화가 21세기 기능성 필름 산업을 이끌어 갈 것으로 기대되고 있다. 이들 신소재 기능성 필름의 연구개발 동향을 살펴 보면 다음과 같다.

5.3.1 메탈로센계 고분자

최근 메탈로센 (metallocene) 촉매를 이용한 고분자 개발 및 제조는 50년대 Ziegler-Natta가 올레핀의 저압 중합법을 개발한 이래 최대의 관심을



(1) only cast film extrusion, (2) extrusion coating, 3 layers, (3) extrusion coating, 2 layers (steel to steel), (4) extrusion coating by coextrusion (2~5 layers).

그림 9. 공압출 다층 필름의 생산 설비 (Reifenhauser 자료).

모이고 있다. 메탈로센 촉매계 고분자는 아직은 개발 초기라고 할 수 있으나 향후 고분자 산업에 큰 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되고 있다.

일반적으로 메탈로센 고분자는 분자량 분포가 좁아 필름의 특성을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 예로 필름의 투명성에 영향을 미치는 고분자량의 성분이 적어서 필름의 투명도를 개선할 수 있으며, 단량체와 같은 저분자량 성분도 상대적으로 적어서 수지 특유의 냄새 문제도 개선할 수 있다. 또한 공중합 성능이 좋기 때문에 유연하고 강도가 크며 내환경성이 양호하다.

이러한 특성을 이용하여 메탈로센계 폴리에틸렌으로 기존 제품보다 강도와 투명도가 극히 우수한 필름을 만들 수 있고, 단량체의 함량을 극대화시켜 밀도가 아주 낮은 거의 탄성체 영역의 제품이 개발되었다.

또한 폴리프로필렌의 경우에는 결가지인 메틸기의 위치가 같은 방향으로 배열된 이소탁틱폴리프로필렌(iPP) 또는 교대로 엇갈리게 배열된 신디오택틱폴리프로필렌(sPP) 구조를 선택적으로 만들 수 있다. 특히 폴리스티렌의 경우 일반적인 폴리스티렌은 결가지인 페닐기의 배열이 일정치 않으나 메탈로센 촉매를 사용하면 결가지가 교대로 엇갈리게 배열된 새로운 신디오택틱폴리스티렌(sPS)을 만들 수 있는데 이러한 sPS는 내열 온도가 극히 높고 내화특성이 우수하다.

이 밖에 메탈로센 촉매의 탁월한 공중합 성능을 이용한 노르보넨(norbornene)과 같은 고리형 단량체와 에틸렌을 중합한 사이클로올레핀 공중합체(cycloolefin copolymer, COC)는 무정형의 물질로서 광학 소재로 유망한 고투명 제품이다.

이러한 메탈로센 고분자 제품의 개발은 폴리올레핀과 같은 범용 소재를 고성능화하여 신규 수요를 만들어 낼 뿐 아니라 값이 비싸고 재활용이 어려운 기존 제품을 대체하는 효과가 있어서, 특히 중저급의 엔지니어링 플라스틱 산업이 가장 큰 영향을 받을 것으로 생각된다.

메탈로센 촉매에 의한 iPP는 기존 수지와 이소탁틱성이 유사하면서도 용점이 낮은 특징을 가지고 있으며, 내충격성 및 투명성, 열융합 물질면에서 우수하고, Z-N계 iPP에 비해 열변형 온도가 높고 경도(hardness)가 좋은 것으로 알려져 있다. 한편 메탈로센 촉매에 의한 sPP는 결정화 속도가 빠르고, 투명성 및 충격강도가 우수하며, 다른 올레핀

공중합체와 잘 분산하여 연신율이 큰 블렌드를 만드는 특징을 가지고 있다. 또한 전기절연 파괴전압이 크며, 용점이 높아 기능성 포장재료, 사출성형품 등의 용도가 기대되고 활발한 연구가 진행중이다.

또한 메탈로센계 촉매로 중합되는 에틸렌-싸이클로올레핀 공중합체(COC)는 투명성 및 전기적 성질이 우수하고 높은 유리전이온도(T_g)를 가지고 있으며, 흡수성이 매우 낮기 때문에 포장재료 및 광학재료 등에 효과적으로 사용되어질 수 있다. 이러한 COC는 Mitsui와 Ticona의 공동연구를 통하여 TOPAS™라는 이름으로 출시되고 있으며, 밀도가 1.02 g/cc로 PS에 비해 7%, 폴리카르보네이트(PC)나 아크릴계 수지에 비해서는 15% 정도 낮기 때문에 보다 가벼운 제품을 만들 수 있는 특성을 가지고 있으며 빛 투과성 및 열 저항성이 PES나 PC보다 우수하여 평판 디스플레이의 광학 기능 필름용으로 개발 중이며 일본 Zeon사에 의해 상품화되어 있다. 포장재료에 있어서는 COC의 저흡수성 장점을 이용하여 식품이나 생활용품의 파우치에 사용되는 다층필름의 대체용도로 개발, 상품화되고 있으며, PTP (Push Through Package) 용도로 의약품과 식품용도에 사용되고 있으며 점차 시장이 확대되고 있는 실정이다.

5.3.2 액정 폴리머 (Liquid Crystal Polymer)

액정 플라스틱은 용융 상태에서도 결정 상태를 유지하면서 성형되는 플라스틱으로 통상 LCP(Liquid Crystal Polymer)로 불려지는 고열 고기능 슈퍼엔지니어링 플라스틱의 하나이다. 대부분은 방향족 폴리에스테르로 강직한 분자고리의 배향에 따라 자기 강화 효과가 발생하여 높은 기계적 강도를 보이면서도 선팽창율이 낮으며, 저온에서 고온에 까지 높은 충격강도를 보인다. 내열성 및 전기 절연성이 우수하고 대부분의 산과 알칼리, 용제에 비교적 안정하다. 흡수율이 통상의 엔지니어링 플라스틱보다 낮고 가스 배리어성이 우수한 특성을 보이고 있다. 특히, 용융점도가 낮아 성형이 용이하며 얇은 두께의 성형이 가능하여 필름으로의 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 필름뿐 아니라 섬유 또는 복잡한 사출성형품에 직접 고기능성 수지로 이용될 수 있고, 강화제로 사용 용도가 확장되고 있다.

액정 폴리에스테르의 내열성과 높은 기계적 특성으로 인해 최근 연성회로기판용의 기재인 고내열성 필름 소재로 개발하려는 연구가 진행 중이며, 3M과 같은 기업에서 일부 상품화를 추진 중에 있다.

또한 액정 폴리에스테르의 저흡수성 및 높은 가스 배리어성으로 인해 포장용도에 있어서 고차단성 필름으로 용도를 개발 중에 있으며, 기존의 PVDC를 포함한 다층 필름을 대체할 수 있는 신소재 고기능 필름으로 기대되고 있다. 현재 상품화된 액정 폴리에스테르 필름의 특성을 살펴보면 표 5와 같다.

그러나 액정 폴리에스테르는 액정의 특성상 용융 압출시 고분자사슬의 배향으로 그 직각 방향으로서는 기계적 특성이 취약하게 된다. 따라서 그림 10과 같이 특수한 압출 die를 통해 용융 압출하여 multi-axial 필름을 제조하는 기술이 적용되고 있으며, 다층 필름으로 제조하는 기술도 개발 중에 있는 것으로 알려져 있다. 향후 일렉트로닉스 분야뿐만 아니라 포장용 분야에서도 고기능 필름으로 용도 개발이 주목되고 있다.

5.3.3 나노복합체 (Nano Composite)

Nano기술이 고분자공학과 결합되어 탄생된 것

표 5. 액정 폴리에스테르와 PET 필름의 물성비교 (Superex Polymer Inc. 자료)

	LCP Film	PET Film
tile strength (kPa)	240,000	172,000
insile modulus (106 kPa)	12.4	5.2
oxygen permeability ($\alpha/m^2 \cdot 24r \cdot atm$) (per ASTM E-3985)	0.23 at 25 μm	78 at 25 μm
water vapor transmission rate ($gm^2 \cdot 24hr \cdot atm$) (per ASTM F-1249)	0.17 at 25 μm	28 at 25 μm
upper use temp (°C)	Over 200	120
density (gm/cm^3)	1.4	1.4
tear resistance, initiation, kN/m	595	35
propagation, kN/m	175 to 525	9 to 53

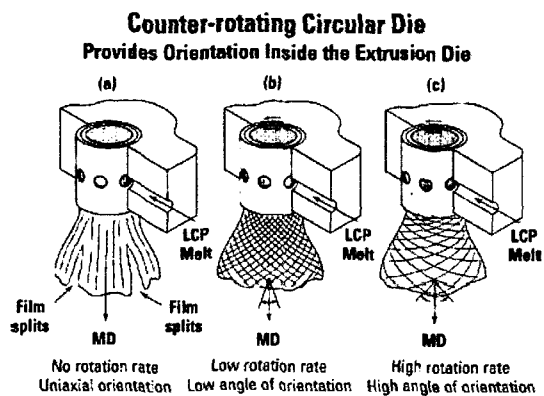


그림 10. Counter-rotating Circular Die 개략도 (Superex Polymer Inc. 자료).

이 나노복합체이다. 나노복합체를 쉽게 정의하자면 클레이 등의 물질을 수지 중에 3차원 중 어느 하나 이상이 nanometer의 스케일이 되도록 분산시켜 만든 복합체라고 할 수 있다. 이 기술의 핵심은 어떠한 물질을 분산시킬 것인가와 얼마나 잘 분산시키고, 박리가 일어나는 것을 막느냐 하는 데 있다.

나노복합체는 기존의 무기충전 또는 강화제의 입자크기 (일반적으로 마이크론이상)를 나노스케일까지 분산시켜 기존에 비해 표면적을 극대화하여, 투입량을 최소화함으로써 첨가제 투입으로 인한 물성저하를 막을 수 있다. 즉, 기존 수지의 내충격성, 인장성 등에 손실 없이 강성, 방염성, 내마모성, 배리어성 등을 한층 높일 수 있게 된다.

이러한 응용분야 외에 가장 연구가 집중되는 부분 중에 하나는 난연성이다. 일부 보고에 따르면 2~5% 클레이의 첨가로 난연효과는 60~80% 가량 증가한다고 한다. 이러한 효과는 나노입자의 형태와 무관하며 Nylon, PP, 폴리에스테르 및 에폭시 수지 등 모두에서 확인된다. 나노스케일로 분산시키면 고분자 시스템의 난연성을 향상시키는 것에 대해서는 알려져 있으나 아직 그 이유 및 메커니즘에 대해서는 명확히 밝혀지지 않은 실정이다.

나노 복합재료는 범용 수지의 낮은 기계적 물성을 엔지니어링 플라스틱 수준으로 올릴 수 있으며, 또한, 우수한 치수안정성, 내스크래치성 향상, 뛰어난 내열성 및 난연성, 그리고 재활용성 등 여러가지 우수한 특성이 있어, 현재 미국이나 일본 등 선진국에서 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 현재 나노 복합재료는 자동차, 전자통신, 화학, 우주 공학, 생명 공학, 환경, 에너지 분야 등 연구 및 적용 분야가 광범위하다.

나노복합체는 범용 고분자를 이용하여 기존의 특성을 살리며 고기능 또는 고성능의 물성을 부여하는 새로운 기술이라고 하겠다.

현재 나노복합체의 경우 Nylon계에 활용이 상품화되어 있으며 폴리에스테르의 경우 차세대 고기능 필름으로 일본 Toray에서 소개하고 있다. 이밖에도 플라스틱 필름 가공 제품으로 나노 크기의 은입자를 함유한 항균 필름이나 나노 TiO₂를 사용한 기능 필름 등에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

5.3.4 고분자 알로이

최근에 산업이 다양화되고 복합화되면서 여러 가지 기능을 갖춘 기능성 필름을 요구하는 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 이런 경우 서로 상반되는

물성을 지닌 신규 고분자의 개발에는 막대한 연구비뿐 아니라 장시간이 소요되므로 상반된 물성을 지닌 고분자 알로이 제조 기술이 날로 다양화, 고도화되는 시장 요구에 대한 신속한 대응책으로 부각되었다.

최근 들어 세계적으로도 새로운 엔지니어링 플라스틱의 개발보다는 알로이 및 블렌드화가 활발히 진행되는 경향을 보이고 있다. 고분자 알로이는 주로 Nylon계와 PC계에서 많이 상용화되어 있으나 필름화에 대한 용도나 기술 개발은 미흡한 편이며, 폴리에스테르계의 경우 고분자 알로이를 통한 기능성 필름 개발의 중요성이 부각되고 있다. 그 예로 음료수나 생활용기의 수축라벨 용도의 PET계 열수축 필름이나 사탕용의 twist wrapping, 이인열 필름 등 포장용도에 대한 적용이 대표적이라 할 수 있다.

6. 맺음말

이상에서 살펴 보았듯이 기능성 필름은 산업의 발전과 소비자의 요구에 따라 계속 변화하고 관련 기술의 발전에 따라 그 기능성이 급속히 향상되고 있다. 우리나라에서 생산되는 기능성 플라스틱 필름은 크게 나누어 포장용 필름과 산업용 필름으로 나눌 수 있다. 포장용 필름은 식품포장의 비중이 가장 크고 산업용 필름은 일렉트로닉스 제품의 부품으로 사용되는 비중이 가장 크다. 이들 필름의 원료로 쓰이는 플라스틱 레진은 대부분 국내에서 공급되고 있으나 몇 가지 특수한 레진이나 신규 소재는 미국이나 일본 등으로부터 수입되고 있다.

국내에서 원료 레진을 생산하지 않는 이유는 기술개발이나 기술도입이 어렵기 때문인 경우도 있지만 대개는 국내시장규모가 아직 경제규모에 도달하지 못해 투자에 적극적이지 못한 측면도 있다.

최근 들어 우리나라의 정보통신산업이 세계시장에서의 점유율과 위상이 높아지게 됨에 따라 일렉트로닉스 분야에 사용되는 광학산 필름, 프리즘시트 필름, 반사 필름 등 고부가가치용 필름과 연성 회로기판용 기재의 개발과 생산에 대한 투자가 활발하게 일어나고 있다. 아직은 기재인 플라스틱 필름으로부터 가공기술이 일류 선진업체에 뒤떨어져 수입 의존도가 높은 편이나 산업의 특성상 수직 및 전·후방 관련 산업의 의존도가 높은 분야이니 만큼 집중적인 소재 개발과 가공기술의 개발이 필요

할 것이라 생각된다.

또한 포장용 분야에서는 포장용 필름으로 가장 많이 쓰이는 OPP 필름, CPP 필름, PET 필름, Nylon 필름의 원료 레진들은 대부분 국내수요를 공급능력이 크게 초과하고 있으나 가공에 필요한 특수 레진의 경우 일부 수입에 의존하고 있으며, 공압출 다층 필름과 같은 고부가가치의 기능성 필름을 생산하는데는 아직 가공기술이 부족한 것으로 나타나고 있다.

기능성 필름의 산업내 위치는 일렉트로닉스용 부품소재로부터 식품, 일용품의 포장재 등 관련산업의 기재 부분을 담당하고 있다. 21세기 우리나라 산업 발전의 기반 부문에 있어 얼마나 중요한 기여를 할 수 있는가가 기능성 필름 산업분야에 주어진 과제라고 할 수 있다. 어느 때 보다 신규소재나 신규 공정기술의 적용 및 신규 가공기술의 개발을 통한 플라스틱 필름의 고기능화, 고부가가치화에 대한 활발한 연구개발과 투자가 요구되고 있다.

참고문헌

1. 2002年版 高機能フィルム市場の展望と戦略, 失野研究所.
2. 2002年 機能性高分子フィルムの現状と将来展望, 富士キメラ総研, 2002.
3. 2002年 プラスチックフィルム, シートの現状と将来展望, 富士キメラ総研, 2002.
4. 電気・電子フィルム技術総覽, トリケップス, 1997.
5. SPECIALTY CHEMICALS, SRI International, 2000.
6. Polyimides, SRI International, 2000.
7. 最新ポリイミド 基礎と應用, 日本ポリイミド研究会, 2002.
8. Oriented Films for Packaging, Allied Development Corp., 2002.
9. PLASTIC FILMS & SHEET, Global Industry Analysts, Inc., 2003.
10. PLASTIC FILM, freedonia Group, 2002.
11. プラスチックフィルムの市場・技術關する最近動向 (III), *Plastics Age*, **42**(5), 135 (1996).
12. 電気・電子材料技術總覽, 電気・電子材料研究会, 2003.
13. 기능성 포장필름 시장동향 및 전망, 한국과학기술정보연구원, 2002.
14. 식품 포장용 기능성 고분자 포장필름, *Polymer Science and Technology*, **12**(2), 2001.
15. プラスチックフィルムの延伸技術と評價, 技術情報協會, 1992.