

광학필름의 압출기술

김성태 · 김인선 · 이기호

1. 서론

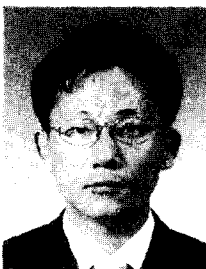
디스플레이 패널은 전자계산기, 전자시계, 자동차 네비게이션, 사무자동화 기기, 휴대전화, 노트북 컴퓨터 및 정보통신 단말기 등의 표시장치에 널리 사용되고 있는데, 예를 들어 LCD (liquid crystal display)는 일반적으로 투명 전도막이 코팅된 투명 기판 사이에 수 마이크로에서 수십 마이크로 정도의 두께로 액정 층을 만들어 외부에서 전기 신호로 구동을 통하여 전기장을 인가, 액정의 분자 배열을 제어하도록 구성되어 있다. 전기장의 상태에 따라 액정 분자들은 그 배열 상태가 가역적으로 조절되며 전기장을 인가하는 방식에 따라 능동 및 수동 구동으로 나뉘어진다. 박막의 액정 층이 전기장에 따라 그 배열이 변화될 때 백라이트 (backlight) 등에서 투사된 빛의 투과량을 조절할 수 있다. 이는 액정 분자들의 광학적 이방성 즉 굴절률이 빛의 진행 방향과 액정 분자의 배열 방향에 따라서 일정하지 않고 다른 값을 보이

기 때문이다. 특히 상용화된 대부분의 LCD는 편광을 이용하며 편광 입사된 빛과 액정의 광학 이방성과의 효과를 통하여 표시 소자로서 빛의 투과량이 조절되는 것이다.

현재 이와 같은 디스플레이 패널은 유리로 이루어진 패널을 사용하고 있다. 그러나, 유리패널은 우리의 특성상 내충격성이 부족하여 충격에 쉽게 파손되며 박형화하는데 한계가 있을 뿐만 아니라, 단위 부피당 무게가 커서 경량화하는데 한계가 있다.



김인선
 1986 서울대학교 섬유고분자학과 (학사)
 1995 미국 Univ. of Michigan, 고분자공학과 (석사, 박사)
 1995~1996 미국 Univ. of California, Davis (박사 후 연구)
 1997~2000 LG전선 연구소
 2000~ (주)아이컴포넌트
 현재



김성태
 1990 서울대학교 섬유고분자학과 (학사)
 1992 서울대학교 섬유고분자학과 (석사)
 1997 서울대학교 섬유고분자학과 (박사)
 1997~2002 LG전선 연구소 선임연구원
 2000~2001 Freiburg Univ. (박사후 연구)
 2002~ (주) 아이컴포넌트
 현재



이기호
 1991 인하대학교 고분자공학과 (B.S)
 1993 인하대학교 고분자공학과 (M.S)
 1996 인하대학교 고분자공학과 (박사과정수료)
 1996~1999 인천교육대학교 과학교육과 조교
 2000~ (주)아이컴포넌트 부설연구소
 현재 과장

Extrusion Technology for Optical Grade Film

(주)아이컴포넌트 부설 연구소 (Sung-Tae Kim, Insun Kim, and Kiho Lee, i-Components Co., Ltd., Pyungtaek, Kyungki-Do 451-805, Korea) e-mail: stkim@i-components.co.kr

따라서, 최근에는 내충격성이 우수하고 경량화가 가능한 투명 플라스틱 필름으로 이루어진 패널을 사용하여 유리패널을 대체하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다.

이와 같은 디스플레이 패널용 플라스틱 필름은 광학특성이 우수한 폴리카보네이트 (polycarbonate, PC), 폴리이미드 (polyimide, PI), 폴리에테르술폰 (polyethersulfone, PES), 폴리아릴레이트 (polyarylate, PAR), *m*-COC (cyclo-olefin copolymer) 등의 물질을 사용하여 개발되고 있다. 디스플레이용 광학필름을 제조하는 방법으로는 용매 캐스팅법, 용융압출법 등이 사용되고 있다. 본고에서는 최근에 국내에서 개발된 압출제조방법을 중심으로 제조방법의 장단점을 비교하고 디스플레이용 광학필름의 개발동향을 알아보고자 한다.

2. 광학필름 제조방법

광학필름의 제조에는 여러 가지 방법이 사용되고 있으나 본고에서는 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 용매캐스팅법과 용융압출법에 대해서만 언급하고자 한다.

2.1 용매캐스팅법

용매캐스팅법은 크게 두가지 기술로 발전되어왔는데 휠 (wheel)이나 큰 drum에 캐스팅하는 방법과 연속적 금속 벨트에 캐스팅하는 방법이 있다. 그 두가지는 현재 연속으로 움직이는 플라스틱 필름에 캐스팅하는 오늘날의 방법까지 여러 가지가 있다. 열가소성 고분자 필름의 생산 압출공정의 발전은 용매캐스팅법의 중요성을 감소시켰다. 오늘날 용매 캐스팅법은 특수한 시장이나 광학용과 같은 높은 수준의 필름을 제조하는 특별한 제조방법이다. **그림 1**에 용매캐스팅법의 대표적인 공정도를 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 용매캐스팅법은 우선 수지를 용매에 녹인 용액을 사용하여 용액을 캐스팅롤 또는 벨트에 얇게 바른 후 용매를 증발시키면서 필름을 제조하게 된다. 이 같은 용매캐스팅법의 장점은 균일한 두께 분포를 갖는 필름제조가 가능하며, 용액상태에서 필터링을 진행하기 때문에 미세한 필터를 적용하는 것이 가능하여 이물, 젤 등의 defect가 적은 필름의 제조가 가능하다는 점이다. 용매캐스팅법으로 제조된 필름은 우수한 빛투과율, 낮은 헤이즈를 나타낸다. 특히 제조시 길이 방향이나

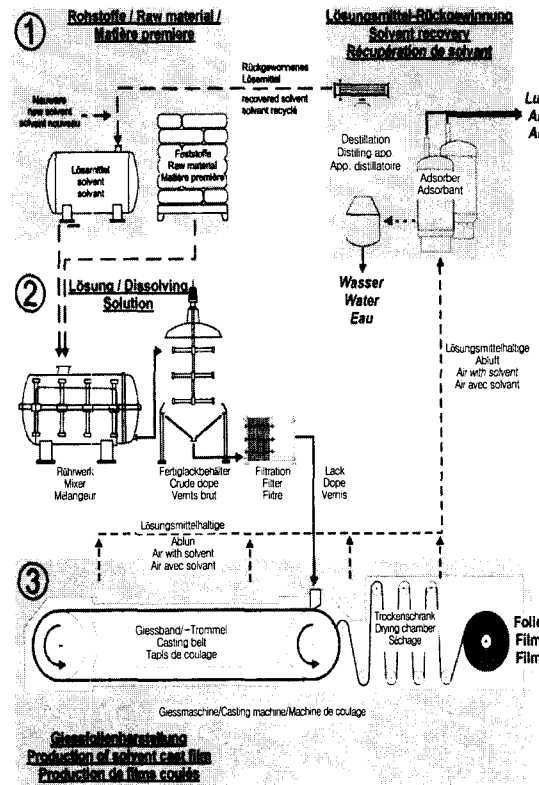


그림 1. 용매캐스팅법 공정도.

폭방향으로 기계적 응력이 거의 가해지지 않기 때문에 등방향의 분자배향이 이루어지므로 낮은 retardation과 우수한 표면평탄도를 구현할 수 있다. 그리고 열이나 기계적으로 민감한 재료나 높은 용융온도나 녹지않는 성질의 재료에도 적용 가능하며, 다층의 적층 구조도 가능하다는 등의 장점을 가지고 있다. 반면에 단점은 낮은 확산계수로 인해 두께가 200마이크론 이상 두께의 제품은 내부에 존재하는 용매를 완전히 제거하기 어려우므로 두꺼운 필름의 제조가 어렵고, 생산속도가 압출법에 비해 매우 느리기 때문에 생산단가가 높다. 그리고, 용매를 제거하며 회수해야 하기 때문에 환경문제가 발생할 우려가 있으며 에너지 소비효율이 떨어지는 등의 단점을 가지고 있다. 현재 용매캐스팅법은 LCD에 적용되고 있는 폴리카보네이트 보상필름, 편광판에 적용되고 있는 TAC 필름 등의 광학필름과 용융온도가 높아 압출공정이 불가능한 폴리이미드 필름 등의 제조에 이용되고 있다.

2.2 용융압출법

용융압출 (Melt extrusion)은 열가소성 수지를 압

출기에서 유리전이온도 이상의 온도나 용융온도이상의 온도에서 충분히 용융시킨 후 롤접촉을 통해 연속적인 형태 (필름, 쉬트, 봉 등)로 냉각 안정화시킨 후 원하는 길이나 폭으로 제품을 연속적으로 가공하는 것이다. 블로우 성형과는 달리 투명성, 광택, 결정성, 강직성, 두께편차 등이 좋다. 용융압출공정은 압출기 부분, 다이 부분, 냉각롤가공 부분으로 나눌 수 있다. 우선 압출기 부분에서는 크게 단축압출성형기를 사용하는 방법과 이축 압출성형기를 사용하는 방법으로 구분할 수 있다. 단축 압출성형기 구조는 일반적으로 **그림 2**에 나타낸 것처럼 실린더 또는 배럴이라는 원통 속에 스크류가 삽입되어 있다. 실린더 입구쪽에는 호퍼가 있으며 출구쪽에는 다이가 장착되어 있다. 실린더에는 온도를 유지하기 위한 가열/냉각 유닛이 장착되어 있다. 이 압출성형기에서 호퍼에 투입된 성형재료는 스크류의 공급부에서는 고형된 상태로 이송되어 압축부 전후에서 가소화가 진행되어 완전히 용융된 성형재료는 스크류 계량화부에서 계량되어 스크린, 브레이크 플레이트와 다이를 통해 압출된다. 성형재료는 보통 실린더 외부에 장착된 밴드히터로 가열되는데 플라스틱 재료 자체의 마찰에 의해 내부 가열이 발생하여 재료용융에 영향을 미친다. 평탄한 필름 생산에서 보통 single-screw 압출기가 사용되며 압출기 디자인서 혼화성, 온도균일성, 압력의 일관성 등이 주요 고려 항목이다. 압출기는 보통 바렐의 길이가 27D~33D이며 높은 회전속도에서도 균일한 output을 제공한다.

이축 압출성형기에는 동방향 회전형과 이방향 회전형이 있다. **그림 3**에 스크류 내부의 수지흐름을 나타내었다. 동방향 회전형은 그림에서와 같이 맞물린 부분에서 플라스틱 재료가 같이 돌아가면서 전방으로 압출된다. 이에 비해 이방향 회전형인 경우는 **그림 3**에서 보는 바와같이 스크류 축은 상대나사 홈으로 완전히 막혀 원주방향의 움직임은 하지

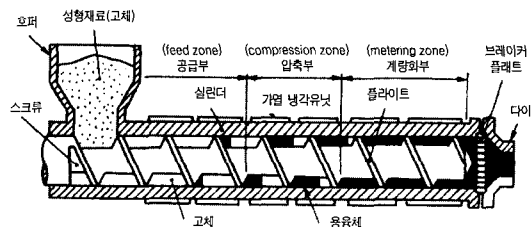


그림 2. 일축 압출기의 일반적인 구조도.

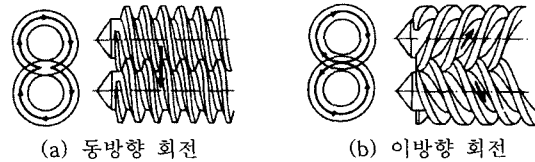


그림 3. 이축 스크류 내부의 수지 흐름.

않고 그대로 전진하게 된다. 이것은 기어펌프의 원리와 비슷하다. 또 스크류의 회전방향에서 보면 수지가 나사 홈의 틈으로 들어가 전단되는 경우가 적기 때문에 발열이 작고 용융이 고르지 않은 경우가 쉽게 발생하지 않는다는 장점이 있다. 따라서 용융상태일 때의 재료 유동방향은 **그림 3**에서 나타낸 것처럼 동방향 회전형인 8자 형태의 궤적을 그리는 것이 다르다. 이축 압출기의 경우 2개의 스크류가 조합되어 있으므로 당연히 실린더 모양도 횡단면이 누에고치 모양이 된다. 이 2개의 스크류 안에서의 재료수지 이동은 매우 복잡하여 간단하게 수식화할 수 없다. 다만 플라스틱 재료는 이 부분에서 매우 큰 전단작용을 받아 혼련된다. 이점이 위의 단축 압출성형기와 비교하여 스크류 회전수가 상당히 느림에도 불구하고 재료에 충분한 혼련효과를 부여할 수 있는 이유이다. 그래서, 단축 압출성형기에 비해 재료의 수송추진 작용이 확실하고 재료의 분산/혼합능력이 크다. 특히 이방향 회전 이축압출기의 경우 전단발열 작용이 작기 때문에 낮은 온도에서의 압출성형이 가능하다. 이와같은 이축 압출성형기의 특징은 경질 PVC로 대표되는 열안정성과 유동성이 나쁜 재료를 압출하는데 가장 적합하기 때문에 이 장치는 PVC 파이프, 시트, 이형폼 등의 제조와 높은 혼련 특성이 요구되는 마스터 배치 제조 컴파운드 등에 폭넓게 사용되고 있다.^{1,2}

다이부분은 압출기에서 이송되어온 용융된 수지를 1차적으로 얇은 판 형태로 가공해 주는 부분이다. 압출성형은 어떤 형상의 제품도 가공할 수 있고 또한 가공법이 여러 가지이기 때문에 다이 종류가 매우 많다. 최근에는 제품형상의 복잡화, 재질의 다양화 및 생산성 향상 등으로 다이형상도 복잡하여 이것을 간단하게 분류하는 것은 불가능하다. 그러나 개념적으로 대별하면 **표 1**에서와 같이 분류할 수 있지만 실제로는 더 복잡화된 다이가 많다. 여기에서는 필름제조에 대해서만 언급하기로 하였으므로 필름이나 시트에 가장 널리 사용되는 플레이트 다이에 대해서만 언급하기로 한다.

표 1. 압출용 다이의 분류

| | 다이의 종류 | 설명 |
|----------|--|--|
| 플레이트 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · T형 명칭매니폴드 다이 · 피쉬테일 다이 · 코트행거 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 다이내부에 폴 (매니폴드)을 가진 가장 일반적인 시트 필름용 다이 · 고기 꼬리와 같이 테퍼상으로 펼쳐 다이 · 의복용 코트행거와 같이 완만하게 굽힌 시트용 다이 |
| 스트레이트 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 파이프/튜브용 다이 · 서클러 다이 · 이형 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 가장 일반적인 스페이더식 파이프/튜브다이 · 대구경 파이프용 다이로 만든 파이프를 잘라 시트 제조하는 다이 · 개방형, 중공형 각종 이형용 압출용 다이 |
| 크로스헤드 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 피복형 다이 · 인플레이션 튜브 다이 · 읍셋 다이 · 다색 압출용 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 전선피복, 금속 파이프의 코팅 등에 사용되는 다이 · 튜브를 공기로 팽창시키면서 튜브상 필름을 압출하는 다이 · 압출기 방향에서 좌우로 2회 방향전환하여 압출기로 동일한 방향으로 압출하는 피복 다이 · 스트레이트 다이와 조합한 공압출 다이에서 다색용다이의 기본적 구조 |
| 특수 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 네트 압출용 다이 · 소용돌이막형 다이 · 3차원 이형 다이 · 환상막형 다이 | <ul style="list-style-type: none"> · 플라스틱네트 압출용 다이 · 다색수지를 특수한 날개로 회전하여 소용돌이 모양을 내는 다이 · 이형품의 특정한 부분만 주기적으로 길게하거나 짧게하는 압출다이 · 파이프 표면에 임의로 환상모양을 내는 다이 |

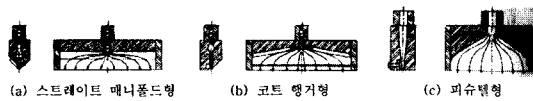


그림 4. 압출 다이의 종류.

플레이트 다이를 크게 나누면 피쉬테일 다이, 매니폴드 다이, 코트행거 다이로 분류할 수 있다. 다이의 대표적인 단면 구조를 그림 4에 나타내었다. 먼저, 피쉬테일 다이는 “고기 꼬리”와 같은 모양을 한 다이라는 의미로 플랫한 T형 다이의 기본적인 구조로 이 다이는 고정 저항체를 다이안에 작성하여 압력 균일화를 도모했다. 이 저항체의 모양은 플라스틱 재료의 종류, 압출조건 등에 따라 제품 치수가 변하기 때문에 경질 PVC의 소폭 두께 시트의 압출에는 널리 사용되고 있지만 광폭제품에는 거의 사용하지 않는다.

매니폴드 다이는 전형적인 T형 다이로 폭이 넓은 시트와 필름의 성형용 다이로서 특징은 원통형 매니폴드 (수지 정체)가 있으며 이 부분에서 수지압력을 균등하게 하고 나중에 가동식 쇼크바를 만들어 여기에서 다이 양끝 부분의 수지량을 배분하고 마지막으로 립조절자에서 립두께를 조절하여 균일한 시트와 필름을 압출하는 구조로 되어있다. 이 매니폴드 다이를 사용하여 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 또는 폴리스티렌 등의 시트와 필름의 압출은 물론 라미네이션 (압출과 동시에 접합) 등에 널리 사용되고 있다.

코트행거 다이는 다이 내부에서 수지를 전폭으로 전개하기 위한 수지흡이 “양복걸이”와 비슷하기 때문에 이 명칭으로 불리고 있다. 이 다이의 개요는

피쉬테일 다이의 개념을 도입하여 개발된 것으로 다이 내부에 매니폴드와 유사한 수지흡이 있고 이것이 수지 유입점을 중심으로 부채모양으로 펼쳐져 양끝부분으로 나가며 편평하게 되어 수지 정체 시간을 단축하는 구조로 되어있다. 이 다이에서 수지유로의 수정은 앞의 매니폴드 다이와 같이 쇼크바 및 립조절로 이루어 진다. 이 다이의 특징은 위에서 설명한 것처럼 수지 정체 시간을 단축시키는 데 있기 때문에 열안정성이 떨어지는 수지, 예를 들면 무가소 염화비닐 (연화제가 들어있지 않은 경질 염화비닐) 등의 시트 또는 필름제조용 다이로 널리 사용되고 있다.

냉각롤 가공 방법중 압출필름 제조에 가장 많이 사용되는 방법은 폴리싱롤 (polishing roll)방법이다. 이 방법이 통상의 칼렌더링의 롤 스택 (roll-stack) 과 가장 구별되는 것은 롤의 수와 배열, 롤의 길이 및 지름비, 가해주는 압력, 온도조절, 롤 베어링, 롤축의 윤직임 등이다. 폴리싱 스택 (polishing stack) 은 롤 조건 (온도, 압력, 머무는 시간, 롤 간의 회전속도 등) 인자에 의해 생산된 제품의 품질에 영향을 미친다.³⁻⁵

사용되는 롤의 크기나 개수 등은 사용하는 플라스틱 재료의 종류, 제조되는 필름의 두께 등에 따라 다르게 설계되어 장착된다. 그림 5에 일반적인 압출 필름 제조 공정도를 나타내었다. 다이에서 토출된 플라스틱 수지를 냉각롤을 사용하여 모폴로지를 고정시키고 표면을 가공하여 필름을 제조하게 된다. 냉각롤 후단부의 가이드롤 개수와 필름이 지나가는 경로의 각도 등도 매우 중요한 요소이다. 이 후단부의 설계에 따라 압출된 필름에 당겨지는

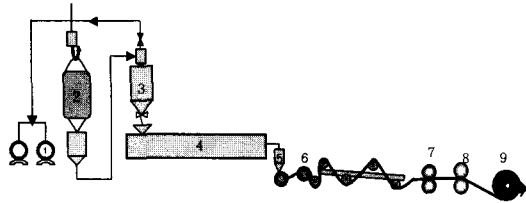


그림 5. 압출필름 제조공정도. 1. 레이저송장치 2. 레이저 저장고, 3. 건조장치, 4. 압출기, 5. 다이, 6. 냉각롤, 7. 보조필름부착롤, 8. 단부절단장치, 9. 권취기.

응력이 가해져 압출방향으로 연신작용이 발생할 수도 있다. 그리고, 필름의 두께에 따라서는 윗면과 아래면의 온도차가 나지 않도록 냉각롤을 첨가하여 설비를 제조해야 하는 경우도 있다. 일례로 PMMA 압출의 경우 냉각시 수축률이 커서 냉각롤 설계가 잘못되어 윗면과 아래면의 온도차가 발생할 경우 휨 현상이 발생하기도 한다. 특히 내열성 고분자 압출공정은 배럴온도는 450 °C까지 올릴 수 있어야 하고 고온온도는 ± 2 °C 내에서 유지되어야 한다. 그러므로 캐스트 알루미늄 히터는 적절하지 못하며 반드시 고열 합금이나 세라믹 히터로 교체되어야 한다. 실린더 히터는 고르게 온도가 전달될 수 있도록 노출된 금속표면 전체에 열을 가해야 한다. 직접적으로 열이 가해지지 않는 부위는 “응고점”의 형성을 막기 위해 고온 절연체로 보강해야 한다.

3. 광학필름의 개발 동향

현재 우리나라는 디스플레이 분야에서 시장점유율을 확대하면서 이 분야 시장을 선도하고 있다. 향후에도 지속적으로 설비투자를 통해 생산능력을 확대하면서 시장을 지배할 것으로 여겨지고 있다. 디스플레이 업계에서는 차세대 신기술 개발에 박차를 가하고 있으며, 그 중 플렉시블 디스플레이가 현재의 유리기판 디스플레이를 대체하면서 시장의 한 축을 담당하게 될 것이라는 것에 누구도 이견을 제시하지는 않는 상황이다. 향후 플라스틱 기판이 적용될 분야는 핸드폰이나 PDA, 스마트카드와 같은 소형 디스플레이에서부터 노트북, LCD TV, 터치패널 등 대형 디스플레이에도 적용이 될 것으로 예상되고 있다. **그림 6**에서 향후 적용가능한 분야를 간단하게 예시하였다. 이 플렉시블 디스플레이를 구현하는데 가장 핵심적인 부품이 플라스틱 광학필름이다. 이 분야의 시장규모는 정확한 수치상으로 예

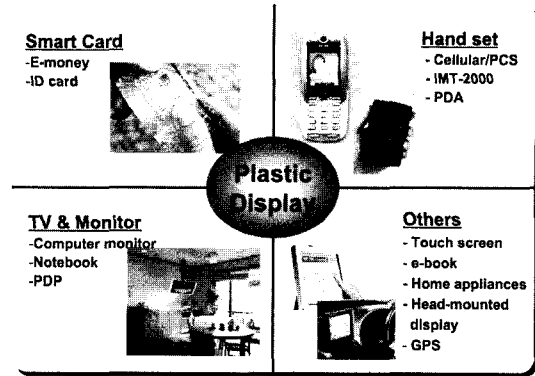


그림 6. 플라스틱 디스플레이 적용 가능 분야.

측이 불가능할 정도로 매우 클 것으로 예상되기 때문에 외국선진기업들이 플렉시블 디스플레이용 광학필름 개발에 나서고 있는 상황이며, 국내에서는 (주)아이컴포넌트에서 개발 중에 있다.

플라스틱 필름이 유리기판을 대체하여 디스플레이에 사용되기 위해서는 여러 가지 요구조건을 충족시켜야 한다. 우선 유리기판의 장점은 투과도가 뛰어나고 내열성이 우수하며 열팽창계수가 작고 내약품성이 우수하며 위상차도 거의 없다. 반면에 무겁고 깨지기 쉬우며 기계적 변형에 매우 취약하다는 단점이 있다. 유리에 비해 가볍고 깨지지 않는 장점을 지닌 플라스틱 광학필름이 디스플레이에 적용되기 위해서는 투과도, 내열성, 표면 평탄도, 저위상차, 내약품성, 기체투과방지특성 등을 추가로 확보해야 한다. 우선 투과도는 투명전도막 (현재는 ITO 사용)이 코팅된 상태에서 85% 이상의 투과율을 확보해야 한다. 내열성은 현재 TFT LCD의 제조공정 온도가 200도를 넘어서는 공정을 포함하고 있으므로 200도 이상의 온도에서도 기계적, 광학적 물성 변화가 없어야 한다. 내열성과 연관된 열팽창계수도 매우 중요한 인자이다. LCD는 픽셀 크기가 수십마이크론 정도로 상판과 하판이 매우 정밀하게 일치되어 조립되어야 한다. 따라서, 사용된 플라스틱 필름의 열팽창계수가 크면 제조공정 중에 국부적 변형이 발생하여 상하 기판에 만들어진 픽셀의 위치가 틀어지는 현상이 발생할 수 있다. 이에 열팽창계수는 50 ppm/K 이하는 되어야 한다고 요구되고 있다. 그리고, 우수한 표면 평탄도가 요구되며 저위상차가 요구된다. 위상차는 편광을 왜곡시키는 역할을 한다. 현재 대부분의 LCD는 편광판을 투과한 편광을 사용하여 화상을 구현하고 있다. 기판으

로 위상차가 큰 필름을 사용하게 되면 편광이 왜곡되어 화소의 콘트라스트가 저하되어 화질이 떨어지게 된다. 유리기관은 무정형 물질이므로 위상차가 거의 없다. 이에 비해 플라스틱 필름은 제조공정상 응력에 의해 위상차가 발생할 수도 있으므로 저위상차 구현이 매우 중요하며 적어도 15 nm 이하의 위상차가 요구되고 있다. 이밖에, LCD 제조 공정 중에 사용되는 여러 가지 화학물질 (산, 알칼리, 용제 등)에 대한 내약품성이 요구되며, 액정 패널의 내구성을 위해 수분 등 기체에 대한 투과방지특성도 요구된다. 이 내약품성과 기체투과방지 특성은 플라스틱 기관위에 적절한 코팅막을 형성시켜주면 해결될 것으로 생각된다. 현재 디스플레이용 플라스틱 광학필름으로 응용하기 위해 여러 가지 후보물질이 연구되고 있으며 그 중 PES, PAR, PC, *m*-COC 등이 여러 업체에서 개발 중에 있다. 이런 후보물질들의 화학구조와 기본적인 내열특성인 유리전이온도를 **그림 7**에 나타내었다. 지금까지 알려진 각국의 개발동향은 다음과 같다.

우선 Sumitomo Bakelite를 들 수 있다. 이 회사는 Sharp와 공동으로 STN-LCD에 적용가능한 PES 기관을 공동개발하여 휴대폰에 최초로 적용한 경험이 있다. PES 기관은 용매캐스팅법으로 개발 제조된 필름을 사용하였다. 이 분야의 선두주자로 인식되고 있으며 활발한 연구개발 활동을 펼치고 있는 것으로 알려져 있다. Teijin은 기존의 PC 필름의 내열성을 개선한 high temperature PC 필름을 개발하였다고 발표하였다. 기존의 PC 필름의 유리전

이온도는 150 °C 정도이지만 개발된 필름은 180 °C 정도의 유리전이온도를 갖는다고 발표하였다. 이 회사는 일본의 대표적 필름 제조회사로서 압출방법과 용매캐스팅법에 의해 PC 필름을 제조할 수 있는 기술을 확보하고 있다. 미국의 Promerus사는 *m*-COC를 이용하여 기관 개발을 하고 있다. *m*-COC는 다른 필름에 비해 기체투과방지특성이 우수한 것으로 알려져 있다. 이 회사는 Sumitomo Backlite, Ferrania사와 고분자 기관개발에 관한 전략적 제휴를 체결하고 이 분야에서 입지를 강화해 나가고 있다. Du Pont에서는 PI (polyimide) 필름을 기관용으로 개발 중이다. PI는 내열성과 절연특성이 우수하여 전자재료에 많이 사용되고 있다. 그러나, 용융가공이 불가능하고 노란색을 많이 띄어 광학특성이 좋지 않다는 단점이 있다. 한편, GE에서는 PEI (polyether imide) 필름을 개발 중인 것으로 알려져 있다. PEI 필름은 PI 필름에 비해 내열성은 다소 떨어지지만 용융 가공이 가능하고 PI 필름의 단점인 노란색을 띄는 것을 많이 개선한 것으로 알려져 있다.

이밖에 이탈리아 Ferrania사에서는 PAR 필름을 개발 중이다. PAR 필름은 내열온도가 매우 높아서 뛰어난 내열특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 국내에서는 (주)아이컴포넌트가 국내 최초로 광학용 PES 필름을 개발하였다. 광학필름 개발동향은 **표 2**에 정리하여 나타내었다.

4. PES 압출필름

| | Thermal Property (Tg) |
|---|-----------------------|
| PAR (Polyarylate) | 330 °C |
| PES (Polyethersulfone) | 230 °C |
| PSF (Polysulfone) | 190 °C |
| PC (Polycarbonate) | 155 °C |
| PET (Polyethyleneterephthalate) | 77 °C |
| PMMA (Polymethylmetacrylate) | 85 °C |
| COC (Cyclic-olefin copolymer, Arton) | 160 °C |

그림 7. 광학용 필름 개발 물질 구조.

PES 필름은 우수한 내열특성을 갖고 있으며 PI 필름에 비해 색을 거의 띄지 않으므로 광학특성도 우수한 것으로 알려져 있다. 이러한 장점 때문에 일본의 Sumitomo Bakelite에서 가장 먼저 PES 광학필름을 개발하였다. Sumitomo Bakelite에서 개발한 PES 필름은 용매캐스팅법을 사용하여 제조되었다. 용매캐스팅법은 균일한 두께 분포를 갖는 필름제조가 가능하며, 용액상태에서 필터링을 진행

하기 때문에 미세한 필터를 적용하는 것이 가능하여 이물, 젤 등의 defect가 적은 필름의 제조가 가능하다는 장점이 있으나, 두꺼운 제품은 내부에 존재하는 용매를 완전히 제거하기 어려우므로 두꺼운 필름의 제조가 어렵고, 생산속도가 압출법에 비해 매우 느리기 때문에 생산단가가 높다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 국내의 (주) 아이컴 포넨트에서는 최초로 용융압출법을 사용하여 PES 필름의 양산공정개발에 성공하였다. 일반적으로 압출공정은 이물 등 defect 관리가 까다롭고 필름 압출시 다이라인이나 압출방향으로 작용하는 장력으로 기인하여 위상차가 증가하기 때문에 광학필름용으로는 적합하지 않다고 여겨져 왔다. 그리고, 내열성 고분자를 압출하기 위해서는 배럴온도가 450 °C 이상까지 올릴 수 있어야 한다. 이러한 고온 압출은 국내에서는 한번도 시도된 적이 없으며 적합한 압출장비도 국내에는 전무한 실정이었다. 이런 어려움을 극복하기 위해 압출기 제조 단계에서부터 많은 부분이 고려되었다. 우선 배럴온도는 450 °C까지 올릴

표 2. 광학필름 개발 현황

| | | |
|------|-------------------|---|
| 일본 | Sumitomo Bakelite | Sharp와 공동개발한 PES 기관으로 STN-LCD적용 |
| | Teijin | High Temperature PC기관 (T_g 180 °C)개발 |
| 미국 | Promerus | m-COC 개발 중으로 Sumitomo Bakelite, Ferrania와 고분자 기관에 대한 전략적 제휴 |
| | Du Pont | Philips등에서 사용중인 PI기관 개발 내열성은 매우 우수하나 광학 특성 나쁨 |
| | GE | PI 대비 광학특성 다소 개선된 PEI개발 |
| 이탈리아 | Ferrania | PAR개발 |
| 한국 | i-Components | 광학특성 및 공정성 개선된 PES기관 개발완료 |

표 3. 압출 PES 필름 물성표

| | Test method | Unit | Value | Condition |
|-------------------------------------|---------------|----------------------|------------------------------------|--|
| CHEMICAL | | | | |
| Specific gravity | D792 | | 1.37 | |
| Moisture absorption | | | 0.7 | Saturation at STP, 50%RH |
| Water absorption | D570 | % | 0.4 | 24 h at 23 °C |
| | | | 2.1 | Equilibrium at 23 °C |
| H ₂ O vapor permeability | | g/m ² .d | 50 | 38.5°C, 100 RH% |
| Oxygen permeability | | cc/m ² .d | 253 | 25°C, 0 RH% |
| INTRINSIC | | | | |
| CTE | D696 | m/m/°C | 5.5×10 ⁻⁵ | |
| T_g | DSC | °C | 225 | |
| T_d | TGA | °C | 460 | 0.5% weight loss |
| OPTICAL | | | | |
| Transmittance | Agilent 8453 | % | 89 | 200 μm |
| 50% cut off wavelength | Agilent 8453 | nm | 346 | 200 μm |
| Haze | D1003 | % | 0.8 | Pacific Scientific XL211 |
| Refraction index | refractometer | | 1.65 | |
| Retardation | | nm | <10 | Instrument systems |
| ELECTRICAL | | | | |
| Surface resistivity | D257 | Ω/□ | >10 ¹⁴ | |
| Volume resistivity | D257 | Ωcm ³ | 10 ¹⁵ ~10 ¹⁶ | |
| Dielectric constant | D150 | | 3.5 | 10 ³ Hz, 10 ⁶ Hz |
| Breakdown voltage | D149 | KV/mm | 125 | |
| MECHANICAL | | | | |
| Surface roughness | | nm | <10 | AFM |
| Tensile stress | UTM | kgf/mm ² | 7.65 | 50 kgf 20 nm/min |
| Elongation | UTM | % | 21 | 50 kgf 20 nm/min |

수 있어야 하고 고정온도는 ± 2 °C 내에서 유지되어야 한다. 그러므로 캐스트 알루미늄 히터는 적절하지 못하여 고열 합금이나 세라믹 히터를 사용하여 제조되었다. 그리고, 실린더 히터는 고르게 온도가 전달될 수 있도록 노출된 금속표면 전체에 열을 가하도록 설계되었으며, 직접적으로 열이 가해지지 않는 부위는 “응고점”의 형성을 막기 위해 고온 절연체로 보강되었다. 이물에 의한 defect를 최소화하기 위해 특별히 고안된 필터가 장착되었으며, 압출기는 크린룸 (청정도 1000)에 설치하였다. 압출다이에는 다이라인이 발생하지 않도록 정밀가공된 재질을 사용하여 제작되었고, 냉각롤 표면정밀도도 충분히 확보되도록 설계 제작되었다. 디스플레이용 기판에서 필수적인 저위상차 구현을 위해 가이드롤, 냉각롤의 경로 및 각도가 세심하게 설계 제작되어, 일반 압출시 발생하는 압출방향의 응력을 제거하였다. 이와같이 개발 초기부터 광학필름용 압출기를 제작하여 공정조건 최적화를 통해 PES 필름의 양산개발에 성공하였다. 표 3에는 개발된 PES 광학용 필름의 물성을 나타내었다. 표에서 보는 바와같이 투과율은 89%로 우수하였으며 헤이즈는 0.8%를 나타내었다. 가장 중요한 물성인 위상차는 평균 10 nm 이하로 매우 우수하여 편광판 상에서 관찰시 편광의 왜곡 현상이 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 표면 거칠기도 10 nm 이하로 측정되어 매우 평탄한 표면을 가지고 있어 유리기판 대체가 충분히 가능하며 후공정으로 코팅공정을 실시할 경우에도 코팅막의 균일성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

액정 디스플레이 분야에서 우리나라는 양산기술을 바탕으로 시장점유율을 높이며 이 분야를 선도해 가고 있다. 그러나, 액정 디스플레이 분야의 소재나 부품의 인프라는 부족한 수준이며, 상당량의 부품과 소재를 수입해서 사용하고 있는 실정이다. 플라스틱 디스플레이 분야에서 플라스틱 기판필름이 차지하는 비중은 매우 크며, 이 분야의 기술개발이 요구되는 시점이다. 따라서, 국내에서 기존의 용매캐스팅법보다 가격경쟁력을 충분히 갖춘 용융압출법을 사용하여 고내열 광학필름의 양산기술개발에 성공한 것은 그 의미가 크다고 할 수 있다. 이를 바탕으로 향후 전개될 플라스틱 디스플레이 분야에서도 국내 업체의 경쟁력이 향상될 수 있고, 고내열 플라스틱 재료의 압출필름 제조 기술 확보로 인해 다른 분야에서도 이 압출필름제조 기술이 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 최신압출성형 기술, (주)바우에이전시, 2000.
2. *Plastics Extrusion Technology*, Friedhelm Hensen, 1988.
3. *Systematic Design of Extruders*, Krausskorp-verlag, Mainz, 1974
4. W. Lahn and D. Kurth, *Planetary Roll Extruders in Plastics Fabrication*, Maschinenmarkt, p. 80, 1974.
5. *For Flat Film Manufacture*, K-Plastics u. Kautschuk-Zeitung, **26**, 8 (1983).