

기술 특 집

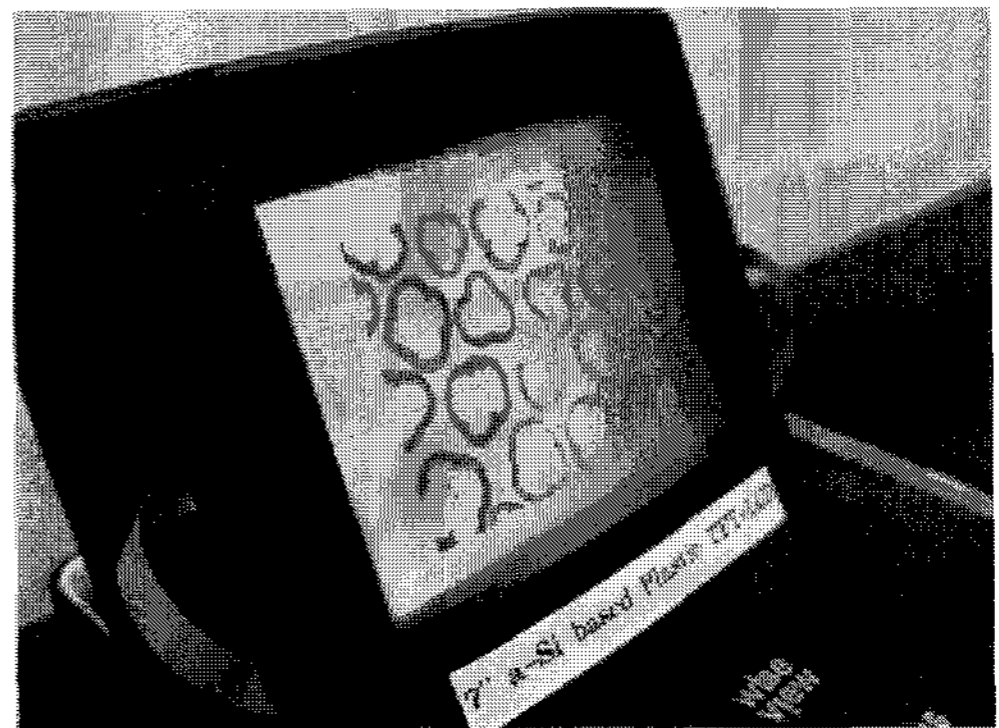
플렉시블 LCD(liquid crystal display)용 플라스틱 기판 (An introduction to plastic substrates for flexible LCDs)

김인선((주)아이컴포넌트)

I. 서 론

대형 LCD를 기반으로 TV 생산이 본격화된 2005년을 시작으로 LCD 산업에서 커다란 이슈들은 대형화와 저가격화로 2006년에는 저가격화 경쟁이 심화되고 있다. 따라서 상당 부분의 연구 자원과 노력이 공정 개선과 저가격 부품 개발에 집중되고 있다. 하지만 LCD 산업의 선두에 선 국내 업체들과 일본의 일부 업체들의 지속적인 연구 개발 과제는 플렉시블 디스플레이로서 다양한 모드의 플렉시블 디스플레이들이 소개되고 있는 실정이다.^[1-4] 플렉시블 디스플레이에 있어 기존 디스플레이와 가장 큰 차별 요소는 기판으로 기존의 유리와 다른 플라스틱 혹은 기타 소재의 플렉시블한 기판을 사용한다는 것이다. 플렉시블한 기판의 개발에 있어 자체 발광이나 반사 모드를 사용하는 다른 디스플레이 모드(즉 OLED, EPD 등)와 LCD는 차별화된 개발이 필요하다. 본 원고에서는 플렉시블 LCD 응용을 중심으로 기판의 개발에 대하여 고찰하여 보고자 한다.

플렉시블 디스플레이는 차세대 디스플레이로 관심의 대상이며 아직까지는 양산되는 모델이 없는 관계로 개발자들의 상상 속에서 다양한 용도로 제안되어 왔다. 하지만 영화 속에서 보여지는(공상 과학 영화, 예를 들면 Minority Report) 휴대가 간편하고 시간과 환경에 관계없이 이용할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)한 디스플레이가 실용화되기에는 거쳐야 할 몇 단계 진화과정이 필요할 것으로 예상된다. 2005년 2월에 개최된 Flexible Microelectronics and Display Conference에서 삼성전자는 플렉시블한 기판을 이용한 디스플레이의 발전을 삼단계로 정의하고 먼저 깨지지 않는(rugged) 디스플레이, 이후 굽혀지는(bendable) 디스플레이 마지막으로 플렉시블(flexible) 디스플레이의 구현을 예고했다.^[5] 이 경우 구현되어지는 디스플레이에 따른 응용 제품은 먼저 휴대용 기기(mobile & portable display) 이후 착용가능 혹은 유행 제품(wearable & fashionable display) 그리고 종이형태 디스플레이(paper-like display) 등이 예상된다. 플렉시블 기판 역시 이에 상응할 수 있는 개발이 예상되고 현재의 유리 기반 디스플레이에서 벗어나서



[그림 1] 국내에서 시도되고 있는 다양한 플렉시블 LCD 디스플레이의 예시

깨지지 않는 기판을 시작으로 종이형태의 디스플레이를 구현할 수 있는 기판까지 개발이 진행되고 있다.^[6,7,8]

II. 플렉시블 기판의 종류와 요구 특성

기존의 평판 디스플레이 기판으로 사용되는 유리 기판은 0.7mm 내외의 두께로 박막이다. 하지만 박막의 특성상 유리 기판은 깨지기 쉽고 휴대폰 등 이동형 디스플레이로 사용되거나 대형의 디스플레이에 적용되는 경우 추가의 보호창(유리 혹은 아크릴 재질)을 요구한다. 또한 유리 기판은 휘어지기 어려운 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하는 플렉시블 기판은 깨지지 않으며 휘어지는 특성을 가지는

[표 1] 디스플레이용 유리 기판의 요구 특성

Specification	LCD 종류		
	Black/White	Color STN	TFT
Heat Resistance (°C)	>200	>200	>200
Transmittance (%@550nm)	>85	>85	>85
Surface Resistance (Ω/\square)	40	40	40
Oxygen Transmission Rate (cc/m ² /day)	<0.5	<0.5	<0.5
Water Vapor Transmission Rate (g/m ² /day)	<0.1	<0.1	<0.01
Dimensional Stability (%)	<0.05	<0.05	<0.05
Chemical Resistance	aq. KOH	0	0
	aq. HCl	0	0
	Ethanol	0	0
	NMP	0	0

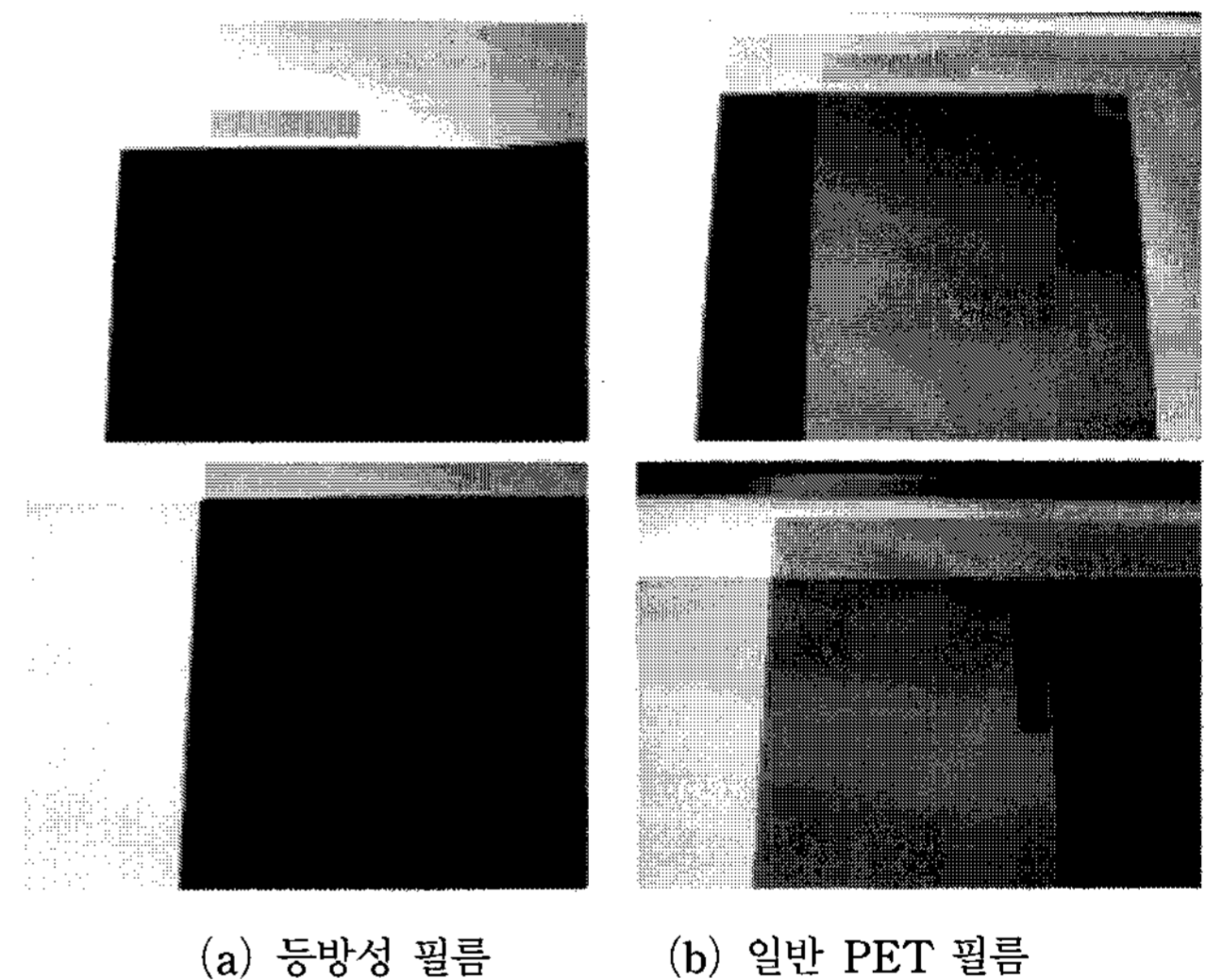
다양한 후보가 있을 수 있다. 특히 반사형 디스플레이에 적용되는 경우나 자체 발광 디스플레이에 적용되는 기판은 그 투명성의 필요가 비교적 낮다. 따라서 박막 금속 재질^[9]이나 유리 혹은 고내열성의 폴리이미드 고분자가 기판으로 사용되기도 한다. 고내열성 폴리이미드 고분자는 투명도가 열악하여 투과형 디스플레이 용도로 사용되기엔 미흡하다. 하지만 반사형 LCD의 backplane의 구현에는 사용되어 질 수도 있을 것이다. 유리의 경우 박막의 유리막을 형성하고 고분자 물질을 코팅하여 유리의 특성을 유지하면서 휨성을 부여하는 노력이 독일의 Schott사에서 시도되기도 하였다.^[10]

디스플레이 기판으로 사용되기 위해서는 기존의 디스플레이에서 요구되는 특성을 만족시켜야 한다.

기본적인 특성 중에는 투과형 디스플레이의 경우(LCD 등) 광학적 투명도와 균일도등이 요구된다. LCD는 편광 현상을 이용하므로 사용되는 기판의 광학 등방성이 중요한 특성으로 요구된다. 기타 요구되는 광학 특성은 haze, yellow index 등이 있다. 플렉시블 용 기판은 일반적으로 고분자 소재(필름)를 근간으로 만들어진다. 고분자 필름은 그 제조 공정 상 연신 공정을 거치는데 연신 공정 중에 고분자 사슬이 배향을 하게 되어 광학 이방성이 쉽게 부여되어진다. 상용되는 일반적인 필름인 PET제품은 특히 LCD 용도로 사용되기 어려운 광학 특성을 갖는다.

디스플레이 기판으로 요구되는 또 하나의 특성은 디스플레이 공정에 대한 적합성이라 할 수 있다. 기존 디스플레이 공정은 유리 기판을 이용하여 고온 공정 및 다양한 세정 공정을 포함한다. 이러한 디스플레이 공정에 대한 공정 적합성이 플렉시블 기판의 사용 여부를 결정하는 중요한 요소가 된다. 즉 고온 안정성과 정밀 공정을 위한 낮은 열팽창계수 그리고 각종 화학 용제에 대한 내화학성 등이 필요하다.

마지막으로 디스플레이 기판으로서 요구되는 특성은 디스플레이 구현 후의 안정성이다. 즉 유리 기판 상에 구현된 디



[그림 2] 등방성 광학 필름과 일반 PET 필름의 광학 이방성 비교(직교된 편광판 사이에서 필름의 방향에 따른 광학 투과 특성 변화)

스플레이 대비 얼마나 안정성을 확보할 수 있는가 하는 것이다. 플렉시블 기판을 고분자 필름으로 구현하는 경우 유리 기판 대비 기체에 대한 투과 특성이 떨어지는 단점을 갖는다. 즉 유리는 기체 투과를 하지 않는 반면 고분자 필름은 공기 중의 수분이나 산소를 투과시키는데 구현된 디스플레이 내부로 수분과 산소가 투과되면 흑점이 발생하거나 소자의 수명이 급격히 저하되는 현상을 보이게 된다. 따라서 고분자 필름을 디스플레이 기판으로 사용하는 경우 적절한 기체투과방지막을 형성하여 수분과 산소를 차단해 줄 필요가 있다. 참고로 기체 투과의 척도로는 수분에 대해 g/m²/day, 산소등 기타 기체에 대해서는 cc/m²/day의 측정 단위를 사용한다. LCD는 10⁻¹ 정도, 유기발광형 디스플레이(OLED)

[표 2] 플렉시블 기판용 소재와 특성

Continuous Use Temperature	Material	Charateristics
900°C	Steel	Opaque, moderate CTE, moderate chemical resistance, poor surface finish
275°C	Polyimide (Kapton)	Orange color, high CTE, good chemical resistance, expensive, high moisture absorption
250°C	Polyetheretherketon (PEEK)	Amber color, good chemical resistance, expensive, low moisture absorption
230°C	Polyethersulfone (PES)	Clear, good dimensional stability, poor solvent resistance, expensive, moderate moisture absorption
200°C	Polyetherimide (PEI)	Strong, brittle, hazy/colored, expensive
155°C	Polycarbonate(PC)	Clear, poor CTE, inexpensive, moderate moisture absorption
150°C	Polyethylenenaphthalate (PEN)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, inexpensive, moderate moisture absorption
120°C	Polyester (PET)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, inexpensive, moderate moisture absorption

의 경우 10^{-6} 수준의 수분투과특성이 요구되는데 일반적인 투명 고분자 필름은 10-100 정도의 수분투과 특성을 보인다.

표에서는 플렉시블 기판에 사용 가능한 다양한 소재의 특성이 소개되었다.

플렉시블 기판이 디스플레이 공정에 사용되기 위한 특성 외적인 요구 사항은 상용화 가능성이 되겠다. 즉 나날이 가속화되고 있는 디스플레이 가격 경쟁 구도에서 플렉시블 디스플레이 기판의 가격은 플렉시블 디스플레이의 신규성보다는 기존 디스플레이 제품과 경쟁 제품으로 해석될 가능성이 높고 따라서 기판의 가격 경쟁력이 개발에 있어 매우 중요한 요소가 될 것이다. 이는 현재 개발이 진행되는 필름 소재의 선택에서도 입증되고 있다.

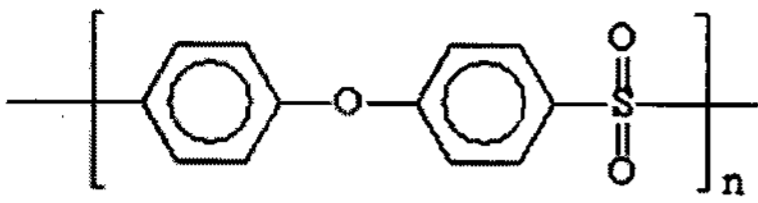
III. 고분자 필름 소재

투명하고 내열특성이 우수하며 상용화된 필름 소재는 그 선택의 폭이 그리 크지 않다. 범용 제품으로 사용되는 PET 제품은 국내의 대기업(SKC, Kolon, Toray-새한) 등에서 양산되고 있으나 내열특성과 광학 이방성등 자체 특성 때문에 디스플레이 기판으로는 고려되지 않고 있다. 하지만 그 양산성을 고려할 때 저가격 구현이 가능하기 때문에 대형 디스플레이 혹은 저해상도 디스플레이 용 기판 소재로 고려되고 있다. PET의 유사 제품인 PEN은 내열 특성이 PET보다는 우세한 것으로 알려져 있으며 미국의 DuPont-Teijin사와 국내의 SKC사에서 개발된 것으로 DuPont-Teijin사에서는 PEN 필름을 디스플레이 기판으로 가공하고 플렉시블 디스플레이에 적용하는 노력을 기울이고 있다. 하지만 이러한 결정성 고분자 소재들은 생산 공정 과정 중

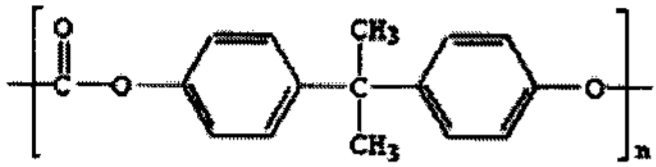
이나 그 물질 자체 특성상 광학 이방성을 나타나게 되므로 LCD용으로는 부적합하다.

PET나 PEN보다 내열 특성이 우수하고 양산, 범용 제품으로 사용되는 필름으로 투명성을 가지는 소재로서 polycarbonate(PC)가 있다. PC는 내열성을 나타내는 척도인 유리전이온도(glass transition temperature, Tg)가 150도 수준으로 미국의 GE, Dow, 일본의 Teijin, Mitsubishi, 독일의 Bayer등 세계적으로 양산되는 필름 소재이다. 현재 미국의 GE사와 일본의 Teijin사에서는 PC 필름을 이용한 디스플레이 기판을 개발하는 연구를 진행하고 있으며 Teijin사는 기판의 판매를 진행하는 것으로 알려져 있다. 또한 Tg를 220도 수준까지 상승시킨 필름 소재의 개발도 진행하고 있다.^[11,12] 투명하면서 PC보다 내열 특성이 우수하며 양산성이 확보된 소재로 polyethersulfone(PES)은 90년대 말 일본의 액정디스플레이 회사인 Sharp사에서 플라스틱 LCD 기판으로 사용되어진 소재이다. PES는 Tg가 225-230도 수준으로 다른 여타의 투명 고분자 소재보다 비교 우위를 점하고 있다. 일본의 Sharp사는 Sumitomo Bakelite사와 공동 개발을 통하여 PES 필름을 이용한 플렉시블 기판을 이용 passive matrix LCD를 구현하였고 이를 휴대폰에 적용한 경험이 있다.

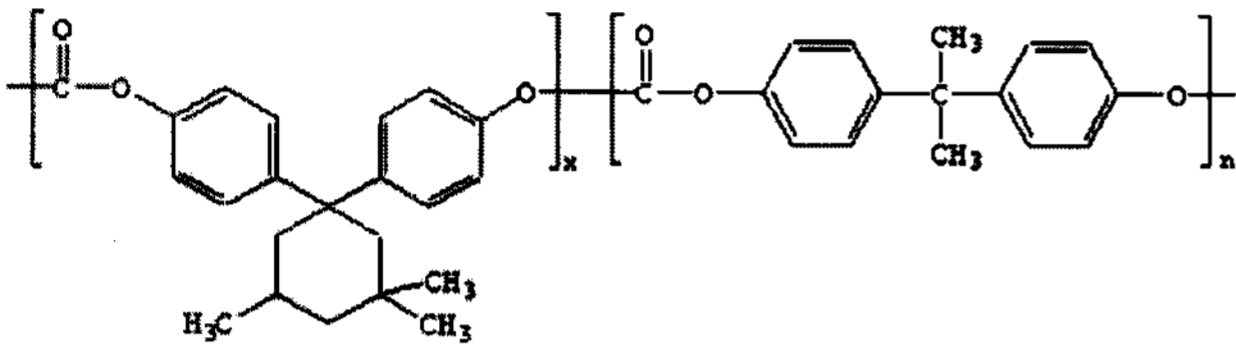
비교적 양산성이 확보되고 내열 특성이 우수하고 투명한 고분자 필름 소재로는 Cyclic Olefin Copolymer(COC)와 polyarylate(PAR) 등의 소재들이 있지만 이들 소재를 이용한 디스플레이 기판의 개발은 상기 기술한 소재보다는 그 진행이 더딘 것으로 알려져 있다. 이와 같이 비결정성 고분자인 PC, PES, COC, PAR 등은 공정에 따라 등방성 필름의 형성이 가능하므로 LCD에 보다 적합한 소재로 볼 수 있다. 하지만 이러한 소재들도 가공 공정에 따라 광학 이방성이 쉽게 형성되므로 LCD 적용 시 주의가 필요하다.



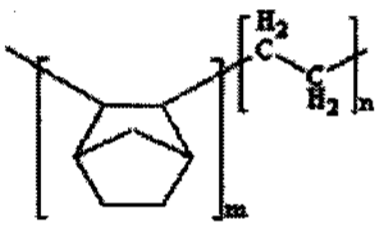
poly(ethersulfone)



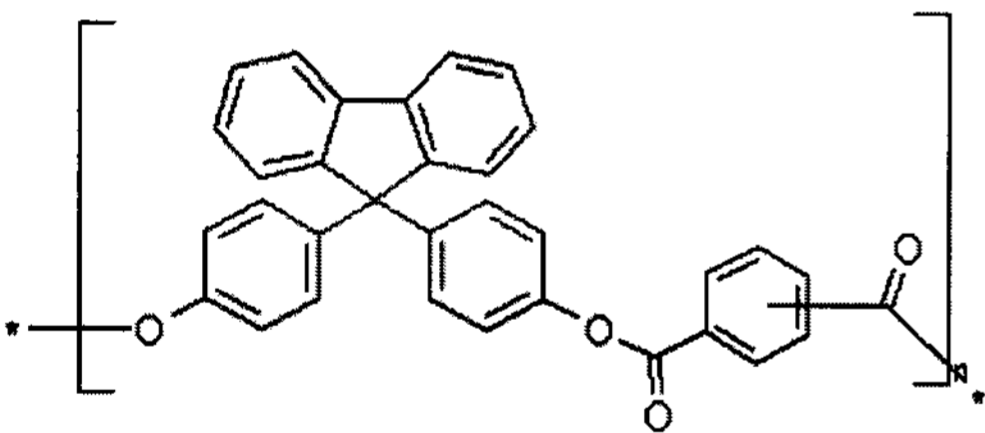
polycarbonate



high temperature polycarbonate



cyclic olefin copolymer (COC)



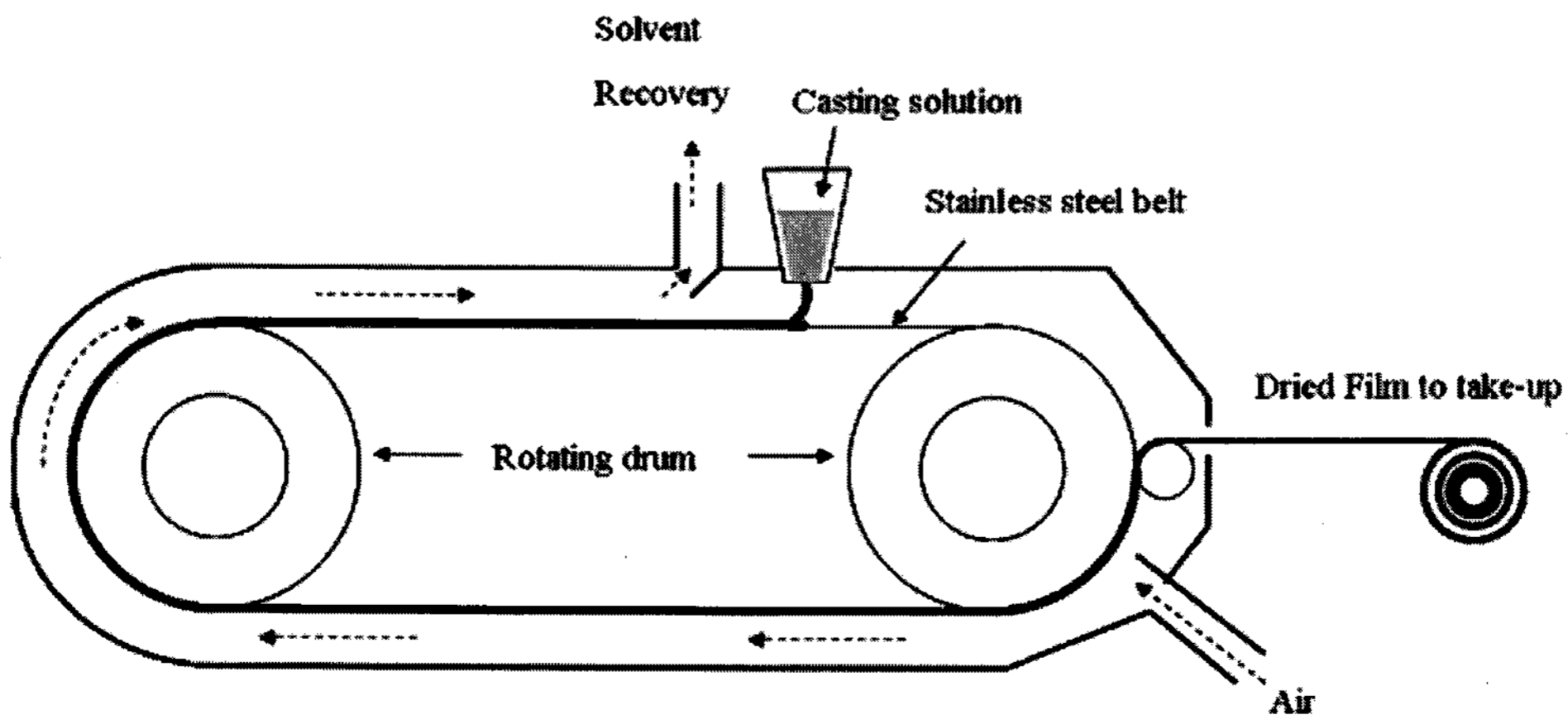
polyarylate

[그림 3] 다양한 기관용 고분자 필름 소재의 화학구조

IV. 기관용 고분자 필름의 제조 공정

기관용 고분자 필름은 높은 요구 특성 상 대부분 용액 캐스팅 방법에 의해 제조된다. 즉 고분자 물질을 적절한 용매에 용해시켜 이 용액을 경면 처리된 벨트나 롤 상에 도포하는 공정을 이용한다. 도포된 용액은 필요한 건조 공정을 거치면서 필름으로 성형되어지고 형성된 필름은 그 표면이 평탄하고 광학적으로 이방성이 매우 낮으며 균일성이 우수하다. 용액캐스팅 방식은 공정 중 건조되는 용매의 회수 및 재활용 측면에서 비교적 경제성이 떨어지지만 현재 액정 디스플레이에 사용되는 위상차 필름 등 많은 광학필름이 상기 방식을 이용 성형되고 있다. 이 방식은 공정에 필요한 벨트의 경면처리와 건조에 따른 조건 조절 등이 제조되는 필름의 특성을 좌우한다.

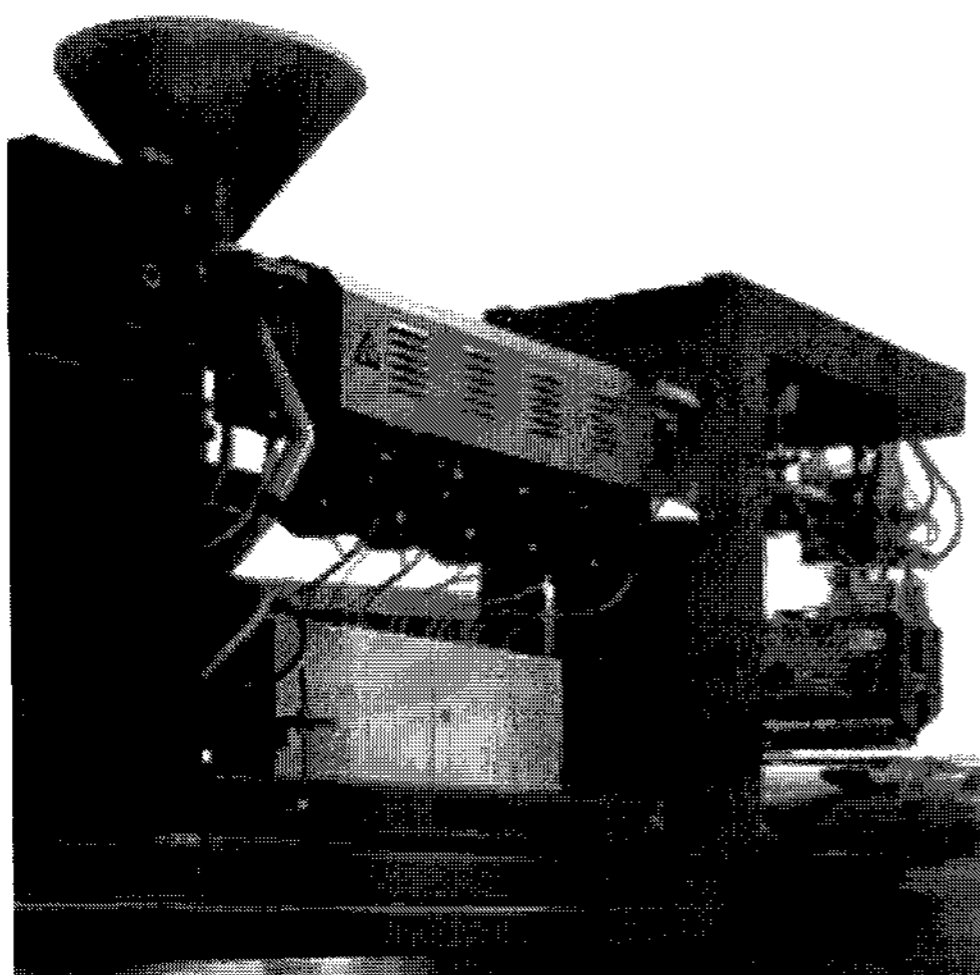
용매를 이용하지 않고 고분자 소재의 온도를 상승시켜 용융화 시킨 후 다이(die)등을 통과시켜 필름을 성형하는 방법인 압출법으로도 기관용 고분자 필름의 제조가 가능하다. 압출법은 용매를 사용하지 않는 대신, 용융된 고분자의 이동성이 크기 때문에 작은 힘에도 분자 사슬에 변형이 쉽고 이에 따라 쉽게 등방성을 잃을 수 있는 등 공정의 난이도가 큰 제조 방법이다. 즉 용융 상태에서는 분자 사슬이 등방성을 유지하지만 필름 성형과 냉각과정에서 가해지는 스트레스는 분자의 배향을 유도하게 되고 배향된 분자들은 특정 방향의 광학 이방성을 형성하여 편광특성이 적용되는 제품에서(LCD등)는 사용하기 어려운 광학 특성을 나타낸다. 일반적으로 편광특성을 사용하는 액정디스플레이의 경우 기관의 광학 이방성은 10nm 이하로 유지되어야 한다. 용융 압출법은 요구 특성 대비 제조 공법이 난이하지만 대량 생산 시 생산 효율이 우수한 것으로 알려져 있다. 결정성 고분자 필름(PEN, PET등) 역시 비슷한 용융 압출법을 이용하여 생산된다. 하지만 PEN 또는 PET의 경우에는 압출 공정 중에 필름을 이축 연신함으로써 그 광학 이방성이 보다 커지는 결과를 보인다.



[그림 4] 고분자 필름 용액 캐스팅 공정

[표 3] 플렉시블 디스플레이 기판용 PES 필름 특성

	ASTM	Unit	PES	etc
CHEMICAL				
Specific gravity	D792		1.37	
Moisture absorption			0.7	Saturation at STP, 50%RH
Water absorption	D570	%	0.4 2.1	24h at 23°C Equilibrium at 23°C
H ₂ O vapor permeability		g/m ² ·d	50	38.5°C, 100RH%
Oxygen Permeability		cc/m ² ·d	253	35°C, 0RH%
INTRINSIC				
CTE	D696	m/m/°C	5.5×10 ⁻⁶	
Tg		°C	230	DSC
Td	TGA	°C	460	TGA, 0.5% weight loss
OPTICAL				
Transmittance(550nm)	200μm	%	87.9	Minolta CM3600D
Haze	D1003	%	0.15	Minolta CM3600D
Refraction index			1.65	Abbe refractometer
Yellow INdex	E313		2.53	Minolta CM3600D
Retardation		nm	<5	PCT-2000
ELECTRICAL				
Surface resistivity	D257	Ω	>10 ¹⁴	
Volume resistivity	D257	Ω-m	>10 ¹⁵ ~10 ¹⁸	
Dielectric constant	D150		3.5	10 ³ Hz, 10 ⁶ Hz
Breakdown voltage	D149	kV/mm	125	
MECHANICAL				
Surface roughness		nm	3.4/1.6	AFM
Tensile stress(MD/TD)	D882	MPa	87.7/86.6	UTM, kgmmmin

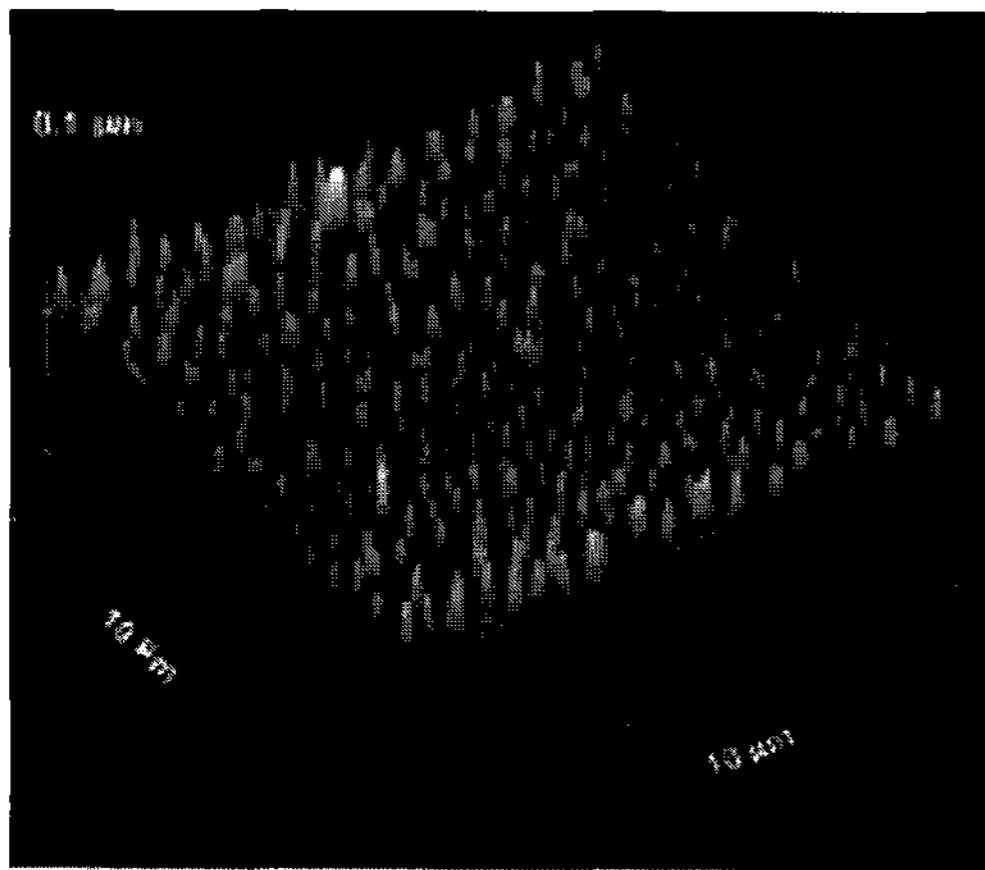


[그림 5] 고분자 필름용 용융 압출기

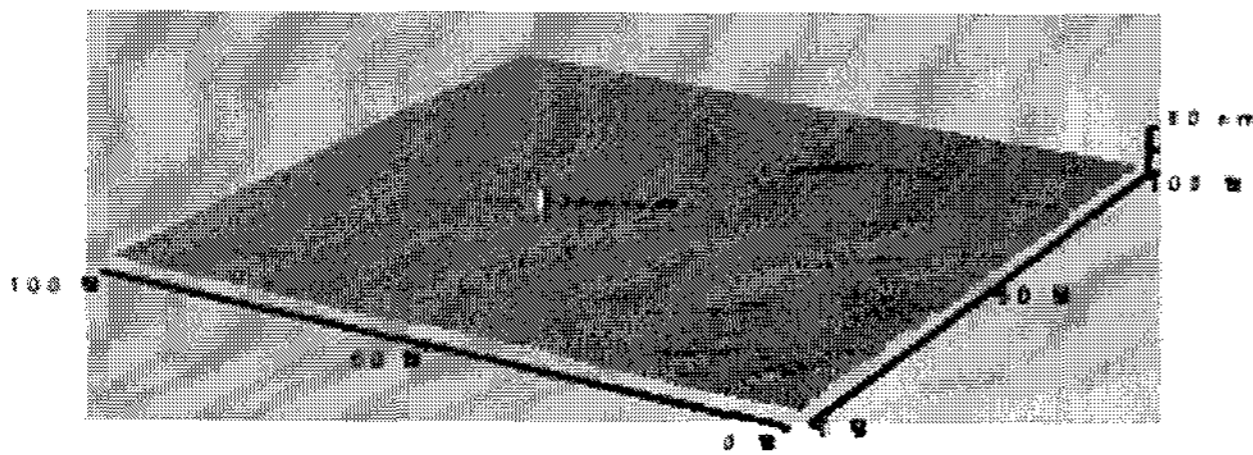
용융 압출법에 의해 제조된 기판용 고분자 필름(Polyethersulfone 필름)의 특성은 표에서 보는 바와 같다.

V. 기체투과방지막

고분자 필름의 특성 중 기체투과방지막 특성은 기술적으로 도전적인 특성이다. 유리 기판의 기체투과특성이 10⁻⁶g/m²/day 이하를 보이는 반면 고분자 필름은 10-100의 특성을 보이기 때문에 달성하기 힘든 기술적인 어려움이 존재한다. 고분자 필름의 특성 중 부족한 특성은 표면 처리나 코팅을 통하여 해결하는 것이 일반적인 접근법이다. 특히 기체투과방지막 특성은 고분자 물질이나 유기 물질로 해결하는 데는 한계가 있다. 유기물질을 이용한 기체투과방지막은 식품의 포장 등 제한적인 특성을 요구하는데 이용된다. 예를 들면 PVA(polyvinylalcohol)이나 연신된 nylon 필름 등을 이용하여 수분투과방지막으로 사용하기도 한다. 이 경우 수분투과방지 특성은 1-10g/m²/day 수준으로 디스플레이에 적용되는데 한계가 있다. 또한 알루미늄을 고분자 필름에 증착하여 수분투과방지 특성을 구현하기도 하는데, 과자류 포



(a) PET 필름의 표면 구조



(b) 비정형 고분자 필름의 표면 구조

[그림 6] PET 필름의 표면 구조와 비정형 고분자 필름의 표면 구조

장에는 일반적으로 이용되는 방법이나 물질의 광학 특성은 반사의 특성을 보이므로 디스플레이 적용되기 어려운 방식이다.

기체투과방지 특성에서 유리한 물질로는 흔히 유리를 떠올릴 수 있다. 비록 플렉시블 기판이 유리 기판을 대체하고자 하나 유리의 강점인 기체투과방지 특성을 이용하고 휨성을 부여하여 기판으로 적용하는 시도가 진행되었다. Agfa사는 유리와 플라스틱 필름을 점착제(PSA, pressure sensitive adhesive)를 이용 접합시키는 기판의 개발을 진행하였다. 하지만 접합된 기판의 열팽창 계수의 차이로 인해 디스플레이 공정 중에서 문제를 발생시키는 것으로 알려졌다. 또한 Schott사에서는 유리에 고분자 물질을 코팅한 기판의 개발을 진행하였다. 이는 점착제를 사용하지 않고 코팅 방식을 이용한 것으로 휨성은 고분자 필름 수준으로 우수하고 기체투과방지 특성을 유리 수준으로 구현할 수 있는 기판으로 가능성을 보였다. 하지만 박막의 유리를 사용하여 기판의 취급에 있어 쉽게 부서지는 난점을 나타내었다.

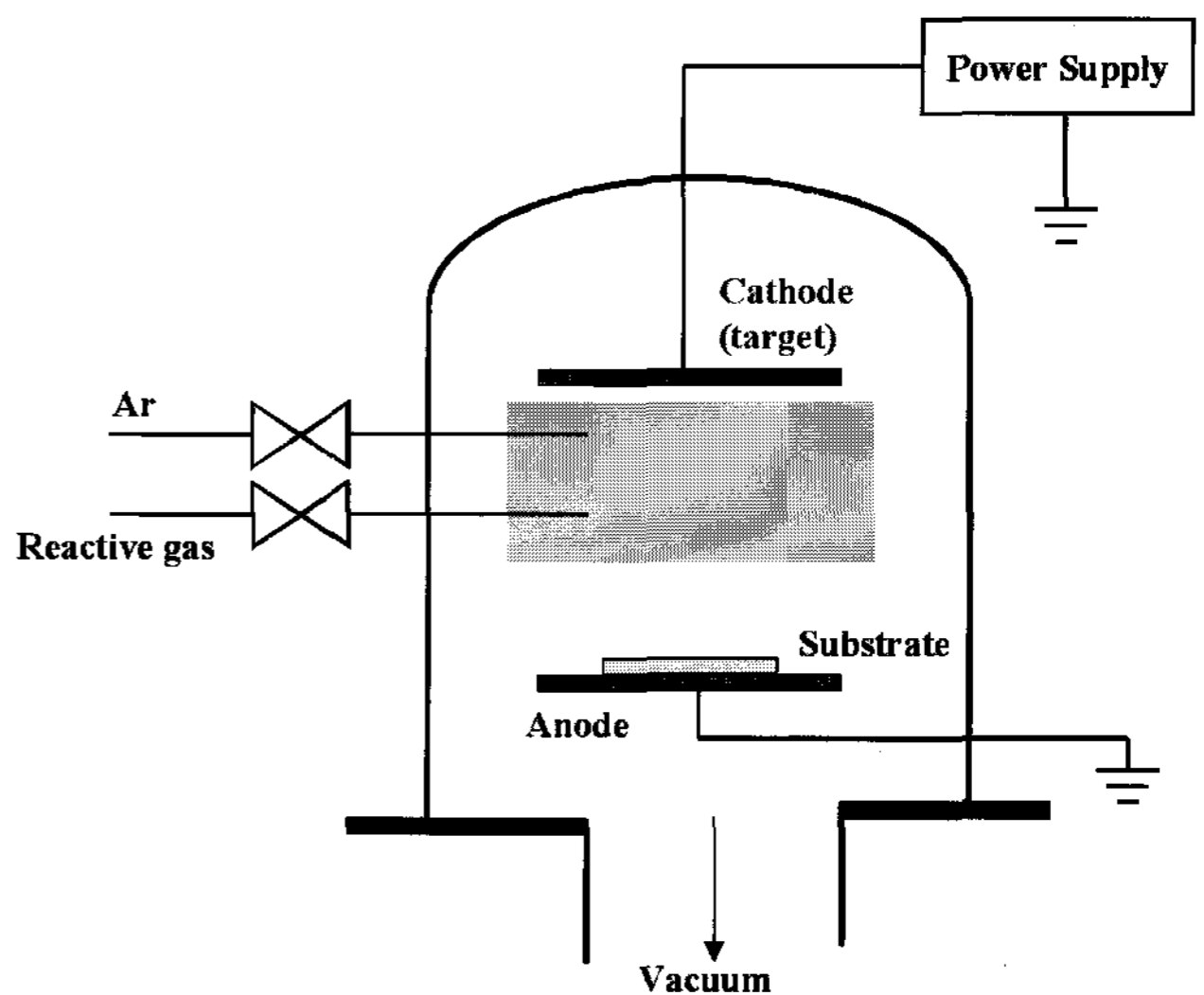
고분자 필름을 주요 소재로 기판을 구현하는 경우에는 무기물을 필름 표면에 코팅하여 기체투과방지 특성을 구현하기도 한다. 즉 수백-수천 Å 수준의 무기물을 고분자 필름 표면에 도포하여 유리기판과 같은 기체투과방지 특성을 구현하는 것이다. 이를 위해서는 고분자 필름의 표면 특성이 매우 중요하다. 즉 표면 평탄도와 같은 물리적 특성과 필름 표면에 산재한 기능성기는 도포되는 코팅의 표면 특성, 밀착성등과 밀접한 상관관계를 갖는다. 예를 들면 결정화가 일

부 가능한 PET필름은 필름의 압출 과정 중에 표면에 미세한 구조 성장이 관찰되며 이러한 구조는 돌기의 형태로 필름 표면에 남게 된다.

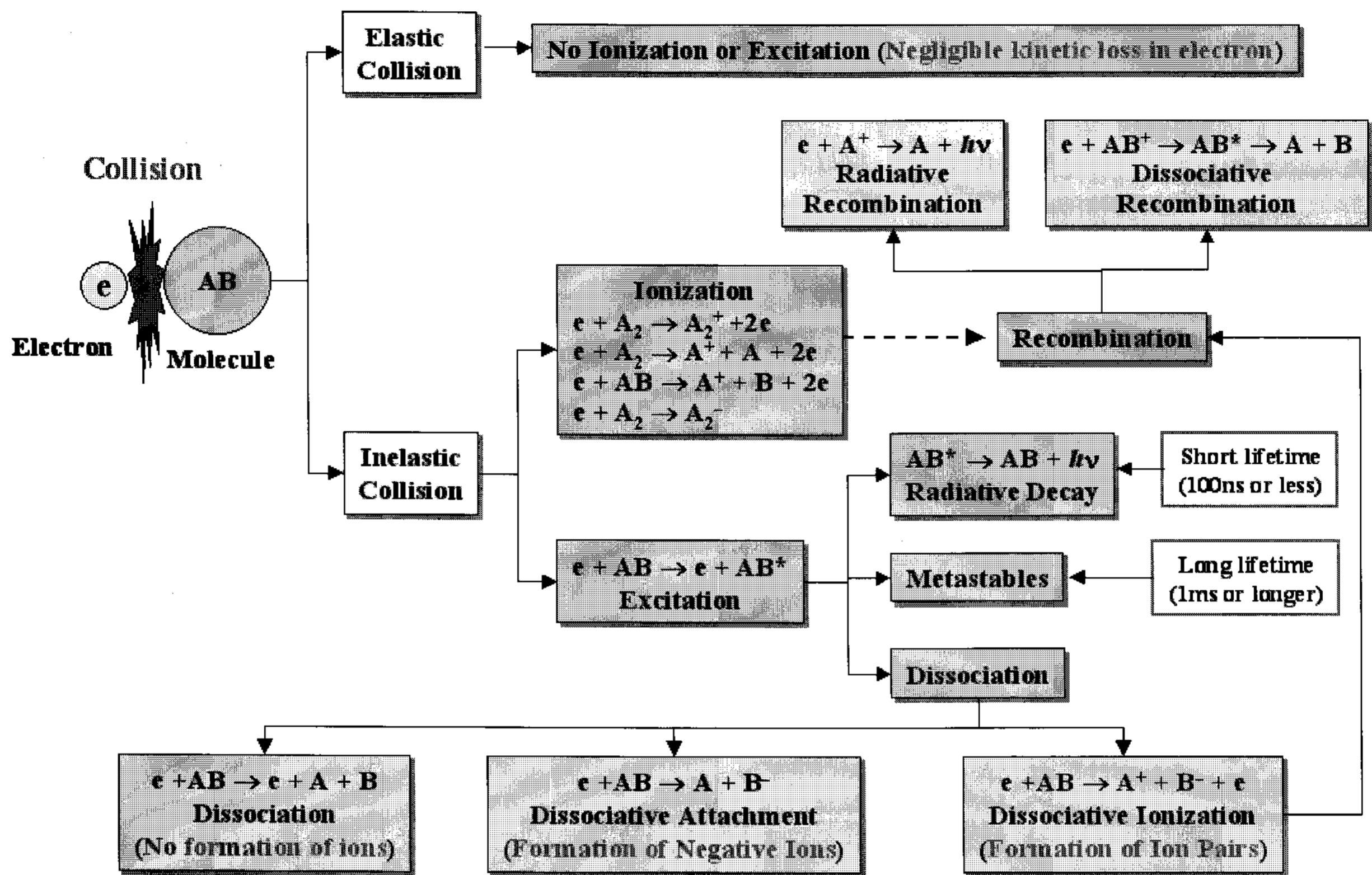
이러한 표면 돌기는 추가되는 표면 코팅에 결점을 유발시킬 수 있다. 따라서 유기물을 먼저 코팅하여 표면 평탄도를 높인 후 무기물 코팅을 해야 하는 단점이 있다. 이에 비하여 비정형 고분자를 이용하는 경우 필름의 표면 평탄도는 결정성 고분자에 비해 우수하고 필름 가공 방식에 따라 10nm 이하의 표면 평탄도를 달성할 수 있어 유/무기물 코팅에 유리한 특성을 보인다. 필름의 코팅 특성을 향상하기 위해서, 즉 코팅되는 물질의 도포 특성이나 접착성 등을 향상하기 위해서 필름 표면을 물리적 혹은 화학적으로 개질하기도 하는데 이때 플라즈마 처리나 코로나 처리법이 응용되기도 한다.

무기물을 이용하는 기체투과방지막은 습식유기물 코팅 방식을 이용하기보다는 건식 진공 코팅 방식을 사용한다. 특히 고분자 필름의 가공은 roll-to-roll 방식을 이용하는 것이 일반적이며 진공 코팅 공정도 롤 필름을 진공 챔버에서 roll-to-roll 코팅을 적용하는 공정을 이용한다. 진공 코팅 공정에는 스퍼터링, evaporation, 플라즈마 화학증착(plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD) 등의 방식이 주로 사용된다. 상기 기술에는 서로 상이한 물질과 공정이 적용된다. 각기 공정은 필요한 기체차단 정도, 코팅 속도, 접착력 및 플라스틱의 탄성률 그 외의 다양한 면을 고려하여 코팅 방법을 선택해야 된다. 또한 기체차단특성은 증착속도, 증착두께의 정밀도, 형성되는 박막의 조밀성등에 따라 결정된다.

일반적으로 기체투과방지막 공정으로 많이 사용되는 진공 코팅 공정은 스퍼터링 방식이다. 스퍼터링은 유리등에 다양한 용도의 무기막을 코팅하는 공정으로 상용되고 있다. 우수한 전도성을 요구하는 도전막이 그 대표적인 예라 할 수 있으며 indium tin oxide(ITO)가 대부분 사용된다. 또한 anti-reflection(AR) 코팅, low-emissivity(Low-E) 코



[그림 7] 반응성 스퍼터링 장치의 기본 구조



[그림 8] 플라즈마 반응의 메커니즘

팅, 정전기 방지 코팅 등도 상용되고 있다. 하지만 고분자 필름 상에 기체투과방지막을 코팅하는 경우에는 금속산화물을 코팅하는 것이 일반적이며 RF 마그네트론 스퍼터링을 사용하거나 반응성 DC 마그네트론 스퍼터링등을 사용하여 코팅막을 형성하게 된다.

반응성 스퍼터링의 경우 반응성 기체와 함께 원소 타겟 (elemental target)을 스퍼터링함으로써 타겟 원소와 기체가 화합물을 형성하며 코팅되는 방식이다.

예를 들어 알루미늄을 스퍼터링할 때 반응성 기체로 산소를 함께 주입하게 되면 AlxOy 화합물 코팅막을 형성할 수 있으며 반응 조건에 따라 생성되는 화합물의 원소비인 x와 y를 조절할 수 있다. 같은 방식으로 다양한 원소 타겟과 반응 기체에 따라 다양한 무기물 즉 SiOx, SiCx, SiNx, TiOx, MgOx을 코팅할 수 있다. 반응성 스퍼터링에서 주로 발생하는 여러 가지 문제점은 반응 중 발생하는 아크 (arching), 양극 소멸 (disappearing anode)외에 반응 조건의 불안정성 등을 들 수 있다.^[13-16] 또한 고분자 필름을 고진공 하에서 공정을 진행하게 되는데 고분자 필름은 자체 수분을 함유하고 있어 공정 중에 압력 변화를 가져와 코팅 공정을 안정적으로 유지하는 데 어려움이 있다. 반응성 스퍼터링을 이용하는 경우 일반적으로 10⁻¹g/m²/day 수준의 수분투과방지 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려지고 있다.

플라즈마 화학증착(PECVD)은 중합이 가능한 유기 또는 무기 증기(vapor)를 사용하여 플라즈마를 형성하고 이들 반응물을 고분자 필름 상에 증착시키는 공정을 말한다.

이 경우 반응성 물질의 선정 및 반응 조건의 변화에 따라

증착되는 물질을 유기계, 무기계 혹은 유/무기 하이브리드 계의 조절이 가능하며 다양한 특성의 코팅막을 형성할 수 있다. 플라즈마 반응 메커니즘은 이온화, 여기, 완화, 해리, 재결합등의 반응이 동시에 일어나기 때문에 정교하게 조절된 구조의 코팅막을 형성하기에는 어려운 특징이 있으나 기판의 특성에 구애받지 않고 원하는 화합물을 코팅할 수 있으며 표면접착력이 우수한 특성을 갖는다.^[17] SiOx 박막 형성에는 tetramethoxysilane(TMOS), tetraethoxysilane (TEOS), hexamethyldisiloxane(HMDSO), tetramethylsilane (TMS)등의 단량체와 산소 또는 산소/알콘의 혼합물이 사용된다.^[18-20] AlxOy의 경우 trimethylaluminum (TMA), triethylaluminum(TEA), aluminum chloride (AlCl₃) 등의 단량체와 O₂/Ar, H₂/Ar 등의 기체 혼합물이 사용된다. 플라즈마 화학증착 방식을 사용하여 원하는 조성의 박막을 형성하는 조건을 확보하는 경우 스퍼터링과 비슷한 수준의 수분투과방지막을 형성할 수 있다. 하지만 코팅막의 조성은 다양한 부산물을 포함하게 되는데 예를 들어 SiOx의 경우 Si-C, Si-H, Si-OH 등의 결합도 그 조성을 발견할 수 있다.

VI. LCD용 ITO박막의 요구 특성

투명전도막은 기존의 LCD에서 전극 재료로 사용되는데 전기적 특성 및 에칭성이 우수하고 광학투과도가 우수한 Indium Tin Oxide(ITO)가 주로 사용되고 있다. ITO는

다양한 방법에 의해 제막이 가능하나 현재 상업적인 양산을 위해서는 대형 기판에 균일한 박막제조가 가능하고 고품질의 막 제조가 가능한 스퍼터링 방법이 주로 사용되고 있다. 하지만 현재 LCD 용도로 사용되는 ITO의 스퍼터링은 유리 기판상에 고온에서 진행하거나 전도 특성의 향상을 위하여 고온에서 열처리를 가하는 등 플라스틱 기판에서는 사용되기 어려운 공정 조건이 적용된다. 일반적으로 요구되는 저항 특성은 $1\sim 2 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ 로서 높은 광학투과도와 미세 패턴을 위한 에칭 특성이 요구된다. 플라스틱 기판은 고온에서의 치수 안정성 문제 등으로 인하여 고온 공정을 진행하기 어려운 관계로 IZO(indium zinc oxide) 등이 시도되거나 다층 구조를 이용한 투명 전극의 개발이 진행 중이다. 현재 플라스틱 필름 상에 코팅되는 ITO의 주요 용도는 터치스크린이나 무기EL램프 등에 사용되는 정도이다. 따라서 플렉시블 LCD의 개발과 함께 보다 특성이 우수한 투명 전극의 개발 또한 필요할 것으로 예상된다.^[21]

VII. 플렉시블 디스플레이 기판 개발 동향

고분자기판을 사용한 플렉시블 디스플레이는 일본의 Sharp사에서 passive matrix LCD를 개발 생산한 경험을 가지고 있다. 당시 Sharp사는 일본 Sumitomo Bakelite사의 PES기판을 이용하였으며 그 이후 Teijin사에서는 PC기판을 생산하는 것으로 알려져 있다. 하지만 플렉시블 디스플레이가 차세대 디스플레이로 주목을 받게 되면서 신규기판의 개발 및 기판 특성의 향상에 연구 개발이 진행되고 있다. 특히 LCD 이후 차세대 디스플레이 모드로 주목을 받고 있는 OLED(유기발광디스플레이)를 플렉시블 기판에 적용하기 위해서는 그 기체투과방지 특성이 극도로 향상되어야 한다. 이를 위한 노력은 현재 지속되고 있는데, 미국의 Vitex Systems 사가 기술적으로 선진 업체로 주목받고 있다. Vitex의 기술은 유기물과 무기물의 반복 코팅으로 기체투과방지 특성을 향상시키는 기술로서 유기물과 무기물의 반복적인 코팅을 모두 진공 공정에서 진행하는 특성이 있다. 유기물은 반응성 물질의 코팅과 경화로 이어져 고분자 코팅막을 형성한다. 일반적으로 고분자코팅 막은 상압에서 습식코팅(wet coating) 방식으로 적용된다. 하지만 Vitex의 기술은 유기물을 진공에서 증착하고 경화하게 되며 이 과정에서 우수한 평탄화 효과를 가져올 수 있게 된다. 이러한 평탄화 효과는 고분자 필름 상의 다양한 결함을 보완할 수 있다. 또한 무기물 코팅 시 나타나는 결함도 무기물위에 코팅되는 유기물을 통하여 평탄화시킬 수 있어 연속적으로 코팅되는 무기막의 특성 향상에도 도움을 준다. Vitex는 약 5층의 무기물과 5층의 유기물의 반복 코팅을 통하여 $10^{-6} \text{g/m}^2/\text{day}$ 수준의 수분투과방지 특성을 확보할 수 있을 것으로 예측하고 있다.^[22]

미국의 Dow-Corning사는 Silicon 물질을 PECVD 방식으로 코팅하는 기술개발을 상당 기간 수행하고 있으며 다층막이 아닌 단층막에서 유/무기 하이브리드 형태의 막을 형

성하여 기체투과방지막을 구축하는 특징을 갖는다. 이러한 단층막과 고분자 필름과의 계면에서는 계면의 상용성을 높이는 조성의 막이 형성되어 있으며 단층막의 표면에서는 기체투과방지 특성이 우수한 고밀도의 막을 형성되게 된다. 이 경우 박막 내에서 경질의 코팅막과 연질의 고분자 필름 사이 중간적인 특성을 갖는 버퍼(buffer) 형태의 중간층을 갖게 되어 우수한 기계적 특성이 예상된다.^[23]

기체투과방지막 기술 개발과 함께 고분자 필름용 신규소재를 개발하는 노력도 지속되고 있다. 고분자필름의 기본 특성 특히 내열특성 및 기계적 특성 등은 사용되는 소재에 의해 결정된다. 따라서 기존 소재의 개선 및 신규 소재의 개발을 통한 특성 향상을 보고하는 논문들이 최근 늘어나고 있다. PC 필름 업체인 GE사나 Teijin사의 경우 일반 PC의 150도 수준의 Tg를 220도 수준까지 상승시킨 개선된 PC 필름에 대한 개발을 발표하였다. 내열특성의 척도인 Tg를 향상시키는 노력은 높은 Tg를 갖지만 투명성이 떨어지는 polyimide 필름의 소재에서 분자 구조를 치환하여 투명도를 높이는 노력도 진행되고 있다. 즉 colorless PI 필름의 구현도 기대되는 바이다. 내열특성과 함께 디스플레이 공정에서 중요시되는 필름 특성은 열팽창 계수(coefficient of thermal expansion, CTE)이다. 이는 가열과 감열을 반복하여 진행되는 디스플레이 제조공정 중 정밀한 위치 제어(registering)가 필요한 미세공정에서 보다 높은 정밀도를 달성하기 위하여 낮은 CTE를 갖는 고분자 필름이 요구되는 것이다. 유리의 경우 5-7ppm 수준의 CTE를 보이는 반면 디스플레이 기판으로 사용되는 PES필름은 50ppm 정도의 CTE를 나타내기 때문에 CTE가 낮은 소재를 사용하는 것이 디스플레이 공정에 유리할 수 있다. 이를 위해서 일본의 Sumitomo Bakelite사는 복합재료를 이용하여 필름 소재를 개발하는 연구를 진행하고 있다. 즉 비정형, 고내열성 고분자 소재를 이용하던 기존의 필름에서 나노 입자나 나노 섬유를 보강재로 사용하여 필름을 제작함으로써 필름의 CTE를 낮출 수 있음을 보고하였다.^[24]

VIII. 결 론

기존의 유리 기판과 비교할 때 고분자 기판이 갖는 장점은 얇고 가볍고 충격에 강하면서 휘성을 부여할 수 있다는 것이다. 이러한 장점을 이용하는 플렉시블 디스플레이가 차세대 디스플레이 시장에서 중요한 역할을 할 것은 의심의 여지가 없다. 하지만 고분자 기판이 유리 기판 대비 떨어지는 특성인 내열성, 기체투과 특성, 열팽창계수, 내화학성 등은 계속적으로 개선되어야 할 과제이다. 국내의 디스플레이 업체가 이미 세계적 디스플레이 업체로 인정받고 있고 기술 개발에도 집중하고 있으므로 고분자기판에 기반한 플렉시블 디스플레이가 머지않은 미래에 도래할 수 있을 것으로 예상된다.

고분자 기판의 경우 원천 기술적으로 확보되어야 할 기술은 기체투과방지막 기술이라 할 수 있다. 이 기술이 다른 기

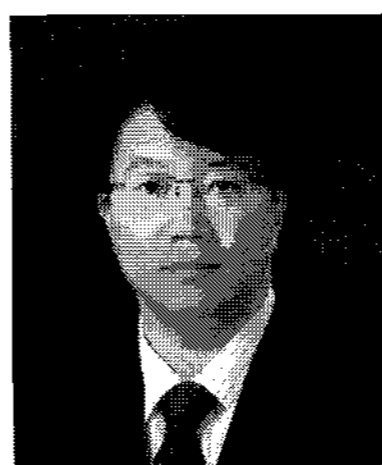
술에 비해 난점인 이유는 기체투과방지 특성을 확보하기 위해서 치밀한 구조의 무기박막을 형성해야 하는데, 무기박막의 치밀도를 증가시키고 두께를 높이는 과정에서 고분자 필름과 무기 박막 사이의 큰 물성 차이로 인해 접착력과 잔류응력등의 문제가 발생하기 때문이다. 이러한 문제는 지속적인 연구를 통해 해결되어야 할 과제이다.

고분자 기판은 단순히 특정 코팅만의 주제는 아니며 고분자 필름의 원재료, 필름 성형 공정 및 성형된 필름의 특성, 표면 처리, 다양한 코팅 기술, roll-to-roll 적용 가능성 등 다양한 기술이 복합적으로 융합되어 만들어져야 하고 이를 위해서는 다양한 분야의 협력과 공동연구가 필요하다 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. Jang and S. H. Han, "High Performance OTFTs on Flexible Substrate", SID'05 DIGEST.
- [2] M. Hong et al., "Large Area Full Color Transmission a-Si TFT-LCD Using Low Temperature Processes on Plastic Substrate" SID'05 DIGEST.
- [3] Y. Okada et al., "A 4-inch Reflective Color TFT-LCD Using a Plastic substrate", SID'02 DIGEST.
- [4] S. Aomori et al., "Reflective MIM-LCD Using a Plastic Substrate", SID'01 DIGEST.
- [5] K. Chung "Overview of Flexible Display R&D", Flexible Microelectronics & Displays Conference 2005.
- [6] P. Cirkel et al, "Towards flexible AMLCD's", IDW'02.
- [7] T. Hanada et al, "Flexible Plastic Substrate for Flat Panel Displays", IDW'02.
- [8] M. Okamoto et al, "Development of a Color Reflective TFT-LCD Using Plastic Substrate", IDW'02.
- [9] M. McCreary, "Flexible Displays Using E Ink's Electronic Ink Technology", Flexible Microelectronics & Displays Conference 2003.
- [10] N. Hildebrand et al., "Flexibe Glass Sheets", Flexible Microelectronics & Displays Conference 2003.
- [11] M. Schaepkens et al., "Polycarbonate film substrates for flexible display applications", International Display Workshop 2003.
- [12] I. Shiroishi et al., "A novel plastic substrate for a high resolution display", International Display Workshop 2003.
- [13] W. D. Sproul et al., J. Vac. Sci. Technology A, 13, 1188 (1995).
- [14] M. K. Olsson et al., J. Vac. Sci. Technology A, 16, 639 (1998).
- [15] W. D. Sproul et al., Surf. Coat. Technol., 89, 10 (1997).
- [16] K. Koski, J. Holsa, and P. Juliet, Thin Solid Films, 326, 189 (1998).
- [17] A. Grill, "Cold Plasma in Materials Fabrication", IEEE Press (1994).
- [18] N. Inagaki, S. Tasaka & M. Makino, J. Appl. Polym. Sci., 64, 1031 (1997).
- [19] A. S. da Silva Sobrinho et al. J. Vac. Sci. Technology A, 16, 3190 (1998).
- [20] C. Rau and W. Kulisch, Thin Solid Films, 249, 28 (1994).
- [21] D. Paine et al. "Transparent Conducting Oxide Materials and Technology", Flexible Flat Panel Displays, John Wiley & Sons 2005.
- [22] N. Rutherford, "Flexible Displays- A Low Cost Substrate/ Encapsulation Packaging Solution", Flexible Microelectronics & Displays Conference 2005.
- [23] W. K. Weidner, "Key Findings in the Development of Silicon-Carbon Alloy Films as Protective Barriers for Ultra-low Permeability Applications", Flexible Microelectronics & Displays Conference 2005.
- [24] T. Nakao, S. Shibarhara, and W. Oka, "High Performance Plastic Substrate for Flat Panel Displays" International Display Workshop 2003.

저 자 소 개



김 인 선

현 (주)아이컴포넌트 CTO, 상무이사, 서울대학교 섬유공학과 학사, University of Michigan, 고분자 공학 석사, University of Michigan, 고분자 공학 박사, 1995~1996 University of California, Davis Post-doc., LG전선 연구소, 차장