

제 3 장 기관용 고내열 폴리이미드 필름

김윤호

1. 고내열 폴리이미드 필름의 개요 및 필요성

- o 급속한 IT기술의 발전으로 원하는 정보를 쉽게 얻을 수 있는 유비쿼터스 시대의 가속화로 어디서나 디스플레이를 접할 수 있는 시대 (DoT: Display on Thing)를 맞이하고 있으며, 이에 따라 얇고 가벼우며 유연한 특징을 가지는 디스플레이들이 요구되고 있음.
- o 현재 디스플레이 기술은 커브드 디스플레이에서 폴더블 디스플레이로 전환되는 단계임. 기존 유리 기판 대신 유연하고 내열성이 뛰어난 폴리이미드(polyimide, PI) 기판 위에 소자를 제작하여 폴더블 디스플레이를 구현할 수 있음. 현재 개발되고 있는 유연디스플레이의 곡률 반경은 3mm 이하로 발전하였음.



그림 1 플렉시블 디스플레이의 진화 및 곡률반경의 감소

o 폴리이미드는 지금까지 알려진 고분자 중, 열적·기계적·화학적 물성이 가장 뛰어난 고분자 소재로서 우주·항공용으로 개발되었지만, 현재는 반도체·디스플레이 분야에 없어서는 안 될 재료이며 세계적인 시장은 1조 7천억 원에 이르고 있음.

o 2019년 7월, 일본에서 촉발한 수출규제에 의해 대일의존도가 높은 반도체/디스플레이 관련 핵심소재 수급에 어려움을 겪었음. 특히, 반도체/디스플레이 관련 소재·부품·장비분야의 경우, 외국 선진사들이 핵심 기술에 대한 특허를 선점하고 높은 기술장벽을 구축함으로써 국내 기업이 어려움에 처해있는 상황임.

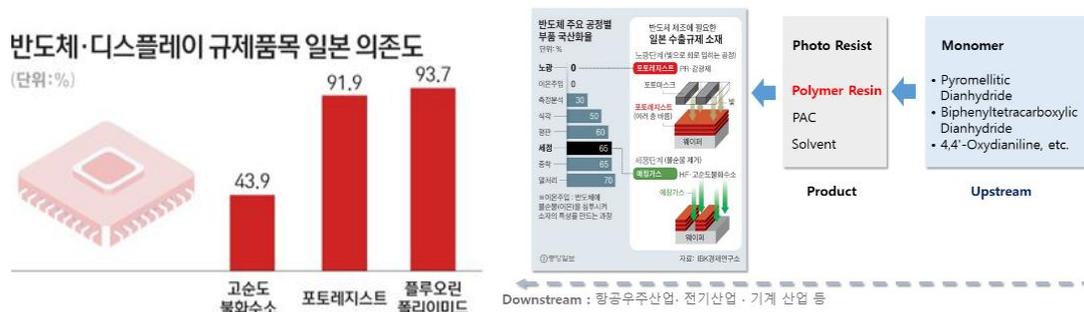


그림 2. 대일 의존도가 높은 핵심소재의 수출규제 내용

o 특히, 기능성 폴리이미드는 최근 일본에서 촉발한 수출규제 3대 품목에 들어가는 핵심소재로서 국내 반도체·디스플레이 산업에 필요한 고부가가치 소재임.

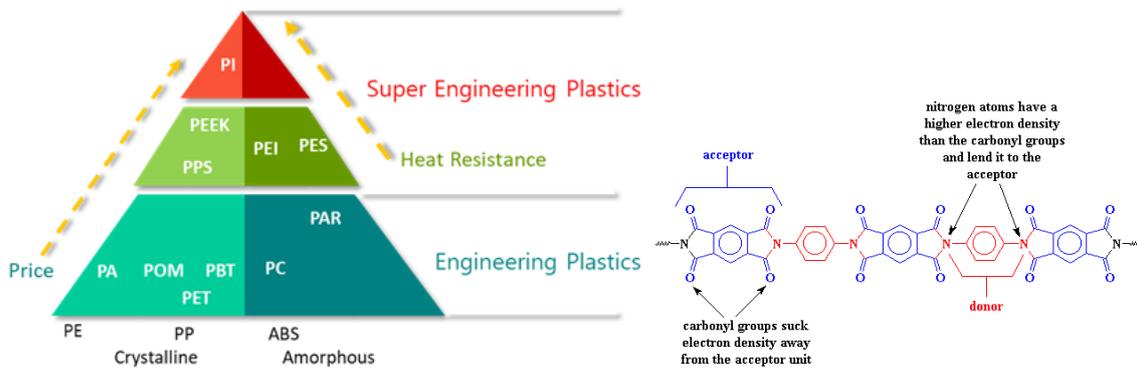


그림 3 플라스틱소재의 종류 및 폴리이미드 분자 구조 특징

o 고내열·고기능성 폴리이미드(PI) 개발을 위해서는 우선 내열성과 구조적 특성이 우수한 단량체 및 전구체가 요구되며, 이를 포함하는 바니시를 이용한 필름 코팅 및 필름화 하는 공정기술 개발이 필요함.

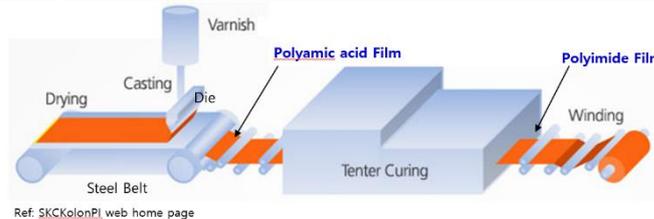
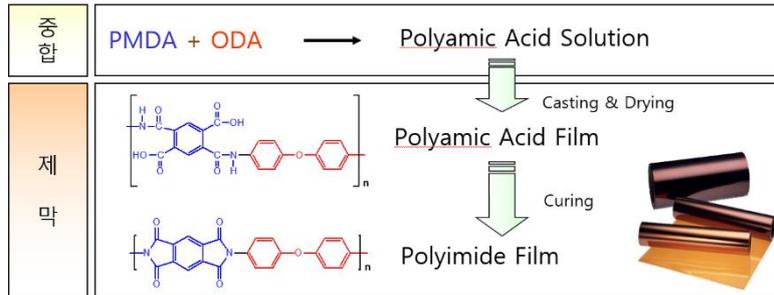


그림 4. 폴리이미드 필름 제조 공정

o 유일하게 상업적으로 플렉시블 기판으로 이용되고 있는 폴리이미드 바니시는 현재 플라스틱 AMOLED에 사용되고 있는데 유리판 위에 도포하여 soft baking(100–135 °C), 용매 제거(300 °C), 소성(450-500 °C)을 하는 공정과정으로 플렉시블 기판이 제조되고 있음. 이후, barrier 층의 증착, TFT 형성, 증착 또는 인쇄하여 OLED 소자 형성, 박막봉지 등의 봉지공정을 거쳐서 레이저 조사 방법으로 유리기판으로부터 박리해서 사용하고 있음. 이와 같은 공정 과정을 통과하기 위해서 전 세계적으로 플렉시블 기판 소재에 관한 많은 연구개발이 진행되고 있음.

o 고분자 필름의 수분 및 기체 차단성 즉, barrier 특성을 향상시키기 위한 연구의 접근 방법으로서 필름을 개질하거나 박막필름 증착(deposition)하는 방법이 있음. 고분자 필름을 개질하는 방법으로는 나노미터 두께의 무기물 시트나 입자를 분산시키거나, 고분자의 결정화도를 높이거나, 가교결합을 도입하거나, 혹은 소수성을 증가시키는 등 화학적인 기술이 활용되고 있음.

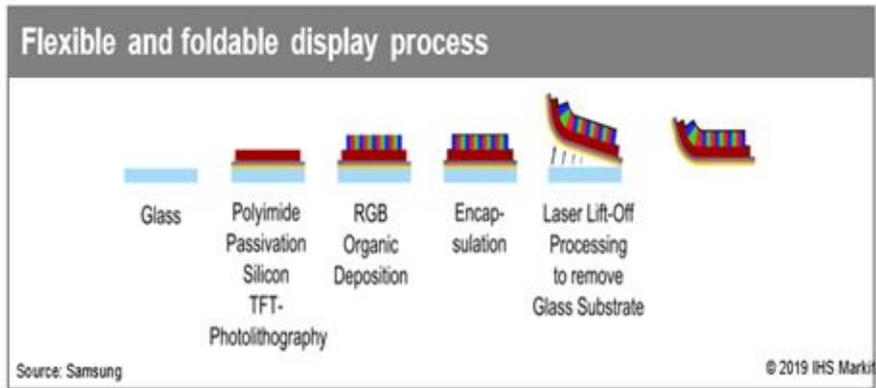


그림 5. 플렉시블 디스플레이 제조 공정

○ 지금까지 수행되어 온 반도체 및 디스플레이 공정 중 thin film을 여러층 증착 (deposition)하는 방법은 가장 효과적으로 격막(barrier) 특성을 개선시킬 수 있는 방법이 었으나, 최근 점차적으로 경박·단소한 특징이 요구되는 추세로 증착 필름(deposit film)의 결점과 계면 스트레스의 최소화를 위해 단일층으로 사용할 수 있는 고내열·고유연 폴리 이미드가 제안되면서 관련 생산업체에서는 경쟁적으로 고기능성 신소재 개발에 주력하고 있음.

2. 대표적인 폴리이미드 필름

○ 대표적인 PI 필름은 1965년 미국의 DuPont社에 의해 PMDA와 ODA의 중합을 통해 Kapton®이란 상품명으로 최초로 개발되었으며, 이후, 일본 Kaneka社의 Apical® Ube社의 Upilex® 등이 개발되어 사용되고 있음. Upilex®는 단량체로서 BPDA와 PPD를 사용하여 내열성이 우수하며 특히 치수안정성과 저흡수성의 특징을 가지고 있음.

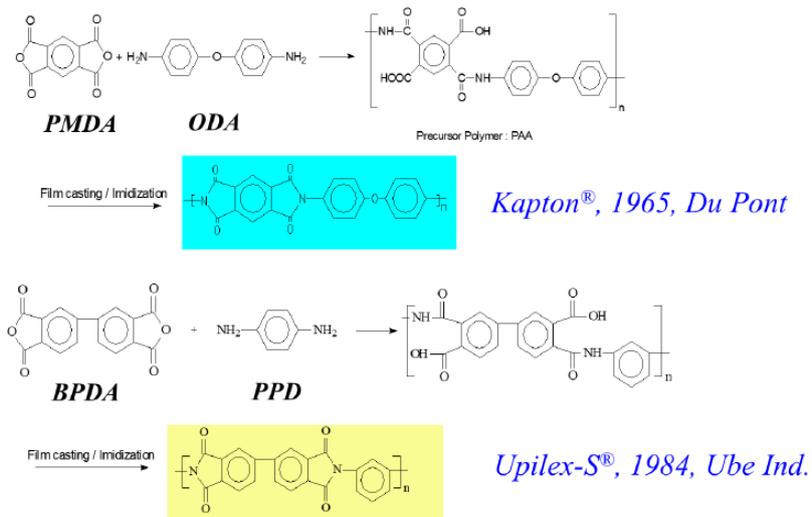


그림 6. 대표적인 PI 필름의 분자구조

o PI 필름의 대표적인 물성을 살펴보면, 내열성 (Td,5%), 치수안정성 (CTE), 연신율, 화학 안정성, 흡습성 등이 있음. 아래에 Kapton®의 물리적/열적 특성 표를 예로 나타내었으며, 각 회사에서 생산되는 PI 필름의 자세한 물성은 아래 링크를 참고하기 바람.

o 최근에는 플렉시블 전자소자의 고온 제조공정을 견딜 수 있는 초고내열성과 낮은 CTE 성능을 가지는 폴리이미드 소재 개발이 요구되고 있음. 또한, 소자들의 물성 변화에 큰 영향을 주는 습기 차단 및 흡습성에 대한 요구 특성이 강화되고 있는 추세임.

Table 1. Physical Properties of Kapton® Type 100 HN Film, 25µm (1 mil)

Physical Property	Typical Value at		Test Method
	23°C (73°F)	200°C (392°F)	
Ultimate Tensile Strength, MPa (psi)	231 (33,500)	139 (20,000)	ASTM D-882-91, Method A*
Yield Point at 3%, MPa (psi)	69 (10,000)	41 (6000)	ASTM D-882
Stress to Produce 5% Elongation, MPa (psi)	90 (13,000)	61 (9000)	ASTM D-882
Ultimate Elongation, %	72	83	ASTM D-882
Tensile Modulus, GPa (psi)	2.5 (370,000)	2.0 (290,000)	ASTM D-882
Impact Strength, N-cm (ft-lb)	78		(0.58) DuPont Pneumatic Impact Test
Folding Endurance (MIT), cycles	285,000		ASTM D-2176
Tear Strength—Propagating (Elmendorf), N (lbf)	0.07 (0.02)		ASTM D-1922
Tear Strength—Initial (Graves), N (lbf)	7.2 (1.6)		ASTM D-1004
Density, g/cc or g/mL	1.42		ASTM D-1505
Coefficient of Friction—Kinetic (Film-to-Film)	0.48		ASTM D-1894
Coefficient of Friction—Static (Film-to-Film)	0.63		ASTM D-1894
Refractive Index (Sodium D Line)	1.70		ASTM D-542
Poisson's Ratio	0.34		Avg. Three Samples Elongated at 5%, 7%, 10%
Low Temperature Flex Life	Pass		IPC TM 650, Method 2.6.18

*Specimen Size: 225 x 150 mm (1 x 6 in); Jaw Separation: 100 mm (4 in); Jaw Speed: 50 mm/min (2 in/min); Ultimate refers to the tensile strength and elongation measured at break.

Table 2. Thermal Properties of Kapton® Type 100 HN Film, 25 µm (1 mil)

Thermal Property	Typical Value	Test Condition	Test Method
Melting Point	None	None	ASTM E-794 (1989)
Thermal Coefficient of Linear Expansion	20 ppm/°C (11 ppm/°F)	-14 to 38°C (7 to 100°F)	ASTM D-696
Coefficient of Thermal Conductivity, W/m·K $\frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot\text{sec}\cdot^\circ\text{C}}$	0.12 2.87×10^{-4}	296 K 23°C	ASTM F-433 (1987)
Specific Heat, J/g·K (cal/g·°C)	1.09 (0.261)		Differential Calorimetry
Flammability	94V-0		UL-94 (2-8-85)
Shrinkage, %	0.17 1.25	30 min at 150°C 120 min at 400°C	IPC TM 650, Method 2.2.4A ASTM D-5214
Heat Sealability	Not Heat Sealable		
Limiting Oxygen Index, %	37		ASTM D-2863
Solder Float	Pass		IPC TM 650, Method 2.4.13A
Smoke Generation	DM = <1	NBS Smoke Chamber	NFPA-258
Glass Transition Temperature (T _g)	A second order transition occurs in Kapton® between 360°C (680°F) and 410°C (770°F) and is assumed to be the glass transition temperature. Different measurement techniques produce different results within the above temperature range.		

Kapton® (DuPont)

<https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/products/ei-transformation/documents/DEC-Kapton-summary-of-properties.pdf>

Upilex® (Ube)

https://www.ube.com/upilex/en/upilex_grade.html#01

3. 국내/외 PI 필름 응용 분야 및 시장 동향

o 폴리이미드 필름의 주요 용도는 디스플레이, PC, 핸드폰, TV에 사용되는 FPC 관련 재료 및 흑연 시트용으로 사용됨. 또한 기타 접착테이프, 리튬이온전지(LiB) 용으로도 수요 확대가 전망됨.



그림 7. PI 필름의 대표적 응용분야

o FPC 관련 부품으로는 커버레이 필름, 2층 연성동박적층판(Flexible Copper Clad Laminate, FCCL), 3층 FCCL, TAB(Tape Automated Bonding) 테이프, COF (Chip On Film) 테이프를 들 수 있으며, 특히 커버레이 필름과 FCCL 용을 중심으로 시장의 형성되어 있음. 또한, 최종제품으로는 스마트폰, 태블릿, HDD, 광 픽업, 의료기기, 웨어러블 기기, 프린터, LCD 등 전자 분야가 대부분을 차지함. 국내시장이 크게 형성되어 있고 SKCKOLONPI에서 생산하고 있으며 세계의 필름 시장 점유율 및 폴리이미드 필름이 전체 폴리이미드 생산에서 차지하는 비중자료로 국내시장 규모를 짐작할 수 있음.



그림 8. 응용 분야별 글로벌 PI 소비량 및 시장 점유율 (2017년)

o 전 세계 폴리이미드 (PI) 시장은 2017년에 8억 5천 5백만 달러로 평가되며 2019년과 2025년 사이에 5.04 %의 성장률로 성장하는 2025년 말까지 12,847 백만 달러로 예측됨. (출처: Secondary Sources and QYR Chemical & Material Research Center, Nov 2018)