

PET 연신필름의 소재 가공-구조-물성의 상관관계에 대한 고찰

Processing-structure-property relationship for the stretched PET film

*#김명호^{1,2}, 김윤상¹, 배현민¹, 최선웅^{1,2}, 유영은³, 최두선³

*#M.-H. Kim¹, Y. S. Kim¹, H.M. Bae¹, S.Y. Choi², Y.E. Yoo³, D.S. Choi³

¹한남대학교 신소재공학과, ²한남대학교 고분자생산혁신센터, ³한국기계연구원

Key words : PET film, processing-structure-property relationship, crystallinity, optical property

1. 서론

긴 주쇄에 의해 제조된 고분자 소재는 세라믹 (유리), 금속과 같은 소재에 비해 제품의 제조공정 조건에 따라 분자의 배향, 결정 형성 등 구조에 큰 영향을 미쳐 제품의 최종 품질인 기계적 물성, 광학특성, 수축율 등의 변화를 수반하게 된다. Polyethylene terephthalate (PET)는 반결정성, 열가소성 고분자로서 폴리에스터로 알려진 섬유와 PET 병 등 다양한 용도로 사용되어왔으며 최근 광학필름 제조공정에서 가장 광범위하게 사용되는 소재로 이에 대한 연구가 재조명 받고 있다. 섬유 제조를 위한 방사공정과 용기제조를 위한 사출 인발 중공성형 (injection stretching blow-molding)에 대해 이 소재의 가공-구조-물성에 관한 연구는 광범위하게 수행되어 일일이 열거하기조차 힘들다.

광학필름의 기저소재와 보호필름으로 널리 사용되는 필름 제조 공정은 그림 1에 나타난 바와

같이 압출공정에 이은 연신 공정으로 구성되며 좀더 구체적으로 압출공정, T-die 성형공정, 필름 성형공정, 연신공정 (MDO and/or TDO), 어닐링공정의 단위 공정으로 구성되어 있다. 이중 연신공정은 고분자 주쇄 사슬의 배향과 결정화도에 결정적인 영향을 미치는 핵심 단위공정이다.

필름과 같은 고분자 제품은 그림 2에 나타난 바와 같이 소재 가공-구조-물성이 각 단위 공정의 상호 관계에 의해 밀접한 영향을 받게 된다, 이들 영향을 분석하기 위해 전 주기 공정에 대한 폭넓은 이해와 실험이 이루어져야 하지만, 이는

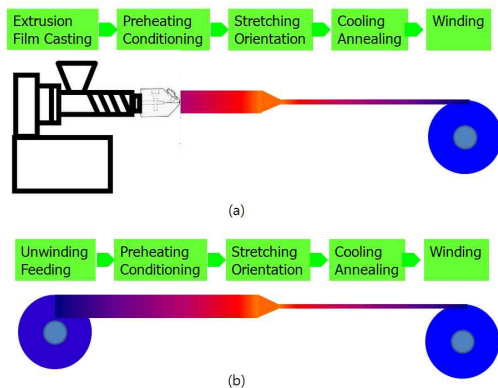


그림 1. (a) PET 연신필름 제조공정 모식도, (b) MDO 연신필름 실험 공정도

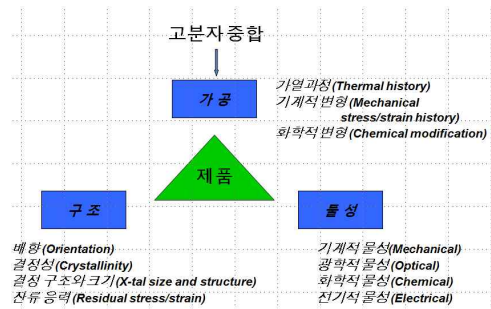


그림 2. 고분자 제품에 소재의 가공-구조-물성의 상관관계 및 상호 영향 인자

경제적인 관점이나 기술적인 문제로 유용한 방법이 아니다.

이를 극복하기 위해서 각각의 단위 공정을 살펴보는 단위조작 방법 (unit operational research)이 매우 유용한 틀로서 이용될 수 있는데, 본 연구에서는 압출공정과 TDO공정을 배제하고 MDO공정에 대해서 예열, 연신, 냉각을 포함하는 단위공정을 분석함으로써 제품의 소재 가공-구조-물성의 상관관계를 분석하고자 한다. (그림 1-b)

본 연구의 결과는 광학소재 제조 공정에 이용되고 있는 PET 필름의 품질 향상 및 생산성 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 실험 장비

필름공정의 공정 조건인 연신온도와 연신비를 조절하기 위하여 파일롯 형태의 MDO-LS (Machine Direction Orientation Lab Stretcher) 를 설계 제작하여 실험에 이용하였다. 그림 3에 실험에 사용한 연신장비를 모식적으로 도시하였다. 장비의 재원은 연신모재 최대 폭은 200mm이며, 최대 연신속도는 24m/min, 최대 연신비는 10, 필름 예열 최고 온도 200°C, 냉각 최저온도 -20°C 로 설계 제작되었다. 그림3에 나타난 바와 같이 필름은 모재필름을 롤형태로 공급할 수 있도록 하여 공정 전단부의 영향을 배제하고 연속성형 운전이 가능하도록 하였으며, 양산 설비와 동일하게 예열롤, 연신롤, 냉각롤은 모두 개별 구동하고 가열할 수 있어 연신비 등 공정 조건 변화를 자유로이 수행할 수 있도록 설계되었다.

표 1. 실험에 사용한 MDO 연신기의 롤재원

Parts	
Releasing roll	1 EA
Preheating roll	4 EA
Sync roll	1 EA
Stretching roll	1 EA
Cooling roll	6 EA
Winding roll	1 EA

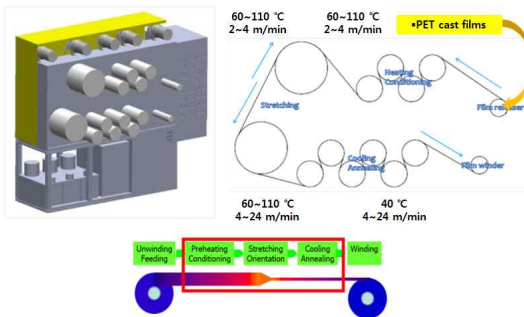


그림 3. 연속형 MDO 연신기의 공정 및 모식도

3. 실험 방법

필름 모재는 두께 400 μ m, 폭 2600mm의 무연신 필름 ((주)도레이첨단소재 제공)롤을 100mm 폭으로 종축절단 (slitting)한 롤을 공급롤로 이용하였다. 연신 예열온도는 60~110°C, 연신비 1~8로 변화시키면서 냉각 온도는 40°C로 고정하여 실험을 수행하였고, 구체적인 실험 조건은 표2에 나타냈었다.

4. 결과 분석

연신 PET 필름의 일반적인 공정조건은 연신온도 조건 80~90°C, MDO 연신비 3~8, TDO (Transverse Directional Orientation) 연신비 3~10로 알려져 있다. 실험 수행 결과 400 μ m 무연신 필름의 경우 80°C 예열 조건에서는 전연신 범위에 걸쳐 안정된 필름 성형이 불가능하였으며, 예열롤 온도 90°C~110°C 사이에서 양호한 연신필름을 성형할 수 있었다. 표 2에 본 연구의 실험 조건을 도시하였다. 이렇게 제조된 연신필름은 MD 방향과 TD방향으로 나누어 기계적 물성-인장실험, 광학적 물성-

표 2. 연신 온도조건 및 속도 조건

	Temperature (°C)		
	예열롤	90	100
동기롤	90	100	110
연신롤	90	100	110
냉각롤	40	40	40
Speed (M/min)			
예열롤	2	2	2
동기롤	2	2	2
연신롤 냉각롤	2	2 (1X)	2
	4	4 (2X)	4
	8	8 (4X)	8
	12	12 (6X)	12
	16	16	16

굴절율, 투과도-, 결정화도 및 결정구조- 결정온도 및 용융에너지, XRD-등의 분석을 수행하였다. 일반적으로 알려진 연신비 3이상일 때, 고분자의 결정화도가 상승되며, 이에 따라 광학적 이방 특성도 급격히 올라가 구조와 광학물성이 밀접한 관계를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업인 “대면적 미세패턴 직접 연속성형 원천기술개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.