

액정 고분자와 폴리(에틸렌 테레프탈레이트) 블렌드의 결정화 거동

방문수^{1*}

Crystallization Behaviors of Liquid Crystalline Polymer/Poly(ethylene terephthalate) blends

Moon-Soo Bang^{1*}

요 약 폴리(에틸렌 테레프탈레이트)와 액정 폴리에스테르의 블렌드를 등은 결정화 거동에 대하여 연구하였다. 블렌드내의 PET의 결정화 거동을 나타내주는 결정화 속도나 결정이 어떤 모양으로 성장하는가에 대한 정보를 얻기 위해 Avrami 식을 이용하였다. 블렌드내 PET의 결정화는 결정화온도에 무관하게 높은 결정화도에 이르기까지 Avrami 식에 잘 적용됨을 알 수 있었으며 Avrami 지수값, n 이 2를 나타냄으로써 블렌드내의 PET의 결정이 1차 원적으로 성장함을 알 수 있었고, 결정화 온도가 높을수록 결정화 속도가 느려짐을 조사 결과 확인하였다.

Abstract The isothermal crystallization behavior of blends of poly(ethylene terephthalate) and liquid crystalline polymers(LCP) was studied. The Avrami analyses were applied to obtain the information on the crystal growth geometry and factors controlling the rate of crystallization.

The crystallization kinetics for the blends followed the classical Avrami equation up to a high degree of crystallization regardless of crystallization temperature. The values of Avrami exponent, n , for PET in the blends were estimated to be around 2, which indicate that the polymer crystals grow into one-dimensional linear or fiber-like crystallization mode. The crystallization rate, as expected, decreases with increasing the crystallization temperature.

Key words : liquid crystalline polymers, poly(ethylene terephthalate), crystallization kinetics, Avrami equation

1. 서 론

고분자가 결정화한다는 것은 열역학적으로 불안정한 상태에서부터 결정핵의 형성과 성장과정을 통하여 안정화된 결정상태로 전환함을 의미한다. 따라서 고분자의 가공에 필요한 변수들이 제품의 성질에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 먼저 결정화 동역학이 조사되어야 한다.

일반적으로 유연한 고분자의 결정화속도가 빠르다는 것은 이미 잘 알려진 사실이며,[1,2] 그 이유는 유연한 분자사슬이 결정핵 혹은 성장하는 결정주위로 쉽게 접근할 수 있기 때문이다. 반면에 액정고분자(LCP)는 단단한 분자사슬 때문에 결정성장을 위한 적당한 sequence를 갖기

위한 확산이 훨씬 어렵다. 그러나 nematic 액정상을 갖는 견고한 분자사슬의 액정고분자들은 장거리 위치질서에 대하여는 무질서하지만 단거리 위치질서에 대해서는 어느 정도 잘 배향된 구역정돈을 하고 있으며, 이 구역정돈이 액정고분자의 결정화과정에 영향을 미치게 된다.[3-5] 이러한 이유 때문에 nematic 액정상의 결정화는 등방성 액체의 거동과 비교했을때 더 빠른 속도로 일어나게 된다.

Wanner와 Jaffe[6]는 여러 가지의 견고한 주사슬 열방성액정고분자(Thermotropic liquid crystalline polymer : TLCP)에 대한 결정화거동을 고전적인 Avrami 분석을 이용하여 연구한 보고에서, TLCP의 액정구조는 고체 결정 구조와 매우 유사하며 액정상으로부터 고체화하는 과정에서 커다란 구조적 변화를 보이지 않는다고 하였다.

이러한 액정고분자의 결정화 특성이 주사슬에 유연적자를 가지고 있는 액정 중합체에도 적용될 수 있는지에

¹공주대학교 신소재공학부

*교신저자 : 방문수(msbang@kongju.ac.kr)

대해서는 의문의 여지가 남는다. 왜냐하면, 주사슬 중의 결정화되기 쉬운 유연격자가 결정화에 대한 엔트로피의 변화량을 크게 증가시킬 수 있기 때문이다.

Gilbert 등[7,8]은 분자의 화학적인 구조가 결정화속도에 미치는 영향에 대한 조사에서 a) 고분자 사슬의 유연성은 결정화속도를 증가시키고, b) 불규칙적인 모양의 사슬은 결정화속도가 늦고, c) 결정화속도는 결정구조에 어느정도 의존함을 보고하였다.

You와 Kim[9]은 주사슬에 폴리메틸렌 유연격자를 가지고 있는 nematic과 smetic 액정 폴리에스테르의 결정화 거동에 대하여 조사하였는데 smetic LCP인 경우 melt 상태에서 큰 질서를 유지하고 있음에도 불구하고 결정화속도는 nematic과 같은 경향을 보였는데 이는 smetic LCP의 높은 점성때문에 결정핵으로의 이동이 nematic보다 더 어려워짐으로서 결정화속도가 느려진다고 보고하였다. 또한 이들 nematic과 smetic LCP 블렌드의 경우 결정화속도는 nematic LCP의 양에 큰 영향을 받으며, 결정화 온도에 관계없이 높은 결정화도에 이를 때까지 Avrami식에 잘 따른다고 하였다.

또한, PET, PBT 그리고 Nylon과 같은 coil-like polymer와 블렌드 된 nematic LCP의 결정화거동은 위의 액정 블렌드와는 또 다른 경향을 나타낼 것으로 예상되며 이에 대한 연구로 Pracella 등[10]은 decamethylene 유연격자를 가지고 있는 주사슬 TLCP와 PET블렌드의 결정화거동에 대한 연구에서, 이들의 결정화거동이 블렌드의 조성에 의존됨을 보고하였다.

본 연구에서는 Avrami 식을 이용하여 주 사슬에 butylene 유연격자를 갖는 열방성액정고분자(TLCP)와 Poly(ethylene terephthalate)(PET)의 블렌드를 제조하여 이들의 결정화 거동을 DSC 등온결정화방법에 의해 조사하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 기기

본 실험을 위하여 PET와 액정 고분자인 LCP의 2성분계 블렌드가 사용되었다. 이 블렌드의 한 성분인 액정중

합체의 합성을 위하여 Ethyl 4-hydroxybenzoate, 1,4-dibromobutane, hydroquinone, pyridine은 Aldrich사 제품을 정제없이 사용하였으며, thionyl chloride 는 triphenyl phosphate와 함께 약 2시간 동안 환류시킨 다음 증류칼럼상에서 무색의 유분을 취하여 사용하였다. 그리고 또 다른 성분인 PET는 AKZO사의 Arfnite DO2-300(Mn=6,000, Mw/Mn=3.1) 제품을 사용하였다.

그리고 중합체와 블렌드의 열분석 및 결정화 거동을 연구하기 위하여 DSC(Mettler Co. DSC 30)을, 용융상에서의 액정영역의 확인을 위하여 편광현미경(Leitz Co. Ortholux)을 이용하였다.

2.2 액정중합체 합성 및 블렌드의 제조

본 실험을 위하여 제조된 블렌드는 PET와 액정 고분자인 LCP의 2성분계 블렌드로서 PET는 AKZO사의 제품(Mn=6,000)을 사용하였으며, 액정중합체는 Jo 등[11]에 의하여 설계된 아래 구조의 중합체로서 Higasi 등[12]의 diert polycondensation 방법에 의하여 합성되었으며, 이 LCP의 일반적인 물성을 [표 1]에 나타내었다. [그림 1]과 [그림 2]에는 DSC 열곡선과 편광현미경에서 관찰된 nematic 액정상 사진을 나타내었다.

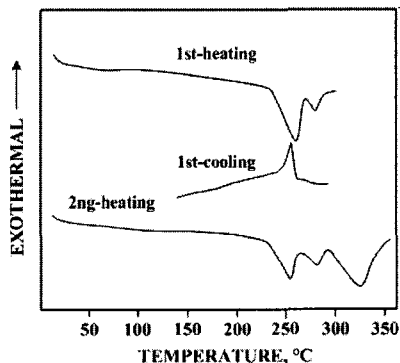
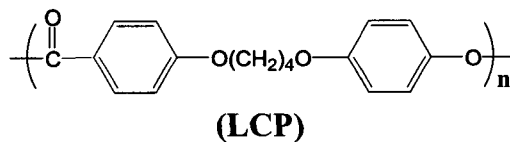


그림 1. 10°C/min의 가열·냉각속도로 측정된 LCP의 DSC 열곡선

[표 1] LCP의 일반적 성질

Polymers	Yield %	Tg °C	Tm °C	ΔHm J/g	Ti °C	ΔHi J/g	LC Prop.
LCP	88.5	-	259.6	22.0	278.7	2.9	Nematic

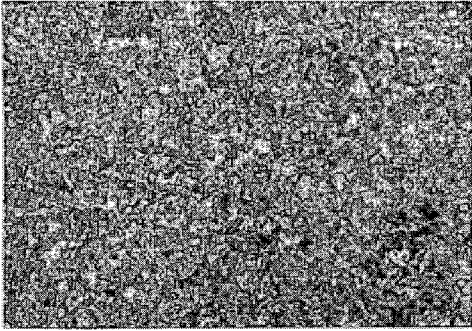


그림 2. 270°C에서 촬영된 LCP의 편광현미경 사진

실험에 사용될 블렌드는 matrix 고분자인 PET내에 LCP 함량이 1, 5, 10, 20, 50wt%의 조성을 갖도록 설계되었으며, 이들 블렌드는 페놀/p-클로로페놀/1,1,2,2-테트라클로로에탄(25/40/35=w/w/w) 혼합 용매에 의한 용액 블렌딩에 의해 제조 되었다. 고분자 혼합물들은 균일한 혼합을 위하여 용매에 대하여 5wt%이하가 되도록 하였으며, 이 용액을 120°C로 가열, 교반하여 중합체를 용해시킨 후 다량을 메탄올에 한방울씩 가하여 침전을 생성시켰다. 생성된 침전물은 뜨거운 메탄올과 증류수로 수회 세척한 후 110°C 진공건조기에서 24시간동안 건조시켰다.

2.3 블렌드의 특성조사

블렌드의 열분석은 Mettler DSC 30 열분석기를 이용하였으며, 질소기류하에서 가열 및 냉각속도를 10°C/min으로 하여 측정하였고, [표 2]에 보여준 데이터에서 Tg를 제외한 데이터는 1차 가열, 냉각곡선으로부터 얻어진 값으로, 열곡선의 피이크에 해당하는 값이다.

블렌드의 결정화 거동을 연구하기 위한 등온결정화 방법은 시료 12.00mg을 280°C까지 가열하여 3분 동안 완전히 용융시킨 후, 240°C까지 40°C/min으로 1차 냉각하여 등온상태로 4분 동안 시료의 한 성분인 LCP의 결정화를 유도하였다. 이를 다시 40°C/min으로 시료 내 PET의 결정화온도까지 2차 냉각한 후, 등온상태에서 시간의 함수로 시료의 열적변화를 측정하여 시료의 결정화동역학 데이터를 얻었다.

또한, 블렌드 내에서의 액정고분자 분산상태를 관찰하기 위하여 편광현미경을 사용하였으며 적당량의 시료를 슬라이드 글라스위에 놓고 커버 글라스를 덮은 후, Mettler FP-52 hot stage에 끼워 넣고 260~290°C에서 시료의 optical texture 및 상분리현상 등을 관찰하여 부착된 카메라로 이들의 변화를 촬영하였다.

블렌드의 결정화거동은 DSC 등온결정화 열곡선을 이

용하여 얻은 데이터를 Avrami 식에 대입하여 온도와 시간에 대한 결정화거동을 도출하여 검토하였다.

표 2. LCP, PET, 블렌드의 열적성질

LCP content(%)	Tg °C	Tm °C	ΔHm J/g	Tc °C	ΔHc J/g	DC %
0	76.4	250.5	27.2	177.7	6.0	3.6
1	76.2	252.7	30.9	186.5	32.7	19.7
5	72.2	253.7	32.1	192.1	34.0	20.5
10	72.2	254.4	32.1	194.1	33.3	20.1
20	72.5	253.0	34.0	195.8	32.9	19.8
50	64.0	240.8	28.0	182.5	18.4	11.1
100	-	259.6	22.0	256.5	6.2	-

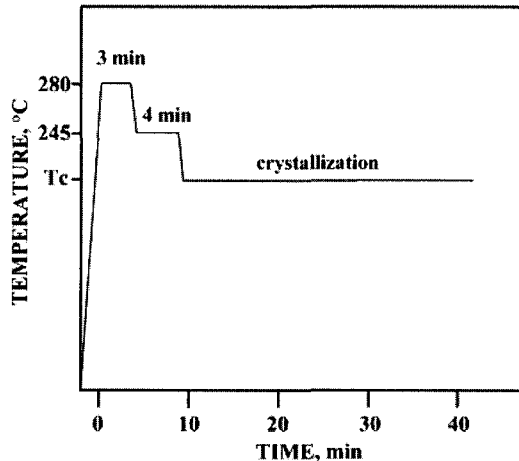


그림 3. 등온결정화를 위한 가열·냉각 사이클

3. 결과 및 고찰

본 실험의 결정화 동역학에 이용되는 Avrami식[13]은 아래와 같다.

$$-\ln(1-X_t) = Zt^n$$

여기서 X_t 는 결정화 분율이며, 결정화온도에서 생길수 있는 전체 결정에 대한 어떤 시간까지 생성된 결정량의 비를 말한다. Z는 총괄결정화 속도상수이고, n은 지수로

서 결정성장의 기하학적인 모양을 나타낸다. 결정핵 생성이 균일하게 일어날 때, $n=2$ 인 경우, 결정성장은 1차원적으로서 선형결정을 형성하며, $n=3$ 에서는, 2차원적 결정성장으로 판상의 lamella 결정을 보이고, $n=4$ 일때는 구형처럼 3차원의 결정성장을 보이게 된다.[표 3]

결정의 동역학적 data는 결정화분율을 시간의 함수로 나타내는 것이 일반적이데, 위의 Avrami식에 \ln 을 취하여 얻어진 아래 식에서 $\ln[-\ln(1-X_t)]$ 를 $\ln t$ 에 대하여 도시하여 절편과 기울기를 얻고 이로부터 속도상수, Z와 Avrami지수, n을 구한다. 그리고 이 식을 변형시켜 어떤 결정화온도에서 생성될 수 있는 전체 결정량 중에서 절반이 생성되는 시간인 결정화 반감기, $t_{1/2}$ 을 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\ln[-\ln(1-X_t)] = \ln Z + n \ln t$$

$$Z = \ln 2 / (t_{1/2})^n$$

표 3. Avrami 지수 값에 따른 결정화

n value	Type of growth
2	Linear (1-dimensional)
3	Plate-like (2-dimensional)
4	Spherical (3-dimensional)

본 실험에서는 위에서 언급한 Avrami 분석방법에 의하여 LCP/PET블렌드에서 LCP의 함량에 따른 결정화거동을 조사하였다. [그림2], [표 2]에는 이 연구를 위하여 제조된 블렌드의 열적성질에 대한 기본정보를 나타내었다. 실험 중 시료량에 대한 결정화 메카니즘의 영향을 줄이기 위하여 사용된 모든 시료는 $12.00 \pm 0.02 \text{mg}$ 을 정확히 칭량하여 측정되었고, [그림 4]의 DSC 냉각곡선으로부터 결정화온도를 선정하였으며, 각 시료마다 열이력에 의한 영향을 없애기 위하여 각각 새로운 시료를 사용하였다. 이렇게 얻어진 등온결정화 곡선을 이용하여 시간에 대한 결정화분율을 Avrami식에 적용시켜 Avrami지수, n, 결정화 속도상수, Z 및 결정화 반감기, $t_{1/2}$ 을 얻었다.

[그림 4]는 실험에 사용된 각 시료의 DSC 냉각곡선으로서 순수한 PET는 결정화속도가 매우 느리고 결정화도가 낮을 것으로 생각되는 넓은 발열곡선을 보여주고 있다. 블렌드 시료의 열곡선의 경우 블렌드내의 PET의 결정화 피이크가 순수한 경우보다 크고 분명하게 보임으로써 LCP가 PET의 결정화를 촉진시킨 것을 알 수 있다.

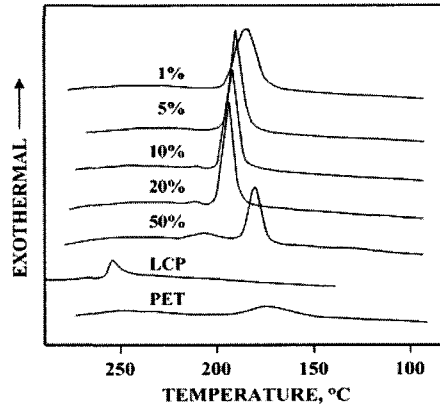


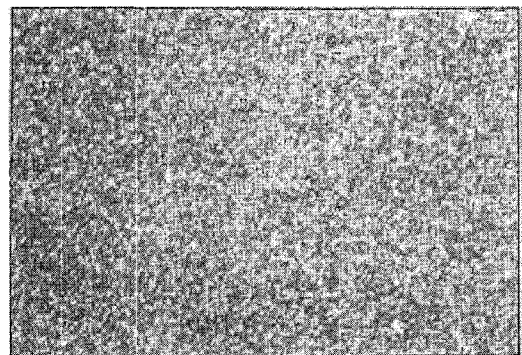
그림 4. 10°C/min의 냉각속도로 측정된 LCP, PET, 블렌드의 DSC 열곡선

결정화온도 역시 순수한 PET의 결정화 피이크 177.7°C를 갖는 40°C 정도의 넓은 범위에서 결정화가 서서히 진행되었으나, 블렌드들의 경우 20°C 범위 내에서 결정화가 완료되었음을 보여주고 있음으로서 LCP가 블렌드시스템의 조해제로서의 역할을 하고 있음을 보여주고 있다.

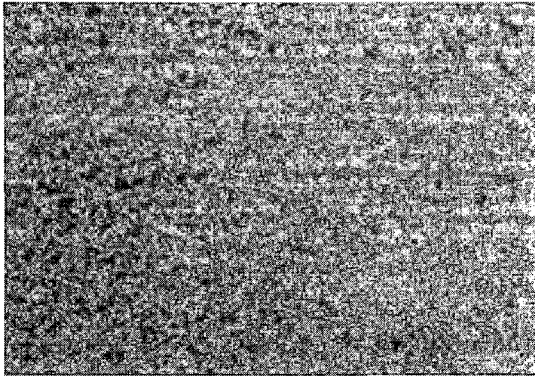
그러나 LCP 함량 50% 블렌드의 결정화 온도가 20% 이하의 블렌드들 보다 더 느린 결정화를 나타내는 것은 [그림 5]의 편광현미경의 관찰결과에서 보이는 바와 같이 블렌드내의 LCP와 PET의 거대상분리 현상 때문에 두 물질의 상호작용이 작았기 때문으로 설명할 수 있다.

LCP 10, 20, 50% 블렌드에서는 LCP의 결정생성에 의한 발열일 것으로 예상되는 열곡선의 wave가 PET 결정화 피이크보다 높은 온도에서 나타났으며, LCP 1, 5% 블렌드에서는 블렌드 내의 LCP의 양이 상대적으로 적음으로 인하여 관찰되지 않은 것으로 생각된다.

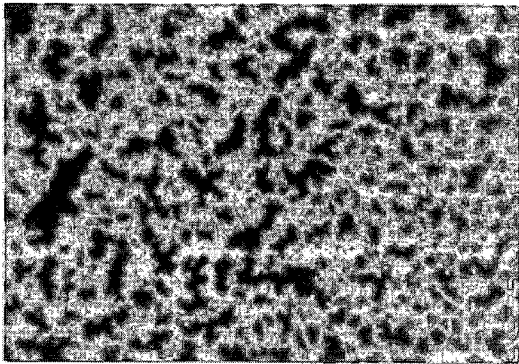
블렌드내에서의 LCP의 결정화온도가 순수한 경우의 결정화온도인 256°C 보다 낮은 것은 LCP rich phase 내에 PET가 끼어 들어가 결정화를 방해하기 때문으로 생각된다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 270°C에서 촬영된 LCP 5%(a), 20%(b), 50%(c) 블렌드의 편광현미경 사진 (배율 200x)

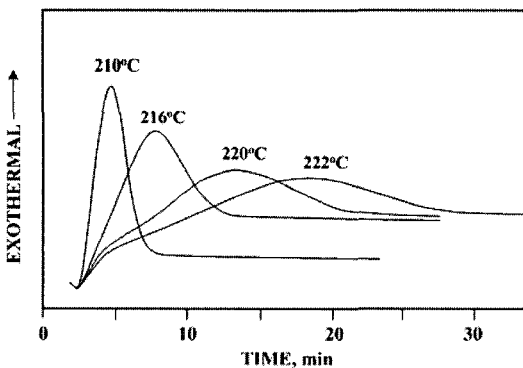


그림 6. LCP 5% 블렌드의 등온결정화법에 의한 DSC 열곡선

[그림 6]은 LCP 5% 함유 블렌드의 등온결정화 곡선으로 결정화온도가 가장 낮은 210°C에서 결정화가 빨리 일어났으며, 결정화 온도가 216, 220, 222°C로 높아질수록 결정화가 일어나는 온도범위가 넓어짐을 보이고 있다. 또

한 이 블렌드의 결정화시 ΔH_c 는 결정화온도가 높을수록 26.6에서 20.0J/g으로 감소하였으며, 16~12%의 결정화도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 LCP 함량이 다른 모든 블렌드 시료에서 동일하게 보여주고 있다.

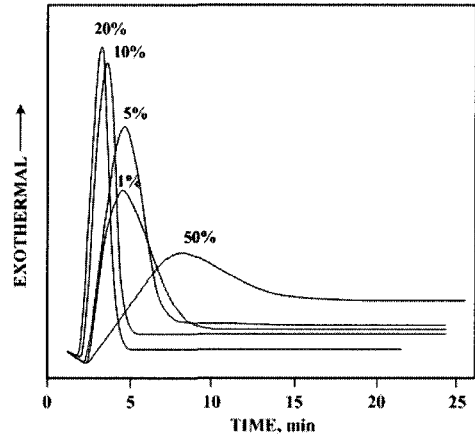


그림 7. 210°C에서 등온결정화법에 의해 측정된 LCP 1, 5, 10, 20, 50% 블렌드의 DSC 열곡선

[그림 7]은 결정화온도 210°C에서의 LCP 1, 5, 10, 20, 50% 블렌드의 결정화 열곡선으로서 LCP 함량이 20%까지는 LCP의 함량이 증가함에 따라 결정화속도는 증가하였으며, LCP 50%에서는 감소됨을 보여주고 있다. 이는 앞에서 기술한 시료의 DSC 냉각곡선의 결과와 일치함을 보여주고 있다.

[그림 5]의 편광현미경 사진에서 보여주는 바와 같이 LCP 20%블렌드까지는 LCP가 블렌드 내에 균일하게 분포되어 고체 혹은 결정상으로 존재함으로써 블렌드 내의 PET의 결정화를 촉진시키는 것으로 생각되며, LCP 50%에서는 거대상 분리 현상이 일어나 LCP가 조해제로서의 역할을 충분히 하지 못하기 때문에 PET rich domain에서의 결정화속도가 감소하는 것으로 예상할 수 있다. 그러나, 메틸렌 격자를 포함하는 LCP와 PBT 블렌드 시스템에 대한 본 연구팀에 의한 지난 연구결과[14,15]에서, 실험에 이용된 LCP 최대 함유(LCP 50%) 블렌드까지 LCP 함량에 관계없이 LCP가 PBT의 결정생성에 같은 영향을 미치고 있음을 보고하였다. 따라서 블렌드 시스템의 각 성분들 사이의 상용성이 클수록 연속상인 PBT, PET의 결정화에 LCP의 영향정도가 결정되는 것으로 예상할 수 있으나, 이에 대해서는 또 다른 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구와 유사한 연구로서, Joseph 등[16]은 40%PET/60%PHB 조성을 갖는 액정 혼성중합체와 PET 블렌드의 결정화 거동의 연구에서 LCP가 조핵제로 작용하여 PET의 결정화를 돕기 때문에 LCP의 함량이 증가하면 결정화속도가 증가하였으며, PET의 결정화도 역시 LCP의 함량이 많아질수록 증가하였음을 보고하였다.

Sharma 등[17]도 두 개의 종류가 다른 혼성중합된 LCP(HNA/PHB, PET/PHB)를 PET와 블렌드하여 결정화 거동을 연구한 결과 Joseph의 연구에서와 같이 블렌드의 결정화속도가 순수한 PET의 것보다 더 높다는 것을 보고하였다.

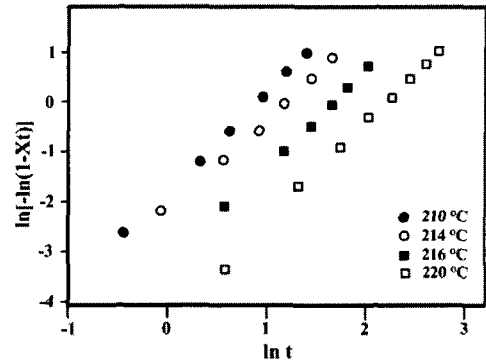
표 4는 블렌드가 등온결정화과정에서 생성된 ΔH_c 값을 보여주고 있는데 결정화온도가 높을수록 ΔH_c 값은 약간씩 감소하는 경향을 보이고 있다.

또한 이 [표 4]에서 보여준 블렌드내의 PET의 결정화도는 Illers[18]에 의해 계산된 순수한 PET의 100% 결정화 엔탈피인 166J/g에 대한 백분율 값으로서 본 실험에서 사용된 순수한 PET의 경우의 3.6% 결정화도를 나타내고 있다. 동일한 결정화온도인 210°C에서의 LCP 1~20% 함유 블렌드들은 13.4~16%정도의 비슷한 값을, LCP 50% 블렌드에서는 6.15%의 결정화도의 값을 보여주고 있다. 이로부터 블렌드내의 LCP가 PET의 결정화에 조핵제로서 역할을 했음을 확인할 수 있다.

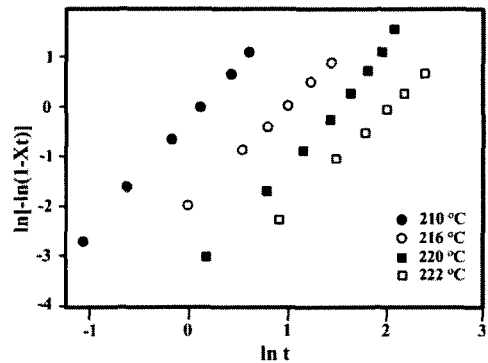
표 4. LCP/PET 블렌드내에서 PET의 등온결정화

LCP Content (%)	Tc °C	ΔH_c J/g	D.C. %
1	210	22.2	13.4
	214	23.1	13.9
	218	21.2	12.8
	220	17.5	10.6
5	210	26.6	16.0
	216	22.1	13.3
	220	21.0	12.6
	222	20.0	12.1
10	210	25.0	15.1
	216	22.6	13.6
	220	22.1	15.0
	222	18.1	10.9
20	210	24.6	14.8
	216	24.8	14.9
	220	22.2	13.3
	222	19.3	11.6
50	202	14.4	8.7
	206	10.8	6.5
	210	10.2	6.2
	214	14.2	8.8

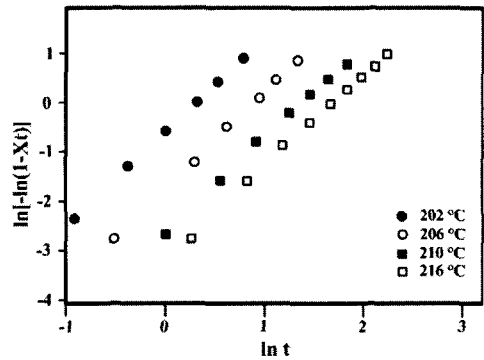
[그림 8]은 LCP 1% 블렌드의 Avrami plot로서 모든 결정화온도에서 직선을 나타냄으로서 Avrami 식에 잘 일치하고 있음을 보여주고 있으며 높은 결정화 온도일수록 절편값이 작아짐을 보여주고 있고 기울기는 대략 일정한 값들을 나타내고 있다. 이들 도시로부터 [표 5]의 결정화 동역학적 데이터를 얻었다.



(a)



(b)



(c)

그림 8. LCP 1(a), 20(b), 50% (c) 블렌드의 등온결정화법에 의한 Avrami plots

[그림 9]는 [표 5]의 결정화동역학적 데이터를 도표화한 것으로서 LCP를 20%까지 함유한 블렌드들의 결정화 반감기, $t_{1/2}$ 을 등온결정화온도에 대하여 도시한 것으로 각 시료의 결정화속도를 보여주는 것으로 블렌드내의 LCP 함량이 많아질수록 결정화속도가 빨라짐을 볼 수 있다. 또한 Avrami 지수, n 은 1.98에서 2.35의 값으로 이 블렌드 시스템은 결정화가 선형으로 진행됨을 보여주고 있다.

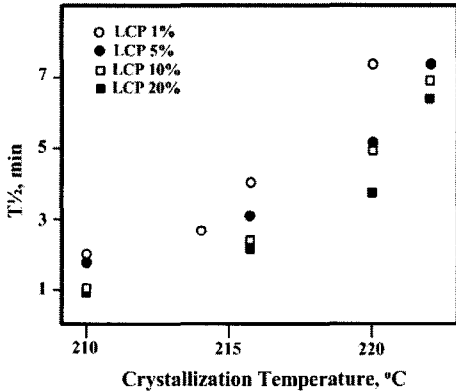


그림 9. 블렌드의 결정화반감기

표 5. LCP/PET 블렌드내의 PET의 결정화동역학 변수

LCP content(%)	Tc (°C)	$t_{1/2}$ (min)	n	Z (min^{-1})
1	210	2.03	1.98	4.88×10^{-1}
	214	2.69	1.94	1.02×10^{-1}
	216	4.05	1.98	4.35×10^{-2}
	220	7.41	2.03	1.19×10^{-2}
5	210	1.83	2.21	1.83×10^{-1}
	216	3.13	2.10	6.30×10^{-2}
	220	5.20	2.12	2.10×10^{-2}
	222	7.44	2.34	6.32×10^{-3}
10	210	1.01	2.35	6.85×10^{-1}
	216	2.45	2.11	1.05×10^{-1}
	220	5.00	2.28	1.77×10^{-2}
	222	6.99	2.01	1.39×10^{-2}
20	202	0.97	2.25	7.41×10^{-1}
	206	2.22	2.00	1.41×10^{-1}
	210	3.81	2.35	2.99×10^{-2}
	216	6.43	1.99	1.70×10^{-2}
50	202	1.11	1.94	5.66×10^{-1}
	206	2.01	1.98	1.74×10^{-1}
	210	3.19	1.93	7.40×10^{-2}
	216	4.33	1.91	4.22×10^{-2}

4. 결론

본 실험에서 제조한 LCP/PET 블렌드의 결정화 거동에 대하여 조사한 결론은 다음과 같다.

1. 블렌드내의 PET의 결정화온도는 순수한 PET와 비교하여 더 높아짐을 나타내었으며, 블렌드끼리와의 비교에서는 LCP 함량 20%까지는 높아 졌으나 LCP함량 50%에서 감소되었다.
2. DSC 냉각곡선에 의하면 순수한 PET의 결정화도 3.6%, LCP 50% 블렌드는 11.1%, LCP 1~20% 블렌드의 경우 약 20% 정도로서 LCP가 PET의 조해제로서의 역할을 하였음을 알 수 있다.
3. 결정화 거동은 높은 결정화온도에 이르기까지 Avrami식에 잘 적용됨을 Avrami plot로부터 알 수 있었다.
4. 동일한 온도에서 등온결정화시킨 블렌드의 결정화속도는 LCP함량이 증가할수록 빨라짐을 결정화 반감기, $t_{1/2}$ 로부터 확인하였다.
5. Avrami지수, n 값은 1.97에서 2.37로서 블렌드내의 PET 결정이 1차원적으로 성장함을 나타내었다.

참고문헌

- [1] L.Mandelkern, Crystallization of Polymer, McGraw-Hill, New York, 1964.
- [2] B.Wunderlich, Macromolecular Physics, Academic, New York, vol. 1 and 2,1973.
- [3] S.Onogi and T.Asada, Rheology and Rheo-optics of Polymer Liquid Crystals, G.Astariata and G.Marrucci, Eds., Plenum, New York, vol.1, p.127(1980).
- [4] K.F.Wissburn, Faraday Discuss., Chem. Soc., 79, 161(1985).
- [5] G.Marrucci, Pure Appl. Chem., 57, 1545(1985).
- [6] S.B.Warner and M.Jaffe, J. Cryst. Growth, 48, 184(1980).
- [7] M.Gilbert and F.J.Hybart, Polymer, 13, 327(1972).
- [8] M.Gilbert and F.J.Hybart, Polymer, 15, 407(1974).
- [9] Y.D.Yoo and S.C.Kim, Polym. J., 20(12), 1117 (1988).
- [10] M.Pracella, D.Dainelli, G.Galli and E.Chiellini, Macromol. Chem., 187, (1986).
- [11] Y.I.Jo, M.S.These, Korea University, Seoul, Korea, 1991.
- [12] F.Higasi, T.Masimo and I.Ta ka hasi, J.Polym. Sci.

Polym. Chem. Ed., 24, 97(1986).

- [13] M.J.Avrani, J. Chem. Phys., 7, 1103(1939).
- [14] M.S.Bang, J.K.Choi and H.H.Choi, polymer(Korea), 20, 735(1996).
- [15] J.K.Choi, M.S.Bang and C.Han, J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, 8, 76(1997).
- [16] E.G.Joseph, G.L.Wilkes and D.G.Baird, Am. Chem. Soc., Div. Chem. Polym. Prepr., 24, 304(1983).
- [17] S.K.Sharma, A.Tendolkar and A.Misra, Molec. Cryst. Liq. Cryst., 157, 597(1988).
- [18] K.H.Illers, Coll. Polym. Sci., 258, 117(1980).

방 문 수(Moon-Soo Bang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 조선대학교 화학공학
학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 조선대학교 화학공학
학과 (공학석사)
- 1994년 8월 : 조선대학교 화학공학
학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학
교 신소재공학부 부교수

<관심분야>

고분자합성, 고성능고분자재료