

핵제 및 가소제 첨가에 따른 PLA(PolyLactic Acid)의 결정화도 개선 및 결정구조에 관한 연구

박은조¹, 박헌진², 김동학^{*}
¹우리플라, ²순천향대학교 나노화학공학과

Effects of nucleating agents and plasticizers on the crystallinity and crystal structure of PLA(PolyLactic Acid)

Eun-Jo Park¹, Hern-Jin Park², Dong-Hak Kim^{2*}

¹Wooripla

²Department of Chemical Engineering, Soonchunhyang University

요약 본 논문에서는 PLA(PolyLactic Acid)의 결정화도 및 결정구조에 대해 연구하였다. PLA는 옥수수 전분으로부터 추출한 Lactic acid로부터 얻어지는 친환경적인 열가소성 플라스틱으로 매립시 미생물에 의해 완전히 분해되는 소재로 각광 받고 있지만 열 안정성이 낮고 낮은 결정화도로 인해 높은 기계적 물성이 요구되는 용도에는 부적합한 단점을 가지고 있다. 이 중에서도 낮은 결정화도와 느린 결정화 속도는 사출 성형 공정에서 Cycle time을 증가시키는 요인으로 다른 소재와의 경쟁에 매우 큰 단점으로 나타난다. 본 논문에서는 핵제 및 가소제의 종류와 함량에 따른 결정화도 및 결정화 속도의 변화를 연구함으로써 궁극적으로 사출 성형 공정에서 Cycle time을 개선하고자 하였다.

Abstract In this paper, the crystal structure and the crystallinity of PLA(PolyLactic Acid) were studied. PLA is a eco-friendly thermoplastic which completely decomposed by microorganisms, but has low thermal stability and low degree of crystallinity. The low crystallization rate makes the cycle time of injection molding longer and the degree of crystallinity lower. It is a very big disadvantage comparing the other thermoplastics. We improved the degree of crystallinity and the crystallization rate by introducing nucleating agents and plasticizer, and discussed the mechanism.

Key Words : Crystallization rate, Degree of Crystallinity, Nucleating agent, plasticizer, PLA

1. 서론

1.1 서론

PLA(Poly lactic acid)는 친환경적 생분해성 고분자의 일종으로, 옥수수 전분으로부터 생산되어 사출 및 필름 성형용 플라스틱으로 사용된다. 여기서 생분해성 고분자란 성형품, 포장재, 의학용품 등으로 사용한 플라스틱을 폐기하는 경우 소각을 통해 폐기 처리 하지 않고 단순 매립하여 미생물의 분해작용을 통해 수개월에서 1~2년(일

반적인 플라스틱의 경우 매립시 분해되는 시간은 적게는 50년에서 수백년에 이른다.) 사이에 H₂O, CO₂, CH₄ 등으로 분해되는 플라스틱을 말한다. 분해 매커니즘에 따라 가수분해성, 생분해성, 광분해성 플라스틱으로 나뉘며 PLA는 대표적인 가수분해성 플라스틱이다.

PLA의 경우 친환경적이고 인체에 무해한 장점을 가지고 있으므로 일회용품이나 포장재, 수술용 봉합사 등의 의료 용품으로 많이 사용되고 있고 최근 3D 프린터에 이용되는 소재로 각광을 받고 있지만 결정화도가 낮고

*Corresponding Author : Dong-Hak Kim(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-10-3772-1023 email: dhkim@sch.ac.kr

Received December 19, 2014

Revised January 7, 2015

Accepted January 8, 2015

결정화 속도가 느린 단점이 있어 사출성형의 Cycle에서 냉각과정에 걸리는 시간이 길어져 다른 플라스틱에 비해 사출성형품으로서의 경쟁력이 떨어지는 약점을 가지고 있다.

본 연구에서는 핵제 및 가소제를 통해 PLA의 결정화도 및 결정화 속도를 향상시켜 Cycle Time을 단축시키는 것에 대해 알아보았다. PLA처럼 냉각과정에 오랜 시간이 걸려 Cycle Time이 길어지는 다른 플라스틱에 적용되는 핵제 및 가소제를 PLA와 혼합해 봄으로서 압출, 사출을 통해 순수 PLA 및 첨가제를 첨가한 PLA의 실제 Cycle time을 비교하고 DSC(Differential scanning calorimetry, 시차주사 열량 측정법)를 통한 Thermogram을 측정하여 결정화 피크와 용융피크를 비교하여 결정화도와 결정화 속도를 비교하는 것을 목적으로 연구를 진행하였다.[1-3]

2. 실험방법

2.1 압출

PLA와 첨가제의 압출은 Table 1, 2와 같은 혼합 비율에 따라 (주)SM 플라텍의 TEK25-11/2B 트윈스크류 압출기를 사용하여 진행하였다. 먼저 Talc를 핵제로 사용하여 Talc의 함량 및 입자 크기에 따른 결정화도 차이를 확인하였고 가장 높은 결과 값을 보인 ETS2000(1%)을 기본 핵제로 선택하여 기타 핵제와의 추가 실험을 진행하였다. 첨가제로는 PLA의 낮은 열안정성을 보완하기 위하여 1차 산화 방지제와 2차 산화방지제를 첨가 하였다. 정밀계량을 통해 각각의 소재를 계량한 후 Main Feeder를 통해 압출기 내부로 재료를 투입하였고 시편제작을 위해 사출성형을 해야 하기 때문에 Pelletizer를 통해 Pellet 형태로 제작하였다.

[Table 1] Recipe for compounding according to the size and contents of Talc

PLA Ingeo 3001D	98.6	96.6	94.6	98.6	96.6	94.6	98.6	96.6	94.6
Talc ETS2000(3um)	1	3	5						
Talc ETS1000(6um)				1	3	5			
Talc ETS325(12um)							1	3	5
Additives	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	.04

[Table 2] Recipe for compounding according to the content of the plasticizers and nucleating agents

PLA Ingeo 3001D	98.3	98.1	97.6	98.3	98.1	97.6	98.3	98.1	97.6	95.6	93.6	88.6
Talc ETS2000(3um)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Millad 3988	0.3	0.5	1									
Boron Nitride				0.3	0.5	1						
Sodium Benzoate							0.3	0.5	1			
Poly Ethylene Glycol										3	5	10
Additives	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

2.2 비등온 결정화 실험

첨가제가 혼합된 PLA의 결정화도 측정을 위해 비등온 결정화 실험을 진행하였다. 수지를 완전히 비결정질 상태로 만들고 열이력을 지우기 위해 10°C/min의 가열속도로 PLA의 용융온도 이상인 200°C까지 가열한 후 5분간 안정화 시켜 비결정 용융 상태로 만들었다. 그 후 결정화 피크를 관찰하여 ΔH_{cc} 및 결정화 거동을 분석하기 위해 40°C까지 10°C/min의 냉각속도로 냉각시키며 결정화 피크를 관찰하였다. 40°C에서 다시 1분간 안정화를 시킨 후 용융 피크를 관찰하기 위해 200°C까지 10°C/min의 속도로 가열하여 용융피크에서의 ΔH_m을 확인하였다. 그 후 다음 식을 이용하여 결정화도 X_c를 계산하였다.[4]

$$X_c(\%) = \left[\frac{\Delta H_m}{\Delta H_f(1-W_f)} \right] \times 100\%$$

ΔH_m : Heat of fusion sample

ΔH_f : Heat of fusion for 100% crystalline material
(PLA : 93.6 J/g)

W_f : Mass fraction of the fillers

X_c : Crystallinity of the PLA

2.3 등온 결정화 실험

첨가제가 혼합된 PLA의 결정화속도 측정을 위해 등온 결정화 실험을 진행하였다. 수지를 완전히 비결정질 상태로 만들고 열이력을 지우기 위해 10°C/min의 가열속도로 PLA의 용융온도 이상인 200°C까지 가열한 후 5분간 안정화 시켜 비결정 용융 상태로 만들었다. 그 후

결정화 피크를 관찰하여 ΔH_{cc} 및 결정화 속도를 분석하기 위해 액체질소를 사용하여 각각 100, 110, 120°C의 온도로 100°C/min의 냉각속도로 급냉시켜서 결정화 피크를 관찰하였다. 결정화 피크의 전체 면적 ΔH_{cc} 에 대비하여 특정시간 t에서 면적인 ΔH_t 가 절반이 되는 시간 t, 즉 $\Delta H_t/\Delta H_{cc}$ 가 0.5가 되는 시간 t를 찾아 $T_{1/2}$ 를 측정하여 각 함량별 결정화 속도를 비교하였다.[4]

그 후 Avrami 방정식의 그래프와 실제 냉각에서의 결정화도 그래프의 비교를 통해 k값과 n값을 결정하였다.[5]

$$\Phi = 1 - \exp(-kt^n)$$

Φ : 결정화도

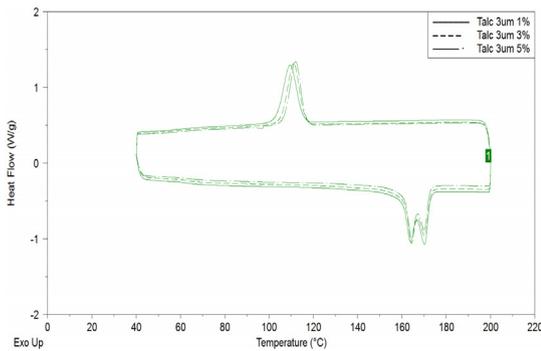
t : 시간

k : 온도에 의존하는 성장속도변수

n : 온도와 무관한 핵 형성지수

3. 결과

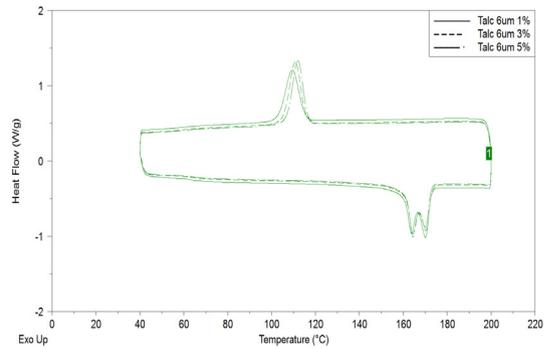
3.1 Talc 입자 크기 및 함량에 따른 비등온 DSC Thermogram



[Fig. 1] DSC Thermogram of PLA + 3um Talc

[Table 3] Thermal properties of PLA + 3um Talc

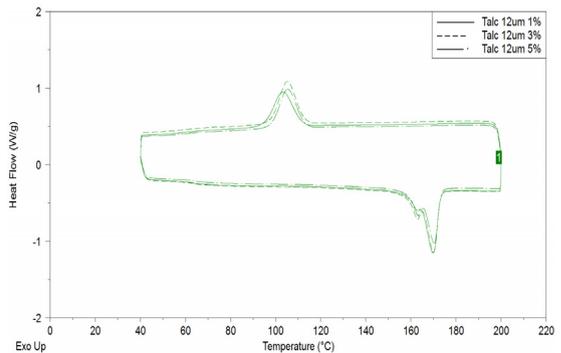
	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 3um 1%	109.5	34.5	163.97	39.5	42.8
Talc 3um 3%	111.1	33.1	164.27	38.0	42.0
Talc 3um 5%	111.9	31.5	164.37	36.5	41.2



[Fig. 2] DSC Thermogram of PLA + 6um Talc

[Table 4] Thermal properties of PLA + 6um Talc

	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 6um 1%	109.5	32.4	163.75	37.7	40.6
Talc 6um 3%	110.9	31.4	164.18	36.6	40.4
Talc 6um 5%	112.0	31.1	164.30	35.6	40.2



[Fig. 3] DSC Thermogram of PLA + 12um Talc

[Table 5] Thermal properties of PLA + 12um Talc

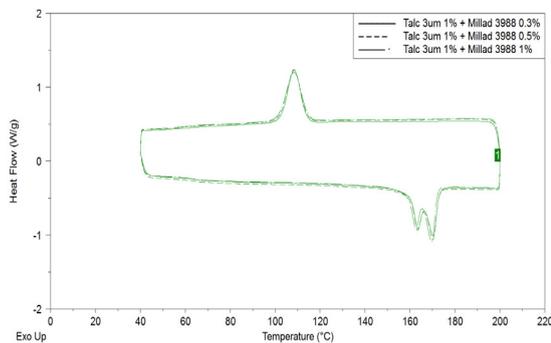
	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 12um 1%	103.1	31.1	162.5	36.9	40.0
Talc 12um 3%	105.1	29.9	162.8	35.8	39.6
Talc 12um 5%	105.4	27.7	163.0	34.0	38.4

Talc의 입자 크기 및 함량에 변화를 주어 압출을 진행하여 DSC측정을 진행하였다. Fig. 1은 3um입자크기의 Talc를 첨가한 PLA의 DSC Thermogram이다. 1%함량에서 가장 높은 결정화도를 보였고 함량이 증가 할수록 T_c 가 고온으로 이동하였으며 냉각과정에서 충분한 결정화가 이루어졌기 때문에 재가열 과정에서 잔여 결정화 피크는 나타나지 않았다. 용융과정에서 2중 피크가 나타

나는 것을 확인 할 수 있는데 이는 순수 PLA에서는 나타나지 않은 현상으로 결정화가 일어나는 PLA에서 결정구조 혹은 결정크기의 차이로 인해 나타나는 현상으로 판단된다.[6]

Fig. 2와 Fig. 3은 각각 6um, 12um입자크기의 Talc를 첨가한 PLA의 DSC Thermogram으로 각각의 입자크기에서 3um 입자크기의 Talc를 첨가하였을 때와 비슷한 경향을 보였고 입자 크기가 커질수록 결정화도는 감소하는 경향을 보였다. 12um 입자크기의 Talc를 첨가하였을 경우 냉각과정의 결정화 피크가 저온쪽으로 크게 이동한 것을 볼 수 있다. 결정화 온도가 낮아지는 것은 사출 성형 시 냉각과정에서 더 낮은 온도에서 결정화가 시작되므로 더 늦게 결정화가 시작되는 것을 말하고 이는 냉각과정의 결정화에서 손해를 보는 것으로 해석된다. 용융 피크의 2중 피크의 경우 3,6um의 입자크기에서는 비슷한 피크 형태를 갖지만 12um의 피크에서는 그 형태가 다른데 순수 PLA의 T_m 이 170°C 근처에서 나타났기 때문에 그보다 낮은 온도의 T_m 을 보이는 피크가 Talc를 첨가함으로써 생성되는 새로운 결정형태 혹은 결정크기가 나타내는 용융피크로 판단된다.[7]

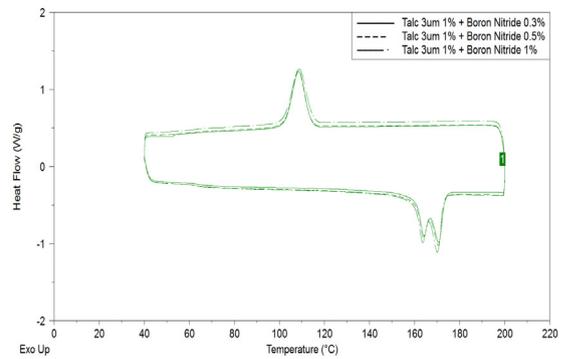
3.2 기타 첨가제의 함량에 따른 비등온 DSC Thermogram



[Fig. 4] DSC Thermogram of PLA + 3um Talc 1% + Millad 3988

[Table 6] Thermal properties of PLA + 3um Talc 1% + Millad 3988

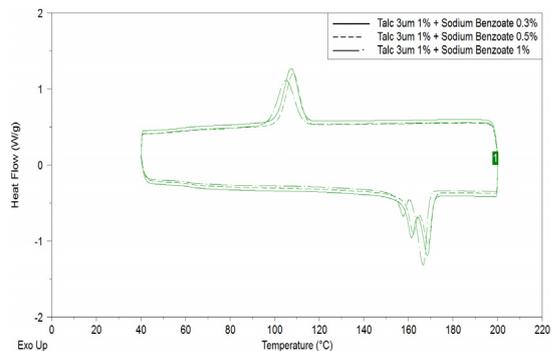
	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 3um 1% + Millad 3988 0.3%	108.5	29.6	163.5	34.9	38.0
Talc 3um 1% + Millad 3988 0.5%	108.4	30.1	163.4	36.4	39.7
Talc 3um 1% + Millad 3988 1%	108.3	30.8	162.7	37.9	41.5



[Fig. 5] DSC Thermogram of PLA + 3um Talc 1% + Boron Nitride

[Table 7] Thermal properties of PLA + 3um Talc 1% + Boron Nitride

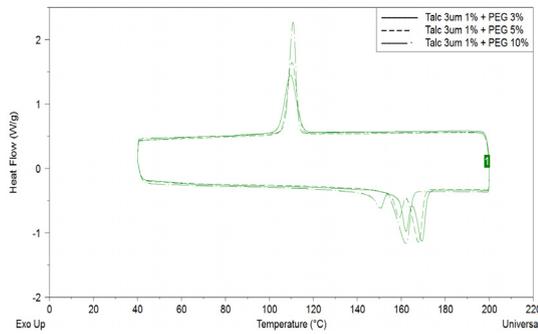
	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 3um 1% + Boron Nitride 0.3%	108.6	29.9	164.0	36.2	39.4
Talc 3um 1% + Boron Nitride 0.5%	108.5	30.1	163.9	36.5	39.8
Talc 3um 1% + Boron Nitride 1%	106.7	32.4	163.6	39.5	43.2



[Fig. 6] DSC Thermogram of PLA + 3um Talc 1% + Sodium Benzoate

[Table 8] Thermal properties of PLA + 3um Talc 1% + Sodium Benzoate

	T_c (°C)	ΔH_{cc} (J/g)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
Talc 3um 1% + Sodium Benzoate 0.3%	107.5	31.6	161.3	38.4	41.8
Talc 3um 1% + Sodium Benzoate 0.5%	108.3	30.9	162.0	38.5	41.9
Talc 3um 1% + Sodium Benzoate 1%	105.1	30.7	157.6	39.2	42.9



[Fig. 7] DSC Thermogram of PLA + 3um Talc 1% + PEG

[Table 9] Thermal properties of PLA + 3um Talc 1% + PEG

	$T_c(°C)$	$\Delta H_{cc}(J/g)$	$T_m(°C)$	$\Delta H_m(J/g)$	$X_c(\%)$
Talc 3um 1% + PEG 3%	109.6	33.6	162.1	39.42	44.1
Talc 3um 1% + PEG 5%	110.3	35.5	159.0	39.71	45.3
Talc 3um 1% + PEG 10%	110.8	38.4	150.0	40.46	48.8

위의 4가지 실험은 가장 높은 결정화도를 보인 3um 입자크기의 Talc를 1% 고정으로 첨가하고 투명화 핵제 Millad 3988, Thermal conductive filler인 Boron Nitride, 가소제인 Sodium Benzoate, 액상 가소제인 PEG(Poly Ethylene Glycol)을 각각의 함량에 따라 첨가한 혼합물의 DSC Thermogram이다.

전체적인 DSC Thermogram의 경향은 Talc만 첨가하였을 때와 비슷하게 나왔다. Millad 3988의 경우 Talc와 같이 첨가 하였을 때 Talc의 효과에 가려지는 모습을 보였지만 단독으로 실험하였을 때 역시 30대 초반의 결정화도를 보이는 효과가 있었다. 따라서 투명성이 요구되는 제품의 경우 Talc를 대체할 수 있는 핵제로 사용될 수 있을 것으로 보인다. Boron Nitride의 경우 함량이 증가함에 따라 결정화도가 증가하는 모습이 나타났지만 Boron Nitride의 함량이 증가함에 따라 소재에 취성이 생기는 현상이 나타나 사출성형제품에 있어서 단점으로 작용할 수 있다. Sodium Benzoate의 경우 전체적인 함량에서 Talc를 단독으로 사용하였을 때 보다 결정화도가 높아졌지만 소재의 투명성을 없애는 단점이 있고 Boron Nitride와 마찬가지로 높은 함량을 첨가하였을 때 취성이 나타나는 단점이 있었다. PEG의 경우 모든 경우에서 Talc의 단독 사용보다 높은 결정화도를 보였고 특히 10% 함량에서 결정화 피크가 좁은 온도 범위에 걸쳐 날

카롭게 나타나는 모습을 보였지만 T_m 이 10°C이상 저온으로 이동하는 현상이 나타났다. 결정화도는 높게 나왔지만 액상이기 때문에 높은 함량에서 PEG가 끊는 현상이 발생해 압출에 어려움이 있으므로 이에 대한 개선방안이 필요할 것으로 보인다.

3.3 등온결정화 DSC Thermogram

Table 10은 각각 100, 110, 120°C로 설정한 온도에 대해 급냉시킨 등온 결정화 실험에 대한 결과 값이다. 높은 결정화도를 보인 4가지 시료에 대해 실험을 진행하였다. 4가지 경우 모두 T_c 근처인 110°C에서 가장 빠른 $T_{1/2}$ 값을 보이고 PEG의 함량이 높을 때가 Talc만 단독으로 사용했을 때 보다 절반에 가까운 $T_{1/2}$ 값을 얻을 수 있었다.

등온 결정화 DSC Thermogram으로부터 냉각 과정의 결정화 피크를 이용하여 Avrami 방정식의 k, n 값을 구할 수 있는데 이 값들을 Table 11에 나타내었다.[2]

$T_{1/2}$ 값에서 알 수 있듯이 가장 빠른 $T_{1/2}$ 을 보인 Talc 3um 1%와 PEG 10%를 첨가한 시료에서 가장 큰 k 값을 얻을 수 있었다. 실험한 시료의 k, n 값을 구함으로써 임의의 시간 t 에 대한 결정화도 값을 계산 할 수 있다.

[Table 10] $T_{1/2}$ according to the content of the Talc and PEG

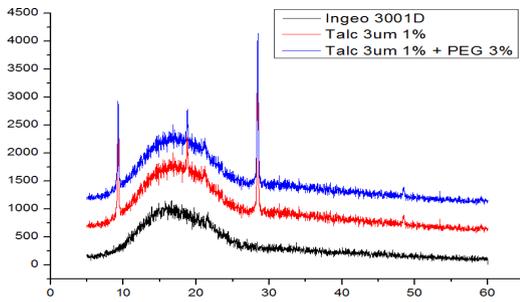
	Talc 3um 1%	Talc 3um 1% + PEG 3%	Talc 3um 1% + PEG 5%	Talc 3um 1% + PEG 10%
100°C	49.8	39.6	27.6	19.8
110°C	27.0	25.8	14.4	13.8
120°C	51.6	60.0	60.0	48.6

[Table 11] Parameters of the Avrami equation according to the content of the Talc and PEG

	Talc 3um 1%	Talc 3um 1% + PEG 3%	Talc 3um 1% + PEG 5%	Talc 3um 1% + PEG 10%
k	5.51	9.72	9.38	29.64
n	2.66	2.64	2.44	2.98

3.4 XRD

Fig. 8은 순수 PLA와 Talc 3um 1%, Talc 3um + PEG 3%를 첨가하였을 때의 시료에 대한 XRD 결과이다. 순수 PLA의 경우 전 구간에 걸쳐 피크가 나타나지 않았고, 이중피크가 나타난 나머지 두 시료에 대해서 날카로운 피크가 두 곳에서 발견 되었다. 기존의 연구에 의해서 5°에서 나타난 피크는 Talc를 나타내는 피크인 것을 확인 할 수 있었으므로 14°근처의 피크가 Talc 첨가로 인해 나타난 새로운 결정 형상을 가진 결정에 대한 피크로 판단된다.[2]



[Fig. 8] XRD graph according to the content of the plasticizers and nucleating agents

Sherrer식에 의해 결정의 크기를 계산 하면 Talc입자의 크기는 3.2um로 나왔고 새로운 결정 형상을 가진 입자의 크기는 6.7um로 나타났다 DSC Thermogram에서의 이중 피크는 순수 PLA와 이 새로운 결정 형상을 가진 결정화가 된 PLA가 가진 용융열의 차이로 인해 나타나는 것으로 판단된다. 기존의 결정성 고분자에 대한 연구에 의하면 PLA의 결정 구조는 판상형태의 에피택셜 성장으로 예상되지만 이에 대한 WAXD등의 결정 형상 연구가 이루어진다면 결정 형상 차이에 따른 용융열 차이의 상관관계를 명확히 할 수 있을 것이다.[8]

4. 결론

본 연구는 Talc와 기타 핵제 및 가소제의 첨가에 따른 생분해성 고분자인 PLA의 결정화도 향상을 DSC측정을 통해 알아보기 위해 진행되었다. 순수 PLA의 경우 생분해성과 친환경적이라는 장점을 가지고 있지만 결정화도가 낮고 결정화 속도가 느려 실제 사출 성형 공정에서 냉각과정이 차지하는 비중이 커져 전체 Cycle time이 늘어나는 단점을 가지고 있었다. 따라서 결정화도를 향상 시킬 수 있는 핵제 및 가소제의 첨가가 불가피 했다. 핵제를 통해 결정화도를 향상시켜 전체 Cycle time을 단축시켜 다른 범용수지와의 경쟁력을 갖게 하는 것이다.

결정화도를 향상시킬 핵제로 Talc, Millad 3988, Boron Nitride를 선택하고 가소제로 Sodium Benzoate와 Poly Ethylene Glycol을 선택하였다. 먼저 Talc를 입자 크기 및 함량에 변화를 주어 실험을 하였고, 이 실험을 통해 Talc의 입자 크기에 대해서 작은 입자 크기의 Talc를 첨가 하였을 때가 큰 입자 크기의 Talc를 첨가 하였을 때 보다 결정화도가 더 높게 나타나는 것을 확인 하였다.

함량의 변화에 따른 실험에서는 1%를 첨가하였을 때 가장 높은 결정화도를 보였는데 5%에서의 결정화도와 큰 차이는 나타나지 않았다. 이후의 실험에서는 Talc 3um 1%를 고정 함량으로 실험을 진행하였다.

기타 핵제 및 가소제 실험에서 Millad 3988과 Boron nitride는 단독 사용하였을 때 Talc에는 미치지 못하지만 결정화도 향상에 큰 효과가 있었다. 하지만 전체 결정화도는 비슷하지만 Talc의 경우와 달리 냉각 과정에서 모든 결정화가 이루어지지 않고 가열 과정에서 잔여 결정화를 통해 이루어진 부분이 있기 때문에 사출 성형 공정에서는 Talc보다는 효과가 떨어질 수 있다. 하지만 Millad 3988의 경우 투명화 핵제로 사용되기 때문에 Millad 3988의 투명도 향상 효과에 따른 후속 연구가 이루어진다면 고 투명성을 요구하는 사출 성형 공정에 있어서는 Talc를 대체 할 수 있을 핵제로 여겨진다. 가소제인 Sodium Benzoate는 단독 첨가 하였을 때 Talc의 결정화도 향상 효과보다 낮은 값을 보였지만 Talc와 같이 사용하였을 때는 오히려 Talc를 단독으로 사용하였을 때 보다 높은 결정화도를 보였다. 경향성으로는 Sodium Benzoate의 함량이 높아질수록 결정화도가 더욱 향상 될 것으로 여겨지나 고함량의 Sodium Benzoate가 첨가 되었을 때 취성이 나타나는 단점이 발견되었으므로 그 이상의 함량을 첨가하는 것은 의미가 없을 것으로 판단되어 1%의 첨가를 통해 가장 효율적인 결정화도를 기대 할 수 있을 것이다. PEG의 경우 결정화도와 결정화 속도에서는 순수 PLA와 Talc를 첨가한 PLA에 비해서 크게 향상되는 결과를 보였지만 높은 함량을 첨가 하였을 때는 기계적 물성이 크게 감소하였다. 이는 높은 기계적 물성을 요구하지 않는 사출 성형 부품에 대해서는 Cycle Time을 줄여 경쟁력을 향상 시킬 수 있다고 판단된다.

핵제를 첨가한 PLA의 DSC Thermogram의 용융피크에서 2중 피크가 나타난 것을 확인 하였는데 이는 순수 PLA의 T_m 이 170°C 근처에서 나타나고 2중 피크의 T_m 이 160°C 근처에서 확인되는 것으로 보아 핵제 첨가를 통해 결정화도가 향상되며 이때 생성된 기존의 PLA와 다른 결정 형상을 가진 결정이 생성 되었다고 추측 할 수 있다. 이를 확인하기 위해 XRD실험을 진행하였고 이를 통해 Talc의 피크 외에 또 다른 피크를 나타내는 새로운 결정의 존재를 확인 할 수 있었다. 이 결정이 순수 PLA와 다른 용융열을 갖기 때문에 DSC Thermogram의 용융 피크에서 2중으로 나타난 것이라 생각된다.

이 실험을 통해 Talc가 결정화도 향상에 미치는 효과가 다른 핵제보다 큰 것을 확인 하였으며, 가소제의 경우 PEG가 결정화 속도에 큰 영향을 주는 것을 확인 할 수 있었다. 높은 물성을 요구하는 부품의 경우에는 Talc를 단독으로 사용하거나 Talc와 Sodium Benzoate를 같이 사용하는 것이 좋으며 물성이 감소하더라도 전체 Cycle Time을 줄이는 데에는 Talc와 PEG의 첨가가 좋은 효율을 보이는 것을 확인하였다.

References

- [1] Michel A. Huneault et al., "Poly(lactic acid) crystallization", Progress in Polymer Science, Vol. 37, No. 12, pp.1657-1677, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.07.005>
- [2] JenTaut Yeh et al., "Isothermal crystallization kinetics and crystal structure of poly(lactic acid) : Effect of triphenyl phosphate and talc", Vol. 118, No. 6, pp.3560-3562, 2010.
- [3] Ming Li et al., "Nonisothermal crystallization kinetics of poly(lactic acid) formulations comprising talc with poly(ethylene glycol)", Polymer Engineering and Science, Vol. 50, No. 12, pp.5-7, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/pen.21755>
- [4] Huneault et al., "Effect of nucleation and plasticization on the crystallization of poly(lactic acid)", Polymer, Vol. 48, No. 23, pp.6858-6859, 2007.
- [5] Felice De Santis et al., "Nucleation and crystallization kinetics of poly(lactic acid)", Thermochimica Acta, Vol. 522, No. 1-2, pp.129-130, 2011.
- [6] Lijia An et al., "Crystal structure and morphology in fluenced by shear effect of poly(L-lactide) and its melting behavior revealed by WAXD, DSC and in-situ POM", Polymer, Vol. 52, No. 15, pp.3478-3480, 2010.
- [7] E.Pioskowska et al., "Crystallization, structure and properties of plasticized poly(L-lactide)", Polymer, Vol. 46, No. 23, pp.2-5, 2005
- [8] Madami Okamoto et al., "Morphology and crystallization kinetics in a mixture of low-molecular weight aliphatic amide and polylactide", Polymer, Vol. 47, No. 4, pp.3-5, 2006
- [9] Lin-Qiong Xu et al., "Crystallization and foaming behaviors of Poly(lactic acid) using supercritical carbon dioxide as a foaming agent", SPE ANTEC, pp.2454-2458, 2014
- [10] Supaphorn Thumsorn et al., "Crystallization characteristic and heat seal properties of biodegradable films", SPE ANTEC, pp.309-313, 2014
- [11] Peng Zhao et al., "Crystallization characterzation of injection molded parts using ultrasonic technology", SPE

ANTEC, pp.1515-1519, 2014

- [12] Saara Inkinen et al., "From Lactic Acid to Poly(lactic acid) (PLA):Characterization and Analysis of PLA and Its Precursors", Biomacromolecules Vol.12 No.3, pp.523-532, 2011
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/bm101302t>

박 은 조(Eun-Jo Park)

[정회원]



- 2012년 2월 : 순천향대학교 나노화학공학과(공학사)
- 2014년 6월 : 순천향대학교 순천향대학원 화학공학·환경공학과 (공학석사)
- 2014년 6월 ~ 현재 : (주)우리플라

<관심분야>

Rheology, 고분자가공, 고분자복합재료

박 헌 진(Hern-Jin Park)

[정회원]



- 1986년 8월 : 서울대학교 화학공학과(공학박사)
- 1987년 1월 : SK케미칼 연구소 선임연구원
- 1992년 1월 ~ 2001년 12월 : SK케미칼 연구소 수석연구원
- 2002년 1월 ~ 2005년 12월 : SK케미칼 연구소 연구위원
- 2006년 1월 ~ 2011년 12월 : SK케미칼 상무
- 2012년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 산학협력단 부교수

<관심분야>

고분자복합재료, 고분자성형, 신뢰성공학

김 동 학(Dong-Hak Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 화학공학과(공학사)
- 1988년 2월 : KAIST 화학공학과(공학석사)
- 1993년 8월 : KAIST 화학공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 나노화학공학과 교수

<관심분야>

고분자가공, 유변학 및 이동현상