

어닐링을 통한 고기능성 생분해성 카드

심재호

한라대학교 공과대학 신소재화학공학과

High functional biodegradable card through annealing

Jae-Ho Sim

Department of Advanced Material and Chemical Engineering, Halla University

요약 일반적으로 사용되고 있는 합성수지인 PVC, PET 소재로 이루어진 카드는 쉽게 산화되거나 분해되지 않아서 사용 후에 폐기물로서 소각 또는 매립 처리되어지고 있으며, 소각 과정에서 환경호르몬과 연소가스등의 공해 문제를 일으킨다. 또한 매립 시에는 분해되지 않고 반영구적으로 쓰레기로 남아있어 환경오염을 일으키는 문제점 있다. 본 연구에서는 현재 사용하고 있는 카드의 문제점을 해결할 수 있는 대체 재료로서 대표적인 생분해성 소재인 폴리락트산(PLA : Polylacticacid)을 사용하여 이러한 문제점을 해결하고자 하였다. 그러나 PLA 소재로만 얇은 시트형태의 카드 기제가 만들어질 경우 재료 본래의 물성이 제한되어 저온 충격강도, 고온 안정성, 휨(Bending) 특성 등이 불충분하여 카드로써의 사용범위도 제한될 수밖에 없는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 PLA와 물성보강을 위한 원료의 적절한 배합 조성비를 검토하고, 결정화 핵제 및 첨가제 등의 조성물 검토와 나노컴파운드 기술을 통한 최적의 생분해성 컴파운드 조성물을 제조, 평가 하였다. 또한, 어닐링 (Annealing) 기술을 적용한 라미네이팅 공정을 통해 생분해성 범용 카드로써의 고기능화를 검증하였다.

Abstract Cards made from PVC and PET materials do not oxidize or decompose readily, so they are generally incinerated or landfilled after use and cause pollution problems, such as environmental hormones and combustion gases during incineration. In addition, there is a problem of environmental pollution because they are discarded as semi-permanent refuse without being decomposed at landfill. This study attempted to solve this problem using polylactic acid (PLA), which is a representative biodegradable material as a substitute material that can solve the issues with these cards. On the other hand, when the thin card core sheet is made from only PLA material, the physical properties of the material are insufficient, such as the low temperature impact strength, high temperature stability, and poor bending properties, so its use is limited. To solve this problem, the compositional ratio of PLA was reviewed, and the optimal biodegradable compound composition was determined through an examination of the compositions, such as crystallization nucleating agents, additives, and nano compound technology. The high functionalization as a biodegradable card was verified through a laminating process using annealing technology.

Keywords : Polylacticacid, Biodegradable Material, Compound, Annealing, Laminating

*Corresponding Author : Jae-Ho Sim(Halla Univ.)

email: jhsim@halla.ac.kr

Received October 8, 2019

Accepted February 7, 2020

Revised December 3, 2019

Published February 29, 2020

1. 서론

현재 유통되는 대부분의 범용카드(교통카드, 멤버십카드, IC카드, 신분증, 출입카드 등)는 PVC 또는 PET 합성수지 소재로 제작되고 있으며, 프탈산계(Phthalate) 가소제나 아디핀산계(Adipates) 가소제를 사용하여 유연성과 탄력성을 증가시켜 제품화하고 있다. 이러한 비분해성 소재의 내구성과 편리성은 유리하지만, 폐기로 인해 발생하는 다이옥신 등의 환경호르몬과 소각으로 인한 대기오염과 같은 문제를 일으키고 있다. 이러한 기존소재의 대체재로 환경적 측면의 많은 문제를 해결할 수 있으며, 자연 상태에서 분해가 가능한 생분해성 소재로 제조가 가능한 카드를 연구 개발이 필요하다.

대표적인 생분해성 플라스틱 소재인 폴리유산[PLA: Poly(lacticaicd)]은 생분해성 고분자 중에서 물성이 우수하여 사출, 압출가공 및 섬유나 필름에 의한 일반적인 용도의 소재로써 관심이 증대되고 있다[1-5]. PLA는 비교적 높은 용점(Tm)과 유리전이 온도(Tg)를 갖는데도 불구하고, 내열성 및 탄성이 약하고, 잘 깨지는 단점을 가지고 있다. 이를 보완하기 위하여 PLA와 생분해성 수지인 PBAT[Poly(butylene adipate-co-terephthalate)] 등의 블렌딩이나 공중합에 의한 물성보강과 연구개발에 관심이 커지고 있다[6-9]. PLA는 단독으로 얇은 시트형태의 카드기재(core sheet)로 제조할 경우 재료 본래의 물성이 제한되어 강도, 특히 저온 충격강도, 고온 안정성, 휨(bending) 특성이 불충분하여 카드용도로써 사용범위가 제한될 수밖에 없다. 특히, PLA로 제조된 생분해성 수지시트를 사용하여 카드를 제조할 경우 시트를 여러 겹으로 겹쳐서 접합하는 과정에서 소재 상호간의 접착력이 낮아 시트와 시트가 서로 분리되고, 각각의 시트를 접합하는 과정에서 발생하는 열분해 현상으로 인해 카드의 내 충격 강도가 저하되어 쉽게 파손되는 문제점이 발생할 뿐만 아니라, RFID 태그 및 IC칩(IC chip)을 시트에 접착 시 생분해성 수지와 접착성이 낮아 접착불량이 발생하게 되며, 차폐성이 낮아 카드의 내부가 보이는 등의 문제점이 발생하여 실용화하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 생분해성 PLA제품의 문제점을 해결하기 위해서 PLA의 결정화 향상을 위한 효과적인 방법으로는 (1) 물리적 방법으로 연신에 의한 배향방법과 (2) 열적결정화 방법으로 외부에서 슈트에 공급되는 열에너지를 이용하여 슈트의 결정을 성장시키는 두 가지 방법이 있다[10]. 일반적으로 물리적 결정화 방법과 열적결정화 방법을 동시에 사용하면 보다 효과적이지만, 카드기재가 슈트인 상

태이므로 열적인 효과를 최대화하기 위해서 어닐링 방법을 사용 하는 것이 효과적이다.

본 연구에서는 공정온도에 따른 어닐링 최적화와 라미네이팅 공정을 통하여 코어슈트의 제작공정을 검토하였다. 또한 어닐링방법에 의하여 실용적인 측면에서 카드기재의 내부응력(internal stress)을 완화시켜 내열특성, 충격강도, 뒤틀림성 및 치수안정성의 향상을 검토 하였다.

2. 재료 및 공정개발

2.1 재료 및 첨가제

본 실험에 사용한 PLA는 NatureWorks LLC의 PLA 4032D($M_w = 55,000 \text{ g/mol}$)를 사용하였다. PLA 4032D는 용점과 유리전이 온도가 각각 160°C , 58°C 로 높고, 신율(MD 180%, TD 100%)과 충격강도(Spencer impact, 2.5Joule)가 우수하여 적층하여 카드기재를 제조하는 공정에서 필요한 내열성, 상용성, 어닐링의 결정화 특성을 발현하는데 적합한 물성을 가지고 있다. 또한, 물성보완을 위하여 지방족 생분해성 수지인 PBAT는 BASF사의 Ecoflex C1200을 사용하였다. 결정화 핵제 및 기타 첨가제의 배합비율과 압출조건(온도, 압력, 속도, 결정화 조건)을 변수로 하여 5 종류의 샘플을 제조하고 공정을 검토 하였다. 소재의 최적화를 위한 각 소재별 비율과 테스트 조건을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Formulation of PLA/PBAT and Additives

Description	1st	2nd	3rd	4th	5th
PLA	65	65	65	57	60
PBAT	25	25	25	33	30
TiO ₂	10	10	5	7	10
Talc	-	-	5	3	-
P1	-	0.10	0.10	0.10	0.10
P2	-	0.15	0.15	0.15	0.15
P3	-	-	-	0.15	0.15
Wax	0.35	-	0.35	-	-
Ca-ST	-	0.35	-	0.30	0.30
Nuclear agent	-	-	-	1.00	1.00

P1: Primary Antioxidant, P2: Primary Antioxidant, P3: UV stabilizer, Ca-ST: Heat stabilizer

컴파운드는 압출온도($100^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$), 압출속도(750rpm), 공급속도(250rpm), 절단속도(650rpm)를 동일하게 적용하였으며, 제조된 수지의 결정화는 각각 80°C 에서 40min 동안 실시하였다. 제조한 수지에 대한

여 주요물성인 용융지수(M.F.I), 수분 및 기타 외관 등을 평가한 결과, 4차 및 5차 시제품이 이상 없음을 나타냈으며 제조결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Compound test result

Description	1st	2nd	3rd	4th	5th
Moisture content (mg/kg)	500	400	400	400	400
M.F.I. ¹⁾ (g/10min)	5.0	3.9	3.5	3.4	3.4
Appearance etc.	Clear	Elastic lack	Pressure increase	Clear	Clear

¹⁾ M.F.I.: Melt Flow Index (ASTM D1238)

2.2 코어시트 제작

Table 1과 같이 제조된 5종류의 컴파운드수지를 사용하여 0.20mm의 카드용 코어시트를 제작하였다. 가공시 가공온도가 부적절하면, 평활도 및 외관이 적합하지 못하였으며, 코어시트 가공온도는 175℃ ~ 185℃가 적절함을 확인 하였다. 제작한 코어시트는 평활도 및 외관이 이상이 없었으며, 3차 및 4차 컴파운드를 사용한 코어시트는 탈크의 영향으로 취성이 관찰되었다. Fig. 1에 코어시트의 제작과정 및 제작된 최종 코어시트를 나타내었다.

2.3 어닐링 및 라미네이팅 공정의 최적화

동일한 조건에서 제작된 0.08mm의 각각의 코어시트와 0.03mm의 필름을 사용하였다. 카드기체는 필름 2장(상하)과 시트 3장을 사용하여 라미네이팅 하고, 라미네이팅 시에 시트에 공급되는 열에너지를 이용하여 시트의 결정을 성장시키기 위한 온도, 압력, 시간 변화를 주어 어닐링 공정을 최적화 하였다. 가열 시의 온도는 80℃ ~ 110℃, 압력범위 5bar ~ 60bar, 시간은 5min ~ 30min의 범위에서 실시하였으며, 냉각시는 20℃ 분위기에서 압력범위 20bar ~ 65bar, 시간 20min ~ 65min의 범위에서 실시하였다. 라미네이팅 테스트의 온도조건에 따라 시트 및 필름간의 접착불량이 발생하였다. 또한 굽힘 시험에서 파손된 카드는 라미네이팅 가열온도가 95℃ 초과이거나 또는 85℃ 미만인 경우에 발생하였으며, 적합한 라미네이팅 가열온도는 85℃ ~ 95℃, 어닐링을 위한 최적의 가열시간은 20min ~ 40min 인 것으로 나타났다. 3차 및 4차 샘플카드는 탈크의 영향으로 다른 카드에 비해 상대적으로 취성이 강해서 파손에 영향을 준 것으로 나타났다. Table 3에 카드용 코어시트 시제품을

이용하여 라미네이팅 공정과 어닐링 테스트 결과를 나타내었으며, Fig. 2에 제작된 카드의 어닐링 테스트를 나타내었다.

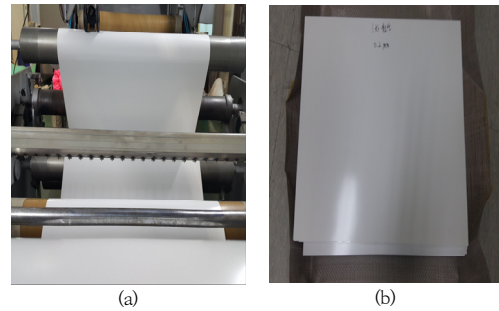


Fig. 1. Core sheet manufacturing process
(a) : Extrusion process (b) : Core sheet

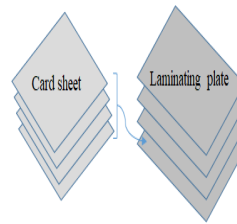


Fig. 2. Annealing test for core sheet.


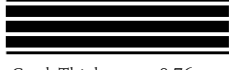



3. 결과 및 고찰

각 단계별로 제작된 카드제품의 카드로써의 물성을 확인하기 위하여 카드의 휨도, 카드의 필름과 코어시트간의 인장력(벗김강도), 굽힘 강도, 내온 내습성, 뒤틀림 강도, 굽힘 테스트, 저온 충격시험, 하중변형온도, 내구성 테스트를 수행 하였다. 각 항목별 시험 결과를 Table 4에 정리하여 나타내었다.

3.1 휨도

카드의 평활한 정도를 측정하기 위하여 ISO/IEC 7810의 8.11 시험법에 따라 편평한 바닥면으로 부터 카드의 볼록한 부위를 측정하였다. 휨도 테스트는 Table 4에 나타난 바와 같이 만족한 결과를 얻었다.

Table 3. Sheet Laminating Composition and Annealing Conditions of Card

Sample	Laminating Composition	Annealing Conditions			Bending Test ¹⁾			
			Temp. (°C)	Pressure (bar)		Time (Min)		
1st	 Card Thickness : 0.76mm (0.08F/0.20S/0.20S/0.20S/0.08F) ²⁾	1A	Heating	100	40	5	Broken	
			Cooling	20	20	65		
		1B	Heating	100	60	20		Broken
			Cooling	20	20	65		
2nd	 Card Thickness : 0.76mm (0.08F/0.20S/0.20S/0.20S/0.08F)	2A	Heating	100	40	5	Broken	
			Cooling	20	20	65		
		2B	Heating	100	60	20		Broken
			Cooling	20	20	65		
3rd	 Card Thickness : 0.72mm (0.03F/0.03F/0.20S/0.20S/0.20S/0.03F/0.03F)	3A	Heating	100	5	25	Broken	
			Cooling	20	65	25		
		3B	Heating	95	5	25		Broken
			Cooling	20	65	20		
		3C	Heating	80	5	25		Broken
			Cooling	20	65	20		
4th	 Card Thickness : 0.72mm (0.03F/0.03F/0.20S/0.20S/0.20S/0.03F/0.03F)	4A	Heating	110	5	23	Broken	
			Cooling	20	65	20		
		4B	Heating	90	5	23		Broken
			Cooling	20	65	20		
		4C	Heating	80	5	30		Broken
			Cooling	20	65	20		
5th	 Card Thickness : 0.72mm (0.03F/0.03F/0.20S/0.20S/0.20S/0.03F/0.03F)	5A	Heating	95	5	30	Not broken	
			Cooling	20	65	20		
		5B	Heating	90	5	30		Not broken
			Cooling	20	65	20		
		5C	Heating	95	5	20		Not broken
			Cooling	20	65	20		

¹⁾ Bending test : Breakage of the card when it is bent in half at speed of 100 mm/min.

²⁾ The thickness of each layer (unit: mm). F: Film, S: Sheet

3.2 인장력

카드의 라미네이팅 한 필름과 코어층의 벗김강도의 세기를 측정하기 위하여 ISO/IEC 10373-1의 5.3.1 시험법에 따라 카드를 넓이 10mm로 절단하여 인장속도 300mm/min로 시험하여 끝 부분의 5mm를 제외하고 측정되는 거리에서의 하중값(N) 중 최소값을 기록하고, 시험편 넓이(10mm)에 대한 인장력(벗김강도)을 측정하였다.

1차 및 2차 카드 샘플은 범용카드 물성으로서 적합해야 하는 3.5N/cm의 관리값에 미달하였으며, 나머지 샘플은 모두 일반 범용카드의 기준 인장력과 동등 이상의 특성을 나타내었다.

3.3 굽힘강도(휨버팀도)

이 시험은 카드의 휨버팀도가 기준에 적합함을 알아보기 위하여 ISO/IEC 10373-1의 5.7 시험법에 따라 카드를 Fig. 3과 같이 측정하였으며, 장비에 장착하여 초기높이 (h1)를 측정하고 0.7N의 하중을 가하여 1분 동안 유

지한 후 높이(h2)를 측정한다. 하중을 제거한 후 높이 (h3)를 측정하여 하중을 가한 상태의 편향도(h1-h3)값과 하중을 가하기 전과 후의 변형정도(h1-h3)를 나타내는 값을 측정하였다. 시험결과는 샘플 모두 목표치에 만족한 결과를 나타내었다.

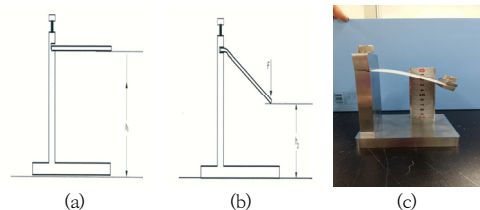


Fig. 3. Bending strength test

(a) Unloaded card, (b) A loaded card, (c) Bending strength

3.4 내온내습성

특정한 주위의 온도 및 습도에 노출된 후에 카드의 변형 등을 확인하기 위하여 ISO/IEC 10373-1의 5.5 방법

에 따라 -35℃ 에서 1시간 노출 후, 이어서 50℃, 상대습도 95%에서 1시간 노출하는 가혹한 온도 조건 후의 내온내습에 따른 카드의 휨도를 3.1 방법과 동일하게 측정하였다. 시험결과는 Table 4에 나타내었으며 샘플모두 목표치에 만족함을 확인할 수 있었다.

3.5 뒤틀림성(기계적 뒤틀림 스트레스)

카드에 연속적으로 동적인 뒤틀기를 가해 카드의 파손 유무를 확인하기 위하여 ISO/IEC 10373-1의 5.9 방법에 따라 Fig. 4와 같이 뒤틀림 스트레스 시험을 실시하여 카드의 이상(균열, 깨짐 등)이 발생했을 때의 뒤틀림 횟수 및 1,100회에서 카드의 파손 등의 외관이상 유무를 확인하였다. 1차 및 2차 카드가 각각 888회, 892회 에서 파손되었고, 나머지 샘플은 목표치인 1,100회에서 이상 없음을 확인할 수 있었다(Table 4).

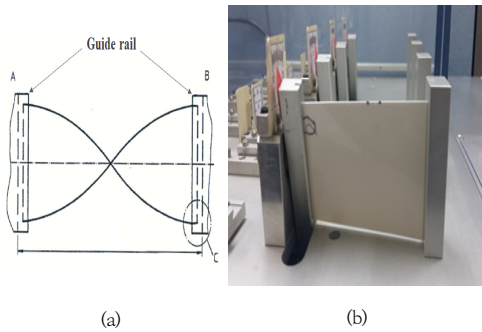


Fig. 4. Warping stress test
(a) Warp test schematic (b) Warping Test

3.6 기계적 굽힘 테스트(bending stress)

이 시험은 카드샘플의 기계적 굽힘 스트레스가 카드의 변형 등의 외관에 미치는 영향을 파악하기 위함으로써 ISO/IEC 10373-1의 5.8 방법에 따라 Fig. 5와 같이 단방향 및 장방향 으로 굽힘 스트레스를 주어 카드의 이상(균열, 깨짐 등)이 발생했을 때의 뒤틀림 횟수를 측정하였다. 이 시험은 카드의 물리적 특성을 확인하는 매우 중요한 항목이며, 시험결과는 Table 4와 같으며, 5차 카드 외는 모두 1,100회 이전에 파손되었음을 확인하였다.

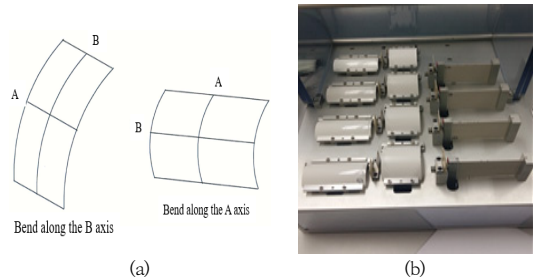


Fig. 5. Bending stress test
(a) A, B axial test schematic (b) Bending stress test

3.7 저온충격시험

카드샘플을 저온에 노출 후 낙구충격(금속 볼)을 했을 경우에 카드에 미치는 영향을 파악하기 위하여 카드샘플을 -20℃에서 1시간 방치 후 카드를 편평한 바닥에 놓고 500g 금속볼을 30cm에서 낙하 후 외관(균열, 깨짐 등)

Table 4. Physical Properties of Cards after Annealing Process

Test item	Unit	Existing Card (Ref. value) ¹⁾	1st	2nd	3rd	4th	5th
Flexure	mm	below 1.5	0.78	0.78	0.73	0.74	0.73
Tensile force	N/cm	above 3.5	1.3	1.1	7.2	7.1	6.7
Bending strength	N/cm	below 1.5	0.1	0.15	0.2	0.13	0.13
Temp. and moisture resistance (Warpage) ²⁾	mm	below 1.5	0.87	0.88	0.78	0.78	0.78
Warping (Up to 1,100 Times)	-	Clear	Breakage (888 times)	Breakage (892 Times)	Clear	Clear	Clear
Bending test (Up to 1,100 Times)	A axis	Clear	Breakage (791 times)	Breakage (815 times)	Breakage (930 times)	Breakage (859 times)	Clear
	B axis	Clear	Breakage (850 times)	Breakage (877 times)	Breakage (958 times)	Breakage (888 times)	Clear
Low temp. shock test ³⁾	-	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear	Clear
Load deflection temp.	℃	above 70	62	62	75	75	79

1) Standard properties of existing PVC cards (Reference value)

2) After 1 hour exposure at -35℃. and then 1 hour exposure at 50℃. and 95% relative humidity.

3) After 1 hour at -20℃, the card was placed on a flat surface and dropped from a height of 30cm with a 500g steel ball.

Table 5. Durability test results of Card (Sample No. 5)

Sample No.	Target value	Result value				
		Flexure			Warping	
		Initial value	After the test	Compare with initial value	Initial value	After the test
5th	80% over of initial value	0.72	0.76	95.8%	More than 1,100 times	More than 1,100 times

의 이상 유무 및 휨도를 측정하였다. 시험결과는 Table 4와 같으며, 샘플 모두 이상 없음을 확인하였다.

3.7 하중변형온도

이 시험은 일정한 하중에서 일정한 속도로 온도를 상승하여 규정된 변형(0.25mm)이 발생하였을 때의 온도를 측정하기 위함으로써, ASTM D 648 시험법에 따라 시험편을 장착하여 굴곡응력은 0.455MPa, 승온속도는 120℃/h의 조건으로 하중변형온도를 측정하였다. 1차 및 2차 시험은 개발목표치에 도달하지 못하였으며, 3차, 4차, 5차 시험은 범용카드의 물성치와 동등한 특성을 개발목표로 하고 있는 70℃ 이상에 도달하였음을 확인하였다(Table 4).

3.8 내구성 테스트

장기간 카드 사용 시의 내구성을 간접적으로 확인 하기 위한 척도로서, Table 4의 물성테스트를 바탕으로 가장 우수한 물성을 나타낸 5차 카드 샘플에 대하여 범용카드와 같은 가속 테스트를 실시하였다.

이 시험은 카드 샘플을 고온에 장시간 노출시켰을 경우 카드에 미치는 영향을 파악하기 위함으로써, 카드 샘플을 35℃에서 1,000시간 방치 후, 상기의 3-1과 같은 휨도 시험방법으로 테스트 한 결과 초기 대비 0.03mm 변화로 우수하였으며, 또한 3-5 방법에 따라 1,100회 튜틀림을 가한 후 카드의 파손 등 외관의 이상 유무를 확인 하였다. 기존의 범용 카드와 같은 테스트 방법으로 내구성에 대한 가속테스트 결과 우수한 특성을 나타내었다 (Table 5).

4. 결론

본 연구에서는 생분해성 PLA 카드 슈트를 사용하여 열적결정화 방법에 의한 어닐링 공정조건을 최적화하여 생분해성 카드의 코어시트를 제작하였다. 기존의 범용 카

드의 물성값과 동등 이상의 사용가능한 성능을 만족시키기 위하여 여러 조건의 어닐링 테스트를 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

어닐링의 최적조건은 가열온도 85℃ ~ 95℃, 냉각시간은 20min ~ 40min 범위임을 나타내었다. 수지의 조성은 PLA의 단점을 보완하기 위하여 PLA(4032D) 60%와 PBAT 30%, Talc 10%의 첨가가 효과적이었으며, 컴파운드 가공시의 공정안정성과 내구성향상을 위한 물성 개선용 첨가제로서는 1, 2차 산화방지제와 열안정제가 각각 0.1, 0.15, 0.3wt% 로 나타났으며, 자외선 안정제 및 결정화 핵제는 각각 0.15, 1.0wt%의 첨가가 유용한 물성향상을 나타내었다.

실용성적인 측면에서 카드기재의 내부응력(Internal Stress)을 완화시켜 충격강도, 튜틀림성 및 치수안정성 향상을 위해 라미네이팅 시 열적결정화에 의한 어닐링방법을 검토한 결과 내구성면에서 기존 범용카드의 특성과 동등 이상의 물성을 나타내었다.

References

- [1] M. Nikolic and J. Djonlagic, "Synthesis and characterization of biodegradable poly(butylene succinate-co-butylene adipate)", *Polymer Degradation & Stability*, vol.74, pp.263-270, 2001.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00156-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00156-2)
- [2] K. S. Kang and B. Y. Shin, "Modification of PLA Irradiation of Beam in the Presence of Functional Monomer: Rheological and Thermal Properties", *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol.46, No.1, pp124-130, 2008.
- [3] M. S. Reeve, S. P. McCarthy, M. J. Downey, and R. A. Gross, "Polylactide stereochemistry: effect on enzymic degradability", *Macromolecules*, Vol.27, pp.825-831, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma00081a030>
- [4] J. H. Sim, S. J. Kim, J. H. Shim, "The Effic of Nucleating Agent for Improving Heat Resistance Properties of L-Lactide Polymer", *J. of the Korean-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.11, pp.5595-5600, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.2.1563>

- [5] W. M. Stevels, M. K. Ankone, P. J. Dijkstra, and J. Feijen, "Stereocomplex formation in ABA triblock copolymers of poly(lactide) (A) and poly(ethylene glycol) (B)", *Macromol. Chem. Phys.* Vol.196, No.11, 3687-3694, 1995.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/macp.1995.021961121>
- [6] B. Amita, G. Rahulk, B. Sati. N, H. J. Choi, "compatibility of biodegradable poly(lactic acid)(PLA) and poly(butylene succinate)(PBS) blend for packaging application", *Korea-Australia rheology journal*, Vol.19, No.3, pp.125-131, 2017.
- [7] K. S. Kang, B. S. Kim, W. Y. Jang and B. y. Shin, "Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Poly(lactic acid)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/CMPS Blends", *Polymer(Korea)*, Vol. 33, No.2, pp.164-168, 2009.
- [8] T. J. Kim, T. H. Kim, S. G. Kim and K. H. Seo, "Structural, Thermal, and Mechanical Properties of PLA/PBAT/MEA Blend", *Polymer(Korea)*, Vol.40, No.3, pp.371-379, 2016.
- [9] Y. J. Du, P. J. Lemstra, A. J. Nijenhuis, H. A. M. Aert and C. Bastiaansen, "ABA Type Copolymers of Lactide with Poly(ethylene glycol). Kinetic, Mechanistic, and Model Studies", *Macromolecules*, Vol.28, No.7, pp.2124-2132, 1993.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/ma00111a004>
- [10] J. Kim, M-S Kim and B-W Kim, "Study on isothermal crystallization behavior and surface properties of non-oriented PLA film with annealing temperature", *Korean Chem. Eng. Res.*, Vol.49, No.5, pp.644-616, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.9713/kcer.2011.49.5.611>

심 재 호(Jae-Ho Sim)

[중심회원]



- 1995년 3월 : 동경농공대학 대학원 기능재료공학 (공학석사)
- 2008년 3월 : 동경농공대학 대학원 기능재료공학 (공학박사)
- 1995년 4월 ~ 1999년 9월 : 삼성 SDI 종합연구소 선임연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한라대학교 신소재화학 공학과 교수

<관심분야>

기능성 고분자, 고분자 합성, 생분해성 고분자