

축사 지붕용 삼중 공압출 공정기술 기반 폴리카보네이트 소재 개발 연구

김창환¹, 고영희², 조남철^{3*}

¹한국건설생활환경시험연구원, ²에스폴리텍, ³순천향대학교

A Study on the Development of Polycarbonate corrugated sheet materials with 3-layer co-extrusion process technology for livestock barn roof

ChangHwan Kim¹, YoungHui Ko², Namchul Cho^{3*}

¹Energy Division, Climate&Environmental Real-Scale Testing Center, Korea Conformity Laboratories

²R&D Institute S-Polytech,

³Department of Energy Engineering, Soonchunhyang University

요약 폴리카보네이트 소재로 사용되는 축사용 지붕재는 실제 옥외환경에 사용되면서 온도, 습도, 자외선에 대한 영향 뿐만 아니라 가축 환경에서 발생 되는 암모니아와 황화수소와 같은 가스로 인해 열화가 발생 된다. 따라서 내후성, 내충격성, 내화학성이 요구되는 소재를 개발을 위해 DSC, FT_IR(ATR), 열변형, 굴곡, 충격강도를 통해 최적 함량 7 wt% (ECOZEN 활용) 를 확인하였다. 내후성 시험 결과 PC-2 소재가 ΔYI 2 수준으로 나타났으며, Benzophenone계, Triazine 계열의 자외선흡수제는 Benzotriazole 계보다 내후성 성능이 미흡함을 확인할 수 있었다. 향후 폴리카보네이트 소재 기반 내후성 및 내화학성이 개선된 소재를 개발하여 축사 농가에 활용될 것으로 기대된다.

Abstract Polycarbonate materials used for livestock barn roofing undergo degradation not only due to the factors such as temperature, humidity, and UV exposure in outdoor environments but also from gases generated in livestock settings, such as ammonia and hydrogen sulfide. Therefore, we studied the development of materials to improve weather resistance, impact resistance, and chemical resistance with various tests including DSC, FT-IR, thermal deformation, flexural strength, and impact strength, confirming the optimal content of 7 wt% (utilizing ECOZEN). In the weather resistance test, the PC-2 material exhibited a ΔYI 2 level, and it was observed that UV absorbers of the Benzophenone and Triazine series showed inadequate weather resistance compared to the Benzotriazole series. we expect that future development efforts will focus on creating polycarbonate-based materials with enhanced weather resistance and chemical resistance for the applications in livestock barns.

Keywords : Livestock Barn Roof, Polycarbonate, Co-extrusion, Corrugated Sheet, Weathering

본 결과물은 농림축산식품부 재원으로 농림식품기술기획평가원의 축산현안대응산업화기술개발사업의 지원(No. 121037032HD020)과 순천향대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

*Corresponding Author : Namchul Cho(Soonchunhyang Univ.)

email: chon7@sch.ac.kr

Received December 1, 2023

Revised January 4, 2024

Accepted January 5, 2024

Published January 31, 2024

1. 서론

축사용 지붕재는 가축 환경과 가장 밀접한 요소로 이는 가축물의 생산성과 직결됨에 따라 가축물의 번식 및 축사시설 내의 일광 소독 등을 위해 적절한 일조량이 필요하며, 동시에 자외선 차단이 용이해야 한다. 이러한 이유로 외부로부터 유입되는 열을 차단하는 차열 소재를 응용하여 축사에 적용한 차열 투명 플라스틱 지붕용 소재가 연구되었다[1].

또한, PC 소재로 사용할 경우 옥외에 노출되어 있기 때문에 온도, 습도, 자외선 등에 의해 초기성능에 비해 물성이 저하되면서 색상변화 및 표면 취성화 등으로 인해 기계적 물성이 저하되기 때문에 내후성은 매우 중요한 요소이며, 이에 강한 소재 개발이 이루어져야 한다 [2-5].

Gupta 등은 360nm에서 흡광 증가에 대한 활성화에너지(Ea)를 1-4kcal/mol(4-17kJ/mol)로 보고하면서 습도에 의존성이 있다고 보고했다[6]. Nichols와 Peters는 경화된 PC 균열에 미치는 기후의 영향을 연구 했지만 온도의 영향에 대해서는 조사하지 않았다[7]. 그러나 James 등은 PC 소재가 온도에 대한 영향을 미치는지에 대해서 연구하였으며, 특히 수명이 고온에서 더 짧아지는 것을 확인하였다[8].

대부분 축사에서 사용되는 소재는 내구성을 고려하여 태양광 차단이 우수한 철제 강판을 선호하며, 강판을 적용한 축사의 경우 차광효과가 우수하여 여름철 태양열을 차단하여 실내 온도 상승을 예방할 수 있는 반면, 태양광을 완전히 차단함에 따라 습도가 높고, 적절한 일조량을 제공 받기 어려워 습도 유지하기 위해 바닥에 톱밥 또는 왕겨 및 발효된 톱밥 우분을 5 ~ 10cm 깔고 소를 사육하는 대표적인 방식을 채택하고 있다. 겨울철에는 결로 발생률이 높고, 다른 지붕재에 비해 복사열이 높아 가축물이 고온에 노출되어 고온 스트레스로 인해 생산성이 저하되는 단점이 있다.

또한, 연중 햇빛 유입을 차단하고 있어 가축사육에 쾌적한 사육환경 제공에 어려움이 있으며, 햇빛(복사열)이 축사 내 공급되지 않아 가축 질병의 발생을 유발할 수밖에 없는 문제점들을 내포하고 있다. 온도 영향을 많이 받는 젖소의 경우 온도 스트레스에 의해 산유량이 감소하여 생산성이 떨어지기 때문에 생산성 감소는 농가 이익과 직결되는 문제이기도 하다.

또한, 축사 농가에서는 가축 분뇨로 인해 발생하는 암

모니아와 황화수소 그리고 이산화탄소 등 가축 분뇨의 심한 악취로 인해 인근 마을에 피해를 줄 뿐만 아니라 지붕재나 벽 등의 마감재 부식의 원인이 되기 때문에 축사 시설의 내화학성에 대한 성능이 요구되기도 한다[9].

PC 합성수지 채광판의 경우에는 샌드위치 판넬, 칼라 강판 등의 지붕 재질에 비해 무게 중량이 적고, 초기 설치 비용이 저렴하지만, 자외선 및 내화학성에 취약하다. 자외선에 의한 황변 발생, 축사 시설 내 암모니아 가스로 인한 부식 및 충격강도 등의 저하로 깨짐 발생 등 복합적인 요인들에 의해 지붕재의 유지보수 비용이 증가하고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 단층 압출 공정에서 공압출 공정 기술을 통해 소재 양면 skin 층에 적용하여 내후성 및 내화학성이 개선된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층 골판을 개발하고자 한다.

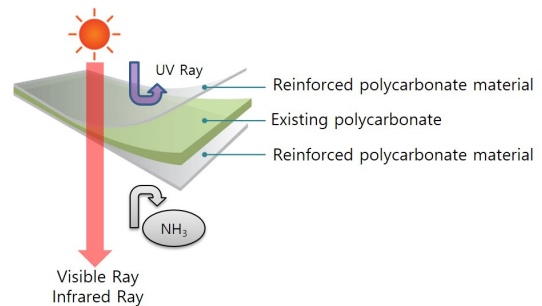


Fig. 1. Development schematic

2. 본론

국내 PC 복층골판은 크게 건축용 캐노피 및 축사용으로 구분할 수 있으며, 특히 축사의 경우 일부 내화학성으로 인해 PET 계열의 제품도 사용되고 있으나, 내열성, 내충격성, 내후성의 문제가 있어 주로 PC 소재를 사용하고 있다. PC 골판 생산방식은 압출 시 금형을 통해 생산하는 인라인 방식과 필요한 두께별 타입 제품을 생산하는 후가공(열성형)하는 생산방식으로 나뉘지고 있으나, 대부분 인라인 방식 생산업체 들 또한 후가공 성형기를 보유하여 활용하고 있다. 골판의 파형은 아래 그림과 같이 4가지 유형이 있으며, 주력으로 사용되는 파형은 V-250이다.

Table 1. Types of waveforms for PC materials

model	Standards
C-63	
C-130	
V-115	
V-250	

3. 연구 방법

3.1 첨가제 분석을 위한 경쟁사 제품 선정

축사용 채광창 폴리카보네이트 복합소재 설계에 있어 내후성 및 내화학성 성능이 매우 중요하다. 따라서 소재 설계를 위한 국내외 폴리카보네이트 제품 4종에 대한 첨가제 분석을 실시하였다. 세계 최대 플라스틱 생산업체인 S사 제품 2종, 글로벌 압출 업체 P사 1종, 국내 L사 제품 1종을 선정하였다.

Table 2. Competing materials

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Manufacturer	S Company	S Company	P Company	L Company

3.2 PC Alloy 소재 검토

내화학성 PC Alloy 소재 설계를 위해 광 투과도가 우수하고, 내화학성 및 내충격성 등이 우수한 Polycyclohexylene-dimethylene Terephthalate (PCT), Polyethylene terephthalate glycol modified (PETG), Poly-cyclohexylene-dimethylene Terephthalate glycol modified (PCTG), ECOZEN (Bio copolyester; 고기능성 PETG) 등 폴리에스테르계 수지 4종을 검토하였다.

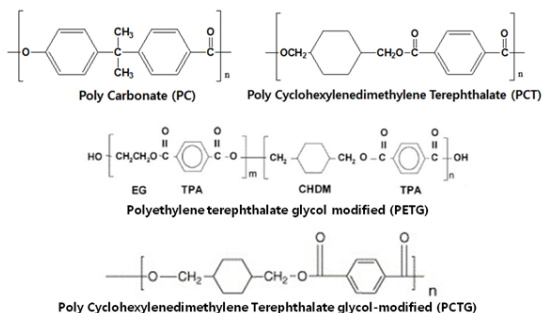


Fig. 2. Chemical structure of PC alloy materials

3.3 공압출 PC sheet 제작

압출성, 공압출 공정 및 조건 최적화 평가를 위하여 유니플러스 사의 Ø32-40 TWIN SCREW EXTRUDER 를 사용하여 sheet 압출을 진행하였다.

3.4 최적 압출 온도 조건 및 교환 반응

본 연구에서 사용한 이축압출기 및 펠렛화 공정(원료/첨가제 혼합 → 원료 투입 → 혼합/응용 → 펠렛)을 통하여 최적의 압출온도, RPM, 속도등 공정 조건을 설정하였다. polycarbonate와 copolyester 기반으로 중합된 ECOZEN은 고온에서 서로 교환반응을 진행시켜 Fig. 3 과 같이 새로운 구조의 polyester 2종, 새로운 구조의 PC 2종이 형성된다. 따라서 조성변화에 따른 새로운 Ally 설계가 가능하였다.

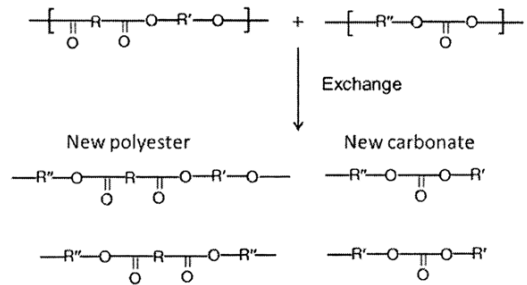


Fig. 3. Chemical structure of exchange reaction

3.5 첨가제 및 Alloy 함량별 열적 특성

3.5.1 Py-GC MS 시험

Pyrolyzer + Aglient Technologies 7890B, 5977B MSD system (GC/MS)를 사용하여 첨가제 분석을 실시하였다. 열분해 조건은 Multi-short pyrolyzer (EGA/PY-3030D), 컬럼은 Frontier Laboratories, UA5, 운반기체는 헬륨 1.0mL/min, 분자량 범위는 스캔모드로 35 ~ 1,000m/z로 설정하였다.

3.5.2 DSC 시험

PC와 ECOZEN을 함량별로 펠렛을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 확인하기 위해 SETARAM 사의 DSC 131evo 모델을 사용하여 유리전이온도를 측정하였다. 승온 속도는 20°C/min, gas는 N₂ 가스(40cc/min)를 사용하였고, 온도 스캔범위는 상온에서 200°C 이다. 가공성에 대한 영향을 최소화하기 위해 2nd data를 사용하였다.

3.5.3 열변형온도 시험

PC와 ECOZEN을 함량별로 펠렛을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 확인하기 위해 CEAST 사의 HV3 모델을 사용하여 ECOZEN 함량에 따른 온도변화를 측정하였다. 승온 속도는 10°C/min 로 길이 127mm, 폭 12.6mm, 두께 6.4mm의 bar 시편을 사용하였다.

3.6 첨가제 및 Alloy 함량별 기계적 특성

3.6.1 굴곡강도 시험

PC와 ECOZEN을 함량별로 펠렛을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 확인하기 위해 HOUNS FIELD 사의 H25KS 모델을 사용하여 물성 변화를 측정하였다. 시험 속도는 10mm/min, 변형률 25mm 이상 되면 시험을 종료하였다.

3.6.2 충격강도 시험

PC와 ECOZEN을 함량별로 펠렛을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 확인하기 위해 위드랩사의 WL 2200D 모델을 사용하여 물성 변화를 측정하였다.

3.7 첨가제 및 Alloy 함량별 화학적 특성

3.7.1 FT-IR 시험

반응 압출에 의한 PC와 ECOZEN alloy의 화학적 변화를 확인하기 위해 JASCO사의 FT/IR-4100 모델을 사용하여 측정하였다.

3.8 첨가제 및 Alloy 함량별 광학적 특성

3.8.1 내후성 시험

내후성 시험은 Q_lab 사의 QUV 장비를 활용하여 자외선 파장(340nm), 광량 0.71W/m², 자외선 모드(4시간), 응축(4시간)을 1 cycle로 설정한 후 1,000시간 노화를 진행하였다.

3.9 첨가제 및 Alloy 함량별 내약품성 특성

3.9.1 내화학성 시험

플라스틱 내약품성 시험규격인 KS M ISO 175(2010)에 준해서 암모니아 수용액에 시료를 담지 않고 암모니아 가스에 노출시켜 시험을 진행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 경쟁사 제품 분석

Py-GC MS 분석을 통한 첨가제 분석 결과 PC-2 제품만 물질 검색이 되었고, 그 외 3가지 제품에 대해서는 물질 검색이 나타나지 않았다. 따라서 그래프 및 library search report를 통해 각 피크에 해당하는 첨가제 구조를 검색 및 취합하여 사용된 첨가제 구조를 유추하였다. 자외선 안정제의 경우 작용기구에 따라 자외선흡수제, quenchers, HASLS로 구분하며, 이중 산업계에서 가장 많이 사용되는 자외선 흡수제를 화학구조로 분류하면 benzophenone계, qxalanilide계, benzotriazole계, triazine계 등 4가지로 나타난다[10]. 제품 4종에 사용된 자외선 흡수제의 구조를 유추한 결과 PC 1은 benzotriazole 계열의 tinuvin 360, PC 2는 Triazine 계열의 Tinuvin 329, PC 3은 UV-1164, PC 4는 benzotriazole 계열의 Tinuvin 360 제품을 사용한 것으로 추정된다.

본 연구에서는 첨가제 분석 결과를 기반으로 benzotriazole계 자외선흡수제를 선정하여 PC alloy 소재를 설계하였다.

4.2 PC Alloy 소재 설계 제조 및 평가분석

내화학성 PC Alloy 소재 설계를 위해 광 투과도가 우수하고, 내화학성 및 내충격성 등이 우수한 Polycyclohexylene-dimethylene Terephthalate (PCT), Poly-ethylene-terephthalate glycol modified (PETG), Poly-Cyclohexylene-dimethylene Terephthalate glycol modified (PCTG), ECOZEN (Bio Copolyester; 고기능성 PETG) 등 폴리에스테르계 수지 4종을 검토하였으며, Table 3과 같다. 고내열성 플라스틱인 PCT는 CHDM (1,4-cyclohexane dimethanol)에 TPA (Terephthalic acid)를 중합시켜 만든 플라스틱으로 내화학성 및 내충격성은 우수하지만 빠른 고화속도로 인해 압출성형에 적합하지 않으며, 건조와 결정화를 위해 예비 건조를 반드시 해야 하는데 일반 범용 플라스틱에 비하여 건조 온도가 높고, 건조시간도 다소 길어 생산성 측면에서 적합하지 않다.

PETG 및 PCTG는 각각 PET 수지 및 PCT 수지의 중합 원료에 소량의 CHDM 및 EG (Ethylene glycol)를 첨가하여 제조한 copolymer로서 두 제품 간 단가, 기계적 물성, 내화학성 등은 비슷한 수준이다. ECOZEN은

Table 3. Characteristics of candidate raw materials for PC alloy manufacturing

	PCT	PETG	PCTG	ECOZEN
Raw material	TPA+CHDM	TPA+EG+C HDM	TPA+EG+C HDM	PETG+ Isosorbide
Crystallinity	Crystalline	Amorphous	Amorphous	Amorphous
Thermal resistance	Above 240°C	60-70°C	65-75°C	80-110°C
Chemical resistance	Very good	Good	Good	Very good
Impact resistance	Good	Normal	Good	Very good
Extrudability	Bad	Good	Good	Very good

PETG 수지에 Bio-based monomer인 Isosorbide를 첨가하여 중합한 플라스틱으로 기존 PETG 수지 대비 압출성이 매우 우수하고, 내화학성 및 내충격성 또한 개선되어 물성이 우수하다. 단가, 생산성, 압출성, 열적 및 기계적 물성 등을 모두 고려했을 때 ECOZEN이 가장 적합하다고 판단하였다. 본 연구에서는 앞서 첨가제 분석 결과를 토대로 Benzotriazole계 자외선흡수제를 선정하여 PC alloy 소재를 설계하였고, Table 4는 개발 소재의 대표적인 조성 비율이다.

Table 4. Typical composition of the developed material

Composite	Content	Note
Polycarbonate	93	MI:7-10g/10min
ECOZEN	7	
Primary antioxidant	0.1	Phenol
Secondary antioxidant	0.2	Phophite
UV absorbers	3	Benzotriazole
Additive	0.2	
Total	103.5	

반응 압출을 위해서는 PC와 ECOZEN의 교환 반응시간의 조절이 가능해야 하며, 반응 압출에 절대적으로 영향을 미치는 최적 압출 온도를 도출하는 것이 중요하다. 무질서 혼련이 가능한 스크류를 적용하고, 압출온도는 235~240 °C, Main screw 150 rpm, load 35 %, Cutting 속도 600~640 rpm으로 압출 조건을 최적화하였으며, 이축 압출기를 이용하여 원료 및 첨가제를 혼합/용융시켜 펠릿화 하였다.

4.3 공압출 PC sheet 공정 개발

Sheet 압출성, 공압출 공정 및 조건 최적화 평가를 위

하여 Fig. 4와 같이 Pilot 압출 설비를 이용하여 sheet 압출을 진행하였으며, Pilot 설비 규격은 Table 5와 같다.



Fig. 4. Pilot sheet Extruder

압출 시 특이사항 없었으며, 본 연구 개발 컨셉에 맞추어 3-layer 구조로 압출하였다. 내후성 처방된 skin층 두께는 약 34 μm로 진행하였으며, 광학현미경으로 관찰하였다(Fig. 5).

Table 5. Sheet extruder specifications

Type	Unit	Ext. E30P	Ext. E30P
Screw Diameter	mm	30	25
Screw Speed Max.	min-1	160	170
Max. working temp	bar	350	350
Max. melt pressure	bar	500	500

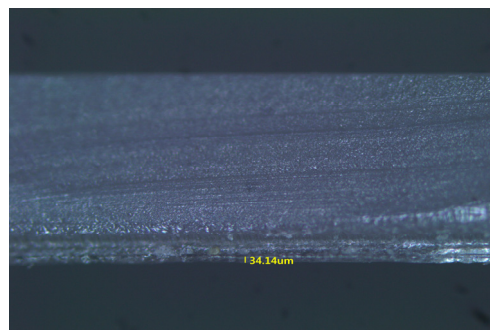


Fig. 5. Cross-sectional Images of Pilot Extrusion Sheet (Optical Microscope x 50)

4.4 분석 결과

4.4.1 DSC 시험

PC와 ECOZEN은 모두 비결정성으로 유리전이온도 특성만 보이며, 일반 PC는 135~140 °C, 본 연구에 사용한 ECOZEN의 유리전이온도는 80~90 °C 이다. Fig. 6

은 PC와 ECOZEN 함량별 DSC 스펙트럼을 비교한 그래프로 ECOZEN 함량이 증가할수록 유리전이온도가 일정하게 낮아지는 경향을 보이며, 그 범위는 PC 100%와 ECOZEN 100% 사이에 존재함을 확인하였다.

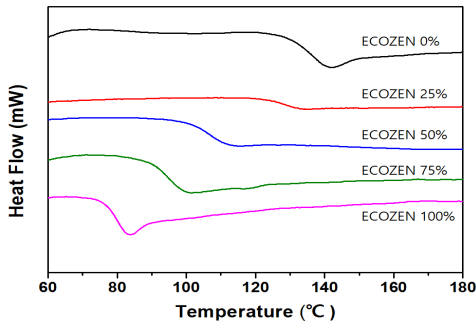


Fig. 6. DSC graphs for PC/ECOZEN blends at difference compositions

4.4.2 열변형온도

DSC 그래프에서도 확인했듯이, ECOZEN의 내열성은 PC에 비해 다소 약하다. ECOZEN 함량이 증가함에 따라 내열성도 감소하는 경향을 보이며, ECOZEN 함량이 20% 이상 증가하면 열변형온도가 급격히 감소함을 알 수 있었다. 본 연구에 사용한 PC grade를 기준으로 128 °C 이상을 충족하는 ECOZEN 함량은 7 wt% 이하임을 알 수 있었다.

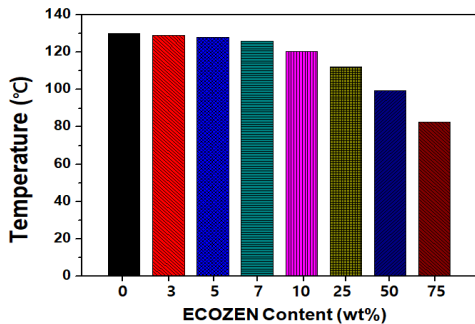


Fig. 7. Heat deflection temperature graphs for PC/ECOZEN blends at different compositions

4.4.3 굴곡강도 시험

굴곡강도의 경우 ECOZEN 함량 50 wt%까지는 큰 감소폭은 보이지 않았으며, ECOZEN 함량이 75 wt% 이상 증가하면 굴곡강도 값이 감소함을 알 수 있다. ECOZEN은 PC 대비 굴곡강도가 다소 약함에도 50 wt%의 함량까지도 물성 변화 값의 큰 차이가 없는 것은

반응 압출에 의한 교환반응이 잘 이루어졌다는 것을 보여준다. 굴곡강도 90 MPa 이상을 충족하는 함량은 5~10%임을 알 수 있었다.

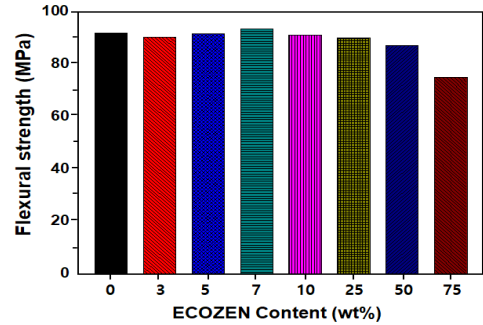


Fig. 8. Flexural strength graphs for PC/ECOZEN blends at difference compositions

4.4.4 충격강도 시험

Izod 충격강도의 경우 앞서 언급한 열변형온도와 굴곡강도 그래프 양상과는 다른 경향성을 보였다. ECOZEN 함량 7 wt%까지는 PC의 충격 강도 값을 유지하고, ECOZEN 함량 75 wt%에서는 PC 함량이 25 wt%임에도 불구하고 ECOZEN의 충격 강도 값을 유지함을 알 수 있었다. 하지만 10 wt% 이상부터는 급격한 감소를 보였는데 특히 25~50 wt%의 함량에서는 PC와 ECOZEN의 각 기본 물성을 유지하기 힘든 수준의 물성 값을 보임을 확인하였다.

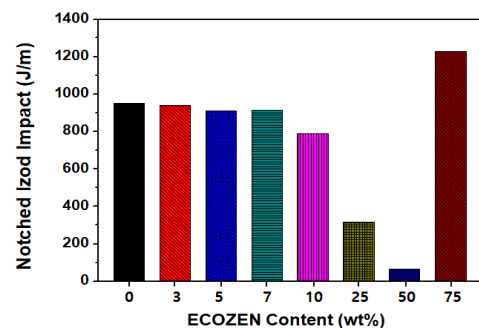


Fig. 9. Izod impact graphs for PC/ECOZEN blends at difference compositions

4.4.5 FT-IR 시험

Fig. 10은 반응 압출에 의한 PC와 ECOZEN alloy의 FT-IR 그래프로, C=O 결합 피크가 PC에서는 1772 cm^{-1} , ECOZEN에서는 1716 cm^{-1} 에서 나타나는데 PC에 ECOZEN 함량이 증가할수록 해당 피크가 점점 사라

지고 1716 cm^{-1} 부근으로 이동함을 알 수 있다. 또한, ECOZEN에서만 나타나는 1247 cm^{-1} C-O-C in-plane deformation peak가 PC와 alloy 되면서 사라지고 있음을 알 수 있다. 이는 단순 Dry blend에서는 나타나는 peak로 반응 압출에 의한 교환반응이 진행된 것으로 판단된다.

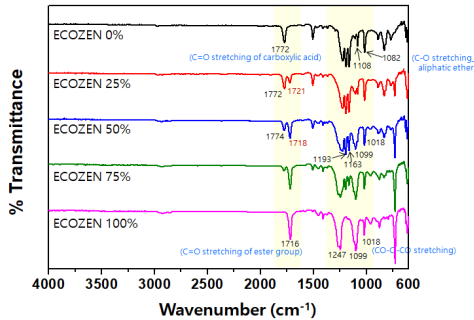


Fig. 10. FT-IR graphs for PC/ECOZEN blends at difference compositions

4.4.6 내후성 시험

PC-2의 경우 Δ YI가 2 수준으로, 선진 제품과 동등 수준의 성능을 보였다. 4종의 경우 모두 1,000시간에서 Δ YI가 2 이하임을 확인할 수 있었고, PC-1은 PC-2와 마찬가지로 같은 구조의 첨가제임에도 불구하고 내후성 성능에서 확연한 차이를 보였다. Benzophenone계, Triazine 계열의 자외선흡수제는 Benzotriazole 계보다 내후성 성능이 미흡함을 확인할 수 있었다.

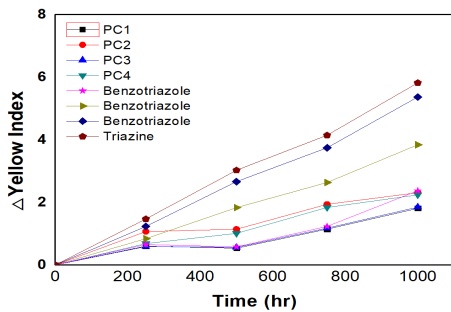


Fig. 11. Yellow index of advanced products and pilot extrusion sheets(1,000 h)

Fig. 12와 같이 단층 골판 제품과 3-layer 내후성 성능을 비교 평가하였다. Pilot 평가품의 내후성 시험과 동일하게 Q-UV 시험을 실시하였으며, 1,000시간 진행하였다. 1,000시간 기준으로 시제품의 Δ YI는 1.2 수준으

로 선진 제품과 동등 수준으로 확인되었으며, 단층골판은 Δ YI는 9.2로 약 8배의 차이를 보였다.

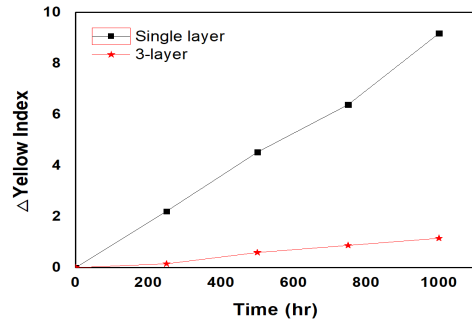


Fig. 12. Yellow index results of development product (1,000 h)

4.4.7 내화학성 시험

암모니아 노출 농도는 1.0~47.6 ppm의 범위이나, 본 시험에 사용한 암모니아수 25 w/w% 시험액의 경우 바닥으로부터 시료의 높이에서 농도 측정 결과 25,000ppm

Table 6. Chemical resistance test results

	1-layer	3-layer
	0h	0h
	50h	50h
	168h	168h
Before	9.2462g	6.9885g
After	9.1193g	6.9883g
Rate (%)	- 1.37%	0%

으로 가혹한 시험 조건이라 할 수 있다. 내화학성 시험 방법으로 단층 골판 제품과 시제품의 내화학성 성능을 비교 평가하였으며 table 6에서 보는 바와 같이 표준시험인 168시간에도 3-layer는 질량 및 외관 변화 없음을 확인하였으며, 단층 골판의 경우 외관 변화는 물론 질량이 약 1.4% 감소함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 내후성 및 내화학성이 개선된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층 골판 제조 기술을 확보하기 위해 PC 수지를 기반으로 하여 내후성 및 내화학성이 개선된 소재를 개발하고, 기존의 단층 압출 공정에서 공압출 공정으로 개발 소재를 양면 skin층에 적용하여 자외선 및 암모니아 가스로부터의 영향을 최소화하였다.

또한, 내화학성 PC alloy 소재 설계를 위해 광 투과도가 우수하고, 내화학성 및 내충격성이 우수한 ECOZEN (Bio-copolyester)을 사용하여 소재 개발에 적용하였다. PC와 ECOZEN을 함량별로 펠렛을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 DSC, FT-IR(ATR), 열변형, 굴곡, 충격강도를 통해 물성 변화를 관찰하여 아래와 같이 결론을 도출하였다.

1. ECOZEN 함량이 증가할수록 유리전이온도가 일정하게 낮아지고, 그 범위는 PC 100%와 ECOZEN 100% 사이에 존재함을 확인할 수 있었다.
2. FT-IR 측정 결과 C=O 결합 피크가 PC에서는 1772cm^{-1} , ECOZEN에서는 1716cm^{-1} 에서 나타나는데 ECOZEN 함량이 증가할수록 해당 피크가 점점 사라지고, 1716cm^{-1} 부근으로 이동하는 것을 알 수 있다. 또한, ECOZEN에서 나타나는 1247cm^{-1} , C-O-C 변형 피크가 PC와 alloy 되면서 사라지고 있음을 알 수 있었다. 이는 단순 dry blend에서 나타나는 피크 반응 압출에 의한 교환반응이 진행된 것으로 판단된다. PC grade 기준 열적 특성, 기계적 특성 등을 고려했을 때 ECOZEN의 최적 함량은 7 wt% 임을 확인할 수 있었다.
3. 내후성 시험 결과 PC-2 소재가 ΔYI 2 수준으로 나타났으며, Benzophenone 계, Triazine 계열의 자외선흡수제는 Benzotriazole 계보다 내후성 성능이 미흡함을 확인할 수 있었다.
4. 내화학성 시험 결과 3-layer 제품의 단층 골판에 비해 외관 및 질량의 변화가 없음을 확인하였다.



Fig. 13. Polycarbonate corrugated sheet materials with 3-layer co-extrusion process technology

상기 결과를 바탕으로 내후성 및 내화학성이 개선된 최종 3-layer 시제품(Fig. 13)을 제작하였다. 본 연구 결과를 기반으로 PC 채광판 현 시방서 항목을 개선하는데 제안하고자 하며, 향후 개정된 시방서로 활용할 것으로 기대된다.

References

- [1] G.H. You, J.Y Kim, "Development of Infrared-Blocking Transparent Plastic Panel Material for Roofing", Small and Medium Business Administration, pp. 7-11, 2013.
- [2] M. Perez, J.L. Vilas, J.M. Laza, S.Arnaiz, F. Mijangos, E. Bilbao, M. Rodriguez, L.M. Leon, "Effect of reprocessing and accelerated ageing on thermal and mechanical polycarbonate properties", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 210, pp. 727-733, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jimatprotec.2009.12.009>
- [3] A. Blaga, R.S. Yamasaki, "Effects of Long-Term Weathering and Angle of Exposure on the Deterioration of Polycarbonate", *Durability of Building Materials*, pp. 327-341, 1986.
- [4] A. Blaga, R.S. Yamasaki, "Surface Microcracking Induced by Weathering of Polycarbonate sheet", *Journal of Materials Science*, Vol. 11, pp. 1513-1520, 1976.
- [5] F. Gugumus, "The performance of light stabilizers in accelerated and natural weathering", *polymer Degradation and Stability*, Vol. 50, pp. 101-116, 1995.
- [6] Gupta A. Rembaum A, Moacanin J, "Solid state photochemistry of polycarbonate", *Macromolecules*, Vol. 11, pp. 17285-1288, 1978.
- [7] Nichols ME, Peters CA, "The effect of weathering on the fracture energy of hardcoats over polycarbonate", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 75, pp. 439-446, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(01\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(01)00244-0)

- [8] James E, Jonathan R, Holly A, Nicole B, "Effect of temperature on the weathering lifetime of coated polycarbonate", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 94, pp. 1085-1091, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1016/i.polymdegradstab.2009.04.001>
- [9] J.H. Kwak, "Livestock Odor Reduction Technology", Korean Society of Animal Science and Technology, pp. 1-46, 2016.
- [10] J.H. Yim, "The structure and function of polymer additives", Applications of polymer Materials 2nd, Kongju National University, pp. 1-50, 2005.

조 남 철(Nam Chul Cho)

[정회원]



- 2015년 3월 : 워싱턴주립대학교 재료공학과 (공학박사)
- 2017년 1월 ~ 현재 : 순천향대학교 부교수

<관심분야>

반도체 고분자 합성

김 창 환(Chang Hwan Kim)

[정회원]



- 2021년 2월 : 한남대학교 신소재 공학과 (공학박사)
- 2008년 8월 ~현재 : 한국건설생활환경시험연구원 책임연구원

<관심분야>

내후성, 신뢰성

고 영 희(Young Hui Ko)

[정회원]



- 2014년 8월 : 한국교통대학교 나노화학소재공학과 (공학석사)
- 2018년 2월 ~ 현재 : 에스폴리텍 선임연구원

<관심분야>

기능성 복합소재, 재료응용