

RS-2021-
IP121037

3-layer 공압출 공정기술 기반 B₁₀ 수명이 확보된
측사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발

2024

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
축산현안대응산업화기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004592-01

3-layer 공압출 공정기술 기반 B₁₀ 수명이 확보된 측사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발

2024.06.05.

주관연구기관 / (주)에스폴리텍
공동연구기관 / (재)한국건설생활환경시험연구원

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

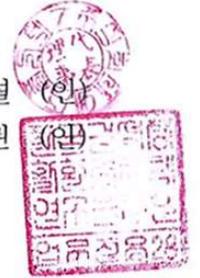
본 보고서를 “3-layer 공압출 공정기술 기반 B10 수명이 확보된 축사용 채광창
폴리카보네이트 복층골판 소재개발”(개발기간 : 2021. 04. 01. ~ 2023. 12. 31.)
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 06. 05.

주관연구기관명 : (주)에스폴리텍

(대표자) 이 혁 렬

공동연구기관명 : (재)한국건설생활환경시험연구원 (대표자) 이 상 권



주관연구책임자 : 최성규

공동연구책임자 : 김창환

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서						보안등급	
						일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]	
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명	사업명		
전문기관명		농림식품기술기획평가원			내역사업명		2025축산현대응산업화 기술개발
공고번호		농축2021-78호		총괄연구개발 식별번호		-	
				연구개발과제번호		RS-2021-IP121037	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	45%	EC0303	35%	EC0306	20%
	농림식품과학기술 분류	RC0202	50%	RC0299	30%	AB0204	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문		-			
		영문		-			
연구개발과제명		국문		3-layer 공압출 공정기술 기반 B ₁₀ 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발			
		영문		Development of polycarbonate corrugated sheet materials with B ₁₀ life based 3-layer co-extrusion process technology for livestock barn roof			
주관연구개발기관		기관명		(주)에스폴리텍		사업자등록번호	
		주소		(우) 27850 충북 진천군 덕산읍 한삼로 275		법인등록번호	
						229-81-38692	
						110111-1716898	
연구책임자		성명		최성규		직위	
						연구소장	
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)			
		단계		1단계		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31 (1년 9개월)	
				2단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31 (1년)	
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금	
		현금		현금		지방자치단체	
		현금		현물		기타()	
		합계		합계		합계	
총계		1,158,000	33,000	428,500		1,191,000	428,500
						1,619,500	연구개 발비 외 지원금
1단계	1년차	316,000	16,000	106,000		332,000	106,000
	2년차	421,000	0	172,500		421,000	172,500
						593,500	
2단계	1년차	421,000	17,000	150,000		438,000	150,000
						588,000	
공동연구개발기관		기관명		책임자		직위	
		휴대전화		전자우편		비고	
		역할		기관유형			
공동연구개발기관		(재)한국건설 생활환경시험 연구원		김창환		책임 연구원	
						-	
						-	
연구개발담당자 실무담당자		성명		고영희		직위	
						선임연구원	

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 5월 10일

연구책임자: 최 성 규



주관연구개발기관의 장: 이 혁 렬



공동연구개발기관의 장: 이 상 권



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		2025축산현안대응산업화기술개발		총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명		축산시설·환경개선		연구개발과제번호		RS-2021-IP121037	
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0805	50%	EC0303	30%	EC0306	20%
	농림식품 과학기술분류	RC0202	50%	RC0299	30%	AB0204	20%
총괄연구개발명		-					
연구개발과제명		3-layer 공압출 공정기술 기반 B ₁₀ 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발					
전체 연구개발기간		2021. 04. 01. - 2023. 12. 31. (2년 9개월)					
총 연구개발비		총 1,619,500 천원 (정부지원연구개발비: 1,158,000 천원, 기관부담연구개발비: 461,500 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[<input checked="" type="checkbox"/>] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(3) 종료시점 목표(8)	
연구개발과제 유형		-					
연구개발과제 특성		-					
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		3-layer 공압출 공정기술 기반 B ₁₀ 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발				
	전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> ○ 내후성, 내화학적, 내충격성이 개선된 소재를 기존 PC sheet 양면 skin층에 적용하여 태양광 및 암모니아 가스 등에 저항을 갖는 소재 개발 ○ 단층 구조의 골판에서 공압출 공정을 적용하여 3-layer 구조를 갖는 투명 PC 복층골판 개발 ○ 기존 PC 골판 대비 15% 중량 감소 및 원가절감 효과를 동시에 구현할 수 있는 PC 복층골판 개발 				
	1단계		목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내후성, 내화학적, 내충격성 PC 소재 개발 ○ 3-layer PC 복층골판 공정 개발 			
	1단계		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해외 선진사 및 경쟁사 제품 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 글로벌 기업의 원재료 분석 - 복층골판용 원재료 및 PC 특성 분석 - 선진사 PC 원재료의 가공물성 분석을 통한 소재 개발 ○ 투명 PC 복층골판용 조성비 최적화 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 내후성 및 내화학적 소재 설계 및 공정 조건 평가 - 내후성/내화학적/내충격성 소재 설계 및 공정 조건 평가 ○ 공압출 PC 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - Pilot 압출기를 활용한 공압출 공정 및 조건 최적화 ○ 3-layer PC 공압출 복층골판 공정 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 3-layer 공압출 다이 설계 및 개발 ○ 국내 기상환경인자 및 소재분석 <ul style="list-style-type: none"> - 옥외폭로시험장 기후 환경 데이터 분석 - 폴리카보네이트 소재 내후성 데이터 분석 ○ 고품에 대한 고장원인 분석 ○ 선진품 및 개발품 비교 분석 및 시험방법 설계 <ul style="list-style-type: none"> - 역분석을 통한 선진품 및 개발품 비교 			

연구개발 목표 및 내용	2단계	목표	○ 내후성, 내화학성이 우수한 PC 복층골판 양산기술 개발
		내용	○ 투명 PC 복층골판용 컴파운딩 공정 최적화 및 양산 - 내후성 및 내화학성 소재 설계 및 공정 조건 평가 ○ PC 복층골판 양산 공정 최적화 - 내후성/내화학성/내충격성 PC 복층골판 양산을 위한 line 양산 라인 선정 및 압출 평가 - 양산 공정조건 변경에 따른 외관 품질 및 물성 평가 - 수요업체 적용 시제품 모델 확보 및 시스템 구성 - 공정 변수 안정화 - 수율 향상 방안 확보 ○ 데이터 분석 및 신뢰성 분석 - 와이블 프로그램 이용 수명예측 - 필드시험 및 가속시험 간 상관성 분석

연구개발성과 (성과지표)	< 성과지표 >						
	성과지표명			단계(년차)		1단계	2단계
			1차년	2차년			
전담기관 등록·기탁 지표	논문(SCI)	목표	-	-	1	1	
		실적	-	-	1	1	
	논문(비SCI)	목표	-	1	1	2	
		실적	-	1	0	1	
	특허 출원	목표	0	1	0	1	
		실적	1	1	0	2	
	특허 등록	목표	-	0	1	1	
		실적	-	1	1	2	
	연구개발과제 특성 반영 지표	제품화	목표	-	1	1	2
			실적	-	1	1	2
매출액		목표	-	500백만원	1,500백만원	2,000백만원	
		실적	-	280백만원	545백만원	825백만원	
기술실시(건수)		목표	-	1	1	2	
		실적	-	1	1	2	
기술료		목표	-	8백만원	8백만원	16백만원	
		실적	-	6백만원	9백만원	15백만원	
고용창출		목표	1	3	5	9	
		실적	1	5	5	11	
기술인증	목표	-	1	-	1		
	실적	-	0	-	0		
학술발표	목표	1	1	1	3		
	실적	2	2	5	9		
교육지도	목표	2	4	4	10		
	실적	1	5	4	10		
정책활용	목표	1	0	1	2		
	실적	0	1	1	2		
홍보전시	목표	1	0	1	2		
	실적	2	1	2	5		

연구개발성과 (물성관련)	< 정량적 목표 >												
	평가 항목		단위	1단계		1단계 2차년		2단계 1차년					
				목표	실적	목표	실적	목표	실적				
	1. 투과도		%	75	76.8	78	78.0	>80	86				
	2. 내열성 (@ 1.8MPa)		℃	128	128	130	132	>132	132				
	3. 충격강도 (Izod impact)		J/m	850	937	880	970	900	906				
	4. 굴곡강도		MPa	90	92.5	90	108	93	93				
	5. 열관류율		W/m²K	4.0	3.2	3.9	3.5	3.7	3.7				
	6. 내후성	옥외 폭로	MJ	△YI 100이하	2.1	△YI 70이하	6.6	△YI 50이하	4.8				
		Xenon (4000h)	시간	△YI 150이하	0.1	△YI 100이하	5.1	△YI 50이하	4.0				
7. 신뢰성보장 (수명예측)		-	-	-	-	-	B ₁₀ 수명	B ₁₀ 수명					
8. 내화학적성 (암모니아)		-	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음					
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>1. 연구 개발성과 활용계획</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 유사 제품과의 비교평가를 통한 제품 개발 방향 가이드 제공 및 신제품 개발시 신규 설계 도입으로 국내 제품의 신뢰성 향상을 통한 매출 증대 ○ 제조업체와 수요기관 간의 신뢰성에 대한 이해기반 구축 ○ 객관적인 신뢰성 평가를 통한 전략적 국내외 마케팅 및 선진화 <p>2. 기대 효과</p> <p>* 기술적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 본 과제를 수행하는 과정에서 세계적으로 가장 우수한 내후성을 갖는 PC 복층골판 소재를 개발할 계획이며, 이를 토대로 세계적인 품질 수준을 선도하고 수출을 확대할 계획임. <p>* 경제적 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 22년 하반기부터 제품을 출시하여, 6개월간 약 280 백만원의 매출 실적을 달성함. ○ 2단계(23년도)에는 545 백만원 매출 실적을 달성함. ○ 과제 종료 후 5년간 국내 매출 약 13,000 백만원의 매출을 계획함. 												
	연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
해당 없음													
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 ·장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신제품		
								생명 정보	생물 자원		정보	실물	
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설 ·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호			
국문핵심어	축사용 채광창		폴리카보네이트		B ₁₀ 수명		복층골판		공압출				
영문핵심어	Livestock barn roof		Polycarbonate		B ₁₀ life		Corrugated sheet		Co-extrusion				

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요.....	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용.....	8
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도.....	96
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성).....	106
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도.....	107
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획.....	107

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

□ 축사용 채광창의 개요 및 현황

- 축사용 지붕재는 농림축산식품부가 공표한 축사 표준설계도 (국토교통부공고 제 2017-1497호, 2017.11.2)에 따라 샌드위치 판넬, 칼라 강판 그리고 PC 채광판을 적용하게 되어있음. 그 중에서 칼라 강판과 폴리카보네이트 채광판 두 종류의 소재를 가장 많이 적용 중임.



그림 1-1. 칼라 강판 지붕 축사(좌)와 폴리카보네이트 채광판 지붕 축사(우)

- 축사용 지붕재는 가축 환경과 가장 밀접한 요소로 이는 가축물의 생산성과 직결됨. 가축물의 번식 및 축사시설 내의 일광소독 등을 위해 적절한 햇빛의 투과가 필요하며, 동시에 자외선 차단이 용이해야함. 또한, 가축물의 퇴비로 인해 발생하는 암모니아 가스에 강한 특성을 지녀야함.

□ 종래 지붕재의 한계점 및 정부 정책

- 축사 환경은 사육하는 가축에 맞게 온도, 습도, 풍속, 적설하중, 일조량 등의 다양한 요인들이 적절히 조성되어야 함. 이와 더불어 병원성 균 및 바이러스에 노출된 경우를 대비해 태양광이 일사되는 환경이 조성되어야 함.
- 대부분 축사들은 내구성이 길며 여름철 태양광 차단이 용이한 철제 강판을 이용한 축사 건축을 선호함. 강판을 적용한 축사의 경우 차광효과가 우수하여 여름철 태양열을 차단하여 실내 온도 상승을 예방할 수 있는 반면, 태양광을 완전히 차단함으로 습도가 높고, 적절한 일조량을 제공하기 어려워 습도 유지가 필요한 바닥 관리가 어려우며, 깔짚형축사¹⁾일 경우 햇빛이 투과되어야하는데 축사 환경에 맞지 않음.

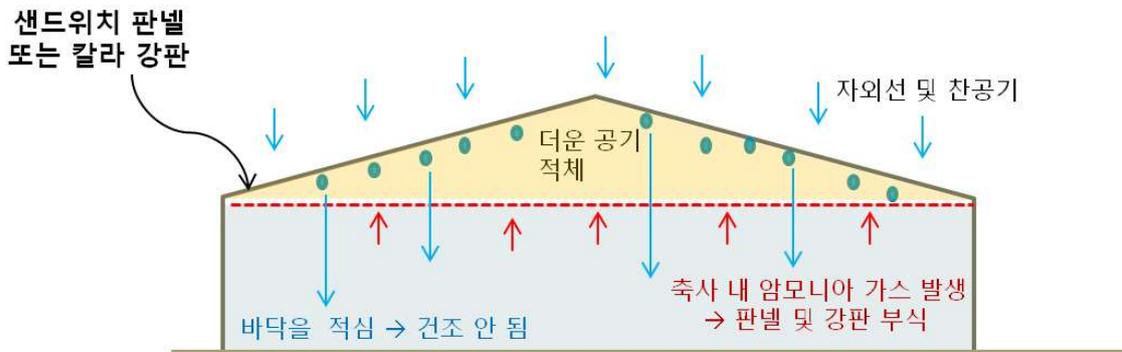


그림 2-1. 축사 내 공기의 흐름 모식도

1) 깔짚형축사 : 우사 바닥에 톱밥 또는 왕겨 및 발효된 톱밥우분을 5~10cm 정도 깔고 소를 사육하는 대표적인 방식

- 겨울철에는 결로 발생률이 높고, 다른 지붕재에 비해 복사열이 높아 가축물이 고온에 노출되어 고온 스트레스로 인해 생산성이 저하되는 단점이 있음. 또한, 연중 햇빛 유입을 차단하고 있어 가축사육에 쾌적한 사육환경 제공에 어려움이 있으며, 햇빛(열)이 축사 내에 공급되지 않아 가축질병의 발생을 유발할 수 밖에 없는 문제점을 내포하고 있음. 온도 영향을 많이 받는 젖소의 경우 온도 스트레스에 의해 산유량이 감소하여 생산성이 떨어짐(표 1). 생산성 감소는 농가 이익과 직결되는 문제이므로 해결해야하는 과제임.

표 1-1. 온도 스트레스에 의한 산유량 감소율 (출처: 국립축산과학원)

산유량 감소율	추위 스트레스		더위 스트레스		
	%	°F	°C	°F	°C
5		20	-7	74	23
10		17	-12	80	27
15		6	-14	86	30
20		2	-17	88	31
25		-3	-19	91	33
30		-8	-22	93	34
35		-12	-24	95	35
40		-17	-27	97	36
45		-22	-30	99	37
50		-26	-32	101	38

- 무허가 축사에 대한 규제를 대폭 강화하고자 정부는 건축법 시행령을 개정(13 '5.31)하여 기존 축사용 가설건축물의 벽과 지붕 재질인 비닐하우스 또는 천막에서 PC 합성수지를 사용할 수 있도록 제도가 개선된 바 있음. 따라서 많은 축산 농가에서 컬러 강판대신 PC 채광판을 적용중임.

표 1-2. 축사용 지붕재질의 장·단점

구분	장점	단점
샌드위치 판넬 및 칼라 강판	<ul style="list-style-type: none"> • 내구성 • 채광효과 우수 	<ul style="list-style-type: none"> • 결로 발생률 ↑ • 태양광 완전 차단 → 습도 유지 힘들 (바닥 관리 용이 X) → 가축질병 발생률 ↑ • 복사열이 높아 가축물 고온 스트레스 심화 → 생산성 저하
일반 투명 PC 단층골판	<ul style="list-style-type: none"> • 가벼움 • 채광효과 우수 	<ul style="list-style-type: none"> • 자외선 및 내화학성 취약 → 황변 발생, 축사 내 발생한 암모니아 가스로 인한 부식 및 깨짐 발생

□ 축산 농가의 애로사항

- 매년 축산 농가에서 대두되고 있는 문제는 가축 분뇨로 인해 발생하는 가스인 암모니아와 황화수소 그리고 이산화탄소에 의한 환경 문제임. 농림축산식품부의 보도자료('19.06.28)에 따르면 특히 암모니아의 경우 전체 배출량의 82.8%인 237천 톤이 농업농촌분야에서 배출되는데, 그중 축산분뇨가 91.6%, 화학비료가 8.0%를 차지함.

가축분뇨의 심한 악취로 인해 인근 마을에 피해를 줄 뿐만 아니라 지붕재나 벽 등의 마감재의 부식을 일으키기 때문에 축사시설의 내화확성이 절실히 요구되고 있음.

- PC 합성수지 채광판의 경우에는 샌드위치 패널, 칼라강판 등의 지붕 재질에 비해 무게 중량이 적고, 초기 설치 비용이 저렴하지만 자외선 및 내화확성에 취약함. 자외선에 의한 황변 발생, 축사 시설 내에서 발생한 암모니아 가스로 인한 부식 및 황변 발생과 부식에 의한 부위의 충격성 저하로 인한 깨짐 발생 등 복합적인 요인들에 의해 지붕재의 유지보수 비용이 많이 들어 PC 채광판으로 시공을 해놓고 상기 요인들로 인해 칼라 강판으로 교체하고 있음.



그림 1-3. 당사가 시공한 PC 복층골판의 황변(좌) 및 깨짐 현상(우)

- 일반 PC 투명 단층골판의 경우 사용연한이 3~5년으로 파악되고 있으며, 노후화됨에 따라 물성이 약해져 보수공사를 하게 되는데, 이 때 매년 인명피해 사례가 발생하고 있음. 최근 5년간 지붕작업 관련 사고 사망 현황을 파악한 결과, 총 27건 중 44%가 축사에서 발생하였으며, 채광창 및 지붕파손의 원인이 63%를 차지함을 확인하였음.

표 1-3. 최근 5년간 (2015~2019년) 지붕작업 관련 사고사망 현황 (총 27건, 사망 27명)
(출처: 지붕작업 추락사고예방 안전대책 교육홍보자료, 안전보건공단, 2020)

발생장소별	건수	비율(%)
축사	12	44.4
공장	8	29.6
창고	3	11.1
기타(전주, 고소작업대)	4	14.8
총 합계	27	100.0

발생원인별	건수	비율(%)
채광창 및 지붕파손	17	63.0
미끄러짐	5	18.5
사다리 미고정	1	3.7
기타(감전, 익사)	4	14.8
총 합계	27	100.0

□ 기술개발 필요성 (선행연구 결과)

○ 내후성 및 내화화성이 개선된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 제조 기술

- 폴리카보네이트(Polycarbonate, 이하 PC)수지를 기반으로 하여 내후성 및 내화화성이 개선된 소재를 개발하고, 기존의 단층 압출 공정에서 공압출 공정으로 개발 소재를 양면 Skin층에 적용하여 태양광(자외선) 및 암모니아 가스로부터의 영향을 정량적 목표로 달성하는 소재를 개발하고자 함.

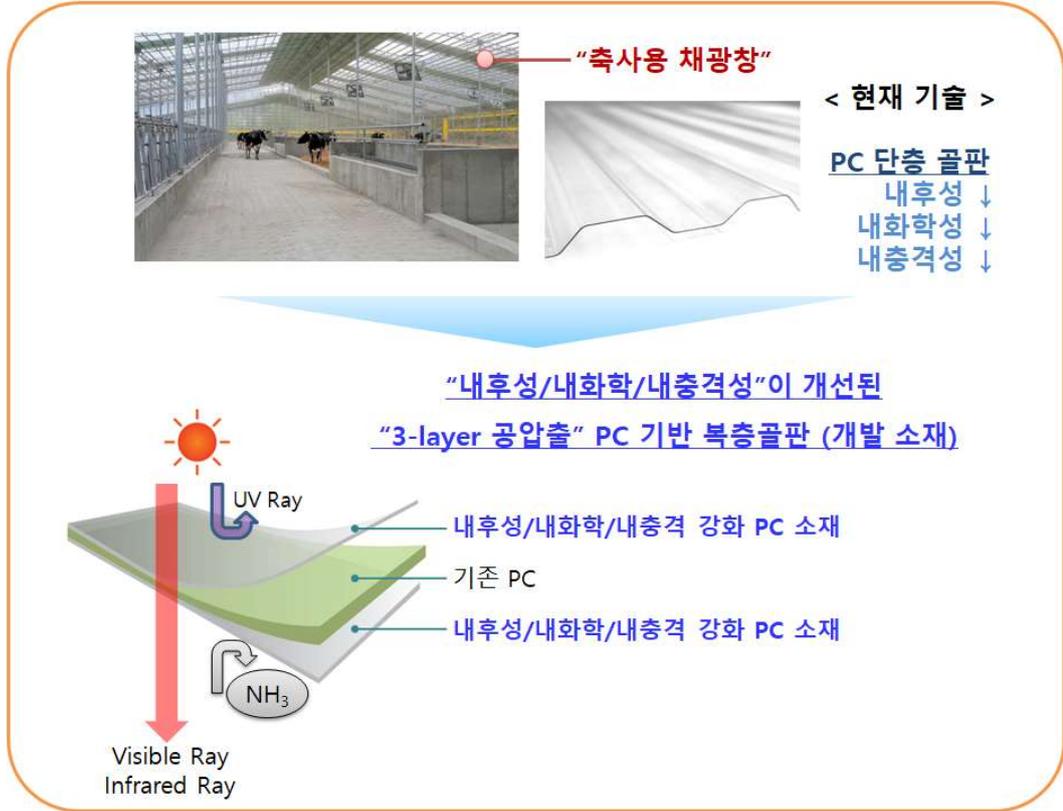


그림 1-4. 개발 모식도

- PC 수지는 높은 내충격성 (유리 250배, 아크릴 10배), 투명도에 기인한 채광성, 경량성, 자기소화성, 높은 열변형온도 (125 ℃)를 가지고 있어 반도체, 디스플레이 공장 등의 크린룸 투명 벽체, LED 조명 커버 등의 전자재료 용도뿐 아니라 채광창, 간판 등 건축 외장재료 널리 쓰이고 있음.



그림 1-5. 투명 PC sheet의 활용

- PC는 투과율이 80~90%로서 투명성이 양호한 반면 오염에 의한 투명도가 상실 될 수 있는 단점과 황변 및 열화 현상이 일어나기 쉬운 단점을 가지고 있음.
- 당사는 본 과제를 위하여 기초 자료 수집 목적으로 선진기업의 PC 1종 입수하여 압출 및 내후성 평가를 실시한 결과, 1500시간에서 선진 PC가 국내 PC 대비 내후성 측면에서 우수함을 알 수 있었음.

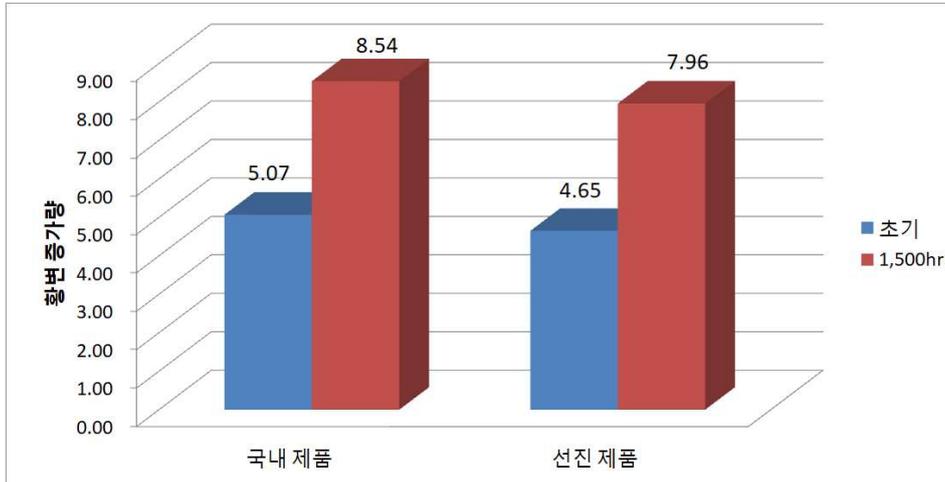


그림 1-6. 선진 PC 및 국내 PC의 내후성(1,500hr) 평가 결과

- 또한 내화학적 성 개선을 위해 PC Alloy 소재를 적용한 시트를 암모니아수를 이용한 내화학적 TEST 를 실시한 결과, 일반 PC 적용품은 50시간이 경과하자 외관 변화가 있었으며, 내화학적 개선품의 경우 200시간이 경과했을 때 외관상 변화가 나타나기 시작함을 확인함.

구분	일반 Sheet	기능성(내화학적) Sheet	비고
시간에 따른 외관 변화			0hr
			50hr
			200hr

그림 1-7. 일반 PC 및 PC Alloy 소재의 내화학적 (200hr) 평가 결과

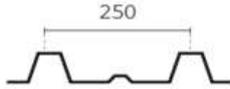
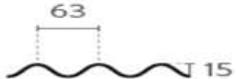
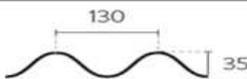
- 따라서 국내 제품의 신뢰성 문제 개선이 시급히 요구되며, 특히 감성 내구성 측면의 황변 문제 해결을 위한 생산 업체의 지속적이고 다각적인 기술 개발(원천 소재 개선 및 복층골판의 구조 변경)이 절실히 요구됨.

□ 기술개발 관련 분야 동향

○ 국내 기술개발 현황

- 국내에서 PC 복층골판은 크게 건축용 캐노피 및 축사용 두 가지로 나눌 수 있으며, 특히 축사의 경우 우(牛)사를 중심으로 사용되고 있음. 현재 일부 내화학성으로 인해 PET 계열의 제품도 사용되고 있으나 내열성, 내충격성, 내후성의 문제가 있어 주로 PC를 사용함.
- PC골판 생산방식은 압출 시 금형을 통해 생산하는 인라인 방식과 필요한 두께별 롤 타입 제품을 생산하여 후가공(열성형)하는 생산방식으로 나뉘지고 있으나 대부분의 인라인 방식 생산업체들 또한 후가공 성형기를 보유하여 고객의 납기 대응에 활용하고 있음.
- 후 가공 성형기 보급 및 골판용 압출기 보유업체 증가로 단가경쟁 심화됨.
- 골판의 파형은 아래 그림과 같이 4가지 유형이 있으며, 주력으로 사용되는 파형은 V-250임.

표 1-4. PC 복층골판의 파형 종류

제품명	규격	비고
V-250		주력으로 사용되는 파형임
V-115		칼라강판과 연결하여 주로사용함.
C-63		소골
C-130		대골

○ 국외 기술개발 현황

- POLYGAL (이스라엘)

1976년 세계 최초 폴리카보네이트 복층판을 생산한 업체로, 폴리카보네이트 파형판의 브랜드명은 CURROGAL. 투명 제품의 경우 투과도 89% (400-780 nm), UV 차단 99.9% (15-400 nm)의 성능을 보이며, 일부 IR 영역대도 차단함.

- PALRAM (이스라엘)

브랜드명 SUNTUF[®]으로 6개의 제품군으로 나뉘어져 있음. 투명 제품의 경우, 광투과도 90% 이상, UV차단은 99.9%의 성능을 보임. 내후성 차단 제품은 UV 차단을 단면 또는 양면(공압출)에 적용 가능함. 이 외에 IR 차단 제품과 엠보 적용 제품 등이 있음.

- SABIC (사우디아라비아)

브랜드명 LEXAN[™] THERMOCLEAR 우박에 대해서는 5년 보증, 투과 및 황변에 대해서는 10년 보증함.

□ 기술개발 제품 및 최종산출물

- 3-layer 구조의 내후성, 내화학적, 내충격 강화 투명 PC 복층골판
 - 내후성, 내화학적, 내충격성 확보된 축사용 채광판
 - 공압출 공정을 적용한 3-layer 구조를 갖는 투명 PC 복층골판

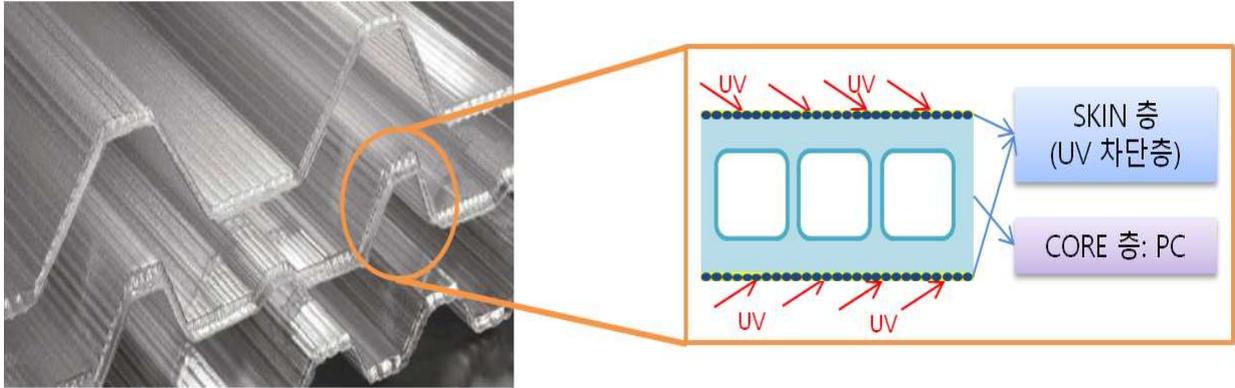


그림 1-8. 기술개발 제품의 단면 모식도

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

< 주관연구개발기관: 에스폴리텍 >

1차년도

1) 해외 선진사 및 경쟁사 제품 분석

- 축사용 채광창 폴리카보네이트 (이하 PC) 복합소재 설계에 있어 내후성 및 내화학적 성능이 중요한데, 그 중에서도 수 년간 태양광에 노출되는 채광창의 특성상 내후성의 성능이 매우 중요하다고 할 수 있음. 본 과제에서는 내후성 소재 설계를 위하여 국내·외 내후성 PC 제품 4종을 입수해 한국고분자시험연구소에 의뢰하여 첨가제 분석을 실시하였음.
- 세계 최대 플라스틱 생산업체인 Sabic社 제품 2종, 경쟁사인 글로벌 압출업체 Polygal (이스라엘) 및 Palam (이스라엘) 등에 UV PC 마스터배치를 제공하고 있는 TOSAF社 제품 1종과 Sabic 내후성 PC 제품을 국산화한 국내 롯데케미칼 제품 1종을 대상으로 함.

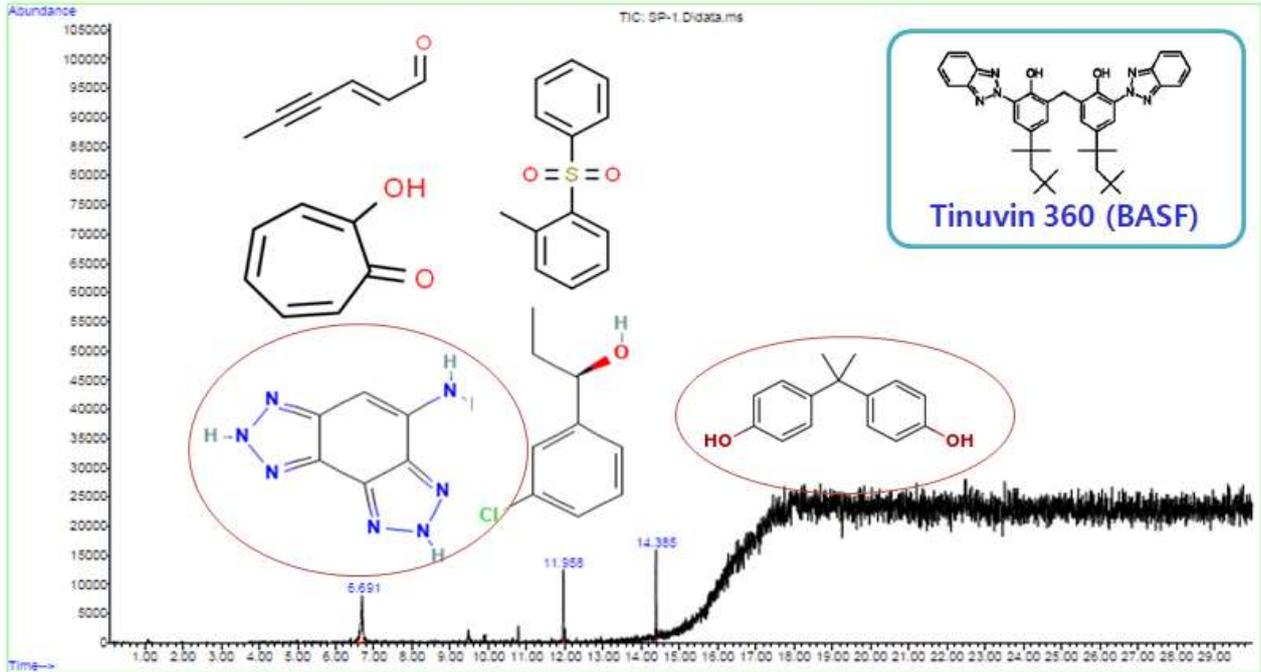
표 2-1. 국내외 선진 UV PC 제품 목록 및 사진

구분	PC 선진-1	PC 선진-2	PC 선진-3	PC 선진-4
제조사	Sabic (사우디)	Sabic (사우디)	TOSAF (이스라엘)	Lotte Chem. (한국)
				

- 한국고분자시험연구소에서 Py-GC MS (Pyrolysis-Gas Chromatography / Mass spectrometry) 를 통한 첨가제 분석 결과, 한국고분자시험연구소가 보유한 Database에서는 PC 선진-2 제품만 물질 검색이 되었고, 그 외 3가지 제품에 대해서는 물질 검색이 안되어 그래프 및 Library search report를 제공받아 각 peak에 해당하는 첨가제 구조를 검색 및 취합하여 사용된 첨가제 구조를 유추하였음.
- 자외선안정제의 경우 작용기구에 따라 자외선흡수제, Quenchers, HALS로 구분하며, 이 중 산업계에서 가장 많이 사용되는 자외선흡수제를 화학구조로 분류하면 Benzophenone계, Oxalanilide계, Benzotriazole계, Triazine계 등 크게 4가지임.

- 제품 4종에 사용된 자외선흡수제의 구조를 유추한 결과, PC 선진-1은 BASF社 Benzotriazole계열의 Tinuvin 360, PC 선진-2 제품은 BASF社 Triazine계열의 Tinuvin 329, PC 선진-3은 Solvay의 UV-1164, PC 선진-4는 BASF社 Benzotriazole계열의 Tinuvin 360 제품을 사용한 것으로 추정됨.

(a) PC 선진-1



(b) PC 선진-2

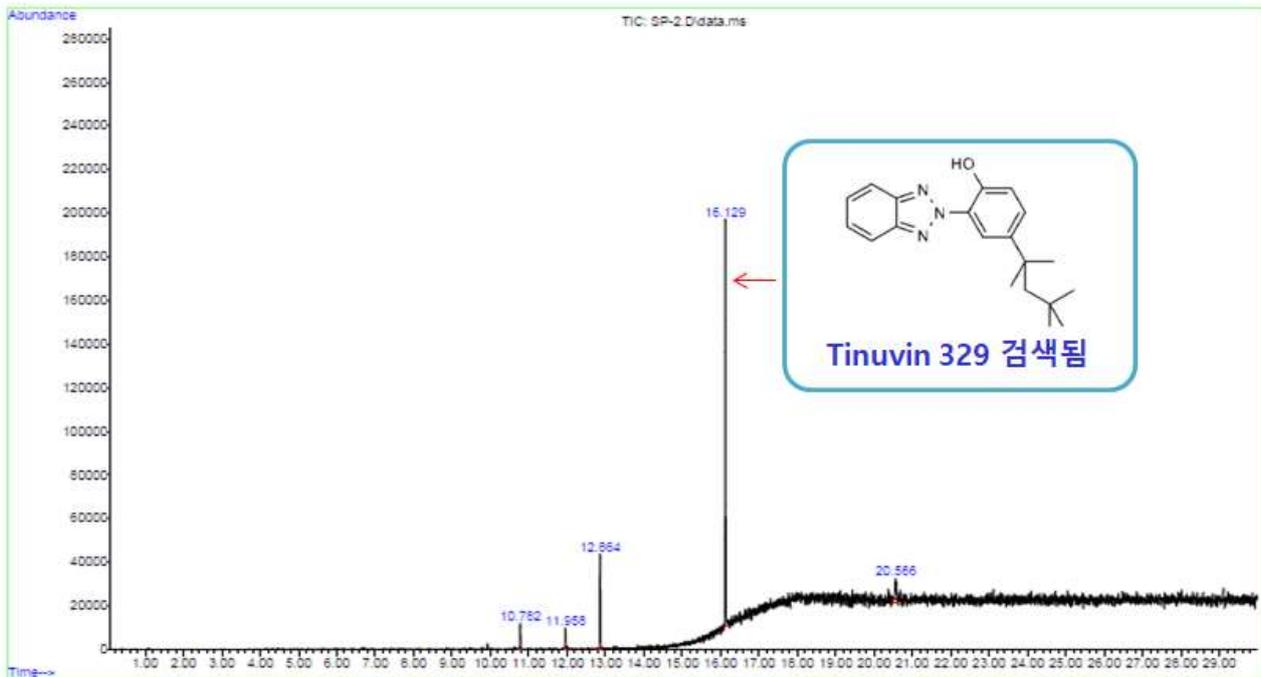
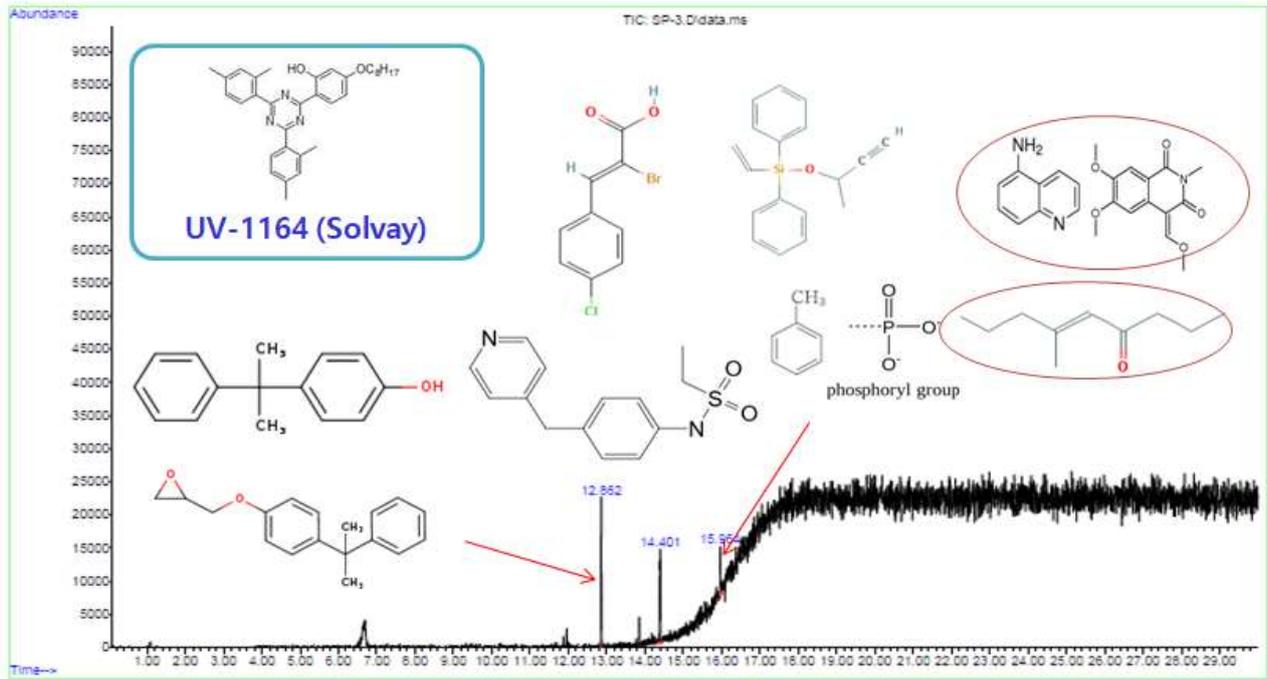


그림 2-1. 첨가제 분석 결과 (a) PC 선진-1, (b) PC 선진-2

(c) PC 선진-3



(d) PC 선진-4

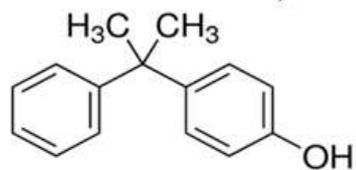
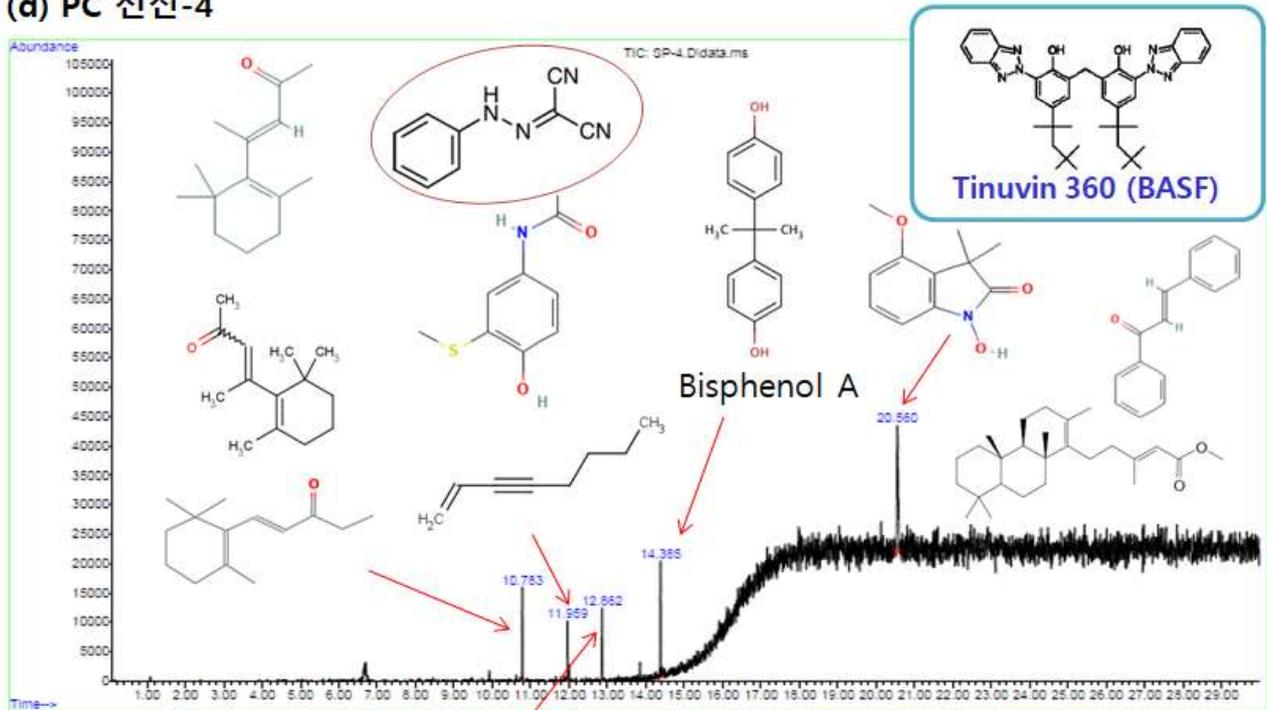


그림 2-2. 첨가제 분석 결과 (c) PC 선진-3, (d) PC 선진-4

2-1) PC Alloy 소재 설계 및 제조

○ 내화학적 PC Alloy 소재 설계를 위해 광투과도가 우수하고, 내화학적 및 내충격성 등이 우수한 Polycyclohexylenedimethylene Terephthalate (PCT), Polyethylene terephthalate glycol modified (PETG), Poly Cyclohexylenedimethylene Terephthalate glycol modified (PCTG), ECOZEN (Bio Copolyester; 고기능성 PETG) 등 폴리에스테르계 수지 4종을 검토하였으며, 각 수지별 구조와 기본 특성을 각각 그림 2-3과 표 2-2에 나타냄.

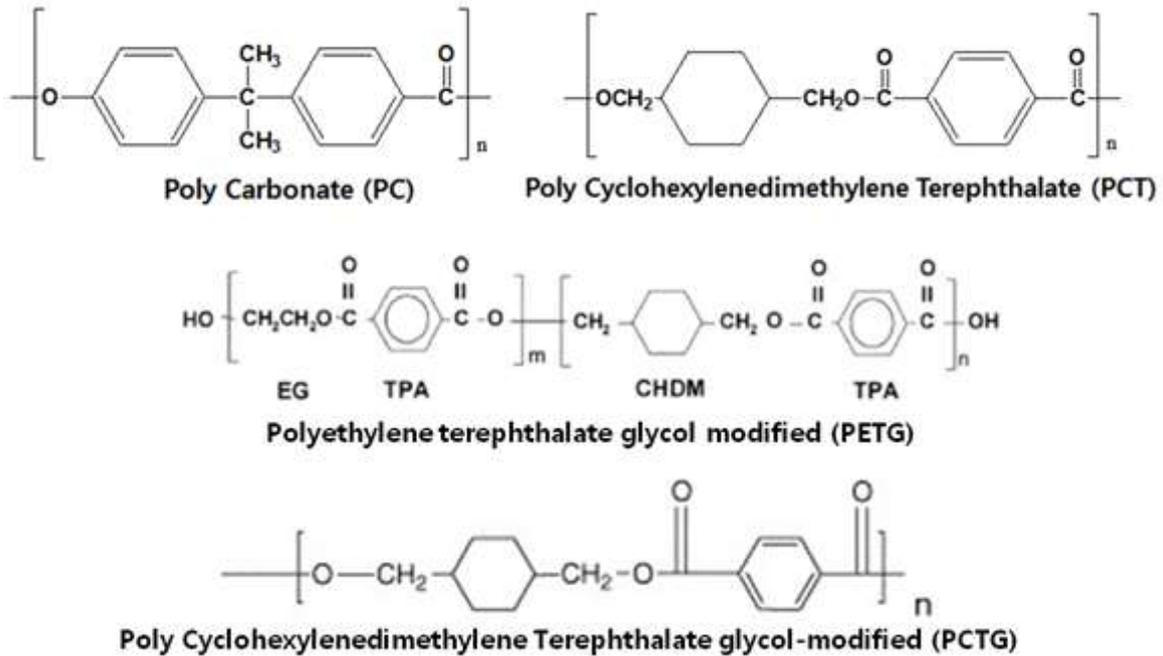


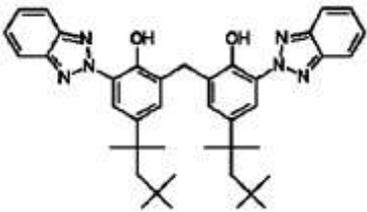
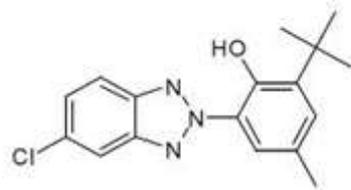
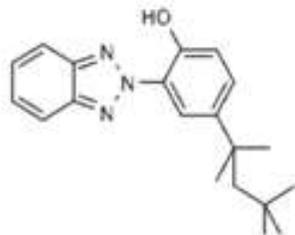
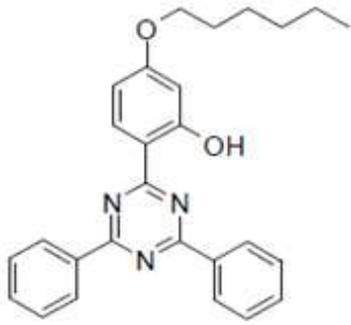
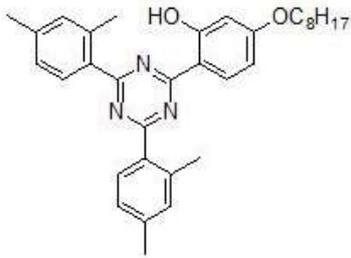
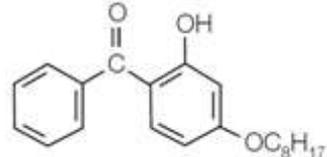
그림 2-3. PC Alloy 소재 설계를 위해 검토한 수지의 화학 구조

표 2-2. PC Alloy 소재 제조 후보 원료의 대표적인 특성

시료명	PCT	PETG	PCTG	ECOZEN (Bio-Copolyester)
주 원료	TPA + CHDM	TPA + EG + CHDM	TPA + EG + CHDM	PETG + Isosorbide (Bio-based monomer)
결정성 유무	결정성	비결정성	비결정성	비결정성
내열성	240 °C 이상	60~70 °C	65~75 °C	80~110 °C
내화학적	◎	○	○	◎
내충격성	○	△	○	◎
압출성	부적합 (빠른 고화속도)	○	○	◎
주 용도	물병, 반찬통, 컨넥터, 자동차 내내열부품류 등	Film, Sheet, 전기 전자용 packaging 등	화장품 용기, 의료기기 등	Film, Sheet, 전기 전자용 packaging 등
단가	6,000원/kg	4,500원/kg	4,500원/kg	4,500원/kg
비고	건조 및 결정화를 위해 140 °C 에서 6시간 건조 필요	-	-	-

- 고내열성 플라스틱인 PCT는 CHDM (1,4-cyclohexane dimethanol)에 TPA (Terephthalic acid)를 중합시켜 만든 플라스틱으로 내화학적 및 내충격성은 우수하지만 빠른 고화속도로 인해 압출성형에 적합하지 않으며, 건조와 결정화를 위해 예비 건조를 반드시 해야하는데 일반 범용 플라스틱에 비하여 건조 온도가 높고, 건조시간도 다소 길어 생산성 측면에서 적합하지 않음.
- 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, 내화학적 등은 비슷한 수준임.
- ECOZEN은 PETG 수지에 Bio-based monomer인 Isosorbide를 첨가하여 중합한 플라스틱으로 기존 PETG 수지 대비 압출성이 매우 우수하고, 내화학적 및 내충격성 또한 개선되어 물성이 우수함. 단가, 생산성, 압출성, 열적 및 기계적 물성 등을 모두 고려했을 때 ECOZEN이 가장 적합하다고 판단하고, 1차년도에 소재 개발에 적용하였음.
- 범용 열가소성 수지에 가장 많이 사용되는 자외선흡수제의 종류 및 구조는 아래 표 2-3과 같으며, 본 과제에서는 앞서 첨가제 분석 결과를 토대로 Benzotriazole계 자외선흡수제를 선정하여 PC alloy 소재를 설계함.

표 2-3. 대표적인 자외선흡수제 종류 및 구조식

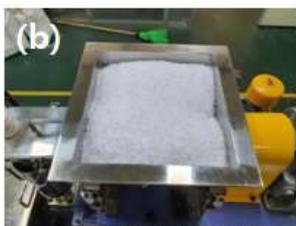
Benzotriazole계		
 <p>m.p.: 195 °C (BASF)</p>	 <p>m.p.: 137~141 °C (BASF)</p>	 <p>m.p.: 103~105 °C (BASF)</p>
Triazine계		Benzophenone계
 <p>m.p.: 147~151 °C (BASF)</p>	 <p>m.p.: 89~93 °C (Solvay)</p>	 <p>m.p. 47~49 °C (송원산업)</p>

- PC와 ECOZEN의 조성을 변화시키면서 축사용 채광창에 적합한 내후성 및 내화확성이 우수한 PC alloy 소재를 제조함. PC와 ECOZEN은 고온에서 교환반응 (transesterification)을 진행시킬 수 있으며, 교환반응에 의해 새로운 구조 설계가 가능함. PC와 ECOZEN의 함량 변화에 따른 조성 개발을 통해 다수의 그레이드를 개발하였으며, 이 중 표 2-4는 대표적인 조성임.

표 2-4. 1차년도 개발 소재의 대표적인 조성

조성물	함량	비고
PC	93	MI: 7~10 g/10min
ECOZEN	7	-
1차 산화방지제	0.1	Phoenol계
2차 산화방지제	0.2	Phophite계
자외선 흡수제	3	Benzotriazol계
활제	0.2	
합계	103.5	

- 반응압출을 위해서는 PC와 ECOZEN의 교환 반응시간의 조절이 가능해야하며, 반응압출에 절대적으로 영향을 미치는 최적 압출온도를 도출하는 것이 중요함. 무질서 혼련이 가능한 스크류를 적용하고, 압출온도는 235~240 °C, Main screw 150 rpm, load 35 %, Cutting 속도 600~640 rpm으로 압출 조건을 최적화하였음. 이축 압출기를 이용하여 원료 및 첨가제를 혼합/용융시켜 펠릿화하였음 (그림 2-4).



원료/첨가제 혼합



원료 투입



혼합/용융



펠릿화

그림 2-4. 본 과제에서 사용한 (a) 이축압출기, (b) 펠릿화 공정

2-2) PC Alloy 평가

- PC와 ECOZEN을 함량별로 펠릿을 제조하여 교환반응에 의한 alloy가 제대로 이루어졌는지 DSC 및 FT-IR (ATR) 분석을 통해 평가하였음. 또한, 1차년도 개발 목표 물성 확보를 위하여 열변형온도, 굴곡강도, Izod 충격강도 등 물성 변화를 관찰함.
- PC와 ECOZEN은 모두 비결정성으로 유리전이온도 특성만 보이며, 일반 PC는 135~140 °C, 본 과제에 사용한 ECOZEN의 유리전이온도는 80~90 °C 임. 그림 2-5는 PC와 ECOZEN 함량별 DSC 스펙트럼을 비교한 그래프로 ECOZEN 함량이 증가할수록 유리전이온도가 일정하게 낮아지는 경향을 보이며, 그 범위는 PC 100%와 ECOZEN 100% 사이에 존재함을 확인함.

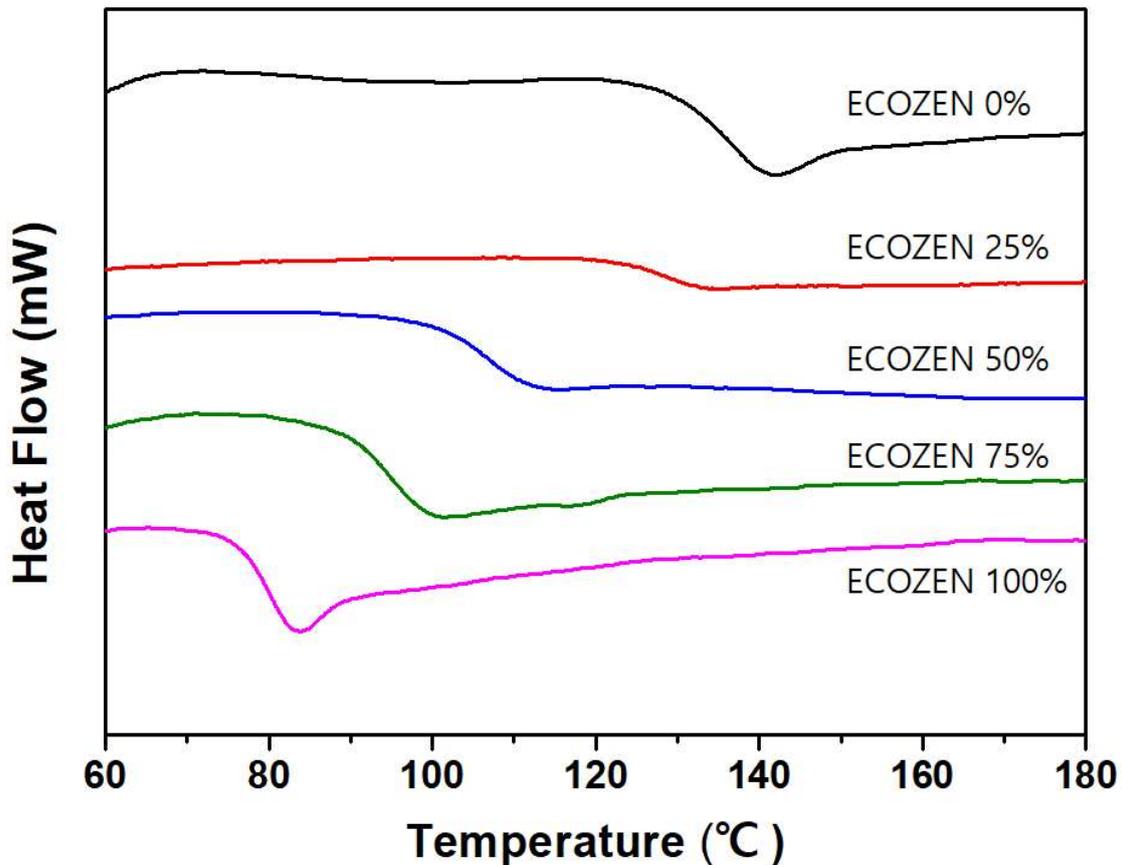


그림 2-5. PC/ECOZEN 함량별 DSC 그래프

- 그림 2-6은 반응압출에 의한 PC와 ECOZEN alloy의 FT-IR 그래프로, C=O 결합 peak가 PC에서는 1772 cm^{-1} , ECOZEN에서는 1716 cm^{-1} 에서 나타나는데 PC에 ECOZEN 함량이 증가할수록 해당 Peak가 점점 사라지고 1716 cm^{-1} 부근으로 이동함을 알 수 있음. 또한, ECOZEN에서만 나타나는 1247 cm^{-1} C-O-C in-plane deformation peak가 PC와 alloy 되면서 사라지고 있음을 알 수 있음. 이는 단순 Dry blend에서는 나타나는 peak로 반응압출에 의한 교환반응이 진행된 것으로 판단됨.

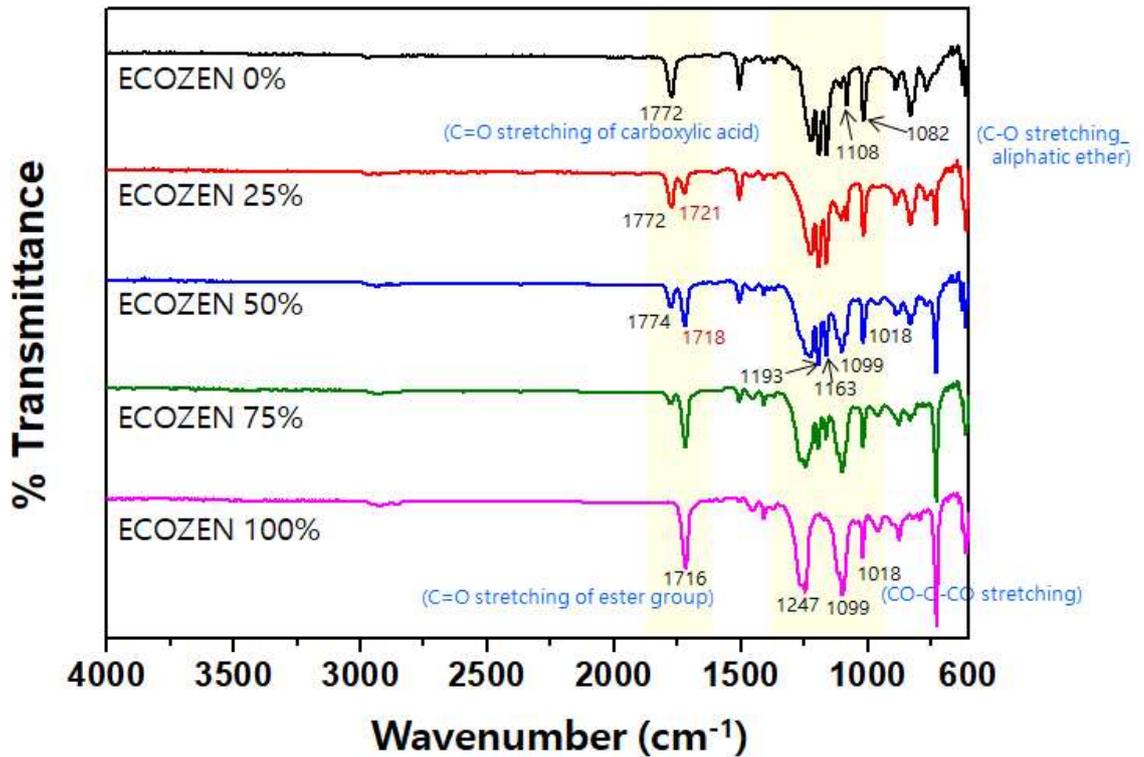


그림 2-6. PC/ECOZEN 함량별 FT-IR 그래프

- 앞서 DSC 그래프에서도 알 수 있었듯이, ECOZEN의 내열성은 PC에 비해 다소 약함. ECOZEN 함량이 증가함에 따라 내열성도 감소하는 경향을 보이며, ECOZEN 함량이 20% 이상 증가하면 열변형온도가 급격히 감소함을 알 수 있었음. 당해연도에 사용한 PC grade를 기준으로 1차년도 개발 목표인 128 °C 이상을 충족하는 ECOZEN 함량은 7 wt% 이하임을 알 수 있음.

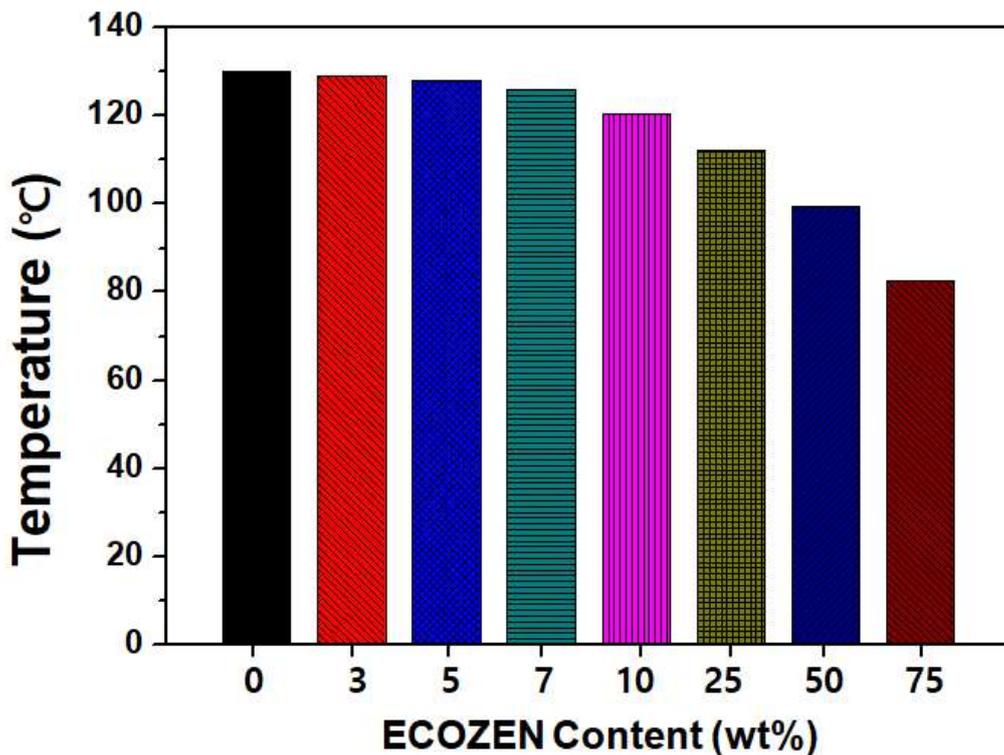


그림 2-7. PC/ECOZEN 함량별 열변형온도 그래프

- 측사용 채광창은 측사 지붕 시공시 사람이 채광창을 밟고 작업을 하기 때문에 외부 충격에 강해야하므로 굴곡강도 및 충격강도 (Izod) 특성 평가가 중요한 인자임.
- 굴곡강도의 경우 ECOZEN 함량 50 wt%까지는 큰 감소폭은 보이지 않았으며, ECOZEN 함량이 75 wt% 이상 증가하면 굴곡강도 값이 감소함을 알 수 있음. ECOZEN은 PC 대비 굴곡강도가 다소 약함에도 50 wt%의 함량까지도 물성 변화값의 큰 차이가 없는 것은 반응 압출에 의한 교환반응이 잘 이루어졌다는 것을 보여줌. 굴곡강도 90 MPa 이상을 충족하는 함량은 5~10%임을 알 수 있었음.

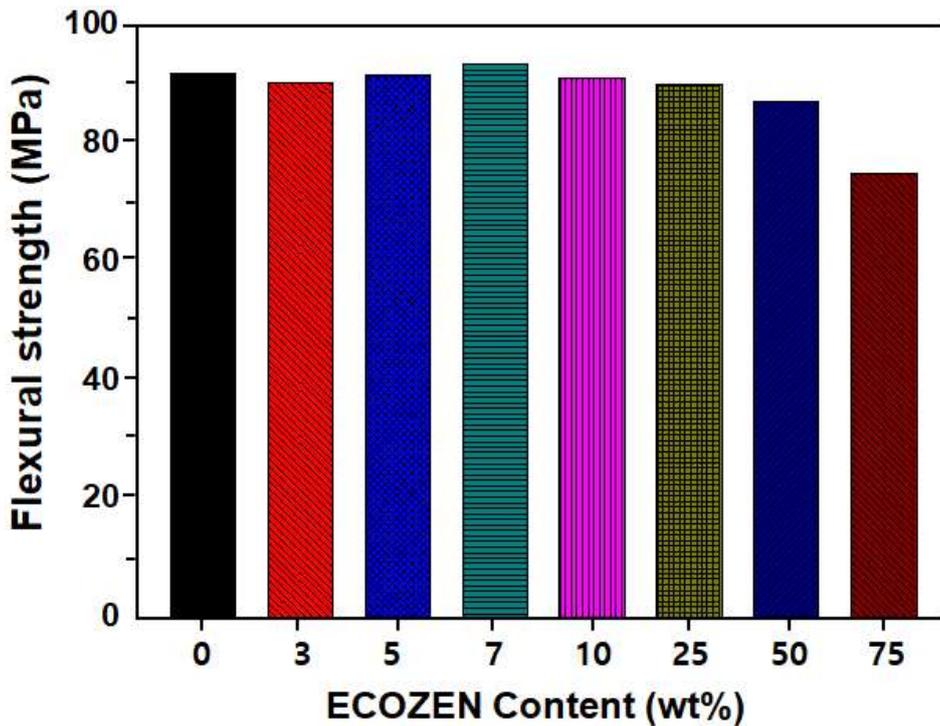


그림 2-8. PC/PETG 함량별 굴곡강도 그래프

- Izod 충격강도의 경우 앞서 언급한 열변형온도와 굴곡강도 그래프 양상과는 다른 경향성을 보였음. ECOZEN 함량 7 wt%까지는 PC의 충격강도값을 유지하고, ECOZEN 함량 75 wt%에서는 PC 함량이 25 wt%임에도 불구하고 ECOZEN의 충격강도값을 유지함을 알 수 있었음. 하지만 10 wt% 이상부터는 급격한 감소를 보였는데 특히 25~50 wt%의 함량에서는 PC와 ECOZEN의 각 기본 물성을 유지하기 힘든 수준의 물성값을 보임을 확인하였음.
- 당해연도에 사용한 PC grade를 기준으로 열적 특성 (DSC, HDT), 기계적 특성 (굴곡강도, Izod 충격강도) 등을 고려했을 때 ECOZEN의 최적 함량은 7 wt%임을 확인함.
- 내후성 및 내화학적 성능은 향후 제품화하였을 때를 고려하여 3-layer 공압출 구조에서 평가해야하므로 Pilot 설비 및 시제품을 제작한 후 평가를 진행하였으며 다음 장에서 후술함.

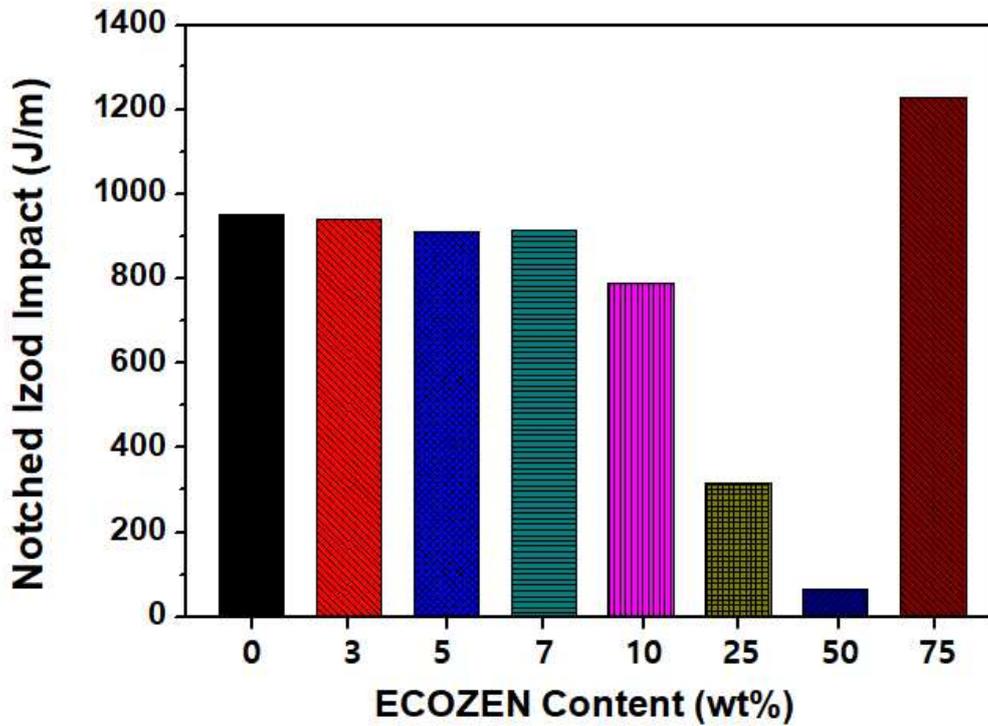


그림 2-9. PC/PETG 함량별 Izod 충격강도 그래프

3-1) 공압출 PC sheet 공정 개발

○ 개발소재의 Sheet 압출성, 공압출 공정 및 조건 최적화 평가를 위하여 그림 2-10과 같이 Pilot 압출 설비를 이용하여 sheet 압출을 진행하였으며, Pilot 설비 규격은 표 2-5와 같음.



그림 2-10. S-Polytech Pilot sheet 압출기

표 2-5. Sheet 압출기 규격

Type	Unit	Ext. E 30P	Ext. E 25P
Screw Diameter	mm	30	25
Screw Speed Max.	min ⁻¹	160	170
Max. Working Temp.	bar	350	350
Max. Melt Pressure	bar	500	500

- 1차년도 개발 소재의 sheet 압출 조건은 표 2-6과 같이 진행하였으며, 압출시 특이사항 없었음. 본 과제 개발 컨셉에 맞추어 3-layer 구조로 압출하였으며, skin층 두께는 약 33 μm 로 진행하였음. skin층 두께는 그림 2-11과 같이 광학현미경으로 관찰하였음.

표 2-6. 1차년도 개발 소재의 sheet 압출 공정 조건표

Type		1.0T (1차년도 개발품)		Unit
		Main / Sub		
Barrel zone	1	15 / 15		°C
	2	125 / 110		
	3	250 / 110		
	4	250 / 110		
	5	260 / 110		
	6	260 / 110		
Adaptor Feed Block Die zone	7	260 / 110		
	8	25 / 260		
	9	265 / 260		
	10	260 / -		
	11	265 / -		
MT		259 / -		
Screw RPM		150 / -		RPM
MP1		45 / -		bar
1 Line Speed		-		m/min
2 Line Speed		0.38		
3 Line Speed		-		
Take-off		-0.50		%
1-2Roll pressure		120		bar
2-3Roll pressure		50		bar
Roll 1		130		°C
Roll 2		133		
Roll 3		135		
Roll Gap		1.8		mm
Lip Gap		2.0		

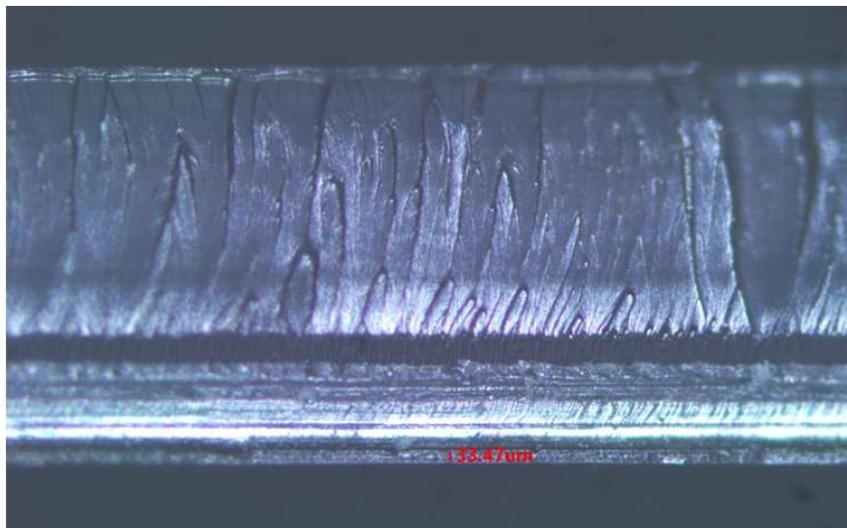


그림 2-11. 1차년도 Pilot 압출 sheet의 단면 이미지 (광학현미경 x50)

3-2) 내후성 평가 (Pilot 압출품)

○ 선진 제품 및 1차년도 개발 소재의 내후성 성능 비교 평가를 위해 앞서 기술한 선진 제품 4종에 각각 ECOZEN을 7 wt% 함량으로 컴파운드하여 적용하고, 1차년도 개발 소재 (TEST 1~4)는 표 2-4 조성으로 제조하되, 제조사별 자외선흡수제 첨가제 4종을 평가 진행하였음 (표 2-7). 첨가제 1, 2번의 경우 첨가제 분석을 통해 확인한 BASF社 Tinuvin 제품 대응품으로 향후 개발품 단가 산출을 고려하여 선정하게 되었음. Pilot 압출 설비를 활용하여 3-layer 구조로 sheet를 제작하여 평가를 진행함.

표 2-7. 1차년도에 사용한 자외선흡수제 종류

구분	TEST-1	TEST-2	TEST-3	TEST-4
흡수제 종류	Benzotriazole계	Benzotriazole계	Benzophenone계	Triazine계
제조사 (국적)	송원산업 (한국)	캠피아 (한국)	Solvay (미국)	캠피아 (한국)

○ 내후성 평가는 Q-UV (Q-LAB, 미국) 장비를 활용하였으며, ASTM G154 시험규격으로 UV 파장 램프 340nm, 광량 0.71W/m², UV mode 4hr, condensation 4hr을 1 cycle로 설정한 후 1,000시간 진행하였음.

○ 개발소재 1번의 경우 ΔYI 가 2 수준으로, 선진제품과 동등 수준의 성능을 보였음. 선진 제품 4종의 경우 모두 1,000시간에서 ΔYI 가 2 이하임을 확인할 수 있었고, 개발소재 2번은 1번과 마찬가지로 같은 구조의 첨가제임에도 불구하고 내후성 성능에서 확연한 차이를 보였음. Benzophenone계, Triazine계열의 자외선흡수제는 Benzotriazole계보다 내후성 성능이 미흡함을 확인할 수 있었음.

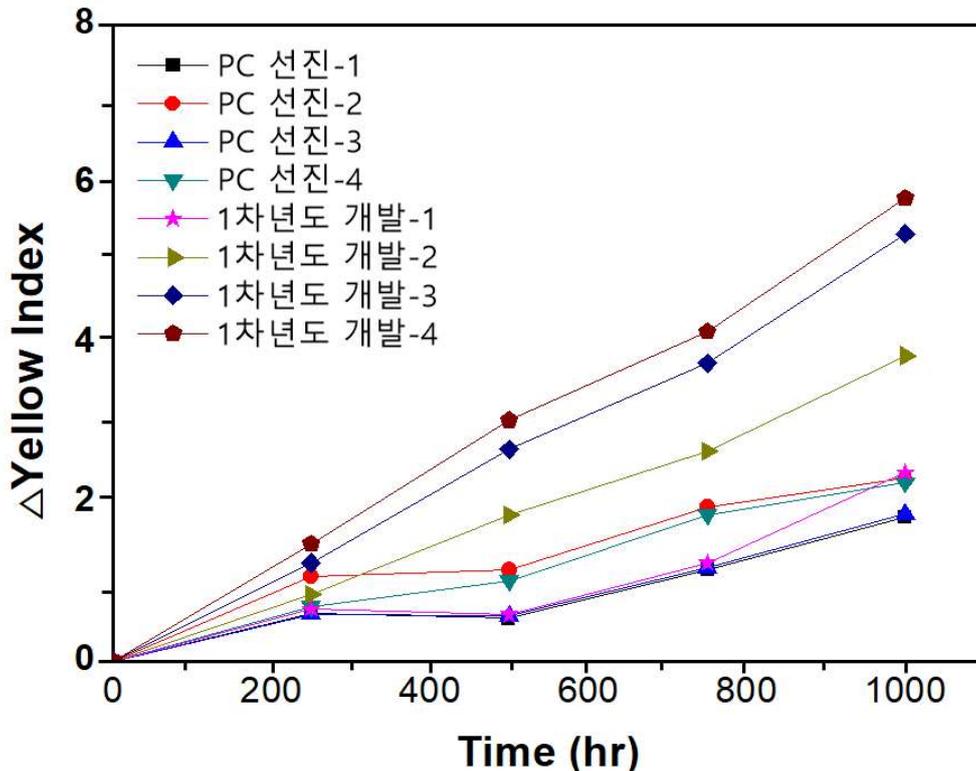


그림 2-12. 선진제품 및 1차년도 Pilot 압출 sheet의 내후성 평가 (1,000시간)

4-1) 시제품 제작

- 본 과제를 통해 개발하고자 하는 ‘복층골판’의 경우 국내 최초, 국내 유일한 제품임. 이를 생산하기 위해 주관기업인 에스폴리텍에서는 설비의 개조 및 제작에 투자하였으며, 세계 최고 성능의 압출기를 만드는 OMIPA社 (Italy)와 협업하여 복층골판 생산에 사용되는 금형 (T-die, calibrator, roll 등)을 제작하였음. 해당 설비는 기존 양산 압출 설비와 동일하게 원료 건조 시스템, 원료 자동 이송장치, 압출기, T-die, calibrator, side trimming 라인까지 시스템이 구축되어 있음 (그림 2-13).



그림 2-13. S-Polytech 복층골판 sheet 압출기

- 복층골판은 측사용 채광창에서 요구하는 내후성 및 내화학성 기능을 구현하기 위하여 3-layer 공압출 구조로 제작하였으며, 복층골판의 단면 이미지와 단면 모식도는 그림 2-14 와 같음.

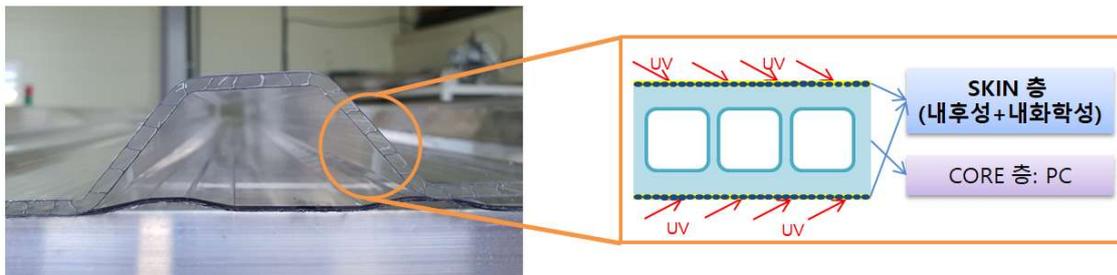


그림 2-14. 1차년도 시제품의 단면 이미지 및 단면 모식도

○ 복층골판 압출 설비를 이용하여 제작한 시제품은 그림 2-15와 같으며, 표 2-8은 복층골판 시제품 제작시 확립한 압출 공정 조건표이다.

표 2-8. 1차년도 시제품의 sheet 압출 공정 조건표

Type		1차년도 시제품 개발소재-1	Unit
Main Barrel zone	1	295	°C
	2	275	
	3	265	
	4	250	
	5	240	
	6	240	
	7	240	
	8	240	
	9	240	
	10	240	
	11	240	
	12	240	
	13	240	
	14	225	
	15	225	
Die zone	20	215	
	23	245	
	24	236	
	25	248	
	26	235	
	27	240	
	30	218	
Sub Barrel zone	101	200	
	102	200	
	103	200	
	104	200	
Venting Pipe	40	105	
	41	103	
Calibrator	65	25	
	66	25	
	67	75	
	68	75	
	69	80	
	70	80	
Main Screw RPM		77.1(Screw) / 50.0(Pump)	
Sub Screw RPM		50	
Take-off		3.81m/mim	

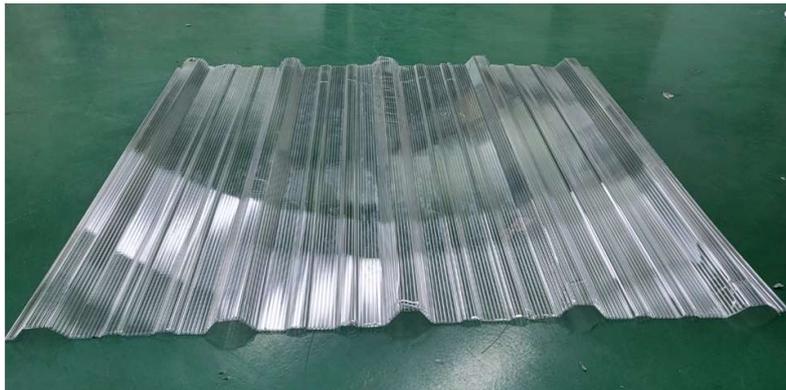


그림 2-15. 1차년도 시제품

4-2) 시제품 성능 평가 (내후성 및 내화학적)

- 내화학적 시험의 경우 3-layer 공압출 구조 특징 (Skin층에만 내화학적 기능이 부여된 점) 과 실제 측사 채광창도 암모니아 가스에 노출됨으로 플라스틱의 내약품성 시험규격인 KS M ISO 175:2010 을 준수하여 시험하되, 암모니아 수용액에 시료를 담지하지 않고, 암모니아 가스에 노출시켜 시험을 진행함. 표 2-9는 해당 시험법 비교표임.
- 한 문헌 조사에 따르면 우사 내 암모니아 노출 농도는 1.0~47.6 ppm의 범위이나 (J Environ Health Sci. 2015; 41(5): 277-288), 본 시험에 사용한 암모니아수 25 w/w% 시험액의 경우 바닥으로부터 시료의 높이에서 농도 측정 결과 25,000 ppm으로 가혹한 시험 조건이라 할 수 있음.

표 2-9. 내화학적 시험 비교표 (KS 규격, 에스폴리텍 의뢰자제시방법)

항목	KS M ISO 175:2010	에스폴리텍 제시방법
원리	규정된 온도에서 규정된 시간 동안 시험액에 완전히 침지시켜야 함	규정된 온도에서 규정된 시간 동안 시험액에 노출시킴
결과 판단	시험액에서 시험편을 꺼내어 건조시킨 후의 질량 및 외관의 변화	좌동
시험액	부속서 A에 따른 암모니아수 25% 수용액	좌동
시험온도	a) 23 ± 2 °C b) 70 ± 2 °C	23 ± 2 °C
측정온도	23 ± 2 °C	좌동
침지시간	단기시험: 24시간 / 표준시험: 1주 / 장기시험: 16주	단기시험: 24시간 / 표준시험: 1주
시험편 규격	크기: 60 mm x 60 mm 두께: 복합재료의 경우 최소 2mm 이상	좌동 두께: 3.6 mm
시료 개수	시험에 필요한 시험편의 개수는 표준이 없으면 적어도 3개의 시험편이 시험되어야 함	시료별 각 1개씩 준비
시험액의 양	시험편 표면적 1cm ² 당 최소한 8 ml	각 48 ml
시험편의 위치	<p>시험편을 적합한 용기에 담고 시험액에 완전히 잠기도록 한다</p> <p>식별부호 1. 병브 1 2. 병브 2 V₁: 침지 전의 부피 V₂: 침지 후의 부피</p> <p>a) 3 시험액 b) 4 시험편</p>	<p>시험액을 적합한 용기에 담고 시험편을 바닥으로부터 185 mm에 위치시켜 시험액으로부터 노출시킴</p> <p>높이 18 cm 암모니아수 48 ml 공차: 5 mm</p>
시험완료후 세척	산, 알칼리 수용액의 경우 깨끗한 물로 헹구고, 여과지나 보품이 나지 않는 천으로 닦아서 건조	좌동
측정-질량	0.1mg까지 정확하게 질량을 측정할 수 있는 시험기기 사용하여 질량의 백분을 변화로 계산 침지 후 건조 및 재조절 후: $\frac{m_3 - m_1}{m_1} \times 100$ a) 침지 전, m ₁ b) 시험액에서 빼낸 직후, m ₂ c) 시험액에서 빼내고 건조시키고 두 번째 전치리를 한 후, m ₃	좌동
측정-외관변화	육안 평가 실시	좌동
비고	-	- 암모니아수 25% 수용액 농도: 25,000 ppm - 실제 측사 내 암모니아 농도: 1~2 ppm (상기 농도 측정 높이 180 mm 기준)

- 당사에서 확립한 내화학적 시험 방법으로 단층골판 제품과 1차년도 시제품의 내화학적 성능을 비교 평가하였음. 표 2-10에서 보는 바와 같이 표준시험인 168시간에도 1차년도 시제품은 질량 및 외관 변화 없음을 확인하였으며, 단층골판의 경우 외관 변화는 물론 질량이 1.4% 감소함을 알 수 있었음.

표 2-10. 1차년도 내화학적 시험 결과

구분		단층골판	1차년도 시제품	비고 (표준시험, 1주)
외관 변화				0 hr
				50 hr
				168 hr
질량 변화	초기값	9.2462 g	6.9885 g	
	시험 종료 후	9.1193 g	6.9883 g	
	질량 변화율 (%)	1.37% 감소	0%	

- 단층골판 제품과 1차년도 시제품의 내후성 성능을 비교 평가하였음 (그림 2-16). Pilot 평가품의 내후성 시험과 동일하게 Q-UV TEST를 실시하였으며, 1,000시간 진행함. 1,000시간 기준으로 시제품의 ΔYI 는 1.2 수준으로 선진 제품과 동등 수준으로 확인되었으며, 단층골판은 ΔYI 는 9.2로 약 8배의 차이를 보임.
- 정량적 목표에서 설정한 평가방법 기준에 따라 시제품의 Xenon 내후성 시험은 공동연구개발기관인 한국건설생활환경시험연구원에서 진행하였음.

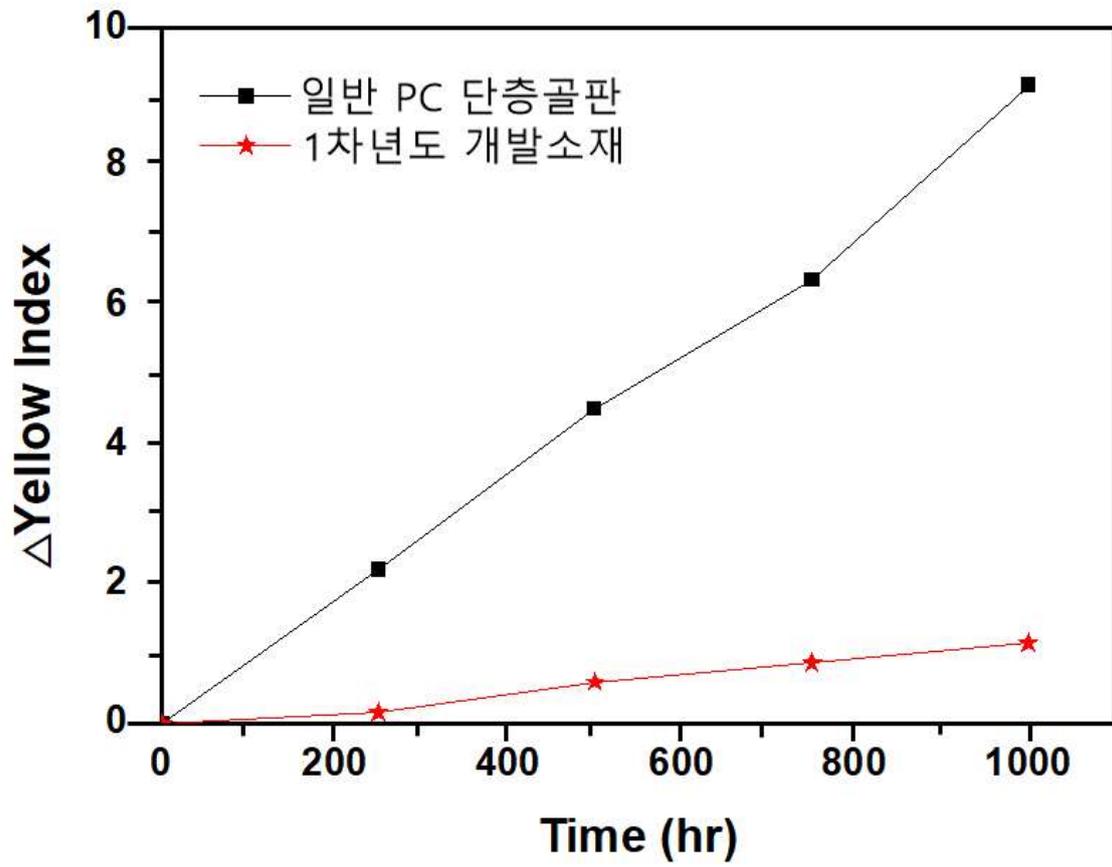


그림 2-16. 1차년도 시제품 내후성 평가 결과

2차년도

1) 투명 PC 복층골판용 조성비 최적화 연구

- PC의 투명성을 유지하면서 내열성, 내충격성 및 내화학성의 물성 확보를 위하여 고내열성 PC와 내화학성 PC를 이용해 Skin층 소재와 Core층 소재 각각의 조성비를 최적화함. 1차년도에는 내화학성이 우수한 ECOZEN을 첨가한 개발 소재를 Skin층에만 적용하고, Core층은 일반 PC로 구성하였었음. 현재 사용연한이 3~5년인 축사용 채광창의 수명을 더 늘리려면 Skin층뿐만 아니라 Core층의 소재 설계도 필요하다고 판단하여 2차년도에는 Skin층 및 Core층 각각에 대한 조성비 최적화 연구를 수행하였음.

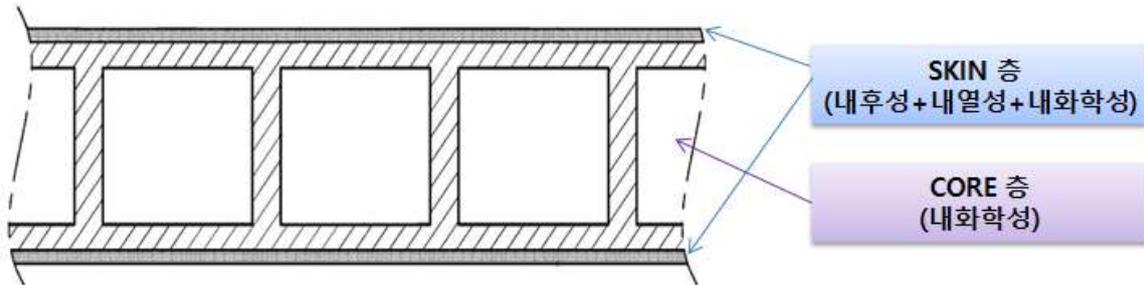


그림 2-17. 2차년도 개발품의 단면 모식도 및 소재 구성

- 1차년도 수행결과로 ECOZEN 함량이 증가함에 따라 내화학성은 증가하지만 내열성, 굴곡강도, 충격강도가 감소하는 경향을 확인한 바 있음. 따라서 내열성, 내충격성 및 내화학성 등의 성능을 더 확보하기 위해서는 기초 소재인 PC 자체의 물성 보강이 필요함을 확인함. 물성 보강을 위한 다양한 첨가제, 예를 들어 유리섬유, 탄소섬유, 탈크, 클레이, 고무류의 충격보강재 등 유/무기계 보강재를 적용한다면 물성 확보에는 문제가 없지만, 상기 열거한 보강재 등이 적용되면 첨가제들의 입자와 PC 입자의 굴절률 차이 때문에 PC의 가장 큰 장점인 투명함을 유지하기 어렵다는 단점이 있음.
- 2차년도에는 PC의 투명성을 유지하면서 내열성, 내충격성 및 내화학성의 물성 확보를 위해 고내열성 PC와 내화학성 PC를 적용함. 해당 원료들은 Sabic社 Specialties 부문 중 copolymer을 담당하고 있는 Sabic 자회사인 SHPP社에서 무상제공 받아 연구를 수행하였음. 표 2-11은 주원재료들의 주요 물성을 비교한 것임.

표 2-11. 2차년도에 사용한 주원재료들의 주요 물성

원재료	HDT (°C, @ 1.8 MPa)	Flexural stress (MPa)	Izod Impact (J/m, Notched)	내화학성
PC	138	95	900	○
ECOZEN	80	68	860	◎
고내열성 PC	180	120	100	○
내화학성 PC	122	90	900	◎

- 고내열 PC는 Bulky하고 rigid한 구조의 단량체로 합성되다보니 높은 점도로 인해 생산이 매우 어려운 것으로 알려져 있음. 따라서 국내에는 아직 열변형온도 140 °C 이상인 PC 제품군은 없고, Sabic 제품이 유일한 것으로 보고되고 있음.
- PC는 내열성이 우수한 범용 엔지니어링 플라스틱이지만, 제한된 내화확성을 가지고 있어 유기용매, 특정의 세제, 강 알칼리, 특정의 지방산, 오일 및 그리스와 접촉하는 용도로 사용할 경우 주의가 필요한 고분자 수지임. 축사 내에는 암모니아 가스가 다량 발생되는데 이는 알칼리성을 띄므로 PC 수지가 채광창에 쓰이기 위해서는 내화확성 확보가 매우 중요하다고 할 수 있음.
- 고내열 PC와 내화확성 PC는 일반 PC 대비 고가인 점을 감안하여 1차년도 개발 레시피를 기반으로 하면서 각 수지의 최소 함량 투입으로 특성이 구현할 수 있도록 연구를 수행하였음.
- 내후성 처방은 공동연구개발기관에서 시험중인 옥외폭로 시험의 연속성 data의 신뢰성 등의 이유로 1차년도와 동일하게 적용하여 진행함.

표 2-12. 2차년도 개발 소재의 대표적인 조성 - Core층

조성물	함량	비고
일반 PC	85	MI: 7~10 g/10min
내화학 PC	10	MI: 10 g/10min
ECOZEN	5	-
1차 산화방지제	0.1	Phenol계
2차 산화방지제	0.2	Phophite계
활제	0.2	금속 스테아레이트계
합계	100.3	

표 2-13. 2차년도 개발 소재의 대표적인 조성 - Skin층

조성물	함량	비고
일반 PC	70	MI: 7~10 g/10min
고내열 PC	5	HDT: 170 °C
내화학 PC	20	MI: 10 g/10min
ECOZEN	5	-
1차 산화방지제	0.1	Phenol계
2차 산화방지제	0.2	Phophite계
자외선 흡수제	3	Benzotriazole계
활제	0.2	금속 스테아레이트계
합계	103.5	

- 이축 압출기를 이용하여 펠렛화 작업을 진행하였으며, 무질서 혼련이 가능한 스크류를 적용하고 PC 수지의 함량이 높아 압출온도는 260~270 °C, Main screw 120~150 rpm, load 35 %, Cutting 속도 600~640 rpm으로 압출 조건을 최적화하였음.
- Pilot 압출기를 활용해 3-layer Sheet로 압출하였으며, sheet 압출 조건은 1차년도와 동일하게 진행함. Core층에는 내화학 PC가 alloy된 소재를 적용하였으며, Skin층에는 고내열 PC와 내화학 PC를 alloy한 소재를 적용함. Skin층 두께는 약 35~40 μm 로 진행하였음.

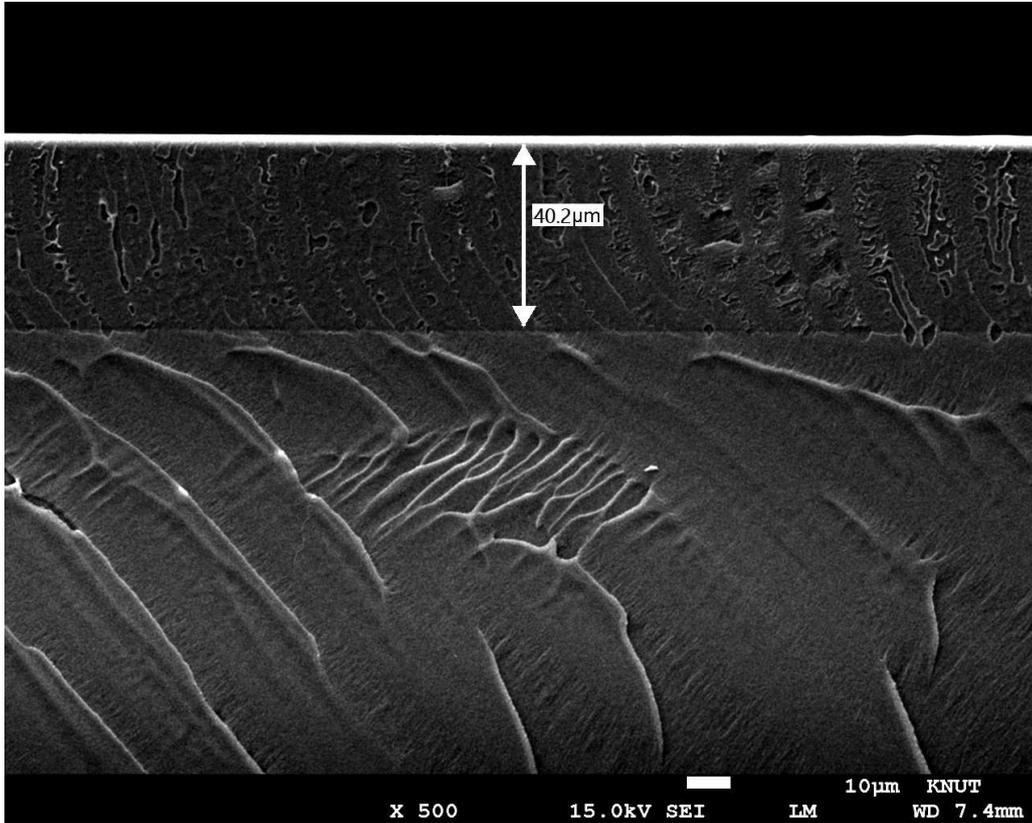


그림 2-18. 2차년도 개발품의 단면(상층) SEM 이미지

- 2차년도 개발 소재 평가 결과 굴곡강도 108 MPa, 고내열 PC 수지 적용으로 내열성은 172 °C를 달성하였고, Izod 충격강도는 970 J/m 로 2차년도 목표를 달성함.

표 2-14. 2차년도 개발 소재의 기계적·열적 물성

항목	단위	1차년도	2차년도
내열성 (@1.8 MPa)	°C	128	132
Izod 충격강도 (Notched)	J/m	937	970
굴곡강도	MPa	92.5	108

2) 시제품 제작 및 성능 평가

- 시제품은 축사용 채광창에서 요구하는 내열성, 내후성 및 내화학성 기능을 구현하기 위하여 3-layer 공압출 구조로 제작하였으며, 주력으로 사용되는 V-250 파형으로 제작함. 원료 건조 시스템, 원료 자동 이송장치, 압출기, T-die, calibrator, side trimming 라인까지 시스템이 구축되어 있는 양산 설비를 활용함.

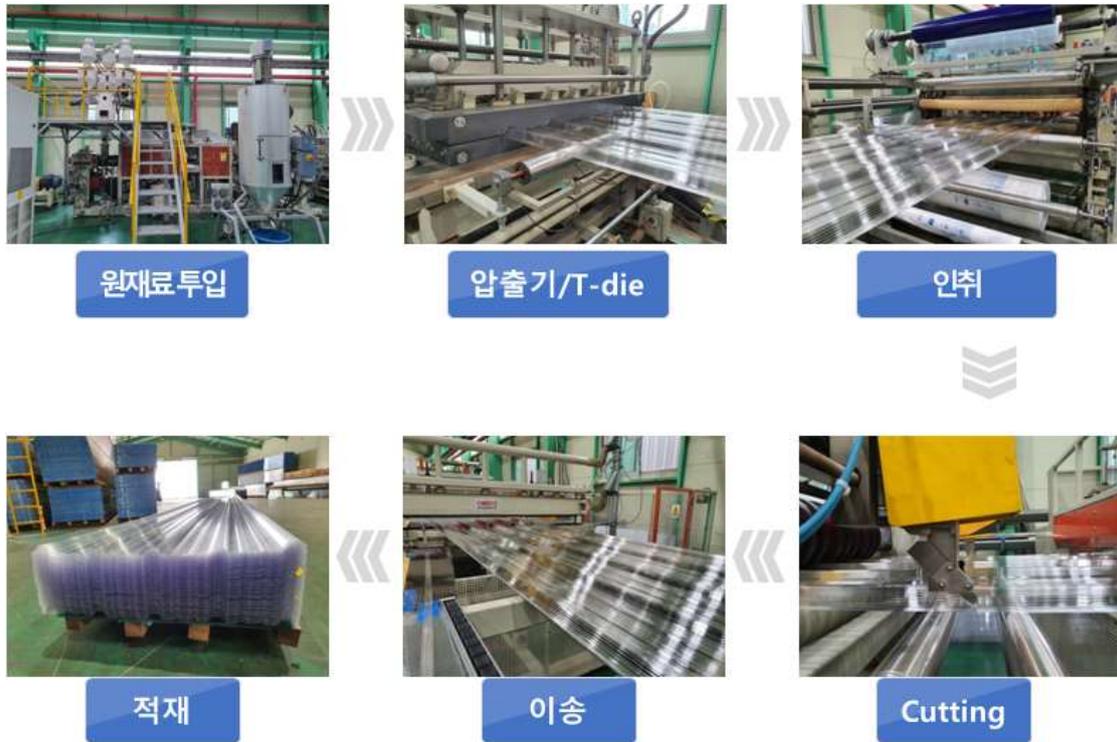


그림 2-19. S-Polytech 복층골판 생산 공정도

- 추가적으로 여러 가지 색상으로 제품화되었으면 하는 고객사 의견들을 반영해 투명제품(00), 진그린(13), 브라운(40), 블루스모그(44연), 실버(80L) 등의 색상으로 제품화하기로 함. 아래 그림은 1단계 시제품으로 투명 제품과 브라운 제품임.



그림 2-20. 1단계 시제품

○ 복층골판 시제품 제작시 확립한 압출 공정 조건은 아래 표 2-15와 같음.

표 2-15. 2차년도 시제품의 sheet 압출 공정 조건표

Type		2차년도 시제품	Unit
Main Barrel zone	1	295	°C
	2	275	
	3	270	
	4	260	
	5	250	
	6	250	
	7	250	
	8	250	
	9	250	
	10	250	
	11	250	
	12	250	
	13	250	
	14	230	
	15	230	
Die zone	20	215	
	23	250	
	24	242	
	25	253	
	26	245	
	27	250	
Sub Barrel zone	30	226	
	101	200	
	102	200	
	103	200	
Venting Pipe	104	200	
	40	105	
Calibrator	41	103	
	65	25	
	66	25	
	67	75	
	68	75	
	69	80	
	70	80	
Main Screw RPM		77.4(Screw) / 50.0(Pump)	
Sub Screw RPM		50	
Take-off		3.83m/mim	

- ASTM D1003 시험 규격에 따라 투과도를 평가한 결과 78.0%의 광투과율을 보임.
- 당사에서 확립한 내화학성 시험 방법으로 1단계 시제품의 내화학성 성능을 평가하였음. 표 2-10에서 보는 바와 같이 표준시험인 168시간에도 시제품은 질량 및 외관 변화 없음을 확인함.

표 2-17. 1단계 시제품의 내화학성 시험 결과

구분		1단계 시제품	비고 (표준시험, 1주)
외관 변화			0 hr
			50 hr
			168 hr
질량 변화	초기값	6.9893 g	
	시험 종료 후	6.9885 g	
	질량 변화율 (%)	0%	

- 열관류율 측정은 KS F 2278 창호의 단열성 시험방법에 의거해 평가하였으며, 열관류율 3.548 W/m²·K 로 당해연도 목표를 달성함.
- 정량적 목표에서 설정한 평가방법 기준에 따라 시제품의 Xenon 내후성 시험은 공동연구개발기관인 한국건설생활환경시험연구원에서 진행하였음.

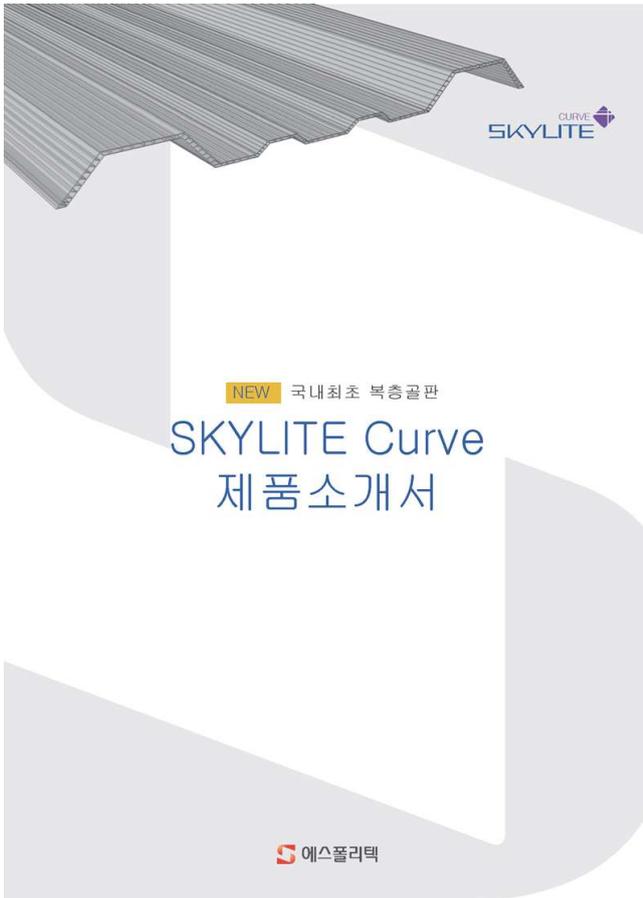
3) 사업화

- 본 과제 수행 결과물로 지적재산권을 확보 (특허 등록)함에 따라 22년 7월 1일자로 제품을 출시하여 사업화를 완료함. 제품명은 에스폴리텍의 명명방법에 따라 SR2NV와 SR2RV로 명명하였으며, 여러 고객사 의견을 반영해 투명제품 (00), 진그린(13), 브라운(40), 블루스모그(44연), 실버(80L) 등의 색상으로 제품화하였음.
- 복층골판 제품은 두께 3.6mm로, 양면 UV 소재로 공압출되어 있어 단층골판 대비 원재료비가 상승함. 하지만, 복층구조로 인해 m²당 중량이 25% 절감 (단층골판 1.8kg/m² → 복층골판 1.35kg/m²) 되기 때문에 원재료비 상승부분이 상쇄되어 기존 축산농가에서 사용중인 단층골판 제품과 동일하게 m²당 10,000원으로 단가를 책정함. 따라서, 제품 가격에 대한 부담이 없고, 기존 칼라강판 및 폼 판넬과 연결 사용이 가능하기 때문에 큰 장점이 있음.
- 팜플렛 작성/배포하고 에스폴리텍 온라인 판매 홈페이지에 제품 등록 완료함. 그 외에 기존에 구축한 대리점 등을 통해 제품을 판매하고 있음.
- 22년 7월~12월의 매출은 약 2.8억으로 목표대비 56% 달성함. 당해연도 매출액 기준으로 기술표를 산출한 결과, 6,273,932원임. 목표액 8백만원에 78% 달성함.

표 2-18. 당해연도 매출 실적

(단위: kg, 원)

품목명	구분	2022년						계
		7월	8월	9월	10월	11월	12월	
SR2NV-00	중량	2,418	477	1,038	2,132	2,029	1,892	9,986
	금액	13,619,996	2,731,870	5,667,390	11,882,230	11,846,710	11,151,895	56,900,091
SR2NV-13	중량	45	42	124	11	86		308
	금액	256,410	240,240	709,800	58,500	502,440		1,767,390
SR2NV-21	중량					6,553		6,553
	금액					38,299,200		38,299,200
SR2NV-40	중량	3,081	1,657	2,362	4,460	4,507	2,622	18,690
	금액	17,206,100	9,679,473	12,989,012	25,253,724	25,804,900	14,626,180	105,559,389
SR2NV-44연	중량	256	842	65	117	1,129		2,408
	금액	1,487,380	4,541,670	369,600	675,600	6,281,580		13,355,830
SR2NV-80L	중량	1,135					7,784	8,919
	금액	6,584,066					42,034,000	48,618,066
SR2RV-00	중량		729	93	179	49		1,051
	금액		5,039,730	717,900	1,299,300	346,660		7,403,590
SR2RV-40	중량	176	35	185	415	134	180	1,124
	금액	1,273,440	250,260	1,458,720	2,944,680	980,100	1,275,480	8,182,680
계	중량	7,110	3,783	3,867	7,313	14,487	12,478	49,037
	금액	40,427,392	22,483,243	21,912,422	42,114,034	84,061,590	69,087,555	280,086,236



1 SKYLITE CURVE 용도 및 특징

국내 유일 차별화된 제품의 복층 골판

SKYLITE CURVE 용도

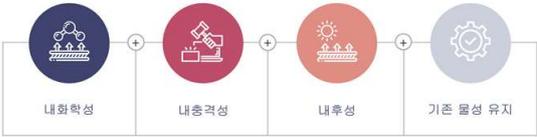
- 축사[돈(豚)사, 우(牛)사]지붕, 각종 공장 지붕채광, 벽체
- 기존 PET, FRP, 단층 PC 골판등 대체
- 주택등의 비가림
- 각종 연결통로, 창고지붕등

SKYLITE CURVE 특징

- 기존 V-250 Type 일반 PC를 Double Wall(복층) PC로 구현
- 국내 유일 차별화된 제품으로 기존 시장에 대한 대체 및 고객 Needs(내후성, 내화학적성)를 충족함.



2 SKYLITE CURVE 특징



- 단열성: 높은 가시광선 투과율을 유지하고 공기층으로 인한 단열성 향상
- 경량성: 동일두께 단층PC 대비 1/3중량
- 견고성: 세로 Rib으로 인한 강도 및 구조적 안정성 확보
- 호환성: 기존 V-250 파형을 그대로 구현 칼라강판, 폼판널등과 연결 사용가능
- 내후성: 내화학적성: 공압출방식으로 내화학적성, 내후성을 향상시켜 축사등 암모니아 GAS로 인한 부식, 황변화 개선함
- 굴절광: 제품 특성상 RIP에서 빛의 굴절광으로 변화, 직사광선의 영향을 최소화 하면서 투과율 유지함(75%~78%) / 직사광선을 줄여 가족의 열 스트레스 감소

그림 2-21. 복층골판 V-250 팜플릿 예시

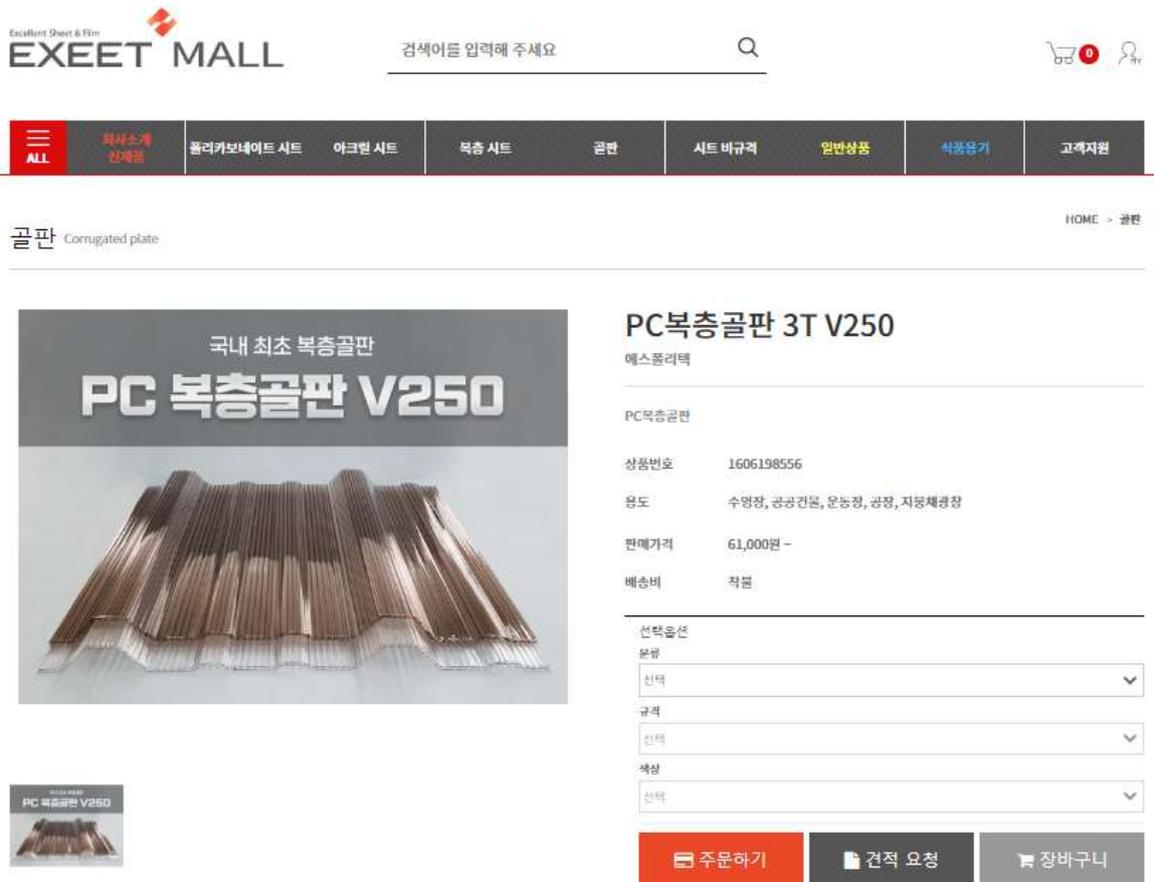


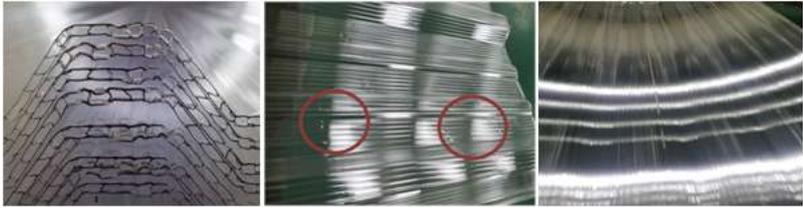
그림 2-22. 에스플리텍 온라인판매사이트에 복층골판 V-250 제품 판매 화면

3차년도

1) 투명 PC 복층골판용 컴파운딩 및 PC 복층골판 양산 공정 최적화

- PC 복층골판용 컴파운딩 및 PC 복층골판 양산 공정 최적화를 위해 폴리머 가공조제 (Polymer Processing Additives, 이하 PPA)를 극소량 (200 ppm) 처방하여 컴파운딩 및 복층골판 생산시 발생한 Die build-up (또는 Die Drool) 및 Melt fracture (용융체 파단) 문제를 해결함으로써 품질 안정화 및 최적의 양산 공정 조건을 확립할 수 있었으며, 동시에 투명성을 개선할 수 있었음.
- 특히 복층골판 시제품 생산시 압출 시작 40분 후부터 Die build-up이 발생하기 시작하여 생산 가동 2시간 후에는 Die build-up이 심해지며, 다이 입구에 고착화되어 제품 표면 품질 불량을 발생시키는 원인으로 작용해 생산 가동 2시간마다 라인을 끊고 다이 클리닝을 해야만 했음. 또한, Melt fracture (용융체 파단)이 발생하여 제품 표면에서 굴곡 현상이 나타남을 확인하였음. 지속적인 사업화를 위해서는 해당 문제를 반드시 해결해야만 했음.

표 2-19. PC 복층골판 시제품 생산 과정에서 발생한 품질 문제

품질 문제 발생 원인	품질 불량 사진
<ul style="list-style-type: none"> • Die build-up 	
<ul style="list-style-type: none"> • Melt Fracture 	

- Die build-up이란, 용융된 고분자 수지가 다이를 통해 압출될 때 다이의 출구면에서 어떤 물질이 쌓이는 현상을 말함. 또한, Melt fracture는 흐름의 양을 증대시키거나 Die 간격이 좁은 제품은 용융된 고분자 수지가 다이에서 억눌리거나 지나치게 자극을 받게 되어 다이에서 추출된 뒤 표면이 굴곡 등이 나타나게 되는데 이러한 현상을 의미함. Die build-up 및 Melt fracture의 발생 원인은 정확하게 알려진 것은 없으나 압출업계에서는 아래와 같은 원인들로 추정하고 있음.

표 2-20. Die build-up 발생 원인으로 추정되는 인자들

<ul style="list-style-type: none"> • 낮은 분자량 폴리머의 포함 	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장의 습도 및 작업조건
<ul style="list-style-type: none"> • 수분 및 휘발성물질의 포함 	<ul style="list-style-type: none"> • 다이 출구의 각도, 랜드의 길이 및 크기
<ul style="list-style-type: none"> • 필러의 유무 (특히 fiber) 	<ul style="list-style-type: none"> • 원료들의 점도 차이
<ul style="list-style-type: none"> • 안료 분산의 불량 	<ul style="list-style-type: none"> • 다이 상태 (청소 상태 및 표면 손상 등)
<ul style="list-style-type: none"> • 인취 속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 스크류 채널 내의 압력의 불안정성
<ul style="list-style-type: none"> • 다이스웰의 양과 속도 	<ul style="list-style-type: none"> • 부적절한 용융온도

표 2-21. Melt Fracture 발생 원인으로 추정되는 요인들과 개선방법 및 한계

<ul style="list-style-type: none"> 수지 온도 상승 	<ul style="list-style-type: none"> 방법: 다이 및 스크류 계량부 온도 증가 특징: 다이 내부 자극 감소 한계: 수지의 형체 유지력 감소, 변색, 탄화 등
<ul style="list-style-type: none"> 다이 구조 변경 	<ul style="list-style-type: none"> 방법: 다이 랜드 길이 증가 (Die land, 다이 날 끝부분의 직선을 말함) 특징: 다이 내부에서 충분한 자극 완화 시간 확보 한계: 압력 증가, 설비 공간의 제약, 신규 투자 비용 발생 등
<ul style="list-style-type: none"> 다이 재질 변경 	<ul style="list-style-type: none"> 방법: 슬립 증진을 위한 코팅 처리 특징: 다이 표면에서 슬립을 높여 자극 감소 한계: 원료의 점탄성 수치가 높은 경우 개선 미흡
<ul style="list-style-type: none"> 외부 활제 	<ul style="list-style-type: none"> 방법: 폴리머 가공 조제(Polymer Processing Aids, 이하 PPA) 또는 왁스 등의 활제 첨가 특징: 다이 표면에서 슬립을 높여 자극 감소 한계: 물성 감소, 기대 이하의 효과 등

○ 다양한 원인들 가운데 크게 4가지 원인으로 추측되어 이를 해결하고자 아래와 같이 자체 분석 및 조사를 실시하였음.

No.	예상 원인	확인 사항 및 조치 사항
1	내열성이 낮은 ECOZEN 적용	다이에 고착화된 물질을 정밀 분석하여 사용한 전체 원료 및 첨가제들과 비교 분석 실시
2	UV흡수제 등 첨가제 문제 (종류 및 함량)	
3	압출 공정조건 (온도 및 압력 등)	Main 압출기, Sub 압출기의 온도 및 압력 등을 확인했을 때 특이사항 없었음
4	복층골판 설비 문제 (스크류 및 T-die 설계 등)	

○ 시차주사열량계 (Differential Scanning Calorimetry, 이하 DSC) 분석법으로 다이 입구 표면에 발생한 오염물질을 분석하여 사용한 원료 및 첨가제들을 비교함. DSC 그래프상 유리전이온도(Tg)는 없었으므로 PC 수지, ECOZEN 수지에 의한 것은 아님을 확인함. 총 3개의 용점(T_m) Peak의 각 온도는 39.07℃, 112.59℃, 161.39℃ 였으며, 본 과제 개발 소재에 사용한 첨가제류의 용점(T_m)과 겹치는 부분이 없어서 원료 및 첨가제 문제로 발생한 문제가 아니고, 다이 및 스크류 내부 압력 및 청소상태 등에 의한 것으로 추측함.



Materials	T _m (°C)
1차 산방제	50~55
2차 산방제	183~186
UV Absorber	195
활제	69,148,182

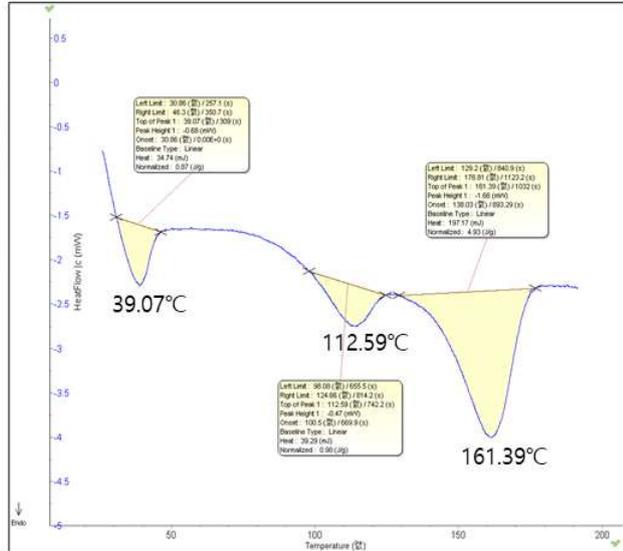


그림 2-23. 오염 물질 및 DSC 분석 결과 그래프

- 하지만 2차년도에 소재적으로 이를 개선하고자 하여, 내열도가 낮은 ECOZEN 함량을 낮추는 대신 고내열 PC 및 내화학적 PC를 적용하여 레시피를 개선하여 Die build-up이 다소 감소하긴 했으나 여전히 해당 문제가 발생함에 따라 폴리머 가공 조제를 극소량 처방하여 이를 해결하고자 함.
- 폴리머 가공조제는 제품의 표면 결함을 감소시키고 생산량을 높여 열가소성 수지의 원활한 압출 공정을 돕는 첨가제로 평균 200 ppm~500 ppm 정도 첨가함. 해당 첨가제의 원리는 압출기 다이 표면에 연속적인 다이내믹 코팅으로 불소고분자 코팅층을 형성하는데 이 코팅층이 압출기 내 금속 벽면과 용융된 고분자 사이의 표면 에너지를 낮춰줌. 즉 다이에서의 마찰력을 감소시켜, 고분자가 다이에서 매끄럽게 나올 수 있도록 하기 때문에 Die build-up 감소, Die 내 압력 감소, 생산량 증가, 투명성 개선, 평활도 및 표면 개선, 제품 외관 개선 등의 효과를 볼 수 있음.
- 한국쓰리엠사와 미팅을 통해 해당 문제에 대한 기술 자문을 받았으며, 다양한 제품군 중에서 PC 수지에 적합한 Dynamar™ FX9614 제품을 무상으로 제공 받아 연구를 수행함.
- 아울러 2차년도에 설계한 Core층, Skin층 조성비에서 Core층은 내열성 추가 확보를 위하여 각 원료들의 단가를 고려해 선형 PC, 고내열 PC, ECOZEN의 비율을 조절함. Skin층은 충격성 확보 및 가공성 향상 목적으로 선형 PC를 분지형 PC로 변경하였으며, 분지형 PC, 내화학적 PC 및 ECOZEN의 함량을 조절함. 앞서 기술한 Die build-up 및 melt fracture를 해결하고자 Skin층에만 PPA 첨가제를 첨가하였으며, 표 2-23에 주원재료들의 주요 물성을 비교하였음.

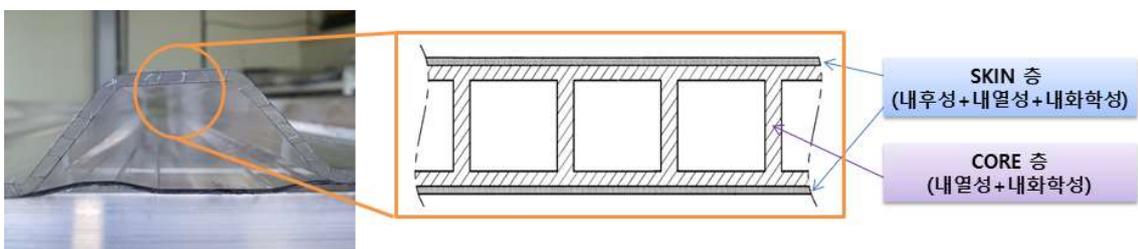


그림 2-24. 2단계 최종 개발품의 단면 모식도 및 소재 구성

표 2-22. 2단계에서 사용한 원재료들의 주요 물성

원재료	HDT (°C, @ 1.8 MPa)	Flexural stress (MPa)	Izod Impact (J/m, Notched)	내화학적성
선형 PC	138	95	900	○
분지형 PC	128	96	930	○
ECOZEN	90	92	860	◎
고내열성 PC	89	152	110	○
내화학적성 PC	87	122	900	◎

- 본 과제에서 사용한 선형 PC, 분지형 PC, ECOZEN, 고내열 PC, 내화학적성 PC 등 모든 원료들은 두께 3T 기준으로 광투과율 89~90%로 확인되었음 (TDS상 수치와 일치, 원료사 TDS에 광투과도 값은 사출 3T 시편으로 측정함). 그리고 광투과율은 두께가 얇아지면 얇아질수록 광투과도 값이 올라가고, 두께가 두꺼워질수록 광투과도 값이 감소하는 경향성을 지님.
- 일반적으로 PC의 분자구조가 선형에서 가지형(분지형) 구조로 바뀌게 되면 기계적 물성 및 광투과도와 같은 물성 값은 크게 변하지 않는 것으로 알려져 있고, 유변학적 특성에 큰 변화가 있는 것으로 보고되고 있음. 우선 용융체 내에 점탄성 특성 중에 탄성 특성이 증가하게 되고, 장쇄분지의 영향으로 power law index가 큰 폭으로 감소하면서 가공영역에서의 용융점도 감소를 가져오기 때문에 가공성 향상을 기대할 수 있음. 즉, 선형 분자구조의 경우 전단장이 걸리는 방향으로 사슬의 일부 신장만 발생하기 때문에 전단속도가 증가하여도 용융점도의 감소폭이 매우 좁은 반면, 분지형 분자구조의 경우 전단장에서 전산속도가 증가함에 따라 사슬 엉킴이 풀리면서 전단장 방향으로 길게 늘어지게 되고 shear thinning effect가 크게 증가함. 이러한 현상은 고분자의 분자구조, 분자량, 분자량 분포 그리고 완화 또는 확산속도와 관련이 있음.
- 내후성 처방은 공동연구개발기관에서 시험중인 옥외폭로 시험의 연속성 data의 신뢰성 등의 이유로 1차년도와 동일하게 적용하여 진행함.

표 2-23. PC 복층골판용 대표적인 조성 - Core층

조성물	함량	비고
선형 PC	93.0	MI: 7 g/10min
고내열 PC	2.0	-
ECOZEN	5.0	-
1차 산화방지제	0.1	Phoenol계
2차 산화방지제	0.1	Phophite계
활제	0.1	금속 스테아레이트계
합계	100.3	

표 2-24. PC 복층골판용 대표적인 조성 - Skin층

조성물	합량	비고
분지형 PC	90.0	MI: 8 g/10min
내화학 PC	5.0	-
ECOZEN	5.0	-
자외선 흡수제	3.0	Benzotriazole계
PPA	0.6	-
1차 산화방지제	0.1	Phenol계
2차 산화방지제	0.1	Phophite계
활제	0.1	금속 스테아레이트계
합계	103.9	

- 상기 조성물은 이축압출기를 이용하여 컴파운딩하여 펠릿 형태로 Core층, Skin층 및 PC/PPA 3wt% M/B를 제조하였음. PPA의 분산을 위하여 PC/PPA 3wt% M/B는 별도 제조함. 압출온도는 260~270 °C, Main screw 220~230 rpm, load 42 %, Cutting 속도 780~800 rpm으로 양산 컴파운딩 조건을 최적화함.

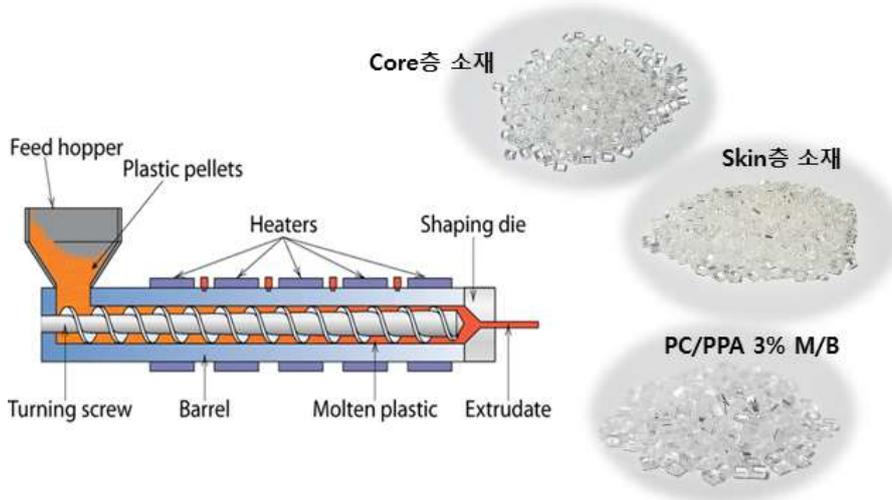


그림 2-25. 2단계 최종 개발소재 컴파운딩 결과물

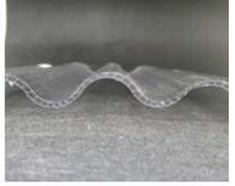
- 2단계 개발 소재 평가 결과 내열성 132 °C 굴곡강도 93.3 MPa, 열관류율 3.7 W/m²K을 달성하였고, Izod 충격강도는 906 J/m 로 목표 100% 달성함.

표 2-25. 최종 개발 소재의 기계적·열적 물성

항목	단위	1차년도	2차년도	3차년도
내열성 (@1.8 MPa)	°C	128	132	132
Izod 충격강도 (Notched)	J/m	937	970	906
굴곡강도	MPa	92	108	93
열관류율	W/m²K	3.2	3.5	3.7

- PC 복층골판 양산 공정 최적화를 위하여 PPA 투입 여부에 따른 품질 불량 문제 해결을 확인하였음. Skin층 두께는 1차년도, 2차년도와 동일하게 약 35~40 μm 로 진행하였으며, PC/PPA 3wt% M/B는 Skin층에만 투입량을 조절해가며 테스트한 결과, 최종 제품에 PPA 함량이 200ppm 정도 되도록 설계했을 때, Die build-up 및 Melt fracture가 개선됨을 확인함. 즉, 2톤 원료 사용 기준, PPA M/B 투입량 0.6%가 가장 최적 함량으로 확인됨.

표 2-26. PPA 첨가제 투입에 따른 PC 복층골판 표면 품질 개선 결과

발생 원인	품질 개선 결과	
<ul style="list-style-type: none"> • Die-build-up 		 
<ul style="list-style-type: none"> • Melt Fracture 	 	    

2) 시제품 제작 및 성능 평가

- 주관기업인 에스폴리텍 2공장(오창)에 설치되어 있는 PC 복층골판 전용 압출 라인을 활용하여 시제품 제작을 진행하였으며, 해당 장비는 1단계부터 지속적으로 활용해 온 장비임. 2단계 1차년도에는 C-63 파형의 신규 디자인 제품을 사업화하였으며, C-63 파형의 다이 설계를 압출기 제조업체와 협업하여 진행하고, 자체 투자하여 신규 T-die 및 부대설비를 구축하였음.



그림 2-26. 신규 복층골판 C-63 생산을 위한 T-die 및 부대설비

- 2단계 시제품은 복층골판 C-63 파형으로, 복층골판 V-250과 마찬가지로 투명제품 (00), 유백색(03L), 진그린(13), 브라운(40), 블루스모그(44연) 등 다양한 색상으로 제품화함.

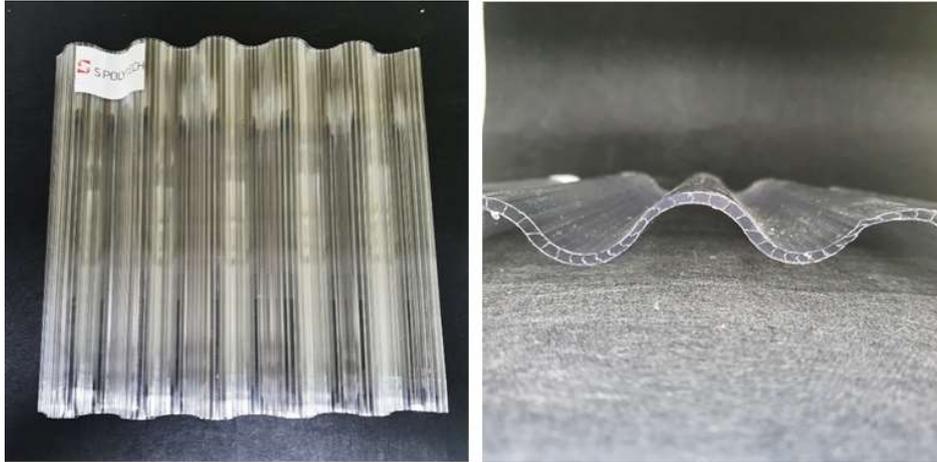


그림 2-27. 2단계 시제품인 복층골판 C-63

- PC 복층골판의 최종 압출 공정 조건은 아래 표 2-27, 표 2-28과 같음.

표 2-27. PC 복층골판(V-250)의 최종 압출 공정 조건표

Type		PC 복층골판	Unit
Main Barrel zone	1	295	℃
	2	275	
	3	270	
	4	260	
	5	250	
	6	250	
	7	250	
	8	250	
	9	250	
	10	250	
	11	250	
	12	250	
	13	250	
	14	230	
	15	230	
Die zone	20	215	
	23	250	
	24	242	
	25	253	
	26	245	
	27	250	
Sub Barrel zone	30	226	
	101	200	
	102	200	
	103	200	
Venting Pipe	104	200	
	40	105	
Calibrator	41	103	
	65	25	
	66	25	
	67	75	
	68	75	

	69	80	
	70	80	
Main Screw RPM	77.4(Screw) / 50.0(Pump)		
Sub Screw RPM	50		
Take-off	3.81m/mim		

표 2-27. PC 복층골판(C-63)의 최종 압출 공정 조건표

Type		PC 복층골판	Unit
Main Barrel zone	1	295	°C
	2	275	
	3	270	
	4	260	
	5	250	
	6	250	
	7	250	
	8	250	
	9	250	
	10	250	
	11	250	
	12	250	
	13	250	
	14	230	
	15	230	
Die zone	20	215	
	23	250	
	24	242	
	25	253	
	26	245	
	27	250	
Sub Barrel zone	30	226	
	101	200	
	102	200	
	103	200	
Venting Pipe	104	200	
	40	105	
Calibrator	41	103	
	65	25	
	66	25	
	67	75	
	68	75	
	69	80	
	70	80	
Main Screw RPM	77.3(Screw) / 50.0(Pump)		
Sub Screw RPM	50		
Take-off	3.83m/mim		

- 본 사업의 최종 개발품의 광투과도는 86.2%임을 확인함.
- 복층골판 C-63 파형은 굴곡진 부분 때문에 복층골판 V-250 제품으로 최종 내화학성 성능을 평가하였으며, 평가 방법은 1단계에 에스폴리텍에서 자체적으로 확립한 평가 방법대로 진행함. 표준시험 시간 168시간에도 시제품의 질량 및 외관 변화 없음을 확인하였음.

표 2-28. 최종 개발품의 자체 내화학성 시험 결과

구분		최종 개발품	비고 (표준시험, 1주)
외관 변화			0 hr
			50 hr
			168 hr
질량 변화	초기값	6.9895 g	
	시험 종료 후	6.9888 g	
	질량 변화율 (%)	0%	

- 열관류율 측정은 KS F 2278 창호의 단열성 시험방법에 의거해 평가하였으며, 열관류율을 3.675 W/m²K 로 당해연도 목표를 달성함.
- 정량적 목표에서 설정한 평가방법 기준에 따라 시제품의 Xenon 내후성 시험은 공동연구개발기관인 한국건설생활환경시험연구원에서 진행하였음.

3) 사업화

- 1단계 2차년도에 이어 2단계 1차년도에 복층골판 C-63 파형의 신규 디자인으로 제품을 출시하였으며, 제품명은 에스폴리텍의 명명방법에 따라 SR2NC로 명명하였으며, 투명제품(00), 유백색(03L) 진그린(13), 브라운(40), 블루스모그(44연) 등의 색상으로 제품화함.
- 팸플릿 작성/배포하고 에스폴리텍 온라인 판매 홈페이지에 제품 등록 완료함. 그 외에 기존에 구축한 대리점 등을 통해 제품을 판매하고 있음.
- 23년 12월 전산 마감 기준으로 약 5.5억 원의 매출을 달성함.

표 2-29. 당해연도 매출 실적

(단위: 총량·kg, 금액·원)

품목명	구분	2023년												계
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
SR2NV-00	총량	2,368	1,237	1,351	950	1,027	5,690	999	416	2,811	2,929	1,121	1,857	22,758
	금액	13,315,870	6,903,050	7,633,897	5,333,977	5,871,830	31,365,660	5,464,740	2,321,049	15,064,660	15,944,862	6,129,230	10,376,389	125,725,214
SR2NV-03L	총량						699							699
	금액						3,745,140							3,745,140
SR2NV-13	총량	44	83	50	43	225	49	150			252		895	
	금액	255,960	484,880	291,510	247,740	1,265,400	271,200	839,127			1,410,660		5,066,477	
SR2NV-21	총량									347				347
	금액									1,898,840				1,898,840
SR2NV-40	총량	1,454	1,331	2,343	3,649	3,849	6,328	2,044	2,995	3,730	3,209	2,492	2,817	36,242
	금액	8,127,700	7,609,850	13,510,630	20,445,420	21,382,250	34,998,581	11,423,180	16,162,700	19,960,425	17,693,564	13,760,074	15,293,866	200,368,240
SR2NV-44연	총량	19	190	66	96	106	12	58		29		96	17	689
	금액	106,920	1,050,090	387,710	540,620	618,420	68,400	318,000		155,520		538,080	90,300	3,874,060
SR2NV-80L	총량	2,078	81	13	3,454	4,847	54	1,466	221	493	1,360	547	500	15,113
	금액	11,218,500	456,000	77,420	19,172,060	26,035,414	303,080	7,799,230	1,178,130	2,598,880	7,237,364	2,971,740	2,667,396	81,715,214
SR2RV-00	총량	117	6	14		252	11	11	371		105			888
	금액	848,160	47,520	103,950		1,705,200	80,640	80,640	2,521,700		746,760			6,134,570
SR2RV-40	총량	160	110	94	40	32	90	136	446		105	209	421	1,844
	금액	1,167,120	803,040	686,070	294,030	237,600	651,840	982,800	3,054,500		756,480	1,513,440	2,577,600	12,724,520
SR2NC-00	총량	447	424	725	525	295	1,290	727	532	57	871	913	495	7,301
	금액	2,621,660	2,482,107	4,095,190	3,065,450	1,680,200	7,121,800	4,076,520	3,137,390	329,100	4,898,210	5,196,940	2,855,480	41,560,047
SR2NC-03L	총량						671							671
	금액						3,594,920							3,594,920
SR2NC-13	총량	183	62	304	101	240	204	364	148		265	21	58	1,951
	금액	1,016,300	345,600	1,836,740	568,850	1,444,710	1,156,800	1,982,080	832,200		1,523,520	125,400	313,300	11,145,500
SR2NC-40	총량	304	293	288	1,278	830	983	981	566	444	666	860	323	7,817
	금액	1,703,940	1,705,844	1,744,340	7,298,354	4,794,200	5,338,820	5,379,280	3,140,430	2,479,840	3,818,910	5,037,060	1,800,900	44,241,918
SR2NC-44연	총량	52	2	74	63	22	67	175	92	79	12	2		641
	금액	300,240	13,140	414,460	378,990	120,480	358,926	927,765	521,220	456,180	72,960	13,680		3,577,741
계	총량	7,182	3,781	5,357	10,206	11,544	16,326	7,008	5,937	7,989	9,523	6,514	6,490	97,856
	금액	40,426,410	21,672,201	30,975,287	57,388,961	64,138,044	90,050,007	38,705,435	33,708,446	42,943,445	52,692,630	36,696,304	35,975,231	545,372,401

SKYLITE CURVE
폴리카보네이트 복층골판

제품 용도 및 특징

- 용도**
 - 옥사 지붕, 공장 지붕, 벽체
 - 기존 단층 PC골판 및 PET, FRP 골판 대체
 - 일반 주택의 바깥벽
- 특징**
 - 내화성
 - 내충격성
 - 내후성
 - 기존 골판 유지

인용받은 기술, 첨단기술로 개발된 인공된 기술력, 국내 최대 생산설비 아시아 최대 규모, 다양한 활용 옥사 캐노피 등 다양한 분야에서 활용

01 SKYPOLYTEH

그림 2-28. 최종 복층골판 제품 팜플렛

PRODUCTS SKYLITE® PC CORRUGATED MULTILAYER SHEET

단층골판과 복층골판의 비교

비교항목	일반 PC 단층골판	3-Layer 골판용 PC 복층골판
제품구조		
중량	1.8kg/m² (3.377kg)	1.3kg/m² (2.6kg) (2.6kg 기준)
구조상	일반 주택용에 대한 적용 불가	내화, 내충격에 대한 적용 가능
특성상	일반적, 화재 위험 수증기 발생	내화성, 화재 위험 수증기 발생 방지

기본 지붕재의 한계점 - 옥사

- 기존 지붕재의 한계점 및 생부 문제
 - 건축성 사형 재질 (3.3.3.3)
 - 옥사 옥사재 내내 단층골판 골판 PC 골판에 비해 화재 위험 수증기 발생
- 기존 지붕재
 - 옥사재 화재 위험 (FRP, PC재 등)
 - 옥사 (옥사재, 내충격성, 내후성, 내화성)

3-Layer 골판용 PC 복층골판의 장 단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> - 내화성 우수 - 내충격성 우수 - 내후성 우수 	<ul style="list-style-type: none"> - 옥사 단층골판 추가 - 내화성 관련 비용 - 옥사 골판재의 관련 용이하지 않음 - 화재 위험 발생 가능 - 내충격성 우수 - 내후성 우수 - 옥사재 화재 위험 수증기 발생 - 화재 위험 발생 가능 - 화재 위험 발생 가능 - 화재 위험 발생 가능

그림 2-29. 자사 홈페이지 E-카탈로그 내 복층골판 제품 소개

찾으시는 상품과 유사한 상품도 함께 노출합니다. '복층골판 C-63'(으로/로)만 검색하기 >

카테고리 + 생활/건강 가구/인테리어 스포츠/레저 패션잡화

브랜드 + LEON 스카이라이트 노브랜드 UNKNOWN 커밍순 에이팩스 무무 마인 토도 카우프만 HJ 포레스트

가격 6만원이하 6만원 ~ 12만원 12만원 ~ 24만원 24만원이상 직접입력 5,600 원 ~ 1,792,980 원

배송/택/색상 + 빠른배송 무료배송 희망일배송 정기구독 무료교환반품 핫딜 카드할인 쿠폰 적립

전체 8,900	가격비교	네이버페이	백화점/홈쇼핑	쇼핑원도	해외직구
----------	------	-------	---------	------	------

네이버 쉐어링 · 낮은 가격순 · 높은 가격순 · 리뷰 많은순 · 리뷰 좋은순 · 등록일순

복층 골판 폴리카보네이트 복층판 렉산 넥산 PC 속사 캐노피 비가림 골판 차양 어닝 C-63
33,200원

가구/인테리어 > DIY자재/용품 > 패널

등록일 2021.11. · 찜하기 0 · 신고하기

일신폴리캠

포인트 332원
적립 | 쿠폰 | 할인 | 구매정보

에스폴리텍 렉산지붕 복층 골판 V250/C63 투명 폴리카보네이트 PC판 옥상 지붕 판넬 공사 렉산 캐노피
33,200원

생활/건강 > 공구 > 안전용품 > 기타안전용품

리뷰 6 · 등록일 2023.03. · 찜하기 9 · 신고하기

티앤이

포인트 432원
적립 | 쿠폰 | 할인 | 구매정보

Blog

REST **SPOLYTECH**

홈 > 생활/건강 > 공구 > 안전용품 > 기타안전용품(중 3개) | 다른상품보기 >

에스폴리텍 렉산지붕 복층 골판 V250/C63 투명 폴리 카보네이트 PC판 옥상 지붕 판넬 공사 렉산캐노피

60% ~~83,000원~~ **33,200원**

티앤이 고객을 위한 혜택

최대 적립 포인트	2,582원 ?
기본적립	332원

TIP. 포인트 더 받는 방법 +최대 2,988 원

キャンペ 최대 5% 적립, 무료 시착 >	1,328원
キャンペ 네이버 현대카드로 결제 시 >	1,660원
キャンペ 네이버페이머니 결제 시 최대 적립 >	664원

놓치고 있는 5% 적립 포기하시겠어요? >

그림 2-30. N사 쇼핑몰에 복층골판 V-250, C-63 제품 판매 화면

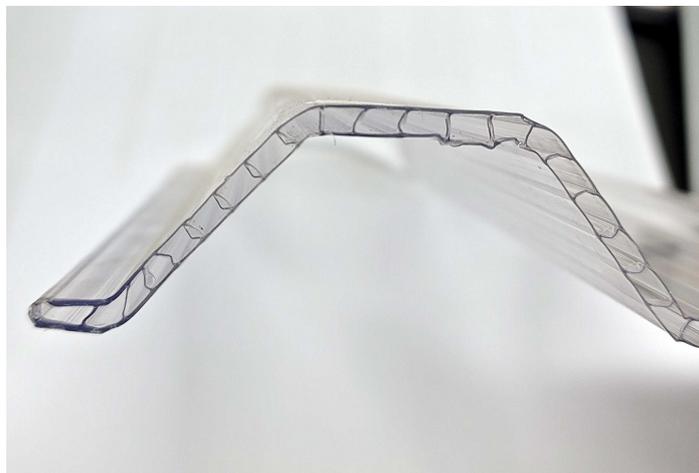
4) 사업화 제품에 대한 내화학 성능 가속 내구 시험 및 충격 시험 검증 계획

개발 목표 및 내용과는 별개로, 1단계 1~2차년도에 실제 축사환경을 모사해 개발 제품의 내후성/내화학성/하중시험 평가를 진행하려고 내후성/내화학성 신뢰성 평가용 목업과 하중시험용 목업을 제작한 바 있음. 내화학 성능에 대한 가속 내구 시험의 경우 4면이 개폐된 상황에서 복층골판 하부에서 암모니아 가스를 노출시키고, 동시에 광원을 조사시켜야함. 또한, 하중 시험의 경우, 겨울철 대비하여 적설량을 고려해 하중에 따른 변위값을 측정할 수 있는 프로그램 등이 필요함. 상기 서술한 내용을 바탕으로 각 시험에 필요한 부분을 확인하여 빠른 시일 내 제품 검증을 진행할 수 있도록 할 예정임.



5) 복층골판 내부 오염에 의한 문제점 해결 방안

복층골판 끝단이 뚫려있다면 내부로 오염물질이 유입되어 내광성 및 광투과도에 영향을 미친다는 점을 확인한 바 있음. 따라서 주관기업인 에스폴리텍은 복층골판 마감처리에 대해 해결책을 모색하였음. 열융착시켜 마감처리를 하거나, 실리콘, 핫멜트 등의 접착제를 이용하여 시트와 동일한 재질의 판과 본체의 정, 후면부가 결합하여 마감처리하는 방법 등 다양한 방법을 검토하였고, 아래 사진과 같이 lab scale로 열융착 방법으로 끝단 마감여부 테스트를 진행하였음. 해당 방법으로 진행하면 복층골판 끝단으로부터 오염물질이 유입되는 것을 방지할 수 있을 것으로 보고, 양산제품에 적용할 수 있도록 설비 제작이 필요하다고 판단하여 설비 제작을 검토중에 있음.



< 공동연구개발기관: 한국건설생활환경시험연구원 >

1) 국내 기상환경인자 분석

- 외부환경에 노출된 PC소재 및 구조물(복층소재 골판)은 다양한 환경인자의 영향으로 품질 및 성능이 저하를 유발하기 때문에, 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량 등의 기후인자 및 대기 오염인자를 포함한 환경인자를 측정하는 것이 매우 중요함
- 시험 지역 및 시험 시간대에 따라 시험 결과가 달라지므로, 특정한 조건을 갖춘 시험장이 필요하며, 이러한 조건을 만족하는 시험장으로는 기후변화가 적고 일사량이 큰 시험장을 선호함
- 전국의 축사 농가 환경은 대한민국 위도 약 37도 경도 약 126도에 위치하여 한반도 전역에 동일한 범위 내 위치하기 때문에 본 사업에서는 충남 서산시 지역을 기준으로 해당 지역에 구축된 옥외폭로시험장(대산읍 독곶리 일원) 웨더스테이션 시스템을 활용하여 2021년도 기후환경 및 일사량 데이터를 분석하였음



그림 2-31. 기상환경인자모니터링 시스템(서산 옥외폭로시험장)

- 자연 태양광에는 총 복사에너지 중 6.8%의 자외선이 포함되어 있으며, 이중 가장 단파장의 자외선은 295nm부터 포함되어 있음. 따라서, 태양 자외선에는 UVB 영역과 UVA 영역의 자외선이 함께 포함되어 있음
- 연중 자외선 광량은 하절기가 강하고 동절기가 약한 변화를 보여주고 있으며, 각도별 누적 광량은 21년도 37°, 22년도 45°에서 가장 많은 광량을 받고 있는 것을 확인할 수 있음, 다만 일반적으로 옥외노출시험은 일반적으로 해당국가의 위도에서 통상적으로 진행함
- 계절에 따른 일사량의 변화는 본질적으로 태양의 자전축과 고도가 변화하는 것에 의존하는 특성을 가지고 있음. 하지와 같은 하절기 때에는 태양이 지표 위에 떠 오르는 시간이 길고 고도가 높아 전반적으로 일사량이 증가하지만, 동지와 같은 동절기에 때에는 태양이

지표위에서 머무는 시간이 짧고 고도가 낮아 전반적으로 일사량이 짧아짐

- 일반적으로 하절기 동안에는 자외선 광량이 강함과 동시에 기온과 습도가 높고 강수량이 많아 PC 소재의 열화에 복합적인 촉진효과를 갖게 하는 효과가 높게 나타남
- 옥외폭로시험장이 설치된 지역 주변에는 다양한 유화사들이 위치하고 있으며, 최근 미국 지구 물리학회 저널((Journal of Geophysical Research)을 통한 보도기사에 따르면, 충남 서산시 지역은 세계 최악의 환경오염지역으로 전 세계 195개국 도시 이산화질소 농도를 추적한 결과 가장 급격하게 환경오염이 된 도시로 규명하고 있음
- 또한, 대산 석유화학단지 주변 벤젠농도가 전국 평균보다 2배 높다라고 언론기사가 보도가 나온 것으로 보아 대기오염이 매우 나쁜 것으로 판단됨

표 2-30. 2021년~2023년 총일사량, 자외선량 데이터 분석

2021년								
총일사량					자외선량			
월	5°	30°	37°	45°	5°	30°	37°	45°
1	359.700	398.480	386.802	272.411	11.847	11.090	12.487	9.437
2	485.787	521.844	514.043	386.841	16.745	15.453	17.529	13.405
3	565.448	570.126	577.217	502.829	21.885	19.510	22.602	18.514
4	638.612	610.073	632.541	610.320	26.671	23.228	27.243	23.354
5	580.638	527.135	558.426	597.109	26.775	22.656	27.063	24.662
6	589.950	527.857	564.237	623.928	28.690	23.900	28.838	27.014
7	649.024	582.381	620.752	678.523	32.440	26.988	32.524	30.222
8	521.982	481.158	506.043	527.002	26.248	22.025	26.394	23.941
9	510.338	500.767	512.063	469.053	23.893	20.740	20.458	20.458
10	518.006	542.543	540.061	431.451	20.711	18.554	21.290	16.841
11	392.359	427.155	418.479	304.723	13.647	12.429	14.183	10.927
12	335.723	374.606	363.477	249.504	10.569	9.761	11.094	8.478
합계	6,147.567	6,064.125	6,194.141	5,653.694	260.121	226.334	261.705	227.253
2022년								
총일사량					자외선량			
월	5°	30°	37°	45°	5°	30°	37°	45°
1	479.981	349.175	540.413	523.145	14.750	11.436	13.918	15.626
2	506.443	403.947	543.617	536.720	17.141	13.806	15.841	17.980
3	520.667	463.670	523.688	531.488	20.306	17.349	18.129	21.044
4	689.377	657.857	662.250	685.826	28.803	25.238	25.110	29.476
5	766.260	789.490	697.050	728.000	34.376	31.555	29.146	34.859
6	604.809	638.628	535.618	582.459	29.500	27.525	24.335	29.865
7	562.779	588.970	506.624	538.360	28.785	26.818	23.904	28.781
8	546.817	548.018	507.205	531.923	27.403	24.695	23.076	27.477
9	559.363	513.476	552.322	562.593	25.584	21.824	25.894	25.894

10	577.631	472.254	610.073	604.234	22.215	17.655	20.000	22.793
11	456.703	334.705	502.948	489.612	15.509	11.649	14.213	16.070
12	352.985	264.287	393.784	381.559	11.134	8.919	10.281	11.648
합계	6,623.815	6,024.477	6,575.592	6,695.919	275.506	238.469	243.847	281.513

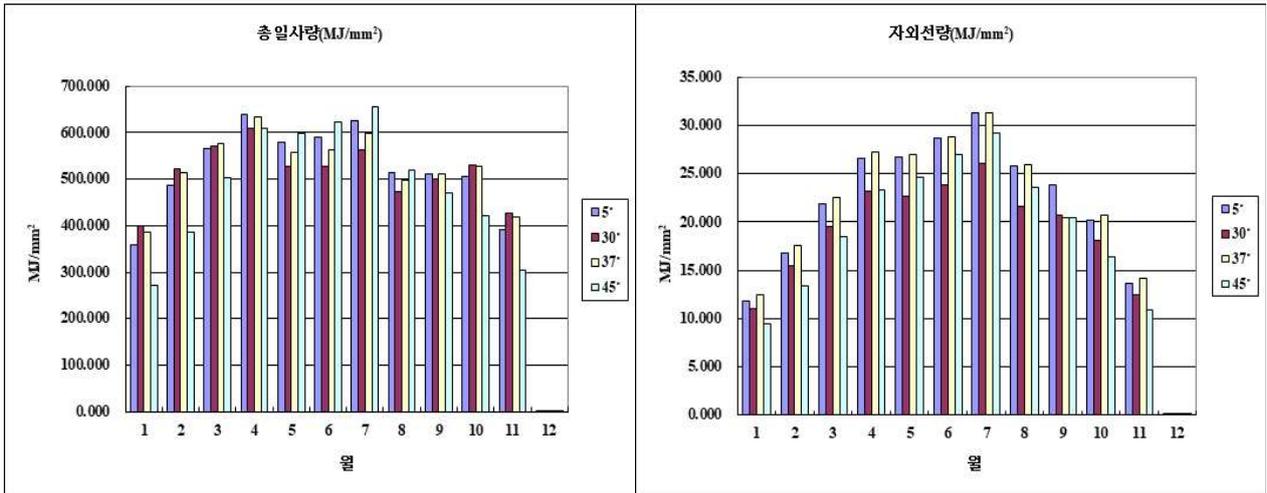
2023년

총일사량					자외선량			
월	5°	30°	37°	45°	5°	30°	37°	45°
1	428.406	481.608	466.037	315.872	13.210	12.377	13.900	10.258
2	502.110	538.917	531.174	400.220	16.843	15.356	17.443	13.337
3	623.161	629.984	635.655	547.547	23.499	20.686	23.936	19.453
4	579.719	552.808	573.165	556.300	24.499	21.057	24.787	21.400
5	629.734	572.829	605.613	649.677	29.012	24.208	29.109	26.589
6	618.329	549.912	588.160	657.986	30.404	24.921	30.335	28.619
7	508.521	457.512	485.779	533.045	26.244	21.530	26.139	24.524
8	582.254	557.179	584.033	603.155	29.700	24.900	29.820	26.853
9	166.760	162.300	167.260	158.770	7.781	6.665	6.754	6.754
10	N/A	N/A	#N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
합계	4,638.994	4,503.049	4,636.876	4,422.572	201.192	171.7	202.223	177.787

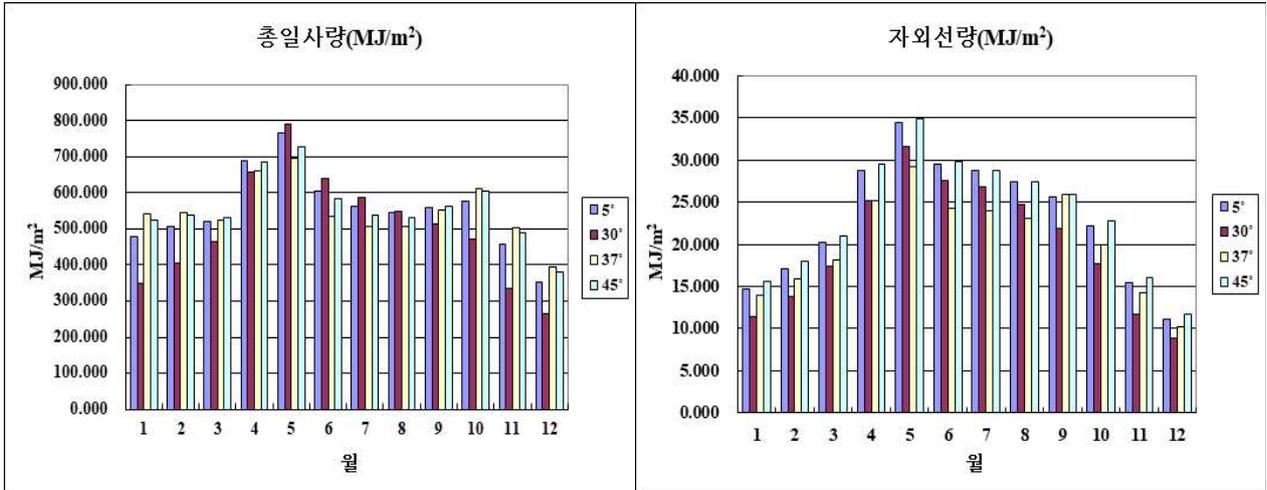
※ 12월 누적 광량은 매달 1일 기준으로 데이터를 획득한 것으로, 월간 데이터가 미 포함 되어 있음

※ 2023년의 경우 9월 14일 기준으로 누적 광량 데이터 수집

2021년



2022년



2023년

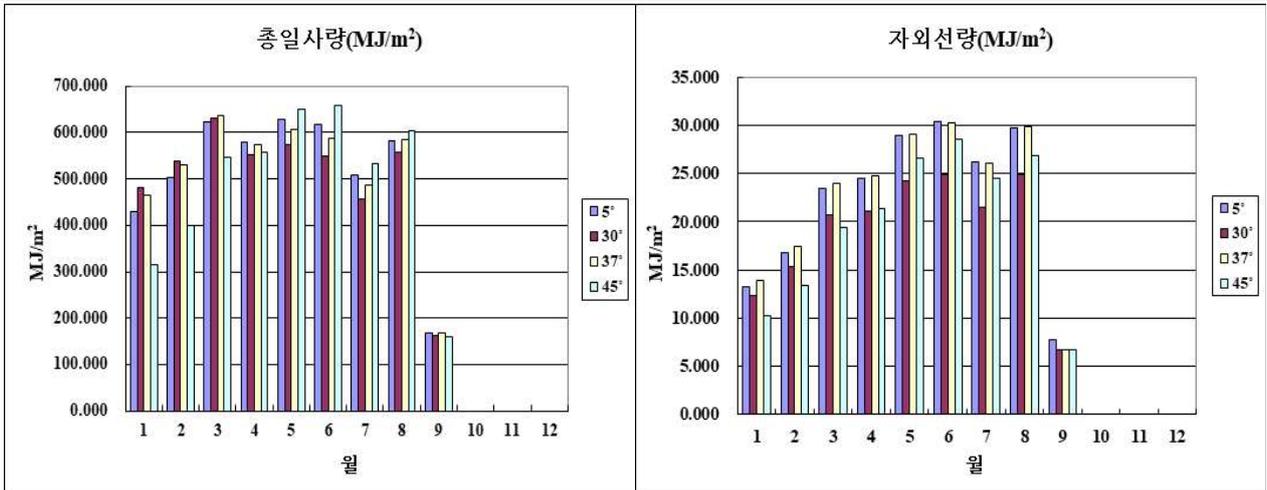
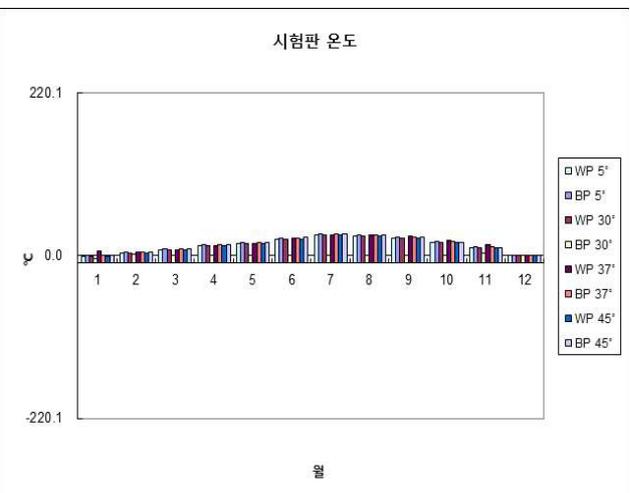
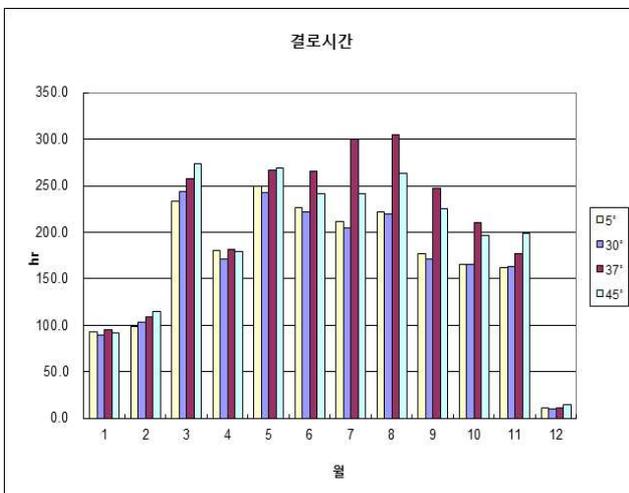
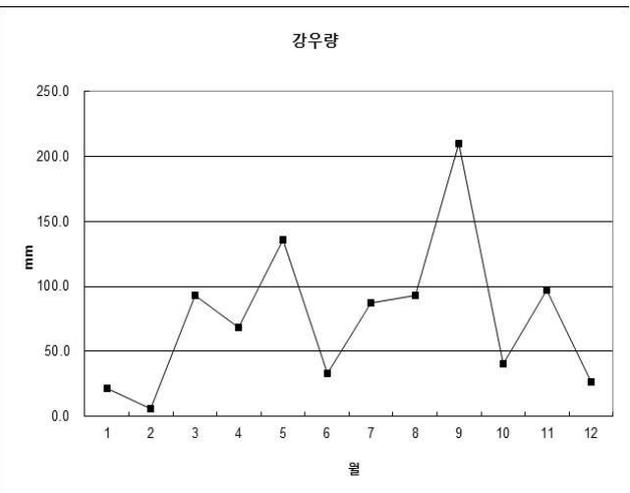
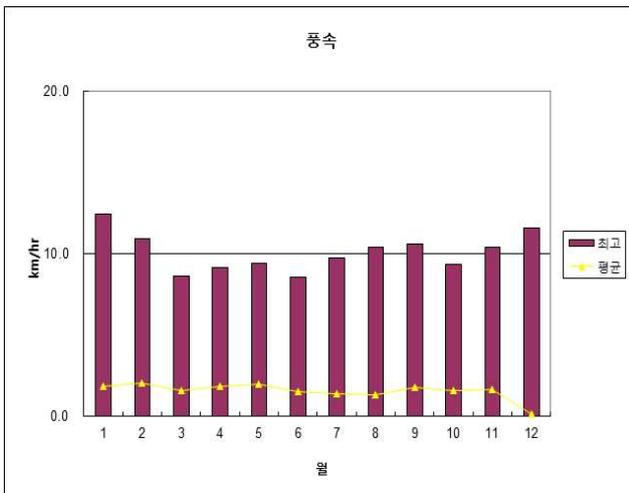
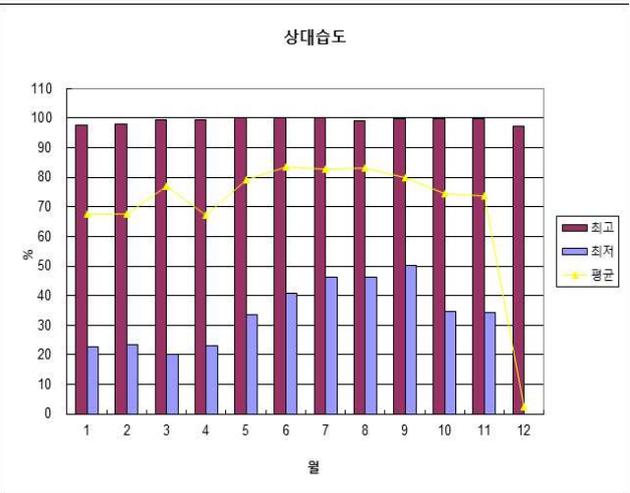
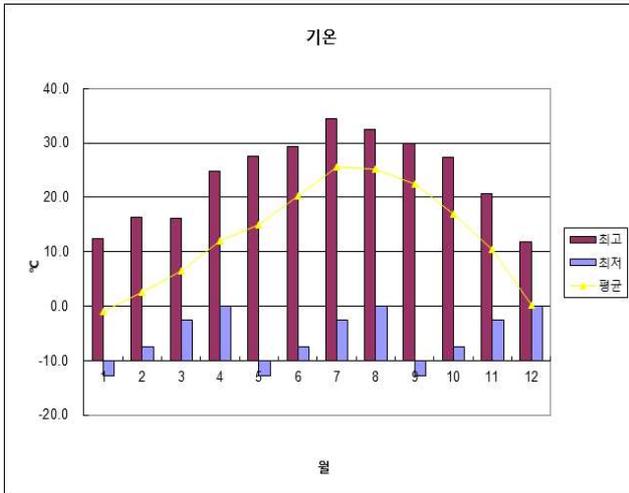


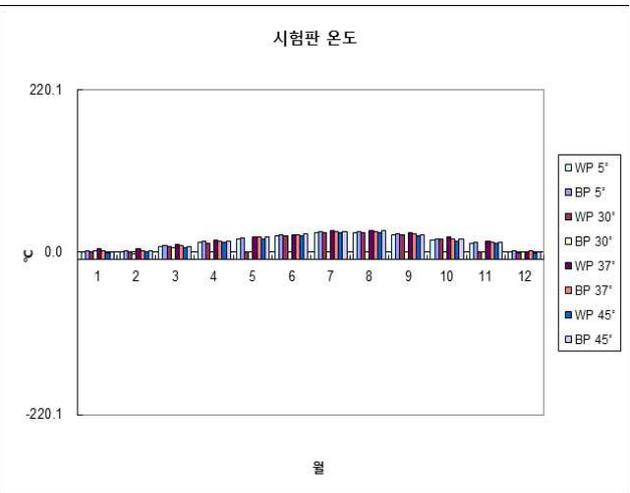
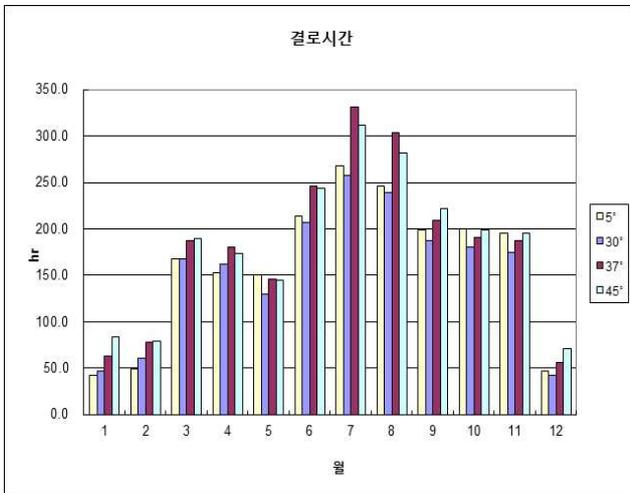
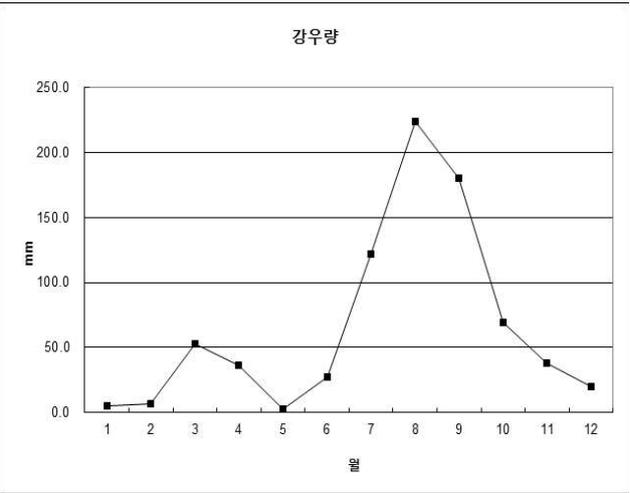
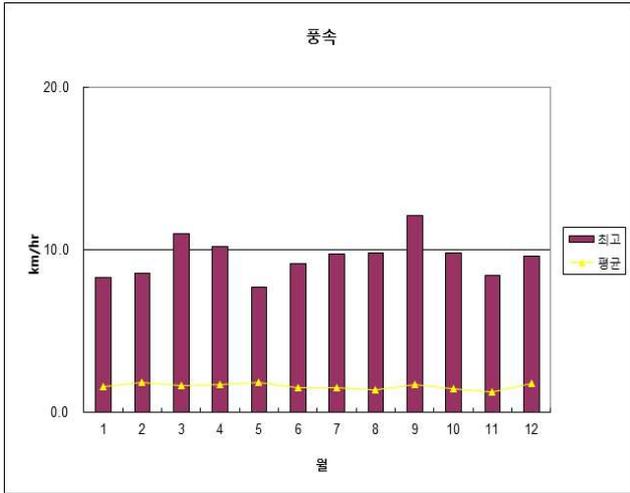
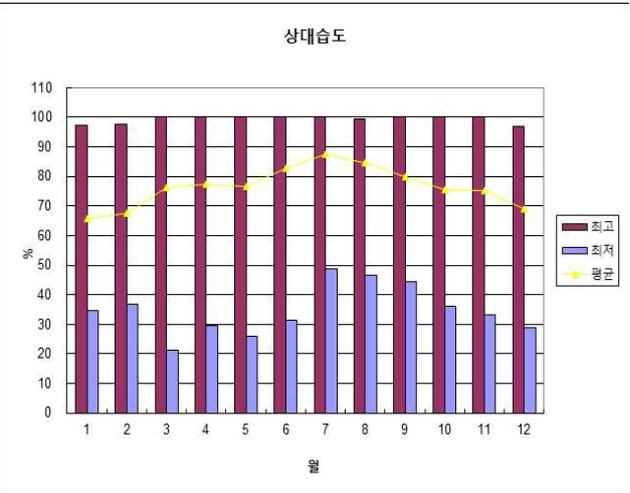
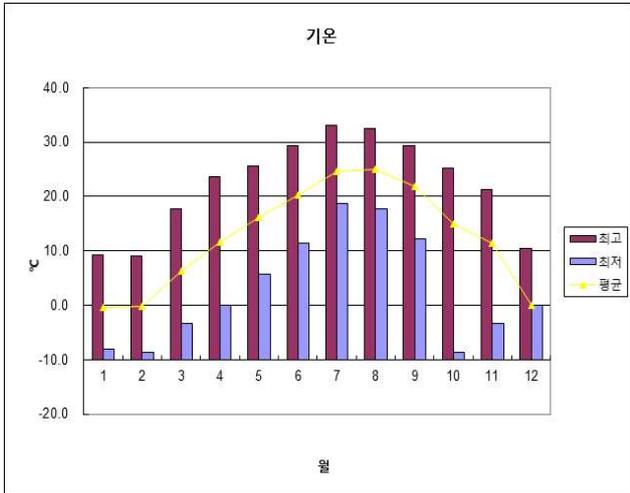
그림 2-32. 2021년~2023년 총일사량, 자외선량 데이터 분석

- 보통 소재의 열 열화가 기인하게 되는 시작 온도가 48℃ 이상으로 보고되어 있으나, 서산에서는 21년도부터 23년도까지 측정된 최고 온도가 34.4도로 열에 의한 스트레스는 없는 것으로 보임
- 또한, 21년도부터 23년도까지 측정된 습도의 경우 평균적으로 71 ~ 77 % 범위로 사막기 후지역에 비해 습도가 높고, 공업기후지역으로 인도 체나이와 유사한 기후조건을 보임

2021년



2022년



2023년

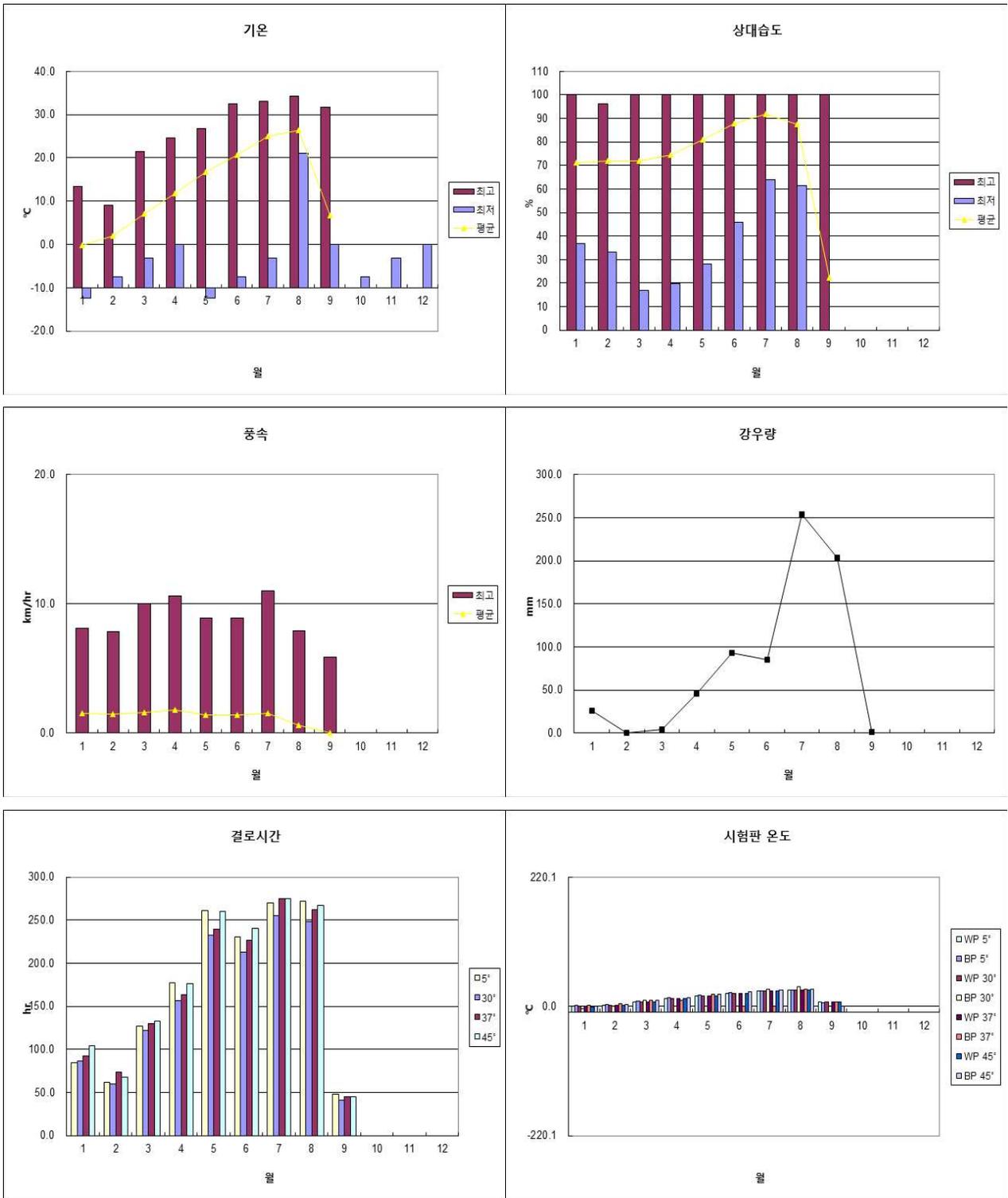


그림 2-33. 2021년~2023년 기후데이터 분석(온도, 습도, 풍속, 강우량, 결로시간, 시험판온도)

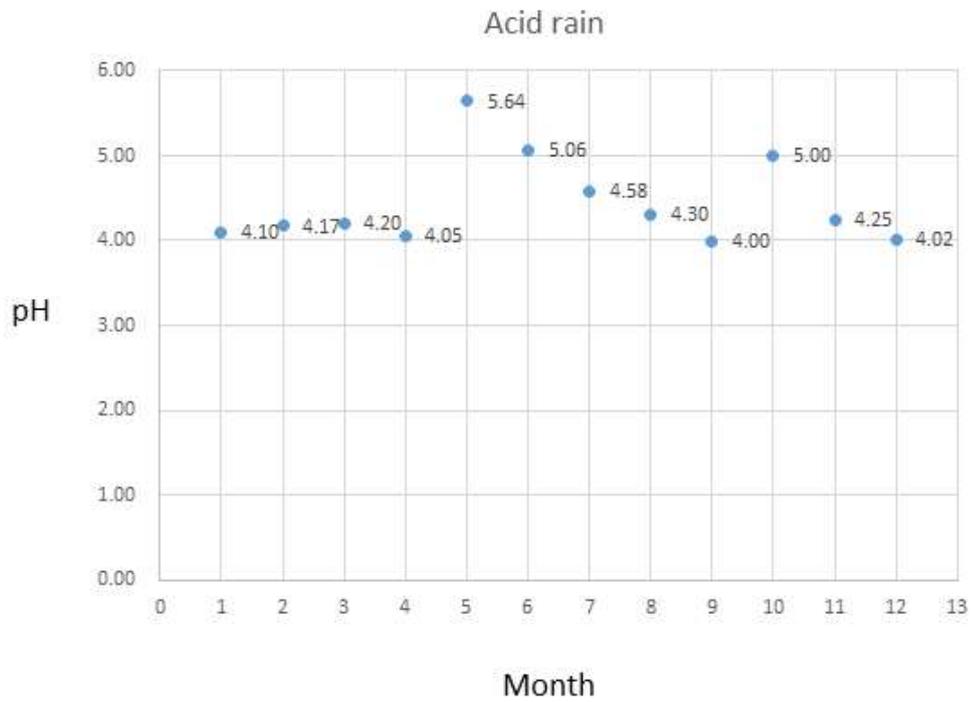
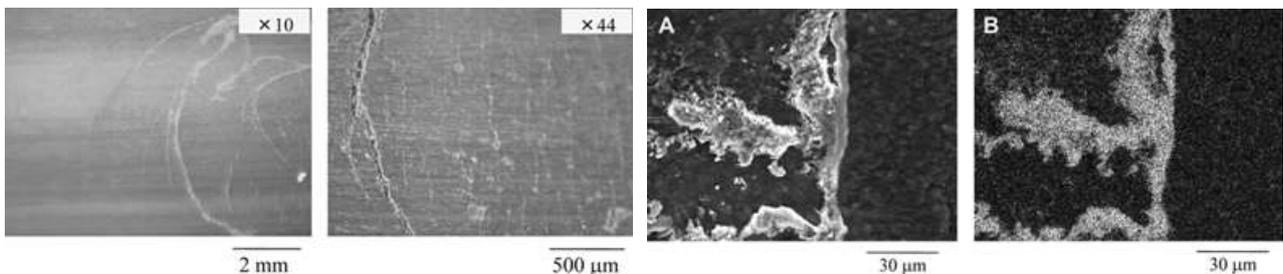


그림 2-34. 산성비 pH 분석 ('21년)

- 이러한 영향으로 서산 대산지역의 강우에 따른 pH 농도를 분석한 결과 1월부터 12월까지 pH농도가 4.0 이상 지속적인 유지한 것을 확인하였음
- 특히 pH가 4.5 이상일 경우 광 분해 메커니즘에서 hydroperoxide 분해 과정을 도와 주며, 산성비 안에 산성 성분은 crystalline part 내 충분히 확산할 수 있게 되기 때문에 옥외에 노출할 경우 광 스트레스와 더불어 플라스틱 소재의 큰 영향을 줄 수 있음



(a) 산성비 영향 전 표면 (b) 산성비 영향 후 표면(white region)

그림 2-35. 산성비 Dropping test SEM 촬영

2) 폴리카보네이트 소재의 선행 연구 조사

- 본 연구에서 사용되는 복층골판 소재인 폴리카보네이트는 비스페놀 A가 카보네이트와의 결합으로 이어져서 만들어진 열가소성 플라스틱으로 가시광선에 높은 투과율을 가지고 있으며, 분자량에 따라 유리전이온도가 145 ~ 150°C로 높은 내열성과 강성으로 엔지니어링 플라스틱으로 분류됨

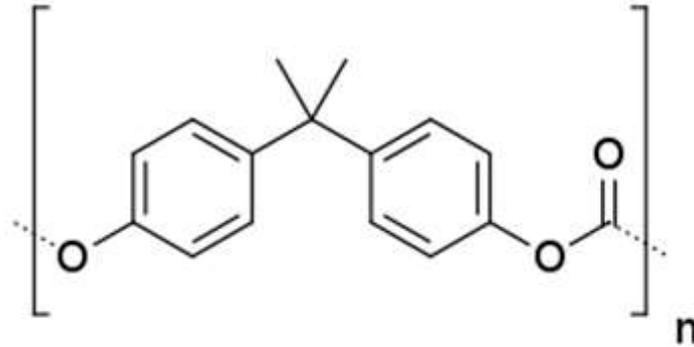


그림 2-36. 폴리카보네이트 화학구조식

- 폴리카보네이트는 광분해의 근간이 되는 Photo-Fries rearrangement와 Photo-oxidation 두 가지 메카니즘으로 구분할 수 있으나, 이 메카니즘은 조사 파장에 따라 달라지며, Photo-Fries rearrangement 반응은 파장이 300nm 보다 짧은 빛이 사용될 때 발생할 가능성이 높으며, 더 긴 파장의 빛이 사용될 때는 Photo-oxidation이 더 중요함
- 폴리카보네이트는 300nm 보다 짧은 파장을 흡수하기 때문에 Photo-Fries rearrangement 로만 발생할 수 있으나, 태양광에 노출하면 가장 눈에 띄는 것이 광분해 반응임

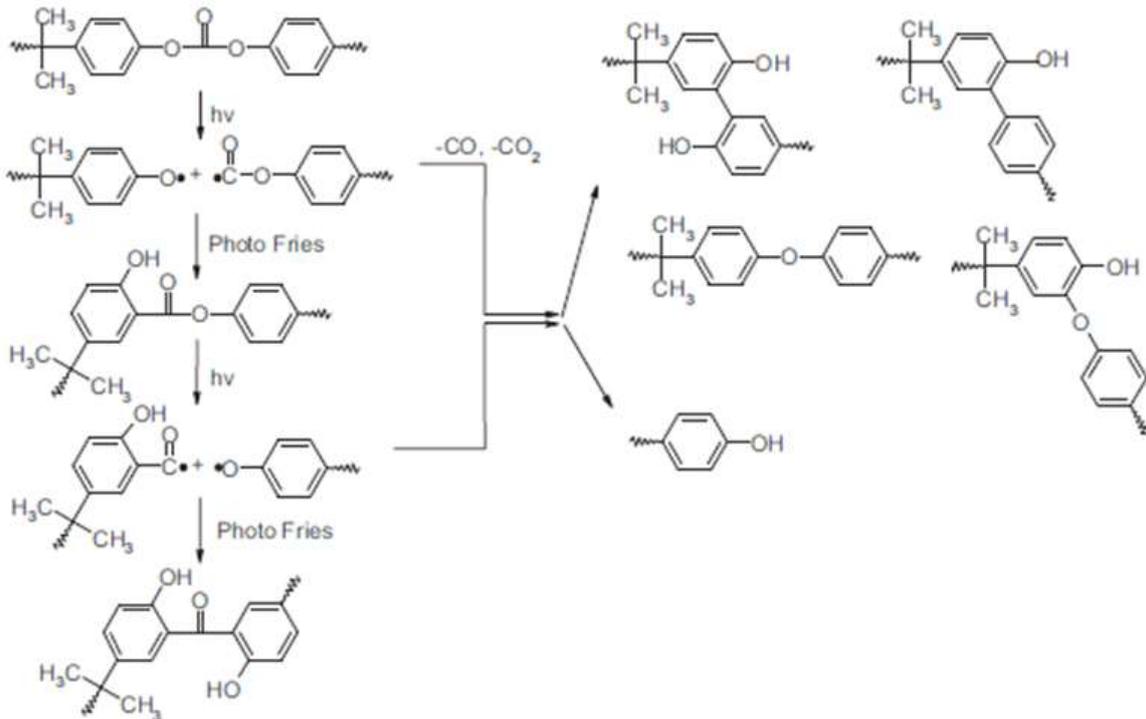


그림 2-37. 폴리카보네이트 Photo-Fries rearrangement

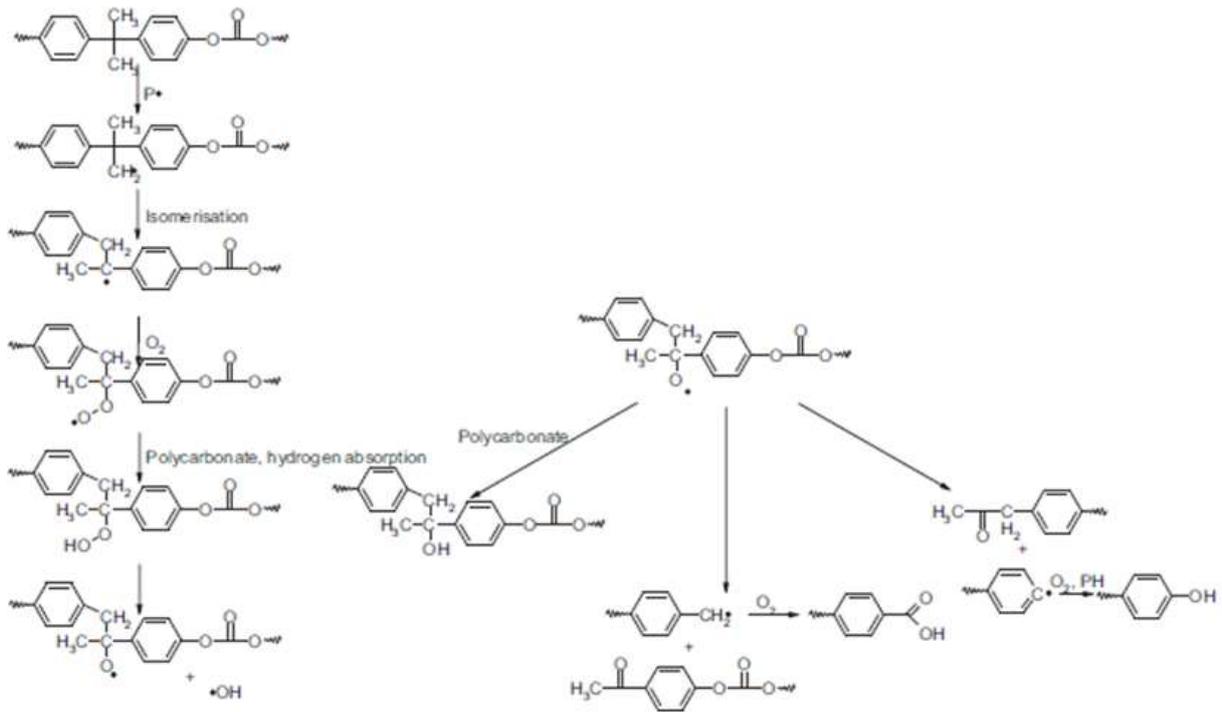


그림 2-38. 폴리카보네이트 광산화 반응 메커니즘

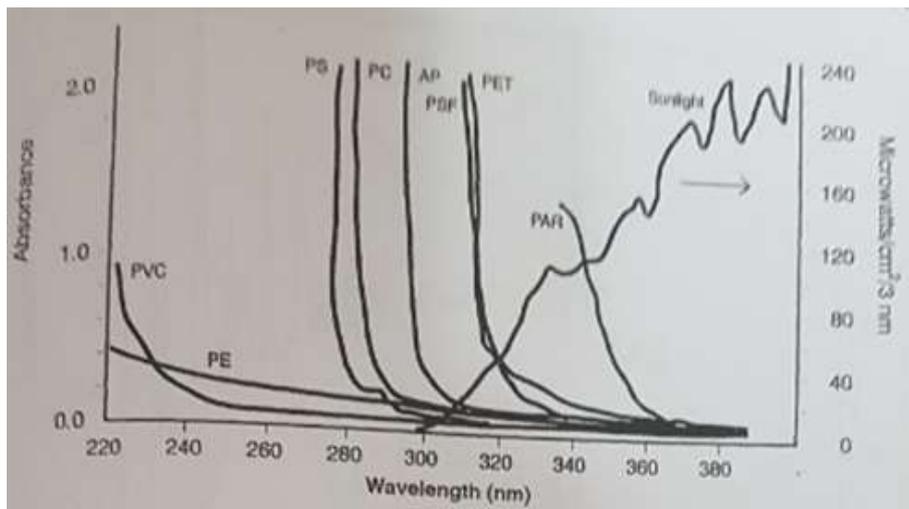


그림 2-39. 자외선 흡수 스펙트럼

Ref. Degradation of PC on outdoor exposure. Relationship between changes in molecular weight and tensile properties, *Materials constructions*, Vol 10, p197-204.

- 폴리카보네이트 소재의 열화가 일어나기 위해서는 분자에 의하여 흡수되는 에너지가 분자 간의 결합에너지보다 강해야 하며, 단파장이 높은 에너지를 가지고 있기 때문에 자외선이 태양광 중에서 가장 중요한 부분임
- 단파장의 복사가 장파장의 복사에 비하여 소재의 화학적 성질에 영향을 주는 에너지를 더 많이 포함하고 있기 때문에 소재의 화학적 성분의 분광에 대한 민감도에 대한 정보를 확보해야 하며, 이것은 내후성 시험설계에 있어 가장 중요한 핵심이며, 본 연구에서도 이러한 소재의 서로 다른 파장에 있어서 에너지 수준을 통해 시험조건 및 설계에 반영하였음.

3) 소재 데이터 분석(원소재 및 고품)

○ 측사용 채광창에 실제 환경에서 약 3년 정도 사용된 고품을 하였으며, 고장원인 분석은 샘플 표면을 육안으로 확인이 가능한 정도(표면균열, 황변)였으며, 표면분석(SEM/EDS) 및 FT-IR/ATR법을 통하여 고분자 구조 분석을 진행하였음

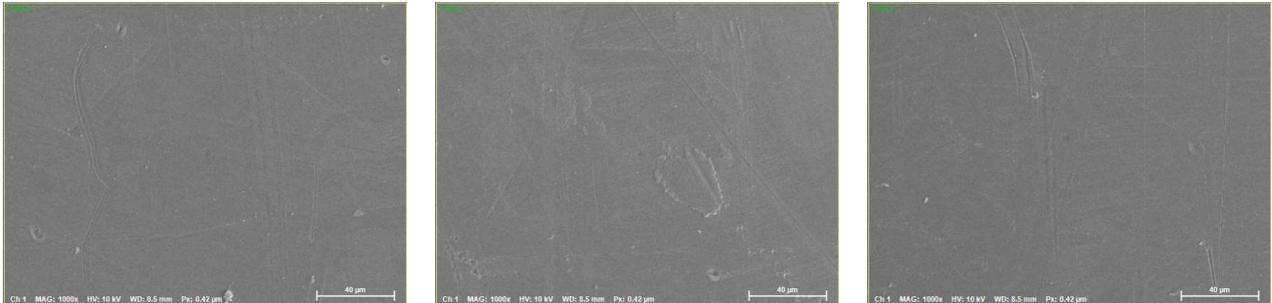


그림 2-40. SEM 측정 결과 (초기)

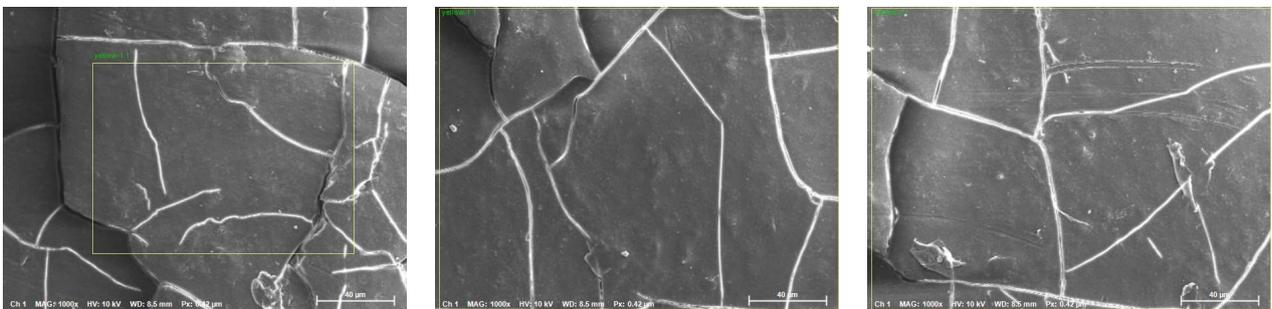


그림 2-41. SEM 측정 결과 (3년)

clear-21

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	79.78	79.78	83.94	26.02
N	7	0.78	0.78	0.71	0.82
O	8	19.43	19.43	15.35	7.41
		100.00	100.00	100.00	

yellow-11

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	69.26	69.26	74.95	22.80
N	7	0.65	0.65	0.60	0.70
O	8	30.10	30.10	24.45	10.90
		100.00	100.00	100.00	

clear-21

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	79.99	79.99	84.10	26.09
N	7	0.87	0.87	0.79	0.87
O	8	19.14	19.14	15.11	7.31
		100.00	100.00	100.00	

yellow-11

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	69.15	69.15	74.85	22.77
N	7	0.63	0.63	0.59	0.70
O	8	30.22	30.22	24.56	10.93
		100.00	100.00	100.00	

clear-21

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	79.55	79.55	83.73	25.95
N	7	0.95	0.95	0.86	0.92
O	8	19.50	19.50	15.41	7.43
		100.00	100.00	100.00	

yellow-11

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	68.99	68.99	74.73	22.73
N	7	0.47	0.47	0.44	0.59
O	8	30.53	30.53	24.83	11.04
		100.00	100.00	100.00	

그림 2-42. EDS 측정 결과

- 초기와 3년 이상된 고품의 시료 표면을 $\times 1,000$ 배율에서 확인한 결과 초기 샘플에 비해 미세균열들이 촘촘히 생성되는 것을 확인할 수 있었음
- 매우 좁은($0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$) 초기 균열들이 다양한 방향으로 천천히 전파되고 교차하여 네트워크를 형성하고, 비교적 얇은 균열의 네트워크는 삼각형이나, 4면 다각형 모양의 균열을 형성함(보통 폴리카보네이트에서 전형적으로 일어나는 균열 모양임)

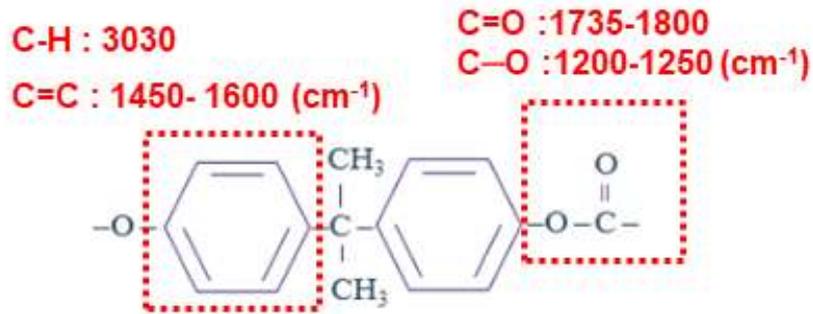


그림 2-43. 열화에 의한 폴리카보네이트 화학구조 변화

- 36개월 이상 지속적으로 열화를 시킬 경우 균열의 깊이 및 균열의 밀도는 증가할 것으로 예상되며, 기계적인 물성의 경우 신율은 대부분 네킹 이후 바로 파괴가 될 것으로 사료됨
- ATR을 통한 구조분석을 진행한 결과 열화에 의해 에스테르 결합으로 인해 알칼리 분위기에서 가수분해가 쉽게 일어나며, $2,000 \sim 7,000\text{cm}^{-1}$ 에서 carboxylic acids에 의한 rearrangement의 구조변화가 일어난 것으로 판단됨

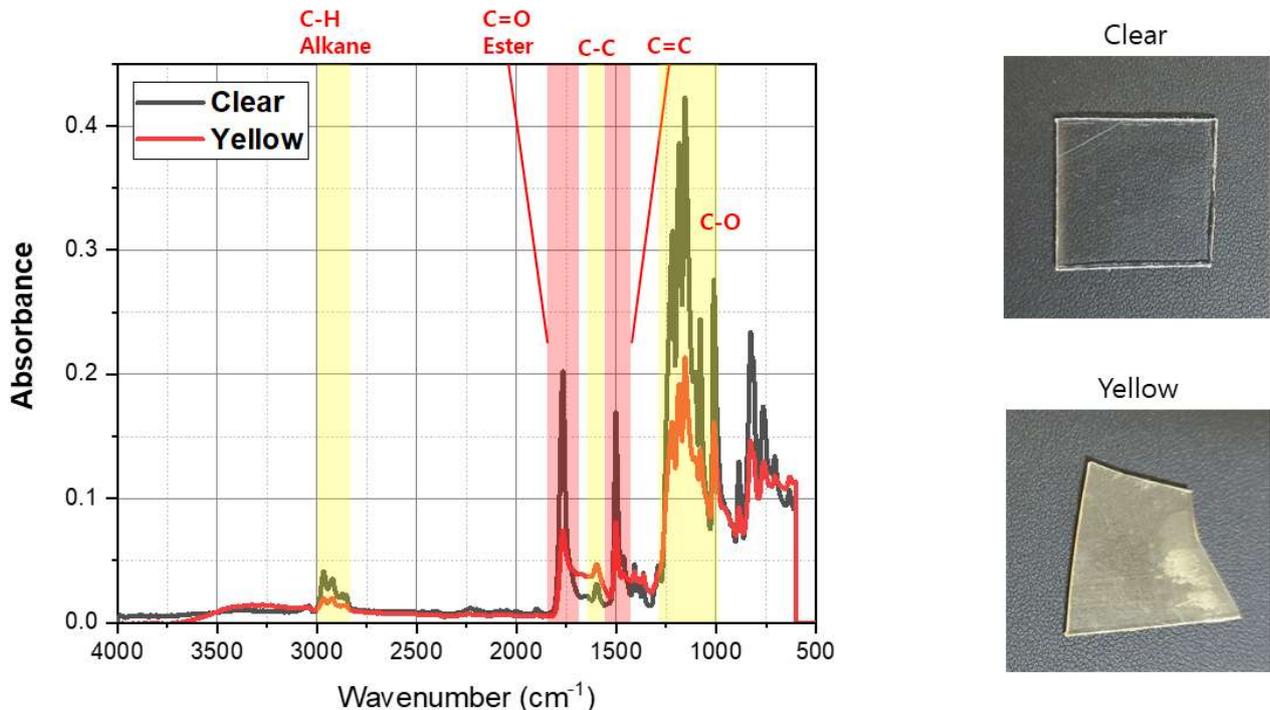


그림 2-44. FT-IR/ATR 측정 결과

- 보통 열화과정에 의해 bisphenol A가 검출되며, 이는 PC 원료로 가수분해 되어 저분자화 되면서 생성된 것으로 관찰됨

- 가수분해는 물과 에스테르(-COO-)나 아미드(-CONH-)기와 같은 극성(친수성)을 가진 물질과의 화학반응을 의미하며, 가수분해에 의해 사슬의 절단이나 분자량 감소 현상을 나타내며, -COOH, HSO₃, -NH₂, -OH기 등이 분자쇄에 존재하면 수분을 흡착하기 쉽고 에테르결합(-O-), 에스테르결합(-COO-), 아미드결합(-CONH-)에서는 흡수성 뿐만 아니라 가수분해를 일으키기 쉽게 됨
- 가수분해 속도는 산이나 염기상태에서 증가하며, 특히 알칼리성 수용액에서 빠르게 진행됨 엔지니어링 플라스틱인 폴리카보네이트는 장기간 사용에 따른 공기 중의 수분을 흡착해 가수분해를 일으키게 되는 원인이 되기 때문에 원료 보관에 주의가 필요함
- 보통 300℃ 전후의 고온 조건 하에서는 미량의 수분에 의해서도 가수분해가 일어나며, 실온의 조건하에서도 주쇄구조가 에스테르 결합이기 때문에 비교적 높은 습도 조건하에서는 가수분해를 일으킴

4) 내후성 시험방법 설계 및 결정

내후성 시험방법	관련 표준	시료
옥외폭로시험	KS D 0060	1,2차년도 개발품 1, 개발품 2, 기존 시료
실내촉진시험	ASTM G 155 / KS M ISO 4892-2 : Xenon-arc lamp	1,2차년도 개발품 1, 개발품 2, 기존 시료
Mock-up 시험	서산(Field) : KS D 0060 기후환경챔버(Lab) : 자체 조건 진천(Field) : KS D 0060	1,2차년도 개발품 1, 개발품 2, 기존 시료
옥외촉진시험	ISO/TS 21488	3차년도 시료(2차년도 #1 단층구조_N#1)
분광노화시험	ISO/DIS 21475	3차년도 시료(2차년도 #1 단층구조_N#1)

가) 옥외폭로시험

- 본 시험은 자연 태양광을 직접 활용하기 때문에 현실모사가 가능하며, 열화에 필요한 촉진성이 낮고 계절에 따른 자외선 광량의 변화 때문에 장시간 시험기간이 필요함
- 계절에 따른 광량 및 기온의 변화 때문에 통산 1년 단위 시험을 수행하는 것이 일반적이며, 보통 장기간 시험을 통한 소재의 열화 거동을 파악하는 것이 매우 중요함
- 내후성 시험은 특성상 시간 소모성이 많은 시험방법으로 실제 환경에 노출하여 열화 과정을 모니터링하여 촉진시험과의 correlation을 통해 수명을 예측하는 실증 연구이며, 기초 과학연구 분야로써 데이터 축적 기간이 장시간 소요되는 분야이기 때문에 본 과제 업무 수행 3년 동안 지속적인 데이터를 확보하였음
- 시료는 기존, 개발품 1, 개발품 2로 총 13주기(30 MJ ~ 570 MJ)를 확보하여 황변도와 기타 물성 변화를 측정하였음

시험항목	평가주기 (MJ/m ²)	측정 횟수	반복수	측정 시료수	여유분 ²⁾ (MJ/cm ²)	1종당 시편수	폭로개시일
황색도 (Yellow Index)	초기, 30, 60, 90, 120, 150, 210, 240, 270, 330, 360, 390, 470, 570	19	2	38	2	40	2021.07.05 ~ 2023.09.22



그림 2-45. 옥외폭로시험 - 서산 site

나) 실내축진시험

- 옥외폭로시험은 실사용 조건과 유사한 조건에서 제품의 내후성을 확인할 수 있다는 점에서 이상적인 방법이지만 시험 결과를 얻기까지 비용과 시간이 많이 소요됨
- 실내축진시험은 원하는 기후 조건과 광원의 스펙트럼 모사가 가능하고 옥외폭로시험보다 단기간 결과를 얻어낼 수 있음
- ASTM G155에 준하여 KS M ISO 4892-2방법에 의해 제논 아크 광원에 의한 노출 시험 방법 조건으로 진행하였음
- 시험 결과로 기존 시료와 복층구조의 개발품 1, 개발품 2을 3년 동안 지속적인 데이터를 확보하였고 3차년도에는 단층구조의 개발품 1의 데이터를 확보하였음
- 시료는 기존, 복층구조 개발품 1, 개발품 2는 총 19주기(30 MJ ~ 900 MJ)를 3차년도 단층구조의 개발품 1은 총 7주기(30 MJ ~ 240 MJ)를 확보하여 황변도와 기타 물성 변화를 측정하였음

시험조건	상세사항
분광조도	(290 ~ 800) nm
필터 조건	Boro/Boro
방사조도	550 W/m ²
블랙패널온도	(63 ± 3) °C
상대습도	(50±5) %R.H.
물 분무 사이클	102분 조사 후 18분 조사 및 물 분무
조사 시간	4,000 시간



그림 2-46. 실내축진시험(Xe) - 진천 site

다) Mock-up 시험

- 3종류 시험편을 연결하여 루프 위에 설치하였으며, 육안평가를 통한 황변의 정도 유무 및 내오염성등을 파악하기 위함을 목적으로 함. (목업시험 - '21.09.14 개시)



(a) Field scale - 서산 site (b) Field scale - 진천 site (c) Lab scale

그림 2-47. Mock-up 시험

라) 옥외축진시험

- 현재 본 과제를 통해 서산 site에서 진천 site로 4세대 장비 1대 이전 완료('21.09.14).
- 그림 2-42(a)에 나와 있는 옥외축진장비는 2세대 장비로 시험방법론적으로는 동일하며 장치적으로 간소화되어 구조변경하였으며, 업그레이드된 4세대 장비는 진천 site로 이전 완료하여 22년 4월부터 주관기관에서 제공한 시료로 시험을 수행하였음
- 4세대 장비는 가로 3m × 세로 2m × 높이 1.6m로 구성된 장비로 일사계(자외선, 총일사량), BPT(Black panel temperature), WPT(White panel temperature), 표면온도센서(4ch), 인공광원램프(UV-A 340) 10개로 구성되어 있음
- 본 시험방법은 가속계수가 약 3배(광량 기준)로 필드 1년 데이터를 4개월로 가늠할 수 있으며, 본 사업 기간 동안에 MTBF, MTTF, B 수명 등을 예측 할 것으로 기대
- 본 사업에서 가장 중요한 데이터가 될 것으로 예상
- 옥외폭로시험 특성상 그라운드가 잔디여야 하며, 지열 및 산란광등에 대한 영향을 최소화

고자 진천 기후환경실증센터 2층에 옥상녹화시스템을 구축하여 옥외폭로 및 옥외축진시험을 직접화하여 수행하고자 함

- 옥외축진시험방법은 내후성에서 가장 중요 요소인 광 스트레스를 주간 뿐만 아니라 야간에도 지속적으로 스트레스를 줌으로써 광 열화를 배가한다는데 목적이 있으며, 실제 옥외 환경에서 축진시키기 때문에 환경모사성에서도 우수하다고 판단됨



(a) 서산 site(2세대)



(b) 진천 site 구축(4세대)

그림 2-48. 옥외축진시험

마) 분광노화시험

- 플라스틱은 장기간 태양복사(파장을 결정하는 자외선 및 가시광선 등)에 노출됨에 따라 성능이 저하되며 폴리카보네이트 소재가 어느 특정 스펙트럼에서 광학 및 기계적 물성이 저하되는지 매우 중요한 사항임
- 분광노화시험기(Spectral Radiation Tester)는 반사경 내장형 Xenon Short Arc Lamp 광원으로 제논광을 분광하여 고분해능으로 강한 에너지를 시료에 조사함
- 본 사업에서는 UV 파장 범위에서 개발소재의 열화현상을 확인하였음
- 시료는 단층 구조의 개발품 1로 총 ##주기(MJ ~ MJ)을 확보하여 내부적으로 황변도를 확인하였음



그림 2-49. 분광노화시험기

5) 데이터 결과

가) 옥외폭로시험 데이터 결과(황변도) : Initial, 30MJ/m², 60MJ/m², 90MJ/m² ~ ~570MJ/m²

□ 황변 - After 30 MJ/m²

시험일	21.07.30								
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	3.950	-	4.180	
	1	48.800	50.240	57.060	YI				
	2	48.810	50.250	57.070					
	3	48.800	50.250	57.050	3.950	(0.2300)	(0.23)		
	평균	48.803	50.247	57.060					
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	4.598	-	4.036	0.04
	1	48.710	50.120	56.660	YI				
	2	48.720	50.130	56.660					
	3	48.720	50.140	56.640	4.598	0.5615	0.56		
	평균	48.717	50.130	56.653					
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	4.166	-	4.373	
	1	48.650	50.080	56.780	YI				
	2	48.660	50.090	56.790					
	3	48.660	50.090	56.790	4.166	(0.2067)	(0.21)		
	평균	48.657	50.087	56.787					
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	5.154	-	4.650	
	1	55.730	57.370	64.510	YI				
	2	55.730	57.370	64.510					
	3	55.720	57.350	64.490	5.154	0.5045	0.50		
	평균	55.727	57.363	64.503					
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	6.021	-	5.316	0.71
	1	53.810	55.380	61.830	YI				
	2	53.810	55.370	61.830					
	3	53.820	55.380	61.850	6.021	0.7050	0.70		
	평균	53.813	55.377	61.837					
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	5.102	-	4.187	
	1	51.180	52.670	59.260	YI				
	2	51.180	52.670	59.270					
	3	51.170	52.660	59.260	5.102	0.9151	0.92		
	평균	51.177	52.667	59.263					
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	2.534	-	1.893	
	1	84.920	87.390	100.440	YI				
	2	84.930	87.390	100.480					
	3	84.920	87.390	100.460	2.534	0.6409	0.64		
	평균	84.923	87.390	100.460					
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	2.894	-	2.115	0.67
	1	83.340	85.750	98.290	YI				
	2	83.350	85.750	98.310					
	3	83.340	85.750	98.300	2.894	0.7785	0.78		
	평균	83.343	85.750	98.300					
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	2.736	-	2.131	
	1	84.150	86.590	99.380	YI				
	2	84.150	86.580	99.380					
	3	84.150	86.580	99.380	2.736	0.6053	0.61		
	평균	84.150	86.583	99.380					

□ 황변 - After 60 MJ/m2

시험일	2021.09.10								
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	4.999	-	4.180	
	1	49.550	51.000	57.440	YI				
	2	49.560	51.000	57.440					
	3	49.560	51.000	57.430					
	평균	49.557	51.000	57.437					
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			<u>0.93</u>
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	4.980	-	4.036	
	1	50.820	52.290	58.930	YI				
	2	50.810	52.290	58.890					
	3	50.820	52.290	58.900					
	평균	50.817	52.290	58.907					4.980
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	5.385	-	4.373	
	1	49.050	50.460	56.670	YI				
	2	49.050	50.460	56.670					
	3	49.050	50.460	56.660					
	평균	49.050	50.460	56.667					5.385
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			황변도 (ΔYI)
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	5.777	-	4.650	
	1	56.170	57.860	64.670	YI				
	2	56.160	57.860	64.670					
	3	56.160	57.850	64.660					
	평균	56.163	57.857	64.667					5.777
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			<u>1.15</u>
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	6.119	-	5.316	
	1	54.820	56.430	62.880	YI				
	2	55.050	56.680	63.230					
	3	55.060	56.680	63.250					
	평균	54.977	56.597	63.120					6.119
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	5.722	-	4.187	
	1	51.220	52.740	59.000	YI				
	2	51.210	52.730	58.990					
	3	51.220	52.740	59.010					
	평균	51.217	52.737	59.000					5.722
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			황변도 (ΔYI)
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	3.062	-	1.893	
	1	85.930	88.450	101.210	YI				
	2	85.880	88.390	101.150					
	3	85.870	88.380	101.140					
	평균	85.893	88.407	101.167					3.062
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			<u>1.18</u>
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	3.313	-	2.115	
	1	83.870	86.310	98.590	YI				
	2	83.880	86.320	98.600					
	3	83.870	86.310	98.560					
	평균	83.873	86.313	98.583					3.313
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	3.290	-	2.131	
	1	84.840	87.320	99.740	YI				
	2	84.850	87.340	99.750					
	3	84.860	87.340	99.760					
	평균	84.850	87.333	99.750					3.290

□ 황변 - After 90 MJ/m2

시험일	2021.10.14							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI}{YI} = \frac{YI - YI_0}{YI} = \frac{100 * (1.28X - 1.06Z)}{Y}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	5.297	-	4.180
	1	48.950	50.370	56.600	YI			
	2	48.960	50.380	56.600	5.297	1.1173	1.12	
	3	48.960	50.380	56.600				
	평균	48.957	50.377	56.600				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	5.348	-	4.036
	1	49.640	51.080	57.370	YI			
	2	49.650	51.080	57.380	5.348	1.3120	1.31	
	3	49.650	51.090	57.370				
	평균	49.647	51.083	57.373				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	5.510	-	4.373
	1	48.650	50.060	56.140	YI			
	2	48.660	50.060	56.160	5.510	1.1373	1.14	
	3	48.670	50.080	56.170				
	평균	48.660	50.067	56.157				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	6.299	-	4.650
	1	55.730	57.410	63.890	YI			
	2	55.740	57.420	63.890	6.299	1.6491	1.65	
	3	55.750	57.430	63.910				
	평균	55.740	57.420	63.897				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	6.571	-	5.316
	1	54.280	55.910	62.090	YI			
	2	54.280	55.910	62.080	6.571	1.2555	1.26	
	3	54.290	55.920	62.080				
	평균	54.283	55.913	62.083				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	6.297	-	4.187
	1	50.470	51.990	57.860	YI			
	2	50.470	51.990	57.860	6.297	2.1107	2.11	
	3	50.480	52.000	57.860				
	평균	50.473	51.993	57.860				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	3.296	-	1.893
	1	85.090	87.600	100.030	YI			
	2	85.090	87.600	100.040	3.296	1.4029	1.40	
	3	85.090	87.590	100.010				
	평균	85.090	87.597	100.027				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	3.480	-	2.115
	1	83.580	86.030	98.090	YI			
	2	83.590	86.040	98.120	3.480	1.3649	1.36	
	3	83.590	86.040	98.120				
	평균	83.587	86.037	98.110				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	3.349	-	2.131
	1	84.390	86.880	99.160	YI			
	2	84.400	86.890	99.180	3.349	1.2176	1.22	
	3	84.430	86.910	99.200				
	평균	84.407	86.893	99.180				

□ 황변 - After 120 MJ/m2

시험일	2021.12.16							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	5.655	-	4.180
	1	47.100	48.460	54.290	YI			
	2	47.130	48.490	54.320				
	3	47.130	48.490	54.330	5.655	1.4750	1.47	
	평균	47.120	48.480	54.313				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	6.034	-	4.036
	1	48.770	50.160	56.040	YI			
	2	48.770	50.160	56.040				
	3	48.770	50.160	56.030	6.034	1.9980	2.00	
	평균	48.770	50.160	56.037				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	5.969	-	4.373
	1	47.670	49.040	54.810	YI			
	2	47.680	49.040	54.810				
	3	47.680	49.050	54.810	5.969	1.5965	1.60	
	평균	47.677	49.043	54.810				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	7.010	-	4.650
	1	54.050	55.640	61.590	YI			
	2	54.040	55.630	61.570				
	3	54.030	55.620	61.570	7.010	2.3608	2.36	
	평균	54.040	55.630	61.577				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	7.792	-	5.316
	1	52.100	53.630	58.970	YI			
	2	52.090	53.620	58.970				
	3	52.080	53.600	58.940	7.792	2.4756	2.48	
	평균	52.090	53.617	58.960				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	7.628	-	4.187
	1	51.020	52.520	57.820	YI			
	2	51.020	52.520	57.830				
	3	51.030	52.530	57.850	7.628	3.4413	3.44	
	평균	51.023	52.523	57.833				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	3.535	-	1.893
	1	84.710	87.220	99.380	YI			
	2	84.720	87.220	99.400				
	3	84.710	87.220	99.380	3.535	1.6421	1.64	
	평균	84.713	87.220	99.387				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	3.711	-	2.115
	1	83.090	85.540	97.340	YI			
	2	83.110	85.560	97.360				
	3	83.010	85.460	97.250	3.711	1.5960	1.60	
	평균	83.070	85.520	97.317				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	3.636	-	2.131
	1	84.390	86.900	98.920	YI			
	2	84.410	86.910	98.950				
	3	84.410	86.920	98.950	3.636	1.5048	1.50	
	평균	84.403	86.910	98.940				

□ 황변 - After 150 MJ/m2

시험일	2022.02.22								
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$			황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	6.063	-	4.180	
	1	47.770	49.140	54.870	YI				
	2	47.760	49.140	54.870					
	3	47.770	49.140	54.870					
	평균	47.767	49.140	54.870	6.063	1.8827	1.88		
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	6.228	-	4.036	1.91
	1	48.880	50.280	56.080	YI				
	2	48.920	50.310	56.110					
	3	48.890	50.290	56.080					
	평균	48.897	50.293	56.090	6.228	2.1920	2.19		
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	6.038	-	4.373	
	1	47.940	49.330	55.080	YI				
	2	47.940	49.330	55.080					
	3	47.940	49.330	55.080					
	평균	47.940	49.330	55.080	6.038	1.6649	1.66		
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	7.278	-	4.650	
	1	54.320	55.930	61.750	YI				
	2	54.320	55.940	61.760					
	3	54.320	55.940	61.750					
	평균	54.320	55.937	61.753	7.278	2.6283	2.63		
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	7.960	-	5.316	2.95
	1	52.030	53.570	58.810	YI				
	2	52.030	53.560	58.810					
	3	52.040	53.570	58.810					
	평균	52.033	53.567	58.810	7.960	2.6443	2.64		
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	7.759	-	4.187	
	1	50.710	52.220	57.420	YI				
	2	50.720	52.230	57.420					
	3	50.720	52.220	57.420					
	평균	50.717	52.223	57.420	7.759	3.5725	3.57		
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	4.029	-	1.893	
	1	84.530	87.040	98.760	YI				
	2	84.540	87.040	98.780					
	3	84.540	87.050	98.780					
	평균	84.537	87.043	98.773	4.029	2.1364	2.14		
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	4.029	-	2.115	2.06
	1	82.320	84.750	96.190	YI				
	2	82.320	84.760	96.180					
	3	82.320	84.760	96.180					
	평균	82.320	84.757	96.183	4.029	1.9141	1.91		
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	4.246	-	2.131	
	1	83.380	85.860	97.230	YI				
	2	83.380	85.860	97.260					
	3	83.390	85.870	97.260					
	평균	83.383	85.863	97.250	4.246	2.1148	2.11		

□ 황변 - After 210 MJ/m2

시험일	2022.05.02							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	6.649	-	4.180
	1	46.280	47.650	52.890	YI			
	2	46.280	47.640	52.900				
	3	46.280	47.650	52.900	6.649	2.4690	2.47	
	평균	46.280	47.647	52.897				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	6.362	-	4.036
	1	46.560	47.940	53.340	YI			
	2	46.520	47.900	53.290				
	3	46.410	47.790	53.190	6.362	2.3260	2.33	
	평균	46.497	47.877	53.273				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	6.358	-	4.373
	1	47.040	48.430	53.890	YI			
	2	47.030	48.430	53.900				
	3	47.030	48.430	53.880	6.358	1.9854	1.99	
	평균	47.033	48.430	53.890				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	7.560	-	4.650
	1	53.140	54.760	60.250	YI			
	2	53.140	54.770	60.280				
	3	53.140	54.760	60.260	7.560	2.9103	2.91	
	평균	53.140	54.763	60.263				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	7.873	-	5.316
	1	51.930	53.510	58.730	YI			
	2	51.960	53.530	58.770				
	3	51.970	53.550	58.780	7.873	2.5575	2.56	
	평균	51.953	53.530	58.760				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	7.218	-	4.187
	1	49.770	51.290	56.620	YI			
	2	49.760	51.270	56.590				
	3	49.770	51.290	56.600	7.218	3.0315	3.03	
	평균	49.767	51.283	56.603				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	4.497	-	1.893
	1	83.740	86.300	97.460	YI			
	2	83.750	86.310	97.470				
	3	83.750	86.310	97.470	4.497	2.6040	2.60	
	평균	83.747	86.307	97.467				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	4.631	-	2.115
	1	82.510	85.030	95.920	YI			
	2	82.510	85.020	95.920				
	3	82.510	85.030	95.920	4.631	2.5157	2.52	
	평균	82.510	85.027	95.920				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	4.602	-	2.131
	1	83.720	86.280	97.350	YI			
	2	83.720	86.280	97.350				
	3	83.720	86.280	97.350	4.602	2.4710	2.47	
	평균	83.720	86.280	97.350				

□ 황변 - After 240 MJ/m2

시험일	2022.06.08							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	6.791	-	4.180
	1	46.220	47.610	52.760	YI			
	2	46.220	47.610	52.760	6.791	2.6107	2.61	
	3	46.230	47.620	52.780				
	평균	46.223	47.613	52.767				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	6.705	-	4.036
	1	46.720	48.110	53.370	YI			
	2	46.710	48.110	53.370	6.705	2.6691	2.67	
	3	46.670	48.070	53.310				
	평균	46.700	48.097	53.350				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	6.572	-	4.373
	1	46.260	47.660	52.910	YI			
	2	46.270	47.670	52.910	6.572	2.1992	2.20	
	3	46.260	47.660	52.910				
	평균	46.263	47.663	52.910				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	8.321	-	4.650
	1	51.190	52.750	57.670	YI			
	2	51.190	52.760	57.670	8.321	3.6711	3.67	
	3	51.190	52.750	57.680				
	평균	51.190	52.753	57.673				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	8.473	-	5.316
	1	50.280	51.800	56.570	YI			
	2	50.270	51.800	56.570	8.473	3.1574	3.16	
	3	50.270	51.800	56.560				
	평균	50.273	51.800	56.567				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	8.347	-	4.187
	1	47.370	48.790	53.350	YI			
	2	47.090	48.500	53.040	8.347	4.1598	4.16	
	3	47.340	48.760	53.340				
	평균	47.267	48.683	53.243				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	5.256	-	1.893
	1	83.130	85.710	96.130	YI			
	2	83.120	85.700	96.120	5.256	3.3627	3.36	
	3	83.130	85.710	96.140				
	평균	83.127	85.707	96.130				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	5.338	-	2.115
	1	81.510	84.030	94.200	YI			
	2	81.520	84.040	94.210	5.338	3.2225	3.22	
	3	81.520	84.040	94.200				
	평균	81.517	84.037	94.203				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	5.324	-	2.131
	1	81.830	84.370	94.580	YI			
	2	81.840	84.380	94.580	5.324	3.1932	3.19	
	3	81.840	84.390	94.590				
	평균	81.837	84.380	94.583				

□ 황변 - After 270 MJ/m²

시험일	2022.07.14							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI}{(YI=(100*(1.28X-1.06Z))/Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	7.361	-	4.180
	1	46.400	47.810	52.700	YI			
	2	46.400	47.810	52.710				
	3	46.400	47.810	52.720	7.361	3.1814	3.18	
	평균	46.400	47.810	52.710				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	7.399	-	4.036
	1	46.470	47.870	52.770	YI			
	2	46.470	47.870	52.770				
	3	46.470	47.870	52.780	7.399	3.3628	3.36	
	평균	46.470	47.870	52.773				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	7.570	-	4.373
	1	46.040	47.440	52.210	YI			
	2	46.040	47.440	52.200				
	3	46.020	47.410	52.190	7.570	3.1976	3.20	
	평균	46.033	47.430	52.200				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	8.521	-	4.650
	1	51.540	53.130	57.950	YI			
	2	51.540	53.130	57.980				
	3	51.550	53.140	57.980	8.521	3.8709	3.87	
	평균	51.543	53.133	57.970				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	9.038	-	5.316
	1	49.360	50.880	55.270	YI			
	2	49.370	50.880	55.270				
	3	49.350	50.860	55.260	9.038	3.7224	3.72	
	평균	49.360	50.873	55.267				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	7.432	-	4.187
	1	47.920	49.380	54.410	YI			
	2	47.900	49.350	54.370				
	3	47.930	49.390	54.420	7.432	3.2450	3.25	
	평균	47.917	49.373	54.400				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	6.084	-	1.893
	1	83.760	86.410	96.180	YI			
	2	83.770	86.420	96.210				
	3	83.800	86.450	96.220	6.084	4.1916	4.19	
	평균	83.777	86.427	96.203				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	6.157	-	2.115
	1	80.470	83.040	92.340	YI			
	2	80.480	83.040	92.370				
	3	80.490	83.040	92.370	6.157	4.0417	4.04	
	평균	80.480	83.040	92.360				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	6.167	-	2.131
	1	81.330	83.920	93.320	YI			
	2	81.330	83.920	93.330				
	3	81.320	83.910	93.320	6.167	4.0363	4.04	
	평균	81.327	83.917	93.323				

□ 황변 - After 330 MJ/m2

시험일	2022.10.18							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	10.045	-	4.180
	1	45.270	46.670	50.240	YI			
	2	45.280	46.690	50.260	10.045	5.8647	5.86	
	3	45.280	46.690	50.250				
	평균	45.277	46.683	50.250				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	10.150	-	4.036
	1	45.380	46.770	50.320	YI			
	2	45.380	46.770	50.320	10.150	6.1139	6.11	
	3	45.380	46.770	50.320				
	평균	45.380	46.770	50.320				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	10.047	-	4.373
	1	45.410	46.820	50.400	YI			
	2	45.400	46.810	50.380	10.047	5.6740	5.67	
	3	45.410	46.820	50.400				
	평균	45.407	46.817	50.393				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	8.883	-	4.650
	1	50.910	52.470	57.090	YI			
	2	50.920	52.470	57.090	8.883	4.2330	4.23	
	3	50.910	52.470	57.070				
	평균	50.913	52.470	57.083				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	9.185	-	5.316
	1	48.430	49.910	54.150	YI			
	2	48.440	49.920	54.170	9.185	3.8692	3.87	
	3	48.420	49.900	54.150				
	평균	48.430	49.910	54.157				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	8.161	-	4.187
	1	48.700	50.240	54.940	YI			
	2	48.710	50.250	54.940	8.161	3.9745	3.97	
	3	48.710	50.260	54.960				
	평균	48.707	50.250	54.947				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	9.241	-	1.893
	1	81.160	83.890	90.710	YI			
	2	81.180	83.910	90.700	9.241	7.3478	7.35	
	3	81.190	83.920	90.720				
	평균	81.177	83.907	90.710				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	9.282	-	2.115
	1	77.900	80.520	87.010	YI			
	2	77.900	80.520	87.020	9.282	7.1668	7.17	
	3	77.900	80.530	87.020				
	평균	77.900	80.523	87.017				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	9.088	-	2.131
	1	77.990	80.640	87.270	YI			
	2	78.000	80.640	87.270	9.088	6.9572	6.96	
	3	77.990	80.640	87.260				
	평균	77.993	80.640	87.267				

□ 황변 - After 360 MJ/m2

시험일	2022.11.16							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	10.435	-	4.180
	1	45.060	46.450	49.840	YI			
	2	45.060	46.450	49.840	10.435	6.2553	6.26	
	3	45.070	46.450	49.850				
	평균	45.063	46.450	49.843				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	10.297	-	4.036
	1	45.570	46.950	50.460	YI			
	2	45.570	46.950	50.470	10.297	6.2611	6.26	
	3	45.570	46.960	50.470				
	평균	45.570	46.953	50.467				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	10.892	-	4.373
	1	44.920	46.290	49.490	YI			
	2	44.920	46.290	49.480	10.892	6.5188	6.52	
	3	44.920	46.290	49.490				
	평균	44.920	46.290	49.487				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	9.174	-	4.650
	1	51.090	52.650	57.140	YI			
	2	51.090	52.650	57.130	9.174	4.5248	4.52	
	3	51.090	52.650	57.140				
	평균	51.090	52.650	57.137				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	9.370	-	5.316
	1	48.650	50.130	54.320	YI			
	2	48.660	50.130	54.330	9.370	4.0538	4.05	
	3	48.650	50.130	54.310				
	평균	48.653	50.130	54.320				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	8.538	-	4.187
	1	48.800	50.360	54.880	YI			
	2	48.810	50.360	54.880	8.538	4.3512	4.35	
	3	48.810	50.360	54.880				
	평균	48.807	50.360	54.880				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	9.449	-	1.893
	1	80.500	83.210	89.790	YI			
	2	80.510	83.230	89.800	9.449	7.5560	7.56	
	3	80.500	83.220	89.790				
	평균	80.503	83.220	89.793				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	9.686	-	2.115
	1	77.050	79.650	85.760	YI			
	2	77.050	79.640	85.770	9.686	7.5710	7.57	
	3	77.050	79.650	85.760				
	평균	77.050	79.647	85.763				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	9.548	-	2.131
	1	76.880	79.500	85.690	YI			
	2	76.890	79.500	85.680	9.548	7.4169	7.42	
	3	76.890	79.500	85.680				
	평균	76.887	79.500	85.683				

□ 황변 - After 390 MJ/m2

시험일	2023.02.28								
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)	
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	11.021	-	4.180	
	1	43.840	45.160	48.250	YI				
	2	43.850	45.170	48.240					
	3	43.730	45.050	48.130					
	평균	43.807	45.127	48.207	11.021	6.8413	6.84		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		6.82	
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	10.780	-		4.036
	1	43.330	44.630	47.780	YI				
	2	43.320	44.630	47.770					
	3	43.330	44.630	47.790					
	평균	43.327	44.630	47.780	10.780	6.7443	6.74		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		6.87	
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	11.240	-		4.373
	1	43.860	45.180	48.170	YI				
	2	43.850	45.170	48.160					
	3	43.800	45.120	48.110					
	평균	43.837	45.157	48.147	11.240	6.8669	6.87		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)	
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	9.642	-	4.650	
	1	50.450	51.980	56.200	YI				
	2	50.460	51.990	56.200					
	3	50.460	51.990	56.200					
	평균	50.457	51.987	56.200	9.642	4.9923	4.99		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		4.93	
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	9.388	-		5.316
	1	47.920	49.360	53.490	YI				
	2	47.910	49.350	53.490					
	3	47.920	49.370	53.490					
	평균	47.917	49.360	53.490	9.388	4.0721	4.07		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		5.73	
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	9.914	-		4.187
	1	45.530	46.950	50.590	YI				
	2	45.540	46.950	50.600					
	3	45.540	46.950	50.600					
	평균	45.537	46.950	50.597	9.914	5.7269	5.73		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)	
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	10.587	-	1.893	
	1	76.360	78.940	84.320	YI				
	2	76.360	78.940	84.320					
	3	76.360	78.950	84.330					
	평균	76.360	78.943	84.323	10.587	8.6946	8.69		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		8.51	
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	10.546	-		2.115
	1	74.750	77.290	82.580	YI				
	2	74.730	77.280	82.550					
	3	74.740	77.280	82.560					
	평균	74.740	77.283	82.563	10.546	8.4303	8.43		
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI = YI - YI_0}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		8.39	
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	10.523	-		2.131
	1	74.790	77.350	82.630	YI				
	2	74.790	77.340	82.640					
	3	74.780	77.340	82.620					
	평균	74.787	77.343	82.630	10.523	8.3923	8.39		

□ 황변 - After 470 MJ/m2

시험일	2023.05.23							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI}{(YI=(100*(1.28X-1.06Z))/Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	12.484	-	4.180
	1	38.920	40.130	42.270	YI			
	2	38.910	40.130	42.260				
	3	38.910	40.130	42.260	12.484	8.3044	8.30	
	평균	38.913	40.130	42.263				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	11.742	-	4.036
	1	38.110	39.280	41.660	YI			
	2	38.110	39.280	41.670				
	3	38.070	39.250	41.630	11.742	7.7061	7.71	
	평균	38.097	39.270	41.653				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	12.426	-	4.373
	1	40.090	41.350	43.570	YI			
	2	40.090	41.350	43.560				
	3	40.090	41.350	43.560	12.426	8.0530	8.05	
	평균	40.090	41.350	43.563				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	10.059	-	4.650
	1	42.980	44.280	47.700	YI			
	2	43.160	44.460	47.900				
	3	43.200	44.500	47.940	10.059	5.4095	5.41	
	평균	43.113	44.413	47.847				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	10.348	-	5.316
	1	40.620	41.830	44.990	YI			
	2	39.590	40.770	43.840				
	3	39.960	41.150	44.200	10.348	5.0321	5.03	
	평균	40.057	41.250	44.343				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	11.506	-	4.187
	1	43.920	45.310	48.120	YI			
	2	43.910	45.300	48.110				
	3	43.920	45.310	48.110	11.506	7.3197	7.32	
	평균	43.917	45.307	48.113				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	14.123	-	1.893
	1	73.270	75.840	78.360	YI			
	2	73.290	75.850	78.390				
	3	73.280	75.850	78.400	14.123	12.2305	12.23	
	평균	73.280	75.847	78.383				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	13.828	-	2.115
	1	71.170	73.670	76.340	YI			
	2	71.110	73.610	76.270				
	3	71.120	73.640	76.260	13.828	11.7131	11.71	
	평균	71.133	73.640	76.290				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	13.755	-	2.131
	1	72.470	75.060	77.800	YI			
	2	72.200	74.770	77.490				
	3	72.010	74.580	77.240	13.755	11.6244	11.62	
	평균	72.227	74.803	77.510				

□ 황변 - After 570 MJ/m2

시험일	2023.09.14							
시료명	구분	X	Y	Z	YI ₀	$\frac{\Delta YI}{(YI = (100 * (1.28X - 1.06Z)) / Y)}$		황변도 (ΔYI)
#1-1	S	50.180	51.600	58.560	4.180	19.613	-	4.180
	1	38.580	40.820	39.030	YI			
	2	38.590	40.840	39.040				
	3	38.590	40.840	39.050	19.613	15.4329	15.43	
	평균	38.587	40.833	39.040				
#1-2	S	49.470	50.880	57.800	4.036	18.943	-	4.036
	1	39.380	41.670	40.110	YI			
	2	39.390	41.680	40.110				
	3	39.380	41.670	40.110	18.943	14.9066	14.91	
	평균	39.383	41.673	40.110				
#1-3	S	49.660	51.070	57.860	4.373	19.322	-	4.373
	1	40.020	42.390	40.620	YI			
	2	40.050	42.420	40.620				
	3	40.080	42.450	40.650	19.322	14.9487	14.95	
	평균	40.050	42.420	40.630				
#2-1	S	55.230	56.830	64.200	4.650	15.962	-	4.650
	1	42.520	44.920	44.580	YI			
	2	42.580	44.980	44.650				
	3	42.630	45.040	44.690	15.962	11.3124	11.31	
	평균	42.577	44.980	44.640				
#2-2	S	56.410	57.980	65.210	5.316	16.624	-	5.316
	1	40.740	43.010	42.440	YI			
	2	40.730	43.000	42.450				
	3				16.624	11.3079	11.31	
	평균	40.735	43.005	42.445				
#2-3	S	51.640	53.110	60.260	4.187	19.896	-	4.187
	1	42.490	45.010	42.860	YI			
	2	42.480	45.000	42.850				
	3	42.470	44.990	42.840	19.896	15.7097	15.71	
	평균	42.480	45.000	42.850				
기준-1	S	86.420	88.830	102.770	1.893	20.412	-	1.893
	1	69.200	73.490	69.420	YI			
	2	69.220	73.510	69.420				
	3	69.200	73.500	69.410	20.412	18.5192	18.52	
	평균	69.207	73.500	69.417				
기준-2	S	85.010	87.370	100.910	2.115	20.145	-	2.115
	1	67.900	72.120	68.290	YI			
	2	67.910	72.130	68.290				
	3	67.910	72.120	68.300	20.145	18.0301	18.03	
	평균	67.907	72.123	68.293				
기준-3	S	85.080	87.450	100.980	2.131	20.178	-	2.131
	1	68.710	72.990	69.080	YI			
	2	68.730	73.010	69.100				
	3	68.730	73.010	69.090	20.178	18.0468	18.05	
	평균	68.723	73.003	69.090				

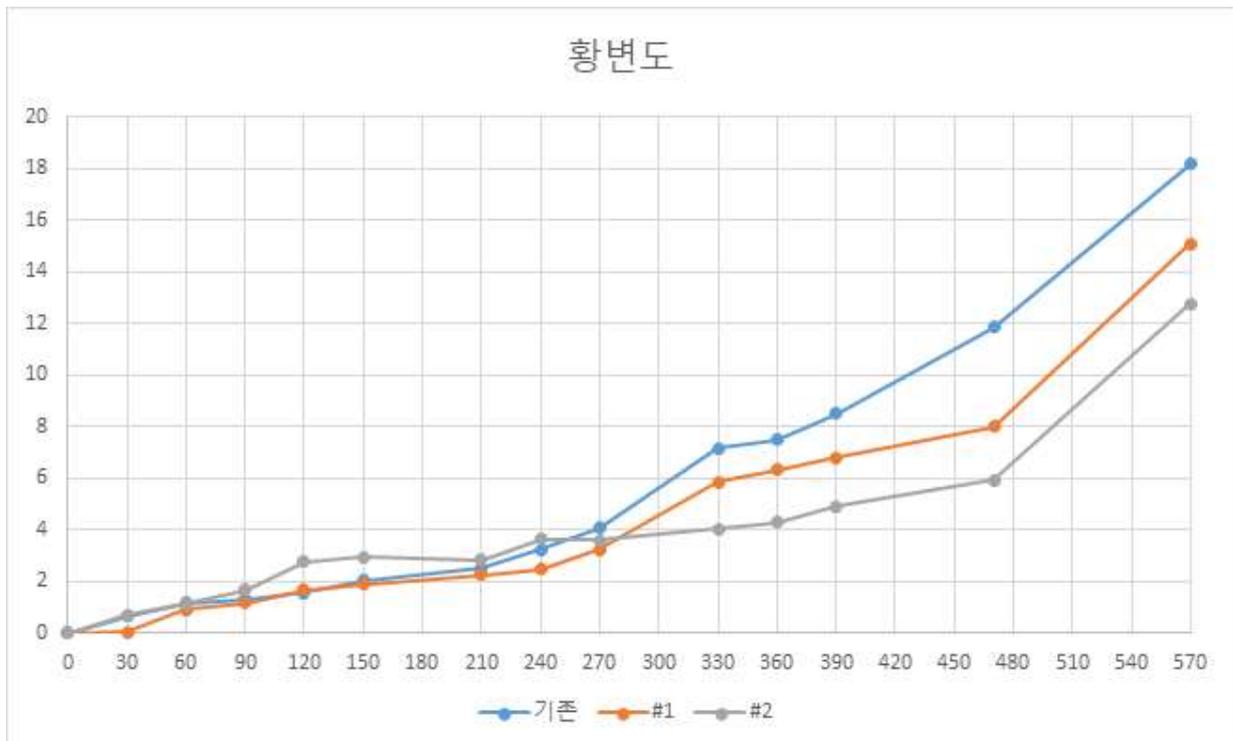


그림 2-50. 노출 광량에 따른 황변도 거동 변화

- 시험편 3종에 대한 90MJ까지는 황변도 거동변화는 개발품 2가 가장 낮게 나타난 것으로 보이며, 기존과 개발품 1은 660MJ까지는 유사한 거동을 보이거나, 90MJ부터 개발품이 황변도가 더 높게 나타남
- 90MJ 기준으로 개발품 1이 자외선 안정제 처방으로 인한 내후성에 더 견디는 것으로 판단됨
- 90MJ은 우리나라 서산 기준으로 약 3개월 정도 소요된 것으로 측정되며, 노출기간에 따라 지속적으로 증가하는 경향이 보일 것으로 예상되며, 향후 기계적 물성과 연계하여 진행해야 할 것으로 판단됨
- 240MJ은 우리나라 서산 기준으로 약 1년 정도 노출된 기간과 동일하며, 지속적으로 황변

도 값이 증가하는 것을 볼 수 있음.

- 기존은 다층구조가 아닌 단일층으로 구성되어 있으며, 개발품 1, 2의 경우 3-layer로 구조가 구성되어 있기 때문에 내부 층에서 먼지가 쌓이게 됨에 따라 세척을 해도 깨끗이 닦이지 않기 때문에 이러한 이유로 황변의 변화가 차이가 날 수 있음
- 즉, 이미지에서도 확인할 수 있듯이 황변의 영향보다는 표면의 내오염으로 인해 세척이 균일하게 되지 않아 발생된 결과일 수도 있음
- 따라서, 다음 단계에서는 3-layer의 구조의 경우 기계적 물성 목적으로만 사용을 하고, 1-layer 구조로 내후성 평가를 재진행하는 것을 고려해야 할 것으로 판단됨

나) 촉진 내후성 시험(Xe) 데이터 결과(황변도)

시험종류	측정시간	측정방법	시험연도	YI
옥외폭로 시험		C광원 2°, d/8°방식	2022	0.1012
			2023	
촉진내후성 시험- Xe	4000 h		2022	5.1
			2023	

- 촉진내후성의 경우 4,000시간 전처리된 샘플을 측정한 결과 1차년도 정량적인 목표 범위 안에 포함되었으며, 이것은 내후성 처방이 처리된 것으로 향후 광학평가 외 기계적인 평가도 병행하여 광학물성과 기계적물성간의 상호 비교도 진행해 봐야 할 것으로 판단됨

다) 목업 시험 데이터 결과(visual)

- 목업시험의 경우 소재 시험이 아닌, 실제 제품을 모사하여 설치한 시험방법으로 정량적인 평가보다는 육안평가를 중심으로 진행하였음
- 향후 가스에 대한 영향성을 평가하기 위해 목업에 축산에서 발생하는 가스를 분석하여 포집하여 밀폐된 상태를 구현하여 다음 차년도에 진행하고자 함
- 옥외 설치된 목업의 경우 새 배설물에 의한 오염이 있었으나, 이것은 열화 거동이나, 표면층이 탈락되면서 발생한 것이 아니기에 별도로 체크하지는 않았음
- 육안평가 내오염 항목의 경우, 복층구조 시료는 각 시료 사이에 먼지, 빗물에 따른 오염이 불규칙하게 발생하는 현상을 확인할 수 있었고 단층구조 시료는 내오염 현상은 확인 할 수 없었음

○ EDS 분석 결과

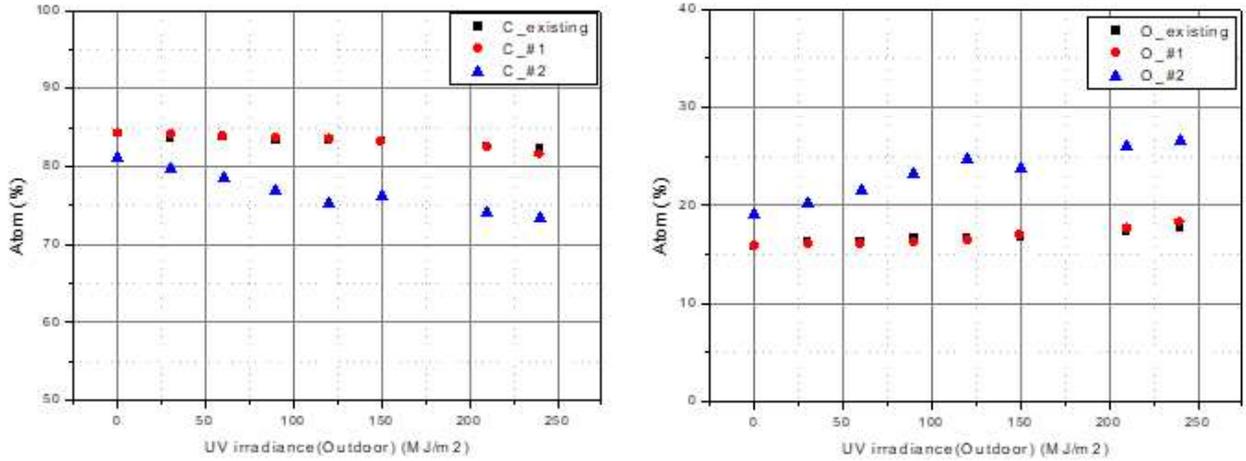


그림 2-44. 옥외폭로 시간에 따른 Atom C, O 변화 거동

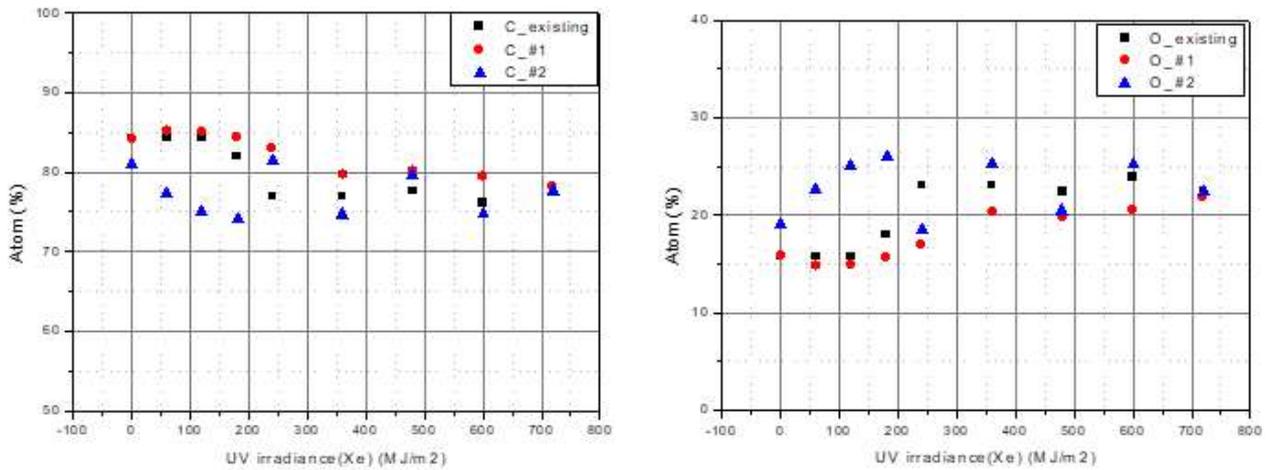


그림 2-51. 실내축진(xe) 시간에 따른 Atom C, O 변화 거동

		existing		#1		#2			
		300X_Atom		300X_Atom		300X_Atom			
Outdoor	Outdoor_existing	C (%)	O (%)	Outdoor_#1	C (%)	O (%)	Outdoor_#2	C (%)	O (%)
	0	84.24	15.76	0	84.21	15.79	0	80.98	19.02
	30	83.66	16.34	30	84.03	15.97	30	79.78	20.22
	60	83.71	16.29	60	83.93	16.07	60	78.47	21.53
	90	83.43	16.57	90	83.72	16.28	90	76.83	23.17
	120	83.25	16.75	120	83.51	16.49	120	75.31	24.69
	150	83.29	16.71	150	83.06	16.94	150	76.27	23.73
	210	82.61	17.39	210	82.36	17.64	210	73.98	26.02
240	82.24	17.76	240	81.64	18.36	240	73.4	26.6	
	270	82.82	17.18	270	81.94	18.06	270	79.26	20.74
Xe	Xe_existing	C (%)	O (%)	Xe_#1	C (%)	O (%)	Xe_#2	C (%)	O (%)
	0	84.24	15.76	0	84.21	15.79	0	80.98	19.02
	60	84.24	15.76	60	85.18	14.82	60	77.34	22.66
	120	84.22	15.78	120	85.15	14.85	120	75.01	24.99
	180	81.99	18.01	180	84.29	15.71	180	74.04	25.96
	240	76.97	23.03	240	83.06	16.94	240	81.49	18.51
	360	76.97	23.03	360	79.67	20.33	360	74.69	25.31
	480	77.59	22.41	480	80.14	19.86	480	79.52	20.48
	600	76.11	23.89	600	79.46	20.54	600	74.71	25.29
	720	77.46	22.54	720	78.11	21.89	720	77.64	22.36

그림 2-52. Atom C, O 함량 측정(옥외폭로 & 실내축진)

- 폴리카보네이트 소재에 대한 옥외폭로시험과 실내축진시험(제논)간의 탄소와 산소의 함량 변화를 EDS를 통해 분석하였음
- 전반적으로 기존샘플과 개발품 #1이 유사한 거동을 보이고 있으며 개발품 #2가 상대적으로 탄소와 산소의 함량 변화가 큰 것을 확인할 수 있었음

○ SEM 표면 사진 결과

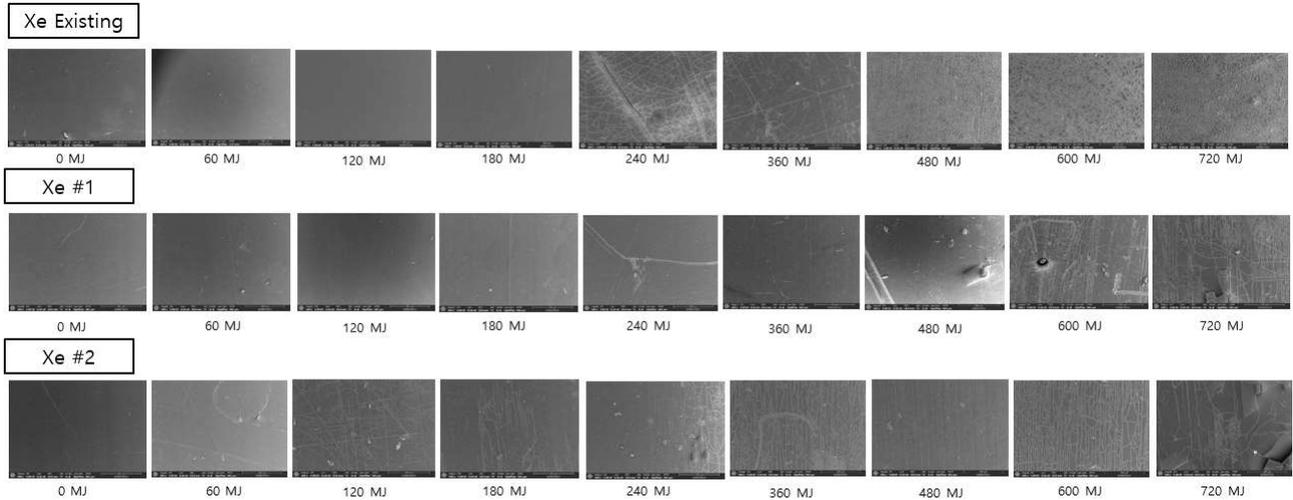


그림 2-53. 실내축진시험(xe) 누적광량에 따른 표면 사진

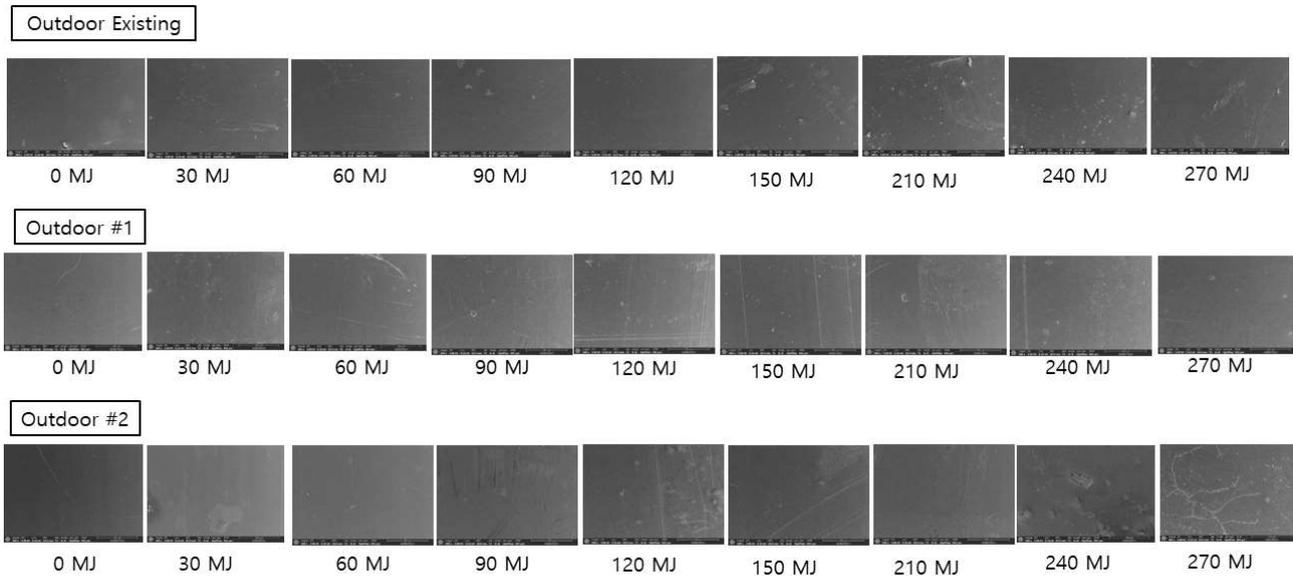
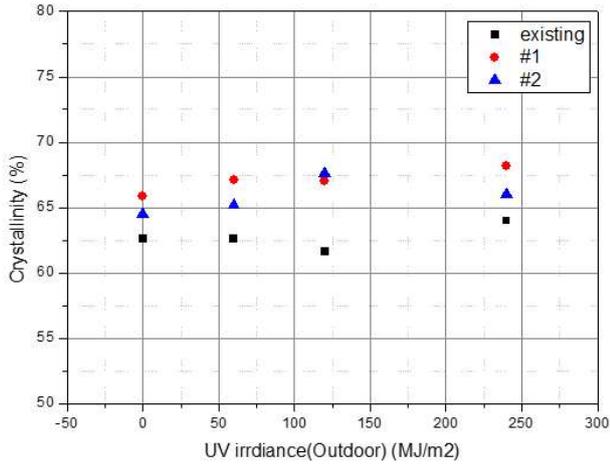


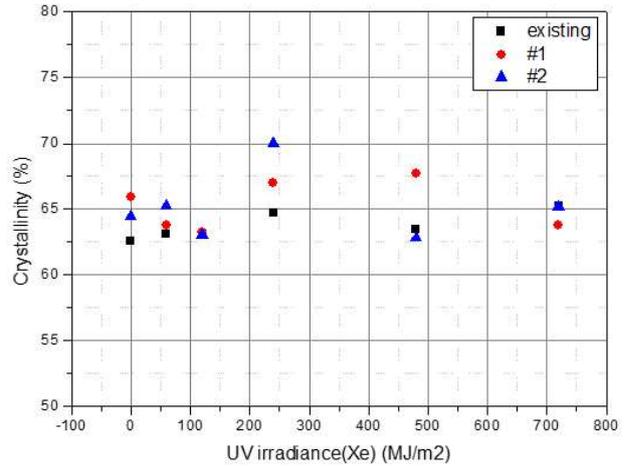
그림 2-54. 옥외폭로시험 누적광량에 따른 표면 사진

- 제논시험방법을 통해 720MJ 까지 노출한 소재와 옥외폭로시험방법을 통해 270MJ까지 노출한 소재에 대한 열화시간에 따른 표면을 확인하였음
- 제논시험방법에서 기존샘플이 240MJ에서 표면의 균열을 확인하였으며, 개발품 #1의 경우 360MJ, 개발품 #2의 경우 120MJ부터 균열을 확인하였음
- 반면에 옥외폭로시험방법에서는 기존샘플뿐만 아니라, 개발품 #1, #2에서 어떠한 균열도 확인할 수 없었음.

○ XRD 분석 결과



(a) Outdoor Weathering

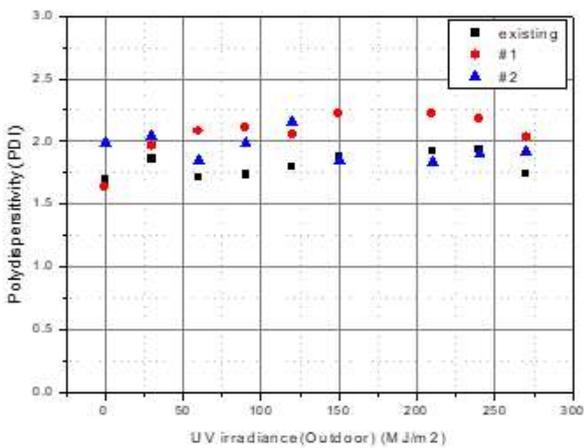


(b) laboratory Weathering(xe)

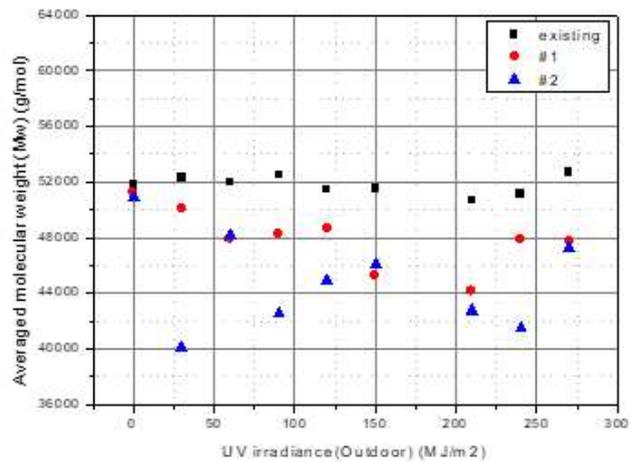
그림 2-55. 누적광량에 따른 결정화도 거동

- XRD를 통해 폴리카보네이트 소재의 열화거동을 확인하기 위해 결정화도를 분석하였음
- 폴리카보네이트는 100% 무정형 고분자로 결정성이 없어야 하나, 열화가 시작되지 않은 초기 샘플에도 결정성이 보이는 것을 확인 할 수 있었음
- 이것은 폴리카보네이트에 다른 폴리머가 첨가되었거나 코팅되었다는 것을 의미함
- 옥외폭로의 경우 전반적으로 결정성이 증가하는 거동을 보이나 제논시험방법의 경우 증가하다 감소하는 것을 확인할 수 있음. 이것은 옥외폭로시험보다 제논시험방법이 촉진으로 인해 열화속도가 빠르다는 것을 의미함

○ GPC 분석 결과

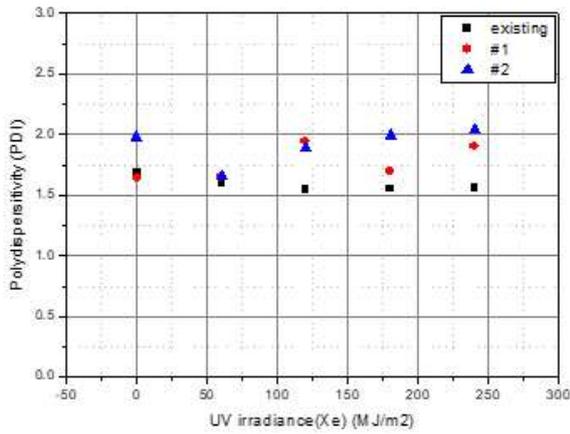


(a) PDI

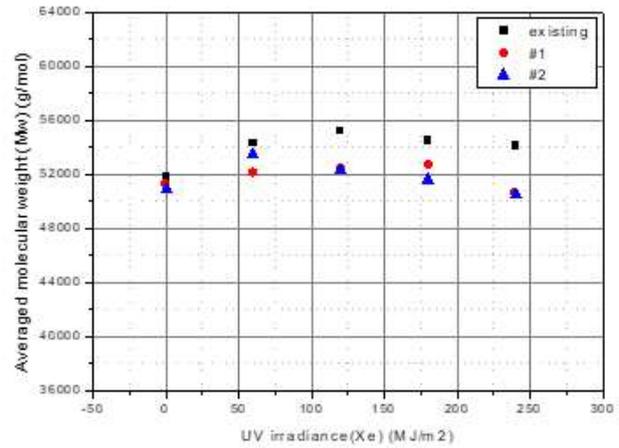


(b) MW

그림 2-56. 옥외폭로시험 PDI& MW



(a) PDI



(b) MW

그림 2-57. 실내촉진시험 PDI& MW

- PDI는 중량평균 분자량과 수량평균분자량의 비(M_w/M_n) 로서 PDI로 분자량 분포 정도를 수치로 표현할 수 있으며, 기존 샘플에 비해 개발품 #1, #2가 열화거동에 따라 분자량 분산지수가 2.0 이상으로 분자량 분포도가 크고 넓어지는 것을 확인할 수 있었으며, 대체적으로 열화에 따라 분자량이 증가하는 것을 확인하였음
- 중량평균은 전체 질량에서 각 사슬의 분자량이 차지하는 비중을 고려한 가중치를 계산하는 것으로 120MJ까지는 전반적으로 증가하다가 그 이후 점차 감소하는 경향을 보임

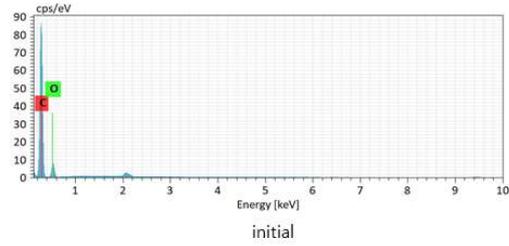
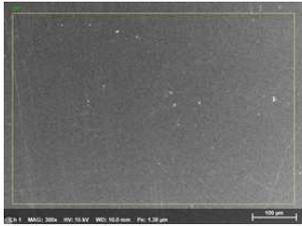
표 2-31. 실내촉진시험 PDI& MW

Xe_existing	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)	Outdoor_existing	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)
0	30654	51791	74969	1.689547	0	30654	51791	74969	1.689547
60	33952	54312	77189	1.599643	30	28133	52304	76167	1.859183
120	35648	55188	77437	1.548142	60	30358	52025	75230	1.713704
180	35078	54508	76703	1.553936	90	30312	52496	76296	1.731819
240	34714	54138	76321	1.559536	120	28587	51424	76137	1.798845
360	34720	53773	75518	1.548745	150	27408	51537	76469	1.880357
480	31112	51897	74917	1.668046	210	26431	50664	75252	1.916807
600	32732	53010	75929	1.619488	240	26458	51102	76392	1.931424
720	34963	54241	76362	1.551407	270	30223	52700	76507	1.743717
Xe_#1	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)	Outdoor_#1	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)
0	31348	51295	74151	1.636324	0	31348	51295	74151	1.636324
60	31622	52105	75064	1.647728	30	25541	50103	74799	1.961665
120	26998	52435	76243	1.942171	60	23070	47900	73520	2.076333
180	30994	52671	75860	1.699415	90	22886	48316	73300	2.111102
240	26597	50620	74294	1.903173	120	23721	48673	73169	2.051923
360	26274	50324	74080	1.915363	150	20442	45301	70949	2.21614
480	23794	49459	73655	2.078646	210	19904	44165	69728	2.218851
600	24302	49453	73476	2.034927	240	21960	47823	73585	2.177708
720	23608	49271	73836	2.087045	270	23489	47738	72829	2.032357
Xe_#2	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)	Outdoor_#2	Mn	Mw	Mz	PDI(Mw/Mn)
0	25704	50935	75375	1.981569	0	25704	50935	75375	1.981569
60	32215	53445	77465	1.659031	30	19588	40096	64965	2.046924
120	27722	52343	76120	1.888124	60	26141	48151	72502	1.842005
180	25892	51606	75820	1.993145	90	21366	42516	67390	1.989883
240	24757	50488	74828	2.039308	120	20805	44838	70728	2.155146
360	25437	51481	75602	2.023861	150	24874	46109	70650	1.853706
480	23794	49409	73800	2.076564	210	23375	42736	66230	1.828266
600	25640	51416	75895	2.005296	240	21737	41460	64740	1.907343
720	22073	48156	73190	2.181646	270	24644	47219	71653	1.916072

표 2-32. 3차년도 시료 - XRD 측정(옥외촉진, 옥외폭로, 실내촉진-Xe)

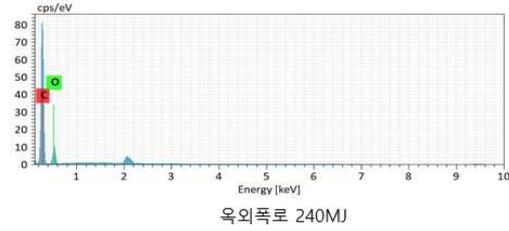
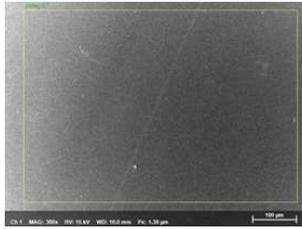
Name	%-Crystallinity	%-Amorphous	Global Area	Reduced Area
Outdoor Accelerating_existing	67.20%	32.80%	68879	46284
Outdoor Accelerating_30MJ	64.30%	35.70%	67617	43481
Outdoor Accelerating_60MJ	64.90%	35.10%	70112	45519
Outdoor Accelerating_120MJ	66.80%	33.20%	67258	44898
Outdoor Accelerating_150MJ	66.30%	33.70%	62983	41751
Outdoor Accelerating_180MJ	64.50%	35.50%	65642	42354
Outdoor Accelerating_210MJ	65.20%	34.80%	66522	43349
Outdoor Accelerating_240MJ	62.00%	38.00%	56285	34876
Outdoor Exposure_existing	68.60%	31.40%	89756	61569
Outdoor Exposure_30MJ	66.70%	33.30%	72652	48440
Outdoor Exposure_60MJ	67.10%	32.90%	72346	48580
Outdoor Exposure_90MJ	68.60%	31.40%	85751	58820
Outdoor Exposure_120MJ	68.30%	31.70%	82460	56299
Outdoor Exposure_150MJ	67.40%	32.60%	79469	53591
Outdoor Exposure_210MJ	64.30%	35.70%	61067	39245
Outdoor Exposure_240MJ	67.10%	32.90%	73555	49333
Outdoor Exposure_270MJ	66.80%	33.20%	75616	50544
Outdoor Exposure_330MJ	68.90%	31.10%	79604	54880
Outdoor Exposure_360MJ	68.20%	31.80%	76203	51981
Outdoor Exposure_390MJ	67.80%	32.20%	72796	49383
Outdoor Exposure_480MJ	68.70%	31.30%	78722	54078
Outdoor Exposure_540MJ	66.70%	33.30%	64098	42760
Xenon_existing	67.80%	32.20%	68802	46633
Xenon_30MJ	68.60%	31.40%	69044	47385
Xenon_60MJ	66.80%	33.20%	70361	46999
Xenon_90MJ	66.60%	33.40%	70556	47002
Xenon_120MJ	67.10%	32.90%	71154	47729
Xenon_150MJ	67.40%	32.60%	70058	47204
Xenon-180MJ	66.60%	33.40%	71809	47809
Xenon-210MJ	65.30%	34.70%	63339	41380
Xenon-240MJ	67.50%	32.50%	71902	48547
Xenon-270MJ	67.80%	32.20%	67026	45427
Xenon-360MJ	64.10%	35.90%	63978	41013
Xenon-390MJ	69.10%	30.90%	73570	50855
Xenon-480MJ	66.50%	33.50%	63993	42539
Xenon-540MJ	67.70%	32.30%	64836	43922

- 3차년도 시료에 대해서 다양한 시험법에 따른 XRD 측정 및 EDS 측정을 진행하였음. 누적 광량에 따라 결정성의 큰 변화는 없었으며, 마찬가지로 EDS 결과 탄소, 산소 함량의 경향성을 찾기가 어려웠음
- 상기 데이터(표2-32, 그림 2-58)에 대해서 재측정이 필요해 보임



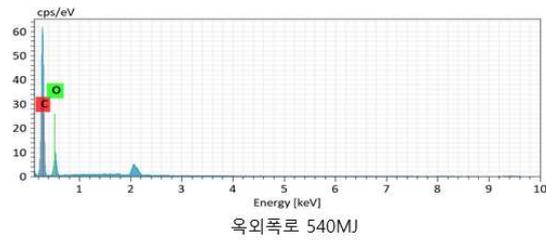
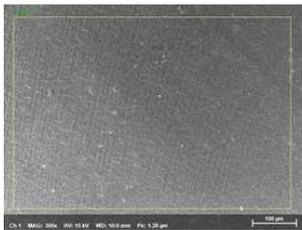
ref 1

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	78.29	78.29	82.77	25.23
O	8	21.71	21.71	17.23	8.05
		100.00	100.00	100.00	



240mj 1

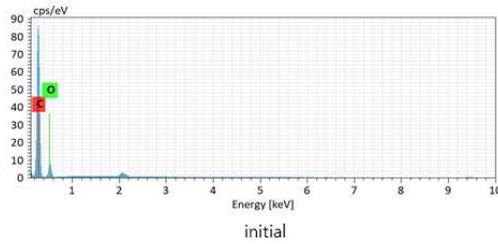
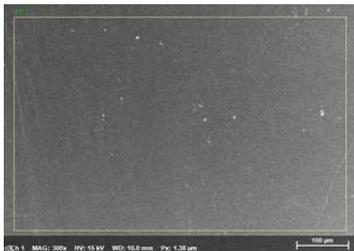
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	73.97	73.97	79.10	23.96
O	8	26.03	26.03	20.90	9.48
		100.00	100.00	100.00	



540mj 1

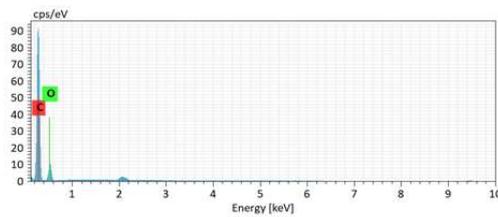
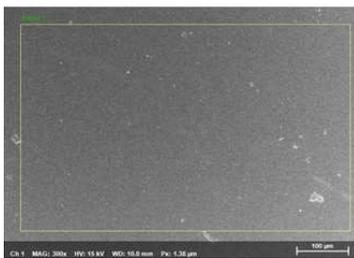
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	70.74	70.74	76.31	23.15
O	8	29.26	29.26	23.69	10.68
		100.00	100.00	100.00	

(a) 옥외폭로시험



ref 1

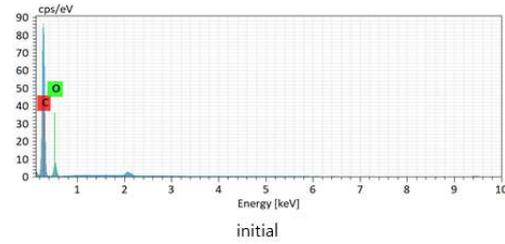
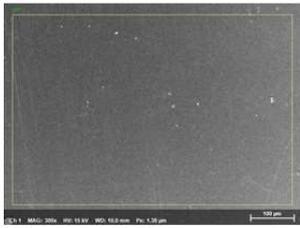
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	78.29	78.29	82.77	25.23
O	8	21.71	21.71	17.23	8.05
		100.00	100.00	100.00	



240mj 1

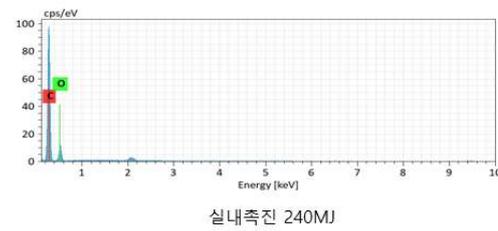
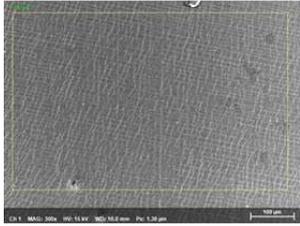
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	75.59	75.59	80.49	24.37
O	8	24.41	24.41	19.51	8.88
		100.00	100.00	100.00	

(b) 옥외촉진시험



ref1

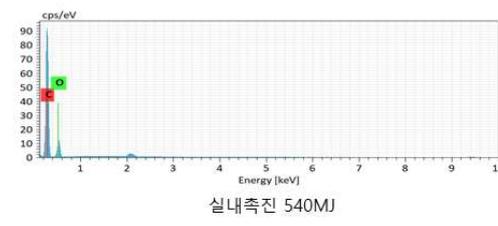
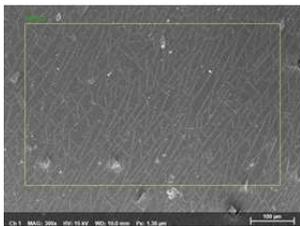
Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	78.29	78.29	82.77	25.23
O	8	21.71	21.71	17.23	8.05
		100.00	100.00	100.00	



240mj 1

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	74.78	74.78	79.79	24.34
O	8	25.22	25.22	20.21	9.35
		100.00	100.00	100.00	

실내충진 240MJ



540mj 1

Element	At. No.	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (3 sigma)
C	6	73.65	73.65	78.82	24.70
O	8	26.35	26.35	21.18	10.39
		100.00	100.00	100.00	

실내충진 540MJ

(C) 실내충진시험

그림 2-58. 시험방법별 EDS 측정

○ 시험방법 별 열화시간에 따른 샘플 이미지

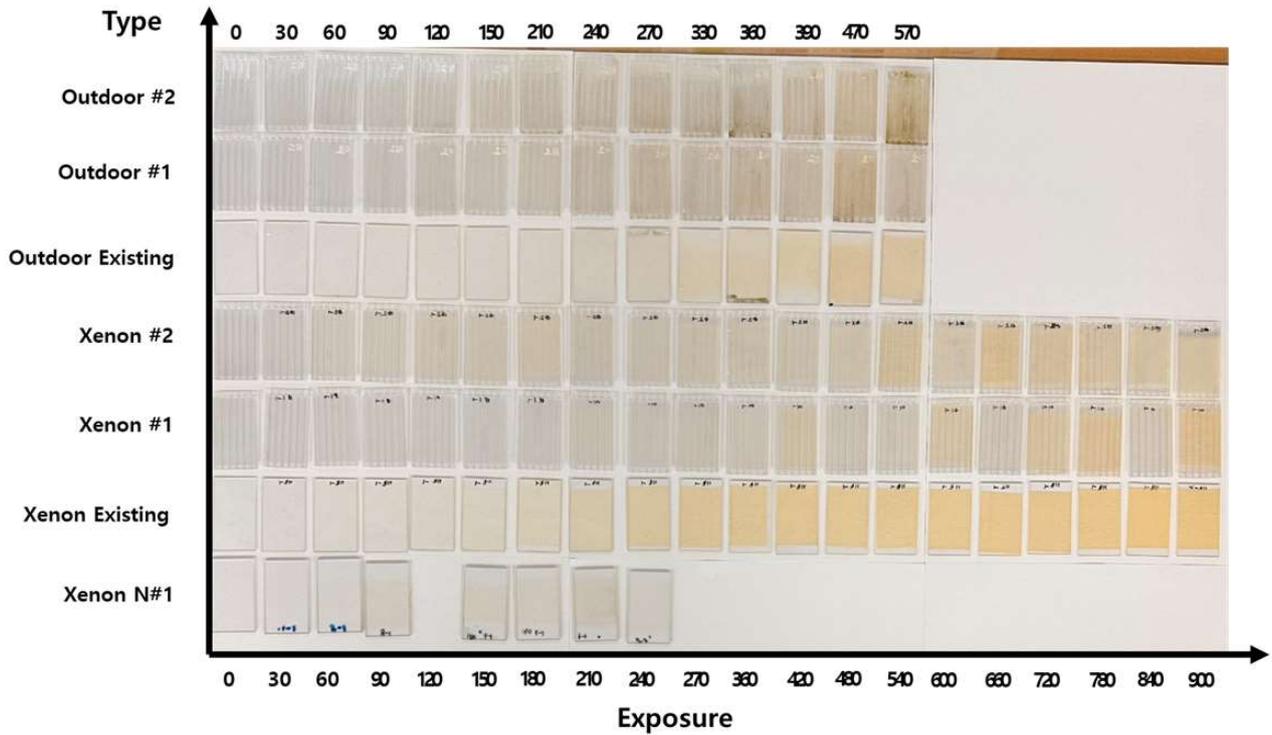
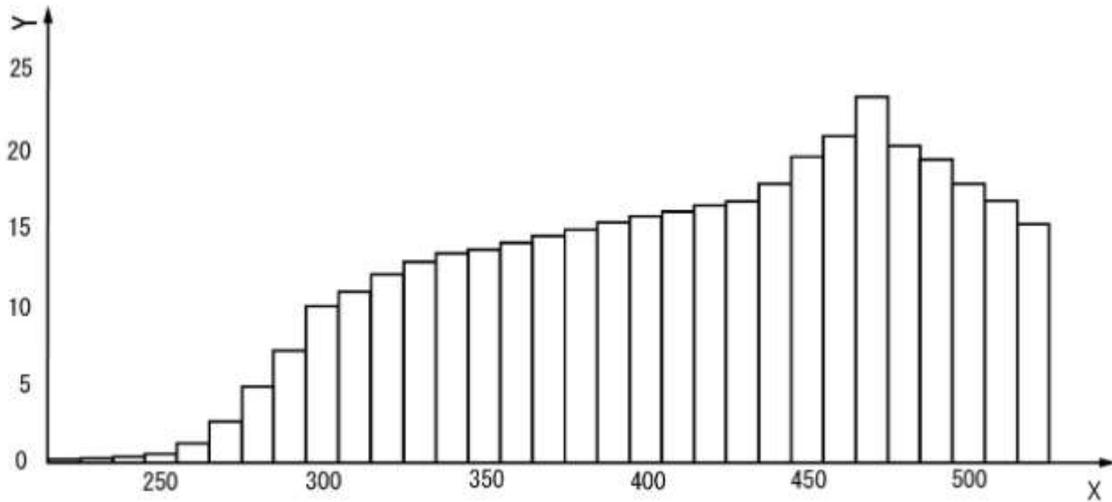


그림 2-59. 시험방법 별 열화시간에 따른 샘플 이미지

- 보통 옥외폭로 240~ 270MJ은 1년 정도 폭로한 기간과 유사하며, SEM에서 확인했듯이 표면에 균열이 존재하지 않으나, 서산지역의 특성상 표면의 내오염으로 인한 황변도 측정에 어려움이 있었음
- 또한, 단일 layer가 아닌 3-layer로 샘플 세척에 어려움이 있어 정확한 데이터 확보하는데 어려움이 있었음
- 따라서, 광 열화에 대한 정밀한 시험을 진행하기 위해 **단일 layer**로 샘플을 별도 제작하여 광열화거동을 확인하고자 함 (주관기관과 협의 완료: 2단계 1차년도 진행)
- 전반적으로 옥외폭로에 비해 제논광원을 이용한 촉진시험이 황변에 보다 빠르게 오는 것을 확인할 수 있었음
- 기존 샘플, 개발품 모두 폴리카보네이트에 다른 폴리머가 함량이 된 것으로 보이며, 이것은 FT-IR 측정을 통해 확인할 수 있으며, 개발품에 들어간 자외선 안정제 함량 및 가공방법의 차이가 있는 것으로 보아 광학특성에 대한 거동은 유사한 것으로 판단되며, 다만 3-layer의 구조적인 차이와 가공방법의 차이로 인해 기계적인 물성이 차이가 있을 것으로 보임,
- 본 과제의 핵심은 광학적 특성(황변도)을 통해 투과율이 저하되는 부분을 확인하고, 기계적인 물성의 기준점을 확인하여 실제 축산 농가에 새로운 가이드를 제공하여 단체표준을 제안하고자 하는 것으로 다음 차년도에는 새로운 개발품을 제시하여 3-layer가 아닌 단일 층으로 하여 기계적 물성을 제외한 화학적 분석에 집중하여 신뢰성 분석을 해야 할 것으로 보임
- 2단계 1차년도에는 필드시험과 가속시험(옥외촉진, 실내촉진)의 누적된 데이터를 통해 수명예측을 Weibull++ 활용하여 신뢰성 분석을 진행할 예정임

○ 분광노화시험기(Spectral Radiation Tester) 활용 폴리카보네이트 데이터 분석

- 플라스틱은 장기간 태양복사(파장을 결정하는 자외선 및 가시광선 등)에 노출됨에 따라 성능이 저하되며 폴리카보네이트 소재가 어느 특정 스펙트럼에서 광학 및 기계적 물성이 저하되는지 매우 중요한 사항임
- 소재의 특성 변화는 스펙트럼 감도로 결정하며, 파장범위는 자외선 및 가시광선으로 노출하여 판단함

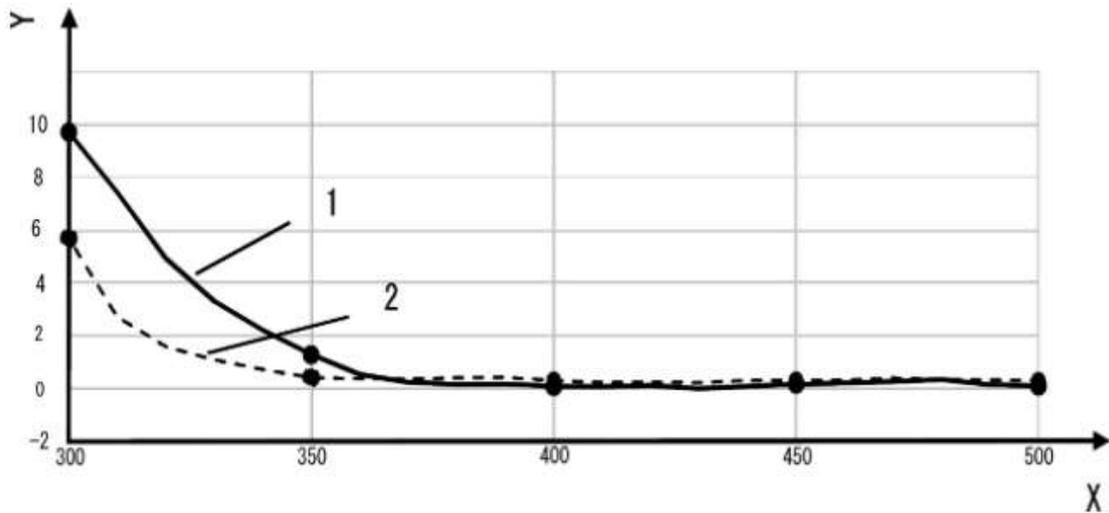


Key

- X wavelength (nm)
- Y spectral irradiance (W·m⁻²·nm⁻¹)

그림 2-60. Spectral irradiance point

- 스펙트럼 방사조도는 220nm에서 520nm 까지 스펙트럼으로 분산된 방사선에 의해 조사됨

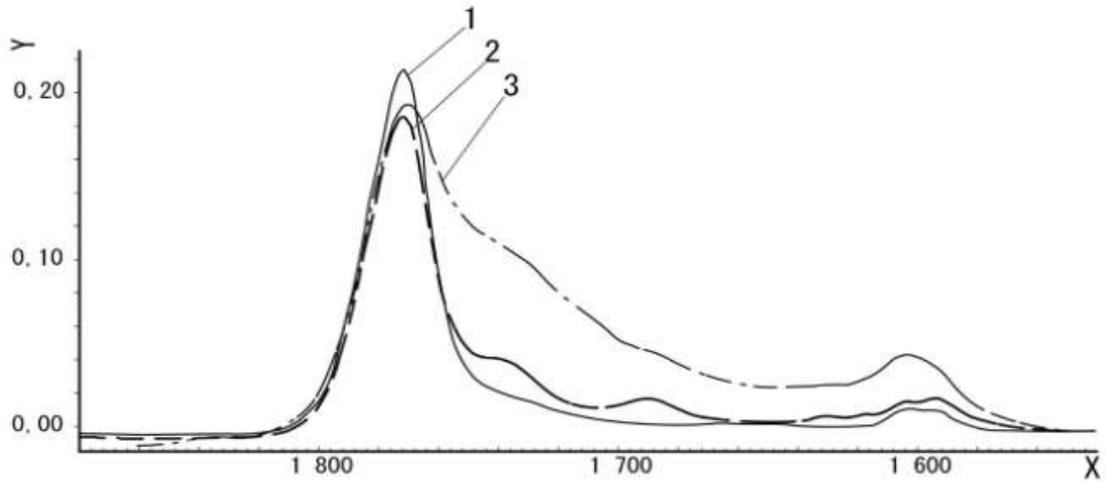


Key

- X wavelength (nm)
- Y change of yellowness index (ΔYI)
- 1 PC1
- 2 PC2

그림 2-61. PC1과 PC2 yellowness 변화 결과

- PC2가 다소 안정적이지만 PC1 황색도가 300nm에서 크게 증가했음을 보여주며, PC2는 330nm이상의 파장 범위에서 1 미만임

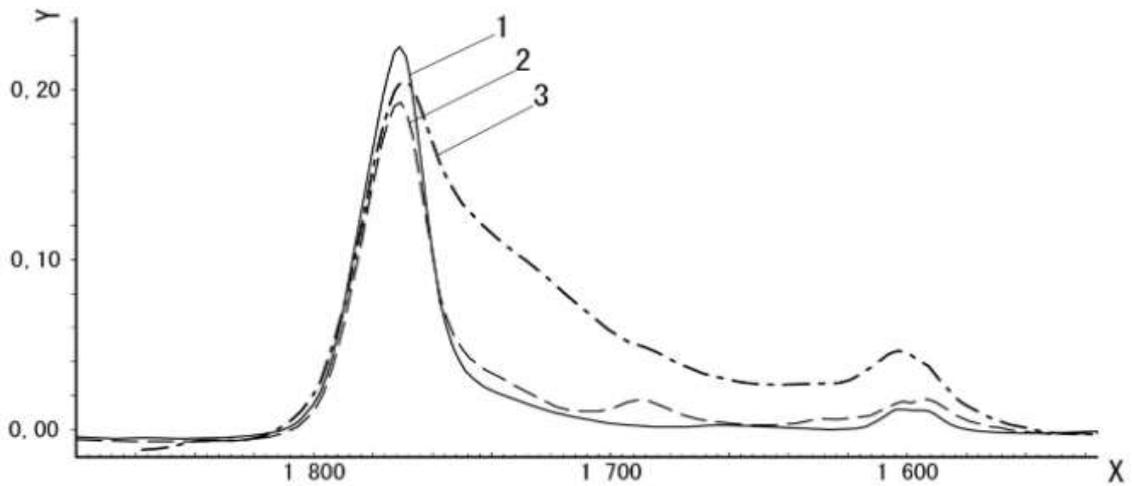


Key

X wavelength (nm)
Y absorbance

1 before exposure
2 point irradiated by 310 nm radiation
3 point irradiated by 480 nm radiation

그림 2-62. Micro-fourier transform infrared spectroscopy (PC1)



Key

X wavelength (nm)
Y absorbance

1 before exposure
2 point irradiated by 310 nm radiation
3 point irradiated by 480 nm radiation

그림 2-63. Micro-fourier transform infrared spectroscopy (PC2)

- PC1, PC2는 310nm, 480nm 조사된 시점을 측정하였음
- 310nm 및 480nm의 조사 시점에서 1780cm⁻¹ 근처의 carbonic acid ester bond의 피크 강도가 노출전보다 작음(480nm에서 반응이 일어남)
- 노출전 보다 310nm에서 1,690cm⁻¹ 근처의 carboxylic acid의 C=O 결합에서 스트레칭 진동이 보다 더 활동적임(480nm에서 반응이 일어남)
- 310nm에서 1,740cm⁻¹에서 1710cm⁻¹ 근처의 케톤 및 에스테르에 의하 피크강도는 누출 전보다 높음

표 2-33. Micro hardness 결과(PC1, PC2)

Specimen		Micro hardness HM 0,0049 3,45 / 5,00 (N / mm ²)	Ratio
PC1	Before exposure	150,0	100 %
	310 nm	173,6	116 %
	480 nm	155,9	104 %
PC2	Before exposure	161,8	100 %
	310 nm	161,8	100 %
	480 nm	163,8	101 %

- 노출 전 경도의 301nm 방사선 및 480nm로 조사한 점을 측정하고 결과를 나타내었으며, 노출에 따라 경도가 증가하는 것을 알 수 있으며, 310nm이 480nm보다 더 큼. 이것은 PC1의 310nm의 경우 가교 반응을 일으키는 것으로 보임

표 2-34. Molecular mass 결과(PC1, PC2)

Specimen		M _n	M _w	Ratio of M _w
PC1	Before exposure	13 900	50 300	100 %
	310 nm	12 400	46 400	92 %
	480 nm	13 600	49 500	98 %
PC2	Before exposure	8 420	50 200	100 %
	310 nm	8 200	48 000	96 %
	480 nm	8 540	49 800	99 %

- 노출 전·후에 대 310nm 방사선 및 480nm에서 분자량을 측정하였음
- PC1과 PC2과 Mw 비율이 감소하는 것을 알 수 있으며, 310nm 방사선에 의해서 좀더 감소되고 PC2보다 PC1이 더 감소함. 이것은 310nm에서 분해 반응이 이유인 것으로 보임

라) B₁₀ 수명예측

- B₁₀ 수명은 아이템의 불신뢰도가 10%인 시점으로 많은 아이템이 있는 경우 10%의 아이템이 고장 나는 시점을 말한다. 이 점부터 아이템이 본격적으로 고장 나므로 품질보증정책을 입안하는데 꼭 필요한 정보임
- 와이בל분포는 재료의 파고강도를 분석하면서 고안한 확률분포로, 금속 및 복합재료의 강도, 전자 및 기계부품의 수명분포를 나타내는데 적합한 확률분포로 형상(shape), 척도(scale) 및 위치(location) 모수 값에 따라 다양한 분포를 표현할 수 있음 (부록 참조)

마) 축사용 채광창 굴곡변형에 대한 구조해석 결과

- 트리플 홀 6종에 대하여 4point bending 해석을 통해 비교 분석을 실시
- 해석에 사용된 소프트웨어는 Code_Aster 로써, 구조역학 분야의 시뮬레이션 소프트웨어이며, 1989년에 프랑스 전력회사 EDF에서 개발하여 2001년 10월에 GNU GPL 라이선스로 출시되었으며, 100만 개 이상의 코드 라인, 수많은 테스트 사례 및 방대한 문서를 포함하고 있음
- 모델에 적용한 재료는 Lotte Chemical의 PC-1070U로써 물성은 아래표와 같음

Control	
모델 A	
모델 B	
모델 C	
모델 D	
모델 E	

그림 2-64. 모델 type(두께 4mm)

표 2-34. 재료의 물성

항목	단위	물성값
탄성계수	MPa	2353.6
포아송비	-	0.3912
인장강도	MPa	61.8
파단신율	%	>100
밀도	kg/m ³	1200

- 구속 조건을 위한 해석 시험방법은 [ASTM D6272 Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four Point Bending]에 따라 아래의 그림과 같이 구성하였음

- Loading noses 및 Supports의 반경은 5mm이며, Supports 사이의 거리는 시편 두께 4mm의 16배인 64mm이다. 따라서 Loading noses의 거리는 32mm임
- 모델은 중심선을 기준으로 대칭 구조를 이루고 있어 해석에는 모델의 절반을 이용하였으며, Loading noses 및 Supports의 반경은 5mm이며, Supports 사이의 거리는 시편 두께 4mm의 16배인 64mm이다. 따라서 Loading noses의 거리는 32mm임
- 모델은 중심선을 기준으로 대칭 구조를 이루고 있어 해석에는 모델의 절반을 이용하였음

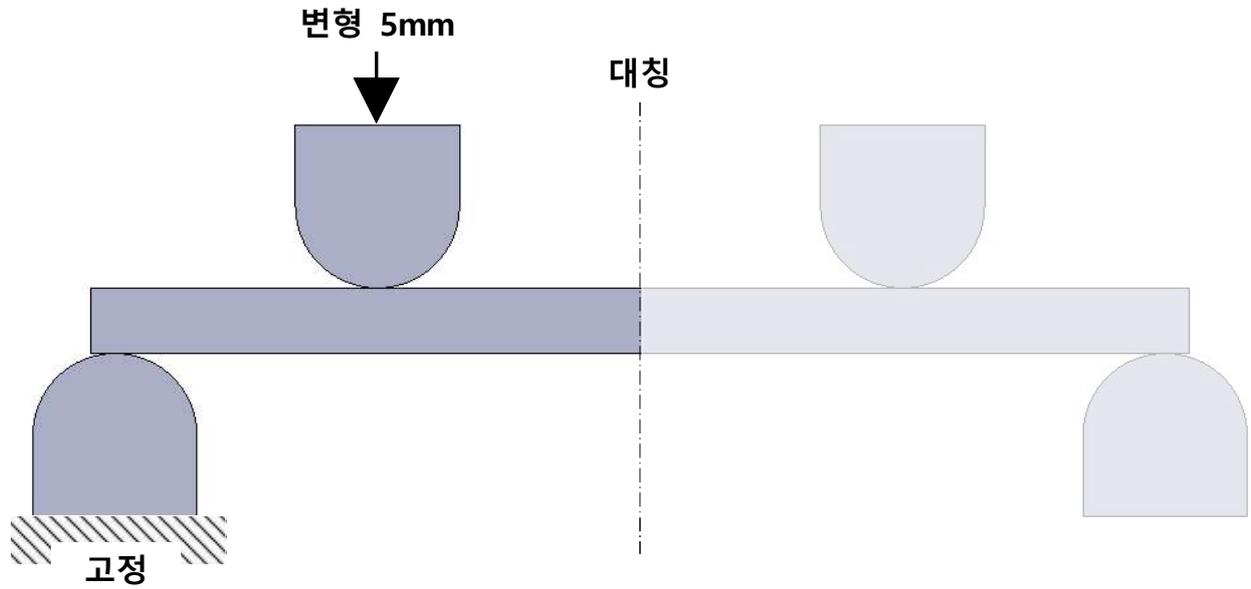
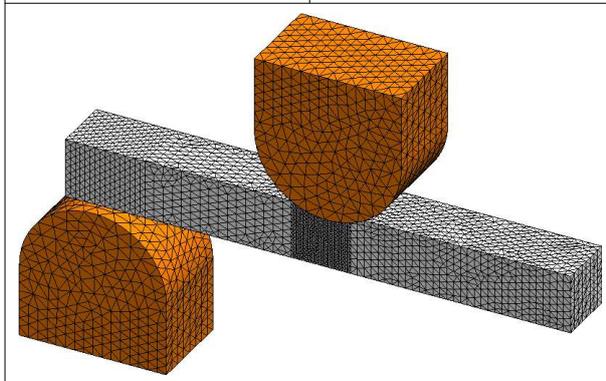


그림 2-65. 구속 조건

○ 메시

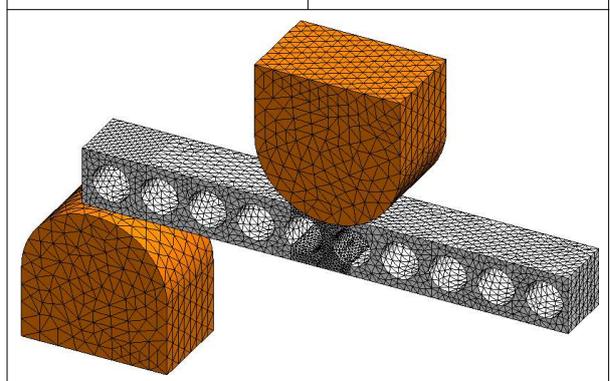
모델 Control

총 절점수	138,280
총 요소수	93,560



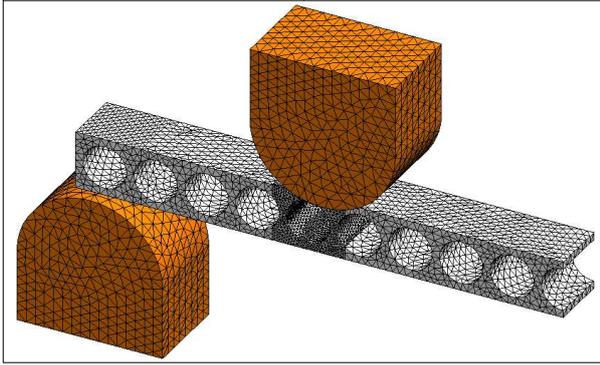
모델 A

총 절점수	45,087
총 요소수	26,502



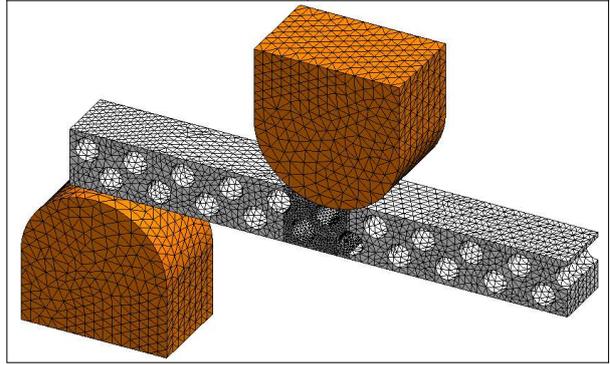
모델 B

총 절점수	96,750
총 요소수	60,604



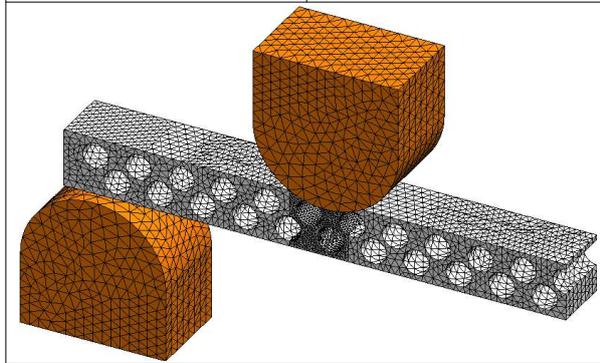
모델 C

총 절점수	112,643
총 요소수	71,507



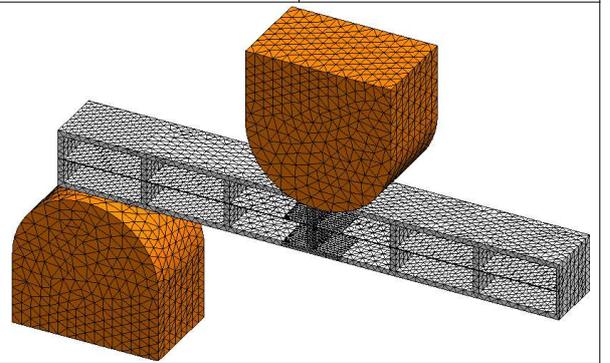
모델 D

총 절점수	96,379
총 요소수	59,039



모델 E

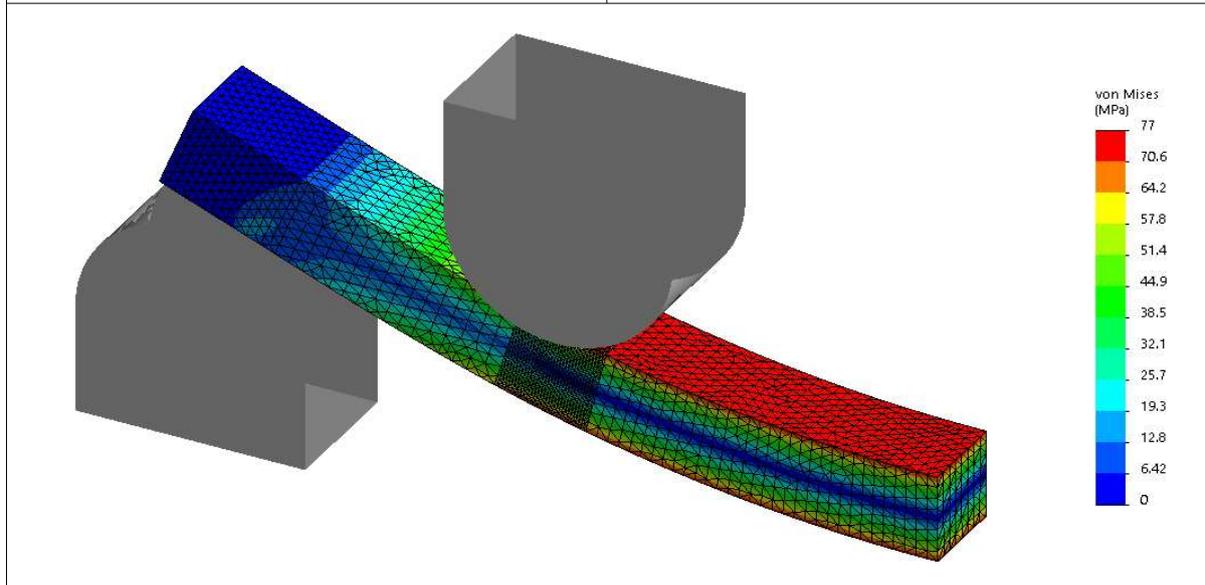
총 절점수	65959
총 요소수	35094

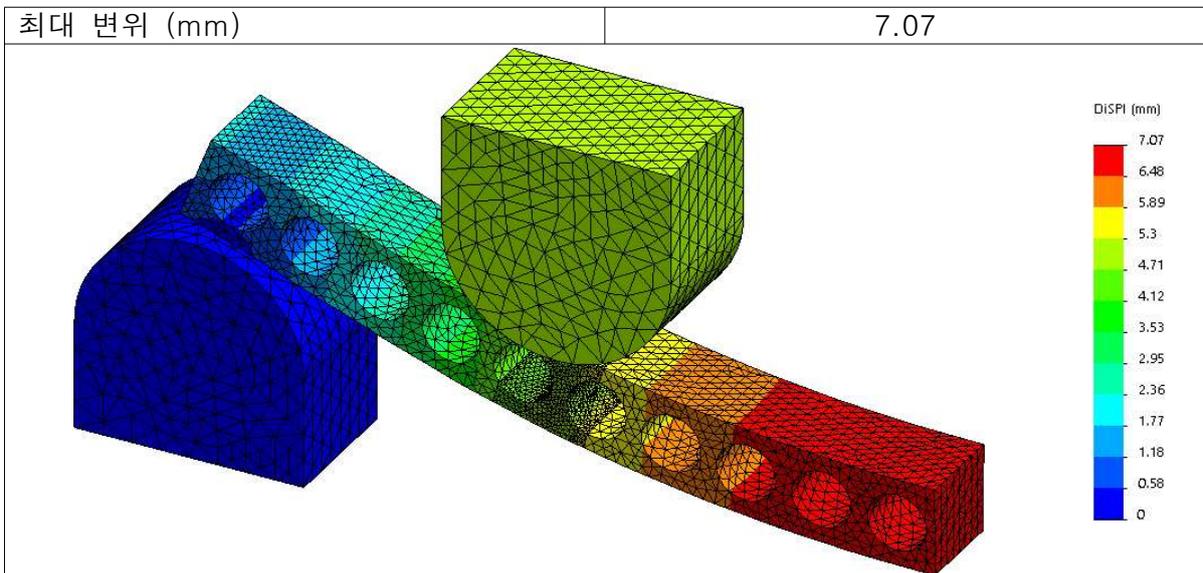
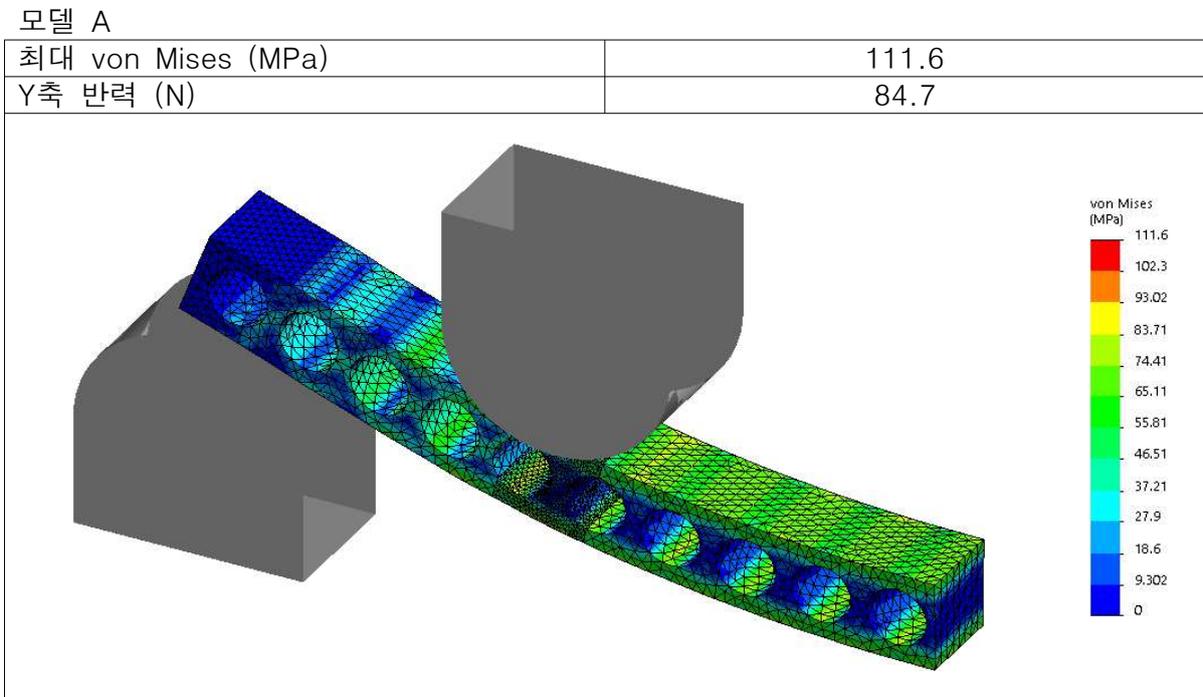
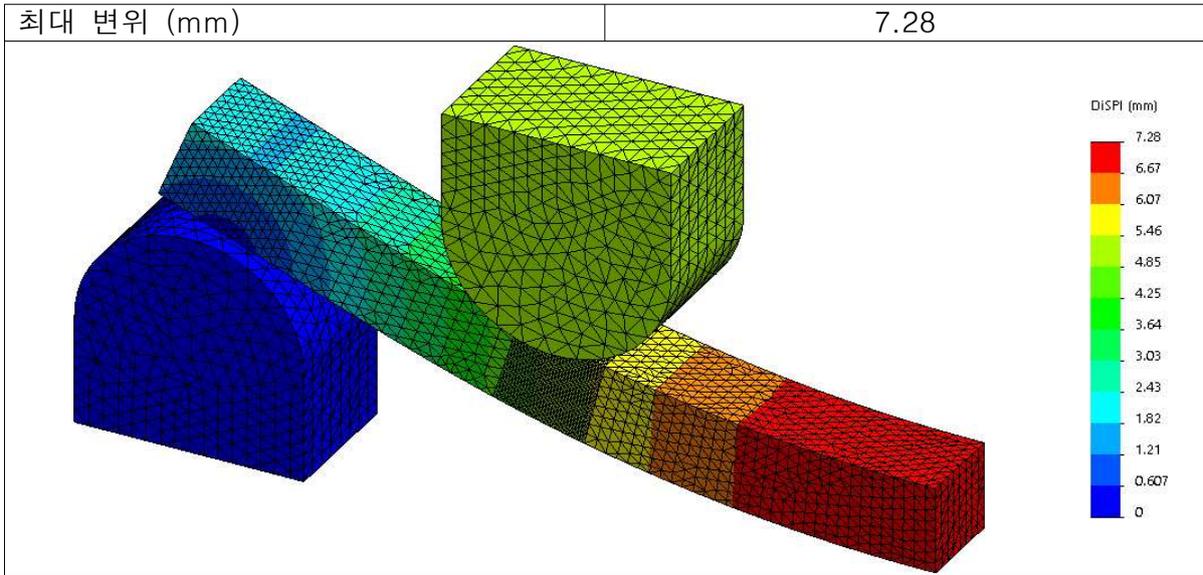


○ 해석 결과

모델 Control

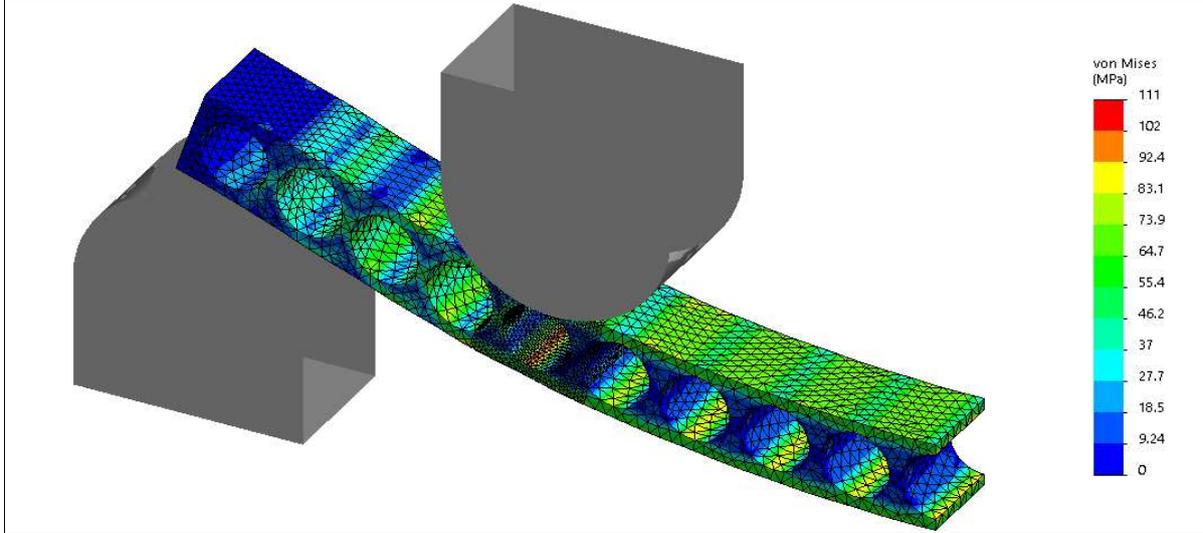
최대 von Mises (MPa)	77.0
Y축 반력 (N)	116.4



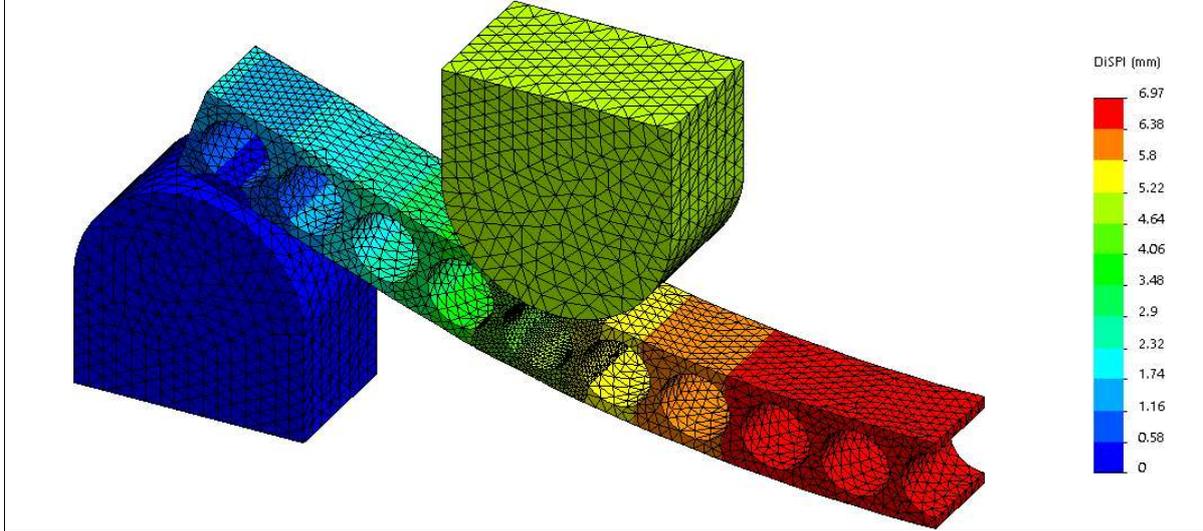


모델 B

최대 von Mises (MPa)	111
Y축 반력 (N)	67.8

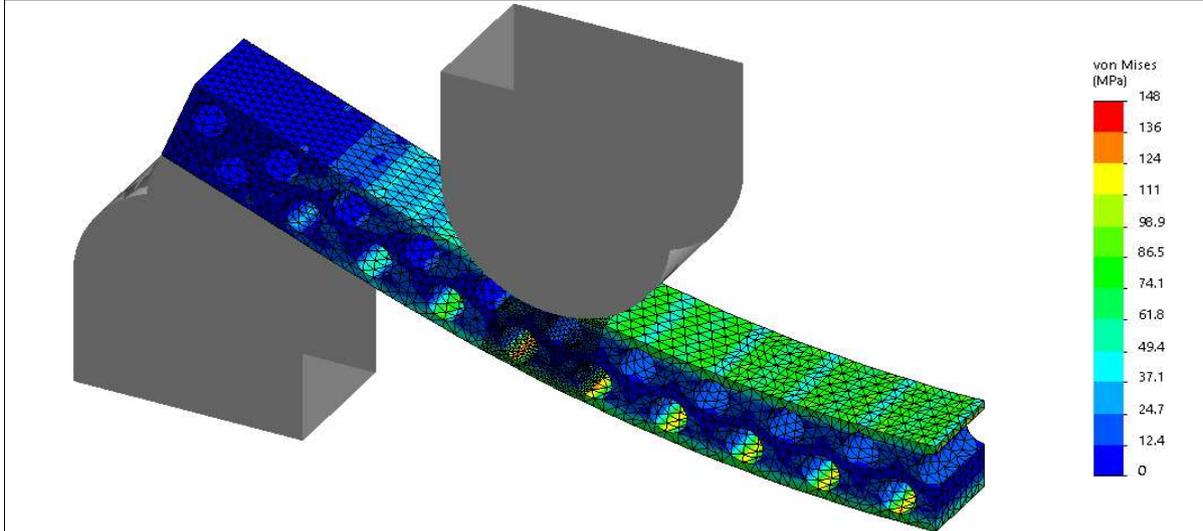


최대 변위 (mm)	6.97
------------	------



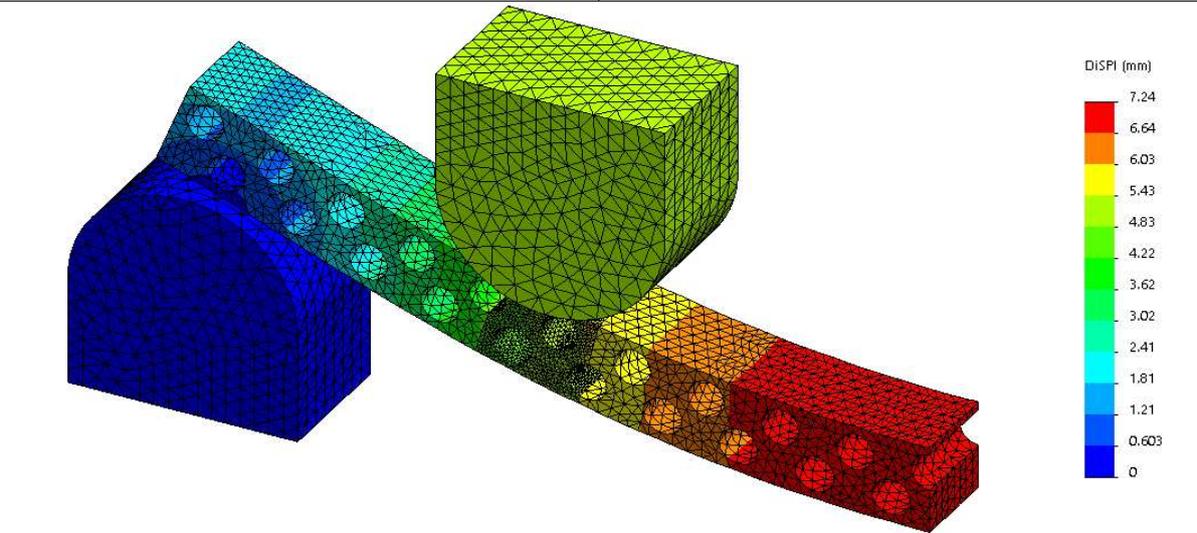
모델 C

최대 von Mises (MPa)	148
Y축 반력 (N)	66.9



최대 변위 (mm)

7.24



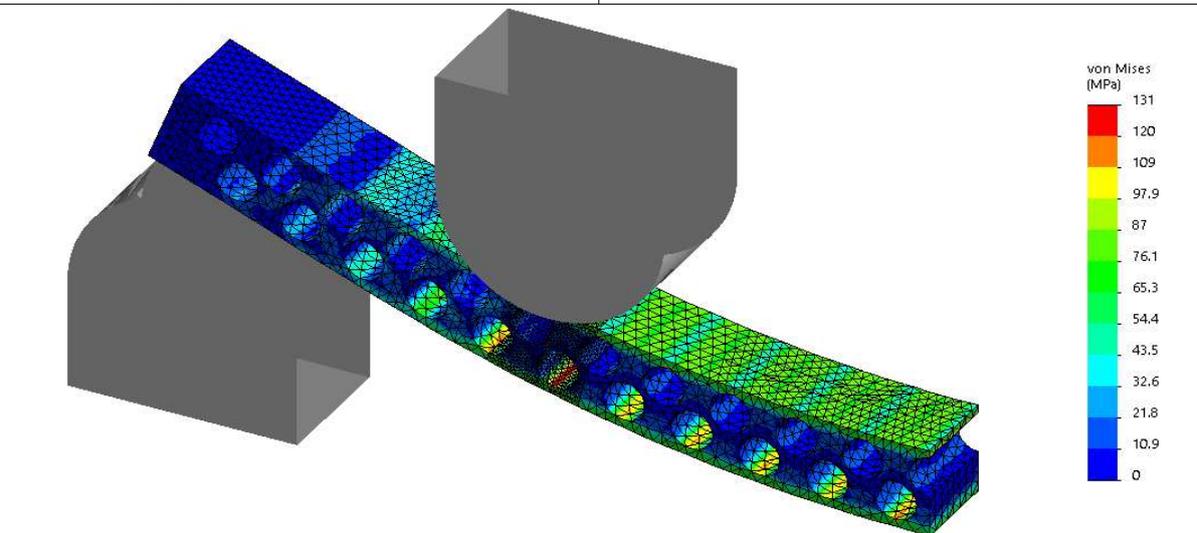
모델 D

최대 von Mises (MPa)

131

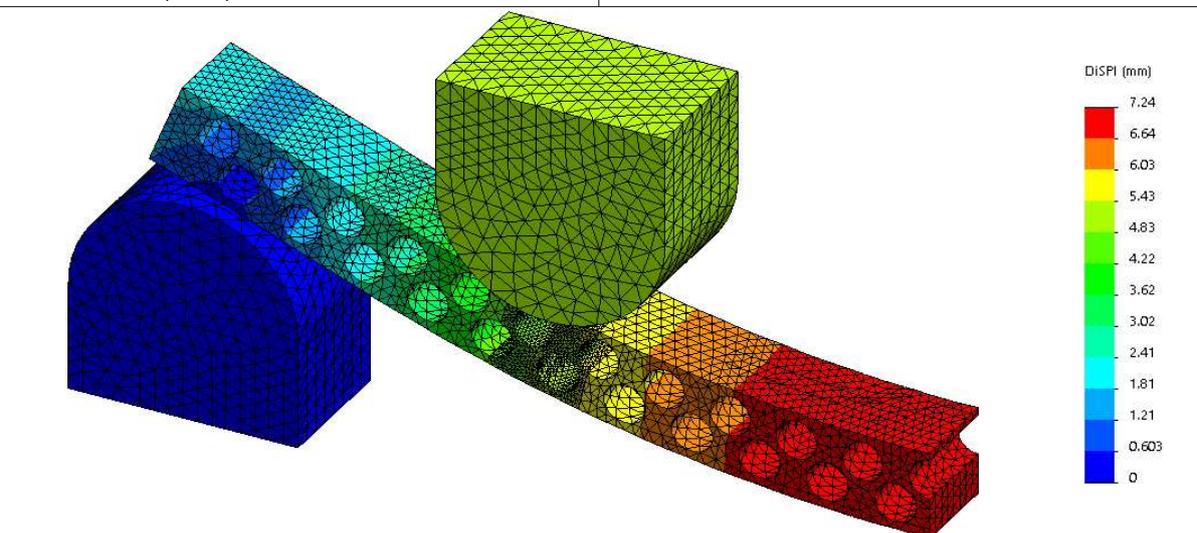
Y축 반력 (N)

62.2



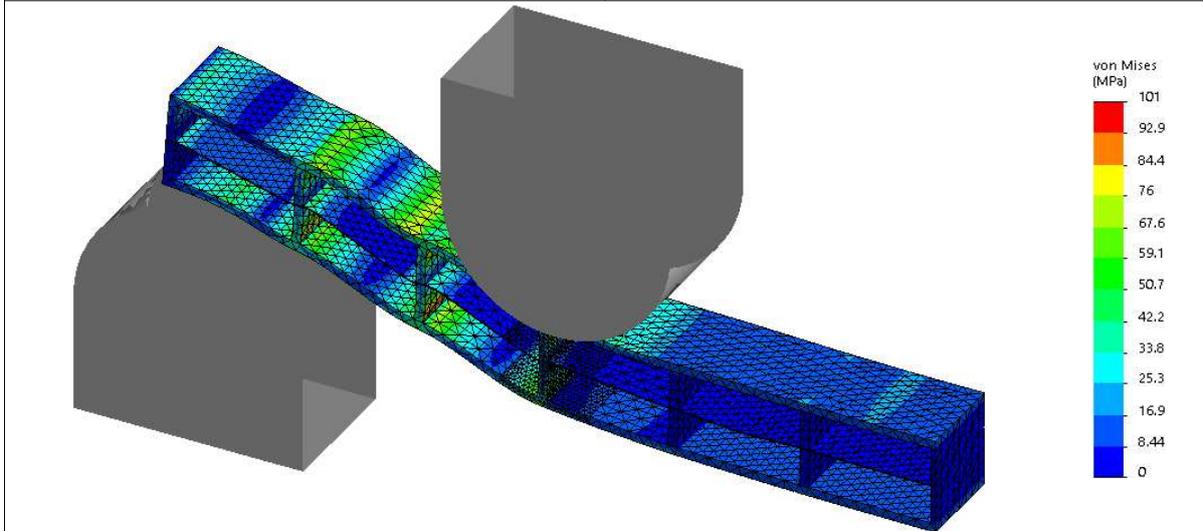
최대 변위 (mm)

7.24

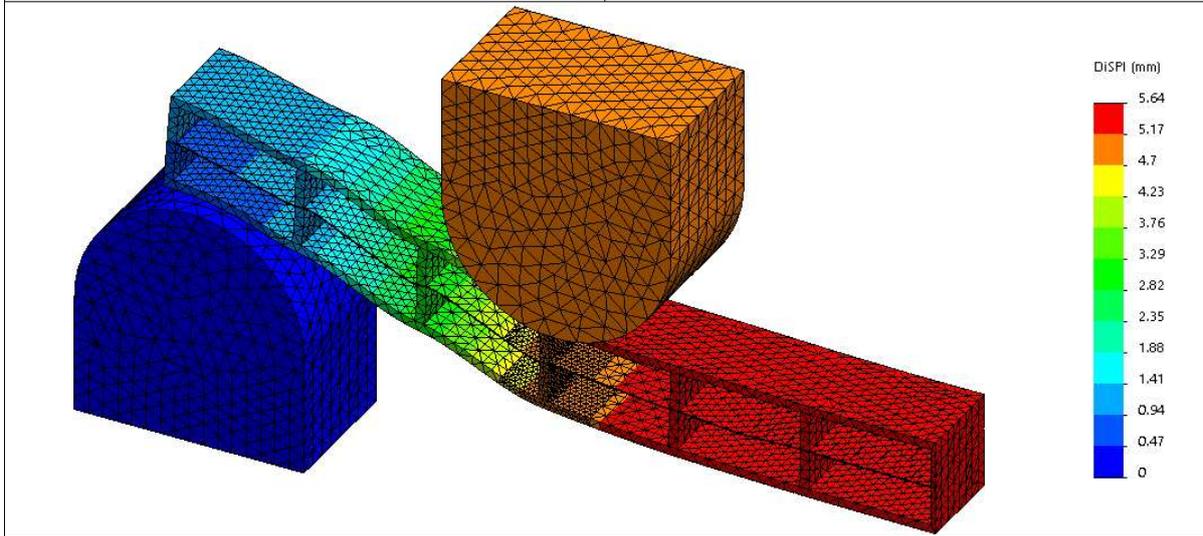


모델 E

최대 von Mises (MPa)	101
Y축 반력 (N)	9.9



최대 변위 (mm)	5.64
------------	------



○ 요약

- 모델의 길이는 모두 동일하지 않고, 반복되는 내부 구조의 크기로 인해 약간의 차이가 발생하였음
- 축사용 채광창의 내부 구조를 달리하여 bending 시험을 통한 하중 및 변형을 확인하고 최적의 구조를 반영하기 위하여 구조해석을 진행하였음
- 결과 모델 E의 구조가 중량 및 반력, 변형에서 가장 좋은 것으로 나타났으며, 본 사업을 수행하는데 기초적인 데이터로 활용함

모델	치수(폭×두께×길이) mm	중량 g	반력 N	반력/중량 N/g
Control	4 × 4 × 68.80	0.660	116.4	176
A	4 × 4 × 66.70	0.385	84.7	220
B	4 × 4 × 67.00	0.321	67.8	211
C	4 × 4 × 68.35	0.446	66.9	150
D	4 × 4 × 69.07	0.388	62.2	160
E	4 × 4 × 68.80	0.164	9.9	60

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1. 특허출원: 1단계 1차년도 특허출원 목표는 0건이나, 2차년도 사업화 및 특허회피전략 수립에 따라 1차년도 조성물 및 결과물로 특허출원 1건을 완료함.
발명의 명칭: 내후성 및 내화학성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판
출원일: 21년 12월 28일
2. 특허등록: 특허회피전략 수립에 따라 1단계 1차년도에 출원한 특허가 등록됨.
발명의 명칭: 내후성 및 내화학성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판
등록일: 22년 6월 28일
3. 학술발표: 각 단계 연차별로 1건씩 목표로 설정했지만, 각 2건씩 달성함
4. 고용창출: 각 연차별 1명, 3명, 5명 고용을 목표로했으나, 1명, 5명, 5명으로 총 11명을 고용하여 2명 추가 실적 달성함
5. 홍보전시: 1단계 1차년도, 2단계 1차년도 각 1건씩 추가 달성하였으며, 1단계 2차년도에는 목표 0건이나, 1건 달성함

(2) 정량적 연구개발성과

2-1) 연구개발 성과지표

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		단계	1단계 (21~22년)	2단계 (23년)	가중치(%)
전담기관 등록·기탁지표	논문(SCI)	목표	-	1건	-
		실적	-	0건	
	논문(비SCI)	목표	1건	1건	-
		실적	1건	0건	
	특허 출원	목표	1건	-	5
		실적	2건	-	
	특허 등록	목표	0건	1건	5
		실적	1건	1건	
	학술발표	목표	2건	1건	5
		실적	4건	2건	
연구개발과제 특성 반영 지표	제품화	목표	1건	1건	20
		실적	1건	1건	
	매출액	목표	500,000 천원	1,500,000 천원	20
		실적	280,086 천원	545,372 천원	
	기술실시(건수)	목표	1건	1건	5
		실적	1건	1건	
	기술료	목표	8,000 천원	8,000 천원	5
		실적	6,273 천원	9,097 천원(예상)	
	고용창출	목표	4명	5명	5
		실적	6명	5명	
	기술인증	목표	1건	-	10
		실적	0건	-	
	교육지도	목표	6건	4건	10
		실적	6건	4건	
	정책활용	목표	1건	1건	5
		실적	1건	1건	
홍보전시	목표	1건	1건	5	
	실적	3건	2건		
계			-	-	100

2-2) 정량적 목표

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	1단계 1차년도		목표 달성도(%)
			성능수준	성능수준	목표	실적	
1. 투과도	%	15	사우디/sabic 79	75	75	76.8	100
2. 내열성 (@ 1.8MPa)	℃	10	사우디/Sabic 132	128	128	128	100
3. 충격강도 (Izod impact)	J/m	10	사우디/Sabic 900	850	850	937	100
4. 굴곡강도	MPa	10	사우디/sabic 93	90	90	92.5	100
5. 열관류율	W/m²K	10	사우디/sabic 3.9	3.9	4.0	3.2	100
6.내후성	옥외 폭로	15	/	-	△YI 10이하	2.1	100
	Xenon (4000h)		시간	사우디/Sabic 황변도(△YI) : 5	△YI 10	△YI 15이하	0.1
7. 신뢰성보장 (수명예측)	-	20	/	-	-	-	-
8. 내화학적성 (암모니아)	-	20	/	-	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	100

* 신뢰성분석: 1단계에서는 데이터 수집을 수행하고, 최종 2단계에서 가속수명 시험을 통한 보고서를 제출할 예정임.

* 내화학적성: 내약품성시험을 진행하는 국내 공인인증기관 6곳에서 의뢰자제시방법을 모두 검토하였으나, 시험 불가 통보를 받아 1차년도는 자체시험보고서를 제출함.

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	1단계 2차년도		목표 달성도(%)
			성능수준	성능수준	목표	실적	
1. 투과도	%	15	사우디/sabic 79	75	78	78.0	100
2. 내열성 (@ 1.8MPa)	℃	10	사우디/Sabic 132	128	130	132	100
3. 충격강도 (Izod impact)	J/m	10	사우디/Sabic 900	850	880	970	100
4. 굴곡강도	MPa	10	사우디/sabic 93	90	90	108	100
5. 열관류율	W/m²K	10	사우디/sabic 3.9	3.9	3.9	3.548	100
6.내후성	옥외 폭로	15	/	-	△YI 7이하	5.1	100
	Xenon (4000h)		시간	사우디/Sabic 황변도(△YI) : 5	△YI 10	△YI 10이하	6.6
7. 신뢰성보장 (수명예측)	-	20	/	-	-	-	-
8. 내화학적성 (암모니아)	-	20	/	-	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	100

* 신뢰성분석: 1단계에서는 데이터 수집을 수행하고, 최종 2단계에서 가속수명 시험을 통한 보고서를 제출할 예정임.

2-2) 정량적 목표

평가 항목 (주요성능)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	2단계 1차년도		목표 달성도(%)
			성능수준	성능수준	목표	실적	
1. 투과도	%	15	사우디/sabic 79	75	>80	86.2	100
2. 내열성 (@ 1.8MPa)	℃	10	사우디/Sabic 132	128	>132	132	100
3. 충격강도 (Izod impact)	J/m	10	사우디/Sabic 900	850	900	906	100
4. 굴곡강도	MPa	10	사우디/sabic 93	90	93	93.3	100
5. 열관류율	W/m²K	10	사우디/sabic 3.9	3.9	3.7	3.654	100
6. 내후성	옥외 폭로	15	/	-	△YI 5이하	4.8	100
	Xenon (4000h)		시간	사우디/Sabic 황변도(△YI) : 5	△YI 10	△YI 5이하	4.0
7. 신뢰성보장 (수명예측)	-	20	/	-	B10 수명보고서	B10 수명보고서	100
8. 내화학적성 (암모니아)	-	20	/	-	질량 및 외관 변화 없음	질량 및 외관 변화 없음	100

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	폴리카보네이트 소재의 자연폭로와 실내축진 내후성 영향	한국표면공학회지	문정미	6	폴리카보네이트 소재의 자연폭로와 실내축진 내후성 영향	한국표면공학회	비SCIE	2022.11	2288-8403	100%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1P-80	한국공업화학회	김창환	21.11.04	대구 엑스코	옥외축진시험방법 가능성의 연구
1P-768	한국공업화학회	김창환	21.11.04	대구 엑스코	기후환경실증센터 시설 및 시험사례 소개
1P-97	한국공업화학회	김창환	22.05.12	제주 ICC	A study of climate and irradiation for 10 years in Seosan outdoor exposure site, South Korea
도장방식 기술심포지엄-5	한국부식방식학회	김창환	22.05.26	POSTECH 철강,에너지소재대학원	옥외축진시험 가능성 연구
1P-61	한국공업화학회	김창환	23.05.11	제주 ICC	Test method of accelerated environmental stress test using combined UV light and mechanical loading for plastics
2P-116	한국공업화학회	장호진	23.05.11	제주 ICC	Influence of natural and accelerated weathering of livestock barn roof of polycarbonate material
-	ISO/TC61회의	김창환	23.9.26-27	스웨덴 스톡홀름	ISO 21488
-	ISW (International Symposium on Weatherability)	김창환	23.11.2	코엑스	Development of evaluation methods for weather and light resistance of automobile polymer materials
-	탄소제품 인증 표준시험법 세미나	김창환	23.11.30	여수 JCS 호텔	Weathering Test Trends

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허출원	내후성 및 내화확성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판	에스폴리텍	2021.12.28	10-2021-0189751	-	-	-	-	5	-
2	특허등록	내후성 및 내화확성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판	-	-	-	-	에스폴리텍	2022.6.28	10-2415670	5	-
3	특허출원	내열성 및 내화확성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판	에스폴리텍	2022.5.26	10-2022-0064446	-	-	-	-	5	-
4	특허등록	옥외축진폭로테스트 장치	-	-	-	-	KCL	2023.8.17	10-2569521	5	활용

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1		√								
2		√	√	√						
3		√								
4	√									

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부		표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자
					의장	단				

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	복층골판 V-250	2021.06	에스폴리텍	에스폴리텍	축사용 채광창	2년	-	-
2	복층골판 V-250	2022.06	에스폴리텍	에스폴리텍	축사용 채광창	1년	-	-
3	복층골판 C-63	2023.01	에스폴리텍	에스폴리텍	축사용 채광창	1년	-	-

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	직접실시	축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250	(주)에스폴리텍	2021.11.03	9,096,593원 (2023년도 매출 실적에 따른 기술료, 24년 6월 납부 예정)	6,273,932
1	직접실시	축사용 폴리카보네이트 복층골판 C-63	(주)에스폴리텍	2023.12.28		-

※ 기술료 산출 근거 (에스폴리텍은 중견기업으로 감면을 60%, 일시납 기준 30% 추가 감면)

1. 22년도

- 2022년도 매출액: 280,086,236원 (매출 발생기간: 2022.07월~12월)
- 협약시 산정한 기술기여도: 80%
- 정부납부기술료(직접실시) 산정:
 - ① 매출액×기술기여도×기술료를 10%(중견) = 22,406,899원
 - ② ①계산총액 - 감면율 60%(중견) = 8,962,760원
 - ③ ②계산총액 - 일시납 30% 추가감면 적용 = **6,273,932원**

<목표>

22년도: 8백만원
23년도: 8백만원

<달성현황>

22년도: 6,273,932원
23년도: 9,096,593원

합계 15,370,525원 (목표 96% 달성)

2. 23년도

- 2023년도 매출액: 545,372,401원 (매출 발생기간: 2023.01월~12월)
- 23년 8월, 정정된 기술기여도: 59.57%
- 정부납부기술료(직접실시) 산정:
 - ① 매출액×기술기여도×기술료를 10%(중견) = 32,487,834원
 - ② ①계산총액 - 감면율 60%(중견) = 12,995,134원
 - ③ ②계산총액 - 일시납 30% 추가감면 적용 = **9,096,593원**

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격
1	복층골판용 V-250 T-Die 개조 및 부대설비 설치	3억 8,688만원	-	3억 8,688만원	내부 자금
2	복층골판용 C-63 T-Die 개조 및 부대설비 설치	3억 3,457만원	-	3억 3,457만원	내부 자금

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	직접실시	신제품 개발	충북	축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250	복층골판 V-250	(주)에스폴리텍	280,086	-	2022	5년
2	직접실시	신제품 개발	충북	축사용 폴리카보네이트 복층골판 C-63	복층골판 C-63	(주)에스폴리텍	545,372	-	2023	5년

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계(천원)	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250	2022	280,086	-	280,086	-
축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250, C-63	2023	545,372	-	545,372	-
합계		825,458	-	825,458	-

□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

성과		축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250 제품화			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년			
	소요예산(천원)	1,155,000 (정부출연금 688,000 + 주관연구개발기관 자체 투자 467,000)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		721,339	2,000,000	3,000,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
국내			1	10	15
국외			0	1	2
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		1. 일반 캐노피 시장 진출할 계획임. 2. 개발소재의 경우 내후성 및 내화확성이 취약한 PC의 단점을 개선한 것이므로 당사 방음벽, 내후시트 등에도 확대 적용할 예정임.			
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수 출	-	-	-	

성과		축사용 폴리카보네이트 복층골판 C-63 제품화			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2년			
	소요예산(천원)	1,155,000 (정부출연금 688,000 + 주관연구개발기관 자체 투자 467,000)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		104,120	450,000	600,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
국내			1	10	15
국외			0	1	2
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		1. 일반 캐노피 시장 진출할 계획임. 2. 개발소재의 경우 내후성 및 내화확성이 취약한 PC의 단점을 개선한 것이므로 당사 방음벽, 내후시트 등에도 확대 적용할 예정임.			
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수 출	-	-	-	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	축사용 폴리카보네이트 복층골판 V-250	(주)에스플리텍	1	5	-	6
2	축사용 폴리카보네이트 복층골판 C-63	(주)에스플리텍	-	-	5	5
합계			1	5	5	11

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	1 (퇴사)
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	6

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	복층골판 개발제품 설명	2021.07.08(목)	서산시 축산업 대표	서산축협	15
2	2022년 제1회 산업용 기계분야 R&D 유망기술 설명회 및 교육지도(현장컨설팅)	2022.04.06.(수)	기술수요·공급 기업 관계자	서울 코엑스	-
3	기후환경 및 내후성 시험·평가분야 기술교육	2022.05.27(금)	메이저위드(주) 임직원	KCL 기후환경실증센터 (진천, 서산)	14
4	복층골판 제품 설명회 및 기술지도	2022.06.07(화)	진천군 축산업 관계자	에스폴리텍 대회의실	12
5	내후성 분야 기술교육 및 시험·평가 실습	2022.07.03.(일) ~ 2022.08.13.(토)	파키스탄 태양전지모듈 인증시험소 기술 및 품질책임자, 실무자	KCL 기후환경실증센터 (서산)	5
6	내후성 시험평가 및 기술교육	2022.09.20.(화)	건축 내·외장재 업체, 도료업체, 옥외용 고분자 생산 및 연구개발 담당자	서울 코엑스	25
7	기후환경관련 시험 기술교육	2023.06.27.(화)	군산대, 가천대 교수 및 학생	기후환경실증센터	9
8	내후성 및 내화학성 플라스틱 교육	2023.08.04.(금)	업계 종사자	에스폴리텍 서울사무소 대회의실	10
9	내후성 세미나 교육	2023.11.02.(목)	산학연 관계자	코엑스	138
10	기능성 폴리카보네이트 소재 연구동향	2023.11.16.(목)	업계 종사자 및 교통대 재학생	한국교통대학교 스마트 ICT관 401호	30

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용
1	제안	한우 및 낙농 축사 지붕재료인 FRP 채광판의 내구성 개선에 관한 건의	농림축산식품부 축산정책국 축산정책과 (김성경 주무관)	2022	-
2	제안	한우 및 낙농 축사 지붕재료인 FRP 채광판의 시방서 개정 제안 (내후성, 골판 형태 개정)	농림축산식품부 축산정책관 축산경영과 (주재호 주무관)	2023	-

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	시제품 전시 홍보	서산축협	복층골판 개발제품 설명	2021.07.08
2	시제품 전시 홍보	상주축협	복층골판 개발제품 설명	2021.12.07
3	내후성 시험분야 전시 홍보	KINTEX 6~8홀 및 야외 전시장	대한민국 방위산업전 2022	2022.09.21.(수) ~ 2022.09.25.(일)
4	내후성, 기후환경 홍보전시, 교육	서울 ADEX	SEOUL ADEX 2023	2023.10.17.(화) ~ 2023.10.20.(금)
5	수행과제 및 시제품 전시 홍보	수원 컨벤션센터	2023 농림축산식품 과학기술대전	2023.11.27(월) ~ 2023.11.29(수)

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과]

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항

1. 특허출원: 1단계 1차년도 특허출원 목표는 0건이나, 2차년도 사업화 및 특허회피전략 수립에 따라 1차년도 조성물 및 결과물로 특허출원 1건을 완료함.
발명의 명칭: 내후성 및 내화학성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판
출원일: 21년 12월 28일
2. 특허등록: 특허회피전략 수립에 따라 1단계 1차년도에 출원한 특허가 등록됨.
발명의 명칭: 내후성 및 내화학성이 우수한 폴리카보네이트 복층골판
등록일: 22년 6월 28일
3. 학술발표: 각 단계 연차별로 1건씩 목표로 설정했지만, 각 2건씩 달성함
4. 고용창출: 각 연차별 1명, 3명, 5명 고용을 목표로했으나, 1명, 5명, 5명으로 총 11명을 고용하여 2명 추가 실적 달성함
5. 홍보전시: 1단계 1차년도, 2단계 1차년도 각 1건씩 추가 달성하였으며, 1단계 2차년도에는 목표 0건이나, 1건 달성함

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
<성과지표> 1단계 / 2단계		
○ 특허출원 - 1건 / 0건	○ 2건 / -	100%
○ 특허등록 - 0건 / 1건	○ 1건 / 0건	50%
○ 논문(SCI) - 0건 / 1건	○ 0건	0%
○ 논문(비SCI) - 1건 / 1건	○ 1건 / 0건	50%
○ 기술실시 - 1건 / 1건	○ 1건 / 1건	100%
○ 기술료 - 8백만원 / 8백만원	○ 6.3백만원/9.0백만원(24년 6월 납부 예정)	78%/100%
○ 제품화 - 1건 / 1건	○ 1건 / 1건	100%
○ 매출액 - 500 백만원 / 1,500 백만원	○ 280 백만원 / 545 백만원	56%/36%
○ 기술인증 - 1건 / 0건	○ 0건	0%
○ 고용창출 - 4명 / 5명	○ 6명 / 5명	100%
○ 학술발표 - 2건 / 1건	○ 4건 / 5건	100%
○ 교육지도 - 6건 / 4건	○ 6건 / 4건	100%
○ 정책활용 - 1건 / 1건	○ 1건 / 1건	100%
○ 홍보전시 - 1건 / 1건	○ 3건 / 2건	100%
<정량적 목표> 1단계 1차 / 2차 / 2단계 1차		
○ 투과도 - 75% / 78% / >80%	○ 76.8% / 78.0% / 86.2%	100%
○ 내열성 - 128℃ / 130℃ / >130℃	○ 128℃ / 132℃ / 132℃	100%
○ 충격강도 - 850 J/m / 880 J/m / 900 J/m	○ 937 J/m / 970 J/m / 906 J/m	100%
○ 굴곡강도 - 90 MPa / 90 MPa / 93 MPa	○ 92.5MPa / 108MPa / 93.3MPa	100%
○ 열관류율 - 4.0 W/m ² K / 3.9 W/m ² K / 3.7 W/m ² K	○ 3.2 W/m ² K / 3.5 W/m ² K / 3.675 W/m ² K	100%
○ 내후성(옥외폭로) - △YI 10이하 / 7이하 / 5이하	○ 2.1 / 6.6 / 4.8	100%
○ 내후성(Xenon) - △YI 15이하 / 10이하 / 5이하	○ 0.1 / 5.1 / 4.0	100%
○ 내화학성 - 질량 및 외관 변화 없음	○ 변화 없음 / 변화 없음 / 변화 없음	100%

4. 목표 미달 시 원인분석

1. 매출액

- 당초 계획에는 사업화를 22년도 상반기 내에 진행하려고 했으나 제품화를 하면 NET인 증 신청 자격이 박탈됨에 따라 당해연도 기술인증 성과를 달성하지 못한다는 난관에 봉착함.
- 상기 이유와 더불어 품질 안정화 미흡, 마케팅 요소 부족 (특허등록 미확보) 및 판매확보 미흡 등의 사유로 22년도 상반기 내 진행하지 못하고, 22년도 하반기(7월~)에 사업화함에 따라 당초 계획한 매출 5억 원 달성이 불가피해짐.
- 복층골판 V-250의 22년 7월~12월 판매 중량은 약 49톤으로 판가 5,770원/kg 기준으로 매출 2.8억 원을 달성함.
- 23년도에는 계획대로 1월부터 C-63 파형의 제품을 출시함. 22년도에 확보한 거래처뿐만 아니라 시장점유율이 더 높아질 것으로 예상하여 복층골판 V-250과 C-63의 목표 월 판매중량 25톤, 판가 5,000원/kg 기준으로 23년도 예상 매출액을 약 15 억 원으로 예상했으나 (산출 근거: 월 예상 판매중량 25,000kg * 판가 5,000원/kg = 125,000,000원/월 → 125,000,000원 * 12 개월 = 1,500,000,000원/년), 23년도 내수경기가 매우 좋지 않음에 따라 12개월간 판매 중량은 98톤으로 판가 5,570원/kg 기준으로 5.5 억 원 매출을 달성함.

2. 기술료

- 혁신법 개정으로 영리기업의 경우 정부납부기술료가 경상기술료로 바뀜. 매출액이 발생한 시점으로부터 그 해 누적 매출액을 협약시 계상한 기술기여도와 고려해 전담기관에 납부해야할 경상기술료 금액을 산정하게 됨.
- 사업계획서 작성 당시 해당 부분을 정확히 인지하지 못하고, 정액기술료 납부 가능할 것으로 예상하여 사업화가 발생한 그 해 기술료 납부로 성과지표로 설정한 바 있음.
- 따라서 23년도부터 기술료 성과를 계획했어야 했고, 22년도 발생한 매출액에 대한 기술료는 경상기술료 계산법에 따라 산출하여 23년도에 전담기관에 정상 납부함.

3. 기술인증

- 기술인증은 녹색인증과 NET 인증 두 가지로 나뉘며, 본 과제는 녹색인증 대상은 아니어서 NET 인증 획득을 위해 다각도로 파악해 본 바 있음.
- NET 인증은 정량적 평가지표를 확보한 기술로서 연구개발사업을 통해 개발된 기술, 특허권·실용신안권 등록 또는 출원중인 기술, 과학기술분야 학술지나 학회지 등에 게재된 기술 및 선행기술조사 전문기관에 의해 기술의 신규성이 확인된 기술 등 4가지 중 하나의 항목에 해당할 경우 신청 자격이 주어짐. 단, 제품화가 된 기술은 신청할 수 없음.
- NET 기술인증은 매년 3회 실시하고 있으며, 각 회별 신청·접수 기간은 제1회는 매년 12월 초~다음해 1월 초, 제2회는 4월 중순~5월 중순, 제3회는 7월 중순~8월 중순임.
- 본 과제 개발기술로 NET 기술인증 획득하기 위해 21년 12월 28일에 특허를 출원했으며, 제2회 신청 자격에 해당하였으나, 제2회의 이의신청심사까지 고려한 일정이 9월~10월로 예상되는 바 사업화를 늦추면 늦출수록 계획한 매출액을 달성하지 못하므로 사업화를 더 늦출 수 없었음. 따라서 사업화를 위해 기술인증 획득을 포기할 수 밖에 없었음.

4. 논문 - SCI급

- 공동연구개발기관인 KCL에서 Polymer지에 “Development of test for outdoor accelerated weathering of polymeric materials for regions with high level of cloud cover” 논문명으로 투고 진행중.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

본 과제 연구개발성과의 관련 분야 기여도는 59.57% 임

(23년 8월, 농기평에서 가이드라인에 따라 조사한 결과, 전문가 검토를 거쳐 결정됨)

<기술기여도 검토 결과>

과제 관리번호	과제명	주관연구기관	책임자	기업명	기술기여도							
					1년차	2년차	3년차	4년차	5년차	제출의견	변경(일괄적용)	
1210373	3-layer 공압출 공정기술 기반 B10 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발	(주)에스플리텍	최성규	(주)에스플리텍	80	80	80	80	80	80	59.57	59.57

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표 >

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
단위	건	건	건	평 균 100건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건		
종료 1차년도					1	80	2,000		2						2		1	1	
종료 2차년도	1				1	88	1	2,200	1,000	2		1	1		1	2		1	
종료 3차년도		1			1	100		2,500	1,500	3			1		1	2		1	
종료 4차년도					1	120		3,000	2,000	3		1	1		3		1	1	
종료 5차년도					1	140		3,500	2,500	3				1	3			1	
소 계	1	1			5	528	1	13,200	7,000	13		2	2	1	3	12	2	5	

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 공통 요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 연구부정행위 예방 확인서
2. 평가의견에 대한 조치 및 개인정보 삭제 확인서	평가의견에 대한 조치

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호	121037-3		
사업구분	2025축산현안대응산업화기술개발사업				
연구분야	축산시설·환경개선		과제구분	단위	
사업명	2025축산현안대응산업화기술개발사업			주관	
총괄과제	-		총괄책임자	-	
과제명	3-layer 공압출 공정기술 기반 B ₁₀ 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발		과제유형	(기초, 응용)개발	
연구개발기관	(주)에스폴리텍		연구책임자	최성규	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.04.01~ 2021.12.31	316,000	122,000	438,000
	2차년도	2022.01.01~ 2022.12.31	421,000	172,500	593,500
	3차년도	2023.01.01~ 2023.12.31	421,000	167,000	588,000
	계	-	1,158,000	461,500	1,619,500
참여기업	(재)한국건설생활환경시험연구원				
상대국	-	상대국연구개발기관	-		

2. 평가일 : 2024.02.15

3. 평가자(연구책임자) : 최 성 규

소속	직위	성명
(주)에스폴리텍	연구소장	최성규

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 최 성 규

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	---

I. 연구개발실적

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (우수) 보통, 미흡, 극히 불량

PC 복층골판은 국내 최초로 시도되는 복층구조의 채광창 형태로 기존 샌드위치판넬 또는 단층골판과 함께 사용이 가능하도록 설계했기 때문에 그 창의성이 우수하다고 보여지며, 약 3년간의 걸친 연구개발 결과로 사업화에 성공하였고, 목표 대비 초과 달성한 성과들이 많은 점을 고려해 본 과제를 우수하게 수행했다고 보여짐.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (우수) 보통, 미흡, 극히 불량

기본 축사용 채광창 시장에는 없던 새로운 구조의 PC 복층골판 제품 출시로 실제 소 경매장 또는 지역별 축산기자재센터에 직접 방문하여 담당자들의 의견을 들었을 때 그 파급효과가 매우 컸음. 이는 매출이 입증한다고 보여짐 (22년도 2.8억, 23년도 5.5억 원 달성). 또한, 적극적으로 연구개발결과를 활용하여 학술발표, 논문 게재 및 교육지도 등을 진행하여 본 과제 결과물의 우수성을 널리 알릴 수 있었음.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (우수) 보통, 미흡, 극히 불량

사업화 제품에 대한 지적재산권을 보유하고 있기 때문에, 향후 타 기관에 전용권 또는 통상실시권 등으로 활용 가능성이 있음. 더불어 게재된 논문이 계속 인용되어진다면 본 연구개발결과가 지속적으로 활용될 가능성이 매우 큼.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (우수) 보통, 미흡, 극히 불량

본 과제를 수행하기 위하여 실제 축사를 방문하는 것부터 시작하여 축사 목업 제작 및 테스트, 특허 등록 2건, 업계 종사자 들을 대상으로 한 교육지도 10건 그리고 본 연구개발 결과를 토대로 축사표준설계도 개정을 위한 정책 건의까지 연구 결과물을 얻는데 그치지 않고 적극 활용될 수 있도록 노력함.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (우수) 보통, 미흡, 극히 불량

2년 9개월의 연구 수행기간 동안 특허출원 2건, 특허등록 2건을 달성하였으며, 9건의 학술발표, 3건의 논문 투고/게재 등 연구개발 성과를 적극 활용하였기에 공개발표된 개발 성과가 우수하다고 판단됨.

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (1단계 / 2단계)	실적 (1단계 / 2단계)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
특허출원 - 1건 / 0건	2건 / -	5	100	우수 / 1건 초과 달성
특허등록 - 0건 / 1건	1건 / 1건	5	100	우수 / 1건 초과 달성
기술실시 - 1건 / 1건	1건 / 1건	5	100	우수
기술료 - 8백만원 / 8백만원	6.3백만원 / 9.0백만원 (24년 6월 납부 예정)	5	78%/100%	우수
제품화 - 1건 / 1건	1건 / 1건	20	100%	우수
매출액 - 500 백만원 / 1,500 백만원	280백만원 / 545백만원	20	56%/36%	보통
고용창출 - 4명 / 5명	6명 / 5명	5	100	우수 / 2명 초과 달성
기술인증 - 1건 / 0건	0건	10	0	미흡
논문(SCI) - 0건 / 1건	0건	-	0	미흡
논문(비SCI) - 1건 / 1건	1건 / 0건	-	50	보통
학술발표 - 2건 / 1건	4건 / 5건	5	100	우수 / 4건 초과 달성
교육지도 - 6건 / 4건	6건 / 4건	10	100	우수
정책활용 - 1건 / 1건	1건 / 1건	5	100	우수
홍보전시 - 1건 / 1건	3건 / 2건	5	100	우수 / 3건 초과 달성
합계		100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

주관연구개발기관인 에스폴리텍과 공동연구개발기관인 한국건설생활환경시험연구원은 끊임없는 소통을 통해 본 과제의 목표를 100% 달성할 수 있도록 다각도로 노력해왔음. 그 결과로 일부 항목에 대해서는 목표 대비 초과 달성할 수 있다고 생각됨.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 1) 기술료 및 매출액 미달성 부분: 1단계 2차년도에 사업화 지연으로 목표한 매출액을 달성하지 못해 기술료 또한 목표에 도달하지 못했지만, 사업 시작함과 동시에 코로나 등으로 내수 경기가 좋지 않음에도 불구하고 23년도에도 꾸준히 매출이 증대되었기에 평가시 고려해주셨으면 좋을 것 같음.
- 2) 초과 달성한 성과들에 대해 정성적 평가가 잘 이루어질 수 있었으면 좋겠음.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

연구결과가 활용될 수 있는 부분은 지적재산권 활용, 논문 인용, 정책 건의한 내용이 채택되어 반영되는 것, 그리고 그 외에 지속적인 사업화를 위한 고용창출 등을 고려할 수 있음. 앞서 기술한 모든 영역에서 연구결과가 활용되어지고, 지속적으로 성과를 달성할 수 있도록 노력할 예정임.

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input checked="" type="checkbox"/> 자유응모과제 <input type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	축산시설·환경개선
연구과제명	3-layer 공압출 공정기술 기반 B ₁₀ 수명이 확보된 축사용 채광창 폴리카보네이트 복층골판 소재개발			
주관연구개발기관	(주)에스폴리텍		주관연구책임자	최성규
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,158,000,000	461,500,000	-	1,619,500,000
연구개발기간	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표 (1단계 / 2단계)	당초연구목표 대비 연구결과 (1단계 / 2단계)
① 특허출원 - 1건 / 0건	2건 / -
② 특허등록 - 0건 / 1건	1건 / 1건
③ 논문(SCI) - 0건 / 1건	0건
④ 논문(비SCI) - 1건 / 1건	1건 / 0건
⑤ 기술실시 - 1건 / 1건	1건 / 1건
⑥ 기술료 - 8백만원 / 8백만원	6.3백만원 / 9.0백만원 (24년 6월 납부 예정)
⑦ 제품화 - 1건 / 1건	1건 / 1건
⑧ 매출액 - 500 백만원 / 1,500 백만원	280 백만원 / 545 백만원
⑨ 기술인증 - 1건 / 0건	0건
⑩ 고용창출 - 4명 / 5명	6명 / 5명
⑪ 학술발표 - 2건 / 1건	4건 / 5건
⑫ 교육지도 - 6건 / 4건	6건 / 4건
⑬ 정책활용 - 1건 / 1건	1건 / 1건
⑭ 홍보전시 - 1건 / 1건	3건 / 2건

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용예외)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	건	건	백만원	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	5			5	5	20	20		5		10			5	10		5	5	
최종 목표	1	1			2	16	2	2,000		9		1	1	2	3	10		2	2	
당해 년도	목표	1			1	8	1	1,500		5			1	1	1	4		1	1	
	실적	1			1	9	1	545		5			0	1	5	4		1	2	
달성률 (%)		100			100	100	100	36		100			0	100	100	100		100	100	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	내후성, 내화학성, 내충격성 강화 PC 복층골판용 컴파운딩 기술
②	3-layer 공압출 공정기술 기반 PC 복층골판 제조 기술
③	B ₁₀ 수명 확보를 위한 내후성 옥외폭로 및 실내촉진 시험법

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√				√		√		√
②의 기술		√		√		√		√		
③의 기술						√		√		

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	다기능성을 확보한 투명 PC 복층골판의 물성 확보 및 안전사고 감소
②의 기술	부품소재 내재화, 가격경쟁력 확보, Application의 다양화 및 안전사고 감소
③의 기술	3-layer PC 복층골판의 신뢰성 분석을 통해 축사용 채광창의 표준화

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (타연구 활용(의))	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I						
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건				
가중치	5	5			5	5	20	20		5	10			5	10		5	5		
최종목표	1	1			2	16	2	2,000		9	1	1	2	3	10		2	2		
연구기간내 달성실적	2	2			2	15	2	825		11	0	0	2	9	10		1	5		
연구종료후 성과창출 계획	1	1			5	528	1	13,200	7,000	13	2	2	1	3	12		2	5		

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	○	
	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	○	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	○	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	○	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	○	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	○	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	○	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	○	
부당한 중복 게재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	○	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	○	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 15.

기관명 : (주)에스폴리텍

점검자 : 최 성 규



농림식품기술기획평가원장 귀하

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	✓	
변조	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	✓	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	✓	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	✓	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	✓	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	✓	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	✓	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	✓	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	✓	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	✓	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	✓	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	✓	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	✓	
부당한 중복 계재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	✓	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	✓	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	✓	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 15.

기관명 : (재)한국건설생활환경시험연구원

점검자 : 김 창 환

(서명)


농림식품기술기획평가원장 귀하

<첨부1>

평가의견에 대한 조치 및 개인정보 삭제 확인서

□ 평가의견에 대한 조치

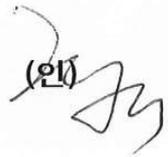
평가의견	조치내용	비고
○ 하지만 핵심 기술인 내화학 성능에 대한 가속 내구 시험 및 추후 충격 시험에 대해서 공동 연구기관이 시험기관에서 충분히 연구를 수행 가능함에도 수행하지 않아서 양산 적용을 위해서는 수행하여 검증이 필요함.	○ 개발 목표 및 내용과는 별개로, 1단계 1~2차년도에 실제 측사환경을 모사해 개발 제품의 내후성/내화학성/하중시험 평가를 진행하려고 내후성/내화학성 신뢰성 평가용 목업과 하중시험용 목업을 제작한 바 있음. 내화학 성능에 대한 가속 내구 시험의 경우 4면이 개폐된 상황에서 복층골판 하부에서 암모니아 가스를 노출시키고, 동시에 광원을 조사시켜야함. 또한, 하중 시험의 경우, 겨울철 대비하여 적설량을 고려해 하중에 따른 변위값을 측정할 수 있는 프로그램 등이 필요함. 상기 서술한 내용을 바탕으로 각 시험에 필요한 부분을 확인하여 빠른 시일 내 제품 검증을 진행할 수 있도록 할 예정임. (최종보고서 43 쪽에 제시함)	
○ 타 제품 대비 경제성 분석 필요함 ○ 목표대비 매출액 발생이 41%수준으로 신제품으로 홍보의 문제 등 다양한 문제가 존재할 수 있으나 제품고가로 인한 농가선택의 문제도 존재할 수 있으므로 이에 대한 설명 필요	○ 복층골판 제품은 두께 3.6mm로, 양면 UV 소재로 공압출되어 있어 단층골판 대비 원재료비가 상승함. 하지만, 복층구조로 인해 m ² 당 중량이 25% 절감(단층골판 1.8kg/m ² → 복층골판 1.35kg/m ²) 되기 때문에 원재료비 상승부분이 상쇄되어 기존 축산농가에서 사용중인 단층골판 제품과 동일하게 m ² 당 10,000원으로 단가를 책정함. 따라서, 제품 가격에 대한 부담이 없고, 기존 칼라강판 및 폼 판넬과 연결 사용이 가능하기 때문에 큰 장점이 있음. (최종보고서 31 쪽에 제시함)	
○ 복층내부의 오염에 의한 투광도 감소에 대책이 가능성 표현 필요 ○ 측사용중 우사에서 사용가능할 것으로 판단되며, 내화학성보다는 내광성 및 광투과도가 더 중요한 것으로 판단됨 따라서 내부 오염에 의한 문제점 해결 방안 검토필요	○ 복층골판 끝단이 뚫려있다고보니 내부로 오염물질이 유입되어 내광성 및 광투과도에 영향을 미친다는 점을 확인한 바 있음. 따라서 주관기업인 에스폴리텍은 복층골판 마감처리에 대해 해결책을 모색하였음. 열융착시켜 마감처리를 하거나, 실리콘, 핫멜트 등의 접착제를 이용하여 시트와 동일한 재질의 판과 본체의 정, 후면부가 결합하여 마감처리하는 방법 등 다양한 방법을 검토하였고, 아래 사진과 같이 lab scale로 열융착 방법으로 끝단 마감여부 테스트를 진행하였음. 해당 방법으로 진행하면 복층골판 끝단으로부터 오염물질이 유입되는 것을 방지할 수 있을 것으로 보고, 양산제품에 적용할 수 있도록 설비 제작이 필요하다고 판단하여 설비 제작을 검토중에 있음. (최종보고서 44 쪽에 제시함)	
○ 기술이전료가 목표대비 1백만원 부족한데 기술이전료의 결정근거가 무엇인지에 대한 내용도 포함 되었으면 함	○ 22년도, 23년도 각각 기술료 산출 근거를 상세 기입함. (최종보고서 100 쪽에 제시함)	
○ 논문 성과는 3건 중 1건만 기간내에 게재하였기 때문에 논문 성과는 1건으로 실적을 잡아야 할 것이고, SCI급 논문은 현재 투고중이라고 성과를 제시하였지만 아직 게재가 되지 않았기 때문에 성과로 보기는 어려움. 과제 종료 후 성과로 잡아야 할 것임	○ 평가위원님의 의견대로 24년 1월에 게재한 논문 1건은 과제종료 후 성과로 잡을 예정이고, 해당 성과를 과제 수행기간 동안 달성한 성과표에서 일괄 삭제함 (최종보고서 요약문 2페이지, 95, 98, 104, 110, 111 쪽에 제시함) ○ SCI급 논문은 과제 종료 후 성과로 잡을 예정	

□ 개인정보 삭제 확인

본인은 연구과제 최종보고서의 개인정보(주민등록번호 등)를 삭제하여 제출함을 확인합니다.

2024. 05. 10.

주관연구책임자 : 최 성 규 (인)



주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 축산현안대응산업화기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 축산현안대응산업화 기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.