

318089-03

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( )발간등록번호( O )  
고부가가치식품기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003846-01

유 탕 처 리 재 활 용  
가 능 한 포 장 재  
개 발

# 유탕처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발

2022. 02. 14

2021

주관연구기관 / (주)농심  
협동연구기관 / 울촌화학(주)  
한국생산기술연구원  
고려대학교

농림식품기술기획평가원  
농림축산식품부

농 립 축 산 식 품 부  
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “유당식품용 재활용 가능 포장재 개발”(개발기간 : 2018. 11. 09 ~ 2021. 11. 08)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022. 02. 14

주관연구기관명 : (주)농심 (대표자) 박 준 (인)  
제1협동연구기관명 : 율촌화학(주) (대표자) 송 녹 정 (인)  
제2협동연구기관명 : 한국생산기술연구원 (대표자) 이 낙 규 (인)  
제3협동연구기관명 : 고려대학교 (대표자) 조 석 주 (인)

주관연구책임자 : 김훈중  
제1협동연구책임자 : 권대현  
제2협동연구책임자 : 심진기  
제3협동연구책임자 : 박현진

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

최종보고서						보안등급		
						일반[V], 보안[ ]		
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명	고부가가치식품기술개발사업		
전문기관명 (해당 시 작성)				내역사업명 (해당 시 작성)				
공고번호	농축 2018-292			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)				
				연구개발과제번호	318089-03			
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB1701	80%	LB1705	20%			
	농림식품과학기술분류	PA0101	100%					
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	국문							
	영문							
연구개발과제명	국문		유통처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발					
	영문		Development of recyclable packaging for fried food					
주관연구개발기관	기관명	㈜농심		사업자등록번호	118-81-03914			
	주소	(07057) 서울시 동작구 여의대방로 112(신대방동)		법인등록번호	110111-0057574			
연구책임자	성명	김훈중		직위	상무			
	연락처	직장전화	02-820-8231		휴대전화	010-*****6722		
		전자우편	kimhun@nongshim.com		국가연구자번호	11091862		
연구개발기간	전체		2018. 11. 09 - 2011. 11. 08 (3년)					
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등 지원금 기업부담 연구개발비		합계		연구개발 비외 지원금
		현금	현물	현금	현물	현금	현물	
총계	1,140,000			100,000	660,000	1,240,000	660,000	1,900,000
1년차	450,000			39,000	261,000	489,000	261,000	750,000
2년차	351,000			31,000	203,000	382,000	203,000	685,000
3년차	339,000			30,000	196,000	369,000	196,000	565,000
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	역할	기관유형	
공동연구개발기관	울촌화학㈜	권대현	팀장	010-*****6553	dhkwon@youlchon.com	공동	중견기업	
	생산기술연구원	심진기	센터장	010-*****9059	jkshim27@gmail.com	공동	정무출연연	
위탁연구개발기관	고려대학교	박현진	교수	010-*****6490	hjpark@korea.ac.kr	공동	대학	
	애니캡	류진섭	연구원	010-*****3457	ryu4380@naver.com	위탁	중소기업	
연구개발담당자 실무담당자	성명	손희철		직위	차장			
	연락처	직장전화	02-820-8154		휴대전화	010-*****0616		
		전자우편	redson78@nongshim.com		국가연구자번호	11897174		

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

2022 년 02 월 14일

연구책임자:

김훈중

주관연구개발기관의 장: 박 준 (직인)  
 제1공동연구개발기관의 장: 송 녹 정 (직인)  
 제2공동연구개발기관의 장: 이 낙 규 (직인)  
 제3공동연구개발기관의 장: 조 석 주 (직인)  
 위탁연구개발기관의 장: 이 옥 란 (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

## < 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		고부가가치식품기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)					연구개발과제번호		318089-03
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB1701	80%	LB1705	20%		%
	농림식품 과학기술분류	PA0101	100%		%		%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		유탕처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발					
전체 연구개발기간		2018. 11. 09 - 2011. 11. 08 (3년)					
총 연구개발비		총 1,900,000 천원 (정부지원연구개발비: 1,140,000 천원, 기관부담연구개발비 : 760,000 천원, 지방자치단체: 0 천원, 그 외 지원금: 0 천원)					
연구개발단계		기초[ ] 응용[ ] 개발[ <input checked="" type="checkbox"/> ] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준( ) 종료시점 목표( )	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)							
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이종 소재로 이루어진 유탕식품용 포장재를 단일소재화하여 자원순환 효율성을 높이고 환경부하를 저감시킬 수 있는 포장재를 개발한다.</li> <li>- 유탕면, 유탕스낵 등 유탕처리 식품 포장재를 대체하는 친환경적인 대체 포장재를 개발 및 제품화하고 이를 확대 적용한다.</li> <li>- 유통 중 방습성, 산소 차단성 등 식품 보존성이 우수한 포장재를 개발한다.</li> <li>- 향후 사업화 과정에서 레토르트 제품을 제외한 가공식품 포장재 전반으로 친환경 대체 포장재를 확대 적용한다.</li> </ul>			
		전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 농심                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시제품 물성 평가, 고온다습조건 하 가속 저장실험 및 관능평가를 진행함.</li> <li>- AI 증착을 제거한 유탕면 포장재 피포장물의 수분함량 변화가 농심 품질관리 기준치 이상으로 나타났고(기준: 3%, 결과: 4.1%) AI증착 제거로 인해 광산화/변색 문제가 발생할 것으로 판단됨. 적용은 불가능하며 지속적인 연구개발이 필요한 것으로 평가됨.</li> <li>- PET 대체 유니소재 유탕스낵 포장재 울존화학 고차단성 OPP를 적용하여 시제품을 제조 및 평가하였으며 유니소재 포장재 개발 완료함. 제품 적용 추진 중.</li> <li>- 재활용 수율 향상 종이용기 CaCO<sub>3</sub>를 혼합하여 종이용기 코팅 제조 시 펄프 회수율이 향상됨(기준 : 82.7%, 개발결과: 91.6%). 다만 용기의 단가 상승이 커 이 부분을 완충할 수 있는 추가 대안이 필요함.</li> <li>- 유탕면/스낵 포장재 재활용성 평가 각 포장재를 실제 재활용공정(용융 압출 및 pellet화)을 통해 평</li> </ul> </li> </ul>			

가함. 유탕면포장재는 기존 재질로도 공정상 문제가 없었으며, AI증착층이 재활용공정에 미치는 영향은 미미하다고 판단됨. 스낵포장재는 PET의 열 내성이 매우 우수해 기존 포장재는 재활용 불가능했으나, 고차단성 OPP로 대체 시 재활용이 원활한 것을 확인함.

● **울촌화학**

- 고차단 알루미늄 증착 필름 및 대면적 기술을 개발  
산소투과도 및 수분투과도 정량목표수치를 만족함. (결과 : 산소투과도<0.5cc, 수분투과도<1g)
- 기능성 폴리올레핀 소재 제조 기술 개발  
고차단성, 유연성 폴리올레핀 필름 제조 기술을 개발하여 HDPE/Kaolin/핵제 Blend 기반 다층필름을 제조하였으나 수분 차단성 미흡. (목표 : 수분차단성≤2.0, 실적: 2.8)
- 시제품 제조  
(유탕면 포장재) Wet barrier coating을 적용한 가속저장시험용 및 시인성 개선을 위한 재질 설계 및 샘플 제조함.  
(유탕스낵 포장재) AlvmPET를 대체할 수 있는 고차단 소재 및 OPP필름을 개발함. 저장성 및 관능평가 결과 품질 양호하였으며 재현성 평가 또한 양호하였음. 타겟 제품 재질 선정 완료함.

● **한국생산기술연구원**

- Additive Carrier System 조성 최적화 및 응용기술 연구  
CMC를 포함한 PP/EVOH 5wt% 블렌드 기반의 복합소재 제조, 블렌드 기반의 복합소재의 최적 조성 선정
- 컴파운드 활용 차단성 구현 이축연신 구조 필름 설계/제조 기술  
Nanoclay를 포함하는 PP 기반의 연신 필름 제조와 함량 및 연신 배율 최적화, PP의 연신 정도에 따른 수분 차단성능에 대한 연구 및 복합소재 연신 필름 제조
- 복합소재 및 블렌드 연신필름의 가스 투과도 및 물성/성능 평가  
PP 기반 복합소재 및 블렌드 연신 필름의 산소 차단 물성 평가, 컴파운드 투과도 및 성능 비교 분석
- 컴파운드 활용 차단성 필름 Post-Consumed Recycling  
PP기반 컴파운드 시제품의 재활용 후 기계적 성능 분석, 재활용 횟수에 따른 유변학적 및 기계적 성능 변화 추이 분석
- 유니소재 구조 필름 재활용 정책연구  
유탕용 식품 포장재 (연포장재)의 유니소재 구조의 필름 재활용 정책연구 진행

● **고려대학교**

- 친환경 코팅용액 개발 및 성능 평가  
환경에 무해한 PVA를 기반의 고차단성 코팅액의 개발, 나노클레이 혹은 가교제의 변경을 통해 개선점 확인, 코팅 품질 평가를 통하여 코팅 품질이 우수한 코팅액의 개발
- 환경 영향 평가(LCA)  
기존 유탕면, 유탕스낵 포장재의 환경 영향 평가 진행, 유니소재 유탕면, 유탕스낵 포장재의 환경 영향 평가 진행

1단계 (해당 시 작성)	목표	
	내용	
n단계	목표	

● 정성적 성과

- 이종의 소재로 구성된 기존의 포장재를 단일소재화 할 수 있는 폴리올레핀계 유니소재 포장재를 제조하였음.
- 이는 물질재활용이 가능한 포장재로 기존 식품포장 시장을 대체 시 열회수되던 자원을 보다 높은 가치로 활용 가능함.
- 또한 환경 영향에 대한 전과정 평가(LCA)를 통해 실제 효과를 수치화하였음.
- 향후 지속 연구개발 및 적용과 확대를 통해 자원순환의 closed loop를 형성하는 데 한 축이 될 수 있음.

● 정량적 성과

성과 목표	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	품 종 등록	건 수	기술 료	제 품 화	매출액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		SCI	비 SCI	논 문 평 균 IF			학 술 발 표	장 策 활 용		홍 보 전 시
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	5		10	20	10		10		5			10	10			5			
최종목 표	5	2		1	2	122,000		1		1	4		1.4	5			1			
실 적	1차 년	1	0		0	0		1		0	0		-	3			0			
	2차 년	1	0		0	0		0		0	2		3.3 5	3			1			
	3차 년	2	0		0	0		0		1	3		2.9 6	2			0			
	계	4	0		0	0		1		0	5		3.1 1	8			1			
달성율 (%)	80	0		0	0	0		100		100	100		100	100			100			

- 연구기관 내 제품화에 실패하였으나, 22년 내 제품 적용을 추진 중이며 지속 매출 발생이 기대됨.

연구개발성과  
활용계획 및  
기대 효과

- 연구개발성과의 활용내용  
생분해성 포장재와 같은 친환경 포장재의 경우 일반적으로 제조원가가 높아 시장진입에 큰 어려움이 있지만, 본 연구에 의해 개발된 유니소재 패키지의 경우 현 제품 대비 동등 수준의 물성과 제조 원가로 상대적으로 시장진입이 용이할 것으로 판단됨.  
고형 원료가 아닌 물질 재활용이 가능한 재료로 활용되어 소각 시 발생하는 온실가스 및 인체 유해 가스 감축 효과를 가질수 있음.
- 연구개발성과의 파급효과

폴리올레핀계 유니소재를 이용한 포장재는 현재 연구단계이자 실용화 초기 단계이기 때문에 KS ISO18604의 재활용에 관한 표준화 규격에 유니소재 포장에 관한 개념을 담지 못하고 있음. 이에 해당 재활용 용이 포장에 관한 연구 및 제품 개발을 통해 기술 표준화 및 유니소재 제품 인증제 작업의 기초를 삼을 수 있음. 재활용이 용이한 유니소재 사용에 대한 인식 제고와 활용을 높이는 효과를 가질 수 있음.  
향후 유당식품 외 타 식품군, 그리고 식품군 외 분야(마스크팩 등 차단성을 요구하는 분야)에 확대 적용이 가능할 것으로 판단됨.

연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
5		4										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	유니소재		재활용 용이		차단성 코팅		라면포장		스낵포장			
영문핵심어 (5개 이내)	Uni-material		Recyclable		Barrier coating		Instant noodle packaging		Snack packaging			

## < 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료



# 1. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발의 개요

### 가. 개발 대상 목표 및 내용

○ 최종 목표 : 유당처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발하여 유당식품의 주요 포장재인 면 포장재, 스낵포장재, 용기면 용기, 용기면 리드 등의 응용 제품에 적용

○ 개발 목표 : 異種의 소재들로 구성된 현 식품포장재로서의 요구특성(산소/수분차단성 저장성, 내충격성 등)을 만족하면서 포장재 재활용이 가능한 고차단성 폴리에틸렌(PP 등)계 同種 소재로 재질을 단일화한 친환경 식품포장재 (라면/스낵용, Lid 및 용기) 제조 기술 개발 및 제품 적용



### ○ 세부 개발 내용

- 기존 제품 동등 수준의 차단성 소재 기술 개발
- 단일 재질 가능한 기능성 범용 소재 및 유니소재 재질 개발
- 단일 재질 기반 식품 포장재 시제품 제작 및 양산 기술 개발
- 확보된 소재 기술 기반 식품 포장재 상용성 평가 및 제품화

### ○ 개발 적용 제품 내용

- 봉지면 제품의 단일 재질 포장재 개발
- 스낵 제품의 단일 재질 포장재 개발
- 용기면 제품의 단일 재질 용기 및 재활용성이 우수한 용기 개발
- 용기면 Lid의 Al-foil을 제거한 단일 재질 Lid 개발

### 나. Uni 소재 개요

○ 제품 본래의 성능과 기능은 유지하면서, 제품의 설계·생산 단계부터 수거·재활용 등을 고려해 유해물질사용을 저감하고, 사용 후 제품의 재활용을 용이하게 하기 위해 기존 제품의

---

재질을 단일화하거나 단순화한 것을 지칭함.

- 유니소재는 금속(Metal), 세라믹(Ceramic), 플라스틱(Plastic) 분야의 통합성(Unity), 독창성(Unique), 범용성(Universe)의 특징을 가지고 있음. 우리의 주력산업 전반에 첨단 유니소재 기술을 적용하게 되면 자원과 에너지사용량은 줄이면서 온실가스 배출도 저감하는 등 에너지·자원 이용의 혁신적 변화가 기대됨
- 현재 일반 제품의 경우, 소비자의 기호 및 제품별 기능성을 부여하기 위해 단순/단일 재질보다는 다양/복합적이고 재활용이 어려운 여러 소재(재질)를 사용하고 있음
- 제품 내 유해물질로 인한 환경유해성을 줄이고 재활용을 촉진하기 위해 설계-제조 단계에서 예방이 효과적임

## 1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

### 가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

#### ○ 기술현황

- 식품용 포장재에서 차단성 기능이 필요한 제품은 인쇄층과 기능성 부여층, 그리고 열접착층으로 재질이 구성되며, 기능성 부여층에는 차단성 기능을 부여하기 위해 제품 재질 구성에 따라 Al-foil, Al 증착필름, 산화알루미늄 투명증착 필름, PVDC 코팅 필름 등을 사용하고 있음
- Al-foil은 가장 차단성이 뛰어나지만, [자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률]의 재활용 등급상 3등급으로 Al-foil이 합지된 합성수지 복합재질은 재활용이 매우 어렵다고 평가함
- PVDC의 경우 일본에서는 환경문제를 유발하여 단종된 상황이지만 국내에서는 건과류, 치즈, 소시지, 일부 스낵 포장재 등에 아직 다양하게 사용됨
- 재활용 가능한 유탕처리 식품용 유니소재 포장재 개발에 있어 가장 중요한 기술은 고차단성 폴리에틸렌(PE, PP등) 복합 필름 제조기술인데, 이에 대한 국내 기술은 매우 미미한 실정임

#### ○ 시장현황

- Uni 소재 포장재는 적용 분야가 다양하나, 기존 석유화학 기반 플라스틱 포장재를 대체하는 것이 상용화에 유망하며, 해외 의존도가 높은 배리어 필름 시장을 대체하고 기존 Al-foil 등의 유해물질 대비 친환경 고차단 기능 소재의 개발을 통한 제품적용이 가장 적합함
- 특히, 식품 포장재 시장의 경우 세계적인 이산화탄소 규제 강화로 바이오 소재 및 친환경 소재로 구성된 식품 포장재에 대한 필요성이 매년 증가하고 있음
- 석유화학 기반의 다양한 Polymer 기반 필름을 사용하는 식품포장재를 유니소재 단일 포장재로 대체 시 석유화학 기반 Polymer 사용량을 절감하고, 온실가스 감축효과 및 재활용의 이점이 있어 친환경 식품포장재의 신규 소재로서 신성장 동력을 창출할 수 있음

**시장동향 및 규모**

● **국내 4.9조원, 세계330조원의 거대 식품포장재시장이 친환경포장재 출현 기대**  
(단위: 천억원)

구 분		2007년	2008년	2010년	2013년	연평균 성장률	비 고
세계	가공식품	26,356	27,368	29,491	33,046	3.8%	
	식품포장재	2,504	2,560	2,801	3,120	3.5%	가공식품 시장의 9.5%
국내	가공식품	327	332	404	491	8.1%	세계시장의 1.2%
	식품포장재	34	35	40	49	8.4%	가공식품 시장의 9.8%

(출처) 2014년도 식품산업분석보고서(한국보건산업진흥원)

○ 경쟁기관현황

- 동진에프엠티는 KAIST와 공동 연구 끝에 PET 필름에 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)의 반응성 증착을 하여 얻어진 고차단성 투명 PET필름을 개발했으나 제조원가가 높아 시장 전개는 미미한 상태임
- SK이노베이션에서는 습식법에 의해 PP필름에 PVA(Poly Vinyl Alcohol) 수용액을 코팅함으로써 고차단성 투명 필름을 얻고자 수년간 연구하였으나 실패하고 현재는 중단한 실정임
- 최근 국내 많은 기업 및 기관에서 유무기 hybrid 소재의 박막코팅에 의한 고차단성 투명 PET 필름 식품포장재 개발을 진행하는 등 연구열기가 점차 가속화되고 있으나 PET 필름계가 주종을 이루고 있어 고차단성이 우수한 투명 폴리올레핀계 필름 기술 개발은 거의 전무한 상태임




○ 지식재산권현황[별첨 1] 참조

- ‘친환경 기능성 소재’ 및 ‘포장재 재활용 소재’ 관련하여 국내외 특허검색결과 국내 유사특허는 5건
- ‘친환경 기능성 소재’ 관련 특허는 차단성 소재 관련된 특허로, 본 연구과제의 목표인 친환경 유니소재와의 연관성은 높지 않은 것으로 판단됨
- 특히 본 연구과제는 친환경 유니소재의 개발뿐만 아니라, 이를 활용하여 제품 포장재에 직접 적용하는 부분까지 진행할 계획임

○ 표준화현황

- 지식경제부에서는 유니소재에 대해 “기존 제품을 구성하는 부품, 소재들의 재질을 단순화, 단일화해 유해물질이 적고 재활용 (Recyclable) 작업이 용이하도록 한 친환경 소재 제품”이라 정의하였고 식품 포장재 분야에서의 유니소재 기술화는 산업계 중심으로 일부 연구 추진
- 국가표준은 2015년에 KS I 7003 (2015-환경경영-유니소재화-정의와 일반원칙)을 개정, 유니소재의 개념을 설정하고 유니소재화 제품의 일반원칙으로 단일화 (Unification), 보편화 (Universalization), 독창성(Creativity)의 세 가지 특성 규정, 최근에는 국제표준화를 추진

- 관련 환경라벨

	100g을 넘는 부품의 플라스틱 재질은 2가지 종류를 초과하지 않도록 한다. 단, 도광판(Light Guide)은 제외한다.
	제품의 하우징을 구성하는 25g 이상의 합성수지 부품의 재질은 분리가 용이한 4종류 이하이어야 한다. 분리 가능한 하우징 구성단위마다의 재질은 1종류의 중합체 재활용 가능한 혼합재질이어야 한다.
	25g 이상의 플라스틱 부품들은 하나의 수지(단일 수지 또는 공중합체) 또는 재활용 가능한 플라스틱 브랜드로 구성되어야 한다.

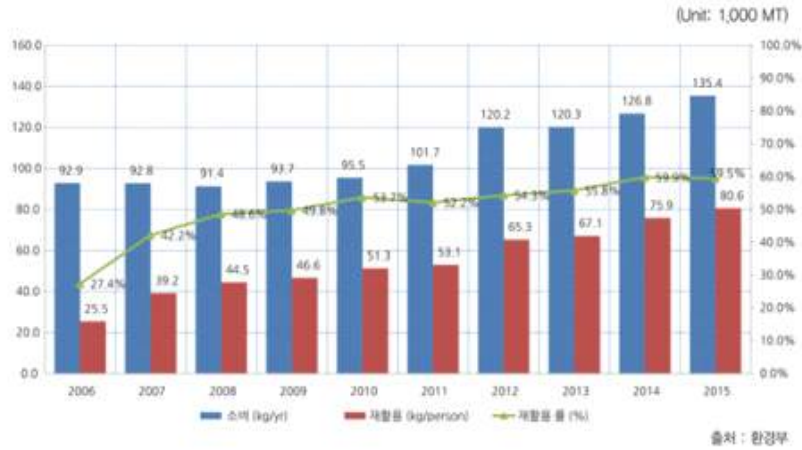
- 재활용 규제는 제품의 재활용이 용이한 설계, 수거 및 재활용, 유해물질사용제한 등을 목적으로 하는 법규로써, EU, 미국, 일본, 중국 등 전기전자제품 및 자동차를 대상으로 재활용 규제가 확대·강화되고 있음
- 현재까지 유니소재는 주로 개당 중량이 높은 폐기물에 중점을 두고 개발이 진행되어, 연포장 분야에 있어 유니소재에 대한 적용사례가 거의 없음
- 자원관리 및 순환촉진을 위해 제품에 사용되는 재질의 숫자를 줄이거나, 재질구조개선을 하는 것이 자원순환 촉진을 위해 중요함
- 유니소재 발굴을 위한 가이드라인으로써 정성적, 정량적 평가로 구분하고 있고, 유니소재의 환경성, 경제성, 기술성을 병행하여 평가하고 있음

○ 기타현황(재활용 관련 법규 현황)

- 현재 [자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률]에 따라 재활용 등급을 세분화하고 있음. 특히 “합성수지 복합재질 용기\*트레이\*필름\*시트형 포장재”에 속하는 합성수지 복합재질의 필름의 경우 PVC 계열의 재질이거나, 합성수지제 이외의 재질을 사용할 경우 재활용등급을 3등급으로 지정하고 있음(Al-foil이 병합 사용된 경우 3등급, Al증착의 경우 1등급으로 분류). 하지만 이는 대부분이 복합재질인 플라스틱 필름의 경우, 고형연료로 열회수를 하는 방식으로 재활용 구조가 정착되었기 때문으로 판단됨
- EPR제도를 통해 재질구조개선 대상제품으로 지정하여 관리하며 “전기전자 및 자동차 제품의 자원순환”에 관한 법률에서는 관련 재질, 개선 정보제공등을 의무화 함
- 2018년 4월 일명 ‘재활용 대란’이후 재활용의무 생산자 19개 업체가 ‘포장재 재질\*구조 개선 자발적 협약식’을 갖고 2019년까지 PET병 재활용률을 높이기 위해 노력하기로 함
- 2017년 유당 봉지면의 국내 판매량은 약 25.4억식(세계인스턴트라면협회, WINA)으로, 포장재 중량 3.5g(면포장재만 계산, 스프류 포장재 및 멀티팩 포장재 제외)으로 환산하면 약 8,900톤의 폐기물이 발생하였음. 0.2 mm이하의 플라스틱 필름 재질인 포장재는 다른 형태로 재활용되지 않고, 대부분 고형연료(SRF)화 되어 열에너지를 회수하는데 사용함
- 한국의 플라스틱 폐기물 재활용률은 2011년부터 2015년도까지 5년간 연평균 2.7% 증가하였으며, 특히 2015년도 플라스틱 폐기물은 2014년 대비 7.4% 증가한 411만 톤이 재활용. 나머지 244만 톤은 소각, 34만 톤은 매립의 방법으로 처리됨
- 매년 플라스틱제품 생산량이 증가하면서 폐기물 처리량도 증가하고 있으며. 특히 재활용처리량이 2011년부터 2015년까지 5년간 9.3% 증가함. 같은 기간 매립의 비중은 0.7% 감소하는

등 재활용 비중은 늘어났으며, 소각과 매립은 감소 추세를 보임.

- 2015년 플라스틱 폐기물 처리는 전체 발생량의 60%가 재활용, 35%가 소각, 매립이 5%를 각각 구성하고 있는 것으로 확인됨



구분	2012		2013		2014		2015		2016	
	생산량	재활용량	생산량	재활용량	생산량	재활용량	생산량	재활용량	생산량	재활용량
PET 병	198,907	168,486	207,960	175,078	224,321	186,274	248,974	194,619	273,287	219,944
병포 폴리스타렌 패키징	23,566	18,237	24,325	20,417	30,737	22,757	30,841	25,334	33,415	32,133
단일재질 폴리스타렌 패키징	8,787	3,731	8,153	3,396	8,644	5,353	8,522	4,642	9,142	5,356
단일재질/ 복합 PVC	3,131	1,843	3,212	1,212	3,799	2,687	4,066	3,185	4,302	3,171
용기 및 단일재질 정반	169,400	146,726	172,988	148,900	209,918	213,095	221,833	256,068	238,871	236,680
복합재질 병포 단일재질 시트, 복합재료	205,968	162,904	203,169	163,820	297,627	225,845	316,722	289,729	333,621	356,002
윤활유 용기	7,095	5,677	7,243	6,028	7,753	6,324	8,439	6,991	8,093	7,620
어업용 부표	1,999	574	2,245	736	2,235	625	2,023	478	2,390	750

출처: 환경부

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 현재 국외 흐름은 환경규제의 강화를 바탕으로 폐기물 절감, 재활용 포장재 등의 수요가 증가함에 따라 이에 따른 기술 또한 개발 중임
- 하지만 포장재 자체에 대한 개발은 미비한 상태이며, 건식, 습식의 배리어 코팅을 기반으로 개발 진행 중임
- 투명 올레핀 계열(PP)의 필름 및 포장재 제조기술은 없다고 할 수 있음
- 다국적 기업인 DOW에서는 'All-PE Standup Pouch'를 개발

○ 시장현황

- 전세계적인 재활용 및 친환경적 규제를 강화하는 분위기로, 이에 따른 반응 대책이 필요한 상황임
- EU의 재활용관련 법률 (WEEE, ELV)을 통해 재질구조의 개선을 설계단계에 반영하도록 하면, EPR에서는 제품 설계를 통해 에너지 및 환경 영향이 큰 제품에 대해서 개선하도록 함
- 일본은 [자원의 유효한 이용 촉진에 관한 법률]를 근거로 50여개 품목의 재이용 촉진 제품을 지정함

○ 경쟁기관현황

- 고차단성 투명 필름을 이용한 식품포장재로의 상업화 연구는 Oike, DNP, Toyobo, Toray Film, Toppan, Reiko 등 일본 업체를 중심으로 활발히 추진되어 특히 PET 필름에 SiOx, AlOx 등 무기막 진공증착기술, 소위 건식법에 의한 제품이 출시됨

구분	코팅층	기재	업체	OTR (cc/m <sup>2</sup> ·day·atm)
건식법	SiOx, AlOx 등의 무기막 진공 증착	PET 필름	Oike, DNP, Toyobo, Toray Film, Toppan, Reiko 등	0.5 - 1
습식법	유무기 hybrid(탄상나노 입자/PVA 복합체) 코팅	PP, PET, Nylon 필름	Sumitomo Chem.	0.5 - 5
	폴리카르보산 코팅/ 금속화합물 코팅(2단계)	PET 필름	Mitsui Chem. (Tohcello)	0.5 - 1

- 습식법에 의한 제품은 Sumitomo Chem., Mitsui Chem. (Tohcello)에 의해 개발되었는데 아직 고가인 단점이 있지만 Sumitomo Chem의 유무기 hybrid 코팅 PP필름 (상품명 Sevix, Grade YOP)은 본 사업의 benchmarking제품으로 그 가능성을 제시하고 있음.



○ 지식재산권현황

- 배리어 관련한 기술은 대부분 일본이 주도적임

※ 기술 특허 내용

- 고산소차단성 소재 및 공정기술 개발을 통한 핵심특허 확보
- 고산소차단성을 갖는 나노복합체 기술
- 마이크로웨이브 분산 기술
- 고산소차단성을 갖는 유무기 하이브리드 필름 기술

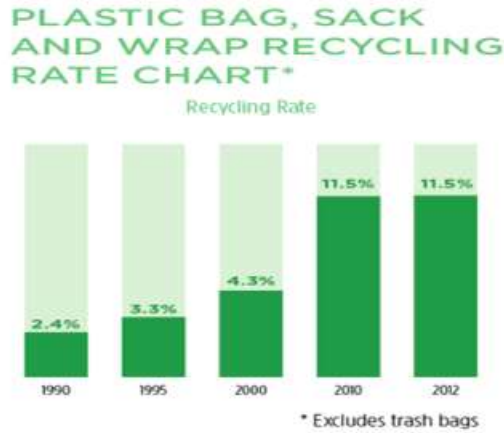
○ 표준화현황

- 유엔환경프로그램(United Nations Environment Program, UNEP)의 지속가능한 제품 디자인 중 제품의 환경설계 부분을 명시하고 있음
- 재활용가능성, 내구성의 향상, 이용밀도의 향상, 물질·에너지 집약도의 저감 등으로 분류하고 있으며 세부 내용으로는 구조의 단순화, 부품수의 삭감, 부품수의 경량화 등을 통해 지속가능한 제품 설계를 제시하고 있음

○ 기타현황(해외 재활용 규제 현황)

- 미국 폐기물 현황

- 플라스틱 랩, 백 및 기타 필름 포장재의 재활용은 2015 년에 3천 4백만 파운드 (3%) 증가
- 랩과 폴리백을 포함한 비교적 깨끗한 폴리에틸렌 필름은 가장 일반적으로 재활용되는 필름 플라스틱으로 재활용 필름의 중 46%를 차지, 혼합 필름은 18%를 차지하며 두 번째로 가장 일반적으로 재활용되고 있음



※출처 - Profiles in Garbage : plastic film, 2014

- 일본 폐기물 현황

1) 일본 내 플라스틱 재활용 현황

- 일본에서는 순환이용지향 사회를 만들기 위하여 다양한 리사이클링 관련 법률들이 시행되고 있음. ‘용기 및 포장 순환이용 법’이 2000년 4월에 시행되었고, 이에 대한 수정안이 2006년 제정되어 2008년 4월 시행에 들어가 법 개정은 2016년 완료됨

2) 일본의 플라스틱 재활용 처리

- 2015년 일본 내 총 964만 톤의 플라스틱이 소비되었고, 이는 전년 대비 1%가 감소한 수치임. 2015년 일본 전역에서 나온 폐플라스틱 양은 915만 톤으로 전년에 비해 역시 1% 감소한 수치를 보임
- 순환이용지향 사회에 대한 높아진 의식을 반영하듯 기계적 재활용, 원재료로의 재활용, 에너지로의 재활용 방식으로 유효 사용된 플라스틱 폐기물 양이 매년 증가하고 있음. 또한, 유효 사용으로 간주되지 않는 에너지 회수가 없는 소각이나 매립 등은 감소되어 재활용 및 재활용율은 2000년도 46%에서 85%로 크게 향상됨
- 재활용 및 재활용율 대비 재활용 및 재활용의 유형별 비율을 보면, 전력생산을 위한 소각 비율이 39%로 가장 높음. 또한, 시멘트 공장에서 원재료 및 연료로 활용된 폐지와 폐플라스틱 연료(RPF, Refused Plastic Fuel) 및 플라스틱 폐기물 등의 고밀도폐기물 가공 연료로의 재활용도 꾸준히 증가하여 2015년에는 20%를 차지함



그림: 일본의 플라스틱 폐기물 처리율 및 재활용과 재활용율 추이

※ 출처: 제42회 극동플라스틱업계회의, 플라스틱코리아

- EU 폐기물 현황

- 플라스틱 유럽(Plastic Europe)에 따르면 유럽의 폐플라스틱 총량은 최근에 거의 일정한 수준을 보이고 있고 EU 27개국에서의 2011년 플라스틱 총 생산량은 약 5,800만 톤이며, 폐플라스틱 총배출량은 절반인 약 2,510만 톤임. 그 중 '유효활용(물질, 화학적, 열 회수)'은 1,490만 톤, 매립 등 미 유효활용이 1,030만 톤으로 확인됨
- 폐플라스틱의 매립 총량 비율은 서서히 감소 추세이고 '유효활용', '재활용' 비율은 상승 추세에 있지만 EU 전체적으로 일본에 비해 매립 등 미 유효활용 비율이 높아 여전히 전체의 약 40%를 차지하고 있음
- 재료의 재활용 50%이상은 PET병 등 포장용기 플라스틱 재활용에 의한 것이고, 전기·전자기기 등은 금속을 중심으로 수거하고 있어서 폐플라스틱 수거, 재활용은 뒤쳐져 있음
- 유럽은 국가별로 처리 상황이 많이 달라, 독일, 스위스, 네덜란드, 벨기에와 북유럽 국가들의 경우 유효활용률이 90%이상('에너지활용'포함)에 달하고 있지만 여전히 매립 등 미 유효활용 비율이 50%이상인 국가도 많이 있음(그림). 이들 국가에서는 매립량 감축 방법의 일환으로 먼저 열 흡수 전환을 진행하고 있는 실정임

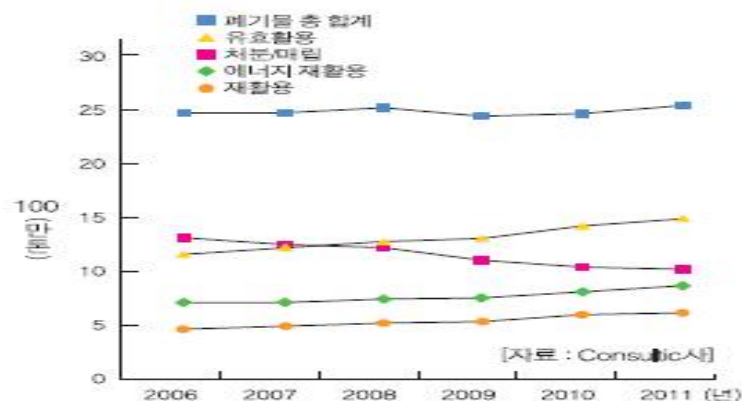


그림: 유럽의 플라스틱 재활용 현황

※ 출처: 제42회 극동플라스틱업계회의, 플라스틱코리아



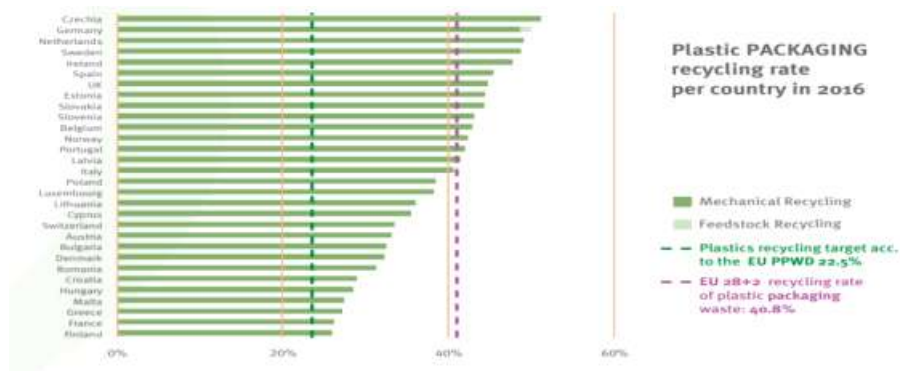


그림: 2016년도 유럽의 플라스틱 포장재 재활용률

※ 출처: Plastics The Facts, 2017, Plastics Europe

- 미국 플라스틱 재활용 현황

- 미국에서 가장 많이 소비되는 플라스틱의 종류 분포는 PET >HDPE >LDPE > PVC >PS >PP 순서임. 수집 후 재처리공장에서 수작업과 기계에 의해 분류된 후 고속의 절단기 및 분쇄기로 박편을 만들어 세제와 물로 세척 후 건조된 박편은 용해 및 Pellet 주조를 거쳐 새로운 플라스틱 제품으로 제조됨

- 일본 플라스틱 재활용 현황

- 일본의 PET 재활용기술은 우리나라와 마찬가지로 주로 재료 재활용에 집중되어 있음. 이는 PET 병을 수거하여 선별, 세척 건조 과정을 거쳐 섬유 옷감 및 카펫 등으로 재활용됨
- 최근 일본에서는 PET 병을 원료물질로 전환시키는 화학적 재활용에 연구를 집중하고 있으며, 폐플라스틱, 폐고무 및 폐PET병 재활용시설을 갖추고 폐플라스틱의 원료화 및 제품화 기술 개발을 꾸준히 진행하고 있음

- 독일 플라스틱 재활용 현황

- 독일의 경우 재활용 PET 병을 수거하여 PET flake를 만들고 압출 성형하여 무정형의 PET pellet을 제조하고 있음
- PET flake를 활용하여 응용 소비재 제품을 생산 전 Pellet을 세척하는 과정이 있으며 가성 소다를 사용하여 pellet의 표면에 붙어있는 먼지, 풀 등 오염물질을 제거한 후 제품을 제조하고 있으나 중합체에 흡수되어 있는 유기물질은 제거할 수 없으므로 식품용으로 사용은 금지되어 있음
- PE, PP 필름 및 용기에 대해서 다른 플라스틱이나 라벨/슬리브가 없을 경우 재활용이 가능한 물질로 판정

1-3. 최종목표

목 표

유당처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발 및 적용을 통한 양산화

면	스낵	용기면 용기
		

- 이종 소재로 인한 재활용시 고품연료 및 매립되는 포장재를 단일소재화 (단순화, 단일화) 하여 자원순환 효율성을 높이고 환경부하를 저감시킬 수 있는 포장재의 개발
- 유통 중 방습성, 산소 차단성 등 식품 보존성이 우수한 포장재 개발
- 기존 라면, 스낵 등 유당처리 식품 포장재를 대체하는 친환경적인 대체 포장재 개발 및 제품화
- 시장규모 확대를 향후 사업화 과정에서 레토르트 제품을 제외한 가공식품 포장재 전반으로 친환경적인 대체 포장재를 확대 적용

## 2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

● 주관연구기관(농심)

### 1. 1차년도

#### 가. 국내·외 유니소재 포장재 조사 및 평가

##### (1) 국내·외 유니소재 포장재 조사

- 국내·외 유니소재 적용 제품의 포장재를 조사해 현 수준을 파악하고 유니소재 포장 기술 개발의 참고용 샘플을 확보하는데 목적이 있음.
- 현재 국내·외 다양한 산업군에서 유니소재와 관련된 연구가 진행되고 있으며 주류, 유제품 등 식품포장 분야에서도 다양한 품목에서 적용이 검토되고 있음(표 1).
- 그러나 유통처리 식품의 경우 유지의 산패와 제품 변질 방지 목적으로 빛·가스·수분 등에 대한 차단성이 골고루 갖춰져야 하기 때문에 유니소재 적용 제품을 찾기 어려움.
- 금번 동향 조사 결과, 연구의 주 대상 품목인 스낵과 라면에 대해 스낵 2종, 라면 1종을 유니소재 적용 제품으로 판단하였음.

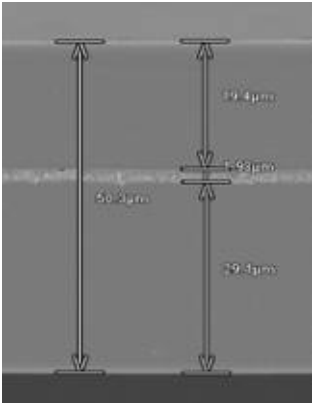
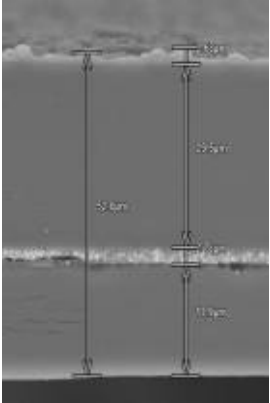
<표 1 국내·외 유니소재 적용 제품 현황>

사진	제품명	타겟	재질 및 형태	업체명
	Stain Champion Colour Wash	세제	PE	Jyothy labs (인도) ARIEL (독일)
	Montepulciano o D'Abruzzo	Wine	1차: Ny/EVOH, PE, etc. 2차: 카톤 박스 Bag in box	BIB Wine Co. (영국)
	맛있는우유 GT	우유	몸체: HDPE 캡: HDPE 라벨: PP	남양유업 (한국)
	Yes! 바	스낵바	종이	Nestle (스위스)
	Linsen Chips	스낵	PP	funny-frisch (독일)

	Kessel Chips	감자 스낵	PP	Intersnack Knabber-Gebäck (독일)
	삼양라면 1963	라면	PP	삼양 (한국)

- 삼양라면 1963 포장재의 경우, 분리배출이 ‘비닐류-PP’로 표현되어 있음.
- 독일의 Linsen Chips와 Kessel Chips는 PP재질 유니소재를 활용한 스낵 포장재로 분리배출 ‘5’번(PP 분리배출 표시)으로 표시하고 있음.
- ‘삼양라면 1963’과 독일 ‘Linsen Chips’ 포장재에 대한 SEM 단면재질 분석결과는 (표 2)와 같음.

<표 2 유니소재 포장재 SEM 분석 결과>

	삼양라면 1963	Linsen chips
SEM (1,000배)		
예상 재질	OPP20/CPP30	OPP30/AlvmOPP20

## (2) 주요 유니소재 포장재 물성 측정

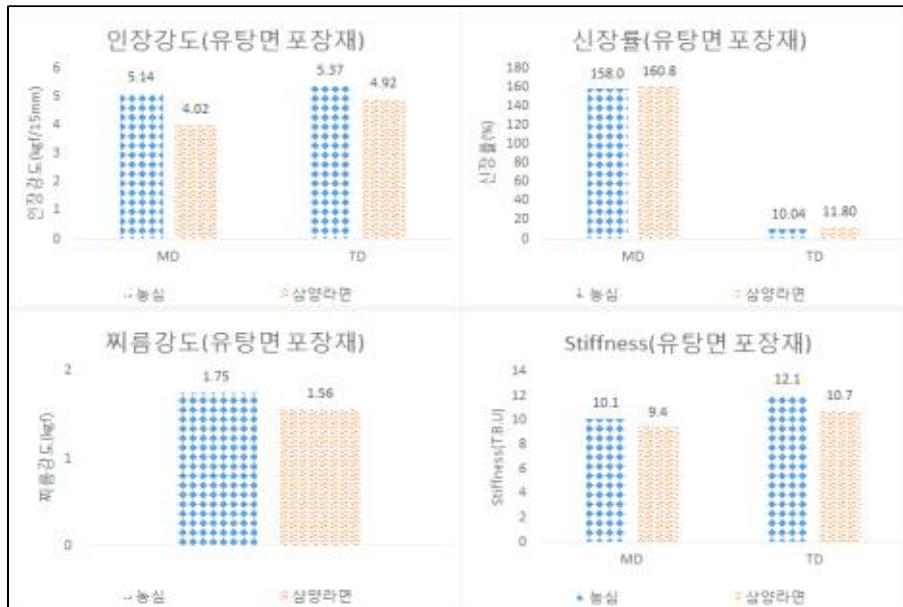
- 유니소재 포장재의 적용 가능성을 평가하기 위해 포장재 물성을 측정함.
- 피포장물의 물리적 보호와 외부 환경으로부터 격리를 유지할 수 있는 능력, 그리고 포장라인 적성에 관련된 기초 물성 분석을 실시하였으며, 산소 및 수분으로부터 내용물을 보호하여 이화학적 변화를 방지할 수 있는 차단성 분석을 병행함.
- ‘유통처리 식품용 포장재’에 해당하는 국내 삼양라면 면포장재와 독일의 스낵 포장재 2종에 대해 농심의 제품과 비교 분석을 진행하였으며, 그 항목은 아래에 나타내었다(표 3).

<표 3 유니소재 포장재 물성 측정 항목>

구분	항목	목적
기초 물성 분석	인장강도	포장재 강도 특성
	신장률	포장재 작업성 특성
	찌름강도	내 편흔성 특성
	Stiffness	포장재 작업성 특성
차단성 분석	산소투과도	산패를 막기위한 산소차단성
	수증기투과도	흡습을 방지하기위한 수증기 차단성

(가) 유탕면 유니소재 포장재 기초 물성 분석

- 현재 국내 봉지 유탕면 중 유니소재 포장재를 사용한 ‘삼양라면 1963’과 농심의 유탕면 포장재(OPP20/AlvmCPP30)에 대해서 포장재 기초 물성을 측정하였음(그림 1).
- 인장강도와 찌름강도, stiffness의 값이 삼양라면 1963이 농심 유탕면 포장재에 비해 조금 더 낮은 수치를 보였으며, 저장실험 및 유통실험에 근거하여 유니소재의 기초 물성에 대한 내부 기준을 확립할 필요성이 있음.



<그림 1 유탕면 유니소재 포장재 기초 물성 분석 결과>

(나) 유탕면 유니소재 포장재 차단성 분석

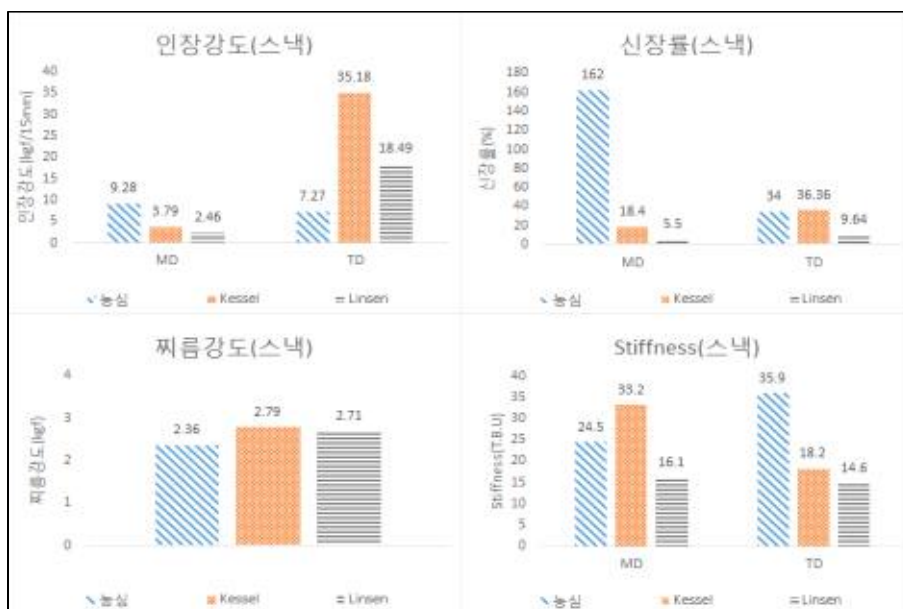
- 포장재 차단성 분석을 위해 산소와 수분에 대한 차단성(OTR, WVTR)을 측정함(그림 2).
- 차단성 분석 결과, 농심 유탕면 포장재의 경우 OTR 9.66 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR 1.86 g/m<sup>2</sup>/day의 수치를 보였으나 삼양라면 1963의 경우 OTR 1,000 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR 5.1 g/m<sup>2</sup>/day의 높은 수치를 보임.
- 유탕면 포장 시 포장재의 허용 가능한 OTR, WVTR 수준을 규격화 할 필요성이 있음.



<그림 2 유탕면 유니소재 포장재 차단성 분석 결과>

(다) 스낵 유니소재 포장재 기초 물성 분석

- 유니소재 포장재를 적용한 독일 스낵 제품인 'Linsen Chips'와 'Kessel Chips'를 농심 스낵 포장재(OPP20/PE12/AlvmPET12/PE12/ECP20)와 비교하여 기초 물성을 측정함(그림 3).
- 독일 스낵 포장재는 농심에 비해 인장강도는 강하고 신장율은 떨어지는 특성을 보였음.
- 찌름강도의 경우, 유니소재 적용 제품군이 약간 강한 것으로 분석되었으며, Oriented PP를 총 50 $\mu$ m사용함에 따라 찌름강도가 높아진 것으로 판단됨. 그러나 현재 수준도 유통에 문제가 없으므로, 앞으로 개발할 포장재의 찌름강도 기준은 현 제품 유사 수준을 기준으로 삼을 것임.



<그림 3 스낵 유니소재 포장재 기초 물성 분석 결과>

(라) 스낵 유니소재 포장재 차단성 분석

- 포장재 차단성 분석을 위해 산소와 수분에 대한 차단성(OTR, WVTR)을 측정함(그림 4).

- AlvmPET층이 삽입된 농심 스낵포장재와는 달리 PP 유니소재 재질의 독일 포장재의 산소 차단성이 크게 저하된 것으로 확인됨.



<그림 4 스낵 유니소재 포장재 차단성 분석 결과>

## 나. 시제품 테스트

### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 1차년도 유니소재 시제품을 제작하여 생산 라인 적합성을 평가하고 개선 필요사항을 파악하며, 저장성 평가를 통해 각 제품군에 요구되는 적정 물성을 설정하고자 평가.
- 시제품 평가 항목은 아래와 같으며(표 4), 유당 봉지면의 경우 별도의 질소 치환 포장에 필요하지 않으므로 산소함량 분석은 제외함.

<표 4 시제품 물성 평가 항목>

구분	항목	라면	스낵
기초 물성 분석	인장강도, 신장률, 찌름강도, Stiffness	●	●
차단성 분석	산소투과도, 수증기투과도	●	●
안전성 분석	포장재 중금속	●	●
저장성 평가	수분	●	●
	유지(Av, POV)	●	●
	산소함량		●
	관능평가	●	●

- 포장재의 중금속 측정은 아래 기준에 따라 진행함.

※ 분석 기준 및 규격 (식품안전의약처 ‘기구 및 용기·포장의 기준 및 규격’)

### II. 공통기준 및 규격

1. 공통제조기준아.합성수지제, 가공셀룰로오스제, 종이제, 전분제 기구 및 용기·포장에 사

용

되는 재질은 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬의 합이 100 mg/kg 이하이어야 하며, 시험법은 IV. 2. 2-1 납 시험법 가. 잔류시험, 2-2 카드뮴 시험법 가. 잔류시험, 2-3 수은시험법, 2-4 6가크롬 시험법 가. 잔류시험 에 따른다.

## (2) 1차 시제품 평가(유탕면 포장재)

- 국내 유탕면 포장재는 대부분 OPP/AlvmCPP 재질을 사용하고 있음. 산소, 수분, 빛을 차단하기 위한 목적이며, 상대적으로 낮은 차단성을 요구하는 유탕면의 특성상 알루미늄 증착 CPP를 사용함.
  - 환경성 및 재활용에 대한 적성을 고려해 알루미늄 증착 층을 제거하고, 산화알루미늄을 활용한 투명증착 OPP로 유니소재 포장재를 제조하여 평가를 진행함(표 5).
- \* 재활용이 용이한 포장재는 결국 ‘유니소재화’를 의미하는데 과제에서는 PP필름에 투명 배리어 액상소재를 코팅하여 목표를 달성하고자 함. 이를 위해 1차년에는 현재 PP재질 기반의 비증착재질의 차단성 소재인 산화알루미늄 투명증착 OPP를 활용하여 비교평가를 진행함

<표 5 유탕면 포장재 1차 시제품>

	현재질	투명증착	비증착
외형 (전면/ 후면)			
재질	OPP20/AlvmCPP30	AlOxOPP16/CPP30	OPP20/CPP30

### (가) 1차 시제품 기초 물성 평가(유탕면 포장재)

- 1차 시제품에 대한 기초 물성 분석 결과, 인장강도와 찢음강도, stiffness가 기존 포장재에 비해 감소한 것을 확인했고, 지속적인 개선을 진행할 필요가 있다고 판단함.
- 비증착 필름은 물성 하락 폭이 수용 가능 수준이나, 투명증착 포장재의 경우 수급 가능한 16 $\mu$ m의 필름을 사용 후 물성치가 20~30% 감소하여 추가 검토 및 개선이 필요하다고 판단함.





<그림 5 유탕면 포장재 1차 시제품 기초 물성 평가>

(나) 포장재 차단성 시험

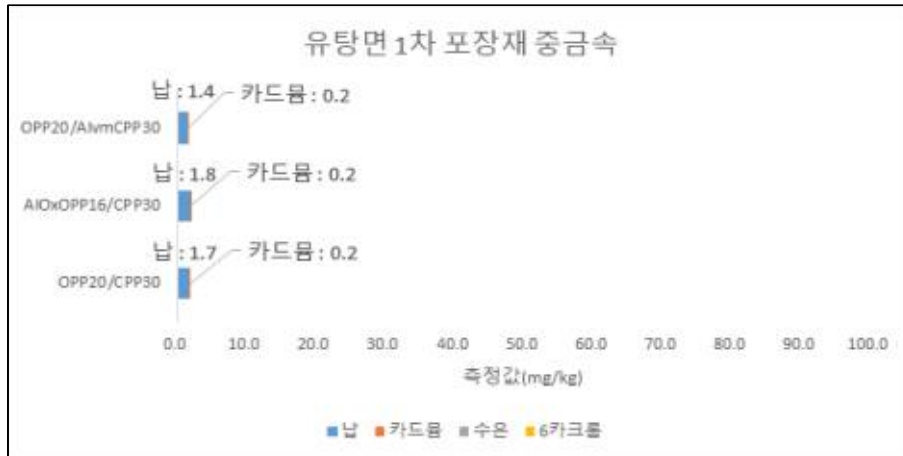
- 포장재의 차단성을 확인하기 위해 OTR과 WVTR을 측정된 결과(그림 6), 투명증착 OPP를 사용한 포장재의 OTR이 1.13 cc/m<sup>2</sup>/day로 현재질에 비해 더 높은 산소차단성을 나타냈으며, 수증기차단성은 2.25 g/m<sup>2</sup>/day로 현재 사용하고 있는 OPP/AlvmCPP에 비해 떨어짐.
- 비증착 필름의 경우 OTR 값이 997 cc/m<sup>2</sup>/day으로 추가 개선이 필요함.



<그림 6 유탕면 포장재 1차 시제품 차단성 평가>

(다) 포장재 안전성 시험(중금속 시험)

- 농심 식품안전연구소에 중금속관련 안전성 분석을 의뢰하였음(그림 7).
- 3가지 포장재 모두 중금속의 합이 2 mg/kg이하로 측정되어, 법적 기준에 적합함.



<그림 7 유탕면 포장재 1차 시제품 안전성 평가>

(라) 생산라인 적합성 평가

- 일반적인 봉지면 포장기의 형태인 HFFS(Horizontal Form Fill Seal, 수평방향으로 이송되는 대상물을 포장재가 감싸면서 포장하는 방식)형 포장기를 이용했으며 씰링에는 Rotary Sealer(축 회전식 방식)를 이용함.
- 세 가지 항목(씰링성 및 생산속도, 내핀홀성, 라인적성)에 대해서 적합성을 평가.

① 씰링성 및 생산속도 평가

- 라인 적합성에서 가장 큰 부분을 차지하는 씰링성 및 생산속도에 대해 농심 생산 설비(그림 8)를 이용해 1차적으로 평가하였고, 모든 샘플이 양호한 적성을 보임(표 6).



<그림 8 유탕면 포장재 1차 시제품 씰링성 및 생산 속도 평가 사진>

② 내핀홀성 평가

- 핀홀검사서 투명증착 포장재의 표면에 2개의 미세 핀홀이 발견되었음(표 6).
- 상대적으로 찌름에 대한 저항성이 낮아(그림 5) 생산 중, 혹은 샘플 이송 간 충격에 의해 표면에 찌름이 발생한 것으로 판단함.
- 향후 유탕면 유니소재 포장재 개발 시 찌름강도를 적정수준 확보하는 방향, 또는 설비와 충돌 발생 부위에 완충을 하는 방향으로 검토가 필요함.

<표 6 유탕면 포장재 1차 시제품 생산속도, 내핀홀성 평가>

	현재질 OPP20/AlvmCPP30	투명증착 AlOxOPP16/CPP30	비증착 OPP20/CPP30
생산속도 (pack/min.)	125	125	125
핀홀검사	0 pack/100 pack	2 pack/100 pack	0 pack/100 pack

③ 라인적성 평가

- 1차 시제품의 생산라인 적합성 테스트시 아이마크 인식이 가장 문제.
- 현재 농심의 생산라인은 현재 유탕면 포장재에 사용하고 있는 OPP/AlvmCPP재질에 맞춰져있어 아이마크 역시 재질에 적합한 센서를 사용함. 센서의 종류는 아래에 명시함.

※ 아이마크 센서의 종류 (농심 라면포장기)

- ✓ 포장재가 정위치에서 찢림 및 커팅이 될 수 있게 보정해주는 아이마크 인식 센서
- ✓ 포장재 언와인딩시 좌우로 흔들림을 방지해주는 이탈 인식 센서
- ✓ 포장재 자동 연결을 위한 Auto Splicer용 센서

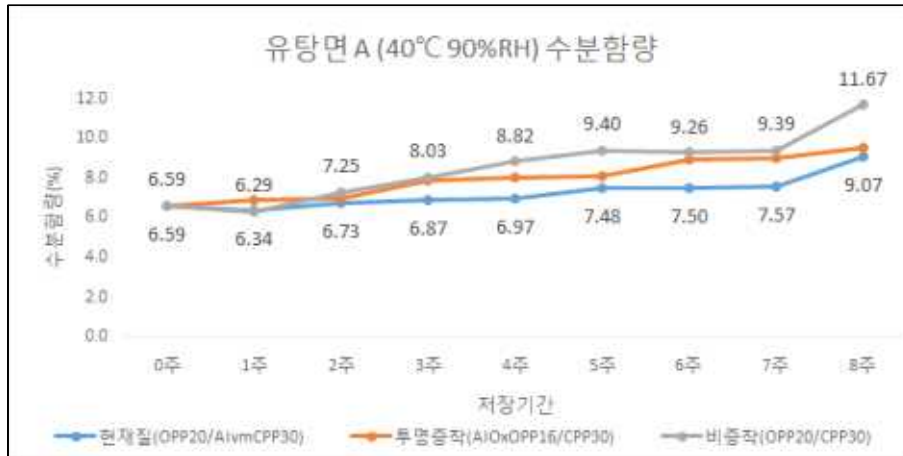
- 이 센서들은 모두 증착면에 반사된 빛을 인식하는 반사형 타입의 센서를 사용하고 있어 유니소재 포장재를 위해 투명증착이나 비증착 포장재를 사용할 경우 생산성 저하를 야기함.
- 향후 유니소재 포장재 적용을 위해서는 위 3가지 센서의 변경이 필요할 것으로 판단함.

(마) 저장성 평가

- 유탕면용 포장재 3종에 대해 농심 유탕면 A 제품으로 샘플을 제작함.
- 3종의 샘플에 대해서, 고온다습조건(40℃/90%RH)과 표준온습도조건(20℃/65%RH)에서 각각 저장실험을 진행하였음.

① 면의 수분함량 분석

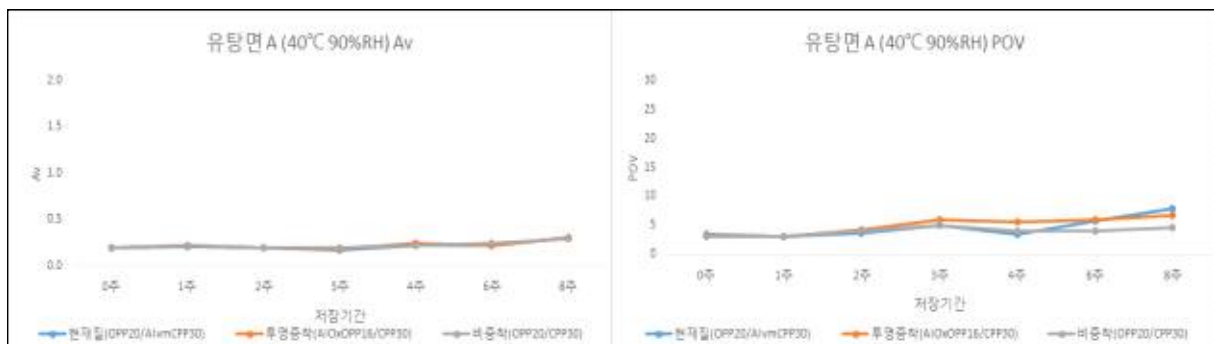
- 면의 수분함량 분석은 고온다습조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음(그림 9).
- 현재질과 투명증착포장재를 사용한 재질의 경우 8주가 경과할 때까지 수분함량기준(초기 수분함량 +3%이내, 9.5%)이하로 수분함량이 나타남. 따라서 수분차단성 측정 결과(그림 6)와 비교해 WVTR 2.25 g/m<sup>2</sup>/day의 값은 수용 가능한 것으로 판단함.
- 비증착 포장재를 사용한 경우, 8주 후 제품의 수분함량이 11.6%로 자체 수분함량 기준을 초과하였고, WVTR 4.37 g/m<sup>2</sup>/day 이상의 값은 기준 미달로 판단함.
- 적정 투습도 설정을 위해 WVTR 2.25g/m<sup>2</sup>/day 와 4.37 g/m<sup>2</sup>/day사이의 값에 대해서는 추가 실험과 평가가 필요함.



<그림 9 유탕면 A의 수분함량 변화>

② Acid Value(Av), Peroxide Value(POV) 분석

- 유탕면의 경우 상대적으로 산패에 덜 민감하기 때문에 별도의 질소치환포장을 실시하지 않지만, 지속적으로 산소가 공급될 경우, 고온에서 산패가 급속히 진행될 가능성이 있음.
- 따라서 품질 평가 항목으로 Av, POV를 선정하였고 결과는 아래에 명시함(그림 10).
- 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 Av값은 2.0이하, POV값은 30이하로 설정함.
- 고온다습조건에서 8주 간 저장실험을 진행한 결과 Av와 POV값은 포장재에 상관없이 기준 이하로 나타남.



<그림 10 유탕면 A의 Av, POV 분석 결과>

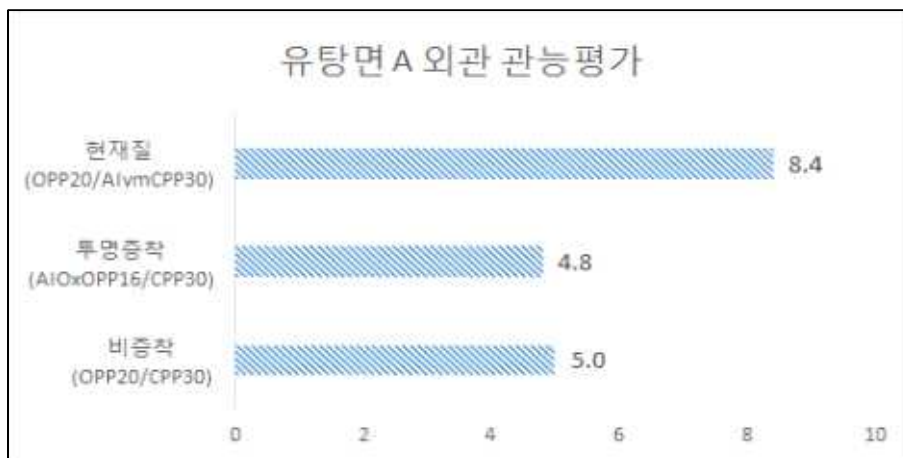
③ 관능평가

- 관능평가 항목은 ‘면의 냄새’, ‘흡습정도’, ‘상품성’으로 설정하였고, 농심 포장개발팀 연구원 5명이 패널로 참석하여, 9점 척도법으로 실시하였으며 결과는 다음과 같음(그림 11).
- 현재질과 투명증착재질은 관능적으로 큰 차이가 없었으며, 포장재의 차단성 분석 결과로부터 그 근거를 찾을 수 있음(그림 6). 이 두 재질의 차단성 수준은 수용 가능하다고 판단.
- 비증착재질의 경우, 저장기간 경과에 따라 냄새와 흡습이 감지되어 저장기간 8주후 5.2점으로 점수가 하락하였고, 산소 및 수분에 대한 차단성 부족에서 기인한 것으로 판단(그림 6).



<그림 11 유당면 A의 관능평가 결과>

- 내용물에 대한 관능평가 이외에 포장된 제품에 대해 간이적으로 평가를 진행함.(농심 포장 개발팀 연구원 대상, 9점 척도법)
- 평가 결과 증착층이 제거됨에 따라 인쇄효과 저하로 인한 평가 결과가 낮아짐(그림 12).
- 향후 알루미늄 증착의 디자인 효과를 대체할 수 있는 추가적인 개발이 요구됨.



<그림 12 유당면 A의 외관 관능평가 결과>

(바) 1차 시제품 평가(유당면 포장재) 결과

- 유당 봉지면 포장재에 대한 1차 시제품 평가 결과는 아래와 같이 정리할 수 있음.

- ① OTR : 9.66 cc/m<sup>2</sup>/24hr.이하, WVTR : 2.25 g/m<sup>2</sup>/24hr.이하에서 저장성이 양호
- ② WVTR : 2.25 ~ 4.37 g/m<sup>2</sup>/24hr의 차단성에 대해 추가 실험 필요
- ③ 알루미늄 증착 제거 시, 농심 생산라인의 설비보완이 필요
- ④ 알루미늄 증착 제거 시, 시각 효과를 보완해줄 수 있는 인쇄 개선이 필요

- 따라서 2차년에는 포장재의 시각효과를 보완해줄 수 있는 인쇄 부분의 개선에 대해서 우선

화학과 공동 개발을 계획.

### (3) 1차 시제품 평가(유탕스낵 포장재)

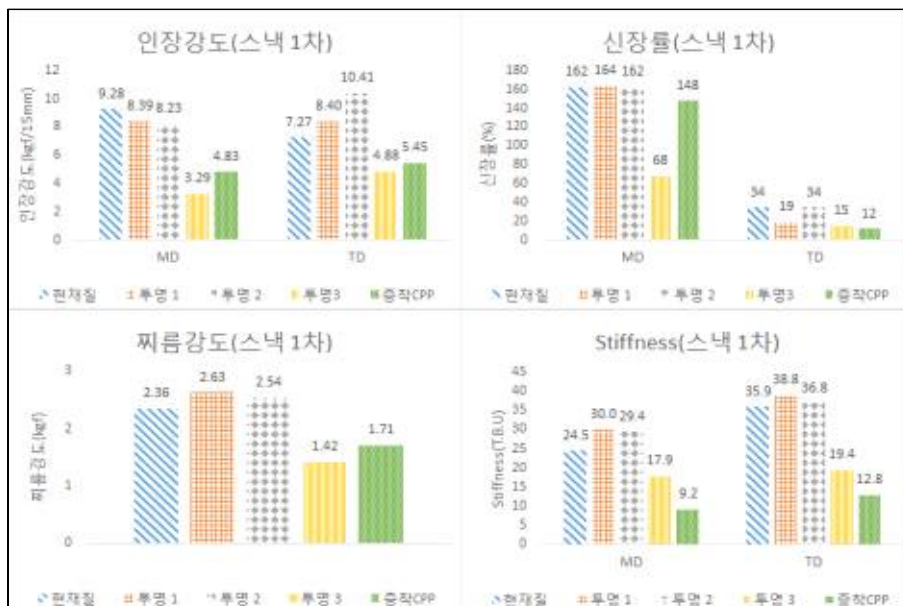
- 현재 국내 대부분의 유탕/유처리 스낵 포장재는 산소, 수분, 빛의 차단 목적으로 AlvmPET 재질을 포함한 다층구조의 포장재를 사용함.
- 본 과제에서는 유니소재화 목표를 달성하기 위해 AlvmPET를 Polyolefin 계열의 PP나 PE로 대체하는 저장실험을 진행하였고, 시료 정보는 아래와 같음(표 7).

<표 7 유탕스낵 포장재 1차 시제품>

	현재질	투명증착 1	투명증착 2	투명증착 3	증착CPP
외형 (전면/ 후면)					
재질	OPP20/PE12/ AlvmPET12/ PE12/PP20	OPP20/PE10/ AlOxOPP16/ PE10/PP20	OPP20/ AlOxOPP16/ PP20	AlOxOPP16/ PE15/PP40	OPP20/ AlvmPP30

#### (가) 1차 시제품 기초 물성 평가(유탕스낵)

- 포장재의 기초 물성인 인장강도, 신장률, Stiffness, 찌름강도를 측정하였음(그림 13).
- 투명증착 3과 증착CPP의 경우, 전체적인 물성이 큰 폭으로 저하되는 것을 확인하였으며 포장재 적용 시 문제가 발생할 수 있을 것으로 사료됨.



<그림 13 유탕스낵 포장재 1차 시제품 기초 물성 평가>

(나) 포장재 차단성 시험

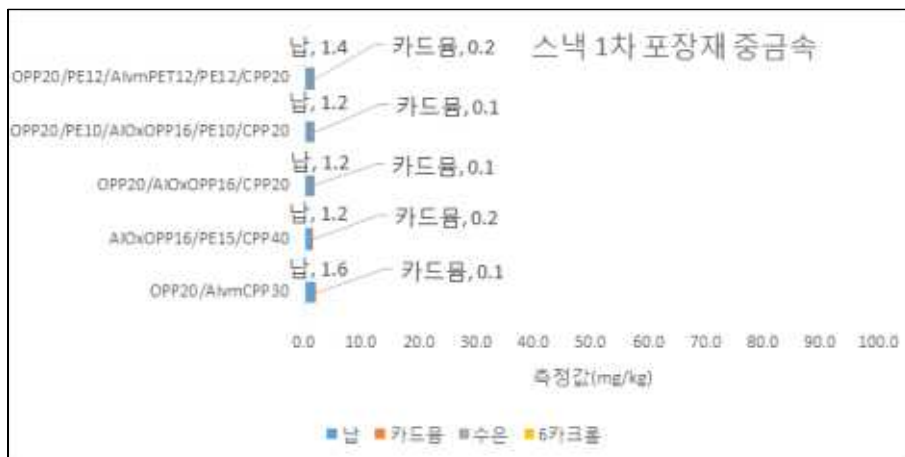
- 포장재의 차단성을 확인하기 위해 OTR과 WVTR을 측정(그림 14).
- 투명증착 1의 경우 현재질과 유사한 차단성을 나타냈으며 산소 차단성에서 더 향상된 물성을 나타냄.
- 투명증착 3의 경우 산소차단성은 우수하지만 수증기 차단성이 떨어졌고, 비교군으로 사용된 증착CPP는 반대로 산소차단성은 낮지만 수증기 차단성은 양호한 것으로 측정되었음.



<그림 14 유탕스낵 포장재 1차 시제품 차단성 평가>

(다) 포장재 안전성 시험(중금속 시험)

- 농심 식품안전연구소에 중금속관련 안전성 분석을 의뢰하였음(그림 15).
- 5가지 포장재 모두 중금속의 합이 1.7 mg/kg이하로 측정돼 기준(100 mg/kg 이하)에 적합.



<그림 15 유탕스낵용 1차 시제품 안전성 평가>

(라) 농심 생산라인 적합성 테스트 및 저장실험용 샘플링

- 아이마크 인식 부분이 가장 문제가 되며, 농심 생산라인은 현재 유탕/유처리 스낵 포장

재에 사용하고 있는 OPP/PE/AlvmPET/PE/PP재질에 맞춰져있음.

- 센서는 모두 증착면에 반사된 빛을 인식하는 ‘반사형’타입의 센서를 사용하고 있음.
  - ✓ 포장재가 정위치에서 쉐링 및 커팅이 될 수 있게 보정해주는 아이마크 인식 센서
  - ✓ 포장재 언와인딩시 좌우로 흔들림을 방지해주는 이탈 인식 센서

① 내핀홀성 평가

- 핀홀검사에서 투명증착 2 포장재의 T-Seal 부에 15개의 미세 핀홀이 발견되었음(표 8).
- 투명증착 2 포장재는 Dry Lamination 방식으로 합지되어, 상대적으로 쉐링 압력이 낮은 스넵 포장기에서 완벽히 쉐링이 되지 않는 것으로 판단됨.
- 투명증착 2포장재는 핀홀발생으로 저장실험에서 제외함.

<표 8 유탄스넵 포장재 1차 시제품 생산속도, 내핀홀성 평가>

	현재질	투명증착 1	투명증착 2	투명증착 3	CPP증착 1
생산속도 (pack/min.)	60	60	60	60	60
핀홀검사 (pack)	0/20	0/20k	15/20	0/20	2/20

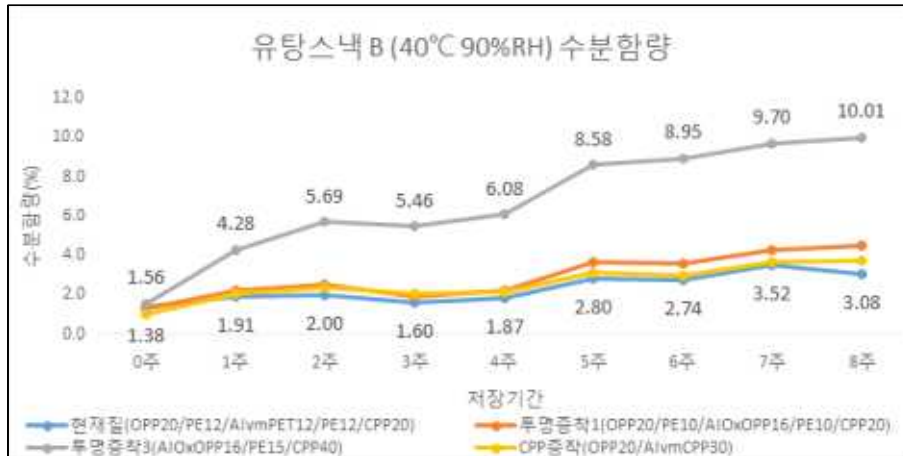
(마) 저장성 평가

- 스넵용 포장재 4종에 대해 농심 스넵 B 제품으로 샘플을 제작함.
- 4종의 샘플에 대해서, 고온다습조건(40℃/90%RH)과 표준온습도조건(20℃/65%RH)에서 각각 저장실험을 진행하였음.

① 스넵의 수분함량 분석

- 스넵의 수분함량 분석은 고온다습조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음(그림 16).
- 투명증착 3을 제외하고는 고온다습저장조건에서도 8주가 경과할 때까지 수분함량기준(초기 수분함량 +3%이내, 4.3%)이하로 관찰됨.





<그림 16 유당스낵 B의 수분함량 변화>

② 스낵포장재 내부 산소함량 분석

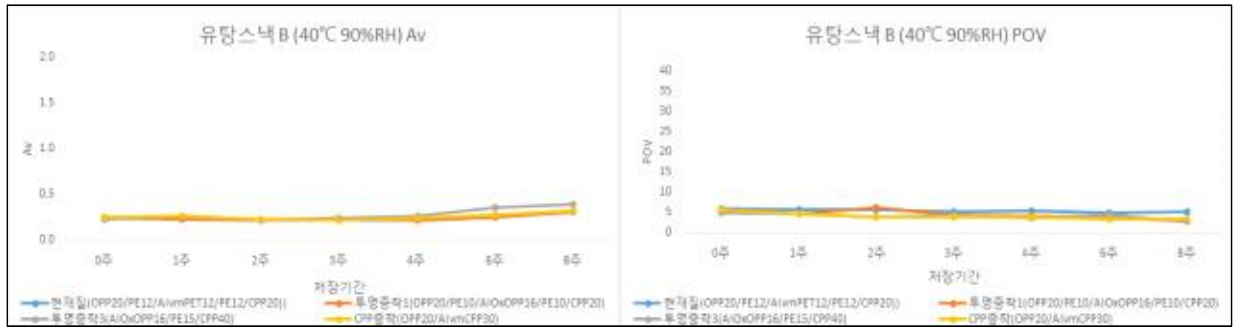
- 스낵은 별도의 조리 과정이 없어 소비자에게 더 민감하게 느껴짐.
- 스낵 B 제품을 포장하여 저장기간 중 포장재내 산소 함량을 측정(그림 17).
- CPP증착 재질의 포장재를 사용한 경우, 저장기간 초기부터 지속적으로 포장재내 산소함량이 증가해 8주 경과 시 1.56%에서 10.01%로 증가.



<그림 17 유당스낵 B의 산소함량 변화>

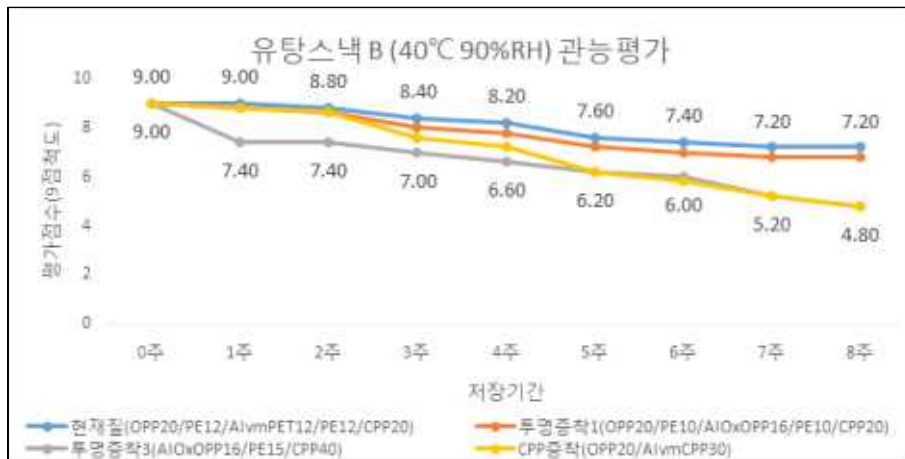
③ Acid Value(Av), Peroxide Value(POV) 분석

- 유당스낵 산패에 대한 품질 평가 항목으로 Av, POV를 선정하였음(그림 18).
- 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 Av값은 2.0이하, POV값은 40이하로 설정함.
- 고온다습조건에서 8주 간 저장실험 결과 Av와 POV값은 모두 기준 이하로 나타남.



<그림 18 유당스낵 B의 Av, POV 분석 결과>

④ 관능평가



<그림 19 유당스낵 B의 관능평가 결과>

- 내용물에 대한 관능평가 이외에 포장된 제품에 대해 관능평가를 진행함(그림 20).
- 증착층이 제거됨에 따라 인쇄효과 저하로 인한 평가 결과가 낮아짐.
- 향후 알루미늄 증착의 디자인 효과를 대체할 수 있는 추가적인 개발이 요구됨.



<그림 20 유당스낵 B의 외관 관능평가 결과>

- (바) 1차 시제품 평가(스낵 포장재) 결과
- 유당 스낵 포장재에 대한 1차 시제품 평가 결과
    - ✓ OTR : 12.05 cc/m<sup>2</sup>/24hr.초과, WVTR : 3.56 g/m<sup>2</sup>/24hr.초과될 경우 저장성 불량
    - ✓ 향후 알루미늄 증착 제거시, 농심 생산라인의 설비보완이 필요
    - ✓ 향후 알루미늄 증착 제거시, 시각 효과를 보완해줄 수 있는 인쇄 개선이 필요
  - 추가 계획으로
    - ✓ OTR 0.79~12.05 cc/m<sup>2</sup>/24hr., WVTR : 0.95~3.56 g/m<sup>2</sup>/24hr. 포장재의 저장성 확인

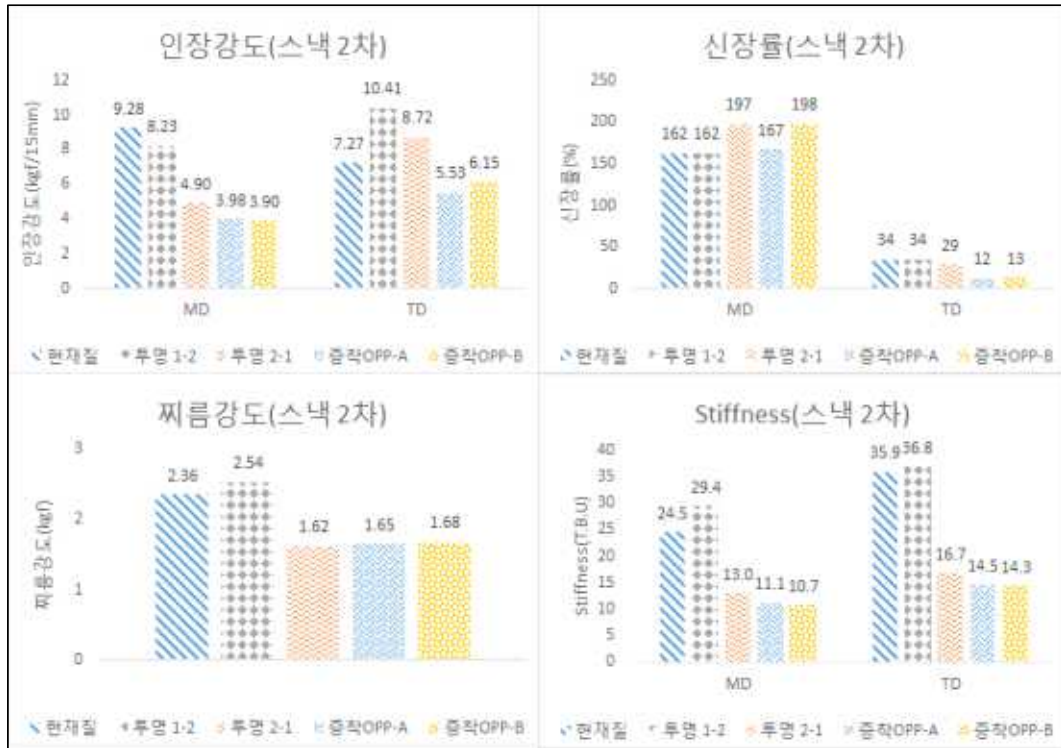
**(4) 2차 시제품 평가(유당스낵 포장재) - 진행 중**

- 1차 시제품 평가 결과, 포장재의 OTR이 12.05 cc/m<sup>2</sup>/day이상, WVTR이 3.56 g/m<sup>2</sup>/day 이상일 경우 제품의 품질 열화에 영향을 미치는 것을 확인함.
- 2차 시제품은 OTR 0.79~12.05 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR이 0.95~3.56 g/m<sup>2</sup>/day 사이의 포장재를 제조하여 품질을 평가하였음(표 9).
- 차단성에 대한 자료 확보를 위해, 1차 시제품 평가에서 샘플링에 실패했던 투명증착 2(OPP20/AIOxOPP16/CPP20) 포장재에 대해서도 테스트 진행(투명 1-2).

<표 9 유당스낵 포장재 2차 시제품>

	기존	투명 1-2	투명 2-1	증착OPP-A	증착OPP-B
외형 (전면/ 후면)					
재질	OPP20/PE12/ AlvmPET12/ PE12/CPP20	OPP20/ AIOxOPP16/ CPP20	AIOxOPP20/ CPP40	AlvmOPP18/ CPP40(A)	AlvmOPP18/ CPP40(B)

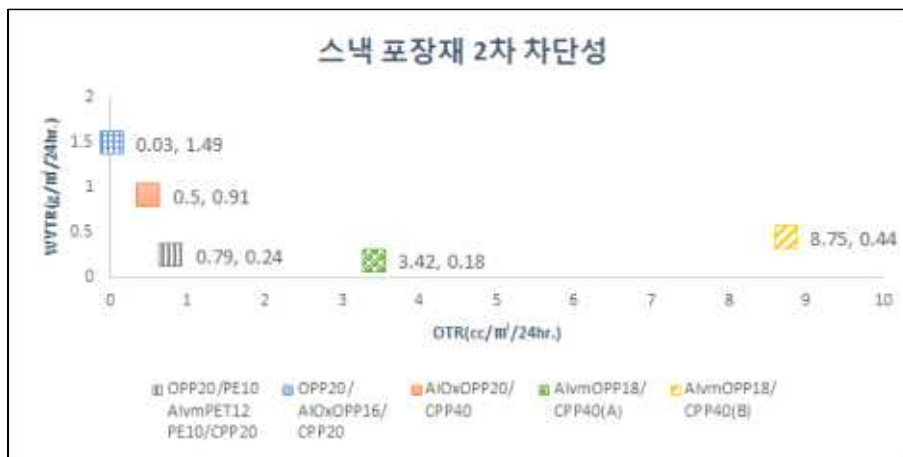
- (가) 2차 시제품 기초 물성 평가(유당스낵)
- 포장재의 기초 물성을 측정한 결과는 아래와 같음(그림 21).
  - 두께와 층 수의 감소로 전체적인 물성이 저하되었으나, 투명 1-2의 경우 매우 양호한 물성을 나타냄.



<그림 21 유탕스낵 포장재 2차 시제품 기초 물성 평가>

(나) 포장재 차단성 시험

- 포장재의 차단성을 확인하기 위해 OTR과 WVTR을 측정함(그림 22).
- 2차 테스트 목표에 맞게 OTR 0.79~12.05 cc/m<sup>2</sup>/24hr. 구간, WVTR : 0.95~3.56 g/m<sup>2</sup>/24hr.구간 포장재 샘플 확보.



<그림 22 유탕스낵 포장재 2차 시제품 차단성 평가>

(다) 포장재 안전성 시험(중금속 시험)

- 농심 식품안전연구소에 중금속관련 안전성 분석을 의뢰하였음(그림 23).
- 5가지 포장재 모두 중금속의 합이 1.7 mg/kg이하로 중금속 기준에 적합(100 mg/kg 이하).



<그림 23 유당스낵 포장재 2차 시제품 안전성 평가>

(라) 농심 생산라인 적합성 테스트 및 저장실험용 샘플링

- 생산 테스트 중 핀홀검사에서 Dry Lamination으로 제조된 포장재 모두에서 T-Seal부 핀홀 발생(표 10).

<표 10 유당스낵 포장재 2차 시제품 생산속도, 내핀홀성 평가>

	현재질	투명증착 1-2	투명증착 2-1	OPP증착 1	OPP증착 2
생산속도 (pack/min.)	60	60	60	60	60
핀홀검사 (pack)	0/20	9/20	6/20	5/20	5/20
비고		재 Sealing	재 Sealing	재 Sealing	재 Sealing

- 작업 중 샘플링시 간헐적으로 T-Seal부 미접착에 의한 Leak가 발생하였으나, ‘수침지가압법’으로 확인하지 않으면, Leak부위로 Air가 빠져나오지 않으므로, 저장실험 테스트를 위해 간이 Sealer로 추가 Sealing을 한 후 ‘수침지가압법’으로 재확인 후 저장실험을 진행함.

(마) 저장성 평가

- 스낵용 포장재 5종에 대해 1차 테스트와 같이 농심 스낵 B 제품으로 샘플을 제작함.  
 - 5종의 샘플에 대해서, 고온다습조건(40°C/90%RH) 조건으로만 저장실험을 진행하는 중이며, 보고서 제출 시점 현재, 저장기간 약 4주 경과하였음.

① 스낵의 수분함량 분석

- 스낵의 수분함량 분석은 고온다습조건(40°C/90%RH)에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음(그림 24).  
 - 투명증착 1-2(OPP/AIOxOPP/CPP)을 제외하고는 고온다습저장조건에서도 4주가 경과할

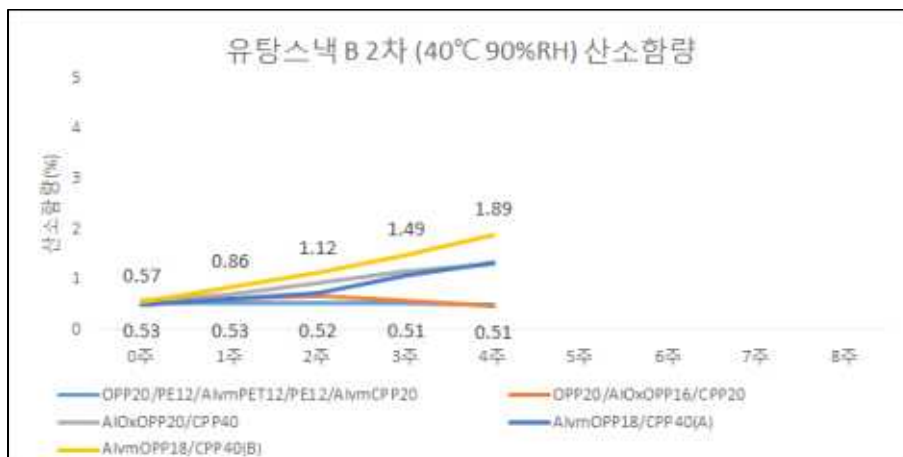
때까지 수분함량기준(초기 수분함량 +3%이내, 4.1%)이하로 수분함량이 나타났음  
 - 투명증착 1-2(OPP/AlOxOPP/CPP) 포장재는 저장기간 4주차에 4.5%이상 수분함량이 높아져, 수분차단성에 문제가 있는 것으로 판단됨.



<그림 24 유당스낵 B-2차의 수분함량 변화>

② 스낵포장재 내부 산소함량

- 고온다습조건에서 저장기간 중 포장재내 산소 함량을 측정하였음(그림 25)  
 - 고온다습조건에서 4주가 경과한 시점에서, OPP증착2(AlmOPP18/CPP40(B))의 산소함량이 높아지는 것으로 나타나지만, 8주간 확인이 필요하다고 판단됨.



<그림 25 유당스낵 B-2차의 산소함량 변화>

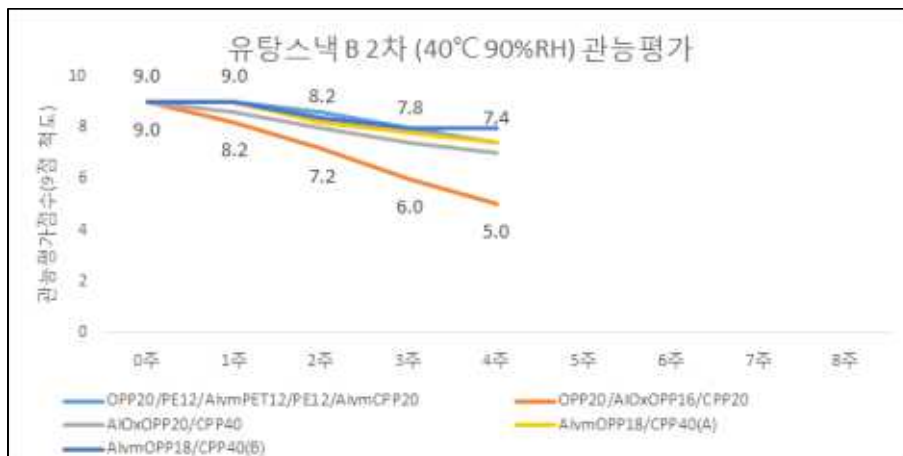
③ Acid Value(Av), Peroxide Value(POV) 분석

- 1차 저장성 실험결과로 볼 때, 제품의 수분함량과 포장재내 산소함량으로 제품의 품질열화 측정이 가능하다고 판단하여 유지 분석은 생략하였음.

④ 관능평가

- 관능평가 항목은 ‘스낵의 냄새’, ‘흡습정도’로 설정하였고, 농심 포장개발팀 연구원 5명

이 패널로 참석하여, 9점 척도법으로 실시하였으며 결과는 그림 와 같음  
 - 관능평가 결과에서 보는 것과 같이 투명증착 1-2(투습도 저하)의 경우, 저장기간 4주 경과 시점에서 흡습이 감지되어 5.0점으로 점수가 하락하였음.



<그림 26 유당스낵 B-2차의 관능평가 결과>

(바) 2차 시제품 평가(스낵 포장재) 중간 결과

- OPP/AlOxOPP/CPP 포장재(OTR : 1.0 cc/m<sup>2</sup>/24hr., WVTR : 1.5 g/m<sup>2</sup>/24hr.)의 경우, 제품의 흡습을 막을 수 없다고 판단됨.
- 고온다습조건에서 저장실험이 종료되어야 결론을 내릴 수 있겠지만, WVTR : 1.5 g/m<sup>2</sup>/24hr. 차단성으로도 스낵제품의 보존성을 확보할 수 없을 것으로 판단됨.

### (5) 재활용 수율향상 종이용기 개발

(가) 시제품 평가의 목적 및 항목

- PE나 PP가 압출코팅된 종이용기의 재활용시 종이의 회수율 향상을 위한 목적으로 3종의 샘플을 제작하여 테스트를 진행하였음. 시제품 평가 항목은 아래의 표 11과 같음.

<표 11 재활용 수율향상 종이용기 평가 항목>










구분	항목
내수성	누수액을 물선까지 붓고, 20분 후 누수여부 검사
내유성	콩기름을 물선까지 붓고, 30분 후 누유여부 검사
씰링성	1차 : 개봉 후 관능적으로 평가 2차 : Rupture강도 및 Peel 강도 측정

(나) 재활용 수율향상 종이용기 시제품 평가

- 시제품은 재활용 수율향상을 위해 LLDPE와 LDPE, CaCO<sub>3</sub>를 Blending 후 압출코팅 하여 제작.

- 제작 샘플과 내수/내유성 평가 결과는 아래 표 12와 같으며, LDPE와 LLDPE의 함량을 달리해 총 3차에 걸쳐 시제품을 제조하였다.

<표 12 재활용 수유향상 종이용기 평가 결과>

	내수성	내유성	씰링성
시제품 C-1차 LLDPE(55%) +CaCO <sub>3</sub> (45%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 불량
시제품 C-2차 LDPE(55%) +CaCO <sub>3</sub> (45%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 누유발생	 씰링성 : 불량
시제품 C-3차 LDPE(38.5%) +LLDPE(16.5%) +CaCO <sub>3</sub> (45%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 매우불량

- 1차 시제품의 경우, 내수성 및 내유성은 양호하나, 용기와 리드의 분리 시 종이용기 코팅층이 박리되는 현상이 발생하여 씰링성 불량으로 판단.
- 2차 시제품은 내수성은 양호하나 누유가 발생해 내유성 불량으로 판단하였으며, 1차 시제품과 마찬가지로 종이용기 코팅층이 박리되어 씰링성 불량으로 판단.
- 3차 시제품은 내수성 및 내유성은 양호하였으며, 리드 분리 시 용기 코팅층 분리 현상이 심하게 발생하여 씰링성 매우불량으로 판단.

(다) 재활용 수유향상 종이용기 1차년 결과

- 총 3차에 걸친 시제품 평가결과 유탕면 용기에 적용을 위해서는 추가 개선이 필요함.
- PE/CaCO<sub>3</sub> 코팅층과 종이용기의 코팅 강도를 향상시킬 수 있는 방향으로 진행 예정.



## 2. 2차년도

### 가. 시제품 테스트

#### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 2차년도까지는 1차년도와 마찬가지로 유니소재 시제품을 제작하여 생산 라인 적합성을 평가하고 개선 필요사항을 파악하며, 저장성 평가를 통해 각 제품군에 요구되는 적정 물성을 설정하고자 평가.
- 시제품 평가 항목은 아래와 같으며(표 1), 유당 봉지면의 경우 별도의 질소 치환 포장에 필요하지 않으므로 산소함량 분석은 제외함.

<표 1 시제품 물성 평가 항목>

구분	항목	라면	스낵
기초 물성 분석	인장강도, 신장률, 짜름강도, Stiffness	●	●
차단성 분석	산소투과도, 수증기투과도	●	●
안전성 분석	포장재 중금속	●	●
저장성 평가	수분	●	●
	유지(AV, POV)	●	●
	산소함량		●
	관능평가	●	●

- 포장재의 중금속 측정은 아래 기준에 따라 진행함.

※ 분석 기준 및 규격 (식품안전의약처 ‘기구 및 용기·포장의 기준 및 규격’)

#### II. 공통기준 및 규격

1. 공통제조기준 中 아.합성수지제, 가공셀룰로오스제, 종이제, 전분제 기구 및 용기·포장에 사용되는 재질은 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬의 합이 100 mg/kg 이하이어야 하며, 시험법은 IV. 2. 2-1 납 시험법 가. 잔류시험, 2-2 카드뮴 시험법 가. 잔류시험, 2-3 수은시험법, 2-4 6가크롬 시험법 가. 잔류시험에 따른다.

#### (2) 1차 시제품 평가(유당면 포장재, 표준온습도)

- 1차 시제품의 표준온습도조건(20℃/65%RH) 저장실험은 1차년도부터 8개월간 진행하여 2차년도에 저장실험을 마무리함.
- 이 실험은 표준온습도에서 실제 유통기한 이상의 기간동안 저장실험을 진행해 고온다습 조건(40℃/90%RH)에서 진행한 1차년도 선행연구 결과와 비교하여 가속 배수를 알아보고, 저장실험을 통해 설정한 포장재의 적정 물성 데이터의 신뢰도를 제고하고자 진행함.

- 유탕면 포장재 1차 시제품은 아래 표 2와 같이 제조되었음.

<표 2 유탕면 포장재 1차 시제품 외관, 재질 및 차단성>

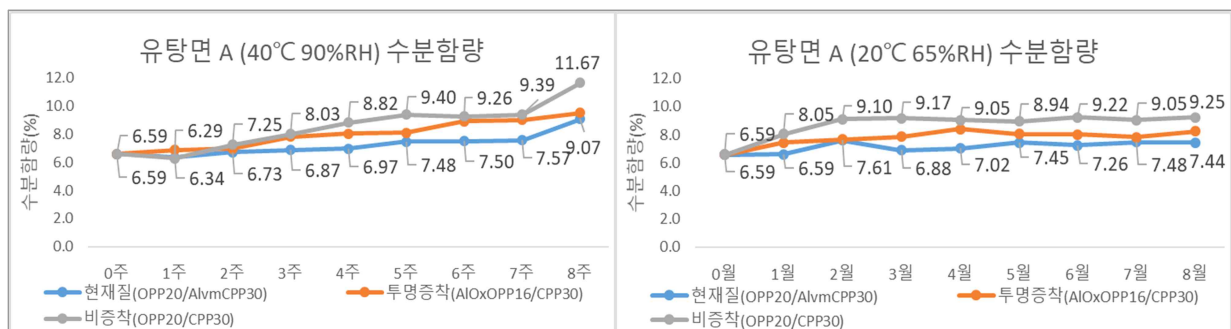
	현재질	투명증착	비증착
사진			
재질	OPP20/AlvmCPP30	AlOxOPP16/CPP30	OPP20/CPP30
OTR	9.6 cc/m <sup>2</sup> /day	1.1 cc/m <sup>2</sup> /day	977 cc/m <sup>2</sup> /day
WVTR	1.9 g/m <sup>2</sup> /day	2.3 g/m <sup>2</sup> /day	4.4 g/m <sup>2</sup> /day

(다) 저장성 평가(표준온습도조건)

① 면의 수분함량 분석

- 면의 수분함량 분석은 표준온습도조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하고 그 변화 추이를 고온다습조건과 비교하였음(그림 1).
- 가속 실험의 결과와 비교할 때, 표준온습도 6~8개월 저장 간 수분함량의 변화는 고온다습조건 5~7주 저장 이후의 데이터와 합치되는 모습을 보였음.
- 표준온습도조건에서의 수분함량 변화는 초기 2개월간 크게 증가하고 이후에는 유지되는 경향성을 보임.
- 수분함량 변화는 비증착 재질의 경우 최대 2.6%P, 현재질의 경우 최대 0.9%P로 나타났으며 수분차단성의 차이에 의한 결과로 판단함.
- 비증착 재질의 경우 2개월~8개월 저장간 수분함량이 8.87~9.25%를 기록하여 농심 내부 기준인 3%P에는 미치지 못하는 것으로 관찰됨.

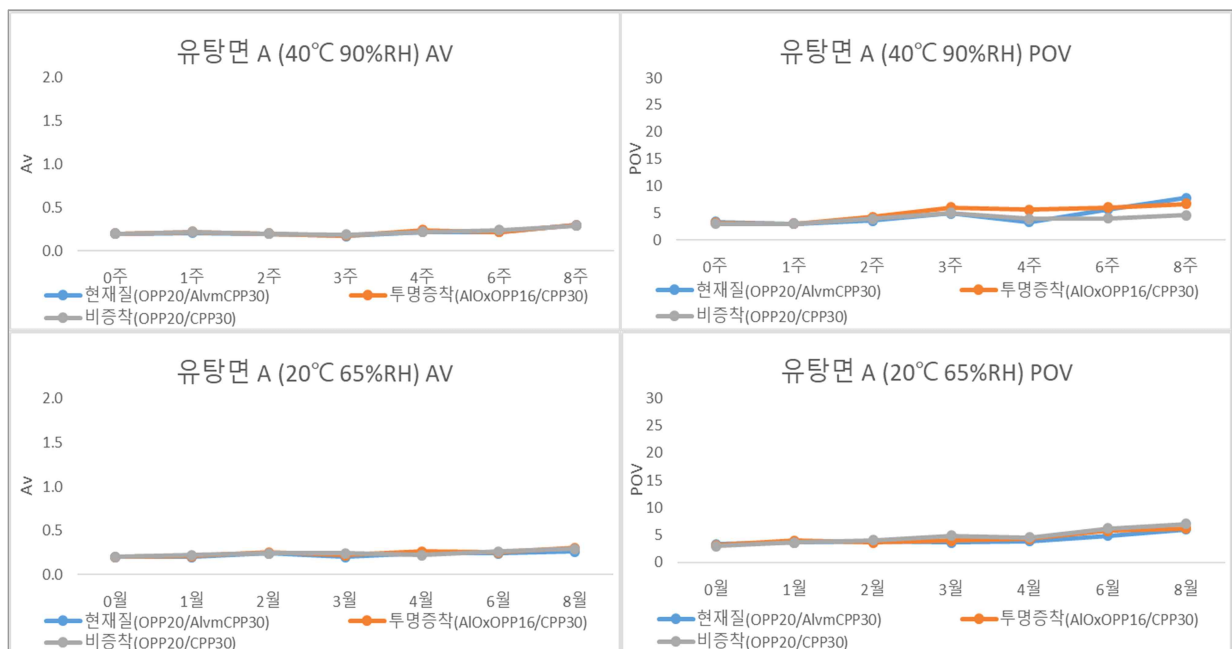
<그림 1 유탕면 A의 수분함량 변화>



② Acid Value(AV), Peroxide Value(POV) 분석

- 유탕면의 경우 상대적으로 산패에 덜 민감하기 때문에 별도의 질소치환포장을 실시하지 않지만, 지속적으로 산소가 공급될 경우, 고온에서 산패가 급속히 진행될 가능성이 있음.
- 따라서 품질 평가 항목으로 AV, POV를 선정하였고 결과는 아래에 표현함(그림 2).
- 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 AV값은 2.0이하, POV값은 30이하로 설정함.
- 고온다습조건에서 8주 간 저장실험을 진행한 결과 AV와 POV값은 포장재에 상관없이 기준 이하로 나타났고, 3종의 포장재 모두 산소차단성은 제품 적용에 문제가 없을 것으로 판단됨.

<그림 2 유탕면 A의 AV, POV 분석 결과>



③ 관능평가

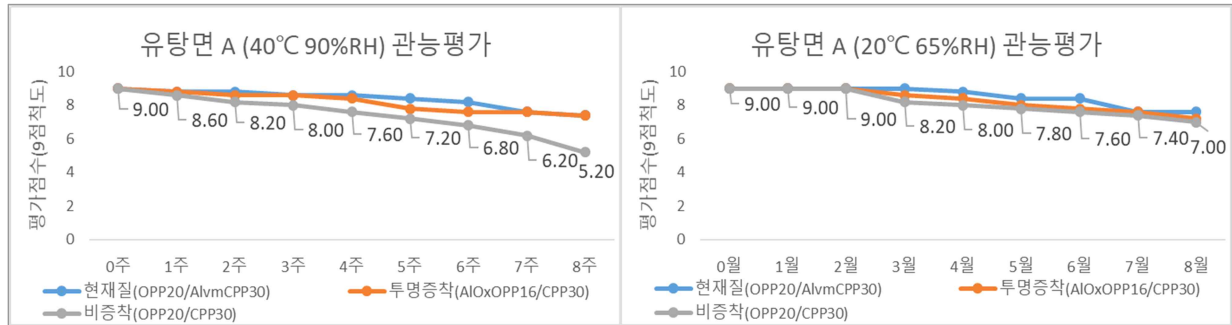
- 관능평가 항목은 '면의 냄새', '흡습정도', '상품성'으로 설정하였고, 농심 포장개발팀 연구원 5명이 패널로 참석함. 9점 척도법으로 실시하였으며 그 기준은 아래 표 3과 같음.

<표 3 관능평가 9점 척도법 기준>

점수	내용	비고
9점	냄새, 식감이 매우 양호	판매 가능 & 상품성 매우 양호
7점	냄새, 식감이 양호	판매 가능 & 상품성 양호
5점	냄새, 식감이 보통	판매 가능 기준 수준
3점	냄새 혹은 식감이 불량	판매 불가
1점	냄새와 식감이 불량	판매 불가

- 관능평가 시행 결과, 표준온습도에 6~8개월간 저장한 시제품의 관능적 품질이 고온다습 조건에서 5~6주간 저장한 시제품과 유사한 것으로 나타남(그림 3).
- 선행연구와 마찬가지로 ‘현재질’과 ‘투명증착’재질은 관능적으로 큰 차이가 없었으며, 1차 시제품에 사용된 3종 재질의 차단성 수준은 수용 가능하다고 판단됨.
- ‘비증착’재질의 경우에도 선행연구의 5~6주의 관능 수준으로 나타나 상품성에 큰 저하가 있지 않다고 판단됨.

<그림 3 유당면 A의 관능평가 결과>



(나) 1차 시제품 평가(유당면 포장재) 결과

- 표준온습도에서 8개월간 저장실험을 진행하고 품질을 평가한 결과, 가속실험 시 결과와 유사한 경향성을 보였음.
- 특히 고온다습조건 5~7주 결과가 표준온습도 6~8개월 결과와 합치되는 결과가 나타남.
- 1차년도에 진행한 선행연구 결과 유당면 포장재의 WVTR 한계선을 2.25 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하 수준으로 설정한 바 있으며, 2.25 ~ 4.4 g/m<sup>2</sup>/24hr 수준까지는 추가 개선 검토가 필요함.

(3) 1차 시제품 평가(유당스낵 포장재, 표준온습도)

- 본 과제에서는 유니소재화 목표를 달성하기 위해 AlvmPET를 투명증착(AIOxOPP), 산화증착과 PE, 알루미늄증착 CPP(AlvmCPP)로 대체하는 저장실험을 진행하였고, 시료 정보는 아래와 같음(표 4).
- 유당면과 마찬가지로 유당스낵에 대해 표준온습도 저장실험을 진행하여 선행연구 결과와 비교 분석을 진행함.

<표 4 유당스낵 B 포장재 1차 시제품>

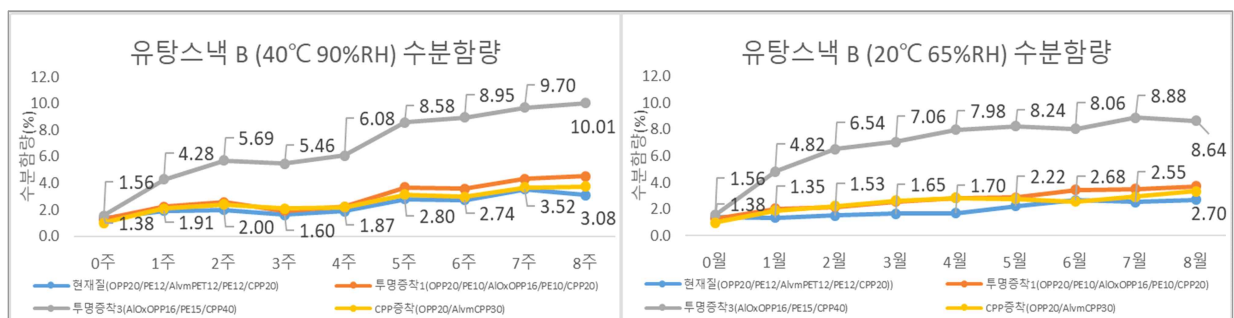
	현재질	투명증착 1	투명증착 3	CPP증착
외관				
재질	OPP20/PE12/ AlvmPET12/ PE12/CPP20	OPP20/PE10/ AlOxOPP16/ PE10/CPP20	AlOxOPP16/ PE15/CPP40	OPP20/ AlvmCPP30
OTR	0.79 cc/m <sup>2</sup> /day	0.08 cc/m <sup>2</sup> /day	0.61 cc/m <sup>2</sup> /day	2.05 cc/m <sup>2</sup> /day
WVTR	0.24 g/m <sup>2</sup> /day	0.71 g/m <sup>2</sup> /day	3.56 g/m <sup>2</sup> /day	0.95 g/m <sup>2</sup> /day

(가) 저장성 평가

① 스낵의 수분함량 분석

- 스낵의 수분함량 분석은 고온다습조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음(그림 4).
- 유당스낵의 표준온습도 저장 결과 6~8개월간 저장 시 수분함량이 고온다습조건 5~6주와 유사한 것으로 관찰되었고, 이는 유당면 시제품의 저장실험 결과와 매우 유사한 결과임.
- ‘투명증착 3’재질을 제외한 나머지 시험군은 8개월에 걸쳐 최대 2.4%P(CPP증착의 경우)의 수분함량 증가를 보여 내부 기준(3%P 이내 증가)에 적합한 결과를 보임.
- 결과적으로 약 7.1%P 수준의 수분함량 증가를 보인 ‘투명증착 3’의 수분차단성은 적용 불가 수준으로 판단하였고, WVTR이 0.95 g/m<sup>2</sup>/day이하인 경우에는 제품에 적용 가능한 수준이라고 판단함. 이는 고온다습조건 5~6주의 선행연구 결과와 합치되는 결과임.

<그림 4 유당스낵 B 1차 시제품의 수분함량 변화>



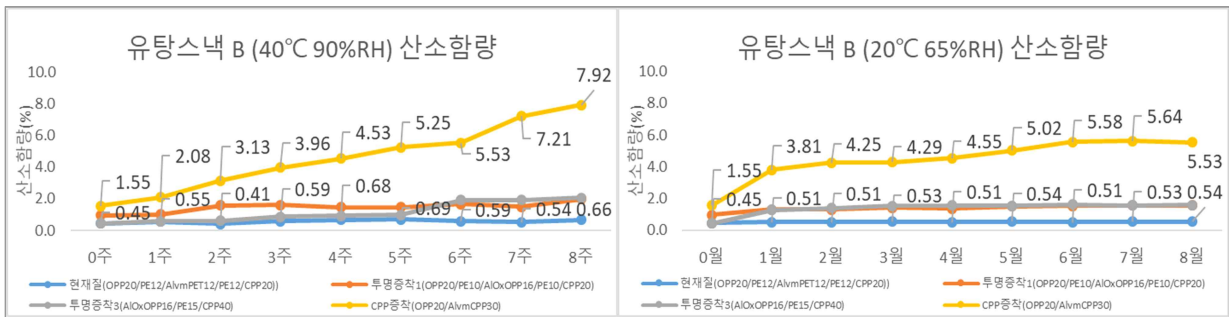
② 스낵포장재 내부 산소함량 분석

- 유당스낵은 별도의 조리 과정이 없어 산소나 수분에 의한 제품의 변화를 소비자가 더 민감하게 느낄 수 있음.
- 위 표 4의 포장재를 활용해 유당스낵 B 시제품을 제조하여 저장기간 중 포장재내 산소

함량 변화를 관찰함(그림 5).

- 이전의 검증 결과들과 마찬가지로, 표준온습도 6~8개월간 저장시 산소 함량의 변화는 고온다습조건에서의 5~7주와 유사한 결과로 나타남.
- 수분함량변화(그림 4)와는 달리, 산소함량은 'CPP증착'재질이 가장 크게 증가하는 모습을 보였으며, 표 4와같이 'CPP증착'재질의 OTR이 2.05 cc/m<sup>2</sup>/day로 상대적으로 떨어지는 점에서 이유를 찾을 수 있음.
- 0~1개월 기간동안 2.3%P만큼 가장 크게 증가했으며 저장 기간에 따라 최대 4.1%P 증가해 내부 기준을 초과함.
- 'CPP증착'재질 외 시험군들은 저장동안 산소함량에 큰 변화가 없는 것으로 관찰되었으며, 따라서 OTR이 0.79 cc/m<sup>2</sup>/day이하일 경우 제품에 적용 가능하다고 판단함. 마찬가지로 고온다습조건에서의 선행연구 결과와 합치되는 결과임.

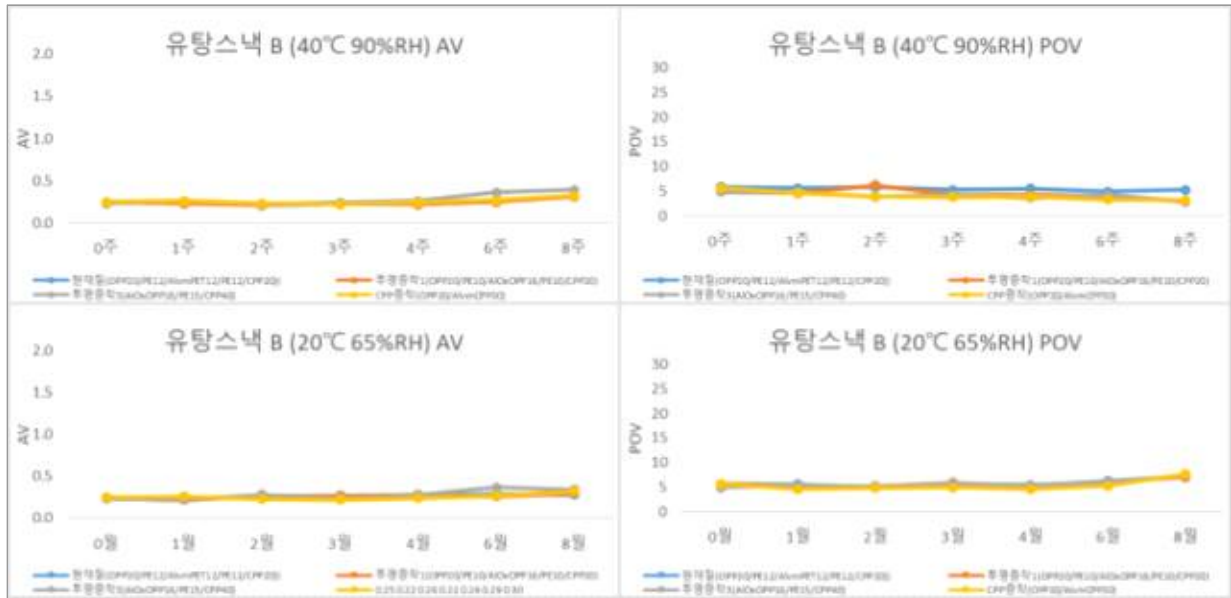
<그림 5 유탕스넥 B 1차 시제품의 산소함량 변화>



### ③ Acid Value(AV), Peroxide Value(POV) 분석

- 유탕스넥 산패에 대한 품질 평가 항목으로 AV, POV를 측정하였음(그림 6).
- 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 AV값은 2.0이하, POV값은 40이하로 설정함.
- 표준온습도조건에서 8주 간 저장실험 결과 AV와 POV값은 모두 기준 이하로 나타남.

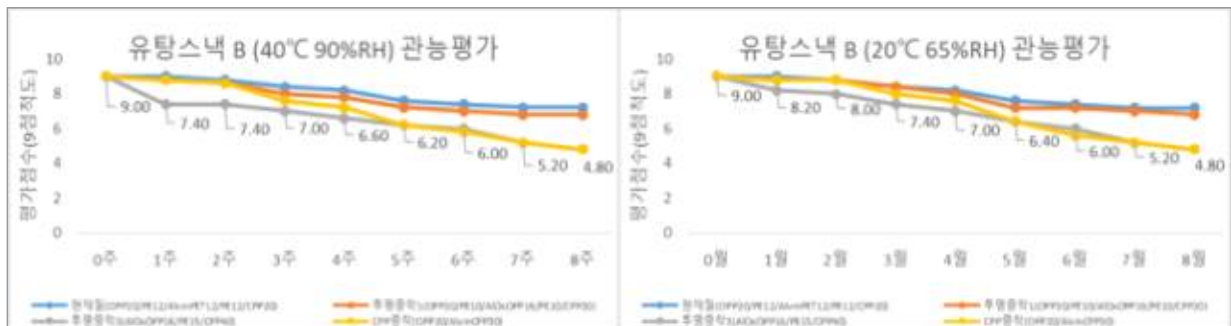
<그림 6 유탄스낵 B 1차 시제품의 AV, POV 분석 결과>



④ 관능평가

- 관능평가 항목은 ‘스낵의 냄새’, ‘흡습정도’, ‘상품성’으로 설정하였고, 농심 포장개발팀 연구원 5명의 패널이 9점 척도법으로 실시하였음. 그 기준은 유탄면 관능평가와 동일함(표 3).
- 관능평가 결과는 아래 그림 7과 같았음. 전체적인 경향성은 고온다습 조건의 선행연구와 동일하였음.
- ‘투명증착 3’과 ‘CPP증착’재질의 관능점수 저하 원인은 각각 수분차단성과 산소차단성이 떨어지는 물성을 보였기 때문으로 판단되며, 그것이 제품의 이취 및 식감 저하로 귀결됨.
- 다만 AV와 POV의 뚜렷한 증가가 관찰되지 않았기 때문에(그림 6), 이취의 유입/발생 경로에 대해서는 추가로 확인할 필요가 있음(미생물의 증식, 저장 환경에 의한 유입 등).
- 선행연구와 마찬가지로 ‘투명증착 3’과 ‘CPP증착’재질은 추가 개선이 필요할 것으로 사료됨.

<그림 7 유탄스낵 B 1차 시제품의 관능평가 결과>



(나) 1차 시제품 평가(스낵 포장재) 결과

- 유탄스낵 시제품의 표준온습도조건 저장실험 결과 6~8개월 저장 시 수분 및 산소 함량






의 변화가 고온다습조건 가속실험 시 5~7주 결과에 합치하는 것을 확인하였음.

- 이는 유탕면 저장실험과 마찬가지로 이후의 가속실험에 참고할 수 있음.
- 유탕스낵 포장재의 차단성은 OTR이 0.79 cc/m<sup>2</sup>/day 이하, WVTR이 0.95 g/m<sup>2</sup>/day 이하 일 때 제품에 적용 가능할 것으로 판단함.
- OTR 0.79~2.05 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR이 0.95~3.56 g/m<sup>2</sup>/day 범위의 물성에 대해서는 추가로 판단이 필요함.
- 유탕스낵의 경우 현재질과 대조군의 관능적 차이가 유탕면에 비해 매우 컸으며 저장실험이 진행될수록 판매 불가능 수준으로 제품 상태가 악화됨.
- 이 점을 고려해 점진적인 포장재 및 소재의 개선과 적용이 필요할 것임.

#### (4) 2차 시제품 평가(유탕스낵 포장재)

- 2차 시제품 평가는 1차에 이어 OTR 0.79~12.05 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR이 0.95~3.56 g/m<sup>2</sup>/day 사이의 포장재를 제조하여 품질을 평가하였음(표 5).
- 2차 시제품 평가는 1차년도 진행 중 제조하여 고온다습조건에서 8주간의 저장실험을 진행하였으나 2차년도 시작 이후에 실험이 종료되어 2차년도 보고서에 언급함.

<표 5 유탕스낵 2차 시제품>

	현재질	Sample1	Sample2	Sample3	Sample4
외형					
재질	OPP20/PE12/ AlvmPET12/ PE12/ CPP20	OPP20/ AlOxOPP16/ CPP20	AlOxOPP20/ CPP40	AlvmOPP18/ CPP40(A)	AlvmOPP18/ CPP40(B)
OTR	0.79 cc/m <sup>2</sup> /day	0.03 cc/m <sup>2</sup> /day	0.5 cc/m <sup>2</sup> /day	3.42 cc/m <sup>2</sup> /day	8.75 cc/m <sup>2</sup> /day
WVTR	0.24 g/m <sup>2</sup> /day	1.49 g/m <sup>2</sup> /day	0.91 g/m <sup>2</sup> /day	0.18 g/m <sup>2</sup> /day	0.44 g/m <sup>2</sup> /day

#### (가) 유탕스낵 B 저장성 평가

- 유탕스낵용 포장재 5종에 대해 1차 테스트와 마찬가지로 유탕스낵 B 시제품을 제조함.
- 5종의 샘플에 대해서, 고온다습조건(40℃/90%RH) 조건으로 저장실험을 진행해 수분 및 산소함량을 측정하고 1주일 간격으로 관능평가를 진행함.
- AV와 POV는 선행연구 결과 고온다습조건 8주간 저장 시 가시적 변화를 보이지 않는 것으로 확인하여 분석에서 제외함.

#### ① 유탕스낵 B 시제품 수분함량 분석

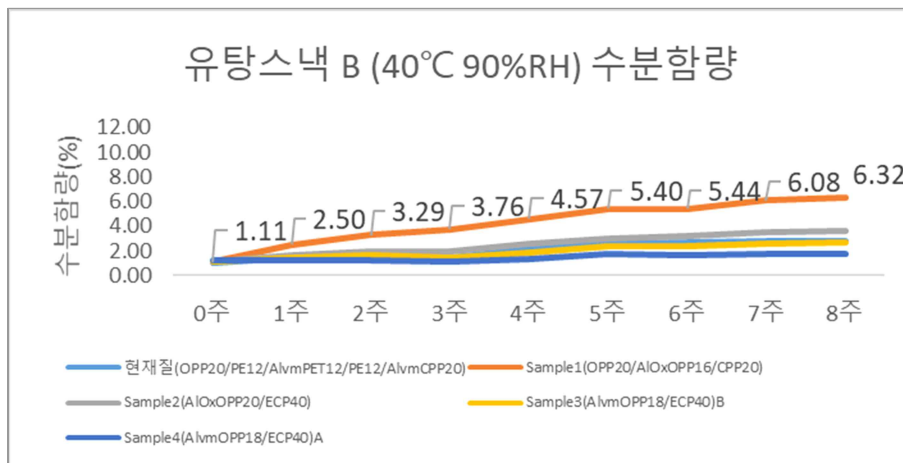
- 유탕스낵의 수분함량 분석은 고온다습조건(40℃/90%RH)에서 저장실험 간 포장재를 투



과해 제품에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음(그림 8).

- 'Sample1'재질은 2차 시제품 테스트의 시험군 중 WVTR이 가장 떨어지는 재질(표 5)이며, 때문에 수분함량 증가 폭도 가장 크게 나타났다. 6주간 4.3%P, 8주간 5.2%P의 수분함량 증가를 보였으며, 적용 불가능한 수준의 수분차단능으로 판단함.
- 'Sample1'을 제외한 나머지 시험군은 8주간 저장 후 초기함량 대비 최대 2.4%P 증가한 결과를 보였으며, 내부 기준은 3%P 이내로 나타나는 양호한 물성을 보임.

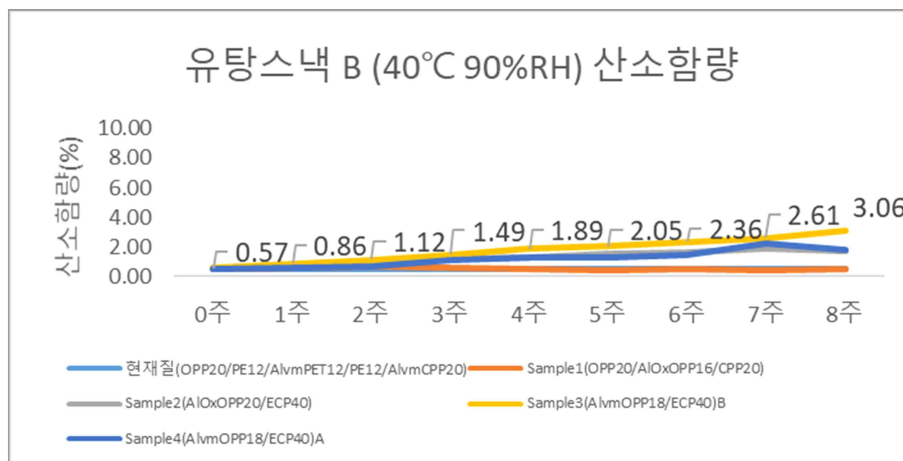
<그림 8 유탄스낵 B 2차 시제품의 포장재 내 수분함량 변화>



② 유탄스낵 B 포장재 내부 산소함량

- 고온다습조건에서의 8주간 저장실험에 따라 포장재내 산소 함량을 측정하였음(그림 9).
- 산소함량 변화의 경우 'Sample3'재질에서 가장 두드러지게 관찰되었으나, 아래 결과에서 알 수 있듯이 6주 저장 시 1.8%P, 8주 저장 시 2.5%P의 증가폭을 보여 내부 기준(3%P 이내 변화)에 부합함.

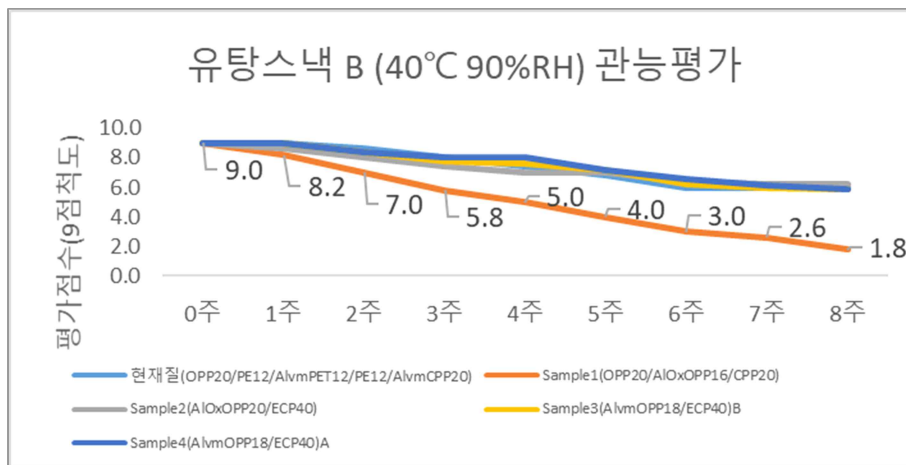
<그림 9 유탄스낵 B 2차 시제품의 산소함량 변화>



③ 유탄스낵 B 관능평가

- 선행연구와 마찬가지로 관능평가는 표 3의 기준을 따라 진행함. 농심 포장개발팀 연구원 5명이 패널로 참석하여 제품의 관능적 품질에 대해 9점 척도법으로 평가를 실시함(그림 10).
- 관능평가 결과, 'Sample1'은 저장실험 초기부터 점수가 떨어지기 시작해 4주 이후부터는 판매가 불가능한 수준까지 상품성이 떨어지는 것으로 나타남.
- 타 재질에 비해 떨어지는 수분차단성(표 5)이 문제인 것으로 판단되며, 실제로 관능평가 시 눅눅한 식감이 크게 두드러짐.
- 'Sample1'을 제외한 나머지 시험군 및 대조군은 관능평가 결과 6주간 저장 시 6.0 ~ 6.6, 8주간 저장 시 5.9 ~ 6.2점으로 큰 차이는 없는 것으로 나타남.

<그림 10 유탄스낵 B 2차 시제품의 관능평가 결과>



(나) 2차 시제품 평가(스낵 포장재) 결과

- 1차년도 표준온습도조건 저장실험과 고온다습조건 저장실험 결과를 참고하면, 고온다습 조건에서의 가속실험 5~7주의 데이터가 실제 제품의 유통기한과 비슷한 정도의 물성 변화를 표현한다고 나타남.
- 따라서 2차 평가 결과의 6주차 데이터를 기준으로 판단할 때, 'Sample1'재질을 제외하면 포장재 물성이 양호한 것으로 판단됨.
- 'Sample1'재질의 경우 낮은 수분차단성에 기인하여 제품의 흡습 및 상품성 저하가 우려됨.
- WVTR 1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr 이상의 차단성으로는 스낵제품의 보존성을 확보할 수 없을 것으로 판단되며, 0.95 ~ 1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr수준의 물성에 대한 평가는 이루어지지 않았음.

(5) 3차 시제품 평가(유탄면 포장재)

- 앞선 1차, 2차 시제품 평가를 통해 PP기반의 차단성 필름인 산화(알루미늄)증착OPP와 알루미늄증착OPP를 활용한 포장재의 품질을 확인하고 시제품을 제조해 저장성 실험을 진

행함.

- 현재 알루미늄증착이 적용된 일부 포장재가 물질재활용 및 에너지회수에 활용되고는 있지만, 재활용 수율 등에 미치는 영향이 명확하게 밝혀진 바가 없음.
- 따라서 재활용성이 향상된 포장재를 제품에 적용하기 위해서는 알루미늄을 완전히 제거할 수 있는 차단성 포장재도 검토할 필요성이 있음.
- 유탕면에 대한 3차 시제품 평가는 알루미늄 성분이 전혀 포함되지 않은 차단성 Wet Barrier Coating OPP 필름(이하 '(S)OPP-A'재질)을 활용한 포장재를 활용하여 진행함. 제조한 샘플 내용은 아래 표 6에 표현함.
- 1차, 2차 테스트를 통해 포장재의 생산라인 적합성은 확인하였으므로, 기초 물성 평가결과 특이사항이 없고 저장성평가용 샘플링 시 특이사항이 없는 경우에는 생산라인 적합성 평가는 생략함.

<표 6 유탕면 A의 3차 시제품 외관 및 재질>

	현재질	(S)OPP-A
사진		
재질	OPP20/AlvmCPP30	(S)OPP20/OPP30

(가) 3차 시제품 기초 물성 및 차단성 평가(유탕면 포장재)

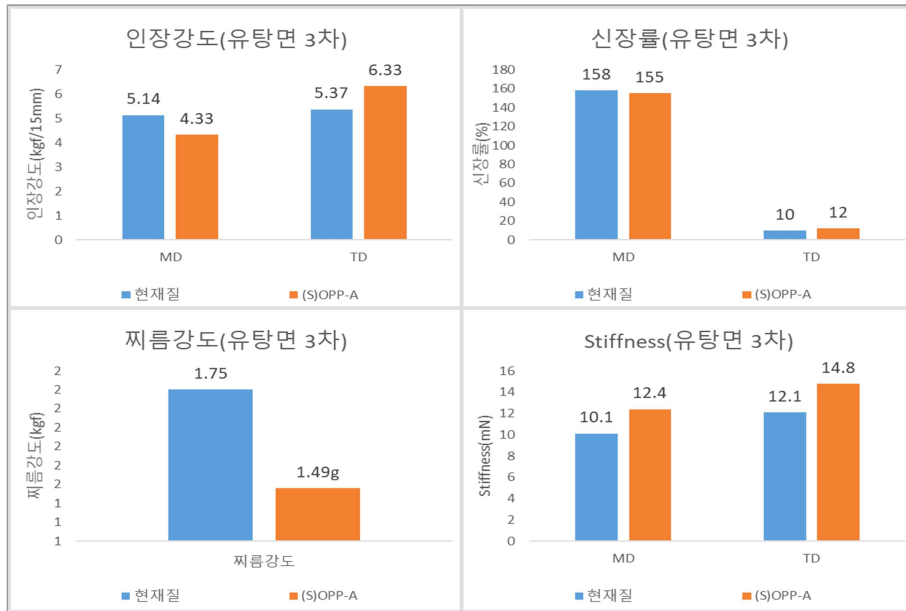
- 1차년도에 진행한 선행연구와 마찬가지로 아래 표 7의 항목들에 대해 기초 물성 및 차단성 분석을 수행함.

<표 7 유니소재 포장재 물성 측정 항목>

구분	항목	목적
기초 물성 분석	인장강도	포장재 강도 특성
	신장률	포장재 작업성 특성
	찌름강도	내 핀홀성 특성
	Stiffness	포장재 작업성 특성
차단성 분석	산소투과도	산패를 막기위한 산소차단성
	수증기투과도	흡습을 방지하기위한 수증기 차단성

- 선행연구 결과 제조한 시제품들에 대해서는 인장강도, 찌름강도 등 기초 물성과 관계되어 발생한 문제점은 없었으며, 따라서 한계 범위를 설정하지 않음. 3차 시제품의 기초 물성을 분석한 결과는 아래 그림 11과 같음.

<그림 11 유탕면 A 포장재 3차 시제품 기초 물성 평가>



- 차단성과 관련해 1차년도에 진행한 선행연구 결과를 확인해보자면, 1차 시제품 평가 시 제조했던 ‘비증착’재질(OTR : 997 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR : 4.37 g/m<sup>2</sup>/day)의 경우 고온다습 저장조건에서 8주 이내에 면의 수분함량이 기준을 초과하였고 ‘투명증착’재질(OTR : 1.13 cc/m<sup>2</sup>/day, WVTR : 2.25 g/m<sup>2</sup>/day)의 경우 저장성이 양호하였음.
- 3차 테스트에 사용된 ‘(S)OPP-A’재질을 활용한 포장재의 차단성은 OTR : 0.5 cc/m<sup>2</sup>/day이하, WVTR : 3.68 g/m<sup>2</sup>/day로 산소차단성은 탁월하나 수분차단성이 ‘투명증착’재질에 비해 떨어지는 경향성을 보임(그림 12).

<그림 12 유탕면 A 포장재 3차 시제품 차단성 평가>



(나) 3차 시제품 안전성 시험(유탕면 포장재)

- 농심 식품안전연구소에 중금속(납, 카드뮴, 수은, 6가크롬)관련 안전성 분석을 의뢰함.

- 모든 재질에서 4종의 중금속에 대해 불검출 결과를 수령하여 법적 기준에 적합하다고 판단함.

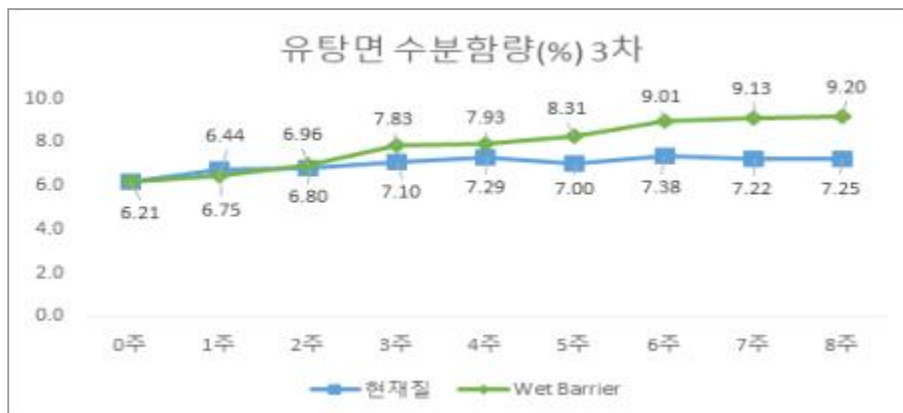
(다) 3차 시제품 저장성 평가(유탕면 포장재)

- 선행연구와 마찬가지로 고온다습조건에서 8주간 저장실험을 진행함.  
 - 매 주 면의 수분함량, 산가(AV), 과산화물가(POV)를 측정하고 관능평가를 진행함.

① 유탕면 A의 수분함량 분석

- 면의 수분함량 분석은 고온다습조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 면에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음  
 - ‘현재질’과 ‘(S)OPP-A’재질을 사용한 재질의 경우 8주가 경과할 때까지 수분함량기준(초기 수분함량 +3%P이내, 9.21%)이하로 수분함량이 나타남. 따라서 수분차단성 측정 결과와 비교해 WVTR 3.68 g/m<sup>2</sup>/day의 값은 수용 가능한 것으로 판단함.

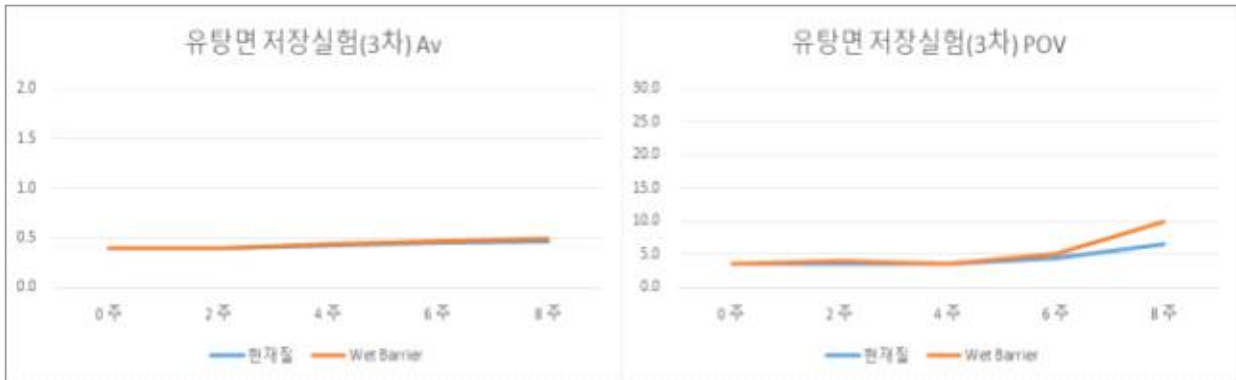
<그림 13 유탕면 A 3차 시제품의 수분함량 변화>



② 유탕면 A의 Acid Value(AV), Peroxide Value(POV) 분석

- 유탕면은 별도의 질소치환포장을 미 실시하여 지속적으로 산소가 공급될 경우, 고온에서 산패가 급속히 진행될 가능성이 있음.  
 - 따라서 품질 평가 항목으로 AV, POV를 선정하였고 결과는 아래에 명시함(그림 10).  
 - 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 AV값은 2.0이하, POV값은 30이하로 설정함.  
 - 고온다습조건에서 8주 간 저장실험을 진행한 결과 AV와 POV값은 포장재에 상관없이 기준 이하로 나타났으나, ‘(S)OPP-A’재질의 경우 4 ~ 8주차에 POV값이 상승하는 현상이 발생함.  
 저장 간 수분활성도 증가에 따라 자동산화를 촉진했기 때문으로 판단되며, 수분활성도가 높아질수록 남아있는 금속촉매들이 이동해 확산하는 것을 돕는 역할을 하는 것으로 알려져 있음.

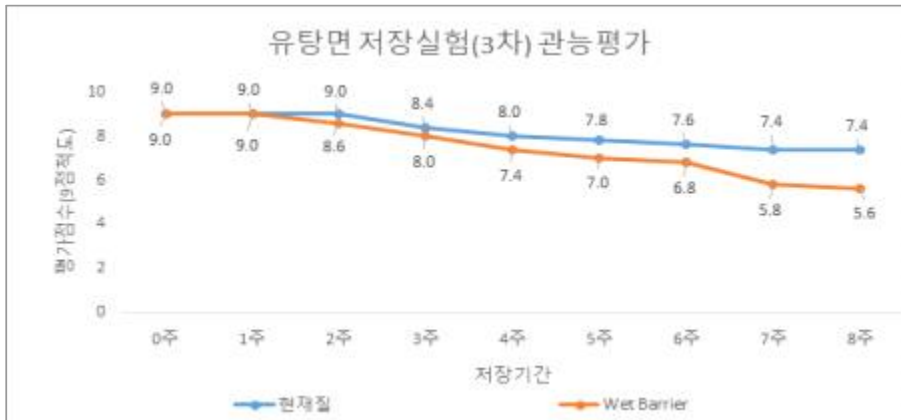
<그림 14 유탕면 A 3차 시제품의 AV, POV 분석 결과>



③ 유탕면 A의 관능평가

- 관능평가는 농심 포장개발팀 연구원 5명이 패널로 참석해 9점 척도법으로 실시함. 평가 기준은 표 3과 같으며, 결과는 아래 그림 15에 표현함.
- ‘현재질’과 ‘(S)OPP-A’재질 두 종 모두 6주 경과 시 6.8점 이상, 8주 경과 시 5.6점 이상으로 상품성에는 문제가 없는 것으로 나타남.
- 위 그림 12에서 알 수 있듯이 ‘(S)OPP-A’재질의 산소차단성이 크게 차이가 나지 않는 것에서 근거를 찾을 수 있으며, 이 두 재질의 차단성 수준은 수용 가능하다고 판단함.

<그림 15 유탕면 A 3차 시제품의 관능평가 결과>



(라) 3차 시제품 평가(유탕면 포장재) 결과

- 유탕 봉지면 포장재에 대한 1차 및 3차 시제품 평가 결과는 OTR : 9.66 cc/m<sup>2</sup>/24hr 이하, WVTR : 3.68 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하에서 저장성이 양호하며, 따라서 Wet Barrier Coating OPP를 사용하여 제품화 가능함.
- 다만, 관능평가 결과 현재 포장재에 비해 냄새 및 면의 눅눅함 등에서 품질저하가 일정 부분 발생함에 따라 이에 대한 보완이 필요함.






(6) 3차 시제품 평가(스넵포장재)

- 1차, 2차 시제품 평가를 통해, PP기반의 차단성 필름인 산화(알루미늄)증착OPP와 알루

미늄증착 OPP 및 이를 활용한 포장재의 품질을 확인함.

- 그러나, 두 종류 모두 알루미늄을 활용한 차단성 포장재로 알루미늄 비포함 재질의 평가가 필요함.
- 따라서, 유당면 포장재와 마찬가지로, 3차는 시제품 포장재는 알루미늄 성분이 전혀 포함되지 않은 차단성 필름인 Wet Barrier Coating 필름(현재 Wet Barrier 기준 세계 최고 수준의 차단성의 제품)을 활용해 제조하였고, 유당스낵 B를 이용해 평가를 진행함.
- Wet Barrier Coating은 본 과제의 참여기관의 연구로 진행되는 차단성 코팅 및 첨가제를 추가했을 때 활용성이 높을 것으로 예상되며, 일정 수준 이상의 차단성이 확보된다면 기술 개발 성과 및 제품 적용이 가능할 것으로 사료됨.
- '3. 재질별 재활용성 평가'에서 언급하겠지만, 1차년에 조사한 유럽 스낵 포장재의 경우 알루미늄증착 OPP를 사용했음에도 불구하고 분리배출 기준은 단일 'PP'와 같음.
- 위 선례에 비추어보면 0.03 $\mu$ m 수준의 알루미늄 증착의 경우 재활용 시 이종재질로 판단되지 않을 가능성이 있음. 따라서 알루미늄증착 OPP를 활용하여 테스트를 진행함.
- 최종 선정된 3차 시제품 정보는 아래 표 8과 같음.

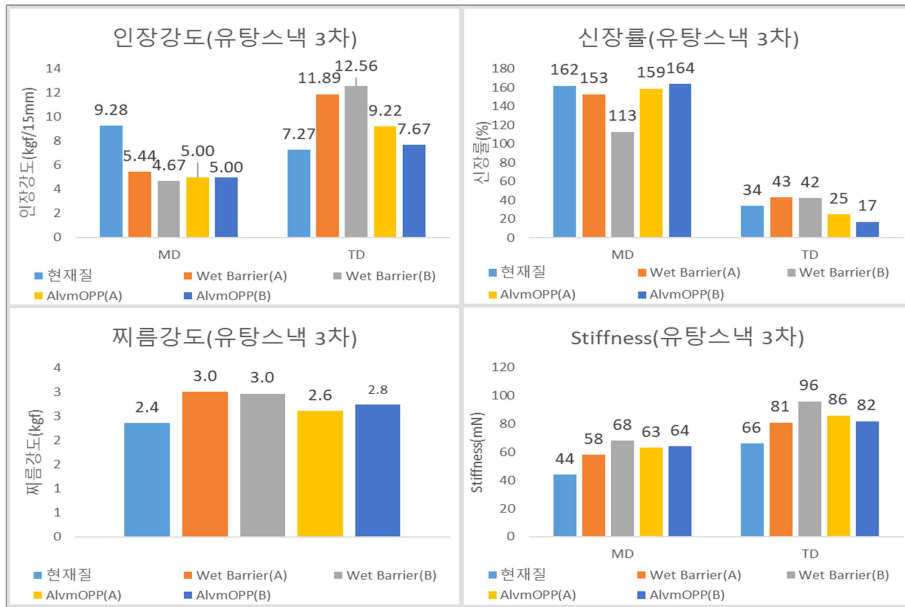
<표 8 유당스낵 B 3차 시제품 외관 및 재질>

	현재질	Wet Barrier (A)	Wet Barrier (B)	AlvmOPP (A)	AlvmOPP (B)
외형					
재질	OPP20/PE12/ AlvmPET12/ PE12/ CPP20	OPP/AlvmOPP(A)/PE/ CPP	OPP/AlvmOPP(B)/PE/ CPP	OPP/Wet BarrierOPP(A)/PE/ CPP	OPP/Wet BarrierOPP(B)/PE/ CPP

(가) 3차 시제품 기초 물성 및 차단성 평가(스낵 포장재)

- 3차 테스트에 사용된 포장재의 기초 물성을 측정된 결과는 아래 그림 16과 같음.
- '현재질'에 비한 시험군들의 물성은 인장강도의 경우 최소 50% 수준, stiffness는 최대 150% 수준으로 유의미한 차이를 보였으나, 선행연구로 진행한 1차 ~ 2차 시제품의 물성과 비교했을 때 당시 시험군과 유사한 수준임.
- 따라서 기초 물성으로 인한 공정상 문제는 없을 것으로 예상함.

<그림 16 유당스낵 B 포장재 3차 시제품 기초 물성 평가>



- 포장재의 차단성을 확인하기 위해 OTR과 WVTR을 측정함(표 9).
- 2차레에 걸친 선행연구-1차(알루미늄 투명증착 OPP), 2차(알루미늄 투명증착 OPP & 알루미늄 증착 OPP)-를 통해 OTR 8.4 cc/m<sup>2</sup>/24hr 이하, WVTR : 0.9 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하의 차단성을 가지는 포장재의 필요성을 확인함.
- Wet Barrier(A)와 (B) 2종의 포장재는 선행 연구의 결과(1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr 이상 적용 불가) 기준으로는 품질 기준에 부적합하지만, 향후 참여기관의 소재를 적용할 수 있는 여지가 있음.
- AlvmOPP(A)와 (B) 2종 포장재는 산소 및 수분차단성이 모두 품질 기준에 부합됨.

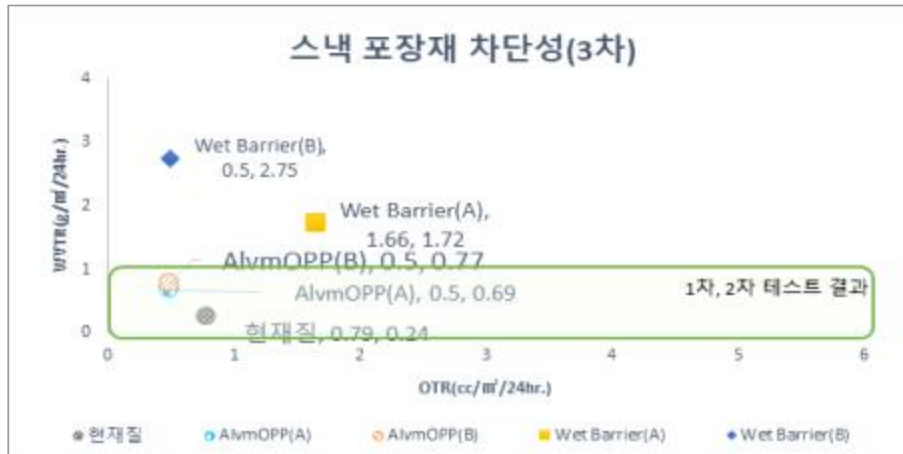
<표 9 유당스낵 포장재 3차 시제품>

	현재질	Wet Barrier (A)	Wet Barrier (B)	AlvmOPP (A)	AlvmOPP (B)
OTR	0.79 cc/m <sup>2</sup> /day	1.66 cc/m <sup>2</sup> /day	0.50 cc/m <sup>2</sup> /day	0.50 cc/m <sup>2</sup> /day	0.50 cc/m <sup>2</sup> /day
WVTR	0.24 g/m <sup>2</sup> /day	1.72 g/m <sup>2</sup> /day	2.75 g/m <sup>2</sup> /day	0.69 g/m <sup>2</sup> /day	0.77 g/m <sup>2</sup> /day

- 위 내용과 3차 시제품 제조에 활용된 포장재의 수분차단성과 산소차단성을 평면상에 나타내면 아래 그림 17로 표현할 수 있음.
- ‘AlvmOPP(A)’와 ‘(B)’재질은 1차, 2차 테스트 결과를 바탕으로 볼 때 제품 적용이 가능한 차단성 물성 범위에 포함되어있음.



<그림 17 유당스낵 B 3차 시제품의 차단성>



(나) 3차 시제품 안전성 시험(스낵 포장재)

- 농심 식품안전연구소에 중금속(납, 카드뮴, 수은, 6가크롬)관련 안전성 분석을 의뢰하였음.
- 모든 재질에서 4종의 중금속에 대해 불검출 결과를 수령하여 법적 기준에 적합하다고 판단함.

(다) 3차 시제품 생산라인 적합성 평가(스낵 포장재)

- 1차 및 2차 생산 테스트를 통해, 현재의 스낵 생산 설비로는 3겹지 모두 Dry Lamination된 포장재의 경우 T-Seal부 Leak를 완벽히 제어할 수 없음을 확인하였음.
- 이 현상은 필름의 유연성이 저하되고 stiffness와 경도가 상승함으로 인해 발생하는 것으로 사료되며, 그림 16의 기초 물성 측정 결과와 합치됨.
- 따라서 모든 포장재는 앞쪽은 Dry Lamination으로 합지하고, 뒤쪽은 Extrusion Coating으로 제조하였으며, 이에 따른 생산 테스트 후 핀홀검사 결과는 다음 표 10과 같음.

<표 10 유당스낵 B 포장재 3차 시제품 생산속도, 내핀홀성 평가>

	현재질	Wet Barrier(A)	Wet Barrier(B)	AlvmOPP (A)	AlvmOPP (B)
생산속도 (pack/min)	60	60	60	60	60
핀홀검사	0pack/20pack	0pack/20pack	0pack/20pack	0pack/20pack	0pack/20pack

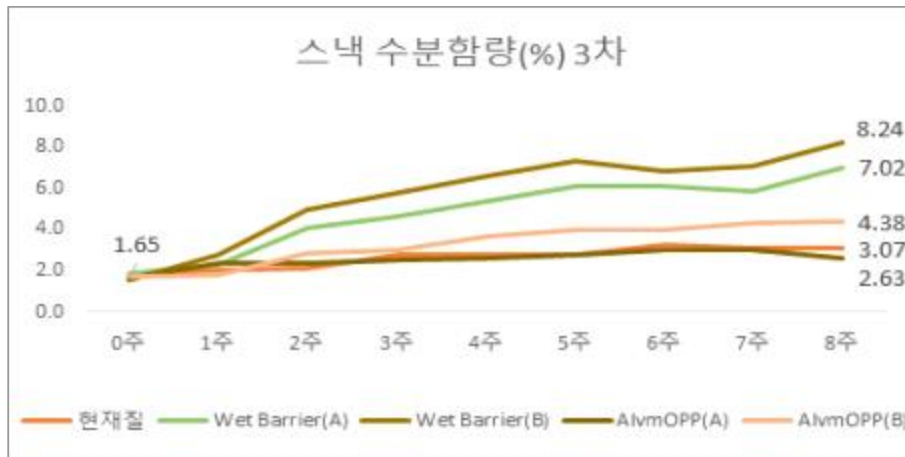
(라) 3차 시제품 저장성 평가(스낵 포장재)

- 현재품 포함 스낵용 포장재 5종에 대해 농심 스낵 B제품으로 샘플을 제작함.
- 고온다습조건에서 저장성 평가를 진행하였으며, 스낵의 수분함량, 스낵포장재 내부의 산소함량, 스낵의 AV 및 POV, 스낵의 관능평가등의 항목에 대해 분석 및 평가함.

① 스낵의 수분함량 분석

- 스낵의 수분함량 분석은 고온다습조건에서 저장실험 간 포장재를 투과해 스낵에 흡착되는 수분의 양을 측정하여 그 변화 추이를 관찰하였음.
- 'Wet Barrier(A)와 (B)'재질 2종은 저장실험간 수분함량 기준(초기 수분함량 +3%P이내)을 초과하였고, 'AlvmOPP(A)와 (B)'재질의 경우 6주간 1.4%P, 8주간 2.7%P 증가하며 수분함량 증가폭은 기준 이하로 평가됨.

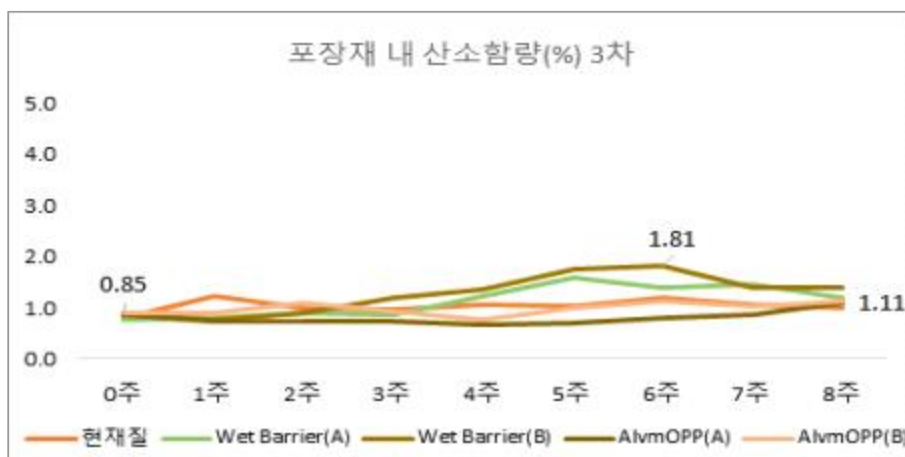
<그림 18 유탕스낵 B 3차 시제품의 수분함량 변화>



② 유탕스낵 B 포장재 내 산소함량 분석

- 유탕스낵 B 시제품을 고온다습조건에 8주간 저장하여 포장재내 산소 함량을 측정.
- Wet Barrier 및 Alvm 포장재 모두 저장기간 중 포장재 내부의 산소 함량은 가시적인 변화가 나타나지 않음(8주의 저장실험 간 최대 1%P 증가).

<그림 19 유탕스낵 B 3차 시제품 내부의 산소함량 변화>

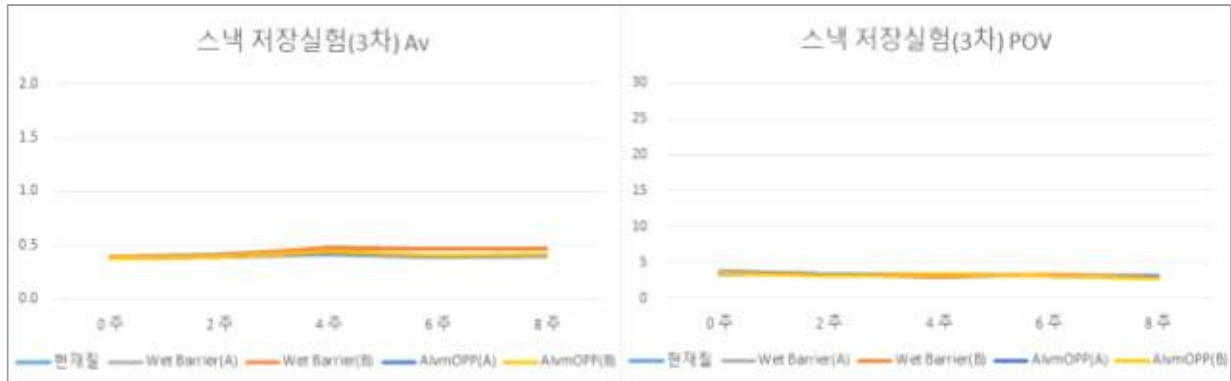


③ 스낵의 Acid Value(AV), Peroxide Value(POV) 분석

- 유탕스낵 산패에 대한 품질 평가 항목으로 AV, POV를 선정하였음

- 품질 평가의 상한선은 농심 내부 기준에 따라 AV값은 2.0이하, POV값은 40이하로 설정함.
- 고온다습조건에서 8주 간 저장실험 결과 AV와 POV값은 모두 기준 이하로 나타남.

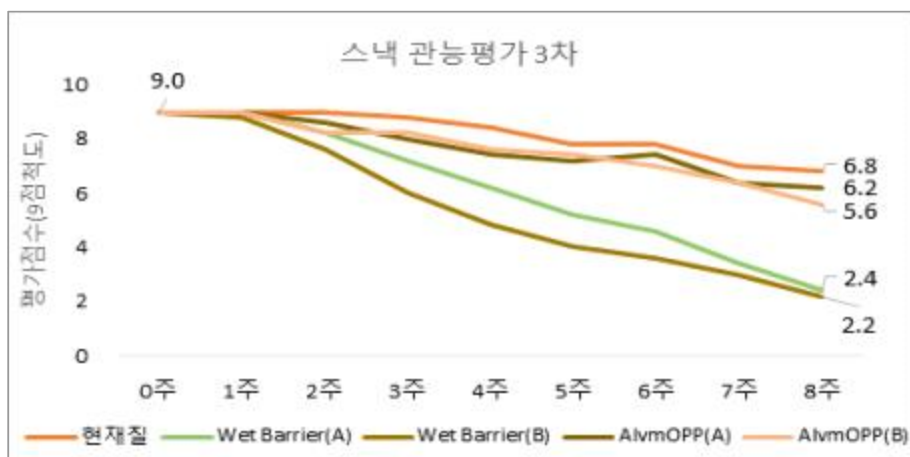
<그림 20 유탕스낵 B 3차 시제품의 AV, POV 분석 결과>



#### ④ 스낵의 관능평가

- 관능평가 항목은 ‘스낵의 냄새’, ‘흡습정도’로 설정하였고, 농심 포장개발팀 연구원 5명이 패널로 참석하여, 9점 척도법으로 관능평가를 실시함. 그 기준은 표 3과 같으며, 결과는 아래 그림 21으로 나타냄.
- ‘Wet Barrier OPP’ 사용 포장재 2종 모두 저장기간 8주의 관능평가 점수가 2.4점과 2.2점으로 5점 밑으로 크게 떨어졌음. 이는 포장재의 수분 차단성이 낮아 스낵 흡습에 의한 눅눅함 등이 원인으로 판단됨.
- 선행연구 결과를 참고하여 6주 시점의 관능평가 점수를 반영하더라도 각각 3.6, 4.6점을 기록하여 추가 개선이 없이는 ‘Wet Barrier OPP’재질은 적용이 힘들 것으로 사료됨.
- ‘Alvm OPP’사용 포장재 모두 8주 관능평가 점수가 5점 이상으로 상품 가치가 있다고 평가됨.

<그림 21 유탕스낵 B 3차 시제품의 관능평가 결과>



(마) 3차 시제품 평가 결과(스낵 포장재)

- 선행 연구 및 3차 시제품 평가를 종합한 결과, 스낵 포장재에 대한 시제품 평가 결과는 OTR : 8.4 cc/m<sup>2</sup>/24hr 이하, WVTR : 0.9 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하에서 저장성이 양호함.
- 2차 시제품 평가 시 WVTR 1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr 이상에서는 저장성이 떨어진다는 결과를 확인하였으므로 WVTR 0.9 ~ 1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr는 추가 검증이 필요함.
- 현재 수준의 'Wet Barrier OPP'를 사용하여 포장재를 적용 시 농심의 스낵 B 제품에 적용하기는 어렵다고 판단되며 추가 개선 및 신규 소재 활용이 필요하다고 사료됨.

(7) 4차 시제품 평가(유당스낵 포장재) - 진행 중

- 1~3차 시제품은 컨소시엄 외부의 PP기반의 차단성 필름을 구매하여 샘플 제작 및 평가를 진행하였음.
  - PP기반의 차단성 필름에 대한 품질 평가 및 각 제품군(유당면, 스낵 등)별 필요한 차단성 기준의 명확화, 차단성 필름 컨소시엄내에서 개발/적용함에 있어서 발생할 수 있는 문제점들에 대해서 사전에 검토하는 목적이었음.
  - 4차 시제품은 컨소시엄내 협동기관인 울촌화학에서 개발한 Wet Barrier Coating을 적용해 'Wet Barrier(YC)' OPP 필름으로 포장재를 제조하고 평가를 진행함.
- 앞선 연구 결과 Wet Barrier 자체적인 차단성이 농심 품질 기준에 부합되는 수준은 아닌 것으로 확인되었으나, 컨소시엄 내 소재 개발 및 개선과 응용으로 그 물성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대됨.
- 과제 중간보고서를 제출하는 시점(2020년 8월말 기준)에 시제품의 생산라인 적합성 평가까지 진행되었고, 저장실험을 시작하였음.
  - 외관 사진 및 재질은 아래 표 11에 표현함.

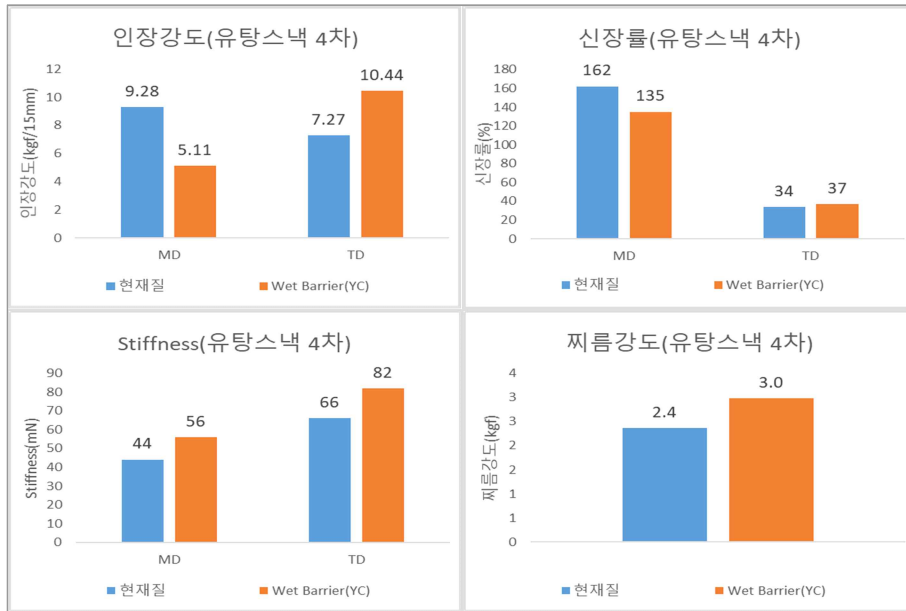
<표 11 유당스낵 B의 4차 시제품 외관 및 재질>

	현재질	Wet Barrier(YC)
외관		
재질	OPP20/PE12/AlvmPET 12/PE12/PP20	OPP20/(YC)OPP20/PE1 5/PP20

(가) 4차 시제품 기초 물성 및 차단성 평가(스낵 포장재)

- 포장재 기초 물성을 위 표 7과같이 인장강도, 신장율, 찌름강도, stiffness에 대해 측정하였고, 그 결과는 아래 그림 22과 같음.

<그림 22 유탕스낵 B 포장재 4차 시제품 기초 물성 평가>



- 또한 포장재의 차단성을 확인하기 위해 OTR과 WVTR을 측정하였음.
- 1차(알루미늄 투명증착 OPP), 2차(알루미늄 투명증착 OPP 및 알루미늄 증착 OPP) 테스트를 통해 OTR 8.4 cc/m<sup>2</sup>/24hr 이하, WVTR : 0.9 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하의 차단성을 가지는 포장재 개발이 필요하다는 것을 확인함.
- 특히 외부에서 매입한 OPP 필름이 적용된 시제품(3차 시제품)과 비교할 때, 'Wet Barrier OPP(YC)'재질의 WVTR은 2.2 g/m<sup>2</sup>/24hr로 3차 시제품(WVTR : 1.72~2.75 g/m<sup>2</sup>/24hr)과 유사한 수준임.
- 따라서 1~3차 테스트 결과 기준으로 볼 때 8주의 저장실험동안 흡습에 의한 스낵의 품질저하가 예상됨.

<그림 23 유탕스낵 B 포장재 4차 시제품 차단성 평가>



(나) 4차 시제품 안전성 시험(스낵 포장재)

- 농심 식품안전연구소에 중금속(납, 카드뮴, 수은, 6가크롬)관련 안전성 분석을 의뢰하였음.
- 모든 재질에서 4종의 중금속에 대해 불검출 결과를 수령하여 법적 기준에 적합하다고 판단함.

(다) 4차 시제품 생산라인 적합성 평가(스낵 포장재)

- 따라서 3차 시제품과 같이 모든 포장재는 앞쪽은 Dry Lamination으로 합지하고, 뒤쪽은 Extrusion Coating으로 제조함.
- 생산라인 적합성은 현장에서 랜덤샘플링을 하여 핀홀검사로 확인함(표 12).

<표 12 유탕스낵 포장재 4차 시제품 생산속도, 내핀홀성 평가>

	현재질	Wet Barrier(울촌)
생산속도 (pack/min.)	60	60
핀홀검사	0pack/20pack	0pack/20pack

(라) 시제품 평가(스낵 포장재) 중간 결과

- 울촌화학에서 제조한 Wet Barrier Coating OPP를 활용한 스낵포장재의 경우, 기초물성 및 포장재 안전성, 생산라인 적합성은 특이사항이 없음.
- 차단성에 있어서도 Wet Barrier Coating 제품들의 특성과 같이 OTR값은 매우 우수하나, WVTR은 2.2 g/m<sup>2</sup>/24hr. 수준으로 스낵제품의 저장성을 확보하기 힘들 것으로 예상됨.
- 저장실험을 통해서 보다 명확한 결과를 도출할 예정임.

**(8) 재활용 수율향상 종이용기 개발**

- 1차년에 농심에서 용기면 포장에 사용 중인 종이용기의 내면 코팅층(LDPE 100%)에 CaCO<sub>3</sub>을 45% 혼합하여 용기 제작 후 품질평가를 진행함.
- 재활용 시 펄프 수율향상을 위해 CaCO<sub>3</sub>를 45% 혼합한 경우, 여러번의 테스트를 통해 내수성과 내유성 품질은 기준에 적합하였으나 Lid Sealing 후 개봉 시 용기 내면 코팅층이 파괴되는 현상이 발생함.
- CaCO<sub>3</sub>이 혼합되면서 LDPE 분자간 결합, LDPE와 종이의 결합을 저하시키는 것으로 예상되며, CaCO<sub>3</sub> 함량을 조정하여 2차년 개발을 진행하였음.

(가) 시제품 평가의 목적 및 항목

- 1차년과 마찬가지로 PE나 PP가 압출코팅된 종이용기의 재활용 시 종이의 회수율 향상

을 위한 목적으로 시제품을 제작하여 테스트를 진행하였음. 시제품 평가 항목은 아래의 표 13과 같음.







<표 13 재활용 수유향상 종이용기 평가 항목>

구분	항목
내수성	누수액을 물선까지 붓고, 20분 후 누수여부 검사
내유성	콩기름을 물선까지 붓고, 30분 후 누유여부 검사
씰링성	1차 : 개봉 후 관능적으로 평가 2차 : Rupture강도 및 Peel 강도 측정

(나) 재활용 수유향상 종이용기 시제품 평가

- 2차년 시제품은 재활용 수유향상 및 개봉 시 용기내면 코팅층의 파괴방지를 위해 LLDPE와 CaCO3를 Blending 후 압출코팅 하여 제작함.
- 제작 샘플과 내수/내유성 평가 결과는 아래 표 14와 같으며, CaCO3함량을 기존 45%에서 34%로 조정하여 시제품을 제조하였음.
- 2차년도 시제품의 경우, 내수/내유성이 양호하며, Sealing 후 개봉 시 용기의 코팅층이 파괴되어 박리되는 현상이 없음.
- 전자레인지용 종이용기 적용 가능성 검토가 필요.

<표 14 재활용 수유향상 종이용기 평가 결과>

	내수성	내유성	씰링성
[1차년도 시제품] LDPE(38.5%) +LLDPE(16.5%) +CaCO3(45%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 매우불량
[2차년도 시제품] LDPE(65%) +CaCO3(34%) + 무기물(1%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 양호

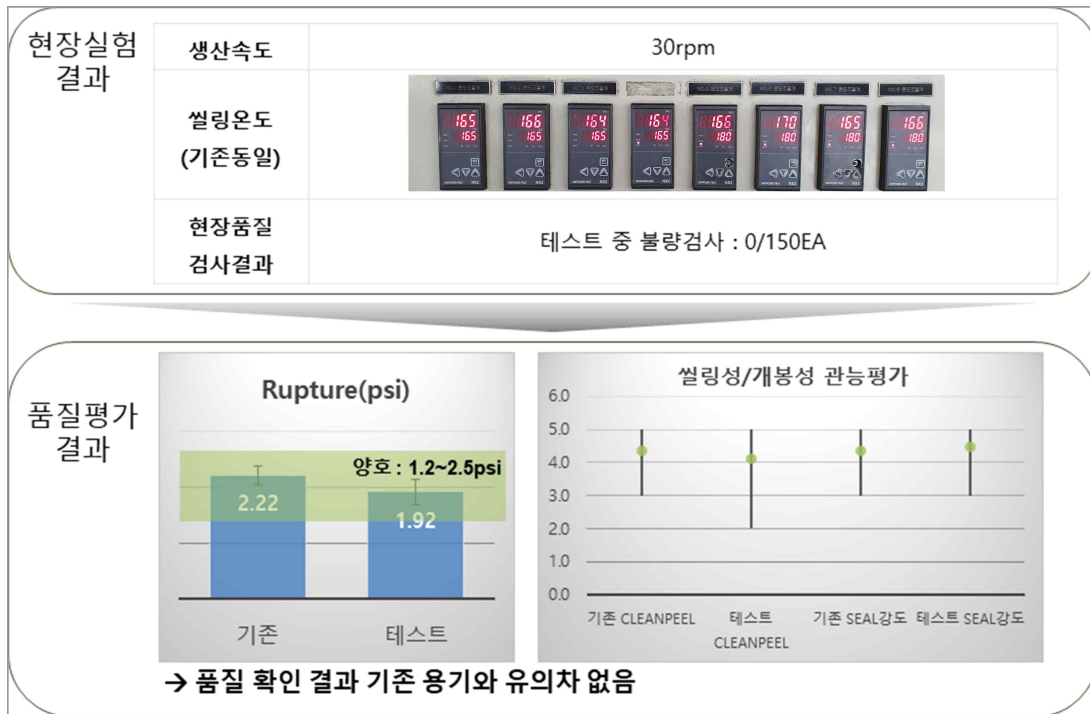
(다) 재활용 수유향상 종이용기 농심 생산라인 적합성 테스트

- 재활용 수유향상 종이용기에 대해 실험실 조건에서 품질검증을 완료하였으며, 농심 생산라인과의 적합성을 확인하기 위해 용기면(큰사발) 생산라인에서 테스트를 진행하였음(그림 24).
- 그 결과 씰링온도는 기존과 동일하게 진행 가능하였고, 150개를 랜덤샘플링하여 불량검

사를 진행한 결과 특이사항이 없었음.

- 현장 샘플에 대한 Lid 개봉 강도 변화, 개봉 시 코팅 늘어남 등의 품질 이슈도 발생하지 않음.

<그림 24 재활용 수유향상 종이용기 2차년도 시제품 현장실험 결과>

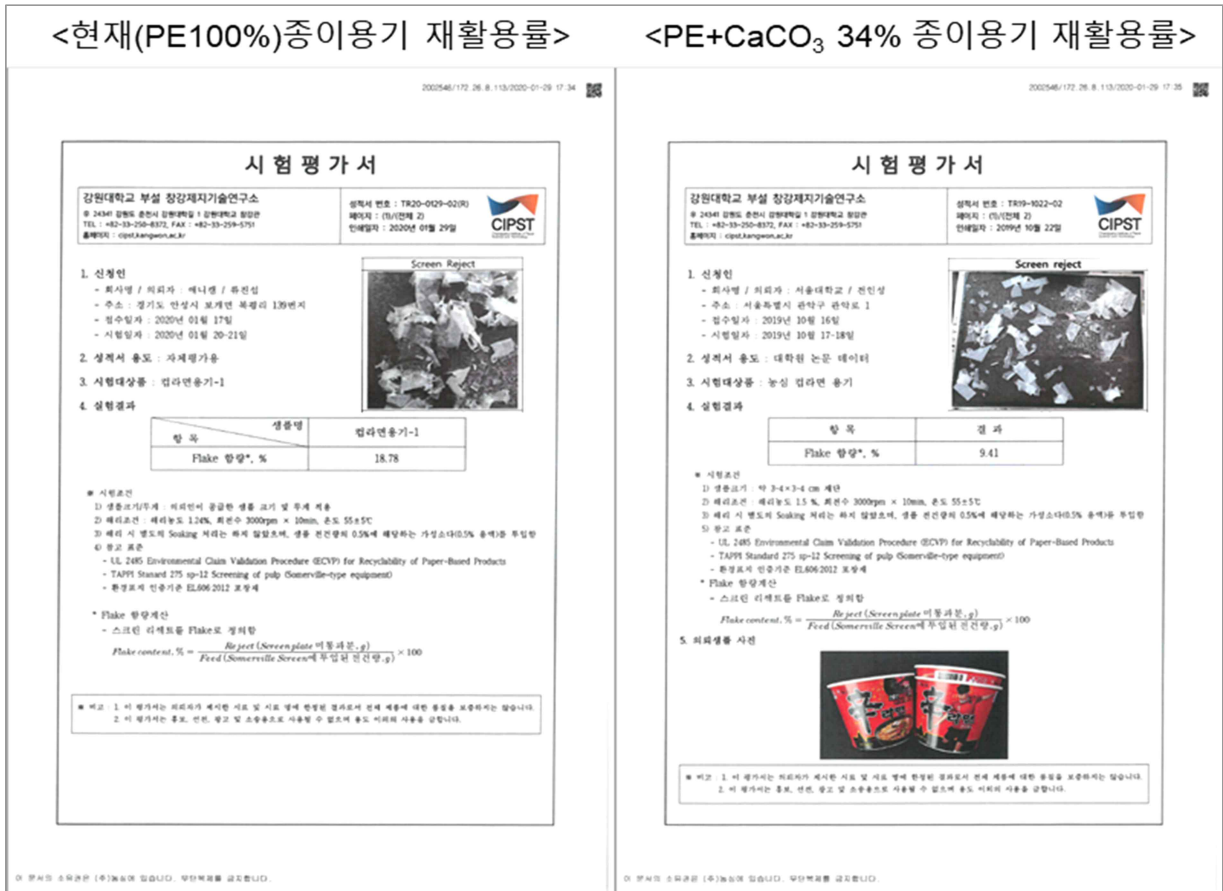


(라) 재활용 수유향상 종이용기 재활용 수유향상 테스트

- 코팅 종이에 대한 친환경 인증으로는 UL 2485가 있음.
- ‘UL ECVP(Environmental Claim Validation Procedure)’는 친환경성 주장 타당성을 검사하는 인증 규격으로, 글로벌 안전인증전문기업 ‘UL(Underwriters Laboratories)’이 주관함.
- 그 중 UL 2485는 코팅 및 합지된 종이의 재활용성에 대한 친환경성을 확인해주는 인증이며, 재활용시 펄프의 회수율이 85%이상(Reject율 15%이하)인 경우에 인증을 받을 수 있음.
- 85%의 수치는 산업구조상 경제성을 갖추기 위한 일반기업의 자발적 재활용 처리 기준임.
- 현재 열수조리용인 PE 100% Coating 종이용기(신라면 큰사발 용기 기준)의 Reject율은 18.78%로 UL 2485 인증을 받을 수 없는 수준임.
- 신라면 큰사발 종이용기의 내면 코팅 비율을 LDPE 100%에서 LDPE65% + CaCO3 34%로 변경한 경우 Reject율은 9.41%로 UL 2485 인증을 받을 수 있는 수준임.
- 관련 시험평가서는 아래 그림 25에 나타냄.



<그림 25 재활용 수율향상 종이용기 재활용률 시험평가 결과>



(마) 재활용 수율향상 종이용기 개발 결과 및 향후 계획

- 종이용기의 내면에 코팅되는 합성수지에 CaCO3를 혼합하여 종이용기를 만들 경우 펄프 회수율이 높아짐을 확인함.
- 일반적으로 열수 복원용으로 사용되는 PE Coating 종이용기에 LDPE 65%에 34%의 CaCO3를 혼합하여 용기를 제조할 경우, 라면 용기로써의 품질(누수, 누유) 및 Lid 개봉성을 만족함을 확인함.
- LDPE에 34%의 CaCO3를 혼합하여 코팅한 종이용기(이중구조 종이용기)의 경우, Reject 된 Flake의 양이 9.41%로 UL 2485 기준인 15%이하를 만족함.
- 열수 복원용으로 사용되는 PE Coating 종이용기의 재활용 수율을 향상 시킬 수 있는 포장재를 개발하였으며 향후 개발될 신제품에 적용을 검토할 예정임.
- LDPE뿐만 아니라 PP Coating(전자레인지용 종이용기)에 대해서도 개발을 진행할 예정임.

나. 시인성 개선 유니소재 포장재 개발

(1) 시인성 개선의 과제 도입 배경

- 본 과제는 유탕식품용 포장재의 재활용성 향상을 위해 고차단성의 ‘단일소재(유니소재)’로 이루어진 포장재를 개발하는 목적을 가짐.
- 알루미늄은 금속 특유의 광택으로 인한 고급스러운 효과와 우수한 차단성, Curling 안전성, 열전도성, 고속 포장 적합성 등을 이유로 다양한 형태의 포장에 사용되고 있음.
- 과제 최종 산출물인 ‘유니소재’의 범위에 알루미늄 증착 재질을 포함시킬 필요성에 대한 의견 개진은 최종 산출물(고차단성 단일소재)을 이용한 시제품 제조와 재활용성 평가 이후에 진행할 예정임.
- 다만, 알루미늄 증착층의 완전한 제거는 인쇄의 효과에 상당한 악영향(그림 26)을 미치므로, 알루미늄 비증착 재질의 포장재를 사용할 경우에 대비하여 인쇄 효과를 개선할 수 있는 방안을 도출하고자 함.
- 이후 인쇄 효과를 개선한 시제품을 제조하여 종합적인 인쇄 효과의 관능 평가, 제품의 친환경 컨셉과의 합치 정도의 평가를 진행할 예정임.

<그림 26 현제품과 비증착제품의 외관 비교 (좌: 현제품, 우: 비증착)>



## (2) 시인성 개선 유니소재 포장재 개발 및 시제품 제조

### (가) 시인성 개선 방안 도출

- 알루미늄 증착이 인쇄 효과에 미치는 영향은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 1) 금속 특유의 광택이 주는 고급스러움, 2) 은폐력을 높여 색상 발현을 향상 시키는 효과가 있음.
- 이러한 알루미늄 증착을 제거할 경우, 광 투과로 인한 유지의 산화촉진으로 인한 이미이취발생 및 변색 등의 품질저하가 우려됨.
- 또한 포장재 배경의 은폐력 저하로 인한 색상 발현의 저하가 발생하여 위 그림 26과같이 시인성 차이가 발생함.
- 위 내용을 고려해 시인성 개선 방안 도출을 위한 시험군을 다음 같이 선정함.

- ⓐ 화이트 CPP - 유백색 CPP를 활용하여 백색 바탕을 부여해 시인성을 향상
- ⓑ 은분 잉크 - 인쇄층 밑에 은분 잉크를 적용해 알루미늄과 유사한 금속 광택 부여
- ⓒ 흑색 베다 - 인쇄층 밑에 흑색을 베다 처리하여 광차단성 및 시인성 동시 개선

- (나) 시인성 개선 유니소재 포장재 적용 시제품 제조
- 위 세 종류의 포장재를 이용해 실제 생산 라인과의 적성과 시인성 개선의 평가를 위해 시제품을 제조함.
  - 시제품 정보 및 생산 조건은 아래 표 15와 같았으며, 외관은 그림 27에 나타냄.
  - T1(화이트 CPP)의 경우, CPP 그레이드의 변경으로 인해 저온 접착 성능이 저하되어 생산 시 실러 온도가 기존 포장재 대비 상승하였으나, 라인 적성에는 이상 없는 것으로 판단함.
  - T2(은분 잉크)의 경우, 포장재의 탄성이 부족하여 고속 생산간 포장재의 틀어짐이 지속 발생해 생산 적용 전 추가적인 물성 개선이 필요하다고 판단됨.
  - T3(흑색 베다)는 색상이 매우 짙어 아이마크 인식이 불가능해 라인 부적합으로 판단함.

<표 15 시인성 개선 시제품 포장재질 및 생산 조건>

	시료명	재질	생산 조건 (실러 온도) (°C)			
			롱-외	롱-내	엔드-상	엔드-하
A	기존	OPP20/(기존 인쇄)/AlvmCPP30	153	153	168	172
A'	비증착	OPP20/CPP30				
T1	화이트 CPP	OPP20/(기존 인쇄)/WhiteCPP	153	153	175	178
T2	은분 잉크	OPP20/(기존 인쇄 + 은분잉크 베다)/CPP	153	153	168	172
T3	흑색 베다	OPP20/(기존 인쇄 + 흑색 베다)/CPP				

<그림 27 시인성 개선 시제품 (좌측부터 A, A', T1, T2, T3)>



### (3) 시인성 개선 유니소재 포장재 시제품 평가

각 시제품의 광차단성에 차이가 발생함에 따라 광산화, 변색 등 제품의 변질이 우려되므로 각 시제품에 대하여 광투과율, 광노출 저장실험 및 그를 통한 관능평가를 시행하고자 함. 현재 광노출 저장실험 및 관능평가를 진행하는 중이며, 광투과율 분석은 각 유탕면 A 포장재의 적색 인쇄부 기준으로 측정하여 아래 표 16에 나타냄.

<표 16 시인성 개선 시제품 광투과율 분석 결과>

	A	A'	T1	T2	T3
광투과율(%)	0.1	15.6	11.1	2.0	0.5

## 다. 재질별 재활용성 평가

### (1) 재질별 재활용성 평가 목적

- 본 과제 의 최종 산출물인 ‘재활용이 용이한 포장재’를 개발해 그것의 재활용성을 평가하고 과제 참여기관의 LCA(Life Cycle Assessment)의 데이터로 활용하기 위해 아래 항목들에 대한 평가를 진행하고자 함.

- ① 재활용 공정 적합성 평가
- ② 재활용 수율 평가
- ③ 물질 재활용 가능성 평가

- 현재 사용되는 유당면 A와 스낵 B의 포장재의 재질은 PP, 알루미늄, PET, NY 등 녹는 점이 상이한 이종의 물질들이 혼합되어있기 때문에, 재활용 과정에서 미용용 물질들이 고품 찌꺼기로 남아 배관이 막히는 등 전체 효율을 저해하는 원인으로 작용함(그림 28).

- 따라서 본 과제의 산출물을 재활용 공정에 적용시켜 기존 포장재 대비 재활용성의 비교 평가를 진행해 현장 데이터를 확보할 필요성이 있음.

<그림 28 용융 과정에서 사용하는 메쉬망과 고품 찌꺼기>



### (2) 재활용 공정 및 업체 조사

#### (가) 재활용 공정 조사

- 재활용성 평가에 앞서 본 과제 개발 목표인 PP의 물질 재활용 과정을 조사하였고, 이를 아래 그림 29로 나타냄.

- PP의 재활용 과정은 업체에 따라 원료를 세척 및 파쇄하는 ‘구획 1’, 그것을 용융 및 압

출하여 펠릿을 제조하는 ‘구획 2’, 마지막으로 펠릿을 이용해 실제 물질 재활용 제품을 제조하는 ‘구획 3’까지 세 구획으로 나눌 수 있으며, 복수의 중소기업 업체들이 상호 협력하여 진행하고 있음.

- 농심은 율촌화학에서 제조 및 파쇄한 유탕면 A와 스낵 B 포장재를 이용해 그림 29의 구획 2~3에 대해 평가를 진행할 예정임.

<그림 29 PP 물질 재활용 과정>



(나) 재활용 업체 조사

- 연구 산출물의 재활용성 평가를 위해 협력업체 조사가 선행되었음.
- 직접 원료를 용융해 펠릿을 제조하는 업체들을 방문 확인한 결과, 유탕면이나 유탕스낵과 같은 식품용 단체필름은 물질재활용에 크게 활용되지 않았음.
- 일부 활용하는 경우에도 아래 그림 30과 같이 마대자루, 그물 등 다른 PP 단일재질 원료와 혼합하여 비중을 최소화해 재활용 공정상 이종 물질의 혼입을 최소화 하는 모습을 보임.

<그림 30 유탕식품용 단체필름 물질 재활용 예시>



- 따라서 PP포장재 재활용성 평가를 목적으로 협력을 구할 업체를 탐색했으며, 아래 표 17의 4개 업체 중 천안에 위치한 G사(주식회사 그린폴)와 연구개발을 진행하고자 함.
- G사는 다양한 재활용 관련 연구과제를 수행한 이력이 있으며, PP 파쇄품을 이용해 물질재활용 사출물을 제조/판매한 경험이 있음.
- 용융·압출하여 펠릿화 할 수 있는 설비와 사출기를 보유하고 있어 과제에 적격일 것으로 판단함.

<표 17 PP 물질 재활용 협력 업체 탐색>

업체	재활용 품목	사용처	비고
G사(천안)	• PP(용기 파쇄품) • EPS(보냉박스)	• 층간소음 방지용 건설자재 • 일회용 파렛트 • PS 잉곳	• 포장재 재활용 이력 없음 • 재활용성 평가 진행 협력
S사(천안)	• PE(포장재 제조업체 • PE Lump)	• 복합판넬 • 마스터배치용 원료 • 사출물(PP손잡이 등)	• PE이외 타 원료 취급 안 함
C사(천안)	• PP(식품용 PP용기) • PP(포장재)	• 사출물(소형 쓰레기통 등) • 일회용 파렛트, PP밴드 • 플라스틱 대야	• 포장재 재활용시 인쇄/접착제 등의 원인으로 냄새가 심함
D사(음성)	• PP(PP마대, 안전망, 포장재)	• 일회용 파렛트	• 원료 투입 시 포장재 비율이 20% 미만

(3) 재활용성 평가 계획 수립

(가) 재활용성 평가 재질 선정

- 유탕면 A와 스낵 B 제품 포장재를 아래 표 18과같이 제조하여 각 포장재별 재활용성을 비교평가 진행 예정임.
- 포장재 R-A1과 R-B1은 현제품에 사용되는 기존 포장재로, 두 재질의 재활용성 비교를 통해 녹는점이 상이한 이중 재질이 재활용성에 미치는 영향을 평가할 수 있음.
- 포장재 R-A2는 알루미늄 증착을 제거한 PP 단일소재 포장재로, R-A1과 비교하여 알루미늄 증착이 미치는 영향을 평가할 수 있음.
- 재활용성 평가를 위해 각 재질은 200kg 이상 준비되어야 할 것으로 판단되며, 인쇄는 기존 제품과 동일하게 진행할 예정임.

<표 18 재활용성 평가 재질>

구분	코드	재질	설명
유탕면	R-A1	OPP20/AlvmCPP30	기존 포장재 (Al 증착)
	R-A2	OPP20/ CPP30	알루미늄 증착 제거
스낵	R-B1	OPP20/PE12/AlvmPET12/PE12/ CPP20	기존 포장재 (Al 증착, PET)

(나) 재활용성 평가 세부 계획 및 일정

- 평가 세부 계획 및 일정은 수립 중에 있음.
- 위 표 18에 표현된 재질별로 각 200kg의 시료를 인쇄 및 합지하여 제조할 예정임.

- 
- 별도의 협력업체를 구해 포장재를 파쇄 후 G사의 설비를 이용해 각 재질별 수율 및 공정상 저해요인을 밝힐 예정임.
  - 수율의 평가는 '투입량 대비 압출된 Pellet의 양'으로 진행할 예정임.

### 3. 3차년도

#### 가. 재활용이 용이한 연포장재 시제품 테스트

##### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 3차년도 시제품 평가는 아래 표 1에 나타난 항목에 대해 진행하였으며, 실제 적용을 목표로 과제를 진행하는 만큼 실제 소비자에게 노출되는 부분을 평가하기 위해 새롭게 항목으로 설정함.
- 저장성 평가의 경우, 1~2차년도 선행 연구와 마찬가지로 고온다습 조건(40°C/90%RH)에서 8주간 저장하였으며 유지 성분의 변화는 격주로, 내용물 수분함량과 포장재 내 산소 함량, 그리고 관능평가는 매 주 평가함.
- 3년에 걸쳐 진행한 본 과제에서 가장 중요하게 생각하는 것은 내용물, 즉 유당식품의 품질 수준을 유지할 수 있는 정도의 포장재 물성 한계를 파악하고 실제 개발을 통해 제품화 하는 것임.
- 따라서 아래에 나열된 항목들을 통해 내용물을 보호하고 변패를 방지하는 기능을 평가하고자 함이며 특히 그 기준을 유지의 산화로 볼 수 있음.
- 유당식품에 포함된 유지는 가공, 저장 중 산화를 일으켜 과산화 지질을 형성하여 불쾌한 냄새를 유발하거나 심한 경우 독성 물질을 생성할 수 있음. 특히 유지가 고온에 장시간 노출되는 경우 그 산화가 급속도로 진행될 수 있음.
- 이를 방지하는 잘 알려진 방법으로 유지에 항산화제를 추가하거나 제품 파우치 내 산소를 포집할 수 있는 물질(Sachet 등)을 넣는 등 여러 가지가 있지만, 본 과제에서는 ①내용물 본연의 상품성(맛, 향, 식감 등)에 영향을 주지 않으며 ②공정의 변화와 ③단가의 상승을 최소화할 수 있도록 포장재의 재질을 통해 접근하였음.

<표 1 시제품 물성 평가 항목>

구분	항목	라면	스낵
광조사 저장성 평가	시인성 평가, 관능 평가	●	
차단성 분석	산소투과도, 수증기투과도, 전광선 투과도	●	●
안전성 분석	포장재 중금속	●	●
저장성 평가 (고온다습 조건)	내용물 수분함량의 변화	●	●
	유지(AV, POV) 성분의 변화	●	●
	포장재 내 산소 함량		●
	관능평가	●	●



---

## (1) 유당면 포장재 개발

- 유당면 포장재에 대해서는 광조사 저장성 평가, 차단성 분석, 안전성 분석, 저장성 평가를 진행함.
- 광조사 저장성 평가의 경우, 2차년도 시인성 개선 노력에 따라 제조한 알루미늄 증착 제거 시제품을 활용하여 진행함.
- 알루미늄 증착의 은폐력 저하로 발생하는 색상 발현의 차이, 그리고 광투과로 인한 유지의 산화 촉진이 제품의 가치와 안전성에 직접적인 영향을 끼칠 수 있다고 판단되어 진행함.
- 고온다습조건외의 저장실험 또한 별도로 진행하였으며, 1~2차년도 선행연구와 마찬가지로 유당면의 수분함량과 유지의 산화, 그리고 관능평가를 진행함.

### (가) 광조사 저장성 평가

- 유지의 산화는 가공, 저장 및 유통과정 중에 열, 산소, 광선 등의 요인에 의하여 산화되어 과산화물을 형성하며(박성원, & 안명수, 1994) 각각의 산화 원인 인자들은 개별적으로 작용하기도 하지만 상호적으로 작용하는 경우도 있음(Choe, E., & Min, D. B., 2006)
- 때문에 유지산화를 억제하고자 할 때, 산소와 빛, 열 에너지의 차단과 광증감제 작용의 억제, 일중항 산소의 불활성화, 그리고 자유 유리기의 안정화 등의 방법이 이용됨. 현재 적용된 포장재의 경우 질소 충전 후 밀봉하는 과정을 통해 산화의 원천이라고 할 수 있는 산소와의 접촉을 제한하고 알루미늄 증착을 사용해 과산화물 생성을 촉진하는 빛을 차단하는 역할을 함.
- 특히 빛의 경우 안토시아닌, 비타민 B 등의 천연색소를 포함한 식품으로 하여금 변색과 영양소 파괴 등 상품성 저하를 유발하기도 하며(김선영, 고광오, 이영상, 김희선, & 김용호, 2008) 유당면과 스낵의 광조사 저장성 평가를 통해 변화 정도를 확인할 필요성이 있음.
- 해당 평가를 진행하기위해 본 과제 2차년도 진행 간 제조한 샘플은 아래 표 2와 같으며, 그 외관을 촬영하여 그림 1로 나타내었음.
- 2차년도 진행간 T2와 T3는 포장재 탄성 부족 등으로 인해 생산라인 부적합 판정을 내린 바 있으며, T1 샘플의 경우에는 특히 고온 조건의 열접착이 필요한 특징이 있었음.
- 3차년도에는 위 시제품들을 활용해 화학 성분의 변화(Acid Value(AV), Peroxide Value(POV))와 외관 및 상품성(면 색상 변화, 이취)의 변화를 분석하고 평가함.
- 광조사 저장실험의 경우 시제품을 35℃ 온도의 가속조건 하 진행하였으며, 1800 lx의 빛을 제품 후면으로 조사함. 이는 후면의 백색 인쇄부분을 통해 빛이 투과되도록 하기 위함이며, 광투과율 또한 이 부분에서 측정하였음.

<표 2 광조사 저장 시제품 포장재질 및 생산 조건>

	시료명	재질	광투과율 (%)	생산 조건 (실러 온도) (°C)			
				통-외	통-내	엔드-상	엔드-하
A	기존	OPP20/(기존 인쇄)/AlvmCPP30	0.1	153	153	168	172
A'	비증착	OPP20/CPP30	15.6				
T1	화이트 CPP	OPP20/(기존 인쇄)/WhiteCPP	11.1	153	153	175	178
T2	은분 잉크	OPP20/(기존 인쇄 + 은분잉크 베 다)/CPP	2.0	153	153	168	172
T3	흑색 베다	OPP20/(기존 인쇄 + 흑색 베 다)/CPP	0.5				

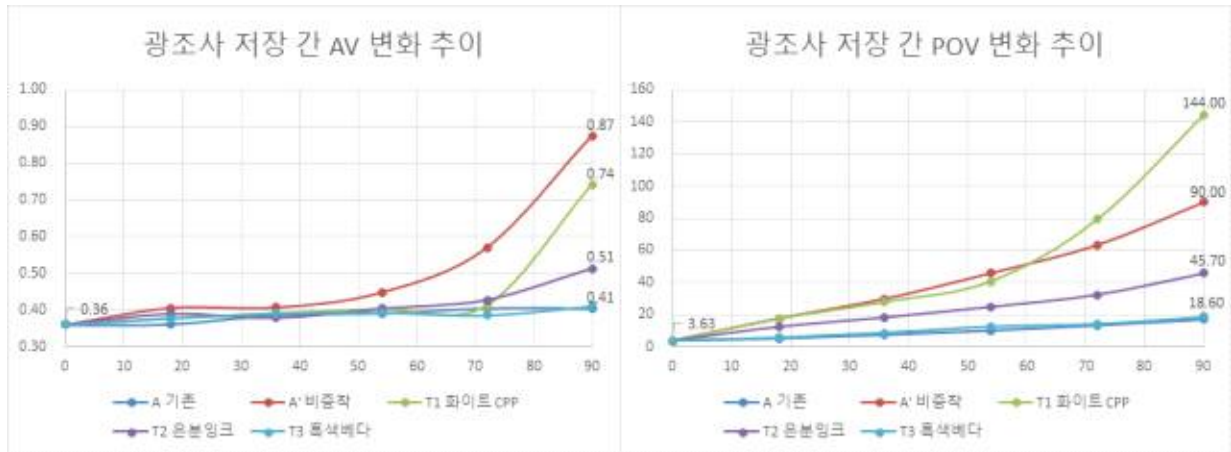
<그림 1 시인성 개선 시제품 (좌측부터 A, A', T1, T2, T3)>



① 화학 성분의 변화 - Acid Value(AV), Peroxide Value(POV)

- 농심은 유탕면 신제품 개발 시 유통기한 내 POV 증가 한계선을 30으로 관리하고 있음.
- 유탕면의 광조사 저장실험 결과 AV와 POV의 변화는 아래 그림 2에 나타냄.
- 초기 AV/POV의 증가는 광투과율(표 2)에 비례하여 나타났음. A와 T3 시제품이 유사 수준으로 가장 우수한 품질을 나타내었고, A'와 T1은 초반부터 큰 증가세를 보임.
- 그러나 결과적으로 모든 시제품에서 농심 기준치 이상의 POV가 확인되었고, 사실상 빛의 투과를 막지 못할 경우 제품에 적용이 힘들다는 결론이 도출됨.
- 다만, T1의 경우 White PP가 적용된 포장재의 경우 추가 물성 개선 후 실험이 필요하다고 판단함. 그 이유는, 재질 특성 상 고속 열접착 공정에 적합하지 않아 상대적으로 약한 접착강도를 보였기 때문이며, 이로 인해 산소가 접착부를 통해 유입되어 저장실험 후반부의 급격한 POV 증가 추세가 보인 것으로 판단됨.

<그림 2 광고사 저장 시 AV, POV 변화 추이>



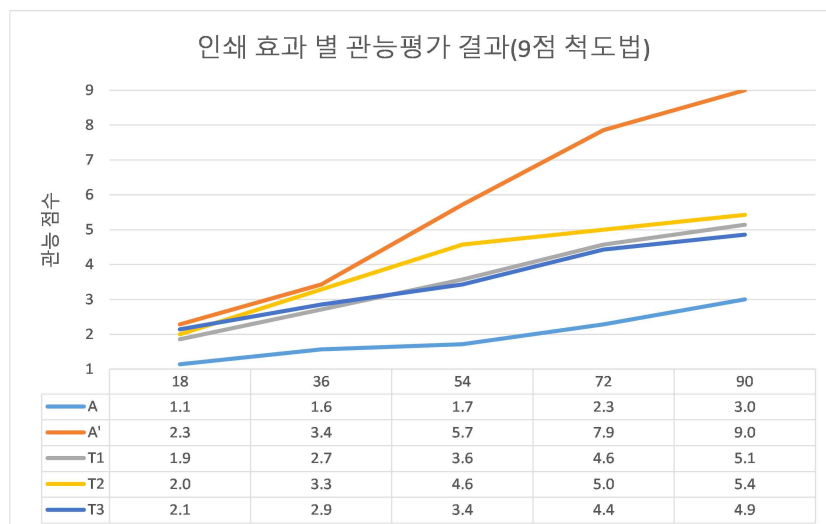
② 외관 및 상품성의 변화 - 관능평가

- 광조사 간 외관 및 상품성의 변화를 아래 그림 3, 4에 각각 나타냄. 상품성은 이취의 정도를 9점 척도법(1점: 이취 없음, 5점: 판매 마지노선, 9점: 이취가 매우 심함)을 이용하여 표현하였고, 관능평가 패널은 농심 연구소 내부의 20인을 선정하여 진행함.
- 실험 결과, 알루미늄 증착 외 모든 샘플에서 큰 외관 변화가 관찰됨. 주로 유탄면의 노란 색 색소(비타민 B)의 파괴로 인한 탈색으로 나타난 것을 확인하였음.
- 특히 A', T1의 변화가 가장 눈에 띄었으며 18일의 저장 결과 확연히 차이가 나는 모습을 확인하였음. T3는 테스트 시제품 중 가장 본연의 색깔을 잘 유지하였으나, 역시 저장 기간이 증가할수록 하얗게 탈색되는 경향을 보임. 이는 표 2의 광투과율 및 그림 2의 AV, POV 변화 추이와도 합치하는 결과임.
- 유탄면 광산화로 인한 이취 발생을 관능적으로 평가하였고 그림 4에 그 결과를 나타냄. A' 샘플의 경우 지방의 산화로 인한 이취(기름 찌내)가 크게 증가해 54일차 이후로 판매 가능한 수준을 벗어난 것을 확인할 수 있었음. T1은 A'에 비해서 양호하여 90일 저장 후 5.1점으로 판매 가능한 수준을 유지함.
- T2, T3 시제품의 경우에도 이취가 크게 나타났으나, 지방 산화의 이취 외에 포장재로부터 기인한 특유의 이취가 포함된 것을 확인하였으며, 실제 제품에는 적용 불가능하다고 판단됨.

<그림 3 광조사 저장 시 유당면 외관 변화>

저장 기간	광조사 유당면 외관 변화					비고
	A	A'	T1	T2	T3	
0일						
18일						1.26개월
36일						2.52개월
54일						3.78개월
72일						5.04개월
90일						6.30개월

<그림 4 광조사 저장 관능평가 결과>





③ 유탕면 광조사 저장성 평가 결과

- 알루미늄 증착 제거 시 광산화로 인한 이취 발생 및 변색이 발생하여 실제 제품에 적용을 하기 위해서는 차단성과 별개로 이 부분들에 대해 평가 및 의사결정 필요하다고 판단됨.
- T2(은분잉크)와 T3(흑색 베다)의 경우, 특유의 이취를 처리하지 못하면 적용이 어렵다고 판단됨.
- 따라서 이후 실험은 T1(White PP)을 활용하는 방안으로 진행함.

(나) 차단성 분석

- 유탕면 포장재의 물성 평가는 표 3과 같이 맛짬뽕 포장재 2종을 제조하여 진행함.
- 시제품(시험군)은 위 광조사 저장성 평가 결과(그림 3, 4)를 바탕으로 기존 포장재(대조군)와 White PP를 적용한 Wet Barrier(시험군) 시제품으로 구성하여 시인성을 보완하였음.
- 생산성에 대해 시제품 제조 시 간이적으로 확인하였으며, 알루미늄 증착 제거에 따라 각종 센서가 인식이 불가능한 현상이 발생함. 의사결정 시 추가 설비 보완이 필요하다고 판단됨.

<표 3 유탕면 포장재 시제품 정보 및 생산성>

	기존	T1
외형		
재질	OPP/AlvmCPP	WetBarrierOPP/ WhiteCPP
Sealing조건	End Sealer : 158°C 배접 Sealer : 182°C	End Sealer : 168°C 배접 Sealer : 182°C
기타		1) 핀홀 없음 2) 아이마크 센서 및 트래킹 센서 미인식

- 차단성 시험 분석 의뢰는 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에 의뢰하여 진행하였음.
- 현재질의 차단성, 특히 산소차단성이 율촌화학 자체 분석 결과(OTR : 9.66, WVTR : 1.86)와 크게 상이하여 현재 재분석 의뢰 중임(표 4).
- 식품의 함수율이 높을수록 생물학적, 화학적인 변화로 인해 가치가 빠르게 저하될 수 있음. T1의 수분차단성은 증착 제거로 인해 큰 저하를 보였으며, 제품의 흡습으로 인한 식감 변화 및 유지 산화에 영향을 끼칠 것으로 사료됨(이보라, 김미자, & 이재환, 2018).
- 2차년도까지의 선행연구 결과, 유탕면 포장재의 수분차단성이 3.68 g/m<sup>2</sup>/24hr 이하일 때 저장성이 양호하다고 판단되었지만, 3.68 ~ 4.4 g/m<sup>2</sup>/24hr 범위에서는 평가된 바 없음.
- 전광선투과율 분석 결과는 15.7 %로 광조사 저장실험에 사용된 시료의 물성(표 2)과 비교했을 때 비증착(A') 재질과 유사한 결과를 얻었음. 실제 양산 시 포장재가 이와 유사한 물성이라고 가정할 때 면밀한 유통실험이 필요하다고 사료됨.

<표 4 유당면 포장재 차단성 분석 결과>

구분	현재질	T1
재질	OPP/AlvmCPP	Wet Barrier OPP/White CPP
OTR(cc/m <sup>2</sup> /24hr.)	95	1.2
WVTR(g/m <sup>2</sup> /24hr.)	1.27	3.87
전광선투과율(%)	0.4	15.7

<그림 5 유당면 포장재 차단성 시험성적서>



(다) 안전성 분석

- 유당면 포장재 안전성 시험은 KCL에 의뢰하여 진행하였음.
- 차단성 분석과 마찬가지로 분석 시료는 기존 포장재(대조군)와 Wet Barrier(시험군) 시제품으로 구성하였음.
- 포장재의 중금속 측정은 아래 기준에 따라 진행하였으며, 표 5와 같이 현재품과 Wet Barrier 샘플 모두 모든 시험항목에 대해 기준치를 만족하는 것을 확인하였음.
- 포장재 내 인쇄, 접착 등으로 인한 유해성 물질의 식품 이행에 대한 시험/평가는 향후 사업화 시 까지 진행할 예정임.

※ 분석 기준 및 규격 (식품안전의약처 ‘기구 및 용기·포장의 기준 및 규격’)

II. 공통기준 및 규격

1. 공통제조기준 中 아.합성수지제, 가공셀룰로스제, 종이제, 전분제 기구 및 용기·포장에 사용되는 재질은 납, 카드뮴, 수은 및 6가크롬의 합이 100 mg/kg 이하이어야 하며, 시험법은 IV. 2. 2-1 납 시험법 가. 잔류시험, 2-2 카드뮴 시험법 가. 잔류시험, 2-3 수은시험법, 2-4 6가크롬 시험법 가. 잔류시험에 따른다.

<표 5 유당면 포장재 안전성 시험 결과>

시험항목	단위	기준치	시험결과	
			기존	T1
용출 납(Pb)	mg/L	1 이하	불검출	불검출
용출 과망간산칼륨소비량	mg/L	10 이하	1	1
용출 총용출량 4 % 초산	mg/L	30 이하	6	13
용출 총용출량 물	mg/L	30 이하	8	6
용출 총용출량 n-헵탄	mg/L	150 이하	12	10

<그림 6 유당면 포장재 안전성 시험성적서 (좌)현제품, (우)Wet Barrier>



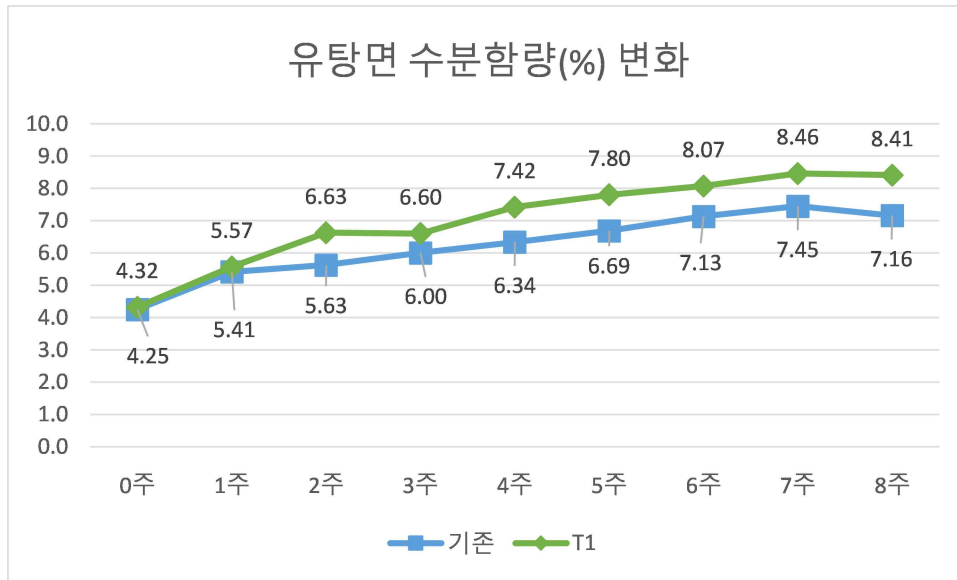
(라) 저장성 평가

- 고온다습조건 하 8주간 저장실험을 진행하였으며 이 실험은 암소에서 진행되었음.
- 유당면은 수분함량의 변화, 유지 성분의 변화(AV/POV), 마지막으로 상품성에 대한 관능평가 실험을 진행하였음.

① 수분함량의 변화

- 유당면의 수분함량 변화를 평가한 결과를 아래 그림 7에 나타냄. 현재 농심은 8주간 저장실험 시 초기 농도 대비 3%P 이내로 증가하는 것을 기준으로 관리함.
- 기존 포장재는 7주차에 약 0.2%P의 기준 초과를 보였으나 오차범위 이내로 평가할 수 있었고, T1의 경우에는 5주만에 농심 기준을 초과하는 증가추세를 보이며 최종적으로 약 4%P 증가한 것을 확인하였음.
- 알루미늄 증착 제거로 인한 차단능의 손실이 아래와 같은 결과로 나타났다고 판단됨.

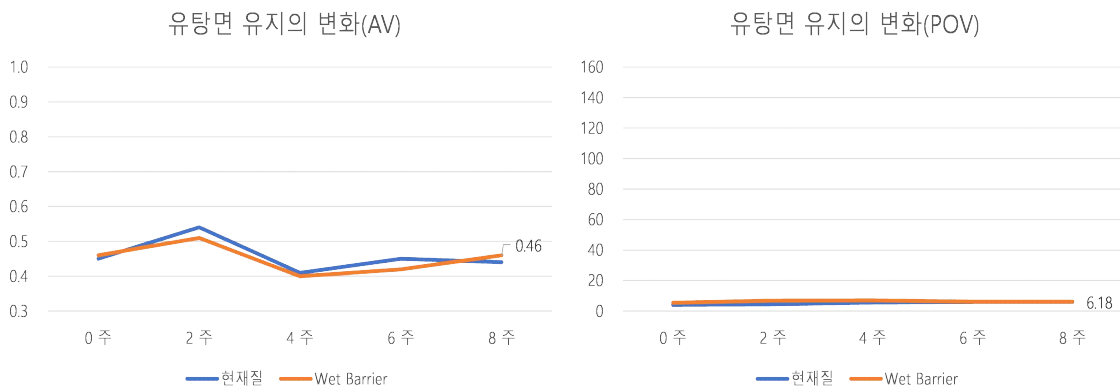
<그림 7 유당면 수분함량(%) 변화>



② 유지 성분의 변화 - Acid Value(AV), Peroxide Value(POV)

- 유지 성분 변화를 8주간 관찰한 결과 가시적인 변화는 관찰되지 않았음.
- 유당면에는 다양한 종류의 항산화제(토코페롤, 녹차추출물 등)가 복합적으로 사용되고 있으며 유통기한은 6개월로 관리함.
- 끓는물에 조리한 뒤 취식하는 유당면은 AV나 POV와 같은 제품 품질에 이상이 없다면 수분함량의 변화(그림 8)는 농심의 기준인 3 %P의 변화를 넘어섰다고 하더라도 수용이 가능하다는 농심 내 의견이 있음.
- 한편 지난 2년에 걸친 선행연구 결과, 고온다습조건의 가속 저장실험 약 6~7주 정도가 유통기한 6개월과 합치되는 결과라고 결론지은 바 있음.

<그림 8 유당면 유지 성분의 변화(AV/POV)>



③ 관능평가

- 유당면을 포장하여 고온다습 조건에서 저장한 후, 유지의 산화로 인한 이취와 종합적인 상



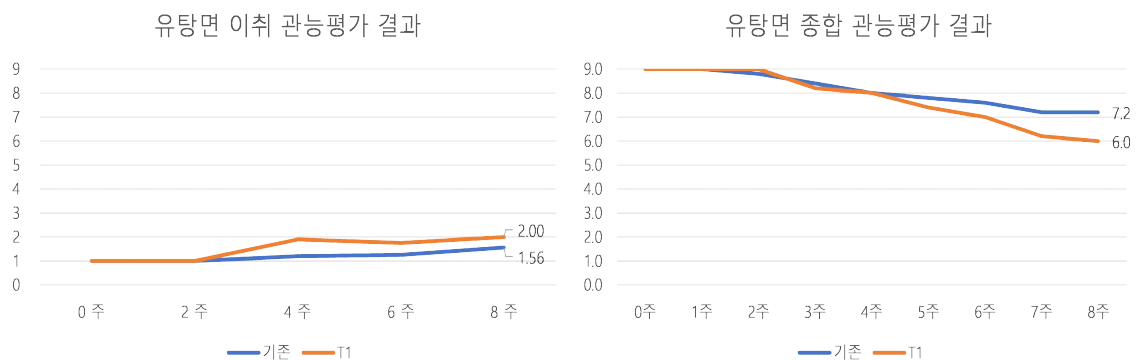
품성에 대해 관능평가를 진행함.

- 식품의 지방 산화는 그 종류에 따라 핵산알, 유리아미노산을 비롯하여 다양한 산화생성물로 인한 품질의 변화와 냄새를 발생시킨다(이희재 et al, 2010).
- 관능평가는 2주 간격으로 진행하였으며, 20명의 연구소 내부 패널들이 평가에 참여함. 이때 관능평가의 기준은 아래 표 6으로 나타냄.
- 8주간의 관능평가 결과, 기존 제품과 T1 모두 이취 점수 2점을 넘기지 않아 유탕면의 유지 산화로 인한 이취는 크게 발생하지 않은 것으로 나타남(그림 9).

<표 6 이취 관능평가 기준>

점수	내용
9점	유지 산화로 인한 이취가 매우 강함
7점	유지 산화로 인한 이취가 상당히 느껴짐
5점	유지 산화로 인한 이취가 적당히 느껴짐
3점	유지 산화로 인한 이취가 약하게 느껴짐
1점	이취 없음

<그림 9 유탕면 포장재 관능평가 결과 (좌)이취 관능평가, (우)종합 관능평가>



(마) 유탕면 포장재 개발 결과

- 재활용이 용이한 유탕면 포장재 개발을 위해 T1~T3의 시제품을 제조하여 비교평가를 진행함.
- 결과적으로 알루미늄 증착이 제거된 포장재의 경우, 수분/산소/빛에 대한 차단성의 저하로 다양한 품질 저하가 발생하는 것을 확인하였음.
- 시제품들 중 T1을 최종적으로 고려할 수 있을 것 같으나, 수분함량이 기준을 벗어나고 천연색소의 파괴로 제품이 변색되는 것을 재확인 한 뒤 의사결정이 가능함.

(3) 유탕스낵 포장재 개발

- 유탕스낵 포장재 개발에 대해 차단성 분석, 안전성 분석, 저장성 평가, 그리고 유통안정성 평가를 진행하였음.

- 유당스낵의 경우 내용물의 형상과 무게에 따라 포장재에 구멍이 나는 경우가 있음. 따라서 제품 적용 전, 찌름강도와 낙하실험을 통한 안정성 검증이 반드시 선행되어야 함.
- 유당면과 마찬가지로 유당스낵에 대해 고온다습 조건 하 저장실험을 진행하였으며 포장재 내 산소함량과 제품의 수분함량 및 유지의 산화 변화 분석, 마지막으로 관능평가를 진행함.
- 각 분석은 기존 포장재(대조군) 외 4종의 시제품(시험군, T1~4)을 고구마깡 포장재로 제조하여 진행했으며, T1과 T2는 알루미늄 증착 OPP 재질, T4는 알루미늄 증착을 제거한 Wet Barrier OPP 적용 재질로 제조함. T3의 경우, 알루미늄 증착의 완전 제거가 어렵다는 1~2차년도 선행 연구 결과를 바탕으로 Wet Barrier OPP를 인쇄층으로 하고 접착층에 증착 CPP를 적용해 층과 두께를 감소시키는 방향으로 제조함(표 7).
- 시제품 제조 시 간단하게 생산성과 관련해 생산속도 측정 및 핀홀 검사를 진행하였으며, 그 결과 기존 포장재와 동일한 속도에서 생산 시 문제가 없는 것으로 나타남.

<표 7 유당스낵 포장재 시제품 정보 및 생산성>

	기존	T1	T2	T3	T4
외형					
재질	OPP/PE/AlvmPET/ PE/CPP	OPP/PE/AlvmOPP/ PE/CPP	OPP/PE/ AlvmOPP/PE	WetBarrierOPP/ PE/AlvmCPP	WetBarrierOPP/ PE/CPP
생산속도	55 pack/min.	55 pack/min.	55 pack/min.	55 pack/min.	55 pack/min.
핀홀검사	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA

#### (가) 차단성 분석

- 유당스낵 포장재 차단성 시험은 KCL에 의뢰하여 진행함(그림 10).
- 스낵은 유당면과는 달리 개봉 후 상태 그대로의 것을 취식하고 g수 대비 큰 부피로 포장되기 때문에 수분함량의 증가가 상품성에 보다 큰 영향을 끼침. 따라서 수분에 대한 고차단성이 요구되는 경향이 있음.
- 차단성 분석 결과, 산소차단성은 5종의 포장재 모두 동등 수준임을 확인하였지만 수분차단성에서 약간의 차이를 보임. 기존 포장재와 비교하여 T1과 T2는 동등 수준으로 나타났지만, T3과 T4는 수분차단성에서 떨어지는 모습을 보임(표 8).
- 2차년도까지 선행연구의 결과로 WVTR 1.49 g/m<sup>2</sup>/24hr 이상의 차단성으로는 유당스낵 제품에 적용하기 어려운 것으로 결론지었으며 T3과 T4의 수분차단성은 기준 이하로 판단됨.
- 전광선투과율의 경우 알루미늄 증착 포장재인 기존과 T1~3의 경우 대부분의 빛을 차단하는 것을 확인하였으나, 증착 층이 제거된 T4는 47.6 %의 투과율을 보여 유통과정에서 변색, 변패 등의 문제가 발생할 수 있다고 사료됨.

<표 8 유당스낵 포장재 차단성 분석 결과>

구분	기존	T1	T2	T3	T4
재질	OPP/PE/AlvmPET/ PE/CPP	OPP/PE/AlvmOPP/ PE/CPP	OPP/PE/ AlvmOPP/PE	Wet Barrier OPP/ PE/AlvmCPP	Wet Barrier OPP/ PE/CPP
OTR(cc/m <sup>2</sup> /24hr.)	1.0	0.5 ↓	0.5 ↓	0.9	0.8
WVTR(g/m <sup>2</sup> /24hr.)	0.3	0.1	0.1	1.4	3.5
진광선투과율(%)	0.2	0.1	0.1	1.3	47.6

<그림 10 유당스낵 포장재 차단성 시험성적서>



(나) 안전성 분석

- 유당스낵 포장재 안전성 시험은 KCL에 의뢰하여 진행하였으며(그림 11), 모든 시제품에서 기준치를 만족하였음(표 9).
- T2의 경우 나머지 포장재들과는 달리 식품접촉면이 PE로 구성되었기 때문에 타 포장재들과는 다른 시험항목을 추가하여 시험이 진행되었음.
- 포장재 내 인쇄, 접착 등으로 인한 유해성 물질의 식품 이행에 대한 시험/평가는 향후 사업화 시 까지 진행할 예정임.

<표 9 유당스낵 포장재 안전성 시험 결과>

시험항목	단위	기준치	시험결과				
			기준	T1	T2	T3	T4
용출 납(Pb)	mg/L	1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
용출 과망간산칼륨소비량	mg/L	10 이하	1	1	1	1	1
용출 총용출량 4 % 초산	mg/L	30 이하	6	8	6	6	8
용출 총용출량 물	mg/L	30 이하	5	7	6	8	7
용출 총용출량 n-헵탄	mg/L	150 이하	12	12	8	12	11
용출 1-헥센 4 % 초산	mg/L	3 이하	-	-	불검출	-	-
용출 1-헥센 물	mg/L	3 이하	-	-	불검출	-	-
용출 1-헥센 n-헵탄	mg/L	3 이하	-	-	불검출	-	-
용출 1-옥텐 4% 초산	mg/L	15 이하	-	-	불검출	-	-
용출 1-옥텐 물	mg/L	15 이하	-	-	불검출	-	-
용출 1-옥텐 n-헵탄	mg/L	15 이하	-	-	불검출	-	-

<그림 11 유당스낵 포장재 안전성 시험성적서>



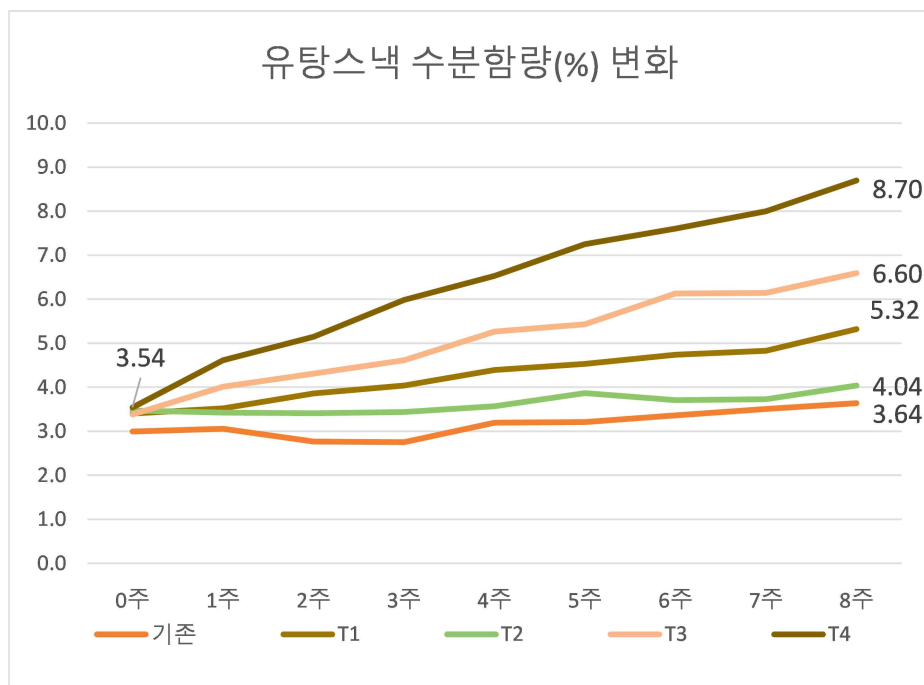
(다) 저장성 평가(고온다습 조건)

- 유당스낵의 저장성 평가를 위해 스낵 수분함량 및 포장재 내 산소함량의 변화와 AV/POV의 변화 등을 관찰하고 관능평가를 진행하였음. 이때 실험 대상으로 고구마깡 제품을 선택하였음.

① 스낵 수분함량의 변화

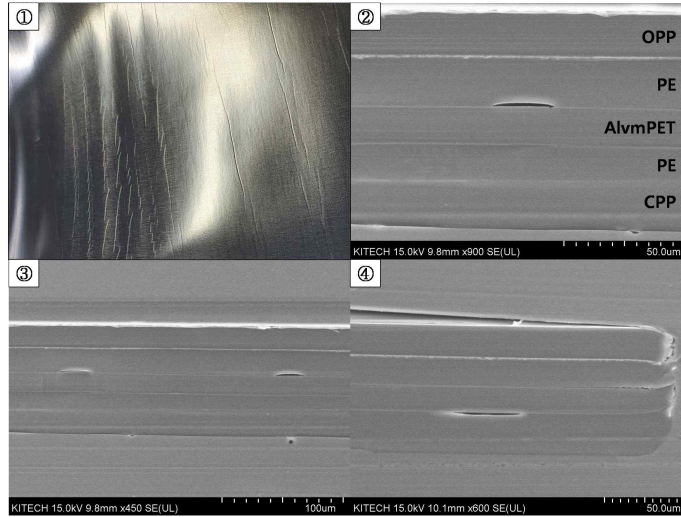
- 수분함량의 증가는 스낵의 식감을 저하시키고 지방 산화를 촉진할 수 있다고 널리 알려져 있음(Yang, S. Y., Kim, D. S., Oh, S. W., & Bang, H. A., 1999).
- 농심에서는 유당스낵류 제품의 수분함량 변화에 대해 유통기간 내 3%p 이하로 증가해야 한다는 기준을 가지고 있음.
- 수분함량의 변화를 8주간 관찰한 결과, 기존 포장재와 T1, T2의 경우 농심 기준치를 만족시켜 각각 0.65, 1.92, 0.57%p의 변화를 보였음(그림 12). 그러나 차단성 분석 결과(표 8)가 기존 포장재와 동등 이상 수준이었던 것과는 다른 경향성이었으며 해당 포장재를 관찰한 결과 품질 상 문제를 확인함(그림 13).
- 포장재 표면에는 주름이 심했으며, SEM(주사전자현미경)을 이용해 단면을 촬영한 결과 포장재 내 상당한 수의 결함을 발견할 수 있었음. 특히 AlvmPET 층의 위와 아래, 즉 알루미늄 증착층에서 발견된 결함은 다층 필름의 차단성을 크게 저하시킬 수 있음(Sollogoub, C., Montmitonnet, P., Demay, Y., Agassant, J. F., & Deparis, P., 2011).
- T3과 T4의 경우 수분투과도(OTR, g/m<sup>2</sup>/24hr)값이 각각 1.4, 3.5로 측정되어(표 8) 다른 3종의 포장재 대비 낮은 차단성을 지니고 있음. 특히 T4의 경우 차단성 부족으로 인해 5.16%p 증가하며 기준치를 벗어나 제품에 적용할 수 없는 물성임이 확인됨.
- T3의 경우 차단성 분석 결과 적용 불가능한 WVTR 수치는 아니었으나, 최내면층(셀링층)에 증착된 알루미늄 증착이 고온·고압의 열접착간 일부 손상이 된 것으로 판단됨.

<그림 12 유당스낵의 수분함량 변화>



<그림 13 유당스낵 포장재 T1의 제조상 결함 관찰>

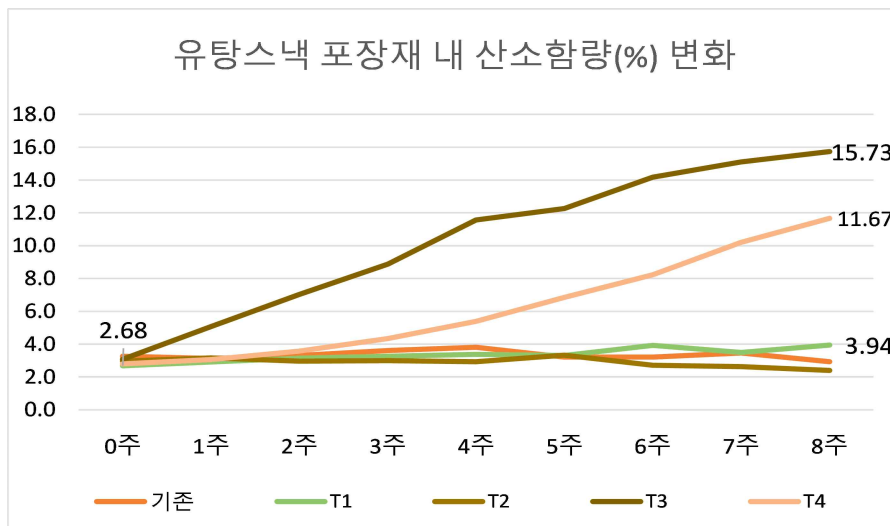
① T1 포장재 표면의 주름, ②~④ T1 포장재 단면 SEM 촬영 결과



② 포장재 내 산소 농도의 변화

- 유당스낵 포장재 내 산소 농도의 변화는 농심의 경우 3% 이하로 관리하고 있음. 포장재 내 산소의 분압이 증가할수록 유지의 산화 등 변질은 크게 촉진될 가능성이 매우 큼(신채호, 장태선, 조득희, 이동구, & 이영길., 1997).
- 산소 농도의 변화를 8주간 관찰한 결과, 기존 포장재와 T1, T2의 경우 농심 기준치를 만족시켜 각각 0.65, 1.92, 0.57%p의 변화를 보였음.
- T3과 T4의 경우 차단성 부족으로 인해(표 8) 산소함량이 크게 증가하며 기준치를 벗어나 제품에 적용할 수 없는 물성임이 확인됨.
- T1의 경우 위 그림 13과 같은 결함이 있음에도 불구하고 산소에 대한 차단성은 매우 우수한 것으로 나타남(그림 14).

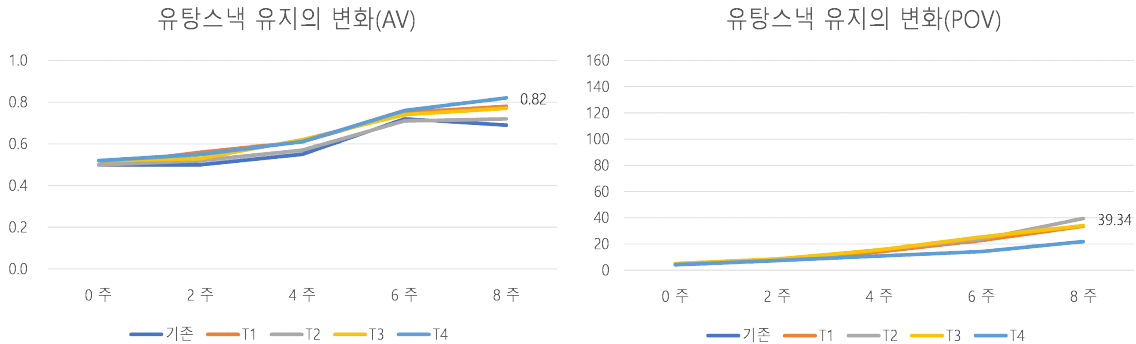
<그림 14 유당스낵 포장재 내 산소함량 변화>



③ 유지 성분의 변화 - Acid Value(AV), Peroxide Value(POV)

- 농심은 내부적으로 유당스낵의 품질관리기준 중 하나로 저장실험간 POV 변화를 40이하로 관리하고 있음.
- 포장재 내 산소함량의 차이(그림 14)가 크게 두드러졌음에도 불구하고 AV, POV 값은 모두 내부 기준을 만족하였음(그림 15).

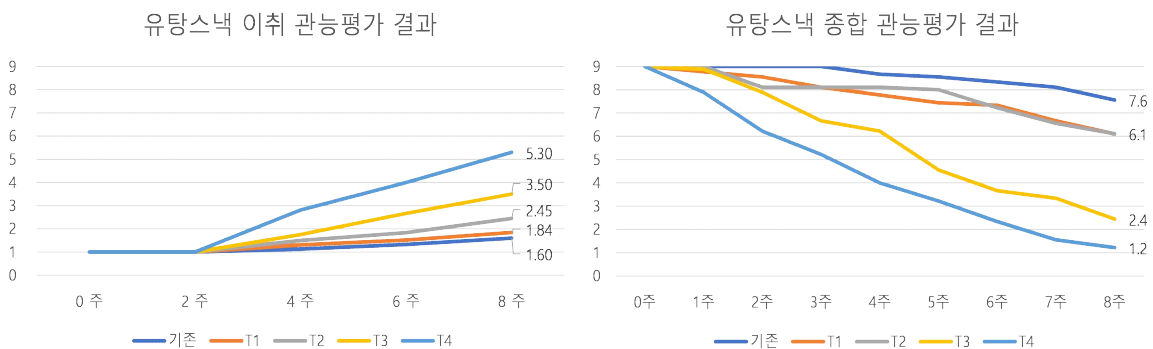
<그림 15 유당스낵 유지 성분의 변화>



④ 관능평가

- 유당스낵의 경우 유당면과 달리 개봉 후 즉시 취식하는 타입이며 별도의 조리 과정이 존재하지 않기에 이취 관능평가와 동시에 상품성과 관련하여 종합 관능평가를 별도로 진행함.
- 유당스낵의 8주간 저장 후 진행한 관능평가 결과는 상호 합치하는 경향을 보임(그림 16). T1과 T2는 기존 포장재 대비 약간 차이는 보였으나 판매 가능한 수준이었고, T3과 T4는 큰 폭으로 품질이 저하되어 각각 5주차, 4주차부터 판매 불가능한 수준으로 판단되었음.
- 이취 관능평가 시 특이사항으로는 T2와 T4 시제품에서 포장재 특유의 화학취(잉크, 접착제 등에서 맡을 수 있는 용매취 등)가 발생하였으며, 그 원인은 확실히 찾아낼 수 없었으나 제품 적용 시 고려해야 할 부분임.
- 종합 관능평가 시 대부분의 패널이 과자가 흡습하여 눅눅한 것에 대해 언급하였음. 차단성 분석 결과(표 8)와 제품의 수분함량 변화(그림 12)에서 알 수 있듯이 T3과 T4의 수분차단성이 상당히 떨어지는 모습을 보였고, 이것이 상품성에 큰 영향을 미친 것을 확인할 수 있음.

<그림 16 유당스낵 포장재 관능평가 결과 (좌)이취 관능평가, (우)종합 관능평가>



## 나. 재활용 수율향상 종이용기 개발(PP코팅)

- 2차년에 농심에서 용기면 포장에 사용 중인 종이용기의 내면 코팅층(LDPE 100%)에 CaCO<sub>3</sub>을 34% 혼합하여 재활용 수율향상 종이용기를 개발 완료함.
- LDPE에 34%의 CaCO<sub>3</sub>를 혼합하여 코팅한 종이용기(이중구조 종이용기)의 경우, Reject된 Flake의 양이 9.41%로 UL 2485 기준인 15%이하를 만족함.
- 3차년에는 종이용기 중 전자레인지 조리 용도로 내면에 PP가 코팅된 종이용기에 대해서 개발을 진행하였음.

### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 1, 2차년과 마찬가지로 PE나 PP가 압출코팅된 종이용기의 재활용 시 종이의 회수율 향상을 위한 목적으로 시제품을 제작하여 테스트를 진행하였음. 시제품 평가 항목은 아래의 표 13과 같음.

<표 10 재활용 수율향상 종이용기 평가 항목>

구분	항목
내수성	누수액을 물선까지 붓고, 20분 후 누수여부 검사
내유성	콩기름을 물선까지 붓고, 30분 후 누유여부 검사
씰링성	1차 : 개봉 후 관능적으로 평가 2차 : Rupture강도 및 Peel 강도 측정









### (2) 재활용 수율향상 종이용기 개발(PP코팅)

#### (가) 재활용 수율향상 종이용기 시제품 평가

- 3차년 시제품은 전자레인지 조리용 종이용기인 PP 코팅 종이용기에 대해서 진행되었으며, 재활용 수율향상 및 개봉 시 용기내면 코팅층의 파괴방지를 위해 PP와 CaCO<sub>3</sub>를 Blending 후 압출코팅 하여 제작함.
- 제작 샘플과 내수/내유성 평가 결과는 아래 표 11와 같음.
- 내수/내유성이 양호하며, Sealing 후 개봉 시 용기의 코팅층이 파괴되어 박리되는 현상이 없음.



<표 11 종이용기 샘플 내수/내유성 평가 결과>

	내수성	내유성	씰링성
<b>[1차년도 시제품]</b> LDPE(38.5%) +LLDPE(16.5%) +CaCO <sub>3</sub> (45%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 매우불량
<b>[2차년도 시제품]</b> LDPE(65%) +CaCO <sub>3</sub> (34%) + 무기물(1%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	 씰링성 : 양호
<b>[3차년도 시제품]</b> PP(65%) +CaCO <sub>3</sub> (34%) + 무기물(1%)	 내수성 : 양호	 내유성 : 양호	씰링성 : 양호

- 재활용 수율향상 종이용기에 대해 실험실 조건에서 품질검증을 완료하였으며, 농심 생산라인과의 적합성을 확인하기 위해 용기면(큰사발) 생산라인에서 테스트를 진행하였음.
- 그 결과 씰링온도는 기존과 동일하게 진행 가능하였고, 320개를 랜덤 샘플링하여 불량검사를 진행한 결과 특이사항이 없었음.
- 현장 샘플에 대한 Lid 개봉 강도 변화, 개봉 시 코팅 늘어남 등의 품질 이슈도 발생하지 않음.

(나) 재활용 수율향상 종이용기 재활용 수율 테스트

- 'UL ECVP(Environmental Claim Validation Procedure)'는 친환경성 주장 타당성을 검사하는 인증 규격으로, 글로벌 안전인증전문기업 'UL(Underwriters Laboratories)'이 주관함.
- 그 중 UL 2485는 코팅 및 합지된 종이의 재활용성에 대한 친환경성을 확인해주는 인증이며, 재활용시 펄프의 회수율이 85%이상(Reject율 15%이하)인 경우에 인증을 받을 수 있으며, 펄프 회수율 85%는 산업구조상 경제성을 갖추기 위한 일반기업의 자발적 재활용 처리 기준임.
- 전자레인지 조리용인 PP 100% Coating 종이용기(신라면블랙사발 용기 기준)의 Reject율은 17.3%로 UL 2485 인증을 받을 수 없는 수준임.
- 신라면블랙사발 종이용기의 내면 코팅 비율을 PP 100%에서 PP65% + CaCO<sub>3</sub> 34%로 변경한 경우 Reject율은 8.4%로 UL 2485 인증을 받을 수 있는 수준임.
- 관련 시험평가서는 아래 그림 17에 나타냄.

<그림 17 재활용 수율향상 종이용기 재활용률 시험평가 결과>

<PP 종이용기 재활용률>

<PP+CaCO<sub>3</sub> 34% 종이용기 재활용률>

**시험평가서**

강원대학교 무질량평가기술연구소  
 강원도 강릉시 강동로11번길 10 강원대학교 무질량평가기술연구소  
 TEL : +82-33-250-4471 FAX : +82-33-250-4472  
 홈페이지 : gupst.gangneung.ac.kr

실험번호 : 2022-001-01  
 제작일 : 2022년 05월 09일  
 실험일자 : 2022년 05월 09일

**1. 신청인**

○ 회사명 : 이비와 (이비와(주) / 이비와(주) / 이비와(주))  
 ○ 주소 : 서울특별시 관악구 신림로 11  
 ○ 담당자 : 2022년 05월 09일  
 ○ 담당직 : 2022년 05월 09일

**2. 시험 항목** : Flake content, %

**3. 평가서 용도** : 고객 평가용

**4. 시험 대상물** : Reference 코팅지 및 시료용기



Reference 코팅지 및 시료용기

**5. 실험결과**

Item	Result
Flake content, %	27.8

**\* 시험조건**

○ 배지 번호 : 100% (이비와(주) 제품 번호) / 100% (이비와(주) 제품 번호)  
 ○ 배지 용량 : 용량 200g / 200g (이비와(주) 제품 번호)  
 ○ 배지 시 용도로 Sizing 처리된 것이 없으므로, 용량 200g의 용량에 해당하는 가용성분을 용해물 추출을 수행할 수 있음  
 ○ IS 285 Environmental Clean System Procedure (ISCI) for Recovery of Paper-Based Products  
 ○ ISCI Standard 275 on-line Screening of pulp Convertible-type equipment  
 ○ Flake 함량 기준  
 ○ 스크린 직경 100μm (Flake) 및 200μm (Paper)

Flake content (%) =  $\frac{\text{Paper (Screening) (이비와(주) 제품 번호)}}{\text{Paper (Screening) (이비와(주) 제품 번호)}} \times 100$

\* 참고 : 1. 이 평가서는 이비와(주) 제작한 제품 및 기타 관련 정보에 대한 평가를 위한 목적으로 사용되며, 이비와(주) 제품 번호, 제조 일자, 용량 및 용량에 대한 정보는 이비와(주) 제품 번호에 포함되어 있습니다.

**시험평가서**

강원대학교 무질량평가기술연구소  
 강원도 강릉시 강동로11번길 10 강원대학교 무질량평가기술연구소  
 TEL : +82-33-250-4471 FAX : +82-33-250-4472  
 홈페이지 : gupst.gangneung.ac.kr

실험번호 : 2022-010-01  
 제작일 : 2022년 05월 09일  
 실험일자 : 2022년 05월 09일

**1. 신청인**

○ 회사명 : 이비와 (이비와(주) / 이비와(주) / 이비와(주))  
 ○ 주소 : 서울특별시 관악구 신림로 11  
 ○ 담당자 : 2022년 05월 09일  
 ○ 담당직 : 2022년 05월 09일

**2. 시험 항목** : Flake content, %

**3. 평가서 용도** : 고객 평가용

**4. 시험 대상물** : Reference 코팅지 및 시료용기

항목	결과	
	코팅용지	시험용 용기
Flake 함량, %	27.8	24.2

**\* 시험조건**

○ 배지 번호 : 100% (이비와(주) 제품 번호) / 100% (이비와(주) 제품 번호)  
 ○ 배지 용량 : 용량 200g / 200g (이비와(주) 제품 번호)  
 ○ 배지 시 용도로 Sizing 처리된 것이 없으므로, 용량 200g의 용량에 해당하는 가용성분을 용해물 추출을 수행할 수 있음  
 ○ IS 285 Environmental Clean System Procedure (ISCI) for Recovery of Paper-Based Products  
 ○ ISCI Standard 275 on-line Screening of pulp Convertible-type equipment  
 ○ Flake 함량 기준  
 ○ 스크린 직경 100μm (Flake) 및 200μm (Paper)

Flake content (%) =  $\frac{\text{Paper (Screening) (이비와(주) 제품 번호)}}{\text{Paper (Screening) (이비와(주) 제품 번호)}} \times 100$

\* 참고 : 1. 이 평가서는 이비와(주) 제작한 제품 및 기타 관련 정보에 대한 평가를 위한 목적으로 사용되며, 이비와(주) 제품 번호, 제조 일자, 용량 및 용량에 대한 정보는 이비와(주) 제품 번호에 포함되어 있습니다.

(3) 재활용 수율향상 종이용기 개발결과

- 종이용기의 내면에 코팅되는 합성수지에 CaCO<sub>3</sub>를 혼합하여 종이용기를 만들 경우 펄프 회수율이 높아짐을 확인함(표 12).

<표 12 코팅방식 별 펄프 회수율 비교>

펄프 회수율(%)	열수조리용(PE코팅)	전자레인지 조리용(PP코팅)
기준 코팅 100%	81.22	82.7
CaCO <sub>3</sub> 34% 함유	90.59	91.6

- 열수조리 및 전자레인지 조리용 종이용기의 코팅층에 34%의 CaCO<sub>3</sub>를 혼합하여 용기를 제조할 경우, 라면 용기로써의 품질(누수, 누유) 및 Lid 개봉성을 만족함을 확인함.
- 재활용 수율 향상 종이용기를 개발하였으나 용기의 단가 상승에 따른 제품 이익률 저하가 예상되어 제품에 적용하지 못함

다. 재활용성 평가

- 2차년에는 합성수지제 연포장의 재활용 공정에 대해 조사하였으며, 이를 바탕으로 현재 사용중인 면/스낵 포장재에 대해 3차년에 재활용성을 검증하기로 계획하였음

- 현재 사용중인 면, 스낵 포장재의 물질 재활용 가능여부를 확인하기 위해 재활용성 평가를 진행하였음
- 재활용성 평가는 2차년도에 검색된 재활용 업체의 생산설비를 활용하여 대량으로 진행하였음
- 물질 재활용의 가능여부는
  - \* 용융/압출을 통한 Pellet화 가능여부
  - \* 생산된 Pellet의 품질 측정을 통한 재원료화 가능성 검토 등으로 평가하기로 하였음

**(1) 현재 사용중인 포장재의 재활용성 평가**

- 현수준 파악을 위해, 유당면 포장재(OPP/AlvmCPP), 유당면용 멀티팩 포장재(OPP/CPP), 스낵용 포장재(OPP/PE/AlvmPET/PE/CPP)를 투입 원료로 선정하였음.
- 아직까지 사용 후 포장재의 수집/선별 시스템이 없어서 사용 전 포장재를 이용하여 테스트를 진행하였음.
- 물질 재활용에 대한 평가를 할 수 있는 시험기관을 찾지 못하여, 합성수지 재활용 업체에 의뢰하여 대량(각 원료별 300kg 이상)으로 테스트를 진행함.
- 재활용 테스트 조건은 다음과 같음.
  - \* 가공방법 : 절단기로 가공 후 압출기 호퍼에 투입
  - \* 가공온도 : 220 ~ 250 ℃
  - \* 가공속도 : 400 ~ 500 kg/h.
  - \* 거름망 : 40 목(500 μm) 거름망 x 2 ea
- 물질 재활용을 위한 재질별 용융/압출 결과는 다음 표13과 같음.

<표 13 포장재 재질별 용융/압출 시 수율>

	유당면 포장재 OPP/AlvmCPP	유당면용 멀티팩 포장재 OPP/CPP	스낵용 포장재 OPP/PE/AlvmPET/ PE/CPP
투입 중량 (kg)	357	387	312
압출 중량 (kg)	350	376	압출불가
수율(%)	98.04	97.16	-

- 예상했던 것과 같이 AlvmPET 필름이 포함된 스낵 포장재의 경우, 용융이 제대로 되지 않아 압출이 불가능하였음. 이는 PP나 PE에 비해 녹는점이 월등히 높은 AlvmPET 필름의 영향으로 예상됨.
- 유당면 포장재와 유당면용 멀티팩 포장재 모두 재활용 테스트시 용융 및 압출이 양호하였으며, 이는 알루미늄 증착층이 물질 재활용시 방해요인으로 작용하지 않는다는 것을 의미함.

- 재활용 수율이 98%와 97%로 나타난 것은 설비에 비해 상대적으로 소량 테스트인 점을 감안하면 차이가 없다고 판단되며 장기간 적용하며 데이터를 확보할 필요가 있다고 판단됨.
- 유당면 포장재, 유당면용 멀티팩 포장재, 스낵용 포장재에 대해 물질 재활용 테스트한 결과
  - \* 알루미늄 증착층은 물질 재활용시 방해요인으로 작용하지 않음.
  - \* PET등과 같이 PE나 PP에 비해 높은 온도에서 용융되는 필름은 물질 재활용을 방해함.
- 따라서 재활용이 용이한 포장재 개발시, ‘알루미늄 증착층’의 제거보다는 PET나 Ny, Al-foil과 같은 녹는점이 매우 상이한 재질의 대체를 목표로 잡는 것이 유리함.
- 또한, 재활용 업체를 통한 물질 재활용 테스트(그림 18)는 원료의 투입량이 매우 과도하기 때문에 소량으로 테스트할 수 있는 장비와 업체를 탐색하는 것이 필요함.
- 생산된 Pellet에 대해 재활용이 가능한지 검증하기 위해 물성 측정 또한 필요하다고 판단됨.

<그림 18 재활용 실험 과정>

유당면 포장재 및 멀티팩 포장재 실험 과정 (OPP/CPP & OPP/AlvmCPP)



(가) 유당면 포장재 및 유당면용 멀티팩 포장재 재활용 테스트

- 유당면 포장재 및 유당면용 멀티팩 포장재의 물질 재활용을 위한 실험 과정은 다음과 같음.
- 두 가지 포장재 모두 용융 및 압출 공정이 양호하였으며, 실험결과를 바탕으로 ‘알루미늄 증착층(Alvm)’이 물질 재활용에 방해가 되지 않음을 확인하였음. 알루미늄 증착층 보다는 알

루미늄이 증착된 필름의 재질이 재활용에 있어서 더 중요한 영향을 준다는 것을 의미함.

- 이렇게 생산된 재생 Pellet의 외관을 비교하면 아래 그림 19와 같음.
- 생산된 재생 Pellet의 색상은 투입된 원료의 인쇄 색상에 따라 차이가 나는 것으로 판단되며, 여러 가지 색상이 혼합되다보니 색상이 짙어지는 경향이 있음.

<그림 19 재생 pellet 외관 비교>



(나) 스낵 포장재 재활용 테스트

- 스낵 포장재의 물질 재활용을 위한 실험 과정은 다음 그림 20과 같음.

<그림 20 재생 pellet 외관 비교>

스낵 포장재 실험 과정 (OPP/PE/AlvmPET/PE/CPP)



- 스낵포장재 실험 결과, 용융이 원활하지 않아 압출 전 '거름망'(메쉬망)의 막힘이 발생하였고, 따라서 압출이 불가능하였음.
- 재활용 업체의 의견 등을 바탕으로 종합적으로 판단할 때, 이는 PET 필름의 녹는점이 높아 PP와 PE가 용융되는 온도에서 충분히 용융이 일어나지 않았기 때문으로 판단됨.(PET를 녹이기 위해 용융 온도를 높이면 PP나 PE가 탄화될 수 있다고 함)

---

## (2) 개발 제품의 재활용성 평가

- 개발 제품의 재활용성 평가는 파일럿 스케일의 소형 압출 설비(그림 21)를 보유한 업체에 의뢰하여 진행함.

<그림 21 재생 pellet 외관 비교>



- 설비의 재원 및 통상적인 가공 조건은 다음과 같음.
  - \* Single Screw 압출 설비(Screw Size : 40 mm)
  - \* 일반적인 가공온도 : 220 ~ 300 °C
  - \* 가공속도 : 2 kg/h.
  - \* 거름망 : 40 목(500 μm) 거름망 x 2 ea

### (가) 현재 사용중인 포장재의 재활용성 평가(소형 압출기)

- 앞서 현재 사용중인 포장재의 재활용성 평가는 재활용 업체의 생산용 설비를 활용하여 진행하였으나, 평가에 있어 시간과 비용이 많이 소요됨에 따라 효율적인 방법으로 소형 압출기를 보유한 업체를 발굴함.
- 소형 압출기에서의 평가 결과가 신빙성을 가지려면, 현재 사용중인 포장재에 대해서 소형 압출기로 테스트한 결과가 기존의 생산용 설비에서 테스트한 결과와 동일해야한다고 판단하여, 현재 사용중인 포장재의 재활용성 평가를 다시 진행함.
- 재활용성 평가는 용융/압출의 가능여부와 생산된 Pellet의 물성 측정으로 판단함.(소량으로 진행되는 테스트이므로 수율 측정이 무의미하다고 판단함)
- 소형 압출기를 이용하여 현재 사용중인 재질의 물질 재활용을 위한 용융/압출 결과는 다음 표 14와 같음.

<표 14 현재 사용중인 포장재 재질별 용융/압출 결과>

	유탕면 포장재 OPP/AlvmCPP	유탕면용 멀티팩 포장재 OPP/CPP	스낵용 포장재 OPP/PE/AlvmPET/PE /CPP
사진			
			
작업조건	220~230도 410 rpm.	220~230도 410 rpm.	270~300도 450~500 rpm.
결과 (특이사항)	용융/압출 양호 Pellet 외관품질 양호	용융/압출 양호 Pellet 외관품질 양호	용융/압출 불가

- 재활용 업체의 생산용 재활용 설비와 동일하게 소형 압출기를 활용한 재활용성 검증에서도 AlvmPET 필름을 포함하고 있는 스낵 포장재만 용융/압출이 불가능하였음.
- 따라서, 대형 재활용 설비와 소형 압출기의 재활용 검증이 동등하다고 판단하였고, 개발 제품에 대해 재활용 검증을 진행하였음.

(나) 개발된 포장재의 재활용성 평가(소형 압출기)

- 본 과제를 통해 유탕면 포장재와 스낵 포장재를 각 1종씩 개발을 진행하였음.
- 유탕면 포장재는 알루미늄 증착층을 대체할 수 있는지 확인하기 위해 Wet Barrier OPP/White CPP로 재질을 개발하였으며, 스낵 포장재는 AlvmPET 필름을 대체하기 위해 고 차단성 AlvmOPP 필름을 활용하여 OPP/PE/AlvmOPP/PE/CPP 재질 구성으로 개발하였음.
- 개발된 포장재에 대한 물질 재활용을 위한 용융/압출 결과는 다음 표15와 같음.

<표 15 개발된 포장재 재질별 용융/압출 결과>

	유당면 포장재 Wet Barrier OPP/White CPP	스낵용 포장재 OPP/PE/AlvmOPP/PE/OPP
사진		
		
작업조건	220~230도 410 rpm.	220~230도 410 rpm.
결과 (특이사항)	용융/압출 양호 Pellet 외관품질 미흡	용융/압출 양호 Pellet 외관품질 양호

- Wet Barrier OPP를 활용한 면포장재의 경우, 용융/압출에는 문제가 없었으나 압출 후 Pellet의 외관을 관능적으로 평가하였을 시 Pellet의 표면이 거칠고 이물감이 느껴짐.  
- 이는 현재 포장재(알루미늄 증착 포함)에서 보지 못한 현상으로 Pellet의 물성 측정을 통해서 품질을 평가할 예정임.

- 고차단성 AlvmOPP 필름을 활용한 스낵포장재의 경우, 용융/압출 및 압출 후 Pellet의 외관 평가에서도 양호하였음.  
- 이를 통해 AlvmPET 필름을 AlvmOPP와 같이 PP나 PE계 필름으로 대체할 경우 물질 재활용을 하는데 문제가 없음을 확인하였음.  
- 개발된 스낵 포장재를 용융/압출한 Pellet에 대해서도 물성 측정을 통해 품질을 평가할 예정임.

### (3) 포장재질별 재활용성 검증 결과

- 유당면 포장재, 유당면용 멀티팩 포장재, 스낵용 포장재에 대해 용융/압출하여 물성을 평가한 결과는 아래 표 16과 같음.

\* 알루미늄 증착층의 유/무에 따른 인장강도와 충격강도 차이는 관찰되지 않았으며, 재활



용 pellet 및 성형제품으로 충분히 활용 가능하다고 판단됨.

\* 다만 스낵용 포장재에 포함된 PET등과 같이 PE나 PP에 비해 높은 온도에서 용융되는 이종의 물질이 혼합된 경우 재활용을 방해할 수 있으며, 이를 동일한 폴리올레핀계 물질로 대체하였을 때 재활용성이 크게 향상되는 것을 확인함.

- 따라서 재활용이 용이한 포장재 개발시, ‘알루미늄 증착층’의 제거보다는 PET나 Ny, Al-foil과 같은 녹는점이 매우 상이한 재질의 대체를 목표로 잡는 것이 유리하다고 결론내릴 수 있음.

<표 16 개발된 포장재 재질별 용융/압출 결과>

	인장강도(kgf)	IZOD 충격강도(Kj/m <sup>2</sup> )
(현재) 유탕면 포장재 OPP/AlvmCPP	37.0	43.0
(현재) 멀티팩 포장재 OPP/CPP	38.6	43.5
(개발) 유탕면 포장재 WetOPP/WhiteCPP	36.3	43.1
(개발)스낵용 포장재 OPP/PE/AlvmOPP/PE/CPP	29.6	43.7

## 라. 재활용이 용이한 포장재 적용 평가

### (1) 유탕면 포장재 적용 검토

- 유탕면 포장재 적용 검토를 위한 제품군은 어두운 색상의 포장재가 사용된 맛짬뽕으로 선정함. 이는 시인성 저하를 최소화 하고, 되도록 짙은 색상으로 광투과로 인한 제품 변패를 최소화하기 위함임.

- 수분함량 변화에 대해 평가했을 때 농심 기준을 넘어서는 결과를 확인할 수 있었으나(그림 7) 유지 성분의 변화(그림 8) 및 관능평가 결과(그림 9)를 볼 때 유통기한 내 안전성 등 이슈는 없을 것으로 판단하고 최종적으로 상품성에 대해 추가로 확인하기 위해 광조사 저장실험을 진행함.

- 시료는 기존 포장재와 Wet Barrier(T1) 포장재가 적용된 맛짬뽕 제품을 활용했으며(표 3), 지난 실험과 마찬가지로 35 °C, 1800 lx 조건에서 진행하였음.

- 저장실험 결과(표 17) 대조군(기존)과 시험군(T1)의 품질 변화 차이가 매우 커 18일 저장한 시제품부터 가시적인 변화를 보였으며, 품질 개선이 이루어질 때 까지 알루미늄 증착을 제거한 포장재의 유탕면 적용은 보류하는 것으로 결정됨.

<표 17 맛짬뽕 적용 대비 광조사 저장성 평가 결과>

저장 기간	0일	18일	36일	54일	72일	90일
기존						
T1						
비고	-	1.26개월	2.52개월	3.78개월	5.04개월	6.30개월

(2) 유탕스낵 포장재 적용 검토

- 재활용이 용이한 유탕스낵 포장재는 이취 등 추가 이슈를 고려하여 T1으로 선정함.
- 제품군은 흡습 및 산화로 인한 상품성 저하를 최소화하기 위해 생산 과정에서 당 코팅되는 조청유과를 선정하였음.
- 조청유과 적용 검토를 위해 표 18과 같이 2종의 시제품을 제조하였고, 당시 현장에서 PET를 OPP로 대체한 T1 포장재의 경우 기존 포장재 대비 열접착 온도가 약 10℃ 내려간 것을 확인하였음.
- 이후 2종의 시제품으로 저장성평가와 관능평가를 진행하였으며 유통안정성 평가를 진행함. 저장성 평가항목은 표 1과 같았으며, 유통안정성 평가로는 포장재의 찌름강도를 측정하고 포장 직후 및 낙하테스트 후 편홀이 발생한 수를 확인함.
- 마지막으로 조청유과의 친환경 포장재 적용과 관련하여 기업의 입장에서는 이를 마케팅 및 홍보의 관점에서 충분히 활용할 수 있어야 함. 또한 소비자 입장에서 해당 컨셉의 포장재를 어떻게 받아들이는지, 소비자가 인상에 어떠한 반응을 보일지 등 정보가 필요하기 때문에 실제 외부 고객들을 대상으로 고객 설문을 진행함.

<표 18 조청유과 시제품 2종 정보 및 생산 조건>

	기존	T1
외형		
재질	OPP/PE/AlvmPET/ PE/ CPP	OPP/PE/AlvmOPP/ PE/ CPP
생산속도	50 pack/min	50 pack/min
열접착 온도	Front : 160 Rear : 164 Center : 128	Front : 150 Rear : 150 Center : 128

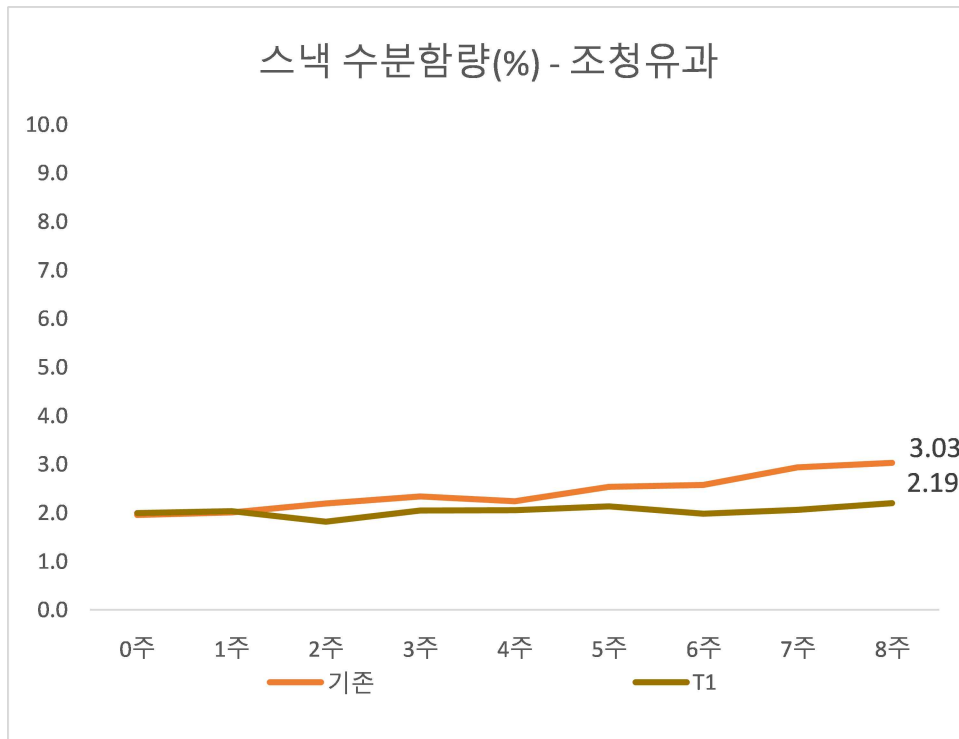
(가) 조청유과 저장성 평가

- 조청유과 적용 검토를 위해 표 3과 같이 2종의 시제품을 제조하였고 저장성을 확인하기 위해 수분함량의 변화, 포장재 내 산소 함량의 변화, 유지 성분의 변화, 종합 관능평가를 진행하였음.
- 조청유과를 8주간 저장한 결과, 선행된 실험들의 결과에 비교할 때 크게 적은 변화가 관찰되었으며, 두꺼운 당 코팅이 제품의 품질 유지에 긍정적인 영향을 끼쳤음이 확인됨(김아나, 소슬아, 박찬양, 이교연, & 최성길., 2016).

① 조청유과 수분함량의 변화

- 조청유과를 대상으로 저장실험을 진행한 결과 수분함량 변화는 기존 제품과 동등 수준임을 확인하였음(그림 22). 또한 두 시제품 모두 농심 내부 기준을 만족하였음.

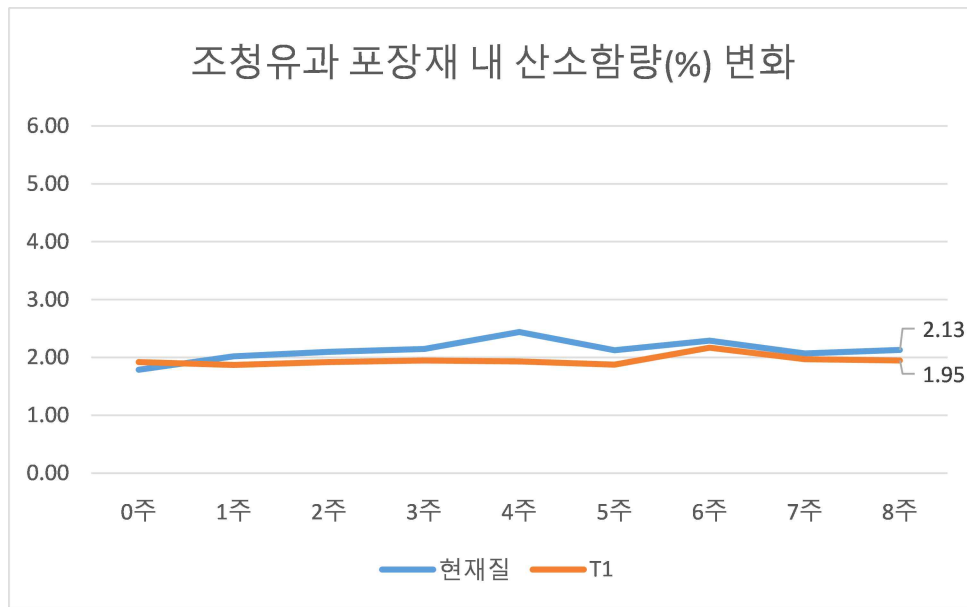
<그림 22 조청유과 수분함량 변화>



② 조청유과 포장재 내 산소 농도의 변화

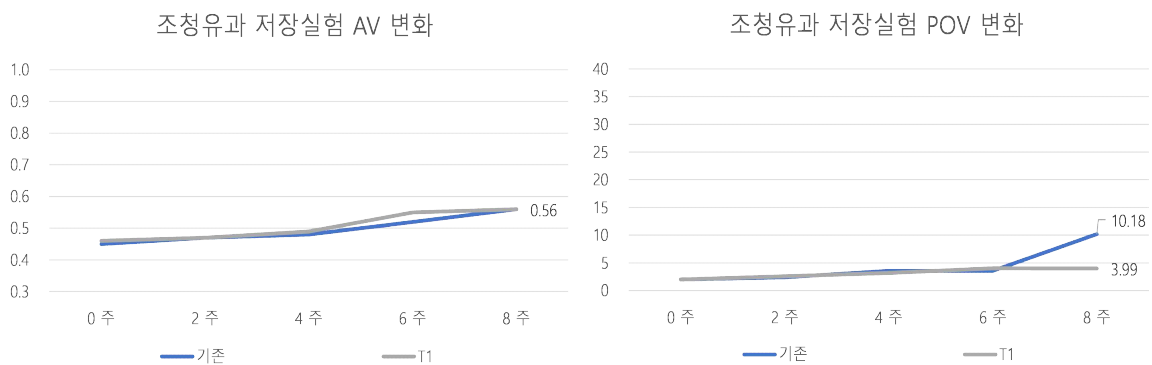
- 포장재 내 산소 농도의 변화(그림 23) 또한 수분함량 변화(그림 17)와 마찬가지로 큰 움직임이 보이지 않음. 8주간 저장한 결과 대조군(기존)과 시험군(T1)의 변화는 각각 0.34 %, 0.03%에 불과하였고 포장 상태는 매우 양호하다고 판단할 수 있음.

<그림 23 조청유과 포장재 내 산소함량 변화>



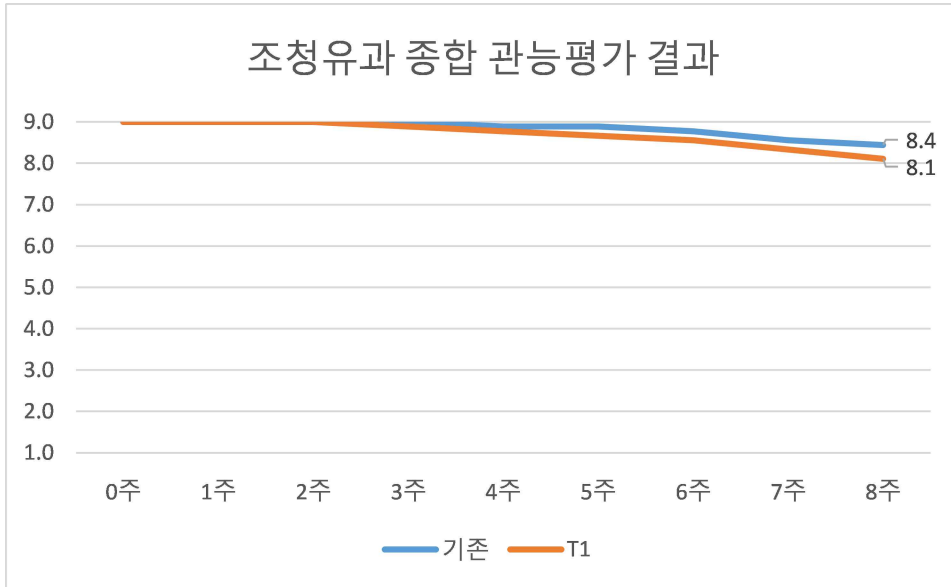
③ 조청유과 유지 성분의 변화 - Acid Value(AV), Peroxide Value(POV)  
 - 조청유과의 유지 성분 변화를 8주간 관찰하였고, 2종 시제품 모두 농심 기준(POV 40 미만)을 만족하는 것을 확인함(그림 24).

<그림 24 조청유과 유지 성분의 변화>



④ 조청유과 관능평가  
 - 유당스낵의 경우 유당면과 달리 개봉 후 즉시 취식하는 타입이며 별도의 조리 과정이 존재하지 않기에 이취 관능평가와 동시에 상품성과 관련하여 종합 관능평가를 별도로 진행함.  
 - 관능평가 결과(그림 25), 저장실험 종료 후에도 기준과 T1의 관능평가 점수는 각각 8.4점, 8.1점으로 매우 우수했으며 앞선 산소, 수분, 유지 성분의 변화를 관찰한 결과와(그림 22~24) 합치하는 결과임을 확인함.

<그림 25 조청유과 종합 관능평가 결과>



(나) 조청유과 유통안정성 평가

- 유당스낵의 경우 종종 포장 직후 핀홀이 발생하는 문제가 발생하는데, 이것은 수평형 포장 과정을 거치는 유당면과는 달리 수직형 포장기를 사용하기 때문임.
- 수직형 포장기를 이용할 경우 제품의 이송 후 계량기와 포머를 통과하여 필로우 파우치 형태로 포장이 되는데, 이 때 제품 낱알의 형상과 무게에 따라 포장이 짝혀 핀홀이 발생하는 경우가 있음. 또한 유통간 취급 부주의나 외부 환경에 따른 충격에 의해서도 핀홀이 발생하며 라인 및 유통환경에서의 핀홀 발생을 억제하는 것 또한 포장재 선정에 중요한 기준임.

① 조청유과 유통안정성 평가 방법

- 식품은 제품의 모양과 경도 등의 물성이 항상 일정할 수 없으며 대기의 온습도나 반죽의 상태, 기름의 온도 등 다양한 원인에 의해 실험 환경 및 시료가 변화하는 경향이 있음.
- 위와 같은 이유로 포장재의 찌름강도와 포장 직후 핀홀 발생 수와 낙하실험 후 핀홀 발생 수를 수침하여 확인 및 계수하여 시험군(기존)과 대조군(T1)의 결과를 비교하였으며, 특히 낙하실험은 2차례에 걸쳐 진행하였음.
- 낙하테스트는 농심 내 기준에 따라 진행하였으며 그 기준은 아래와 같음.

\* 농심 낙하테스트 기준

1.8 m 높이에서 정낙하(바닥면으로 수평하게 떨어지도록) 3회를 실시한 뒤 수침하여 핀홀 발생 여부를 확인함.

② 조청유과 유통안정성 평가 결과

- 조청유과 제품을 기존 포장재와 T1으로 각각 포장하여 포장 직후, 및 낙하테스트 후 핀홀 발생 수를 계수하였으며, 아래 표 19와 같이 두 시료의 내핀홀성은 상호 유사한 수준이었음.
- 조청유과의 경우 낱알이 무겁고 표면일 날카롭기 때문에 내핀홀성에 대한 요구가 꾸준한 제

품임. 구체적인 수치를 언급할 수는 없으나 포장재 전체 두께는 기존과 대비하여 T1이 10  $\mu\text{m}$  이상 얇았음에도 불구하고 핀홀 개수는 약간 적게 관찰되어 AlvmPET 대비 AlvmOPP 가 내핀홀성에 기여하는 바가 크다고 판단됨.

<표 19 조청유과 유통안정성 평가 결과>

		기존	T1
짜름강도 (kgf) / 표준편차		2.31 / 0.08	2.31 / 0.04
1차	포장 후 핀홀	0/60 ea	0/60 ea
	낙하 후 핀홀	17/200 ea	15/200 ea
2차	포장 후 핀홀	0/60 ea	0/60 ea
	낙하 후 핀홀	16/200 ea	10/200 ea

(다) 조청유과 친환경 포장 적용에 관한 고객 설문

- 해당 설문은 총 600명의 고객을 대상으로 21년 9월 시행되었음.
- 크게 ① 친환경 포장에 대한 인식과 ② 조청유과 현재 취식빈도 및 포장재 사용 시 취식 빈도 변화, 그리고 ③ 친환경 포장재 사용 시 가격 상승 동의 여부 및 적정 상승 가격에 대해 파악하고자 아래와 같이 항목을 구성함(표 20).

<표 20 조청유과 친환경 포장 적용 설문 문항>

조청유과 설문 문항	
1	귀하께서는 친환경 포장에 대해얼마나 알고 있으신가요?
2	평소 제품을 구매하실 때 친환경 포장 제품을 고려하십니까?
3	친환경 포장재를 이용하여 스낵 제품을 포장한다면, 구입하실 의향이 있으십니까?
4	평소 조청유과를 얼마나 자주 드시나요?
5	조청유과에 친환경 포장재를 사용한다면, 조청유과의 취식 빈도는 어떻게 변화하실 것 같습니까?
6	친환경 포장재를 사용한다면, 제품 가격이 상승하는 것에 얼마나 동의하십니까?
6-1	친환경 포장재를 사용 시 제품 가격이 상승하는 것에 동의하셨는데, 어느 정도 가격이 상승하는 것이 적당하다고 생각하십니까?

<그림 26 조청유과 친환경 포장 적용 설문지>

**기타 비유**

**전제 문항**

친환경 포장이란  
 사용자는 용도의 알을 풀이고 재질들이 용이하도록 개선하거나  
 유해물질과 미생학상의 방출량을 줄이는 등 안전과 환경을 생각하는 포장을 말합니다.

가. 귀하께서는 친환경 포장에 대해 얼마나 알고 있으신가요?  
 전혀 모른다    잘 모른다    보통이다    자세히 알고 있다    매우 자세히 알고 있다

나. 평소 제품을 구매하실 때 친환경 포장 제품을 고려하십니까?  
 전혀 고려하지 않는다    고려하는 않는다    보통이다    고려하는 것이다    매우 고려한다

다. 친환경 포장재를 이용하여 스낵 제품을 포장한다면 구입하실 의향이 있으십니까?  
 전혀 구입할 의향이 없다    구입할 의향이 없다    보통이다    구입할 의향이 있다    매우 구입할 의향이 있다

라. 평소 포장수준을 얼마나 자주 표시하나요?  
 (3~5에서 (1)항수준과 일치하면) 1번  
 1. 일주일당 4번 이상    2. 일주일당 3번    3. 일주일당 2번  
 4. 일주일당 1번    5. 2주일당 1번    6. 한 달에 1번  
 7. 한 달에 1번 미만    8. 전혀 적지 않음

마. 조청유과가 친환경 포장재를 사용한다면 조청유과의 특이 정보는 어떻게 변화할 것 같습니까?  
 (3~4에서 (2)항수준과 일치하면)  
 매우 좋아질 것이다    좋아질 것이다    변화 없을    줄어질 것이다    매우 좋아질 것이다

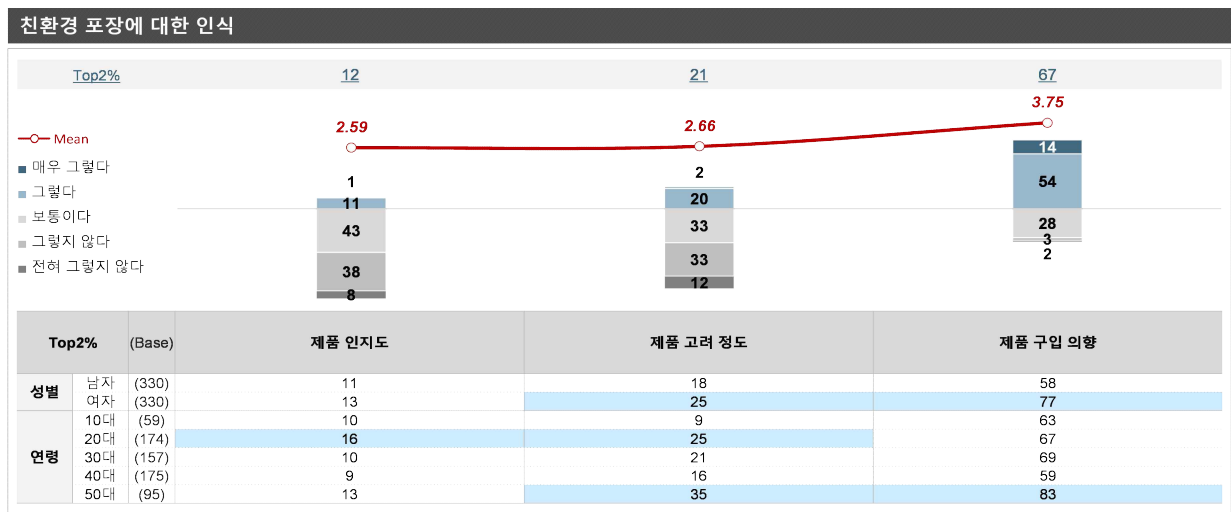
바. 친환경 포장재를 사용하면 제품 가격이 상승하는 것에 얼마나 우려하십니까?  
 전혀 우려하지 않는다    우려하지 않는다    중립적이다    매우 우려한다

사. 친환경 포장재를 사용 시 제품 가격이 상승하는 것에 동의하십니까. 어느 정도 가격이 상승하는 것에 동의하십니까?  
 (3~4에서 (2)항수준과 일치하면)  
 1. 기존 제품 가격에서 10% 이상    2. 기존 제품 가격에서 20% 이상  
 3. 기존 제품 가격에서 30% 이하지 않음    4. 기존 제품 가격에서 30% 이상

① 친환경 포장에 대한 인식

- 친환경 포장에 대한 인식은 설문 문항 1~3번(표 20)과 연관지어 해석함.
- 친환경 포장에 대해 인지하고 있는 응답자는 전체 응답자의 12%이며, 20대에서 비교적 높음.
- 전체 응답자의 21%가 구매 시 친환경 포장 제품을 고려하는 것으로 나타났으며, 특히 여성과 20대, 50대에서 비교적 높음.
- 친환경 포장재 스낵 제품에 대해 구입 의향은 전체 응답자의 67%이며, 여성과 50대에서 상대적으로 높게 나타남.

<그림 27 친환경 포장에 대한 소비자 인식>



② 조청유과 현재 취식빈도 및 포장재 사용 시 취식 빈도 변화

- 취식 빈도의 변화는 설문 문항 4~5번(표 20)과 연관지어 해석함.
- 스낵 제품 중 조청유과의 취식빈도는 한 달에 1번 미만이 43%로 가장 높게 나타남.
- 한편, 2주에 1번 이상 취식하는 비율은 12%로 나타남.
- 만약 조청유과에 친환경 포장재를 사용할 시 취식 빈도가 증가할 것으로 보는 비율은 49%로 나타남.

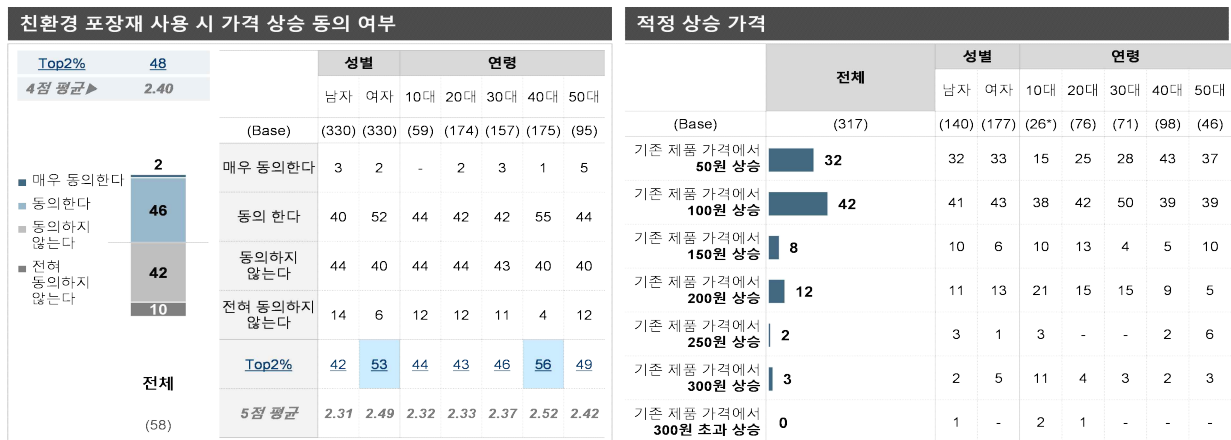
<그림 28 조청유과 취식 빈도 관련 소비자 반응>



③ 친환경 포장재 사용 시 가격 상승 동의 여부 및 적정 상승 가격

- 가격에 대한 반응은 설문 문항 6~1번(표 20)과 연관지어 해석함.
- 친환경 포장재를 사용 시 제품 가격에 반영되어 가격이 상승하는 것에 동의하는 비율은 48%로 나타났으며, 특히 여성과 40대에서 동의하는 비율이 비교적 높음.
- 적정한 상승 가격으로는 100원 상승이 42%로 가장 높았으며, 차순으로 50원 상승(32%)이 높게 나타남.

<그림 29 친환경 포장재 적용 조청유과의 가격 변동에 대한 소비자 반응>





(라) 조청유과 적용 검토 결과

- 8주간 고온다습조건 하 저장성 실험을 진행한 결과, T1 포장재의 경우 기존 포장재와 비교할 때 물성 저하가 없다고 판단할 수 있으며, 조청유과로 제품군을 한정한다면 실제 포장재를 적용하기에 문제가 없을 것으로 사료됨.
- 재활용이 용이한 포장재의 적용은 대상 제품을 조청유과로 할 때 기술적으로 충분히 가능하다고 결론지을 수 있음. 수분과 유지의 변화가 매우 적게 나타났으며(그림 22, 24) 관능적으로도 기존 제품과 큰 차이가 없었음(그림 25).
- 다만 포장재 특성상 열적 안정성이 저하되어 적용 후 얼마간 열접착 공정에 대한 모니터링과 물성 및 공정 최적화가 필요할 것으로 예상됨. 동일한 온도로 열접착을 시도한 결과(160℃) T1 포장재의 경우 과열로 인한 주름이 발생한 것을 확인함(그림 30).
- 소비자 반응과 관련해서는 상당한 숫자의 고객이 친환경 포장에 대한 긍정적인 반응을 보였으며(그림 27, 28) 가격 상승에 대해서도 절반가량의 고객이 동의하는 모습을 보임(그림 29). 소비자가격을 유지할 수 있다면 충분히 적용 시 마케팅 효과를 누릴 수 있다고 판단됨. 그러나 얇아진 포장재가 고객들로 하여금 취급/취식 간 어떠한 관능적 영향을 미칠지 미지수이며 포장재의 두께와 무게 등 취급감이 고객에게 영향을 미친다는 연구 결과가 있음(Kampfer, K., Leischnig, A., Ivens, B. S., & Spence, C., 2017).
- 현재 포장재 적용과 관련하여 내부적으로 검토 중에 있으며 위와 같은 이유로 제품화 의사결정이 미뤄지고 있음.

<그림 30 조청유과 열안정성 저하>



# 1. 1차년도

## 가. 시제품 테스트

### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 타겟 제품인 면, 스낵, 용기의 재질 단일화를 목표로 기존 제품과 동등 수준의 물성 구현을 위한 배리어성 및 재질 적합성을 평가함.
- PP를 제외한 이중 소재 (AlvmPET / PET / Al-foil) 의 배리어 물성을 대체 가능한 차단성 올레핀계 필름을 수급, 평가함으로써 적합성 및 재질별 Data를 확보함.
- 실험은 재질에 따라 크게 면, 스낵, 용기 포장재로 구분하였으며 사용되는 차단성 소재, 필름 종류에 따라 크게 1차 ,2차로 구분함.
- 포장재로 제작된 샘플의 평가는 농심 라인 작업성 검토를 위해 현장에 투입, 가공 되었으며 이후 농심 주관 하 기본 물성 및 저장성 평가 등을 추가 실시함.

### (2) 면 포장재 시제품 제작 및 평가

- 현 면포장재의 경우 차단성 소재로써 알루미늄 증착층을 사용하고 있으며 이에 이중 소재인 금속 층을 제외한 PP 단일재질로 구성된 시제품을 제작 평가함.
- 차단성 소재로써 올레핀계 투명증착 필름을 이용하였으며, 비교 대조군으로써 차단성 기능이 없는 PP단일 재질 시제품을 제작, 평가함. 이는 적절한 유니소재 포장재 개발을 위한 재질별 차단성 및 보존성 Data 확보에 목적이 있음.
- 포장재 제조는 현 제품과 동일하게 BOPP 필름의 내측 인쇄된 면에 그라비아 실린더를 이용, 접착제를 도포하여 합지하는 Dry Lamintion 공정을 적용함.
- 포장재 자체의 차단성 측정 결과는 아래 표와 같으며 투명증착 필름 사용 시 현 포장재 대비 투기도 측면에서 월등히 우수한 특성을 확인할 수 있음.

구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
투명증착(AIOx)OPP	16	1.92g	0.5cc	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH

<표1. Sample用 차단성Film data>

구분		현 제품	샘플1	샘플2
재질		OPP/Al증착CPP	투명증착OPP/CPP	OPP/CPP
차단성	WVTR	1.86	2.25	4.37
	OTR	9.66	1.13	977
사진				
비고				

<표2. Sample 차단성 비교 data>

- 보존성 평가를 위해 농심 양산 라인에서 내용물 충전 작업을 진행하였고, 동일한 합지 공정에 따라 제작된 포장재인 만큼 농심 라인 작업 시 특이사항은 없음.
- 내용물 충전 후 8주 간 농심에서 저장성 평가를 진행한 결과 현 제품 대비 투명증착 필름을 사용한 경우 대체 사용하기 가능한 것으로 평가함. 다만 외관 인쇄성 향상 및 은폐력, 빛 차단성 등의 외관 물성 향상이 요구됨.
- 샘플1의 경우 차단성은 우수하나 원가상승에 따른 대체 저가 재질 사양의 검토가 필요하며, 샘플2 는 산소차단성 측면에서 추가적인 보완이 필요함.

### (3) 스낵포장재 시제품 제작 및 평가






- 스낵 포장재의 경우 차단성 소재로써 알루미늄이 증착된 PET층이 포함되어 있으며 단일소재로 대체하고자 PP올레핀계 투명증착 필름 및 Al증착 OPP필름을 활용, 시제품을 제작함.
- 시제품 제작 및 평가는 실험 진행 일정에 따라 1차와 2차로 구분하여 진행하였으며 포장재 가공 방식에 따른 차이점을 검증해보고자 접착제를 도포, 합지하는 Dry Lamination 방식과 PE 수지를 접착 매개체로 사용, 압출 코팅하는 Extrusion 방식으로 진행함.
- 차단층으로 사용된 올레핀계PP 필름의 경우 동일한 포장재 가공 방식이라고 하더라도 필름 자체가 가지는 고유 배리어 값이 다름에 따라 시제품을 차수를 구분해 제작 하였으며 이는 적절한 유니소재 포장재 개발을 위한 재질별 Data 확보 목적임.

#### (가) 1차 샘플 테스트 진행

- 1차 시제품의 경우 사용된 포장재의 구성 및 차단성 필름/포장재 측정 결과는 아래와 같으며 투명증착 차단성 필름 사용시 현 포장재 대비 투기도 측면에서 우수한 특성을 확인함.

구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
Al증착PET	12	4.7g	2.1cc	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH
투명증착(AIOx)OPP	16	1.92g	0.5cc	
Al증착CPP	30	4.2g	133cc	

<표3. 1차 Sample用 차단성Film 비교 data>

구분	현 제품	샘플1	샘플2	샘플3	샘플4	
재질	OPP/PE/Al증착 PET/PE/CPP	OPP/PE/투명 증착OPP/PE/CP P	OPP/투명증 착OPP/CPP	투명증착OPP/ PE/CPP	OPP/ Al증착CPP	
차단성	WVTR	0.24	0.71	1.49	3.56	0.95
	OTR	0.79	0.08	0.03	0.61	13.13
사진						
비고			Pinhole 발생			

<표4. 1차 Sample 차단성 비교 data>

- 가공 방식에 따라서는 접착제를 도포, 합지한 Dry Lamination의 경우 포장재의 Brittle한 특성으로 내용물 충전 후 Side 및 bottom부 열접착 시 Seal 접점부에서 핀홀(Pinhole)이 쉽게 발생됨. Seal온도 상향 조정 (150°C→170°C) 등 작업 조건 변경해 보았으나 동일 현상 지속 발생함.
- PE를 Extrusion 코팅하여 가공한 포장재 사양의 경우 내용물 충전 및 Sealing 등 농심 Line 작업성은 우수하나 포장재를 제조하는데 있어 고온(~300°C)의 압출된 수지가 투명증착 및 Al 증착면에 코팅됨에 따라 증착 도막이 깨지는 현상이 발생됨. 이로 인해 차단성 기능 저하가 발생 가능하며 필름 층간 접착력이 저하되어 Delami 발생도 가능함.
- 2layer 구조의 경우 차단성을 보유한 필름을 외곽 인쇄용 및 내층 Sealant 용도로 사용하였으며 투명증착 필름을 사용한 경우 고유 차단성 특성에 따라 산소 차단성은 높은 수치를 나타내었으나 수분 차단성은 오히려 저감되는 모습을 보임. 반면 Al증착 CPP의 경우 수분 및 산소 차단성 모두 개선되었으나 PP 필름 자체가 가지고 있는 산소 차단성의 한계로 인해 스낵 포장재로 사용에는 한계를 나타냄.
- 내용물이 충전된 포장재는 총 8주간 고온다습 조건하 (40°C, 90%RH) 농심에서 저장성 평가를 진행하였고 그 결과 샘플3과 샘플4의 경우 스낵 포장용으로 부적합 평가함. 반면 샘플1과 샘플2의 경우 차단성은 적합하나 원가상승 및 재질 단순화 등의 요구 조건에는 미흡하여 신규 차단성 소재 및 공정 개선을 통한 추가 테스트가 필요함.

(나) 2차 샘플 테스트 진행


- 2차 시제품의 경우 2layer 구조, Dry Lamination 사양의 샘플로 구성하여 차단성

데이터 검증을 진행함. 스내용 포장재로써 적용 가능한 범위의 차단성 Range data 확보를 목적으로  
차단성 소재로는 Al증착 PP필름 및 투명증착 PP필름을 적용.

구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
투명증착(AIOx)OPP	20	0.44g	6.59cc	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH
Al증착OPP (A)	18	0.14g	23.27cc	
Al증착OPP (B)	18	1.54g	65.28cc	

<표5. 2차 Sample用 차단성Film 비교 data>

- 일반적으로 Al증착 PP필름의 경우 PP필름 고유 특성상 낮은 수분 투과도 값과 높은 투기도 수치를 지님. 증착 방식에 따라서 산소 투과도 값에 차이를 보이기는 하는데 일반적인 와이어 증착 방식의 경우 100cc 진후 수준의 투기도 값을, 상대적으로 증착 밀도가 높은 도가니 증착의 경우 10~20cc 수준으로 투기도 수치를 지님.

구분	샘플1	샘플2	샘플3	
재질	투명증착OPP/OPP	Al증착OPP/OPP	Al증착OPP/OPP	
차단성	WVTR	0.91	0.18	0.44
	OTR	0.5	3.42	8.75
사진				
비고	내용물 충전 초기 핀홀 발생 없었으나 작업 중간, 말미 샘플에 핀홀 발생			

<표6. 2차 Sample 차단성 비교 data>

- 투명증착 PP필름을 사용한 경우 WVTR, OTR 모두 우수한 측정치를 보였고, Al증착 OPP의 경우 필름 자체의 산소 투과도 수치에 따라 차등한 결과치를 얻었으나 상대적으로 현 제품 대비 미흡한 산소 차단성으로 인해 스내용도로 사용에는 제한.
- 3종의 시제품 모두 접착제를 사용한 Lamination 사양으로 투명증착 필름을 중층에 삽입한 3layer 구조 대비 필름 두께 저감에 따라 내용물 충전 작업 초기 핀홀 발생 없었으나 진행되는 중간, 간헐적으로 시제품 일부에 핀홀이 발생됨. 이에 농심에서 8주간 진행되는 저장성 평가 시간이 Sealer로 추가 Sealing 후 평가를 진행함.
- 1차 시제품과 마찬가지로 8주간 저장성 평가를 진행할 함.

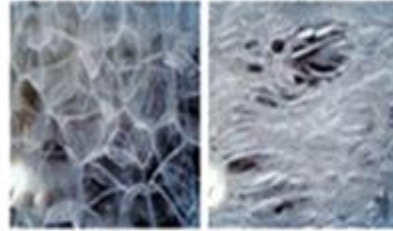
#### (4) PP단일 재질 발포용기 시제품 제작 및 평가

- 컵라면 용기로써 현재 사용 중인 종이용기 및 PS용기를 대체가능하며 전자레인지에서도 조리가 가능한 PP단일 재질 발포용기의 개발을 검토, 추진함.

- 고온에서 조리가 가능하기 위해서는 일반 PP보다 높은 온도에서 견디는 고용융 강도 PP(High Melting Strength PP)를 주원료로 사용함. 이러한 HMS PP는 long chain branch PP 구조를 지니고 있는데 이 chain들이 용융온도 이상에서도 쪼여 있어 상대적으로 일반 PP보다 높은 기계적인 물성을 지니게 함. 또한 내열성을 지닌 HMS PP는 용융온도 (130-180°C)에서 발포가스 주입 시 안정적인 cell형성이 가능해 발포용기로 제조가 가능함.



<그림1. HMS PP>



<그림2. 좌 HMS PP, 우 일반 PP>

- 국내에는 PP발포용기 관련 설비 및 제조 업체가 없어 해외 업체와 연계, 진행 중이며 단가와 단열 성능을 고려해 사출형태가 아닌 2 Piece cup 형태의 발포용기의 개발을 추진함.

(가) PP Sheet 발포 및 인쇄 테스트

- 현재 사용 중인 PS용기의 경우 단열성능 유지를 위해 일반적으로 7~15배 발포 진행하나 PP발포의 경우 상대적으로 낮은 열용융 강도로 인해 최대 5~7배 수준 발포가 가능함.
- 시제품의 경우 단열성 고려해 7배 발포 (200 Density) 수준으로 sheet를 제작하였으며 인쇄 방식에 따라 필름 내면에 인쇄하여 sheet에 합지하는 그라비아 방식과 제작된 sheet 표면에 인쇄하는 offset 방식으로 구분하여 진행.
- 그라비아 인쇄의 경우 필름 내면에 인쇄 실린더를 이용, 그라비아 잉크를 전이시킨 뒤 건조하는 방법이며, Offset의 경우 UV전용 잉크 도포 후 UV lamp로 경화하는 방식임.
- 그라비아 인쇄의 경우 sheet 합지 시 수축이나 주름 문제 등을 고려, 2종의 PP필름을 (CPP, BOPP) 사용하였으며, 연포장 분야의 범용인쇄 방식으로 개조성 등 인쇄 양호함.
- Offset 인쇄의 경우 발포 Sheet의 고두께, 두께 불균일, soft한 특성으로 인해 인쇄 핀트 불량 및 잉크 도포 불량, 이송 불량 등 문제점 발생. 이와 같은 인쇄 불량 및 외관 물성 저하로 인해 컵 성형 평가 시 경우 Offset 시편은 제외함.



<그림3. Offset 인쇄 샘플, 15배 확대>



<그림4. 그라비아 인쇄 샘플, 15배 확대>

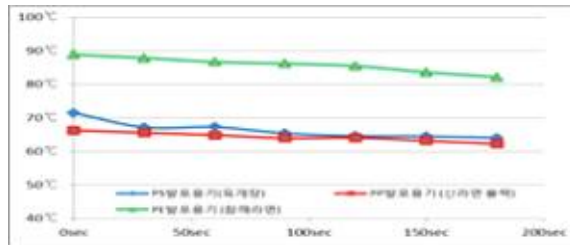
(나) 2 Piece Cup 성형 테스트

- 컵성형 시 그라비아 인쇄 사양(인쇄된 film과 sheet합지, 인쇄PPfilm/PP/PPsheet)의 경우 인쇄 필름과 발포 sheet 합지 시 사용된 PP압출 코팅 수지 도포량으로 인해 sheet 두께가 상승하였으며 이로 인한 Fringe 성형이 미흡함.



<그림5. 발포 sheet 내면 주름 발생> <그림6. Cup 성형 불량>

- PP film의 연신 성능 제한으로 인해 컵 내측에 주름 및 fringe 성형 불량이 발생되었으며 합지 시 고열의 압출 PP수지에 의한 인쇄 수축 현상 발생. 상대적으로 OPP 보다는 CPP가 연신이 용이해 주름 문제는 양호하나 마찬가지로 Fringe 성형 및 인쇄 수축 등은 동일하게 발생됨.
- 또한 그라비아 인쇄 샘플의 경우 표면에 인쇄 필름이 부착되어 있어 용기를 손으로 잡을 때 밀착되는 면적 증가로 인해 고온의 물을 용기 내 주입 시 실측 온도는 현 시판중인 PS, PE 발포 용기와 유사하거나 오히려 낮았으나 체감 온도는 상승함.



<표7. 제품별 전자레인지 조리 후 2분간 표면온도 측정 결과>

- 최종적으로 현 발포용기 대비 인쇄성 및 단열성, 컵 성형성 등 요구물성을 검토해보았을 때 물성 전반에 걸쳐 미흡한 부분이 확인됨. 향후 발포 원료 및 컵 자체의 내열 성능, 적정 인쇄 방식의 개발이 필요하며 현 수준의 원료, 가공방식으로는 제품화가 어려울 것으로 판단함. 이에 2차년에는 해당 PP단일 재질 발포용기에 대한 추가 연구는 진행을 중지함.

## 나. 차단성 코팅 기술 개발

### (1) 차단성 코팅 액제 기반 가공 공정 기술 개발

- Wet 코팅을 통해 차단성을 부여하는데 있어 Barrier 코팅액 개발 뿐만 아니라 정교한 코팅 제어 기술 역시 중요하게 여겨지고 있으며 본 과제에서 이러한 코팅 가공

기술에 초점을 맞춰 기초 연구를 진행함.

- 고분자 필름의 기체 차단성을 향상시키기 위해서 다양한 연구가 진행되어 오고 있으며 PVA와 같은 극성 고분자를 이용한 연구가 대표적임. 이에 따라 코팅 액제로는 PVA Nanoclay solution을 이용하였으며 코팅 가공으로는 마이크로 그라비아 방식을 선정함.
- 마이크로 그라비아 코팅 방식은 nip roll이 없기 때문에 두께가 얇은 기재에 대하여 안정된 박막코팅 제작이 가능하며 코팅 용액에 대한 응집이 없다는 장점을 가지고 있음. 그라비아 롤의 리버스 회전에 따른 smoothing 도 기대할 수 있으며 공정 특성상 저가격 대량 생산으로 손쉽고 균일한 박막 코팅이 가능함. 또한 그라비아 코팅 기술은 웹을 지지하는 두 개의 롤러를 이용하여 마이크로 그라비아 롤에 웹을 미세하게 접촉하여 코팅하기 때문에 초박막 코팅이 가능함.



Unwinder 부분      Coating 부분      Rewinder 부분

<그림7. 울촌화학 내부 멀티 Coater 장비>

(가) 마이크로 그라비아 코팅 테스트

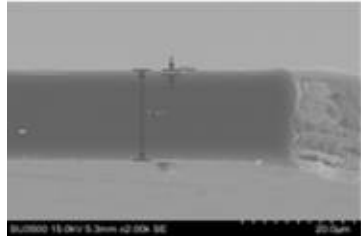
- 차단성 액제의 개발이 완료된 상태가 아니기에 일반적인 배리어 액제로 사용되는 PVA 나노클레이 액제를 활용해 코팅 실험을 진행하였으며 가공 방식으로는 마이크로 그라비아를 이용해 코팅성 평가를 진행함.

공정	구분	조건	비고
마이크로 그라비아	필름	OPP 20	
	도포량	1 $\mu\text{m}$	
	선수	#. 43.2	
	속도	10 m / min	
건조온도	$^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$ ~90 $^{\circ}\text{C}$	

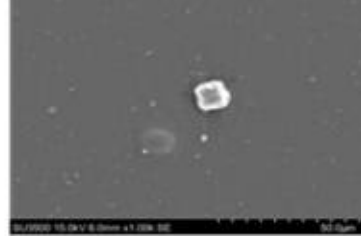
<표8. 마이크로 그라비아 코팅 조건>

- 코팅 시 도포량은 1 $\mu\text{m}$ 를 타겟으로 코팅 실린더 선수 및 스피드 등을 조정함.
- 작업 스피드 및 고형분 함량 등에 따라 코팅 기포 자욱 등 불량 발생되었으며 건조 과정 중 고온 및 저 스피드로 원단 수축으로 인한 골주름 발생함. 반면 건조 미흡 시에는 블로킹 발생되기도 함.





좌) (단면) 코팅 두께



우) (표면) 코팅 표면 촬영

<그림8. SEM 측정 결과>

- 코팅된 단면과 표면의 측정을 위해 SEM 측정한 결과 코팅 두께는 1 $\mu$ m.로 적정하였으나 표면에서 액체 뭍침 및 불순물 등을 확인할 수 있었음. 이는 클레이가 뭍쳐져 있는 것으로 확인됨.
- 향후에는 적절한 차단성 액체 선정 및 그에 따른 코팅두께 제어를 위한 실린더 선수 조절, 추가로 권취 압 조절을 통한 주름 개선 및 권취 풀림 개선이 필요함. 또한 주름 개선을 위해 공정속도 및 온도조절, 그리고 Tension 조절 통한 주름 혼입 방지 기술의 정립이 요구됨.

## 다. 차단성 폴리올레핀 소재 및 종이용기 개발 (위탁연구)

### (1) 고수분 차단성 및 유연성을 가진 폴리올레핀 필름 제조기술 개발

- 여러 재질의 수지 중 저렴하고 수분 차단성이 비교적 우수하며 필름성형가공성이 우수한 HDPE(High Density Polyethylene)을 base resin으로 도입함.
- 기존 HDPE 보다 높은 고 결정화 기술(특수 첨가제를 처방)을 통해 결정화도 향상에 의한 수분 차단성을 높임.

#### (가) 고수분 차단성 HDPE 복합체(composite)의 제조

- 판상형 Nanoclay(독일 B사), 고 분산성 PE 수지(식품용 grade)를 적당량 첨가, 분산해 1차 Master Batch(Nanoclay 함량 10중량%)를 제조한 뒤 특수 고 결정성 HDPE (HDPE에 특수 첨가제를 1,000ppm 처방함)를 투입후 2차 분산하여 최종 고 수분 차단성 HDPE 복합체를 제조함.
- 제조는  $\phi$ 30mm, L/D 40 2축 압출기(소량 제조) 및  $\phi$ 58mm, L/D 40, 70 겸용 2축 압출기(준양산 scale 필름 제조시)를 사용함.

#### (나) 고수분 차단성 및 유연성 기능을 가진 폴리올레핀 필름 양산실험

- 고수분 차단성을 부여하기 위해 고 수분 차단성 HDPE 복합체를 75%(중간층 50%, 외층 25%)로 하고, 유연성을 부여하기 위해 LLDPE(Linear Low Density Polyethylene)를 25%(내층)로 한 다층 구조의 필름을 제조함.

- 필름외층에 corona처리(42 dyn · cm)하여 고산소차단성 폴리올레핀 필름과의 lamination이 원활하게 함.
- 사용 원료별 MI, 용융점 및 nanoclay 함량은 표와 같음.

구 분	unit	고수분차단성 HDPE 복합체	LLDPE
MI	g/10min	0.035	1.5
용융점	°C	135	120
Nanoclay 함량	wt%	2.5	0

<표9. 사용 원료별 물성>

- 다층 필름 성형기에서 상기 준비된 원료를 투입하여 필름을 성형함. 필름 총 두께는 40 $\mu$ m, 폭은 820mm, 길이는 1,000m 형태로 2롤 제작하였음.
- 제조된 다층 폴리올레핀 필름에 있어 HDPE 복합체 층에 대한 전자현미경사진을 측정해 본 결과 종래 HDPE 필름 대비 구정(Spherulite)이 극도로 많이 형성되어 수분 차단성 향상이 가능할 것으로 사료함.
- 제조된 다층 폴리올레핀 필름(양산품)에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과를 표에 명시 하였는데, 상호 편차가 커 신뢰성이 저하됨. 평균 약 3.0 g/m<sup>2</sup> · day 수준으로 개선 필요함.

구 분	목표	FITI	서울대	고분자연구소	KCL
WVTR(g/m <sup>2</sup> · day)	≤ 2	1.2	3.1	5.8	3.0

<표10. 다층 폴리올레핀 필름(양산품)에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과>

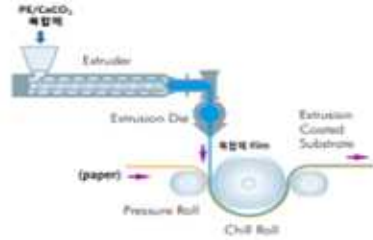
- 제조된 다층 폴리올레핀 필름(양산품)에 대한 유연성은 정량적인 목표가 없지만 향후 산소 차단성 폴리올레핀 필름과의 합지품에 대해 자체 평가할 계획임.

## (2) 재활용이 용이한 종이용기 개발

(가) PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 사용한 압출코팅 종이의 제조

- 폴리올레핀 수지로서 MI 9.91g/10min의 LDPE(L사), MI 11.46g/10min의 LLDPE(L사), 무기물로서 평균직경 1.7 $\mu$ m의 식품용으로 검증된 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>, O사)를 사용함.
- 압출코팅 종이 제조공정은 그림에 나타낸 바와 같음. PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 300~320°C

온도의 압출기에 투입하여 T-die를 통해 도출된 용융 복합체가 unwinder를 통해 공급된 종이 표면위에 코팅되고 chill roll를 통해 냉각되고 winder에 권취되어 제조됨.

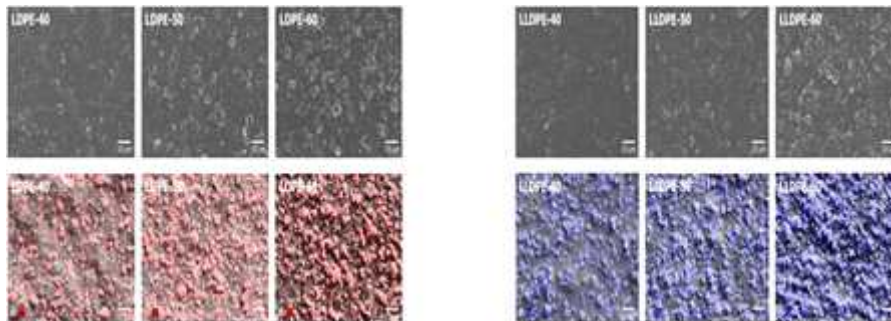


<그림9. 압출코팅 종이 제조 개략도> <그림10. Pilot scale 압출코팅 종이 제조 설비>

- 그림에 본 실험에 사용된 pilot 및 양산 scale 압출코팅 종이 제조 설비를 나타냄. 실제로 압출코팅을 실시한 결과 탄산칼슘이 증가할수록 높은 점도에 의해 압출 코팅성이 나빠졌고 탄산칼슘이 60중량%인 경우는 종이에 대한 부착성도 떨어져 바람직하지 않고 50중량% 이하가 적절함을 확인함.

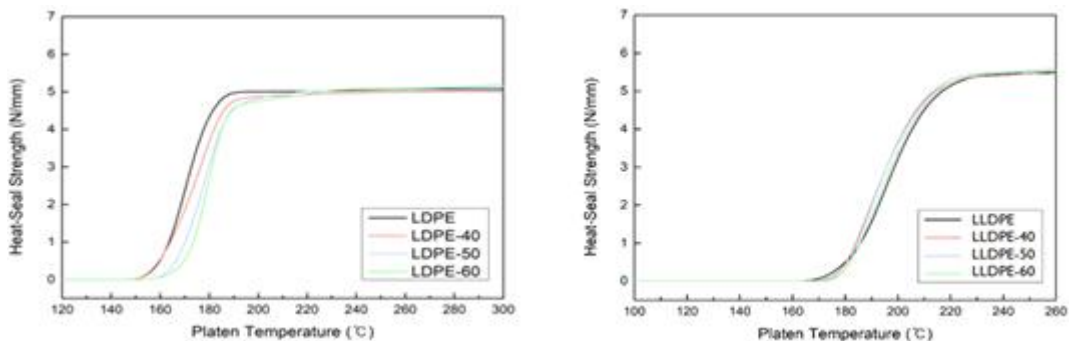
(나) PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이 물성 평가

- PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 사용한 압출코팅 종이의 코팅층에 대한 SEM-EDX 분석 결과를 그림에 나타냄. 탄산칼슘이 많음에도 불구하고 분산이 용이함을 확인함.



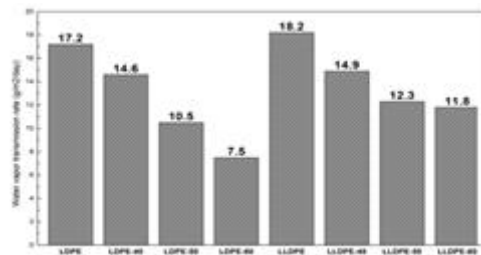
<그림11. LDPE/CaCO<sub>3</sub> 와 LLDPE/CaCO<sub>3</sub> 코팅층 SEM-EDX>

- 용기의 열성형성을 파악하기 위해 PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength를 분석한 결과를 그림에 나타냄.



<그림12. LDPE/CaCO<sub>3</sub> 와 LLDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 heat seal strength>

- LDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이 경우 LDPE 코팅종이 대비 heal seal 온도가 높게 shift됨을 알 수 있으며 이는 LDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 경우 LDPE 대비 높은 녹는점이 추가로 존재함에 기인한 것으로 사료됨.
- LLDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이 경우 LLDPE 코팅종이 대비 heal seal 온도의 shift가 거의 없음을 알 수 있는데, DSC 분석시 탄산칼슘 첨가에 따른 녹는점 차이가 미미한데서 기인한 것으로 사료됨.
- 코팅두께 30μm의 PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이에 대한 방수성(WVTR)을 아래와 같이 평가. 탄산칼슘 함량의 증가에 따라 WVTR(g/m<sup>2</sup>·day)이 감소됨.



<그림13. PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이에 대한 방수성(WVTR) 평가>

- 코팅두께 30μm, 탄산칼슘 함량 45중량%의 LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/15) 복합체 압출코팅 종이를 제조함. 이 종이를 성형한 용기 샘플을 제작하여 물(잉크 소량 함유)을 넣고 30분간 방치 후 물의 누수가 있는지 여부를 평가. 평가 결과 방수성 양호함.
- 280g/m<sup>2</sup> 종이에 코팅두께 30μm로 코팅한 LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 복합체 코팅종이로 성형한 용기 샘플을 제작하여 식용유를 첨가하고 30분간 방치 후 식용유의 누유가 있는지 여부를 평가했으며 식용유의 내유성 양호함.



<그림14. LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 코팅 종이컵 방수성 및 내유성 평가>

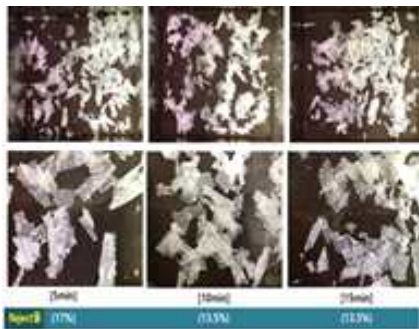
(다) PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이 물성 평가

- TAPPI standard 275(Somerville-type equipment)에 의거 샘플크기 4x4cm, 각 조건별 샘플 중량 24g, 해리농도 1.2%, 회전수 3,000rpm, 온도 55°C이, 시간 5분, 10분 15분, 해리시 별도의 soaking처리는 하지 않고 0.5% NaOH 수용액을 넣고 해리한 후 20분간 screen 처리한 후 rejects량 및 상태를 현미경으로 측정하였음.



<그림15. TAPPI 표준 275 해리공정을 통한 UL2485 평가>

- 코팅층 함량이 약13.5중량%인 LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 복합체 코팅종이 및 PE 코팅 종이 (비교품)에 대한 재활용성 평가 결과를 아래 그림과 같이 나타내었음.
- LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 복합체 코팅 종이 경우 해리공정 10분만에 rejects량 13.5중량% (펄프가 100% 회수됨을 의미함)을 보였는데, 이는 펄퍼에 내재된 임펠러에 의해 충격을 받아 코팅층이 분쇄됨으로써 탁월한 pulp 회수성을 보였다고 사료됨.
- 반면 PE 코팅 종이는 해리공정후 10분에 rejects량 21중량%(펄프가 86% 회수됨을 의미함)로 높는데 이는 임펠러에 의한 충격에도 유연성있는 PE 필름층이 손상되지 않고 형태가 보존된 상태였기에 펄프의 해리속도가 느려졌다고 생각됨. PE 코팅 종이도 장시간 해리공정을 거치면 거의 100% pulp 회수가 가능하지만 일정 시간내 이루어지지 않으면 경제성이 없기 때문에 UL2485에서는 이런 종이에 대해 재활용성이 없다고 판정함.



<그림16. LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 코팅종이 재활용성 평가> <그림17. PE 코팅 종이재활용성 평가 >

- LDPE/CaCO<sub>3</sub>(=55/45) 복합체 코팅종이 경우 PE코팅 종이 대비 방수성이 우수하고 유사한 내유성 및 용기 성형성을 가지며, 재활용성을 가질 수 있다고 사료됨.
- 향후 먼 용기 규격에 맞춘 내수 및 내유, 기타 재활용성 관련 물성의 추가적인 검증이 필요함. 또한 라면 용기 경우 Easy-peel성을 가진 Lid와의 적합성 검증이 요구되어 이를 고려한 개발이 필요함.

## 2. 2차년도

### 가. 시제품 테스트

#### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 배리어 기능의 유사 재질 물성 분석 및 테스트, 적합성을 평가함
- 타겟 제품인 면, 스낵, 용기의 재질 단일화를 목표로 기존 제품과 동등 수준의 물성 구현을 위한 배리어성 및 재질 적합성을 평가함.
- PP를 제외한 이중 소재 (AlvmPET / PET / Al-foil)의 배리어 물성을 대체 가능한 차단성 올레핀계 필름을 수급, 평가함으로써 적합성 및 재질별 Data를 확보함.
- 실험은 재질에 따라 크게 면, 스낵, 용기 포장재로 구분하였으며 사용되는 차단성 소재, 필름 종류에 따라 크게 1차, 2차로 구분함.
- 포장재로 제작된 샘플의 평가는 농심 라인 작업성 검토를 위해 현장에 투입, 가공되었으며 이후 농심 주관 하 기본 물성 및 저장성 평가 등을 추가 실시함.

#### (2) 면 포장재 시제품 제작 및 평가

- 현 면포장재의 경우 차단성 소재로써 알루미늄 증착 필름을 사용하고 있으며 이에 금속 층을 제외한 단일재질로 구성된 시제품을 제작 평가함.
- 시제품 제작 및 평가는 실험 진행 일정에 따라 1차와 2차로 구분하여 진행하였으며 1차 실험의 경우 차단성 소재로써 산소 및 수분 차단 기능을 가진 액제가 코팅된 투명한 PP필름을 이용, 단일 재질 시제품을 제작 및 평가함. 이는 적정한 유니소재 포장재 개발을 위한 차단성 및 보존성 Data 확보에 목적이 있음.
- 포장재 자체의 차단성 측정 결과는 아래 표와 같으며 투명증착 필름 사용 시 현 포장재 대비 투습도 및 투기도 측면에서 유사한 수준의 차단성을 확인할 수 있음.





구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
Wet barrier OPP (coated)	20	2.2g	1.66cc	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH

<표1. Sample用 차단성Film data>

구분	현 제품	샘플1	
재질	OPP/Al증착CPP	wet barrier OPP/CPP	
차단성	WVTR	1.86	3.68
	OTR	9.66	0.5이하
사진			
비고			

<표2. Sample 차단성 비교 data>

- 보존성 평가를 위해 농심 양산 라인에서 내용물 충전 작업을 진행하였고, 작업 시 특이사항은 없음.
- 내용물 충전 후 8주 간 농심에서 저장성 평가를 진행한 결과 차단성 코팅 필름을 적용한 경우 수분 함량이 초기 대비 약3% 상승하였으나 허용 가능한 수준이었으며 관능평가 및 종합적인 평가 결과 사용 가능한 수준으로 평가함. 다만 외관 인쇄성 향상 및 외부 가시광선에 의한 빛 차단성 등의 물성 향상이 요구됨.
- 이에 따라 가시광선에 의한 내용물 보존성 실험을 위해 각기 다른 인쇄 방식을 적용, 2차 실험을 진행함.
- 2차 시제품의 경우 고 은폐 색상으로 가시광선 차폐가 가능한 유백PP 및 Al paste, 흑색 잉크를 선정, 실험을 진행함.

구분	현 제품	샘플1	샘플2	샘플3
재질	OPP/Al증착CPP	OPP/White CPP	OPP/CPP	OPP/CPP
인쇄	범용인쇄	범용인쇄	Al paste 인쇄	백색 베다 흑색
사진				
투과율	0.1%	11.1%	2%	0.5%

<표3. Sample 가시광선 투과율 비교 data>

- 위 표에서와 같이 현 제품과 유백 PP 샘플 및 인쇄 샘플들의 가시광선 투과율을 비교 측정하였으며 결과적으로 유백 PP필름의 경우 투과율이 낮지는 않으나 상대적으로 외관상 양호한 특성을 보인 반면 Al paste 및 베다 흑색 인쇄의 경우 가시광선 차폐는 뛰어나나 외관상 확연한 인쇄성 저하가 확인됨.
- 농심 보존성 평가를 통해 실제적으로 가시광선에 의한 내용물 손상 정도 및 관능평가를 통해 제품 적용 가능성을 검증함.

### (3) 스넵포장재 시제품 제작 및 평가

- 스넵 포장재의 경우 차단성 소재로써 알루미늄이 증착된 PET층이 포함되어 있으며 이를 단일소재로 대체하고자 PP올레핀계 알루미늄 증착 필름 및 차단성 액제가 코팅된 barrier OPP 필름을 활용, 시제품을 제작함.
- 시제품 제작 및 평가는 실험 진행 일정에 따라 1차와 2차로 구분하여 진행하였으며 1차의 경우 차단성 비교 검증 목적 하 알루미늄 증착 PP필름과 barrier 코팅 PP필름 시제품을 비교 평가 하였으며 2차의 경우 당사 차단성 액제 및 이를 코팅한 필름을 적용함.
- 포장재의 가공은 접착제를 도포, 합지하는 Dry Lamination 방식과 PE 수지를 접착 매개체로 사용, 압출 코팅하는 Extrusion 방식을 혼용하여 진행함.
- 포장재를 Dry Lami 방식으로만 가공 시 vertical 구조의 내용물 충전 공정 상 높은 stiffness로 인해 crack이 발생 가능하며, Sealing시 접점부위에서 Pinhole이 발생됨. 또한 차단성 PP필름의 경우 EC 압출 시 고열에 의한 증착면 및 코팅층 깨짐이 확인 되어 인쇄된 PP필름과 Barrier 필름 합지 시 Dry lamination 방식을 적용함.
- barrier 필름이 합지된 원단에 CPP 필름 합지 시 PE 압출 코팅 방식을 적용함으로써 stiffness를 저감시켜 충전 시 발생할 수 있는 포장재 crack, pinhole 문제를 개선함.
- 차단성 PP 필름의 경우 동일한 포장재 가공 방식이라고 하더라도 필름 자체가 가지는 고유 Barrier 값이 다름에 따라 시제품을 차수를 구분해 제작을 진행함.

#### (가) 1차 샘플 테스트 진행

- 차단성필름의 경우 크게 알루미늄 증착과 Wet coated 타입으로 구분되며 필름 차단성 정도에 따라 각기 2종 (A,B로 명시)의 필름을 수급, 실험을 진행함

구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
Al증착OPP (A)	18	1.86g	0.5cc 이하	WVTR:38°C,100%RH OTR:23°C, 0%RH
Al증착OPP (B)	18	1.90g	0.5cc 이하	
wet coated OPP (A)	20	2.20g	1.66cc	
wet coated OPP (B)	20	1.22g	0.5cc 이하	

<표4. 1차 Sample用 차단성Film 비교 data>



구분	현 제품	샘플1	샘플2	샘플3	샘플4	
재질	OPP/PE/Al증착 PET/PE/ CPP	OPP/AlvmOPP( A)/PE/ CPP	OPP/AlvmOPP( B)/PE/ CPP	OPP/Wet BarrierOPP(A)/ PE/ CPP	OPP/Wet BarrierOPP(B)/ PE/ CPP	
차단성	WVTR	0.24g	0.69g	0.77g	1.72g	2.75g
	OTR	0.79cc	0.5cc이하	0.5cc이하	0.5cc이하	0.5cc이하
사진						
비고						

<표5. 1차 Sample 차단성 비교 data>

- 증착 방식(와이어 또는 도가니 등)에 따라 편차가 있으나, 일반적인 알루미늄 증착 OPP 필름의 투기도가 20~100cc 수준임에 반해 샘플 1,2에 사용된 올레핀 증착 필름의 경우 필름 가공 시 배리어성을 지닌 소재를 삽입 가공함에 따라 높은 수준의 차단성을 지님.
- Wet barrier OPP의 경우 약 1마이크로 미만 수준의 액체를 필름 표면에 코팅 가공하여 차단성을 부여한 것으로 투명 증착 필름을 대체 가능한 수준의 높은 차단성을 보유함.
- 내용물이 충전된 포장재는 총 8주간 고온다습 조건하 (40°C, 90%RH) 농심에서 저장성 평가를 진행하였음.
- 알루미늄 증착 샘플의 경우 현 제품과 비교해서도 산소 및 수분 투과도 측면에서 우수한 성능을 보여주었고 평가 결과 역시 수증기 차단성 및 산가, 과산화물가 실험에서도 동등한 수준이 확인됨.
- 반면 Wet barrier 코팅 샘플의 경우 투기도는 우수하나 현제품 대비 투습도가 미흡하였고 이에 따라 저장성 평가 시 수분 차단성이 현 제품 대비 4~5% 상승함. 결과적으로 수분 차단성의 한계로 인해 스낵 포장재로 사용에는 한계를 나타냄.
- 1차 실험 결과 알루미늄 증착 재질의 경우 현 제품 대체가 가능 수준으로 판단됨.

(나) 2차 샘플 테스트 진행

- 2차 샘플의 경우 당사의 wet barrier OPP를 적용, 차단성 data 및 개선 사항 등의 파악을 위해 실험을 진행함.

구분	두께	측정치		
		WVTR	OTR	조건
wet coated OPP	20	3.3g	0.5cc이하	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH

<표6. 2차 Sample用 차단성Film data>

구분		현 제품	샘플1
재질		OPP/PE/Al증착 PET/PE/PPP	OPP/wet barrier OPP/PE/PPP
차단성	WVTR	0.24g	2.2g
	OTR	0.79cc	0.5cc 이하
사진			
비고			울촌 액제 코팅Film 적용

<표7. 2차 Sample 차단성 비교 data>

- 실험 결과 차단성 액제가 코팅 PP 샘플의 경우 OTR 측면에서는 현제품 대비 우수하였으나 수분 투과도의 경우 상대적으로 미흡한 결과치를 보임.
- 1차 시제품과 마찬가지로 8주간 저장성 평가를 진행 중이며 그 결과에 따라 코팅액제 뿐만 아니라 코팅 도포량 등 차단성 수치를 향상시킬 수 있는 요인을 파악, 개선함으로써 추가적인 시제품 개발을 진행해 나갈 예정임.

## 나. 차단성 코팅 기술 개발

### (1) 차단성 코팅 액제 및 가공 공정 기술 개발

- Wet 코팅을 통해 차단성을 부여하는데 있어 Barrier 코팅 액제 개발 뿐만 아니라 정교한 코팅 제어 기술 역시 중요하게 여겨지고 있으며 본 과제에서는 이러한 코팅 기술 개발에 초점을 맞춰 대면적 양산화를 위한 가공 기술 연구를 진행함.
- 2차년도에는 적절한 차단성 액제 선정 및 그에 따른 대면적 코팅 기술 연구를 진행함. 코팅 두께 제어를 위한 실린더 선수 조절, 그리고 권취압 조절을 통한 코팅 주름을 개선하였으며 공정속도 및 온도, Tension 등 적정 작업조건 기준 설정함으로써 대면적 코팅이 가능한 기술 연구를 진행함.
- 먼저 차단성 코팅제의 경우 고분자 필름의 기체 차단성을 향상시키기 위한 다양한 연구가 진행되어 오고 있으며 PVA와 같은 극성 고분자를 이용한 연구가 대표적임. 본

- 과제의 경우 역시 코팅 액제로는 당사의 PVA Nano clay solution을 이용함.
- PVA Nano Clay Solution은 수계 Coating 액제로써 물과 알코올의 혼합 용매를 사용하였으며 알콜을 일부 사용함으로써 물의 비점을 낮추고 휘발성을 향상시켜 건조가 용이 하도록 함량을 조절함.
  - Nano Clay를 첨가 한 후 고른 분산을 위해 Sonicator를 이용, 분산을 진행함. Wet 코팅을 통한 Barrier 필름의 경우, 고분자 필름과의 기재 부착력 중요하며 본 과제에서는 이를 해결하기 위해 첨가제를 차단성 코팅제와 일정 비율 혼합하여 사용함.
  - 코팅 방식은 두께가 얇은 기재에 안정된 박막코팅이 가능한 그라비아 방식을 사용하였으며 이 가운데에서도 양산을 고려, 대면적 코팅이 가능한 Micro 그라비아 및 Dry laminator를 이용함.

(가) 마이크로 그라비아 양산Line 코팅 Test

- Micro GR이란 리버스 키스 코팅법이라 하며, 키스 코팅의 작업 시 원단과 코팅롤의 접촉각을 최소화하기 위하여 코팅 롤의 반경을 소형화하여 롤 표면과 가공원단의 도료 Vortex범위를 극소화시켜 박막의 도료를 균일 도포하는 간단한 정밀코팅 방법임.
- 더욱 정밀한 코팅과 균일한 도막두께를 얻기 위해 Pilot Scale (폭≥ 400mm)의 Test를 기반으로 실제 양산 Line의 Micro GR로 Test를 진행함.
- 먼저 기존 Pilot Test와 동일 수준의 조건을 충족하기 위하여, 코팅 선수 및 기재필름을 동일하게 준비하고, 건조조건 및 공정조건, 실제 작업시의 이상 유무를 판단하였음.

[공정 조건]

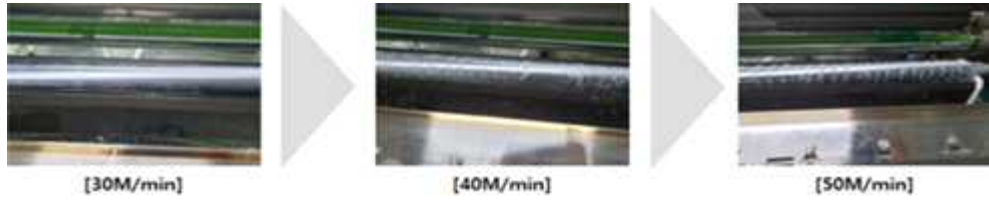
구분	Tension[kg/f]					Speed		
	Infeed	1 <sup>st</sup> Unwind	Rewind	Outfeed	Lami	2 <sup>nd</sup> Unwind	Line [M/min]	Cylinder [RPM]
ACT	6	6	20	8	7	1.4	20~50	150

[Dry Chamber 조건]

구분	Dry Chamber Temp.[°C]					
상부	#1	#2	#3	#4	#5	#6
	70	90	100	100	95	80
하부	#1	#2	#3	#4	#5	#6
	58	71	80	88	81	67

<표8. 마이크로 그라비아 코팅 실험 조건>

- 기존 Pilot Scale의 Test는 속도 제어가 최대 10m/min이었지만, 실제 양산Line에서는 10m/min의 속도로는 Coating이 불가능하여 실제 양산 수준인 20~50m/min의 속도로 진행함. 이 경우에 Micro GR 시스템상 액판의 size가 작으며, Roll의 규모가 작아 회전 속도에 따른 기포 제어가 어려움.



<그림1. Micro Gravure Coating 중 문제점(Speed up에 따른 기포 발생)>

구분	작업량[M]	도포량[g/m <sup>2</sup> ]	코팅 두께[μm]	부착력	OTR[cc/m <sup>2</sup> ·day]
20m/min	500	1.5	1.39	O	1.13
30m/min	500	1.5	1.34	O	1.17
40m/min	500	1.5	1.34	O	1.20
50m/min	500	1.5	1.24	O	1.29

<표9. Speed 변경에 따른 작업성 및 물성 평가 >

- 도포량을 조정해 기포를 개선해보고자 마이크로그라비아 실린더(M - Type과 H - Type) 타입을 달리해 실험해 본 결과 모두 도포량이 많아 미 건조되는 부분이 발생함. 또한 이를 개선하고자 도포량을 감소시키면, 배리어 성능이 미비해지는 결과를 나타냄.
- 이에 따라 상대적으로 코팅 스피드 및 코팅 도포량 향상이 용이한 Solvent Dry laminator 설비를 활용, 작업 기준 정립을 진행함.

(나) Solvent Dry Lamination 양산Line 코팅 Test

- SDL(Solvent Dry Lamination)이란 다이렉트 그라비아 방식으로 Back-up Roll (압동롤 또는 고무롤)과 그라비아(메쉬) 를 접촉시켜 코팅액을 전이시키는 방식으로 주로 접착 및 베다 인쇄 등에 사용하는 방식이나, 단일 코팅 또한 가능하기에 실험을 진행함.
- 최적의 Barrier 성능을 구현하기 위해선 적정 두께가 요구되며, 도포량 향상을 위해 깊은 심도를 지닌 80선 실린더를 사용하여 코팅을 진행함.

[공정 조건]

구분	Tension[kg/f]				Speed	Cylinder
	Infeed	1 <sup>st</sup> Unwind	Rewind	Coating	Line [M/min]	
ACT	5.4	8	5	10	40~60	Laser 80

[Dry Chamber]

구분	Dry Chamber Temp.[°C]			
상부	#1	#2	#3	#4
	90	100	100	100
하부	#1	#2	#3	#4
	79	85	91	79

<표10. SDL 코팅 실험 조건>

- SDL 코팅 방식이 상대적으로 속도, 공정 조건 등의 작업성 측면에서 코팅이 용이 하였고 또한 차단성 향상을 위한 도포량 상향 측면 역시 마이크로 그라비아와 비교해 우수함을 확인함. 또한 코팅 시 액제에서 발생하는 기포 역시 저감되어 코팅이 용이하며 도포량이 향상됨에 따라 결과적으로 더 우수한 산소 차단효과 구현이 가능하게 됨.



[기포 발생 無]



[Expander Roll에 의한 주름 개선 - 고속 생산 가능]

구분	작업량[M]	도포량[g/m <sup>2</sup> ]	코팅 두께[ $\mu$ m]	부착력	OTR[cc/m <sup>2</sup> ·day]
40m/min	2000	1.33	1.1	O	0.5 ↓
50m/min	2000	1.28	1.2	O	0.5 ↓
60m/min	2000	1.2	1.1	O	1.0

<표11. Speed 변경에 따른 작업성 및 물성 평가 >

- 결과적으로 2종의 코팅설비를 비교 시 SDL 설비를 활용한 대면적 Direct 그라비아 코팅 방식이 wet barrier Film 양산에는 적합함.
- 스넵포장재의 시제품에 사용된 Barrier PP필름의 경우 20마이크로 두께의 OPP 필름에 차단성 액제를 SDL방식으로 코팅해 필름을 제조하였으며 도포량은 1 $\mu$ m를 타겟으로 실린더 및 작업 조건을 조정하여 제조함.



<그림2. SEM 측정 결과, (표면) 코팅 표면 촬영 >

- 코팅된 단면과 표면의 측정을 위해 SEM 측정한 결과 코팅 두께는 1 $\mu$ m로 적정 하였으며 표면에서 액제 뭍침 및 불순물 없이 균일하게 코팅됨을 확인할 수 있었음.
- 향후에는 당사 Pilot 코팅 설비를 활용, 고려대에서 개발 중 barrier 액제의 차단성 평가를 진행할 예정이며, 적정 수치 도달 시 대면적 SDL 설비를 이용, 양산평가를 진행할 계획임.

## 다. 차단성 폴리올레핀 소재 및 종이용기 개발 (위탁연구)

### (1) 고수분 차단성 및 유연성을 가진 폴리올레핀 필름 제조 기술개발

- 고수분차단성을 개선하기 위해 수분차단성 탁월한 MFI 0.7(g/10분, 190°C, 2.16Kg), 유리전이온도 110°C인 COC(Cyclic Olein Copolymer, Topas Advanced Polymers사, Grade 7010F-600)와 MFI 0.035(g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 HDPE와의 Blend를 75%(중간층 50%, 외층 25%)로 하고, 유연성을 부여하기 위해 MFI 1.5(g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 LLDPE(Linear Low Density Polyethylene)를 25%(내층)로 한 다층 구조의 필름을 제조함

차단성 HDPE/COC Blend(외층, 25%)
차단성 HDPE/COC Blend(외층, 25%)
LLDPE(내층, 25%)

<그림3. 고수분차단성 및 유연성 기능을 가진 폴리올레핀 필름 구조>

- 다층필름성형기(그림3 참조)에서 상기 준비된 원료를 투입하여 필름을 성형하였으며 층 두께는 40 $\mu$ m, 폭은 820mm, 길이는 1,000m 형태로 제작하였음.



<그림4. 다층필름 성형기의 모습>

구 분	목표	HDPE/COC Blend			
		90/10	80/20	70/30	60/40
WVTR(g/m <sup>2</sup> · day)	≤ 2	7.4	5.1	3.8	2.9

<표12. 다층 폴리올레핀 필름(양산품)에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과>

- COC 함량 증가에 따라 수분차단성이 우수해짐을 확인할 수 있었으나 해당 연구의 목표치에는 도달하지 못함. 이에 향후 COC 함량을 점차 증대시킴으로써 투습도 2이하에 도달하고자 함.

## (2) 재활용성 HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 제조 및 종이용기 개발

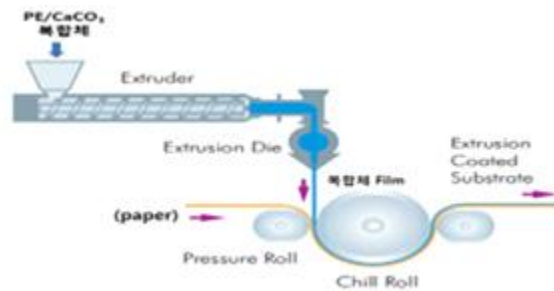
- 1차년도에 LDPE 및 LLDPE 기반 복합체 대비 내열성 등을 개선하고자 HDPE 기반 복합체 코팅종이에 대해 연구를 진행함.
- 폴리올레핀 수지로서 MI 9.51g/10min의 HDPE(L사), 무기물로서 평균직경 1.7 $\mu$ m의 식품용으로 검증된 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>, O사)를 적용함.
- 표13에 나타낸 조성에 따라 HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 제조하였으며 제조방법은 그림3에 나타낸 고수분차단성 HDPE 복합체의 제조방법에 준하여 제조함.

Sample명	조성(wt%)	
HDPE	HDPE	0
HDPE-40	HDPE 60	CaCO <sub>3</sub> 40
HDPE-50	HDPE 50	CaCO <sub>3</sub> 50
HDPE-60	HDPE 40	CaCO <sub>3</sub> 60

<표13. HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체의 조성 >

(가) HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 사용한 압출코팅 종이의 제조

- 압출코팅 종이 제조공정은 그림4에 나타낸 바와 같음. PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 300~320°C 온도의 압출기에 투입하여 T-die를 통해 토출된 용융 복합체가 unwinder를 통해 공급된 종이 표면위에 코팅되고 chill roll를 통해 냉각되고 winder에 권취되어 제조됨.



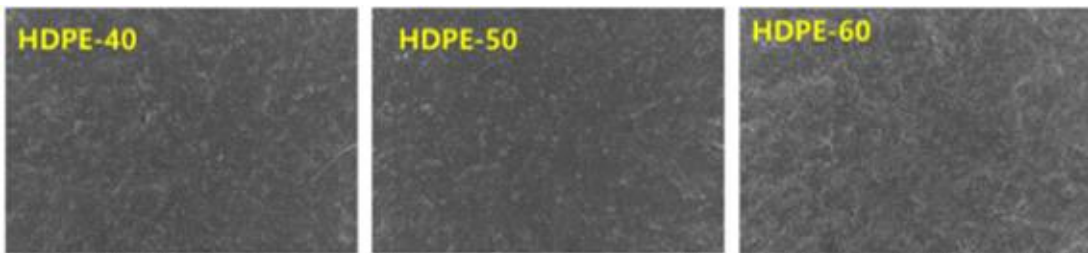
<그림5. 압출코팅 종이 제조 개략도>

- 그림 5에 본 실험에 사용된 pilot 및 양산 scale 압출코팅 종이 제조 설비를 나타냄. 실제로 압출코팅을 실시한 결과 탄산칼슘이 증가할수록 높은 점도에 의해 압출 코팅성이 저하되었고 나빠졌고 탄산칼슘이 60중량%인 경우는 종이에 대한 부착성도 떨어져 50중량% 이하가 적절함.



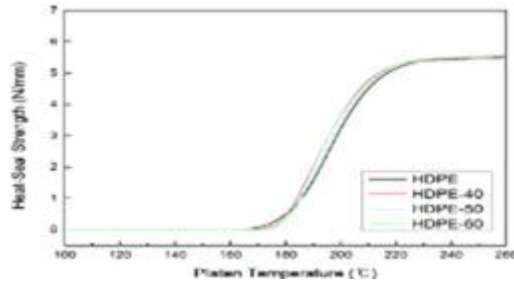
<그림6. Pilot scale 압출코팅 종이 제조 설비 양산 scale 압출코팅 종이 제조 설비>

- PE/CaCO<sub>3</sub> 복합체를 사용한 압출코팅 종이의 코팅층에 대한 SEM 분석 결과를 그림6에 나타냄. 탄산칼슘이 많음에도 불구하고 분산이 잘되었음을 확인할 수 있음.



<그림7. HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이의 코팅층에 대한 SEM 분석>

- 용기의 열성형성을 파악하기 위해 HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength를 분석한 결과를 그림7 에 나타냄.



<그림8. HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength>

- HDPE/CaCO<sub>3</sub> 복합체 코팅종이 경우 HDPE 코팅종이 대비 heal seal 온도의 변화가 거의 없음을 확인하였고 이로 인해 우수한 열성형성을 가질 수 있을 것으로 확인됨.
- 코팅두께 30μm, 탄산칼슘 함량 40중량%의 HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=60/40) 복합체로 압출 코팅한 종이 용기를 성형하여 물(잉크 소량 함유)을 넣고 30분간 방치 후 물의 누수가 있는지 여부를 평가한 결과 방수성이 우수함을 확인함.
- 280g/m<sup>2</sup> 종이에 코팅두께 30μm로 코팅한 HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=60/40) 복합체 코팅종이로 성형한 용기 샘플을 제작하여 식용유를 첨가하고 30분간 방치 후 식용유의 누유를 평가한 결과 식용유의 내유성이 우수함을 확인함.





<그림9. HDPE/CaCO<sub>3</sub>복합체(=60/40) 종이컵 방수성 및 내유성 평가>

- 코팅종이에 대한 재활용성을 UL2485[Environmental Claim Validation Procedure (ECVP) for Recyclability of Paper-Based Products]에 의해 평가함.
- 이는 TAPPI Standard 274, 275, 278중 하나의 해리공정을 통한 뒤 Rejects양이 15중량% 미만일 경우 재활용성이 있다고 판정하는 것임.



<그림10. TAPPI 표준 274 해리공정을 통한 UL2485 평가>

- TAPPI standard 275(Somerville-type equipment)에 의거 샘플크기 4x4cm, 각 조건별 샘플 중량 24g, 해리농도 1.2%, 회전수 3,000rpm, 온도 55°C이, 시간 5분, 10분 15분, 해리시 별도의 soaking처리는 하지 않고 0.5% NaOH 수용액을 넣고 해리한 후 20분간 screen 처리한 후 rejects량 및 상태를 현미경으로 측정하였음.



<그림11. HDPE 및 HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=60/40) 복합체(HDPE-40) 코팅종이에 대한 재활용성 평가>

- 두께 30 $\mu$ m, 코팅층 함량 11.4중량%인 HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=40/60) 복합체 코팅종이 및 두께 30 $\mu$ m, 코팅층 함량 9.6중량%인 HDPE 코팅종이(비교품)에 대한 재활용성 평가 결과를 그림10에 나타내었음. HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=40/60) 복합체 코팅 종이 경우 해리공정 10분 만에 rejects량 11.4 중량%(펄프가 100% 회수됨을 의미함)을 보였는데, 이는 펄프에 내재된 임펠러에 의해 코팅층이 분쇄됨으로써 우수한 pulp 회수성을 보인 것으로 확인됨.

- 
- 반면 HDPE 코팅 종이는 해리공정후 10분에 rejects량 21.7중량%( 펄프가 87% 회수됨을 의미함)로 높는데 이는 임펠러에 의한 충격에도 유연성 있는 HDPE 필름층이 손상되지 않고 형태가 보존된 상태였기에 펄프의 해리속도가 느려졌다고 판단됨.
  - 결과적으로 HDPE/CaCO<sub>3</sub>(=40/60) 복합체 코팅종이 경우 PE 코팅 종이 대비 방수성이 우수하고 높은 내유성 및 용기 성형성을 지니며, 현 HDPE 코팅 종子和 비교해 높은 재활용성을 가지는 것으로 평가됨.
  - 향후 현 재질과 대량 비교 평가를 통한 생산성 및 기본 물성 비교를 통해 재활용이 용이한 컵용기 제조를 검토할 예정임.

---

### 3. 3차년도

#### 가. 시제품 테스트

##### (1) 시제품 평가 목적 및 항목

- 재활용이 용이한 단일소재 시제품을 제작하여 현 제품과의 차단성 및 양산성, 적합성 등을 평가해 개선점을 파악하며, 재현성 검증을 통한 품질 트러블 최소화함.
- 대량 생산 공정 최적화 및 품질 안정성 확보를 통해 제품 양산화 시 양호한 품질의 제품을 제조함.

##### (가) 차단성 시제품 제조 및 적합성 평가

- 재활용이 용이한 단일재질 면, 스낵 포장재 개발을 목표로 현재 사용 중인 제품과 동등 수준의 차단성 구현 배리어 소재 및 필름을 개발함.
- 산소, 수분 배리어 특성을 가지는 Wet 코팅 액제 및 알루미늄 증착, 그리고 2종의 배리어 소재를 포함하는 고차단성 폴리프로필렌 필름을 개발함
- 검토 제품에 따라 면, 스낵 포장재로 구분하며 사용되는 차단성 소재 및 필름, 재질에 따라 차수를 구분하여 시제품 제조 및 평가를 진행함.
- 시제품의 평가는 라인 작업성 검토를 위해 현장에 투입, 가공되었으며 내용물 충전 후 농심 주관 하 산소, 수분 저장성 및 기본 물성평가를 실시함.

##### (나) 포장재 양산성 검증, 평가

- 면, 스낵 포장재의 양산화 재질 선정 및 생산 안정성, 품질 확보를 목표로 함.
- 양산 공정 기준 정립 및 품질 안정성 평가 (산소,수분 저장성 등 주요물성 및 관능평가)
- 양산 Line 평가를 통해 개선, 보완점 확인 후 제품에 반영, 재현성 구현
- 양산 전 제품의 유통 가능 여부 판단

##### (다) 포장재 환경성 평가

- 크게 면, 스낵 제품으로 구분하여 현 재질과 유니소재 개발 시 해당하는 Raw material 및 포장재 제조 공정 상 투입되는 원부자재 및 전력 등의 data를 산출함
- 고려대와 연계해 기본 원료의 제조에서부터 포장재 제조, 재활용에 이르는 전과정에 걸친 환경성 평가를 진행함
- CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>를 비롯한 오염물질을 정량화하여 프로세스 및 재활용 간 환경이득을 수치화함.

##### (라) 재활용성 평가

- 알루미늄 증착을 포함 또는 비포함하는 PP단일재질 포장재의 재활용 가능 여부 및
-

수율을 평가함.

- 포장재 재질 별 용융, 압출 실험을 통해 알루미늄 증착을 포함하는 경우 재활용 수율에 미치는 영향을 평가해 재활용성을 검증하며 나아가 정책 제안을 검토함.

(마) 재활용성 용이 종이용기 소재 및 제조 기술개발 (위탁연구)

- 고수분차단성, 유연성 기능을 가진 폴리올레핀 필름 제조 기술개발
- 재활용 향상 종이용기 제조 기술개발

## (2) 시인성 개선 단일재질 면 포장재 시제품 제작 및 평가

- 해당 실험은 단일소재 면포장재 개발을 위한 적정 재질 선정 및 물성 Data 확보에 목적이 있음.
- 국내에서 제조되는 면 포장재의 경우 대부분 알루미늄 증착 필름을 사용하고 있으며, 이는 금속 고유의 차단성 외에 광택으로 인한 외장성, 광차단성 효과 등에서 기인함.
- 일반적으로 알루미늄 증착이 가지는 인쇄 장점으로는 금속 고유 광택으로 인한 외관 미적 기능 향상, 그리고 고온폐 통한 인쇄 색상 발현 향상 등의 효과가 있음.
- 과제 최종 산출물인 ‘단일소재’의 범위에 알루미늄 증착 재질을 포함시킬 필요성에 대한 의견 개선은 최종 산출물(고차단성 단일소재)을 이용한 시제품 제조와 재활용성 평가 이후에 진행 예정으로, 이에 알루미늄 증착 재질을 포함하거나 제거할 수 있는 차단성 포장재도 검토가 필요함.
- 이에 현 재질의 경우 알루미늄을 포함하고 있어, 알루미늄을 포함하지 않는 재질로 면 포장재의 개발을 진행함.
- 앞선 1, 2차년도에 투명증착OPP 및 Wet Barrier Coating OPP 필름을 적용한 포장재의 기초 물성 및 차단성 평가를 진행하였고, 2종 타입 모두 수분 함량분석에 있어 수용 가능한 수준으로 판단됨.
- 투명증착의 경우 높은 산소, 수분 차단 효과를 지니나 고단가, 수급 불안정 등으로 인해 당사의 배리어 코팅 필름을 적용하였으며, 비증착으로 인한 시인성 개선을 위해 백색 필름 및 인쇄 도안을 변경하여 시제품을 제조, 평가함.
- 차단성 wet코팅 필름의 경우 폴리올레핀계 고분자를 혼용한 블렌드 화합물 액제를 PP필름 기재 위에 도포하여 차단막을 구현함. 코팅 액제의 경우 수용성 고분자 및 바인더, 가교제 등을 포함하며 우수한 산소 배리어 구현이 가능함.






<그림1. Wet barrier BOPP film 구조 및 포장재 시제품 구성>

(가) 1차 시제품 평가

- 시제품 제작 및 평가는 제품에 따라 1차와 2차로 구분하여 진행하였으며 2회 모두 차단성 소재로써 당사의 산소, 수분 차단성 액제를 코팅한 투명PP 필름을 사용함.
- 또한 증착 제거 시 포장재 은폐력 저하로 색상 발현 저하 및 외기 광원에 의한 내용물 산화를 고려해 백색의 Sealant 필름을 사용해 시인성 및 보존성을 개선하고자 함.
- 유백 PP필름의 경우 광 차단효과가 높지는 않으나 우수한 은폐 및 색상 발현 효과로 면 포장재 시제품 재질 선정 시 접목함.
- 필름 및 포장재 자체의 차단성 측정 결과는 아래 표와 같으며 현 포장재와 Barrier코팅 시제품 간의 차단성을 평가하였음.



구분	두께	측정값		
		WVTR	OTR	조건
Wet barrier BOPP	30	4.8g	0.9cc	WVTR : 38°C, 100%RH OTR : 23°C, 0%RH

<표1. Wet barrier BOPP 차단성 데이터>

구분	현 제품	시제품1	시제품2
재질	OPP20+증착CPP30	OPP30+백색CPP30	Barrier OPP30 +백색CPP30
OTR	27cc	1130cc	0.9cc
WVTR	1g	4.9g	3.3g
사진 (시제품)			
투과율	0.51%	45%	44.8%

<표2. 시제품 차단성 데이터 결과>

- 현 제품 대비 비증착 시제품의 광투과율이 현저히 저하됨에 따라 면 내용물의 광산화, 변색 등의 변질이 우려되므로 농심에서는 두 제품에 대한 광노출 저장실험을 진행함. 외기 광원에 노출시켜 가시광선에 의한 유탕면 변질 여부를 평가하였으며 그 결과는 아래와 같음.

구분	현 제품	시제품2
재질	OPP20+증착CPP30	Barrier OPP30+백색CPP30
사진 (유탕면)		
결과	유탕면 변색, 변취 무	유탕면변색(백화), 변취(수분함유)

<표3. 시제품 차광성 실험 결과>

- 결과적으로 인쇄 은폐력이 미흡한 백색 베다 인쇄 포장재의 경우 외기 광침투로 인한 내용물 손상이 가속화됨을 확인. 백색의 경우 빛 투과가 용이해 가시광선에 의한 내용물 색변화 및 맛 변질의 원인이 될 수 있음.
- 아래는 증착과 비증착 재질 간 내용물 은폐력을 비교한 그림으로 투명 재질의 경우 유탕면이 포장재 외부로 비취 보이는 것이 확인됨.




<그림2. 증착 재질 및 비증착 재질 은폐력 비교>

- 이에 면포장재 가운데 상대적으로 고농도 적색이 바탕이 된 유탕제품을 재선정하여 2차 실험을 진행함.
- 흑색과 같이 어두운 색상의 경우 광 차단 효과는 우수하나 시인성이 떨어지는 문제가 있어 상대적으로 진한 원색 계열의 베다 색상 제품을 선정 기준으로 함.

(나) 2차 시제품 평가

- 1차 실험과 마찬가지로 알루미늄 비포함 재질의 내용물 보존성 평가를 중점으로 광차단 실험을 진행함. 차단 필름으로 동일하게 wet barrier coated PP를 사용함.
- 실험 결과는 아래의 표와 같음.

구분	현 제품	시제품1	시제품2
재질	OPP20+증착CPP30	Barrier OPP30 +백색CPP20	Barrier OPP30 +백색CPP25
OTR	16cc	1cc	1cc
WVTR	1.6g	3.3g	3.2g
사진 (외관)			
투과율	0.53%	22.8%	23%

### 시험결과 (Test Result)

AMETEK | mocon  
Certitest 111-106

**I. 시험결과**

1-1. 산소투과도

시료명	시험조건	단위	시험결과		시험방법
			TEST 1	TEST 2	
Wet Barrier OPP 30	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.79	0.98	ASTM D 3085
Wet Barrier + AluOPP 15	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.25	0.27	ASTM D 3085
AluOPP 15 (TVL)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	61.87	63.72	ASTM D 3085
AluOPP 15 (TVO)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	24.08	20.63	ASTM D 3085
사리곰탕 냄 (OPP20 / White CPP30)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	1120.6	1121.9	ASTM D 3085
사리곰탕 냄 (Wet Barrier OPP30 / White CPP30)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.93	1.02	ASTM D 3085
죽용 해물탕 (Wet Barrier OPP30/White CPP30)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.90	0.90	ASTM D 3085
맛짬뽕 (Wet Barrier OPP30 / White CPP20)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.91	0.93	ASTM D 3085
맛짬뽕 (Wet Barrier OPP20 / White CPP25)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	1.28	1.21	ASTM D 3085
고구마탕 (기준제품)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.95	0.94	ASTM D 3085
고구마탕 (Wet Barrier OPP30 / White CPP30)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> -day	0.76	0.77	ASTM D 3085

\* 산소 투과도 시험기 : OX-TRAX 2/2 (MOCON, 미국)  
 \* 시험조건 : 35.0cm<sup>2</sup> (측정면적) / 3.31-3.96 cc/m<sup>2</sup>-day, 5.0cm<sup>2</sup> (측정면적) : 0.1-2.000 cc/m<sup>2</sup>-day

비고 1. 이 시험결과는 미국 MOCON사 공식인증 실험실(Certitest : 111-106)에서 진행된 결과로 측정된 결과입니다.  
 2. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시료량으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 3. 본 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.  
 4. 본 성적서의 전체 확인은 QR코드를 확인 가능합니다.

### 시험결과 (Test Result)

AMETEK | mocon  
Certitest 111-106

**I. 시험결과**

1-2. 수증기투과도

시료명	시험조건	단위	시험결과		시험방법
			TEST 1	TEST 2	
Wet Barrier OPP 30	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	4.988	4.632	ASTM F 1249
Wet Barrier + AluOPP 15	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	0.871	0.969	ASTM F 1249
AluOPP 15 (TVL)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	2.295	2.973	ASTM F 1249
AluOPP 15 (TVO)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	0.155	0.157	ASTM F 1249
사리곰탕 냄 (OPP20 / White CPP30)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	4.925	4.991	ASTM F 1249
사리곰탕 냄 (Wet Barrier OPP30 / White CPP30)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	3.341	3.275	ASTM F 1249
죽용 해물탕 (Wet Barrier OPP30/White CPP30)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	3.446	3.660	ASTM F 1249
맛짬뽕 (Wet Barrier OPP30 / White CPP20)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	3.321	3.367	ASTM F 1249
맛짬뽕 (Wet Barrier OPP20 / White CPP25)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	3.238	3.275	ASTM F 1249
고구마탕 (기준제품)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	0.332	0.316	ASTM F 1249
고구마탕 (Wet Barrier OPP30 / PE10 / AluCPP20)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> -day	1.065	1.109	ASTM F 1249

\* 수증기 투과도 시험기 : P5/6 (MOCON, 미국)  
 \* 시험조건 : 35.0cm<sup>2</sup> (측정면적) / 0.005-10 g/m<sup>2</sup>-day

비고 1. 이 시험결과는 미국 MOCON사 공식인증 실험실(Certitest : 111-106)에서 진행된 결과로 측정된 결과입니다.  
 2. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시료량으로 시험한 결과에 한하며, 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 3. 본 성적서는 총포, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.  
 4. 본 성적서의 전체 확인은 QR코드를 확인 가능합니다.

〈표4. 시제품 실험 결과 비교 및 성적서〉

- 베다 색상을 변경해 포장재에 외부 광원 차단성을 부여하려 했으나 실 효과는 미흡함.
- 산소, 수분 차단성 측면에서는 제품화 가능 수준으로 평가되나, 내용물 변질로 인한 색상 변화 및 이취발생 등 품질 저하가 동일하게 발생됨.
- 이에 베다 색상을 흑색 계열로 변경 시 차광 효과는 개선될 것으로 판단됨. 다만 하기의 제품처럼 증착을 포함한 경우 광택에 의한 우수한 외장 특성을 가지나 비증착의 경우 외관 미적 특성 저하가 예상됨.



<그림3. 전면 베다 흑색 인쇄 포장재>

- 추가로 알루미늄 증착을 포함하지 않는 PP단일재질 포장재의 재활용성에 대해 자재 별로 폐포장재의 용융 및 압출 Pilot 실험을 진행함.

구분	현재품1	현재품2	시제품1	시제품2
재질 구성	OPP20/ CPP25	OPP20/ 증착CPP30	투명증착OPP16/ CPP30	BarrierOPP30/ WhiteCPP25
사진 (포장재)				
사진 (산출물)				
결과	압출 및 펠렛 작업성 양호 압출물 (Plastic yarn) 외관 양호			

<표5. 면포장재 재활용 실험 결과>

- 재활용 실험 결과 박막의 알루미늄을 포함하거나, 액상의 차단층이 코팅되어 있는 포장재 모두 용융 및 압출이 가능하였고 이에 박막의 금속층을 포함하는 단일재질 포장재의 물리적 재활용이 가능함을 확인함.
- 반면 최종적으로 농심에서 실시한 8주간의 저장성 평가 결과 허용 기준치인 3wt%를 초과함이 확인됨.(수분저장성 평가 결과 : 4.1wt%)
- 이는 2차 년도에 동일하게 실시한 실험 결과 대비 약1wt% 이상 상승한 수치로 이는 PVA를 코팅제의 주원료로 사용함에 따라 수분에 취약한 원료 한계에서 기인한 것으로 파악됨.
- 일반적으로 PVA코팅 필름의 경우 수분에 매우 취약한 단점을 가지고 있어 이를 개선하기 위해 PVA계의 관능기를 가교시킬 수 있는 가교제 및 밀착력 향상을 위한 첨가제 등을 투입해 특성을 개선할 예정임.
- 조밀한 망상 구조를 가져야 공극을 최소화하여 산소 및 수분 차단성을 극대화 할 수 있으며 기재 밀착이 저하될 경우 필름 표면에 미세한 crack이 발생되어 산소 및 수분 차단성



저하에 직접적으로 원인으로 관여할수 있음.

- 이에 차단성 액제의 적절한 가교 시스템을 구성하여 차단성 필름의 물성을 향상 시키고 자함.

평가 항목 (주요성능 Spec <sup>1)</sup> )		단위	연구개발 전 국내수준	개발 목표/ 결과치		표준 인증 기준 <sup>3)</sup>	
			성능수준	목표 수준	결과		
면 포 장 재	산소차단성	cc/m <sup>2</sup> · day	50	<10	<1	ASTM D3985	
	수분차단성	g/m <sup>2</sup> · day	5	<2	<4	ASTM F1249	
	저장실험	제품수분율	%		초기수분함량 +3wt% 이하	+4.1wt%	
		Av	mg KOH/g	-	0.5이하	0.5이하	
		POV	meq/kg		10이하	10이하	
광차단성 (추가)	-	-	유당면 변색, 변취 없음	변색, 변취 발생	90일간 노출, 변질 확인		

<표6. 면포장재 정량적 목표 기준 >

- 개발 초기 설정한 정량목표는 위와 같으며 차단성 및 저장성 외 외부 광원에 의한 내용물 변질이 주요한 요인으로 파악됨.
- 수분 차단성 및 저장성 실험에 있어서 정량 목표 대비 실험 결과 값의 수치가 상승하여 양산화를 위해서는 차단성 액제 개선을 통한 추가적인 검토가 필요함이 확인됨.
- 최종적으로 알루미늄 증착을 포함하지 않는 단일재질 면포장재에 대하여 제품 양산화를 위한 산가, 과산화물가 등 요구물성 목표는 달성 가능하였으나 수분 저장성 및 광 차단성 저하로 유당면이 변질됨에 따라 투명 재질의 제품화는 어려울 것으로 판단함.

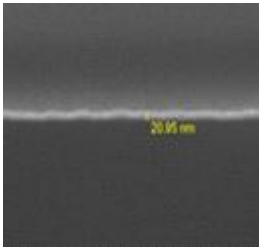
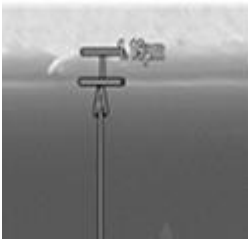
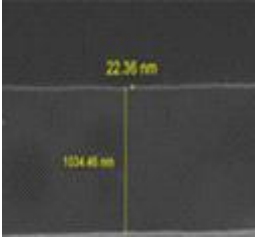
### (3) 스넵포장재 시제품 제작 및 평가

- 지난 2차년도에 시제품 평가를 통해, barrier코팅 필름과 산화알루미늄 증착, 그리고 알루미늄 증착OPP를 사용한 PP기반 단일소재 포장재의 품질을 확인함.
- 울촌화학의 wet barrier coating 의 경우 높은 수준의 산소 차단 효과를 가지는 반면 수분 차단성의 경우 수분산 소재를 주원료로 사용함에 따라 상대적으로 취약함.
- 투명 증착의 경우 차단성은 현 재질 대비 동등 수준으로 구현이 가능하나 고단가 및 해외 제조에 의한 수급 불안정 등으로 인해 검토 제외함.
- 알루미늄 증착PP 필름의 경우 PP기재 고유의 낮은 산소 차단성으로 인해 수습에서 수백 수준의 높은 산소 투과도를 가지게 됨.

구분	Wet barrier BOPP30	투명증착 BOPP16	Al증착 BOPP
특징	외관 투명성 우수 高산소차단성, 수분 차단성 한계 - OTR : <1cc - WVTR : 4~5g	외관투명성 우수, 高단가 高산소/수분 차단성 고열에 의한 Crack 발생 - OTR : <0.5cc - WVTR : <1g	광택 등 metallic효과 구현 低산소차단성 高수분차단성, 低단가 - OTR : 수십~수백cc - WVTR : 2~5g

<표7. 차단성 PP필름 별 특징>

- 3차년도에는 차단성 PP필름 기재 고유의 취약점을 보완함으로써 보다 높은 수준의 산소, 수분 차단성 BOPP필름을 개발함.
- 높은 수준의 산소 차단효과를 지니는 wet Barrier 코팅과 고수분 차단효과의 알루미늄 증착을 병합해 PP기반 고차단 필름을 제조함으로써 단일 차단성 소재가 가지는 기능을 보완, 보다 나은 수준의 배리어 특성을 구현함.
- 아래는 배리어 소재별 barrier 특성 차이를 보여주는 표로, 2종의 배리어 소재 병합 시 높은 수준의 산소, 수분 차단이 가능해짐.

구분	AL증착/BOPP	Wet barrier/ BOPP	AL증착/Barrier coat /BOPP
산소차단성	수십~수백cc/m <sup>2</sup> ·day	0.5cc/m <sup>2</sup> ·day이하	0.5cc/m <sup>2</sup> ·day이하
수분차단성	2~5g/m <sup>2</sup> ·day	4~5g/m <sup>2</sup> ·day	1g/m <sup>2</sup> ·day이하
구조 (SEM사진)			
	증착층 :0.02~0.03μm	코팅층 :1~1.5μm	증착층 :0.02μm 코팅층 :1.1μm

<표8. 차단성 BOPP필름 데이터>

- 배리어 2층 구조의 고차단성 알루미늄 증착 BOPP 필름의 경우 차단성 부여가 가능한 원료로 배합된 코팅제를 폴리프로필렌 기재에 도포 후 해당면에 알루미늄을 증착하여 금속 박막을 기재에 밀착시키는 방법으로 제조함.
- 금속 증착 막의 경우 잉크나 접착제 코팅 도포량과 대비해도 매우 저두께로, 재활용 시 재생 레진 제조 수율에 전혀 영향을 미치지 않는 수준이기에 금속이 코팅되어 있기는 하나 단일PP필름으로 보아도 무방할 것으로 예상함. 현재 알루미늄증착이 적용된 포장재가 물질 재활용 및 에너지회수에 활용되고 있지만, 재활용 수율 등에 미치는 영향 정도가 명확히 검증된 바가 없어 이에 대한 연구를 병행함.

- 2종의 차단성 소재가 가지고 있는 취약점을 보완함으로써 보다 높은 수준의 산소, 수분 차단성 구현이 가능함을 확인하였고 이를 이용해 3차년도 시제품 제작 및 양산 라인 평가를 통해 작업성 및 저장성 등의 검증을 진행함.
- 시제품은 타겟 제품 및 포장재 구성 재질에 따라 1차, 2차로 구분하여 제조 평가함.

(가) 1차 시제품 평가

- 앞서 차단성을 향상하고자 제조한 2종의 차단성 소재가 동일 기재에 접목된 고차단성 증착BOPP필름을 활용해 시제품을 제작함.
- 시제품 제작 및 평가는 실험 진행 일정에 따라 1차와 2차로 구분하여 진행하였으며 1차의 경우 차단성 및 라인 양산성, 저장성 등 주요 물성 및 작업성 검증을 목적으로 진행하며 2차의 경우 양산성 및 고유물성의 재현성 검증을 목표로 평가를 진행함.
- 포장재의 제조는 봉투 제조 공정 시 발생할 수 있는 편홀 및 미접착 불량 제어를 위해 접착제를 사용하는 Lamination 방식 대신 저두께 압출 PE를 접착 매개체로 사용하는 Extrusion 방식으로 진행함. Dry Lamination 가공 시 높은 stiffness 및 Stress로 인해 농심의 vertical 구조 내용물 충전, 합지 공정 시 seal 접점부에서 crack 및 Pinhole 발생 우려가 있음. 이에 PE 압출 코팅을 진행하여 포장재의 stiffness를 저감시킴으로써 충전 시 발생할 수 있는 포장재 Pinhole 문제를 개선함.
- 아래와 같이 시제품 포장재는 가공 방식 및 재질에 따라 몇 가지로 구분함.
- 실험은 고차단성 증착OPP를 사용한 재질을 중심으로 검증하되 비교군 차원에서 비증착 사양의 배리어 코팅 재질의 포장재도 함께 평가를 진행함. 또한 배리어 코팅과 알루미늄 증착을 각기 다른 PP기재에 행한 뒤 합지한 사양의 포장재도 평가함.



	현재질	시제품1	시제품2	시제품3	시제품4
외형					
상세 재질	OPP20/PE10/ AlvmPET12/ PE10/ CPP20	OPP20/PE15/ AlvmOPP15/ PE15/ CPP20	OPP20/PE10/ AlvmOPP15/ PE25	BarrierOPP30/ PE15/ AlvmCPP30	BarrierOPP30/ PE15/ CPP30
OTR	0.95cc	0.2cc	0.2cc	0.76cc	0.5cc
WVTR	0.3g	0.4g	0.5g	1.1g	3.62g
생산 속도	55pack/min.	55pack/min.	55pack/min.	55pack/min.	55pack/min.
편홀 검사	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA	0 EA/20 EA

<표9. 1차 스낵 포장재 시제품 재질별 물성 비교>

- 측정된 투습/투기 데이터 값을 통하여 해당 고차단 증착 필름을 포함하는 포장재의 차단 성능이 우수함을 확인함.
- 내용물을 포함하는 해당 시제품 포장재는 총 8주간 고온다습 조건 하 (40°C, 90%RH) 농심 내부 산소, 수분 저장성 및 산가, 과산화물가 실험을 진행하였음.
- 고차단 증착PP를 사용한 시제품의 경우 현 제품과 비교해도 산소 및 수분 함유량 평가에서 우수한 결과를 보여 주었고, 산가, 과산화물가 실험에서도 동등한 수준이 확인됨.
- 반면 시제품3의 경우 배리어 코팅과 알루미늄 증착을 다른 기재에 행한 뒤 합지하였는데 이 경우 수분 함유량에 있어 기준에는 부합하나 (+2.5wt%, 기준 3Wt%이내) 상대적으로 수치가 저하되는 모습을 보임.
- barrier코팅 시제품4의 경우 투기도는 우수하나 현제품 대비 투습도가 미흡하였고 이에 수분 함량 평가 시 허용치를 초과해 현 제품 대비 4~5% 상승함. 결과적으로 수분 차단성의 한계로 인해 스낵 포장재로 사용에는 한계를 나타냄.
- 1차 실험을 통해 고차단 알루미늄 증착 재질의 경우 현 제품의 대체가 가능 수준으로 판단되며, 이에 양산화를 고려한 재질 및 타겟 제품을 선정해 2차 시제품 평가를 진행함.

(나) 2차 시제품 평가

- 2차 시제품은 해당 포장재의 장Lot 가공 시 발생하는 공정트러블을 사전에 평가하는 것을 목적으로 PP단일소재 포장재의 양산 품질을 재검증함.
- 현 스낵포장재와 비교해 양산 공정상 발생될 수 있는 핀홀 등의 불량 요인을 평가하였으며, 스낵 규격 및 제조 단가 등을 고려해 대상 제품을 변경함.
- 타겟 제품과 재질을 아래와 같이 선정하였으며 실험을 진행함.

	현재질	시제품
외형		
상세 재질	OPP20/PE20/AlvmPET12/PE20/PP20	OPP20/PE15/AlvmOPP15/PE15/PP20
OTR	0.8cc	0.1cc
WVTR	0.4g	0.2g
낙하실험 핀홀테스트	낙하실험 전 : 0 EA/ 60 EA 낙하실험 후 : 17 EA/200 EA	낙하실험 전 : 0 EA/ 60 EA 낙하실험 후 : 15 EA/200 EA

시험결과  
(Test Result)



1. 시험결과

I-1. 산소투과도 (계측)

시료명	시험조건	단위	시험결과		시험방법
			TEST 1	TEST 2	
고구마장 (Wet Barrier OPP30 / smCPP30)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> ·day	0.72	0.76	ASTM D 3985
고구마장 (OPP20 / PE15 / AlvmOPP15 / PE15 / ECP20)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> ·day	0.20	0.20	ASTM D 3985
고구마장(OPP / PE15 / AlvmOPP15 / PE25)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> ·day	0.23	0.27	ASTM D 3985
조형유과 (기준제품)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> ·day	0.82	0.79	ASTM D 3985
조형유과 (OPP20 / PE15 / AlvmOPP15 / PE15 / ECP20)	(23.0±1)°C	cc/m <sup>2</sup> ·day	0.09	0.08	ASTM D 3985

• 산소 투과도 시험기 : OXY-TRAN 2/2B (MOCON, 미국)  
 • 시험면적 : 38 cm<sup>2</sup> (측정유효 : 0.91~206 cm<sup>2</sup> / day), 5 cm<sup>2</sup> (측정유효 : 0.1~2000 cc/m<sup>2</sup>·day)

비고 1. 이 시험결과는 미국 MOCON사 공학인증 발행일(Certificate : 111-1013)에서 인증된 장비로 측정된 결과입니다.  
 2. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시험조건으로 시험한 결과에 한하며, 잔여 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 3. 본 성적서는 온도, 시간, 용고 및 조습률으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.  
 4. 본 성적서의 잔여 확인은 QR코드로 확인가능합니다.

시험결과  
(Test Result)



1. 시험결과

I-2. 수증기투과도 (계측)

시료명	시험조건	단위	시험결과		시험방법
			TEST 1	TEST 2	
고구마장 (Wet Barrier OPP20 / smCPP30)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> ·day	0.673	0.621	ASTM F 1249
고구마장 (OPP20 / PE15 / AlvmOPP15 / PE15 / ECP20)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> ·day	0.698	0.477	ASTM F 1249
고구마장(OPP / PE15 / AlvmOPP15 / PE25)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> ·day	0.578	0.539	ASTM F 1249
조형유과 (기준제품)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> ·day	0.437	0.443	ASTM F 1249
조형유과 (OPP20 / PE15 / AlvmOPP15 / PE15 / ECP20)	(27.8±1)°C, 100%RH	g/m <sup>2</sup> ·day	0.173	0.154	ASTM F 1249

• 수증기 투과도 시험기 : PERMATRAN-2/6 (MOCON, 미국)  
 • 시험면적 : 58 cm<sup>2</sup> (측정유효 : 0.050~14 cm<sup>2</sup>·day)

비고 1. 이 시험결과는 미국 MOCON사 공학인증 발행일(Certificate : 111-1013)에서 인증된 장비로 측정된 결과입니다.  
 2. 본 성적서는 고객이 제시한 시료 및 시험조건으로 시험한 결과에 한하며, 잔여 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.  
 3. 본 성적서는 온도, 시간, 용고 및 조습률으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금지합니다.  
 4. 본 성적서의 잔여 확인은 QR코드로 확인가능합니다.

<표10. 2차 스낵포장재 시제품 물성 평가 및 성적서>

- 포장재 제조 후 낙하 실험 등을 통해 Pinhole 및 Seal 등 제품 양산 시 발생 가능한 품질 항목 등을 평가하였고 이에 현 제품과 동등한 수준의 품질이 확인됨.
- 8주 간의 저장성 평가 결과 산소 및 수분 함량 변화에 변화에 있어 현 재질 대비 약0.5wt% 낮은 수준의 결과를 보였고 AV, POV 실험에서도 우수한 특성을 확인함.
- 이에 따라 관능평가에서도 수분 및 산소 함량 저감에 따른 현 재질보다 양호한 결과를 얻을 수 있었음.
- 추가로 현재 이중의 증착PET를 포함하는 현 재질과 차단성 코팅 및 알루미늄 증착의 PP단일재질 시제품 간 재활용 실험을 실시함.

구분	현재품1	현재품2	시제품1	시제품2
재질 구성	OPP30/PE10/ VMPET12/ PE10/CPP30	Barrier OPP30/ PE15/CPP30	OPP20/PE15/ AlvmOPP15/ PE15/ECP20	Barrier OPP30/ PE15/VMCPP30
사진(자재)				
사진(산출물)				
결과	이중재질의 (VMPET포함) 경우 용융 후 흐름성 저하, 압출 불가 증착PP 및 배리어코팅PP 재질의 경우 압출물 (Plastic yarn) 제조 가능			

<표11. 스낵포장재 재활용 실험 결과>

- 재활용 실험 결과 이중 재질 경우 고온에 의해 일부 용융은 가능하나 스크류 및 다이스 등압력이 가해지는 구간에서 고분자 사슬이 서로 뒤엉켜 흐름성이 저하되 압출 작업이 불가하였음. 반면 증착을 포함하는 단일재질 구성의 경우 압출 및 재생 원료 제조가 용이함.

평가 항목 (주요성능 Spec <sup>1)</sup> )		단위	연구개발 전 국내수준	개발 목표치		표준 인증 기준 <sup>3)</sup>
			성능수준	목표 수준	결과	
스 넥 포 장 재	산소차단성	cc/m <sup>2</sup> ·day	2	<2	<0.5	ASTM D3985
	수분차단성	g/m <sup>2</sup> ·day	5	<2	<0.5	ASTM F1249
	저장실험	제품수분율	%		초기수분 함량 +3wt%이하	+1wt% 이하
Av		mg KOH/g	-	0.5 이하	0.5 이하	
POV		meq/kg		10 이하	10 이하	

<표12. 스넵포장재 정량적 목표 기준 >

- 개발 초기 재활용 용이 스넵포장재 개발을 위해 설정한 정량목표는 위와 같으며 고차단성 증착 필름을 사용해 해당 목표의 달성을 완료함.
- 알루미늄 증착 외 SiO<sub>x</sub> 투명증착을 통해서도 해당 물성 목표의 도달 가능하나 면포장재를 통해 검증하였듯 포장재 외관이 투명할 경우 외기 광원에 의해 유당 내용물의 변질 우려가 있어 증착 재질이 보다 적합할 것으로 판단함.
- 최종적으로 알루미늄 증착을 포함하는 고차단성 단일재질 스넵포장재에 대하여 양산화를 위한 차단성 및 저장성 등의 요구물성의 목표치에 모두 도달하였으며, 양산Line 제조 시 양품의 스넵 제품 제조가 가능함을 확인함.

## 나. 차단성 필름 제조 기술 개발

### (1) 고차단성 액제 및 코팅 기술 개발

- 폴리올레핀 필름에 차단성을 부여하는데 있어 차단성 기능 액제 개발 및 코팅 기술 개발에 초점을 맞춰 대면적 양산화를 위한 코팅 기술 연구를 진행함.
- OPP 필름의 경우는 다른 범용 고분자 필름에 비하여 수분차단성이 우수한 편에 속해 있지만, 해당 과제와 같이 요구되는 산소, 수분차단성 물성에는 미치지 못함.
- 이에 변성 PVA의 hydroxy group과 화학적 가교(Cross-linking)를 할 수 있는 aldehyde acid계의 가교제를 Blending하여 코팅액을 제조하였으며 이를 통해 조밀한 망상 구조를

갖고, 공극을 최소화 할 수 있었으며 산소 및 수분 차단성을 극대화 할수 있는 가교 시스템을 구성함.

(가) 대면적 양산화를 위한 대용량 액제 제조

- 기포로 인한 작업성 및 생산성이 저하, 코팅 표면 기포로 인한 배리어성 저하되므로 이를 제어하여 양산성 및 작업성, 배리어성을 향상시킴.
- 액제의 버블을 최소화하기 위해 소포제 및 탈포를 거쳐 배리어 코팅제의 기포를 최소화 함.
- 소포제는 거품이 일어나는 것을 방지하는 약제로 일반적으로 유화 안정력이 있는 물질이 용해되어 있는 액체는 거품 또는 기포 발생이 쉬워 이를 제거하고자 배리어 액제에 투입, 제조함.

(나) 대면적 wet코팅 기술 개발

- OPP Film에의 100% 수계의 고차단성 용액 코팅이 적합하도록 표면개질을 하였으며, mono-layer 수성코팅으로 산소차단성 및 수분차단성을 극대화하였으며 대량 생산을 효율적으로 진행 할 수 있는 양산 공정 조건을 정립함.
- 배리어 액제를 필름 기재에 대면적 코팅하는 방식으로는 두께가 얇은 기재에 안정된 박막 코팅이 가능한 다이렉트 그라비아 방식을 사용하였으며 이 가운데에서도 대면적 양산을 고려해 코팅이 가능한 Dry laminator를 이용함.
- 일반적으로 Back-up Roll (압동롤 또는 고무롤) 과 그라비아 (메쉬)를 접촉시켜 코팅액을 전이시키는 방식으로 주로 대면적 장Lot 접착 및 베다 인쇄 등에 사용하며 단일 액제 코팅 또한 가능하기에 제품화 가공 기술로 적용함.
- 이에 최적의 Barrier 성능을 구현하기 위해선 적정 두께가 요구되며, 도포량 향상을 위해 깊은 심도를 지닌 80선 실린더를 사용하여 코팅을 진행.
- 코팅용 실린더 표면에 가공된 셀에 담겨진 액제를 필름 기재에 전이시키는 방식으로 셀의 형태나 깊이, 코팅 속도 및 독타블레이드 위치 등 실린더 및 가공 조건에 따라 코팅 도포량 및 건조성 등의 작업성에 영향을 미치게 됨.

구분	Tension[kg/f]				Speed	Cylinder
	Infeed	1 <sup>st</sup> Unwind	Rewind	Coating	Line [M/min]	
ACT	5.4	8	5	10	40~60	Laser 80

구분	Dry Chamber Temp.[°C]			
상부	#1	#2	#3	#4
	90	100	100	100
하부	#1	#2	#3	#4
	79	85	91	79

<표13. SDL 코팅 실험 조건>

- SDL 코팅 방식이 속도, 공정 조건 등의 작업성 측면에서 코팅이 용이하였고 차단성 향상을 위한 도포량 증량에서도 마이크로 그라비아 등 타방식과 비교해 용이함. 또한

코팅 시 액제에서 발생하는 기포 역시 저감되어 코팅이 용이하며 도포량이 향상됨에 따라 결과적으로 우수한 차단효과 구현이 가능하게 됨,



원단 Unwinder → Coating → 건조챔버 → 원단 Rewinder

구분	작업량[M]	도포량[g/m <sup>2</sup> ]	코팅 두께[ $\mu$ m]	부착력	OTR[cc/m <sup>2</sup> ·day]
40m/min	2000	1.33	1.1	O	0.5 ↓
50m/min	2000	1.28	1.2	O	0.5 ↓
60m/min	2000	1.2	1.1	O	1.0

<표14. Speed 변경에 따른 작업성 및 물성 평가>

- 면, 스넵의 시제품에 사용된 Barrier PP필름의 경우 15~30 마이크론 두께의 BOPP 필름에 차단성 액제를 SDL 방식으로 코팅해 필름을 제조하였으며 도포량은 1~1.2 $\mu$ m를 타겟으로 실린더 및 작업 조건을 조정하여 제조함.
- 양산성을 고려한 Speed의 과도한 상승은 Coating head부의 과도한 기포 생성 및 미건조 현상을 발현하였으며, Chamber 온도 및 열풍 등의 적정 조건을 충족하였을 때 안정적인 건조 및 Coating 균일성을 얻을 수 있음을 확인함.



<그림4. Coating Head 부분 기포 과도한 발생(코팅 불량 원인)>

- 차단성 용액 및 코팅 공정에서 습도에 강한 가교밀도를 갖는 고차단성 OPP 코팅필름을 개발하였으며, 최근 국내외에서 시판 중이거나 개발 중인 PVA 수계 차단성 코팅 필름과 달리, 상대습도(RH90%) 조건하에서도 우수한 산소 차단성을 유지함.



구분		OPP	선진제조사	울촌Barrier
산소차단성 (cc/m <sup>2</sup> day)	상대습도 RH 0%	1,000 ↑	10.6	1.8
	상대습도 RH90%	1,000 ↑	13.6	1.1

<표15. 차단성 비교 데이터 \*필름기재 : OPP60>

- 국내외 선진 제조사 (국외 : (日)후다무라, (日)다이셀 국내 : SR tech)등의 제품 대비 하여 일반 측정조건에서는 동등 이상의 차단성을 갖고 있으며, 상대습도 조건에서는 매우 우수한 산소 차단성을 확보함. 또한 대부분 차단성 코팅 layer를 multi-layer를 구성하는 반면에 mono-layer로 구성하여 고차단성을 구현함.

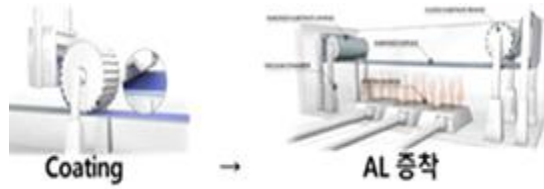
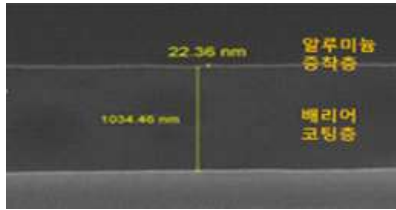
## (2) 알루미늄 증착 및 고차단성 증착 필름 개발

### (가) 알루미늄 증착 기술

- 가장 일반적인 물리적 기상 증착법은 진공 상태에서 높은 열을 금속원에 가해 기화시킨 다음 상대적으로 낮은 온도의 기판에 박막을 형성하는 것으로 고체가 승화된 다음 기판에 고화되는 방법임.
- 처음 가해진 열 에너지가 금속 기체를 이동시키는 유일한 에너지원이므로 이동 중에 불순물을 만나면 쉽게 그 에너지를 잃어 다른 곳에 증착이 될 수 있으므로 일반적으로  $10^{-5}$ ~ $10^{-9}$  범위의 고진공 상태를 유지함.
- 주로 용융점이 낮은 알루미늄을 주소재로 증착하며, 증착 층의 두께는 수십에서 수백 옴스트롱(Å) 수준의 박막으로 이 금속층이 필름에 차단성을 부여하게 됨.
- 일반적으로 프로필렌 기재에 알루미늄 증착 시 기재 고유의 낮은 산소 차단성으로 인해 수십에서 수백 수준의 높은 산소 투과도를 가지게 되며 수분의 경우 수g 수준의 결과치를 얻을 수 있음.
- 금속 증착 막의 경우 잉크나 접착제 코팅 도포량과 대비해도 매우 저 두께로 금속이 코팅되어 있기는 하나 재활용 시 재생 레진 제조가 가능함.

### (나) 고차단성 증착 필름 개발

- 고차단성 알루미늄 증착 BOPP 필름은 차단성 wet코팅제 상단에 박막의 알루미늄을 증착시켜 제조하며 2종의 차단성 소재가 가지고 있는 취약점을 보완함으로써 보다 높은 수준의 산소, 수분 차단성 구현이 가능함.
- 차단성 코팅의 경우 상기에 명시된 것과 마찬가지로 폴리올레핀계 고분자를 혼용한 블렌드 화합물 액제를 기재 위에 도포하여 제조함.
- 차단성 코팅이 가공면에 알루미늄에 열을 가해 기화시키는 증착 방법을 사용해 2종 배리어 소재를 포함하는 차단성 필름을 제조함.



<그림5. 고차단 증착BOPP SEM 및 가공 사진>



<그림6. 포장재 식품 안정성 시험 결과>

- 해당 필름을 사용한 스넵포장재 재질 샘플의 식품 안정성 평가 결과는 위와 같으며 납, 카드뮴 등 인체 위해성 물질은 검출되지 않음.
- 아래는 차단성 기재 필름 별 투습, 투기 데이터 값으로 수치상 wet 코팅과 알루미늄 증착을 모두 포함하는 기재의 차단성이 매우 우수함. 이는 코팅제가 가지는 미흡한 수분 차단성을 AL층이, AL증착의 낮은 산소 차단성을 Wet barrier코팅제가 상호 보완하면서 구현된 특성임.

구분	AL증착/BOPP15	AL증착/Barrier coat/BOPP15
산소차단성	수십~수백 cc/m <sup>2</sup> ·day	0.5 cc/m <sup>2</sup> ·day 이하
수분차단성	2~5g/m <sup>2</sup> ·day	1g/m <sup>2</sup> ·day 이하

<표16. 알루미늄 증착PP필름 차단성 데이터>

- 해당 필름의 Wet 코팅 및 증착은 오프라인 가공으로 진행되며 증착설비 내 인라인 코팅부가 있는 경우 In-Line 제조가 가능하며 이 경우 단가 및 수율에 이점을 가질 수 있음.

## 다. 차단성 폴리올레핀 소재 및 종이용기 개발 (위탁연구)

### (1) 수분 차단성 폴리올레핀 필름 개발

(가) 신규 판상무기입자 강화를 통한 HDPE 필름 수분차단성 개선

- 고수분차단성을 개선하기 위해 수분차단성 탁월한 저가이며 평균입경 1.0 μm 판상 구조인 Kaloin((O사), MFI 0.035(g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 HDPE와의 Blend를 75% (중간층50%, 외층25%)로 하고, 유연성을 부여하기 위해 MFI 1.5(g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 LLDPE(Linear Low Density Polyethylene)를 25%(내층)로 한 3층 구조의 필름을 제조함.

차단성 HDPE/Kaolin Blend(외층, 25%)
차단성 HDPE/Kaolin Blend(중간층, 50%)
LLDPE(내층, 25%)

<그림7. 고수분차단성 및 유연성 기능을 가진 폴리올레핀 필름 구조>



<그림8. 다층필름 성형기(독일 B사)의 모습>

- 필름외층에 corona처리(42 dyn·cm)하여 고산소차단성 폴리올레핀 필름과의 lamination이 원활하게 함. 다층필름 성형기(그림8 참조)에서 상기 준비된 원료를 투입하여 필름을 성형함. 필름 총 두께는 40μm, 폭은 820mm, 길이는 1,000m 형태로 2롤 제작하였음.

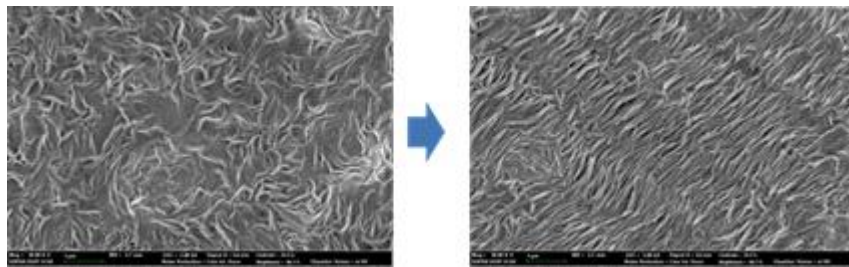
구 분	목표	Kaolin 첨가량(wt%) 별 HDPE					
		10	15	20	25	30	40
WVTR(g/m <sup>2</sup> ·day)	≤ 2	9.3	6.0	4.9	4.1	4.0	4.1

<표17. Kaolin 첨가량별 다층 폴리올레핀 필름에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과>

- 표17에서 볼 수 있듯이 Kaolin 함량 증가에 따라 수분차단성이 우수해지지만 25wt% 이상에서는 거의 차이가 없고, 원하는 수준에는 미치지 못함.

(나) 신규 핵제 처방에 의한 HDPE 필름 수분차단성 개선

- 고수분차단성을 개선하기 위해 특수 핵제(M사), MFI 0.035(g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 HDPE와의 Blend를 75% (중간층 50%, 외층 25%)로 하고, 유연성을 부여하기 위해 MFI 1.5 (g/10분, 190°C, 2.16Kg)인 LLDPE를 25%(내층)로 한 3층 구조의 필름을 제조함.
- 제조된 3층 구조의 폴리올레핀 필름에 있어 핵제 처방 HDPE층 및 핵제 미처방 HDPE 단층필름에 대한 전자현미경(SEM) 사진을 측정해 본 결과 (그림9 참조) 핵제 미처방 HDPE 필름 대비 구정(Spherulite)이 균일하고 극도로 많이 형성되어 수분 차단성이 높을 것으로 보여짐.



[핵제 미처방 HDPE 필름] [핵제 1.0wt% 처방 HDPE 필름]

<그림9. 핵제 처방 전후 HDPE 필름에 대한 SEM 측정된 결과>

구 분	목표	핵제 첨가량(wt%) 별 HDPE					
		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
WVTR(g/m <sup>2</sup> ·day)	≤ 2	8.2	6.5	4.6	3.6	3.5	3.6

<표18. 핵제 첨가량별 다층 폴리올레핀 필름에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과>

- 표18에서 볼 수 있듯이 핵제 함량 증가에 따라 수분차단성이 우수해짐을 알 수 있으나 원하는 수준에는 미치지 못함.

(다) 신규 핵제 처방/판상무기입자 강화 의한 HDPE 필름 수분차단성 개선

- 상기 최적 Kaolin 함량인 25wt%에 핵제를 여러함량별 처방한 HDPE 필름 제작함.
- 표19에서 볼 수 있듯이 핵제 함량 증가에 따라 수분차단성이 우수해짐을 알 수 있으나 원하는 수준에는 미치지 못함.

수지조성물의 조성(wt%)			WVTR(g/m <sup>2</sup> ·day)	
HDPE	Kaolin	핵제	결과	목표
74.4	25	0.6	3.5	≤ 2
74.2	25	0.8	3.1	
74.0	25	1.0	2.8	
73.8	25	1.2	2.9	
73.6	25	1.4	2.8	

<표19. 핵제 첨가량별 다층 폴리올레핀 필름에 대한 수분차단성(WVTR) 측정 결과>

- 최종적으로 핵제 함량에 따라 수분 차단성 증가 경향은 확인하였으나 원하는 수준에 도달하지는 못함. 향후 Kaolin과 핵제 등 수지조성물 함량 변화에 따른 차단성 수치 변화에 대한 추가 연구가 필요함.

## (2) 종이용기용 고분자 복합체 코팅 종이 제조기술 개발

- 1차년도에 LDPE 및 LLDPE 기반 복합체 대비 내열성을 개선(전자레인지 적합성) 하고자 PP기반 고분자 복합체 코팅종이에 대해 연구함.

### (가) 원료의 준비

- 내열성 폴리올레핀 수지로서 MI 26 g/10min(230°C, 2.16Kg)의 PP(L사), 고순도 미세 무기 입자로서 평균입경 1.7 $\mu$ m의 식품용으로 검증된 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>, O사), 무기입자의 분산성 수지인 친수성기 함유 폴리올레핀 수지로 maleic anhydride grafted PP(MAH-g-PP)를 준비함.

### (나) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 제조공정

- CaCO<sub>3</sub>와 MAH-g-PP로 1단계 분산시켜 일종의 고농도의 무기입자 함유 MB(Master Batch)를 제조하고, PP를 첨가 2단계 분산시켜 내열성 무기물 충전 고분자 복합체를 제조함. (그림10, 11 참조)



<그림10. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 제조공정>



<그림11. Pilot scale 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 제조>

### (다) PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체의 제조

- 표20에 나타낸 대로 PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체를 제조함.

Sample명	조 성(wt%)	
PP	PP	0
PP-40	PP 60	CaCO <sub>3</sub> 40
PP-50	PP 50	CaCO <sub>3</sub> 50
PP-60	PP 40	CaCO <sub>3</sub> 60

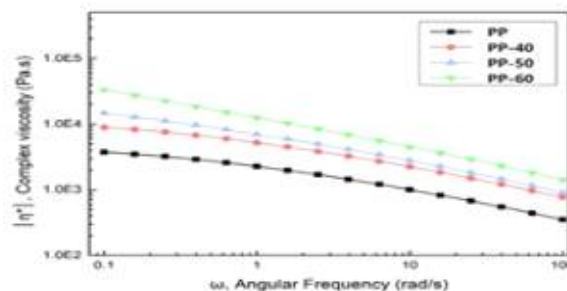
<표20. PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체>

(라) PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 밀도, MFI 및 Ash test 결과 - 제조된 PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 밀도, MFI 및 Ash test 결과를 표21에 나타냄. Ash test 결과 CaCO<sub>3</sub> 함량이 처방과 유사함을 알 수 있고, 탄산칼슘 증가에 따라 MFI가 증가하여 압출가공성이 떨어질 것이 예상됨.

Sample명	Melt Flow Index (g/10min)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ash Test (CaCO <sub>3</sub> wt%)
PP	26.0	0.90	-
PP-40	19.6	1.12	38.24
PP-50	16.4	1.28	49.55
PP-60	13.2	1.37	59.98

<표21. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 밀도, MFI 및 Ash test 결과>

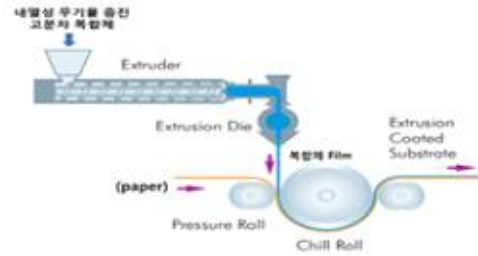
(마) PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 점탄성 성질 분석 결과 - PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 압출코팅 공정에 있어 매우 중요한 점탄성 성질을 평가하여 그림12에 나타냄. 전단속도에 해당하는 angular frequency의 증가에 따라 복합점도가 감소하는데 LDPE와 대비할 때 탄산칼슘 함량이 증가함에 따라 초기 점도가 다소 높아 어려움이 예상되나 점도가 떨어지는 수준은 대체로 비슷하여 압출온도, 구동속도 등 조건을 잘 조절하면 압출코팅을 할 수 있음.



<그림12. PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체에 대한 점탄성 성질>

(바) PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체를 사용한 압출코팅 종이 제조 - 압출코팅 종이 제조공정은 그림13에 나타난 바와 같음. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체를 300~320°C 온도의 압출기에 투입하여 T-die를 통해 도출된 용융 복합체를

unwinder를 통해 공급된 종이 표면위에 코팅되고 chill roll를 통해 냉각되고 winder에 권취되어 제조됨.



<그림13. 압출코팅 종이 제조 개략도>

- 그림14 및 15에 본 실험에 사용된 pilot 및 양산 scale 압출코팅 종이 제조 설비를 나타냄. 실제로 압출코팅을 실시한 결과 탄산칼슘이 증가할수록 높은 점도에 의해 압출 코팅성이 나빠졌고 탄산칼슘이 60중량%인 경우는 종이에 대한 부착성도 떨어져 바람직 하지 않고 50중량% 이하가 적절함.



<그림14. Pilot scale 압출코팅 종이 제조 설비>



<그림15. 양산 scale 압출코팅 종이 제조 설비>

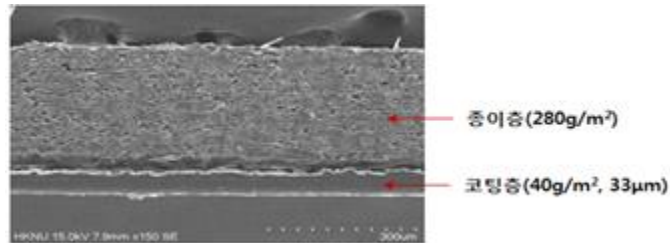
(사) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅 종이에 대한 SEM 분석

- PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체를 사용한 압출코팅 종이의 코팅층에 대한 SEM 분석 결과를 그림16에 나타냄. 탄산칼슘이 많음에도 불구하고 매우 잘 분산됨을 알 수 있음.



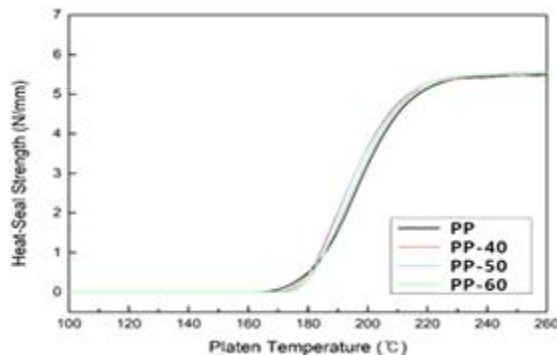
<그림16. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이의 코팅층에 대한 SEM 분석>

- PP-50 샘플에 대한 단면구조를 SEM으로 분석한 결과를 그림17에 나타냄.  
종이층 280g/m<sup>2</sup>, 내열성 무기물 충전 고분자복합체 40g/m<sup>2</sup>(두께 약 33μm)의 코팅 종이로서 코팅층 분율이 12.5wt%여서 UL2485에 합격할 수 있는 필수조건 (코팅층 분율 15중량% 미만일 것)을 만족함을 알 수 있음.



<그림17. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이의 단면구조 SEM 분석>

- (아) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength  
- 용기의 열성형성을 파악하기 위해 PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength를 분석한 결과를 그림18에 나타냄.  
- 열에 의한 용기성형성은 성형온도만 잘 조정하면 우수한 열성형성을 가질 수 있을 것으로 판단됨.



<그림18. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이의 코팅층-종이층간의 heat seal strength>

- (자) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이에 대한 방수성(WVTR) 평가  
- PP/CaCO<sub>3</sub> 조성별 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이에 대한 방수성(WVTR) 평가 결과를 표22에 나타냄. 탄산칼슘 함량의 증가에 따라 WVTR(g/m<sup>2</sup>·day)이 감소, 즉 방수성이 탁월해짐을 알 수 있음.



Sample명	WVTR(g/m2day)
PP	9.4
PP-40	7.6
PP-50	5.2
PP-60	4.1

<표22. 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이에 대한 방수성(WVTR) 평가>

(차) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이에 대한 방수성(육안) 평가

- 대표적으로 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이(PP-50)로 성형한 용기 샘플을 제작하여 물(잉크 소량 함유)을 넣고 30분간 방치후 물의 누수가 있는지 여부를 평가함. 방수성이 탁월함을 확인함 (그림19 참조).



<그림19. 무기물 충전 고분자 복합체(PP-50) 코팅종이로 성형한 용기 샘플 방수성 평가>

(타) 내열성 무기물 충전 고분자 복합체 코팅종이에 대한 내유성 평가

- 대표적으로 무기물 충전 고분자 복합체(PP-50) 코팅종이로 성형한 용기 샘플을 제작하여 식용유를 첨가하고 30분간 방치후 식용유의 누유가 있는지 여부를 평가함.
- 식용유에 대한 내유성이 탁월함을 확인함 (그림20 참조).



<그림20. 무기물 충전 고분자 복합체(PP-50)코팅종이로 성형한 용기 샘플 내유성 평가>

(카) 내열성 (국물 내이염성) 평가

- 종래 PE 코팅종이 용기와 무기물 충전 고분자 복합체(PP-50) 코팅종이로 성형한 용기에 대해 전자레인지 요리 전후 국물이 밴 상태로 국물 내이염성을 평가함.(그림21) 무기물 충전 고분자 복합체(PP-50) 코팅종이로 성형한 용기의 국물 내이염성이 우수함을 알 수 있음.



[ 종래 PE 코팅종이 용기 ]      [ 무기물 충전 고분자복합체 코팅종이 용기 ]  
 <그림21. 전자레인지 요리 전후 국물 뱀 상태 비교>

(과) 내열성(전자레인지 적용성) 평가

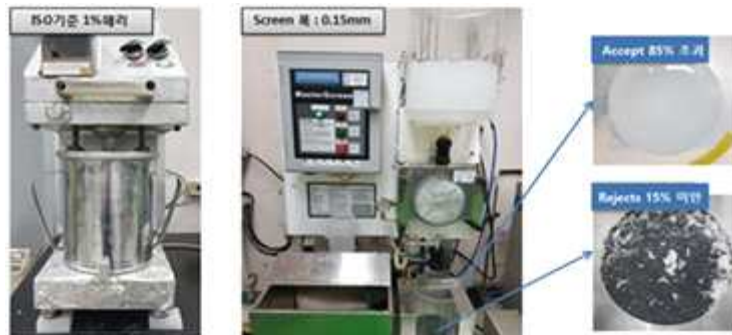
- 무기물 충전 고분자복합체 코팅종이 용기를 컵라면 용기로 전자레인지 적용(700W, 2분) 후 식품 안전성을 평가하여 내열성을 평가함(표23 참조). 전자레인지 적용 후에도 식품 안전성이 권장기준에 합격함으로써 내열성이 우수함을 알 수 있음.

용출시험	항 목	침출용액	실측치 (mg/L)	검출한계	권장기준
	과망간산칼륨 소비량	정제수	1.0	1.0	10 이하
총용출량	4% 초산	n-헵탄	5 미만	5	30 이하
		정제수	5 미만		150 이하
		정제수	5 미만		30 이하
중금속 함량	항목		실측치(mg/kg)	검출한계	
	납 (Pb)		10 미만	10	
	카드뮴 (Cd)		5 미만	5	
	안티몬 (Sb)		10 미만	10	

<표23. 전자레인지 적용(700W, 2분) 후 무기물 충전 고분자복합체 코팅종이 용기 식품안전성>

(하) UL2485에 의한 재활용성 평가

- 코팅종이에 대한 재활용성을 UL2485[Environmental Claim Validation Procedure (ECVP) for Recyclability of Paper-Based Products]에 의해 평가함.
- 이는 TAPPI Standard 274, 275, 278중 하나의 해리공정을 통한 뒤 Rejects양이 15중량% 미만일 경우 재활용성이 있다고 판정하는 것임. (그림22 참조)



<그림22. TAPPI 표준 274 해리공정을 통한 UL2485 평가>

- TAPPI standard 275(Somerville-type equipment)에 의거 샘플크기 4x4cm, 각 조건별 샘플 중량 24g, 해리농도 1.2%, 회전수 3,000rpm, 온도 55°C이, 시간 5분, 10분 15분, 해리 시 별도의 soaking처리는 하지 않고 0.5% NaOH 수용액을 넣고 해리한 후 20분간 screen처리한 후 rejects량 및 상태를 현미경으로 측정하였음
- 대표적으로 종이층 280g/m<sup>2</sup>, 내열성 무기물 충전 고분자복합체(PP-50) 40g/m<sup>2</sup>(두께 약 33μm)의 코팅종이(코팅층 분율 12.5wt%) 및 두께 30μm, 코팅층 분율 9.6wt%인 PP코팅 종이(비교품)에 대한 재활용성 평가 결과를 그림23에 나타내었음.



<그림23. PP 및 내열성 무기물 충전 고분자복합체(PP-50) 코팅종이에 대한 재활용성 평가>

- 무기물 충전 고분자복합체(PP-50) 코팅 종이 경우 해리공정 10분만에 rejects량 12.5wt% (펄프가 100% 회수됨을 의미함)을 보였는데, 이는 펄퍼에 내재된 임펠러에 의해 충격을 받아 코팅층이 분쇄됨으로써 탁월한 pulp 회수성을 보였다고 생각됨.
- 반면 PP코팅 종이는 해리공정후 10분에 rejects량 33.6wt%(펄프가 73% 회수됨을 의미함)으로 높은데 이는 임펠러에 의한 충격에도 유연성 있는 PP 필름층이 손상되지 않고 형태가 보존된 상태였기에 펄프의 해리속도가 느려졌다고 생각됨. 하여튼 PP코팅 종이는 UL2485 기준 재활용성이 없다고 판정됨.
- 최종적으로 PP기반 무기물(CaCO<sub>3</sub>) 충전 고분자 복합체 압출코팅 종이 경우 내열성이 우수하여 전자레인지 적합성 및 국물 내이염성이 탁월하고 또한 방수성, 내유성, 용기 성형성 및 재활용성 여부 판정 국제규격인 L2485 기준을 만족하는 우수한 재활용성 (펄프 회수성)을 가진 제품으로서 탄소중립 대응 친환경 제품으로서 유용하게 활용 가능할 것으로 전망됨.

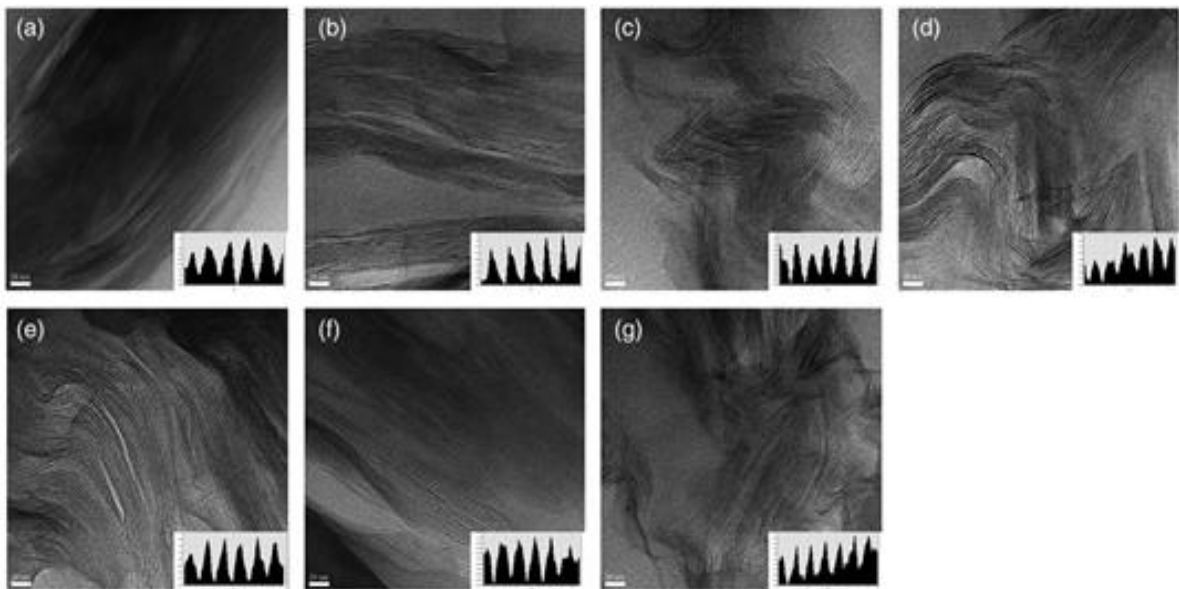
## 1. 1차년도

### 가. 가스(산소/수증기) 차단성 부여를 위한 천연물 기반 첨가제 (Nanoclay, Cellulose NanoFiber, Glass Bubble 등) 응용 기술 연구

(1) 가스(산소/수증기) 차단성 부여를 위한 천연물 기반 첨가제를 이용한 국내·외 문헌 및 관련 자료

(가) 국내 연구 사례

- Polypropylene (PP) matrix에 nanoclay와 hollow glass microsphere (HGM)을 이용하여 산소 차단성 필름 제조



<그림 1 TEM분석을 통한 PP복합소재 내의 nanoclay 분산 결과 사진, (a) PP/nanoclay 5wt% 복합소재, (b)(c)(d) PP/PP-g-MA/nanoclay 5wt% 복합소재, (e)(f)(g) PP/HGM/nanoclay 5wt% 복합소재>

- PP matrix에 nanoclay와 hollow glass microsphere (HGM)을 이용하여 산소 차단성 필름

을 제조하여 TEM 이미지 분석 결과, HGM가 상용화제인 PP-g-MA와 마찬가지로의 역할을 하여 nanoclay의 층간 간격을 증가시키는데 긍정적인 영향을 미침을 연구 결과를 통해 확인하였음

- 이러한 긍정적인 영향을 통해 PP/HGM/nanoclay 복합소재의 경우 최적의 조성에서 산소 투과도의 값이 약 64.79 cc-mm/m<sup>2</sup>-day-atm을 보였으며, neat PP보다 약 32 %의 향상됨을 이러한 연구 결과를 통해 확인하였음
- 국내에서 이뤄진 연구 결과를 통해 두 가지 형태의 산소차단성 첨가제를 이용하여 PP의 산소차단성 향상이 구현됨을 확인하였음

Sample	O <sub>2</sub> permeability (cc mm/m <sup>2</sup> day atm)	Sample	O <sub>2</sub> permeability (cc mm/m <sup>2</sup> day atm)
Neat PP	94.62 ± 3.73 <sup>f</sup>	PPN	76.91 ± 5.61 <sup>bc</sup>
PPNM5	95.34 ± 5.01 <sup>fg</sup>	PPNG1	85.47 ± 0.62 <sup>de</sup>
PPNM10	102.39 ± 7.22 <sup>g</sup>	PPNG3	64.79 ± 1.96 <sup>a</sup>
PPNM15	88.77 ± 0.88 <sup>ef</sup>	PPNG5	72.83 ± 1.76 <sup>b</sup>
PPNM20	80.60 ± 1.76 <sup>cd</sup>	PPNG7	74.97 ± 0.69 <sup>bc</sup>

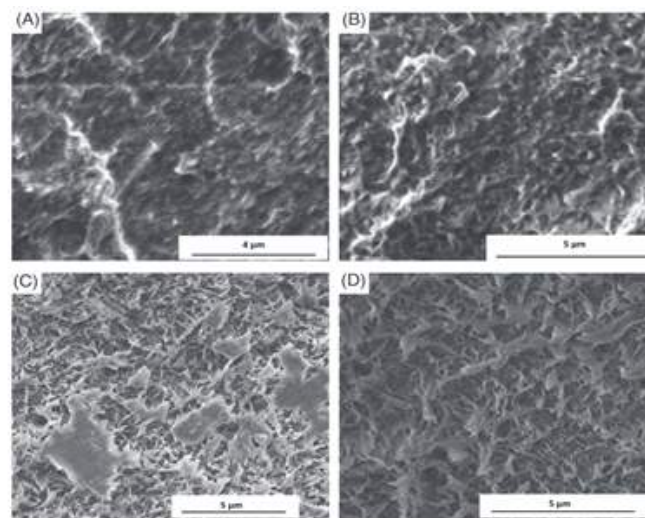
Different superscripts in same column indicate that there are statistically significantly different at 95% confidence level ( $\alpha = 0.05$ ).

<그림 2 PP 복합소재들의 산소투과도 측정 결과>

<※ 출처: J. Appl. Polym. Sci. 2019, 136, 47476>

(나) 국외 연구 사례

- Polylactic acid (PLA) matrix에 nanoclay, cellulose nanocrystal (CNC), cellulose nanofiber (CNF)를 이용하여 산소 차단성 필름 제조

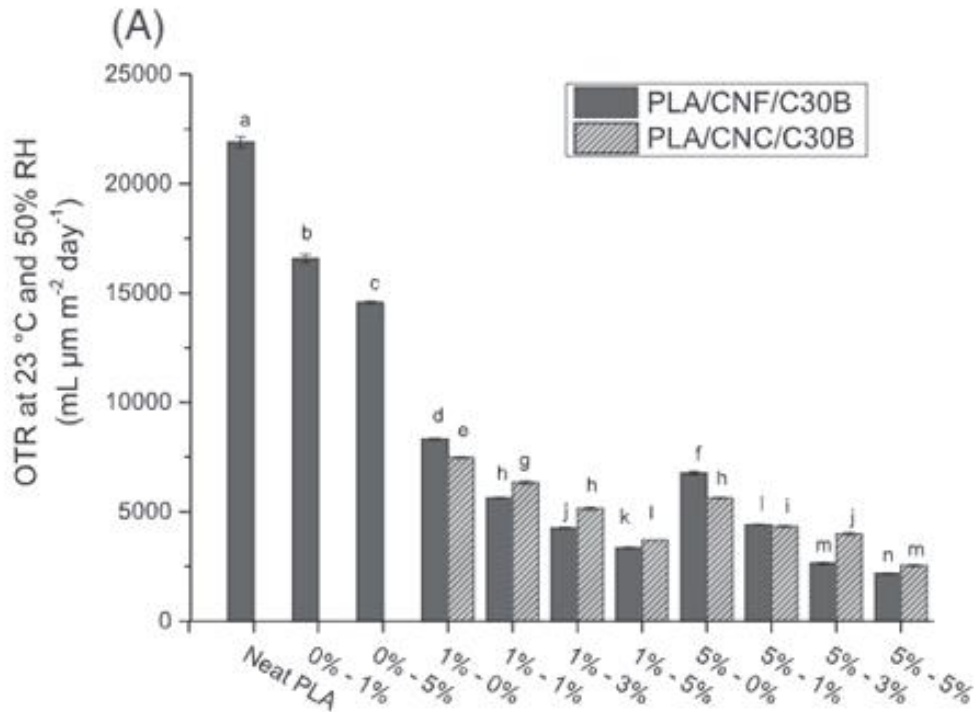


<그림 3 SEM분석을 통한 PP복합소재 내의 필러들의 분산 결과 사진, (A) CNF 5wt%/Clay 1wt%, (B) CNC 5wt%/Clay 1wt%, (C) CNF 1wt%/Clay 5wt%, (D) CNC 1wt%/Clay 5wt%

- PLA matrix에 CNF, CNC, nanoclay를 이용하여 용매 캐스트 방법을 통해 산소 차단성 필

를 제조하여 SEM 이미지 분석 결과, 각각의 형태를 가지는 필러들이 네트워크 구조를 이뤄 고분자 매트릭스 내에 분산됨을 연구 결과를 통해 확인하였음

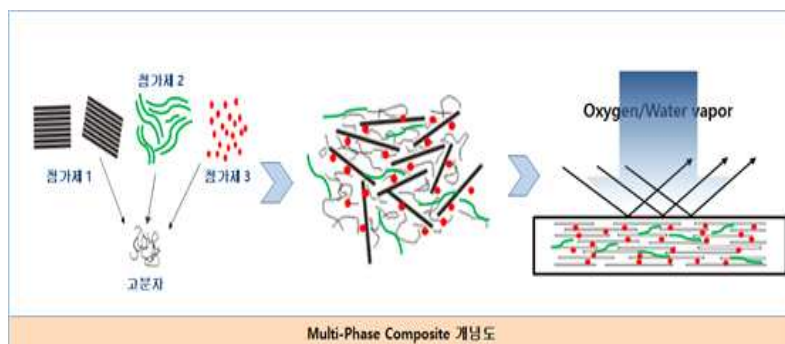
- 이러한 분산 거동이 고분자 매트릭스 내에 네트워크 형태를 보이게 되면 산소차단성이 향상되며, 이러한 결과가 아래의 산소투과도 분석결과를 통해 나타났음



<그림 4 PLA 복합소재들의 산소투과도 측정 결과>

<※ 출처: Polym. Int. 2016, 65, 988>

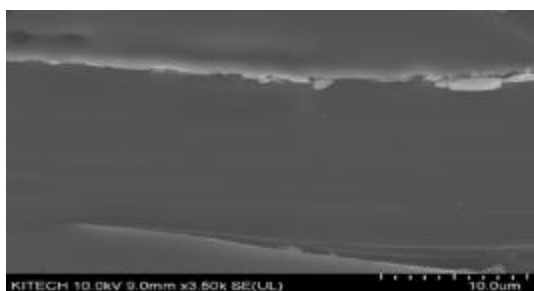
- 이러한 국내·외 연구 자료를 통해 필름 제조 방법은 다르지만 고분자 매트릭스 내에 형태가 다른 첨가제의 조합을 통해 산소차단성을 neat polymer보다 더욱 더 향상시키는 결과가 야기될 수 있음을 확인하였으며, 본 연구에 적용될 수 있는 가능성을 확인함
- 본 연구에서는 CNF의 분산 방법에 초점을 맞춰 실험을 진행하며, CNF 분산 방법 확보 후 nanoclay를 더하여 산소차단성을 향상시키는 목표를 가지고 실험에 임할 것임



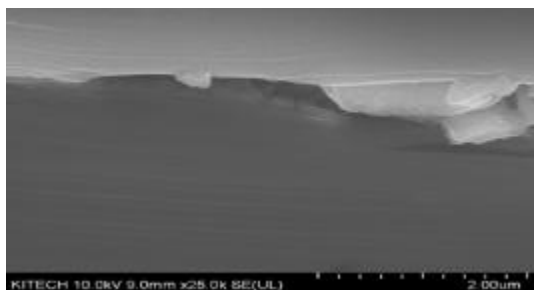
<그림 5 Multi-Phase composite의 개념도>

(다) 국외 제품 사례

- 일본의 Kuraray사에서 시판중인 Kurarister™이라는 수분 및 산소 차단성이 우수한 필름을 분석함으로써 어떠한 기술이 적용되었는지 추측하고 본 연구에 이용할 수 있는 가능성 확인을 위해 분석함
- 패키징기술센터의 보유 장비인 FE-SEM 장비를 이용하여, 필름 시편을 액체질소를 통해 급냉 시켜 microtome을 통해 절단시킨 면에 Pt/Pd 합금을 코팅시켜 관찰하였음
- 정성분석을 위해 EDX 분석을 진행하였음



Element	Weight%	Atomic%
CK	69.58	75.29
OK	30.42	24.71
Totals	100.00	



Element	Weight%	Atomic%
CK	46.86	57.40
OK	37.89	34.84
AlK	7.54	4.11
PK	7.27	3.46
SK	0.43	0.20
Totals	100.00	

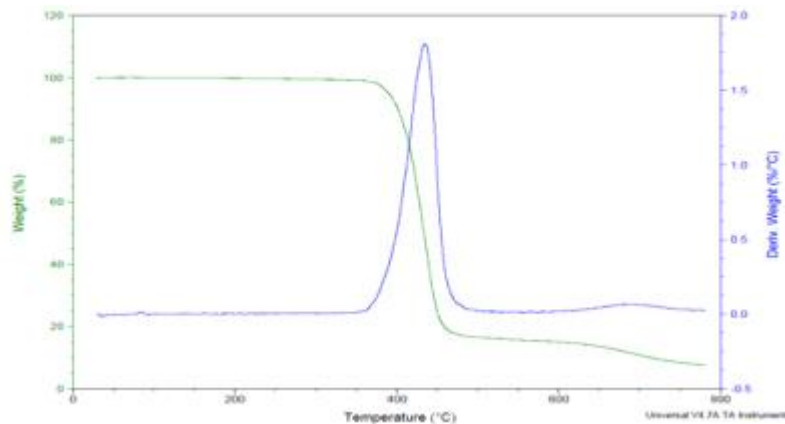
<그림 6 필름의 core부분(상)과 surface부분(하)의 SEM사진 및 EDX 결과>

- 분석결과 core부분은 polymer matrix만 검출되었으며, 표면에는 금속물질과 인이 비교적 많은 양이 검출되었으며 표면에 금속 증착이 되었을 것이라 추측됨
- 패키징기술센터의 보유 장비인 GC/MS 장비를 이용하여, 필름 시편을 pyrolyzer처리를 통해 EGA-GC/MS분석을 진행하였으며 열 분해되면서 발생하는 가스를 통해 정성분석을 실시함

<표 1 EGA-GC/MS 결과>

Polymer / Additive	Start [°C]	Top [°C]	End [°C]	Qual [%]
Poly(ethylene terephthalate) ; PET	390	448	514	53
Poly(maleic anhydride) ; PMAh(Maleic acid) (6-12 min)	220	252	340	50
Carboxymethyl cellulose (8-11min)	268	293	328	47
Carboxymethyl cellulose (8-20 min)	268	293	506	46
Polyetherimide ; PEI (25-27 min)	576	603	652	46

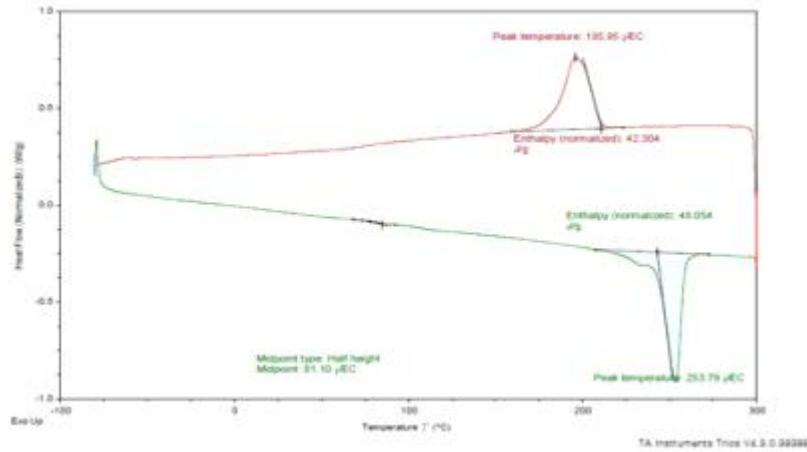
- 필름의 substrate는 PET로 분석되었으며, cellulose 성분이 검출되었으며 이러한 금속 입자와 셀룰로오스와 PET의 호환성을 위해 maleic anhydride를 사용한 것으로 추정됨
- 패키징기술센터의 보유 장비인 TGA를 통해 분석했으며 분당 10 °C씩 승온시켜 800 °C까지 측정하였으며, 시제품 필름 내에 실제로 잔존하고 있는 filler의 함량이나 열분해 곡선을 통해 substrate를 유추하기 위한 분석



<그림7 필름의 TGA 분석 결과>

- TGA분석결과 filler의 함량이 약 10~20w% 포함됨을 확인할 수 있었으며, 열분해 커브를 통해 substrate는 PET로 확인됨
- 패키징기술센터의 보유 장비인 DSC를 통해 -100 ~ 200 °C의 범위를 승온 및 냉각 속도를 10 °C/min으로 측정하였으며, substrate 물질 분석을 위해 진행함





<그림 8 필름의 DSC 분석 결과>

- DSC분석결과 앞의 다른 분석 결과와 마찬가지로 PET와 같은 거동을 보였으며, 이러한 결과들을 미뤄봤을 때 PET substrate에 금속, 클레이, 셀룰로오스와 같은 filler들이 증착 및 코팅 되었을 가능성이 높은 것으로 유추됨

## 나. 고분자-Nanoclay-CNF-Glass Bubble Composite 컴파운드 제조 기술

### (1) CNF 분산을 위한 최적화 선행 연구 (CNF/PLA 복합소재 제조 및 분석)

- 생분해성 고분자인 PLA에 바이오기반의 산소차단성이 우수하다고 알려진 cellulose nanofiber (CNF)를 분산시키기 위한 실험
- PLA에 연성이 낮아 rubbery polymer와 블렌딩을 하거나 가소제를 통해 가소화 시키지 않을 경우 깨지기 쉬워서 필름 형태로 가공이 불가능함
- 이러한 이유로 가소제를 이용하여 CNF를 분산하여 CNF의 분산성과 동시에 PLA의 연성 부여를 하기 위해 본 실험을 진행함
- CNF의 분산성 분석을 위해 동결건조된 CNF를 통해 제조한 복합소재 샘플군 (f-CNF/PLA)과 용매를 이용하여 liquid feeding을 통해 CNF를 분산시킨 샘플군 (e-CNF/PLA), 용매와 가소제 모두를 이용하여 CNF를 분산시킨 샘플군 (t-CNF/PLA) 복합소재를 제조하였고 물성을 비교 분석 하였음
- 재료

Base resin : Polylactic acid (PLA)

- Grade : Ingeo Biopolymer 2003D, NatureWorks (USA)

- Melt index : 6.0 g/10min, 210°C, 2.16 kg ASTM D1238

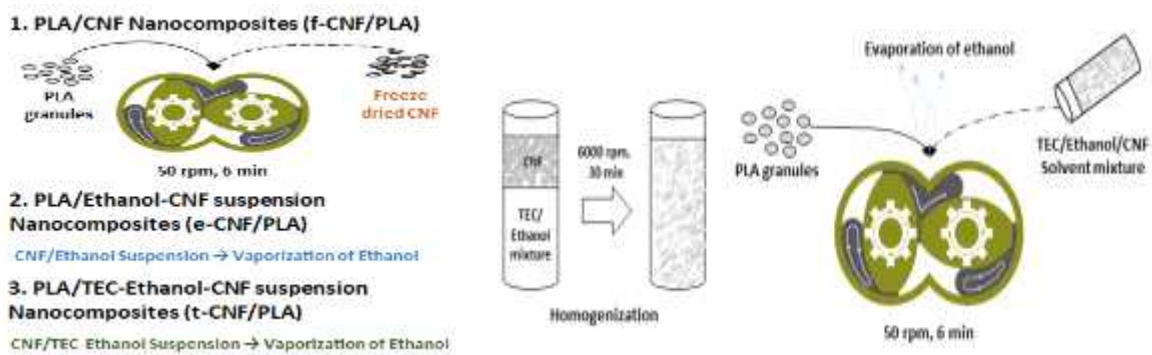
Filler : Cellulose nanofiber (CNF)

- Density : 1.5 g/cm<sup>3</sup>, dry powder
- Fiber dimension : nominal fiber width of 50 nm, lengths up to several hundred microns

Plasticizer : Triethyl citrate (TEC)

- Sigma Aldrich (USA)
- Density: 1.14 g/ml at 25 °C
- Boiling point : 235 °C

(가) 시제품 제작 도식도



<그림 9 시제품 제작 도식도, 좌: 전체 복합소재, 우: t-CNF/PLA>

- 모든 복합소재는 internal mixer를 통해 가공을 함
- e-CNF/PLA 복합소재는 CNF를 ethanol에 homogenizer를 통해 선 분산 시키고 feeding 하였으며, t-CNF/PLA 복합소재는 CNF를 TEC/ethanol 혼합용매에 homogenizer를 이용하여 선 분산 시키고 feeding함
- 제조한 복합소재를 미니사출성형을 통해 dogbone type과 disk type으로 시편을 제조하고, 필름 성형은 compression molding을 통해 제작함

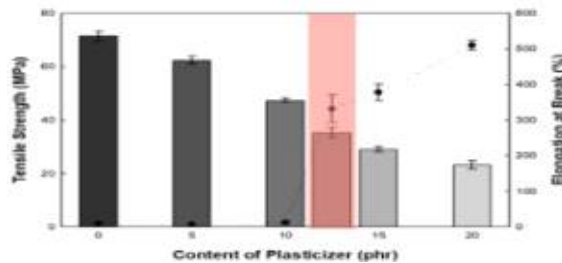
(나) CNF/PLA 복합소재의 가공 조건 및 조성

- 가공조건

<표 2 연구 방법 및 가공 조건 변수 정리>

항목	내용
Polymer	Polylactic acid
분산 방법	물리적 분산 (용융혼합법)
Internal mixer 가공 조건 변수	
펌프 속도 (rpm)	50 rpm
믹서 온도 (Temperature)	180 °C
혼합 시간 (min)	6 min
Homogenizer 가공 조건 변수	
Tip 속도 (rpm)	6000 rpm
혼합 시간 (min)	30 min

- 믹서 온도는 PLA와 CNF가 열 분해되지 않고 균일하게 섞일 수 있는 온도로 설정하였으며, PLA를 믹서 내에서 먼저 녹이고 CNF를 feeding하는 시간을 1 min으로 설정하고 두 물질을 오롯이 섞는 시간을 5 min으로 설정하여 실험을 진행함
- CNF가 ethanol과 TEC/ethanol 용매에 균일하게 섞이게끔 높은 tip 속도를 설정하여 선 분산을 시킴
- TEC 함량 선정



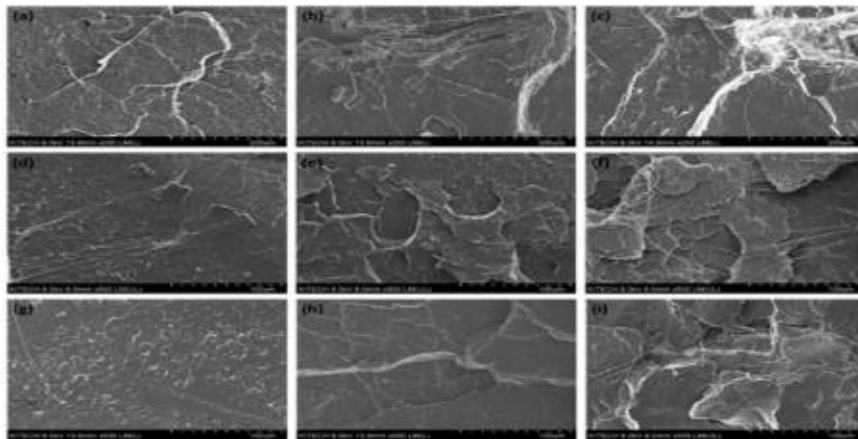
<그림 10 가소제 함량에 따른 PLA의 기계적 물성 변화>

- 사전 실험을 통해 PLA에 5 ~ 20 phr의 TEC를 가해 plasticized PLA를 제조하였으며 패키징 분야에 사용할 수 있는 최적의 물성은 12.5 phr의 TEC로 선정하였음
- PLA에 12.5 phr의 TEC를 가하였을 때, Neat PLA보다 인장강도는 50.7% 감소하고, 연신율은 3470% 증가함을 UTM분석을 통해 확인하였음
- f-CNF/PLA 복합소재의 경우에는 동결 건조된 CNF를 투입하여 제조하고, t-CNF/PLA의 경우에는 CNF를 TEC 12.5 phr와 충분히 적셔질 만큼의 ethanol를 넣은 용매에 CNF를 선 분산한 CNF 용액을 투입하여 제조하였으며 각각 0.25, 0.5 1 wt%의 CNF를 넣어 복합소재 샘플을 제조하였음
- PLA의 열분해를 방지하고자 페놀계 1차 산화방지제를 0.2 phr씩 투입하여 제조하였음

---

(다) CNF/PLA 복합소재의 모폴로지 분석

- 패키징기술센터의 보유 장비인 FE-SEM 장비를 이용하여, 미니사출시편인 dog bone을 액체질소를 통해 급냉 시켜 절단시킨 면에 Pt/Pd 합금을 코팅시켜 관찰하였음
- f-CNF/PLA 복합소재의 같은 경우에는 CNF의 뭉침이 발견되어 비교적 저해상도에서 촬영을 진행하였음



<그림 11 CNF/PLA 복합소재의 모폴로지 분석결과: f-CNF/PLA (a)0.25 wt%, (b)0.5 wt%, (c)1 wt%, e-CNF/PLA (d)0.25 wt%, (e)0.5 wt%, (f)1 wt%, t-CNF/PLA (g)0.25 wt%, (h)0.5 wt%, (i)1 wt%,>

- SEM 분석을 통한 f-CNF/PLA 복합소재의 경우 CNF를 포함함에 따라 PLA 매트릭스 내에 CNF의 뭉침 현상이 발견되었으며, CNF의 함량이 증가할 수록 이러한 뭉침이 더 크게 발견됨을 확인할 수 있었음
- 하지만 e-CNF/PLA와 t-CNF/PLA 복합소재의 경우에 CNF가 PLA 매트릭스 내에 균일하게 네트워크 형상으로 분산된 것을 확인하였으며, 이러한 결과를 토대로 기계적 물성과 산소차단성 향상에 도움이 될 것이라 예상됨

(라) CNF/PLA 복합소재의 산소투과도 분석

- 패키징기술센터의 보유 장비인 OTR를 통해 분석했으며 23 °C, RH 0 % 하에서 5 cm<sup>2</sup>의 마스크 처리 후 분석을 진행하였음

<표 3 CNF/PLA 복합소재의 산소투과도 결과>

Sample Code	Oxygen Permeability(cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
Neat PLA	32.26 ± 1.24
f-CNF/PLA 0.25	31.55 ± 0.08
e-CNF/PLA 0.25	32.87 ± 0.55
f-CNF/PLA 0.5	22.52 ± 0.07
e-CNF/PLA 0.5	26.43 ± 0.24
f-CNF/PLA 1	29.86 ± 0.12
e-CNF/PLA 1	15.88 ± 1.36
t-PLA	34.54 ± 2.17
t-CNF/PLA 0.25	21.23 ± 0.40
t-CNF/PLA 0.5	18.41 ± 0.07
t-CNF/PLA 1	16.99 ± 0.85

- CNF/PLA 복합소재들의 산소투과도 측정결과는 기계적 특성 측정결과와 마찬가지로의 결과를 보였으며, e-CNF/PLA와 t-CNF/PLA 복합소재는 CNF의 함량이 증가할수록 산소투과도가 감소하면서 산소차단성이 향상되는 결과를 보임
- 하지만 f-CNF/PLA 복합소재와 같은 경우에는 CNF의 함량 증가에 따라 뭉침 발생으로 인해 산소투과도가 오히려 증가했으며, CNF의 뭉침으로 인해 고분자 매트릭스와 CNF 사이에 크랙이 발생됨에 따라 이러한 부작용을 보임을 유추할 수 있음
- 이러한 생분해성 고분자에 CNF를 균일하게 분산함으로써 산소차단성을 향상시켰으며 유연성이 요구되는 연포장 분야에 사용할 수 있는 가능성이 있음

(2) 고분자 블렌드 시스템을 이용한 Multi-phase 선행 연구 (PP/EVOH/nanoclay 복합소재 제조 및 분석)

- 산소차단성이 뛰어난 ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH)를 polypropylene (PP) 매트릭스에 블렌드 시스템으로 분포시키고 EVOH 분산상 내에 산소차단성 첨가제인 nanoclay를 분산시켜서 PP 기반의 산소차단성 필름 제조를 위한 실험
- 소수성인 PP에 친수성인 nanoclay를 균일하게 분산/분포시키기 위해 EVOH를 이용하여 실험을 진행하였으며, 2차 년도 carrier system을 이용한 실험의 선행 실험임

- 재료

Base resin : Polypropylene (PP)

- Grade : RF402, Hanwha total (Korea)
- Melt index : 7.0 g/10min, 230°C, 2.16 kg ASTM D1238

Ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH)

- Grade : ET3803RB, Nippon gohsei (Japan)
- Melt index : 4.0 g/10min, 210°C, 2.16 kg ASTM D1238

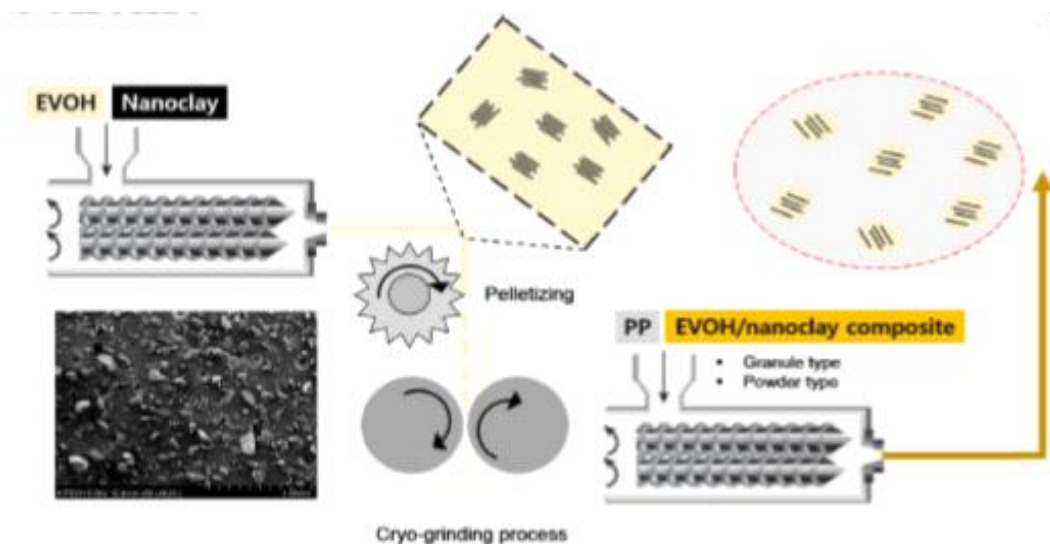
Filler : Nanoclay

- Grade : Cloisite 20A, Southern clay product, Inc (USA)
- Natural MMT modified with a quaternary salt

Compatibilizer : Polypropylene grafted maleic anhydride (PP-g-MA)

- Grade : QB510T, Mitsui Chemical (Japan)
- Melt index : 3.0 g/10min, 230°C, 2.16 kg ASTM D1238

(가) 시제품 제작 도식도



<그림 12 시제품 제작 도식도>

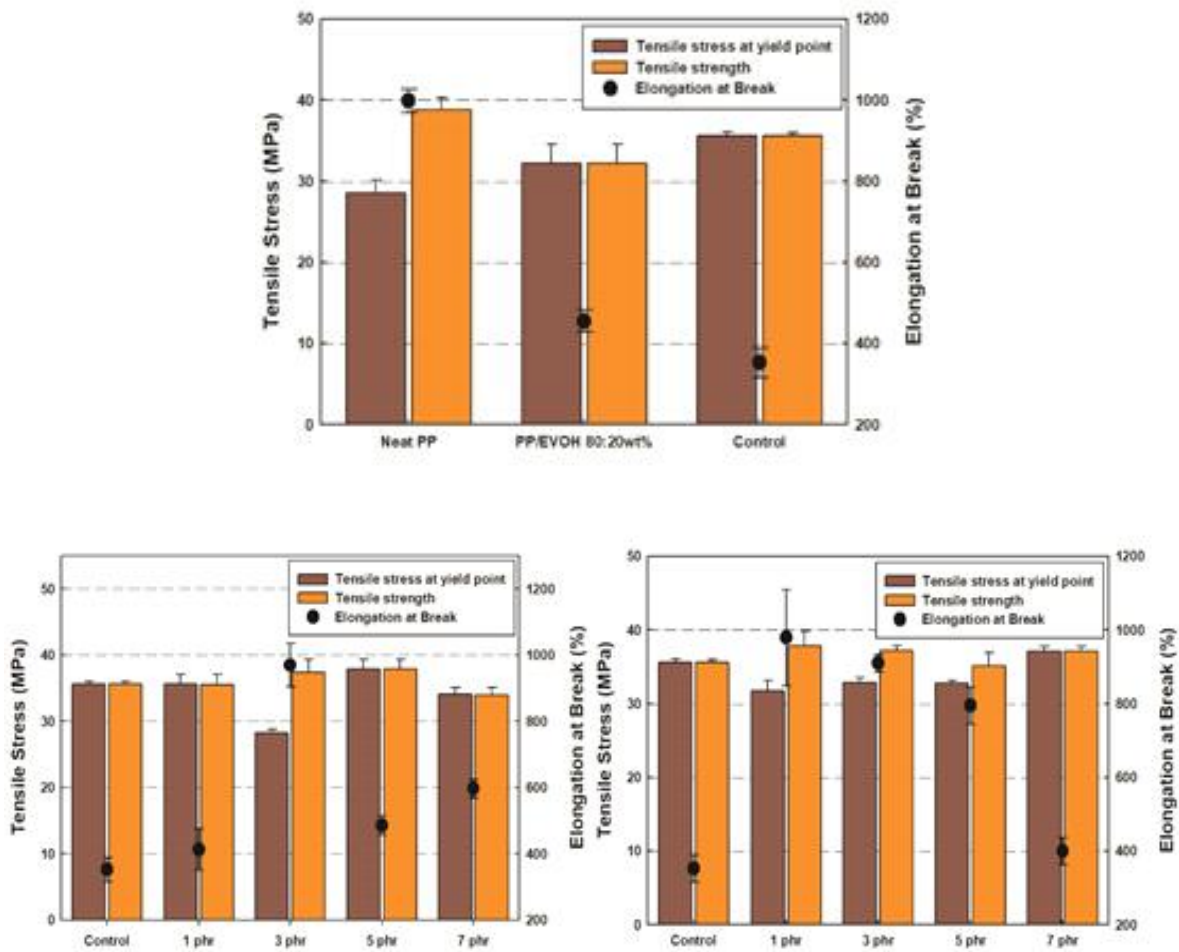
- 먼저 EVOH에 nanoclay를 5 wt%의 함량으로 복합소재를 제조하여 granule형태로 생산하

고 이것을 액체질소를 가하여 cryo-grinding process를 통해 powder형태로 제조하여 PP와 블렌드를 진행하여 시제품을 제조하였으며 이때의 함량은 PP-80wt%, EVOH-20wt%로 고정하였음

- EVOH/nanoclay 복합소재를 granule과 powder 형태로 구별하여 샘플 군을 제조하였으며, 상용화제의 함량을 늘리면서 물성 변화를 분석함
- 제조한 복합소재를 미니사출성형을 통해 dogbone type과 disk type으로 시편을 제조하고, 필름 성형은 compression molding을 통해 제작함

(나) PP/EVOH/nanoclay 복합소재의 인장강도 분석

- 패키징기술센터의 보유 장비인 UTM을 통해 ASTM D638을 따라 미니사출 시편 사이즈에 대해 Test speed (10 mm/min)를 설정 후 측정했으며 각각의 함량에 따라 변하는 기계적 물성 값 비교를 위한 분석

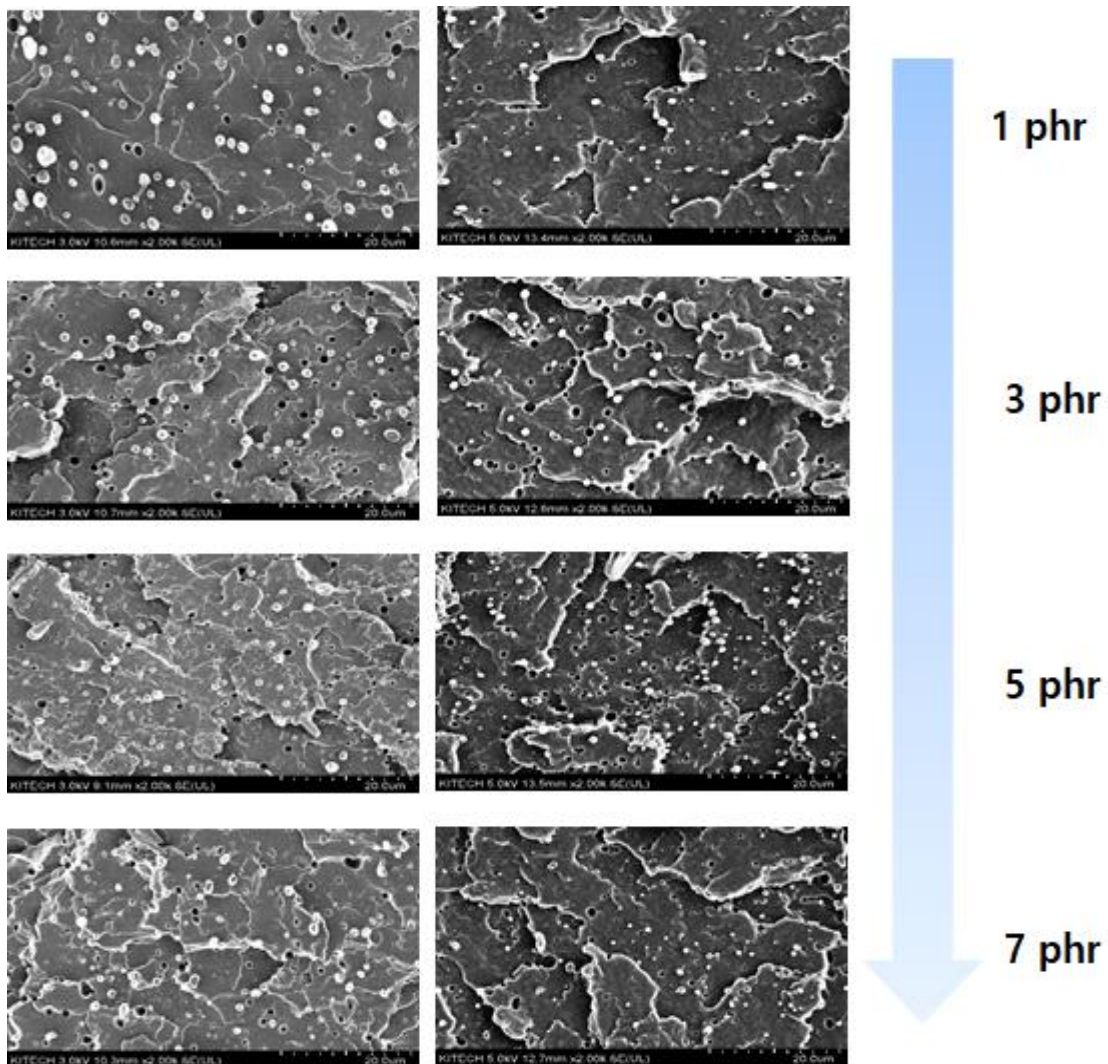


<그림 13 PP/EVOH/nanoclay 복합소재의 기계적특성 분석 결과; 상: neat PP, PP/EVOH 블렌드, PP/EVOH/nanoclay 복합소재, 좌하: granule 형태의 시료, 우하: powder 형태의 시료>

- Neat PP에 EVOH 20wt%의 함량을 포함시키면 기존의 PP보다 연신율이 저하되는 경향을 보였음
- Neat PP에 EVOH/Nanoclay 5wt% 복합소재를 20wt%의 함량으로 포함시키면 인장강도는 증가하지만 연신율 저하되는 현상을 보임
- Pellet type과 powder type을 비교 시에 상용화제 함량 3과 1 phr에서 각각 연포장에 적합한 최적의 기계적 물성 성능을 보임
- 상용화제의 함량 증가는 고분자 사슬 내에 free volume 형성으로 인해 산소차단성을 저하시킬 수 있으므로 최적의 함량 선정이 중요함

(다) PP/EVOH/nanoclay 복합소재의 모폴로지 분석

- 패키징기술센터의 보유 장비인 FE-SEM 장비를 이용하여, 미니사출시편인 dog bone을 액체질소를 통해 급냉 시켜 절단시킨 면에 Pt/Pd 합금을 코팅시켜 관찰하였음



<그림 14 PP/EVOH/nanoclay 복합소재의 SEM 분석 결과; 좌: granule 형태의 시료, 우: powder 형태의 시료>



- 
- Pellet type의 경우에는 상용화제의 함량이 증가할 수록 EVOH/Nanoclay 복합소재의 분산상이 작아짐을 확인할 수 있었음
  - 하지만, powder type은 1 phr의 상용화제를 포함할 때 부터 pellet type과 비교하였을 때 분산상이 더 작은 것을 관찰 하였으며, 저온 분쇄 가공을 통해 분쇄를 하여 polymer blend system을 제조하였을 때 상용화제의 함량을 줄일 수 있는 가능성을 발견함
  - 산소차단성 성능 측면에서 부정적으로 작용할 수 있는 상용화제의 함량을 줄이면서 기계적 강도 및 분산상의 크기를 제어할 수 있는 이점이 있음을 확인함

## 다. 고분자-첨가제 상용성 향상을 위한 개질 기술

### (1) Functional Group 도입을 통한 고분자 개질 연구

#### (가) 플라즈마 처리를 통한 PP 개질 및 PP/CNF 복합소재 제조

- 친수성 물질인 CNF를 소수성 고분자인 PP에 균일하게 분산시키기 위해 PP에 플라즈마 처리를 통해 관능기를 부여하는 실험
  - 질소와 산소 하에서 플라즈마 처리를 하여 PP에 관능기를 도입하고, 선행연구 내용을 바탕으로 CNF를 용매 하에서 선 분산 시켜 복합소재를 제조함
- 재료

Base resin : Polypropylene (PP)

- Grade : SEETEC T3410, LG Chem (Korea)
- Melt index : 7.0 g/10min, 230°C, 2.16 kg ASTM D1238

Filler : Tempo-Oxidized Cellulose nanofiber (TOCNF)

- Density : 1.5 g/cm<sup>3</sup>, dry powder
- Fiber dimension : nominal fiber width of 50 nm, lengths up to several hundred microns

(나) 시제품 제작 도식도



<그림 15 PP/CNF 복합소재의 시제품 제작 도식도>

- Granule 형태의 PP를 액체질소 하에서 저온 그라인딩 공정을 통해 파우더로 제조하였으며, 이것은 PP의 비표면적을 높여서 상대적으로 플라즈마 처리가 용이하게 하기 위한 공정을 도입함
- Powder PP를 질소 혹은 산소 하에서 50 W의 전력으로 10 분간 플라즈마 처리를 하였음
- 그리고 CNF는 tempo처리한 TOCNF로 선정하였으며 tempo처리를 통해 카르복실기 (-COOH)가 형성된 CNF를 정전기적 반발력을 통해 용매 하에서 선 분산을 극대화시키기 위해 염기 용액 기반으로 CNF 현탁액을 제조함
- 이후에 플라즈마 처리를 한 PP와 CNF 현탁액을 internal mixer를 통해 복합소재를 제조함

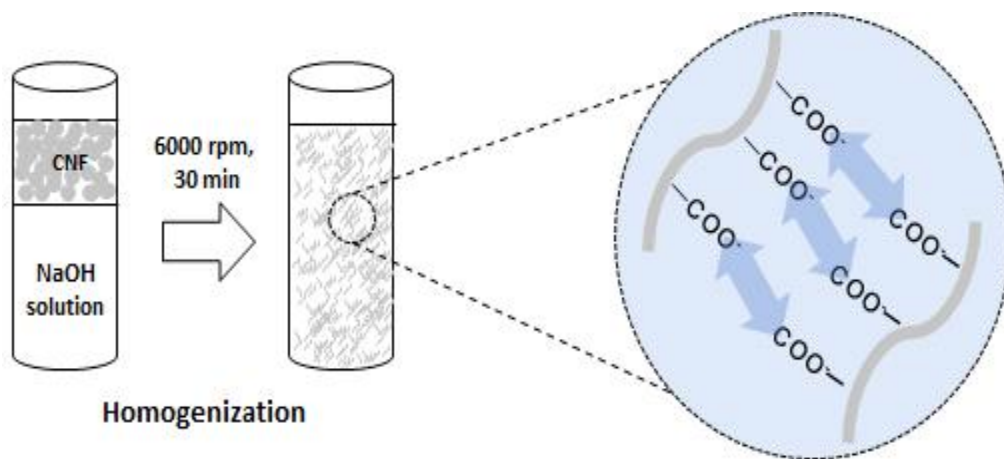
(다) PP/CNF 복합소재의 가공 조건 및 조성

- 가공조건

<표 4 연구 방법 및 가공 조건 변수 정리>

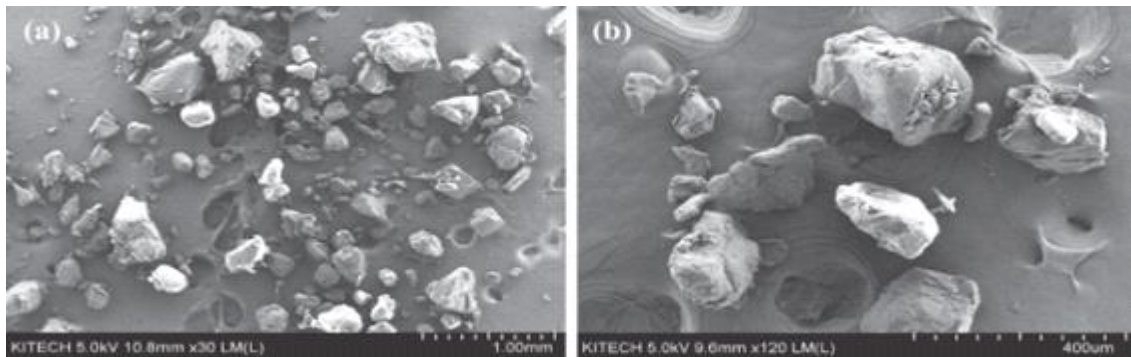
항목	내용
Polymer	Polypropylene (PP)
분산 방법	물리적 분산 (용융혼합법)
Internal mixer 가공 조건 변수	
펌프 속도 (rpm)	80 rpm
믹서 온도 (Temperature)	200 °C
혼합 시간 (min)	6 min
Homogenizer 가공 조건 변수	
Tip 속도 (rpm)	6000 rpm
혼합 시간 (min)	30 min

- 믹서 온도는 PP와 CNF가 열 분해되지 않고 균일하게 섞일 수 있는 온도로 설정하였으며, PLA를 믹서 내에서 먼저 녹이고 CNF를 feeding하는 시간을 1 min으로 설정하고 두 물질을 오롯이 섞는 시간을 5 min으로 설정하여 실험을 진행함
- CNF가 염기 기반의 water 용매에 균일하게 섞이게끔 높은 tip 속도를 설정하여 선 분산을 시킴



<그림 16 염기 기반의 CNF현탁액의 정전기적 반발력에 의한 선 분산 도식도>

(라) Cryo-grinding process를 통한 PP 제조



<그림 17 cryo-grinding process를 통해 제조한 powder PP>

- 액체 질소 하에서 granule 형태의 PP를 급랭시켜 물리적/기계적으로 분쇄하여 powder PP를 제조하였음
- 플라즈마 처리가 용이하게 되게끔 비표면적을 높이기 위한 방법이며 마이크로 사이즈로 균일하게 powder PP가 제조됨을 SEM 사진을 통해 확인함

(마) PP/CNF 복합소재의 formulation

<표 5 PP/CNF 복합소재의 시료 정보>

Sample Code	Detail
Neat PP	Powder PP (random PP)
Control	PP/H <sub>2</sub> O + CNF suspension
PP/aCNF	PP/NaOH_H <sub>2</sub> O + CNF suspension
npPP/aCNF	Plasma (N <sub>2</sub> ) treated PP + aCNF
opPP/aCNF	Plasma (O <sub>2</sub> ) treated PP + aCNF

(바) PP/CNF 복합소재의 산소투과도 특성

- 패키징기술센터의 보유 장비인 OTR를 통해 분석했으며 23 °C, RH 0 % 하에서 5 cm<sup>2</sup>의 마스킹 처리 후 분석을 진행하였음

<표 6 Neat PP와 PP/CNF 복합소재 산소투과도 분석 결과>

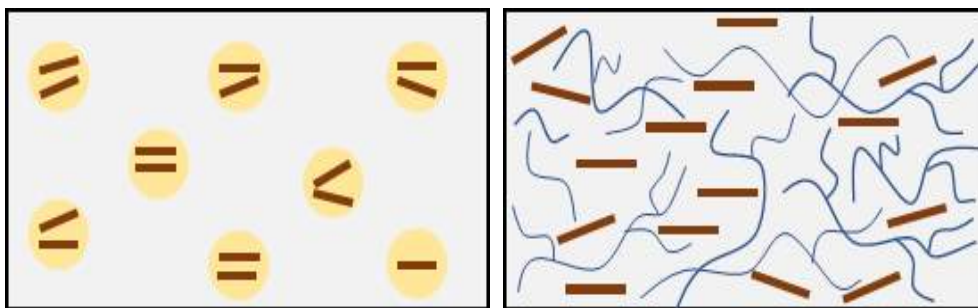
Sample Code	O <sub>2</sub> permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
Neat PP	129.61 ± 1.71
Control	159.93
PP/aCNF	122.06 ± 0.89
npPP/aCNF	101.76 ± 7.53
opPP/aCNF	99.79 ± 1.66

- PP 매트릭스에 CNF를 단순히 물을 이용해서 제조한 복합소재의 경우에는 CNF의 뭉침으로 인해 오히려 산소투과도가 증가한 경향을 보였으며, PP/aCNF 복합소재의 경우 neat PP보다 소폭 감소한 경향을 보임
- 단순히 CNF의 분산성 증가로 인해 소폭 감소한 경향을 보임을 확인하였고, 플라즈마 처리로 인한 PP 매트릭스와 CNF 간의 계면접착력 증가로 인해 산소투과도에도 긍정적인 영향을 미침을 확인함
- 질소와 산소를 이용하여 플라즈마 처리를 한 PP와 염기 하의 CNF 현탁액을 이용하여 제조한 복합소재 2종의 경우에 neat PP보다 약 21.5 ~ 23 %의 산소차단성 향상을 보였음

## 라. Multi-Phase 조성에 따른 가스 투과도 및 물성/성능 평가

### (1) 컴파운드 배합 조성별 투명도 및 가스 투과도, 패키징 요구 물성/성능 특성평가

- 위에서 실험했던 nanoclay 분산을 위해 PP/EVOH 블렌드 시스템을 이용한 복합소재의 산소투과도를 분석함
- 또한, 선행 실험했던 npPP/CNF 1wt% 복합소재에 CNC, nanoclay를 각각 5wt%씩 추가하여 multi-phase 복합소재를 제조하여 산소 투과도를 분석함
- 고분자 블렌드, binary filler 시스템을 적용하였을 때 neat PP에 비해 산소투과도를 얼마나 감소시킬 수 있을지에 대해 초점을 맞추고 분석을 진행함



<그림 18 Multi-phase system인 PP/EVOH/nanoclay(좌), PP/CNF/nanoclay(우)의 개략도>

---

(2) Multi-phase system 복합소재의 산소투과도 특성

- 패키징기술센터의 보유 장비인 OTR을 통해 분석했으며 23 °C, RH 0 % 하에서 5 cm<sup>2</sup> 의 마스크 처리 후 분석을 진행하였음

(3) Multi-phase system 복합소재의 산소투과도 특성

- 패키징기술센터의 보유 장비인 OTR를 통해 분석했으며 23 °C, RH 0 % 하에서 5 cm<sup>2</sup> 의 마스크 처리 후 분석을 진행하였음

<표 7 PP/EVOH/nanoclay 복합소재 산소투과도 분석 결과>

Sample Code	O <sub>2</sub> permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
Pellet 1phr	75.34 ± 2.47
Pellet 3phr	64.45 ± 8.82
Pellet 5phr	66.79 ± 9.29
Pellet 7phr	69.16 ± 15.29

- Pellet 타입인 PP/EVOH/nanoclay 복합소재의 경우 상용화제의 함량 변화에 따라 산소투과도 값의 차이를 보였음
- 상용화제의 3phr의 함량일 때 가장 높은 산소차단성을 보였으며 기계적특성 결과에서 가장 큰 연신율을 보인 함량인데, 이러한 점을 미루어보아 EVOH/nanoclay 분산상이 PP에 작고 균일하게 잘 분산되었음을 유추할 수 있음

<표 8 PP/CNF/nanoclay or CNC 복합소재 산소투과도 분석 결과>

Sample Code	O <sub>2</sub> permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
PP/CNF 1wt%/Nanoclay 5wt%	88.79 ± 2.21
PP/CNF 1wt%/CNC 5wt%	105.18 ± 17.09

- PP/CNF기반의 복합소재에서 nanoclay를 추가적으로 투여 했을 때 기존의 PP/CNF 복합소재보다 산소투과도가 더욱 더 감소했으며 binary filler system으로 인해 긍정적인 효과가 발생함
  - Neat PP와 비교했을 때 약 31.5% 증가하였음
-

- 하지만 PP/CNF/CNC 복합소재의 경우는 오히려 PP/CNF 복합소재보다 산소투과도가 증가하였으며, 이것은 CNC와 CNF의 응집으로 인해 미세 파티클이 필름 내에 형성됨으로써 이러한 부정적인 결과를 보였음이 유추됨

## 마. 기존 소재의 유니소재 적용 적정화 평가 및 설계 기술

### (1) 타겟 식품의 품질 지표 선정

- 타겟 식품의 특성이 충분히 반영된 객관적인 품질지표 선정
- 이화학적: 수분, 수분활성도, pH, 산가, TBA가, 휘발성염기질소, 산도, 당도, 영양성분(비타민) 등
- 미생물학적: 세균수, 대장균수, 곰팡이수, 진균수, 유산균수, 병원성균수 (바실러스세레우스, 장염비브리오균, 살모넬라, 황색포도상구균, 글로스트리디움 퍼프리젠드) 등
- 물리학적: 점도, 색도, 탁도, 용해도, 경도, 비중 등
- 관능적: 외관 (곰팡이, 드립, 침전물, 키이킹, 분리상태, 섶택, 외형 등), 풍미 (향, 냄새, 산패취 등), 조직감 (물성, 점성, 표면균열, 표면건조 등), 맛 등

### (2) 타겟 식품 품질 지표 기반 소재의 최소 요구 물성 파악

- 타겟 식품 별 기존 소재 및 패키징의 필수 물성 파악 (산소투과도, 수분투과도, 기계적 물성, 물리학적 물성 등)
- ASTM F1249 (Standard Test Method for Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor) 기반 기존 소재의 수분투과도 측정
- ASTM D3985 (Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor) 기반 기존 소재의 산소 투과도 측정
- ASTM D882 (Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting) 기반 기존 소재의 기계적 물성 측정
- 그 외 포장재의 leak test, 소재의 thermal analysis 등의 물성 측정을 통한 필수 물성 파악

### (3) 기존소재 최소 요구 물성 기준에 맞는 유니소재 물성 분석 및 환경성 평가

- 기존 소재 최소 요구 물성 기준에 맞는 유니 소재 선정
- 후보 유니소재 필수 물성 파악 (산소투과도, 수분투과도, 기계적 물성, 물리학적 물성 등) 및 기존 소재 물성과 비교 분석
- 전과정평가 (Life cycle assessment) 등의 환경성 평가 기법을 활용하여 기존 소재 대비 유

니소재 활용 시 환경부담 경감 측정

- 단기적으로 100% 유니소재화 할 수 없는 기존 소재 및 패키징의 경우 일부 유니소재 활용 시 재활용 가능성을 평가

$$\text{재활용가능율(\%)} = \frac{\text{유니소재부품}(g)}{\text{전체패키지}(g)} \times 100$$

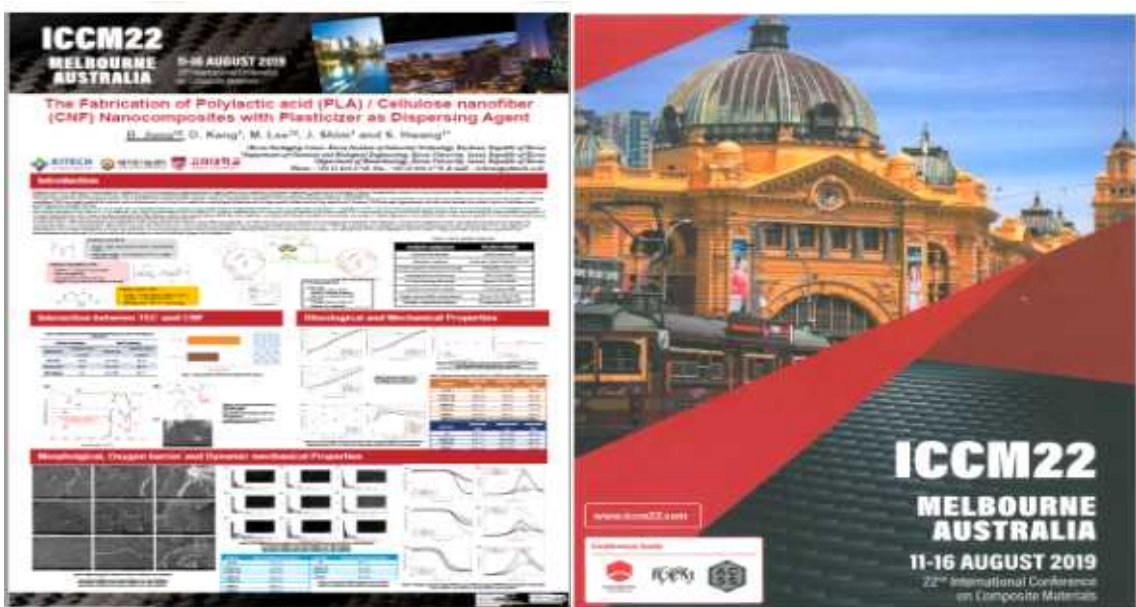
- 장기적으로 재활용 가능율이 100% 될 수 있는 유니소재 가공법 및 구조 디자인 개발 가능성 평가

※ 별첨

- o 학술대회 발표



<2019년 한국공업화학회 춘계 학술대회 포스터 발표>



<international conference on composite materials 22에서 포스터 발표 및 미니구두발표>



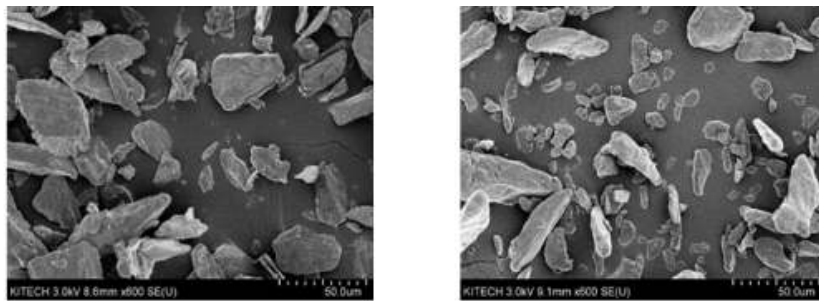
---

## 2. 2차년도

### 가. Cryogenic Grinding/milling 공정을 활용한 파우더 제조 기술

(1) Cryogenic grinding 조건에 따른 입도 분석 및 파우더 최적화 연구

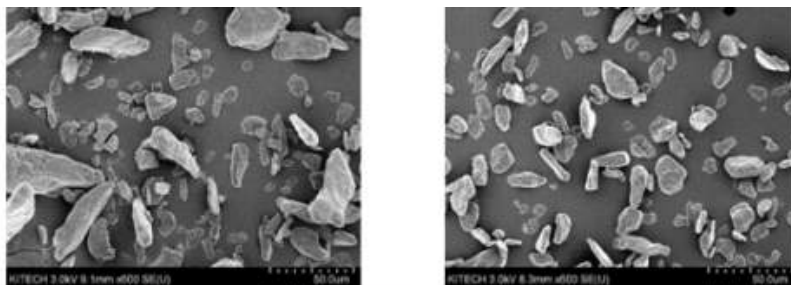
- Additive carrier 소재 제조에 필요한 cellulose crystal의 미세화를 위해 cryogenic grinding 공정을 이용하여 시간이 흐름에 따라 미세화의 정도 파악



Time

<그림 1 Cryogenic grinding 공정을 이용한 cellulose crystal의 미세화: 좌: 5분, 우: 10분>

- Bulk한 cellulose crystal을 cryogenic grinding 공정을 통해 미세화를 시킨 결과, 시간에 증가에 따라 입자 크기의 감소를 보였음
- 하지만, 입자 크기의 균일도는 조절하지 못하는 한계를 보였으며 균일한 입자 크기를 얻기 위한 새로운 방법이 필요함을 파악



Filtration

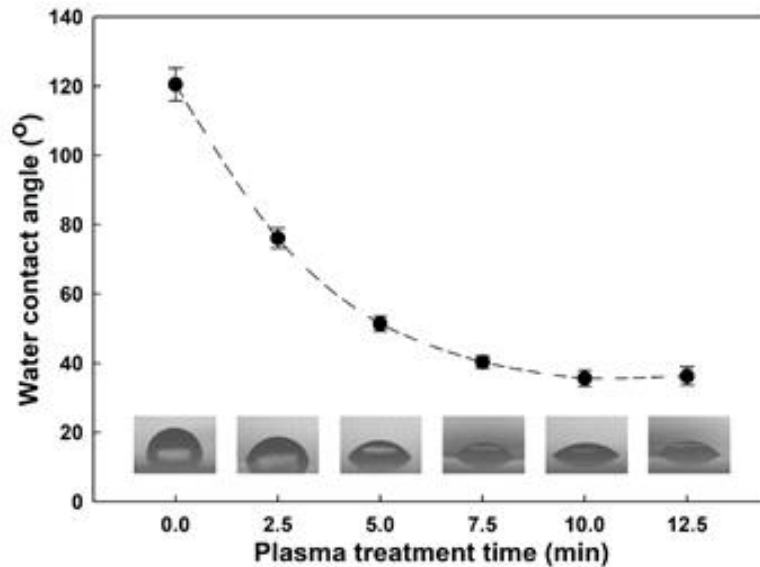
<그림 2 Filtration 공정을 통해 균일화된 cellulose crystal의 입자크기>

---

- 25  $\mu\text{m}$ 의 pore size를 가지는 sieve를 통해 filtration공정을 거친 cellulose crystal은 매우 균일한 입자 크기를 보였으며, 본 연구에서 기체차단성 첨가제로써 cellulose micro-crystal(CMC)이 사용되었음

(2) Plasma treatment를 통한 Polypropylene 개질 연구

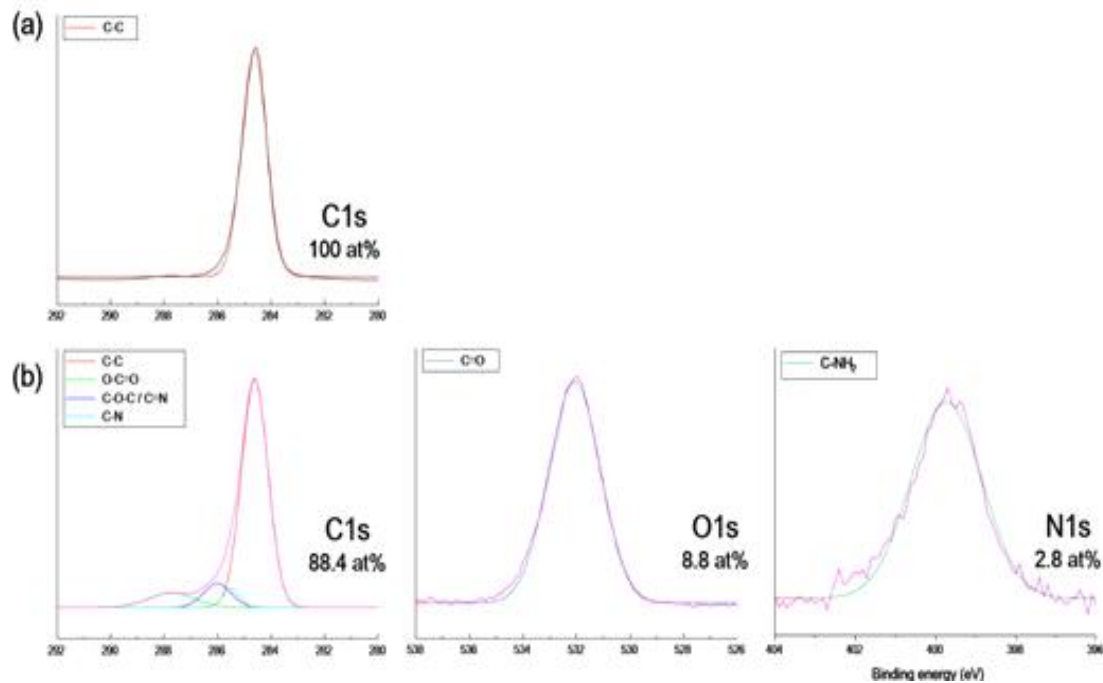
- 1차년도에의 선행실험 결과, 산소보다는 질소를 이용한 플라즈마 처리 시에 복합소재의 성능 향상에 도움이 되는 것을 파악하였으며, 플라즈마 처리 시간 조절을 통해 플라즈마 공정 조건의 최적화를 함
- 플라즈마 파워는 50W, 기체는 질소, 기체의 유량은 2 sccm으로 고정한 후 플라즈마 처리 시간만을 변수로 설정하여 PP표면에 개질 실험을 진행함



<그림 3 플라즈마 처리 시간 증가에 따른 PP표면의 접촉각>

- 플라즈마 처리 시간 증가에 따라 PP표면의 접촉각이 감소하는 경향을 보였으며, 10분이 되었을 때는 약 40도를 보였으며 초기 값과 비교했을 때 약 80도가 감소함을 확인했음
- PP표면의 접촉각의 감소에 따라 친수성의 관능기가 PP표면에 부여됨을 간접적으로 확인할 수 있었으며, 12.5분의 플라즈마 처리 시간에는 10분에서 크게 증가하지 않는 현상을 보였음
- 이는 PP표면에 10분의 플라즈마 처리 시간에 충분히 관능화가 이뤄짐에 따라 일어난 현상이며, 관능기가 포화됨에 따라 더 이상 증가되지 않는 현상임
- 이러한 결과에 따라, PP표면에 플라즈마 처리 시간의 최적 조건은 10분으로 선정함

(가) 질소를 이용하여 10분간 PP표면에 플라즈마 처리를 했을 때에 어떠한 관능기가 생성되었는지 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 분석



<그림 4 Neat PP(a)와 질소 플라즈마 처리한 PP(b)의 XPS 결과>

- 그림 4의 (a) neat PP의 경우에는 C1s에서 C-C결합에 대한 peak만 확인할 수 있었지만, (b)의 질소 플라즈마 처리한 PP는 C-C결합이외에 O-C=O, C-O-C, C=N, C-N과 같은 다양한 산소와 질소를 포함한 결합을 확인할 수 있었음
- 또한 O1s, N1s에서 각각 8.8, 2.8 at%의 관능기가 생성됨을 분석하였으며, 이러한 결과를 기반으로 PP표면에 하이드록실기, 카르복실기, 아민기 등의 관능기가 생성됨을 확인하였음
- PP에 이러한 관능기가 부여됨에 따라 친수성인 기체차단성 첨가제인 cellulose nanofiber(CNF), CMC, nanoclay와 친화력이 향상됨이 추측됨

## 나. Multi-phase 컴파운드 소재 Micro-Structure 제어 및 물성 최적화 연구

(1) Plasma treatment 제어 인자에 따른 개질 최적화 연구

- 앞서 플라즈마 처리 변수 제어를 통해 최적화 한 조건을 이용하여 CNF와 nanoclay를 multi-phase의 형태로 PP 매트릭스 내에 분산시켜 복합소재를 제조시켜 물성 변화 연구

를 진행함

- PP 매트릭스에 CNF는 1wt%으로 고정하고 nanoclay를 1에서 5wt%의 함량으로 증가시키면서 복합소재 제조

- 재료

Base resin: Polypropylene (PP)

- Grade: SEETEC T3410, LG Chem (Korea)
- Melt index: 7.0 g/10min, 230°C, 2.16 kg ASTM D1238

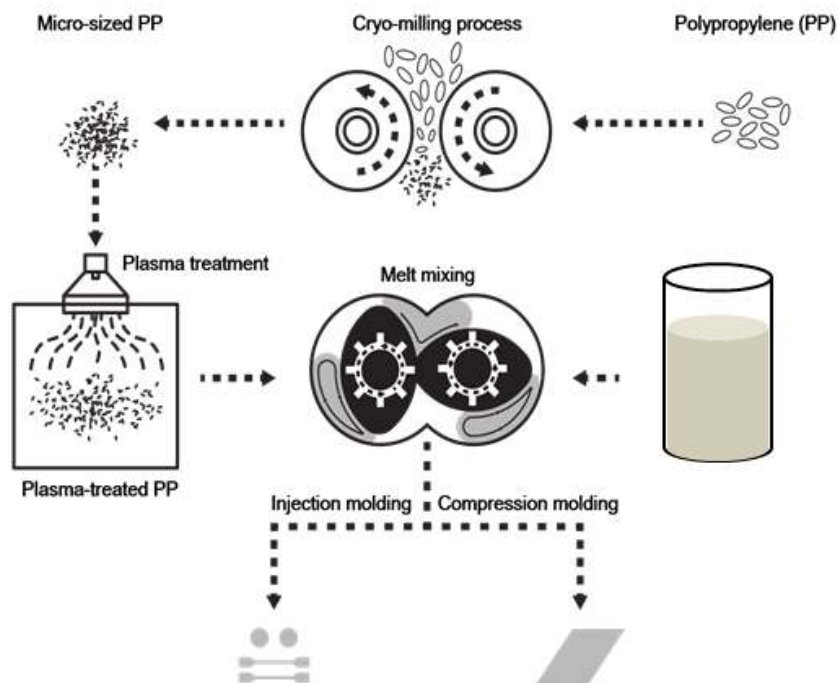
Filler 1: Tempo-Oxidized Cellulose nanofiber (TOCNF)

- Density: 1.5 g/cm<sup>3</sup>, dry powder
- Fiber dimension: nominal fiber width of 50 nm, lengths up to several hundred microns

Filler 2: Nanoclay

- Grade: Cloisite 20A, Southern clay product, Inc (USA)
- Natural MMT modified with a quaternary salt

(가) 시제품 제작 도식도



<그림 5 PP/CNF/nanoclay 복합소재 시제품 제작 도식도>

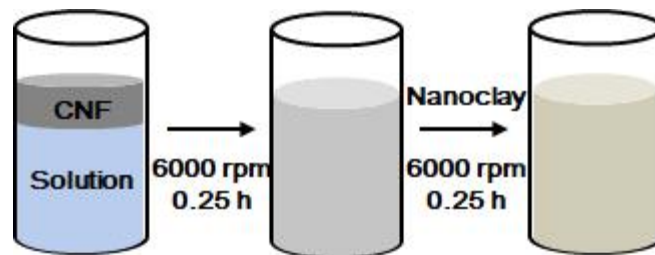
- 모든 복합소재는 internal mixer를 통해 가공을 함
- PP/CNF/nanoclay 복합소재는 CNF와 nanoclay를 NaOH를 포함한 물기반의 용액에 homogenizer를 통해 선 분산 시키고 internal mixer에 PP와 함께 feeding함
- 제조한 복합소재를 미니사출성형을 통해 dumbbell type으로 시편을 제조하고, 필름 성형은 compression molding을 통해 제작함

(나) 가공조건 및 조성

<표 1 PP/CNF/nanoclay 복합소재 가공 조건>

항목	내용
분산 방법	물리적 분산 (용융혼합법)
Internal mixer 가공 조건 변수	
펌프 속도 (rpm)	80 rpm
믹서 온도 (Temperature)	180 °C
혼합 시간 (min)	6 min
Homogenizer 가공 조건 변수	
Tip 속도 (rpm)	6000 rpm
혼합 시간 (min)	30 min

- CNF-nanoclay 현탁액은 homogenization을 통해 제조하였으며 CNF를 먼저 15분간 선 분산 시키고 nanoclay를 포함시켜 15분간 분산하여 제조함



<그림 6 CNF-nanoclay 현탁액 제조 과정>

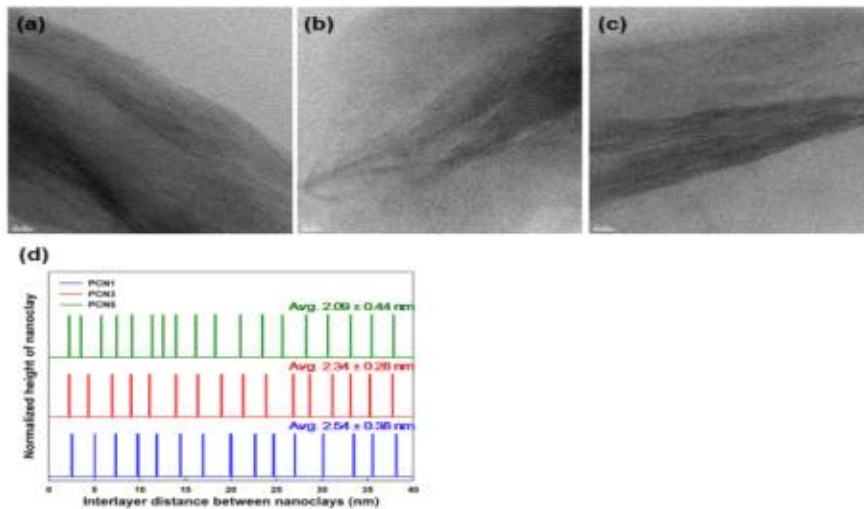
- 믹서 온도는 PP와 CNF가 열 분해되지 않고 균일하게 섞일 수 있는 온도로 설정하였으며, PP와 CNF-nanoclay 현탁액을 pre-mix한 후 feeding하는 1 min동안 진행하고 PP와 CNF, nanoclay가 오롯이 섞는 시간을 5 min으로 설정하여 실험을 진행함

<표 2 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 조성>

Sample Code	PP (wt%)	CNF (wt%)	Nanoclay (wt%)
Neat PP	100	-	-
PCN0	99	1	-
PCN1	98	1	1
PCN3	96	1	3
PCN5	94	1	5

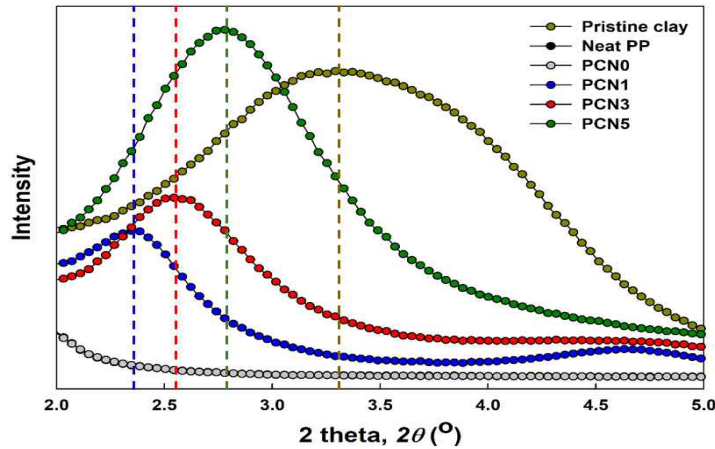
(다) PP/CNF/nanoclay 복합소재 내의 nanoclay 분산성 분석

- Nanoclay의 층간 거리 증가에 따라 기체차단특성이 향상됨, 이러한 특징 때문에 복합소재 내에 nanoclay 층간 거리를 transmission electron microscopy(TEM)와 X-ray diffraction spectroscopy(XRD) 기기를 통해 분석을 진행함



<그림 7 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 TEM 사진: (a)PCN1, (b)PCN3, (c)PCN5, (d)TEM 사진 결과에 따른 nanoclay 층간거리>

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 TEM 분석 결과, 복합소재 내에 nanoclay의 함량이 증가할수록 nanoclay간의 층간거리가 감소함을 확인하였음
- 1wt%의 nanoclay가 함유한 PCN1의 경우에 평균 2.54 nm의 층간거리를 보이지만, nanoclay의 함량이 5wt%로 증가한 PCN5의 경우 평균적으로 2.09 nm의 층간거리를 보이며 약 0.45 nm의 감소를 보임
- PP사슬이 nanoclay사이에 침투함에 따라 nanoclay의 층간거리가 증가하는데, nanoclay의 함량 증가에 따라 상대적으로 침투할 수 있는 PP사슬의 수가 감소함에 따라 이러한 현상이 발생함을 추측함



<그림 8 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 XRD 결과>

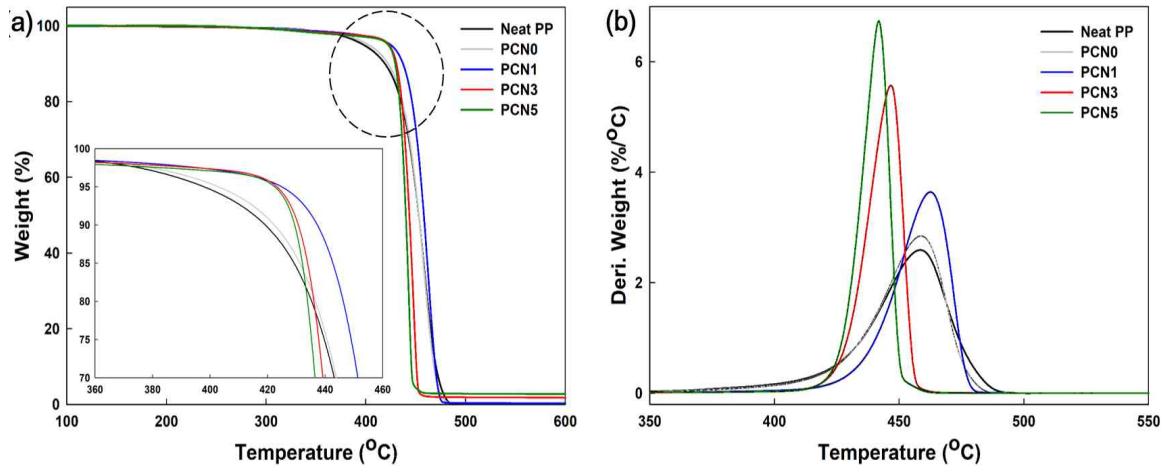
<표 3 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 XRD분석 결과에 따른 data 정리>

Sample Code	2 theta peak (°)	Interlayer of distance, $d_{001}$ (nm)	FWHM
Clay	3.27	2.70	2.23
PCN1	2.35	3.76	0.83
PCN3	2.54	3.47	0.97
PCN5	2.78	3.18	1.21

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 XRD 분석 결과, TEM결과와 유사하게 복합소재 내에 nanoclay의 함량이 증가할수록 nanoclay간의 층간거리가 감소함을 확인하였음
- 하지만, nanoclay의 층간거리 값이 약간의 차이를 보였는데, TEM의 결과는 완전히 박리된 수치가 고려되지 않았고, XRD는 박리된 nanoclay의 수치 또한 고려가 되었기 때문에 상대적으로 TEM에 비해 높은 수치를 확인할 수 있음
- 복합소재 내에 nanoclay의 함량이 증가함에 따라 FWHM의 값이 증가하는데, 이것은 nanoclay에 침투하는 PP의 사슬이 상대적으로 부족하여 nanoclay의 층간격의 distribution이 증가함에 따라 야기되는 현상임

(라) PP/CNF/nanoclay 복합소재의 열적 특성

- Nanoclay의 함유에 따라 복합소재의 열안정성이 증가한다는 이전 연구 사례에 따라 열안정성을 thermogravimetric analysis(TGA)분석을 통해 진행함



<그림 8 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 (a)TG와 (b)DTG 그래프>

<표 4 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 TGA분석 결과에 따른 data 정리>

Sample Code	T <sub>5%</sub> (°C)	T <sub>10%</sub> (°C)	T <sub>onset</sub> (°C)	Residue amounts (%)
Neat PP	401.5 ± 5.1	420.9 ± 2.6	434.6 ± 1.1	0.1 ± 0.0
PCN0	408.1 ± 5.2	425.3 ± 3.0	437.2 ± 1.4	0.1 ± 0.1
PCN1	425.4 ± 0.9	436.5 ± 0.9	443.7 ± 1.2	0.5 ± 0.3
PCN3	422.1 ± 4.3	430.1 ± 2.2	435.1 ± 0.9	1.6 ± 0.1
PCN5	422.2 ± 0.0	429.4 ± 0.0	433.7 ± 0.0	2.7 ± 0.1

- PP/CNF 복합소재에 nanoclay가 함유되어 열안정성이 향상됨을 TGA 분석을 통해 확인 하였으며, nanoclay가 1wt% 함량으로 포함되었을 때, T<sub>5%</sub>가 약 7 °C 정도 향상됨을 확인
- Nanoclay의 함량이 증가할수록 열안정성은 감소했으나, neat PP와 PCN0 복합소재에 비해서는 T<sub>5%</sub>와 T<sub>10%</sub>의 수치는 상대적으로 높았음
- 실생활에서 포장재로 사용될 때, 중요한 수치는 T<sub>5%</sub>, T<sub>10%</sub>와 같은 초기분해온도이며 nanoclay의 포함에 따라 이러한 열안정성이 증가함을 확인함

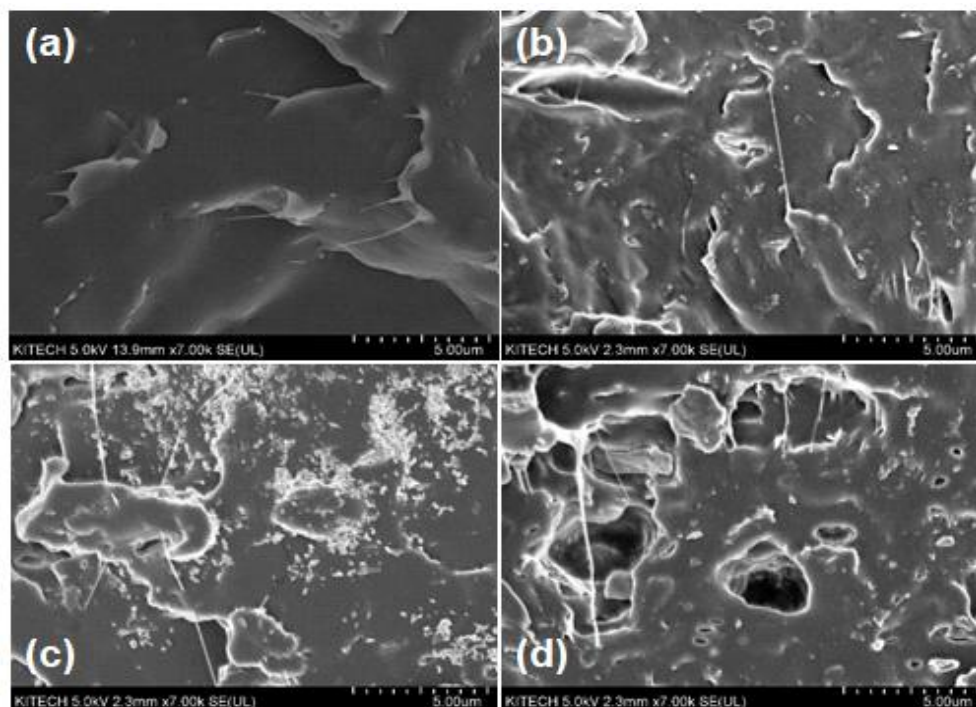
(2) 계면접착력 향상 Micro-structure 구현을 위한 고분자-첨가제 상호작용 연구

- 앞서 플라즈마 처리를 통해 개질한 PP를 이용하여 제조한 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 micro-structure 모폴로지 구현을 통해 복합소재의 특성을 분석함



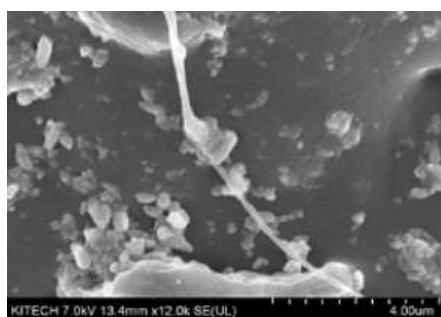
(가) PP/CNF/nanoclay 복합소재의 모폴로지 분석

- PP매트릭스 내에 CNF와 nanoclay의 함량에 따라 제조된 복합소재의 모폴로지 분석을 위해 scanning electron microscopy(SEM)장비를 이용하여 관찰함



<그림 9 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 SEM 사진: (a)PCN0, (b)PCN1, (c)PCN3, (d)PCN5>

- PP/CNF/nanoclay 복합소재에 CNF는 섬유상으로 분산이 됨을 확인하였으며, nanoclay의 함량 증가에 따라 증가하는 nanoclay들이 SEM을 통해 관찰됨
- Nanoclay의 함량이 3wt%일 때, nanoclay끼리 약간 뭉치는 현상이 발생되었으며, 5wt%일 때는 본격적으로 nanoclay끼리 뭉치는 것이 발견됨
- 또한, 그림 10에서 CNF와 nanoclay간의 상호작용 역시 SEM을 통해 발견되었음

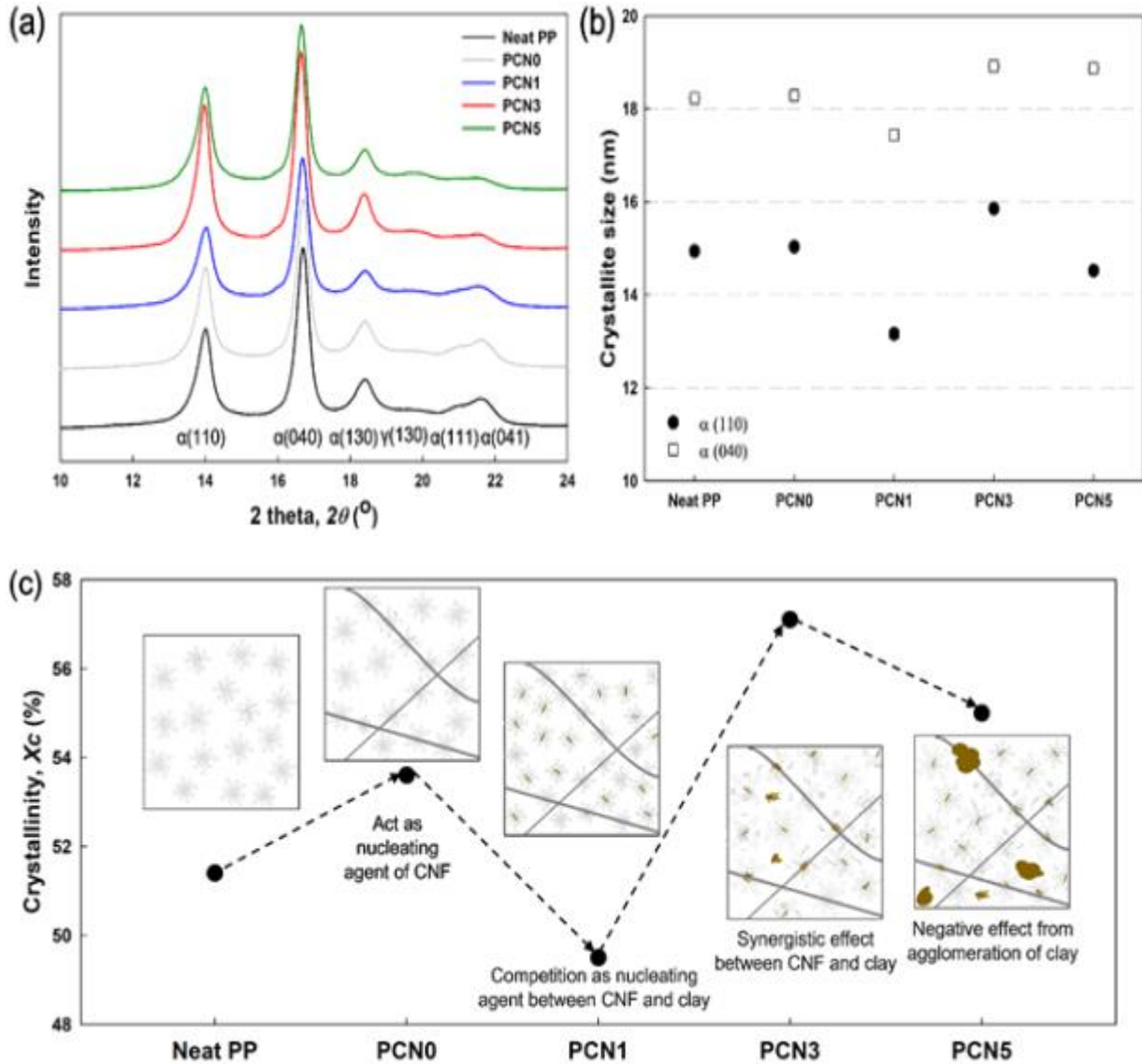


**Interaction between CNF and clay**

<그림 10 PP/CNF/nanoclay 복합소재 내에서 CNF와 nanoclay의 상호작용>

(나) PP/CNF/nanoclay 복합소재의 결정화도 분석

- PP/CNF/nanoclay의 micro-structure 모폴로지 구현에 따라 발생하는 PP의 결정화도 변화를 분석하기 위해 XRD를 통해 측정함



<그림 11 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 XRD분석을 통한 date: PP/CNF/nanoclay 복합소재의 (a)XRD peak, (b)결정 크기, (c)결정화도>

- PP/CNF/nanoclay 복합소재에서 nanoclay의 함량에 따른 모폴로지의 변화에 의해 CNF와 nanoclay의 분포에 따른 PP의 결정크기 및 결정화도 변화를 분석함
- CNF와 nanoclay 둘 다 PP의 결정화를 야기할 수 있는 핵제로 작용함
- 복합소재 내에서 nanoclay의 분산성이 가장 우수했던 PCN1의 경우에 CNF와 nanoclay가 핵제로써 경쟁적 저해를 일으켜 오히려 PP의 결정크기와 결정화도가 감소한 경향을 보였음

- PCN3에서 PP의 결정크기와 결정화도가 가장 우수함을 확인하였으며, 이 때 CNF와 nanoclay가 핵제로써 시너지효과를 일으킴을 추측하였음
- PCN5에서는 nanoclay가 크게 뭉침에 따라 PCN3보다는 PP의 결정크기와 결정화도가 약간 감소하는 현상이 발견됨

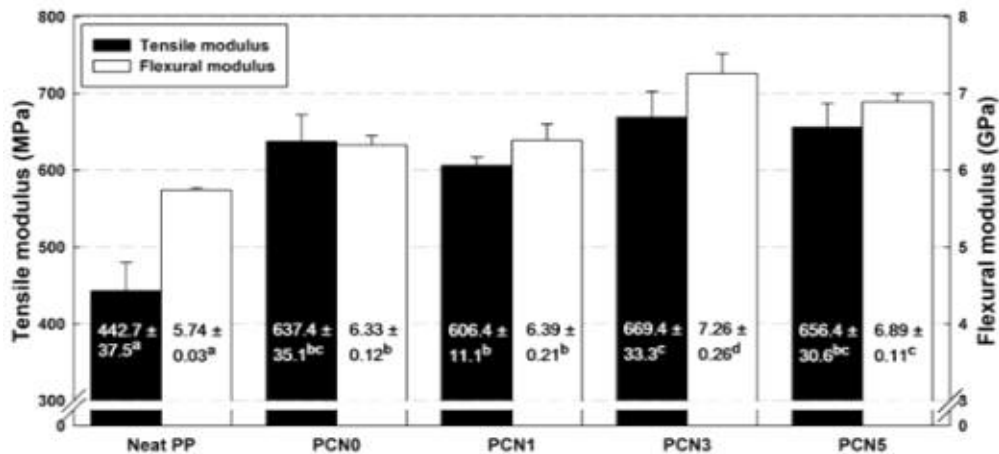
(다) PP/CNF/nanoclay 복합소재의 기계적특성 분석

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 기계적 특성을 분석하기 위해 universal testing machine (UTM)을 통해 인장강도와 굴곡강도를 측정함

<표 5 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 인장시험 및 굴곡시험 결과>

Sample Code	Tensile stress at yield stress (MPa)	Elongation at break (%)	Flexural strength (MPa)	Flexural strain at flexural strength (%)
Neat PP	26.69 ± 0.77	935.24 ± 38.58	64.58 ± 0.42	2.66 ± 0.08
PCN0	36.44 ± 0.18	416.56 ± 82.83	66.68 ± 0.69	2.58 ± 0.02
PCN1	34.73 ± 0.56	605.95 ± 13.84	65.65 ± 0.90	2.56 ± 0.05
PCN3	36.61 ± 0.55	289.79 ± 65.85	67.44 ± 0.55	2.47 ± 0.05
PCN5	34.62 ± 0.63	499.06 ± 66.34	65.53 ± 0.39	2.47 ± 0.05

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 기계적 특성 분석결과, 인장강도와 굴곡강도 모두 PCN3가 가장 우수한 성능을 보였으며, 이것은 결정화도 결과에 크게 기인함
- CNF와 nanoclay가 PP 매트릭스 내의 분산도에 따른 micro-structure 모폴로지가 PP의 결정화에 영향을 끼쳤으며, 이로 인해 기계적 특성 향상에도 도움이 됨
- 인장강도와 굴곡강도 결과와 마찬가지로, 그림 12를 보면 인장 모듈러스와 굴곡 모듈러스도 유사한 경향을 보였음



<그림 12 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 인장, 굴곡 모듈러스 결과>

(라) PP/CNF/nanoclay 복합소재의 기체차단특성 분석

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 산소와 수증기 차단특성을 분석하기 위해 oxygen transmission rate tester(OTR), water vapor transmission rate tester(WVTR)를 통해 분석했으며 5 cm<sup>2</sup> 의 마스킹 처리 후 분석을 진행하였음

<표 6 PP/CNF/nanoclay 복합소재의 산소 및 수증기 투과도 결과>

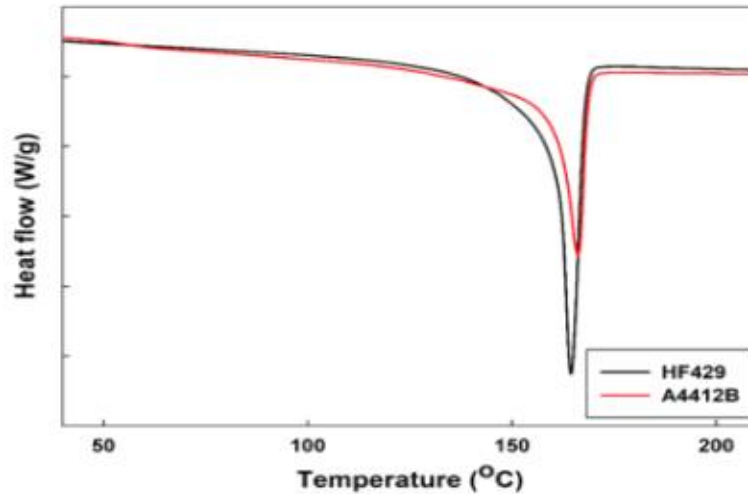
Sample Code	Oxygen permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)	Water vapor permeability (g-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
Neat PP	132.66 ± 0.79	0.38 ± 0.02
PCN0	107.02 ± 6.78	0.37 ± 0.01
PCN1	106.71 ± 2.94	0.39 ± 0.05
PCN3	95.77 ± 0.97	0.39 ± 0.03
PCN5	92.95 ± 1.58	0.37 ± 0.02

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 산소 투과도 분석결과, nanoclay의 함량이 증가함에 따라 산소투과도가 감소하며 차단특성이 증가함을 확인하였음
- 이는 nanoclay가 PP 매트릭스 내에 분포됨에 따라 구불구불한 통로를 형성시켜 투과가스인 산소가 투과 될 때 비교적 오랜 시간이 필요함에 따른 결과임
- 수증기 투과도는 우수한 PP의 결과와 유사한 값을 보였으며, 1차 년도의 결과에 따라 플라즈마 처리를 통해 관능화 도입은 수증기 투과도에 악영향을 끼치지 않음을 다시 한 번 증명함

## 다. Additive Carrier System을 활용한 복합소재 컴파운드 제조 기술 연구

(1) Hydrophilic 소재(TPS, EVOH 등) 개질 및 응용기술 연구

- Additive carrier system을 활용하여 PP/Ethylene vinyl alcohol copolymer(EVOH) 블렌드 기반의 CMC를 포함하는 복합소재를 제조하여 이축연신을 하기 위해 사전적으로 녹는점이 일치하는 PP와 EVOH의 재료 선정을 진행함
- 기업의 technical report를 통해 대략적으로 녹는점이 유사한 PP와 EVOH를 선정하였으며, 실험에 앞서 differential scanning calorimeter(DSC) 분석을 통해 녹는점을 분석함



<그림 13 선정된 PP와 EVOH의 DSC 결과>

- DSC분석결과, homo PP 계열의 HF429와 ethylene 함량이 44 mol%인 A4412B EVOH의 녹는점이 거의 완벽하게 일치함을 확인하였으며, 이 재료를 이용하여 additive carrier의 함량을 조절하는 실험 진행

(2) Additive carrier 소재 함량에 따른 컴파운드 특성 변화 연구

- Additive carrier system을 활용하여 PP/Ethylene vinyl alcohol copolymer(EVOH) 블렌드 기반의 CMC를 포함하는 복합소재를 제조
- PP와 EVOH의 함량은 95:5 wt%으로 고정하고 CMC를 1에서 5 phr의 함량으로 증가시키면서 블렌드 기반의 복합소재 제조

- 재료

Base resin: Polypropylene (PP)

- Grade: HF429, Hanwha Total (Korea)
- Melt index: 8.0 g/10min, 230°C, 2.16 kg ASTM D1238

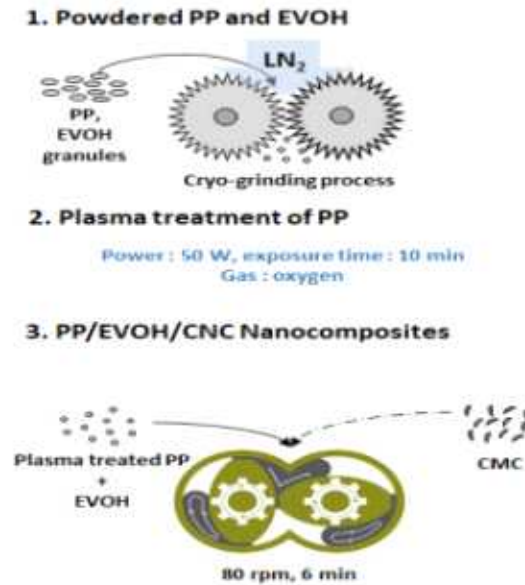
Dispersion resin: Ethylene vinyl alcohol copolymer (EVOH)

- Grade: A4412B, ethylene 44 mol%, Nippon gohsei (Japan)
- Melt index: 12.0 g/10min, 210°C, 2.16 kg ASTM D1238

Filler: Cellulose microcrystal (CMC)

- Particle size: > 25  $\mu\text{m}$
- Crystalline index: > 70%

- 시제품 제작 도식도



<그림 14 PP/EVOH 블렌드 기반의 CMC를 포함한 복합소재 제조의 개략도>

- 모든 복합소재는 internal mixer를 통해 가공을 함
- 제조한 복합소재를 미니사출성형을 통해 dumbbell type으로 시편을 제조하고, 필름 성형은 compression molding을 통해 제작함

(가) 가공조건 및 조성

<표 7 PP/EVOH/CMC 복합소재 가공 조건>

항목	내용
분산 방법	물리적 분산 (용융혼합법)
Internal mixer 가공 조건 변수	
펌프 속도 (rpm)	80 rpm
믹서 온도 (Temperature)	210 $^{\circ}\text{C}$
혼합 시간 (min)	6 min

- 산소 플라즈마 처리한 PP를 EVOH와 pre-mix한 후 CMC와 mixing 후 feeding하는 1 min 동안 진행하고 재료들이 오롯이 섞는 시간을 5 min으로 설정하여 실험을 진행함

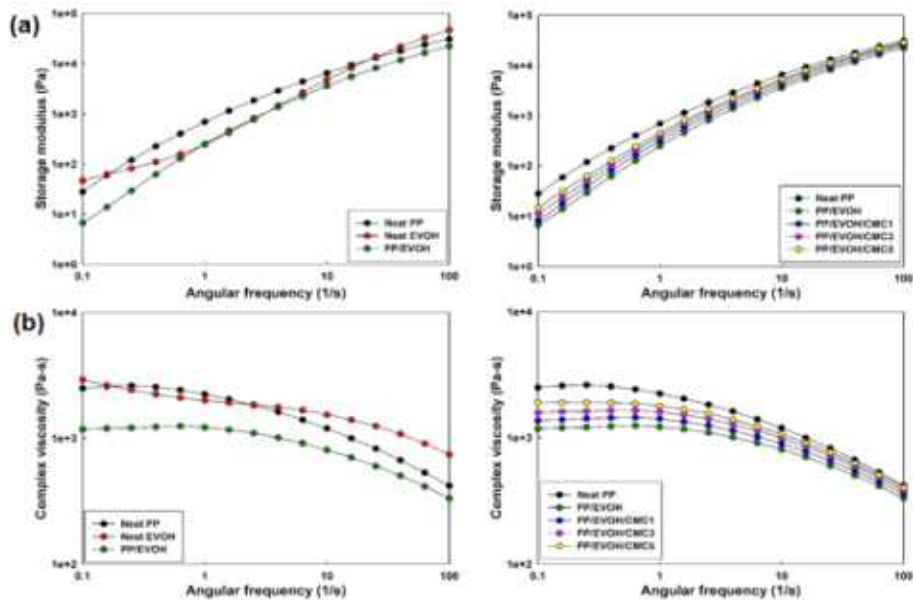
<표 8 PP/EVOH/CMC 복합소재의 조성>

Sample Code	PP (wt%)	EVOH (wt%)	CMC (phr)
CMC0	95	5	-
CMC1	95	5	1
CMC3	95	5	3
CMC5	95	5	5

- CMC함량 증가에 따라 PP/EVOH 블렌드의 물성 변화를 분석해야 함으로 인해 PP와 EVOH의 함량은 95:5 wt%로 고정하고, CMC는 phr의 함량으로 1에서 5로 증가시키며 투입함

(나) PP/EVOH/CMC 복합소재의 유변학적 특성 분석

- PP/EVOH/CMC 복합소재의 유변학적 특성을 분석하기 위해 rotational rheometer를 통해 분석하였으며, 주파수의 변화에 따른 modulus와 complex viscosity를 측정함

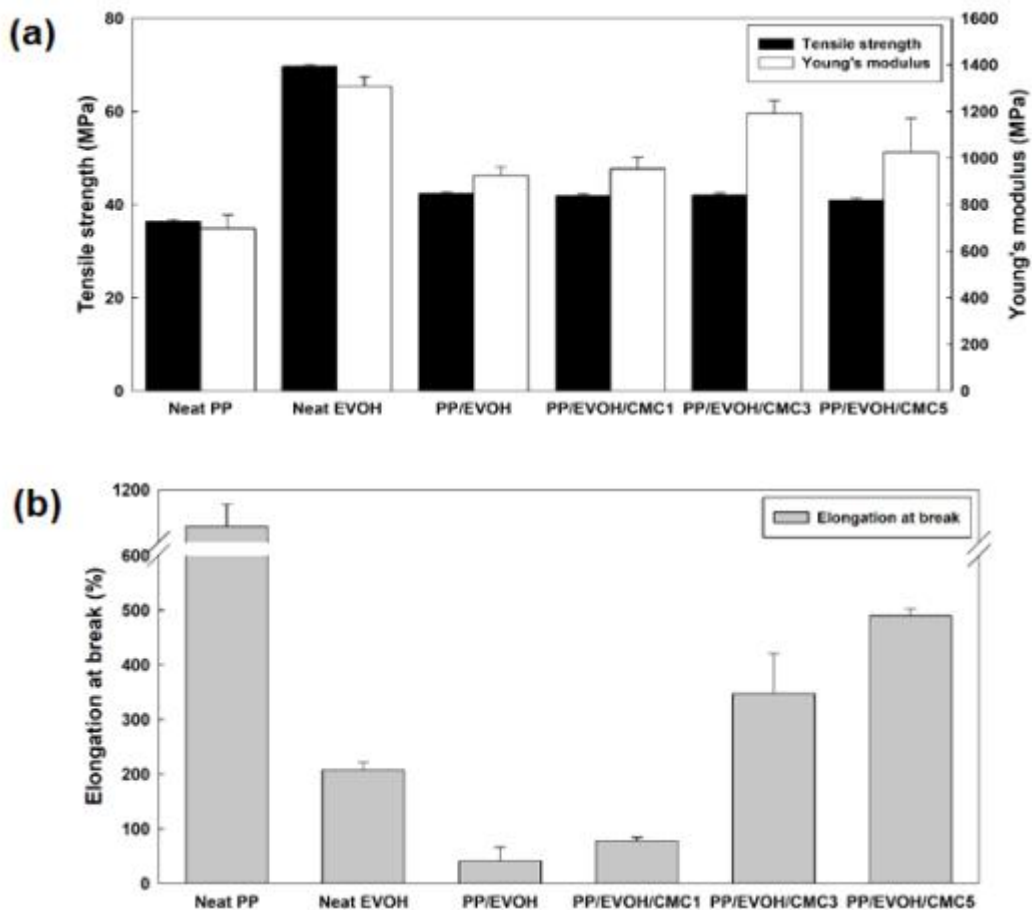


<그림 15 PP/EVOH/CMC 복합소재의 레오미터 분석 결과: (a)storage modulus, (b)complex viscosity>

- PP와 EVOH만을 블렌드 시킨 CMC0의 경우에 PP와 EVOH의 상용성 결여로 인해 storage modulus와 complex viscosity가 neat PP에 비해 상당히 감소한 것을 확인함
- 하지만 CMC의 함량이 증가됨에 따라 감소한 storage modulus와 complex viscosity가 증가하는 경향을 확인하였으며, CMC가 증점제의 역할, 그리고 PP와 EVOH의 상용성을 증가시키는 효과를 보임을 확인하였음

(다) PP/EVOH/CMC 복합소재의 기계적 특성 분석

- PP/CNF/nanoclay 복합소재의 기계적 특성을 분석하기 위해 UTM을 통해 인장시험을 진행함



<그림 16 PP/EVOH/CMC 복합소재의 인장시험 결과: (a)Tensile strength and Young's modulus (b)elongation at break>

- 그림 16의 (a)를 보면 PP/EVOH 블렌드는 EVOH의 높은 인장강도와 모듈러스에 영향을 받아 neat PP보다 약간 증가함을 보였으며, CMC의 함량 증가에 따라 인장강도는 큰 변화 없었으며 모듈러스가 증가하다가 CMC가 5phr를 포함할 때 감소함을 확인하였음
- (b)의 연신율에서 PP/EVOH 블렌드의 연신율은 서로간의 상용성 결여로 인해 크게 감소



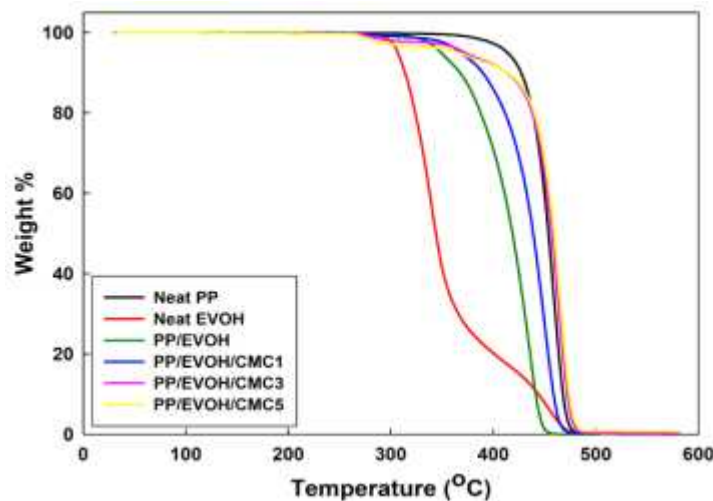
---

함을 보였는데, CMC의 함량 증가로 인해 연신율이 향상되는 결과를 보였음

- CMC가 EVOH의 분산상을 PP 매트릭스에 균일하게 분산시키는 additive carrier로 역할을 함에 따른 결과임이 추측됨

(라) PP/EVOH/CMC 복합소재의 열적 특성 분석

- CMC의 함유에 따라 PP/EVOH/CMC 복합소재의 열안정성 분석을 위해 TGA를 통해 분석함



<그림 17 PP/EVOH/CMC 복합소재의 TGA 분석 결과>

- PP/EVOH 블렌드는 EVOH의 낮은 열안정성 때문에 neat PP에 비해 열안정성이 감소한 것을 확인함
- 하지만, CMC의 함량 증가에 따라 열안정성이 다시 향상되는 것을 확인하였으며, CMC가 3, 5 phr 함량을 포함할 때 neat PP와 거의 비슷한 열안정성을 보였음
- 이것도 마찬가지로, CMC가 additive carrier로써 EVOH 분산상을 PP 매트릭스 내에 좀 더 균일하게 분산됨을 도움으로 나타나는 현상임

## 라. 복합소재의 이축연신 공정을 통한 가스 투과도 제어

(1) PP기반 복합소재 이축연신 공정 조건 확립

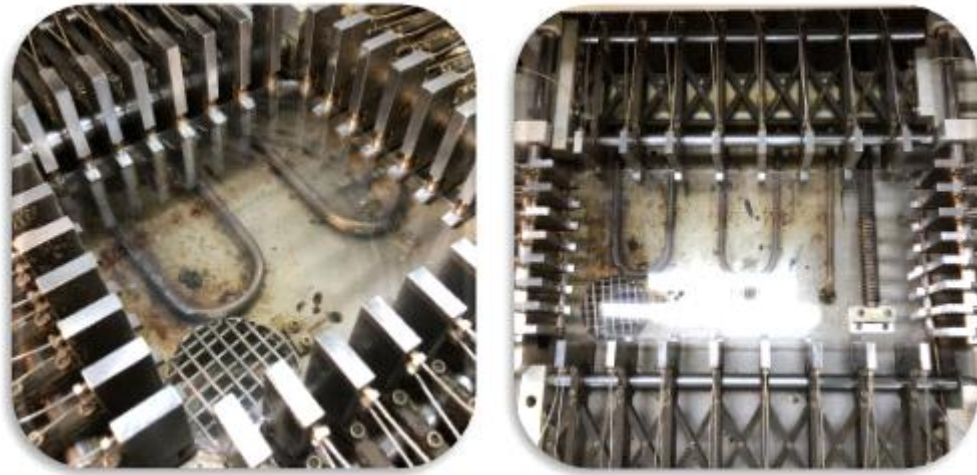
- PP의 이축연신 공정을 통해 기체차단성 향상시킨 이전 연구의 사례에 따라 가장 우수한 기체차단성능을 보인 공정 조건을 채택하여 본 실험에 적용하였음
- 선행 연구 결과에 따라, 동시연신/순차연신 중 순차연신 공정을 채택하였으며, 대칭연신/비대칭연신 중 비대칭연신을 공정 조건으로 선택하였음

<※ 출처: *Polymer* 2008, 49(10), 2578-2586>

---

---

- Lab-scale 이축연신 공정 사진



<그림 18 PP를 lab-scale 이축연신 공정 장비를 통해 제조한 BOPP 시제품>

- 연신 배율, 연신 온도, 연신 속도 등 이축 연신 공정 조건을 조절하여 최적의 기계적/차단 성능을 보이는 PP 복합소재 연신 필름을 제조하기 위해 사전 실험 작업
- 이러한 과정을 바탕으로, 장비의 스펙을 고려하여, 130 °C의 연신온도, 100 mm/sec의 연신 속도를 선정하여 실험을 진행함

(2) 이축연신 공정 조건 인자에 따른 고분자 구조 특성 분석

- 앞서 최적 조건으로 설정한 연신 온도와 속도를 이용하여 연신배율을 300x300, 300x450, 300x600으로 증가시키며 기계적 특성을 분석함
- 이축 연신 공정을 통해 PP사슬의 배열이 일어나면 기계적 특성이 향상되는데 이를 확인하기 위한 작업

(가) PP의 연신 배율에 따른 기계적 특성 분석

- PP의 연신 배율의 증가에 따른 기계적 특성을 분석하기 위해 UTM을 통해 인장시험을 진행함

---

<그림 19 이축 연신된 PP의 인장강도 및 모듈러스 결과>

- PP의 연신 배율의 증가에 따라 인장강도 및 모듈러스가 증가하는 것을 확인하였으며, 이러한 기계적 특성의 증가는 이축 연신 공정을 통해 무작위한 구조로 있던 PP사슬이 연신 방향으로 일정하게 배열됨에 따라 나타난 현상임
- 이러한 결과를 통해 이축 연신 공정이 가스 차단성 향상에도 긍정적인 영향을 끼칠 것이라 예상됨

(나) 이축연신 공정을 통해 가스 투과도 성능 제어

- 앞서 최적 조건으로 설정한 연신 온도와 속도를 이용하여 연신배율을 300x300, 300x450, 300x600으로 증가시키며 기체 차단 특성을 분석함
- 또한 PP에 nanoclay가 3wt% 포함된 PP/clay 3wt% 복합소재와 PP/EVOH (95:5wt%) 블렌드를 이축연신 시킴으로써 나타나는 기체 차단 특성을 분석함

---

(다) PP의 연신 배율에 따른 산소 차단 특성 분석

- PP의 연신 배율의 증가에 따른 산소 차단특성을 분석하기 위해 OTR를 통해 분석했으며 1 cm<sup>2</sup>의 마스킹 처리 후 분석을 진행하였음

<그림 20 이축 연신된 PP의 산소 투과도 측정 결과>

- PP의 연신 배율의 증가에 따라 산소투과도가 감소하는 것을 확인하였으며, 이러한 산소 차단 특성의 증가는 앞서 기계적 특성과 마찬가지로, 이축 연신 공정을 통해 무작위한 구조로 있던 PP사슬이 연신 방향으로 일정하게 배열됨에 따라 나타난 현상임

(라) PP/nanoclay 복합소재의 연신 배율에 따른 산소 차단 특성 분석

- PP 매트릭스 내에 nanoclay를 포함시켰을 때 연신 배율의 증가에 따른 산소 차단특성을 분석하기 위해 OTR를 통해 분석했으며 1 cm<sup>2</sup>의 마스킹 처리 후 분석을 진행하였음

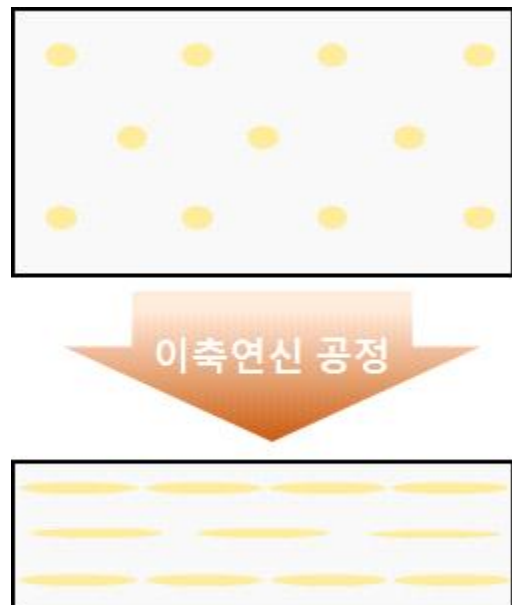
<그림 21 이축 연신된 PP/clay 복합소재의 산소 투과도 측정 결과>

---

- PP/nanoclay 복합소재를 이축 연신 공정에 적용하여 필름을 제조한 결과, 연신 배율의 증가에 따라 산소투과도가 neat PP보다 더 감소하는 것을 확인하였음
- 이러한 결과는 PP/nanoclay 복합소재를 이축 연신 시에 PP사슬의 배열과 nanoclay의 분산성이 동시에 구현됨에 따라 나타나는 결과로 추측됨
- nanoclay의 함량 조절을 통해 이축 연신한 PP/nanoclay 복합소재 필름의 산소 차단성 최적화 작업이 필요함
- PP/nanoclay 3wt% 복합소재의 300x600 연신 배율 조건에서 57.2 cc·mm/m<sup>2</sup>·day·atm의 수치를 달성하여 2차 년도 전략 성과에 부합하였음

(마) PP/EVOH (95:5 wt%) 블렌드의 연신 온도에 따른 산소 차단 특성 분석

- PP 매트릭스 내에 EVOH를 5wt% 포함시켰을 때 연신 온도의 조절에 따른 산소 차단특성을 분석하기 위해 OTR를 통해 분석했으며 1 cm<sup>2</sup>의 마스킹 처리 후 분석을 진행하였음
- 연신 온도만을 고려하기 위해 연신 배율 조건은 400x400으로 고정하여 진행함



<그림 22 연신 온도 조절에 따른 PP/EVOH 블렌드의 산소 투과도 측정 결과 및 모폴로지 개략도>

- 160~190 °C의 온도 범위로 이축 연신을 진행하였는데, 160 °C에서는 경화된 상태로 인해 연신이 되지 않았고, 190 °C에서는 완전히 녹음에 따라 연신이 불가능했음
- 따라서, 170~180 °C의 온도범위에서 이축연신을 진행하였으며, 170 °C보다 180 °C에서 이축연신을 했을 때 산소 투과도가 크게 감소하는 것을 확인하였음
- 그림 22의 개략도와 같이 EVOH 분산상이 이축 연신됨에 따라 PP매트릭스에 layer-like한 구조로 변화였기 때문에 산소차단성이 향상되었다고 추측됨

※ 별첨

○ 국내 학술대회 발표 및 특허 출원



제57회 한국포장학회 학술대회 구두 발표



2020 한국공업화학회 학술대회 구두 발표



제57회 한국포장학회 학술대회 구두 발표

출원 번호 통지서

출원 일자 2019.11.29  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무) 창조번호(KPA191250)  
 출원 번호 10-2019-0157401 (접수번호 1-1-2019-1237483-13)  
 출원인 명칭 한국생산기술연구원(3-1999-902938-2)  
 대리인 명칭 손민(9-1999-000420-6)  
 발명자 명칭 심진기 장동호 정빛남 김기홍  
 발명의 명칭 공용매 시스템을 이용하는 현탁 공정 및 용융 공정을 포함하는 열가소성 수지/셀룰로오스 나노섬유 나노복합체의 제조방법

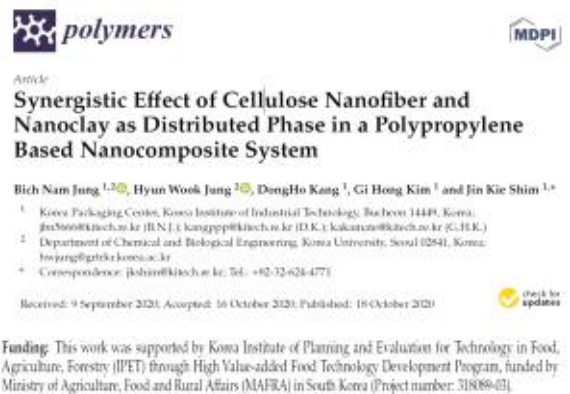
특 허 청 장

공용매 시스템을 이용하는 현탁 공정 및 용융 공정을 포함하는 열가소성 수지/셀룰로오스 나노섬유 나노복합체의 제조방법 (10-2019-0157401) 특허 출원

○ 국외 논문 게재



Polymer testing  
 Vol. 85, 106352  
 논문 게재



Polymers  
 Vol. 12, Issue 10  
 논문 게재

### 3. 3차년도

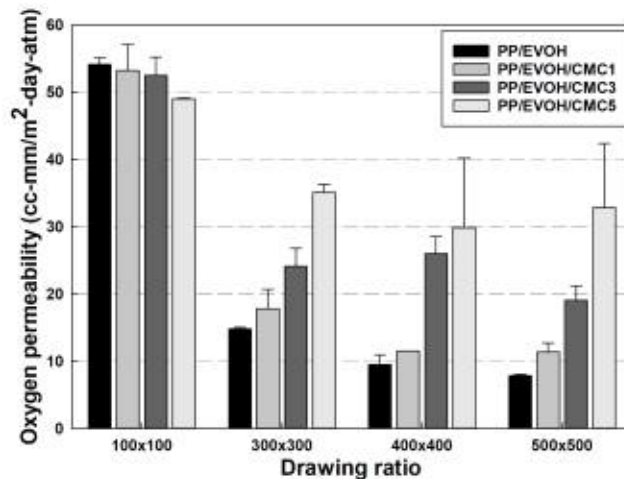
#### 가. Additive Carrier System 조성 최적화 및 응용기술 연구

(1) CMC를 포함한 PP/EVOH 5wt% 블렌드 기반의 복합소재 제조

(가) 시료제조

- PP와 EVOH 모두 저온밀링 공정을 통해 마이크로 사이즈의 파우더로 제조하고 PP와 EVOH간의 상용성 향상을 위해 PP에 플라즈마 표면 처리 후 용융 혼합을 진행하였음
- 이때 cellulose microcrystal (CMC)를 1, 3, 5 phr씩 차례대로 함량을 증가시키며 포함시켰으며 용융혼합은 230 °C, 80 rpm에서 6분간 진행하였음
- 그리고 230 °C, 10 MPa의 조건하에서 compression molding을 통해 약 500  $\mu\text{m}$  두께의 시트를 제조하였음
- 이 시트를 이축연신공정에 적용하였으며, 175~180 °C의 온도에서 25 mm/s의 연신속도로 이축연신을 시켰으며 300x300, 400x400, 500x500의 연신배율로 진행하였음

(나) 산소투과도 결과



<그림 1 PP/EVOH 5wt% 블렌드와 PP/EVOH/CMC 블렌드 기반의 복합소재의 연신배율에 따른 산소투과도 결과>

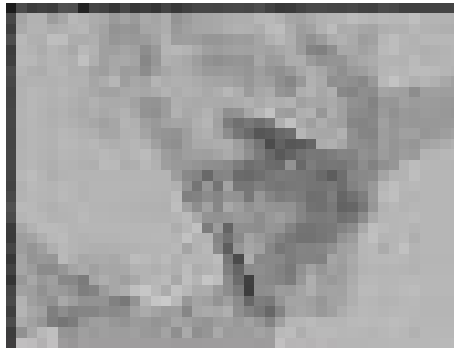
- PP/EVOH 블렌드는 연신배율 증가에 따라 산소투과도가 감소하는 경향을 보였지만, CMC를 포함할수록 산소투과도가 증가하는 것을 확인하였음
- 이축연신공정을 진행하면 샘플의 두께가 10~30  $\mu\text{m}$ 의 두께로 형성되는데, CMC입자크기로 인해 필름 전체의 결함으로 작용함에 따라 이러한 결과가 발생된 것으로 유추됨

---

## (2) 블렌드 기반의 복합소재의 최적 조성 선정

### (가) 산소차단첨가제 선정

- 앞서 진행한 PP/EVOH/CMC 블렌드 기반의 복합소재의 실험결과에 따라 산소차단성첨가제를 이축연신공정 후의 필름의 두께에 고려하여 분산성이 우수한 나노소재로 선정함
- Graphene nanoplatelets (GNPs)라는 물질로 선정하였으며, graphene은 산소차단물질로 널리 알려져 있으며, 가격이 비싸서 적용하기에 힘든 문제가 있었음
- 하지만, 본 연구에서 선정한 GNPs의 경우에는 graphene 보다는 가격이 매우 저렴한 편이며, 매우 큰 비표면적(750 m<sup>2</sup>/g)을 가지고 있고 입자 크기 (>2 μm)도 매우 작아서 적은 양으로도 큰 물성향상을 낼 수 있는 장점이 있음



<그림 2 GNPs의 TEM 이미지 (출처: 시그마알드리치)>

### (나) 시료 제조

#### ① PP/EVOH 블렌드의 조성 선정

- PP 단일 물질로써 재활용성을 고려하여 이종의 산소차단성 물질인 EVOH의 함량을 최소화해야함
- 160개의 유럽 패키징 회사들이 지속 가능한 패키징에 대해 논의하기 위해 만든 'CEFLEX'의 가이드라인의 mono-material 정의에 따라 인용하였음
- CEFLEX 가이드라인에서는 mono-PE, mono-PP는 최대 10%의 다른 물질의 함유를 허용했으며, 그중에 EVOH는 최대 5%의 포함을 허용하였음

▲ Ethylene vinyl alcohol (EVOH) is often used in multi-layer polyolefin-based structures or applied as a coating to give a gas barrier. It is found in varying thicknesses depending on the overall structure and application. A maximum of 5% of EVOH of the total packaging structure is permitted. Quantities above this are thought to result in issues during reprocessing and impact the quality of the recyclate.

<그림 3 CEFLEX 가이드라인에서 mono-material내에 EVOH 최대 포함량에 대한 언급 (출처: CEFLEX Guideline)>

---



□ 제2조(순환자원의 이물질 기준) ① 이물질은 순환자원으로 인정받고자 하는 물질 외의 물질로서

원료로 적합하지 않아 사용이 불가능한 물질을 말하며, 수분은 제외한다.

② 영 제3조제2호에 따른 순환자원의 이물질 기준은 다음 각 호와 같다.

1. 폐지류

가. 종이 제조용으로 사용하는 경우: 무게기준으로 3퍼센트 이하

나. 가목 외의 용도로 사용하는 경우: 무게기준으로 5퍼센트 이하

2. 폐금속류: 무게기준으로 2퍼센트 이하

3. 폐유리류: 무게기준으로 5퍼센트 이하

4. 폐합성수지류: 무게기준으로 5퍼센트 이하

③ 폐유·폐유기용제·페인트·페락카·페놀약·폐유독물·폐석면·폐폴리염화비닐 등 유해물질이 혼합되거나 이를 담았던 용기가 혼합된 경우에는 이를 분리 제거하여야 한다.

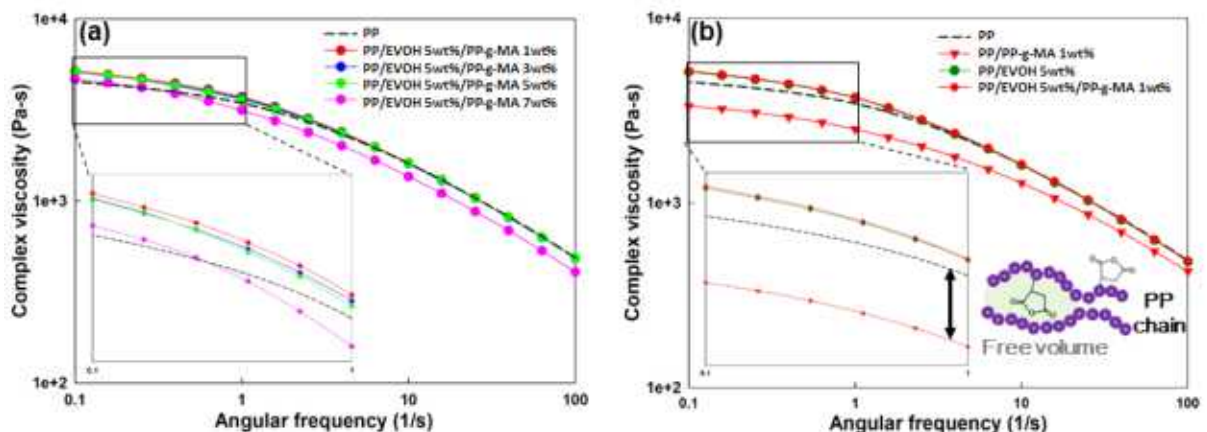
④ 제2항에 따른 이물질 시험방법은 별표 1과 같다.

<그림 4 (환경부) 순환자원의 이물질 및 중금속 등 유해물질 기준에 따른 순환자원으로 허용되는 플라스틱 내의 이물질 허용량 기준 (출처: 환경부고시 제2017-253호)>

- 위의 환경부고시 제2017-253호에서는 폐플라스틱이 순환자원으로 이용되기 위해서는 이물질이 최대 5wt% 이하로 포함되어야 한다고 고시되어있었음
- 본 연구에서 개발되고 있는 기재 이외에 실링 층, 인쇄 층 등 PP의 함량을 고려하여 기재 층에 포함되는 EVOH의 함량은 5wt%로 선정하였음

② 상용화제 함량 선정

- PP와 EVOH는 pellet 형태 그대로 사용하였으며, PP와 EVOH사이의 상용성 향상을 위해 PP-grafted maleic anhydride (PP-g-MA)를 사용하였음
- PP-g-MA의 함량을 증가시키며 PP/EVOH 5wt% 블렌드 시스템 내에서 최적의 함량 포인트를 유변학적 분석을 통해서 선정하였음



<그림 5 (a)PP/EVOH 5wt% 블렌드에서 PP-g-MA의 함량 증가에 따른 complex viscosity 결과 및 (b)PP/EVOH 5wt%과 PP/EVOH/PP-g-MA 1wt%의 complex viscosity값 비교>

- PP-g-MA를 1 ~ 7 wt%까지 증가시키며 분석한 결과, 1wt%의 PP-g-MA를 포함하는 샘플

- 플의 complex viscosity가 가장 높음을 확인하였고, 이를 최적의 함량으로 선정하였음
- PP/EVOH 5wt%과 PP/EVOH/PP-g-MA 1wt%의 complex viscosity는 큰 차이가 나지 않는데, 이것은 PP-g-MA가 PP를 가소화시키는 효과 때문임

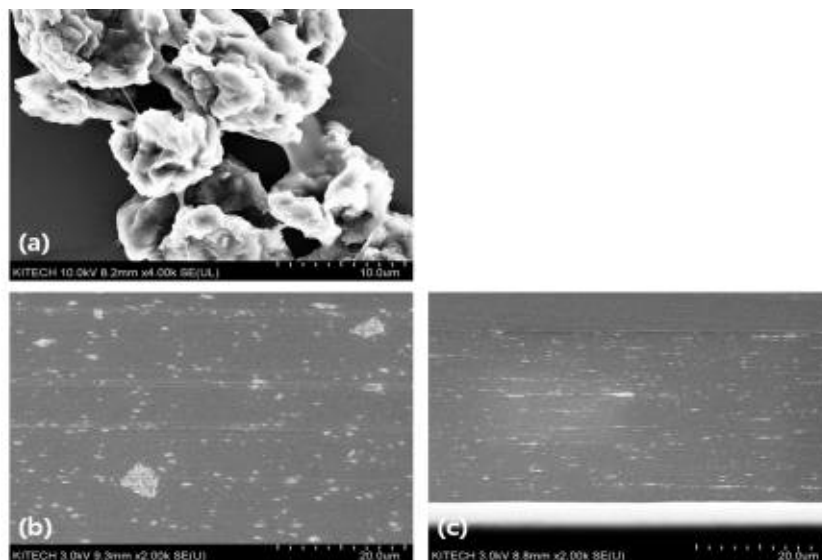
## 나. 컴파운드 활용 차단성 구현 이축 연신 구조 필름 설계/제조 기술

### (1) Nanoclay를 포함하는 PP 기반의 연신 필름 제조

#### (가) 시료 제조

- PP는 저온밀링 공정을 통해 마이크로 사이즈의 파우더로 제조하고 PP와 nanoclay간의 상용성 향상을 위해 PP에 플라즈마 표면 처리 후 용융 혼합을 진행하였음
- 이때 nanoclay를 0.8~6.4 wt%씩 차례대로 함량을 증가시키며 포함시켰으며 용융혼합은 210 °C, 80 rpm에서 6분간 진행하였음
- 그리고 210 °C, 10 MPa의 조건하에서 compression molding을 통해 약 500 μm 두께의 시트를 제조하였음
- 이 시트를 이축연신공정에 적용하였으며, 130 °C의 온도에서 100 mm/s의 연신속도로 이축연신을 시켰으며 300x300, 300x450, 300x600의 연신배율로 진행하였음
- 이때 연신배율 300방향을 저배율방향, 300, 450, 600방향을 고배율 방향으로 칭하겠음

#### (나) 모폴로지 분석



<그림 6 (a)Bulk 나노클레이와 이축연신공정 전, 후의 PP/nanoclay 나노복합소재의 SEM 분석; (b)100x100, (c)300x450>

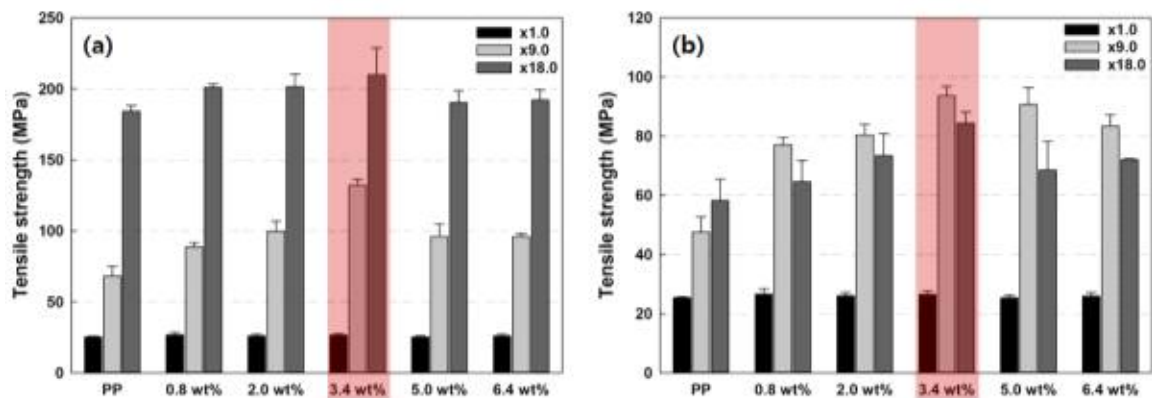
- 판상형태의 nanoclay는 bulk상태에서 뭉친 상태로 존재하지만, 압출기 내에서 전단응력을

받으면서 flake 형태로 분산이 되었음

- 하지만, 모든 nanoclay가 다 분산이 되지는 않으며, 몇몇 nanoclay는 여전히 뭉친 채로 존재하는 것을 (b)에서 확인할 수 있었음
- 이 때, 이축연신공정을 하면 공정 시에 발생하는 응력에 따라 nanoclay가 분산되는 것을 (c)를 통해 확인할 수 있었으며, 이축연신공정이 nanoclay의 분산에 효과적임을 확인할 수 있었음

## (2) Nanoclay의 함량과 이축 연신 배율의 조절을 통해 최적 성능의 시제품 제조

### (가) 기계적 물성 측정을 통한 성능 확인



<그림 7 (a)고배율 방향, (b)저배율 방향의 인장강도 측정 결과>

- 이축연신한 PP/nanoclay 나노복합소재의 인장강도 측정 결과, 고배율 방향이 저배율 방향보다 인장강도가 더 높은 값을 보였으며, 연신 배율이 상대적으로 높아 발생한 결과로 유추됨
- 연신 배율이 높을수록 PP사슬이 더욱 더 배열함에 따라 발생하는 결과이며, nanoclay의 함량 3.4 wt%일 때 고배율과 저배율 방향에서 가장 높은 인장강도를 나타냄
- 이 결과는, nanoclay가 PP 매트릭스 내에서 3.4 wt%가 초과되면 서서히 응집이 발생하여 기계적 강도를 감소시킨다고 유추 가능함
- 하지만, 기계적 물성이 크게 감소하는 것은 아니라, 산소차단성능과의 연관성은 다시 한번 살펴봐야할 것으로 보임

(3) PP의 연신 정도에 따른 수분 차단성능에 대한 연구 진행

(가) 접촉각 비교 분석



<그림 8 300x600으로 이축연신한 PP(좌)와 PP/nanoclay 6.4wt% 나노복합소재(우)의 접촉각 비교>

- 고분자 필름의 수분 차단성능은 접촉각 결과와 매우 연관성이 있으며, 이를 확인하기 위해 접촉각 분석을 진행하였음
- 필름 표면이 소수성일 때 필름 내부로 수분이 침투하는 것이 쉽지 않으며, 그래서 접촉각이 높으면 수분차단성능이 우수함
- 300x600의 연신배율로 이축연신한 PP와 PP/nanoclay 복합소재의 접촉각을 비교해보았을 때, 120°, 119°로 거의 유사함을 보였음
- 이는 PP에 나노클레이가 나노복합소재로 포함되었을 때 PP의 소수성 표면에 영향을 끼치지 않음을 확인함

(나) RH 증가에 따른 산소투과도 비교 분석

<표 1 RH증가에 따른 PP와 PP/nanoclay 나노복합소재의 산소투과도 결과>

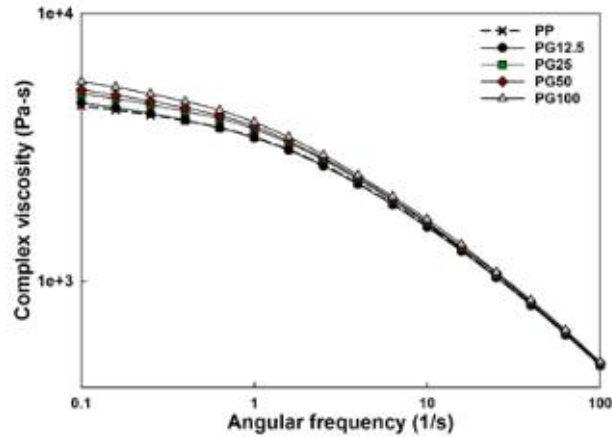
Sample	Oxygen permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)			
	RH condition (%)			
	0	30	60	90
PP	75.4	76.7	76.5	76.3
PP/nanoclay 6.4wt%	43.5	45.1	45.5	45.9

- RH를 0%에서 90%까지 높이면서 이축연신한 PP와 PP/nanoclay 6.4wt% 나노복합소재의 산소투과도 분석결과, 아주 미세한 증가가 발생하였지만 거의 성능이 유지됨을 확인함
- 앞의 접촉각 분석결과와 같이 이축연신한 PP/nanoclay 6.4wt% 나노복합소재의 필름표면이 소수성이므로 수분에 의한 산소투과도의 성능저하가 발생하지 않음을 확인함

(4) 블렌드 기반의 복합소재의 연신 필름 제조

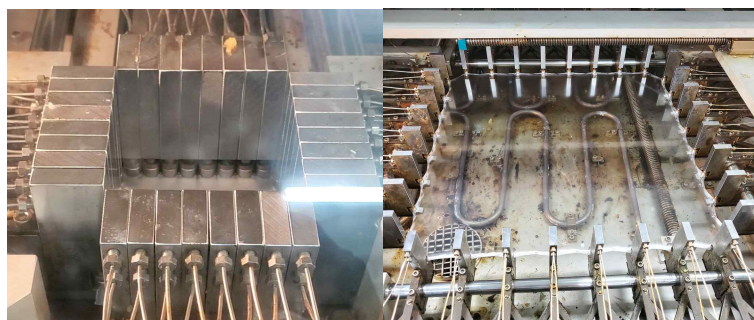
(가) 이축연신필름 제조

- PP에 GNPs를 0.0125~0.1 phr까지 함량을 증가시키며 먼저 용융 혼합을 진행하였음



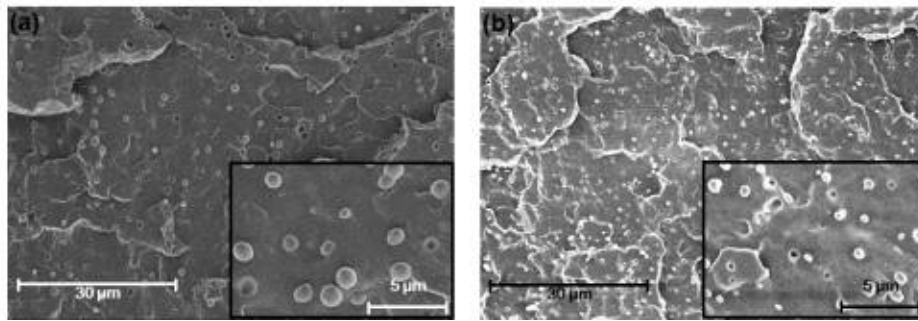
<그림 9 GNPs함량 증가에 따른 PP/GNPs 나노복합소재의 complex viscosity 결과 (PG12.5-GNPs함량: 0.0125 phr, PG100-GNPs함량: 0.1 phr)>

- 레오미터 측정결과, GNPs의 함량 증가에 따라 complex viscosity가 증가하였으며 GNPs가 PP 매트릭스에 비교적 잘 분산되어진 것으로 판단됨
- 그 다음에, EVOH와 PP-g-MA를 포함시켜 PP/EVOH/GNPs 나노복합소재를 제조하였으며 용융 혼합은 230 °C, 50 rpm에서 진행하였음
- 그리고 230 °C, 10 MPa의 조건하에서 compression molding을 통해 약 500  $\mu$ m 두께의 시트를 제조하였음
- 이 시트를 이축연신공정에 적용하였으며, 175~180 °C의 온도에서 25 mm/s의 연신속도로 이축연신을 시켰으며 300x300, 400x400, 500x500의 연신배율로 진행하였음



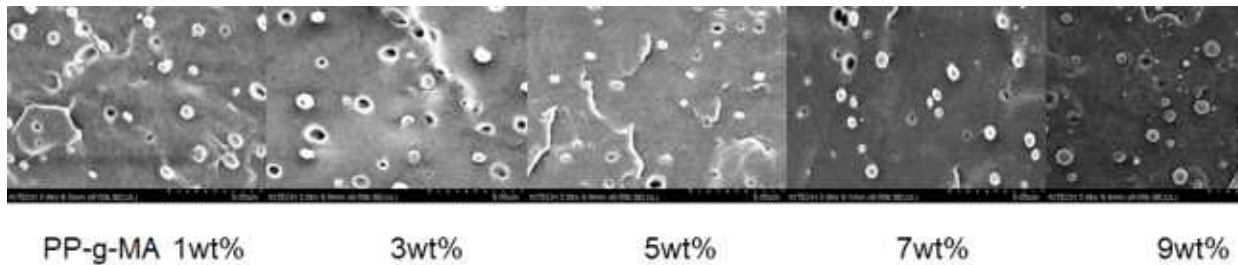
<그림 10 이축연신공정 전(좌)과 후(우)의 샘플 모습 사진>

(나) 모폴로지 분석



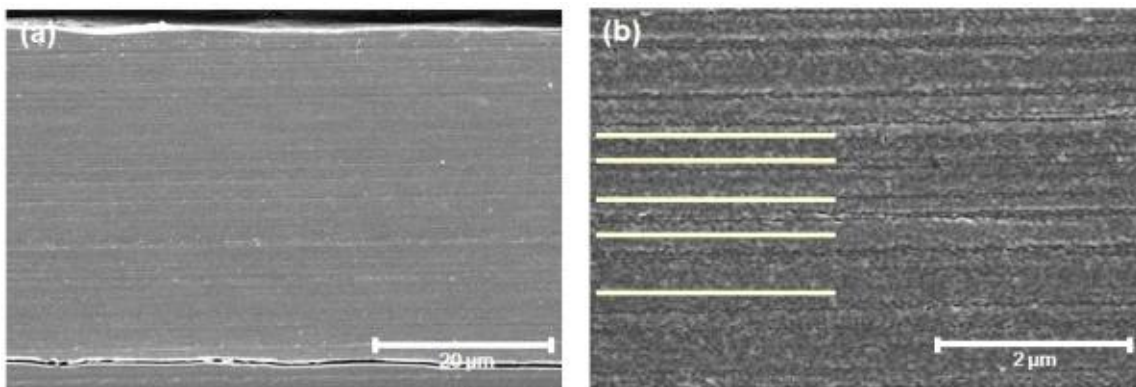
<그림 11 (a)PP/EVOH 5wt%블렌드, (b)PP/EVOH/PP-g-MA 1wt%의 SEM 이미지 결과>

- SEM 분석결과. PP/EVOH 5wt% 블렌드에 PP-g-MA 1wt%이 포함됨에 따라 EVOH 분산상 크기 감소 및 분산상 크기의 균일도가 증가하는 것을 확인함



<그림 12 PP/EVOH블렌드 내 PP-g-MA 함량에 따른 SEM 이미지 결과>

- 추가적인 분석을 통해, PP/EVOH 블렌드 내에 PP-g-MA 함량 증가에 따른 EVOH 분산상 크기 비교를 SEM 분석을 통해 진행하였음
- PP-g-MA 함량이 증가해도 더 이상의 EVOH 분산상 크기의 감소는 관찰되지 않았음



<그림 13 PP/EVOH 블렌드의 이축연신 후의 SEM 이미지; (a)저배율, (b)고배율>

- PP/EVOH 블렌드의 이축연신 후의 SEM을 분석한 결과, 구형이던 EVOH 분산상이 층 형태로 변화된 것을 확인할 수 있었음
- EVOH 분산상이 층 형태로 변화되었기 때문에 표면적이 증가하였고, 이에 따라 산소차단성이 향상될 것이라 기대됨

---

(다) 블렌드 샘플 pilot scale 제조 실험

- PP/EVOH 블렌드를 이축연신공정을 적용시키기 전에 대량생산 가능성 확인을 위한 pilot scale에서의 샘플 제조



<그림 14 울촌화학 pilot scale 압출기를 통한 필름 생산>



<그림 15 한국생산기술연구원의 pilot scale 압출기를 통한 필름 생산>

- 울촌화학과 한국생산기술연구원의 pilot scale의 압출기를 통해서 PP/EVOH 5wt% 블렌드의 필름 생산을 진행해보았으며, 별도의 불량 없이 압출이 원활하게 이뤄졌음

## 다. 복합소재 및 블렌드 연신 필름의 가스 투과도 및 물성/성능 평가

(1) PP 기반 복합소재 및 블렌드 연신 필름의 산소 차단 물성 평가

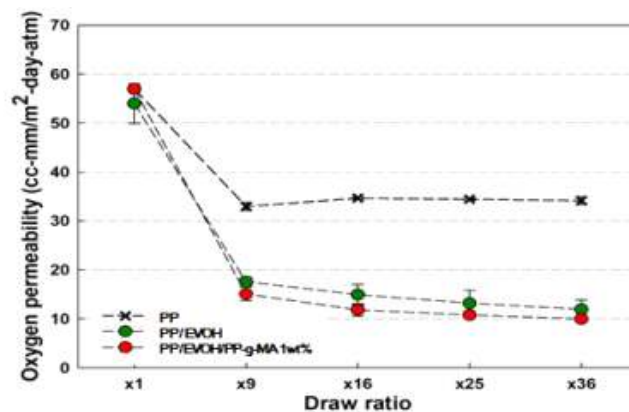
(가) 이축연신한 PP/nanoclay 나노복합소재의 차단 물성 평가

<표 2 PP와 PP/nanoclay 나노복합소재들의 산소투과도 결과>

연신배율 Sample	Oxygen permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)			
	100x100	300x300	300x450	300x600
PP	120.0	100.3	86.7	75.4
0.8 wt%	103.0	76.4	70.3	62.5
2.0 wt%	96.9	67.4	61.1	57.2
3.4 wt%	100.9	62.4	57.4	51.0
5.0 wt%	82.8	56.1	52.6	46.1
6.4 wt%	94.8	53.0	47.4	43.5

- PP와 PP/nanoclay 나노복합소재 모두 연신배율이 증가함에 따라 산소투과도가 감소하는 경향을 보였음
- 연신배율 100x100일 때, PP에서 nanoclay 함량이 증가했을 때 산소투과도 값은 경향이 없었지만, 연신배율이 300x300이상부터는 nanoclay의 함량에 따라 산소투과도 값이 경향성을 보였음
- 나노클레이가 6.4 wt%가 포함된 PP/nanoclay 나노복합소재를 300x600의 연신배율로 연신시켰을 때 43.5 cc-mm/m<sup>2</sup>-day-atm의 산소투과도 값을 보였으며, 3차년도 전략성과인 55 cc-mm/m<sup>2</sup>-day-atm 보다 낮은 값을 보였음

(나) 이축연신 PP/EVOH 블렌드 기반 GNPs를 포함하는 나노복합소재 차단 물성 평가



<그림 16 PP, PP/EVOH, PP/EVOH/PP-g-MA 1wt% 블렌드의 연신배율에 따른 산소투과도>



- 앞의 PP/nanoclay 나노복합소재에 적용했던 random PP같은 경우에는 연신배율이 x18 (300x600)까지 증가하면서 지속적으로 산소투과도가 감소했지만, 본 연구에서 적용한 homo PP의 경우에 x9에서 x36까지 연신배율이 증가하면서 산소투과도가 감소되지 않는 것을 확인함
- Homo PP는 random PP에 비해 사슬 사이에 free volume이 없으며, 이로 인해 비교적 낮은 연신배율에서 충분히 사슬끼리 패킹됨에 따라 더 이상의 투과도 감소가 일어나지 않음이 추측됨
- PP/EVOH 블렌드는 연신배율 증가에 따라 EVOH 분산상이 층 형태로 변함에 따라 산소투과도가 급격히 감소함을 확인하였음
- 여기에, PP-g-MA 추가적인 포함의 결과로써 PP/EVOH 블렌드 보다 산소투과도가 더 감소했으며, 표준편차도 더 줄어들음을 확인하였음

<표 3 이축연신한 PP/EVOH/GNPs 나노복합소재들의 산소투과도 결과>

Sample, x36	Oxygen permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
PP	34.2 ± 0.8
PP/EVOH	12.0 ± 2.0
PP/EVOH/PP-g-MA	10.0 ± 0.6
PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.0125	29.4 ± 0.7
PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.025	13.9 ± 2.3
PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.05	8.4 ± 2.3
PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.1	9.8 ± 2.4

- PP/EVOH/PP-g-MA 블렌드에서 좀 더 추가적으로 산소투과도를 감소시키기 위해 산소 차단성 나노소재인 GNPs를 포함시켜 산소투과도를 측정하였음
- GNPs의 함량이 저 함량 (0.0125, 0.025 phr)일 때는 산소투과도가 오히려 증가했지만, GNPs가 0.05 phr가 포함되었을 때, 본 시스템에서 가장 낮은 산소투과도 값을 가지는 것을 확인하였음

(다) 고려대에서 개발한 코팅액을 적용한 시제품 제조



<그림 17 스프레이 코팅을 통해 고려대 코팅액 적용 필름 제조 개략도>

- 본 연구에서 가장 우수한 성능을 보인 PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.05 phr 샘플에 고려

대에서 개발한 코팅액을 적용한 시제품을 제조함

- PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 필름 표면에 산소 플라즈마 처리를 통해 친수성의 기능기를 부여하고 그 위에 고려대의 코팅액을 스프레이건을 통해 스프레이 코팅을 진행하였음

(2) 컴파운드 투과도 및 성능 비교 분석

(가) PP기반 복합소재 및 블렌드 연신 필름의 투과도 성능 비교

- PP/nanoclay 나노복합소재 제조 연구와 PP/EVOH 블렌드 기반의 GNPs를 포함하는 나노 복합소재 제조 연구에서 각각 최고 성능을 보인 샘플끼리의 산소투과도 비교

<표 4 본 연구들을 통해 제조한 샘플들의 산소투과도 비교 (공인시험성적서 첨부)>

Sample	Oxygen permeability (cc-mm/m <sup>2</sup> -day-atm)
PP/nanoclay 6.4 wt%, x18	43.5
PP/EVOH/PP-g-MA/GNPs 0.05, x36	8.4
3차년도 전략성과 (산소투과도)	55



- 본 실험에서 제조한 두 샘플 모두 3차년도 전략성과인 55 cc-mm/m<sup>2</sup>-day-atm보다 낮은 값을 보였으며, 목표에 도달함을 확인함

(나) 주식회사 농심, (주)울촌화학에서 제조한 시제품의 산소/수분 투과율 측정 결과

- 본 과제를 통해 제조한 시제품의 산소/수분 투과율을 비교분석하기 위한 측정 진행

<표 5 본 과제를 통해 제조한 시제품들의 산소/수분 투과도 비교>

Sample Code	Oxygen transmission rate cc/m <sup>2</sup> -day-atm	Water vapor transmission rate g/m <sup>2</sup> -day-atm
현 제품	1.123 ± 0.024	0.391 ± 0.018
T1	4.566 ± 0.027	0.681 ± 0.022
T2	0.224 ± 0.004	0.358 ± 0.014
T3	0.812 ± 0.022	1.274 ± 0.011

- T2 시제품의 경우에 현 제품보다 산소/수분 차단성이 우수하게 측정됨을 확인하였고, 제품화할 수 있는 가능성을 확인하였음
- 주식회사 농심에서 실시하는 저장성 실험 결과와 같이 비교하여 제품화 가능성을 추가적으로 분석할 예정임

## 라. 컴파운드 활용 차단성 필름 Post-Consumed Recycling (재활용) 기술 연구

(1) PP기반 컴파운드 시제품의 재활용 공정 후의 기계적 성능 분석

(가) PP기반 시제품 재활용 수지의 melt flow index (MI) 측정

- 주식회사 농심과 (주)울촌화학에서 생산한 시제품을 실제로 재활용 공정에 적용했을 때 나타나는 가공조건을 확인하기 위한 작업
- 시제품을 재활용 업체에서 압출기로 용융 혼합하여 생산한 pellet을 제공받아 실험하였음

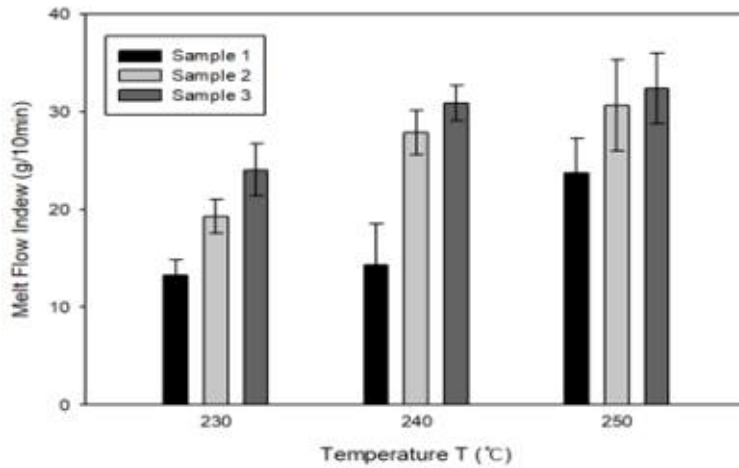


<그림 18 제공받은 PP기반 재활용 수지>

- 온도를 230~250 °C까지 높이며 MI를 측정하였음

<표 6 PP기반 재활용 수지들의 MI 결과값>

Sample	230 °C	240 °C	250 °C
(1)	13.24±1.59	14.35±4.20	23.77±3.48
(2)	19.30±1.76	27.86±2.24	30.67±4.66
(3)	24.04±2.68	30.86±1.80	32.37±3.63



<그림 19 PP기반 재활용 수지들의 MI 결과 그래프>

- 기존의 상업적인 압출용 PP 제품들 보다 MI가 높게 측정되었으며, 재활용으로 인해 melt strength가 저하된 것으로 판단됨
- 추후에 재활용공정을 통해 실제로 제품을 생산할 때는 증점제를 추가적으로 처방하여 가공성을 향상시킬 필요가 있음

(나) PP기반 시제품 재활용 수지의 기계적 강도 분석

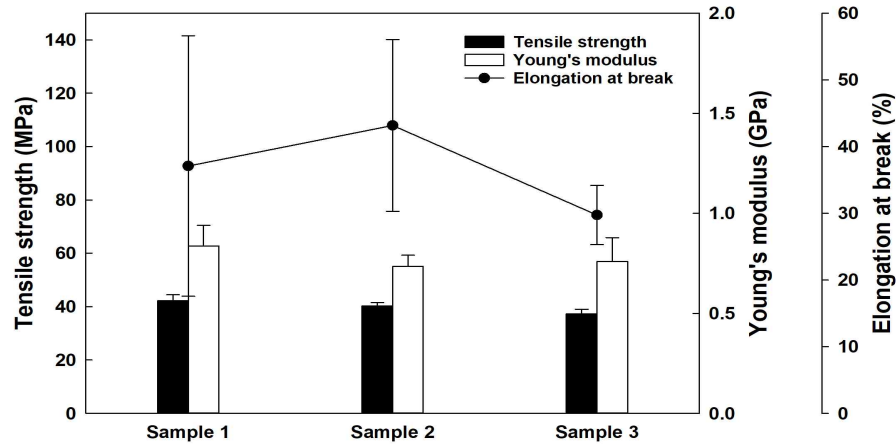
- 주식회사 농심에서 제공받은 PP기반 재활용 수지를 이용하여 인장 강도 측정을 위한 사출 시편으로 제조하여 분석을 진행함



<그림 19 PP기반 재활용 수지의 사출시편>

- 인장강도 분석결과, 인장강도는 약 40 MPa의 값을 보였고, 모듈러스 또한 0.73~0.85 GPa을 보이며 양호한 강도를 가짐을 확인하였음

- 하지만, 연신율은 약 30%의 값을 보였으며, 상업적인 PP에 비해 다소 감소함을 확인할 수 있었음
- 연신율의 표준편차 또한 큰 것을 확인하였으며, 다층구조를 이루고 있던 알루미늄 증착 층으로 인해 감소한 것으로 유추됨

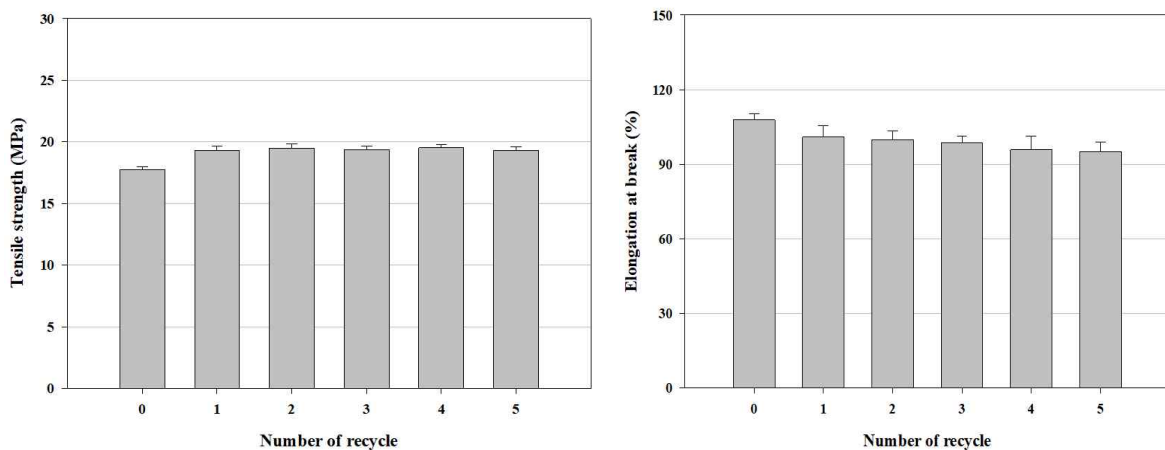


<그림 20 PP기반 재활용 수지의 인장강도 결과>

(2) 재활용 횟수에 따른 유변학적 및 기계적 성능 변화 추이 분석

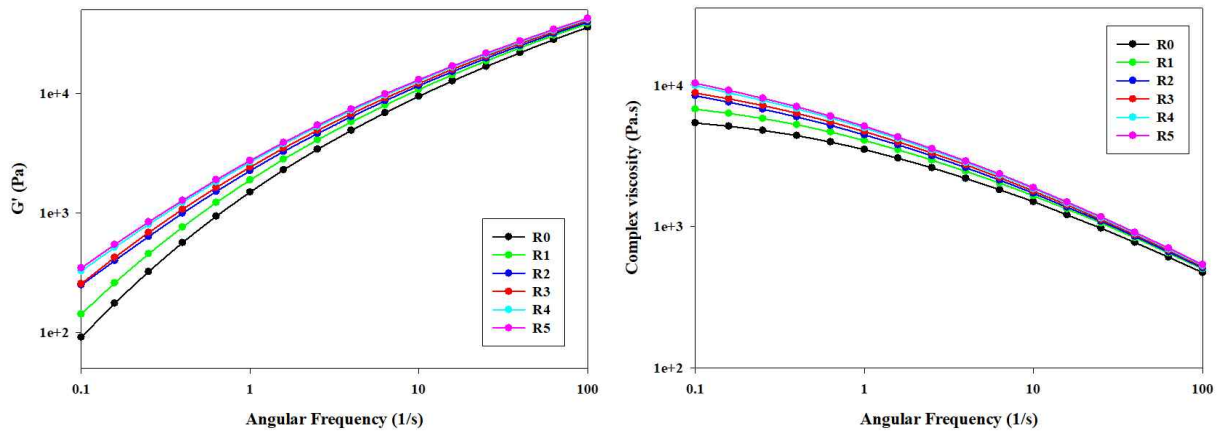
(가) 폴리올레핀 수지의 재활용 횟수에 따른 물성 변화 분석

- 실제, 시제품에는 PP에 Polyethylene (PE)가 소량 포함되어 있고, PE는 PP에 비해 열안정성이 낮아 재활용 시에 물성 악화가 발생할 수 있으며 이러한 영향을 파악하기 위해 진행함
- 극한 조건 (240 °C, 100 rpm)에서 가공 횟수를 5회까지 늘리며 재활용 모사 실험을 진행하였고, 기계적 및 유변학적 특성 변화를 분석하였음



<그림 21 PE의 재활용 횟수에 따른 인장강도(좌)와 연신율(우)의 변화>

- PE를 총 5번을 극한조건에서 재활용공정을 모사해본 결과, 인장강도는 오히려 증가했으며, 연신율이 약간 감소한 결과를 확인할 수 있었음
- PE가 극한조건에서 열분해 되면서 사슬절단이 발생하고, 이 때 발생한 라디칼끼리 결합하여 PE 사슬간의 cross-linking이 일어난 결과로 유추됨



<그림 22 PE의 재활용 횟수에 따른 storage modulus(좌)와 complex viscosity(우)의 변화>

- 레오미터 측정결과, PE의 재활용 횟수를 늘릴수록 storage modulus와 complex viscosity가 증가하는 경향을 확인하였음
- 앞의 기계적 물성 분석 결과에서 유추한대로, PE가 열분해 되면서 PE사슬 간에 cross-linking이 발생된 주장을 뒷받침하는 결과임

## 마. 유니소재 구조 필름 재활용 정책연구

### (1) 유통용 식품 포장재 (연포장재)의 유니소재 구조의 필름 재활용 정책연구 진행

- 2020년 07월 10일 산업부 유통물류과 주최로 유통분야 정책 및 R&D 발굴을 위한 기획 회의 목적으로 열린 산업부 유통정책 발전 연구회에 전문가 참석자로 참석함
- 친환경 유통을 위한 CPS 기반 패키징 지능화 시스템에 대한 주제로 제안 발표를 진행하였으며, 그 중에서 ‘포장 폐기물 절감에 대한 시범 사업을 통해 친환경 포장 보급 확산’의 내용으로 정책 제안을 실시하였음
- 구체적으로, 포장재 폐기물 증가로 인해 포장재 줄이기 (감용/감량/친환경 소재), 재활용률 높이기 (환경 규제 대응/재활용 포장) 등 친환경 패키징 기술 개발에 대한 내용과 친환경 패키징 (제도/규제) 가이드라인 적합성 관리 기술 개발 필요에 대한 정책 제안을 진행하였음
- 또한, 다회용 포장재 재사용 시범사업, 폐기물 감축 기여를 반영한 우수사례 포상 등 인센티브 지원을 제안하였음

# 친환경 유통을 위한 CPS 기반 패키징 지능화 시스템

제2차 유통물류 정책연구회  
2020.07.10



## 03 사업 소개

### 03 사업 추진 필요성

기업의 '친환경' 경영활동은 포장재 줄이기, 재활용률 높이기, 사회적 책임 전사, 가치소비 실천

#### 감량/감량/친환경 소재 패키징 기술 개발



#### 환경 규제 대응/재활용 포장 기술 개발



"지금까지..... Production & Inbound, 1차 포장에 집중"

## 03 기대효과

지능화된 친환경 패키징 설계와 리스프라이일 환경의 모사로 유통 경쟁력 강화

### 친환경 패키징 ① 적절한 소재와 포장 방법, ② 확실한 품질과 안전성, ③ 환경규제 대응으로 유통산업 성장

- 사회적 이슈인 생활용품 포장 폐기물 저감에 대한 시범사업을 통해 친환경 포장 보급 확산
- 포장의 포장횟수, 공간 효율뿐만 아니라 글로벌기준 적용을 위한 친환경소재적용, 개봉 용이성, 수송안정성 및 적재 효율성 등에 대한 구체적인 가이드라인 설정
- 국내 유통물류 모사 환경 평가 정보를 통한 적정 포장재 성능 제시 및 구조설계를 반영한 친환경 포장조건 정보 활용 가능
- 배송효율성에 따른 상품포장 솔루션 제공으로 합리적인 포장재 비용관리, 파손, 용량 최적화 등의 문제 직면으로 지속가능한 포장과 배송에 대한 기대와 수요가 증가 예상
- 포장과 환경의 과도기적 체재에 재활용성이 높은 포장재의 선택이 고객 유치의 수단으로 활용될 전망
- O2O, 블록체인, 클라우드 플랫폼을 이용하여 비대면 친환경 포장재 설계와 제조 투입, 물류 서비스 확대 될 것으로 기대

<그림 23 정책연구 발표자료 요약 내용>

- 이러한 정책 제안 내용들은 2021년 03월 04일에 발표된 “비대면·온라인화” 대응을 위한 디지털 유통 경쟁력강화 방안을 통해 반영되어 발표되었음

**별첨** 디지털 유통경쟁력 강화방안

**“비대면-온라인화” 대응을 위한  
디지털 유통 경쟁력강화 방안**

2021. 3. 4.

관계부처 합동

**4. 지속가능한 성장을 위한 유통환경 조성**

**① 제도 정비로 불합 조세피해보호, 유통거래물 준 2020 경영 혁신**

- **【조세피해보호】** 유통업권개선사업시스템 적용대상 확대, 조세징수 불복 중지 금지, 세외 기납세 징수형성 확대(간접부채추징금 추징금 결정 등)
  - \* 조세피해 제로화(0) - 기업 부담 사업장 전담제 실시(2021. 11. 22. 4차 회차)
- **【중소기업】** 온라인상 운영하고 특화된 상품과 영세한 구매를 위한 온라인 플랫폼 조성(2021. 12. 4차 회차)
  - \* 온라인 플랫폼 조성, 중소기업 지원(2021. 12. 4차 회차)
- **【유통업권】** 유통업권 개선사업 등 중소기업 지원(2021. 12. 4차 회차)
  - \* 중소기업 지원(2021. 12. 4차 회차)

**5. 중소기업의 글로벌화 촉진**

**① 글로벌 협력강화를 위한 B2B거래, 시장 확대**

- **【해외협력】** 해외공동구매센터 조성 및 공동구매 역량을 단기간 집중 확보(2021. 12. 4차 회차)
  - \* 공동구매 센터 조성(2021. 12. 4차 회차)
- **【해외협력】** 해외공동구매센터 조성 및 공동구매 역량을 단기간 집중 확보(2021. 12. 4차 회차)
  - \* 공동구매 센터 조성(2021. 12. 4차 회차)
- **【해외협력】** 해외공동구매센터 조성 및 공동구매 역량을 단기간 집중 확보(2021. 12. 4차 회차)
  - \* 공동구매 센터 조성(2021. 12. 4차 회차)

**2. 국내외인력 확대를 위한 채용환경 조성**

- **【특목고】** 공정한 기성급 지원 환경 조성 등 지원가능성 강화 추진
  - \* 특목고 지원(2021. 12. 4차 회차)

**3. 환경친화적 유통물류 환경 조성**

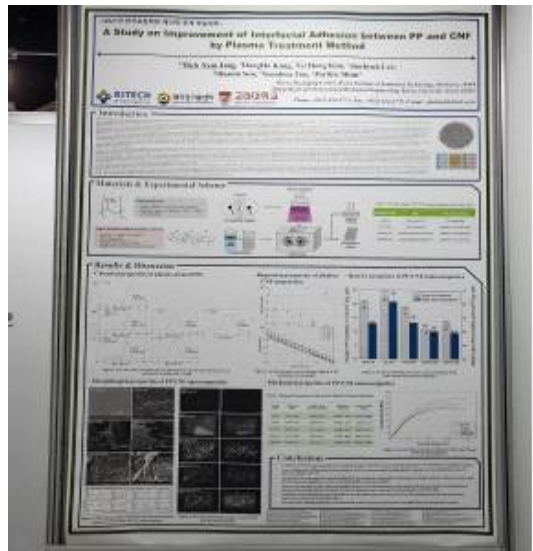
- **【특목고】** 환경친화적 교육 확대를 통한 지속가능성 강화 추진
  - \* 환경친화적 교육 확대(2021. 12. 4차 회차)
- **【유통업권】** 친환경 유통물류 환경 조성 등 지원가능성 강화 추진
  - \* 친환경 유통물류 환경 조성(2021. 12. 4차 회차)
- **【유통업권】** 친환경 유통물류 환경 조성 등 지원가능성 강화 추진
  - \* 친환경 유통물류 환경 조성(2021. 12. 4차 회차)

<그림 24 정책 제안 결과물 요약>

- 본 과제의 연구결과, 제품의 생산과정에서 발생한 폐기물과 소비자가 제품을 소비하고 발생된 폐기물을 각각 PIR (post-industrial recycled plastic), PCR (post-consumer recycled plastic) 소재로 재활용을 할 수 있는 가능성을 가지게 됨
- 기존에 폐기물로 처리되었던 유당처리 식품 포장재들이 PIR과 PCR를 통해 재활용 될 수 있다면 정책제안의 결과인 ‘다회용 포장재 재사용, 폐기물 감축’ 등을 통해 부가적인 인센티브를 받을 수 있을 것이라 전망됨

※ 별첨

○ 국내 학술대회 발표



제59회 한국포장학회 춘계 학술대회 포스터 발표



2021년 한국고분자학회 춘계 학술대회 온라인 포스터 발표



○ 국외 논문 게재 및 특허 출원



Journal of applied polymer science  
Vol. 137, Issue 47  
논문 게재

관 련 생 각  
출원 번호 통 지 서

출 원 항 자 2021.11.02  
특 거 사 항 심사청구(유) 공개상환(무)  
출 원 번 호 10-2021-0149090 (접수번호 1-1-2021-1263519-25)  
(OAS접근코드:DA7)  
출원인 명칭 한국생산기술연구원(1999-902938-2)  
대리인 명칭 특허법인 한일(2020-100061-3)  
발명자 명칭 심천기,정빛남,김동호,김기홍  
발명자 명칭 미국연신하는 단계를 포함하는, 산소 투과성이 감소된 기체차단막의 제조방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허회 홈페이지([www.patent.go.kr](http://www.patent.go.kr))에서 확인하실 수 있습니다.  
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 통보된 납입명수령에 맞춰 납부자번호 등을 기재하여 기탁을 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.  
3. 납부자번호 (011(가문호))는 필수번호  
4. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 (특허고려번호 정보변경(경청), 행정신고서)를 제출하여 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
5. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고려상대선(011-1544-8000)에 문의하여 주시기 바랍니다.  
6. 특허제도 안내 <http://www.kipo.go.kr> 지식재산제도

미국연신하는 단계를 포함하는, 산소  
투과성이 감소된 기체차단막의 제조방법  
(10-2021-0149090)  
특허 출원

## 1. 1차년도

### 가. 차단성 박막 코팅액 개발에 관한 연구

#### (1) 재료선정

##### (가) Polymer matrix 선정

- Polymer 선정에서 가장 중요한 것은 용해성과 가교특성이다. 양산을 위하여, 각각의 polymer는 수계 코팅뿐만 아니라 용제 코팅도 함께 고려되어야 하기 때문에 각각의 polymer를 용해할 수 있는 용매를 신중하게 검토하였다. 가장 우선되는 용제는 물이며 그중 현재 가장 많이 사용되어지고 있는 pvoh는 물에 녹는 중합체이며 필름형성, 예멸전, 접착특성이 뛰어나다. 하지만 현재까지 수증기투과에 대한 문제점이 발생하고 있고 이러한 문제점들을 개선하고자 한다.
- Polyacrylic acid(PAA)는(그림 1 참조) 물에 잘 녹으며 흡습력이 뛰어난 음이온성 중합체이다. 포장연구들 중 polyacrylic acid를 사용하여 코팅액을 제조한 논문들이 많이 없으며 상용화까지 어렵다고 생각하고 있지만, 일본에서는 polyacrylic acid를 사용하여 제조한 산소 및 수분차단성을 가진 코팅액을 uni소재 제품 및 식품포장재에 적용중이다. 따라서 수분투과를 막기 위해 많은 연구가 이루어지지 않은 polymer인 polyacrylic acid를 사용하여 산소 및 수분 차단성을 측정했다.



그림 1 Polyacrylic acid solution

##### (나) 가교 결합을 위한 첨가제 및 가교방법 조사

- 가교제로 가장 많이 사용되어지고 있는 물질은 formaldehyde, glyoxal, glutaraldehyde, transglutaminase, genipin 등이 있다.

- 본 연구에서 사용한 glyoxal(그림 2 참조)은 알데하이드기(-CHO)가 2개인 화합물로 가용화제 및 가교제로 사용되는 특징을 가지고 있다. Polyacrylic acid와 분자 구조적으로 에테르 결합 및 공유결합 모두 가능하다.
- 또 다른 가교제인 Bacote 20(Zirconium ammonium carbonate)을 사용함으로써 추가적인 가교를 진행하여 가교결합의 강도를 증가시켰다. 가교결합 강도의 증가는 산소 및 수분투과에 긍정적인 영향을 끼칠 것으로 예상된다.
- Polymer에 에너지를 주입할 수 있는 가교방법들에 대해 검토한 결과 가압-가압방법을 사용하여 가교를 진행했다.



그림 2 Glyoxal (좌), Bacote 20(Zirconium ammonium carbonate) (우)

(다) Nano-clay 조사 및 선정, 분산 및 가교 안정성 평가

- 여러 가지 nano-clay를 조사한 결과 mmt(Closite)가 가장 적합했다(그림 3 참조). 그동안 많이 연구되고 사용되어 왔던 clay로서 가격 및 성능적인 측면에서 뛰어났으며 용매로의 분산성, 용매 내에서의 박리성 그리고 가교제와 함께 가교가 잘 이루어진 것을 확인했다. Clay 분산 방법은 초음파 분산을 사용했다. 그리고 microwave를 사용하여 입자크기를 줄여줌으로써 용매 내에서의 박리성과 용매로의 분산성을 향상시켰다. ZS nanosize analyzer를 사용하여 mmt의 입자크기를 측정하였고 XRD, SEM, FT-IR을 통해서 mmt의 박리, 분산정도 및 polymer와의 결합을 확인했다. 최종적으로 위 결과들을 바탕으로 산소투과(OTR), 수증기투과(WVP)를 측정했다. Polymer와 nano-clay 코팅용액으로 코팅된 필름이 건조되면서 polymer가 nano-clay와 결합하는 것을 모식도로 나타냈다(그림 4 참조).

(라) Wax 제품 조사 및 선정

- 오로지 polymer, 가교제 그리고 nano-clay만으로는 수분투과도를 완전히 잡을 수는 없는 상황이다. 수분투과도를 향상시키기 위해 여러 선행논문들에서 wax를 사용하였는데, 보통 beeswax, carnauba wax, paraffin, ester wax 등을 사용했다. Wax 제품들 중 michelman, Inc.에서 제작한 Michem® Lube 156(ML

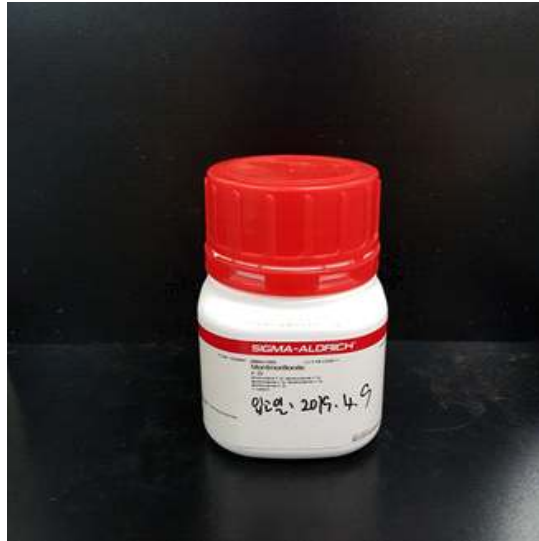


그림 3 MMT (Montmorillonite, K30)

156)가 있다(그림 5 참조). 이 제품은 carnauba wax와 paraffin 기반의 nanoscale 왁스 에멀전으로 다양한 산업 분야에서 가공 및 성능을 개선하고 광범위한 표면 특성을 제공하는데 사용되며 굽힘 방지, 윤활제, 산소 및 수분차단특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 다음과 같은 특징을 가진 wax를 사용하여 코팅액의 차단성을 보완하고자 했다.

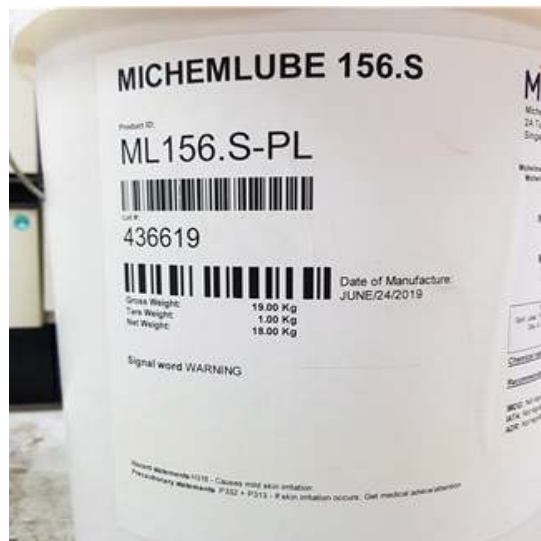


그림 4 Michem® Lube 156 (ML 156)

## (2) 코팅액의 제조

### (가) Nano-clay의 분산

- 20 % 알코올 100 ml에 1, 3, 5 %(w/w)의 mmt를 각각 넣고 24시간동안 교반시켰다. MMT입자들을 충분히 팽창시킨 다음 300W microwave에 10분간 처리했다.

(나) PAA 코팅용액의 제조

- PAA 10 g을 비커에 담고 20 g의 증류수를 넣어 4시간동안 교반시킨다. 완전히 녹인 paa에 1M NaOH를 넣어 pH를 7.5로 맞추었다. 마지막으로 PAA의 5 %(w/w)에 해당하는 AZC, glyoxal을 각각 첨가하여 코팅액(100 ml)을 제조했다.

(다) PAA/MMT 코팅용액의 제조

- 앞서 제조한 nano-clay 분산 용액을 사용하여 PAA/MMT 코팅용액을 제조했다. MMT를 paa의 1, 3, 5 %(w/w)로 첨가한 후 polymer와 잘 혼합되도록 24시간 교반시켰다. 추가적으로 1시간 초음파처리와 1시간 교반을 하여 mmt가 박리 및 분산되도록 하였다. 1M NaOH를 넣어 pH를 7.5로 맞춘 다음 paa의 5 %(w/w)에 해당하는 AZC, glyoxal을 각각 첨가하여 코팅액(100 ml)을 제조했다.

(라) PAA/MMT/ML 156(Wax) 코팅용액의 제조

- 수분투과도를 더 보완하기 위해 ML 156을 첨가하여 코팅용액을 제조했다. 완성된 PAA/MMT 코팅용액에 전체 용량(100 ml)의 0.5, 1.0, 1.5 %(w/w)에 해당하는 wax를 첨가하여 제조했다. 실험 직전에 첨가하였으며 wax를 넣은 후 10분간 교반시킨 후 실험했다.

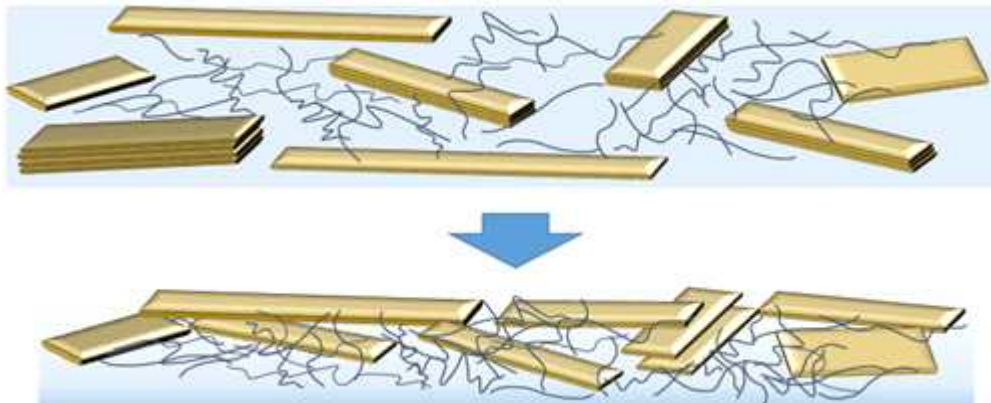


그림 5 Nanoclay platelet의 표층 이동

(마) 기재필름 선정

- PP필름은 PET필름에 비해 표면에너지가 낮다. 이러한 특징은 코팅액과 필름의 접착력을 감소시키고, 잘 스며들지 않아 물방울 형태로 남아있게 된다. PP필름의 표면에너지는 대략 30~32 이고 PET필름의 표면에너지는 39~41이다. 따라서 기재필름은 표면에너지가 더 높은 PET필름으로 선정하여 1차년도 실험을 진행했다. 하지만 코팅액과의 접착력을 높이기 위해서는 더 높은 표면 에너지를 가지고 있어야 하기 때문에 이런 문제를 해결하고자 기재필름에 코로나처리를 하여 표면 에너지를 증가시켰다. 코로나 처리 후 PET필름의 표면 에너지는 48~50으로 증가했다.

코로나 처리한 PET 필름을 사용하여 실험을 진행했다.

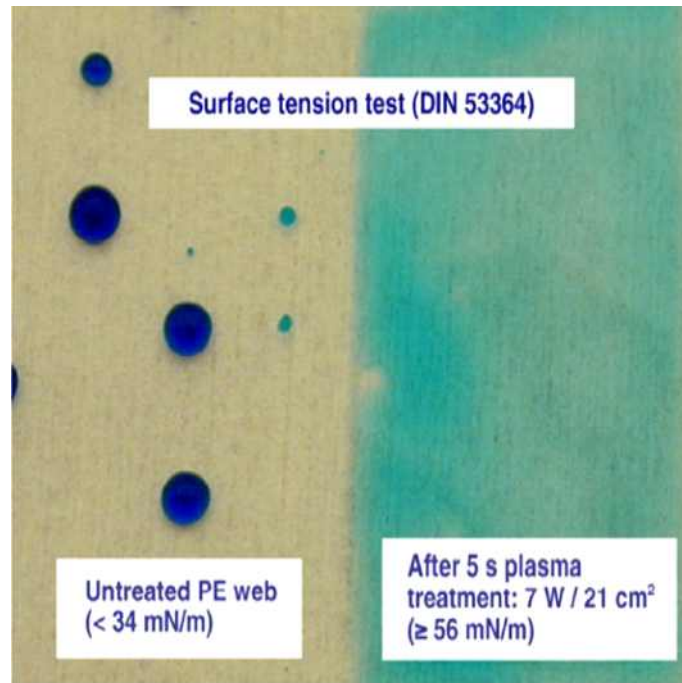


그림 6 코로나 처리 전 (좌), 코로나 처리 후 (우)

### (3) 코팅액의 성능실험

#### (가) Nano-clay의 particle size 측정

- Nano-clay의 particle size가 낮을수록 분산 및 박리가 잘 일어날 수 있다. 선행논문들을 참고하여 particle size를 감소시킬 수 있는 방법들을 찾아본 결과 ultrasonication, sonication, microwave 총 세 가지 방법들을 찾았다. 처리 시간에 따른 particle size의 감소를 확인했다. 처리 시간이 길어질수록 particle size의 크기는 감소하는 경향을 보였지만 일정 시간을 넘길 경우 내부에서 발생하는 열과 에너지에 의해 응집이 발생하기 때문에 particle size의 크기가 증가하는 결과가 나타났다(그림 7 참조).

- Ultrasonication의 경우 50분간 처리했을 때 629 nm까지 감소하였다가 60분간 처리 후 678 nm로 증가하는 결과를 얻었다. Sonication을 60분간 처리했을 때 567 nm까지 감소하는 경향을 보였다. Microwave의 에너지가 증가할수록 nano-clay의 응집이 발생하기 때문에 선행논문에 따라 100W와 300W로 설정하였다. 100W로 50분간 처리했을 때 217 nm 크기의 particle size를 얻었고 다른 방법에 비해 효과가 가장 뛰어났다. 300W로 20분간 처리한 결과 242 nm의 크기를 얻었고 100W로 처리한 결과와 비교하였을 때 단시간에 particle size를 비슷한 수준으로 낮출 수 있었다. 따라서 300W로 20분간 처리한 nano-clay를 사용하여 실험을 진행했다.

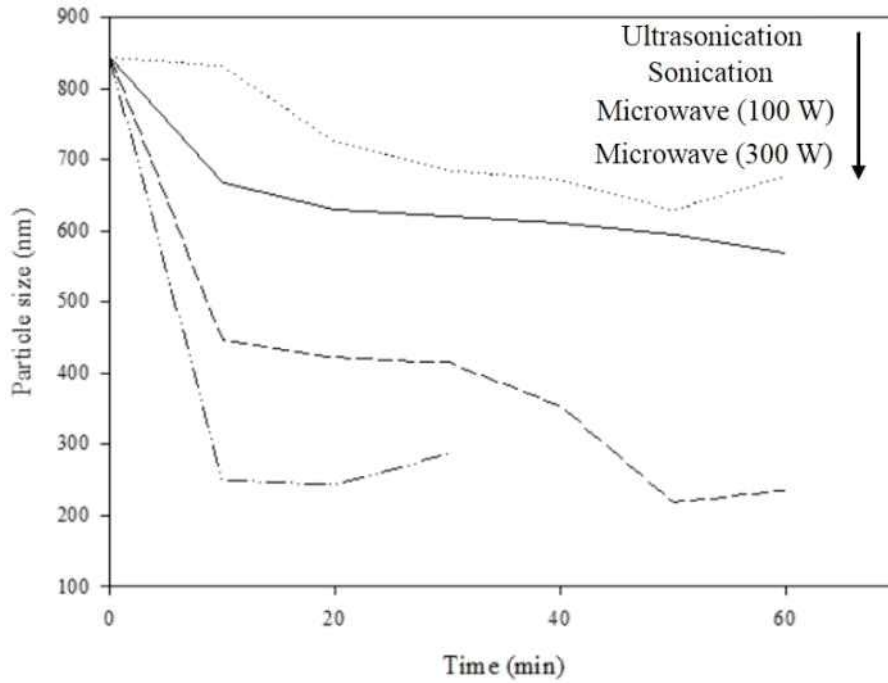


그림 7 처리방법에 따른 nano-clay particle size의 변화

(나) 코팅용액의 투과율 측정

- 코팅용액 및 PET필름에 코팅한 후의 투과율을 측정하였다(그림 8 참조). 투과율은 nano-clay의 분산정도와 관련되어 있다. Blank는 증류수로 측정을 하였고 투과율은 99.6 %였으며 pure한 PAA 용액의 경우 99.11 %로 나타났다. 1, 3, 5 wt.%의 mmt를 첨가한 후의 투과율은 각각 98.92 %, 72.36 %, 41.07 %로 mmt의 함량이 증가할수록 투과율이 감소하는 경향이 나타났다. MMT의 함량이 높아질수록 투과율이 감소하지만 분산이 잘 이루어지면 필름의 투명도에 영향을 미치지 않기 때문에 순수한 PET필름과 PET필름에 코팅한 후의 투과율을 측정했다. 기존의 PET필름의 투과율은 85.5 %이고 PAA로 코팅한 PET필름의 투과율은 87.6 %로 나타났다. 1, 3, 5 wt.%의 mmt를 첨가하여 코팅한 PET필름의 투과율은 각각 88.7 %, 87.8 %, 86.6 %로 나타났다.

- PAA는 증류수와 비슷한 투명도를 가지고 있기 때문에 기존의 PET필름에 코팅을 하여도 투과율이 감소하지 않았다. MMT를 첨가하여 코팅한 PET필름의 경우 mmt의 함량이 증가할수록 투과율이 감소하는 경향을 나타내지만 nano-clay의 분산이 잘 이루어졌기 때문에 기존의 PET필름 투과율과 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 nano-clay의 분산이 잘 된 것을 투과율을 통해 확인했다.

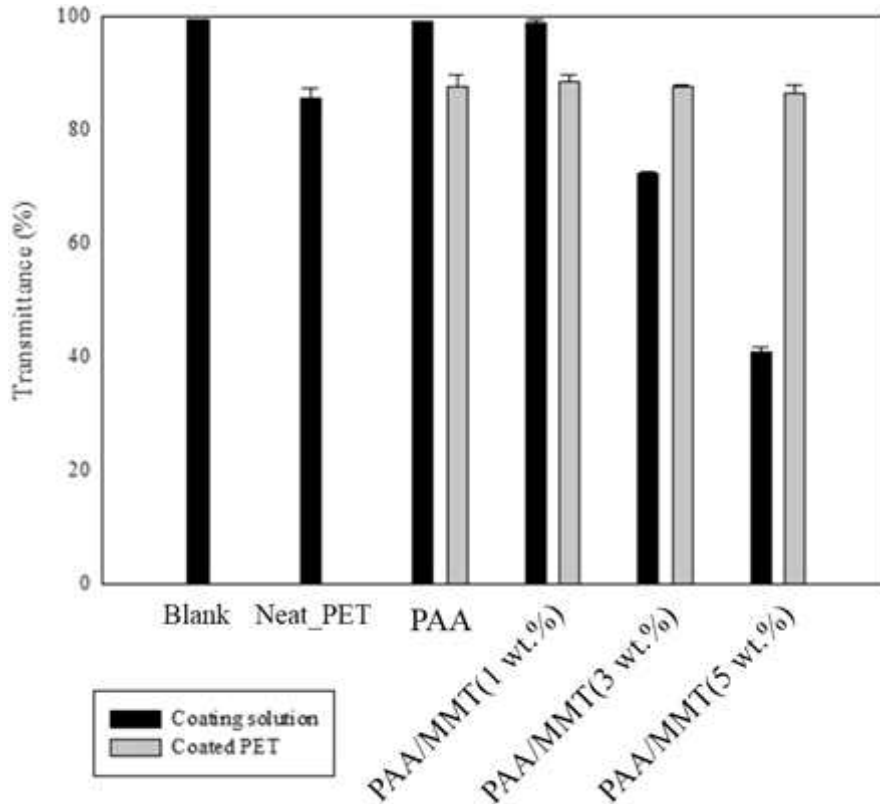


그림 8 코팅용액 및 PET필름에 코팅한 후의 투과율

(다) Nano-clay의 분산도 및 응집확인

- Nano-clay의 분산된 정도 및 응집유무를 확인하기 위해 SEM을 측정했다. (a) PAA만으로 코팅한 PET필름의 표면, (b) PAA/MMT 1 wt.%, (c) PAA/MMT 3 wt.%, (d) PAA/MMT 5 wt.%로 코팅한 PET필름의 표면을 나타낸 것이다(그림 9 참조).
- PAA로만 코팅한 PET필름의 표면은 nano-clay를 첨가하지 않았기 때문에 깨끗한 표면을 얻었다. 1 wt.%의 mmt를 첨가한 PET필름의 표면은 mmt의 입자들이 조금씩 보이기 시작했으며 응집은 일어나지 않을 것을 확인할 수 있었다. 3 wt.%의 mmt를 첨가한 PET필름의 표면은 (b)에 비해 눈에 띄는 nano-clay입자들이 곳곳에서 보이기 시작했고 응집은 발생하지 않았다. 5 wt.%의 mmt를 첨가한 PET필름의 표면에서도 nano-clay입자들이 곳곳에 보였지만 응집된 곳이 나타났다. 이러한 응집은 nano-clay입자들의 분산을 막아 외부로부터 유입되는 산소 및 수분차단성을 감소시킬 것으로 예상된다.



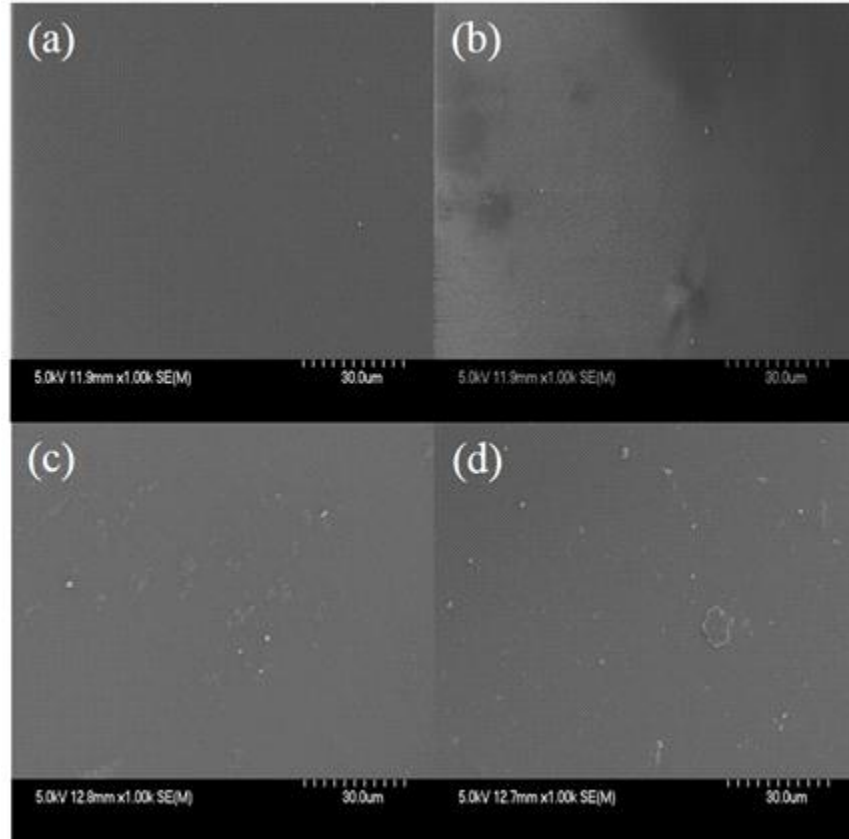


그림 9 (a) PAA만으로 코팅한 PET필름, (b) PAA/MMT 1 wt.%, (c) PAA/MMT 3 wt.%, (d) PAA/MMT 5 wt.%로 코팅한 PET필름

(라) Nano-clay의 결정도 확인

- XRD는 X-선을 시료의 결정에 부딪히게 하면 그중 일부는 회절을 일으키고 그 회절각과 강도는 물질 구조상 고유한 것으로서 시료에 함유된 결정성 물질의 종류와 양에 관계되는 정보를 알 수 있다. 본 실험에서는 XRD를 통해 nano-clay의 결정피크를 통해 분산도를 확인하고자 했다(그림 10 참조).

- (a)는 mmt만을 측정할 때 피크로 Bragg's 식에 따르면 mmt의  $d_{-001}$  값은  $9.96\text{\AA}$ 로 나타났다. 아직 분산 및 박리가 일어나지 않았기 때문에 한 층의 두께는 작게 나타났다. 하지만 sonication처리를 하고난 후의 피크들을 확인하였을 때 완전히 다른 피크변화를 보였다. MMT가 가지는 고유의 피크들이 다른 샘플에서는 발견되지 않았다. 이러한 결과는 mmt의 완전한 박리 및 분산이 이루어졌다고 볼 수 있다. 이전 실험인 SEM결과를 참고하였을 때 5 wt.%의 mmt 첨가로 인해 응집이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 완전하게 박리가 일어났을지라도 응집에 의한 산소 및 수분차단성의 감소가 예상된다.

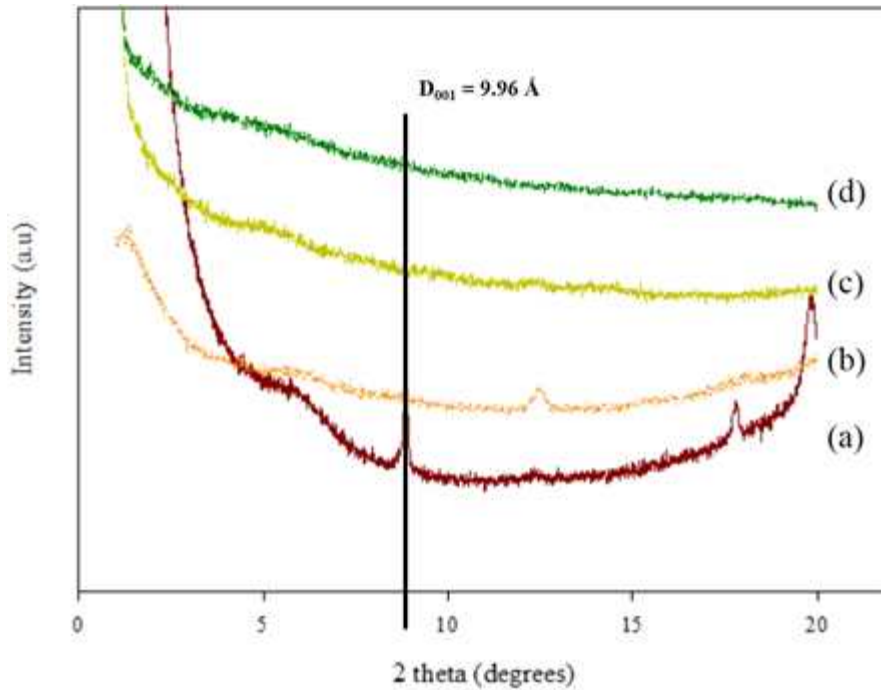


그림 10 (a) 순수한 MMT, (b) 1시간 초음파처리 후 PAA/MMT 1 wt.%,  
(c) 1시간 초음파처리 후 PAA/MMT 3 wt.%, (d) 1시간 초음파처리 후  
PAA/MMT 5 wt.%의 XRD 피크

(마) Polymer와 nano-clay의 결합유무 확인

- FT-IR을 측정하여 paa와 mmt의 결합피크를 확인했다(그림 11 참조). MMT의 흡수 피크로는  $3620\text{ cm}^{-1}$ 와  $1017\text{ cm}^{-1}$ 가 있다. 각각 -OH, Si-O 결합을 나타내며 -OH 결합은 광범위한 피크를 나타내고 Si-O 결합은 강력한 흡수 피크를 나타냈다. PAA의 흡수 피크로는  $3321\text{ cm}^{-1}$ ,  $1454\text{ cm}^{-1}$ ,  $1258\text{ cm}^{-1}$ ,  $1690\text{ cm}^{-1}$  그리고  $1636\text{ cm}^{-1}$ 가 있다. 각각 -OH,  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{C}=\text{O}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $\text{C}=\text{C}$  결합을 나타냈다. PAA/MMT가 결합을 하였을 때 mmt 고유의 피크인  $3620\text{ cm}^{-1}$ (-OH)와  $1017\text{ cm}^{-1}$ (Si-O)가 사라진 것을 확인하였고  $1690\text{ cm}^{-1}$ (-COOH)와  $1451\text{ cm}^{-1}$ (-COO<sup>-</sup>)의 피크강도가 증가하거나 감소하는 것을 확인했다. MMT 피크 중 -OH그룹의 그래프트 반응을 통해 paa/mmt의 가교결합이 수행되었다.

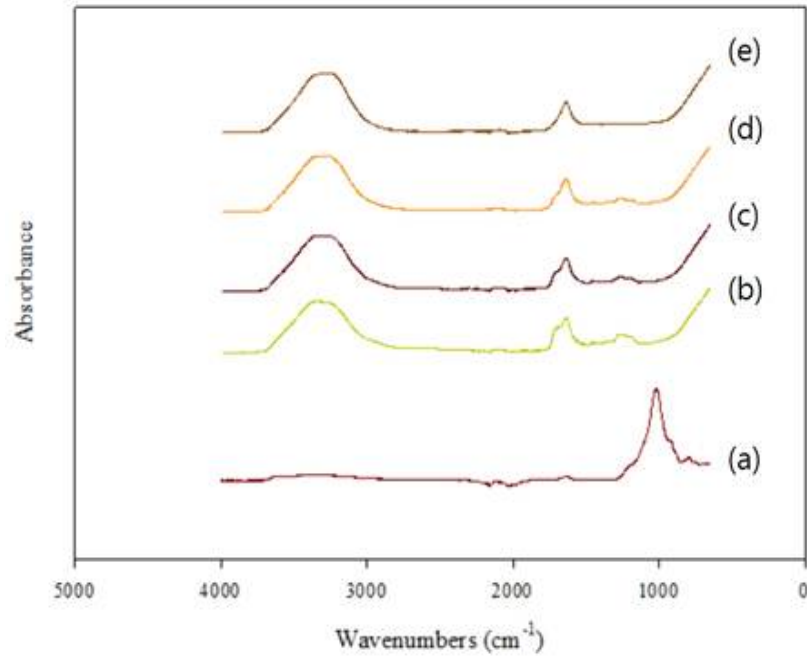


그림 11 (a) 순수한 MMT, (b) PAA (c) PAA/MMT 1 wt.%, (d) PAA/MMT 3 wt.%, (e) PAA/MMT 5 wt.%의 FT-IR 피크

#### (바)코팅된 PET필름의 산소투과도 측정

- 코팅용액의 산소차단성을 확인하기 위해 PET필름에 코팅하여 산소투과도를 측정했다. PET 필름의 기본 두께는 20  $\mu\text{m}$ 이고 코팅 후의 두께는 21  $\mu\text{m}$ 로 모두 일정한 두께로 측정했다. 산소 투과도는 MOCON을 사용하였고 23 $\pm$ 1  $^{\circ}\text{C}$ 의 조건에서 측정했다(그림 12 참조).
- PET필름의 산소투과도는 128  $\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 로 측정되었고 PAA로 코팅했을 때 21  $\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 로 감소했다. PAA만을 첨가하여도 산소투과도가 감소하는 것을 확인했다. 1, 3, 5 wt.%의 mmt 용액으로 코팅한 PET필름의 산소투과도는 각각 2, 3, 15  $\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}$ 로 측정되었다. 소량의 mmt만을 첨가하여도 산소투과도가 상당히 많이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그중 1, 3 wt.%의 mmt를 첨가하였을 때 가장 효과가 좋았지만 5 wt.%의 mmt를 첨가하였을 때 산소투과도가 증가했다. 이런 원인은 SEM 결과로부터 확인할 수 있다. 5 wt.%의 mmt를 첨가하였을 때 응집이 발생하였고 응집에 의한 산소 및 수분차단성의 감소는 선행논문에서도 확인되었다. 따라서 산소투과도에서는 1, 3 wt.%의 mmt를 첨가하는 것이 가장 효과적으로 산소를 차단할 수 있다.

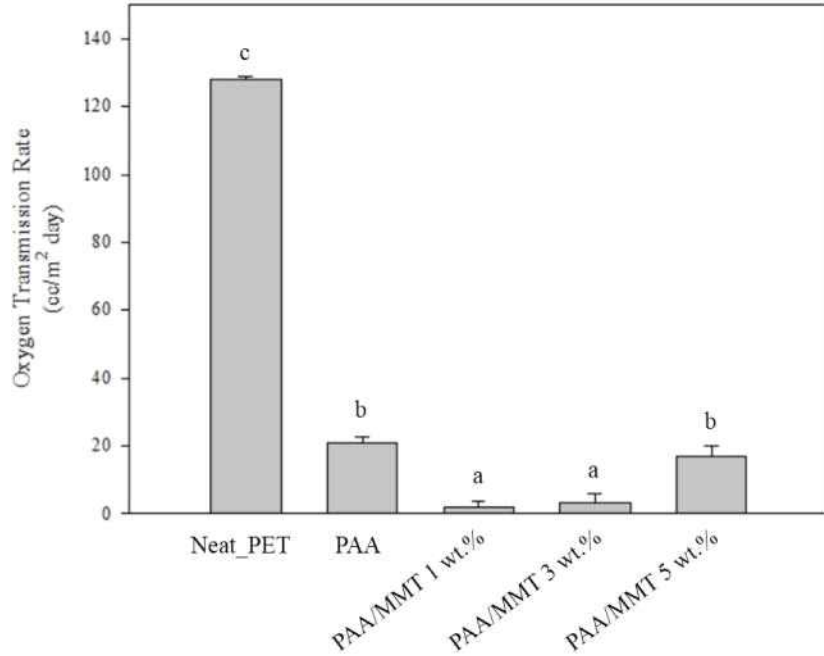


그림 12 코팅된 PET필름의 산소투과도 측정

(사)코팅된 PET필름의 수분투과도 측정

- 코팅용액의 수분차단성을 확인하기 위해 PET필름에 코팅하여 수분투과도를 측정했다. PET 필름의 기본 두께는 20  $\mu\text{m}$ 이고 코팅 후의 두께는 21  $\mu\text{m}$ 로 모두 일정한 두께로 측정했다. 수분 투과도는 CUP method를 사용하여 측정했고 25 °C, 50 % 상대습도 조건에서 측정했다.

- 수분투과도에서는 PET필름과 paa로 코팅한 PET필름의 결과 값이 반대로 나타났다. PET 필름의 수분투과도는  $1.74 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR: 6  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ )로 나타났으며 paa로 코팅한 PET필름의 수분투과도는  $4.09 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR: 13.5  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ )로 나타났다. 이러한 결과는 paa가 가지고 있는 고유한 특성에 의해 나타났다. PAA는 흡습력이 뛰어나고 물에 잘 녹는 물질이기 때문에 paa만으로 코팅한 PET필름의 경우 수분투과도가 증가한 것으로 보인다. 하지만 mmt를 첨가하였을 때 paa만으로 코팅한 결과 값 보다 훨씬 낮은 수분투과도를 보여준다. 1 wt.%의 mmt로 코팅한 PET필름의 수분투과도는  $1.6 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR: 5.4  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ ), 3 wt.% mmt의 경우  $1.06 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR: 3.5  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ )이며 5 wt.% mmt의 경우  $1.3 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR: 4.2  $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ )로 나타났다. 그중 3, 5 wt.%의 mmt를 첨가하였을 때 수분투과도가 가장 많이 감소했다. 그러나 5 wt.%의 mmt를 첨가하면 응집이 발생하였고 산소투과도가 증가하는 결과를 얻었다. 따라서 모든 결과를 종합했을 때 3 wt.%의 mmt를 첨가하는 것이 barrier 특성에 가장 효과적인 것을 확인했다(그림 13 참조).

- PAA/MMT 3 wt.% 코팅용액이 가장 효과적인 것을 확인하였지만 여전히 수분차단성에 있어서 부족한 점이 있다. 부족한 수분차단성을 보완하기 위해 wax를 넣어 실험을 진행하였다(그림 14 참조). Wax는 전체 용량의 0, 0.5, 1.0, 1.5 wt.%를 PAA/MMT 3 wt.%에 각각 넣어 샘플을 제조하였다. 동일한 방법으로 PET필름에 코팅한 후 수분투과도를 측정했다.

- 측정결과 0.5 wt.%의 wax를 첨가한 PET필름의 수분투과도는  $1.94 \cdot 10^{-12} \cdot \text{g/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$  (WVTR:

6.31 g/m<sup>2</sup>·day), 1.0 wt.%의 wax를 첨가한 PET필름의 수분투과도는 0.6·10<sup>-12</sup>·g/m·s·Pa (WVTR: 1.92 g/m<sup>2</sup>·day)이며 1.5 wt.%의 wax를 첨가한 PET필름의 수분투과도는 0.87·10<sup>-12</sup>·g/m·s·Pa (WVTR: 2.83 g/m<sup>2</sup>·day)이다. 결과분석은 SEM측정을 통해 확인했다(그림 15 참조). 0.5 wt.%의 wax를 첨가했을 때 PET필름 표면이 상당히 거칠었고 crack이 발생한 것을 볼 수 있다. 그에 따라 수분투과도의 증가가 발생한 것으로 보이고 1.0 wt.%의 wax를 첨가했을 때 표면이 매끄러웠고 wax의 응집이 발생하지 않았으며 mmt와 잘 혼합되어 있는 모습을 확인했다. 1.5 wt.%의 wax를 첨가했을 때 표면이 매끄러웠고 mmt와 잘 혼합된 모습을 확인하였지만 wax의 응집이 생긴 것을 확인할 수 있었다. Wax의 응집은 수분차단성을 감소시키는 원인 중 하나라는 것을 선행논문을 통해 확인했다. 따라서 위의 결과(그림 14 참조)에서 0.5 wt.%의 wax첨가는 수분투과도가 가장 많이 증가했고, 1.5 wt.%의 wax첨가는 1.0 wt.%에 비해 수분투과도가 향상되는 결과를 얻었다. 최종적으로 1.0 wt.%의 wax 첨가가 수분차단성을 가장 많이 향상시킨다는 것을 확인했다.

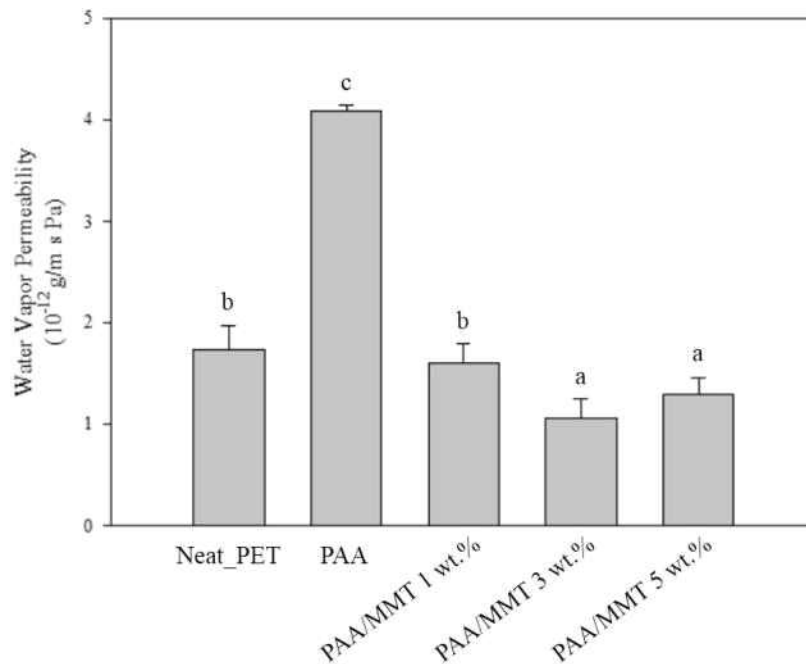


그림 13 코팅된 PET 필름의 수분투과도 측정

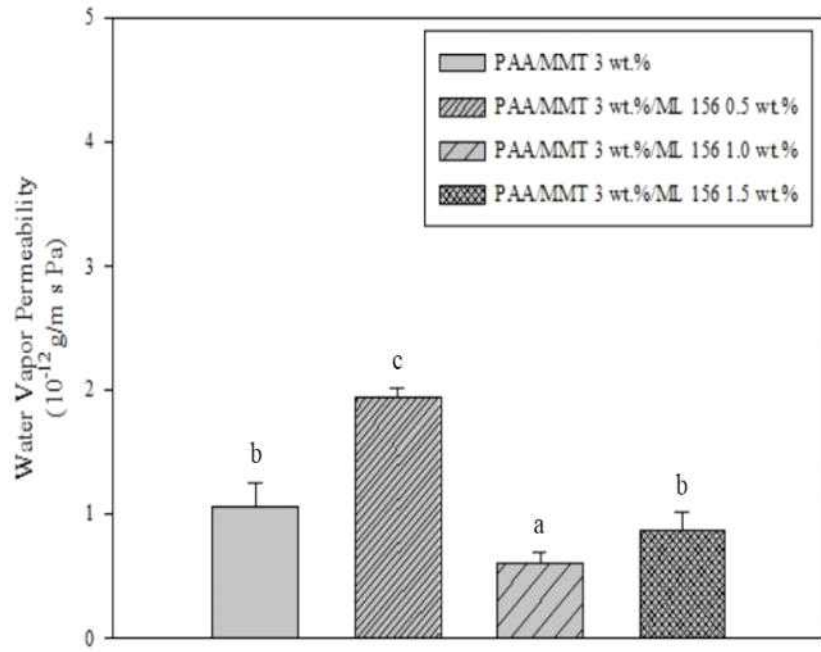


그림 14 PAA/MMT 3 wt.% 코팅용액에 0.5, 1.0, 1.5 wt.%의 wax 첨가 후 수분투과도 측정

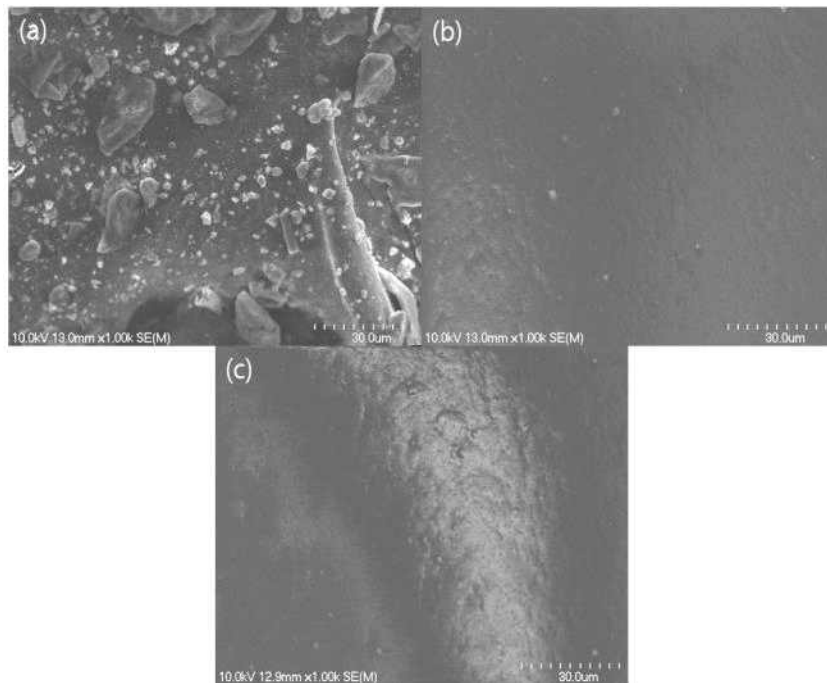


그림 15 PAA/MMT 3 wt.%/ML 156 (a) 0.5, (b) 1.0, (c) 1.5 wt.%으로 코팅된 PET 필름의 SEM 결과

## 나. 포장재 환경평가를 위한 기초자료 확립(고려대학교)

### (1) LCA 구입 및 재활용 현황조사

#### (가) 현황조사 및 LCA scenario 작성

- LCA(Life-cycle assessment)는 제품 또는 시스템의 모든 과정인 원료채취 단계, 가공, 조립, 수송, 사용, 폐기의 모든 과정에 걸쳐 에너지와 광물자원의 사용과 이로 인한 대기 및 수계, 토양으로의 환경 부하량을 정량화하고 이들이 환경에 미치는 잠재적인 악영향을 규명하고, 환경부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법이다. LCA프로그램은 Ecoinvent 3.5 version (Simapro)을 구입하였고 연포장재를 구성하는 기재필름과 접착제는 물론, 인쇄에 사용되는 잉크의 색상에 따른 성분조성과 이를 제조, 폐기하기 위한 과정에 대해 조사하고자 한다. 그라비아 잉크를 제조 하는 회사 중에서 국내시장 점유율 상위에 위치한 잉크 메이커 제품을 대상으로 설문조사 및 실제 성분 조사를 할 계획이다. 현재 수도권역에서 발생하는 폐기물 및 재활용률에 대해 조사를 하고 있으며 통계가 나와 있지 않은 부분에 대해서는 현장조사를 진행하여 통계를 만들고자 한다. 그런 다음 단계별 분석을 통해 제품의 환경부하를 저감할 수 있는 방법 검토 및 구체적인 개선 방안을 도출하고자 한다.

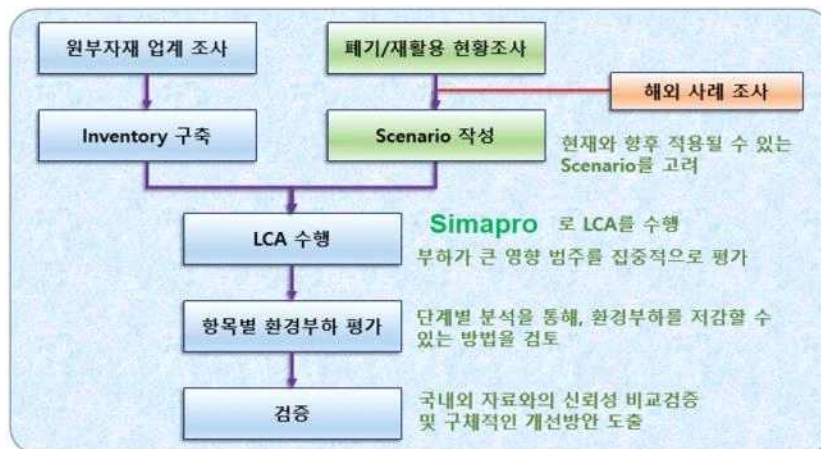


그림 16 LCA 환경평가 순서도

- 현재 사용되고 있는 스낵 및 면류 포장재의 친환경평가 scenario를 작성하기 위해 공정도를 확인했으며 Ecoinvent를 사용하여 진행할 예정이다. 라면제품 1개, 스낵제품 1개에 대한 모든 공정에서 투입되는 에너지종류 및 양을 산출하고, 투입되는 원재료를 파악하여 원재료가 만들어지기까지의 모든 에너지 및 자원 소비를 Ecoinvent에서 참고하여 scenario를 작성하고자 한다. 포장부분에서는 OPP필름 및 CPP필름 각각의 공정에서 발생하는 에너지를 조사하고 백색잉크에서 사용되고 있는 산화티타늄, 탄산칼슘에 대한 환경부하를 조사하며 추가적으로 대체재가 있는지 확인할 예정이다. 최종적으로 소비자에게 가서 폐기되는 과정에서 발생하는 에너지를 조사하고 폐기 방법에 따른 환경부하(CO<sub>2</sub> 및 미세먼지 등)를 조사할 예정이다. 라면제품 1개, 스낵제품 1개에 대한 모든 공정을 파악하고 scenario를 작성하여 도출된 결과를 평가하고자 한다. 기존에 사용하고 있는 공정 및 재료(원재료, 코팅제, 필름, 잉크 등)에서 새롭게 개발한 공정 및 재료로 변경한 후 LCA를 진행하고자 한다. 기존의 방법으로 진행했을 때 도출된 결과와 새로운 방법으로 진

행했을 때 도출된 결과를 비교하고 ISO 규격에 따라 결과를 해석하고 적합성을 평가하고자 한다.

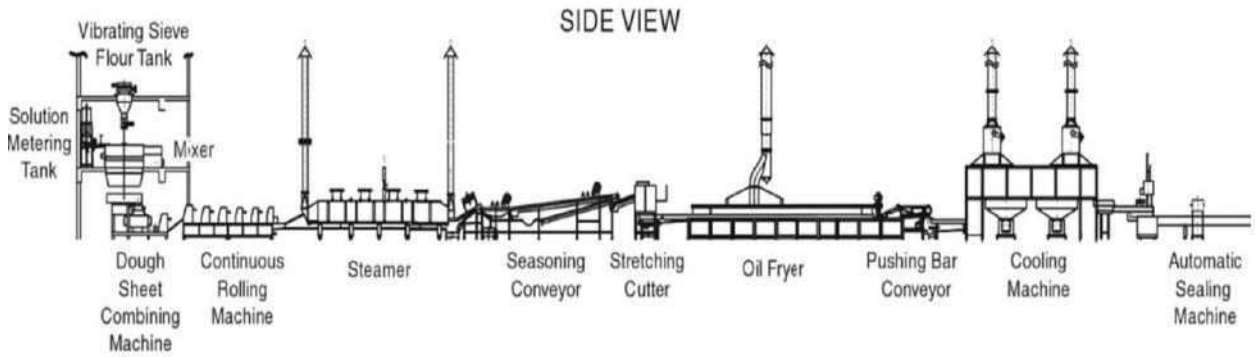


그림 17 라면 제조공정

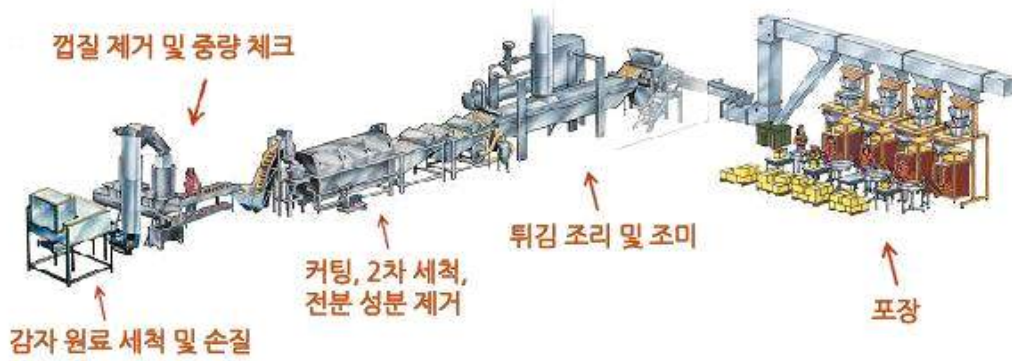


그림 18 스낵 제조공정

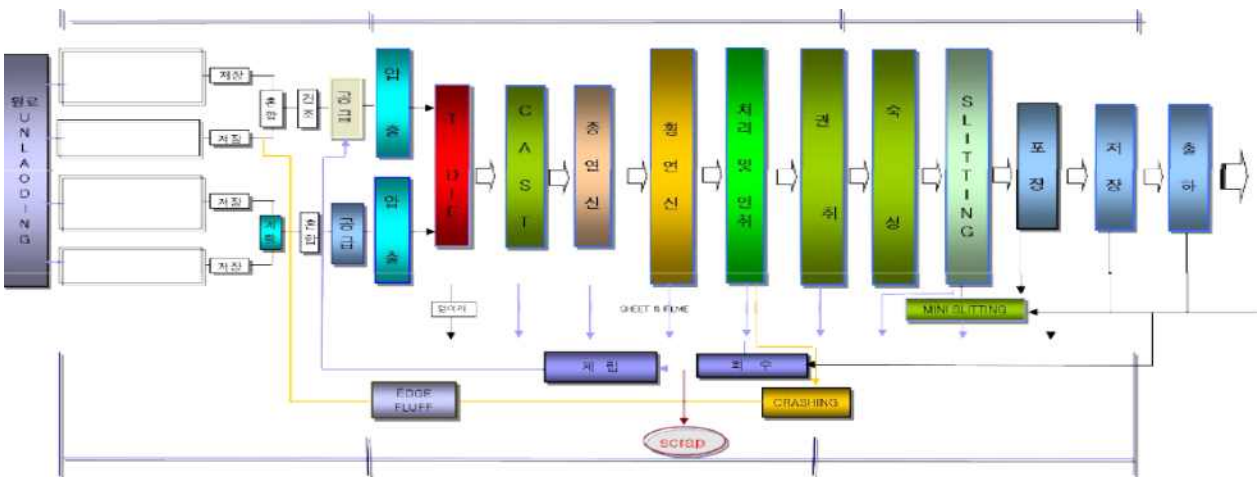


그림 19 OPP필름 제조공정



## 2. 2차년도

### 가. 차단성 박막 코팅액 개발에 관한 연구

#### (1) 코팅용액 보완 및 선정

##### (가)코팅용액 재료 선정

- 1차년도에서는 poly acrylic acid(PAA)를 주 polymer로 선정하였지만 이를 이용하여 코팅용액을 제조하였을 때 OPP에 코팅이 되지 않았다. 이는 PAA의 강한 친수성 특징이 OPP의 소수성특징과 양립이 되지 않았기 때문으로 추측한다. 따라서 주 Polymer를 PAA대신 PolyVinyl Alcohol(PVA)로 변경하였다. PVA는 실용적인 포장 분야에서 널리 적용되는 합성 바이오 폴리머 중 하나이다. PVA는 생분해성, 무독성, 우수한 기계적 특성을 갖기 때문에 주 Polymer로서 선택하였다. 하지만 현재까지 수증기투과에 대한 문제점이 발생하고 있고 이러한 문제점들을 개선하고자 한다.

- 폴리머의 차단성과 물성을 증가시키기 위해서 nano-clay를 사용하였다. 1차년도의 연구 결과를 토대로 nano-clay중 MMT (Closite)를 사용하였다.

- 폴리머의 단점을 보완하고자 가교제를 첨가하여 화학적인 변형을 유도하였다. 가교제로서는 Polyacrylic acid을 사용하였다. PAA는 합성이 용이하고 독성 및 비용이 낮으며 수용성 및 생분해성이 우수하여 다양한 산업 분야에 적용이 가능하다. 1차년도에서는 PAA를 주 Polymer로 사용하였지만 당해년도에는 PAA를 가교제로 사용하였을 때의 성능을 확인하고자 한다.



그림 21 PVA (PolyVinyl Alcohol)

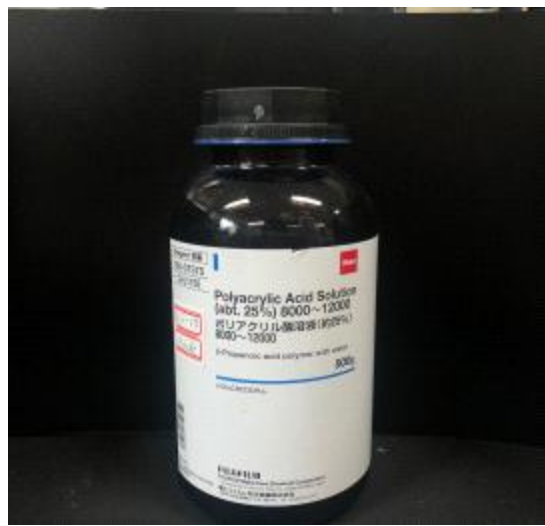


그림 20 PAA (Poly acrylic acid)>

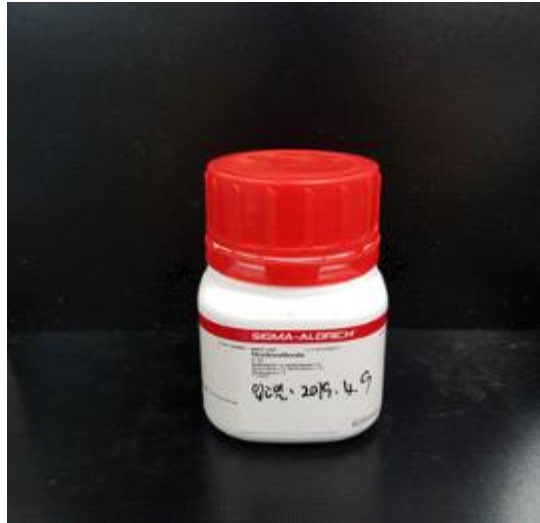


그림 22 MMT (Montmorillonite,K30)

## (2) 코팅용액의 제조

### (가) MMT 용액의 제조

- 100ml의 증류수에 MMT (PVA의 3 % w / w)를 넣고 24시간동안 교반시켰다. MMT 입자들을 충분히 팽창시킨 다음 300W microwave에 20분간 처리했다.

### (나) PVA/PAA 코팅용액의 제조

- PVA 5g을 비커에 담고 증류수를 95g 넣어 90°C에 교반시킨다. PVA가 용액에 녹으면 PAA(PVA의 15% w/w)를 넣어 4시간동안 90°C로 교반시켰다.

### (다) PVA/PAA/MMT 코팅용액 제조

- 앞서 제조한 nano-clay 분산 용액을 사용하여 PAA/MMT 코팅용액을 제조했다. MMT용액 95ml와 PVA 5g을 담고 90°C에 교반시킨다. PVA가 용액에 녹으면 PAA를 넣어 4시간동안 90°C로 교반시켰다.

## (3) 코팅용액의 성능실험

### (가) 가교결합 확인

- Polyacrylic acid(PAA)가 PVA와 결합하였을 때 가교가 되는지와 가교로 인하여 성능을 향상시킬 수 있는지 평가하였다. 먼저 가교결합의 유무와 PVA/PAA간의 가교 최적의 비율을 확인하기 위해 PAA 0, 10, 15, 20 % (PVA 함량 기준, w/w)을 첨가하여 코팅용액을 제조하였다.

PVA는 5% (w/w)로 고정하였다.

- FT-IR을 측정하여 PAA와 PVA의 결합피크를 확인하였다. PAA를 첨가할수록  $1706\text{cm}^{-1}$  피크가 증가하였다. 이는 C=O 결합피크이며 PVA의 OH기 (하이드록실기)와 PAA의 COOH기(카르복실기)가 결합하여 에스테르화 반응이 일어나 에스테르 결합이 형성되었음을 뜻한다. 또한  $3000\sim 3600\text{cm}^{-1}$  은 PVA의 하이드록실기 그룹이고, 이 피크의 강도는 PAA가 15% 될 때까지 점점 감소함을 보였다. 그러나 PAA 20% 용액에서는 다시 증가하였다. 이는 15%의 PAA를 첨가하였을 때 가장 가교결합이 잘 되었음을 뜻하고 OH기가 감소함으로써 PVA의 친수성특성이 감소하고 소수성 특성이 증가하였음을 뜻한다. 20%에서는 다시 OH기가 증가하였기 때문에 가교결합이 되지 않은 잔류 PVA가 있음을 알 수 있다. 따라서 FT-IR 결과로 PAA가 15% 첨가하였을 때 가장 최적의 가교가 이루어 졌음을 알 수 있었고 친수성 특성이 감소함을 알 수 있어 이는 차단성 측면에서도 영향을 끼칠 것을 암시한다.

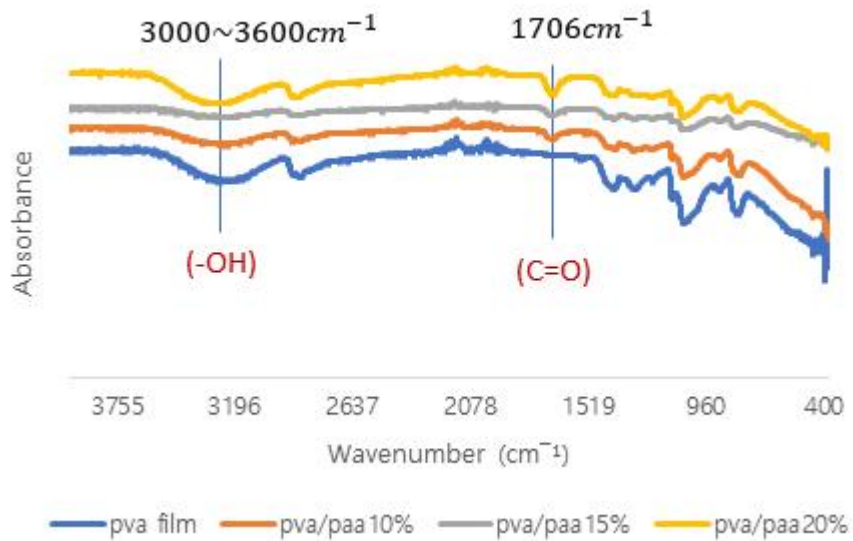


그림 23 PAA 함량에 따른 PVA/PAA 필름의 FT-IR

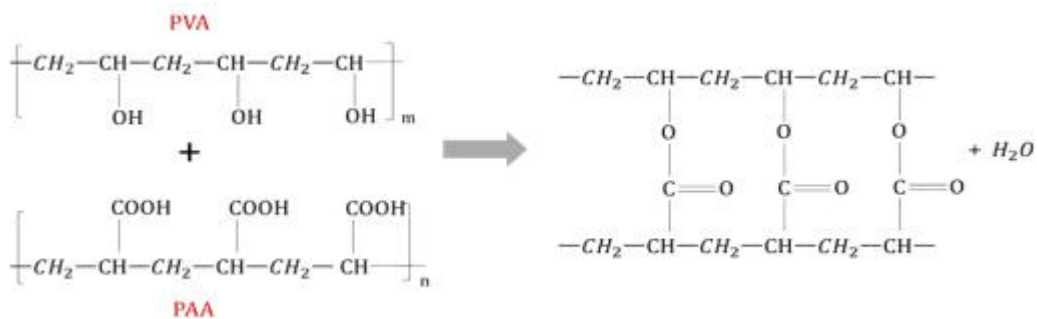


그림 24 PVA/PAA의 가교결합 개략도

#### (나) 가교제 성능평가

- FT-IR을 통해 확인한 가교의 결과가 필름의 차단성에 미치는 영향을 평가하였다. 코팅용액의 수분투과성을 확인하기 위해 코팅용액만으로 필름을 만들어 산소투과도를 만들었다. 필름은 코팅용액 15g씩 petri dish에 분주한 후 25°C, 50 % 상대습도 조건의 항온 항습기에서 48시간 건조시킨 후 petri dish에서 필름을 벗겨냈다. 필름의 두께는 0.1mm로 모두 일정한 두께이다. 수분투과도는 CUP method를 사용하여 측정했고 25 °C, 50 % 상대습도 조건에서 측정했다.
- 수분투과도 결과 PVA만으로 만든 필름보다 PAA를 첨가하였을 때의 필름의 수분투과도가 감소하였다. 15%의 PAA를 첨가한 필름에서 수분투과도가 가장 감소하였으며 20%의 PAA첨가 필름에서는 다시 증가하였다. 이는 에스테르 결합으로 인한 가교로 친수성 특성이 감소되고 소수성 특성이 증가함으로써 필름의 내수성을 향상시켰음을 입증하였다.

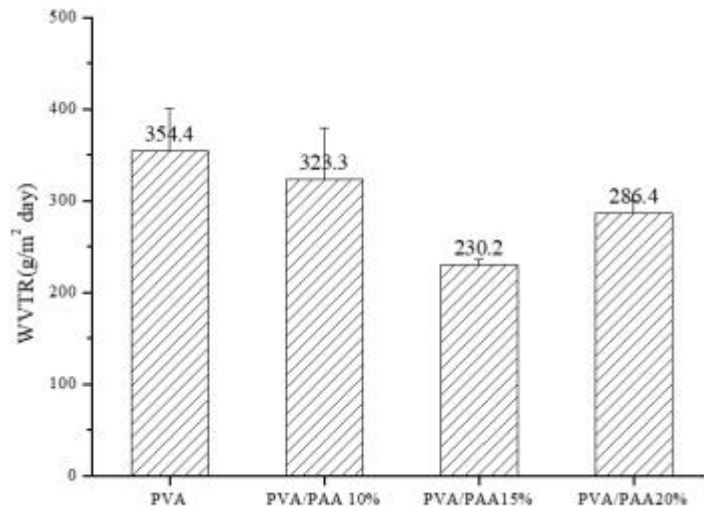


그림 25 PAA함량에 따른 PVA/PAA 필름의 수분투과도

#### (다) MMT 성능평가

- Nanoclay의 함량이나 종류에 따른 필름의 차단성 연구는 많이 되어왔다. 그러나 선행논문들에서는 MMT를 분산시키는 방법이 다 제각각이고 어떤 방법에서 가장 효과가 있는지 나타내는 논문은 드물었다. 1차년도에서는 분산방법이 MMT의 particle size에 미치는 영향을 평가하였지만 당해년도에는 분산방법과 그에 따른 감소된 particle size가 필름의 차단성에 미치는 영향을 평가하고자 한다. 여러 선행논문들과 1차년도의 자료에 근거하여 분산방법을 Stirring overnight, Sonication 60 min, Microwave 300W 20min 이 세 가지 방법을 택하였다. 또한 particle size를 더 감소시키고 박리가 더 잘 일어나기 위해 Sonication 60 min, Microwave 300W 20min 각각 처리 후 4000RPM, 5min 조건으로 원심분리를 하여 상등액만 따낸 용액을 포함하여 총 5가지 MMT 용액을 평가하였다.
- MMT의 함량은 1차년도에서 연구한 것을 바탕으로 폴리머의 3%로 설정하였다. 필름을 만들기 위한 주 폴리머는 PVA 5% (w/w)를 사용하였으며 필름 제조 방법은 MMT 3%와 증류수

95ml을 넣어 교반 후 5가지 분산방법으로 처리 후 이 용액에 각각 PVA 5%를 넣어서 필름형성 용액을 제조하였다. 용액을 충분히 교반 후 15g씩 petri dish에 분주한 후 25°C, 50 % 상대습도 조건의 항온 항습기에서 48시간 건조시킨 후 petri dish에서 필름을 벗겨냈다.

- 제조한 PVA/MMT필름으로 수분투과도를 cup method 방법으로 25°C, 50 % 상대습도 조건에서 측정한 결과 다음과 같았다. 전체적으로 MMT의 첨가가 필름의 수분투과도가 MMT를 첨가하지 않은 필름보다 감소하였지만 유의미하게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 그 중에서도 Sonication을 60min처리한 MMT 용액과 sonication처리 후 원심분리 처리하여 상등액만 사용한 MMT용액이 가장 낮은 값을 나타내었다.

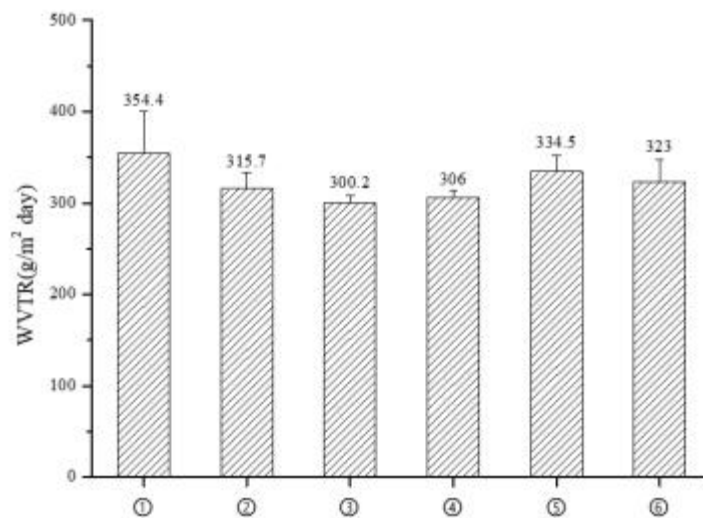


그림 26 MMT 분산 방법에 따른 PVA필름의 수분투과도 ① 0% MMT ② MMT Stirring overnight ③ Sonication 60 min ④ Microwave 300W 20min ⑤ Centrifuged after sonication ⑥ Centrifuged after microwave

#### (4) 시제품 가공 및 평가

##### (가) PVA/PAA 코팅용액 가공

- 앞서 가교제 성능평가로 확인한 결과로 PAA 15% 와 20%를 첨가한 코팅용액만을 코팅하여 측정하였으며, 대조군 PVA만의 코팅용액을 코팅한 필름의 결과를 확인하고자 하였으나, PVA의 강한 친수성 특성이 OPP의 소수성 특성과 잘 양립되지 않아 OPP 필름에 코팅이 되지 않았다. PAA 15%, 20%을 첨가한 PVA 코팅용액을 편의상 각각 A, B로 칭하였다.

- 산소투과도의 경우 OPP는 1500 cc/m<sup>2</sup>·day 이상의 값을 나타낸다. OPP에 코팅용액 코팅 후에는 0.5 cc/m<sup>2</sup>·day 이하의 결과 값을 나타내었다. 이는 PVA와 PAA의 가교의 결과가 산소차단성에 큰 효과를 나타냄을 의미하고 이러한 이유는 가교가 됨으로써 중합체사이 더욱더 정렬된 구조들이 형성되어 산소가 투과하는 길을 좀 더 길게 만들었으므로 예상된다. 따라서 이러한 수치는 기존에 사용되고 있는 면, 스낵 포장재의 산소투과도 (각각 50cc/m<sup>2</sup>·day, 2cc/m<sup>2</sup>·day)

보다 나은 결과 값을 알 수 있다.

- 수분투과도의 경우 OPP의 평균 수치는 7.5~8 g/m<sup>2</sup>·day이다. 코팅용액 A,B를 코팅 후 측정된 결과 A는 5.94 g/m<sup>2</sup>·day, B는 5.73 g/m<sup>2</sup>·day 결과가 나왔다. 이는 대략 기존 OPP보다 20~25% 정도 감소된 값이지만 목표치 (WVTR 2~3 g/m<sup>2</sup>·day이하)에 비하면 미흡한 결과이다.
- 따라서 PVA/PAA 혼합 코팅용액은 산소차단성에는 효과적이지만 수분차단성 측면에서는 미흡하여 이를 개선할 추가 연구가 필요하다.
- 수분투과도의 결과 PAA 15%와 20%의 큰 차이를 보이지 않았으므로 PAA의 비용을 고려할 때 15%가 더욱 더 적절할 것으로 판단하여 PAA의 양을 15%로 설정하였다.

표 1 PVA/PAA 용액을 OPP에 코팅한 필름의 산소투과도와 수분투과도

	OTR(cc/m <sup>2</sup> ·day)	WVTR(g/m <sup>2</sup> ·day)
OPP film	Above 1500	7.5~8
PVA/PAA15%	below 0.5	5.94
PVA/PAA20%	below 0.5	5.73

(나) PVA/PAA/MMT 코팅용액 가공

- 앞서 MMT성능평가에서 테스트한 MMT 분산 방법을 PVA/PAA용액에도 적용시켜 OPP에 코팅 후 산소투과도와 수분투과도를 측정하였다. PAA는 이전 실험을 바탕으로 PVA의 15%로 고정하였고, MMT의 분산 방법만 다르게 하여 필름을 제조하였다.
- 산소투과도 결과 모든 필름이 0.5g/m<sup>2</sup>·day 이하의 값을 나타내었다. 이는 MMT를 첨가하지 않았을 때도 이 수치를 달성하였기 때문에 이 결과로 MMT의 성능은 확인할 수 없었다. 하지만 MMT는 뛰어난 산소 차단성 특징을 가지고 있기 때문에 영향을 미쳤을 것이라 예상된다.
- 수분투과도의 경우 모든 결과가 5.8~6.1g/m<sup>2</sup>·day 사이로 비슷한 결과 값을 나타내었으며 이 수치는 위 PVA/PAA만을 평가해본 실험의 수분투과도랑 비교해 봤을 때 차이가 없었다. 이는 MMT가 수분투과도 감소에 효과적이지 못하다는 것을 확인할 수 있었다.
- 따라서 MMT의 첨가가 수분차단성에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 판단되었고, 마찬가지로 MMT의 분산방법에 따른 차이도 거의 없는 것으로 확인되었다.

표 2 MMT 분산 조건에 따른 OPP코팅 필름의 산소투과도와 수분투과도 ① 0% MMT ② MMT Stirring overnight ③ Sonication 60 min ④ Microwave 300W 20min ⑤ Centrifuged after sonication ⑥ Centrifuged after microwave

	OTR (cc/m <sup>2</sup> ·day)	WVTR (g/m <sup>2</sup> ·day)
OPP film	Above 1500	7.5~8
①	Below 0.5	5.9
②	Below 0.5	6.1
③	Below 0.5	6.1
④	Below 0.5	5.7
⑤	Below 0.5	5.9
⑥	Below 0.5	5.8

## 나. 포장재 환경평가(고려대학교)

### (1) 전과정평가 목적과 범위 (Goal & Scope) 설정

- LCA(Life-cycle assessment)는 제품 또는 시스템의 모든 과정인 원료채취 단계, 가공, 조립, 수송, 사용, 폐기의 모든 과정에 걸쳐 에너지와 광물자원의 사용과 이로 인한 대기 및 수계, 토양으로의 환경 부하량을 정량화하고 이들이 환경에 미치는 잠재적인 악영향을 규명하고, 환경 부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법이다.
- 이 연구에서는 기존에 유통되고 있는 라면과 스낵 포장재의 공정 및 재료(원재료, 코팅제, 필름, 잉크 등)에서 이번 과제를 통해 새롭게 개발한 공정 및 알루미늄을 제외한 친환경성 재료로 변경한 후의 제품의 나타나는 긍정적인 환경영향을 전과정평가 LCA를 통해 평가하고자 한다.
- 따라서 본 연구의 목적은 (주) 농심의 스낵과 면 포장재의 기존의 알루미늄 증착 복합소재 제품과 새롭게 개발된 친환경성 유니소재 제품에 관련하여 생산 및 폐기와 관련된 온실 가스(GHG) 배출을 포함한 환경 영향을 확인하고 비교하는 것이다. 따라서 각 공정 단계에서 발생하는 여러 가지 환경영향물질의 환경영향에 대한 정량화된 데이터베이스를 제시할 수 있도록 하며 환경부하를 감축하기 위한 대안을 제시할 수 있는 기반을 마련하도록 할 것이다. 이 연구의 scope는 포장재의 제조과정의 원료취득에서부터 폐기물 처리에 대한 관점을 다루는 cradle-to-grave 로 설정하였다.

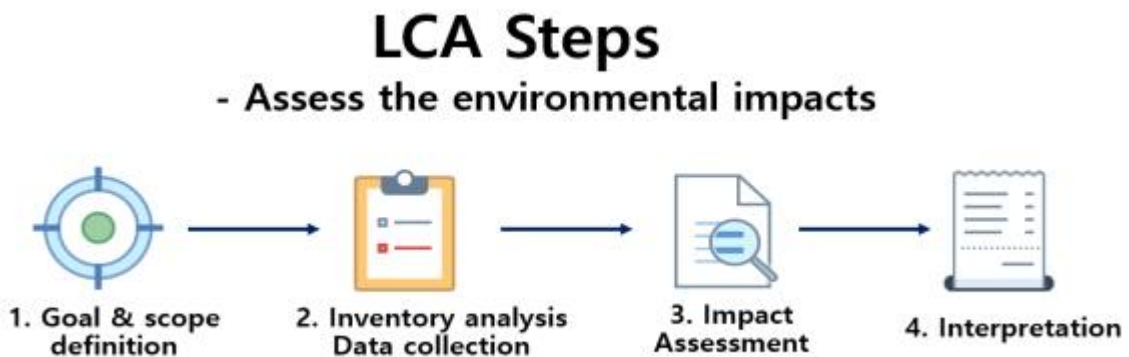


그림 27 전과정평가 수행단계

### (2) 기능유닛과 시스템 범위 설정

#### (가) 기능유닛과 시스템범위 설정

- 전과정평가 수행을 위한 기능 유닛 (Functional unit)으로는 라면, 스낵 포장재 1000매를 만들기 위한 기존포장재 및 새롭게 개발된 패키지 필름으로 설정하였다. 시스템 범위 (System boundary) 작성을 위해서는 라면, 스낵 포장재의 공정도를 파악해야 한다. 따라서 울촌화학 공장을 방문하여 포장재의 공정도를 확인하였으며 이를 토대로 다음 그림10~13과 같이 시스템 범위를 작성하였다. 면, 스낵 패키지의 기존제품과 개발된 제품의 시스템 범위이며 기존과 개발의

차이가 있는 부분은 색을 넣어 구별하였다. 최종 완제품 생산 후 출하를 위한 포장공정은 포함시키지 않았다.

- 이번 연구에서는 향후 결과분석을 용이하게 하기 위해서 시스템 공정별로 4단계로 구분하여 각각의 단계에서 발생하는 환경영향을 평가할 예정이다. 따라서 4가지 단계로는 Material production, Transportation, Processing, Waste treatment 로 설정하였다.

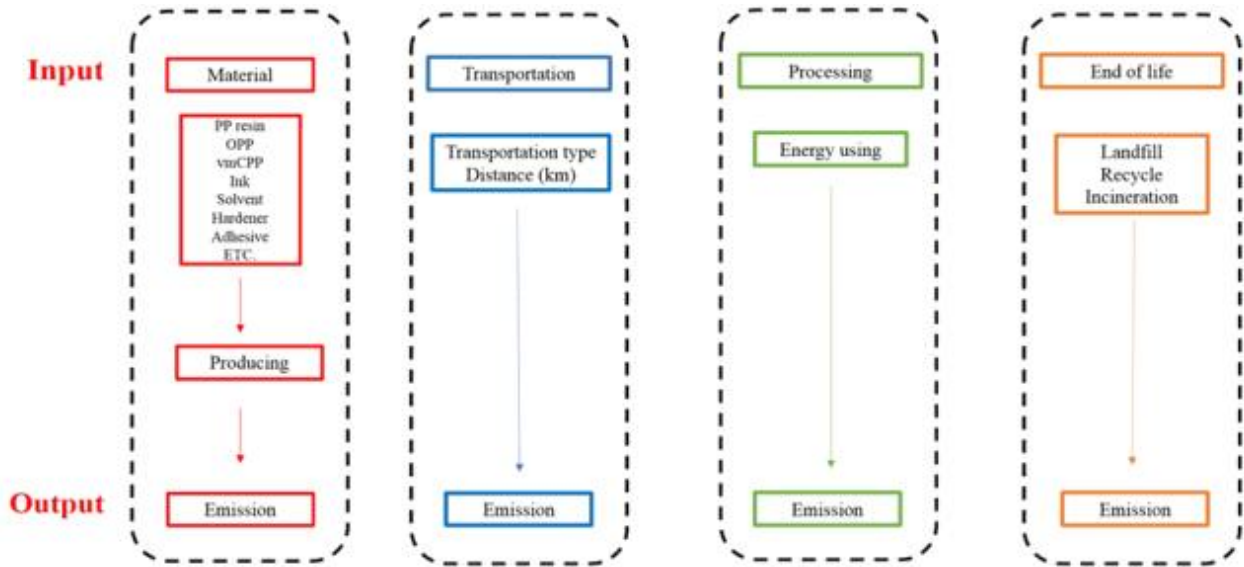


그림 28 전과정 평가에 4단계

(나) 라면포장재 시스템 범위

- 기존의 라면포장재의 Material production의 경우 PP resin, Ink, Solvent, Hardener, Adhesive, Aluminum 생산이 포함되었다. Processing의 경우 알루미늄 증착, CPP, OPP제조를 위한 Casting, Printing, Lamination, Aging, Slitting, Packing까지의 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력까지 포함하였다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다.

- 개발된 라면 포장재의 Material production의 경우 PP resin, PVA, Water, Ink, Solvent, Hardener, Adhesive 생산이 포함되었다. Processing의 경우 CPP, OPP제조를 위한 Casting, 코팅용액 제조와 Wet coating 공정, Printing, Lamination, Aging, Slitting, Packing까지의 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력까지 포함하였다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다.



## 기존 라면 포장재 공정

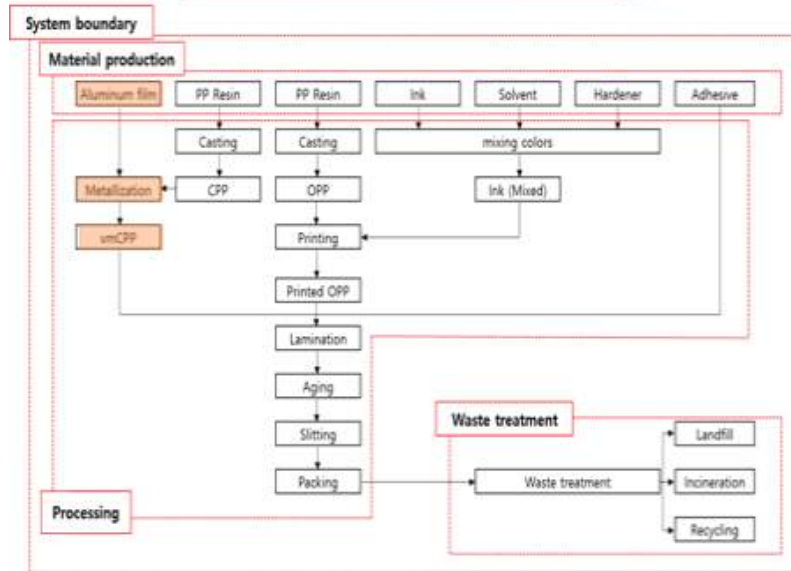


그림 29 기존 라면 포장재의 시스템 범위

### (다) 스낵포장재 시스템 범위

- 기존의 스낵포장재의 Material production의 경우 PP resin, Aluminum, Ink, Solvent, Hardener, LDPE, Adhesive 생산이 포함되었다. Processing의 경우 PET film 제조를 위한 PET resin Casting, 알루미늄 증착, CPP, OPP제조를 위한 Casting, Printing, Lamination, Extrusion, Slitting, Packing까지의 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력까지 포함하였다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다.
- 개발된 스낵 포장재의 Material production의 경우 PP resin, PVA, Water, Ink, Solvent, Hardener, LDPE, Adhesive 생산이 포함되었다. Processing의 경우 CPP, OPP제조를 위한 Casting, 코팅용액 제조와 Wet coating 공정, Printing, Lamination, Extrusion, Slitting, Packing까지의 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력까지 포함하였다. Transportation 단계의 경우 각각의 원료 물질 배송이 포함되었다.

### 기존 스낵포장재 공정

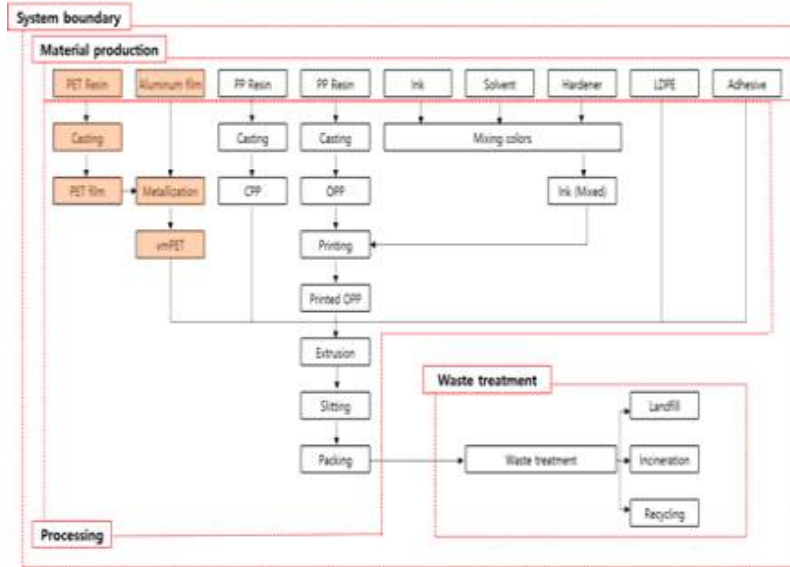


그림 30 기존 스낵 포장재의 시스템 범위

### 개발 스낵포장재 공정

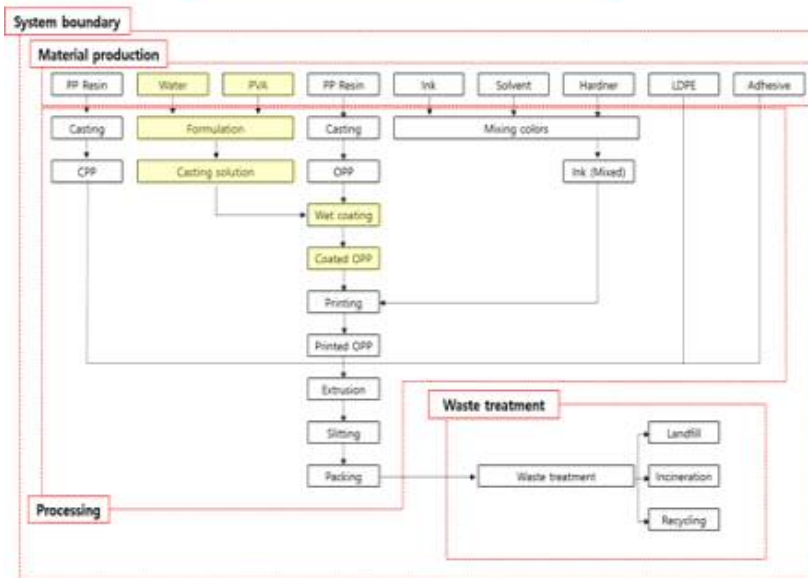


그림 31 개발된 스낵 포장재의 시스템 범위

표3 기존, 개발 스낵 포장재의 데이터베이스

	Type	Materials		Material Production		Transportation	
				Mass (g)	Source	Type	Distance (km)
Snack	기존	OPP	1-프로펜, 호모폴리머	1858.96	YOULCHON	-	
		ECP	1-프로펜, 호모폴리머	1881.91	YOULCHON	-	
		PETVM	Poly(oxy-1,2-ethanedioxy-carbonyl-1,4-phenylene-carbonyl	1710.18	코오통인더스트리	25ton Truck	240
			알루미늄	3.43		-	
		Ink	Total	535.07	디어스엠	1ton Truck	20
			MEK	210.36	MJ케미칼	25ton Truck	25
		Solvent	EA	210.36	한석화학	25ton Truck	370
			Adhesive	Liofol A-1883-Henkel	32.64	Henkel	1ton Truck
		LDPE	LB7500	2012.88	LG화학	25ton Truck	370
		개발	OPP	1-프로펜, 호모폴리머	1858.96	YOULCHON	-
	Barrier OPP		OPP	1858.96	YOULCHON	-	
			PVA	307.24	YOULCHON	-	
			Water	2323.70	YOULCHON	-	
	ECP		1-프로펜, 호모폴리머	1881.91	YOULCHON	-	
	Ink		Total	535.07	디어스엠	1ton Truck	20
			MEK	210.36	MJ케미칼	25ton Truck	25
	Solvent		EA	210.36	한석화학	25ton Truck	370
			Adhesive	Liofol A-1883-Henkel	32.64	Henkel	1ton Truck
	LDPE		LB7500	2012.88	LG화학	25ton Truck	370

(3) Inventory analysis 설정

(가) 원료생산, 운송, 공정 데이터 수집

- Waste treatment 단계를 제외한 Material production, Processing, Transportation에 대한 주요 데이터는 울촌화학으로부터 제공받았다. 추가적으로 현장조사에서 얻기 힘든 부분들은 관련 문헌자료와 ecoenveint 데이터베이스를 이용하였다.

표 4 기존, 개발 라면 포장재의 데이터베이스

	Type	Materials		Material Production		Transportation	
				Mass (g)	Source	Type	Distance (km)
Noodle	기존	OPP	1-프로펜, 호모폴리머	1373.40	YOULCHON	-	
		vmCPP	1-프로펜, 호모폴리머	1833.49	YOULCHON	-	
			폴리프로필렌 코폴리머	206.01		-	
			알루미늄	20.60		-	
		Ink	Total	429.82	디어스엠	1ton Truck	20
			MEK	255.05	MJ케미칼	25ton Truck	25
		Solvent	EA	255.05	한석화학	25ton Truck	370
			Hardener	A-6200-1	55.24	송원화학	5ton Truck
		Adhesive	A-7332-1	96.10	송원화학	5ton Truck	25
		개발	Barrier OPP	OPP	1373.40	YOULCHON	-
	PVA			226.99	YOULCHON	-	
	Water			1716.75	YOULCHON	-	
	CPP		1-프로펜, 호모폴리머	2060.10	YOULCHON	-	
	Ink		Total	429.82	디어스엠	1ton Truck	20
			MEK	255.05	MJ케미칼	25ton Truck	25
	Solvent		EA	255.05	한석화학	25ton Truck	370
			Hardener	A-6200-1	55.24	송원화학	5ton Truck
	Adhesive		A-7332-1	96.10	송원화학	5ton Truck	25

(가) 폐기물 처리 조사

- 복합소재, 단일소재 필름의 각각의 조각, 매립, 재활용 현황을 확인하고자 여러 조사를 진행하였다. 자료

조사 결과 명확히 명시되어 있는 자료가 없어 환경부에 직접 문의해 보았다. 문의해 본 결과 이물질, 타재질이 많이 포함되어 있는 일부 필름류를 제외하고는 대부분 재활용되고 생활계에서 발생하는 복합소재, 단일소재 필름류는 따로 구분하지 않고 같이 재활용한다는 정보를 확인하였다. 따라서 정확한 단일소재, 복합소재 필름의 각각의 재활용률은 알기 힘들 것으로 예상된다. 또한 2018년 EPR대상 기타단일, 기타복합 필름 출고 수입량 대비 재활용량은 88.9%임을 확인하였다. (출처: 환경부)

- 선별 및 압축된 복합 재질 필름류는 약 4가지 방법 ① 성형 고형연료 (SRF: Solid Recovered Fuel) ② 성형제품 제조 ③ 재생원료 제조 ④ 열분해를 통한 재생유류 생산으로 재활용된다. 현재 단일 및 복합 재질 필름류는 ① 성형 고형연료 로 70%이상이 재활용 되고 있다. 또한 나머지 30%는 ②,③,④ 방법으로 재활용이 되고 있다. 그 중 부가가치가 가장 높은 ③ 재생제품 제조 비율은 6%로 매우 저조한 실정이다.

- 단일재질의 경우에는 재활용 공정이 비교적 수월하나 복합재질의 합성수지는 재활용 공정에 여러 가지 어려움을 갖기 때문에 단일재질과 달리 복합재질의 경우에는 재활용이 힘들 경우 고형연료로 사용되어진다. 플라스틱 제품 재활용 과정에서 단일재질의 경우 선별, 압축, 파쇄, 세척, 용융압출, Pellet 형태의 재생 원료를 만드는 물질 재활용 과정을 거친다. 복합재질의 경우 선별 압축품을 파쇄한 뒤 용융성형, 열분해를 통한 유화, 압축성형을 통한 고형 연료 제조 등의 재활용 과정을 거친다. 합성수지 포장재의 경우 다른 포장재에 비하여 다양한 재질을 활용한 복합재질이 사용되기 때문에 재활용성 향상을 위해서는 UNI 소재화를 통해 단일 재질에 기능성을 부여하여 복합재질을 대체할 수 있는 다양한 연구 및 실용화 방안이 요구되어진다. (출처: Ko, Euisuk, Shim, Woncheol, Lee, Hakrae, . . . Jaieung. (2018). The Current Status of Recycling Process and Problems of Recycling according to the Packaging Waste of Korea. Korean Journal of Packaging Science and Technology)

- 따라서 현재 단일, 복합 재질 필름의 각각의 재활용을 알 수 없기 때문에 단일소재의 필름을 사용하였을 때가 복합필름을 사용하였을 때 보다 재생원료 제조 비율을 몇 %정도 높일 수 있는지에 대한 근거를 확인하고, 이 근거를 통하여 재활용 비율이 변화한다고 가정하였을 때 미치는 환경영향을 평가할 예정이다.

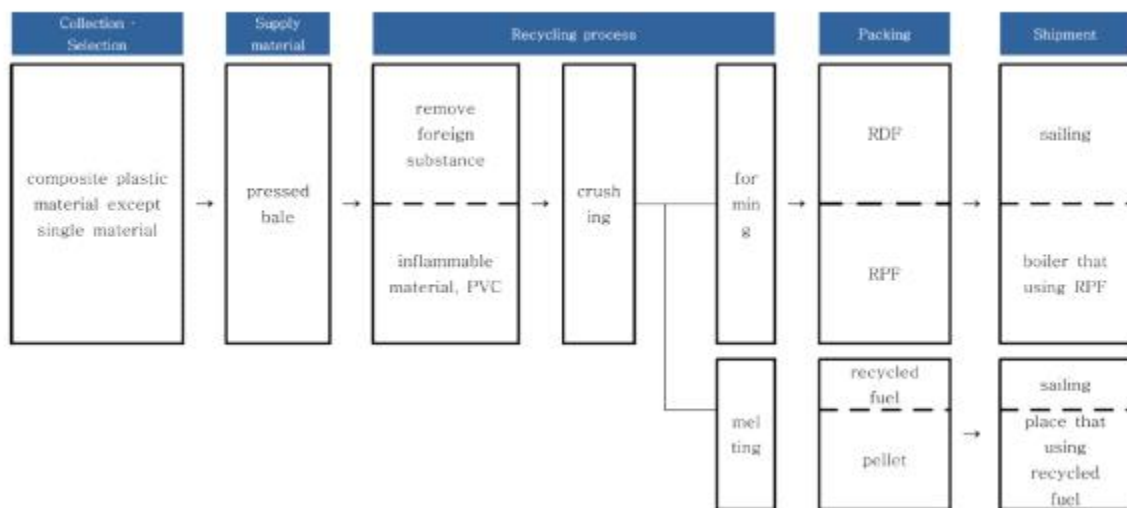


그림 32 플라스틱 소재(단일, 복합 재질)의 재활용 과정

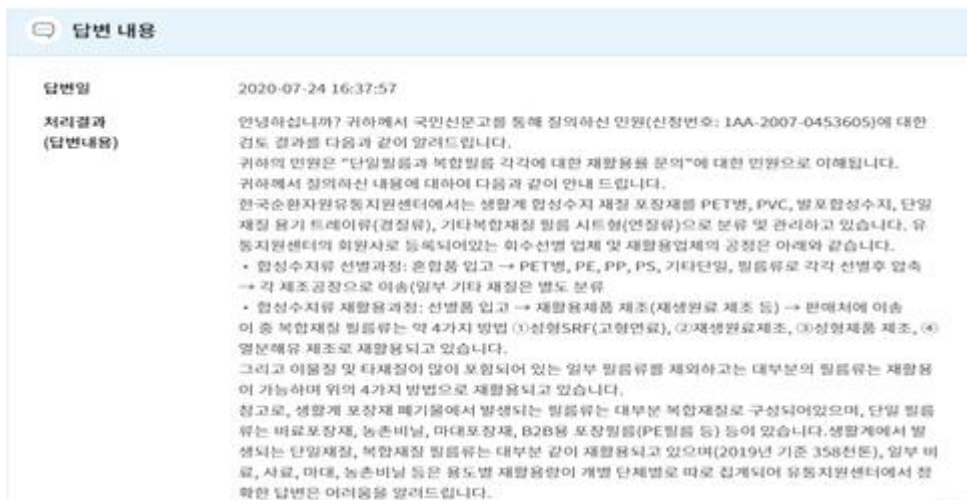


그림 33 단일, 복합 소재 필름 재활용률 관련 환경부 답변 내용

(다) 가정 및 한계

- 부족한 데이터베이스를 보충하기 위해 다음과 같은 가정 및 제한점들이 고려되었다. 포장 내용물 충전 과정과 그 이후의 소비과정은 제외했다. 전력량은 기기 사용전력만 포함하고 사무실 등 부과 전력은 제외하였다. 공정과정의 온도는 고려되지 않았다. 운송부분은 트럭은 가득 차 있는 채로 움직였다고 가정하였다. 이는 추후에 추가 또는 변경이 있을 수 있다.

### 3. 3차년도

#### 가. 기체차단성이 개선된 고분자 코팅용액의 개발

##### (1) 코팅액 개발에 사용할 물질 선정

###### (가) 주재료 선정

- OPP 필름의 코팅을 통해 필름의 물성을 개선할 수 있는 코팅액의 개발을 위해 Poly(vinyl)alcohol (PVA)를 main polymer로 선정하였다.
- PVA는 투명도가 높고 biodegradable하면서 film-forming properties가 우수하고, 화학적 안정성이 높은 동시에 산소 등의 기체에 대한 차단성이 우수한 것으로 알려져 있다. 따라서 코팅액의 main polymer로 사용할 경우 OPP의 단점인 낮은 기체차단성, 특히 산소 차단성을 효과적으로 개선시킬 수 있는 잠재성을 가지고 있다.

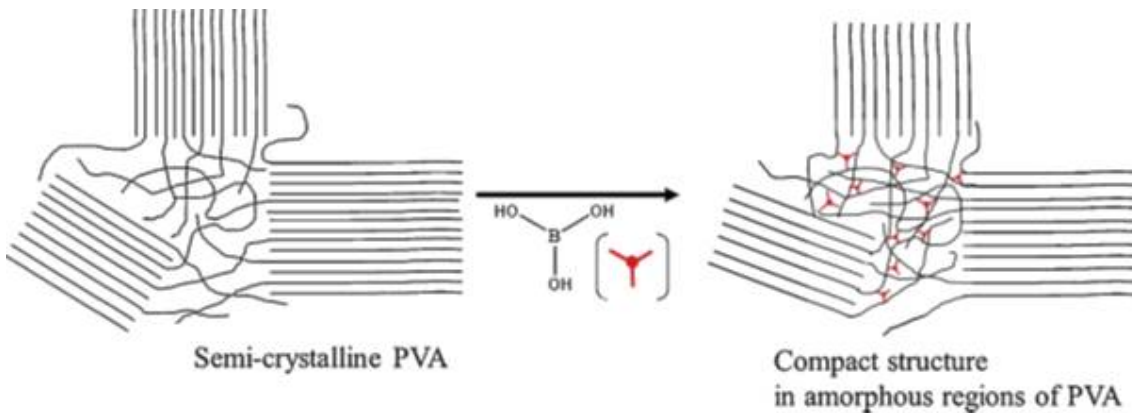


그림 34 PVA의 가교반응의 예시 (PVA-BA crosslinking structure)

출처: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.03.005>

- 하지만 PVA가 가진 가장 대표적인 단점은 다른 종류의 기체차단성에 비해 상대적으로 수증기 차단성이 낮고, water resistance가 약하다는 점이다. 이는 PVA의 polymer side chain상의 alcohol group으로 인한 친수성 때문인 것으로 알려져 있다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 일반적으로 <그림 35>과 같이 가교제 (Crosslinking agent) (예시: citric acid, boric acid, phytic acid, glutaraldehyde 등)를 사용하여 PVA의 친수성을 감소시키고, polymer matrix의 amorphous한 부분을 가교시켜 결정화도를 높이는 방법과 <그림 36>와 같이 필러 (filler) (예시: lignin, MMT, CNC 등)를 첨가함으로써 tortuous pathway를 제공하여 투과되는 기체 분자의 투과경로의 길이를 늘려 기체 투과도를 낮추어 기체 차단성을 높이는 방법들이 알려져 있다.

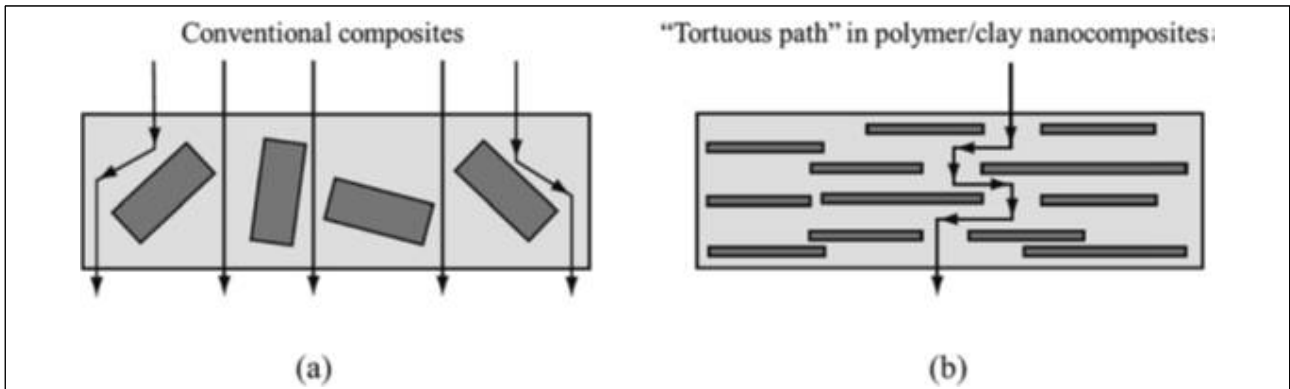


그림 35 Filler의 분산 형태에 따른 기체 투과 경로 출처: <https://doi.org/10.1039/C5RA10333A>

- 본 연구에서는 PVA의 낮은 수증기 차단성을 개선하고자 가교제와 필러를 모두 도입하여 OPP필름의 기체 차단성을 개선할 수 있는 PVA 코팅액을 개발하는 것을 목적으로 진행되었다.

(나) 부재료 선정

① 나노클레이 선정

- 앞서 1, 2차년도에 filler로 사용되었던 Montmorillonite(MMT)가 OPP 코팅에 유의적인 물성의 개선을 보여주지 못했기 때문에 이를 대체하기 위한 새로운 nano-clay를 도입하여 코팅액의 물성을 효과적으로 개선하고자 하였다. 그 결과 Layered double hydroxide (LDH)라는 nano-clay를 필러로 선정하였다.

- LDH는 hydrotalcite로 불리기도 하며, 기존에 플라스틱 산업에서 PVC의 열적 안정성을 증가시키기 위한 첨가제로 사용되어 왔다. 또한 물리화학적 특성이 우수하여 최근 제약 및 환경 분야를 비롯한 다양한 분야에서 연구되기 시작하였으며, 패키징 분야에서는 아직 많은 연구가 진행되지 않은 nano-clay의 일종이다.

- LDH는 <그림 37>과 같은 육각형 모양을 가지며, 일반적인 nano-clay와는 다르게 interlayer domain (gallery)에 음이온을 intercalation할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 최근 다양한 고분자의 물성(기체 투과도, 기계적 특성, 열적 특성 등)을 개선할 수 있는 가능성을 가졌다는 일부 연구들이 보고됨에 따라 패키징 분야에서도 사용될 수 있는 잠재적인 가능성을 가진 nano-clay로 관심 받고 있다. 특히 미국 식품의약품안전청(U.S. FDA)에서 식품접촉물질 (Food Contact Substance, FCS) 중 식품포장재 첨가 가능물질로, 유럽 식품안전국 (European Food Safety Authority, EFSA)에서 식품 접촉 소재(Food Contact Material, FCM)로 인정되어 있어, 식품 포장재에 사용되기에 적합하며, 독성을 갖지 않는 것으로 알려져 있기 때문에 상업적 목적의 식품포장재에 사용하기에 적합하다고 판단하였다.

- 앞서 연구에 사용되었던 Montmorillonite(MMT)와 비교하여 중량대비 가격이 상대적으로 저렴하므로 경제적인 부분에서도 장점을 가진다. 따라서 이러한 특성은 본 연구의 포괄적인 목표인 친환경성에도 부합하며, 식품의 포장재에 사용되기에 적합한 안전성과 경제성을 가진다고 볼 수 있다.

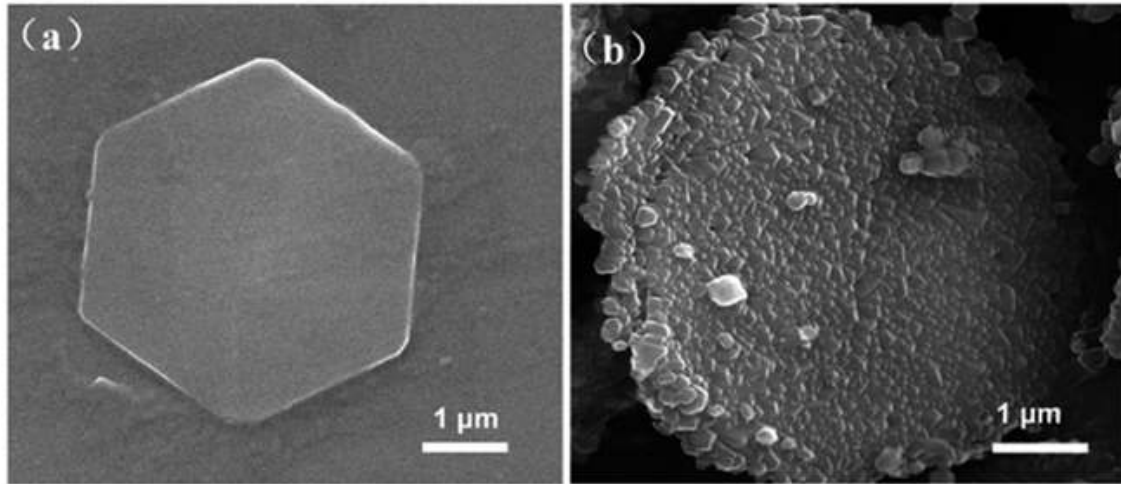


그림 36 LDH의 SEM 사진. 출처:<https://doi.org/10.1039/D0TA01424A>

- 일반적으로 Polymer에 filler를 첨가한 경우 <그림36> (b)와 같이 필러가 polymer matrix상에 잘 분산되고 수평하게 배열될수록 기체 차단성이 효과적으로 개선되는 것으로 알려져 있다.
- Guo, X., et al.의 연구에 따르면 LDH는 표면에 alcohol group(-OH)을 갖고 있기 때문에 <그림 38> 와 같이 PVA의 표면의 alcohol group(-OH)과 수소결합을 통해 수평하게 배열될 수 있는 것으로 보고되었다. 따라서 LDH가 PVA polymer matrix 상에 수평하게 배열될 확률이 높다고 추측하였고, 그에 따라 MMT를 대신할 filler로 적합하다고 판단하였다.
- 추가적으로 Yu, J., et al.는 PVA 기반의 LDH 첨가 코팅액을 개발하여 PET 필름에 코팅했을 경우 기체 차단성을 개선할 수 있는 것으로 보고하였다. 따라서 LDH를 첨가한 PVA 기반 코팅액을 개발하여 PP에 코팅하였을 경우에도 PET에서와 마찬가지로 기체 차단성이 효과적으로 개선될 수 있을 것으로 기대되었다.

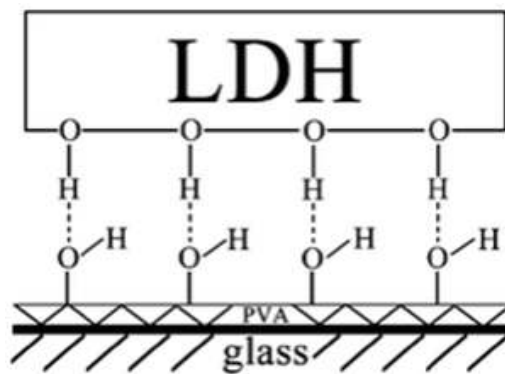


그림 37 LDH와 PVA의 상호작용 모식도.

② 가교제 선정 (전년도와 동일한 가교제, 새로운 가교제 비교)

- LDH가 포장 분야에서 잘 사용되지 못한 가장 큰 이유는 LDH가 일반적으로 수용액 상에 잘 분산되지 않는 것으로 알려져 있기 때문이다. 따라서 이번 연구에서는 효과적인 LDH의 분산을 위해 가교제와 LDH와의 상호작용까지 고려하여 최종적으로 2가지 후보 가교제를 선정하였다. 또한 각각의 가교제를 사용한 코팅액을 개발하고 평가를 진행하였다.
- 첫 번째 가교제는 Poly (acrylic)acid(PAA)이다. PAA는 반복유닛상에 carbonyl



group(-COOH)을 갖는데, PVA의 alcohol group(-OH)과 esterification을 통하여 crosslinking 될 수 있는 것으로 알려져 있다. 가교된 PVA/PAA blend 필름은 PVA보다 우수한 수분저항성과 인장강도, 열적 안정성을 갖는 것으로 보고되어 있다. 또한 PAA는 PVA와 마찬가지로 생분해성인 폴리머이며, PVA/PAA blend 필름 또한 생분해성을 갖는 것으로 알려져 있다. 따라서 PAA는 PVA의 가교제로써 본 연구의 친환경성에 부합하고 PVA의 물성을 개선할 수 있는 특성을 가진다. 또한 몇몇 논문에 따르면 PAA는 LDH와 상호작용을 하여 intercalation이 될 수 있는 것으로 보고되어 있으므로 LDH를 수용액 상에서 보다 효과적으로 분산시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

- 두 번째 가교제는 Boric acid(BA)로, Boric acid는 PVA와 crosslinking하여 그림 5와 같이 가교 시, 중심의 붕소 부분에 부분적으로 음전하를 나타내거나 강한 극성을 나타내는 구조를 형성할 수 있고 이는 잠재적으로 LDH의 gallery에 삽입될 수 있는 구조라고 생각하여 연구를 진행하였다.

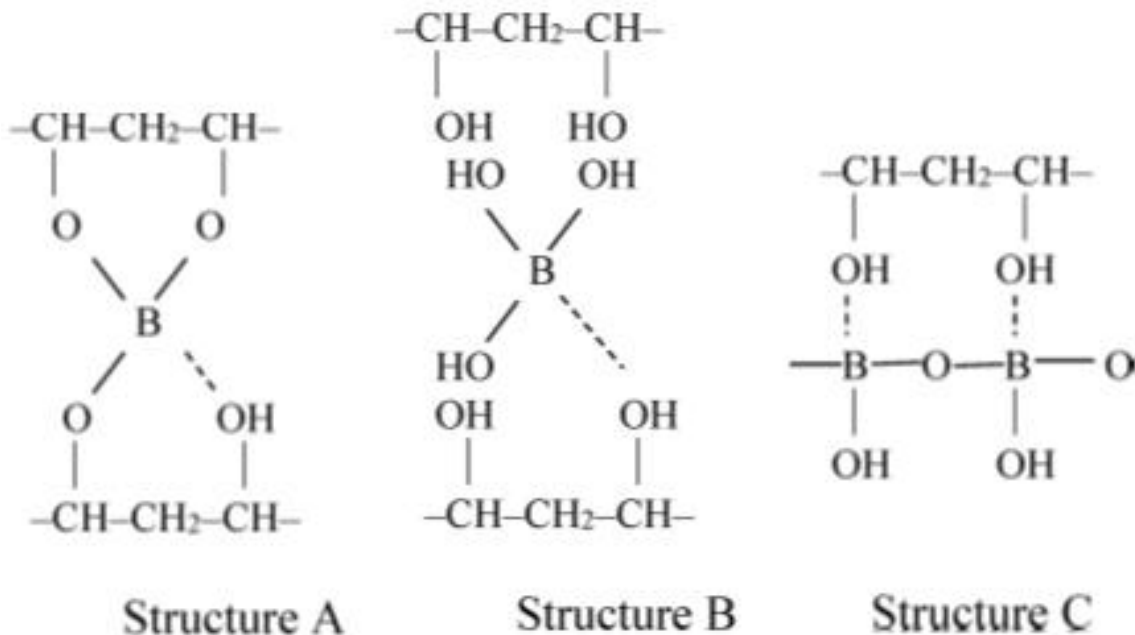


그림 38 PVA와 BA의 가교구조 모식도 출처:https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.012

## (2) 코팅용액의 제조공정 수립

### (가) 코팅용액의 설계

- 최대한 동등한 조건에서의 평가를 위하여 각 용액 내의 고분자의 총량은 10g으로 통일하였고, crosslinking agent의 종류와 nano-clay의 양을 다르게 하여 최적의 용액의 배합을 연구하였다.

#### ① PVA/PAA/LDH 용액의 제조

- 2차년도에 데이터에 기반하여 PVA : PAA의 비율은 85 : 15로 설정하였다.
- 여러 번의 예비 실험을 거친 결과 가장 오차가 적고 균일한 용액을 만들 수 있는 증류수 (D.W.)의 적정 함량이 125 g인 것으로 확인되어, D.W. 125g에 PVA 8.5g, PAA 1.5g을 넣고 80°C에서 3시간 동안 stirring을 진행한 뒤 LDH 0g, 0.1g, 0.3g, 0.5g (각각 0, 1, 3, 5 wt % of total polymer weight)을 첨가하여 80°C에서 24시간 동안 stirring을 진행하였다.

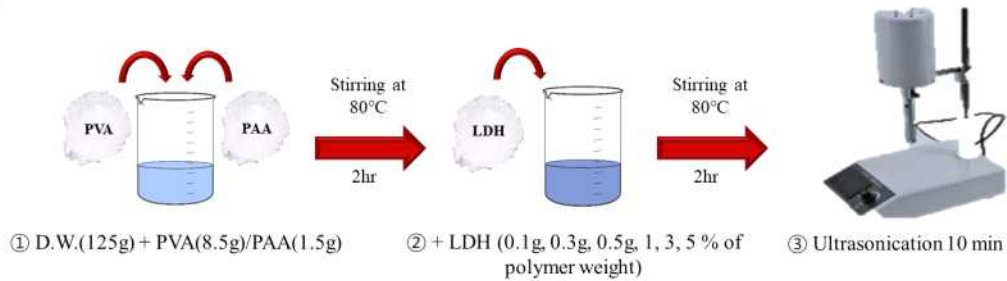
## ② PVA/BA/LDH 용액의 제조

- PVA/PAA/LDH 코팅액과의 객관적인 비교를 위해 D.W.는 동일하게 125g을 사용하였다. 일반적으로 BA는 PVA용액에서 5 wt% of PVA 첨가시에 최적의 물성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 따라서 D.W. 125g에 PVA 10g을 첨가하여 80°C에서 3시간 동안 stirring을 진행한 뒤, BA 0.5g (5 wt% of total polymer weight)을 첨가하여 90°C에서 2시간 동안 stirring을 진행하였고, LDH 0g, 0.1g, 0.3g, 0.5g (각각 0, 1, 3, 5 wt % of total polymer weight)을 첨가하여 80°C에서 24시간 동안 stirring을 진행하였다.

### (나) 분산 방법 설정

- 위와 같은 방법으로 제작한 두 용액에서 모두 분산되지 않은 LDH 덩어리가 일부 관측되었다. 이는 알려진바와 같이 LDH의 수용액 상에서의 불용성 때문인 것으로 추측된다.
- 따라서 이를 해결하기 위해 다양한 분산 방법을 조사하였다. J.A. Carrasco, et al.의 연구에 따르면 LDH는 수용액상에서 bath type의 초음파 분쇄기를 사용할 경우 잘 분산되지 않지만, Probe(tip) type의 초음파 분쇄기(혹은 초음파 균질기라고도 부름)를 사용하면 수용액상에서 LDH를 효과적으로 분산시킬 수 있는 것으로 보고되었다. 따라서 보유 중인 초음파 분쇄기 (Sonics & Materials, Inc. VCX 750)를 사용하여 Ultrasonication treatment를 통한 LDH의 분산과정을 추가하였다.
- 그 결과 PVA/BA/LDH는 20%에서 10분간, PVA/PAA/LDH는 35%에서 5~10분간 처리하면 어느정도 안정된 분산액을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 더 장기간 초음파 분산 처리를 하게 되면 열에 의한 polymer의 손실을 일으켜 고분자 덩어리가 생성될 수 있으며, 더 단기간 처리하게 될 경우 LDH를 효과적으로 분산시킬 수 없는 것으로 나타났다. 따라서 최종적인 코팅액의 제작 과정은 아래 <그림 40>과 같다.

(a)



(b)

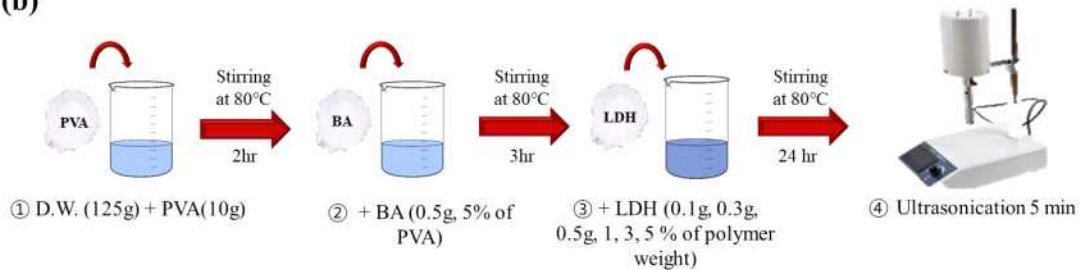


그림 39 (a) PVA/PAA/LDH 용액의 제조과정, (b) PVA/BA/LDH 용액의 제조과정

### (3) 코팅액의 특성 및 성능평가

- Lab-scale에서 한 번에 여러가지 공정을 연속적으로 처리하기 어려운 한계점이 있기 때문에, 개발과정의 소요시간을 단축하고, 효율적인 개발을 위한 방법으로 <그림 7>과 같은 방식으로 평가를 진행하였다.

- 먼저 코팅을 진행하기에 앞서 LDH가 물성의 개선에 미치는 영향을 평가하기 위해 각 용액에서 LDH가 첨가됨에 따른 코팅액 자체의 물성변화를 확인하였다.

- 그 결과 LDH의 첨가에 따른 물성의 유의미한 개선이 확인되면 OPP필름을 위한 코팅액으로 사용될 가능성이 있는 것으로 판단하여 OPP필름 위에 코팅을 진행한 뒤 코팅품질을 평가하고 코팅품질이 우수한 경우 최종적으로 코팅필름의 물성을 평가하는 순서로 진행되었다.

- 따라서 위에서 개발한 두 가지 코팅액을 각각 petri dish에 solution casting하고 항온항습기에서 (25°C, 50% RH) 24시간 건조하여 필름을 제작하였고, 이 필름을 사용하여 LDH첨가에 따른 코팅액의 물성 개선을 평가하였다. 유의미한 개선이 이루어진 경우 film applicator를 이용하여 OPP20필름 위에 코팅을 진행한 뒤 코팅된 필름의 코팅 품질과 물성 개선도를 측정하였다. OPP 필름은 '울촌화학'에서 제공받은 OPP20 필름을 사용하였다.

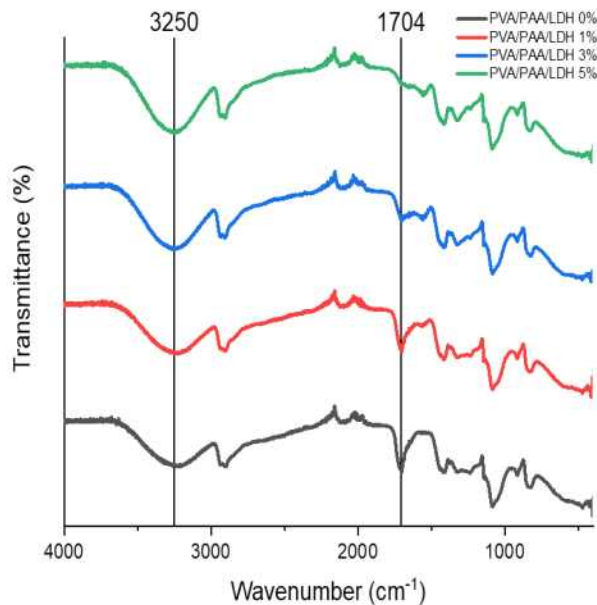


그림 40 효과적인 코팅액 개발을 위한 평가과정

(가) PVA/PAA/LDH 용액의 성능평가

- ① 코팅액 자체 개선도 평가(PVA/PAA/LDH)
- ② FT-IR(PVA/PAA/LDH)

- PVA/PAA/LDH의 FT-IR분석을 통해 PVA/PAA/LDH 필름의 화학적 구성의 변화를 알아보았다.

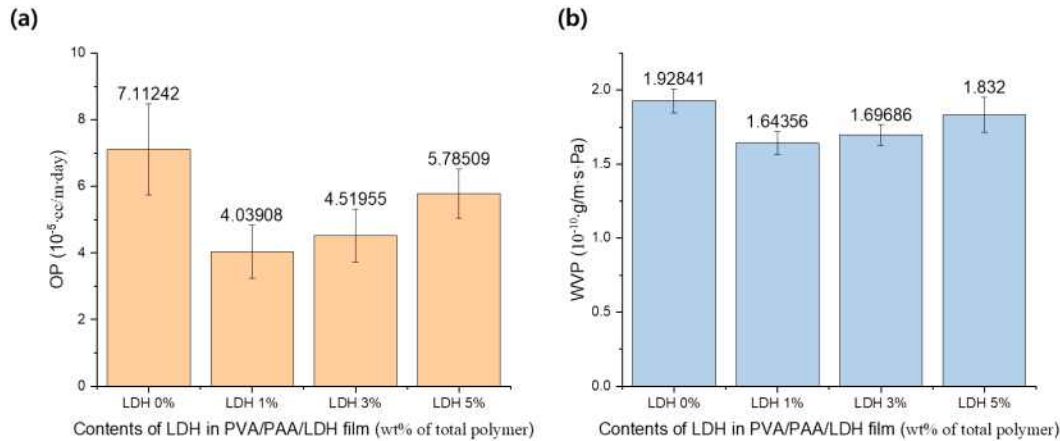


<그림 41> PVAPAA/LDH 필름의 FTIR spectra

- <그림42>의 지문영역에서 LDH의 특징적인 피크가 나타나지 않았으므로, LDH가 어느정도 잘 분산되어 있다고 할 수 있다. 또한, LDH를 첨가함에 따라 PVA와 PAA의 상호작용의 피크인 1704 cm<sup>-1</sup> 피크가 감소하고 알코올 그룹(-OH)을 나타내는 피크가 증가하였으므로 LDH가 PVA, PAA 고분자 매트릭스의 상호작용에 영향을 미치며 PVA/PAA polymer matrix와 수소 결합과 같은 새로운 상호작용을 형성하는 것으로 추측되었다.

㊦ 기체 투과도 평가(OP, WVP)

- OP는 'MOCON OX-TRAN® 702 (MOCON Inc. MN, USA)'을 사용하여 ASTM E3985에 따라 측정되었고, WVP는 cup method를 이용하여 ASTM E96 d에 따라 측정되었다.
- 기체 투과도는 수증기와 산소 모두에서 LDH를 첨가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다.
- 특히 산소 차단성의 경우 LDH 함량 1%에서 LDH를 넣지 않은 경우와 비교하여 거의 50%에 가까운 큰 감소량을 보여주었다. 또한 3%이상의 농도에서는 점차 감소하는 것으로 나타났으므로, 기체 차단성은 LDH 함량 1%에서 가장 최적이라고 할 수 있다.



<그림 42> PVA/PAA/LDH 필름의 기체 차단성. (a) OP, (b) WVP.

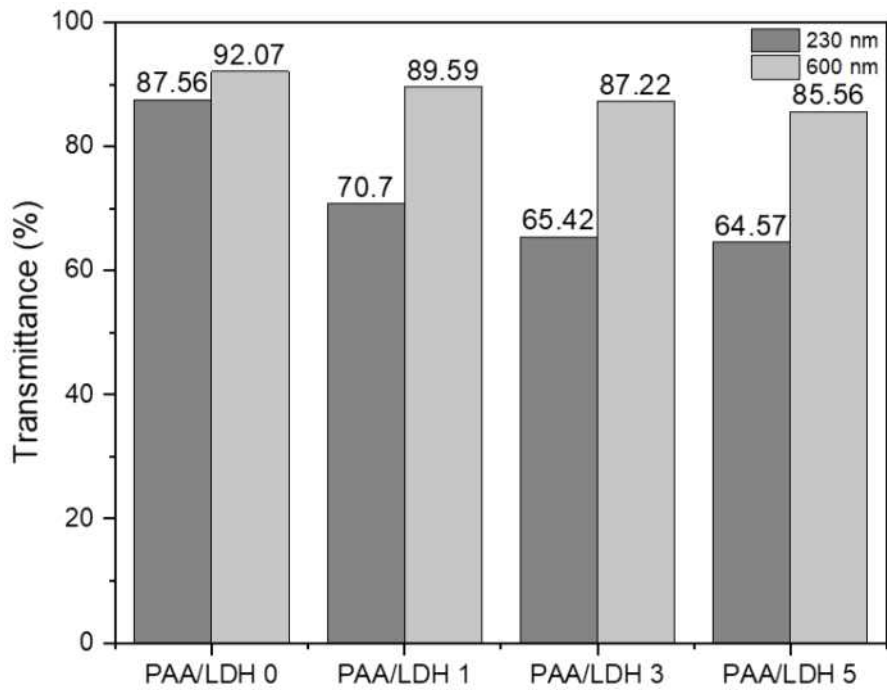
㊦ Mechanical properties

- 인장강도는 <표 6>과 같이 1%에서 가장 높게 측정되었으며, LDH를 첨가함에 따라 elongation이 감소하는 경향을 보였다. TS의 증가는 LDH와 polymer matrix 사이의 상호작용에 의한 것이라고 볼 수 있고, E의 감소는 LDH의 첨가에 따라 polymer matrix의 free side chain이 감소하기 때문이라고 해석할 수 있다.

표 5 PVA/PAA/LDH 필름의 기계적 특성

Sample Code	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
PAA/LDH0	73.56 ± 5.70	151.9 ± 26.71
PAA/LDH1	82.08 ± 3.67	49.77 ± 16.07
PAA/LDH3	78.14 ± 2.08	19.97 ± 4.72
PAA/LDH5	61.00 ± 4.18	8.04 ± 0.95

㉔ 빛 투과도 측정



<그림 43> PVA/PAA/LDH 필름의 투과도.

- 전반적인 PVA/PAA/LDH 필름의 투명도는 <그림 44>과 같이 우수하였다.



<그림 44> PVA/PAA/LDH 필름의 외관 사진

- UV-vis 광도계를 사용하여 600nm에서 측정된 결과값 또한 <그림 11>과 같이 85%이상의 우수한 투과도를 보여주었다. 또한, 230 nm에서는 투과도가 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 많은 논문들에서 보고되었듯 LDH가 갖는 자외선 차단능력 때문인 것으로 생각된다.

② 코팅품질평가 (PVA/PAA/LDH)

- 코팅액의 물성평가 결과에서 LDH 첨가에 따른 PVA/PAA/LDH 용액의 물성개선이 확인되었으므로 OPP20 필름의 코로나 처리가 된 면과 되지 않은 면에 각각 코팅하여 코팅 품질을 평가하였다.

표 6 PVA/PAA/LDH 코팅액의 코팅품질평가

샘플 이름5	비코로나면		코로나면	
	발림성	부착성	발림성	부착성
PVA/PAA/LDH1%	좋지 못함	좋지 못함	좋지 못함	좋음
PVA/PAA/LDH2%	좋지 못함	좋지 못함	좋지 못함	좋음
PVA/PAA/LDH3%	좋지 못함	좋지 못함	좋지 못함	좋음
PVA/PAA/LDH 5%	좋지 못함	좋지 못함	좋지 못함	좋음

- ‘부착성’의 기준은 건조 후 스카치테이프를 이용하여 코팅면 위에 무작위하게 접착 후 탈거를 3회 반복시 코팅면이 OPP필름에서 떨어져 나오지 않으면 ‘ 좋음’, 1회 떨어질 경우 ‘보통’, 2회 이상 떨어져 나온다면 ‘ 좋지 못함’으로 구분하였다.

- ‘발림성’의 기준은 코팅을 진행하였을 때 코팅면에 고르게 발리고 5\*5 cm<sup>2</sup> 당 지름 1mm 이상의 빈 공간이 평균 1개 이하인 경우 ‘ 좋음’, 2개 이하인 경우 ‘보통’, 3개 이상인 경우 ‘ 좋지 못함’으로 구분하였다.

- 코로나 처리가 되지 않은 면에는 발림성과 부착성이 모두 매우 좋지 못하였다. 하지만 코로나 처리가 된 면에 코팅한 경우에는 부착성은 좋은 것으로 나타났으며, 코팅된 OPP 필름 4cm<sup>2</sup> 당 지름 1mm정도 되는 작은 원형의 빈 부분이 1~3개 정도의 빈도로 나타나 상업용으로 사용하기에 품질균일성이 좋지 못한 것으로 평가되었다. 이는 OPP필름 표면의 표면 에너지가 낮아 낮은 친수성을 띄기 때문인 것으로 추측된다.

- 결과적으로 PVA/PAA/LDH 코팅액은 LDH의 첨가에 따라 PVA의 물성을 개선하는 것에는 성공하였으나 OPP 필름에 bar-coater를 사용하여 코팅하게 될 경우에는 잘 발리지 않는 것으로 확인되어 추가적인 물성의 변화를 주지 않는다면, bar-coater를 사용하여 OPP필름 위에 코팅하기에는 적합하지 않았다.

- 따라서 coating method를 변경하거나, 코팅액의 물성의 변화를 주거나, PP가 아닌 다른 polymer film에 코팅을 진행하여 코팅층의 균일성을 확보할 수 있다면 효과적으로 기체 투과도를 개선할 수 있는 코팅액으로 사용될 가능성은 확인하였다. 하지만 lab scale에서는 본 실험실의 장비를 활용하여 OPP위에 효과적으로 3 um 이하의 균일한 코팅을 진행하기에는 한계점이 있다고 판단하여 PVA/PAA/LDH용액을 코팅한 OPP 코팅필름의 추가적인 물성의 평가는 실시하지 않았다.

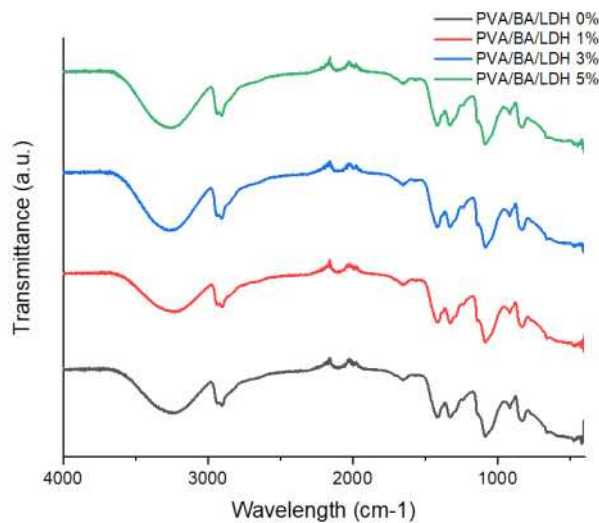
(나) PVA/BA/LDH 용액의 성능평가

① 코팅액 자체 개선도 평가 (PVA/BA/LDH)

- 위에서 실시한 PVA/PAA/LDH 코팅액과 마찬가지로 PVA/BA/LDH 용액의 코팅액 활용 가능성을 평가하기 위해 PVA/BA/LDH 코팅액으로 필름을 만들어 평가를 진행하였다.

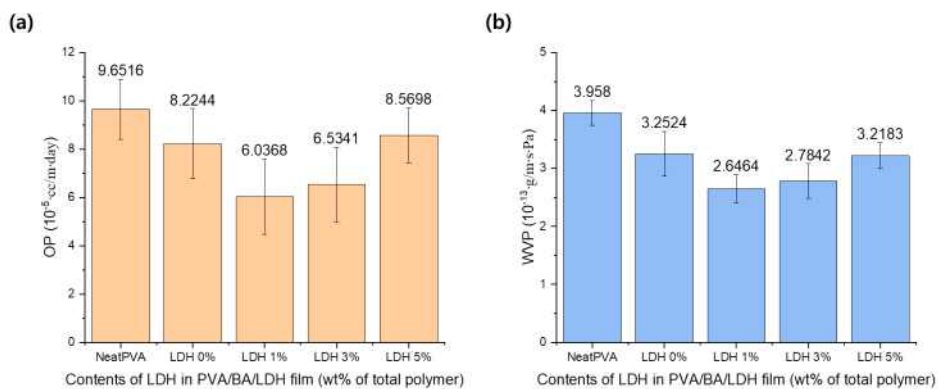
㉞ FT-IR

- PVA/BA/LDH 코팅액의 IR 상의 지문영역에 특징적인 피크의 변화가 나타나지 않았으므로 LDH가 잘 분산되었다고 볼 수 있으며, LDH의 첨가에 따라 OH기의 피크가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 LDH의 혼입에 따라 OH기의 함량이 증가하고, 수소결합이 잠재적으로 증가할 수 있음을 의미한다.



<그림 45> PVA/BA/LDH 필름의 FTIR spectra

㉞ 기체 투과도 평가 (WVP&OP)



<그림 46> PVA/BA/LDH 필름의 기체 투과도 측정결과. (a) OP, (b) WVP



- PVA/BA/LDH 용액의 기체 차단성은 1 wt%농도에서 최적인 것으로 나타났으며, 3% 이상에서는 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다.
- LDH 1%에서 순수한 PVA 대비 OP는 약 37.5% 감소하였고, WVP는 약 34% 정도 감소하였다. 이는 저함량의 LDH가 효과적으로 기체 차단성을 향상시킬 수 있음을 의미한다.

㊤ Mechanical properties

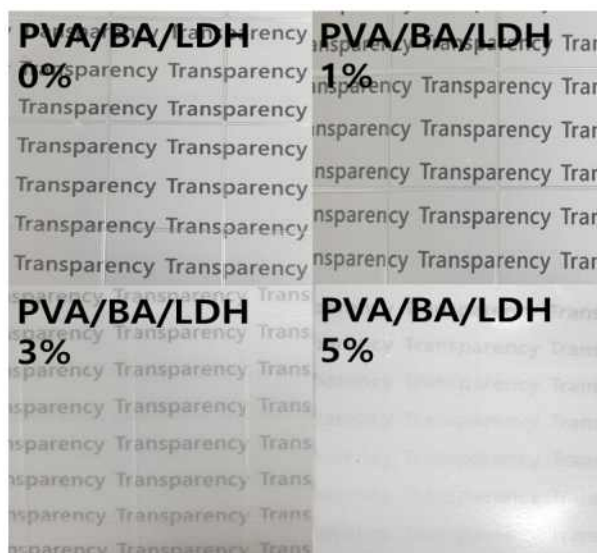
- UTM을 사용하여 PVA/BA/LDH 필름의 기계적 특성을 측정한 결과, LDH 함량이 1%일 때 가장 높은 TS값을 갖는 것으로 확인되었다. 이는 잠재적으로 PVA-BA가교구조와 LDH간의 정전기적 인력, 그리고 PVA와 LDH간의 수소결합으로 인한 것일 수 있다.

표 7 PVA/BA/LDH 필름의 Mechanical properties

Sample Code	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
Neat PVA	50.74 ± 5.75	502.50 ± 50.23
BA/LDH0	55.98 ± 2.57	146.34 ± 27.87
BA/LDH1	72.78 ± 5.52	45.00 ± 18.51
BA/LDH3	64.24 ± 6.65	42.00 ± 25.10
BA/LDH5	55.18 ± 3.93	25.60 ± 9.77

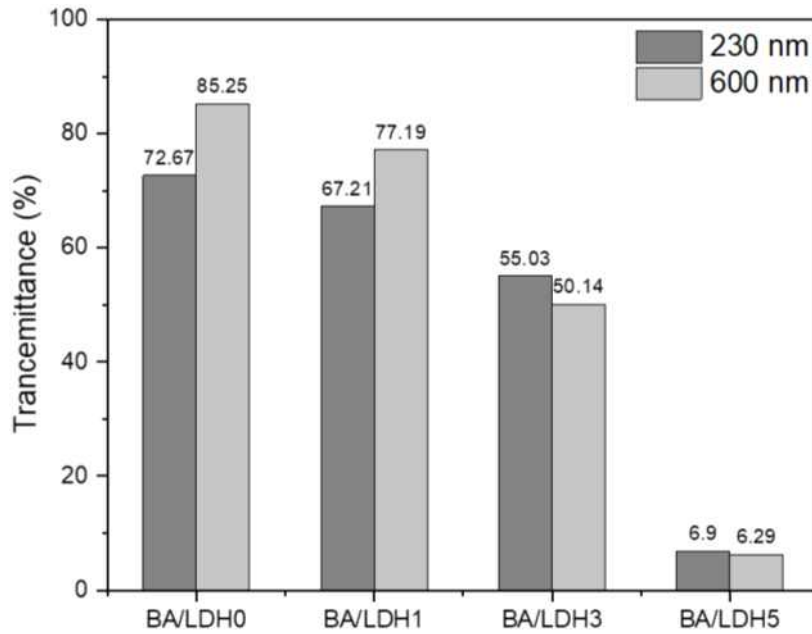
㊤ 빛 투과도 측정

- 앞에서 살펴본 PVA/PAA/LDH 필름과는 다르게 PVA/BA/LDH 필름의 경우 3%부터 탁한 외관을 보여주었고, 이는 LDH가 과량 들어가 polymer내에서 분산이 잘 이루어지지 않았기 때문으로 해석할 수 있다.



<그림 47> PVA/BA/LDH 필름의 외관

- <그림 49>를 보면, 가시광선 영역인 600 nm 파장에서 1%까지는 비교적 우수한 투과도를 보여주었고, 자외선 영역인 230 nm 파장에서는 어느 정도 차단성을 보였는데, 이는 LDH의 UV차단성에 의한 것이라고 할 수 있다.



<그림 48> PVA/BA/LDH 필름의 투과도

② 코팅품질 평가

- 앞의 선행 평가에서 LDH를 첨가함에 따라 PVA/BA/LDH 코팅액의 물성의 향상이 확인되었으므로 OPP필름 위에 코팅을 진행하고 코팅품질을 평가하였다.

- 앞서 PVA/PAA/LDH 코팅액에서 진행한 것과 동일하게 OPP20 기재필름의 코로나 처리면과 비처리면에 각각 코팅을 진행하였다.

표 8 PVA/BA/LDH 코팅액의 코팅 품질평가

샘플 이름	비코로나면		코로나면	
	발림성	부착성	발림성	부착성
PVA/BA/LDH 1%	좋음	중지 못함	좋음	좋음
PVA/BA/LDH 2%	좋음	중지 못함	좋음	좋음
PVA/BA/LDH 3%	좋음	중지 못함	좋음	좋음
PVA/BA/LDH 5%	좋음	중지 못함	좋음	좋음

- 두 경우 모두 발림성은 좋게 나타났으나, 코로나 처리면에서 월등히 높은 부착성을 보여주었다. 따라서 코로나 처리면에 코팅을 진행하여 OPP필름 특성의 개선정도를 측정하였다.



<그림 49> 비코로나면에 코팅된 PVA/BA/LDH 코팅필름의 단면 SEM 사진. 위는 PP, 아래는 코팅면

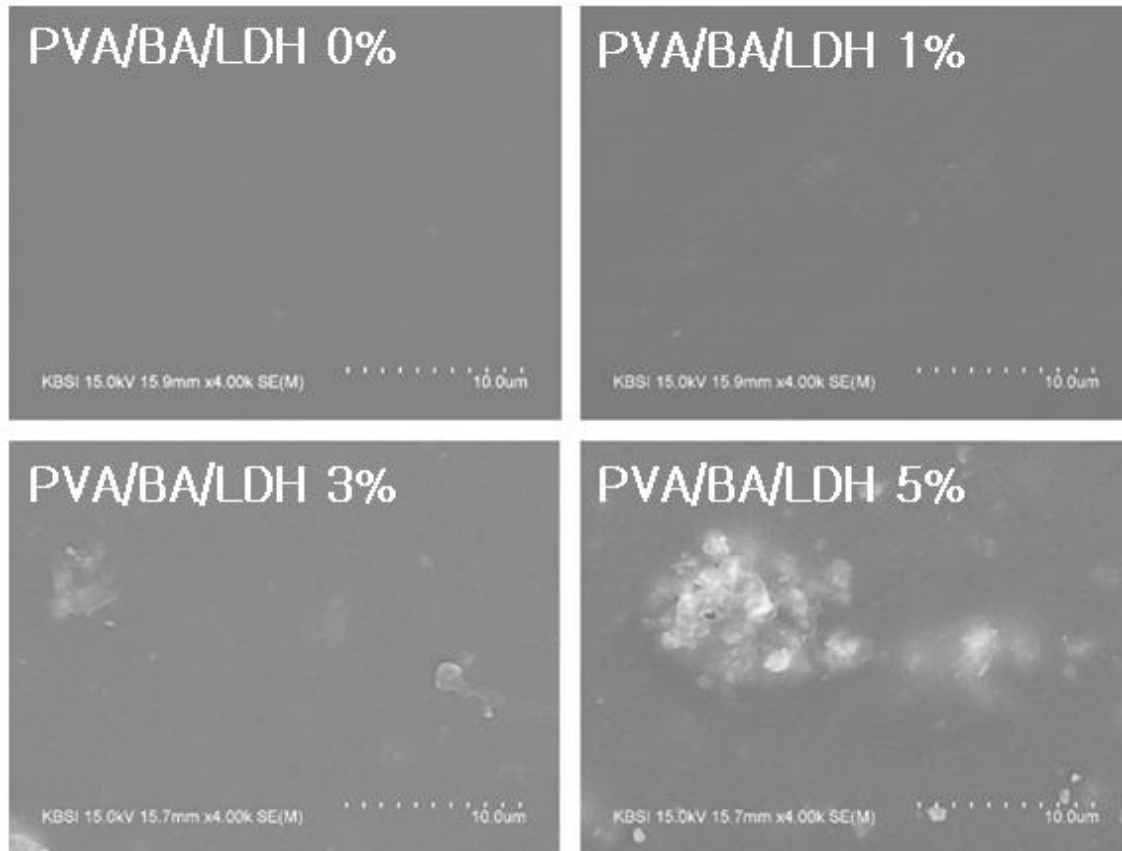
- 최종적으로 PVA/BA/LDH 코팅액을 OPP20 기재필름에 film applicator와 RDS#14 Bar-coater를 사용하여 25 mm/min으로 코팅한 뒤 80도 드라이오븐에서 12시간 건조하여 코팅 필름의 물성변화를 평가하였다. 이때 코팅층의 두께는 2-3um로 균일하였다.

### ③ 코팅된 필름의 물성 평가

#### ㉞ SEM 측정 (표면)

- <그림 51>과 같이 코팅된 OPP 필름의 표면의 SEM 측정 결과 3%에서부터 조금의 aggregation이 발견되었으며, 5%농도에서는 다소 크고 많은 aggregation이 발견되었다.

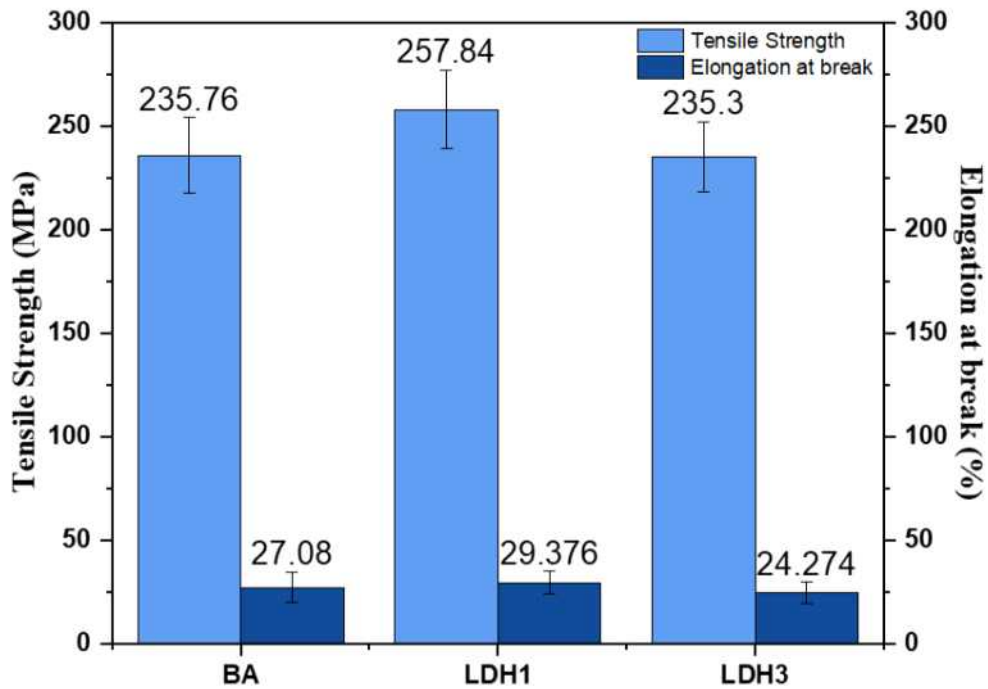
- 따라서 필름의 코팅액으로 사용하려면 최대 3%까지가 적절하며 만약 더 높은 함량의 코팅액을 개발하고자 한다면 LDH의 분산 방법을 달리하거나 용액의 구성물질을 변경하는 것이 바람직하다.



<그림 50> PVA/BA/LDH 코팅 필름의 SEM 사진.

⊕ Mechanical properties

- 응집이 눈에 띄게 발생한 LDH 5%를 제외하고 LDH 함량 0, 1, 3% 의 PVA/BA/LDH 코팅액을 코팅한 코팅필의 인장강도와 연신율을 UTM을 사용하여 측정하였다. 그 결과는 <그림 52>와 같다.
- LDH 함량이 1%일 때 가장 높은 값을 보이는 것으로 나타났으며, 필름으로 만들어 측정하였던 선행 실험에서의 경향과 마찬가지로 LDH의 함량이 1%를 넘어가면 인장강도가 감소하는 것으로 나타났다.
- 이는 일반적으로 나노클레이가 응집하면 인장강도가 감소하는 것으로 알려져 있는데 3%와 5%에서 응집이 발생하였으므로 TS의 감소는 LDH 응집과 관련이 있다고 해석할 수 있다.



<그림 51> PVA/BA/LDH 코팅액으로 코팅한 OPP20 필름의 기계적 특성

#### ㊤ 기체 투과도

- OPP필름에 PVA/BA/LDH 코팅액을 코팅한 필름의 WVP와 OP는 <표 10>과 같다.
- 코로나 처리를 하지 않은 면에 코팅한 결과 코팅면의 두께가 일정하지 못하고 부착력이 떨어져 결과값에 다소 큰 오차가 발생하였다. 이와 반대로 코로나 처리를 한 면에 코팅을 진행한 경우 2~3um 정도의 일정한 두께를 보여주었고, 산소투과도는 5%를 제외한 모든 코팅액에서 0.5 미만(검출한계 미만)의 값을 나타내었다.
- 또한 수증기 투과도의 경우 큰 오차 없이 일정하게 농도별로 4.3~4.7 정도의 일정한 값을 보여주었는데 이는 2년차에서 보고되었던 5.9의 값보다 약 30%정도 개선된 수치이다.

표 9 PVA/BA/LDH 코팅액으로 코팅한 OPP20 필름의 기체 투과도

Sample name	Non-corona treatment surface coating		Corona treatment surface coating	
	WVTR (g/m <sup>2</sup> ·day)	OTR (cc/m <sup>2</sup> ·day)	WVTR (g/m <sup>2</sup> ·day)	OTR (cc/m <sup>2</sup> ·day)
PVA/BA/LDH 1%	6.2 ± 0.14	1.1 ± 0.71	4.5 ± 0	below 0.5
PVA/BA/LDH 3%	6.35 ± 0.42	10.2 ± 9.89	4.325 ± 0.09	below 0.5
PVA/BA/LDH 5%	6.35 ± 0.21	3.5 ± 0.77	4.725 ± 0.05	3.6 ± 0.55

#### (4) 결론

- 최종적으로 OTR은 검출한계 값 미만의 값( $0.5\text{cc}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  이하)을 보이며 목표치에 도달했지만 WVTR은 설정한 목표( $3\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  이하)를 달성하지 못했다.
- 이는 박막이기 때문에 코팅층 단면에 분산된 나노클레이의 수가 적은 것을 이유로 생각해 볼 수 있으며 PP층의 표면 부착력이 낮아 코팅층의 박리 가능성이 존재하여 이로 인한 물성의 저하가 나타났을 수 있다.
- 향후 배리어 물성을 보완하기 위해선 분산 방법을 변경하여 더 높은 농도의 코팅액 개발하거나, PP층의 표면 부착력을 높여 코팅액의 부착력을 향상시킨다면 목표치에 도달한 차단성 필름을 제작할 수 있을 것이다.

### 나. 포장재 환경평가(고려대학교)

#### (1) 전과정평가 목적과 범위 (Goal & Scope) 설정

- LCA(Life-cycle assessment)는 제품 또는 시스템의 모든 과정인 원료채취 단계, 가공, 조립, 수송, 사용, 폐기의 모든 과정에 걸쳐 에너지와 광물자원의 사용과 이로 인한 대기 및 수계, 토양으로의 환경 부하량을 정량화하고 이들이 환경에 미치는 잠재적인 악영향을 규명하고, 환경 부하가 환경에 미치는 영향을 평가하여 이를 저감, 개선하고자 하는 기법이다.
- 이 연구에서는 기존에 유통되고 있는 라면과 스낵 포장재의 공정 및 재료(원재료, 코팅제, 필름, 잉크 등)에서 이번 과제를 통해 새롭게 개발한 공정(알루미늄을 제외한 라면 포장재, PET를 제외한 스낵 포장재)으로 변경한 후의 제품의 나타나는 긍정적인 환경영향을 전과정평가 LCA를 통해 평가하였다.
- 따라서 본 연구의 목적은 (주) 농심의 스낵과 면 포장재의 기존의 알루미늄 증착 복합소재 제품과 새롭게 개발된 친환경성 유니소재 제품에 관련하여 생산 및 폐기와 관련된 온실 가스(GHG) 배출을 포함한 환경 영향을 확인하고 비교하는 것이다. 따라서 각 공정 단계에서 발생하는 여러 가지 환경영향물질의 환경영향에 대한 정량화된 데이터베이스를 제시할 수 있도록 하며 환경부하를 감축하기 위한 대안을 제시할 수 있는 기반을 마련하도록 할 것이다. 이 연구의 scope는 포장재의 제조과정의 원료취득에서부터 폐기물 처리에 대한 관점을 다루는 cradle-to-cradle 로 설정하였다.

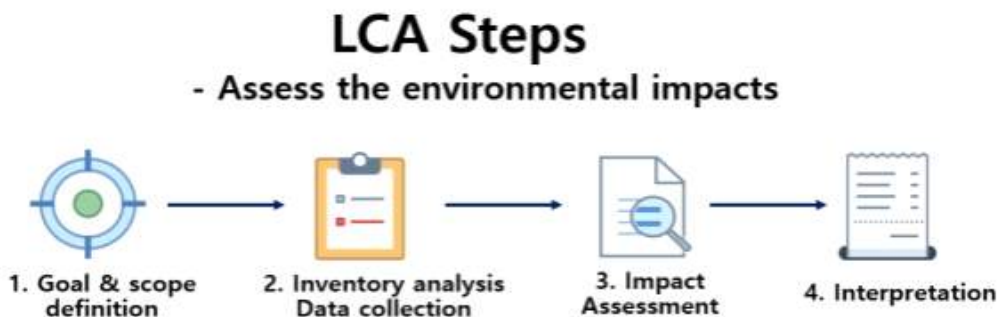


그림 52 전과정평가 수행단계

## (2) 기능유닛과 시스템 범위 설정

### (가) 기능유닛과 시스템범위 설정

- 전과정평가 수행을 위한 기능 유닛 (Functional unit)으로는 라면, 스낵 포장재 1000매를 만들기 위한 기존포장재 및 새롭게 개발된 패키지 필름으로 설정하였다. 10,000매에 해당하는 라면 포장재는 길이 700m x 높이 1.115m로 구성되어있고, 스낵 포장재는 길이 816.67m x 높이 1.115m로 구성되어있다. 시스템 범위 (System boundary) 작성을 위해서는 라면, 스낵 포장재의 공정도를 파악해야 한다. 따라서 울춘화학 공장을 방문하여 포장재의 공정도를 확인하였으며 이를 토대로 다음 그림20-23과 같이 시스템 공정도를 작성하고 범위를 표현했다. 면, 스낵 패키지의 기존제품과 개발된 제품의 시스템 범위이다.

- 이번 연구에서는 향후 결과분석을 용이하게 하기위해 시스템 공정별로 3단계로 구분하여 각각의 단계에서 발생하는 환경영향을 평가할 예정이다. 1단계는 Raw material, 2단계는 Processing, 3단계는 Waste treatment로 설정하였다. 기존 포장재와 개발된 포장재에 있어서 동일한 사용량을 가진 재료와 공정은 제외하고 빨간 점선 안쪽이 해당하는 범위만을 이번 평가에 적용시켰다.

### (나) 라면포장재 시스템 범위

- 기존의 라면포장재(ONP)는 OPP와 vmCPP를 적층한 형태로 만들어지며, 잉크와 접착제를 사용해 포장재가 만들어진다. 개발된 라면 포장재와 동일한 과정은 제외한 뒤, 해당되는 system 범위는 OPP film을 만드는 원료인 PP resin과 차단성을 위한 Aluminum이 Raw material 단계로 선정되었다. Processing의 경우 Resin을 Casting하는 과정과, Metalization 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력이 포함되었다. Waste treatment 과정에선 사용이 완료된 Film의 처리과정을 분석했다. 현재 Aluminum이 포함된 Multi layer film은 복합재질의 합성수지로 포함되어 모두 고형 연료(Solid Refuse Fuel, SRF)로 처리되고 있는 상황이지만 알루미늄 증착이 미량인 점과 '농심'의 재활용 실험을 통해 충분히 재활용이 가능하다는 점을 확인했다. 때문에 사용 종료 후 버려진 Film이 모두 재활용 과정을 향하여 pellet으로 만들어 지는 것(재활용)이 가능하다고 설정했다.

- 개발된 라면 포장재(DNP)는 ONP에서 Aluminum 증착을 제거하고 Coating 용액을 이용해 차단성을 향상시킨 포장재이다. 마찬가지로 동일 과정을 제외하면, Raw material의 경우 PP resin과 코팅 액으로 사용된 PVA, Water의 생산이 포함되었다. Processing의 경우 CPP, OPP 제조를 위한 Casting 과정과 코팅용액 제조와 Wet coating 공정이 포함되었으며 마찬가지로 각 공정별의 전력이 포함되었다. Waste treatment 경우 ONP와 동일하게 재활용되어 pellet으로 만들어지는 것으로 설정했다.

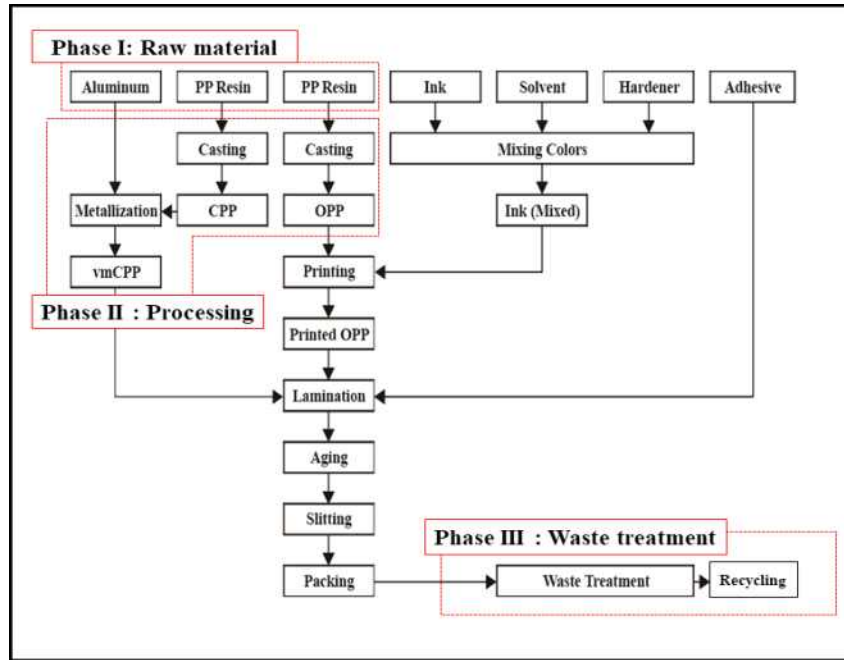


그림 53 기존 라면 포장재의 시스템 범위

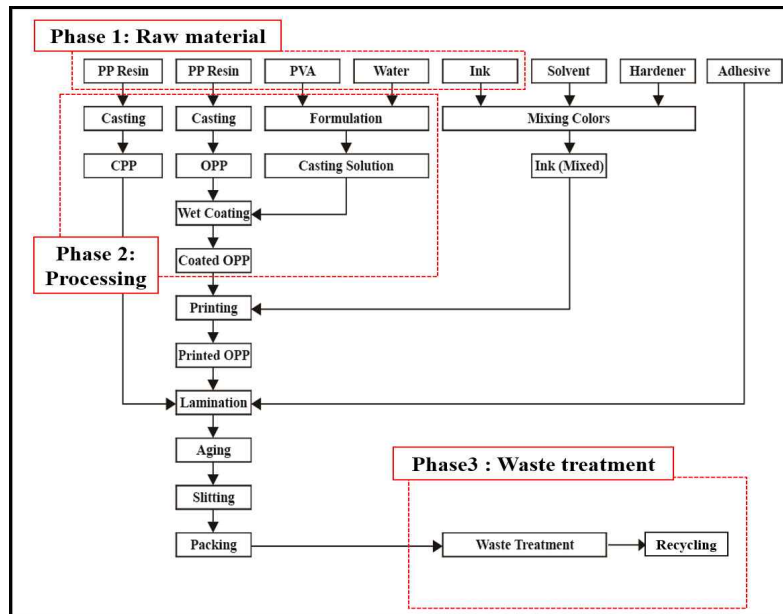


그림 54 개발된 라면 포장재의 시스템 범위

(다) 스낵포장재 시스템 범위

- 기존의 스낵 포장재(OSP)는 vmPET와 CPP, OPP를 사용한 형태로 LDPE를 접착제로 활용한 형태이다. 개발된 스낵 포장재와 동일한 부분을 제외하고, Raw material 단계에서는 PET와 Aluminum, LDPE가, Processing과정에서는 이를 제작하는 Metalization, Extrusion, Slitting 과정이 포함된다. Waste treatment 과정에서는, PET가 섞여 재활용이 불가능한 점을 앞선 실험에서 확인했기 때문에, 사용이 완료된 포장재 전부 SRF고형연료로 처리되는 것으로 설정했다.



- 개발된 스낵 포장재(DSP)는 PET를 제거하고 차단성을 위해 PVA를 사용한 모델이다. PET를 제거하는 대신 3개 층의 PP가 적층되어있는 형태이다. 시스템 범위에 포함되는 것은 Raw material에 PVA, Water, Aluminum, PP resin가 있으며 마찬가지로 LDPE가 접착제로 활용되었다. Processing의 경우 OPP제조를 위한 Casting 과정과 코팅용액 제조와 Wet coating 공정이 포함되었으며 각 공정별의 전력이 포함되었다. Waste treatment 경우 ONP와 구성이 비슷하기 때문에 동일한 이유 하에 사용이 완료된 모든 포장재가 재활용되어 pellet으로 만들어지는 것으로 설정했다.

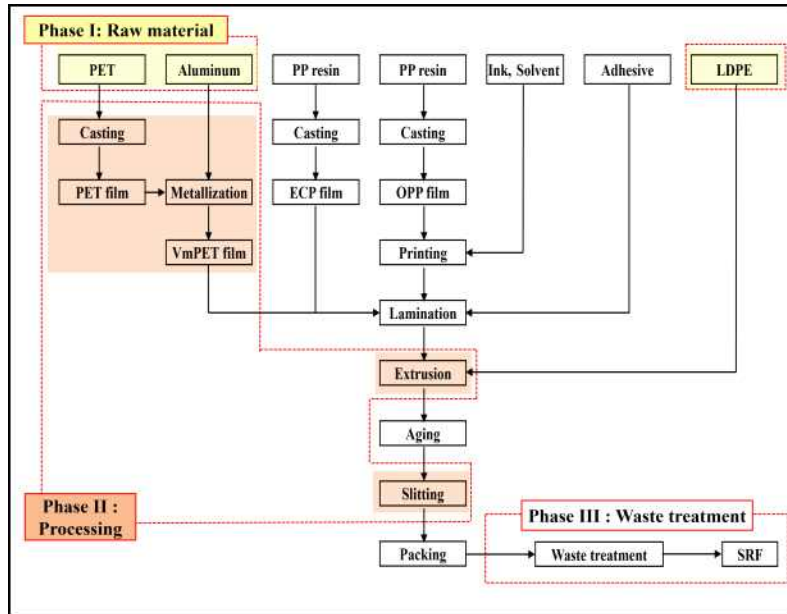


그림 55 기존 스낵 포장재의 시스템 범위

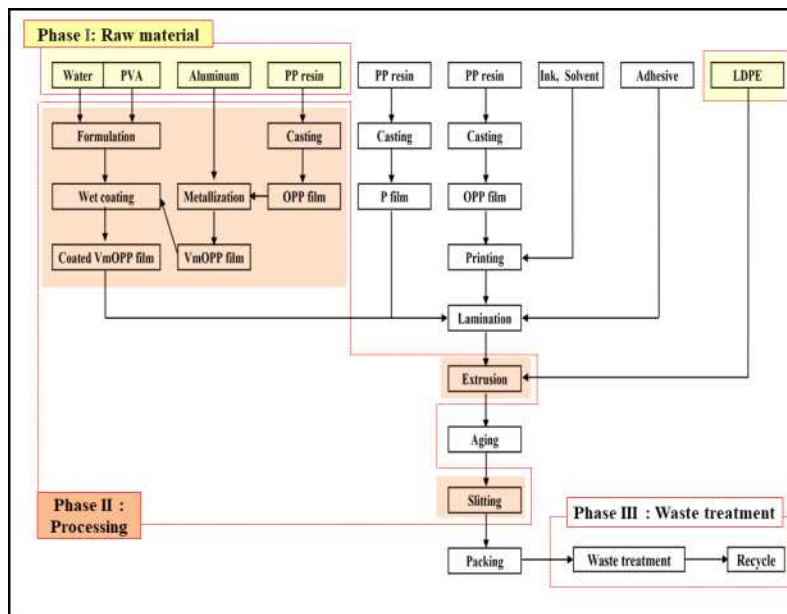


그림 56 개발된 스낵 포장재의 시스템 범위

### (3) Inventory analysis

- LCA 데이터 소스는 Ecoinvent 데이터베이스 V.3 및 SimaPro 9 소프트웨어 및 다른 논문을 참고했다. 데이터 소스는 표 7,8에 자세히 설명한다. Phase 1에서는 Ecoinvent V. 3 데이터베이스의 allocation at the point of substitution (APOS)를 활용하여 PP 및 Water을 계산했다. 알루미늄은 미국 수명주기 인벤토리 (USLCI)의 데이터베이스를 사용하여 분석되었으며, 이 데이터베이스는 환경으로 들어오고 나가는 에너지 및 재료 플럭스를 추적한다. Phase 2에서는 Ecoinvent V.3 (APOS)를 사용하여 필름 압출을 처리했으며 PVA 및 Wet coating에 관한 데이터는 울촌 화학에서 얻었습니다. 알루미늄 압출을 위한 데이터베이스와 Phase 3의 재활용 및 SRF 프로세스는 논문에서 일부를 차용했으며, 그 출처 또한 표 내부에 기록되어 있다. 또한 데이터의 품질 지표를 높이기 위해 pedigree matrix를 사용해 불확실성 평가를 했다. 불확실성은 DQI 혈통 매트릭스 에서 6 개 범주로 분류되어 각 측정 값 및 각 포인트 (1에서 5까지)에 대한 데이터의 품질을 결정했다.

표 10 기준, 개발 스낵 포장재의 데이터베이스

Phase	Material process	Process name	Database	Amount (per F.U)	
Phase I	Aluminum	Aluminum ingot, production mix, at plant/US	Ecoinvent 3	0.22 (kg)	
	OSP	LDPE	Steam, in chemical industry (RoW)  polyethylene production, low density, granulate   AP OS, U	Ecoinvent 3	33.56 (kg)
		PET		Ecoinvent 3	13.97 (kg)
	PP resin	Polypropylene, granulate (RoW)  production   APOS, U	Ecoinvent 3	14.99 (kg)	
	PVA	Jungbluth, N., Stucki, M., Flury, K., Frischknecht, R., & Büsser, S. (2012). Life cycle inventories of photovoltaics. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from		1.18 (kg)	
	DSP	Aluminum	Aluminum ingot, production mix, at plant/US	Ecoinvent 3	0.22 (kg)
		LDPE	Steam, in chemical industry (RoW)  polyethylene production, low density, granulate   APOS, U		25.17 (kg)
	Water	Tap water (RoW)  tap water production, underground water without treatment   APOS, U	USLCI	13.18 (kg)	
	Phase II	Section bar extrusion	Section bar extrusion, aluminum {GLO}  market for   APOS, U	Ecoinvent 3	0.44 (kg)
		OSP	Slitting	Data from 'Yulchon chemical'	
Extrusion			Extrusion, plastic film (RoW)  extrusion, plastic film   APOS, U	Ecoinvent 3	47.53 (kg)
Extrusion		Extrusion, plastic film (RoW)  extrusion, plastic film   APOS, U	Ecoinvent 3	40.16 (kg)	
Section bar extrusion		Section bar extrusion, aluminum {GLO}  market for   APOS, U	Ecoinvent 3	0.44 (kg)	
DSP		Formulation			2.42 (kwh)
		Slitting	Data from 'Yulchon chemical'		0.2 (kwh)
Wet coating				9.8 (kwh)	
Phase III		SRF	Yi, S., & Jang, Y. C. (2018). Life cycle assessment of solid refuse fuel production from MSW in Korea. Journal of Material Cycles and Waste Management, 20(1), 19-42.		55.7 (kg)
		OSP	Landfill	Landfill of municipal solid waste, landfill including landfill gas utilization and leachate treatment, without collection, transport and pre-treatment, AT, DE, IT, LU, NL, SE, CH technology mix, at landfill site EU-27	ELCD
	Incineration		Waste incineration of municipal solid waste (MSW), EU-27	ELCD	2.69 (kg)
	DSP	Recycling	Haupt, M., Kägi, T., & Hellweg, S. (2018). Life cycle inventories of waste management processes. Data in brief, 19, 1441-1457.		62.77 (kg)
		Incineration	Waste incineration of municipal solid waste (MSW), EU-27	Ecoinvent 3	11.08 (kg)

#### (가) 가정 및 한계

- 이 연구에서는 부족한 데이터베이스를 보충하기 위해 라면과 스낵 포장재의 연구에서 다음과 같은 가정 및 제한점들이 고려되었다. Cradle-to-cradle 프로세스를 모델링하지만 두 개의 포장재의 차이점만을 비교하기 위해 동일한 과정과 양을 갖는 것은 연구에서 제외했다. 때문에 포장재 안에 들어가는 식품의 제조과정, 식품의 포장, 충전 및 후반 작업 또한 제외했고 모든 운송과정 또한 제외되었다. 두 개의 포장재가 거의 동일한 무게를 갖고, 같은 공장에서 생산 되는 점과 같은 제품의 포장재를 비교하는 점 등을 고려해 생산 이후 이동되는 곳도 동일하다고 판단했다. 또한 Simapro는 질량 × 거리 단위를 사용하여 운송 관련 영향을 추정하기 때문에 이를 제외해

도 연구에 영향을 거의 미치지 않는다.

- Raw material 단계에서는 OPP 공정의 오리엔트 공정이 CPP 생산 공정과 동일한 양의 전기를 사용하기 때문에 추가 공정이 추가되지 않았다. 압출 공정에서 1kg은 0.98kg이 되지만 1 : 1 비율로 가정하고 계산했다. 사용 후 포장재 수거 및 분류 절차는 ONP와 DNP의 유사성으로 인해 폐기 단계에서 생략되었다. SRF공정과 Recycling 공정으로 만들어진 모든 필름이 향한다고 가정했고 이후 SRF는 국내 SRF 시설의 환경 영향 평가에 대한 선행 연구 자료를 활용, 운송을 제외한 통계를 각 공장의 플라스틱 처리량을 기준으로 산출해 당사 포장재의 중량에 맞게 환산했다. 재활용 데이터는 PE 재활용 방법을 활용했으며, 폐기물 관리 시스템의 수명주기 인벤토리에 표시된 대로 결과는 PP 과립의 85 %가 생산되고 재활용 되지 못한 나머지 15 %는 소각 된 것으로 가정했다.

#### (4) Impact assessment

- 수집 된 LCI를 평가하기 위해 글로벌 방법 인 ReCipe2016을 사용했다. 영향 범주 및 해당 지표는 효과 사슬을 따라 midpoint와 endpoint로 구성되며, 우리는 논쟁의 여지가 없는 가정과 덜 확립 된 사실을 포함하는 이점이 있는 midpoint를 선택해 평가했다. 그 중 Hierarchist (H)은 시간대 및 기타 문제에 관한 가장 일반적인 정책 원칙을 기반으로 측정하기 때문에 사용했다. Midpoint에 존재하는 18 가지 범주에 환경 영향 카테고리 중 우리는 global warming, non-carcinogenic toxicity, land use, marine ecotoxicity, Mineral resource scarcity, carcinogenic toxicity, ozone formation (human health), Fine particulate matter formation and terrestrial acidification 위 9개의 범주만 보고서에 나타냈다.

#### (5) 결과 해석

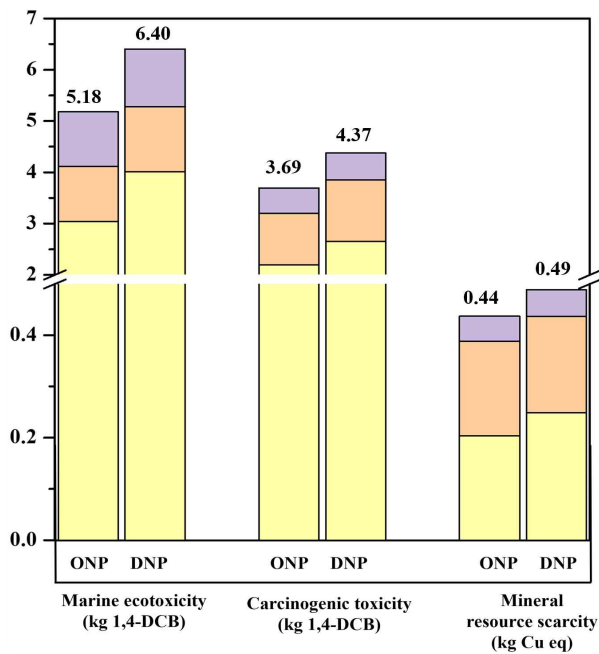
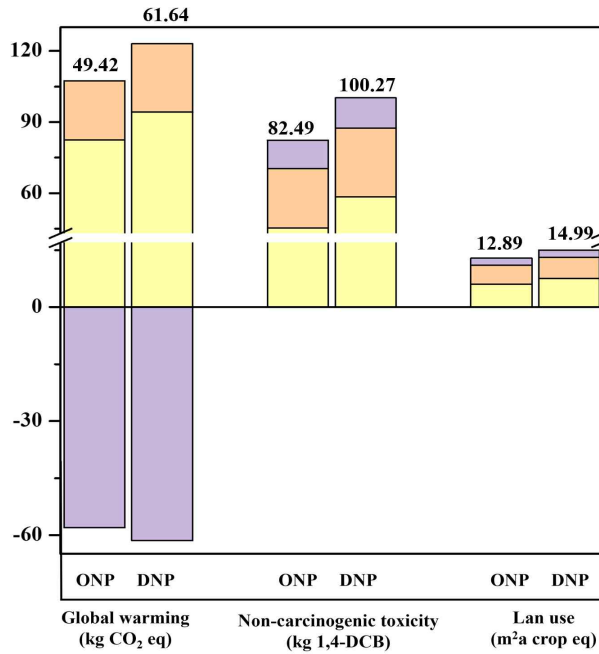
##### (가) 라면포장재

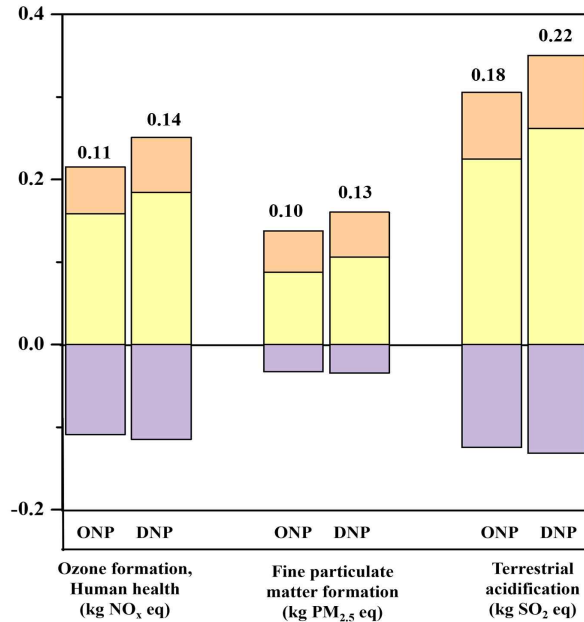
- 그림 24는 ONP 및 DNP에 대한 환경 영향 평가 분석 결과를 보여준다. 영향 평가는 기여도 분석을 이용했다. 환경 편익 섹션은 음의 값으로 표시된 부분으로 환경 부담을 낮춘다. 모든 결과 값에선 DNP가 ONP보다 높은 값을 가졌다. 전체 적인 값의 경향성은 Phase 1,2에서는 DNP가 높은 값을 갖고, Phase 3에선 특이하게 음의 값과 양의 값 모두 DNP가 크게 나타났다.

- 구체적으로, Global warming을 기준으로 보았을 때 둘의 값의 차이는 12.22kg CO<sub>2</sub> eq이다. Phase 1,2에서 많은 차이를 보이는데, 이것은 DNP에 PVA를 사용하는 과정으로 인한 것임을 알 수 있다. 이는 ONP에 존재하지 않고 DNP에만 존재하는 원료이기 때문인데, PVA를 물에 녹여 formulation하고, coating하는 과정이 이에 해당된다. 이렇게 둘 중 한가지에만 존재하는 것이 많은 영향을 끼치지만, ONP에만 존재하는 원료인 알루미늄은결과에 영향을 주지 않았다고 판단한다. 이는 사용된 양이 0.21kg으로, PVA의 사용량인 1.085kg에 비해 미량이기 때문이다. Phase 3 에서는 DNP가 ONP보다 1.05배 많은 음의 값을 갖는다. 이는 DNP의 최종 무게가 0.88kg정도 많기 때문에 재활용이 더 많이 되어 나타나는 결과이다. 하지만 최종 Global warming의 값을 비교했을 때 수치적으로 DNP가 더 많은 값을 갖기 때문에 새로 제작한 포장

재인 DNP가 기존 포장재 ONP 보다 환경에 미치는 영향이 크다고 판단된다.

- 전체적인 값이 크지 않은 지표들도 존재하기 때문에 값의 차가 미미해 비슷하게 보이지만, 비율로 보았을 때의 전반적으로 DNP가 1.16~1.28 배 높은 것을 확인할 수 있다. 가장 큰 차이가 나타난 것은 Ozone formation으로 0.023kg NOx eq의 값의 차이로 DNP가 1.27배 더 크다. Phase 1에서 가장 많은 차이가 나타난 것은 Marine ecotoxicity로 DNP가 1.32배 높았다. Land use는 그 다음으로 1.25배의 값을 가졌다. Phase 3의 값의 차이는 앞서 말한 것처럼 무게차이에 의한 것이기 때문에 모두 1.05배의 비율로 차이가 났다.





Raw material Processing Waste treatment

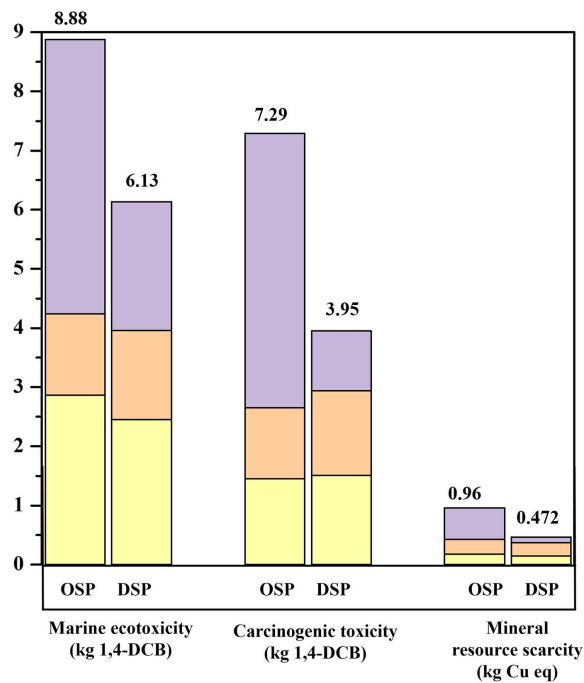
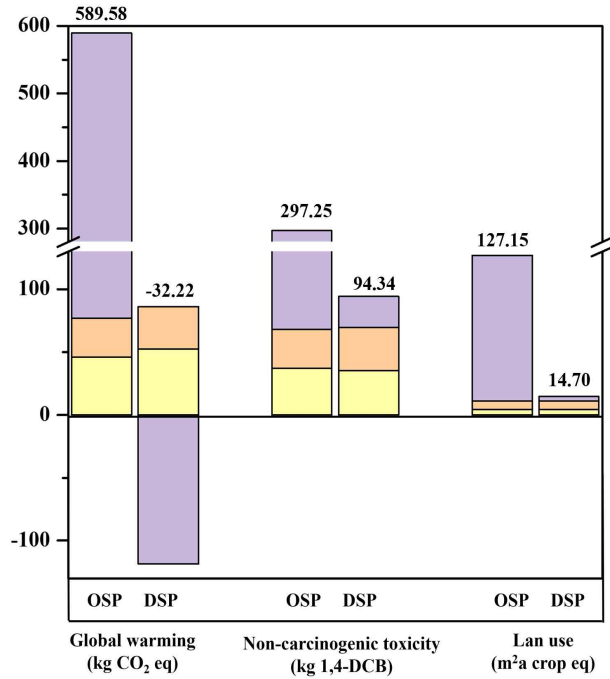
그림 57 기존, 개발 라면 포장재 환경 영향 비교

(나) 스낵포장재

- 그림 25는 OSP 및 DSP에 대한 환경 영향 평가 분석 결과를 보여준다. 영향 평가는 라면 포장재와 동일한 형태로 진행되었다. 기여도 분석을 이용했고, 3 단계의 폐기물 관리 프로세스로 인해 증가 된 환경 부하에 대한 책임이 있는 단계를 식별하는 데 사용했다. 환경 편익 섹션은 음의 값으로 표시된 부분으로 환경 부담을 낮춘다. 이 공정에선 재활용 공정으로 인해 갖는 환경적 이익을 나타낸다. 전반적으로 결과는 모두 OSP가 DSP보다 월등하게 큰 값을 나타냈다. 가장 많은 값의 차이를 나타내는 Global warming을 보면, 621.79kg CO<sub>2</sub> eq만큼의 값의 차이를 나타내며 이것은 OSP의 waste treatment 단계에서 최대 512.5 kg CO<sub>2</sub> eq의 GWP를 생성하기 때문에 SRF 공정이 환경 영향의 원인임을 알 수 있다. 또한 Phase 3의 DSP값이 -118.57 CO<sub>2</sub> eq를 가지며 환경적 이득을 크게 보였기 때문이다. 이러한 음의 값은 DSP의 재활용 공정으로 인한 것으로, 포장재가 폐기 후 Pellet으로 재사용되는 환경 편익을 나타낸 것이다. 반면에 Phase 1과 Phase 2는 모두 DSP가 더 높은 값을 나타내고 각각 9kg, 3kg CO<sub>2</sub> eq의 차이가 난다. 이는 라면 포장재의 결과와 동일하게 프로세스 전반에 걸쳐 추가된 PVA 때문이다. OSP가 DSP 보다 LDPE의 양이 많이 사용 되었지만, PVA를 녹이기 위해 사용한 물의 양도 18.74kg으로 상당한 것을 확인할 수 있다. 물론 물은 코팅 과정 후에 증발되어 최종 무게에 영향을 많이 주지 않지만 이를 녹이고, 코팅하는 과정에서 드는 전력의 값도 무시할 수 없다. Global warming과 비슷한 결과를 보여주는 지표에는 Human carcinogenic toxicity, Ozone formation, Terrestrial acidification가 있다.

- 두 번째로 차이가 많이 나는 것은 Human non-carcinogenic toxicity로 202.91kg 1,4-DCB 만큼의 차이를 나타낸다. 각 Phase별로 살펴보면, Phase 1은 OSP가 더 높지만, Phase 2는 DSP가 더 높은 값을 나타낸다. 하지만 전체적인 결과는 Phase 3에서 월등하게 발생한 차이 때문이라

고 보인다. Marine ecotoxicity 또한 비슷한 양상을 보여주지만, 최종적으로 DSP가 2.75kg 1,4-DCB만큼 작은 값을 가진다.



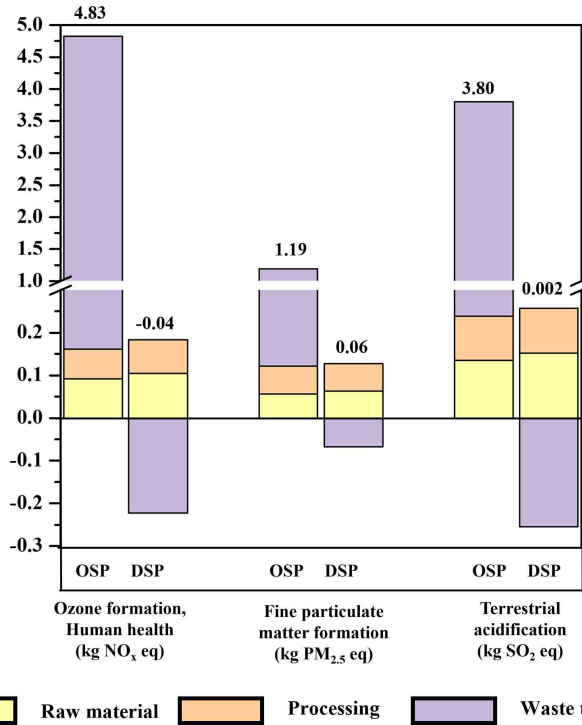


그림 58 기존, 개발 스낵 포장재 환경 영향 비교

## (6) 결론

- 라면 포장재에서 현재 사용하는 포장재인 ONP는 재활용이 가능한 소재로 이루어져있다. 하지만 알루미늄이 미량 섞여 있기 때문에, 이를 단일 소재화 하기 위해 PVA라는 물질을 사용해 차단성을 올려주는 포장재 DNP를 개발했다. 두 가지 포장재 모두 재활용이 가능하기 때문에 이를 가정으로 두고 환경영향평가를 진행한 결과, 모든 지표에서 ONP가 환경에 영향을 덜 끼치는 것을 확인했으며, 이는 DNP에 새로 추가된 PVA소재 때문인 것도 추가로 확인했다.
- 스낵 포장재에서 현재 사용하는 포장재인 OSP는 PET층이 섞여있기 때문에 재활용이 불가능하다. 미량이 섞인 알루미늄은 재활용에 영향을 주지 않음을 확인했기 때문에 PET소재만 PVA를 코팅한 PP로 교체한 포장재 DSP를 개발했다. 모든 지표에서 DSP가 환경에 영향을 덜 끼치는 것을 확인했으며, 이는 폐기물 처리 단계에서 재활용의 유무에 따라 큰 차이가 발생했기 때문이다. 정리하자면, 기존의 재활용이 되지 않는 포장재인 OSP가 새로 제작된 포장재 DSP보다 모든 지표에서 높은 환경영향을 나타낸다.

### 3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

#### 1) 연구수행 결과

##### (1) 정성적 연구개발성과

- 이종의 소재로 구성된 기존의 포장재를 단일소재화 할 수 있는 폴리올레핀계 유니소재 포장재를 제조하였음.
- 이는 물질재활용이 가능한 포장재로 기존 식품포장 시장을 대체 시 열회수되던 자원을 보다 높은 가치로 활용 가능함.
- 또한 환경 영향에 대한 전과정 평가(LCA)를 통해 실제 효과를 수치화하였음.
- 향후 지속 연구개발 및 적용과 확대를 통해 자원순환의 closed loop를 형성하는 데 한 축이 될 수 있음.

##### (2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

성과 목표	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	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자 유치		논문		학술 발표	정책 활용			홍보 전시		
												SCI	비SCI						논문 평균 IF	
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	5		10		20	10		10		5		10	10			5			
최종 목표	5	2		1		2	122,000		1		1	4		1.4	5		1			
실적	1차년	1	0		0	0	0		1		0	0		-	3		0			
	2차년	1	0		0	0	0		0		0	2		3.35	3		1			
	3차년	2	0		0	0	0		0		1	3		2.96	2		0			
	계	4	0		0	0	0		1		0	5		3.11	8		1			
달성률(%)	80	0		0		0	0		100		100	100		100	100		100			

##### (3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

##### [과학적 성과]



□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/ 비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	The fabrication of affinity improved nanocomposites with plasma treated polypropylene (PP) and alkaline cellulose nanofiber (CNF) suspension	Polymer testing	Bich Nam Jung	Volume 85	영국	Elsevier	SCI	20-05-04	0142-9418	100
2	Synergistic Effect of Cellulose Nanofiber and Nanoclay as Distributed Phase in a Polypropylene Based Nanocomposite System	Polymers	Bich Nam Jung	Volume 12, Issue10	스위스	MDPI	SCI	20-10-18	2073-4360	100
3	The fabrication of flexible and oxygen barrier cellulose nanofiber/poly(lactic acid) nanocomposites using cosolvent system	Journal of applied polymer science	Bich Nam Jung	Volume 137, Issue47	미국	Wiley	SCI	20-12-15	0021-8995	100
4	Barrier and structural properties of polyethylene terephthalate film coated with poly(acrylic acid)/montmorillonite nanocomposites	PACKAGING TECHNOLOGY AND SCIENCE	Ji Woo Lim	Volume 34, Issue3	미국	Wiley	SCI	20-11-22	0894-3214	100
5	Effects of layered double hydroxides on poly(vinyl alcohol)/poly(acrylic acid) films for green food packaging applications	Progress in Organic Coatings	Hee Jong Kim	Volume 163	영국	Elsevier	SCI	21-12-02	0300-9440	100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	Recent advanced technologies of chitin and chitosan for biomaterial applications	임지우	19-06-23	제주한라대학교 컨벤션센터	대한민국
2	2019 한국공업화학회 춘계 총회 및 학술대회	정빛남	19-05-03	부산 BEXCO	대한민국
3	2019 22nd International Conference on Composite Materials	정빛남	19-08-14	MCEC, 멜버른	호주
4	2020 한국공업화학회 학술대회	강동호	20-10-28	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
5	한국포장학회 학술대회	정빛남	20-07-28	KINTEX 제 1전시장 Hall 212	대한민국
6	한국포장학회 학술대회	김기홍	20-07-28	KINTEX 제 1전시장, Hall 212	대한민국
7	2021 한국고분자학회 춘계 학술대회	정빛남	21-04-09	대전컨벤션센터/온라인	대한민국
8	2021년 한국포장학회 제59회 춘계 학술대회	정빛남	21-05-26	KINTEX 제1전시장	대한민국

□ 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 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	공용매 시스템을 활용하는 현탁 공정 및 용융 공정을 포함하는 열가소성 수지/셀룰로오스 나노섬유 나노복합체의 제조방법	대한민국	한국생산기술연구원	19-11-29	10-2019-0157401				100		
2	폴리프로필렌 발포 시트를 포함하는 적층체, 상기 적층체로 이루어진 용기 및 그 제조 방법	대한민국	울촌화학(주)	19-11-04	10-2019-0139695				100		
3	재활용이 용이한 폴리프로필렌(PP) 계 단일재질로 구성된 산소 및 수분 차단성 포장재 및 그 제조방법	대한민국	울촌화학(주)	21-10-22	10-2021-0142065				100		
4	이축연신하는 단계를 포함하는, 산소 투과성이 감소된 기체차단막의 제조방법	대한민국	한국생산기술연구원	21-11-02	10-2021-0149090				100		

\* 기 특허출원한 건인 '공용매 시스템을 활용하는 현탁 공정 및 용융 공정을 포함하는 열가소성 수지/셀룰로오스 나노섬유 나노복합체의 제조방법'은 특허청으로부터 의견제출통지서를 받은 후 추가 데이터 확보 및 문헌 보충을 위해 OA대응 기간연장으로 인해 연구기간 내에 특허등록을 진행하지 못했음. 현재, 추가 데이터 확보 및 문헌 보충을 완료하였으며, 의견제출통지서에 대해 OA대응 중임.

○ 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

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		
1	신제품 인증	산업통상자원부	알루미늄 포장재 대체 식품포장재용 고찬단성 OPP필름	NEP-MOTIE-2021-123	21-09-29	대한민국

**□ 표준화**

**○ 국내표준**

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

- \* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

**○ 국제표준**

번호	표준화단계구분 <sup>1)</sup>	표준명	표준기구명 <sup>2)</sup>	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 <sup>3)</sup>	제안자	표준화 번호	제안일자

- \* 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- \* 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

**[경제적 성과]**

**□ 시제품 제작**

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

**□ 기술 실시(이전)**

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- \* 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

**□ 사업화 투자실적**

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

**□ 사업화 현황**

번호	사업화 방식 <sup>1)</sup>	사업화 형태 <sup>2)</sup>	지역 <sup>3)</sup>	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- \* 1) 기술이전 또는 자기실시
- \* 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- \* 3) 국내 또는 국외

### □ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

### □ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과				
사업화 계획	사업화 소요기간(년)			
	소요예산(천원)			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후
		-		
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후
	국내			
	국외			
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후
	수출			

### □ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)	합계
			2018년	
1	개질 및 분석 연구	(주)을촌화학	1	1
합계			1	1

### □ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

### □ 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

□ 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	채택	“비대면·온라인화” 대응을 위한 디지털 유통 경쟁력강화 방안	산업통상자원부	2021년	2021년 03월 04일에 발표된 “비대면·온라인화” 대응을 위한 디지털 유통 경쟁력강화 방안을 통해 반영되어 발표되었음

□ 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

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](해당 시 작성합니다)

---



---

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	국무총리상	제15회 대한민국 패키징 대전 대상	제15회 대한민국 패키징 대전 대상	ECOBY	21-05-25	행정안전부

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 재활용이 가능한 유탄식품용 포장재 개발	○ 유탄스낵용 포장재 개발 완료	○ 100
○ 특허출원 5건	○ 4건 출원	○ 80
○ 특허등록 2건	○ 0건 등록	○ 0
○ 기술이전 1건	○ 0건	○ 0
○ 기술인증 1건	○ 1건 달성	○ 100
○ 고용창출 1건	○ 1건 달성	○ 100
○ 제품화 2건	○ 0건	○ 0
○ 매출액 122,000 백만원	○ 0원	○ 0
○ 논문(SCI) 4건	○ 5건 달성	○ 100
○ 논문 평균 IF 1.4 이상	○ 3.1 달성	○ 100
○ 학술발표 5건	○ 8건 달성	○ 100
○ 정책활용 1건	○ 1건 달성	○ 100

#### 4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성합니다)

##### 1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 특허등록 : 특허 심사 지연
- 기술이전 : 기술이전 및 실시 계획 중
- 제품화 : 내부 의사결정 지연으로 과제종료 후인 2022년 상반기 적용예정
- 매출액 : 제품화 미달성으로 매출 미발생

##### 2) 자체 보완활동

- 제품화 및 매출액 발생, 기술이전과 관련하여 농심 내부 보고를 진행완료하였으며 제품 계획 중.

##### 3) 연구개발 과정의 성실성

- 폴리올레핀계 차단성 포장재 개발을 위해 필름 및 코팅제 개발 등을 진행하였으며, 이를 바탕으로 고차단성 필름을 개발을 완성하였음. (해당 내용으로 제 15회 대한민국 패키징대전에서 국무총리상 수상함.)
- 고차단성 소재와 관련하여 폴리프로필렌계 차단성 필름 및 포장재의 제조에 이르는 전 공정에 대한 연구를 진행함. 뿐만 아니라 해당 재질별 폐포장재를 이용한 재활용 실험 및 전과정에 걸친 환경성 평가를 통해 사용되는 소재 및 공정에 대한 세밀한 연구를 진행함.
- 고차단성 포장재 개발 뿐만 아니라 LCA 평가를 통해 친환경성을 검증하고, 결과적으로 재활용성 테스트를 통해 개발된 포장재가 물리적 재활용이 가능함을 확인하였음.

## 5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 본 연구는 산/학/연이 어루러져 컨소시엄을 구성하였으며 국내외 유니소재 포장의 현황을 조사하고 국내 기술을 활용하여 고차단성 유니소재 포장재를 개발하였음.
- 또한 재활용률 높이기 (환경 규제 대응/재활용 포장) 등 친환경 패키징 기술 개발에 대한 내용과 친환경 패키징 (제도/규제) 가이드라인 적합성 관리 기술 개발 필요에 대한 정책 제안을 진행하였음.
- 향후 유탄식품과 비유탄식품, 그리고 비식품 분야의 포장재의 물질재활용 활성화에 기여할 수 있으며 에너지 절감, 온실가스 저감이 가능할 것으로 사료됨.

## 6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내 목표치
매출액	종료 1차년도	3,000 백만원
	종료 2차년도	10,000 백만원
	종료 3차년도	24,000 백만원
	종료 4차년도	36,000 백만원
	종료 5차년도	48,000 백만원
	계	121,000 백만원
정성적 성과 주요 내용		레토르트 제외 식품군 대상 포장재 지속 개발 및 확대적용

### < 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.	1)
	2)



[별첨 2]

## 자체평가의견서

1.

		과제번호		318089-3	
사업구분	고부가가치식품기술개발				
연구분야	식품 / 식품공학 / 기타 식품공학			과제구분	단위
사업명	고부가가치식품개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	유당처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발			과제유형	개발
연구기관	(주)농심			연구책임자	김훈중
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차연도	2018. 11. 9 ~ 2019. 11. 8	450,000	300,000	750,000
	2차연도	2019. 11. 9 ~ 2020. 11. 8	351,000	234,000	585,000
	3차연도	2020. 11. 9 ~ 2021. 11. 8	339,000	226,000	565,000
	계		1,140,000	760,000	1,900,000
참여기업	울촌화학(주), 한국생산기술연구원, 고려대학교				
상대국	상대국연구기관				

\* 총 연구기간이 5차연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2022 년 01 월 07 일

3. 평가자(연구책임자) : 김훈중

소속	직위	성명
R&D부문 면개발실	실장	김훈중

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 김훈중

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

확약 

[별첨 3]

## 연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	기능성식품 및 소재
연구과제명	유당처리 식품용 재활용 가능 포장재 개발		
주관연구기관	(주)농심	주관연구책임자	김훈중
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금
	1,140,000	760,000	-
연구개발기간	2018. 11. 09 ~ 2021. 11. 08 (36개월)		
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타( 상품화 ) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: )		

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 특허출원 5건	특허출원 4건
② 특허등록 2건	특허등록 0건 - 특허 심사 지연으로 기간내 등록 되지 못함
③ 기술실시 1건	기술실시 0건 - 기간내 제품화 미진행으로 인해 기술실시 건수가 미달됨 - 코로나19등으로 인해 과제가 지연되면서 최종 보고 일정이 늦어져 제품화 결정이 내부적으로 지연되었으며, 2022년 상반기 제품화 예정임(내부 결정 완료)
④ 제품화 2건	제품화 0건 - 기간내 제품화 미진행으로 인해 제품화 건수가 미달됨 - 코로나19등으로 인해 과제가 지연되면서 최종 보고 일정이 늦어져 제품화 결정이 내부적으로 지연되었으며, 2022년 상반기 제품화 예정임(내부 결정 완료)
⑤ 매출액 122,000백만원	매출액 0원 - 기간내 제품화 미진행으로 인해 매출액 금액 미달됨 - 코로나19등으로 인해 과제가 지연되면서 최종 보고 일정이 늦어져 제품화 결정이 내부적으로 지연되었으며, 2022년 상반기 제품화 예정임(내부 결정 완료)
⑥ 고용창출 1명	고용창출 1명 - 율촌화학 청년고용 1명
⑦ 기술인증 1건	신제품인증 1건
⑧ 논문평균 IF 1.4	논문평균 IF 3.11
⑨ 학술발표 5건	학술발표 8건
⑩ 정책활용 1건	정책활용 1건

### 3. 연구목표 대비 성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용 홍보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF	학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I							
단위	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	5		10		20	10		10		5			10	10			5		
최종목표	5	2		1		2	122,000		1		1	4		1.4	5			1		
연구기간내 달성실적	4	0		0		0	0		1		0	5		3.1 1	8			1		
달성율(%)	80	0		0		0	0		100		100	100		100	100			100		

### 4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	차단성 액제 대면적 wet코팅 기술 개발
②	고차단성 알루미늄 증착 필름 제조 기술 개발
③	이축연신하는 단계를 포함하는, 산소 투과성이 감소된 기체차단막의 제조방법
④	공용매 시스템을 이용하는 현탁 공정 및 용융 공정을 포함하는 열가소성 수지/셀룰로오스 나노섬유 나노복합체의 제조방법
⑤	PAA/MMT 나노복합체 코팅을 통한 PET 필름의 차단성 향상
⑥	손쉬운 방법을 통해LDH가 분산된 PVA/PAA 블랜드 코팅액의 박막 코팅을 통한OPP의 기체 차단성 강화기술
⑦	polyaniline (PANI) 처리된 zinc oxide nanoparticles을 이용해 바이오나노복합체 필름의 항균 활성 향상

### 5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술소 화흡수	외국기술개 선개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√				√	√			
②의 기술						√	√			
③의 기술		√				√				
④의 기술		√				√				
⑤의 기술	√	√								
⑥의 기술	√	√								
⑦의 기술	√	√								

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	고수분 차단성을 요하지 않는 제품군 적용 검토 수분차단성 향상 연구를 통한 적용 가능 아이템 발굴, 접목 확대
②의 기술	과제 종료 후 단일재질(유니소재) 스넵포장재 접목, 매출화 스넵 외 PP기반 포장재 적용 대상 아이템 확대
③의 기술	기존의 기재 필름에 대체하여 적용 가능하며, 기존의 BOPP보다 산소차단성능이 우수하여 유니소재 배리어 필름 기재로 사용할 수 있는 가능성이 높음
④의 기술	소수성 고분자 매트릭스 내에 친수성인 산소차단성 첨가제 분산성 향상에 효과적인 가공방법에 대한 기술이며 배리어 기재 필름의 산소차단성 향상을 위해 적용할 수 있음
⑤의 기술	PET 필름의 차단성 향상을 통해 높은 산소 차단성을 요구하는 식품에 적용 가능
⑥의 기술	재활용성이 강화된 유니소재 포장재에 적용을 통해 보존성 강화를 통해 친환경성 포장재의 개발에 적용 가능.
⑦의 기술	생분해성 물질에 항균 활성 개선을 통한 플라스틱 오염 물질 퇴치

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문 SC I	비 SC I	논문 평균 IF			학술 발표	정책 활용	
단위	건	건	건	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명				
가중치	15	5		10		20	10		10	5			10	10			5		
최종목표	5	2		1		2	122,000		1	1	4		1.4	5			1		
연구기간내 달성실적	4	0		0		0	0		1	0	5		3.11	8			1		
연구종료 후 성과창출 계획	0	2		1		2	122,000		0	0	0		0	0			0		



## 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업 유탕식품용 재활용 가능 포장재 개발 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.