

117040-3

수출전략기술개발사업 최종 보고서

발간 등록 번호

11-1543000-003155-01

농산물 수출 증진을 위한 생분해성 플라스틱 단위 포장재 개발 최종보고서

2020.07.10.

주관연구기관 / 연세대학교 원주산학협력단
협동연구기관 / (주)에이치피엠글로벌

농산물 수출 증진을 위한 생분해성 플라스틱 단위 포장재 개발 최종 보고서

2020

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “농산물 수출 증진을 위한 생분해성 플라스틱 단위 포장재 개발” (개발기간 : 2017. 4. 21 ~ 2019. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 07. 10.

주관연구기관명 : 연세대학교 원주산학협력단 (대표자) 김택중 (인)

협동연구기관명 : (주)에이치피엠글로벌 (대표자) 정원영



주관연구책임자 : 박수일

협동연구책임자 : 임광빈

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	117040-3	해 당 단 계 연 구 기 간	2017 . 4. 21 ~ 2019. 12. 31	단 계 구 분	총 1단계/ 총 1단계
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	수출전략기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	농산물 수출 증진을 위한 생분해성 플라스틱 단위 포장재 개발			
연구책임자	박 수 일	해당단계 참여연구원 수	총: 16 명 내부: 8 명 외부: 8 명	해당단계 연구개발비	정부: 224,000 천원 민간: 75,000 천원 계: 299,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 22 명 내부: 13 명 외부: 9 명	총 연구개발비	정부: 631,000천원 민간: 211,000천원 계: 842,000천원
연구기관명 및 소속부서명	연세대학교 원주산학협력단 과학기술대학 패키징학과			참여기업명 : (주)에이치피엠글로벌	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호	1	2	1								

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

1. 세계적으로 증가하고 있는 환경규제로 인한 무역장벽 해소를 위해 농산물용 생분해성 포장재 2종과 상용화를 고려한 저단가 보급형 생분해성 포장재 1종을 개발함.
2. 국내 농산물 수출동향 및 해외 현지 조사를 통한 농산물 유통 및 포장형태조사를 통해 적용 농산물 품목을 확립하였으며, 생분해성 포장재 3종 개발에 필요한 모든 자료 및 정보를 확보.
3. 3가지 단계(Lab Scale, Pilot Scale, 양산)를 설정하여 연구 개발 제품에 최적화된 적정 함량비 및 생산공정을 확립하였고 학술논문 및 학술발표 실적을 달성.
4. 연구 개발된 포장재의 선도 유지 테스트 및 전과정 평가(LCA)를 통해 환경영향을 분석하였으며, 기존 포장재의 기능성 및 환경성에 대한 대체가능성을 검증하였음.
5. 호흡 형태별 생분해성 포장재 개발 및 저단가 보급형 생분해 포장재 개발을 통한 M/B제조법 확립 및 적용품목 확대 방안을 수립.
6. 검증된 개발 포장재를 양산 적합성 분석 및 시제품 필름 생산을 통해 협동기업에서의 사업화 실현 중에 있으며, 본 연구개발을 통해 취득한 기술에 대해 기술이전 실시하였음.
7. 개발된 생분해 단위포장재는 농산물 및 기타제품군에 확대활용 가능성이 큼

보고서 면수
168면

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>1. 연구의 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> □ 연구의 목적 <ul style="list-style-type: none"> - 농산물 소포장용 OPP/LLDPE 필름을 대체 가능한 수준의 생분해성 포장재 개발 □ 연구의 세부 목적 <ul style="list-style-type: none"> - 농산물 호흡 형태별 passive MA 생분해성 포장재 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 투과도 기준으로 고투과도 1종(A), 저투과도 1종(B) - 상용화를 고려한 저단가 보급형 생분해성 포장재 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 고투과(A), 저투과(B), 보급형(C) 포장재 모두 농산물 크기별 3종 규격으로 개발 □ 연구의 내용 <ul style="list-style-type: none"> 1) 농산물 호흡형태별 산소투과도 조절 생분해성 포장재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 투과도 조절 생분해성 포장재 개발을 위한 Lab. scale 연구 - Pilot 테스트를 위한 장비 개조 - 개발된 M/B 적용 Pilot 및 Plant 테스트 - 개발된 포장재의 선도 유지 테스트를 통한 기존 포장재의 기능성 대체 가능성 검증 2) 상용화를 고려한 저단가 보급형 생분해성 포장재 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 생분해성 소재 및 충전제 스크리닝 - 충전제를 포함한 M/B 제조법 확립 - 개발된 M/B적용 생분해성 포장재 Pilot 및 Plant 테스트 3) 개발된 생분해성 포장재의 생분해 테스트 4) 개발된 생분해성 포장재의 전과정평가(LCA)를 통한 환경영향 분석
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ 핵심 성과 <ul style="list-style-type: none"> 1) 사업화 지표 <ul style="list-style-type: none"> : 특허출원 2건(특허등록 진행 중), 기술실시 1건 2) 연구기반 지표 <ul style="list-style-type: none"> : 학술논문 SCI급 2편, 학술발표 4건, 홍보전시 1건

		<input type="checkbox"/> 전략 성과 1)농산물 수출용 생분해성 포장재 양산 기술 확립 및 제품개발							
개발제품		주요성능지표							
		인장강도 (N/mm ²)		연신율 (%)		실링강도 (N/15mm)		산소투과도 (cc/day mm ²)	
		목표	실측	목표	실측	목표	실측	목표	실측
생분해성 포장재	저투과	40	55.9	50	326.9	9.8	9.8	1,500	1,980
	고투과	40	55.0	50	351.2	9.8	12.0	15,000	16,600
저단가 보급형 포장재		40	41.6	100	7.1	11.7	12.4	-	-
		- 저단가 보급형 포장재 제조원가가 기존 생분해 포장재의 84% 수준으로 가격경쟁력 확보							
		2)농산물 수출용 생분해성 포장재 생분해성 검증							
시험 물질		생분해 백분율 (%)			생분해 기준				
		절대		셀룰로오스 기준		ASTM D6400		ISO 17556	
셀룰로오스(표준물질)		84.2		100.0		60% (절대값) 이상/180 일 이내		60% (셀룰로오스기준) 이상	
생분해성 농산물 필름		61.7		73.2					
저단가 보급형 생분해성 포장재		64.0		76.0					
		3)농산물 수출용 생분해성 포장재 LCA분석을 통한 환경영향평가 확인							
		4)수출주요농산물 선도유지 테스트를 통한 생분해성 포장재의 기존 포장재 대체 가능성 검증							
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<input type="checkbox"/> 세계적으로 증가되는 플라스틱 사용 규제 및 친환경 플라스틱 대체 요구 증가에 따라 발생 될 수 있는 수출 지향형 국내기업 및 영농조합의 수출장벽 해소에 기여 가능 <input type="checkbox"/> 본 과제수행을 통해 얻은 결과물을 이용하여 논문2편, 기술이전 1건을 추가로 진행할 예정임 <input type="checkbox"/> 농업부산물을 활용한 생분해 포장재 개발 기술을 통해 기존 생분해 포장재의 가격적인 단점을 극복하여 수출용 농산물 포장재 적용한계를 극복할 수 있음 <input type="checkbox"/> 포장재 관련 업체들과 기술이전 등을 통한 농업부산물을 활용한 다양한 저단가 생분해 단위 포장재 제품개발을 추진할 계획임								
국문핵심어 (5개 이내)	생분해성 플라스틱	농산물 수출 증진	단위 소포장	환경규제	수출 포장				
영문핵심어 (5개 이내)	Biodegradable Plastic	Improvement of agricultural exports	Unit package	Environment regulation	Export package				

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요	6
제 2 장 연구수행 내용 및 결과	16
제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	152
제 4 장 연구결과의 활용 계획 등	156
붙임. 참고 문헌	164

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

1. 최종 연구 목표

- 농산물 소포장용 OPP/LLDPE 필름을 대체 가능한 수준의 생분해성 포장재 개발

2. 세부 연구 목표

가. 농산물 호흡 형태별 생분해성 포장재 개발

- 투과도 기준으로 고투과도 1종(A), 저투과도 1종(B)

나. 농산물용 저단가 보급형 생분해성 소포장재(C) 개발

다. 고투과(A), 저투과(B), 보급형(C) 포장재 모두 농산물 크기별 3종 규격으로 개발

(1) 주요 기능

- OPP/LLDPE 수준의 물성을 가진 생분해성 포장재
- 다양한 농산물의 소포장 용도로 적합한 산소투과도 및 투명성 확보
- 상용화 가능한 수준의 단가 확보

(2) 주요 성능치

주요 성능지표	단위	최종 개발목표	객관적 측정방법	
			시료 수	시험 규격
Gas barrier properties (Oxygen)	cc /day /mm ²	15,000(A) 1,500(B)	5	ISO
Sealing strength	N /15mm	9.8(A,B) 11.7(C)	5	ISO
Tensile strength	N/mm ²	40(A,B,C)	5	ISO
Elongation	%	50(A,B) 100(C)	5	ISO
Degradation test	%	60 (A,B,C)	1	ASTM

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 대상의 국내외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

(1) 기술현황

- 우리나라의 바이오 플라스틱 기술에 대한 연구는 선진국 수준에는 현저히 못 미치는 것으로 평가되어, 원천 기술개발의 저변 확대가 필요¹⁾함
- 국내 바이오플라스틱산업은 원료 및 플랫폼 중심의 업스트림(upstream)보다 가공제품 중심의 다운스트림(downstream) 부문이 더욱 활발²⁾함
- 이는 PLA와 같은 원료를 수입하여 최종제품(필름, 섬유, 합성수지 등)으로 생산하는 가공 중심의 바이오플라스틱산업이 우선적으로 성장하고 있음을 보여줌
- 대기업은 바이오 레진 생산비용 절감 연구, 생분해 시점 조절 개발 연구, 중소기업은 바이오 레진을 활용한 생활용품 제조 판매, 연구소의 경우 범용레진과 컴파운드 등을 통한 자동차 부품 및 중간체 연구 개발관점의 기술연구가 이루어지고 있음

(2) 시장현황

- 국내 바이오플라스틱산업은 2018년에 4만톤의 수요량을 기록하며 아시아시장에서 6%의 비중을 차지할 것으로 전망³⁾됨
- 2018년 국내 바이오플라스틱 시장 규모는 약 1억달러에 도달할 것으로 보이나 국내 플라스틱 수요 전망치의 약 0.51%에 불과한 수준

(3) 경쟁기관현황

- H社: 일본의 T社(원료제공)와 협력들 통해 바이오 PET를 생산하여, P社의 콜라병 용으로 납품
- S社: PLA를 원료로 사용한 이축연신필름 생산
- D-S社: 옥수수전분을 원료로 PLA 생분해 플라스틱 생산
- C社: PLA D형 상업화 기술 개발, PLA 원스톱 융합공정기술 개발 등의 원소재 대량 생산을 위한 연구 진행 중
- L社: 일 1톤이상 PLA 중합 및 가공응용제품 생산 기술개발 진행 중
- G社: 통합공정용 바이오 콤비나트 기술개발 진행 중

1) 유영선 외(2015) 국내외 바이오 플라스틱의 연구개발, 제품화 및 시장 동향

2) 산업연구원(2014) 산업경제

3) 산업연구원(2014) 산업경제

(4) 지식재산권현황

1	공개번호	특허명	출원인
	10-2011-0008276	내열성 폴리락스산 화합물	폴리원 코포레이션
	기술요약		
<p>본 발명은 스티렌 말레산 무수물 코폴리머(SMAC)를 사용함에 의해, 블렌딩된 화합물이 사용 전에 본질적으로 건조되었을 때 ASTM D648을 이용하여 측정시 66 psi에서 폴리락트산(PLA) 단독의 열 변형 온도에 비해 5℃의 델타개선을 능가하는, PLA 화합물의 열 변형 온도에서의 예상치 못한 증가를 야기시킴에 의해 PLA 사용의 현저한 단점을 해소하였다. 화합물은 또한 종종 열 변형 온도에 있어서 65℃의 역치를 초과한다. 상용화제 및 충격 변형제의 사용은 내열성 PLA 화합물의 산업적 변동을 추가로 개선시킨다. 대안적으로, 내열성 PLA 화합물에서 탄산칼슘의 사용이 또한 산업적으로 가치가 있다.</p>			
2	공개번호	특허명	출원인
	2014-0105174	폴리락트산(PLA) 미세입자의 스프레이 공법에 따른 제조방법	주식회사 바임
	기술요약		
<p>고분자 미세입자의 스프레이 공정에 따른 제조방법에 관한 것으로 폴리에스테르계 고분자를 용매인 에틸렌 카보네이트(Ethylene carbonate)(이하 "EC"라 한다)에 용해시켜 얻은 고분자용액을 저온의 탄화수소 혹은 알코올용액에 분사시켜 냉동된 EC/고분자 미세입자를 만든 후, 이를 염 수용액에 녹여 EC를 용해, 제거하고, 물에서 잔류하는 EC를 세척하여 제거함으로써 고분자 미세입자를 제조하는 방법</p>			
3	공개번호	특허명	출원인
	2014-0095925	셀룰로오스 및 폴리락틱산을 포함하는 생분해성 수지 조성물 및 이를 이용하여 제조한 생분해성 필름	경북대학교 산학협력단
	기술요약		
<p>셀룰로오스 및 폴리락틱산을 포함하는 생분해성 수지 조성물 및 이를 이용하여 제조한 생분해성 필름에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 반응성 개질제로 개질한 셀룰로오스, 폴리락틱산, 과산화제, 및 산화방지제를 일정 혼합비율로 포함하여 기계적 물성이 우수하고 생분해성을 가지는 환경친화적인 생분해성 수지 조성물 및 이를 이용하여 제조한 생분해성 필름</p>			
4	공개번호	특허명	출원인
	2014-0023132	상용성이 우수한 생분해 폴리락트산계 고분자블렌드 조성물, 그를 이용한 내열성의 압출발포시트 및 그로부터 제조된 발포성형체	정지수
	기술요약		
<p>상용성이 우수한 생분해 폴리락트산계 고분자블렌드 조성물, 그를 이용한 내열성의 압출발포시트 및 그로부터 제조된 발포성형체에 관한 것으로, 폴리락트산계 고분자블렌드 조성물은 폴리락트산을 구성하는 그 광학이성체의 함량을 최적화함으로써, 조성물의 성분간 상용성을 우수하게 하고, 융점 상승과 결정화속도의 증가 및 결정화도를 증가시켜 내열성을 확보함 상기 폴리락트산계 고분자블렌드 조성물의 결정화속도 및 결정화도 특성에 따라 최적화된 제조방법으로부터 내열성이 확보된 압출발포시트를 제조함</p>			
5	공개번호	특허명	출원인

2015-0079297	생분해성 필름을 포함하는 포장재 및 이의 제조방법	연세대학교 원주산학협력단
기술요약		
<p>본 발명은 폴리프로필렌(polypropylene, PP), 폴리부텐-1(polybutene-1) [0001] 및 산화생분해 마스터배치를 포함하여 이루어지는 초기 기계적 강도가 우수한 산화생분해성 필름용 수지 조성물이 내부 또는 외부에 코팅된 기능성 포장재 및 이의 제조방법에 관한 것으로서 본 발명에 따른 기능성 포장재는 산화생분해성 필름을 포함하고 있기 때문에 산소 또는 수분차단 효과가 있으면서도 생분해되기 때문에 친환경적이다.</p>		

(5) 표준화현황

- KS M3100-1, KBMP-OBP-001 등

(6) 인증현황

- KMBP-OBP-001:2014를 통해 생분해 인증 (한국바이오소재패키징협회)
- ※ 산화분해 이후 남은 잔여물을 파우더 상태로 분쇄한 후 ISO 14855-1의 방법으로 생분해 시험을 진행 36개월 이내에 90%, 180일 이내에 60%, 45일 이내 30%의 기준으로 유기탄소가 이산화탄소로 전환되어야 함
- ※ 생분해도 측정기관은 기술표준원 주관하에 국가공인 시험기관(KOLAS)을 지정, 운영하고 있으며 한국화학시험연구원, 한국의류시험연구원, 한국건설생활환경시험연구원, 한국원사직물시험연구원 등이 있음

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

(1) 기술현황

- 미국, 일본을 비롯한 유럽의 선진국에서는 바이오베이스 플라스틱 소재 개발을 위주로 하여 사업화를 추진⁴⁾ 중
- 쇼핑백, 쓰레기 봉투, 진공성형 제품, 사출품, 농업용 멀칭 필름, 완충재, 다층 필름, 기능성 필름 등의 다양한 용도의 바이오 플라스틱 관련 제품 실용화 개발 및 판매가 이루어지고 있음
- 기존 폴리에틸렌계 열가소성 플라스틱의 자연환경에서 완전분해(물, 이산화탄소 및 바이오매스로 분해)에 관련한 연구는 G. scott, Albertsson, Kostyniak교수 등에 의해 정립되어 있고, 이후 활발한 연구가 이루어지고 있음
- 바이오 플라스틱 기술과 더불어 유망한 패키징 분야의 한부분인 감량화는 PET (polyethylene terephthalate) 용기를 중심으로 진행되고 있으며, 음료용기 제조 분야에서 경쟁력을 가지고 있는 일본은 감량화 기술의 상용화에 근접하고 있음

(2) 시장현황

- 전세계 바이오플라스틱 수요가 2014년 190억 달러에서 2020년 438억 달러 수준으로 연평균 28.8%씩 증가할 것으로 예측⁵⁾됨
- 이는 전세계 바이오 플라스틱 시장은 전체 플라스틱 시장에 비교하면 0.1% 수준
- 바이오 플라스틱 중 강성과 투명성이 우수하고 각종 특성이 PET와 유사한 PLA의 경우 수요가 2019년까지 연평균 19.97% 증가할 것으로 예측⁶⁾됨

(3) 경쟁기관현황

- 이탈리아 N社: 생분해 충전재를 활용한 강도개선 기술 보유
- 독일 B社: 세계 최초 바이오프로필렌글리콜 생산 플랜트 오픈⁷⁾
- 브라질 B社: 바이오 폴리에틸렌의 상업 생산 개시
- 미국 C社: 100% 식물 유래 PET 보급시키기 위한 연대조직 PTC 결성
- 중국의 SU社: 땅에 묻으면 6개월 안에 자연분해가 가능한 친환경 포장재 개발에 성공⁸⁾
- 중국의 M社: 세계 최초 대나무 전분이 함유된 플라스틱을 이용한 포장상자 제조 공정기술개발에 성공
- 중국의 SH社: 폐플라스틱을 이용한 친환경 플라스틱 봉투, 포장상자 등을 생산 중

4) 유영선 외(2015) 국내외 바이오 플라스틱의 연구개발, 제품화 및 시장 동향

5) 플라스틱코리아(2015) 세계바이오플라스틱시장 고성장 예측

6) Research and Markets(2014)

7) 한국환경공단(2014) 세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향

8) 한국환경산업기술원(2014) 중국, 친환경 시장 현황

(4) 지식재산권현황

1	공개번호	특허명	출원인
	WO2013-006464	BIODEGRADABLE MOISTURE BARRIER FILM	AMPAC HOLDINGS LLC
	기술요약		
<p>생분해성 폴리락트 산 베이스 피막 조성물이 제공된다. 하나의 형태에서, 제공된 필름 조성물은 하나 이상의 폴리락트산 수지 90-99wt%와 총 막 구조에 기초가 된 하나 이상의 폴리 테르펜 수지 첨가제의 1-10 wt%를 포함한다. 필름은 낮은 투습율을 나타낸다. 그러한 필름 조성물을 제조하고 사용하는 방법이 또한 제공된다.</p>			
2	공개번호	특허명	출원인
	WO2015-000081	HEAT RESISTANT POLYLACTIC ACID	SOLE GEAR BIOPLASTICS
	기술요약		
<p>PLA, PBS, PE혼합물 혹은 PLA, PBS, PBAT 혹은 PLA, PBS, 탄산칼슘, PBAT 로 구성된다 1.5mm 이하의 벽 두께 제품 제조, ASTM D-645에서 열변형온도가 적어도 40℃ 등 혼합물1(PLA wt80% PBS wt20% 등)보다 혼합물2(PLA wt70%, PBS30wt%)가 HDT가 더 높은 것으로 나타난다.</p>			
3	공개번호	특허명	출원인
	WO2013-059401	POLY (LACTIC ACID) AND POLYOLEFIN FILMS CONTAINING POROSITY AND SORBENTS	MULTISORB TECHNOLOGIES, INC.
	기술요약		
<p>폴리올레핀과 생분해 레진으로 구성된 다공성 레이어 그리고 산소, 수분 흡착제가 적용된 PLA 시트 Porous PLA + PE PE(Ion O2 Scavenger) + Activated Carbon PLA + Polypropylene - Porous</p>			
4	공개번호	특허명	출원인
	WO2014-105641	MOISTURE RESISTANT COATING	DELLINGER, David A. 외
	기술요약		
<p>본 발명의 일부 실시 예들은 일반적으로 생분해 및 퇴비화에 관한 수분 차단 코팅에 관한 것이다. 일부 실시 예는 또한 듀얼 오븐 사용이 가능한 필름에 관한 것이다. 생분해성 및 퇴비화 일회용 식품 포장 및 식품 서비스 항목에 적용 할 때, 이러한 코팅은 내습성을 향상시키고 비 접착 특성을 제공하거나 해제하는데 사용될 수 있다. 일부 실시 예에서, 가소제 또는 아미드 왁스 수분 저항성을 증가시키고 취성(깨지기 쉬움)을 감소시키는 셀룰로오스 에스테르, 셀락, 로진계 도료에 첨가된다. 다른 실시 예에서, 인지질 또는 중쇄 트리글리 세라이드 또는 아미드 왁스의 증가 수준 중 하나의 실시 예는 상기 향상된 방출 특성을 제공하기 위해 첨가 될 수 있다.</p>			
5	공개번호	특허명	출원인
	WO2014-028943	BIOBASED RUBBER MODIFIERS FOR POLYMER BLENDS	METABOLIX, INC.
	기술요약		
<p>폴리비닐클로라이드 (PVC) 또는 폴리메틸메타크릴레이트 (PMMA) 또는 폴리옥시메틸렌 (POM) 과</p>			

폴리하이드록시알카노에이트 (PHA)의 고분자 혼합의 조성물은 기술된다. 특정 실례에서, PHA는 4-히드록시부티레이트의 30-45%의 중량비를 갖는 poly-3-hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate 공중합체이다. 다른 실례에서 PHA는 완전비정질의 한 상을 가지는 다중상 P3HB-4HB 공중합체 블렌드이다. PHA는 그것의 광학적, 열 및 역학적 성질을 최적화하기 위해 PVC 또는 PMMA 또는 POM과 혼합된다. 특정 실례에서, 선택적으로 중합체는 특성을 개량하는 첨가제로 나뉜다. 본 발명의 혼합물의 제조방법 또한 기술된다. 본 발명은 또한 혼합물을 포함하여 물품, 필름 및 적층체를 포함한다.

(5) 표준화현황

- 생분해 플라스틱: ISO 14855, ASTM D 6400, EN13432 등
- 산화생분해 플라스틱: ASTM D 6954, UAE S 5009, SPCR 141 등
- 바이오베이스 플라스틱: ASTM D 6866, CEN/TR 15932 등

(6) 인증현황

- BIO Based Product (BMA, 미국)
- 바이오매스프라 (JBPA, 일본)
- OK Biobased (Vincotte, 벨기에)
- DIN Geprüft (DIN CERTCO, 독일)

2. 연구개발의 중요성

가. 기술적 중요성

(1) 산업 기반기술 선점

- 환경문제 대두에 따라 생분해성 플라스틱에 관한 연구개발이 국제적으로 활발하게 추진되고 있다는 점에서 관련 기반기술 확보 및 선점 차원의 연구가 요구됨

(2) 고부가가치 기술로의 발전 기대

- 기반기술 확보를 통한 패키징 산업의 세계 경쟁력을 확보할 수 있으며 수출 농산물 뿐만 아니라 국내 농산물 유통에도 적용 가능함
- 이는 유기농 농산물과 같은 고부가가치 식품의 포장기술향상에 따른 기술마케팅적 활용성이 높으며 관련 기술의 고부가가치화가 기대됨

(3) 기술 성능향상 및 상업화의 한계 돌파

- 생분해 플라스틱은 기존 플라스틱보다 낮은 물성 및 고가의 가격 등의 문제를 극복하지 못하여 시장 점유율이 답보상태에 놓여 있음
- 양산 가능성을 고려한 연구는 물성 강화 뿐 아니라 플랜트 단위의 대량생산 체제에 적합한 기계적 물성 확보를 바탕으로 물성과 가격적 한계를 돌파할 수 있는 가능성이 높음

나. 경제·산업적 중요성

(1) 시장규모 확대 관점

- 전세계 바이오플라스틱 수요가 2020년 까지 연평균 28.8%씩 증가하여 438억달러 수준의 시장이 형성될 것으로 추정

(2) 무역장벽 대비 관점

- 교토의정서 이후 세계적으로 환경에 대한 관심이 늘어나는 추세로 각종 규제에 미리 대비하여 농산물 수출에 즉각적인 대응이 가능

(3) 환경비용 경감 관점

- 2015년 시행된 탄소 배출권거래제를 시발점으로 점진적으로 강화될 것으로 예상되는 다양한 환경관련 비용에 선대처 가능

(4) 신규 전문인력 창출 관점

- 친환경 패키징 연구가 산학연 공동개발의 형태로 이루어져 향후 관련 기술 개발에 대한 기술거점으로 활용이 가능하며 인력 부족 현상을 겪고 있는 패키징 산업 전반에 걸쳐 친환경 패키징 개발을 통해 전문 인력 양성을 기대

다. 사회·문화적 중요성

(1) 국가이미지 제고 관점

- 지구온난화에 대응하는 친환경 움직임이 전세계적으로 대두되는 시점에서, 비교적 고가로 인식되고 있는 생분해성 소포장재가 수출 농산물에 적용됨에 따라 수출대상국에 우리나라 친환경 이미지 수립에 긍정적인 영향을 기대

(2) 수출 농산물 신뢰성 향상효과

- 환경규제에 대응한 친환경 패키징은 국제적 신뢰도를 높여 기업의 대외 경쟁력 향상을 가져올 것으로 보이며 아울러 환경에 관한 범국가적 컨센서스를 확립함으로써 친환경 패키징에 대한 신뢰성을 높여 대상품목의 신뢰성역시 향상시키는 효과 기대

라. 정부지원의 필요성

(1) 정책의 일관성 관점

- 정부는 바이오산업의 신성장 동력화와 우리나라 석유의존도 저감 및 탈석유화, 산업 경쟁력 약화에 대한 대비 및 전후방 연관효과를 고려한 산업구조 구축 및 환경규제 등의 세계적인 추세에 동참 등의 배경으로 관련된 여러 정책을 추진하고 있음
- ※ 바이오화학 2.0 사업에 따른 2020년 세계 5위권의 바이오화학산업 강국으로 도약 목표

(2) 기술 진입장벽 해소 요구

- 바이오 플라스틱은 원가절감, 생산성 향상, 물성강화, 생분해 기간의 조절, 기능성 추가 등 많은 연구를 필요로 하고 있음
- 1차산업 위주의 기술수준에서 선진국과의 기술격차를 줄일 수 있도록 바이오 플라스틱 관련 교육기관의 확충, 개발지원, 난분해 플라스틱의 규제 법안 등 정부차원에서의 지원이 요구됨

제 3 절 연구개발 범위

구분 (연도)	세부과제명	연구 범위
1차 년도 (2017)	생분해성 포장재 개발을 위한 lab. scale 기초연구	농산물 적용 품목 조사
		수용성 물질 스크리닝 및 투과도 조절 연구
		생분해성 소재 및 충전제 스크리닝
		생분해성 소재 및 충전제 분산성 개선 연구
		국내외 LCA 연구동향 조사 및 피대체 포장재 LCA 데이터 확보
생분해성 포장재 개발을 위한 pilot scale 기반구축	pilot 테스트 장비 개조 설계	
	국내외 3-layer 현황조사	
	M/B 제조 (충전제 최대 함량)	
2차 년도 (2018)	생분해성 포장재 개발을 위한 분산성 개선 및 물성테스트 (lab. scale)	수용성 물질 분산성 개선 연구 및 투과도 조절 연구
		3-layer 기초물성 테스트 및 분산성 개선 연구
		국내외 LCA 연구동향 조사 및 피대체 포장재 LCA 데이터 확보
		생분해성 포장재 및 보급형 포장재 LCA 분석
	생분해성 포장재 개발을 위한 pilot scale 연구	pilot 테스트 장비 개조
		개발된 생분해성 포장재 M/B 적용 pilot 테스트 개발된 보급형 포장재 M/B 적용 pilot 테스트
3차 년도 (2019)	생분해성 포장재 개발을 위한 선도유지 및 생분해 테스트 (lab. scale)	농산물 호흡에 따른 선도유지 테스트
		생분해성 포장재 및 보급형 포장재 생분해 테스트
		생분해성 포장재 및 보급형 포장재 LCA 분석
	생분해성 포장재 개발을 위한 plant scale 연구	개발된 생분해성 포장재 M/B 적용 plant 테스트 및 포장재 가공
		개발된 보급형 포장재 M/B 적용 plant 테스트 및 포장재 가공

제 2 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 추진전략 및 방법

1. 가스투과도를 조절한 과채류용 생분해 소포장 개발

- 목표물성 : 2종 개발 1,500cc/m²/day, 15,000cc/m²/day(산소투과도)
- (Lab. scale) 연세대학교 원주산학협력단(주관연구기관)은 가스투과도를 조절할 수 있는 화학적 미세가공이 가능한 수용성 물질을 조사 및 대상 물질의 적용샘플 컴파운딩(compounding)을 위한 기초제조조건 수립(가스투과도, 기계물성 및 표면분석 등 물성평가 동시 진행)
- LCA 비교 분석을 통하여 환경영향에 대한 검증 후 마케팅 소구점으로 활용
- (Pilot scale & Plant scale) (주)에이치피엠글로벌(협동연구기관)은 주관기관에서 제시하는 기초제조조건외 양산조건에 부합하는 컴파운딩(compounding) 조건, 배럴조건, 양산 속도 등 세부 조정(가스투과도, 기계물성 및 표면분석 등 물성평가 동시 진행)
- (주)에이치피엠글로벌(협동연구기관)은 기계 설계 및 개조 업체와 협업을 통해 기존의 압출기(extruder) 생산라인의 구조적 설계 및 개조를 하여 생산라인 구축

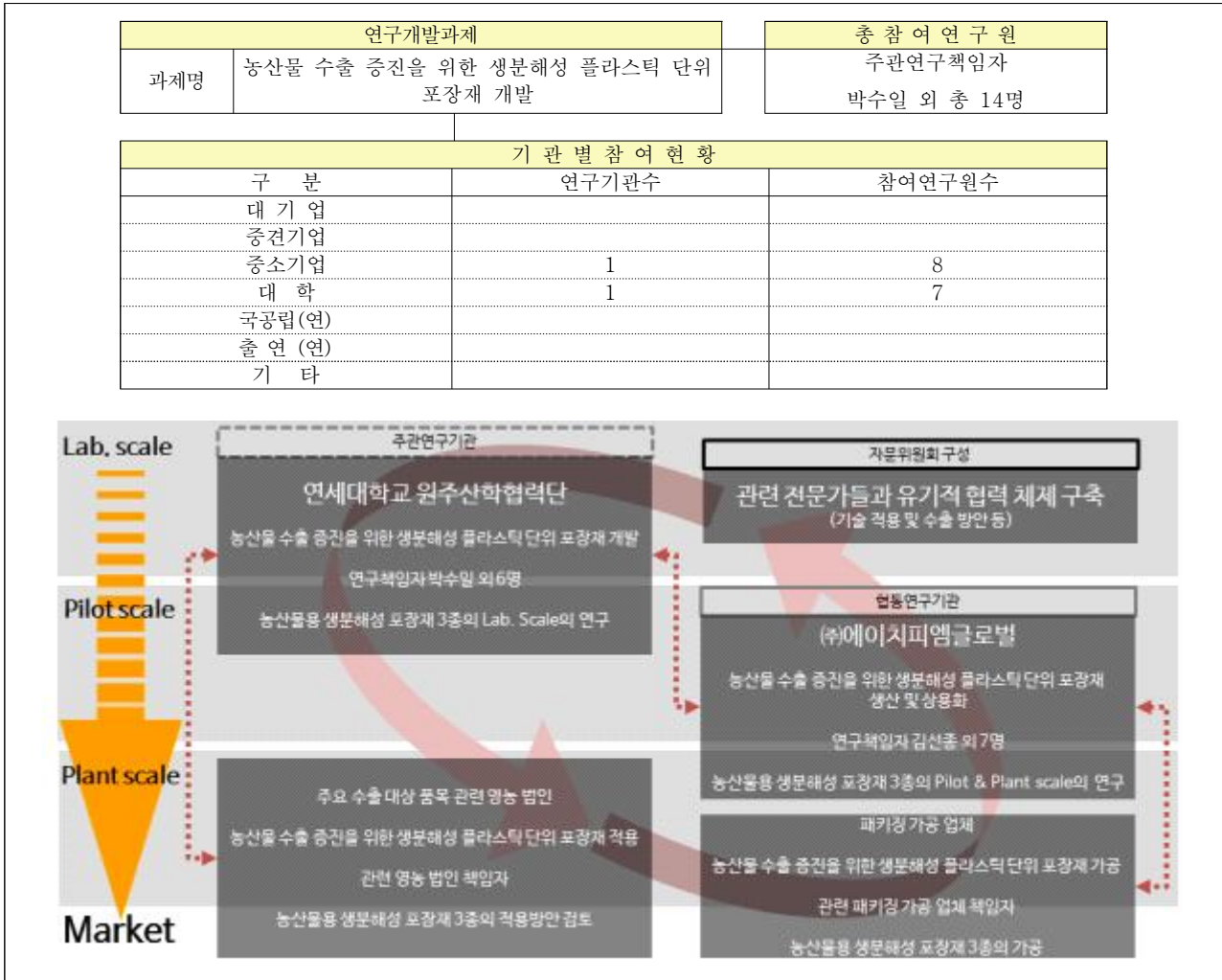
2. 생분해 충전제를 적용한 저가형 농산물 생분해 소포장 개발

- (Lab. scale) 연세대학교 원주산학협력단(주관연구기관)은 협력연구기관과 함께 생분해 포장의 높은 생산 단가의 절감을 위한 생분해성 충전제에 대한 성분 조사, 기본 물성평가, 물질의 생산량 및 취급방법 등 스크리닝 작업
- 주관연구기관은 선정된 생분해성 충전제의 입자크기 확인 및 가공법 확립, 그에 따른 생분해성 충전제와 생분해성 레진을 니더기를 통해 최대함량, 가공특성, 열적특성, 기계강도, 기계적성의 분석 및 분산성 개선 등 전처리 방법 스크리닝 진행
- (Pilot scale & Plant scale) (주)에이치피엠글로벌(협력연구기관)은 주관기관에서 제시하는 충전제 및 가공조건을 토대로 반응압출공법을 이용한 컴파운딩(compounding)조건, 배럴조건, 양산속도 및 분산성 개선 조건의 수립을 위한 스크류 조합변경, T-die 개조 등을 진행(기계물성, 표면분석 동시 진행)

3. 상용화

- 완제품 판매 : 기존 국내외 고객사(40여개국 90여개 업체)대상 선마케팅 진행
- 중간재 판매 : 대기업 납품벤더사에 중간재 영업실시(컴파운딩 레진, 원단)

제 2 절 연구개발 추진체계



제 3 절 연구개발 추진일정

연차별 개발 목표						
	1차년도	2차년도	3차년도	최종성과물	종료이후	
생분해성 포장재	농산물 적용 품목 조사	Pilot 테스트 장비 개조	개발된 M/B 적용 Plant 테스트	특허출원(2)	특허등록(2)	
	수용성 물질 스크리닝	분산성 개선 연구 (투과도별)	생분해성 포장재 가공	SC(1)	제품화(2)	
	Pilot 테스트 장비 개조 설계	투과도 조절 연구	선도유지 테스트	M(SC)(1)	기술실시(1)	
저단가 보급형 포장재	국내외 3-layer 현황조사	개발된 M/B 적용 Pilot 테스트	개발된 M/B 적용 Plant 테스트	특허출원(1)	특허등록(1)	학술발표(1)
	생분해성 소재 및 충전제 스크리닝	3-layer 기초물성 테스트	보급형 포장재 가공	제품화(1)	기술실시(1)	
	M/B 제조 (충전제 최대함량)	개발된 M/B 적용 Plant 테스트	생분해 테스트	M(SC)(1)	학술발표(1)	
전과정 평가 (LCA)	국내외 LCA 연구 현황조사	생분해성 포장재 LCA 분석	보급형 포장재 LCA 분석	SC(1)	학술발표(1)	
	피해계 포장재 LCA 데이터 확보					
						주관연구기관 협동연구기관

연차	연구내용			수행기관	
1차년도	투과도별 생분해성 농산물 포장재 개발	Lab. Scale 수용성 물질 스크리닝 및 기초 물성 평가	대상 물질 조사	주관 (연세대학교 원주산학협력단)	
			대상 물질 적용샘플 컴파운딩(compounding)을 위한 기초 제조조건 수립 및 kneader 활용 (주요 반응 온도, RPM 등)		
			물성평가 (가스투과도, 기계물성, 표면분석 등)		
		Pilot scale 양산 제조 및 물성 평가	컴파운딩 조건 수립 (배럴조건, 양산 속도 세팅)		협동 (주에이치피엠글로벌)
			제조 샘플 물성 분석 (가스투과도, 기계물성, 표면분석 등)		
			적용 장비 개조 (설계)		
	저단가 보급형 생분해성 농산물 포장재 개발	Lab. scale 생분해 충전제 적용 제조조건 기초 물성 평가	적정 생분해 충전제 스크리닝 (성분 조사, 기본물성, 발생량, 취급방법 등)	주관 (연세대학교 원주산학협력단)	
			최대함량 스크리닝 (가공특성:열적특성, 기계강도, 기계적성 등)		
			입자크기 스크리닝 (가공특성:열적특성, 기계강도, 기계적성 등)		
			생분해 충전제 분산성 개선 (전처리 방법 스크리닝)		
		Pilot scale 양산 제조 및 물성 평가	컴파운딩 조건 수립 (배럴조건, 양산 속도 세팅)		협동 (주에이치피엠글로벌)
			제조 샘플 물성 분석 (기계물성, 표면분석)		
분산성 개선 조건 수립 (스크류 조합 변경, T-die개조 등)					

2차 년도	투과도 별 생분해성 농산물 포장재 개발	분산성 개선 및 물성 테스트	수용성 물질 투과도 조절 연구	주관 (연세대학교 원주산학협력단)
			분산성 개선 연구 (투과도별)	
		pilot scale 연구	pilot 테스트 장비 개조	협동 (주)에이치피엠글로벌)
			개발된 M/B 적용 pilot 테스트	
	저단가 보급형 생분해성 농산물 포장재 개발	물성 테스트	생분해테스트	주관 (연세대학교 원주산학협력단)
		pilot scale 연구	개발된 M/B 적용 pilot 테스트	협동 (주)에이치피엠글로벌)
	전과정 평가 (LCA)		국내외 LCA 연구동향 조사	주관 (연세대학교 원주산학협력단)
			피대체 포장재 LCA 데이터 확보	
			생분해성 포장재 LCA 데이터 분석	
			보급형 포장재 LCA 데이터 분석	
3차 년도	투과도 별 생분해성 농산물 포장재 개발	저장성 및 생분해 테스트	선도유지테스트	주관 (연세대학교 원주산학협력단)
			생분해테스트	
		pilot scale 연구	개발된 M/B 적용 pilot 테스트	협동 (주)에이치피엠글로벌)
			가공연구	
	저단가 보급형 생분해성 농산물 포장재 개발	물성 테스트	생분해테스트	주관 (연세대학교 원주산학협력단)
		pilot scale 연구	개발된 M/B 적용 pilot 테스트	협동 (주)에이치피엠글로벌)
			보급형 포장재 가공	
		전과정 평가 (LCA)		생분해성 포장재 LCA 데이터 분석
	보급형 포장재 LCA 데이터 분석			

제 4 절 국내외 농산물 유통 포장형태 분석 및 생분해성 포장재 적용처 탐색

1. 국내 농산물 수출 현황 및 포장형태 분석

가. 국내 수출용 주요 농산물 현황

- 자유무역협정(FTA)의 영향으로 농업 분야에서도 광범위한 변화가 수반되어 왔으며, 농산물의 국가 간 거래장벽 또한 지속적으로 낮아지고 있음.
- 생산량의 증가 시 가격 폭락하는 국내 농산물 특성상 생산량 일부 해외 수출 시 보다 효율적인 유통 가능.



[그림 2] 연도별 농림수산물 수출동향 및 통계

자료 : 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

- 2018년 농림수산물 수출은 전년대비 1.6% 증가한 93억불로 3년 연속 성장세 지속.
 - 인삼류, 과채류(파프리카, 딸기, 포도)등에 따라 신선농산물 수출 역대 최고치 기록.
 - 고온 등 기후불순에 따른 생산량 감소로 2018년 수출물량은 감소한 반면, 단가상승으로 전년(2017) 대비 수출액이 증가한 품목으로는 파프리카(3.1%), 딸기(8.0%), 사과(0.4%), 배(20.8%), 포도(61.3%)등이 있음.
 - 채소종자의 수출 부진에도 딸기 베트남 수요증가, 파프리카 및 토마토의 대일 수출증가 등 주요 농산물 품목의 수출 호조로 채소류 전체 수출 증가.

- 과실류의 경우 전반적으로 기후 조건의 악화(냉해·폭염피해 등)에 따른 생산물량 감소 등 수출여건 악화에도 불구하고, 신품목(샤인머스켓 등) 생산·수출기반 확대 및 아시아 시장의 지속적인 한국산 수요 증가로 인해 수출액의 경우 2017년 대비 14% 증가한 311백만불 달성.
- 농산 버섯 수출량은 팽이버섯을 중심으로 중국 수출이 증가하면서 2010년 21,000톤⁹⁾으로 급속히 증가하였으나, 2010년 이후 중국 내 팽이버섯 생산량 증가로 인해 감소추세로 전환됨.
- 최근 5년간 농산버섯 수출량 중 팽이버섯의 비중은 평균 62% 내외, 새송이버섯은 31% 내외로 팽이버섯과 새송이버섯이 전체 농산버섯 수출의 대부분을 차지하고 있음.

9) 한국농촌경제연구원 농업전망(2019)

(1) 파프리카

(가) 파프리카 수출 동향 및 향후전망

① 파프리카 수출 동향

주요국	2017(A)		2018(B)		증감률(B/A)	
	물량(톤)	금액(천불)	물량(톤)	금액(천불)	물량(%)	금액(%)
합 계	34,843	89,485	31,920	92,260	8.4	3.1
일 본	34,769	89,237	31,775	91,821	8.6	2.9
대 만	33	90	103	253	217.1	182.1

[표 19] 파프리카 수출 주요국 수출 물량 및 금액

자료 : 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

- 대부분 일본(99.5%)으로 수출되며, 다음으로는 대만(0.3%), 홍콩(0.2%)순임.
- 2018년 수출은 고온 등 기후불순에 따른 생산량 감소로 '18년 수출물량은 감소한 반면, 단가상승(2017년 : 2.57\$/kg)→(2018년 : 2.89\$/kg)으로 전년 대비3.1%증가.
- 월별로는 부족기(1-3월, 8-10월), 과잉기(4-7월, 11-12월)간 차이가 큼.

② 파프리카 수출 전망

- 재배면적 증가, 생산기술 향상 등으로 수출물량 증가로 수출확대가 예상되나, 수출단가 하락으로 인해 물량 증가율 대비 금액 증가율은 낮을 것으로 전망.
- 주 수출국인 일본의 수요는 꾸준할 것으로 전망되나 하기작물의 수출규격품 공급에 애로가 예상되며, 중국(검역 타결 시), 홍콩 등 신 시장 개척 시 수요 증가가 기대.

(2) 토마토

(가) 토마토 수출 동향 및 향후전망

① 토마토 수출 동향

(단위 : 톤)

구분		2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
수출	신선	11,724	3,044	1,072	3,779	3,798	4,203	4,940
	케첩	829	1,061	1,122	1,820	1,432	1,684	2,155
	페이스트·소스	0	125	63	91	182	320	164
	전체	12,678	4,314	2,303	5,738	5,428	6,334	7,335
수입	페이스트	21,259	27,829	26,164	25,627	25,276	27,677	28,031
	조제·저장	2,707	5,689	8,608	12,397	11,842	13,964	14,531
	소스·케첩	2,889	4,235	6,338	7,222	7,909	8,069	8,445
	전체	28,422	39,851	43,105	48,276	48,284	53,837	55,644

[표 20] 토마토 수출입 동향

자료 : 한국농촌경제연구원 (2019) 과채 수급 동향과 전망

- 신선·냉장 토마토는 98%가 일본으로 수출되며, 일본은 2010년 잔류 농약 전수검사 면제와 2011년 원전사고 이후 자국 농산물에 대한 선호가 감소하여 2012년부터 일본 수출량이 지속적으로 증가.
- 토마토는 주로 신선·냉장 상태(67%)와 케첩(29%) 형태로 가공되어 수출 중.¹⁰⁾
- 신선·냉장 토마토의 경우 2010년부터 지속적인 성장세를 보임.
- 신선 토마토의 2018년 일본 수출은 일본 내 식자재용 수요증가와 생식용 토마토의 소매점 진출 등으로 전년대비 20.4% 증가한 13.4백만불.¹¹⁾
- 신선 토마토 대부분은 일본(97.9%) 수출되며, 홍콩(1%), 러시아(0.7%)로는 소량 수출
- 가공용 토마토는 케첩 제품 중심으로 러시아, 중국 등으로 수출.

10) 한국농촌경제연구원 (2019) 과채 수급 동향과 전망

11) 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

(3) 딸기

(가) 딸기 수출 동향 및 향후전망

① 딸기 수출 동향

구분		2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018
수출	신선	1,128	180	2,952	3,293	3,539	4,787	4,437
	냉동	2,328	775	347	382	586	311	489
	전체	3,470	957	3,303	3,678	4,125	5,124	4,938
수입	냉동	1,797	3,953	6,045	7,659	8,792	8,849	8,726
	주스	82	191	184	230	239	325	305
	전체	2,208	4,585	6,966	8,788	9,913	10,032	10,472

[표 21] 딸기 수출입 동향

자료 : 한국무역협회

- 신선 딸기의 주요 수출대상국은 홍콩(39%)과 싱가포르(25%)이며, 태국(13%)과 말레이시아(11%)로의 수출 또한 지속적인 성장세.
- 주요 수출국인 홍콩의 꾸준한 수요와 베트남(‘16년 검역타결) 등 동남아시아 시장 수출 확대로 전년 대비 8.0% 증가.¹²⁾
- 최근 3년간 수출액의 경우 2016년 34백만불, 2017년 44백만불, 2018년 48백만불로 지속적인 성장세에 있음.¹³⁾
- 품질(적당한 산미와 선별·포장 우수)·가격 경쟁력 확보, 아세안 등 시장 다변화와 기존 수출품종(매향) 외 설향 딸기의 수출 참여 등으로 증가.

② 딸기 수출 전망

- 최근 소비확산 중에 있는 베트남 등 아세안시장 집중공략 및 홍콩·싱가포르 등 주 수출국 마케팅역량 집중을 통해 전년 수준의 수출증가 전망.
- 기존 수출국 베트남, 홍콩, 싱가포르 이외에 대만, 러시아, 인도네시아 등 신규 수출 시장 또한 확대되고 있어 향후 신선 딸기 수출증가 전망.

12) 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

13) Global Trade Atlas(2018)

(4) 새송이버섯

(가) 새송이버섯 수출 동향 및 향후전망

① 새송이버섯 수출 동향

주요국	2017(A)		2018(B)		증감률(B/A)	
	물량 (톤)	금액(천불)	물량 (톤)	금액(천불)	물량 (%)	금액 (%)
합 계	5,597	19,246	6,578	23,497	17.5	22.1
네덜란드	1,784	6,857	2,147	8,692	20.3	26.8
미 국	932	3,072	1,113	3,857	19.5	25.5
호 주	885	2,972	1,056	3,531	19.3	18.8
캐나다	902	2,609	956	2,805	6.0	7.5
말레이시아	276	884	388	1,286	40.4	45.5

[표 22] 새송이버섯 수출 주요국 수출 물량 및 금액

자료 : 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

- 새송이버섯은 전체 버섯류 수출의 47.3%를 차지(‘18).
주 수출국인 네덜란드(26.8% ↑), 미국(25.5% ↑), 호주(18.8% ↑) 등으로의 수출실적 및 최근 신시장으로 각광받는 말레이시아로(45.5% ↑)의 수출도 크게 상승세임.¹⁴⁾
- (네덜란드) 유럽 내에서도 네덜란드는 통조림 보단 신선버섯을 선호하는 시장임. 한국산 새송이버섯의 인지도가 점차 높아지면서 모양과 맛에 대한 매력을 인정받고 있으며, 고급 음식점 등에서 각종 레시피에 활용하는 등 수요가 많음.
- (미국, 호주) 북미, 호주의 교민 및 중국계 소비자로부터 맛과 활용도 측면에서 선호되며, 특히 설, 추석 등 명절 때 수요가 크게 증가하는 경향이 있음. 안전성 인증획득 업체들이 꾸준히 늘고 있어 안전성을 중시하는 북미시장에서 지속적인 수출 증가세 유지.
- (말레이시아) 동남아 시장에서는 일본의 호쿠토 버섯공장 등 큰 회사와 협력하여 현지 생산하는 물량이 많기 때문에, 한국산 버섯 수입은 감소추세이지만 한류 인기상승 영향 및 수입음식 부재료 활용도 증가 등으로 `17년 기준 한국산 수입비중이 38.7%를 차지함. (*자료원 GTA)

② 새송이버섯 수출 전망

- 네덜란드, 미국 등 주력시장으로의 현지 소비수요가 꾸준히 증가하고 있고, `19년 생산량 및 수출량 역시 증가 전망되어 `19년 수출 실적 26백만불 돌파 예상.
- 미얀마, 라오스 등 신시장에서의 판촉 및 홍보행사 추진 예정인 여러 업체들의 노력으로 신시장 수출 실적이 새롭게 창출되면 국가 전체 실적 향상에 기여할 것으로 전망.

14) 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

(5) 팽이버섯

(가) 팽이버섯 수출 동향 및 향후전망

① 팽이버섯 수출 동향

- 미국의 경우 현지 교민 및 중국계 시장의 샴브용 식재료 수요가 대부분이며, 경쟁국인 중국산의 수입이 증가추세이나, 2017년 수출실적이 큰 폭 증가하여 시장 점유율 1위 달성.
- 호주의 경우 한국버섯에 대한 소비자 접근성이 높아지며 시장 확대에 의한 수출증가 및 한국산 버섯의 호주 내 시장점유율 중 월등한 1위(74.3%)를 유지 중에 있음.
- 주요 수출국은 미국(42.2%), 호주(15.9%), 캐나다(10.9%)로 3개국으로 이루어져 있음.¹⁵⁾

주요국	2017(A)		2018(B)		증감률(B/A)	
	물량(톤)	금액(천불)	물량(톤)	금액(천불)	물량 (%)	금액 (%)
합 계	10,616	18,787	12,032	21,479	13.3	14.3
미국	4,815	8,510	5,317	9,212	10.4	8.3
호주	1,695	2,933	1,820	3,270	7.4	11.5
캐나다	1,176	1,968	1,329	2,267	13.0	15.2
네덜란드	515	1,344	538	1,615	4.3	20.2
인도네시아	804	1,380	953	1,594	18.4	15.5

[표 23] 팽이버섯 수출 주요국 수출 물량 및 금액

자료 : 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

③ 팽이버섯 및 버섯류 수출 전망

- 버섯류 수출은 주요수출국인 북미, 호주, 캐나다 등 지속적 수출 상승세.
- 주요 수출국 이외에 동남아로의 적극적 시장 다변화로 인한 수출 상승 전망.

15) 한국농촌경제연구원(2019) 농업관측 2019년12월호

(6) 사과

(가) 사과 수출 동향 및 향후전망

① 사과 수출 동향

주요국	2017(A)		2018(B)		증감률(B/A)	
	물량(톤)	금액(천불)	물량(톤)	금액(천불)	물량(%)	금액(%)
합 계	3,134	7,608	2,867	7,640	8.5	0.4
대 만	1,627	3,792	1,437	3,455	11.7	8.9
베 트 남	414	1,222	374	1,112	9.7	9.1
홍 콩	275	788	362	1,109	31.9	40.6
싱가포르	330	727	307	776	7.0	6.7
말레이시아	63	190	91	276	44.7	47.3

[표 24] 사과 수출 주요국 수출 물량 및 금액

자료 : 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계

- 18년 신선사과 수출액은 전년대비 0.7% 감소. 봄철 냉해, 여름철 폭염·가뭄 등에 따른 생산량 감소로 인한 국내 시세 상승으로 수출단가가 높아졌고, 유대사과 재배면적 감소에 따른 주력시장 대만 수출 감소 및 베트남 내 저렴한 중국산 사과 수입 확대 등으로 인해 전년 대비 0.7% 감소.
- (대만) 유대사과 재배면적 감소와 더불어 주 경쟁국인 일본산(고품질)과 미국산(낮은 가격) 사이에서 한국산 사과의 지속적인 경쟁력 약화로 수출 감소.
- (베트남) `15년 한·베트남 FTA 이후 한국산 과일 수요가 급증하였지만, 대만과는 달리 수입이 가능한 저렴한 중국산 사과의 수입확대로 한국산 사과의 가격 경쟁력 약화.
- (홍콩) 신규 거래선 발굴 등 시장 개척 노력으로 수출실적이 회복되었으며, 높은 한국산 수출 단가를 감당할 수 있는 구매력 있는 국가로서 꾸준한 수요 유지.

② 사과 수출 전망

- 주 수출국(대만, 베트남, 홍콩 등) 시장 내 한국산 사과 점유율이 미미하다 보니 현지 여건 혹은 경쟁국 수출여건에 따라 변동 폭이 클 것으로 예상되며, 국내 작황에 따라 수출 증감에 큰 영향을 줄 것으로 전망됨.
- 상반기: 저장량 감소, 저장사과 상품 비율 감소 및 단가 상승 등으로 전년대비 감소 예상
- 하반기: 국내작황, 수출국 현지여건 등에 따라 변동이 있을 것으로 보임.



나. 국내 수출용 주요 농산물 포장형태

(1) 딸기 수출용 포장형태

딸기 수출용 포장형태	딸기 수출용 포장형태
	

[표 25] (주)곡성멜론 딸기 수출용 포장형태

- 현재 수출용 딸기 포장재의 경우 대부분 PET 트레이, PP필름을 사용한 형태로 수출을 하고 있으며, 수출 농가 및 회사별 포장재 재질이 상이한 것으로 파악됨.
- 딸기 수출의 경우 선박을 통한 수출시 소요시간이 오래 걸리는 관계로 모두 항공운송을 이용하고 있음.

(주)조이팜 기존 수출용 포장형태	(주)조이팜 현재 수출용 포장형태
	

[표 26] (주)조이팜 딸기 수출용 포장형태

- 현재 수출되고 있는 수출용 딸기 포장재를 확인하기 위해 방문한 (주)조이팜의 경우 2016년 부로 코팅지를 이용한 트레이를 제작하여 수출 중에 있음.
- 추후 수출시 현재 사용하고 포장재인 코팅지를 지속적으로 사용할 것으로 보이며, 생분해성 플라스틱 포장재에 대해 긍정적인 의견을 가지고 있음.
- 딸기 주요 수출국의 포장재 규제 강화 및 생분해성 포장재의 상용화 여부에 따라 적용 여부를 판단할 것으로 보임.

(2) 사과 수출용 포장형태

사과 수출용 포장형태	사과 수출용 포장형태
	

[표 27] 사과 수출용 포장형태

자료 : 사과수출연구사업단 최종보고서(2014)

- 현재 수출용 사과의 경우 대부분 PS폼과 골판지 상자를 이용한 형태의 포장재를 이용 중에 있음.
- 내수 시장 또한 대량의 경우 PS폼과 골판지 상자를 이용한 포장재 형태로 유통 중에 있으며, 소량의 경우 PP파우치 이용.

사과 수출용 포장형태	사과 수출용 포장형태
	

[표 28] 충주거점산지유통센터 사과 수출용 포장형태

- 현재 수출되고 있는 사과 포장재의 일부를 확인하기 위해 방문한 충주거점산지유통센터 또한 골판지 상자와 PS폼을 이용해 수출 중에 있음.
- 현재 사과 수출용 포장재 조사 결과 소포장 형태로 수출하고 있는 포장재는 없는 것으로 판단됨.
- 위에서 언급한 바와 같이 수출용 사과 포장의 경우 골판지 상자와 PS폼을 사용하고 있지만 소포장 형태로 적용 가능함.

(3) 파프리카 수출용 포장형태

파프리카 수출용 포장형태(A등급)	파프리카 수출용 포장형태(B등급)
	

[표 29] 파프리카 수출용 포장형태

- 파프리카 수출용 포장형태 조사결과 대부분 골판지 상자를 이용하고 있으며, 일부는 PP필름과 골판지 상자를 동시에 이용하고 있는 형태임.
- 파프리카 수출용 포장형태의 경우 수출회사에 따라 상이하나, 등급에 따라 포장재 및 포장형태가 다른 것으로 파악됨.

파프리카 수출용 포장형태	파프리카 수출용 포장형태
	

[표 30] (주)조은그린 파프리카 수출용 포장형태



- 파프리카 수출용 포장형태 조사를 위해 방문한 (주)조은그린은 내수용 파프리카의 경우 PP필름을 이용한 소포장재를 동시에 이용하고 있음.
- 또한 대형마트 유통의 경우 대형마트의 유통센터에 벌크형태로 운송 후 개별 포장을 진행하는 형태로 이루어져 있음.
- (주)조은그린사의 파프리카 수출용 포장형태의 경우 골판지 상자만을 사용하며, 제품 등급 및 품종별로 구분하여 포장하여 수출 중에 있음.

(4) 아스파라거스 수출용 포장형태

아스파라거스 내수용 포장형태	아스파라거스 내수용 포장형태
	

[표 31] (주)양주아스파라거스 내수용 포장형태

- 아스파라거스 수출용 포장재 현황을 조사하기 위해 농업회사법인(주)양주아스파라거스를 방문하였음.
- 아스파라거스 내수용 포장재의 경우 선물용, 시장경매용으로 나누어져 있으며 시장경매용은 별도의 포장 없이 1묶음씩 벌크로 유통하며, 선물용의 경우 PP를 이용한 박스를 1차 포장을 하며 PS폼을 이용한 박스로 2차 포장.

아스파라거스 수출용 포장형태	아스파라거스 수출용 포장형태
	

[표 32] (주)양주아스파라거스 수출용 포장형태

- 아스파라거스 수출용 포장재의 경우 PE폼을 이용한 완충제 박스를 6kg 단위로 수출 중에 있음.
- 아스파라거스 주수출국은 대만, 마카오로 수송기간이 일주일 정도 걸리는 실정임.
- 해당 국가 수출시 곤충에 의한 품질 문제가 가장 많이 발생되고 있는 실정이기에 방충포장 적용이 동시에 필요할 것으로 파악됨.
- 아스파라거스의 경우 냉장 운송 문제뿐만 아니라 훈증과정에서 발생하는 비용이 가장 큰 문제로 훈증과정 검역이 없는 싱가포르에 수출 시 비용절감 잠재력이 가장 큼.

2. 해외 농산물 포장 현황

가. 해외 농산물 포장 현장 조사

- 과제 진행 중 현장조사 결과 미국(시카고), 호주(브리즈번), 독일(뒤셀도르프), 영국(런던)에 한하여 현장조사를 실시하였음.
- 미국 및 호주, 영국, 독일 주요 시장 조사 결과 농산물 포장에 생분해성 플라스틱을 적용한 사례는 찾아 볼 수 없었음.
- 시장 조사 결과 농산물 포장재는 품목에 따라 상이하나 소포장의 경우 대부분 소량(200~250g수준)으로 판매되고 있으며, 트레이 형태는 PET, 필름 형태는 PE와 PP가 사용되고 있는 현황임.
- 과채류의 경우 대부분 천공이 되어있는 필름 및 트레이를 활용하고 있음(호흡률 고려)
- 일부 파프리카와 토마토 포장 형태는 하단에 종이 트레이와 외부에 PP 필름을 적용한 포장재가 존재하였음.
- 상세 조사내용과 사진은 아래 표에 정리하였음.

나. 해외 농산물 포장현황 시사점

- 유럽뿐만 아니라 미국 대부분의 주에서 일회용 용기 및 포장재에 대한 규제를 강화해 나가고 있음에 본 연구개발결과물(생분해성 포장재)을 통해 주요 시장 및 기술선점 효과가 극대화 될 수 있을 것으로 판단됨.
- 현재 전 세계적으로 일회용 용기 및 포장재에 규제를 두고 있으나, 지속적으로 대상 범위를 넓히고 있는 실정이기에 농산물 포장 및 음식 포장재에 대한 규제가 진행될 가능성이 큼.
- 위에서 언급한 바와 같이 포장재에 대한 규제가 식품 및 농산물 등에 확대될 시 본 연구개발물을 이용하여 즉각적인 대처가 가능할 것으로 사료됨.

(1) 미국-시카고 (조사기간 : 2018.10.13. - 2018.10.18)

미국(시카고) 농산물 포장현황조사



(2) 독일-뒤셀도르프 (조사기간 : 2019.10.18 - 2019.10.23)

독일(뒤셀도르프) 농산물 포장현황조사



* 특이점 : 트레이를 이용한 제품군 중 PP 혹은 PE 필름을 사용한 제품이
다수였지만 코팅지를 단독으로 이용한 포장재 또한 찾아볼 수 있음

(3) 영국-런던 (조사기간 : 2017.08.27. - 2017.08.31)

영국(런던) 농산물 포장현황



* 특이점 : 2006년부터 도입된 환경 인센티브 제도에 따라 런던 시내 마켓에서는 재활용한 플라스틱을 쇼핑백 등으로 활용 중

(4) 호주-브리즈번 (조사기간 : 2019.11.10.-2019.11.13.)

호주(브리즈번) 농산물 포장현황



* 특이점 : 호주의 파프리카와 사과 포장의 특이점은 PET 트레이와 PP 파우치 포장재 중복 사용된 포장재가 다수

3. 농산물 수출용 생분해 포장재 적용 가능성 탐색

가. 플라스틱 폐기물 관리를 위한 포장재 관련 해외 법적 규제

- 주요 농산물 수출대상국 및 개척가능성이 높은 국가는 석유계 플라스틱에 대한 규제를 시작하고 이를 지속적으로 강화하고 있음.
- 환경 문제에 민감한 유럽 및 미국과 같은 선진국의 경우 석유계 플라스틱 포장재 사용을 줄이기 위해 지속적으로 법령 및 규제를 시행 중에 있음.
- EU는 일회용 비닐봉투 사용규제를 위한 포장지침 개정안을 통과시킨 바 있으며 (2015년 4월), 2019년까지 인당 90개 수준으로 사용을 줄여야 하는 내용이 포함¹⁶⁾ 됨.(2025년까지 40개 수준)
- 이후 EU는 ‘순환경제를 위한 유럽의 플라스틱 배출 전략’ 을 2018년 1월에 공표 후 2018년 5월에 ‘일회용 플라스틱 제품의 시장출시 금지 등 사용 제한 지침’ 을 제안¹⁷⁾하며 일회용 플라스틱 포장재 규제를 지속적으로 강화 중.

해외 플라스틱 폐기물 관련 법적 규제	
국가	주요 내용
뉴저지	미국 뉴저지주는 2019년 특정매장에서 일회용비닐봉투 및 일회용 빨대 사용을 금지하는 법안을 공포하였으며 향후 적용범위를 확대 예정 ¹⁸⁾
메사추세츠	미국 메사추세츠주의 경우 비닐포장재에 의한 오염을 줄이기 위해 특정매장에서 재사용 가능한 플라스틱봉투 사용을 의무화 ¹⁹⁾
캘리포니아	주요 내용 : 미국 캘리포니아는 2015년 7월 1일부로 슈퍼마켓과 약국에서 일회용비닐봉투의 사용을 금지하는 법안을 공포 ²⁰⁾ 하였으며 향후 적용범위를 확대예정

[표 37] 해외 플라스틱 폐기물 관련 법적 규제 (뉴저지주, 메사추세츠주, 캘리포니아주)

16) 플라스틱사이언스(2015) 월간 플라스틱사이언스 Vol.332

17) 한국무역협회(2019) 주요국의 플라스틱 규제 동향과 혁신 비즈니스 모델 연구(2019년 13호)

18) Prohibits use of plastic carryout bags,expanded polystyrene, and single use plastic straws (Senate, No.2776)

19) An Act Reducing Plastic Bag Pollution(House No.771)

20) 한국바이오소재패키징협회(2016) 법령&정책 자료

해외 플라스틱 폐기물 관련 법적 규제	
국가	주요 내용
프랑스	프랑스의 경우 2016년 7월 1일부터 소매점에서 제공하는 일회용 비닐봉투(두께 50 μ m 이하)를 완전히 금지시키고 과일, 야채, 생선, 식품용 비닐봉투는 2017년 1월 1일부터 금지 ²¹⁾
뉴질랜드	뉴질랜드의 경우 2019년 1월 1일부로 비닐포장재 사용을 전면 금지하는 시행령을 발효 ²²⁾ 함
대만	대만의 경우 2018년 3월 ‘해양폐기물 처리를 위한 실행계획’을 발표 ²³⁾ 하였으며, 플라스틱 폐기물로부터 해양생태계를 보호하기 위해 2030년까지 일회용 플라스틱 포장재를 점진적으로 금지하기로 함
필리핀 (마카티시)	필리핀 마카티 시는 2013년 6월 20일부로 비닐포장재 사용을 전면 금지하는 시행령 발효 ²⁴⁾
일본	일본의 경우 용기포장에 관련된 분리수거 및 재활용 촉진 등에 관한(용기포장리사이클법 ²⁵⁾ : 2006년 12월 개정)을 법을 시행 중에 있음

[표 38] 해외 플라스틱 폐기물 관련 법적 규제 (프랑스, 뉴질랜드, 대만, 필리핀, 일본)

21) Interdiction des sacs plastique □ usage unique en caisse □ partir de juillet 2016

22) 한국바이오소재패키징협회 (2018) 법령&정책 자료

23) 대만 환경보호부 (2018)

24) 한국바이오소재패키징협회 (2014) 법령&정책 자료

25) 국립환경과학원 (2014) 일본의 자원순환법 제도 및 3R 동향 자료집

나. 플라스틱 폐기물 관리를 위한 포장재 관련 국내 법적 규제

- 국내의 경우 선진국들이 시행하고 있는 플라스틱 폐기물 관리를 위한 포장재 관련 규제는 지속적으로 강화되고 있음.
- 국내의 경우 자원 재활용(Recycle)의 경우 EPR(생산자책임재활용제도) 제도를 통하여 자원 절약 및 재활용 촉진을 하고 있음.
- 이에 다양한 분야의 융합을 통해 생분해 플라스틱 및 바이오 플라스틱 산업에 국가적인 차원에서 지속적인 지원을 하고 있음.

국내 플라스틱 폐기물 관련 규제	
<p>자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률</p>	<p>[자원재활용법 제4조의 2(환경보전을 위한 활동)] 국내의 경우 자원재활용법을 통하여 환경보전을 위한 활동을 지속적으로 늘려나가고 있으며, 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 중 제10조의2제6호에서 환경부령이 정하는 환경보전을 위한 활동이란 1회용 합성수지 재질 제품의 생분해성수지제품으로의 대체, 1회용 봉투, 쇼핑백의 회수 및 재활용 촉진에 대한 내용 (자료 : 국가법령정보센터)</p> <hr/> <p>[자원재활용법 제9조(포장폐기물의 발생억제)] 대통령령으로 정하는 제품의 제조자 등은 포장폐기물 발생을 억제하고 재활용을 촉진하기 위하여 다음에 해당하는 사항을 지켜야한다. 포장재질 및 포장방법에 관한 기준 및 합성수지재질로 된 포장재의 연차별 줄이기 목표 등 구체적인 기준은 환경부장관이 주무부장관과 협의하여 환경부령으로 정한다. (자료 : 국가법령정보센터)</p>

[표 39] 국내 플라스틱 폐기물 관련 규제 내용

다. 국가별 플라스틱 사용량 감소를 위한 동향

- 위에서 서술한 바와 같이 국내외 일회용 플라스틱 및 재활용에 있어 법적 규제 뿐 만 아니라 기업과 소비자 측면에서 자발적 동참 중에 있음.
- 이는 유럽 및 선진국 외 개발도상국에서도 진행 중에 있으며 향후 국내에 영향을 미칠 가능성이 큼.
- 국가별 플라스틱 사용량 감소 및 재활용 촉진을 위한 활동을 아래의 표에 정리하였음.

국가별 플라스틱 사용량 감소를 위한 동향	
국가	주요 내용
독일	독일의 대형 유통기업 레알(Real)은 2019년 2월 말부터 과일과 채소 코너에서 사용되던 비닐봉지를 더 이상 사용하지 않겠다고 공표한 후 그 대안으로 재활용 종이봉투 또는 세탁 가능한 망사백을 제시함 또한 2020년까지 이 대체작업을 목표 ²⁶⁾ 로 하고 있으며, 식품 유통기업인 에데카(Edeka)와 대형슈퍼체인인 레웨(REWE) 또한 고객에게 재활용 가능한 망사백을 제공할 예정 ²⁷⁾ 에 있음
영국	런던 헤크니(Hackney)구에 위치한 벌크 마켓에서는 제로 웨이스트(Zero-Waste) 즉 쓰레기가 나오지 않는 것을 목표로 하여 소비자가 직접 용기를 가져와 구매하는 방식으로 유통하고 있음 ²⁸⁾ 또한 영국의 화장품 브랜드인 러쉬(LUSH)는 온라인을 통해 상품을 구매한 소비자에게 생분해성 플라스틱을 이용한 완충재를 이용하여 배송함 그 밖의 베그웨어(Vegware) 및 다양한 기업에서 생분해성 플라스틱을 이용한 포장재를 이용하고 있음 ²⁹⁾

[표 40] 국가별 플라스틱 사용량 감소를 위한 동향 (독일, 영국)

26) Plastic Free Movement in the EU(2019) - EU에서 전개되고 있는 플라스틱 프리 운동

27) <https://www.rewe.de/nachhaltigkeit/nachhaltig-handeln/muell-vermeiden/>

28) <https://www.bulkmarket.uk/terracycle>

29) Plastic Free Movement in the EU(2019) - EU에서 전개되고 있는 플라스틱 프리 운동

국가별 플라스틱 사용량 감소를 위한 동향	
국가	주요 내용
체코	<p>체코 환경부는 일회용 플라스틱 사용을 줄이는 'Dostbyloplastu' 캠페인³⁰⁾을 시행하고 있어 체코 시민의 플라스틱 사용 제한 및 분리수거 의식이 높아지고 있음 또한 플라스틱 포장재를 사용하지 않는 비영리 조직인 'Bezobalu'는 2019년 4월에 3번째 매장을 오픈³¹⁾하였으며 Cesky rozhlas 의 보도에 따르면 체코에 플라스틱 포장재를 사용하지 않는 매장은 총 70개로 지속적으로 늘어나고 있는 현황³²⁾임</p> <p>체코의 스타트업인 MIWA (Minimum Waste)는 포장재 없는 유통시스템을 개발하여 소비자가 매장에서 자신이 구매할 제품을 스캔하고, 담을 용기(재사용 용기)를 선택하여 운영 중³³⁾에 있음</p>
인도네시아	<p>인도네시아는 2억 6000만 명의 인구가 밀집해있으며, 1만 8000여 개의 섬으로 구성된 지형학적 특징을 지니고 있어 플라스틱 폐기물 배출량에 비해 처리시설이 턱없이 부족한 실정임 이에 인도네시아 정부는 2025년까지 현재 플라스틱 폐기물의 70%까지 감축할 예정이며 연간 약 10억 달러가 투자될 예정임</p> <p>이에 인도네시아 소매유통협회인 Aprindo는 비닐봉지 다이어트 캠페인을 통해 비닐봉투 사용량을 줄이는데 동참하고 있으며, 발리 우붓과 스미낙에 위치한 빈땅 슈퍼마켓은 바나나 잎을 활용하여 포장재를 대체하는 등 다양한 방법으로 플라스틱 폐기물을 줄이기 위해 동참하고 있음</p>

[표 41] 국가별 플라스틱 사용량 감소를 위한 동향 (체코, 인도네시아)

30) <https://www.dostbyloplastu.cz/#uvod>

31) <https://bezobalu.org/jak-nakupovat/>

32) Plastic Free Movement in the EU(2019) - EU에서 전개되고 있는 플라스틱 프리 운동

33) <http://www.miwa.eu/about-us>

라. 국내외 바이오 플라스틱 현황 및 전망

(1) 국내외 바이오 플라스틱 현황

- 현재 국내 생분해 플라스틱 시장은 바이오플라스틱의 발전으로 참여업체 간의 가격 경쟁력 및 제품군이 강화되는 추세이며 급속한 산업 발전이 이루어질 것으로 전망됨.
- 국내뿐만 아니라 세계 각국에서는 석유 기반의 플라스틱에 비해 물성과 가격이 뒤처지지 않으면서 재활용이 가능하며 인체에 해가 없는 제품개발에 박차를 가하고 있음.
- 이러한 바이오플라스틱 제조 산업은 미국, 유럽, 일본 등 선진국 주도형의 고부가가치 산업으로 성장해 왔으며, 전분, PLA, PHA 및 기타 바이오플라스틱의 수요가 지속적으로 증가할 전망.

국내외 바이오 플라스틱 시장 규모 및 전망																																													
<p>국내 바이오플라스틱 생산 규모 및 전망</p> <table border="1"> <tr><th>연도</th><th>생산 규모</th></tr> <tr><td>2017</td><td>138</td></tr> <tr><td>2018</td><td>188</td></tr> <tr><td>2019</td><td>205</td></tr> <tr><td>2020</td><td>249</td></tr> <tr><td>2021</td><td>304</td></tr> <tr><td>2022</td><td>369</td></tr> </table> <p>CAGR(2017-2025) = 21.7%</p>	연도	생산 규모	2017	138	2018	188	2019	205	2020	249	2021	304	2022	369	<p>Global Bioplastics Market, by Type</p> <table border="1"> <tr><th>연도</th><th>Non-Biodegradable plastics</th><th>Biodegradable plastics</th></tr> <tr><td>2018</td><td>~10</td><td>~5</td></tr> <tr><td>2019</td><td>~12</td><td>~6</td></tr> <tr><td>2020</td><td>~14</td><td>~7</td></tr> <tr><td>2021</td><td>~16</td><td>~8</td></tr> <tr><td>2022</td><td>~18</td><td>~9</td></tr> <tr><td>2023</td><td>~20</td><td>~10</td></tr> <tr><td>2024</td><td>~22</td><td>~11</td></tr> <tr><td>2025</td><td>~24</td><td>~12</td></tr> <tr><td>2026</td><td>~26</td><td>~13</td></tr> </table>	연도	Non-Biodegradable plastics	Biodegradable plastics	2018	~10	~5	2019	~12	~6	2020	~14	~7	2021	~16	~8	2022	~18	~9	2023	~20	~10	2024	~22	~11	2025	~24	~12	2026	~26	~13
연도	생산 규모																																												
2017	138																																												
2018	188																																												
2019	205																																												
2020	249																																												
2021	304																																												
2022	369																																												
연도	Non-Biodegradable plastics	Biodegradable plastics																																											
2018	~10	~5																																											
2019	~12	~6																																											
2020	~14	~7																																											
2021	~16	~8																																											
2022	~18	~9																																											
2023	~20	~10																																											
2024	~22	~11																																											
2025	~24	~12																																											
2026	~26	~13																																											
<p>자료 : 국내 바이오플라스틱 생산 규모 및 전망 한국바이오소재패키징협회</p>	<p>자료 : Global Bioplastics Market Industry Analysis & Forecast (2019-2026)</p>																																												

[표 42] 국내외 바이오 플라스틱 시장 규모 및 전망

- 위의 자료를 보게 되면 바이오플라스틱 시장 및 규모가 지속적으로 커지고 있는 것을 확인할 수 있음.
- 앞에서 언급한 바와 같이 국내의 일회용 플라스틱 관련 규제가 지속적으로 증가하고 있으며 주요 수출국의 규제는 보다 더 강화되어 있는 실정임.
- 이에 주요 수출국의 규격에 적합한 포장재가 필요하며 향후 대상에 따라 큰 수출장벽이 발생할 가능성이 큼.

(2) 바이오플라스틱 포장재 경제성 분석

- 기존 농산물 포장재로 사용되고 있는 PP와 LDPE의 가격은 장당 약 17원 수준임 (400mm×240mm×30um(길이×폭×두께)).
- 반면, 바이오플라스틱 중 생분해플라스틱 원료를 사용한 포장재의 가격은 장당 약 37-42원 수준으로 범용플라스틱 대비 가격이 2배가 넘는 상황임.
- 생분해플라스틱 원료 생산량이 지속적으로 증가하고 있음에도 불구하고 사용량이 급증하여 PLA(미국, 유럽 등)가격은 2017년부터 지속적으로 증가하고 있으며, 중국에서 생산되는 PLA 역시 상대적으로 저렴한 가격(500원-1,000원/kg 저렴)이나 품질 면에서 차이를 보이고 있음.
- 반면, PBAT가격은 거의 변동 없는 상황이나, PLA에 비해 높은 가격을 형성하고 있음.
- 현 시점에서 농산물 포장재로서 적용하기 위해서는 가격적인 접근보다 생산자, 유통업자 및 소비자들의 공감과 더불어 생분해 포장재 사용에 따른 환경영향 감소, 환경규제 대응, 마케팅 이용 등의 다각적인 접근이 필요함.

*2019년 12월 기준

항목	세부항목	기존 범용포장재				생분해 포장재			
		P.P		LDPE		PLA100%(미국산)		PLA100%(중국산)	
		원/kg	원/장	원/kg	원/장	원/kg	원/장	원/kg	원/장
원료비	수지단가	1,800	8.5	1,800	8.6	3,500	31.5	3,000	27.0
	컴파운딩	400	1.9	400	1.9	400	3.6	400	3.6
	필름가공비	61	0.3	61	0.3	61	0.5	61	0.5
가공비		1,277	6	1,263	6	674	6.06	673	6.1
단가 소계		3,538.1	16.7	3,524.1	16.8	4,634.6	41.7	4,133.8	37.2

*400mm×240mm×30um(길이×폭×두께) 봉투, 무인쇄 기준

[표 43] 범용포장재 및 생분해 포장재 단가 분석

마. 농산물 수출용 생분해 포장재 적용 시사점

- 현재 일회용 포장재 규제 및 재활용 관련 규제를 국내외 모두 강화하고 있으며, 이는 향후 특정 식품 및 농산물 포장재에도 적용될 확률이 큼.
- 국내의 환경문제에 대한 여러 가지 규제 또한 해외와 같이 식품산업 및 농산물 분야에 적용될 가능성이 크기에 본 연구개발의 목적 및 시기가 적합하다고 판단됨.
- 위의 나열된 법령 및 규제로 인한 수출 무역장벽 발생 시 본 연구개발결과물(분해성 포장재)을 통해 주요 시장 및 기술선점 효과가 극대화 될 수 있을 것으로 판단됨.
- 본 연구개발 포장재 3종의 경우 수출뿐 아니라 대형마트 및 도매시장 등과 같은 내수용으로 활용 가능하며 유기농 농산물 포장 시 마케팅 측면 활용 가능할 것으로 판단됨.
- 국내외 바이오 플라스틱 시장 및 수요가 증가하고 있으며, 위에서 언급한 바와 같이 법적 규제 또한 석유계 및 일회용 플라스틱 사용금지 및 감축의 범위를 지속적으로 늘리고 있는 실정임.
- 이에 내수시장의 경우 또한 본 연구개발결과물(분해성 포장재)을 통해 시장 및 기술선점 효과가 극대화 될 수 있을 것으로 판단됨.

제 5 절 농산물 수출용 생분해성 포장재 개발 연구 결과

1. 생분해성 농산물 필름 제조 및 분석

가. 생분해성 원료 스크리닝

(1) 생분해성 플라스틱 원료

- 농산물 포장재에 적용하기 위한 생분해성 플라스틱 원료를 논문 및 기타 자료를 통해 스크리닝을 진행함.
- 농산물 포장재의 원료는 농산물, 즉 식품과 직접 접촉하는 포장재이기에 무독성을 띄어야 하며, 생분해성 소재 중 상대적으로 저렴한 가격을 가지고 있고 접근성이 뛰어나야 본 연구를 위한 소재로서 적합함.
- 또한 농산물 포장재로서 활용하기 위한 투명성도 갖추고 있어야 함으로 모든 목적에 가장 부합하는 소재선정을 위한 스크리닝은 다음과 같은 단계로 진행함.

(가) 1단계 : 접근이 용이한 소재 선정

- 논문 및 기타자료를 통해 조사된 생분해 플라스틱 원료 중 국내에서 산업적으로 사용되고 있으며, 공급이 원활한 원료들로 1차 선정함.

(나) 2단계 : 목적에 맞는 소재 선정

- 본 연구의 목적이 농산물 생분해성 포장재 개발이기 때문에 식품에 사용할 수 있는 안정성이 확인된 소재로 한정.
- PHA(Polyhydroxyalkanoate) 소재의 경우, 아직 이취문제로 인해 농산물 포장재에 적용하기에 어려움.
- PBS(Poly butylene succinate) 소재의 경우 단일 소재로 압출하는 조건이 까다로워 물성확보의 어려움이 있음.
- PVA(Polyvinyl alcohol) 소재의 경우, 수분에 매우 취약한 특징이 있어 농산물 포장재 개발에 부적합함.

(다) 3단계 : 최종선정

- PLA(poly lactic acid)는 높은 인장강도와 투명성을 가지고 있으나, 연포장에 적용하기에는 연신율이 낮은 단점이 있음.
- 이러한 이유로 연포장재로서 단독소재로 활용하기에는 어려움이 있어, 이를 극복하기 위한 여러 연구가 진행되었으며, 특히 연신율이 높은 PBAT(poly butylene adipate terephthalate)와의 블렌드에 대한 연구³⁴⁾결과를 통해 PBAT를 PLA의 연신율 증대를 위한 원료로서 사용하기 적합할 것으로 판단.

34) Jiang, Long, Michael P. Wolcott, and Jinwen Zhang. "Study of biodegradable polylactide/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends." *Biomacromolecules* 7.1 (2006): 199-207.

- 하지만, PBAT의 투명도가 PLA보다 낮은 단점을 가지고 있기 때문에, PBAT의 함량을 최소화 하면서 높은 연신율을 가지는 연구가 진행될 필요성이 있음.
- 더불어, PBAT의 가격이 PLA에 비해 1.3~1.5배 가량 높음(PLA : 3.0~3.5\$/kg, PBAT : 4.0~4.5\$/kg, 19.12 기준 가격(변동))에 따라, 포장재의 가격경쟁력을 확보하기 위해서 PLA의 함량이 높은 포장재 개발이 필요함.
- 이에, PLA를 포장재 개발을 위한 주원료로, PBAT를 보조 원료로 최종 선정함.

논문 및 기타자료를 통한 생분해성 포장재 원료 조사

생분해성 포장재 원료 : PLA(poly lactic acid), PBS(Poly butylene succinate), PBAT(poly butylene adipate terephthalate), PHA(Polyhydroxyalkanoate), PVA(Polyvinyl alcohol), PGA(Polyglycolic acid) PCL(polycarprolactone)

↓ 접근성이 용이한 원료

PLA(poly lactic acid), PBS(Poly butylene succinate), PBAT(poly butylene adipate terephthalate), PVA(Polyvinyl alcohol), PCL(polycarprolactone)

↓ 목적에 맞는 원료 선정

<p>[목적 1] 식품에 사용할 수 있는 안전성 [목적 2] 사용목적에 적합한 특성 [목적 3] 상대적으로 저렴한 가격 [목적 4] (첨가제)기존 첨가제와의 차별성</p>	<p>선정 원료 : PLA, PBAT, PCL</p>
--	-------------------------------

↓ 최종 선정

최종선정 포장재 원료 : PLA, PBAT

[표 44] 생분해성 원료 스크리닝 프로세스

(2) 첨가제 원료

- PLA/PBAT 블렌드를 활용한 포장재 개발에 있어, PBAT함량이 2.5wt%이상일 때 상분리로 인한 혼화성 감소는 상용성의 저하를 야기한다고 보고³⁵⁾되었으며, 이로 인해 한 원료가 뭉치는 현상을 야기할 가능성이 있음.
- 상용성 저하의 근본적인 원인은 PLA는 상대적으로 친수성의 성질을, PBAT는 소수성의 성질을 가지고 있는데에 기인하며, 상용성을 증대시키기 위해서는 양쪽성 물질(친수성과 소수성 특징 모두를 가지는 물질) 혹은 두 물질 사이의 값의 용해도를 가지는 첨가제를 이용할 필요성이 있음에 따라 이에 해당하는 원료 스크리닝을 진행함.
- 논문 및 선행연구를 통해 용해도가 유사한 물질로서 PMMA(Poly methyl methacrylate), 용해도도 유사하면서 양쪽성 물질인 PEG(poly ethylene glycol) 및 PEO(poly ethylene oxide)를 선정.³⁶⁾
- 하지만 PMMA는 PLA와 블렌드 시, 열안정성은 증대시키나 T_g 값을 증가시켜 연신율을 감소³⁷⁾시키기 때문에 본 연구에 적합하지 않음.
- PLA의 연성을 증가시키는 가소제로서 PEG(poly ethylene glycol)와 PEO(poly ethylene oxide)가 PLA의 생분해 속도의 증가효과³⁸⁾ 뿐 아니라 우수한 상용성을 보인다는 보고³⁹⁾가 있음.

소재	δh^* (MPa ^{1/2})
PLA(Polylactic acid)	20.2
PBAT(poly butylene adipate terephthalate)	22.28
PEO,PEG(Polyoxyethylene)	20.8
PMMA(Poly methyl methacrylate)	18.0 - 26.3

* : Solubility parameter(hildebrand parameter)

[표 45] 생분해성 원료 및 첨가제 용해도

35) Yeh, Jen-Taut, et al. "Compatible and crystallization properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends." Journal of Applied Polymer Science 116.2 (2010): 680-687.

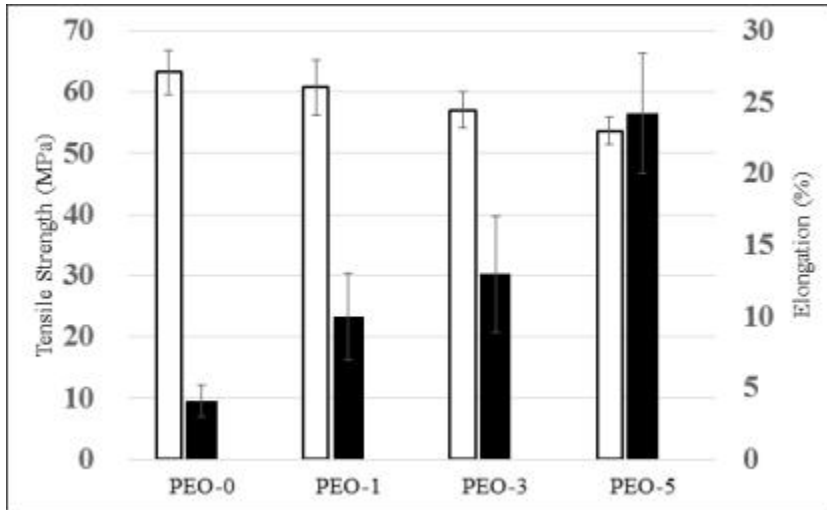
36) Solubility parameter, <http://polymerdatabase.com/>

37) Murariu, Marius, et al. "Recent advances in production of poly (lactic acid)(PLA) nanocomposites: a versatile method to tune crystallization properties of PLA." Nanocomposites 1.2 (2015): 71-82.

38) Pasut, Gianfranco, et al. "Polyethylene glycols: An effective strategy for limiting liver ischemia reperfusion injury." World journal of gastroenterology 22.28 (2016): 6501.

39) Li, Feng-Jiao, et al. "Tensile properties of polylactide/poly (ethylene glycol) blends." Journal of Polymers and the Environment 23.3 (2015): 407-415.

- 하여 PLA/PBAT블렌드의 혼화성 개선 및 투과도 조절을 위해
- 또한, 선행연구를 통해 PEO첨가에 따른 PLA 인장강도는 다소 감소하였으나 연신율은 최대 5배 가량(4.08%–24.24%) 증가하였을 뿐만 아니라 PLA와의 상용성도 높은 것으로 확인함.⁴⁰⁾
- 이에 PLA/PBAT 블렌드를 기반으로 한 농산물 생분해성 포장재 개발에 첨가제로서 적용하여 PLA와 PBAT의 상용성을 증대시킬 뿐 아니라 연신율 증대효과를 기대함.



[그림 45] PEO첨가에 따른 PLA의 기계적 특성 변화

40) Eom, Yoojun, Bulim Choi, and Su-il Park. "A Study on Mechanical and Thermal Properties of PLA/PEO Blends." *Journal of Polymers and the Environment* 27.2 (2019): 256–262.

나. 시험분석용 농산물 필름 제조 및 특성 분석

(1) 시험분석용 농산물 필름 제조

- 생분해성 농산물 필름 제조를 위해 PLA와 PEO를 이용하여 M/B를 제작 후, M/B와 포장재원료(PLA, PBAT)를 배합하여 필름 제조를 진행함.
- PLA와 PBAT의 블렌딩 비율 및 첨가제인 PEO의 적정첨가 함량비를 도출하기 위해 PBAT최대함량 30%, PEO최대 첨가비율 2%로 설정하여 다양한 배합비의 필름 샘플 제작을 수행.

(가) 시험분석용 M/B 제조

① 시험분석용 M/B 제조 방법

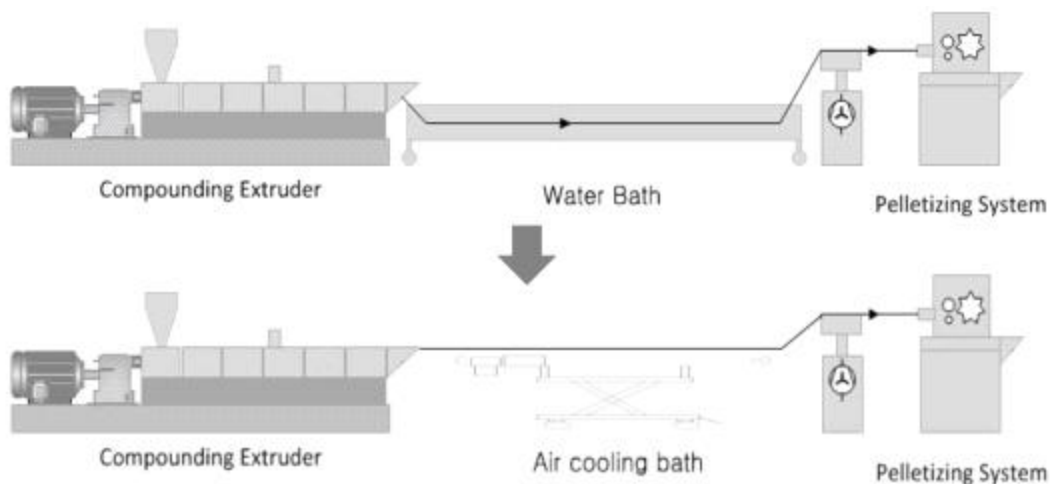
- Plant 단위 scale-up을 위해서는 생분해성 플라스틱 원료와 첨가제와의 컴파운딩을 통한 M/B제조가 필요함에 따라 M/B 내 첨가제인 PEO의 최대함량을 도출하기 위한 사전 실험 진행.
- 사전실험을 위해 니더기(To-200, Test-one, Kore)장비를 이용하여 200℃, 10rpm, 3~5min 조건에서 컴파운딩을 실시함.
- PLA/PEO(wt50%/wt50%)샘플의 경우 PEO함량이 높아 니더기내에서 뭉치는 현상이 발생함에 따라 압출기를 통한 컴파운딩시 흐름성이 확보되지 않아 적용하기 부적합.
- PLA/PEO(wt75%/wt25%)샘플의 경우 뭉치지 않고 컴파운딩이 되었으며, 핫프레스(상판, 하판 : 195℃)을 통한 필름화를 진행하여 필름화 가능여부 또한 확인함에 따라 M/B내 PEO 최대 비율 확인함.
- 원료 및 전처리 조건
 - PLA는 NatureWokrs LLc(USA)사의 4032D 제품을 사용하였으며, PEO는 Alfa aesar(USA)사의 Mw. 100,000 제품을 사용함.
 - M/B제조 전 모든 원료는 55℃에서 24시간동안 건조하여 가공 중 수분의 의한 물성 저하를 방지함.
- M/B 제조 조건
 - 전처리가 끝난 PLA와 PEO는 텀블러 믹서를 이용하여 사전실험을 통해 도출된 비율로 혼합한 뒤, Twin screw Extruder(twin25, Gulnarmarkina, Turkey)를 이용하여 스크류 속도 150-200rpm, 피더속도 3rpm, 160-200℃온도 조건에서 컴파운딩 실시.
 - 공랭식 pelletizer를 이용하여 pelletizing 후 최소 12시간이상 건조함.

Sample	PLA 함량(wt%)	PEO 함량(wt%)	컴파운딩 (압출기 적용)
M/B-1	50	50	불가능
M/B-2	75	25	가능

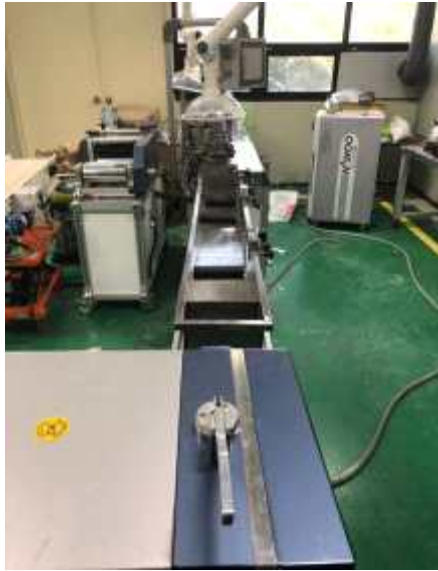
[표 46] M/B제조 사전 실험 결과

② Pelletizing 장비 개조

- 기존 Twin screw extruder(이축압출기)의 기존 용융압출 공정 중 압출 다이에서 압출되어 나오면서 바로 수조로 투입되어 냉각을 거치게 되며, 수조를 지나 pelletizer machine에서 일정 크기로 가공되는 공정임.
- 본 연구에서 사용되는 원료들 중 PLA와 PEO의 경우 친수성의 성질을 가지고 있기 때문에 기존 공정에서 M/B(Master Batch)를 제작할 경우, 물에 의한 원료의 용해 가능성으로 인해 필름물성의 저해를 야기할 가능성이 높음.
- 이러한 용해가능성을 제거하기 위하여 기존 수랭식 공정인 아닌 컨테이너 벨트를 이용한 공랭식 공정으로 개조하여 M/B를 제조함.
- 이때 공랭식 공정의 컨베이어 벨트는 공정의 라인 길이 조절을 위해 높이 조절이 가능하게 설계 했으며, 속도조절부를 추가하여 Pallet의 사이즈 및 압출조건에 따른 조건설정이 가능하도록 설계하여 개조하였음.
- 컨베이어 벨트에서 압출된 필라멘트가 지나갈 때 공랭의 효과를 높이기 위해 Air drying machine이 탈부착 되도록 설계하여 바람에 의한 공랭효과를 주어 pelletizer에서 pellet으로 가공 시까지 빠른 냉각이 되도록 개조함.



[그림 46] Twin screw extruder compounding line changing plan



(a) 수랭식 Pelletizer(변경 전)



(b) 공랭식 Pelletizer(변경 후)

[그림 47] Pelletizer 냉각 방식 개조

(나) 시험분석용 농산물 필름 제조 방법

① 원료 배합비 및 전처리

- 개발된 M/B에 생분해성 플라스틱 원료(PLA, PBAT)를 PBAT(PBG7070, S-Enpol, Korea) 함량0-30%, PEO 최대함량 0-2%가 되게 배합하여 다음 표와 같은 비율의 샘플원료를 준비한 뒤 텀블러 믹스를 이용하여 혼합함.
- 각 원료들은 건조기(JSVO-60T, JSR, KOREA)에서 24시간동안 건조하여 제습을 실시함.

Sample	배합비 (%)		
	PLA	PBAT	PEO
PL90PB10	90	10	0
PL90PB10PE1	90	10	1
PL90PB10PE2	90	10	2
PL80PB20	80	20	0
PL80PB20PE1	80	20	1
PL80PB20PE2	80	20	2
PL70PB30	70	30	0
PL70PB30PE1	70	30	1
PL70PB30PE2	70	30	2

[표 47] PLA/PBAT/PEO 함량별 블렌드 필름 샘플명

② 시험분석용 단층 압출필름 제조 방법

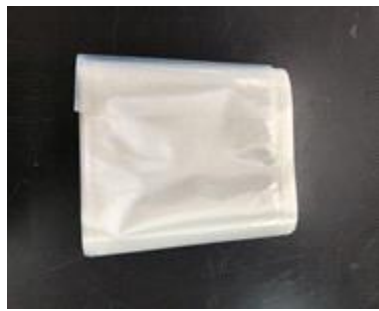
- 전처리된 PLA, PBAT 및 PEO를 T-die가 부착된 twin-screw extruder(L/40D19, Bautek, Korea)를 이용하여 단층 압출 필름을 제작함.
- 필름 압출은 압출속도 60rpm, 원료 투입속도 2rpm, 배럴 최대 온도는 205℃, T-die의 온도는 175-185℃로 설정하여 압출.
- 필름의 두께는 45 μ m-60 μ m이 되도록 권취기의 속도를 조절함.



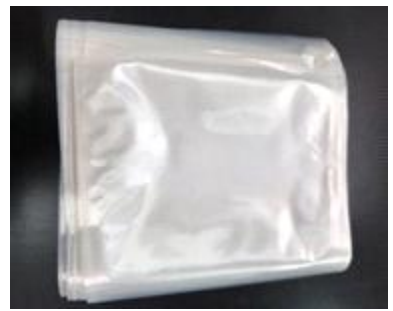
[그림 48] 시험제작용 블렌드 필름 샘플 제작 과정



(a) PL90_PB10



(d) PL80_PB20



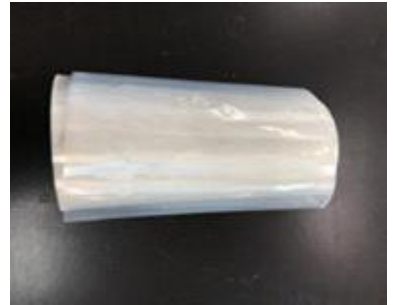
(g) PL70_PB30



(b) PL90_PB10_PE1



(e) PL80_PB20_PE1



(h) PL70_PB30_PE1



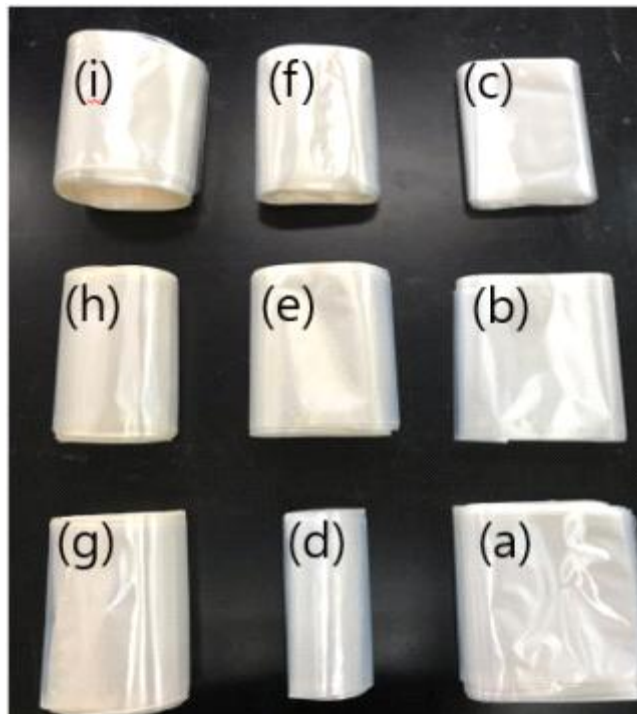
(c) PL90_PB10_PE2



(f) PL80_PB20_PE2



(i) PL70_PB30_PE2



[그림 49] PLA, PBAT, PEO 함량에 따른 블렌드 필름 샘플 사진

(2) 시험분석용 농산물 필름 특성 분석 결과

(가) 기계적 특성(인장강도 및 연신율)

- 제조된 시험분석용 블렌드 필름 샘플들은 18시간이상 항온항습기(23℃, RH 50%)에서 18시간 보관 한 뒤, 변형된 ISO 527-3:1995 규격에 따라 universal test machine(DTU-900MHA, DT & T, Korea)으로 측정함.
- PBAT의 함량이 증가함에 따라 연신율은 증가, 인장강도는 감소하는 경향을 보임.
- PLA의 높은 인장강도(63N/mm²)가 PBAT함량 증가에 따라 감소되는 경향은 다른 문헌⁴¹⁾과 일치하며, 두 고분자간의 상용성이 좋지 않아 높은 인장강도를 가진 PLA의 물성이 급격히 저하된 것으로 보임.
- PEO의 함량에 따라 연신율은 증가하는 경향을 나타내나, 인장강도는 소폭 감소하는 경향을 보임.
- 특히 PL70_PB30 블렌드 필름 샘플군들에서 PEO첨가에 의한 연신율의 증가(311%-439%, 약 1.4배가 증가)가 두드러졌으며, 이러한 결과는 PEO의 첨가가 고분자 간의 상용성을 증대시켜 물성에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단됨.
- PL80_PB20_PE1 샘플과 PL80_PB20_PE2 샘플군에서 본 연구개발의 목표치인 인장강도 40N/mm²과 연신율 50% 도달함.
- 본 시험분석(lab scale)필름 제조 및 분석을 통해 PEO 첨가에 따른 PLA/PBAT 블렌드 필름의 상용성 증대 및 연신율 증대 효과를 확인함.
- 또한 본 실험에서 사용된 필름제조를 위한 설비는 Lab scale의 장비로서 더 높은 품질의 샘플을 확보할 수 있을 것으로 기대됨에 따라 동일한 샘플조성으로 Pilot test를 진행.

Sample	인장강도(N/mm ² , Mpa)		연신율(%)	
	측정값	목표치	측정값	목표치
PL90_PB10	51.89±4.67	40	15.51±2.98	100
PL90_PB10_PE1	48.42±1.68		16.88±1.17	
PL90_PB10_PE2	49.38±3.38		15.90±3.90	
PL80_PB20	48.04±2.35		85.58±11.29	
PL80_PB20_PE1	46.51±1.15		113.21±38.32	
PL80_PB20_PE2	47.58±0.80		131.10±35.07	
PL70_PB30	38.86±2.39		310.99±112.86	
PL70_PB30_PE1	38.48±1.83		358.6±104.86	
PL70_PB30_PE2	35.52±1.99		438.55±53.63	

[표 48] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름 샘플의 기계적 특성

41) 서관호, 김대진, 김상구, 민철희, 박혜윤. "단신 : PLA/PBAT 블렌드의 개질과 열적, 기계적 특성." 공업화학, 24.1 (2013): 104-111

(나) 열적 특성

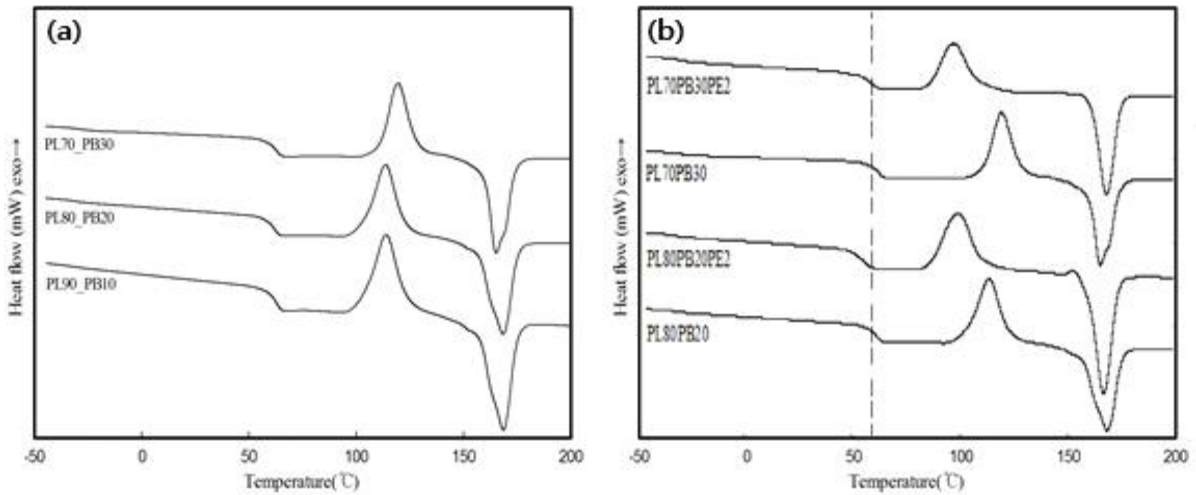
① DSC(Differential Scanning Calorimeter)분석 결과

- 시험분석용 블렌드 필름의 열적 거동을 분석하기 위해 DSC(Q-20, TA instrument, USA)를 사용하여 20°C/min 가열속도로 -30°C-200°C 구간의 열적 특성 분석하며, T_g (유리전이온도), T_c (결정화온도) 및 T_m (용융온도)을 확인.
- PEO를 첨가하지 않은 PLA/PBAT블렌드의 T_g 는 PBAT 함량이 증가할수록 PBAT의 낮은 T_g 에 의해 감소함.
- PBAT 함량이 20wt%를 초과하면 1개씩 나타났던 T_g 감소하였다. PBAT 함량이 20wt%를 초과하면 1개씩 나타났던 T_g 곡선과 T_m 피크가 2개씩 나타나며 이는 해당 블렌드의 혼화성의 낮음을 의미함.
- T_c 의 경우, PBAT의 함량이 20wt% 이하까지는 순수 PLA와 큰 차이를 보이지 않았지만 PBAT 함량이 30wt% 이상의 블렌드에서 급격한 증가를 보이는데, 이러한 증가는 Sonja(1972)연구결과⁴²⁾를 비추어 보았을 때 상분리된 PBAT가 용융 상태로 존재하여 PLA의 핵 형성 결정화를 방해하기 때문에 나타나는 현상으로 사료됨.
- PLA/PBAT 블렌드에 PEO를 첨가할 경우 T_g 는 하락하며, PBAT 함량이 20wt%를 초과하는 샘플의 경우 PEO 함량이 증가할수록 두 개로 나타나는 T_g 의 온도차가 감소함.
- 비상용성 폴리머의 경우 두 개의 T_g 가 존재하는데, 일반적으로 상용성 폴리머 블렌드는 계면과 그 근처에서 상호 침투하는 분자 사슬이 자유 체적을 변화시켜 낮은 T_g 의 온도 상승 및 높은 T_g 의 저하를 초래하여 두 T_g 의 온도차를 감소시킨다고 보고됨⁴³⁾
- 따라서, PEO의 첨가는 낮은 T_g 를 증가시키지는 못하지만, 높은 T_g 를 낮은 온도로 크게 이동시키기 때문에 상용성을 일부 증가시킬 수 있을 것으로 사료됨.
- T_c 의 경우, PEO를 첨가한 PLA/PBAT블렌드 필름 샘플군들에서 상당히 감소를 보였는데, 이는 PLA의 핵생성을 방해하는 상분리된 PBAT가 PEO에 의해 상용성이 증가하여 PLA/PBAT 블렌드의 T_c 감소를 나타내는 것으로 볼 수 있음.
- 또한, PBAT 20wt%를 초과하는 블렌드의 경우 PEO 첨가 시에 두 개로 나타났던 T_m 이 하나의 피크로 변화하는 것은 PEO 첨가에 의해 PLA/PBAT 블렌드의 상용성이 증가한 것으로 해석할 수 있음.

* DSC 분석결과 PEO 첨가 시 PLA와 PBAT사이의 상용성이 증가한 것으로 판단됨

42) Krause, Sonja. "Polymer compatibility." Journal of Macromolecular Science—Reviews in Macromolecular Chemistry 7.2 (1972): 251-314

43) Qiu, Jishan, et al. "Miscibility and double glass transition temperature depression of poly (l-lactic acid)(PLLA)/poly (oxymethylene)(POM) blends." Macromolecules 46.14 (2013): 5806-5814.



(a)PLA/PBAT 블렌드 DSC 곡선, (b)PLA/PBAT/PEO 블렌드 DSC 곡선

[그림 50]PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름 샘플의 DSC 곡선

Sample.	T_m (°C)		T_g (°C)		T_c (°C)
PLA	169.32		64.72		113.15
PBAT	124.66		-31.84		-
PL90_PB10	-	168.57	-	63.12	113.84
PL90_PB10_PE1	-	167.39	-	59.12	104.33
PL90_PB10_PE2	-	167.19	-	58.31	101.29
PL80_PB20	162.36	167.96	-	62.09	114.12
PL80_PB20_PE1	-	168.39	-	59.94	105.02
PL80_PB20_PE2	-	166.74	-	56.09	99.50
PL70_PB30	163.03	168.87	-29.79	62.34	114.65
PL70_PB30_PE1	-	166.78	-32.61	56.80	104.74
PL70_PB30_PE2	-	166.64	-31.53	56.03	100.64
PEO	64.03		-		-

[표 50] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름 샘플의 열적 특성

② TGA (Thermogravimetric Analysis) 분석결과

- 시험분석용 블렌드 필름의 열안정성을 분석하기 위해 TGA(TGA 4000, PerkinElmer, USA)를 이용.
- 질소 조건하에서 20°C/min 속도로 30°C-800°C까지 가열하여 분해온도를 분석.
- T_d값에서는 온도 증감의 경향이 뚜렷하게 보이지 않으나 한 샘플에서 나타나는 두 개의 T_d 값을 분석 할 경우 그 차이에서 경향성이 나타남.
- PBAT의 중량%가 10~20wt%에서는 PEO의 함량이 증가함에 따라 T_d의 차 점점 증가하며, PBAT의 중량%가 30wt%일 경우 PEO의 함량이 증가함에 따라 T_d의 차, 감소를 확인함.
- 이러한 현상은, PLA와 PBAT의 상용성이 저하되는 함량에서 PEO가 PBAT와 PLA 사이에서 나타나는 비상용성을 일부 보완할 수 있는 상용화제로 작용한 것으로 사료됨.

Sample	T _d (°C)		T _d (°C) 차
PLA	360.25		
PBAT	427.63		
PEO	421.56		
PL90_PB10	382.38	428.53	46.15
PL90_PB10_PE1	372.22	423.05	50.83
PL90_PB10_PE2	374.82	426.11	51.29
PL80_PB20	373.22	422.26	49.04
PL80_PB20_PE1	374.68	424.71	50.03
PL80_PB20_PE2	372.98	424.58	51.6
PL70_PB30	362.94	415.06	52.12
PL70_PB30_PE1	381.87	423.60	41.73
PL70_PB30_PE2	380.08	421.46	41.38

[표 51] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 열분해 온도(T_d)분석 결과

* PLA와 PBAT 혼합 시 열분해 온도가 증가하였으며, PLA와 PBAT의 분해 피크가 PEO의 영향을 받는 것을 알 수 있음.

(다) 형태학적 특성(SEM)

- 각 블렌드 필름 샘플의 형태학적 특성을 분석하기 위하여 파단면을 SEMQuanta FEG 250, FEI CO. Ltd., USA)을 이용하여 1,000배 확대하여 조사함.
- PBAT는 PLA matrix에서 droplet 형태로 분산되어 있는데, 비상용성 블렌드의 경우 우수한 기계적 특성을 얻기 위해서는 분산되어 있는 도메인의 크기와 분포의 정도가 매우 중요함.⁴⁴⁾
- PBAT 함량이 10wt%인 PLA/PBAT 블렌드에서 droplet이 발견되었으며 PBAT 함량이 증가함에 따라 droplet의 크기가 커지고 불균일해질 뿐 아니라 경계면이 뚜렷해짐을 확인함.
- 이러한 SEM 이미지 분석 결과는 Deng(2018)의 연구결과⁴⁵⁾와 유사하며, 이러한 droplet의 관찰은 PLA와 PBAT의 계면 접착력이 열악하여 나타나는 현상으로 비상용성을 의미함.
- PEO의 첨가에 따라 PL90PB10 및 PL80PB20 샘플 군에서 파단면의 파단 경계가 부드러운 현상을 나타낼 뿐 아니라, 계면 접착력의 부족으로 발생하는 droplet의 경계면의 희미해지는 특징을 발견함.
- 또한 PL70PB30 및 PL60PB40 샘플 군에서 PEO를 첨가함으로써 불균일하고 큰 droplet의 입자가 상대적으로 크기가 줄고 균일해짐을 나타내었으며, Utracki의 연구결과⁴⁶⁾에서 나타낸 고분자간의 계면장력의 감소와 접착력 향상이 droplet의 균질화를 야기한다는 점일 비추어 보았을 때 PEO의 첨가가 PLA와 PBAT의 상용성을 증진시키는 점을 나타냄.
- 더불어 상용화제를 이용하여 PLA/PBAT의 상용성을 증가시킨 Kilic(2018)의 연구⁴⁷⁾에서 PBAT의 형상을 의미하는 droplet의 표면에 나타나는 울퉁불퉁한 형상은 PLA층이 PBAT에 코팅된 후 파단이 일어났을 때 나타나는데, 이는 PLA와 PBAT 간의 좋은 계면 상호 작용이 있음을 뜻하며, 본 연구의 일부 샘플에서 이와 같은 현상을 관측함에 따라 PEO의 첨가가 PLA/PBAT블렌드의 상용성을 증가시킨다고 판단할 수 있음.

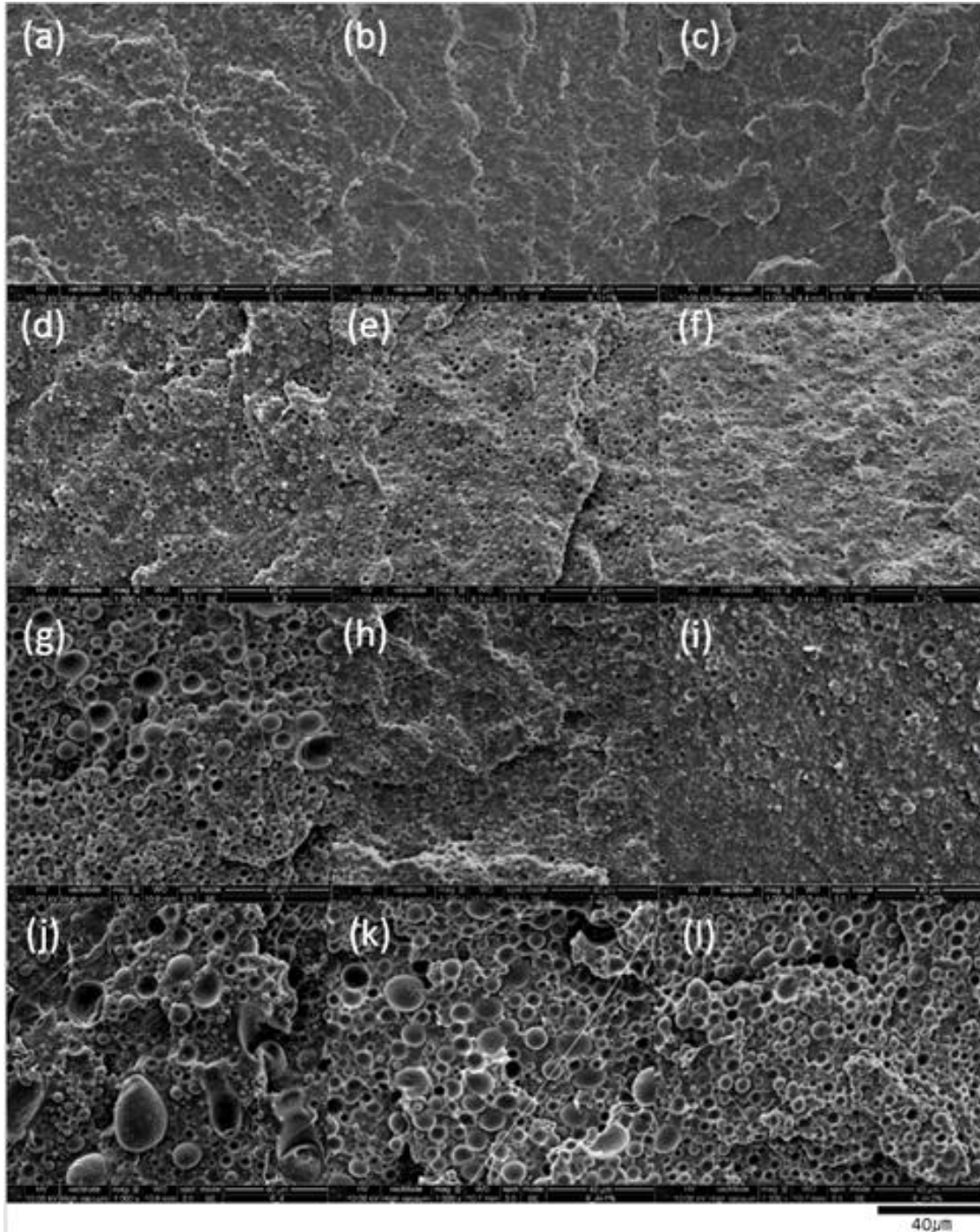
44) Kilic, Nilay T., et al. "Compatibilization of PLA/PBAT blends by using Epoxy-POSS." *Journal of Applied Polymer Science* 136.12 (2019): 47217.

45) Deng, Yixin, et al. "Optimising ductility of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends through co-continuous phase morphology." *Journal of Polymers and the Environment* 26.9 (2018): 3802-3816.

46) Utracki, Leszek A., and Charles A. Wilkie, eds. *Polymer blends handbook*. Vol. 1. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2002.

47) Kilic, Nilay T., et al. "Compatibilization of PLA/PBAT blends by using Epoxy-POSS." *Journal of Applied Polymer Science* 136.12 (2019): 47217.

* SEM을 통한 연구결과 이는 PLA와 PBAT 간의 좋은 계면 상호 작용이 있음을 확인하였으며, 본 연구의 일부 샘플에서 이와 같은 현상을 관측함에 따라 PEO의 첨가가 PLA/PBAT 블렌드의 상용성을 증가시킨다고 판단할 수 있음

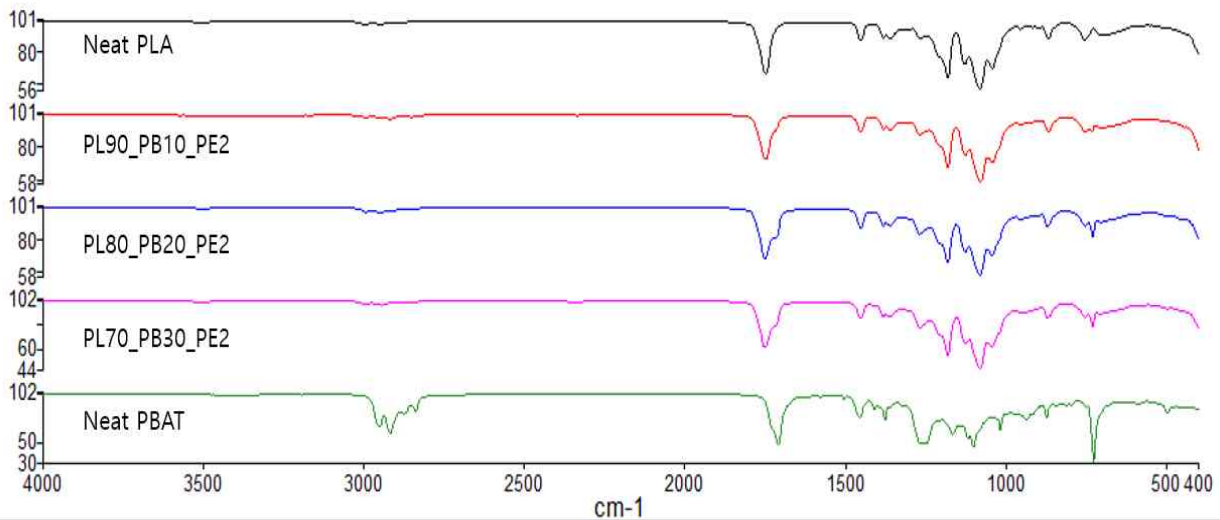


(a) PL90PB10, (b) PL90PB10PE1, (c) PL90PB10PE2, (d) PL80PB20, (e) PL80PB20PE1, (f) PL80PB20PE2, (g) PL70PB30, (h) PL70PB30PE1, (i) PL70PB30PE2, (j) PL60PB40, (k) PL60PB40PE1, (l) PL60PB40PE2

[그림 51] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 파단면 SEM 이미지

(라) 화학적 특성(FT-IR)

- PEO를 통한 PLA/PBAT 블렌드의 상용성 증가를 확인하기 위하여 적외선 분광 흡수기(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, PerkinElmer, USA)를 통해 $4000-400\text{cm}^{-1}$ 범위에서 분석을 실시하였음.
- 분석 결과 PBAT함량의 증가에 따른 피크의 변화는 관찰 할 수 있었으나, PEO를 통한 PLA/PBAT 블렌드의 상용성 증가는 PEO의 함량이 소량인 관계로 본 적외선 분광흡수기(FT-IR)를 통한 구분은 어려움.
- PBAT함량 증가는 700cm^{-1} 의 $(\text{CH}_2)_4$ 피크의 증가로 확인할 수 있었음.

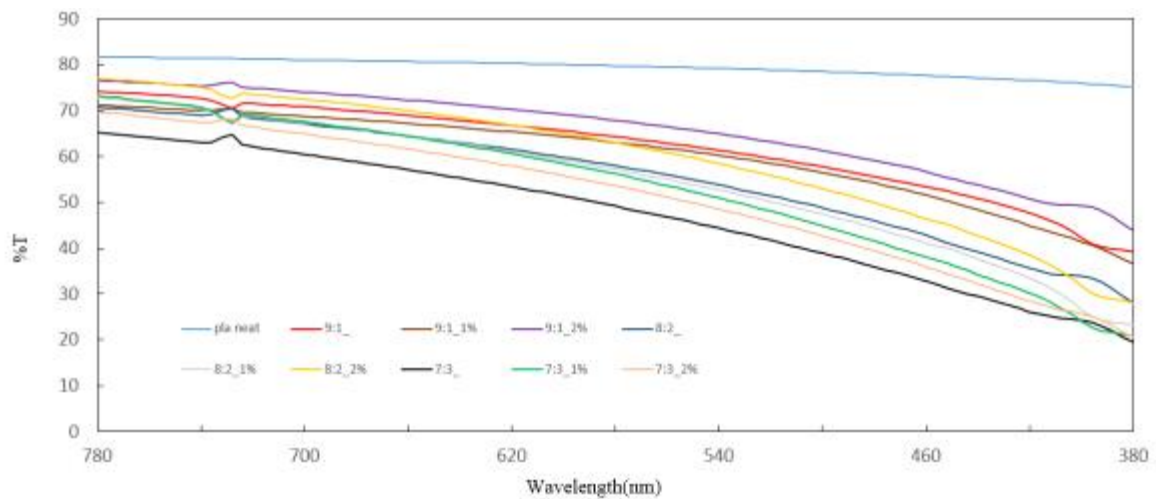


[그림 52]PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 FT-IR 그래프

(마) 광학특성

① 투명도 및 빛 차단성

- UV/VIS Spectrophotometer (Jasco V-700 series, JAPAN)를 이용하여 가시광선 영역의 중간인 550nm를 기준으로 투과율 분석 진행.
- 순수 PLA에 비해 PL90_PB10 / PL80_PB20 / PL70_PB30 순으로 PBAT함량이 증가할수록 투과율이 떨어지는 경향성을 보임.
- PEO를 첨가하였을 때 투과도가 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 PEO 첨가가 PLA/PBAT 블렌드의 상용성을 증대시키는 것이 기인한 것으로 판단됨.



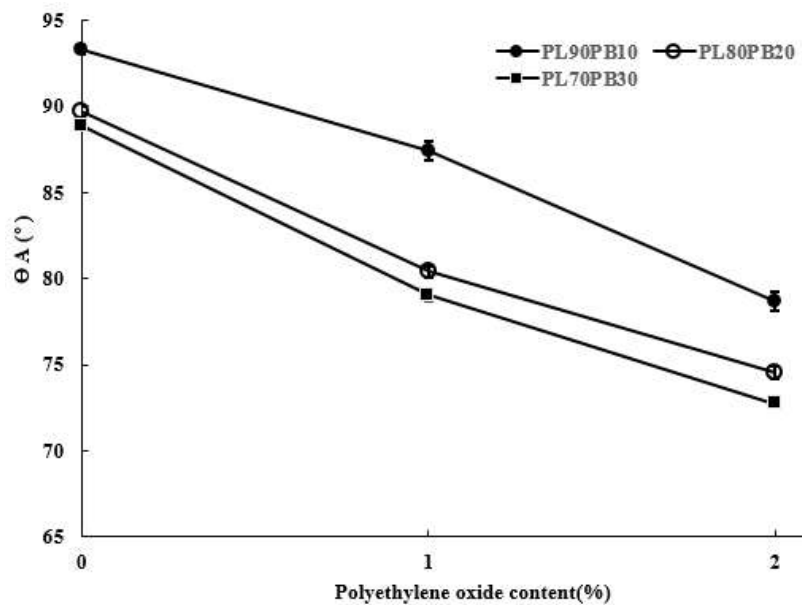
[그림 53] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 UV-vis 투과도

Sample	투과도(%T)
PLA	79.3
PL90_PB10	61.0
PL90_PB10_PE1	61.2
PL90_PB10_PE2	65.6
PL80_PB20	54.0
PL80_PB20_PE1	54.1
PL80_PB20_PE2	59.4
PL70_PB30	45.3
PL70_PB30_PE1	52.1
PL70_PB30_PE2	49.6

[표 54] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 UV-vis 투과도(550nm기준)

(바) 접촉각 분석

- 시험분석용 블렌드 필름의 PEO첨가에 따른 친수성 변화를 확인하기 위하여 물의 접촉각 테스트를 진행함.
- 접촉각 테스트는 contact angle tester(FEMTOFAB SDS-TEZD, FEMTOFAB, Korea)를 이용하여 분석하였으며, 주사기를 사용하여 한 방울의 증류수(3 μ l)를 샘플 필름 표면에 놓은 후 소프트웨어(SmartDrop)를 이용하여 이미지 분석을 통한 결과 데이터를 산출함.
- 순수 PLA의 접촉각은 94.9° 이고 순수 PBAT의 접촉각은 77.0° 로, PLA는 소수성을 나타내고 PBAT는 친수성을 나타냄.
- 다른 연구에서 PLA와 PBAT의 접촉각이 90° 미만인 친수성으로 나타나는 반면⁴⁸⁾, 본 연구에서는 PLA는 소수성을, PBAT는 친수성으로 각각 다르게 나타났으며 PEO와 PBAT의 함량이 증가할수록 PLA/PBAT/PEO 블렌드 필름의 접촉각은 감소함.
- 이는 상대적으로 PLA에 비해 친수성을 가진 PBAT와 PEO의 영향에 기인한 것으로 판단됨.



[그림 54] PEO함량에 따른 PLA/PBAT블렌드 필름의 접촉각 분석

* PEO는 친수성과 소수성의 작용기를 동시에 가지고 있는 양쪽성 고분자로, 소수성인 PLA와 친수성인 PBAT가 잘 섞일 수 있도록 이 두 고분자 사이에서 계면활성제 역할을 하여 상용성을 증가시킬 수 있을 것으로 사료됨

48) Carbonell-Verdu, A., et al. "Manufacturing and compatibilization of PLA/PBAT binary blends by cottonseed oil-based derivatives." Express Polymer Letters 12.9 (2018): 808-823.

(사) 산소투과도(OTR)

- 산소 투과도(OTR, Oxygen transmission rate)는 산소투과도 시험기(OTR-8000, SYSECH ILLINOIS, USA)장비를 이용하여 23℃ 조건에서 측정함.
- 산소투과도는 대부분의 블렌드 필름 샘플군에서 PBAT 및 PEO 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냄.
- 일반적으로 고분자의 결정 구조는 가스와 수증기에 대한 차단 장벽으로 간주되는 반면, 비결정성 구조는 가스 및 수증기가 통과하는 경로를 제공하는 역할을 한다고 보고되었는데⁴⁹⁾, 블렌딩 시에 PBAT가 PLA의 핵 형성 결정화를 방해하는 것을 DSC의 T_c 분석을 통해 알 수 있음.

Sample	OTR(cc/ml · day)	
	측정 값	목표치
PL90_PB10	251	1,500/ 15,000
PL90_PB10_PE1	236	
PL90_PB10_PE2	314	
PL80_PB20	291	
PL80_PB20_PE1	295	
PL80_PB20_PE2	335	
PL70_PB30	386	
PL70_PB30_PE1	331	
PL70_PB30_PE2	286	

[표 56] PLA, PBAT, PEO 함량별 블렌드 필름의 산소투과도(OTR)

* PBAT의 함량의 증가는 필름의 인장강도를 감소시킬 뿐 아니라, 투명도, 단가 증가 등의 영향을 줌에 따라, PBAT함량을 최소화 하면서 산소투과도를 증진시킬 수 있는 연구가 이루어져야 함

49) Lee, W. M. "Selection of barrier materials from molecular structure." Polymer Engineering & Science 20.1 (1980): 65-69.

다. 투과도 조절 및 분산성 연구

(1) 수용성물질 원료 스크리닝

- 투과도 조절을 위한 수용성 물질 스크리닝을 위해 이온 결합 물질 중 matrix내에 분산될 가능성이 있는 소재와 수용성 고분자 중 이용 접근성이 높은 소재를 논문 및 기타자료를 통해 1차 스크리닝을 진행함.
- 스크리닝을 통해 이온결합 물질은 염화나트륨(NaCl), 황산구리(CuSO₄), 황산(H₂SO₄) 및 탄산칼슘(CaCO₃)을 선정하였으며, 수용성 고분자로서 폴리에틸렌옥사이드(PEO, Polyethylene Oxide) 및 폴리비닐아세테이트(PVA, Polyvinyl Acetate)을 선정함.

논문 및 기타자료를 통한 수용성 물질 조사	
① 이온 결합물질 :	NaCl, KCl, CuSO ₄ , H ₂ SO ₄ , CaCO ₃
② 고분자 :	PEO(Mw 100,000 / 1,000,000 / 2,000,000), PVA
↓ 목적에 맞는 소재 선정	
이온 결합물질 : NaCl, CaCO ₃	
고분자 : PEO(Mw 100,000 / 1,000,000 / 2,000,000), PVA	
↓ 선정된 소재에 대하여 물 관련 물성 파악	
PEO(Mw 100,000 / 1,000,000 / 2,000,000), PVA	

[표 58] 수용성 물질 스크리닝 프로세스

(가) 1단계 : 목적에 맞는 소재 선정

- ① 이온결합 물질 : 이온결합 물질의 경우 물에 잘 녹으나 PLA(Polylactic acid) matrix내에 천공이 일어날 정도의 공간을 차지하기 위해서는 매우 높은 함량이 필요할 것으로 판단되어, 독성이 없고, 접근성이 용이한 염화나트륨(NaCl)을 소재로서 최종 선정함.
- ② 고분자 물질 : 상용성이 적은 고분자 물질은 분산되지 못하고 같은 물질이 뭉치는 현상을 발생시킬 수 있기에, 수용성이면서 생분해 포장재의 메인 원료인 PLA와의 상용성을 고려하기 위해 비슷한 용해도⁵⁰⁾를 가진 소재인 PEO와 PVA를 선정함.

50) Solubility parameter, www.polymerdatabase.com

소재	δh^* (MPa ^{1/2})	Ecoh** (J/mol)
Polylactic acid (PLA)	20.2	23,300
Polyoxyethylene (PEO,PEG)	20.8	16,800
Poly(vinyl acetate) (PVA)	19.6	27,700

* : solubility parameter(hildebrand parameter)

** : cohesive energy

[표 59] 고분자 소재의 용해도

(나) 2단계 : 1차 선정된 소재에 관하여 물 관련 물성 파악

- 상온(25° c)에서 이온결합 물질과 고분자 소재인 PEO 및 PVA가 물에 용해됨을 확인 할 수 있었음.
- 고분자량의 PEO(Mw. 1,000,000 이상)의 경우 고분자량의 PEO가 Micelle구조를 형성하면서 swelling이 발생하여 완벽하게 용해되지 않음.
- PVA 또한 상온에서 완벽하게 용해되지 않고 물의 온도가 70° C이상에서 용해됨을 확인함에 따라 수용성 물질 용출 공정에 적용 시 어려움이 있을 것으로 판단됨.

수용성 고분자			
PVA	PEO (Mw 100,000)	PEO (Mw 1,000,000)	PEO (Mw 2,000,000)
			

[표 60] 고분자 소재 용해실험 결과

* 수용성 고분자의 분자량(M.w)이 증가함에 따라 물에 대한 용해도가 감소하며, 이는 수용성 고분자 용출공정에 적합한 고분자는 상대적으로 적은 분자량을 가지고 있는 PEO(100,000)임을 확인함

(2) 투과도 조절 및 분산성 연구

(가) 수용성 고분자 물질을 이용한 투과도 조절

① 투과도 분석

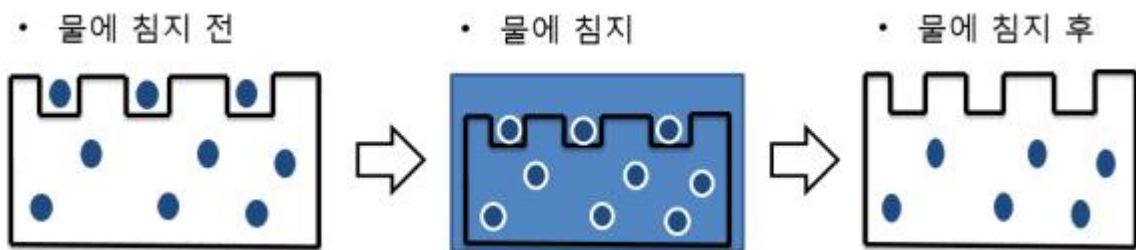
- 수용성 고분자 물질의 투과도 조절을 확인하기 위하여 니더기(To-200, Test-one, Kore) 장비를 이용하여 200° c, 10rpm, 3~5min 조건에서 컴파운딩을 실시.
- 생분해성 수지는 PLA를 사용하였고, 첨가제인 수용성 고분자 물질은 분자량이 다른 PEO 3종(Mw. 100,000, Mw. 1,000,000, Mw. 2,000,000)과 PVA를 사용하였으며, 모든 첨가제들은 5wt%함량으로 첨가함.
- 컴파운딩 후 핫프레스(상판, 하판 195° c)를 통한 필름화를 진행하였으며, 제작된 필름은 침지처리를 거친 후 건조를 진행함.
- 침지 조건은 증류수(23° c)에 1시간 동안 침지 후 필름 표면상의 물기를 제거하고 건조기에 6시간 이상 건조하여 진행함.
- 침지조건을 최적화를 위하여 소니케이터를 이용하여 수용성 고분자 물질의 이탈의 촉진을 기대하였으나, 소니케이터의 강한 에너지의 의해 PLA Matrix가 아래 그림과 같이 파괴되어 단순 증류수 내에 침지하는 조건으로 실험을 진행함.



[그림 59] 소니케이터에 의해 손상된 PLA 필름 표면

- 침지 처리한 샘플과 처리하지 않은 샘플들은 산소투과도(OTR, Oxygen transfer rate) 측정 장비를 이용하여 처리 전후의 산소투과도의 차이를 확인함.
- 산소투과도는 각기 다른 두께를 50 μ m(필름의 평균 두께)값으로 보정하여 두께에 의한 투과도 차이를 최소화함.
- 침지하지 않은 조건에서 대조군(neat PLA)에 비해 수용성 고분자 물질을 첨가한 샘플군 모두 산소투과도가 증가함.

- PVA 샘플에 비해 PEO 샘플군들의 산소투과도 값이 높게 나타났으며, PEO의 분자량이 증가할수록 산소투과도 값이 증가하는 경향을 보임.
- 이는 PEO의 분자량이 높아짐에 따라 PLA matrix 내의 PEO가 차지하는 공간이 넓어져 산소투과도 값이 높아진 것으로 판단됨.
- 대조군으로 수용성 고분자 물질을 첨가 하지 않은 샘플은 물의 침지 처리에 따라 산소투과도가 변하지 않았으며, PEO와 PVA를 첨가한 샘플 모두 침지 처리 후 산소투과도 값이 상승함을 확인할 수 있었음.
- PEO 100,000과 PVA의 경우 22.04에서 46.62(cc/ml·day)로 침지 처리에 따른 산소투과도의 상승 폭이 크지 않았으며, PEO 2,000,000 샘플군이 504에서 804(cc/ml·day)로 처리 전에 비해 1.6배 상승하여 침지처리에 따른 산소투과도 조절 효과가 가장 높은 것으로 나타남.
- 하지만, PEO 100,000 샘플을 제외한 모든 샘플들의 경우 물 용해도 실험결과에서 나타났듯이 상온의 물에 잘 녹지 않는 특징을 보여 샘플들 간의 편차가 매우 심한 특징을 나타냄에 따라 이에 실제 산업에서 적용하기에는 PEO 100,000을 사용하는 것이 적합할 것으로 사료됨.



[그림 60] 수용성 물질과 블렌드한 필름의 물의 침지 전/후 프로세스

PLA함량 (wt%)	첨가제종류 (5wt%)	물 침지 전 OTR (cc/ml·day)	물 침지 후 OTR (cc/ml·day)
100	—	298.2	307.4
95	PVA	345.6	392.2
	PEO (Mw 100,000)	358.0	380.0
	PEO (Mw 1,000,000)	382.2	464.1
	PEO (Mw 2,000,000)	504.0	804.0

[표 62] 첨가제 종류 및 물의 침지 유무에 따른 산소투과도 변화

② 수용성 고분자 물질 첨가에 따른 기계적 물성 변화

- 수용성 고분자 물질 첨가에 따른 물성의 저하 및 증대는 제품개발에 있어 매우 중요한 요소 중 하나이기 때문에 생분해성 농산물 포장재에 적용하기 위한 소재 선정을 위해 첨가제 및 물 침지 처리에 따른 물성의 변화를 측정함.
- 기계적 물성 측정을 위한 샘플은 투과도 분석 샘플과 동일한 방법으로 제작하였으며, PVA와 PEO 2,000,000를 첨가제로서 사용함.
- 기계적 물성은 ISO-527-3:1955 측정규격에 의하여 진행하였으며, UTM (DTU-900MHA, DT&T, Korea)를 이용하여 측정함.
- PEO와 PVA를 넣은 샘플군 모두 대조군에 비해 모두 연신율은 다소 감소하였으나 연신율이 증가하는 동일한 경향성을 나타냄.
- 하지만 PEO의 첨가에 따른 연신율의 증대폭이 PVA 첨가에 비해 높았으며, PVA 샘플군의 경우 침지처리 후 연신율이 낮아졌으나, PEO의 경우 높아지는 특징을 보임.
- 이러한 기계적 물성의 변화는 PEO가 PVA에 비해 투과도 조절 연구에 더 적절한 소재임을 나타냄.
- 더불어, 용해성 결과에서 나타내었듯이 PVA의 경우 고온 조건에서만 용해되는 특징을 보이기 때문에 상대적으로 용해성이 높은 PEO가 실제 제품 개발 적용에 적합할 것으로 사료됨.

Sample		인장강도(MPa)	연신율(%)
Neat PLA	침지처리 전	44.5±3.7	9.5±0.1
	침지처리 후	44.7±1.0	9.5±0.6
PLA+PVA 5wt%	침지처리 전	44.6±3.5	10.8±1.5
	침지처리 후	43.7±1.8	8.5±0.6
PLA+PEO 5wt%	침지처리 전	44.3±1.1	13.0±2.4
	침지처리 후	42.4±1.2	21.2±4.6

[표 63] 첨가제 종류 및 침지 유무에 따른 기계적 물성 변화

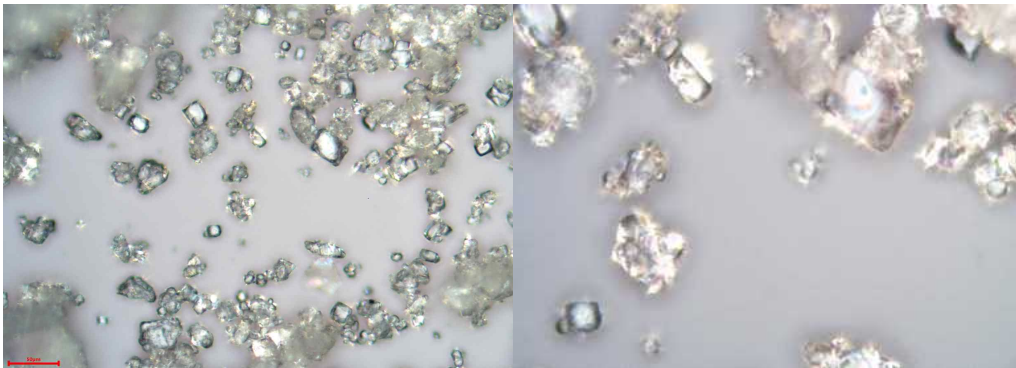
* 수용성 고분자를 첨가한 필름들은 용출처리 후 인장강도가 소폭 감소하는 경향성을 나타냄

* PEO의 경우 처리 후 연신율이 증가하는 반면, PVA는 neat PLA 보다 낮아지는 특징을 보임에 따라, 실제 제품 개발에는 PEO가 적합할 것으로 사료됨

(나) 이온결합 물질을 이용한 투과도 조절

① 염화나트륨(NaCl)을 이용한 투과도 조절 연구

- 이온결합 물질 중 접근성이 높고 용해도가 높은 이온 물질인 염화나트륨을 첨가제로 활용하여 투과도 조절 가능성을 확인함.
- 염화나트륨의 녹는점은 801° c정도로 컴파운딩 조건하에서 용융되지 않기 때문에 고체인 상태로 필름사이에 존재하게 됨에 따라 필름공정에 적용하기 위한 소금의 분쇄공정을 진행함.
- 분쇄를 위해 나노입자 제조장치(100AFG(MD2M), HOSOKAWA, Japan)을 사용하여 30.0 frequency(1/s)에서 6분간 진행한 뒤, 약자사발을 이용하여 재 분쇄 후 30 μ m mesh 체를 이용하여 미분만 확보함.



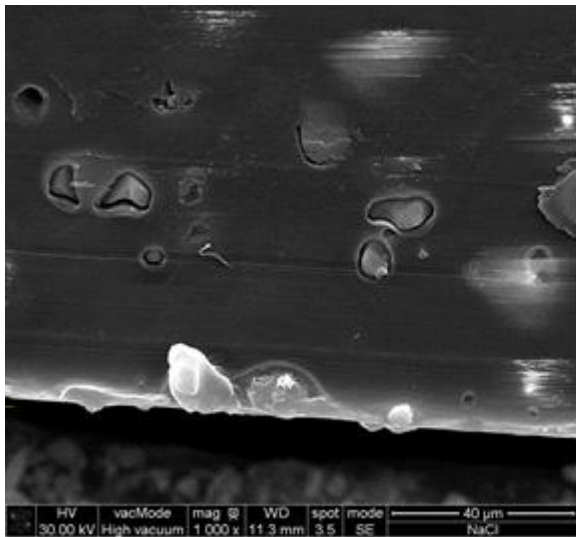
[그림 61] 30 μ m이하 크기 NaCl의 광학현미경 사진

- 미분쇄된 염화나트륨을 PLA에 10, 20 및 30wt% 함량으로 첨가하여, 니더기 장비를 이용하여 200° c, 10rpm, 5min조건하에 컴파운딩을 진행하였으며, 컴파운딩 후 컴파운딩 후 핫프레스 (상판, 하판 : 195°C)를 통해 필름샘플을 제작함.
- 제작한 샘플 중 일부는 침지처리를 하여 침지 전 후 산소투과도를 측정하였으며, 침지 조건은 23° c 증류수에 15min간 침지 후, 표면에 있는 수 물기를 제거 한 뒤 24h 동안 건조처리를 진행함.
- 염화나트륨 입자를 30 μ m로 낮추었음에도 불구하고 샘플 내에 염화나트륨이 분산이 잘 되지 않았을 뿐 아니라, 침지 후 불규칙적인 기공이 발생하는 결과가 발생함
- 특히 염화나트륨 함량 20wt%이상 첨가하였을 때 분산되지 않고 뭉친 염화나트륨이 녹으면서 불규칙 하면서 매우 큰 기공이 발생함.
- 이로 인해 해당 샘플군들의 산소투과도를 측정이 불가능한 상황(>40만 cc/ml · day)이 발생함.

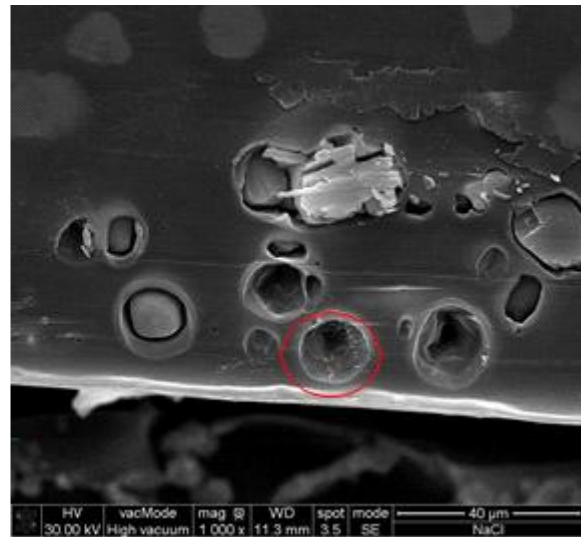
- 염화나트륨을 10wt%이하로 첨가하여야 침지 후 필름에 큰 기공이 발생하지 않으며, 침지에 따른 산소투과도는 1차 목표치인 1500(cc/ml·day)에 도달함.
- 아래 그림과 같이 표면에 섞여 있던 염화나트륨의 일부가 물에 의해 PLA 표면에서 이탈하여 발생한 표면적 증가, 두께 감소 등의 영향으로 산소투과도가 증가한 것으로 판단됨.
- 하지만 염화나트륨의 입자 크기 조절 및 분산성 개선에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 보이며, 염화나트륨의 입자를 낮추면 낮출수록 가공비가 증가하기 때문에 실제 제품에 적용하기에는 다소 시일이 필요할 것으로 사료됨.

PLA 함량 (wt%)	NaCl 함량 (wt%)	두께 (μm)	물 침지 전 OTR (cc/ml·day)	물 침지 후 OTR (cc/ml·day)	목표치 (cc/ml·day)
70	30	125	-	-	1,500/ 15,000
80	20	107	-	-	
90	10	108	104	1,543	

[표 65] NaCl 함량에 따른 침지 전/후 산소투과도 변화



(a) 침지 처리 전



(b) 침지 처리 후

[그림 62] PLA + NaCl 필름 침지 처리 전후 SEM 사진

- * 산소투과도 조절을 위한 염화나트륨 최대 투입 비율은 10%로 확인함
- * 염화나트륨을 첨가 후 용출공정을 통해 산소투과도를 약 15배 가량 증가시킬 수 있음을 확인하였으며, 본 연구 목표치인 1,500에 도달함
- * 염화나트륨 입자크기를 작게(<10μm) 분쇄하여 이용할 경우, 투과도 조절이 가능할 것으로 판단되나, 높은 가공비로 인한 제품화에 어려움이 있음

② 염화나트륨 및 탄산칼슘을 이용한 투과도 조절 연구

- 염화나트륨을 이용한 투과도 조절연구를 통해 PLA에 무기물을 첨가하여 제작한 필름을 침지 처리 공정을 통해 무기물이 필름에서 이탈됨을 확인함에 따라 탄산칼슘과 염화나트륨을 PLA에 첨가하는 실험을 진행함.

a. 개발 메카니즘

- 탄산칼슘은 염산(HCl)과 반응하여 이산화탄소(CO₂)를 배출시키는데 이러한 원리를 이용함.
- PLA에 탄산칼슘(CaCO₃)을 첨가한 뒤 염산(HCl)에 침지 처리를 하여 발생된 이산화탄소에 의해 발생된 공간에 의한 1차적인 투과도 향상을 이끌어냄.
- 이후 PLA Matrix 내에 반응 부산물로 생성된 물이 증가하여 내부의 염화나트륨이 일부 용해 되면서 추가적으로 공간이 발생하여 2차 적인 투과도 향상이 발생함.

염화나트륨 및 탄산칼슘을 이용한 투과도 조절(PLA/NaCl/CaCO₃ 복합필름)

PLA/NaCl/CaCO₃복합필름 제조

↓ HCl 침지 처리

CaCO₃+HCl → CaCl₂+H₂O+CO₂의 반응을 통해 배출된 이산화 탄소로 인해 PLA Matrix내 공간발생 하여 투과도 증가(1차)

↓ 반응에 의해 PLA Matrix내 H₂O 증가

생성된 H₂O에 의해 NaCl이 일부 녹으면서 Matrix내 공간 확장을 통한 투과도 증가(2차)

[표 67] 염화나트륨 및 탄산칼슘을 이용한 투과도 조절 연구 프로세스

b. 실험방법 및 결과

- 이전 염화나트륨 연구에서 염화나트륨의 최대 첨가 함량이 10%임 따라, 염화나트륨 10%에 탄산칼슘을 5, 10%씩 PLA에 각각 첨가하여 샘플을 제작함.
- 샘플 컴파운딩은 니더기 장비를 이용하여 200° c, 10rpm, 5min조건하 컴파운딩을 진행하였으며, 컴파운딩 후 핫프레스(상판, 하판 : 195℃)를 통해 필름샘플을 제작함.

- 염산처리에 따른 투과도 조절 효과 확인을 위해 제작한 샘플 중 일부는 염산 1mol 용액에 1시간동안 침지 처리 후, 55℃에서 충분히 건조를 진행함.
- 침지 처리를 한 샘플과 미처리 샘플의 산소투과도는 산소투과도 시험장비를 통해 측정함.
- 탄산칼슘 함량비율이 5에서 10%로 증가함에 따라 산소투과도는 약 1.8배 가량 증가함.
- 이는, 염산과 탄산칼슘이 반응에 따른 공간 발생 및 반응 부산물인 물에 의해 염화나트륨이 일부 녹아 발생한 추가적인 공간으로 인해 부가적인 투과도 향상이 이루어진 것으로 볼 수 있음.
- 하지만 탄산칼슘의 함량이 증가함에 따라 필름의 불투명도가 증가함을 육안으로 확인함에 따라, 투명성이 확보되어야 하는 제품에는 적용하기 어려울 것으로 사료됨.

NaCl 함량 (wt%)	CaCO ₃ 함량 (wt%)	두께 (μm)	침지 전 OTR (cc/ml·day)	침지 후 OTR (cc/ml·day)	목표치 (cc/ml·day)
10	5	121	854	7,249	1,500/
10	10	115	913	13,272	15,000

[표 68] NaCl 및 CaCO₃ 함량에 따른 침지 전/후 산소투과도 변화



a. CaCO₃ 5%, NaCl 10% b. CaCO₃ 10%, NaCl 10%

[그림 63] NaCl 및 CaCO₃ 함량에 따른 필름 샘플

- * 염화나트륨과 탄산칼슘 동시 첨가 후 염산처리공정을 통해 산소투과도를 8.5-14.5배 가량 증가시킬 수 있음을 확인함
- * 하지만, 탄산칼슘의 첨가량에 따라 필름의 백색이 증가하여 투명성을 요하는 제품군에는 적합하지 않을 것으로 사료됨

라. 생분해성 농산물 필름 Pilot 테스트

(1) 캐스팅 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조 및 특성 분석

(가) 캐스팅 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조

① 원료 배합비 및 전처리

- Lab scale 실험에서 가능성이 가장 높은 샘플군으로 판단된 두가지 배합비에 대한 단층 압출 필름 제조를 진행함.
- 생분해성 플라스틱 원료 PLA(4032D, Natureworks, USA), PBAT(PBG7070, S-Enpol, Korea) 와, PEO(Alfa Aesar, Mw:100,000)를 이용함.
- 각 원료들은 건조기(JSVO-60T, JSR, KOREA)에서 24시간동안 건조하여 가공 중 수분에 의한 물성 저하를 방지하였음.
- 아래의 표와 같은 함량비로 배합한 PLA, PBAT 및 PEO를 금속 트레이에 넣고 진공 오븐(JSVO-60T, JSR, KOREA)에 80℃에서 30분간 저장하여 PEO를 PLA와 PBAT표면에 녹이는 전처리를 진행함.

Sample	배합비 (%)		
	PLA	PBAT	PEO
PL80PB20PE2	80	20	2
PL70PB30PE2	70	30	2

[표 70] PLA/PBAT/PEO 함량별 블렌드 필름 샘플명

시험분석용 Twin Extruder 사진



[표 71] 시험분석용 Twin Extruder

② 시험분석용 단층 압출필름 제조 방법

- 전처리된 PLA, PBAT 및 PEO를 T-die가 부착된 twin-screw extruder(Gm twin25, Gulnarmarkina, Turkey)를 이용하여 블렌딩을 진행하였음.
- 블렌딩 시 수분에 의한 물성저하를 방지하기 위해 공랭방식으로 서냉 하였음.
- 제조된 생성물을 통해 T-die가 부착된 twin-screw extruder로 단층 필름을 제작함
- 필름 압출은 압출속도 180rpm, 원료 투입속도 3rpm, 배럴 최대 온도는 205℃로 설정하여 압출하였으며, 자세한 온도조건은 다음 표에 나타냄.
- 필름의 두께는 50 μ m-60 μ m이 되도록 권취기의 속도를 조절함.

압출기 조건			
Section	Temperature(℃)		Feeder rotation speed(rpm)
	Compounding	Cast film	
1	50	80	3
2	100	120	
3	180	160	Screw speed(rpm) 180
4	205	205	
5	205	205	
6	200	190	Thickness of film(μ m) 50-60
7	190	180	
Die	180	175	

[표 72] 압출기 사출 조건

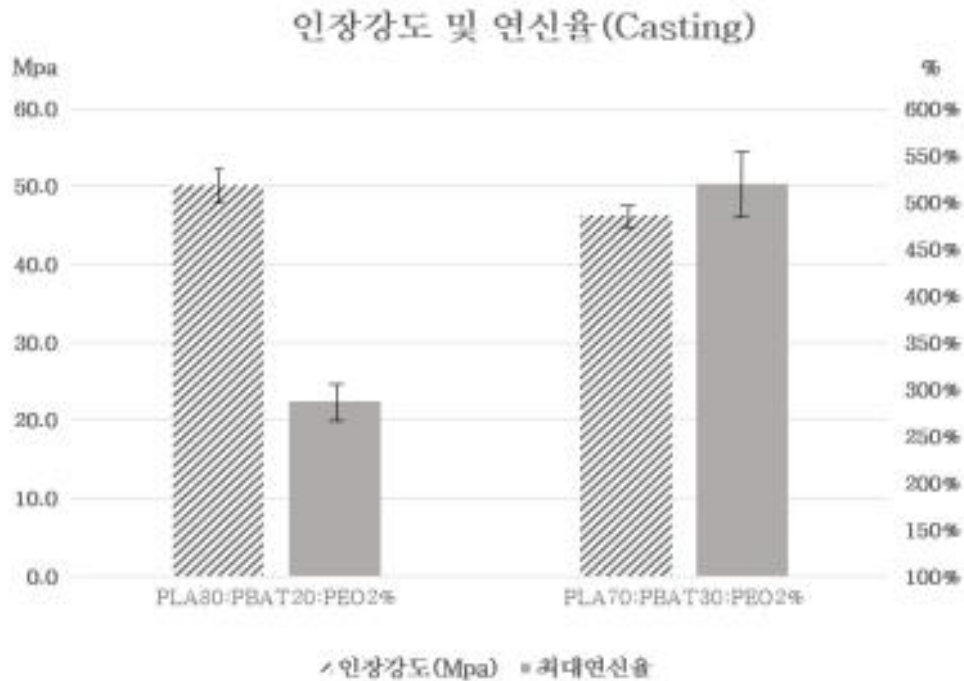


[표 73] 시험분석용 Pilot scale 단층 압출 필름

(나) 캐스팅 장비를 이용한 단층 압출 필름 특성 분석

• 기계적 특성(인장강도 및 연신율)

- 제조된 시험분석용 블렌드 필름 샘플들은 18시간이상 항온항습기(23℃, RH 50%)에서 18시간 이상 보관 후, 변형된 ISO 527-3:1995 규격에 따라 universal test machine(DTU-900MHA, DT & T, Korea)으로 측정함.
- PBAT의 함량이 증가함에 따라 연신율은 증가, 인장강도는 감소하는 경향을 보이는 것을 Lab scale 실험을 통해 확인하였으며, Pilot의 경우 연신율이 Lab scale에 비해 큰 폭으로 늘어남.
- 인장강도의 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 50.1, 46.2N/mm²로 PBAT의 함량이 늘어남에 따라 줄어드는 양상을 보임.
- 인장강도의 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 286.2, 519.0%로 PBAT의 함량이 늘어남에 따라 증가하는 양상을 보임.



[그림 68] Pilot scale 캐스팅 필름 기계적 특성

* PL80_PB20_PE2 샘플과 PL70_PB30_PE2 샘플 모두 본 연구개발의 목표치인 인장강도 40N/mm²달성 및 연신율 50%를 크게 상회함.

• 산소 투과도 분석(OTR)

- 산소 투과도(OTR, Oxygen transmission rate)는 산소투과도 시험기(OTR-8000, SYSECH ILLINOIS, USA)장비를 이용하여 23℃ 조건에서 측정함.
- 스크리닝 단계에서 PBAT 및 PEO 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈으나, Pilot 단계에서 PBAT함량 증가에 따른 산소투과도 증가 경향성은 나타나지 않음.
- 실험 분석결과 PEO함량의 증가에 따른 산소투과도 증가는 예상되나, 실험에 사용된 필름 두께의 영향이 PBAT의 함량에 비해 미치는 영향이 더 큰 것으로 판단됨.
- 각 샘플의 산소투과도에 대한 두께 영향을 줄이기 위해 산소투과도(OTR)에 두께(L)을 곱하고 샘플의 대표 두께인 50으로 나누어 산소투과도 값을 보정하였음.

Sample	OTR(cc/ml day)
	측정 값
PL80_PB20_PE2	444 ± 94.2
PL70_PB30_PE2	353 ± 18.4

[표 75] PLA, PBAT, PEO 블렌드 필름의 산소투과도(OTR)

* Pilot 캐스팅 필름의 산소투과도의 경우 PL80_PB20_PE2이 평균 444cc/ml day로 PL70_PB30_PE2 샘플에 비해 91cc/ml day 높은 결과를 보임. 두께별 산소투과도가 상이한 것으로 판단됨에 따라 양산장비를 사용한 필름 제조 시 보다 낮은 두께의 필름 제조가 필요할 것으로 판단됨.

(2) 블로운 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조 및 특성 분석

(가) 블로운 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조

① 원료 배합비 및 전처리

- 생분해성 플라스틱 원료 PLA(4032D, Natureworks, USA), PBAT(PBG7070, S-Enpol, Korea) 와, PEO(Alfa Aesar, Mw:100,000)를 이용함.
- 각 원료들은 건조기(JSVO-60T, JSR, KOREA)에서 24시간동안 건조하여 가공 중 수분에 의한 물성 저하를 방지하였음.
- 아래의 표와 같은 함량비로 배합한 PLA, PBAT 및 PEO를 금속 트레이에 넣고 진공 오븐(JSVO-60T, JSR, KOREA)에 80℃에서 30분간 저장하여 PEO를 PLA와 PBAT표면에 녹이는 전처리를 진행함.

Sample	배합비 (%)		
	PLA	PBAT	PEO
PL80PB20PE2	80	20	2
PL70PB30PE2	70	30	2

[표 77] PLA/PBAT/PEO 함량별 블렌드 필름 샘플명

블로운 장비 사진



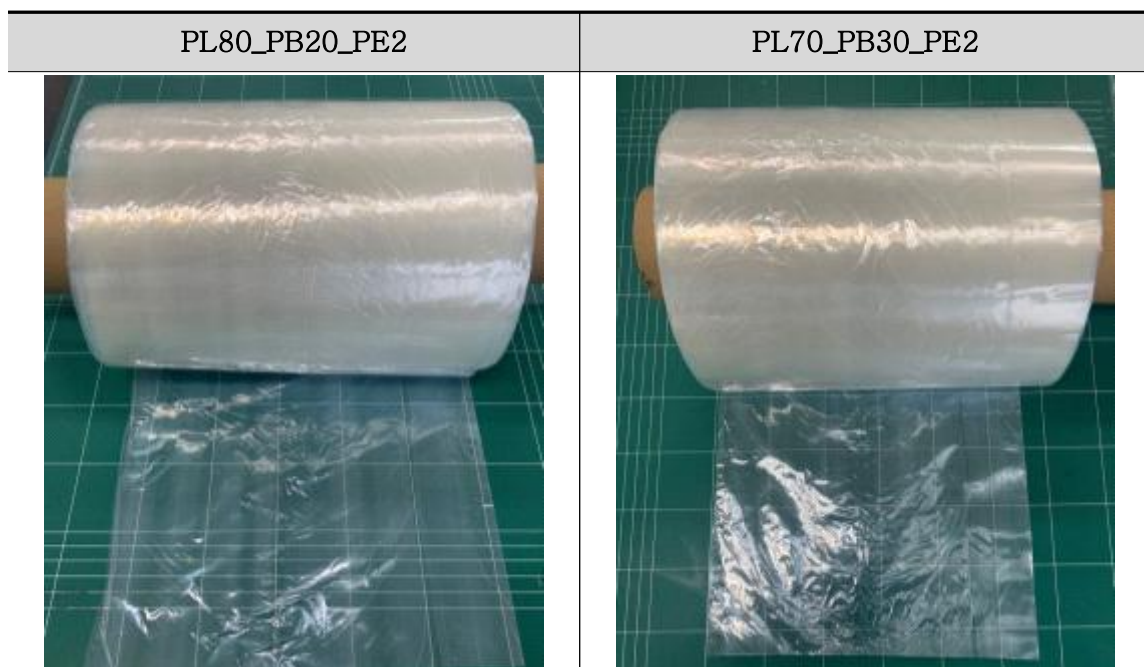
[표 78] 블로운 장비 사진

② 시험분석용 단층 압출필름 제조 방법

- 전처리된 PLA, PBAT 및 PEO를 T-die가 부착된 twin-screw extruder(JTE-75HS, 진산PRM, Korea)를 이용하여 블렌딩을 진행하였음.
- 블렌딩 시 수분에 의한 물성저하를 방지하기 위해 공랭방식으로 서냉 하였음.
- 제조된 생성물을 통해 Twin extruder(대륜기계, Korea)로 단층 블로운 필름을 제작함.
- 필름 압출은 원료 투입속도 12rpm, 배럴 최대 온도는 185℃로 설정하여 압출하였으며, 자세한 온도조건은 다음 표에 나타냄.
- 필름의 두께는 20 μ m-40 μ m이 되도록 권취기의 속도를 조절함.

압출기 조건		
Temperature (°C)		Feeder rotation speed(rpm)
Section	Blown film	
1	145	12
2	170	
3	175	Screw speed(rpm) 220
4	185	
5	180	
6	175	Thickness of film(μ m) 20-40
7	175	
Die	178	

[표 79] 압출기 사출 조건

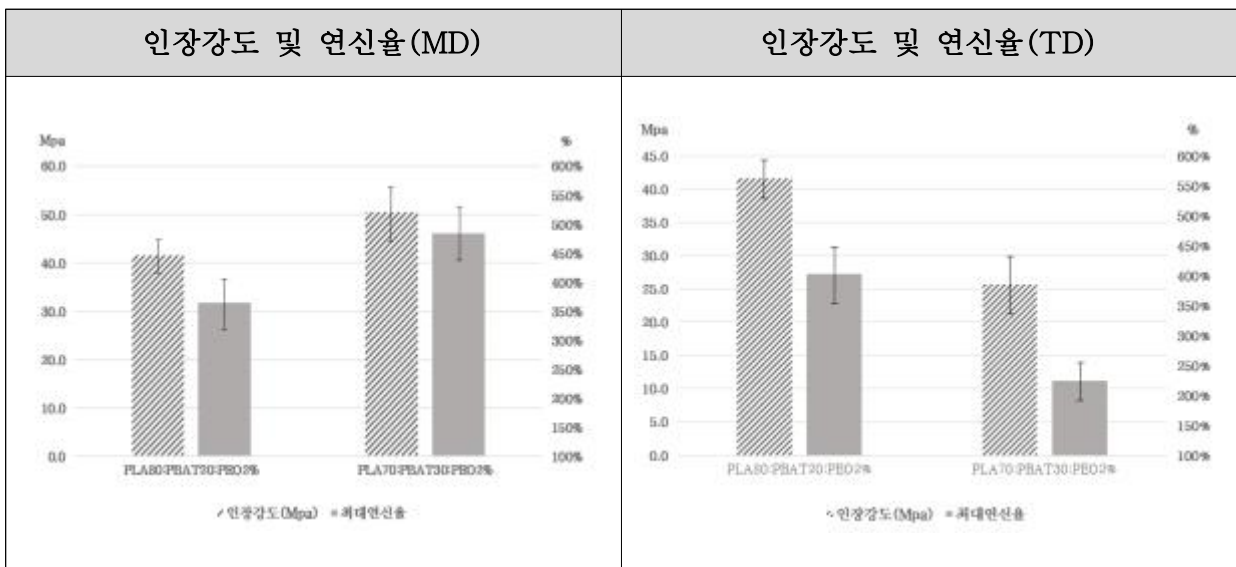


[표 80] 시험분석용 Pilot scale Blown 압출 필름

(나) 블로운 장비를 이용한 단층 압출 필름 기계적 특성분석

• 기계적 특성(인장강도 및 연신율)

- 제조된 시험분석용 블렌드 필름 샘플들은 18시간이상 항온항습기(23℃, RH 50%)에서 18시간 이상 보관 후, 변형된 ISO 527-3:1995 규격에 따라 universal test machine(DTU-900MHA, DT & T, Korea)으로 측정함.
- 블로운 필름의 경우 Cast필름과 비교하였을 때 필름 두께를 20 μ m-40 μ m으로 제작하여 필름을 압출하였음.
- 블로운 필름의 인장강도 및 연신율의 경우 MD(Machine Direction), TD(Transverse Direction)로 이축연신이 되는 관계로 두 가지 모두 측정 후 분석함.
- MD의 인장강도의 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 41.6, 50.4N/mm²로 두 가지 샘플 모두 과제 목표치에 도달하였으며, TD의 인장강도의 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 40.4, 25.6N/mm²로 PL80_PB20_PE2샘플이 과제 목표치에 도달함.
- MD의 연신율의 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 365.1, 484.6%, TD의 연신율 경우 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2는 각각 403.2, 224.5%로 모든 샘플이 과제 목표치에 도달.



[표 81] Blown film 인장강도 및 연신율

* 블로운 필름의 경우 연신율은 모든 샘플이 연구개발 목표치에 도달 하였으며, 또한 필름의 MD, TD의 연신율의 차이는 PL80_PB20_PE2, PL70_PB30_PE2 각각 38.12, 260.07%로 PL70_PB30_PE2 샘플에서 비교적 큰 차이를 보임.

- 산소 투과도 분석(OTR)

- 산소 투과도(OTR, Oxygen transmission rate)는 산소투과도 시험기(OTR-8000, SYSECH ILLINOIS, USA)장비를 이용하여 23℃ 조건에서 측정함.
- 각 샘플의 산소투과도에 대한 두께 영향을 줄이기 위해 산소투과도(OTR)에 두께(L)을 곱하고 샘플의 대표 두께인 50으로 나누어 산소투과도 값을 보정하였음.
- 캐스팅 필름의 산소 투과도 실험 분석 시 두께에 따른 산소투과도에 미치는 영향과 동일하게 필름의 두께가 25~40 μ m로 압출된 블로운 필름에서도 그 경향성을 확인할 수 있음.
- 캐스팅 필름과 비교하였을 때 블로운 장비에서 제조한 필름의 OTR(cc/ml day)값이 비교적 높은 수치의 결과를 보임.

Sample	OTR(cc/ml day)
	측정 값
PL80_PB20_PE2	442±16.8
PL70_PB30_PE2	484±26.6

[표 83] PLA, PBAT, PEO 블렌드 필름의 산소투과도(OTR)

* 산소투과도 실험분석 결과 블로운 장비를 통해 제조한 필름은 캐스팅 장비에 비해 OTR(cc/ml day)값의 평균이 높은 것으로 분석됨.

(3) 생분해성 농산물 필름 Pilot 테스트 주요 시사점

- Cast 필름의 경우 PL80_PB20_PE2 샘플과 PL70_PB30_PE2 샘플 모두 본 연구개발의 목표치인 인장강도 40N/mm^2 과 연신율 50% 에 도달함.
- Blown 필름의 경우 PL80_PB20_PE2 샘플만 MD, TD방향 모두 본 연구개발 목표치에 도달하였으며, PL70_PB30_PE2 샘플의 경우 MD, TD방향의 연신율에서 유의적인 차이를 보임.
- 본 시험분석(Pilot scale) 필름 제조 및 분석을 통해 PEO 첨가에 따른 PLA/PBAT 블렌드 필름의 상용성 증대 및 연신율 증대 효과는 PL80_PB20 배합비의 블렌드에서 효과가 큰 것으로 분석됨.
- Pilot test 실험분석결과 PL70_PB30 샘플에 비해 PL80_PB20_PE2 배합비의 결과가 보다 긍정적으로 판단되어 PL80_PB20_PE2를 이용하여 양산 장비를 통해 실험 분석 진행.
- 또한 사용된 필름제조를 위한 설비는 Pilot scale 장비로 양산 장비를 통해 보다 높은 품질의 샘플을 확보할 수 있을 것으로 기대됨.

마. 캐스팅 양산장비를 필름 제품 개발

(1) 캐스팅 양산장비를 이용한 필름 제조 및 분석

(가) 캐스팅 양산장비를 이용한 필름 제조

① 원료 배합비 및 전처리

- Pilot 테스트에서 실험분석 후 선별한 배합비인 PL80_PB20_PE2의 배합비로 캐스팅 필름과 블로운 필름 양산 필름을 제조함.
- 생분해성 플라스틱 원료 PLA(4032D, Natureworks, USA), PBAT(PBG7070, S-Enpol, Korea) 와, PEO(Alfa Aesar, Mw:100,000)를 이용함.
- 각 원료들은 건조기(JSVO-60T, JSR, KOREA)에서 24시간동안 건조하여 가공 중 수분에 의한 물성 저하를 방지하였음.
- 아래의 표와 같은 함량비로 배합한 PLA, PBAT 및 PEO를 KNEADER 7.5HP(15L) (유니텍(주), KOREA)에 넣고 90℃에서 30분간 믹싱 하여 PEO를 PLA와 PBAT 표면에 녹이는 전처리를 진행함.

Sample	배합비(%)		
	PLA	PBAT	PEO
PL80PB20PE2	80	20	2

[표 85] PLA/PBAT/PEO 블렌드 필름 샘플 배합비

전처리 작업 KNEADER 7.5HP(15L)



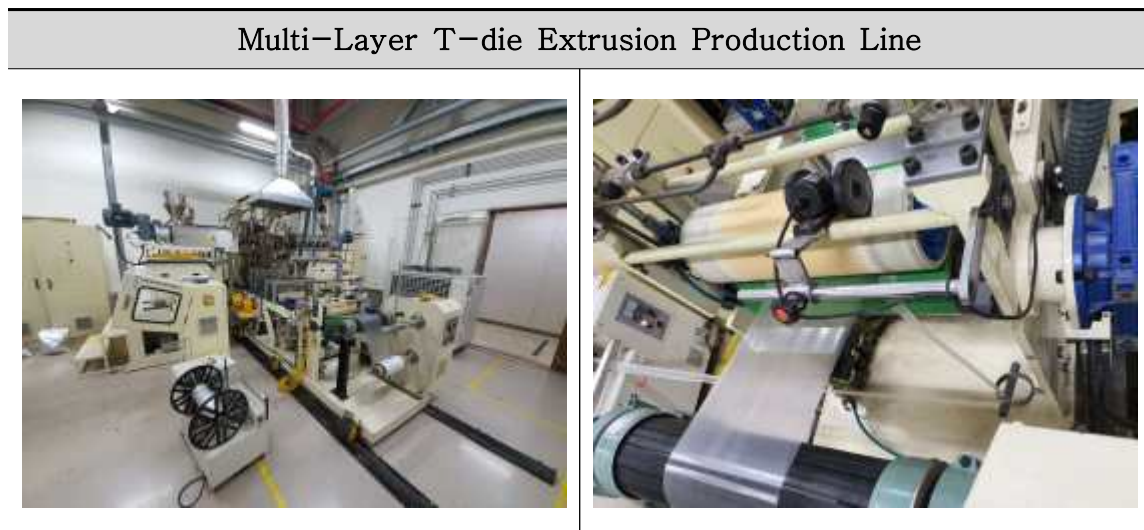
[표 86] 전처리 KNEADER 사진

② 캐스팅 양산장비를 이용한 필름 압출

- 전처리된 PLA, PBAT 및 PEO를 T-die가 부착된 twin-screw extruder(JTE-75HS, 진산PRM, Korea)를 이용하여 블렌딩을 진행하였음.
- 블렌딩 시 수분에 의한 물성저하를 방지하기 위해 공랭방식으로 서냉 하였음.
- 제조된 생성물을 통해 T-die가 부착된 Multi-Layer T-die Extrusion Production Line(한국이엠주식회사, Korea)로 단층 필름을 제작함.
- 필름 압출은 압출속도 180rpm, 원료 투입속도 5rpm, 배럴 최대 온도는 195℃로 설정하여 압출하였으며, 자세한 온도조건은 다음 표에 나타냄.
- 필름의 두께는 30 μ m-40 μ m과 50 μ m-60 μ m이 되도록 권취기의 속도를 조절함.

압출기 조건				
Section	Temperature (°C)		Feeder rotation speed(rpm)	
	Cast film			
1	80		5	
2	120		Screw speed(rpm) 180	
3	180			
4	195			
5	195			
6	180		Thickness of film(μ m)	
7	175			
Die	161		30-40	50-60

[표 87] 양산 캐스트 필름 압출 조건

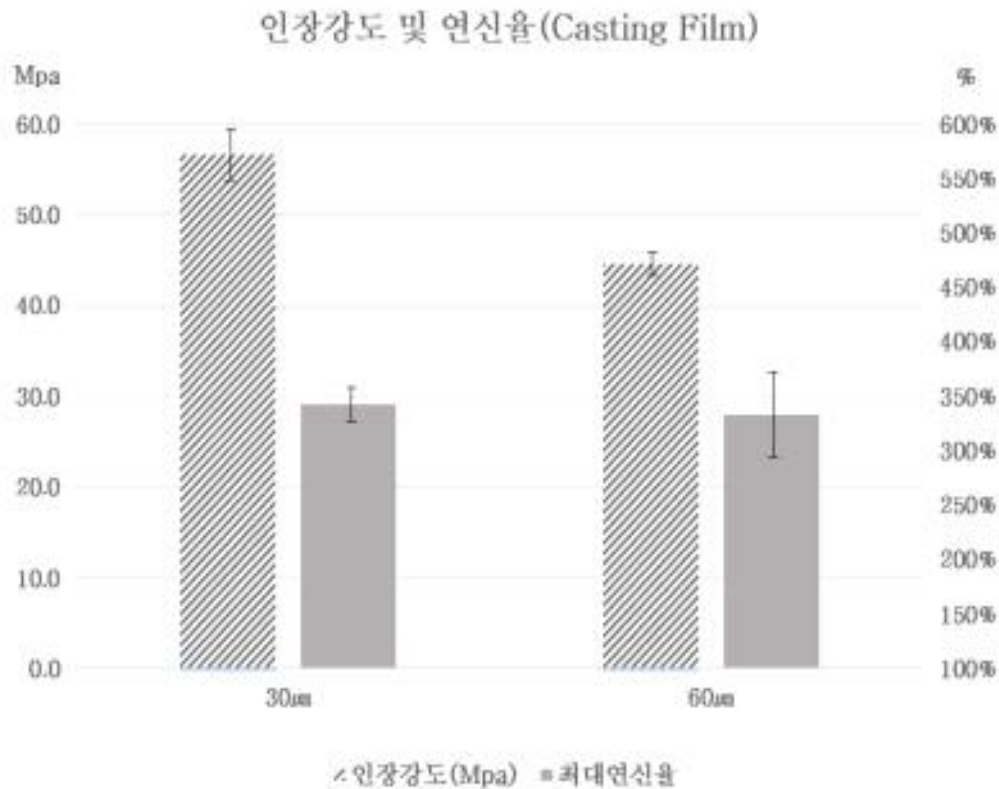


[표 88] 양산 필름 제조 장비 사진

(나) 캐스팅 양산장비를 이용한 필름 분석

• 기계적 특성(인장강도 및 연신율)

- 제조된 시험분석용 블렌드 필름 샘플들은 18시간이상 항온항습기(23℃, RH 50%)에서 18시간 이상 보관 후, 변형된 ISO 527-3:1995 규격에 따라 universal test machine(DTU-900MHA, DT & T, Korea)으로 측정함.
- 인장강도의 경우 PL80_PB20_PE2 두께 30 μ m, 60 μ m 샘플 각각 55.9, 43.9N/mm²로 두께가 얇은 평균 30 μ m의 샘플의 인장강도가 높게 분석됨.
- 연신율의 경우 PL80_PB20_PE2 두께 30 μ m, 60 μ m 샘플 각각 326.9, 304.1%로 두께가 얇은 평균 30 μ m의 샘플의 연신율이 더 높게 분석됨.



[그림 79] 두께별 인장강도 및 연신율 그래프

* 양산 캐스팅 필름의 경우 PL80_PB20_PE2 두께 30 μ m, 60 μ m 샘플 모두 연구개발 목표치를 달성하였으며 두께가 얇은 샘플이 인장강도 및 연신율 모두 더 높은 결과를 보임.

• 실링강도

- 실링강도는 ASTM F88(seal strength testing equipment for flexible barrier materials)에 의거 측정하였으며, 강도 측정은 위한 샘플은 실링압력 2.9kgf/cm², 실링온도 100℃에서 1초간 실링한 후, 폭 15mm로 제단하고 만능재료시험기를 통해 측정함.
- 블로운 양산 장비를 통해 제조한 제품의 실링강도를 측정하였으며, 실링강도는 30, 60 μm 샘플 각각 평균 3.0, 9.9N/mm²으로 60μm 제품은 목표치인 9.8N/mm²를 달성함.

샘플명	실링강도 (N/mm ²)		실링조건
	측정치	목표	
30μm	3.0±0.46	9.8	압력: 0.3kgf/cm ² 온도 : 100℃ 시간 : 1sec
60μm	9.9±0.39	9.8	

[표 90] 연구 개발 생분해성 필름 실링강도

* 캐스팅 양산장비를 통해 제조한 60μm 제품의 경우 실링강도 본 연구의 목표치인 9.8N/mm²을 달성함.

• 산소 투과도 분석(OTR)

- 산소 투과도(OTR, Oxygen transmission rate)는 산소투과도 시험기(OTR-8000, SYSECH ILLINOIS, USA)장비를 이용하여 23℃ 조건에서 측정함.
- 각 샘플의 산소투과도에 대한 두께 영향을 줄이기 위해 산소투과도(OTR)에 두께(L)을 곱하고 샘플의 대표 두께인 50으로 나누어 산소투과도 값을 보정하였음.
- 양산 장비를 통해 제조한 필름의 경우 Pilot 장비를 이용해 제조한 필름과 비슷한 산소투과도 값을 보임.

구분	Sample	OTR(cc/ml day)
		측정 값
Pilot	PL80_PB20_PE2	444±94.2
양산	30μm	446±5.68
	60μm	460±9.49

[표 92] PLA, PBAT, PEO 블렌드 필름의 산소투과도(OTR)

(2) 블로운 양산 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조 및 특성 분석

(가) 블로운 양산 장비를 이용한 단층 압출 필름 제조

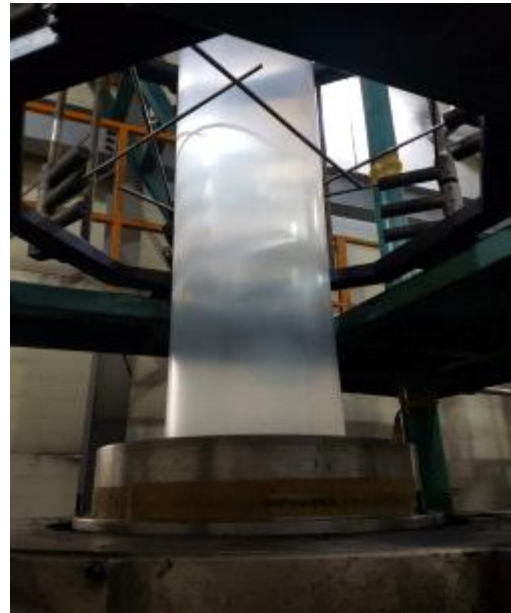
① 원료 배합비 및 전처리

- 생분해성 플라스틱 원료 PLA(4032D, Natureworks, USA), PBAT(PBG7070, S-Enpol, Korea) 와, PEO(Alfa Aesar, Mw:100,000)를 이용함.
- 각 원료들은 건조기(JSVO-60T, JSR, KOREA)에서 24시간동안 건조하여 가공 중 수분에 의한 물성 저하를 방지하였음.
- 아래의 표와 같은 함량비로 배합한 PLA, PBAT 및 PEO를 KNEADER 7.5HP(15L) (유니텍(주), KOREA)에 넣고 90℃에서 30분간 믹싱 하여 PEO를 PLA와 PBAT 표면에 녹이는 전처리를 진행함.

Sample	배합비 (%)		
	PLA	PBAT	PEO
PL80PB20PE2	80	20	2

[표 93] PLA/PBAT/PEO 함량별 블렌드 필름 샘플명

블로운 장비 사진



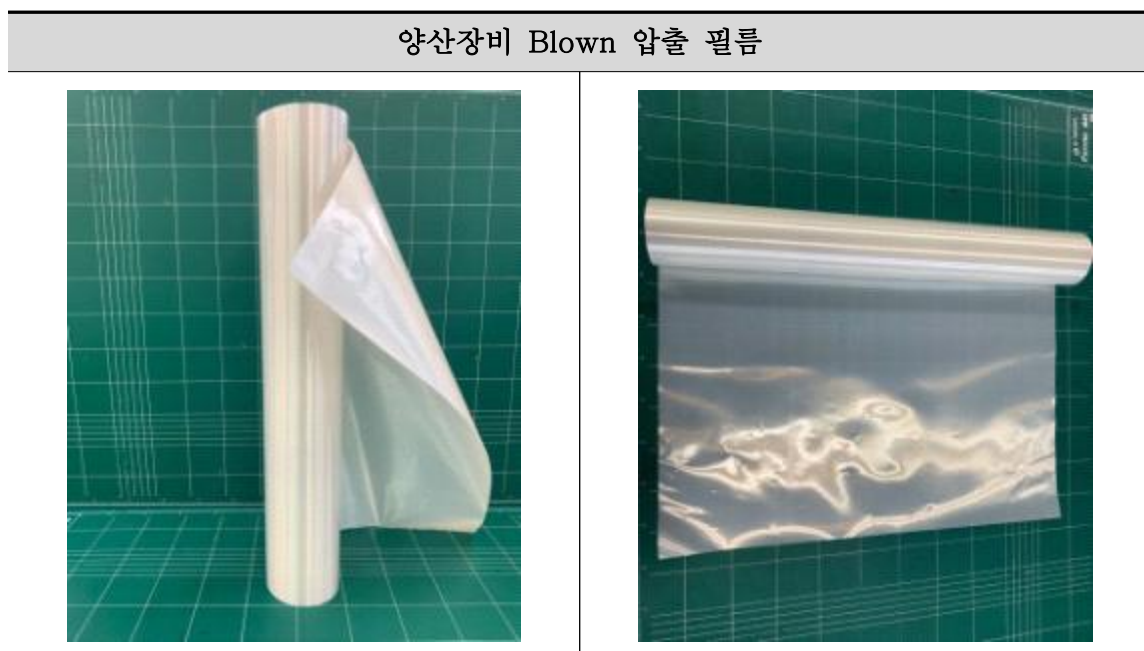
[표 94] 블로운 장비 사진

② 블로운 양산장비를 이용한 필름 압출

- 전처리된 PLA, PBAT 및 PEO를 T-die가 부착된 twin-screw extruder(JTE-75HS, 진산PRM, Korea))를 이용하여 블렌딩을 진행하였음.
- 제조된 생성물을 통해 Twin extruder(다이스40mmpp, 대륜기계, Korea)로 단층 블로운 필름을 제작함.
- 필름 압출은 원료 투입속도 12rpm, 배럴 최대 온도는 185℃로 설정하여 압출하였으며, 자세한 온도조건은 다음 표에 나타냄.
- 필름의 두께는 75 μ m-85 μ m이 되도록 권취기의 속도를 조절함.

압출기 조건		
Temperature (°C)		Feeder rotation speed(rpm)
Section	Blown film	
1	145	12
2	170	Screw speed(rpm)
3	175	
4	185	
5	180	Thickness of film(μ m)
6	175	
7	175	
Die	178	

[표 95] 압출기 사출 조건

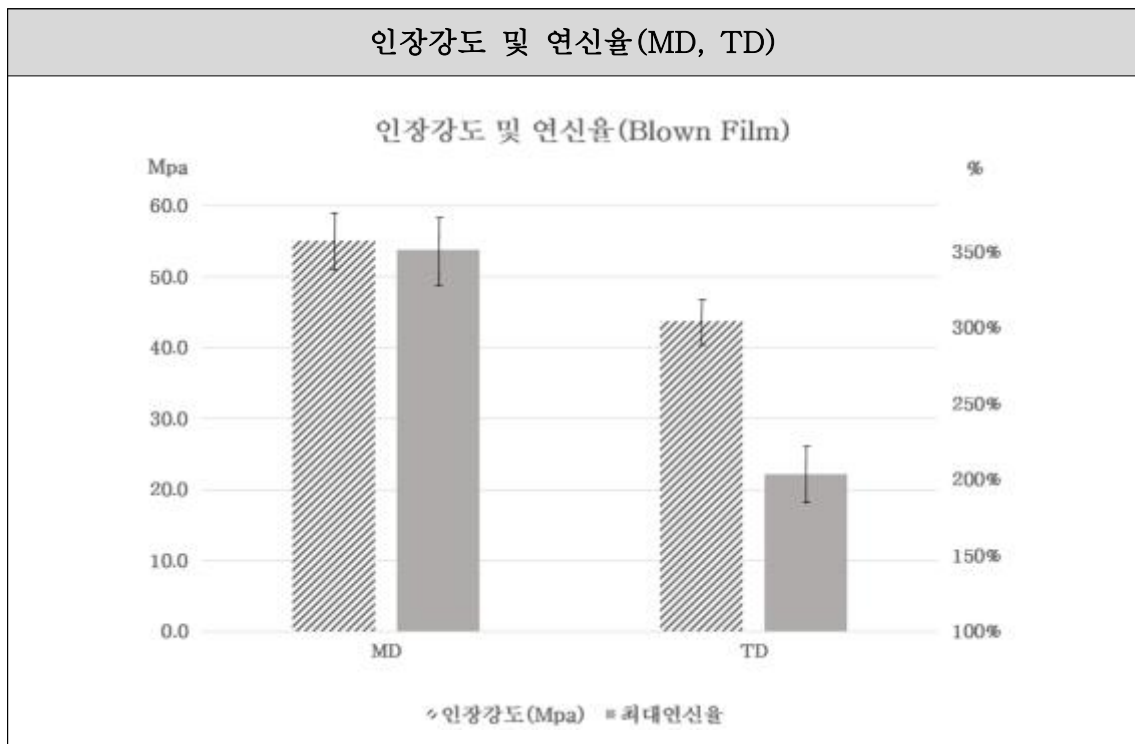


[표 96] 양산장비 Blown 압출 필름

(나) 블로운 양산 장비를 이용한 단층 압출 필름 특성분석

• 기계적 특성(인장강도 및 연신율)

- 제조된 시험분석용 블렌드 필름 샘플들은 18시간이상 항온 항습기(23℃, RH 50%)에서 18시간 이상 보관 후, 변형된 ISO 527-3:1995 규격에 따라 universal test machine(DTU-900MHA, DT & T, Korea)으로 측정함.
- 블로운 필름의 인장강도 및 연신율의 경우 MD(Machine Direction), TD(Transverse Direction)로 이축연신이 되는 관계로 두 가지 모두 측정 후 분석함.
- 연신율의 경우 MD, TD 방향 각각 351.20, 203.24%, 인장강도의 경우 각각 55.01, 43.63N/mm²로 MD, TD 방향 모두 과제 목표치에 도달.



[표 97] Blown film 인장강도 및 연신율

* 블로운 필름의 경우 연신율과 인장강도 모두 연구개발 목표치에 도달 하였으며, 양산장비를 이용한 필름 평균 두께가 80 μ m임에도 불구하고 목표치를 달성하였기에 필름의 두께를 얇게 제조 시 인장강도 및 연신율의 추가적인 증가가 있을 것으로 판단됨.

• 실링강도

- 실링강도는 ASTM F88(seal strength testing equipment for flexible barrier materials)에 의거 측정하였으며, 강도 측정은 위한 샘플은 실링압력 2.9kgf/cm², 실링온도 100℃에서 1초간 실링한 후, 폭 15mm로 제단하고 만능재료시험기를 통해 측정함.
- 블로운 양산 장비를 통해 제조한 제품의 실링강도를 측정하였으며, 실링강도는 평균 12.0N/mm²으로 목표치인 9.8N/mm²를 달성함.

샘플명	실링강도 (N/mm ²)		실링조건
	측정치	목표	
PL80_PB20_PE2 Blown Film	12.0±1.77	9.8	압력: 3kgf/cm ² 온도 : 100℃ 시간 : 1sec

[표 99] 연구 개발 생분해성 필름 실링강도

* 실링강도 본 연구의 목표치인 9.8N/mm²을 달성함.

• 인쇄 가능성 분석

- 폰 연구개발 제품의 인쇄 적성을 확인하기 위해 Gravo-Proof(Nissho Gravure co. LTD, Japen) 그라비어 인쇄기를 이용해 연구개발 필름 인쇄테스트를 진행.
- 인쇄가능성의 경우 극히 미세한 번짐 현상이 일부 존재하나, 본 연구개발 제품 인쇄 시 영향이 없을 것으로 판단됨.



[표 101] 그라비어 인쇄기 및 본 연구개발 필름

④ 생산 적합성 분석 및 시제품 필름 생산

- 본 연구개발 제품을 (주)에이치피엠글로벌이 보유하고 있는 제대 생산설비를 통해 양산 시제품 제작을 수행함.
- 본 연구의 목표인 3종 규격의 시제품을 제작하였으며, 3종 규격은 ‘농산물 표준규격 고시 제4조 관련-별표2 농산물용 포장치수’에 의거하여 설정.
- 생산 적합성 분석결과 제품화 공정 중 어려움 없이 제품화 가능하여 생산 라인에 적용 시 문제없이 제품생산이 가능할 것으로 판단됨.

No	포장치수 (길이mm*너비mm)	표준규격 일련번호	시제품
1	450*320	43	
2	400*240	48	
3	300*195	50	

[표 102] 개발포장재 설정 규격 및 시제품

* 포장재 크기별 3종 규격으로 시제품 제작 완료함



[표 104] 연구개발 필름 제대 공정

(3) 시제품 적용 예상도

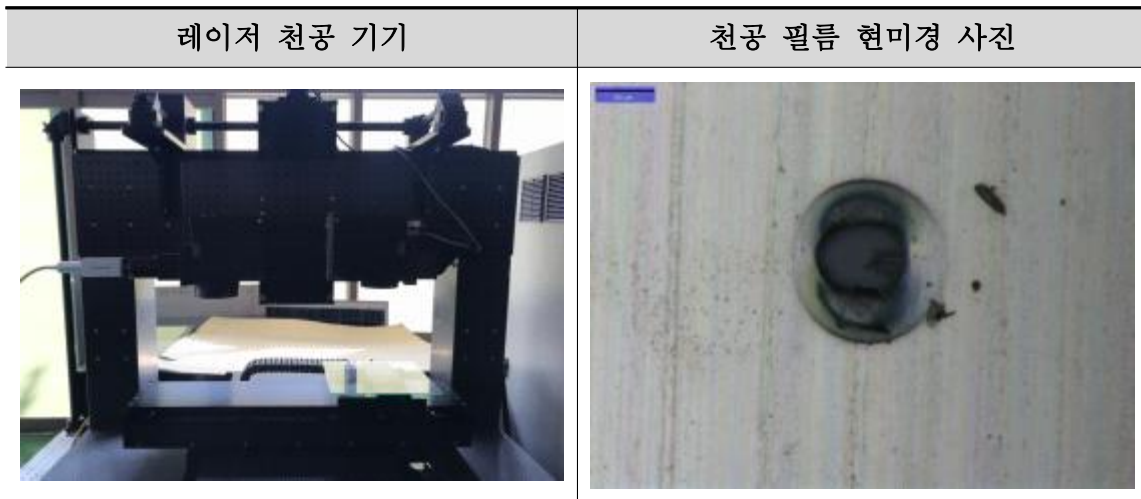
- 양산 장비를 이용하여 압출한 필름을 통해 실제 유통되고 있는 농산물 제품들과 같은 형태로 포장재 제작을 진행함.
- 개발포장재 규격은 아래와 같이 농산물 표준규격 고시 제4조 ‘별표2, 농산물용 포장치수’에 의거하여 3종의 포장규격을 설정하여 개발함.

기존 제품			
연구개발 제품			
기존 제품			
연구개발 제품			

[표 105] 양산필름 포장 예상도

(4) 산소 투과도 분석(OTR)

- 투과도 확보를 위해 레이저 천공장비(lab, (주)에스엠텍, Korea)를 이용하여 천공조건을 수립함.
- 캐스팅 및 블로운 양상장비를 통해 제작한 시제품의 산소투과도가 각각 446, 111cc/mml day로 도출됨에 따라 캐스팅으로 생산한 시제품은 고투과용 제품으로 블로운으로 생산한 시제품은 저투과 제품으로 레이저 천공 진행.
- 홀 사이즈는 56.6 μ m사이로 천공하였으며, 천공 후 산소투과도 측정을 통해 천공 간격 및 배치를 설정함.



[표 106] 천공 가공 기기 및 처리 후 필름 현미경 사진

- 산소 투과도(OTR, Oxygen transmission rate)는 산소투과도 시험기(OTR-8000, SYSECH ILLINOIS, USA)장비를 이용하여 23℃ 조건에서 측정함.
- 레이저 천공을 진행한 필름의 경우 모두 연구개발 목표치인 1,500, 15,000cc/ml day를 달성하였음.

Sample		OTR(cc/ml day)
		측정 값
저투과	천공 전	111
	천공 후	1,987
고투과	천공 전	446
	천공 후	16,608

[표 107] PLA, PBAT, PEO 블렌드 필름 천공별 산소투과도(OTR)

* 산소투과도 실험분석 결과 천공 샘플 모두 연구개발 목표치인 1,500, 15,000cc/ml day를 달성하였음

(5) 개발제품의 경제성 분석

- 농산물에 적용하기 위한 생분해성 포장재 개발제품의 제조원가는 장당 43원 수준으로 기존 범용포장재(PP, LDPE)에 비해 약 2.5배 수준임.
- 기존 농산물 단위포장재로 보급되고 있는 포장재의 경우 장당 42원 수준으로 개발제품에 비해 1원 가량 낮으나, 연신율 및 투과도 등에 한계가 있으며, 낮은 연신율로 인해 깃털과 같은 농산물 소포장재로서만 적용되고 있는 실정임.
- 하지만 본 연구를 통해 개발한 제품의 경우 연신율을 기존 생분해 포장재에 비해 대폭 향상시켜, 다양한 농산물 품목에 적용 가능하다는 장점이 있음.

*2019년 12월 기준

항목	세부항목	기존 범용포장재				생분해 포장재			
		P.P		LDPE		기존 제품 (PLA 100%)		개발 제품 (PLA/PBAT/PEO 컴포짓)	
		원/kg	원/장	원/kg	원/장	원/kg	원/장	원/kg	원/장
원료비	수지단가	1,800	8.5	1,800	8.6	3,500	31.5	3,737	33.2
	컴파운딩	400	1.9	400	1.9	400	3.6	400	3.6
	필름가공비	61	0.3	61	0.3	61	0.5	61	0.5
가공비		1,277.1	6.0	1,263.2	6.0	673.5	6.1	682.6	6.1
단가 소계		3,538.1	16.7	3,524.1	16.8	4,634.6	41.7	4,873.2	43.4

*400mm×240mm×30um(길이×폭×두께) 봉투, 무인쇄 기준

[표 109] 생분해성 농산물 포장재 개발제품 제조 원가 분석

(6) 양산장비를 이용한 필름 제조 및 분석 주요 시사점

- 양산장비를 이용한 캐스팅 필름과 블로운 필름 제조 및 분석 결과 제조한 샘플 모두 본 연구개발 목표치에 도달하였으며, 목표대비 달성치는 아래 표에 나타내었음.
- 캐스팅 양산 장비를 이용한 샘플의 경우 평균두께가 낮을수록 인장강도 및 연신율이 비교적 높게 나오는 것을 확인 하였으며, 이는 Pilot scale 제조 및 분석과정에서 나온 결과와 일치함.
- 본 시험분석 결과 필름의 양산 시 작업소요시간 및 필름의 특성상 블로운 양산 장비를 이용하여 보다 얇은 두께의 필름 제조 시 추가적인 물성향상이 기대됨.
- 또한 얇은 필름을 두께를 확보하여 제조 시 투명성의 증가가 있을 것으로 판단됨.
- 인쇄 가능성 및 생산 공정의 적합성 분석결과 별도의 어려움 없이 제조 가능한 것으로 판단됨.

개발제품		주요성능지표							
		인장강도 (N/mm ²)		연신율 (%)		실링강도 (N/15mm)		산소투과도 (cc/day mm ²)	
		목표	실측	목표	실측	목표	실측	목표	실측
생분해성 포장재	저투과	40	55.9	50	326.9	9.8	9.8	1,500	1,980
	고투과	40	55.0	50	351.2	9.8	12.0	15,000	16,600

[표 110] 생분해성 농산물 포장재 개발제품의 성능지표 요약

2. 저단가 보급형 생분해성 농산물 포장재 개발

나. 보급형 포장재 원료 선정 및 M/B 개발

(1) 생분해성 소재 및 충전제 스크리닝

- 기존의 생분해성 포장재가 상대적은 고가인 문제점을 보완하기 위해, 생분해성 포장재 충전제의 스크리닝을 진행.
- 논문 및 부산물 조사 등을 통해 생분해가 가능한 소재이면서 접근이 용이한 충전제 소재로서 국내 농산물 가공 부산물이 적합하다고 판단함.
- 국내 농산물 가공 부산물은 옥피(corn bran), 쌀겨(rice bran) 및 밀기울(wheat bran)이 대량으로 발생하는 대표적인 부산물임.
- 부산물 중 밀기울을 생분해성 충전제로서 적용한 사례 및 관련 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며, 특히 생분해성 소재에 적용한 사례는 파악하지 못함.
- 밀기울을 생분해성 충전제로 선정하여 연구함으로써 밀 가공 부산물로서 매년 약 380,000톤이 발생하는 밀기울의 활용연구 확대 와 상대적으로 저렴한 가격(밀기울 450-550원, PLA : 3,500-4,000원/kg)의 부산물을 생분해성 충전제로 활용함으로써 기존 포장재의 가격적인 단점을 보완하기 위하여 밀기울을 소재로서 선정함.



[표 111] 생분해성 충전제 스크리닝

(2) 농업부산물(Byproduct) 충전제를 포함한 M/B 개발

(가) 분쇄 및 전처리 공정 연구

- 농업부산물인 밀기울(Wheat bran)은 제분공정에서 나온 밀의 부산물이기 때문에 밀가루가 완벽하게 제거되지 않음.
- 밀기울 외 구성성분인 밀가루 및 배아의 주요 성분은 전분, 단백질 및 지방으로서 이러한 성분들은 생분해성 소재와의 결합을 방해할 뿐 아니라 밀기울 간의 응집력을 강화시키는 요인들로 작용함.
- 생분해성 소재와의 결합력을 높이기 위해 밀가루 외 성분들을 제거할 수 있는 전처리 공정이 필요함.
- 부산물로 발생한 밀기울 입자는 9.2~1,194.2 μm (d(0.5):543.6 μm) 정도의 매우 크고 불균일한 입자크기를 가지고 있어 크기를 가지고 있어, 분쇄공정 없이 충전제로 사용하기에 어려움이 큼.
- 생분해성 충전제로 활용하기 위해서는 미세입자로서 분쇄가 필요함.

① 분쇄 공정 연구

a. 분쇄 공정별 입자 크기

- 미분을 얻기 위한 분쇄 공정에는 헤머밀(Hammer mill), 볼밀(Ball mill), 슈퍼밀(Super mill), 에어젯밀(air jet mill) 등이 있음.
- 본 연구에는 각 공정에 따른 밀기울 입자크기 및 입자 크기에 따른 강도 연구를 수행함.
- 밀기울(농업부산물)은 입자는 d(0.5)기준 9.15 μm 까지 분쇄가 가능하였으며, 헤머밀과 볼밀의 경우 분쇄공정에 따른 입자의 감소가 크지 않음.
- 밀기울 미분을 위해서는 슈퍼밀 혹은 에어젯밀 분쇄공정이 적합할 것으로 보여짐.

분쇄공정	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
(a) Pure Wheat bran	9.16 μm	543.55 μm	1194.21 μm
(b) Hammer milled	20.22 μm	443.67 μm	852.41 μm
(c) Ball milled	18.33 μm	422.92 μm	892.82 μm
(d) Super Milled	5.44 μm	25.84 μm	84.88 μm
(e) Air jet milled	3.41 μm	9.15 μm	18.98 μm

[표 112] 분쇄공정별 농업부산물(byproduct) 입자 크기



(a) Pure Wheat bran

(b) Hammer milled

(d) Ball milled



(e) Super milled(Air)

(f) Air jet milled(Air)

[그림 107] 분쇄공정별 밀기울 샘플

b. 최적 입자 크기 연구

- 밀기울(농업부산물) 입자크기에 따른 기계적 물성 변화를 확인하기 위해 분쇄공정을 통해 얻어진 각 미분들과 PLA를 니더기 장비를 이용하여 컴파운딩 후 핫프레스 통한 시편을 제작한 뒤 강도테스트를 수행하였으며, 밀기울은 함량은 30%로 동일하게 첨가함.
- 고온에서 컴파운딩 진행시 밀기울의 탄화로 인한 영향이 발생하여, 온도는 165℃로 설정하여 10rpm, 3-5분 조건에서 컴파운딩을 진행하였으며, 핫프레스 온도조건은 상,하판 170℃로 설정하여 시편을 제작함.
- 인장강도는 ISO-527-3:1955 측정규격에 의해 만능재료시험기를 이용하여 측정함.

샘플	d(0.5)	인장강도(N/mm ²)	연신율(%)
Neat PLA	-	55.14±1.90	5.18±0.27
밀기울(원물)	543.55 μ m	9.27±3.19	2.03±0.25
헤머밀 분쇄 밀기울	443.67 μ m	22.28±0.8	3.39±0.15
볼밀 분쇄 밀기울	422.92 μ m	28.03±0.15	4.08±0.14
슈퍼밀 분쇄 밀기울	25.84 μ m	29.50±1.40	3.90±0.12
에어젯밀 분쇄 밀기울	9.15 μ m	35.17±2.95	3.73±0.29

[표 113] 분쇄공정에 따른 기계적 물성 변화

- 분쇄공정에 따른 밀기울(농업부산물) 입자크기가 작아짐에 따라 인장강도는 증가하는 것을 확인하였으며, 이는 미립자일수록 생분해 첨가제로서 밀기울을 적용하기에 적합함을 나타냄.
- 입자크기 중간값(d(0.5))가 9.15 μ m인 에어젯밀로 분쇄한 샘플의 인장강도의 저하가 가장 낮게 나타내었으며, 연신율의 경우 밀기울(농업부산물) 입자크기에 대한 영향에 대한 경향성을 나타내지 않음.
- 밀기울(농업부산물)의 입자크기는 인장강도에 미치는 영향이 크에 따라 초미분이 충전제로서 적합하나, 초미분을 얻기 위한 에어젯밀 분쇄공정 설비 및 운영비용이 다른 공정에 비해 고가임.
- 이에 상대적으로 저렴한 슈퍼밀 분쇄공정이 연구에 적용하기에 적합할 것으로 보여짐.

② 전처리 공정 연구

a. 밀기울(농업부산물)의 성분 제거 공정

- 밀기울(농업부산물) 외 성분들의 제거는 에탄올(순도94%)와 증류수로 밀기울을 세척하여 진행하였으며, 분쇄공정에서 본 연구에 적합하다고 판단된 슈퍼밀 분쇄 샘플을 이용함.
- 에탄올(순도 94%)와 밀기울을 1L : 100g 비율로 비커에 담고 교반기로 6시간 교반 후 증류수로 행군 후 용기에 골고루 펼쳐 건조기에 24시간이상 건조하여 시료 확보함.

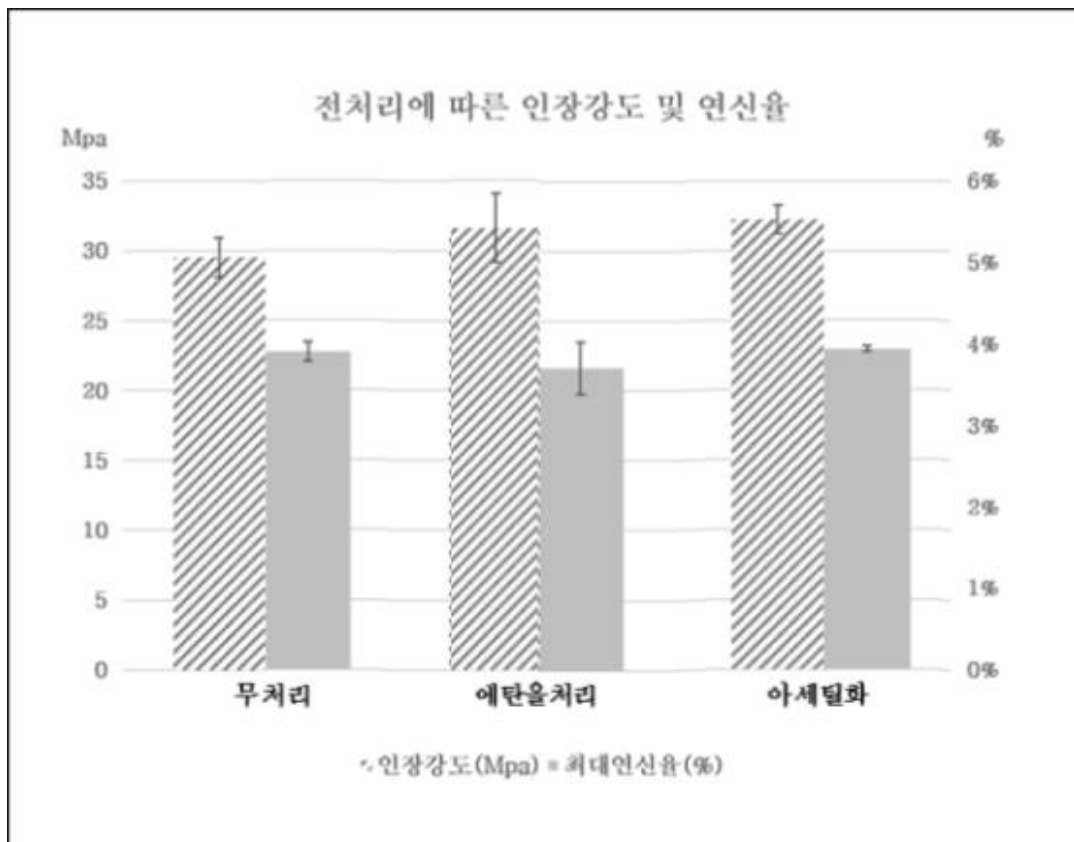
b. 아세틸화 공정

- 밀기울은 구조내에 -OH기(히드록시기)를 가지고 있어 강한 결합력을 형성하여 응집현상이 발생됨.
- 이러한 결합에 따른 응집현상을 줄이기 위해 밀기울 내의 -OH기를 CH₃CO-로 아세틸화를 진행하였으며, 슈퍼밀 분쇄 샘플을 이용함.

- 3L 반응조에 밀기울 100g 넣고 교반 후 아세트산무수물(acetic anhydride)를 투입한 뒤 피리딘(pyridine)을 투입 후 90℃에서 1시간 동안 반응시켜 아세틸화된 밀기울 시료를 확보함.
- 확보한 시료는 밀기울 입자크기에 따른 기계적 물성 변화를 확인하기 위해 분쇄공정을 통해 얻어진 각 미분들과 PLA를 니더기 장비를 이용하여 컴파운딩 후 핫프레스 통한 시편을 제작한 뒤 강도테스트를 수행하였으며, 밀기울은 함량은 30%로 동일하게 첨가함.

③ 전처리에 따른 밀기울(농업부산물) 충전제 샘플의 기계적 물성

- 전처리 공정에 따른 밀기울(농업부산물)의 기계적 물성 영향을 측정하기 위해, 밀기울(농업부산물)의 함량을 30%로 고정하여 PLA와의 컴파운딩을 진행함.
- 컴파운딩은 니더기를 이용하여 온도 165℃, 10rpm, 3-5분 조건에서 진행하였으며, 핫프레스(상,하판 170℃)를 통해 분석 시편을 제작한 뒤 만능재료시험기를 이용하여 기계적 물성 측정함.



[그림 108] 전처리에 따른 기계적 물성 변화

- 에탄올처리 및 아세틸화처리 공정 모두 무처리군에 비해 인장강도가 약 2N/mm²가량 증가하는 양상을 보였으나, 연신율에서는 다소 감소하는 경향을 보임.
- 연신율의 경우 전처리 후 전반적으로 감소하는 양상을 나타내었으나, 무처리군과 큰 유의적인 차이는 보이지 않음.
- 이러한 결과를 비추어보아 전처리 공정 간에는 큰 유의적인 차이는 없으며, 공정의 복잡함과 비용적인 부분을 고려하였을 때 에탄올처리에 따른 전처리가 본 연구방향에 더 적합하다고 판단함.

(나) 밀기울(농업부산물) 충전제 첨가 함량 연구

- 확립된 분쇄공정(슈퍼밀 분쇄공정)과 전처리 공정(에탄올처리)을 통해 얻은 생분해성 충전제의 최대 첨가 함량에 대한 연구를 진행함.
- 충전제의 비율은 10-40%함량으로 총 4군의 샘플을 제작하였으며, 최대 함량연구를 위해 PLA를 기본소재로서 이용함.
- 생분해성 충전제는 니더기(온도 165℃, 10rpm, 3-5분)을 이용하여 컴파운딩하였으며, 핫프레스(상,하판 170℃)를 통해 기계적 물성 변화 측정을 위한 시편을 제작한 뒤 만능재료시험기를 이용하여 측정함.
- 밀기울(농업부산물) 충전제 첨가에 따라 인장강도는 무첨가에 비해 11-32N/mm² 연신율은 0.4-22%가량 감소함.
- 밀기울(농업부산물)의 함량이 20%이상일 경우, 본 연구를 통해 개발하고자 하는 저단가 농산물 포장재의 기준인 40N/mm²에 못 미칠 뿐 아니라, 연신율의 저하를 야기함에 따라, 충전제의 함량은 최대 15%를 넘지 않아야 할 것으로 판단됨.

샘플	인장강도(N/mm ²)	연신율(%)	비 고
Neat PLA	55.1±1.9	5.2±0.3	
PLA90/WB10	43.4±1.1	4.8±0.1	*전처리 : 에탄올처리
PLA80/WB20	33.9±5.3	3.9±0.4	*분쇄 : 슈퍼밀 분쇄
PLA70/WB30	31.6±2.5	3.7±0.3	
PLA60/WB40	23.9±2.6	3.00±0.3	

*WB : 밀기울(농업부산물)

[표 114] 밀기울(농업부산물) 충전제 첨가 함량에 따른 기계적 물성 변화

* 비용을 고려한 밀기울(농업부산물)의 최적 분쇄 조건은 슈퍼밀 분쇄공정(입자크기 d(0.5) 26 μ m이하)이며 전처리 공정은 에탄올 처리공정임

(3) 생분해성 충전제 M/B 제조

- Scale-up을 위해서는 생분해성 충전제가 함유된 M/B제조가 필요함에 따라 개발한 전처리 공정 및 분쇄공정을 마친 밀기울(농업부산물)을 PLA에 첨가하여 M/B제조.
- 생분해성 충전제의 최대 첨가함량이 15% 넘지 않는 것이 본 연구 개발목표에 부합한 제품을 개발할 수 있을 것으로 첨가함량연구를 통해 확인함에 따라, 충전제 M/B의 밀기울(농업부산물)의 첨가비율을 40%설정함.

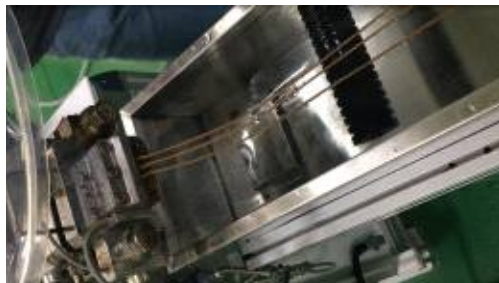
(가) 원료 및 전처리 조건

- PLA는 NatureWorks LLc(USA)사의 2032D 제품을 사용하였으며, 밀기울은 대한제분의 박력분 제분공정에서 나온 밀기울을 사용함.
- 밀기울은 슈퍼밀로 분쇄하여 에탄올 전처리 후 55℃, 24시간 동안 건조하여 사용하였으며, PLA도 M/B 제조 전 동일조건에서 건조하여 사용함.

(나) M/B 제조 조건

- PLA60% 밀기울40% 비율로 텀블러 믹서를 이용하여 혼합한 뒤, Twin screw Extruder를 이용하여 스크류 속도 150-200rpm, 피더속도 4rpm, 140-170℃ 온도 조건에서 컴파운딩 실시함.
- 냉각조건은 수랭식 pelletizer를 이용하였으며, pelletizing 후 최소 12시간이상 건조함.
- 공랭식 pelletizer를 이용하여 pelletizing 후 최소 12시간이상 건조함.

압출 조건		
구역	온도(℃)	원료 배합비
1	60	PLA: 밀기울 = 60: 40
2	120	
3	160	투입구 속도(rpm) 3
4	170	
5	170	
6	160	스크류 속도(rpm) 54
7	160	
Die	140	



(a) 생분해 충전제 M/B제조공정



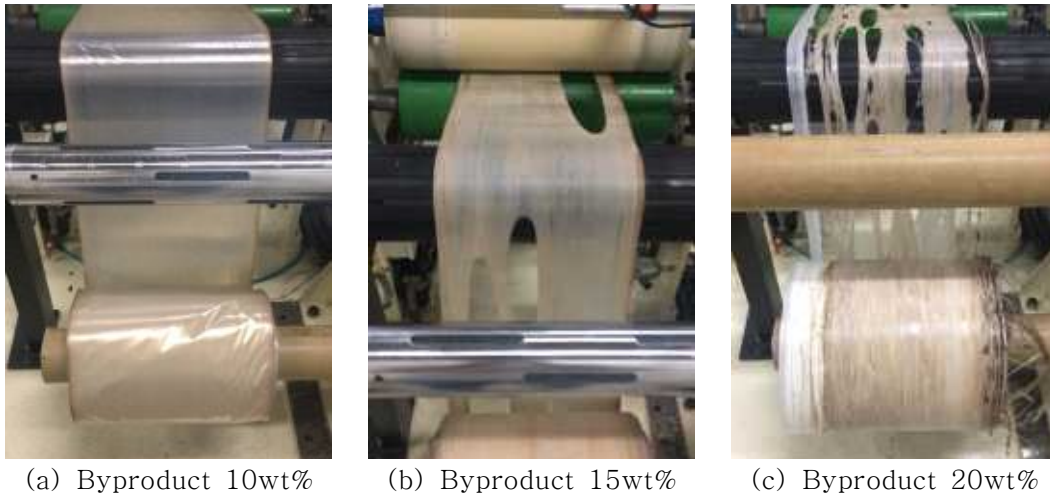
(b) 생분해 충전제 M/B

[표 116] 생분해 충전제 M/B제조 공정

다. 저단가 보급형 생분해성 필름 개발

(1) 다층 압출 필름 제조 방법

- 밀기울(농업부산물) 충전제를 필름에 적용하기 위하여 다층 압출 필름 방법을 통해 필름을 제조함.
- 사전연구에서 단층 압출 방식으로 필름 제조 시 밀기울(농업부산물)로 인한 천공이 발생함에 따라 다층 압출 방식을 채택.
- 연신율을 확보하기 위하여 높은 연신율 특성을 가지고 있는 생분해성 소재인 PBAT(PBG707, S-Enpol, Korea)를 배합 원료로서 사용하였으며, 인장강도 및 투명성 확보를 위해 PLA(2032D, Natrueworks, USA)를 메인원료로서 사용함.
- 모든 원료는 필름 압출 전 55℃에서 최소 24시간 건조 한 뒤 혼합하여 사용하였으며, 밀기울(농업부산물)의 경우 수분에 매우 취약하기 때문에 컴파운딩 직전까지 건조함.
- 밀기울(농업부산물)의 경우 주요성분이 셀룰로오스이기 때문에 고온 노출 시 탄화되는 문제점이 발생하여 컴파운딩 온도는 170℃를 넘지 않게 설정(작업온도 140-170℃)하고 pelletizing을 통해 컴파운딩 레진을 제조.
- 다층 압출 필름은 패키징센터(부천소재)의 Multi-layer T-die Extrusion Film Production Line(한국 이엠)장비를 이용하였으며, 컴파운딩 레진은 55℃ 최소 48시간 제습한 뒤 필름 압출을 진행함.
- 압출조건은 밀기울의 탄화에 의한 분해를 최소화하기 위하여 최대온도 170℃로 설정.
- 밀기울(농업부산물)에 의한 필름표면의 천공을 방지하기 위하여, 코어층에만 밀기울(농업부산물)충전제를 포함하게 설계하였으며, 외층은 생분해성 소재인 PLA/PBAT 블렌드로만 구성함.
- PLA/PBAT 블렌드의 배합비를 2:8에서 8:3까지 구성하였으며, 코어층의 밀기울(농업부산물)충전제의 함량을 10%-20%까지 높여 필름 사출을 진행하였으나, 충전제 함량이 10% 이상 시 밀기울의 응집이 심해 필름 형성이 되지 않음.



[그림 109] 밀기울(농업부산물) 함량에 따른 다층필름 압출 작업적성

Sample					압출 여부
샘플명	배합비			내층/코어층/ 외층 비율	
	외층	코어층	내층		
Com1/W.B10/Com1	PLA20 PBAT80	Com1 90 W.B 10	PLA20 PBAT80	1:3:1	압출
Com1/W.B15/Com1	PLA20 PBAT80	Com1 85 W.B 15	PLA20 PBAT80	1:3:1	불압출
Com1/W.B20/Com1	PLA20 PBAT80	Com1 80 W.B 20	PLA20 PBAT80	1:3:1	불압출
Com2/W.B10/Com2	PLA30 PBAT70	Com2 90 W.B 10	PLA30 PBAT70	1:3:1	압출
Com3/W.B10/Com3	PLA80 PBAT20	Com3 90 W.B 10	PLA80 PBAT20	1:3:1	압출
Com3-1/W.B10 /Com3-1	PLA80 PBAT20	Com3 90 W.B 10	PLA80 PBAT20	1:2:1	압출
Com3-2/W.B10 /Com3-2	PLA80 PBAT20	Com3 90 W.B 10	PLA80 PBAT20	1:1:1	압출
Com4/W.B10/Com4	PLA70 PBAT30	Com4 90 W.B 10	PLA70 PBAT30	1:3:1	압출

[표 117] 저단가 보급형 생분해성 필름 샘플 구성



(a) Com1/W.B10/Com1



(b) Com2/W.B10/Com2



(c) Com3/W.B10/Com3



(d) Com3-1/W.B10/Com3-1



(e) Com3-2/W.B10/Com3-2



(f) Com4/W.B10/Com4

[그림 110] 저단가 보급형 생분해성 필름 샘플

(2) 저단가 보급형 생분해성 필름 특성 평가 및 시제품

(가) 저단가 보급형 생분해성 필름 특성

- 밀기울(농업부산물)충진제를 첨가한 저단가 보급형 생분해성 필름 샘플의 기계적 물성을 KS M ISO 527측정 기준에 근거하여 만능재료시험기를 이용하여 측정함.
- 연신율의 향상을 위해 PBAT함량이 70%이상 함량으로 구성된 Com1 및 Com2샘플 모두 연신율이 목표치에는 도달하지 못하였으며, 인장강도 역시 목표치에 미달하는 수준을 보임.
- 연신율 및 인장강도의 향상을 위한 내층/코어층/외층의 최적 비율을 위해 Com3샘플을 이용하여 코어층의 비율을 1-3%로 구성하였으나, 코어층 증가에 따른 인장강도의 감소 및 연신율 증가 경향은 나타났으나, 유의적인 차이가 발생하지 않음.
- 인장강도 향상을 위해 PLA함량을 70%이상으로 구성된 Com3 및 Com4샘플의 경우 Com4샘플이 인장강도 목표치에 도달하였으나, 연신율은 neat PLA(5%수준)와 유사한 수준으로 측정되어 목표치에 도달하지 못함.
- 이는 신율의 거의 없는 충전제 첨가로 인해 야기된 것으로 판단됨.
- 저단가 보급형 생분해성 필름을 위한 구성은 내층/코어층/외층 비율 1:3:1 및 PLA 70% PBAT 30%구성비가 적합할 것으로 사료됨.

Sample		인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	달성목표
샘플명	내층/코어층 /외층 비율			
Com1/W.B10/Com1	1:3:1	23.4±0.2	34.1± 10.6	인장강도 40N/mm ²
Com1/W.B15/Com1	1:3:1	-	-	
Com1/W.B20/Com1	1:3:1	-	-	
Com2/W.B10/Com2	1:3:1	26.5±1.5	52.3±13.2	연신율 100%
Com3/W.B10/Com3	1:3:1	34.9±11.1	4.6±1.6	
Com3-1/W.B10 /Com3-1	1:2:1	35.7±12.7	4.7±1.5	
Com3-2/W.B10 /Com3-2	1:1:1	35.6±14.3	5.8±1.3	
Com4/W.B10/Com4	1:3:1	41.6±4.7	7.1±0.3	

[표 118] 저단가 보급형 생분해성 필름 기계적 물성

* 인장강도는 본 연구의 목표치인 40N/mm²을 달성하였으나, 연신율은 목표치에 도달하지 못함

* 초기 연신율 목표치가 과대하게 설정된 상태임

- 실링강도는 ASTM F88(seal strength testing equipment for flexible barrier materials)에 의거 측정하였으며, 강도 측정은 위한 샘플은 실링압력 2.9kgf/cm², 실링온도 100℃에서 1초간 실링한 후, 폭 15mm로 제단하고 만능재료시험기를 통해 측정함.
- 본 연구의 인장강도 목표치를 달성한 샘플인 Com4만 실링강도를 측정하였으며, 실링강도는 12.43N/mm²으로 목표치인 11.7를 상회하여 목표를 달성함.

샘플명	실링강도 (N/mm ²)		실링조건
	측정치	목표	
Com4/W.B10/Com4	12.4±3.5	11.7	압력: 2.9kgf/cm ² 온도 : 100℃ 시간 : 1sec

[표 120] 저단가 보급형 생분해성 필름 실링강도

* 실링강도 본 연구의 목표치인 11.7N/mm²을 달성함.

- 본 연구의 목표치에 달성한 샘플 제조법을 실제 개발제품에 적용하기 위한 제조법으로 최종 선정하였으며, 개발제품의 목표대비 성능은 아래표에 나타냄.

개발제품	주요성능지표					
	인장강도(N/mm ²)		연신율(%)		실링강도(N/15mm)	
	목표	실측	목표	실측	목표	실측
저단가 보급형 포장재	40	41.6	100	7.1	11.7	12.4

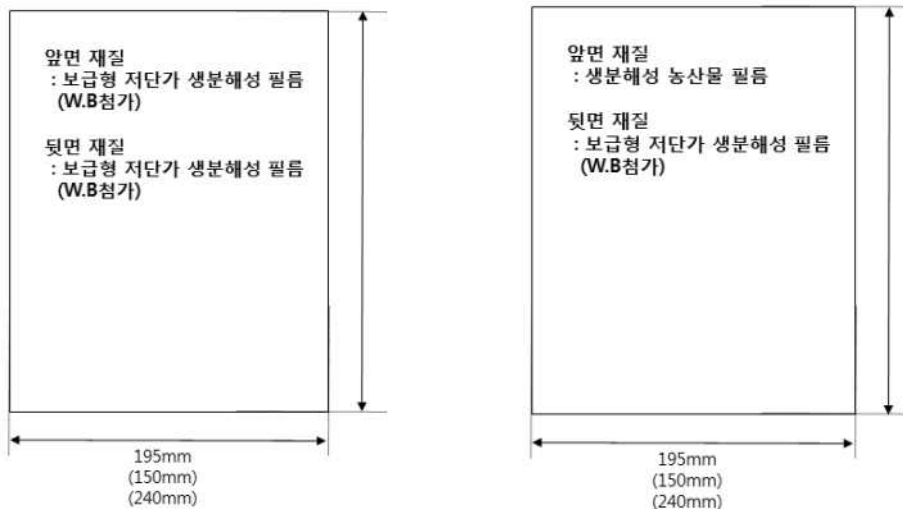
[표 122] 저단가 보급형 농산물 포장재 개발제품의 성능지표 요약

(나) 저단가 보급형 생분해성 필름 시제품

- 본 연구의 목표인 3종 규격의 시제품을 제작하였으며, 저단가 보급형 생분해성 필름으로만 구성된 시제품 3종(시제품 1안) 및 보급형 생분해성 필름 및 생분해성 농산물 포장재와 결합한 시제품 3종(시제품 2안)을 제작함.
- 3종 규격은 ‘농산물 표준규격 고시 제4조 관련-별표2 농산물용 포장치수’에 의거하여 설정.

규격	포장치수 (길이mm × 너비mm)	표준규격 일련번호	표준규격 구분
1	300 × 195	50	폴리에틸렌 (P.E) 직물제 포대, 그물망
2	250 × 150	52	
3	210 × 140	56	

[표 123] 저단가 보급형 생분해성 필름 3종 규격



(a) 보급형 생분해성 필름시제품 1안



(b) 보급형 생분해성 필름 시제품 2안

[그림 111] 저단가 보급형 생분해성 필름 시제품

- 생분해성 충전제(밀기울, 농업부산물)를 첨가한 저단가 보급형 생분해성 필름은 밀기울(농업부산물)로 인한 특유의 갈색 색감과 종이와 유사한 질감을 나타내는 특징을 보임.
- 이러한 특유의 질감과 색감과 부합하는 버섯, 감자, 고구마 등의 포장재에 적용하기에 적합할 것으로 보여지며, 친환경 이미지를 포장재를 통해 제품에 부여가 가능하다고 사료됨.
- 특히, 기존 종이와 필름으로 구성된 포도와 날개 포장 과일(사과 등)의 과일포장재에도 적용 가능할 것으로 판단됨.



(a)표고버섯 포장

(b)사과 날개 포장

[그림 112] 저단가 보급형 생분해성 포장재 적용(예)

(다) 저단가 보급형 생분해성 필름 경제성(제조 원가) 분석

- 400mm(길이)×240mm(폭)×30 μ m(두께) 규격의 포장재 제조사의 저단가 보급형 포장재와 기존 생분해 포장재(PLA100%)의 제조원가를 분석함.
- 밀기울(농업부산물) 10%가 첨가된 저단가 보급형 포장재는 기존 생분해 포장재 대비 86%수준의 가격경쟁력을 확보함.
- 향후 연구를 통해 밀기울(농업부산물)의 함량을 20% 증가 시킨다면, 기존 생분해 포장재 가격 대비 34% 가격 절감을 가능케함.

*2019년 12월 기준

항목	세부항목	기존 생분해 포장재 (PLA 100%)		저단가 보급형 포장재 (PLA/PBAT/W.B 컴포짓)	
		원/kg	원/장	원/kg	원/장
원료비	수지단가	3,500	31.5	3,362	25.4
	컴파운딩	400	3.6	400	3.0
	필름가공비	61.0	0.5	61.0	0.5
가공비		673.5	6.1	801.5	6.1
단가 소계		4,634.6	41.7	4,624.4	34.9

*400mm×240mm×30um(길이×폭×두께) 봉투, 무인쇄 기준

[표 124] 저단가 보급형 포장재 제조원가 분석

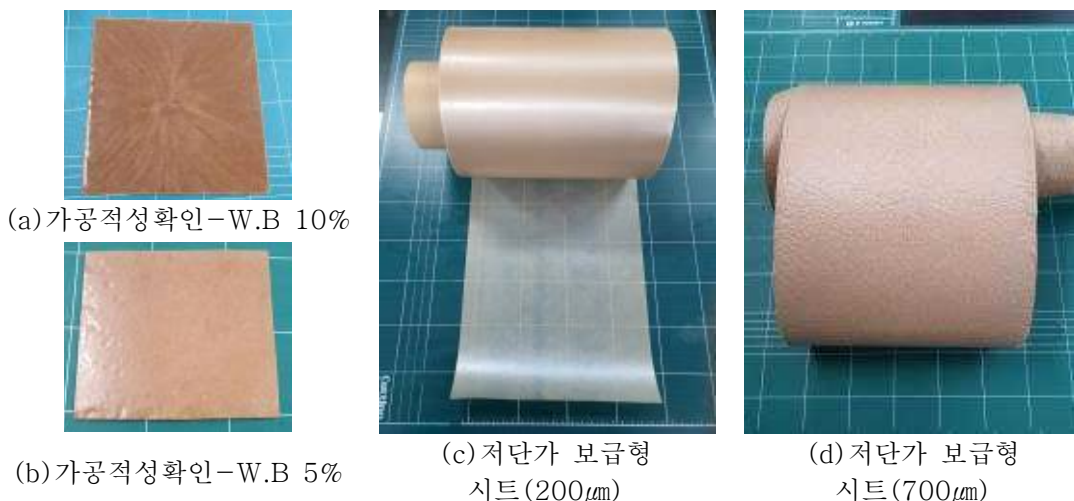
* 포장재 크기별 3종 규격으로 시제품 제작 완료하였으며, 가격경쟁력을 확보함

라. 저단가 보급형 생분해성 시트 및 사출 성형품 개발

- 본 연구의 목표는 수출용 농산물 단위포장재 개발로서 소포장용 필름뿐 아니라 단위 포장재용 농산물 용기도 이에 해당함.
- 밀기울(농업부산물)을 첨가한 저단가 보급형 포장재의 경우, 밀기울(농업부산물)의 고유의 갈색 색상과 형상으로 인해 외관상 종이펄프와 유사한 이미지를 가지고 있음.
- 수출용 농산물 단위 포장재 중 용기 및 트레이를 사용하는 농산물 품목에 적용하기 위해, 생분해성 충전제를 함유한 시트 및 사출성형품 개발연구를 진행.

(1) 저단가 보급형 시트 제조

- 저단가 보급형 생분해성 필름 개발을 통해 다층 압출은 밀기울 입자로 인해 사출에 어려움이 있어, 다층 압출 방법을 이용하여 제조함.
- PLA함량을 원료 기반으로 개발한 저단가 보급형 M/B를 이용하였으며, W.B함량은 각각 5, 10%가 되게 작업온도 140-165℃로 컴파운딩을 진행하고 pelletizing을 통해 컴파운딩 레진을 제조.
- 시트 압출 전 핫프레스(상,하판 175℃)를 통해 시트 성형 가능성을 확인하였으며, 10%의 경우 밀기울이 고르게 분포되지 않는 문제점으로 인해 실제 시트 압출에는 5% 함량으로 진행하였으며, 메인원료인 PLA/PBAT 블렌드의 배합비는 75:25로 설정함.
- 다층 압출 시트는 패키징센터(부천소재)의 Multi-layer T-die Extrusion Film Production Line(한국 이엠)장비를 이용하였으며, 모든 원료는 55℃ 최소 48시간 제습한 뒤 시트 압출을 진행함.
- 시트 제조를 위한 내층/코어층/외층은 1:1:1비율로 동일한 M/B원료를 사용하였으며, 압출조건은 밀기울(농업부산물)의 탄화를 최소화 하기위해 최대 온도 170℃로 설정하여 시트 두께 200, 700 μ m 2종으로 압출함.



[그림 113] 저단가 보급형 시트

(2) 저단가 보급형 시트 특성 평가 및 시제품

- 저단가 보급형 시트 2종의 기계적 물성은 KS M ISO 527 측정 기준에 근거하여 만능 재료시험기를 이용하여 측정함.
- 200 μ m 시트는 상대적으로 균일한 상태로 사출되어 인장강도 및 연신율 측정 편차가 적었으나, 균일한 시트 성형이 이루어지지 않아 측정편차가 큰 특징을 보일뿐 아니라 인장강도가 200 μ m 비해 낮은 수치를 나타냄.
- 이는, 밀기울간의 응집력이 두께 요인으로 인해 강해진 것으로 판단되며, 시트 제조 시 유의해야 할 것으로 보임.
- 하지만, 불균일한 표면특성이 종이 질감을 나타내는 요인으로 작용함.
- 이러한 외관 및 질감 특징은 종이 트레이 단위포장재에 적용하는데 장점으로 작용 할 것으로 보여져, 국내 딸기 생산 및 수출업체인 (주)조이팜에서 수출 소포장용으로 사용 중인 종이트레이 규격으로 시제품 제작.

샘플	인장강도(N/mm ²)	연신율(%)
저단가 보급형 시트(200 μ m)	29.42 \pm 1.96	8.06 \pm 0.68
저단가 보급형 시트(700 μ m)	15.50 \pm 4.20	7.13 \pm 1.56

[표 126] 저단가 보급형 시트 기계적 물성



[그림 115] 저단가 보급형 시트 시제품 및 적용(예)

* 본 연구 목표 외 추가적인 연구를 통해 밀기울(농업부산물) 생분해성 충전제의 시트 적용 가능성까지 확인하였으며 기존 종이트레이 단위포장재에 적용할 수 있을 것으로 사료됨.

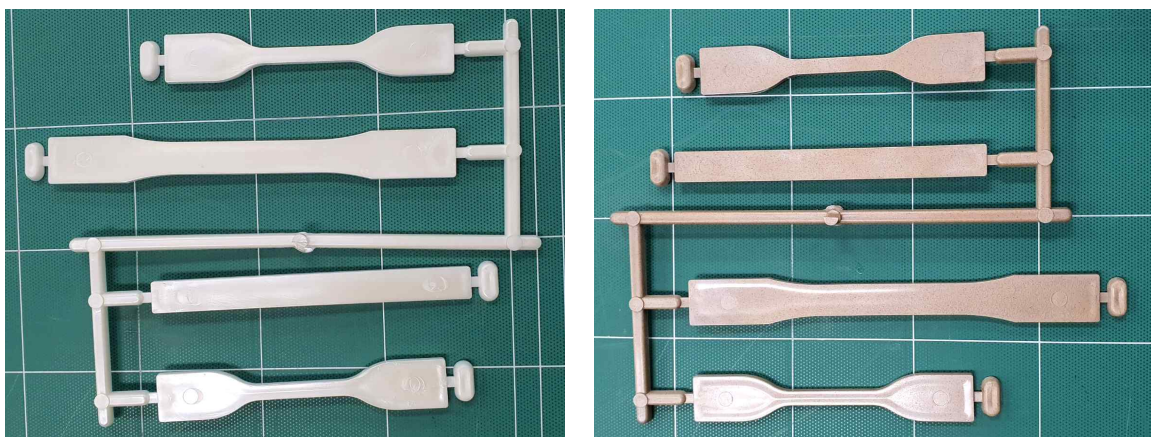
마. 저단가 보급형 사출성형품 제조 및 특성 평가

(가) 저단가 보급형 사출 성형품 시편 제조

- 밀기울(농업부산물) 충전제의 필름 및 시트 개발이 가능함에 따라 사출성형품 적용 가능성 연구를 수행.
- 사출성형품 성형가능성 시편 제작을 위해 시트 가공적성 및 성형 시에 사용한 컴파운딩 레진과 동일한 원료 사용하였으며, W.B 함량을 5% 첨가한 시편 및 첨가하지 않은 시편 1종을 제작하여 사출성형품 제조 가능성을 확인.
- 사출시편 제작은 100톤 사출성형기(LGH100N, LG전선(주), Korea)를 이용해 사출하였으며, 사출 온도 192℃, 압력 1000psi, 속도 5초 조건에서 사출함.
- 사출시 W.B샘플의 경우 이형제를 충분히 뿌려도 시편 탈착이 잘 안되는 문제점이 발생하였으며, 사출온도가 필름 및 시트 압출온도에 비해 높은 이유로 시편 표면의 밀기울(농업부산물)이 탄화되면서 탈착공정을 방해하는 요인으로 작용한 것으로 보임.



[그림 116] 사출성형품 시편 제조 공정



(a) 무첨가 시편

(b) W.B 5%첨가 시편

[그림 117] 무첨가 및 W.B 첨가 사출성형품 시편

(나) 저단가 보급형 사출 성형품 시편 특성

- 저단가 보급형 사출 성형품 가공 가능성확인을 위해 제조한 시편의 굴곡특성은 ASTM D790(굴곡강도 시험)기준에 의하여 만능재료 시험기를 통해 3점 측정 방법으로 측정하였으며, 기계적특성은 KS M ISO 527기준에 의거하여 동일한 장비로 측정함.
- 밀기울(농업부산물)을 첨가한 시편의 인장강도는 소폭 증가하고 연신율은 대폭 감소하였으나, 사출성형품 특성에서 중요한 굴곡특성은 무첨가에 비해 증가하는 양상을 나타냄.
- 이는 밀기울(농업부산물) 첨가가 사출성형품의 물성을 저하시키지 않을 뿐 아니라, 충전제의 고유의 특성인 갈색 색상 및 질감을 부여할 수 있다는 장점이 있음.
- 본 연구에서는 밀기울(농업부산물) 5% 함량의 사출 성형 가능성만을 확인하였지만, 10, 20%까지 함량을 증가하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보임.

샘플	굴곡특성		기계적 특성	
	굴곡 강도 (Mpa)	굴곡 탄성 계수 (Gpa)	인장 강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
무첨가	80.2±1.4	4.5±0.1	51.2±0.3	37.0±11.8
W.B 5%첨가	87.7±4.4	5.4±0.3	55.7±0.5	11.9±6.9

[표 128] W.B 첨가에 따른 사출성형품 시편 특성

* 본 연구 목표 외 추가적인 연구를 통해 밀기울(농업부산물) 생분해성 충전제의 사출 성형품 적용 가능성을 확인하였으며, 향후 추가적인 연구를 통해 충전제의 함량을 높인 사출 성형품 제조가 가능할 것으로 판단됨.

제 6 절 생분해성 농산물 포장재 선도 유지 및 생분해 테스트 결과

1. 생분해성 농산물 필름 적용 농산물 저장 실험

가. 저장기간별 품질변화

- 연구개발 수행 내용 및 방법
 - 연구 대상은 본 연구개발 포장재 적용대상 중 하나인 파프리카를 선정하여 연구개발 및 실험을 진행하였음.
 - 파프리카는 원주 소재 대형마트인 이마트 원주점에서 구매하였으며, 강원도 인제 농가에서 재배 후 2차적으로 이마트 프레쉬센터에서 포장작업을 거쳐 이마트로 유통되는 시스템으로 유통됨.
 - 별도의 전처리 없이 상처가 없고 착색이 균일한 파프리카를 무포장, PP포장재, 본 연구개발 생분해 필름에 개별 포장한 후 8℃ (RH25%), 24℃ (RH45%)의 항온기 및 항온항습기에 저장하여 실험을 진행함.
 - 또한 실험은 2일 간격으로 파괴실험(당도, 경도, 종자갈변), 비파괴 실험(색도, 수분손실, 과경갈변, 꼭지갈변, 곰팡이, 주름)으로 나누어 약 3주간 진행하였음.



[표 130] 실험에 사용한 항온기 및 항온항습기

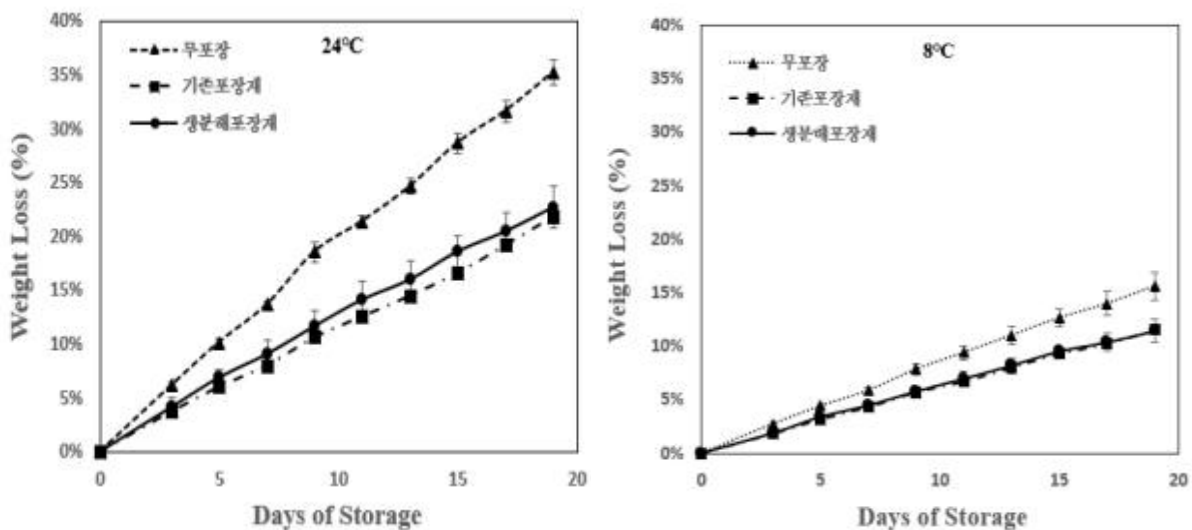
나. 연구개발 수행 결과

(1) 무게손실

(가) 실험방법

- 포장재별 수분손실을 측정하기 위해 저장 전 각각의 과실 무게를 측정한 후 2일 주기로 무게 변화를 측정하였음 무게손실률(WL)은 저장 중 무게손실(Ws)을 수확 당시의 무게(Wo)에 대한 손실률로 나타내기 위해 아래의 공식을 이용함.

$$WL(\%) = (Ws - Wo)/Wo \times 100$$



[그림 120] 저장기간별 무게손실 그래프

(나) 실험결과 분석

- 저장기간이 길어질수록 수분손실이 많아지는 경향을 확인할 수 있었으며, 포장을 하지 않은 무포장 샘플의 경우 생분해포장재와 기존포장재와 달리 무게손실이 큰 것을 확인할 수 있었음.
- 무게 감소율이 특정 일자에서 급격히 증가하는 현상은 존재하지 않았으며 그래프를 보면 알 수 있듯이 지속적으로 증가하는 것을 볼 수 있음.
- 무포장 샘플의 경우 무게 감소율이 19일차에서 냉장조건은 16% 상온조건은 35%로 2배 이상 차이를 보임.

(2) 경도 및 당도 변화

(가) 실험방법

- 저장온도별 경도는 임의의 과실을 저장고에서 출고하여 위, 중간, 아래 부분을 경도계 (장비 정보)로 측정하여 평균값을 N(newton)으로 나타내었으며, 당도는 경도와 같이 위, 중간, 아래 부분을 2cm²의 크기로 채취하여 당도계 (PAL-1, ATAGO, TOKYO, JAPEN)을 이용하여 측정하였음.

경도 Firmness (N)						
저장기간		0	5	9	13	17
24℃	무포장	16.94±1.0	9.37±3.3	9.58±3.1	5.78±3.7	4.02±1.9
	기존포장재	16.94±1.0	8.90±2.4	9.79±1.5	8.58±1.6	6.62±3.0
	생분해 포장재	16.94±1.0	8.11±3.2	9.24±3.6	8.28±3.7	6.14±1.6
8℃	무포장	16.94±1.0	4.24±0.9	8.90±2.3	4.48±2.4	3.38±0.6
	기존포장재	16.94±1.0	4.90±1.1	10.15±3.2	6.77±1.1	5.97±3.3
	생분해 포장재	16.94±1.0	5.71±0.8	9.98±1.7	6.28±1.8	6.14±3.1

당도 °Brix						
저장기간		0	5	9	13	17
24℃	무포장	6.60±0.2	7.68±0.1	7.42±0.2	7.80±0.3	7.89±0.2
	기존포장재	6.60±0.2	7.00±0.3	6.98±0.1	6.76±0.1	7.16±0.5
	생분해 포장재	6.60±0.2	6.78±0.1	7.02±0.2	6.84±0.3	7.19±0.3
8℃	무포장	6.60±0.2	7.34±0.2	7.36±0.2	7.16±0.2	7.22±0.2
	기존포장재	6.60±0.2	7.16±0.3	6.82±0.2	6.66±0.3	6.94±0.3
	생분해 포장재	6.60±0.2	7.26±0.2	6.88±0.3	6.74±0.3	6.98±0.1

[표 132] 저장기간별 경도 및 당도 변화

(나) 실험분석 결과

- 경도변화 실험결과 저장기간이 길어지고 저장온도가 낮을수록 경도가 감소함.
- 실험 5일~6일째부터 상온(24℃), 냉장(8℃)모두 경도가 일시적으로 증가하는 현상을 확인하였으나 이는 샘플의 상태가 상이함에서 나오는 차이로 보여짐.
- 상온 상태의 경우 9일차까지 모든 샘플이 유사한 경도를 나타냈으나, 10일차부터 무포장의 경도가 나머지 두 샘플에 비해 비교적 많이 떨어지는 것을 확인함.
- 당도변화의 경우 저장기간이 길어지고 저장온도가 높을수록 당도가 증가하여 실험 시작 후 증가하는 추세를 보였으며, 증가폭은 상온(24℃)보관에 비해 냉장(8℃)보관 상태의 과실이 작은 것을 확인할 수 있음.
- 포장재 별로 비교하였을 때 무포장은 상온(24℃)보관 상태와 냉장 보관상태(8℃)모두 기존포장재와 생분해포장재에 비해 당도 증가율이 더 큰 것을 확인 할 수 있었음.

(3) 색도변화

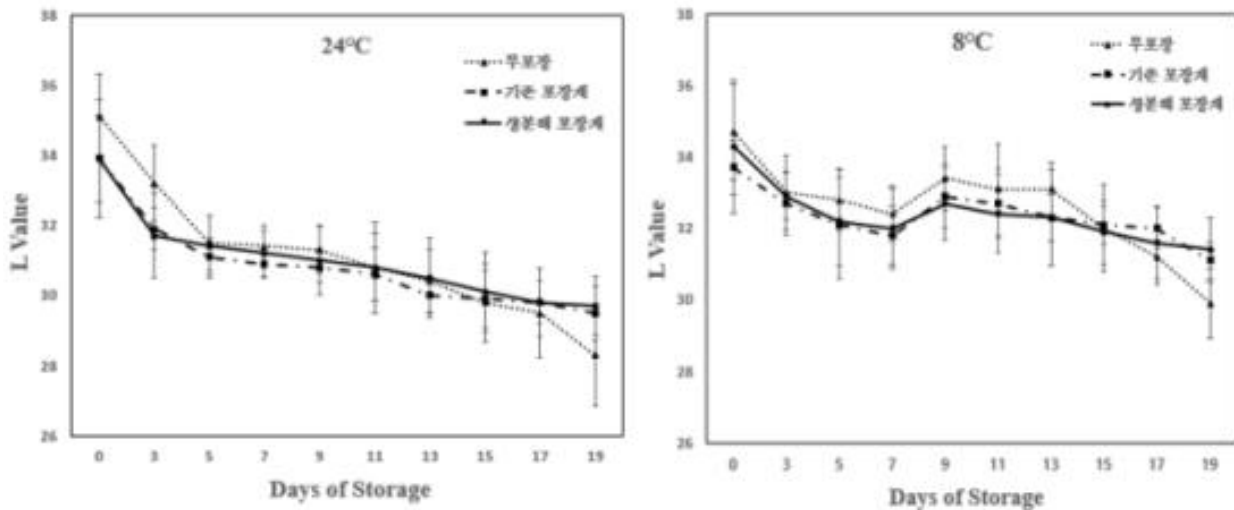
(가) 실험방법

- 저장 중 색차변화는 색차계(CR-10PLUS, KONICA MINOLTA, INC., JAPAN)를 이용하여 측정하였음.
- 어깨 부위의 색차를 측정하였으며 측정부위를 과실별로 정한 후 다음 측정 시에도 같은 부위를 측정하였음. 2일 간격으로 저장 23일간 표피의 색변화를 관찰하였음.

(나) 실험분석 결과

① L 값

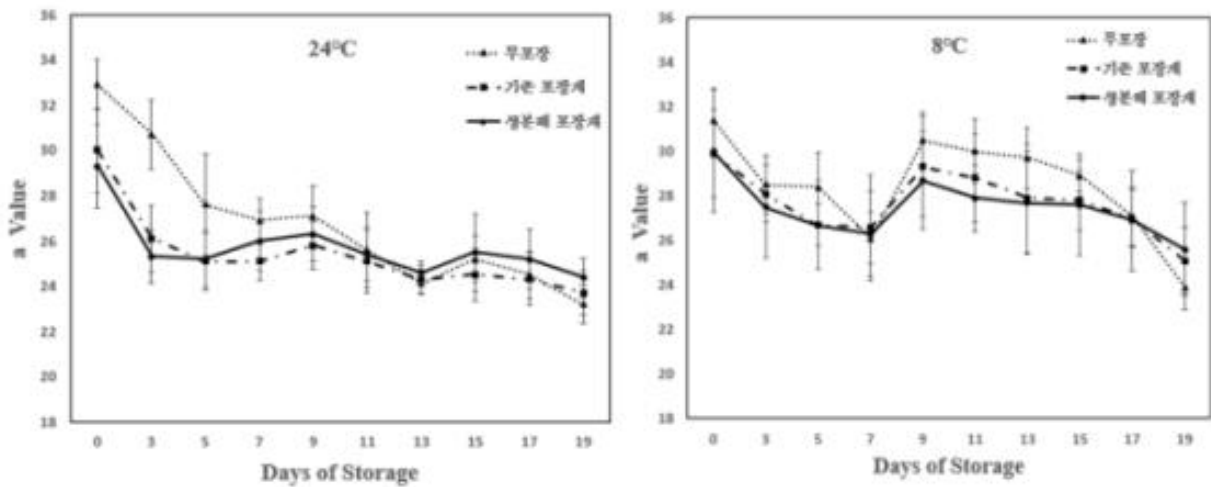
- L 값은 색도의 밝기를 나타내는 것으로 색깔의 탁하고 선명함을 판단할 수 있음.
- 저장기간 동안 상온(24℃)과 냉장(8℃) 모두 L 값이 떨어지는 추세였으며, 상온이 초기(0~5일차)에 냉장 조건에 비해 값이 빨리 떨어지는 것을 확인 할 수 있었음.
- 무포장의 경우 상온에서 7~15일차 까지 기존포장재와 생분해포장재와의 차이가 거의 없었으나 실험의 마지막인 18~19일차의 경우 확연한 차이가 나타는 것을 확인하였음.



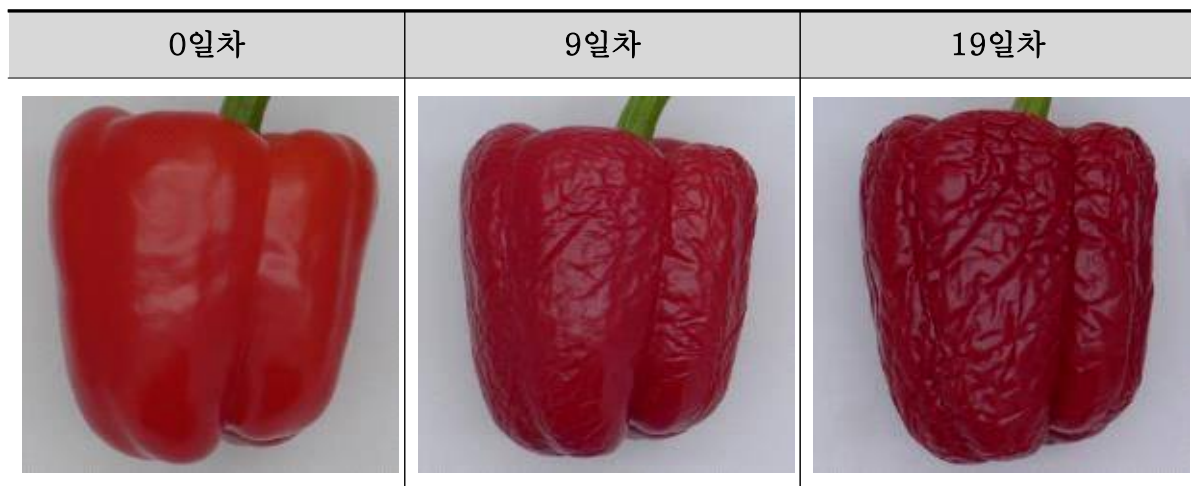
[그림 121] 저장기간별 L값 변화 그래프

② a 값

- a값은 붉기를 나타내는 값으로 붉을수록 값이 커짐 본 실험 시작 시 a값의 평균은 상온보관(24℃)과 냉장보관(8℃)의 경우 각각 30.7, 30.4였으나 저장기간이 늘어날수록 과실의 색깔이 어두워지며(표33) a값이 떨어지는 것을 확인할 수 있었음.
- 또한 실험 5일차까지의 측정결과 상온보관 과실이 냉동보관 과실에 비해 a값이 더 빨리 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며 이는 온도가 높을수록 착색이 더욱 빨리 일어나며 속도진행이 빠르다는 것을 알 수 있음.
- 포장재상태별 a값을 차이는 실험 19일차인 마지막까지 a값의 감소 폭은 상온보관과 냉장보관 모두 무포장이 가장 큰 결과를 보임.



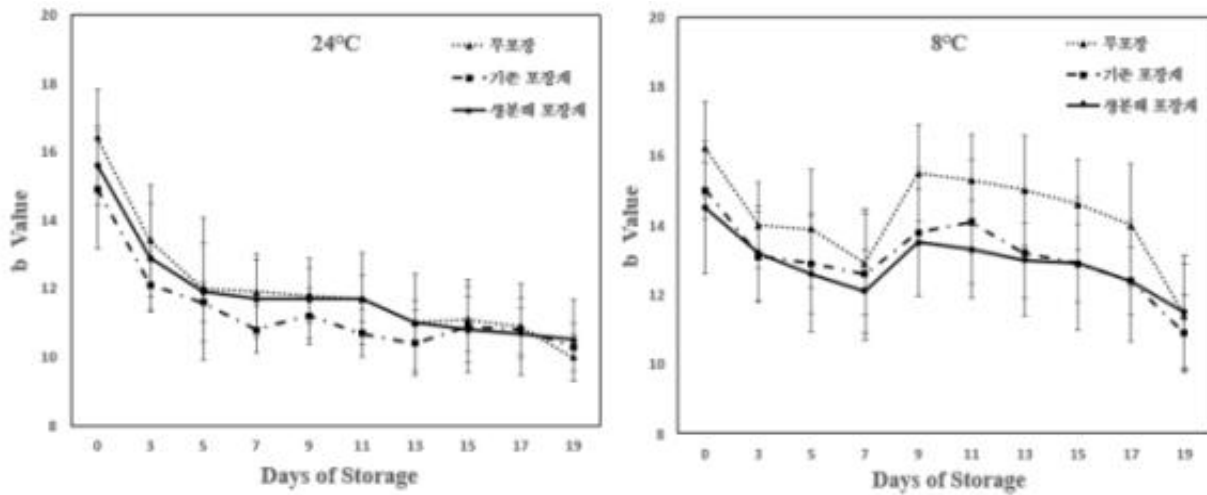
[그림 122] 저장기간별 a값 변화 그래프



[표 133] 상온보관 무포장 파프리카 저장기간별 과실변화

③ b 값

- b값의 경우 노랑 또는 주황색에 가까울수록 값이 커지는데 본 실험결과 저장기간이 길어질수록 과실의 색깔이 어두워지는 것(표 33)을 확인하였으며, 아래의 실험 그래프에서 볼 수 있듯이 b값이 떨어지는 것으로 확인됨.
- 저장기간 중 실험 시작과 끝을 제외한 나머지는 b값의 감소폭이 상이하나 실험 시작일과 종료일의 실험값 분석 시 무포장의 감소 폭이 가장 큰 것을 확인하였음.



[그림 126] 저장기간별 b값 변화 그래프

(4) 부패율

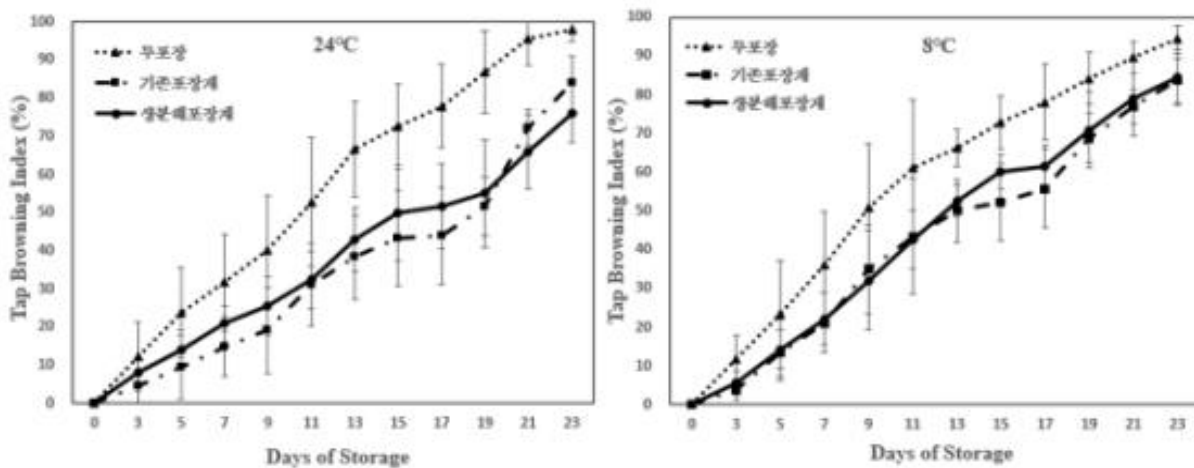
(가) 실험방법

- 파프리카 저장 중 과경갈변 및 주름현상은 수확 시 절단 부위의 곰팡이 번식과 건조에 의해 일어나는데 이를 조사하기 위해 부패율을 꼭지갈변, 주름(Pitting Index), 꼭지주름 항목별로 나누어 백분율로 측정하였으며, 나머지 항목인 종자갈변, 곰팡이의 경우 과실 사진을 통해 분석하였음.

(나) 실험분석 결과

① 꼭지갈변

- 꼭지갈변의 경우 상온상태와 냉장상태 모두 저장기간이 길어질수록 갈변면적이 넓어지는 것을 확인할 수 있었으며, 무포장의 경우 기존포장재와 생분해포장재에 비해 상승폭이 더 큰 것을 확인할 수 있었음.
- 데이터를 보게 되면 기존포장재와 생분해포장재의 경우 유의한 차이가 없는 것을 확인할 수 있음.

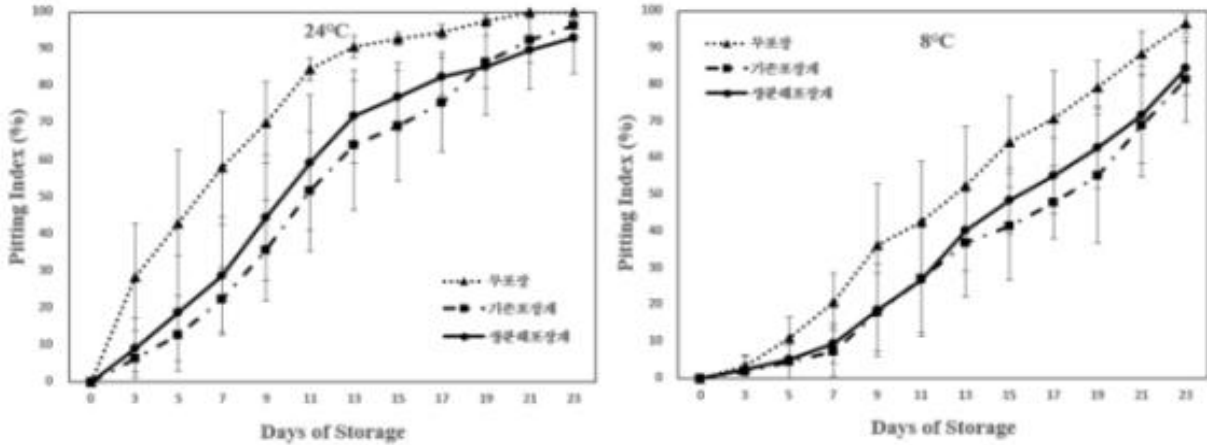


[그림 127] 저장기간별 꼭지갈변 그래프

② 주름(Pitting Index)

- 파프리카 저장 중에는 착색 불균일, 노화촉진, 성숙저해, 과육의 연화증가, pitting, water-soaking과 같은 저장장해가 일어나는데 주로 냉해 증상으로는 pitting과 과경 변색이 일어남.
- Pitting 현상은 표피가 함몰되어 주름현상이 일어나는 것으로 파프리카의 상품성에 큰 영향을 미치는 요인으로 작용됨.

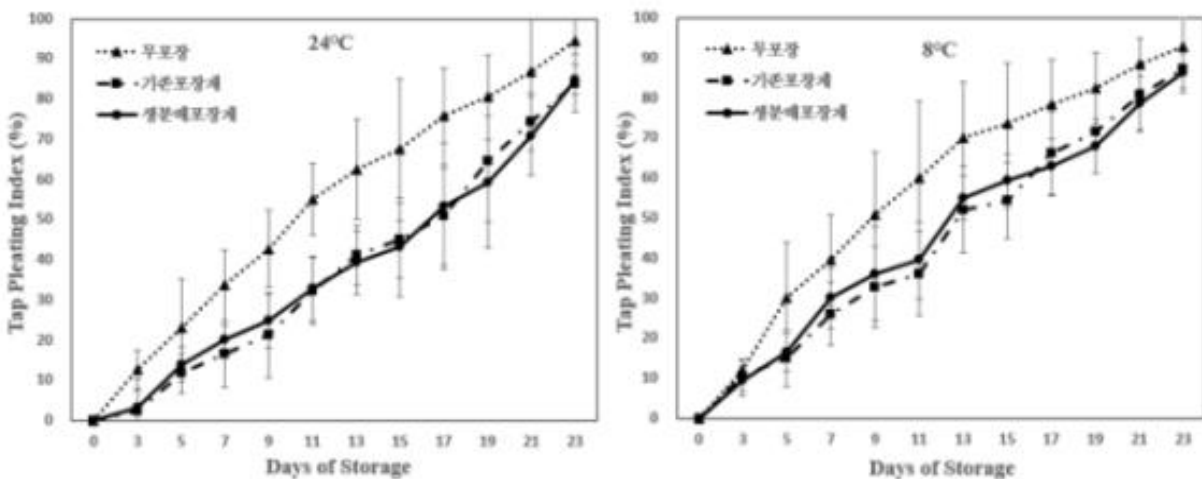
- Pitting 현상의 경우 냉장보관 과실에 비해 상온보관 과실에서 Pitting 현상이 더 빠르게 일어나는 것을 확인 할 수 있었으며, 0~15일까지의 차이가 보다 많이 나는 것을 확인할 수 있음.
- 또한 상온과 냉장환경 모두에서 포장재를 쓰지 않은 과실은 기존포장재와 생분해포장재에 비해 Pitting 현상이 더 빨리 발생하였음.



[그림 128] 저장기간별 Pitting 변화 그래프

③ 꼭지주름

- 꼭지주름의 경우 저장기간 3일차와 5일차를 보게 되면 초기 주름현상은 각각 상온보관(24°C/RH:45%)에 비해 냉장보관(8°C/RH:25%)에서 빨리 일어나는 것을 확인 할 수 있었음.
- 이는 냉장보관에 이용한 항온기의 습도가 낮아 발생한 것으로 판단됨 또한 상온보관과 냉장보관 모두 무포장이 기존포장재와 생분해포장재에 비해 주름현상이 빠르고 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었음.



[그림 129] 저장기간별 꼭지주름 변화 그래프

④ 종자갈변


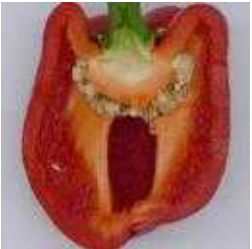
















- 종자갈변현상의 경우 실험이 종료되기까지 상온보관(24℃)과 냉장보관(8℃) 모두 포장을 하지 않은 과실에서만 확인할 수 있었으며, 기존포장재와 생분해 포장재에서는 종자갈변현상을 찾아볼 수 없었음.
- 종자갈변 현상의 자세한 사진은 아래 [표 37, 38]에서 볼 수 있음.

무포장 종자갈변현상		
0일차	9일차	19일차
		

[표 134] 무포장 종자갈변현상

⑤ 곰팡이

- 곰팡이의 경우 냉장보관(8℃)에서는 무포장, 기존포장재, 생분해포장재에서 모두 찾아볼 수 없었으며, 상온보관(24℃) 품목 중 무포장에서 곰팡이가 발생하였음.
- 이는 상온보관(24℃/RH:45%), 냉장보관(8℃/RH:25%)로 두 환경 모두 습도가 낮은 관계로 곰팡이 발생이 대부분 일어나지 않은 것으로 판단됨.

종 자 갈 변						
상온보관 (24℃/RH:45%)			냉장보관 (8℃/RH:25%)			
	0일차	9일차	19일차	0일차	9일차	19일차
무 포 장						
기 존 포 장 재						
생 분 해 포 장 재						

[표 135] 파프리카 저장기간별 종자갈변 사진

곰팡이						
상온보관 (24℃/RH:45%)			냉장보관 (8℃/RH:25%)			
	0일차	9일차	19일차	0일차	9일차	19일차
무포장						
기존포장재						
생분해포장재						

[표 136] 파프리카 저장기간별 곰팡이 사진

다. 연구개발 수행 결과 시사점

- 본 저장실험은 무게손실, 경도, 당도, 색도변화, 부패율(꼭지갈변, 주름, 꼭지주름, 종자갈변, 곰팡이) 총 9가지의 항목으로 진행하였음.
- 모든 실험항목에서 무포장, 기존포장재, 생분해포장재 3가지 포장상태에서 과실변화를 각 항목에 따라 분석하였음.
- 분석결과 모든 실험에서 기존포장재와 생분해포장재는 유의적인 차이를 나타내지 않았으며, 포장이 되어있지 않은 무포장 과실이 2가지 포장재에 비해 부패율 및 과실의 변화가 비교적 크게 나타남.

* 본 저장실험 결과 앞에서 언급한 바와 같이 생분해포장재와 기존 파프리카 포장재의 유의적인 차이가 없는 것을 확인하였으며, 이는 기존 포장재를 본 연구개발 결과물인 생분해 포장재로 대체하였을 때 저장성에 있어 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨

2. 생분해성 농산물 필름 생분해 테스트

- 본 연구로 개발된 생분해성 농산물 필름 및 저단가 보급형 생분해성 농산물 필름 2종에 대한 생분해 테스트를 진행함.
- 생분해 테스트 측정 규격은 ISO17556, K M ISO 17556(폐쇄 호흡계에 의한 산소 소비량 또는 이산화탄소 발생량 측정에 의한 토양에서의 최종 호기성 생분해도 측정)을 기준으로 수행함.
- 생분해 테스트를 위한 토양은 ISO17556을 기준으로 표준토양을 제작하여 사용하였으며, 토양의 질 측정 및 취급은 KS I ISO 10390(토양의 질-PH), KS I ISO 10694(건조 연소 후 유기 및 총 탄소량의 측정), KS I ISO 10381-6(토양의 채취 처리 및 보관에 관한 지침) 등에 의거 하여 수행함.

가. 표준 토양 제작

(1) 자연 토양 채취

- 표준토양 제작을 위한 자연토양의 채취는 K M ISO 17556에 의거하여 연세대학교 원주캠퍼스 창조관 부지 뒤편의 야산에서 숲의 표층에서 20cm 깊이에 있는 흙을 채취함.
- 5mm이하의 입자를 가진 토양은 체(규격 2.00mm)를 이용하여 걸렀으며, 식물, 돌 등의 비활성 물질들도 같이 제거를 하여 준비함.
- 준비된 자연토양은 최대한 자연토양 상태를 유지하기 위하여 사전노출 및 사전조정을 수행하지 않았으며, 실험 전까지 KS I ISO 10381-6에 의거하여 온도4℃(±2℃)의 공기의 흐름이 자유로우며 어두운 항온고에서 플라스틱 자루에 담아 보관됨.



[토양 채취 장소 전경]

구분	내용
채취 장소	연세대학교 원주캠퍼스 창조관 부지 뒤편 야산 등산로 입구
채취 깊이	표층에서 20cm 깊이
온도	31℃
습도	75%

[그림 170] 자연 토양 채취 장소 및 환경 조건



[자연 토양 채취 직후]



[자연 토양 처리 후]

[그림 171] 자연토양 채취 및 처리 후

(2) 표준 토양 제작

- 표준토양은 ISO17556에 의거한 표준 토양 조성에 맞게 배합하여 제작함.
- 자연토양을 제외한 산업용규사(동명산업사, 7호사(0.07~0.2mm)), 점토(오곡광산, 고령석 점토) 및 숙성퇴비(신협동비료(주), 부산물비료(돈분 20%, 계분 30%, 톱밥 25%, 우분8%, 폐사료5%, 계분왕겨5%, 미생물2%, 버섯배지5%))는 시판 중인 제품을 구매하였으며, 퇴비의 경우 생산 후 1년 이상 숙성된 제품을 활용함.

성분	비고	건조 질량 기준(%)
산업용 규사	· 입자 중 50%이상의 크기가 0.05mm~0.2mm 범위인 주로 가는 모래	70
점토	· 고령석 점토(고령석이 30% 이상) 또는 칼슘 벤토 나이트	10
자연토양	· 체질을 하여 크기가 5 mm(가능하면 2 mm) 이하의 입자를 가진 토양을 거르고 눈에 띄는 식물, 돌, 다른 비활성 물질을 제거한 토양	16
숙성 퇴비	· 호기성 퇴비화 공장의 통기가 원활한 퇴비를 사용 · 표준 토양에서 미생물 활동을 안정화시키기 위해 1년간 숙성시킨 퇴비를 사용하길 권장 · 1년간 숙성시킨 퇴비를 사용할 수 없는 경우, 2개월~3개월 이상 숙성시킨 퇴비를 사용 · 퇴비는 균질이고 유리 조각, 돌 또는 금속 조각과 같은 큰 비활성 물체가 없어야 함 · 비활성 물체를 골라낸 다음, 구멍 크기가 약 2 cm~5 cm인 체에 통과시켜 퇴비를 체가름	4

[표 138] 표준 토양 조성(ISO17556 기준)

- 더불어 배합한 토양에 제1인산칼륨, 황산마그네슘, 질산나트륨, 요소 및 염화암모늄을 ISO 17556 기준에 맞춰 배합한 염들을 물에 녹인 뒤 추가함.
- 생분해 테스트를 원활하기 위한 토양의 유기물 중 유기탄소와 질소의 비율이 최소 40:1인 것이 바람직하기에 유기원소 측정을 통해 얻은 수치를 바탕으로 염화암모늄 수용액으로 질소를 첨가하여 비율을 조정함.

성분	g/토양의 kg(건조중량 기준)
제1인산칼륨	0.2
황산마그네슘	0.1
질산 나트륨	0.4
요소	0.2
염화암모늄	0.4

[표 139] 추가하는 염(ISO17556에 의거)

(3) 토양의 질 측정

- 자연토양에 따른 표준토양의 토양의 질 차이를 비교하기 위하여 각기 다른 일시에 채취한 자연토양 3종을 활용한 표준토양 3종을 제작함.
- 자연토양 3종 및 표준토양 3종의 토양의 질을 분석하기 위하여 pH, 수분함량, 유기 및 총탄소량을 측정함.

(가) pH

- 토양의 pH는 측정규격 KS I ISO 10390(토양의 질-pH측정)에 의거하여, 5ml의 토양샘플을 25ml의 증류수에 희석시켜 2시간 방치 후 현탁액의 토양의 pH를 pH미터기(AB15 pH meter, Fisehr sientific)를 이용하여 3반복 측정하였음.
- 자연토양 및 표준토양의 pH는 자연토양에 비해 표준토양의 pH값이 높은 값을 나타내었으며, 숙성퇴비가 자연토양에 비해 높은 pH로 약 알카리성을 나타내었음.
- 하지만, 전체조성에서 차지하는 비율이 4%정도로 매우 낮아 영향을 미치지 못한 것으로 보여짐.
- 또한 자연토양 역시, 채취시기에 따라 상이하였으나, 숙성퇴비와 유사하게 전체에서 차지하는 비중이 16%로 규사에 비해 낮아 영향을 미치지 못한 것으로 보여짐.
- 일반적인 자연토양의 pH는 3~9정도의 범위를 보이며, 식물체가 자라는 일반적인 토양의 경우 7.5이하의 값을 보이기 때문에, 채취한 자연토양 및 제작한 표준토양의 경우 적정범위 안에 들어가며 약산성의 토양으로 볼 수 있음.

샘플	pH
자연토양 A(5.30 채취)	6.68±0.12
자연토양 B(6.30 채취)	5.40±0.14
자연토양 C(7.30 채취)	6.18±0.11
숙성퇴비	7.61±0.07
규사	5.88±0.08
점토	5.30±0.10
표준토양 A	6.60±0.11
표준토양 B	6.89±0.15
표준토양 C	6.75±0.12

[표 140] 토양시료의 pH

(나) 수분함량

- 토양의 수분함량은 측정규격 KS I ISO 11465(토양의 질- 수분 함량과 건조물질의 무게 측정(중량법)에 의거하여 105℃에서 함량에 이를 때까지 건조한 뒤 건조중량과 원물간의 차이를 이용하여 토양의 수분함량을 측정함.
- 채취 일시에 따른 자연토양의 수분 함량은 15.7-17.1%정도였으며, 점토 및 규사는 각각 2.9%, 0.27%정도 수분을 보유함.
- 숙성퇴비의 경우 수분함량이 34.3%로 제일 높은 수분함량을 나타내었으며, 표준토양은 자연토양의 수분함량과 유사한 17%정도로 제작되어 16.5-17.5%의 수분함량을 보유함.

샘플	수분함량(%)
자연토양 A(5.30 채취)	15.7±0.5
자연토양 B(6.30 채취)	16.4±0.9
자연토양 C(7.30 채취)	17.1±0.4
숙성퇴비	34.4±1.1
규사	0.27±0.08
점토	2.9±0.4
표준토양 A	16.9±0.1
표준토양 B	16.5±0.3
표준토양 C	17.5±0.7

[표 141] 토양샘플의 수분함량

(다) 유기 및 총 탄소량

- 토양의 유기 및 총 탄소량은 원소분석기(2400 Series II CHNS/O, PerkinElmer)를 사용하여 측정함.
- 생분해 테스트가 잘 진행될 수 있도록 표준 토양내의 유기탄소와 질소비율(C:N)이 적어도 40:1로 조정하는 것이 바람직하기에 표준토양을 구성하는 구성성분들의 유기탄소와 질소를 측정하여 비율을 확인함.
- 표준토양 구성성분들의 유기탄소와 질소비율을 근거로 염화암모늄 수용액을 이용하여 표준토양에 질소를 추가하여 유기탄소와 질소비율을 조정함.

샘플	탄소(C) 함량	질소(N) 함량	비율(C:N)
표준토양	1.18	0.03	39.33
자연토양	2.29	0.15	15.27
부엽토	16.08	1.86	8.65
점토	0.18	0.01	18.00

[표 142] 토양시료의 유기 및 총 탄소량

(4) 표준 토양 미생물 검증

- 생분해 테스트에서는 토양내의 미생물이 활성이 중요한 요소로 작용하기에 채취일이 다른 자연 토양 및 구성성분(규사, 숙성퇴비, 점토)들과 각각의 자연토양샘플들로 제작한 표준토양의 미생물 활성도를 일반세균수 측정을 통해 확인함.
- 희석 배수를 정하기 위해 예비실험을 통해 희석배수를 확인 한 후 각각 5배수의 샘플 군을 준비하여 온도 및 샘플간의 미생물의 활성을 비교함.

(가) 토양 미생물 추출

- 토양의 미생물의 활성을 측정하기 위해서는 토양내에 존재하는 미생물을 추출해야만 하기 때문에, 토양 미생물의 추출방법은 물을 이용한 미생물 추출법을 사용함⁵¹⁾.
- 토양시료 25g에 증류수로 10배 희석한 뒤 15분간 교반기를 이용하여 섞어준 뒤 2시간동안 방치하여 토양시료를 침지시킴.
- 이후 상층액을 채취하여 토양 미생물 추출액 준비하여 실험에 이용함.

51) G Cappuccino, James, and Natalie Sherman. "Microbiology: A Laboratory Manual TENTH EDITION." (2014).

(나) 배양조건

- 배양온도는 일반적인 일반세균수 측정 온도인 36℃와 고온성 미생물을 확인하기 위한 55℃ 두 온도에서 48시간동안 항온기에서 배양함.

(다) 미생물 검증 결과

- ISO 17556에서는 표준토양에 있어 숙성퇴비가 미생물의 공급원으로서 규정하고 있는데 실험결과 자연토양과 표준토양을 비교 시 자연토양에 비해 숙성퇴비로 인해 미생물의 수가 확연히 증가함을 확인 할 수 있었음.
- 중온조건인 36℃에서 규사를 제외한 모든 구성성분에서 $7.7 \times 10^4 - 1.3 \times 10^8$ CFU/g에 이르기까지 미생물의 수를 확인 할 수 있었음
- 고온조건인 55℃에서는 숙성퇴비 이외의 표준토양의 구성성분에서는 미생물의 활성이 나타나지 않음
- 이를 통해 ISO17556에서 언급한 숙성퇴비가 표준토양에 있어 미생물의 공급원임을 나타내며, 고온조건하에 표준토양으로 생분해 테스트 시 자연토양의 차이로 인한 결과 값 편차를 줄일 수 있을 것으로 판단됨.

(단위 : CFU/g)

샘플	온도(℃)	
	36	55
자연토양A(5.30 채취)	8.2×10^4	N/D
자연토양B(6.30 채취)	7.7×10^4	N/D
자연토양C(7.30 채취)	9.3×10^4	N/D
숙성퇴비	2.2×10^9	2.1×10^6
규사	N/D	N/D
점토	8.0×10^5	N/D
표준토양A	1.0×10^8	5.3×10^4
표준토양B	9.9×10^7	5.0×10^4
표준토양C	1.3×10^8	5.7×10^4

* N/D Not Detected

[표 143] 표준 토양 및 그 성분의 미생물 활성 비교

- * 미생물 활성 측정 결과, 자연토양에 따른 표준토양의 미생물의 활성은 큰 차이가 없음을 확인
- * 고온조건(55℃) 실험을 통해 미생물 주요 공급원이 숙성퇴비임을 확인함

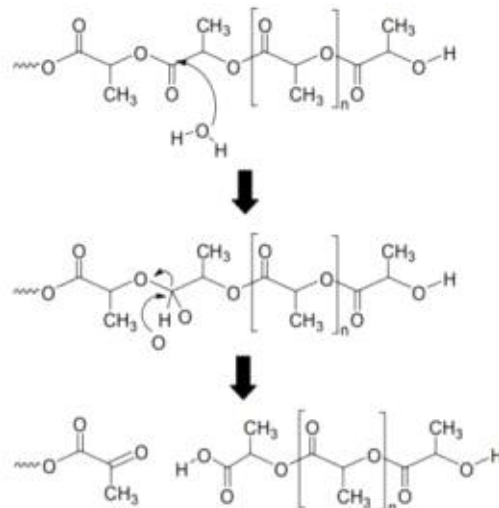
나. 생분해 테스트

(1) 생분해 테스트 방법

- 생분해 테스트는 ISO 17556 측정방법에 근거하여 압력 측정형 호흡계를 이용하여 산소소비량으로부터 생분해도를 측정하는 방법을 사용함.

(가) PLA의 생분해 원리

- PLA의 대표적인 생분해의 원리는 가수분해 및 미생물 효소에 의한 분해로 설명할 수 있음.
- 고분자 구조내의 카보닐기(C=O)가 다습조건하에 물에 의해 가수분해 됨으로서 1차적으로 주쇄가 붕괴되며, 이후 연쇄반응을 통해 작은 분자량을 가진 분자들로 분해됨.
- 이렇게 분해된 저분자의 PLA는 미생물의 효소에 의해 최종적으로 물과 이산화탄소로 분해됨.⁵²⁾



[그림 172] PLA의 가수분해 과정

- 하지만 PLA는 상온 및 중온에서는 가수분해가 잘 이루어지지 않아 일반적으로 상온 및 자연토양 조건에서 1년이 지나도 분해되지 않고, PLA의 Tg값(48-55℃)보다 높거나 유사한 고온(55℃)조건에서는 6개월 후 60%이상 분해된다고 보고되어짐⁵³⁾.

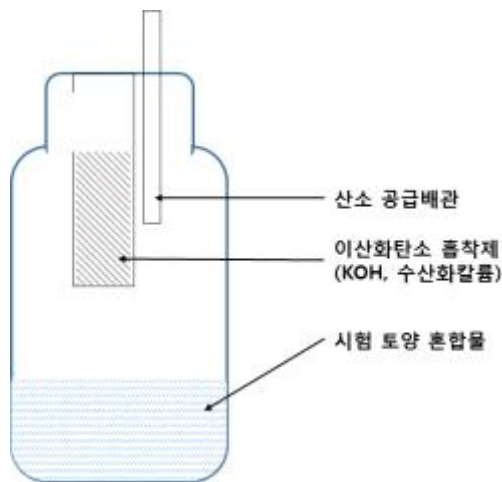
52) Hong, Suk-In. "Development of biodegradable packaging material by starch." Korean society of food science and Technology, Korea (1993): 93-94.

53) Ho, Kai-Lai G., and Anthony L. Pometto III. "Temperature effects on soil mineralization of polylactic acid plastic in laboratory respirometers." Journal of environmental polymer degradation 7.2 (1999): 101-108.

- 이러한 문제점으로 인해 PLA를 사용한 생분해 플라스틱의 경우, 55℃ 이상의 조건의 토양 및 퇴비에서만 6개월 이내의 단기간에 분해되어 일반 상온조건에서는 생분해 테스트에 1년 이상의 장기간의 테스트가 필요하기 때문에 55℃ 이상 조건에서의 생분해 테스트가 이루어 져야함.

(나) 생분해도 측정기기

- 본 연구에서는 생분해도 측정을 위해 압력 측정형 호흡계 원리의 기기를 사용함.
- 이 기기는 호기성 조건에 적합한 방식으로 이산화탄소 흡수제를 장착한 시험용기에 산소 공급기를 연결하여, 미생물의 호흡을 통해 소비된 산소에 의해 발생한 압력의 감소를 감지하여 소비된 산소만큼 공급하는 동시에 그 양을 측정하는 측정 장치로 구성되어 있음.
- 시험용기는 설정된 온도가 유지될 수 있는 항온이 가능한 수조에 설치됨.



[그림 173] 압력 측정형 호흡계의 개략도 및 기기 설치 사진

(다) 생분해 테스트조건

① 샘플구성 및 시험물질 준비

- 생분해 테스트를 수행하기 위해 시험물질 2종, 표준물질 1종을 ISO17556 측정 기준에 의거하여 준비함.
- 본 연구에 사용한 생분해 테스트 기기의 챔버 수는 총 8개로서 블랭크(바탕시험), 시험물질 2종 및 표준물질 1종을 각 2개씩 배치함.

② 표준물질

- 생분해성 테스트에 표준물질로서 널리 사용되는 생분해성 중합체 중 회분이 거의 없는 셀룰로오스 여과지(Qualitative cellulose filter paper-grade 1(회분함량 0.06%이하), Whatman)를 표준물질로서 사용함.
- 물질의 형태와 형상에 생분해 속도가 영향을 미치기 때문에 시험편의 크기는 5mm x 5mm로 시험물질과 동일하게 준비하였으며, 쇄절한 표준물질 시료 300mg을 준비하여 토양 300g에 매립함.

③ 시험물질

- 본 연구를 통해 개발된 저단가 보급형 생분해성 포장재 1종과 생분해성 농산물 필름 1종 총 2종의 샘플을 시험물질로서 사용함.
- 시험편의 크기는 5mm X 5mm로 쇄절한 시료 300mg을 토양 300g에 매립함.

플라스틱		시험물질	표준물질
No. 1	바탕시험	-	-
No. 2	토양 활성 점검 (표준물질)	-	+
No. 3	시료 1-1 (생분해성 농산물 필름)	+	-
No. 4	시료 2-1 (저단가 보급형 생분해성 포장재)	+	-
No. 5	바탕시험	-	-
No. 6	토양 활성 점검 (표준물질)	-	+
No. 7	시료 1-2 (생분해성 농산물 필름)	+	-
No. 8	시료 2-2 (저단가 보급형 생분해성 포장재)	+	-

+ : 해당, - : 해당 없음

[표 144] 생분해 시험 물질 및 표준 물질의 구성

② 배양온도 및 기간

- 해당 연구에서 개발한 생분해 포장재의 경우 PLA함량이 70%에 이르기 때문에 일반 상온 조건(25℃)에서는 1년 이상이 걸리게 됨.
- D.Robson(2013)과 G.HO(1999)연구 결과에 따르면, 55℃의 일반 토양 및 퇴비내에서 PLA는 6개월 이내에 60%이상이 분해된다고 보고하였음⁵⁴⁾.
- 해당 연구 기간 내 생분해도 측정을 위해서 ISO 17556 측정 방법을 기반으로 PLA의 가수분해가 가속화 될 수 있는 온도인 55℃로 설정하여 155일간 생분해 테스트 실험을 진행함.

(라) 생분해도 계산

- 생분해 백분율(생분해도, %)을 산출하기 위하여, 시험물질 및 표준물질의 이론적 산소 요구량(ThOD, mg/시험물질 g)을 도출 한 뒤, 시험 종료시점의 생물학적 산소요구량(BOD)와 이론적 산소요구량의 비율을 계산하여 도출함.

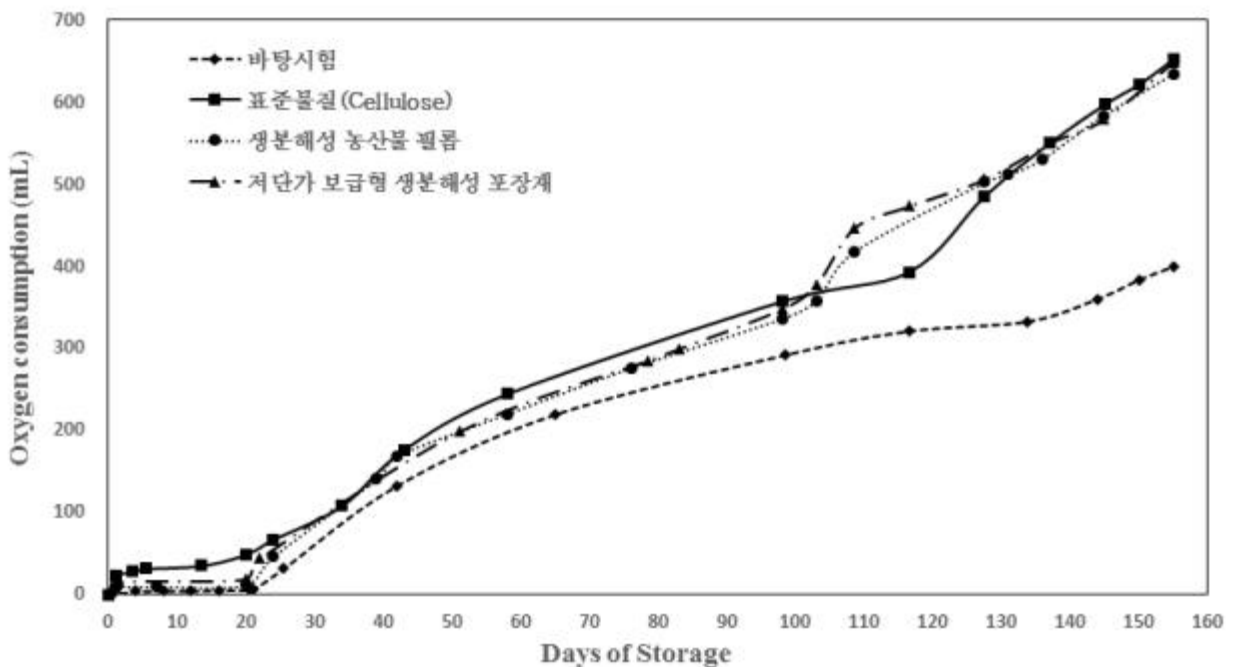
54) Karamanlioglu, Mehlika, and Geoffrey D. Robson. "The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly (lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil." Polymer Degradation and Stability 98.10 (2013): 2063-2071.

(2) 생분해도 결과

(가) 산소소비량 측정을 통한 생분해도 결과

① 산소소비량 측정 결과

- 155일간 산소소비량 측정 결과, 샘플간의 차이는 있지만 바탕시험에 비해 모든 샘플군의 산소소비량이 높게 측정됨을 확인함.
- 바탕시험의 경우, 산소소비량이 109일 기점으로 거의 발생하지 않다가 133일 시점부터 소폭 증가하는 추세를 나타내어 다른 연구결과들과 다른 양상을 나타냄.
- 표준물질로서 이용된 셀룰로오스(Cellulose)의 경우, 다른 고분자들에 비해 미생물에 의한 분해가 상대적으로 빠르다는 여러 연구결과와 유사하게 초기 20일내 가장 높은 산소소비량을 나타냄.
- 초기 20일이 지난 후 산소소비량이 바탕시험(표준토양)을 포함한 모든 시료에서 크게 증가함
- 또한 바탕시험(표준토양)의 산소 소비량이 지속적으로 증가하는 양상을 띄는 것은 표준토양내에 분해가능한 유기물이 많이 존재한다는 의미로 볼 수 있음.
- 표준물질을 제외한 모든 샘플군은 98일을 기점으로 이후 급격하게 산소소비량이 증가함.
- 이는 생분해성 농산물 필름 및 저단가 보급형 생분해성 포장재의 가수분해가 해당시점 이후에 가속화 되어 미생물의 활성이 증가한 것으로 판단됨.

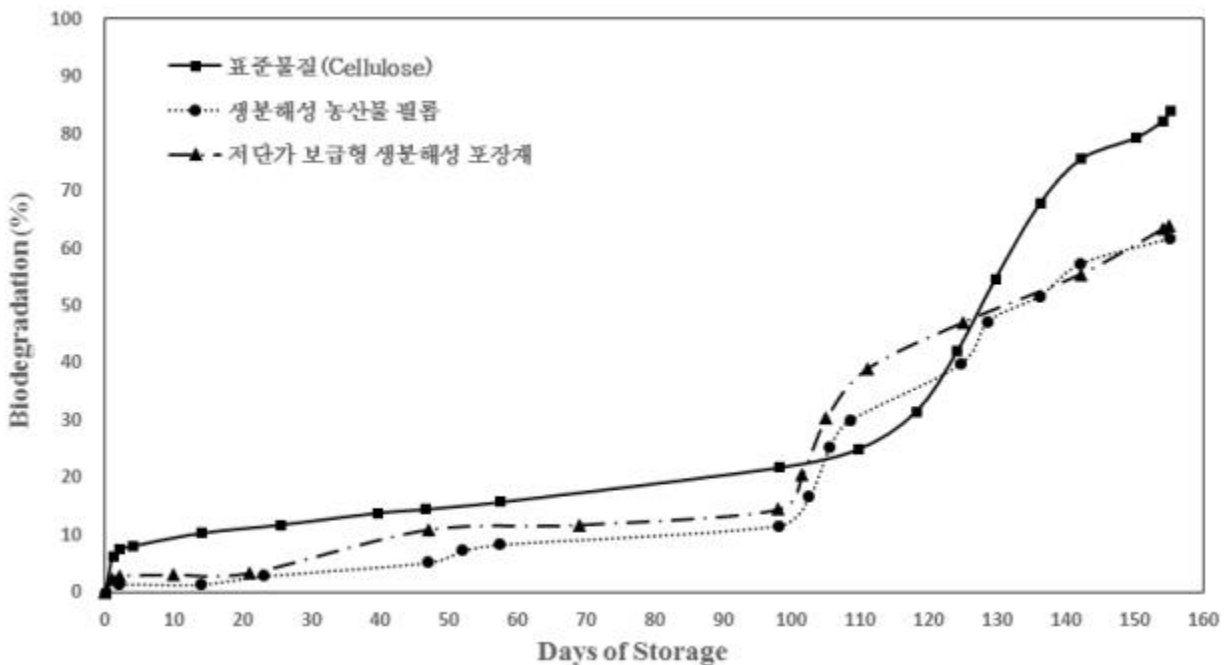


[그림 174] 산소소비량 측정 결과

② 생분해도 측정 결과

- 측정된 산소소비량을 바탕으로 계산한 BOD(생물학적 산소요구량)와 시험물질들의 ThOD(이론적 산소요구량)의 비로 생분해도(생분해백분율)을 도출함.
- 본 연구의 생분해도 달성 목표인 60%이상 생분해(ASTM D6400 기준)을 180일 이전에 달성함.
- 저단가 보급형 생분해성 포장재의 경우, 부산물 첨가에 따른 바이오매스 함량 증가로 인해 생분해성 농산물 필름보다 빠른 생분해도를 보임.
- 이는 저단가 보급형 생분해성 포장재가 가격적으로 유리할 뿐 아니라, 환경적으로도 우수함을 나타냄.
- 본 연구에서 개발한 포장재들이 155일 기간 동안 60%가 넘는 생분해도를 나타냄과 더불어 지속적으로 증가하는 양상을 띄고 있음에 따라, 1년 이내에 90%이상 생분해가 가능 할 것으로 사료됨.

시험 물질	생분해 백분율(%)		생분해 기준	
	절대	셀룰로오스 기준	ASTM D6400	ISO 17556
셀룰로오스	84.2	100.0	60% (절대값) 이상 /180일 이내	60% (셀룰로오스 기준) 이상
생분해성 농산물 필름	61.7	73.2		
저단가 보급형 생분해성 포장재	64.0	76.0		



[그림 175] 생분해도 측정 결과




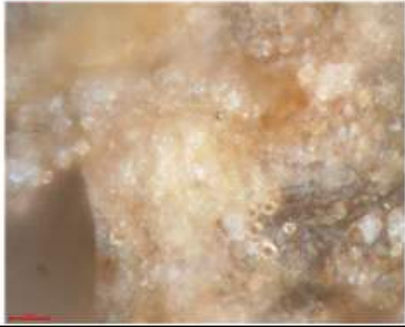




(나) 생분해에 따른 형태학적 특성

- 대부분의 표준 및 시험물질은 유관으로 관측되지 않을 만큼 미세하게 분해되었고, 일부 남아 있는 시편을 채집하여 이용함.
- 채집한 표준 및 시험물질의 표면은 편광현미경(CX40P, Optinity, China)을 통해 분석함.
- 생분해 실험을 위한 표준 및 시험물질의 크기는 5.0mm×5.0mm 사이즈로 채절하여 이용하였지만, 생분해 후 동일 배유로 비교 시 크기편차가 심하여, 편광현미경 사진 촬영을 위한 샘플은 1.0mm×1.0mm 크기로 채절하여 이용함.
- 155일간 생분해 테스트 후 시험물질의 시편은 Rudnik(2011)의 연구결과⁵⁵⁾와 유사하게 시편의 표면이 분해되면서 형태를 유지하지 못할 뿐 아니라, 시험물질 구조사이로 토양이 파고들어 구조 사이에 토양물질이 강하게 밀착된 형태를 나타냄.
- 표준물질의 경우, 셀룰로오스 여과지를 사용했기 때문에 구조적 공간이 시험물질에 비해 매우 높아, 구조 사이에 밀착된 토양물질의 비율이 높을 뿐 아니라, 외관형태를 유지하지 못함.
- 표준 및 시험물질 모두, 생분해 후 시편 표면에 그물망과 같은 구조체 및 불균일한 구멍들이 발견됨.
- Karamanligolu(2013)⁵⁶⁾는 불균일한 천공은 시험물질의 분해에 따른 물리적인 형태 변화를 나타내며, 그물망의 구조체는 곰팡이 균사(Fungal hyphae)라고 보고하였는데, 본 연구결과와 동일한 형태학적 특징을 보임.
- 이러한 생분해 실험 후 시험물질의 형태학적 특징은 시험물질이 미생물들에 의해 분해가 된 것임을 보여줌.

* 생분해가 됨에 따라, 시험물질(생분해성 농산물 포장재)의 외관 형태를 유지하지 못함
* 표면 관찰 결과, 곰팡이 균사 및 분해에 따른 천공이 발견됨에 따라 미생물들에 의해 시험물질의 분해가 이루어짐을 확인함.

55) Rudnik, E., and D. Briassoulis. "Comparative biodegradation in soil behaviour of two biodegradable polymers based on renewable resources." *Journal of Polymers and the Environment* 19.1 (2011): 18-39.

56) Karamanlioglu, Mehlika, and Geoffrey D. Robson. "The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly (lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil." *Polymer degradation and stability* 98.10 (2013): 2063-2071.

구분	배율	토양 매립 전	토양 매립 155일 후
표준물질 (Cellulose)	×50		
	×1,000		
시험물질	×50		
	×1,000		

*Bar scale : ×50(200 μ m), ×1,000(10 μ m)

[그림 176] 생분해실험에 따른 표준 및 시험물질의 형태학적 변화

제 7 절 LCA 연구동향 조사 및 LCA 분석

1. 국내외 LCA 연구동향 조사

- 전과정평가(LCA)는 제품의 제조, 사용, 폐기의 모든 단계에 걸친 환경영향을 평가하는 방법론으로 정의됨.
- 제품의 원료채취단계에서부터 사용 후 폐기단계 및 재활용까지의 모든 물질 및 에너지 흐름을 정량화하여 이에 대한 환경영향정도를 파악함⁵⁷⁾.

가. 국내 연구동향

- 최근 포장재 전반에 관한 LCA 연구가 수행된 바 있으며, 다층 레토르트 파우치가 캔 및 유리병에 비해 환경 영향이 우수한 것으로 분석⁵⁸⁾됨.
- 광택제 용기의 환경성 평가에 관한 연구가 이루어져 있으며, 주요 환경 영향 요인은 제품의 주원료로 사용이 되는 PP인 것으로 분석⁵⁹⁾됨.
- 유리병 재사용에 대한 LCA 연구가 수행된 바 있으며, 그 과정에서 환경영향에 미치는 요인을 분석하여 향후 환경부하 감소에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단⁶⁰⁾함.
- 국내 피대체 포장재 및 생분해 포장재 관련 LCA 연구가 국외에 비해 적기 때문에 앞으로 포장재 관련 LCA 연구가 더 수행되어야 할 필요성이 있음.

나. 국외 연구동향

- PLA와 같은 생분해성 플라스틱이 석유계 플라스틱을 대체하면서 기후변화나 화석연료사용 감소효과가 있는 것으로 분석⁶¹⁾됨.
- PET, PE, EVOH, PVOH가 사용된 고차단성 필름의 LCA 연구가 이루어져 있으며, EVOH의 환경 영향이 우수한 것으로 분석⁶²⁾됨.
- PET병을 재활용해서 만든 트레이의 다시 재활용 유무에 따른 LCA 연구가 수행된 바 있으며, 다시 재활용이 가능한 트레이의 환경 영향이 우수한 것으로 분석⁶³⁾됨.

57) 고광진(2001) 전과정평가(LCA)를 이용한 알루미늄 캔 제조공정의 환경성 평가에 관한 연구

58) Yuna Hong (2017) A study on environmental evaluation of multilayer pouch coN/mm2red with an and glass bottle using life cycle assessment

59) 김명환 (2012) LCA 기법을 이용한 광택제 용기의 환경성 평가에 관한 연구

60) 김형진 외 (2009) 유리병 재사용에 대한 전과정 평가

61) Wim J. Groot 외 (2010) Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand

62) D. Kliaugaitė 외 (2013) CoN/mm2rative Life Cycle Assessment of High Barrier Polymer Packaging for Selecting Resource Efficient and Environmentally Low-IN/mm2ct Materials

63) Sara Toniolo 외 (2013) CoN/mm2rative LCA to evaluate how much recycling is environmentally favourable for food packaging

- Aseptic carton, aluminium can, PET의 LCA 분석이 이루어져 있으며, PET의 환경 영향이 가장 우수한 것으로 분석 되었지만 transport, disposal의 영향도 중요하다고 분석⁶⁴⁾됨.
- PLA/TPS(Thermoplastic starch)/PLA, PET, PLA, PP가 사용된 필름의 LCA 연구가 이루어져 있으며, PLA의 환경 영향이 우수한 것으로 분석⁶⁵⁾됨.
- 식품포장에 주로 사용되는 PP와 이를 대체 가능한 키토산 기반 필름 간의 LCA 분석이 있으며, 키토산 기반 필름의 CO₂발생량이 적은 것으로 분석⁶⁶⁾됨.
- 우유포장에 사용되는 PA(Paper)/PE/AL과 PE의 LCA 연구가 이루어져 있으며, PE의 환경 영향이 미세하게 우수한 것으로 분석⁶⁷⁾됨.
- PE, Bio-PE, PBAT/starch가 사용된 쓰레기봉투의 LCA 연구가 이루어져 있으며, PBAT/starch의 환경 영향이 가장 안좋은 것으로 분석⁶⁸⁾됨.
- 식품포장 용기로 사용되는 PS, PLA에 관한 LCA 분석이 이루어져 있으며, PS의 환경 영향이 더 좋은 것으로 분석⁶⁹⁾됨.
- PLA, PET, PS로 제조된 식품 용기의 LCA 연구가 이루어져 있으며, PET의 환경 영향이 가장 안 좋은 것으로 분석⁷⁰⁾됨.
- PS, PLA, PLA/starch로 열성형된 용기의 LCA 연구가 이루어져 있으며, PLA/starch의 환경 영향이 가장 안 좋은 것으로 분석⁷¹⁾됨.
- PLA와 범용 플라스틱(PS, PP, PET, PE) 간의 제조과정 중 발생하는 CO₂량을 비교하는 LCA 분석이 이루어져 있으며, PLA의 환경 영향이 가장 좋은 것으로 분석⁷²⁾됨.

64) Jorgelina Pasqualino (2010) The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal Jorgelina

65) Benetto, Enrico 외 (2015) Using atmospheric plasma to design multilayer film from polylactic acid and thermoplastic starch: A screening life cycle assessment

66) Leceta, Itsaso 외 (2013) Environmental assessment of chitosan-based films

67) Xie, Minghui 외 (2011) A coN/mm²rative study on milk packaging using life cycle assessment: From PA-PE-Al laminate and polyethylene in China

68) Saibuatrong 외 (2017) Life cycle assessment focusing on the waste management of conventional and bio-based garbage bags

69) Ingrao, Carlo (2017) An attributional Life Cycle Assessment application experience to highlight environmental hotspots in the production of foamy polylactic acid trays for fresh-food packaging usage

70) Madival, Santosh (2009) Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology

71) Suwanmanee (2013) Life cycle assessment of single use thermoform boxes made from polystyrene (PS), polylactic acid, (PLA), and PLA/starch: cradle to consumer gate

72) Groot, Wim J. (2010) Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand

다. 피대체 포장재 LCA 데이터 확보

- 본 과제에서 개발하고자 하는 생분해성 필름과 농산물 포장재에 사용되는 범용 LDPE 필름의 전과정평가를 위해 피대체 포장재 LCA 데이터를 수집 및 확보하여 LCA 분석을 진행함.

2. 생분해성 포장재 및 보급형 포장재 LCA 분석

Data category	Name	Amount	Unit
Material	Poly(butylene adipate-co-terephthalate)	각 비율	kg
Material	Polylactide, granulate	각 비율	kg
Material	LDPE	0.829	kg
Process	Extrusion	각 비율	Kg

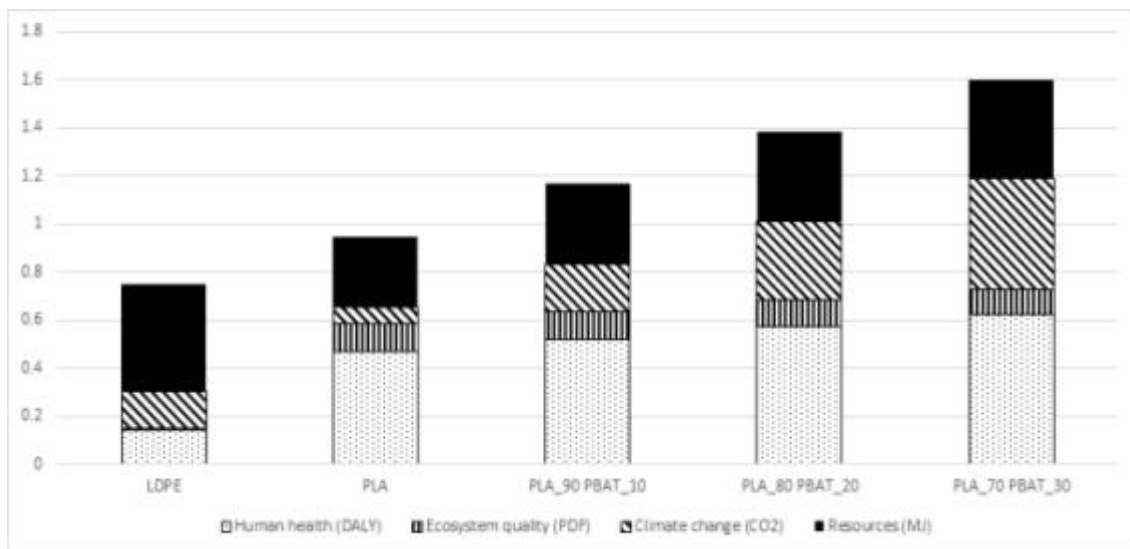
자료 : Ecoinvent, USLCI and ELCD

PBAT의 경우 선행연구⁷³⁾에 의거하여 1,4-Butanediol, Adipic acid, Terephthalic acid의 투입물 조합 및 PET resin의 제조 프로세스를 참조하여 계상

[표 145] 기존제품 및 개발제품 제조시의 투입물

가. LCA 테스트 결과(LDPE 비교분석)

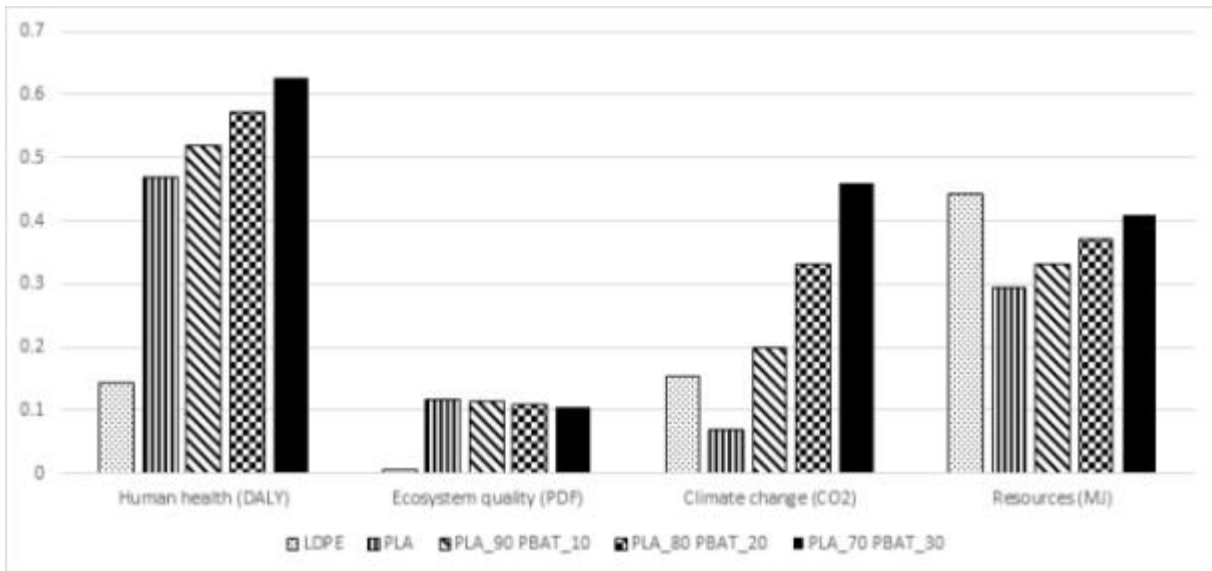
- 영향평가에는 15개의 mid-point 카테고리 와 4개의 end-point 카테고리를 가지고 있는 IN/mm2CT 2002+ v.2.12 방법론을 사용하였으며 그 결과는 아래 그림과 같음.



[그림 177] LCA 영향평가 (Single score)

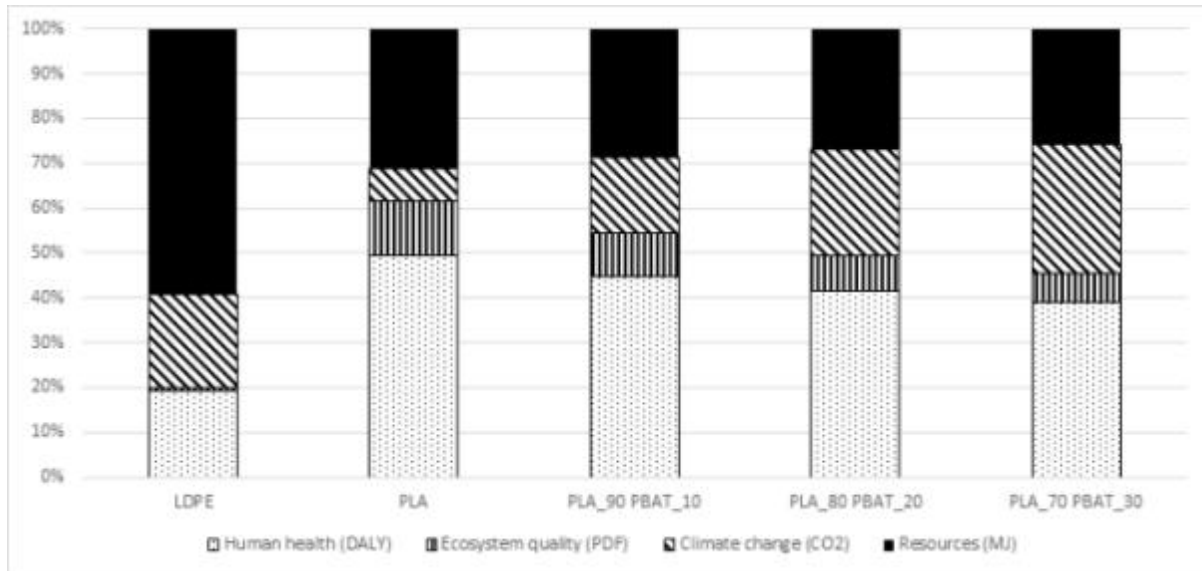
73) Dieuwertje Louise Schrijvers et al.(2014) Ex-ante life cycle assessment of polymer nanocomposites using organo-modified layered double hydroxides for potential application in agricultural film

- 생분해성 필름은 LDPE에 비해 전체 환경영향에서 우수하지 않지만 climate change와 resources 부분에서는 우수한 것으로 분석됨.
- LDPE의 경우, 석유 기반의 플라스틱이기 때문에 바이오 베이스 플라스틱 보다 CO2 발생량과 non renewable resource 사용량이 높게 나온 것으로 분석됨.
- 전반적으로 PBAT 함량이 높아질수록 환경영향이 가중되는 것을 알 수 있으며, 이는 PLA가 PBAT에 비해 환경에 미치는 영향이 적은 것으로 분석됨.



[그림 178] LCA 영향평가 (Normalization)

- Human health와 Ecosystem quality의 경우, 생분해성 필름 특성상 자연 유래 물질이 많은 관계로 LDPE에 비해 큰 영향을 미치는 것으로 풀이됨.
- Climate change의 경우, PBAT의 CO₂ 발생량이 높기 때문에 PBAT의 비율이 20% 이상이 되면 LDPE의 CO₂ 발생량보다 많은 것으로 해석됨.
- Resources의 경우, LDPE의 renewable energy 사용량이 많기 때문에 바이오 플라스틱에 비해 큰 영향을 미치는 것으로 나타남.

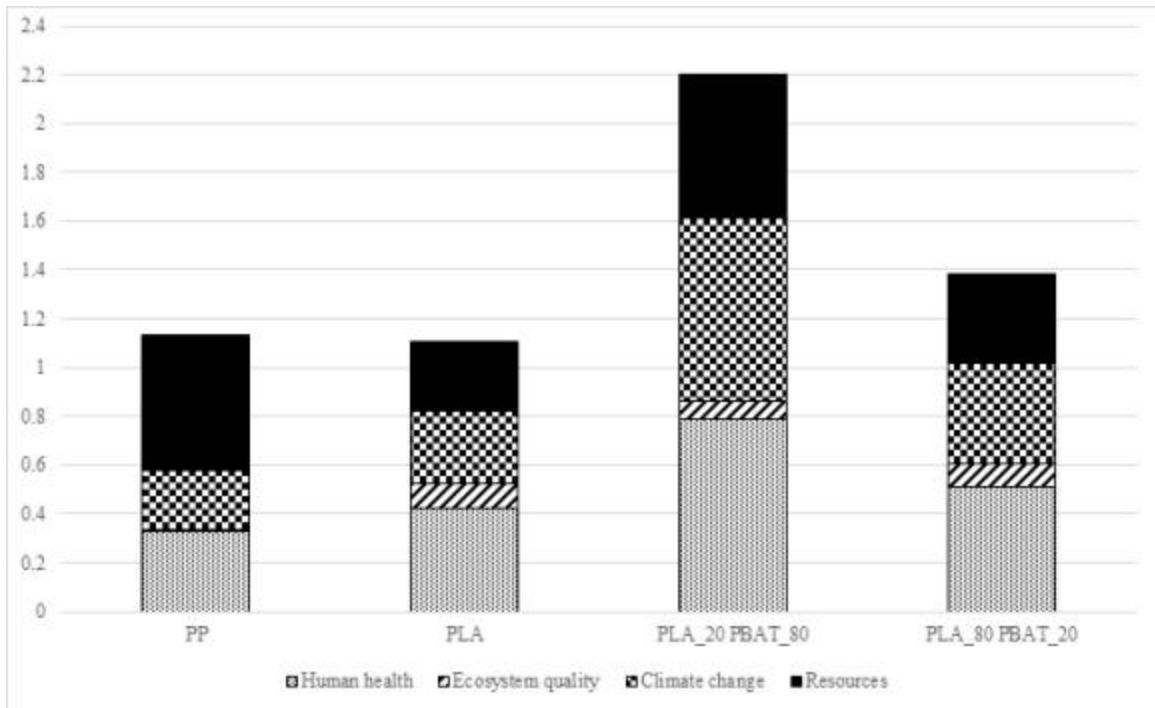


[그림 179] LCA 영향평가 (Relative contributions)

- LDPE의 경우, Climate change와 Resources가 80%이상의 비율을 차지하고 있고 Ecosystem quality는 미세한 환경 영향을 발생하는 것으로 분석됨.
- PLA의 경우, Human health가 약 50%를 차지하고 있으며 Climate change와 Resources는 LDPE보다 상대적으로 적은 비율로 나타남.
- PBAT의 비율이 늘어날수록 LDPE와 유사한 비율로 나타나는데 이는 PBAT가 석유 기반의 바이오 플라스틱이기 때문인 것으로 해석됨.

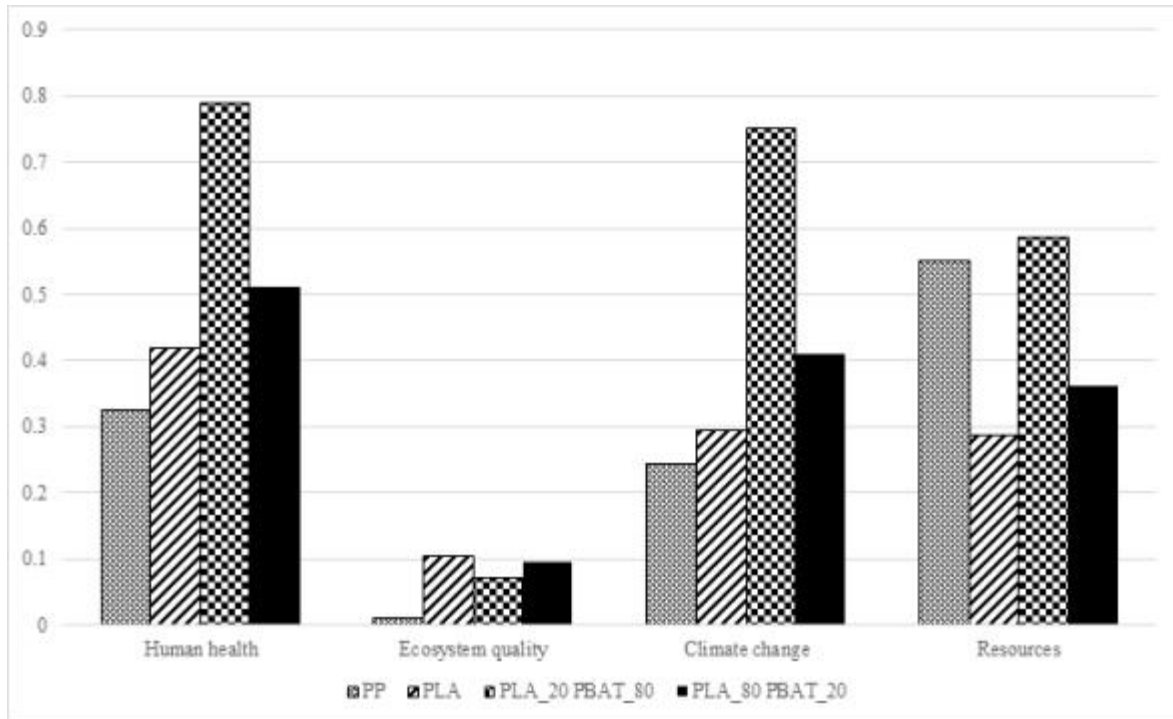
나. LCA 테스트 결과(PP비교분석)

- 본 연구개발 결과물의 LCA 데이터 분석과 현재 농산물 포장에 쓰이고 있는 비중이 가장 높은 PP와 비교분석 하였음.
- 영향평가에는 15개의 mid-point 카테고리과 4개의 end-point 카테고리를 가지고 있는 IN/mm2CT 2002+ v.2.12 방법론을 사용하였으며 그 결과는 아래 그림과 같음.



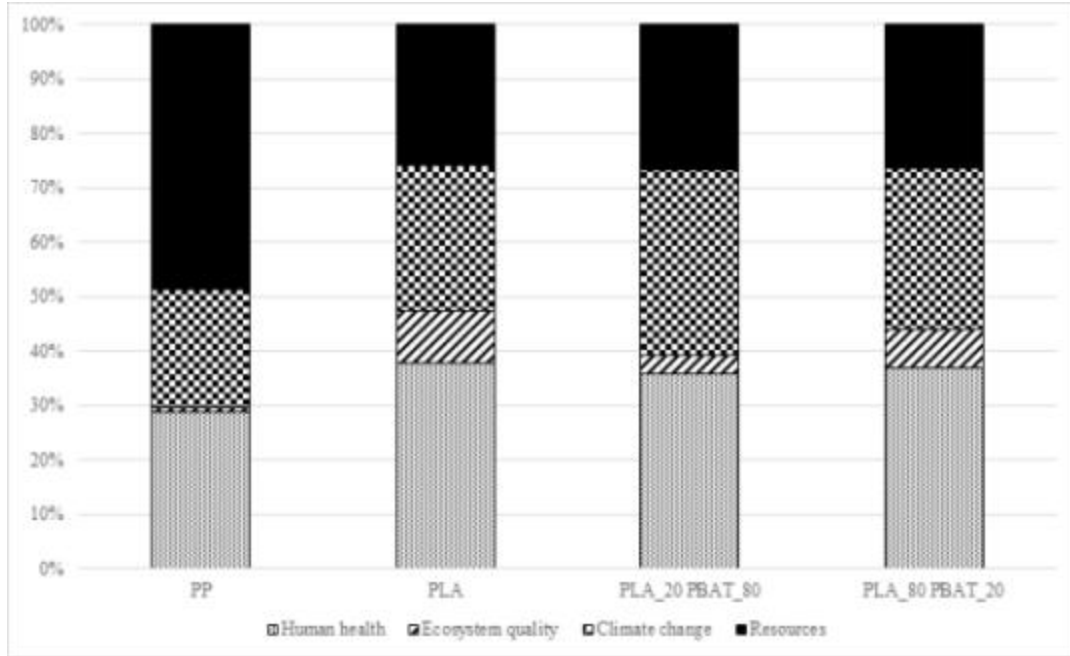
[그림 180] LCA 영향평가 (Single score)

- 기존 LCA 영향 평가에서 언급한 바와 같이 PBAT 함량이 높아질수록 환경영향이 가중되어 PLA_20PBAT80의 배합비를 가진 필름이 PLA_80PBAT_20에 비해 환경에 미치는 영향이 보다 큰 것으로 나타남.
- 기존 농산물에 가장 많이 쓰이고 있는 PP와 PLA/PBAT블렌드인 PLA_80PBAT_20의 Single score의 경우 각각 1.132와 1.380로 PLA/PBAT 블렌드에 비해 PP가 환경영향이 적은 것으로 나타남.
- PBAT함량이 높은 PLA_20PBAT_80의 경우 Single score가 2.199로 PBAT함량이 낮은 PLA_80PBAT_20에 비해 약 2배와 가까운 수치를 나타냄.



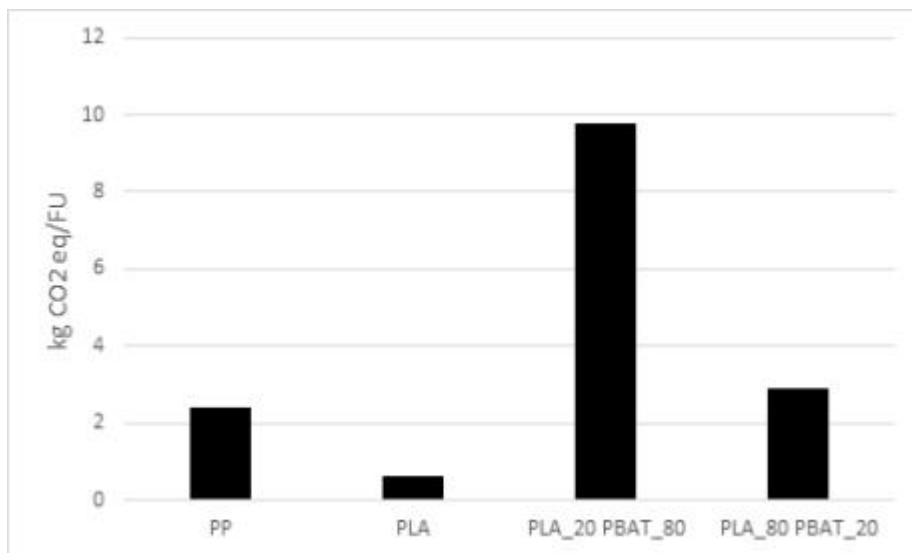
[그림 181] LCA 영향평가 (Normalization)

- Human health와 Ecosystem quality의 경우, 생분해성 필름 특성상 자연 유래 물질이 많은 관계로 PP에 비해 큰 영향을 미침.
- Climate change의 경우, PBAT의 CO₂ 발생량이 높은 관계로 PP의 CO₂ 발생량보다 많은 것으로 해석됨.
- Resources의 경우, PP의 renewable energy 사용량이 많아 바이오 플라스틱에 비해 큰 영향을 미치는 것으로 나타남.



[그림 182] LCA 영향평가 (Relative contributions)

- PP의 경우, Climate change와 Resources가 70%이상의 비율을 차지하고 있고 Ecosystem quality는 미세한 환경 영향을 발생하는 것으로 분석됨.
- PLA_20PBAT80와 PLA_80PBAT20을 비교하였을 때, PBAT 함량이 증가할수록 Climate change가 증가하며, Resources는 PP보다 상대적으로 적은 비율로 나타남.



[그림 183] 재질별 CO₂ 배출량

- CO₂ 배출량을 분석한 결과 PLA가 분석대상 중 가장 적은 CO₂를 배출하며, PLA_20PBAT80의 경우 9.8kgCO₂eq/FU로 가장 많은 CO₂를 배출하는 것으로 분석됨.
- 또한 PP와 PLA_80PBAT20는 각각 2.42와 2.9kgCO₂eq/FU로 PBAT의 영향에도 크지 않은 차이를 나타내었음.

다. LCA 분석 주요 시사점

- 본 연구개발물(PLA_80PBAT20)의 환경영향을 분석하기 위해 PP, LDPE, PLA/PBAT 블렌드와 함께 LCA 평가 비교분석을 실행하였음.
- PLA/PBAT 블렌드의 경우 PBAT함량이 증가할수록 환경영향이 커지는 것을 확인하였으며 이는 PBAT가 석유계 플라스틱으로 제조된 것이 주원인으로 분석됨.
- PLA_80PBAT_20와 현재 농산물 포장에 많이 쓰이고 있는 PP와의 LCA평가 비교 분석 시 환경영향이 높은 PBAT의 존재에도 크지 않은 차이를 나타냄.

* 본 LCA 분석 결과 PBAT 함량이 증가할수록 환경영향이 커지는 것을 확인하였으나, 기존 농산물 포장에 주로 쓰이고 있는 PP와 비교하였을 때 크지 않은 차이를 나타냄에 따라 기존 포장재와 비교했을 때 환경 여향에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단됨.

제 8 절 연구개발 성과

1. 연구개발 성과 목표

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기술 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	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	10	10		20		30								20		10				
최종목표	3	3		2		3						2	2		5		8			
1차년도																	3			
2차년도	1											1			3		2			
3차년도	1			1		1									1		2			
소계	2	0		1		1						1	0		4		7			
종료 1차년도	1	1		1		1						1	1		1		1			
종료 2차년도		2				1						0	1				2			
소계	1	3		1		2						2	2		1		3			
합계	3	3		2		3						2	2		5		10			

2. 특허

No	지식재산권 등 명칭	국명	출 원			등 록			기 여 율
			출원인	출원일	출원 번호	등 록 인	등 록 일	등 록 번 호	
1	폴리락틱산, 폴리부틸렌아디페이트 -코-부틸렌테레프탈 레이트 및 폴리에틸렌옥사이드를 포함하는 생분해성 수지 조성물	한국	박수일 엄유준	2018 10.24	10-2018-016 3728				
2	통기성이 우수한 식품 포장 필름용 생분해성 수지 조성물, 이로부터 제조되는 필름 및 그 제조방법	한국	(주)에 이치피 엠글로 별	2019 12.30	10-2019-017 7419				

3. 논문

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부	게재일
1	Carbon Footprint of Packaging Films Made from LDPE, PLA, and PLA/PBAT Blends in South Korea	Sustainability	Choi, Bulim	10(7)	스위스	MDPI	SCI	2018.07
2	Comparative Study on Carbon Footprint of Laminated and Coextruded Pouches, Using Life Cycle Assessment	The International Journal of Life Cycle Assessment	Seung-woo Yoo		독일	SPRINGER HEIDELBERG	SCI	투고 완료
3	A study on preparation of properties of PLA/PBAT/PEO Blends	투고 예정	Yoo-jun Eom		미국	SPRINGER	SCI	투고 예정

3. 학술대회/심포지엄 발표

No	회의 명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2018 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	엄유준	2018.06.28	부산	한국
2	한국전과정평가학회	유승우	2018.11.14	서울	한국
3	한국포장학회	엄유준	2018.11.08	제주도	한국
4	한국포장학회	권상우	2019.11.07	제주도	한국

4. 인력 양성

인력양성명	인력양성내용	계열	인력양성년도
학위취득	Nastaran Moghimi 박사학위 취득	공학계열(박사학위)	2017
취업성과	최부림 박사후연구원 취업	공학계열(박사)	2017
학위취득	유승우 학사학위 취득	공학계열(학사)	2017
학위취득	권상우 학사학위 취득	공학계열(학사)	2018
학위취득	신충훈 학사학위 취득	공학계열(학사)	2019
학위취득	유승우 석사학위 취득	공학계열(석사)	2019
학위취득	엄유준 석사학위 취득	공학계열(석사)	2019

5. 기술이전

- 기술이전명 : "폴리락틱산, 폴리부틸렌아디페이트-코-부틸렌테레프탈레이트 및 폴리에틸렌 옥사이드를 포함하는 생분해성 수지 조성물" 관련 기술
- 기술이전 대상 및 일자 : (주)에이치피엠글로벌 (2019.12.05.)
- 기술이전 내용 : "폴리락틱산, 폴리부틸렌아디페이트-코-부틸렌테레프탈레이트 및 폴리에틸렌옥사이드를 포함하는 생분해성 수지 조성물" 노하우 1건 사용 계약

6. 전시회 참가 및 홍보 실적

- 미국 시카고 Process Expo 2019 (food processing suppliers association주관)에 참가하여 개발한 농산물용 생분해 플라스틱 단위 포장재를 홍보하였음.

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 연구목표의 달성도

1. 1차년도

연구목표	가중치 (%)	연구개발 목표 달성도		연구개발 수행내용
		세부연구목표	달성도 (%)	
<주 관> 연세대학교 원주산학협력단 생분해성 포장재 개발을 위한 Lab. scale 기초연구	10	농산물 적용 품목 조사	100	- 농산물 수출동향 파악을 통한 적용 품목 조사 - 국내 농산물 수출 농가 방문을 통한 포장형태 및 조사를 통한 적용 가능 품목 확인 - 런던, 독일 및 시카고 현지 조사를 통한 해외 농산물 유통 포장형태 조사
	30	수용성 물질 스크리닝 및 투과도 조절 연구	100	- 논문 및 기타자료를 통한 수용성 물질 스크리닝을 통해 적합 예비물질 선정 - 예비물질 혼화성 분석 및 최종 적합물질 선정
	30	생분해성 소재 및 충전제 스크리닝 및 분산성 개선 연구	100	- 국내 농업부산물 생산량 및 가격 조사를 통한 예비물질 선정 - 물성 비교분석을 통한 생분해성 충전제 물질로 밀기울 선정 - 분산성 개선을 위한 분산제 후보군 선정 및 전처리 공정 확립 - 에탄올, 아세틸화 처리를 통한 분산성 개선 확인
	30	국내외 LCA연구 동향 조사 및 피대체 포장재 LCA 데이터 확보	100	- 국내외 문헌조사를 통한 LCA 동향 조사 - 문헌 데이터를 바탕으로 LCA pilot 테스트 수행
<협 동> (주)에이치피엠 글로벌 Pilot 기반구축	20	Pilot 테스트 장비 개조 설계	100	- 기존 수랭식 냉각라인을 공랭식 냉각 라인으로 변경하기 위한 Twin screw extruder 장비의 냉각 설비 설계
	30	국내외 3-layer 현황조사	100	- 국내 생분해 포장재 생산업체 및 제품 조사 - 중국전시회 참관을 통한 해외 생분해 3layer제품 현황 파악
	50	M/B 제조 (충전제 최대 함량)	100	- 포장재 성형이 가능한 밀기울(농업부산물)의 최대 첨가 함량 도출 - M/B화 가능한 밀기울(농업부산물) 최대 함량 도출 및 M/B개발

2. 2차년도

연구목표	가중치 (%)	연구개발 목표 달성도		연구개발 수행내용
		세부연구목표	달성도 (%)	
<p><주 관> 연세대학교 원주산학협력단</p> <p>생분해성 포장재 개발을 위한 분산성 개선 및 물성 테스트 (Lab. scale)</p>	30	수용성 물질 분산성 개선 연구 및 투과도 조절 연구	100	<ul style="list-style-type: none"> - 수용성 물질(NaCl, PEO) 및 첨가제(CaCO₃)를 이용한 투과도 조절 가능성확인 - PLA/PBAT/PEO 복합필름 제조 및 물성분석 - 분산성 개선을 위한 PEO첨가 복합필름 제조 및 물성분석
	20	3-layer 기초물성 테스트 및 분산성 개선 연구	100	<ul style="list-style-type: none"> - 필름작업적성 향상을 위한 밀기울(농업부산물) 분쇄 공정별 물성변화 분석 및 최적 공정 확립 - 밀기울(농업부산물) 필름 제조 시 농업 부산물 최대 함량 도출
	20	국내외 LCA 연구동향 조사 및 피대체 포장재 LCA 데이터 확보	100	<ul style="list-style-type: none"> - 국내외 포장재 시장현황 생분해성 포장재 규제 동향 파악(한국, 미국,일본) - 국내외 LCA 연구동향 분석을 통해 친환경 포장재 제품의 환경영향 평가의 우수성 확인 - PLA/PBAT/PEO 복합 필름 및 LDPE 포장재 LCA D.B
	20	생분해성 포장재 및 보급형 포장재 LCA 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> - 개발 생분해성 포장재 및 LDPE 포장재 LCA 비교분석 - 기존 LDPE포장재에 비해 생분해성 포장재의 환경 영향 우수성 확인 - PBAT의 비율이 증가함에 따라 환경영향 증가 확인
<p><협 동> (주)에이치피엠 글로벌</p> <p>생분해성 포장재 개발을 위한 pilot scale 연구</p>	14	pilot 테스트 장비 개조	100	- 공랭식 M/B 제조라인 개조
	36	개발된 생분해성 포장재 M/B 적용 pilot 테스트	100	<ul style="list-style-type: none"> - 물성 확보가 가능한 PEO 최대 함량 M/B개발 - Pilot 생산설비 2종으로 M/B적용 필름생산 가능성 확인
	50	개발된 보급형 포장재 M/B 적용 pilot 테스트	100	<ul style="list-style-type: none"> - 밀기울(농업부산물)첨가 M/B적용 단층 필름 및 3Layer의 가공 적성과 최대 첨가 함량 확인 - 상용성 향상을 위한 내층/코어층/외층 최적 비율 확립 - Pilot 설비로 M/B적용 필름 생산 가능성 확인

3. 3차년도

연구목표	가중치 (%)	연구개발 목표 달성도		연구개발 수행내용
		세부연구목표	달성도 (%)	
<p><주 관> 연세대학교 원주산학협력단</p> <p>생분해성 포장재 개발을 위한 선도유지 및 생분해 테스트 (lab. scale)</p>	46	농산물 호흡에 따른 선도 유지 테스트	100	<ul style="list-style-type: none"> - 국내 대표 수출농산품목인 파프리카를 대상으로 생분해성 포장재 저장실험 수행 - 기존 포장재와 생분해성 포장재의 저장기간에 따른 품질변화 차이가 없음을 확인
	40	생분해성 포장재 및 보급형 포장재 생분해 테스트	100	<ul style="list-style-type: none"> - 생분해성 포장재 및 보급형 생분해성 포장재의 생분해 테스트를 수행 - 180일 이내 모든 개발제품이 60%이상 생분해 되어 성능지표 (생분해성 포장재 : ASTM D6400 기준 >60%이상 분해, 180일)에 부합함을 확인
	14	생분해성 포장재 및 보급형 포장재 LCA 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> - 생분해성 포장재 LCA분석 및 기존 범용 플라스틱과 비교분석 진행 - 기존 범용 플라스틱과 환경영향 비교분석 시, 석유계 플라스틱의 존재에도 대체 가능성 확인
<p><협 동> (주)에이치피엠 글로벌</p> <p>생분해성 포장재 개발을 위한 plant scale 연구</p>	50	개발된 생분해성 포장재 M/B 적용 plant 테스트 및 포장재 가공	90	<ul style="list-style-type: none"> - 블로운 및 캐스팅 양산설비로 필름 시제품 3종 규격 제작 - 최적 생산공정 확립 - 시제품의 물성평가를 통해 연구 목표에 도달함을 확인 - 투과도확보를 위한 최적 레이저 천공 조건 확립을 통해 목표 투과도 달성
	50	개발된 보급형 포장재 M/B 적용 plant 테스트 및 포장재 가공	90	<ul style="list-style-type: none"> - 3Layer 다층 캐스팅 양산 설비로 보급형 생분해성 필름 시제품 3종 규격 제작 - 시제품 물성평가를 통해 목표 인장 강도 도달 확인 - 필름 외 단위포장재 M/B적용 가능성 추가 연구 수행 - M/B 적용 시트 적용 가능성 확인 및 시제품 제작 - M/B 적용 사출성형품 적용 가능성 확인

제 2 절 관련 분야 기여도

- 농업부산물로 취급되는 밀기울의 생분해 충전제 소재로서 활용기술 개발을 통해 국내 농업부산물의 고부가가치화 가능성을 제시함에 따라 농업부산물의 포장재 적용 연구 확대가 가능할 것으로 기대.
- 기존 수출용 농산물 포장재를 친환경 포장재로 대체가 가능함을 제시함에 따라 고부가가치 농산물 수출품목 적용에 따른 친환경 이미지 제고 가능.
- 세계 최고 수준의 생분해 플라스틱 필름과 동등한 수준의 제품(인장강도 40N/mm²수준) 개발을 통해 국내외 기술격차 완화.
- 수출용 농산물 생분해성 포장재 기술 확보를 통해 세계적으로 강화되는 친환경 관련 포장법규에 대한 선제적인 준비 가능.
- 본 연구에서 개발된 생분해성 포장재 제품을 친환경 포장재 업체에서 도입 시, 환경영향 분석을 통해 도출된 결과를 마케팅 및 향후 규제 대응자료로 활용 가능.

제 3 절 목표 미달성 시 원인 및 차후대책

- 정량적 실적 중 논문의 경우, 본 연구수행으로 확보한 결과를 토대로 비SCI 논문 투고를 준비 중에 있으며, 설비사용 일자 연기로 인한 시제품 제작 지연에 따라 생분해 일정 및 저장실험 일정이 모두 지연되어 비SCI논문 투고도 지연됨.
- 특허 등록의 경우, 연구수행기간 중에 출원 2권 모두 완료하였으나 1년 안에 등록되기에 어려움이 있어 과제 종료 후 등록이 완료될 것으로 판단됨.
- 제품화 성과의 경우 역시 시제품이 제작되었으며, 지속적인 전시회 출품 및 판촉활동 등을 통한 판매활동을 이루어 나갈 예정임.
- 저단가 보급형 생분해성 필름의 연신율을 증가를 위해서는 충전제인 밀기울(농업부산물)의 입자사이즈의 감소와 더불어 상대적으로 고가였던 PBAT의 함량이 높아야 함.
 - 본 연구과제 시작 시점의 PBAT 가격이 PLA에 비해 고가였지만, 종료시점에 중국의 PBAT생산으로 인한 가격하락으로 인해 PBAT가격이 PLA에 비해 낮아짐.
 - PBAT의 함량을 높이면 저단가 보급형 생분해성 필름의 연신율을 확보할 수 있을 것으로 기대함.
- 밀기울(농업부산물)을 활용한 저단가 보급형 포장재 LCA분석의 경우, 농업부산물에 대한 D.B확보가 어렵고, 부산물의 환경영향이 제품생산에 따른 환경영향 데이터와 동일하게 설정되어야 하는 문제로 인해 LCA분석에 어려움이 있음.
 - 향후 LCA 논문 동향 및 포럼 참석을 통해 부산물에 대한 LCA분석기법 확립을 추진하겠음.
- 화학적 천공을 통한 투과도 조절 제품 양산에는 추가적인 설비투자가 이루어져야 하는 한계를 가지고 있어, 추가적인 설비 필요 없이 투과도 조절이 가능한 연구가 추가 진행되어야 할 것으로 보임.

제 4 장 연구결과의 활용 계획 등

제 1 절 기술개발의 파급효과

1. 기술적 측면

- 세계적인 환경규제 및 친환경 포장재 산업의 확대 시점에 본 연구개발을 통하여 생분해성 포장재 기술 및 성능향상 유도를 통한 수출용 농산물 포장재 적용 가능성 입증
- 생분해 플라스틱 필름 중 최고 기술을 지닌 이탈리아의 N사(인장강도 40N/mm²수준)와 근접한 기준치 도달을 통한 기술 선점 및 기술격차 완화 효과.
- 농업부산물로 취급되는 밀기울을 활용한 저단가 생분해성 플라스틱 단위포장재 개발을 통해 수출용 농산물 포장재에 생분해 포장재를 적용하기 위한 가격적 한계 돌파.
- 산학연 공동개발을 통한 친환경 소재 및 패키징 연구가 지속적으로 늘어나는 추세에서 향후 저단가 생분해성 포장재 관련 기술 개발 및 연구 활용 가능.
- 생분해성 플라스틱 단위 포장재 개발 뿐 아니라 전과정평가(LCA : Life Cycle Assesment)를 이용한 환경 영향 분석을 통해 수출용 농산물 포장재 제조업체들의 친환경마케팅 및 향후 발생 가능한 무역장벽에 대한 대응 자료 기반으로 활용 가능.
- 원천기술 확보를 통한 세계 친환경 패키징 산업의 경쟁력을 확보할 수 있으며, 수출용 농산물 포장 뿐 만 아니라 의약품, 식품, 전자산업 등 다양한 산업 분야에서 활용될 수 있어 고부가가치 산업으로의 발전 기대.
- 석유기반 자원 감소, 유해물질 배출 억제를 통한 친환경적 성과를 달성할 수 있을 것으로 기대되며, 생분해 및 친환경 패키징 산업의 활성화 기대.
- 세계적으로 환경규제 증가 및 자원 절약 중요성이 지속적으로 강조되고 있으며, 본 연구개발을 통해 다양한 산업에서 이용되고 있는 석유기반 자원의 감소 가능성 기대.
- 기존 범용 플라스틱 포장재 및 용기를 대체함으로써 환경 문제의 주된 원인인 유해물질 배출 억제 가능성에 따른 환경영향 감소 기대.

2. 경제·산업화 측면

- 농업부산물을 활용하여 개발한 저단가 플라스틱 단위포장재를 통해 신시장 기술선점 및 기존 생분해성 포장재 대비 16%의 가격절감이 가능.
- 수출용 농산물 포장재로서 친환경 포장재 사용을 긍정적으로 검토하던 농산물 수출업체, 영농조합 및 농가의 가격 저항성을 완화 시킬 수 있을 것으로 기대.
- 세계적으로 환경규제 증가 및 자원 절약 중요성이 지속적으로 강조되고 있으며, 이에 따른 플라스틱 사용 규제 및 친환경 플라스틱 대체 요구 증가에 의한 수출 지향형 국내기업 및 영농조합의 수출장벽 해소에 기여.

- 현재 수출용 농산물 포장재들은 골판지 박스, PS폼 및 PE폼 등의 벌크포장이 주를 이루고 있으나, 단위포장재의 해외 바이어들의 요구가 증가하고 있어 고부가 수출 농산물 품목에 생분해성 단위포장재 적용이 가능 것으로 기대.
- 국내 및 세계 바이오 플라스틱 시장 규모 및 수요의 지속적인 증가에 따른 시장규모 확대에 적극적 동참 가능.
- 본 연구개발의 원천기술 개발 및 확보를 통한 개발도상국가 및 필요국가에 기술 및 제품 수출 기반을 확보할 수 있으며, 제품 수입 감소를 통한 국가적 이익 창출 효과 기대.
- 2015년 시행된 탄소 배출권거래제를 시발점으로 점진적으로 강화되고 있는 다양한 환경관련 비용들에 대한 용이한 대처 가능.
- 전과정 평가 분석 및 환경 영향 분석을 통한 수출입 제품의 포장용기 및 포장재 규제 수립에 있어 본 연구를 통해 개발된 수출용 농산물 생분해성 플라스틱 단위포장재를 수립 기준으로 사용 가능.
- 미세 플라스틱 등과 같은 환경문제에 따른 국가지원 환경관련 국책사업 및 과제의 한 부분으로써 국내 경제 및 관련 산업 활성화 기대.

제 2 절 연구 성과의 활용분야 및 활용방안

1. 생분해성 포장재의 적용방안

- 현재 생분해성 포장재가 적용되는 산업은 일회용 봉투, 식탁보, 일부 트레이 등 일회용 제품에 한정적으로 적용되고 있으며, 적용되고 있는 제품도 전체를 생분해성 포장재로의 대체가 아닌 범용성 포장재와 혼용되어 사용되고 있음.
- 현재 농업용으로 사용되는 생분해성 제품으로 멀칭필름이 있으나, 제품의 높은 단가로 인해 정부의 보조금 없이는 보급률이 현저히 낮은 실정임.
- 본 사업을 통해 개발한 생분해성 포장재는 기존 생분해성 제품 대비 10~20%정도의 단가 절감 효과가 있기 때문에 농업인에게 기존 제품보다 적은 부담으로 접근이 기대되며, 단순 일회용품과 멀칭필름 등으로만 사용되던 생분해성 포장재를 국내외 농산물 포장재로의 적용 가능성을 타진함.
- 단, 생분해성 포장재의 단가는 여전히 범용성 포장재의 단가보다 높기 때문에 지자체와 협업하여 생분해성 포장재 정부보조금 사업을 계획하여 시범적으로 시장에 적용계획을 기획하고 있음.

2. 생분해성 포장재의 활용방안

- 협동기관의 기존 생산설비 현황
 - 협동기관인 (주)에이치피엠글로벌은 국내외 긴밀하게 협력하고 있는 협력업체를 통하여 생분해성 농업용 필름의 가공이 가능하며, 식품포장재를 가공하는 전반적인 장비를 보유하고 있어 기존의 장비들을 활용하여 인쇄 및 제대를 통해 최종 제품으로 생산이 가능함.

회사명	(주)에이치피엠글로벌	대표자	방시영
매출액	275억	수출액	238억
면적	대지면적 12,907㎡(4,000평), 공장면적 8,250㎡(2,500평)		
사업장 소재	 경기도 안성시 일죽면 월정리		

Pouch Production Facilities

- Printing: 1 Units (up to 10 colors)
- Dry lamination: 1 Units
- Pouch Making Machine : Total 10 Units
 - 8 Units : Flat and Stand Up (Totani)
 - Includes shaped, zipper and double cut
 - 1 Unit : Side-Gusseted Pouch (Totani)
 - 1 Unit : Box Bottom Pouch (Totani) 2018.08.04
- Laser Scoring Machine : 1 Units
- Slitting Machine : 1 Units
- Spout Welding Machine : 8 Units



[그림 184] 협동기관((주)에이치피엠글로벌)의 포장재 생산능력

- 개발된 생분해성 포장재를 활용하여 협동기관의 주력 사업영역인 식품포장재부터 농업용 포장재로의 사업영역 확장을 통해 생분해성 포장재의 부가가치 창출 영역을 단순 일회용 포장재를 넘어서 고부가가치 사업으로의 발전을 기대함.

제 3 절 추가 연구의 필요성

- 유럽 시장으로의 진출을 위한 개발 생분해성 소재의 Biomass 함량 증량 연구
 - 현재 전 세계에서 제일 활발하게 생분해성 소재를 적용하고 있는 시장은 유럽으로 단순히 범용성 포장재의 생분해성 소재로의 대체만이 아닌 생분해성 소재가 어디에서부터 유래가 되었는지, 바이오 소재 유래 탄소함량(BCC, Bio-based carbon contents)을 측정하여 2030년 이후 BCC 함량이 50% 이상의 제품의 사용을 권장하는 방향으로 논의 되고 있음.(European bioplastics conference 2019 내용 중)
 - 이에 본 사업에서 개발된 생분해성 소재의 주원료 중 PBAT는 석유계에서 추출된 원재료(Dimethyl terephthalate, Adipic acid, Butanediol 등)를 이용하여 합성된 소재로 이를 바이오 소재 유래 원료를 이용한 개발 및 적용에 대한 연구를 통해 빠르게 변화하는 유럽 수출시장에 대응이 필요함.
 - 본 연구개발 제품을 활용한 추가연구를 통해 종이와 합지 및 코팅 통해 차단성 확보와 및 산업체의 활용가능성에 대한 가능성 검토가 필요함.
 - 또한, 슈퍼밀을 통해 미분화 시킨 밀기울의 가공비 절감을 위해 전분 및 다양한 바이오 필러들을 이용한 추가연구를 통해 물성 확보 및 단가 절감 가능성 검토가 필요함.

제 4 절 타 연구에의 응용

- 농산물 생산 공정에서 사용되는 플라스틱 대체
 - 유럽시장에서는 생분해성 포장재를 활용한 퇴비화 공정을 통해 퇴비를 제작하여 농업용 비료로 활용하고 있으며, 일반 퇴비보다 높은 부가가치를 가진 상품으로 판매되고 있음.
 - 이에 착안하여 복숭아, 사과 등의 나무에서 열리는 과실 혹은 딸기, 참외 등과 같은 비닐하우스를 이용하여 작물을 재배할 수 있는 농산물들에 사용되는 범용성 플라스틱 제품들(과중, 수확시기에 사용되는 트레이, 필름 등)을 생분해성 플라스틱으로 대체하여 각 농산물 시기에 따라 배출되는 플라스틱 폐기물, 포장재로 사용되는 폐기물을 퇴비화하는 시스템을 구축, 단순 폐기물이 아닌 순환형 산업구조로의 발전 연구에 응용.



[그림 185] 농산물 재배간 사용되는 생분해성 플라스틱 폐기물 순환구조

제 5 절 향후 제품화 및 판매 추진방안

1. 제품화 및 양산 계획

- (제품화) 바이오플라스틱 활용 포장재 개발 기술 → 장기신뢰성 · 친환경성을 겸비한 공압출 생산 공정시스템 → 신뢰성 검증 → 공인 성능평가 → 양산 · 사업화.



[그림 186] 생분해성 농산물 포장재 제품화 프로세스

가. 수익유형a 완제품판매

- 농산물 가공업체, 대형마트, 영농법인, 농산물 관련 공공기관 대상으로 직접영업 및 납품 또는 해외 에이전트 활용하여 개발된 완제품의 제품 판매 확대.
- 다국적 농산물 판매업체 델**社등 (주)HPM글로벌의 기존거래선을 활용하여 영업전개.

나. 수익유형b 중간재판매

- 국내에서 종합포장재를 판매하고 있는 대기업L社의 영업라인을 활용하여 중간재 컴파운딩 레진상태 또는 원단상태로 판매.
- 국내외 농산물 가공업체, 국내외 대형마트 등 국내외 수요처에 납품하고 있는 1차 벤더社에 중간재 판매 추진.

- (양산) 기존 공정라인 개선 및 적용 완료하여 본 사업으로 개발된 바이오플라스틱 포장재의 신뢰성 검증 후 생산 및 사업화 할 예정.
- (가격경쟁력) 생분해성 수지 중 PBAT, PBS 및 PHA는 국내에서 생산이 되어 단가의 유동성을 부여할 수 있지만, PLA 같은 경우는 미국, 태국, 중국에서만 생산하여 전 세계에 공급하고 있어 높은 구매수요에 비해 생산 Capacity가 낮아 가격의 조정이 어려움.

2. 마케팅계획(판매처 현황, 판로확보 계획 등)

- 국내 수출용 농산물을 생산/취급하는 영농법인 및 수출업체 등을 대상으로 지속적으로 개발제품 마케팅 수행하되 국내유통 친환경 농산물 단위포장재로서도 영업을 실시할 계획임.
- 수출용 농산물을 제조 및 취급하는 국내 영농법인, 농가 및 수출업체 등을 대상으로 개발제품 홍보 및 영업을 실시할 계획임.
- 고부가가치 농산물 품목 중 해외 바이어들의 소포장 요구가 높은 품목(예 : 딸기, 아스파라거스)을 주요대상으로 수출국의 수출 및 환경규제들을 지속적으로 모니터링하여, 무역이슈 발생시 즉각적으로 도입할 수 있도록 마케팅 실시.
- 동시에 국내 유통 농산물 포장재로서 친환경/유기농 농산물을 대상으로 유통 업체 및 소포장 업체들을 대상으로 영업 활동 전개.
- (판로개척) 개발 제품의 객관적 검증데이터 및 델몬트, 유니레버 등 글로벌 기업 납품 실적을 바탕으로 기존 고객(11개 국가 90여 기업)에 마케팅을 실시하고, 해외 경쟁 제품 사용 기업에 적극 영업을 통하여 당사로 거래선 변경을 유도할 계획임.
- 전 세계적인 코로나 19 사태로 인한 국제규모 전시회 개최 횟수 급감으로 정부와 KOTRA에서 코로나 19 대응책으로 운영하는 화상상담지원과 온라인 전시관을 통해 개발 제품 소개 및 영업활동 전개, 특히 UAE, EU, 중국, 독일, 미국 일부 지역 등 석유계 재질 포장재에 대한 규제가 활성화 된 지역에 공격적 마케팅 실시.



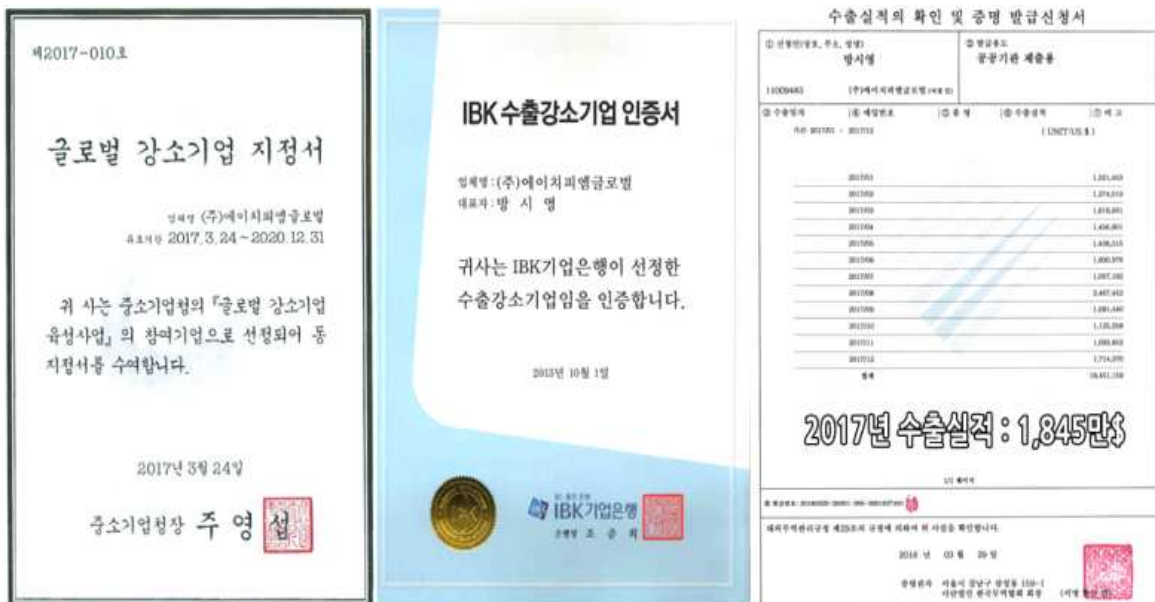
[그림 187] 협동기관((주)에이치피엠글로벌)의 해외 수출 및 매출액 비중 현황

판매처	국가 명	판매 단가 (USD/천개)	예상연간 판매량 (천개)	예상 총판매금 (천원)	관련제품
Cristalina 외	브라질	3.7~4.0 (물류비 별도)	13,500	60,000~70,000	농산물용 소포장재, 트레이 등
Carozzi 외	중남미(브라질제외)				
Sopako 외	미국				
Unilever 외	아시아,필리핀				
Thai union 외	태국				
Dutch pack 외	유럽				
Kohinoor 외	인도				
Vinamilk 외	베트남				
PT anelka 외	인도네시아				
G.stark 외	파키스탄				
HIC 외	터키				

[표 155] 기술개발 후 국내·외 주요 판매처 현황

3. 수출 계획 및 효과

- 협동기관(HPM글로벌)의 기존 거래처를 활용하여 기술을 소개하고 샘플을 제시하여 시장에 진출하기 위한 판로를 확보.
- 정부 & KOTRA에서 운영하는 온라인 전시관을 통한 개발 제품 홍보하여 기존 고객 선 및 가능성 있는 업체에 영업 활동.
- 기존 거래선 내 우선 수요처 파악을 통한 시장 공략 계획 수립 및 우선 적용 가능 제품류 대한 영업활동으로 시장 점진적 확대 전략.



구 분	사업화 년도	
	2020년 (개발종료 후 1년)	2021년 (개발종료 후 2년)
사업화 제품	-	-
투자계획(백만원)	100	100
판매 계획 (천원)	내 수	1,000
	직접수출	1,000
	간접수출	-
	계	2,000
비용절감(백만원)	-	-
수입대체(백만원)	-	-

[표 156]수행과제 관련 사업화 계획 및 기대효과

붙임. 참고문헌

1. 유영선 외(2015) 국내외 바이오 플라스틱의 연구개발, 제품화 및 시장 동향
2. 산업연구원(2014) 산업경제
3. 플라스틱코리아(2015) 세계바이오플라스틱시장 고성장 예측
4. Research and Markets(2014)
5. 한국환경공단(2014) 세계 플라스틱 재활용의 전망과 동향
6. 한국환경산업기술원(2014) 중국, 친환경 시장 현황
7. 한국농촌경제연구원 농업전망(2019)
8. 한국농촌경제연구원 (2019) 과채 수급 동향과 전망
9. 농수산물수출지원정보(2019) 2018년도 농림수산물 수출동향 및 통계
10. Global Trade Atlas(2018)
11. 한국농촌경제연구원(2019) 농업관측 2019년12월호
12. 플라스틱사이언스(2015) 월간 플라스틱사이언스 Vol.332
13. 한국무역협회(2019) 주요국의 플라스틱 규제 동향과 혁신 비즈니스 모델 연구(2019년 13호)
14. Prohibits use of plastic carryout bags, expanded polystyrene, and single use plastic straws (Senate, No.2776)
15. An Act Reducing Plastic Bag Pollution(House No.771)
16. 한국바이오소재패키징협회(2016) 법령&정책 자료
17. Interdiction des sacs plastique à usage unique en caisse à partir de juillet 2016
18. 한국바이오소재패키징협회(2018) 법령&정책 자료
19. 대만 환경보호부(2018)
20. 한국바이오소재패키징협회(2014) 법령&정책 자료
21. 국립환경과학원(2014) 일본의 자원순환법 제도 및 3R 동향 자료집
22. Plastic Free Movement in the EU(2019) - EU에서 전개되고 있는 플라스틱 프리 운동
23. <https://www.rewe.de/nachhaltigkeit/nachhaltig-handeln/muell-vermeiden/>
24. <https://www.bulkmarket.uk/terracycle>
25. <https://www.dostbyloplastu.cz/#uvod>
26. <https://bezobalu.org/jak-nakupovat/>
27. <http://www.miwa.eu/about-us>

28. Jiang, Long, Michael P. Wolcott, and Jinwen Zhang. "Study of biodegradable polylactide/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends." *Biomacromolecules* 7.1 (2006): 199–207.
29. Yeh, Jen-Taut, et al. "Compatible and crystallization properties of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends." *Journal of Applied Polymer Science* 116.2 (2010): 680–687.
30. Solubility parameter, <http://polymerdatabase.com/>
31. Murariu, Marius, et al. "Recent advances in production of poly (lactic acid) (PLA)nanocomposites: a versatile method to tune crystallization properties of PLA." *Nanocomposites* 1.2 (2015): 71–82.
32. Pasut, Gianfranco, et al. "Polyethylene glycols: An effective strategy for limiting liver Ischemia reperfusion injury." *World journal of gastroenterology* 22.28 (2016): 6501.
33. Li, Feng-Jiao, et al. "Tensile properties of polylactide/poly (ethylene glycol) blends." *Journal of Polymers and the Environment* 23.3 (2015): 407–415.
34. Eom, Yoojun, Bulim Choi, and Su-il Park. "A Study on Mechanical and Thermal Properties of PLA/PEO Blends." *Journal of Polymers and the Environment* 27.2 (2019): 256–262.
35. 서관호, 김대진, 김상구, 민철희, 박해윤. "단신 : PLA/PBAT 블렌드의 개질과 열적, 기계적 특성." *공업화학*, 24.1 (2013): 104–111
36. Krause, Sonja. "Polymer compatibility." *Journal of Macromolecular Science—Reviews in Macromolecular Chemistry* 7.2 (1972): 251–314
37. Qiu, Jishan, et al. "Miscibility and double glass transition temperature depression of poly (l-lactic acid) (PLLA)/poly (oxymethylene) (POM) blends." *Macromolecules* 46.14 (2013): 5806–5814.
38. Kilic, Nilay T., et al. "Compatibilization of PLA/PBAT blends by using Epoxy-POSS." *Journal of Applied Polymer Science* 136.12 (2019): 47217.
39. Deng, Yixin, et al. "Optimising ductility of poly (lactic acid)/poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends through co-continuous phase morphology." *Journal of Polymers and the Environment* 26.9 (2018): 3802–3816.
40. Utracki, Leszek A., and Charles A. Wilkie, eds. *Polymer blends handbook*. Vol. 1. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2002.

41. Kilic, Nilay T., et al. "Compatibilization of PLA/PBAT blends by using Epoxy-POSS." *Journal of Applied Polymer Science* 136.12 (2019): 47217.
42. Carbonell-Verdu, A., et al. "Manufacturing and compatibilization of PLA/PBAT binary blends by cottonseed oil-based derivatives." *Express Polymer Letters* 12.9 (2018): 808-823.
43. Lee, W. M. "Selection of barrier materials from molecular structure." *Polymer Engineering & Science* 20.1 (1980): 65-69.
44. Solubility parameter, www.polymerdatabase.com
45. G Cappuccino, James, and Natalie Sherman. "Microbiology: A Laboratory Manual TENTH EDITION." (2014).
46. Hong, Suk-In. "Development of biodegradable packaging material by starch." *Korean society of food science and Technology, Korea* (1993): 93-94.
47. Ho, Kai-Lai G., and Anthony L. Pometto III. "Temperature effects on soil mineralization of polylactic acid plastic in laboratory respirometers." *Journal of environmental polymer degradation* 7.2 (1999): 101-108.
48. Karamanlioglu, Mehlika, and Geoffrey D. Robson. "The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly (lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil." *Polymer Degradation and Stability* 98.10 (2013): 2063-2071.
49. Rudnik, E., and D. Briassoulis. "Comparative biodegradation in soil behaviour of two biodegradable polymers based on renewable resources." *Journal of Polymers and the Environment* 19.1 (2011): 18-39.
50. Karamanlioglu, Mehlika, and Geoffrey D. Robson. "The influence of biotic and abiotic factors on the rate of degradation of poly (lactic) acid (PLA) coupons buried in compost and soil." *Polymer degradation and stability* 98.10 (2013): 2063-2071.
51. 고광진(2001) 전과정평가(LCA)를 이용한 알루미늄 캔 제조공정의 환경성 평가에 관한 연구
52. Yuna Hong et al. "A study on environmental evaluation of multilayer pouch coN/mm²red with an and glass bottle using life cycle assessment" (2017)
53. 김명환 (2012) LCA 기법을 이용한 광택제 용기의 환경성 평가에 관한 연구
54. 김형진 외 (2009) 유리병 재사용에 대한 전과정 평가

55. Groot, Wim J., and Tobias Borlin. "Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15.9 (2010): 970–984.
56. Kliaugaitė, D. "Comparative life cycle assessment of high barrier polymer packaging for selecting resource efficient and environmentally low-impact materials." *International Journal of Environmental and Ecological Engineering* 7.11 (2013): 742–750.
57. Toniolo, Sara, et al. "Comparative LCA to evaluate how much recycling is environmentally favourable for food packaging." *Resources, conservation and recycling* 77 (2013): 61–68.
58. Pasqualino, Jorgelina, Montse Meneses, and Francesc Castells. "The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal." *Journal of food Engineering* 103.4 (2011): 357–365.
59. Benetto, Enrico, et al. "Using atmospheric plasma to design multilayer film from polylactic acid and thermoplastic starch: a screening Life Cycle Assessment." *Journal of Cleaner Production* 87 (2015): 953–960.
60. Leceta, Itsaso, et al. "Environmental assessment of chitosan-based films." *Journal of Cleaner Production* 41 (2013): 312–318.
61. Xie, Minghui et al. "A comparative study on milk packaging using life cycle assessment: From PA-PE-Al laminate and polyethylene in China" (2011)
62. Saibuatrong, Worayut, Nitchanan Cheroennet, and Unchalee Suwanmanee. "Life cycle assessment focusing on the waste management of conventional and bio-based garbage bags." *Journal of Cleaner Production* 158 (2017): 319–334.
63. Ingrao, Carlo, Matteo Gigli, and Valentina Siracusa. "An attributional Life Cycle Assessment application experience to highlight environmental hotspots in the production of foamy polylactic acid trays for fresh-food packaging usage." *Journal of Cleaner Production* 150 (2017): 93–103.
64. Madival, Santosh, et al. "Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology." *Journal of Cleaner Production* 17.13 (2009): 1183–1194.

65. Suwanmanee, Unchalee, et al. "Life cycle assessment of single use thermoform boxes made from polystyrene (PS), polylactic acid,(PLA), and PLA/starch: cradle to consumer gate." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18.2 (2013): 401–417.
66. Groot, Wim J., and Tobias Borlin. "Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15.9 (2010): 970–984.
67. Schrijvers, Dieuwertje Louise, et al. "Ex-ante life cycle assessment of polymer nanocomposites using organo-modified layered double hydroxides for potential application in agricultural films." *Green Chemistry* 16.12 (2014): 4969–4984.