

1. 표지

발간등록번호

11-1543000-001472-01

BDP수지와 무기영양소를 이용,
분해기간 조절이 가능한 생분해성
농업용 멀칭필름 개발 및
적용기술 개발

(Development and application of controlled and
biodegradable agricultural-mulch film by using
BDP resin and mineral nutrient)

일신화학공업(주)

농림축산식품부

2. 제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술 개발”(개발기간 : 2016. 08. ~ 2016. 08.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016 . 12. 12 .

주관연구기관명 : 정 철수
협동연구기관명 : 강원도농업기술원 박 흥규



주관연구책임자 : 박광억
협동연구책임자 : 임수정

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	313008-3	해당 단계 연구 기간	2013. 8. 26 ~ 2016. 8. 25	단계 구분	3 / 3
연구 사업명	중 사업명	농생명산업기술개발사업			
	세부 사업명	농생명산업기술개발사업			
연구 과제명	대 과제명	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술 개발			
	세부 과제명	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술 개발			
연구 책임자	박 광 역	해당단계 참여 연구원 수	총: 13 명 내부: 13 명 외부: 0 명	해당단계 연구 개발비	정부:200,000천원 민간:70,000천원 계:270,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 13 명 내부: 13 명 외부: 0 명	총 연구개발비	정부:600,000천원 민간:210,000천원 계:810,000천원
연구기관명 및 소속부서명	일신화학공업(주) 기술연구소			참여기업명 : 강원도 농업기술원	
위탁 연구	연구기관명: 없음			연구책임자: 없음	
요약				보고서 면수	
1. 작물의 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 가능한 생분해 멀칭필름 개발. (8개월 생분해용, 12개월 생분해용) 2. 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 멀칭필름 개발 3. Co-Extrusion을 이용한 투명, 흑색이 혼합 된 배색멀칭 필름 제조기술				141	

4. 국문 요약문

		코드번호	D-01
<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>○ 연구의 목적 가. 주관기관 100% 토양 미생물 분해가 가능한 BDP수지(Bio Degradable Plastic)를 사용하여 토양 및 환경오염을 방지하고 필름 내에 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 다종의 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술을 개발한다. 나. 협동기관 영농과정에서의 폐비닐은 농경지를 오염시키고, 농촌경관 악화 및 회수 노동력 및 비용발생 등 많은 문제점이 있는바 생분해성 비닐 개발과 이에 따른 작목에 대한 적용시험으로 청정 농업환경 유지 및 회수비용 절감</p> <p>○ 연구의 내용 가. 주관기관 (1) 작물별 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 Recipe 개발. (2) 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소의 Compounding 가공 기술 및 성형압출 공정기술 개발. (3) 생분해 배색멀칭필름 압출 성형 가공기술 개발. (4) 생분해성 멀칭필름 단체표준 제정 건의 (표준화) (5) Field 작물 재배 실증실험을 통한 생분해도 평가. (6) Field 작물 재배 실증실험을 통한 연작 생육특성 및 토양 이화학성 변동 평가. 나. 협동기관 (1) 고추에 대한 생분해성 필름 실증시험 (2) 양파에 대한 생분해성 필름 실증시험 (3) 옥수수에 대한 생분해성 필름 실증시험 (4) 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험</p>		
<p>연구개발성과</p>		<p>① 토양 중 8개월, 12개월 완전 생분해 필름 개발. ② 뿌리 활착용 미량원소가 첨가 된 기능성 생분해 필름 개발. ③ 흑색, 투명이 조합된 생분해 배색 멀칭필름 개발. ④ 친환경마크(KS M 724) 획득. (투명, 흑색) ⑤ 생분해플라스틱 협회 단체표준 제정.</p>	
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<p>◎ 주관기관 1. 친환경 유기농업 벼농사의 가장 큰 애로사항인 잡초방제에 손쉬운 대안을 제공 (오리농법, 왕우렁이 농법의 단점을 극복할 수 있는 기술적 대안) 2. 친환경적 제초효과를 기대할 수 있고, 구근류, 근채류의 기계화 작업을 촉진하는 효과 3. 생분해성 멀칭필름의 보급으로 PE멀칭의 수거/재생처리에 따른 사회적 비용 절감.</p>		

	<p>◎ 협동기관</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 친환경적 제초효과 기대 2. 생분해성 멀칭필름 사용에 의한 기존의 비닐수거노력 저감 및 사회적비용 절감 3. 생분해성 비닐의 자연 친화적 분해로 청정 농업환경 및 농촌경관 유지 				
중심어 (5개 이내)	생분해	친환경	잡초방제	PBAT	멀칭필름

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02
Purpose& Contents	<p>○ The purpose of the study</p> <p>A. Managing department Using a BDP resin (Bio Degradable Plastic) which is 100% microbial degradation in soil prevent the soil and environmental pollution and develop a multi-functionality biodegradable agricultural mulching film with the addition of a wide variety of weapons nutrients for crop growth and soil fertility.</p> <p>B. Cooperative department The Waste Agricultural film has many problems such as contaminatting the farmland, destroying the landscape, generating additional expenses ans labor. So developing of Biodegradable film reduce a additional expenses and sustain a Agricultural environment.</p>		
Results	<p>○ Contents of research</p> <p>A. Managing department</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Development of film recipe that controlled biodegradable period for plants growth and development. (2) Development of Compounding processing and extrusion processes related to crop growth and soil development. (3) Development of extrusion molding technology for a combination of colors biodegradable mulching film (4) (Standardized) suggestion of collective standard for The biodegradable mulching film (5) Biodegradability evaluation through Field crops evaluation. (6) Estimation the variation of physics and chemistry in soil after repeated cultivation through Field crop evaluation. <p>B. Cooperative department</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Verification experiment of biodegradable film for pepper (2) Verification experiment of biodegradable film for onions (3) Verification experiment of biodegradable film for corn (4) Verification experiment of biodegradable film for wild herbs and vegetables. 		

		코드번호		D-02	
Results	<p>① Developing of biodegradable films that degradable completely during 8, 12 months in soil.</p> <p>② Developing of biodegradable films added supplemented trace elements for taking a crop root.</p> <p>③ Developing of biodegradable films that a combine black and transparent color.</p> <p>④ Certification of eco-friendly mark (KS M 724)</p> <p>⑤ Establishment of collective standard in Biodegradable Plastics Association organizations.</p>				
Expected Contribution	<p>A. Managing department</p> <p>1. Suggeste an alternative to weed control - difficulties of organic agricultural technique. (technological alternative of duck farming, viviparous malleatus)</p> <p>2. Effect on Eco-Friendly weeding and reducing a mechanize operation of bulbs and tubers & root vegetables</p> <p>3. Reduction of social costs - biodegradable mulching film don't need a collect and recycle processing like PE mulching film.</p> <p>B. Cooperative department</p> <p>1. Effect on Eco-Friendly weeding conrol</p> <p>2. Reduction of social costs by using a biodegradable mulching film</p> <p>3. Reservation of rural Historic Landscape through using a biodegradable mulching film - it it decomposition of environmentally friendly.</p>				
Keywords	Biodegradation	Eco-friendly	Weed control	PBAT	Mulching film

6. 영문목차

< Table of contents >

1. Summary of development research task	12
2. Development of Technology domestic and foreign	19
3. Research task performance & contents	20
4. The attainment of goal & level of contribution at related field	151
5. Application plan of research result	159
6. Science technology information about foreign	160
7. Security level of research development result	160
8. A research installation & equipment status registered at 1 national science and technology information system	160
9. Performance of safeguards Implementation in development research task	161 162
10. Representative record of a research in development research task	
11. Other detail	162
12. Reference	163

<Attached paper> Self evaluation opinion

7. 본문목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의개요	12
2. 국내외 기술개발 현황	19
3. 연구수행 내용 및 결과	20
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	151
5. 연구결과의 활용계획 등	159
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	160
7. 연구개발성과의 보안등급	160
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	160
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	161
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	162
11. 기타사항	162
12. 참고문헌	163

<별첨> 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
------	------

1-1. 연구개발 목적

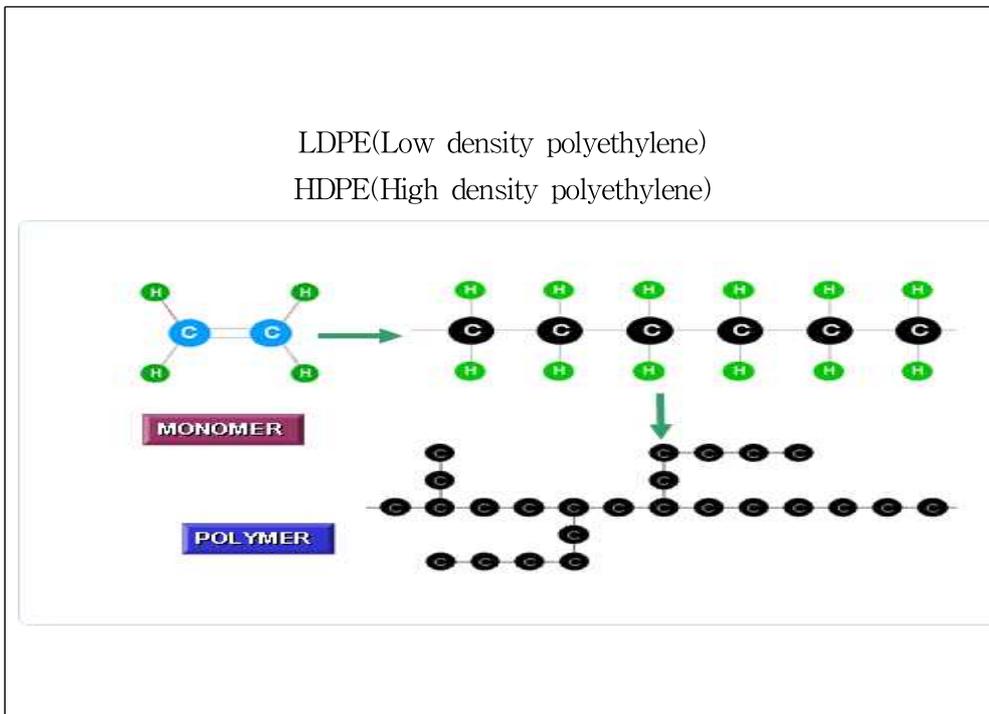
○ 100% 토양 미생물 분해가 가능한 BDP수지(Bio Degradable Plastic)를 사용하여 토양 및 환경오염을 방지하고 필름 내에 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 다종의 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술을 개발한다.

1-2 연구개발의 필요성

○ 최근 저탄소 녹색성장을 강조하며 사회 전 분야에 친환경정책들이 강화되고 있으며, 최근 농업용 멀칭 필름(mulch film)의 수거 및 재생대한 관심 또한 집중되고 있다. 멀칭필름은 농업에서 사용되는 PE 필름의 약 40%를 차지하는 분야로 토양의 온도를 올리고 수분을 보존하는 등의 이점이 있으며 작물의 수량과 품질을 높이며 농업생산성에 크게 기여한다.

가. 농업용 멀칭 폐기물의 토양오염

매년 사용되는 농업용 비닐은 98,500톤이며, 그 중 멀칭용 비닐은 52,900톤으로 비닐 사용량의 53%이상을 차지한다. (표 1 참고) 하지만, 50%이상 수거되는 다른 농업용 비닐과 달리 멀칭 비닐의 수거 및 재활용의 비율은 10% 이하이다. 또한 이 필름은 LDPE, HDPE 등 고분자 중합체로써 자연 상태에서 분해되기 까지는 수백 년이 소요되며 그 기간 동안 토양에 잔류하며 환경을 오염시킨다.



[그림 1] 단량체의 석유화학 물질을 고압·중합시켜 만들어진 고분자 중합체인 HDPE, LDPE, LLDPE

(단위 : 톤(ton), %)

	'07	'08	'09	'10
발생 계	341,038	326,509	310,009	324,101
증감 발생량	△16,359	△14,529	△16,500	14,092
증 감 율	△4.8	△4.3	△5.1	4
하우스용 LDPE	39,191	40,140	54,689	69,074
증감 발생량	△387	949	14,549	14,385
증 감 율	△1.0	2.4	36.2	21
멀칭용 LDPE	138,872	123,985	79,047	112,165
증감 발생량	1,364	△14,887	△44,938	33,118
증 감 율	1.0	△10.7	△36.2	30
HDPE	144,532	141,615	120,712	65,516
증감 발생량	△21,802	△2,917	△20,903	△55,196
증 감 율	△13.1	△2.0	△14.8	△84
기타 (PVC,EVA)	18,443	20,769	55,562	77,346
증감 발생량	4,466	2,326	34,793	21,784
증 감 율	31.9	12.6	167.5	28

* 증감율은 전년대비임

표 1. 영농폐비닐 발생량 증감 추이 (한국환경공단 2011)

최근 한국환경공단의 통계에 의하면 농업용 폐필름의 발생량 대비 수거량은 극히 저조하다. '07 ~ '10년도 농업용 폐비닐 회수율 평균 약 55%이며 (표 2 참고), 농업용 멀칭필름은 발생량 대비 수거율이 높은 것으로 보이나 폐비닐과 함께 수거되는 토양 및 수분의 무게가 추가 되어 있는 부분이라 실제 중량은 30% 정도이며 나머지60% 이상은 토양 속에 묻혀 있음을 알 수 있다. (표 2 참고)

(단위 : 톤(ton), %)

	'07	'08	'09	'10
수 거 계	175,173	182,618	189,238	176,849
증감 수거량	△24,154	7,445	6,620	△12,389
증 감 율	△12.1	4.3	3.6	△6.5
하우스용 LDPE	-	22	-	-
증감 수거량	-	22	-	-
증 감 율	-	-	-	-
멀칭용 LDPE	106,164	97,617	93,128	87,011
증감 수거량	△26,691	△8,547	△4,489	△6,117
증 감 율	△20.0	△8.1	△4.6	△6.6
HDPE	69,009	83,980	94,932	87,829
증감 수거량	2,537	14,971	10,952	△7,103
증 감 율	3.8	21.7	13.0	△7.5
기타 (PVC,EVA)	-	999	1,229	2,009
증감 수거량	-	999	230	780
증 감 율	-	-	23.0	63.5

* 증감율은 전년대비임

표 2. 영농폐비닐 수거량 증감 추이 (한국환경공단, 2011)

또한 한국농촌 경제연구원의 조사결과를 살펴보면 농촌지역에서 폐비닐 처리 현황은 매우 열악한 상태로 진행되고 있음을 알 수 있다. 멀칭필름의 경우 69.2%(36,600톤) 이상이 소각되고 있으며

수거 되는 비율 은 24.6%에 불과하다. 또한 조사결과를 근거하여 소각된 멀칭필름이 배출하는 이산화탄소는 매년 102,480톤 이상이라고 추정된다.¹⁾

폐 멀칭의 소각 이외에 더 심각한 문제는 불법 매립 또는 매몰(밭에 방치)시키는 형태의 처리이다. 토양 속으로 묻혀버린 비닐은 오랫동안 썩지 않으며, 분해 될 때까지 다음과 같은 부정적인 영향을 준다.

첫째. 영양분의 공급, 뿌리 성장을 저해하며 작물생장이 어려워진다.

둘째. 통기성, 통수성을 악화시킴으로써 농지에 잔류되어 있는 유기농약 성분, 유기질 비료 성분의 생분해를 저해한다.

셋째. 토양 미생물의 발생 및 활동을 억제하여 토양 비옥도를 저하시킨다.

이와 같은 부정적인 영향 때문에 폐비닐의 임의 매립, 소각은 법으로 금지되어 있다.

경제적 효과	부정적 결과
① 토양환경 - 지온상승으로 인한 증수 - 수분 보존으로 수자원 절감 - 토양침식 방지	① 토양 중 방치로 인한 오염 - 영양분 공급저해, 뿌리성장 저해 - 토양 통기성 악화 유기성분의 분해억제 - 미생물의 활동을 억제 - 토양 비옥도 저하
② 잡초 및 병해충 발생 억제 - 잡초발생 억제(제초제 사용량 절감) - 병해충 발생률 감소(살충제 사용량절감)	② 소각 시 발생하는 피해 - 소각 시 발생하는 이산화탄소 - 이산화질소, 일산화탄소 등에 의한 2차 가스피해
③ 농촌 소득증대	

표 3. 플라스틱 멀칭사용과 관련된 경제적 효과 및 부정적 결과

나. 농민들의 부담금 증가

환경에 대한 규제가 강화되면서 최근에는 멀칭필름에 부과되는 ‘폐기물 부담금’이 급격히 높아짐으로 인해 농가의 구입가 격상승은 물론 가공업체의 부담이 증대되고 있다.²⁾

1) 폐플라스틱 1톤 소각하면 2.8톤의 이산화탄소가 배출됨. 환경부 녹색생활 지침 참조

2) 2007년 개정된 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’의 개정으로 폐기물 부담금의 적용 비율이 폭발적으로 증대되었음

2007년	7,600원/톤
2008~2009년	30,000원/톤
2010~2011년	90,000원/톤
2012년 이후 (현재)	150,000원/톤

표 4. 폐기물 부담금 증가추세

때문에 매년 농업용 멀칭필름의 구매 비용을 증가되고 있으며 2010년 HDPE 구매가격의 6.1%에 해당하는 금액을 농민에게 부담시키는 결과이다. (멀칭생산량 52,900톤/년 × 150,000원 = 7,935,000,000원의 폐기물 부담금) 이는 미국, 유럽에 이어서 중국과의 자유무역협정(FTA)체결을 진행하고 있는 현실에서 우리나라 농업의 국제경쟁력을 약화시키는 결과를 초래한다.

2007년에 개정된 ‘자원법 :자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’을 보면 매출액 10억 이하의 소규모 업체에는 ‘폐기물 부담금’을 면제시켜 주는 예외규정을 시행하고 있다. 문제는 소폭 멀칭필름을 생산하는 소규모 업체들이 85~90%를 차지하기 때문에 실질적으로 멀칭용 비닐의 폐기물부담금에 대한 실효성이 없다고 볼 수 있다.

이외에도 농업용 멀칭필름은 사용 후 수거하는 것에도 많은 노동력이 투입된다. 특히, 재배 시 멀칭 필름을 사용해야 되는 노지 고구마, 감자, 양파의 경우 수확작업 전에 비닐을 걷어내야 수확작업이 필요한데, 이때가 농번기에 일손이 가장 부족한 시기이기도 하다. 생분해성 비닐 멀칭이 개발 된다면 농번기의 작업능률의 향상을 가져 올 수 있다.

- 폐비닐 수거비용 : 160,000원 ~ 200,000원/톤
- 뿌리채소(고구마, 감자) 재배에 필요한 멀칭 : 약 5,000톤
- 폐비닐 수거량 300%(흙 및 이물 포함) : 15,000톤
→ 폐 멀칭비닐 수거비용 : 15,000톤 × 16만원 = 약 24억

표 5. 폐 멀칭비닐 수거비용

광주매일신문 2010.8.26

다. 저탄소 녹색성장 신기술의 보급 필요

농업용 멀칭필름은 농업 생산성 증대에 꼭 필요한 자재이면서도 토양 환경오염 유발물질이라는 오명 때문에 그의 대체물질의 개발이 필요한 시점이다. 특히, 저탄소 녹색성장의 시대에 소각 시 이산화탄소를 다량 배출하는 기존 합성수지 멀칭 필름(LDPE, LLDPE, HDPE)을 대체할 수 있는 생분해성 멀칭필름을 개발해 탄소배출을 억제하고 토양 오염을 방지하는 신기술의 보급이 시급하다.

이러한 문제점에 대한 대안 찾기 노력 차원에서 그동안 자연에서 분해되는 폴리머를 소재로 농업에 사용되는 멀칭의 개발 시도가 있어 왔으나, LDPE, HDPE 수지를 바탕으로 하여 분해성 첨가제를 추가하여 제조된 제품들이 주로 개발 되었다. 이는 분해 촉매제를 통하여 광분괴 및 생분괴를 유도 할 수 있지만 토양 속에서의 완전 생분해가 되기까지 오랜 기간이 소요 되어 토양오염의 우려가 높다. 때문에 토양 내에서 100% 생분해 될 수 있는 멀칭필름 연구·개발이 필요하다.

1-3 연구개발 범위

○ 범위 및 수행방법

연구 범위	연구수행방법 (이론적·실험적 접근방법)	구체적인 내용
BDP 수지 및 Matrix 특성 평가를 통한 토양내의 생분해도 특성 평가.	<ul style="list-style-type: none"> • 이론적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 수지별 구조, 특성 및 분해 Mechanism 분석 • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 간이 생분해도 평가 - pH별 분해도 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • BDP 수지별 관련 논문 및 기술자료 수집 • BDP 필름의 퇴비를 이용한 간이 생분해도 평가 • BDP 필름의 pH에 따른 분해도 평가
생분해 멀칭필름의 생분해 기간에 관여하지 않는 물리적 특성 향상.	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 압출 공정조건 : 조성비 및 가공조건 - 물성 : 인장강도, 인열강도, 신장률 - QUV축진내후성 	<ul style="list-style-type: none"> • Extruder 및 Multi-Extruder를 이용한 압출 가공성 평가 • Matrix 첨가제 조성에 따른 BDP 필름 물성 평가
지역별 작물 재배 Field 평가	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 작물재배 시 분해도 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • BDP필름의 현지적용 생분해성 평가를 위한 Field Test <ul style="list-style-type: none"> : 경북 의성-한지형마늘 : 전남 무안-양파 : 충청 당진-고구마
BDP수지 조성점검 및 무기영양소 선정, 함량 평가와 무기영양소가 첨가된 Matrix 수지의 Compounding 가공기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 이론적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 미량원소의 기능 및 가공특성 분석 • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 액상 소재의 Palletize화 실험 	<ul style="list-style-type: none"> • 작물생육에 관여하는 미량원소의 기능 논문 및 기술자료 수집 • 미량원소의 Palletize화를 위한 교반 및 Compounding Test
압출가공 안정화를 위한 Operating 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 압출 공정조건 : 조성비 및 가공조건 - 물성 : 두께, 인장강도, 인열강도, 신장률 - QUV 축진내후성 	<ul style="list-style-type: none"> • Extruder 및 Multi-Extruder를 이용한 압출 가공성 평가 • Matrix 첨가제 조성에 따른 BDP 필름 물성 평가

<p>지역별 작물 재배 Field 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 작물재배 시 분해도 및 작물 생육상태 평가 	<ul style="list-style-type: none"> • BDP필름의 현지적용 생분해성 평가를 위한 Field Test <ul style="list-style-type: none"> : 경북 의성-한지형마늘 : 전북 진안-고구마 : 충청 당진-고구마 : 충청 서산-벼 : 강원 홍천-가지, 셀러리
<p>고추, 양파, 옥수수, 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 • 생분해성 필름의 작물에 대한 적용시험 • 생분해성 멀칭필름 처리시 작물생육 및 수량조사 평가 • 생분해성 멀칭필름 처리시 토양환경 영향평가 	<ul style="list-style-type: none"> • 고추에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> · 시험장소 : 춘천 · 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 시제품1, 2 · 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 • 양파에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> · 시험장소 : 평창 · 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 시제품1, 2 · 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 • 옥수수에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> · 시험장소 : 춘천 · 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 시제품1, 2 · 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 • 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> · 시험장소 : 평창 · 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 시제품1, 2 · 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성
<p>배색멀칭 필름 압출 가능한 Extruder Design 설계, 설비 점검, 보완 및 압출 Process 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 이론적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 수지별 구조, 특성 분석 • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 압출 공정조건 : 조성비 및 가공조건 	<ul style="list-style-type: none"> • Co-Extruder Type 설계 • Die Design 설계 • 압출 온도, 압출 Speed, 압출 Pressure 등 • BDP 수지와 M/B의 혼련성 • BDP 수지와 M/B의 상용성

생분해 배색멸칭 필름용 Recipe 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 압출 공정조건 : 조성비 및 가공조건 - 물성 : 인장강도, 인열강도, 신장률 	<ul style="list-style-type: none"> • 가공성 평가 • 흑색, 투명부분의 품질 안정성 • 물성 특성 평가
100% 생분해성 멸칭필름의 관련규격 표준화 및 산업화를 위한 대량생산 Process 최적화	<ul style="list-style-type: none"> • 이론적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - KS 표준 및 관련표준 검토 	<ul style="list-style-type: none"> • 생분해플라스틱 협의체 구성 및 농업용 생분해성필름 관련 규격 표준화 • 사내 규격 매뉴얼 및 절차서 제정 • 친환경마크 획득 및 활용
재배 안정 및 환경보전에 적합한 생분해성 필름 선발	<ul style="list-style-type: none"> • 실험적 접근 <ul style="list-style-type: none"> - 생분해필름의 작물에 대한 적용시험 · 생분해 멸칭필름 처리 시, 작물 생육 및 수량조사 평가 · 생분해성 멸칭필름 처리 시, 토양환경 영향평가 · 미량원소 함유 필름의 미량원소 공급능력 및 멸칭효과 분석 	<ul style="list-style-type: none"> • 고추에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 춘천 - 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 생분해 1, 2 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 등 • 양파에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 평창 - 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 생분해 1, 2 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 등 • 옥수수에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 춘천 - 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 생분해 1, 2 · 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 등 • 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험 <ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 평창 - 처리내용 : 무피복, 관행(HDPE), 생분해 1, 2 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 등 • 미량원소가 함유된 생분해성 필름 효과시험 <ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 및 작물 : 춘천(무) - 처리내용 : 생분해 3, 관행 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학성 등

2. 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

○ 생산 및 시장현황

가. 국내 제품생산 및 시장 현황

(1) Bio Plastic 수지

(가) 초창기 SK, 대상, SK케미칼, 호남석유화학, 한화, 이레화학, 새한 등이 참여.

- ① 현재 중소기업 위주로 개편.
- ② 그린케미칼, 네오엠씨씨, 대상, 에콜그린, 롯데정밀화학 등

(나) 상당수의 업체들이 PLA 제품에 국한 되어 있어 소재의 다양화가 필요.

(2) 농업용 필름

(가) 과거 PE수지에 붕괴성 첨가제를 첨가하여 분해성 필름을 제조하던 업체가 있었으나 광에 의한 붕괴현상으로 농업용 멀칭 시장에서 사장됨.

(나) 현재 삼성정밀(에스엔폴)의 원재료를 채용하여 농업용멀칭필름을 생산하는 업체증가.

나. 국외 제품생산 및 시장 현황

Nature Works, Dupon, BASF, 미쓰비시 등 미국, 일본을 비롯한 유럽의 업계에서 Bio Plastic 소재 개발을 위주로 사업화 시도. 쇼핑백, 쓰레기봉투, 진공성형제품, 사출품, 농업용 멀칭, 완충재 등 다양한 용도의 생분해성 플라스틱 실용화.

(1) 미국

(가) 옥수수전분과 잉여 농산물의 활용도를 높이기 위해 농무성 산하 연구기관에서 생분해성 플라스틱에 대한 연구 활발히 진행.

- ① 주요 기업현황
 - ㉠ UCC : PCL (필름, 사출)
 - ㉡ National Starch : 전분 (완충재)
 - ㉢ CDP : PLA (필름, 용기, 섬유, 코팅제)
 - ㉣ EASTMAN : CO-polyester (필름, 사출, 발포)
 - ㉤ EVERCORN : PCL, PLA, 전분 (필름, 용기, 사출, 완충재, 코팅제)

(나) 유럽

- ① 폐기물 처리방법 중 Compost화 추세로 전환.
- ② 비분해 제품은 소각처리 비용까지 부담.
- ③ 주요 기업현황
 - ㉠ Novamont : PCL + 전분 (팔름, 몰드, 완충재, 종이코팅제)
 - ㉡ Biotec : PCL + 전분 (필름, 몰드, 완충재, 전분용기)
 - ㉢ Solvay : PCL (필름, 몰드)
 - ㉣ Zeneca : PHB (필름, 병)
- ④ 생분해 멀칭필름은 주로 농업국가인 스페인, 이탈리아, 프랑스를 중심으로 확대
- ⑤ 2009 년 기준 1500mt 시장규모이며, 2020년 37,000mt 이상으로 확대될 전망.

1장. 생분해성 멀칭 필름 개발

1절. BDP소재의 특성분석

우리나라의 원예 및 식용작물의 재배는 연중 일기작 보다 이모작(경우에 따라 이기작) 이상을 시행하는 경우가 많다. 생분해멀칭 필름을 이용하여 작물을 재배 할 경우, 이러한 농업 방식에 따라 처음 재배작물의 수확 후, 차기 작물의 재배에 영향을 미치지 않기 위해서는 생분해멀칭필름이 토양 중에서 적정한 기간이내에 생분해가 진행되어야 한다. (생분해 고분자수지의 경우 토양 중 생분해 기간을 12개월 기준으로 평가 함. -BASF-) 이를 위하여 우리가 적용하고자 하는 소재에 대한 정보를 수집하였다.

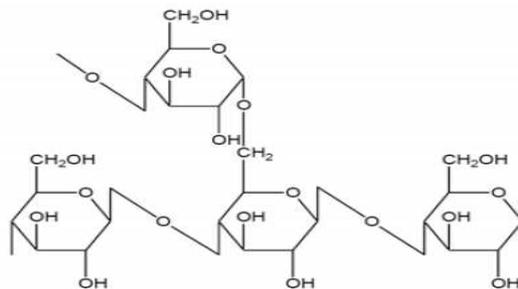
분해성 플라스틱은 사용하는 원료에 따라 천연고분자계, 화학합성 고분자계, 미생물생산 고분자계 등으로 분류할 수 있다.

1. 천연 고분자계(Naturally Occurring Polymers)

식물에서 유래한 셀룰로오스(Cellulose), 펙틴(Pectin), 리그닌(lignin), 전분(starch), 왕겨, 목재펄프 등과 동물에서 유래한 천연 고분자인 키틴(Chitin) 등을 기초로 만들어진 생분해성 고분자를 천연고분자계 생분해성 고분자라고 한다. 상대적으로 가격이 저렴하고 분해성이 우수하나 가공성, 인장강도, 투명도가 취약한 특성이 있다.

가. 전분

전분은 자체의 점착성, 열 또는 물을 이용하여 발포되는 발포성을 이용하여 전분 발포 용기, 완충재 등에 적용되어 실용화되어 있다. 또한 생분해 고분자로서 그 자체의 가수분해성이 매우 우수하지만, 물리적 성질이 약하여 자체적으로 상용화하기에 문제가 있는 분야에서는 생분해 수지와 혼합형으로 실용화 되고 있다. 전분은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.



[그림 2] 글루코오스와 아밀로오스에 의한 아밀로펙틴의 화학구조

- (1) 전분이 생분해성 플라스틱의 원료 중에서 생분해도 가장 우수
- (2) 가격이 타 원료에 비해 저렴함. (200~500/kg)
- (3) 자연계에서 매우 풍부한 부분 결정성 다당류로 공급이 용이 함.
- (4) 천연계로서 원료 자체가 무독성 임.

나. 열가소성 전분 (TPS, Thermo-Plastic Starch)

전분은 환경에 따라 쉽게 변성되기 때문에 이러한 문제점을 해결하기 위해 polyols(glycerol, ethylene glycol, sorbitol etc.)과 같은 가소제를 사용하여 전분을 가소화시키고 이를 열가소성 전분이라고 한다. 이들은 수분이 있는 조건에서 쉽게 분해되며, 기존 범용 수지인 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 폴리프로필렌 등처럼 일정 온도 이상에서 탄화되지 않고 형태가 자유자재로 바뀔 수 있고 물성 역시 일반적인 플라스틱에 비할 정도라 할 수 있다.

다. 소수성 전분

소수성 전분은 전분 및 TPS의 단점인 물리적 성질과 수분에 취약한 부분을 향상시키기 위하여 개발되었다. 물리적 가공이나 또는 소수성기를 가진 약품을 이용하여 전분의 수산기를 소수성기로 단순 치환, 변성하여 마스터 배치를 제조하는 방법, 전분에 최소 1개 이상의 작용기를 갖는 고분자를 직접 화학적 결합시켜 전분에 소수성을 부여하는 방법 등이 있다. 소수성 전분은 전분과 수지간의 양쪽 성질을 보유하므로 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 폴리프로필렌 등의 범용수지에 대한 상용성이 뛰어나다.

라. 기타

키틴은 주로 의료용 재료로 연구되고 있으며, 셀룰로오스는 중국에서 생분해성 용기의 주원료로 활용하는 예가 있다.

2. 화학 합성 고분자계(Chemically Occurring Polymers)

화학 합성계 중 생분해성 고분자에 대한 연구들은 최근에 생체의료, 농업 그리고 생태학 분야에서 집중적으로 진행되어 왔다. 대표적인 생분해성 지방족 폴리에스테르로는 폴리글리콜산 (PGA, Polyglycolic acid), 폴리락트산(PLA, Polylacticacid), 폴리카프로락톤(PCL, Polycaprolactone), 디올/디에시드계 지방족 폴리에스테르(Diol/Diacid계 AP(Aliphatic polyester)), 폴리(에스테르-아미드)/폴리(에스테르-우레탄)계가 있다.

합성 고분자의 생분해성은 공기 중에서는 그다지 열화가 진행되지 않기 때문에 실제 사용하는 단계에서는 대부분 통상의 제품과 동일하게 사용가능하다. 그러나 토양매립, 물에서는 종류에 따라 1년에서 몇 년에 걸쳐 분해가 가능하다. 이들은 아직 가격이 고가인 관계로 일반 분해성 포장재 또는 생분해성 플라스틱 제품의 용도로 사용이 되기에는 아직

어려운 면이 있으나, 일부 실용화가 되고 있으며 지속적으로 원가절감, 생산성, 물성개량 등 연구가 진행이 되고 있다.

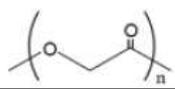
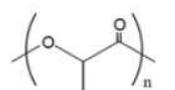
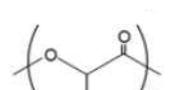
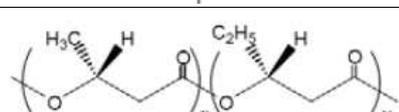
생분해성 지방족 폴리에스테르	Tg(°C)	Tm(°C)	결정성
Poly(glycolic acid)(PGA)	36	224~240	결정형
	수술용 봉합사, DDS재료, 농약/비료의 방출 조절재		
Poly(L-lactic acid)(PLLA)	53~60	170~180	결정형
	DDS재료, 관절재생용 인공관절, 봉합사, 고절고정용 생체흡수 나사		
Poly(DL-lactic acid)(PDLA)	45~59	-	무정형
	DDS재료, 수술용 생체장기 이형 부직포		
 Poly(3HV-co-3HB)	-16~4	180~76	결정형
			일회용 성형품, 음료용기, 식품 포장재
Poly(ε-caprolactone)(PCL)	-60	60	결정형
	의료/미술용 조형재, 수술용 봉합사, 일회용 성형품, 용기 및 필름		
poly(butylene succinate-cobutyleneadipate) (PBSA)	-33~-60	114~32	결정형
	일회용 성형품, 성형용기, 일회용/산업용 포장재		

표 1. 생분해성 지방족 폴리에스테르의 화학구조 및 특성

가. 폴리카프로락톤(PCL)

PCL은 비교적 저렴하게 제조되는 생분해성 고분자로 ε-caprolactone 모노머로 부터 개환반응 및 중합에 의해 용이하게 합성할 수 있고 일반 PE와 상용성이 비교적 좋고 인장강도, 신장율, 충격강도 등의 기계적 물성이 우수하나 용점이 60~62°C로 낮아 film 성형성 및 개구성이 좋지 않은 단점이 있다. 일반적으로 PCL의 분해속도는 락티드, 글리콜리드와의 공중합이나 블렌드에 의해 상당히 증가하는 경향을 나타낸다.

나. 폴리락트산(PLA)

PLA는 Lactic acid 또는 Lactide로부터 화학적 축매 또는 효소에 의한 고리 열림 반응을 통하여 합성되는데, 용점이 약 160~175°C로 기존 난분해성 범용수지와 유사하고 강도가 우수하지만 가공성 및 유연성이 취약하고 대량생산 및 기술개발로 원가절감 연구가 활발히 이루어지고 있다.

다. PBS(Polybutylene succinate)

PBS는 일본의 쇼와고분자, 한국의 SK케미칼, 신한케미칼 등에서 개발하여 생산하였으나 높은 생산원가로 인하여 시장성이 부족한 단점이 있다.

라. Aliphatic Polyester

Aliphatic Polyester는 1,4-Butanediol, Ethylene glycol 등의 Diol과 Succinic acid, Adipic acid등과 같은 유기산류의 축중합에 의해 제조되는데 플라스틱 가공성이 타 생분해성 고분자에 비해 우수하나 필름에 적용하였을 때 물성 및 열 봉합성이 약한 단점이 있어, 최근에는 다양한 용융점 및 흐름성을 확보하기 위해 Aromatic 모노머를 혼용한 Aro/Ali polyester의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

마. 디올/디카르복실산계 지방족 폴리에스테르(PBSA)

일반적으로 poly(ethylene adipate), poly(trimethylene adipate), poly(butylene adipate) 등에 지방족 폴리에스테르가 poly(ethylene terephthalate)등의 방향족 폴리에스테르보다 더 쉽게 생분해된다. 국내에서도 이래화학 및 신한케미칼 등에서 원료 및 제품을 양산하여 수출량도 증대하고 있는 것으로 알려졌다. 이 고분자는 단량체의 구조 및 노출된 환경에 따라 변화하는 생분해성을 나타낸다.

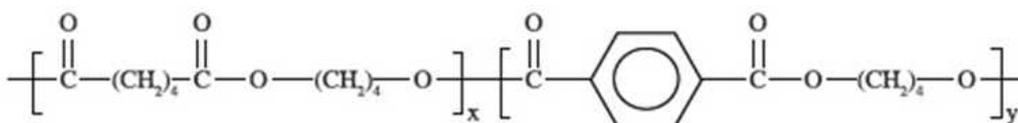
바. 폴리(에스테르-아미드) 및 폴리(에스테르-우레탄)계

산업적으로 생산되는 폴리아미드(나일론)와 우레탄은 생분해되지 않지만, 많은 종류의 치환된 폴리아미드나 분자량이 낮은 폴리아미드 및 폴리(에스테르-우레탄)은 그 고분자의 친수성에 비례하는 속도로 가수 분해된다.

폴리(폴리아미드-에스테르), 폴리(폴리아미드-우레탄), 폴리(에스테르-우레탄) 등이 미생물의 체외 단백질분해효소인 subtilisin에 의하여 가수분해 되는 것으로 밝혀졌다. 국내에서는 신한 케미칼(社)가 원료 및 제품을 양산하여 쓰레기봉투 및 랩용으로 내수 및 수출에 기여하고 있는 것으로 알려졌다.

사. PBAT(polybutylene adipate-co-terephthalate)

PBAT는 지방족 및 방향족을 지니는 co-polyester수지로서 butanediol, adipic acid, terephthalic acid의 축중합 반응으로 합성되는 물질이다. PBAT는 PLA, PBS 보다 신축성과 신장률이 높아서 식품 포장재나 농업용 필름에 적합하다. 현재 Basf, Dupont, Novamont 등에서 생산하고 있으며, 가격이 고가인 단점이 있다.



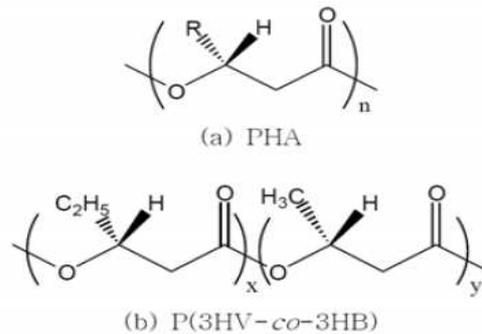
[그림 3] PBAT의 화학적 구조

3. 미생물 생산 고분자계(Microbiologically Occurring Polymers)

미생물생산 고분자는 미생물이 만들어내는 분해성 고분자(바이오폴리머)를 활용하여 플라스틱과 같은 기능을 갖는 물질을 만드는 것으로써, 분해성과 물성면에서 뛰어나지만 생산성과 용도가 제한되며, 가격이 고가인 단점이 있다. 대표적으로 PHA(Poly-hydroxyalkanoate), PHB(Poly-hydroxybutyrate), Pullulan과 같은 다당류(Polysaccharides) 등이 있다.

가. 미생물 폴리에스테르계(PHA, P(HB/V))

생분해성 재료로서 미생물에 의해 만들어진 미생물 폴리에스테르는 열가소성 고분자로 필름, 섬유 등으로 용융가공이 가능하므로 공업적 이용이 기대되고 있다. 미생물 폴리에스테르는 자연계에서 미생물이 균체 외로 방출한 효소에 의해 분해되고 분해 생성물이 미생물에 의해 자화되기 때문에 완전히 자연에서 소멸된다고 할 수 있다.



[그림 4] PHA와 (P(3HV-co-3HB))의 화학구조

나. 미생물 다당류계

미생물이 생산하는 다당류인 바이오셀룰로오스는 최근까지 천연 셀룰로오스 연구를 위한 시료로 이용되어 온 것에 지나지 않았으나, 필름 상 셀룰로오스로 그 특성이 주목받게 되어 바이오셀룰로오스에 대한 기초연구로부터 실용화를 목표로 하는 응용연구에 이르기까지 다양하게 연구되어지고 있다.

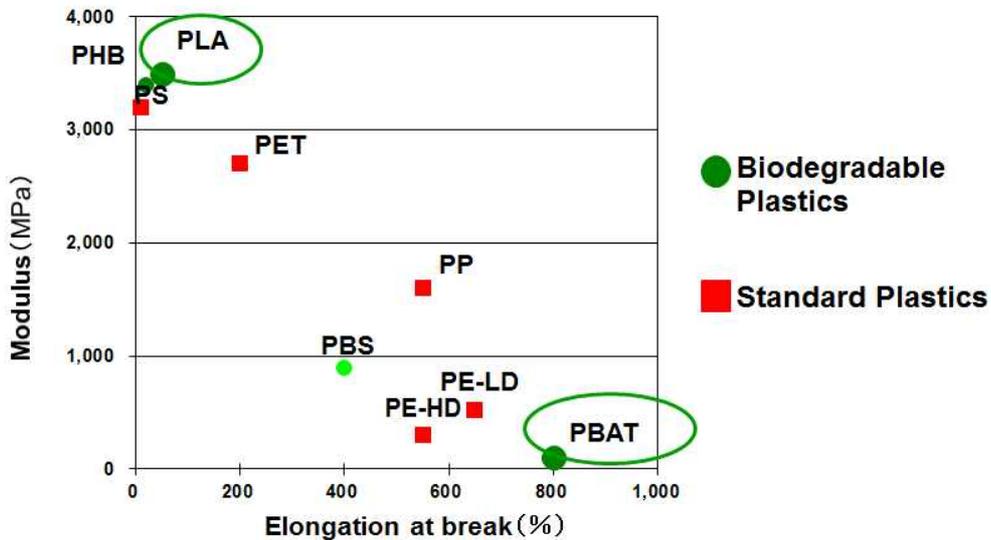
미생물이 세포외로 생산하는 수용성 다당류인 플루란(pullulans)은 “PF-20”이란 명칭으로 시판 되어 일반 공업 분야에도 이용되고 있고, 시약 및 표준시료로서도 높이 평가되고 있다. 또한 다른 다당류와의 상용성이 양호하여 타레, 소스, 함유식품 등의 안정용이나 겔화제 사용식품의 식감 개선용으로 이용되고 있다. 플루란은 접착력이 강하고 전분 풀과 같이 열화에 의한 물성저하가 없어 유리, 금속, 목재, 건조식품 등의 채습 접착제 등으로 이용된다. 이상과 같이 플루란은 식품분야에 주로 이용되고 있고, 가격 때문에 플라스틱으로서의 실용화에 대한 정보는 아직 전무하다.

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 생분해 Mulching Film의 개발은 제품을 설계하는 단계에서 우선시 고려해야 할 사항들이 있다. 그중 첫 번째 고려되어야 할 부분은 적용하고자

하는 수지의 100% 생분해 여부와 그 수지의 생분해 진행기간이며, 두 번째 고려되어야 할 사항은 0.01mm 정도의 Film 박막성형이 가능한, 수지의 Modulus와 기계적물성이다.

농업용 Mulching Film에 적용하기 위해서는 관행적으로 사용 중인 Mulching Film(LDPE, LLDPE, HDPE) 수준의 기계적물성이 확보 되어야 한다. 앞서 조사한 각각의 BDP 수지들은 분해기간 정도의 차이는 있으나 100% 생분해도는 확보하였다. 반면 PBS, PBAT, PLA를 제외하고는 대부분 Film형 압출용 보다는 사출용으로 개발 되어져 있으며 해당 과제 수행을 위하여 필름용으로 사용 가능한 PBAT, PBS 등의 BDP 수지를 검토하였다.

PBAT를 Base resin으로 채택한 이유는 타 BDP 수지와 비교하였을 때, PBAT가 가지고 있는 특성 중 박막 압출 가공이 가능하며 인장강도와 연신율이 LDPE 수지 이상의 특성을 가지고 있어 천연고분자물질과 blend 했을 경우에도 적정물성을 보유할 수 있어 농업용 Mulching Film으로 생산하기에 가장 적합한 소재라고 판단하였다.



[그림 5] BDP & PE Modulus와 Elongation at break 관계

Material	Degradation Speed			Physical Property	
	Microbe	Hydrolysis	UV	Tear Strength	Stiffness
Ecovio F Mulch	1	1	5	5	1
Ecoflex	1	1	5	5	1
PLA	1	1	1	1	5
PBS	4	4	1	2	3
PBSA	5	5	1	2	4
PHA	1~5 _(adjustable)	1~5 _(adjustable)	1	3	4
PPC	1	1	2	2	5
PBSeT	2	2	5	4	2

[그림 6] BDP 별 Degradation 속도 및 물성 비교

2절. BDP 수지의 가공특성 및 품질특성 평가

위에서 조사된 BDP 수지 중 생분해 멀칭필름의 주요 Base Resin이 되는 합성고분자계의 PBAT와 천연고분자계 전분, TPS 등의 수지를 Extruder를 이용하여 Film화하여 각각의 물리적 특성과 생분해 관련 특성을 평가하였다.

1. 평가 항목

가. Tensile Strength

- ① Model : AGS-J (인장시험기)
- ② Capacity : 1kN
- ③ maker : Shimadzu (Japan)

나. Dart Impact Test

- ① Capacity : 0~30kgf/cm
- ② maker : YASUDA

다. Haze Meter

- ① Model : TC-H3DRK 2
- ② Capacity : DC 220V, HAZE 0~100, 확산 및 병렬 투과도
- ③ maker : TOKYO DENSHOKU

라. FT-IR

- ① Model : IR Prestige-21
- ② Capacity : 4000-400Å
- ③ maker : SHIMADZU

마. UV Condensation Weathering Device

- ① Model : ATLAS UV2000
- ② Capacity : UV 314, TEMP 30~80 °C
- ③ maker : SHIMADZU

바. 향온 항습기

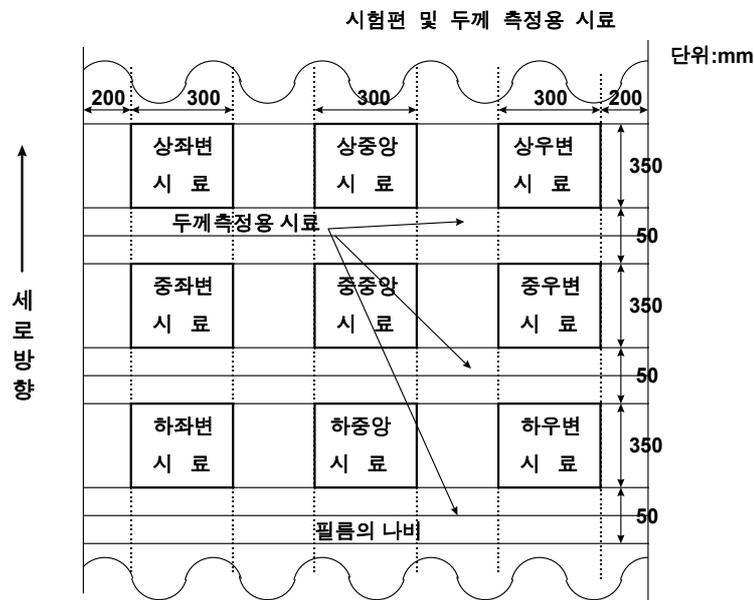
- ① Capacity :TEMP 0~120 °C, HUM 35~95%
- ② maker : 한국과학

2. Test Method

가. Tensile Strength

- (1) 인장 시험기에 1kN Road cell을 부착하고 Test Speed를 500mm/min으로 설정한다.

- (2) 전 처리 된 시료를 KS M 3509의 인장시험편 1형으로 준비한다.
(전처리 조건 : 온도 20 °C, 상대습도 65%, 24H)
- (3) 인장시험편은 Sample의 상부, 중앙부 및 하부로 나누어 합 9개의 시료를 채취한다.
- (4) 0.001mm의 두께까지 읽을 수 있는 측정기를 이용하여, 시험편의 두께를 소수점 이하 3자리까지 측정하여 기록한다.
- (5) 두께를 기록한 시료를 인장시험기 물림부에 걸어 파단시점의 인장강도, 연실율, 인열강도를 구한다. (시험온도 23 °C)
- (6) 각 측정값은 유효숫자까지 기록하며 9회 반복하여 평균값을 매겨 결과 값을 낸다.



[그림 7] 시료의 채취 방법 (KS M 3503)

나. Dart Impact Test

- (1) 공회전 시험(시험편 없음)을 하여 Dart Impact의 영점을 조정한다.
- (2) 전 처리 된 시료를 12cm*12cm 크기의 시료를 준비한 후 거치대에 고정시킨다.
(시험편은 평평한 면을 가져야 하며 구멍이나 긁힌 상처가 없어야 한다.)
- (3) 해머를 고정 후, 해머가 시험편의 중앙을 타격하도록 시험편 지지대에 올려놓는다.
- (4) 해머를 낙하시키고, 시험편이 흡수하는 충격 에너지를 기록한다.
- (5) 같은 방법으로 9회 반복하여 충격 강도를 측정한다.
- (6) 파괴시의 소요에너지를 시편의 두께와 폭으로 나누어 시편의 강도를 기록한다.

다. Haze Meter

- (1) Power ON 후 10~20분 정도 Stabilization한다.
- (2) Zero Calibration을 통해 백그라운드(BKG) 값을 잡는다.

- (3) 3cm*5cm의 시료를 각 3개씩 준비한 후 거치대에 시료를 고정시킨다.
- (4) Calibration을 통해 투과도 및 HAZE값을 측정하여 기록한다.



[그림 8] Dart Impact 시험기 & Haze Meter

라. FT-IR (IRPrestige-21)

- (1) Power ON 후 Initialize을 한다.
- (2) 샘플 거치대를 비운 상태로 백그라운드(BKG) 데이터를 얻는다.
- (3) 3cm*5cm 이상의 시료를 준비하여 거치대에 위치시킨다.
- (4) 광원(IR Source)을 시료에 쏘아 적외선의 투과 흡수도를 측정한다.
- (5) 측정 스펙트럼을 관찰하여 재료의 특징을 광학적으로 분석, 추정한다.

마. UV Condensation Weathering Device

- (1) 314nm UV Lamp를 설치한다.
- (2) 전 처리된 시료를 KS M 3509의 인장시험편 1형으로 준비한다.
- (3) UV-CON. 내에 증류수를 적정량 채운 후, CELL에 시료를 고정한 후 설치한다.
- (4) Setting Point를 실험 조건에 맞게 설정한다.
(조건 : 8H, SPRAY, 60°C, 0.77m², 4H 50°C)
- (5) 100시간 단위로 시료를 채취하여 Tensile Strength 실험을 진행한다.
- (6) 초기(0시간) 대비 신장률이 50% 이하로 내려갔을 경우 시험을 종료한다.



[그림 9] UV-CON

바. 플라스틱 재료 붕괴도 측정 실험 (KS T ISO 20200)

- (1) 4mm 채망(거름망)에 거른 부숙토를 걸러낸다.
- (2) 20cm*30cm*10cm 이상의 반응조에 채망에서 걸러낸 퇴비를 넣고 증류수로 토양 수분이 55%정도 되도록 만든다.
- (3) 4.5cm*6cm크기의 시료를 3개 이상 준비하여 필름 틀에 고정하여 준비한다.
- (4) 시료를 퇴비 속에 넣어 묻고 58°C, 50%의 항온 항습기 혹은 오븐기에 넣어 실험한다.
- (5) 반응조의 초기 질량을 기록하고, 시험 수행 기간 동안 필요한 경우 초기 질량과 같도록 물을 추가하고, 퇴비물을 혼합해 준다.
- (6) 주 1회 샘플을 꺼내서 사진을 찍어 표면 관찰을 진행한다.



[그림 10] 플라스틱 재료 붕괴도 측정 실험

3. 가공안정화 기술개발 및 생분해 필름 Recipe 개발

생분해 Film의 Base Resin과 천연고분자 소재들의 압출가공성을 평가하고 각각의 물리, 화학적 특성을 분석하여 최적의 가공안정화 기술과 Recipe를 선정하고자 한다.

가. PBAT 가공성 및 특성 평가

생분해필름의 주요 Base Resin인 PBAT 수지는 신축성과 찢김성이 우수하여 멀칭용 필름 생산에 적합한 수지로 현재 유럽에서 많이 사용되고 있는 B사의 필름 Grade 1종과 국내 S사와 G사의 필름용 Grade 2종을 선별하여 Blown Extruder를 이용하여 두께 15 μ m으로 압출한 후 물성 및 생분해 평가를 시행하였다.

(1) Machine Spec

- Die Size : 280mm

(2) Test Material

	Resin I	Resin II	Resin III
Type	PBAT	PBAT	PBAT
Density(g/cm ³)	1.37	1.12	1.26
Melt Index (g/10min)	6.0	2.0	2.0
Melt Point (°C)	110	127	120
Maker Nationality	German	Korea	Korea

(3) 가공 조건

	Unit	1	2	3
Cylinder 1	°C	140	140	140
Cylinder 2	°C	150	150	150
Cylinder 3	°C	150	150	150
Joint	°C	155	155	155
Die	°C	150	150	150

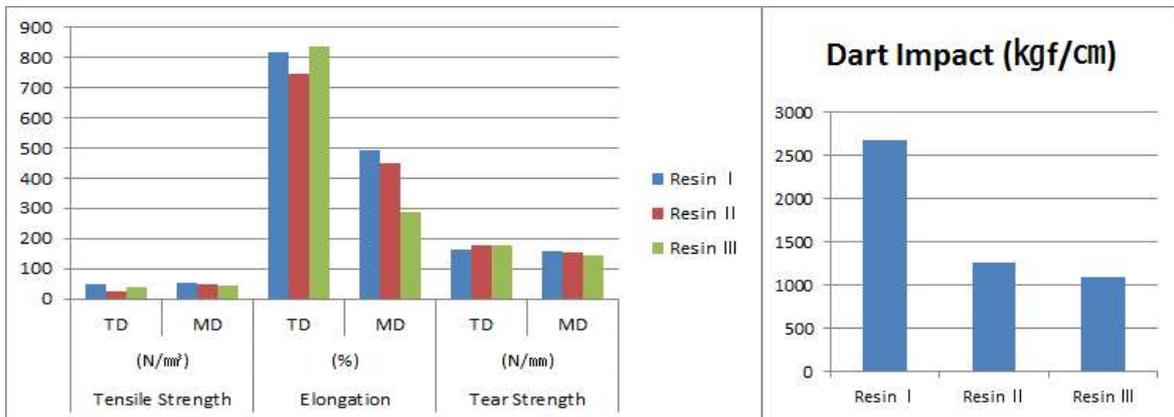
(5) Test Result

(가) 압출 평가

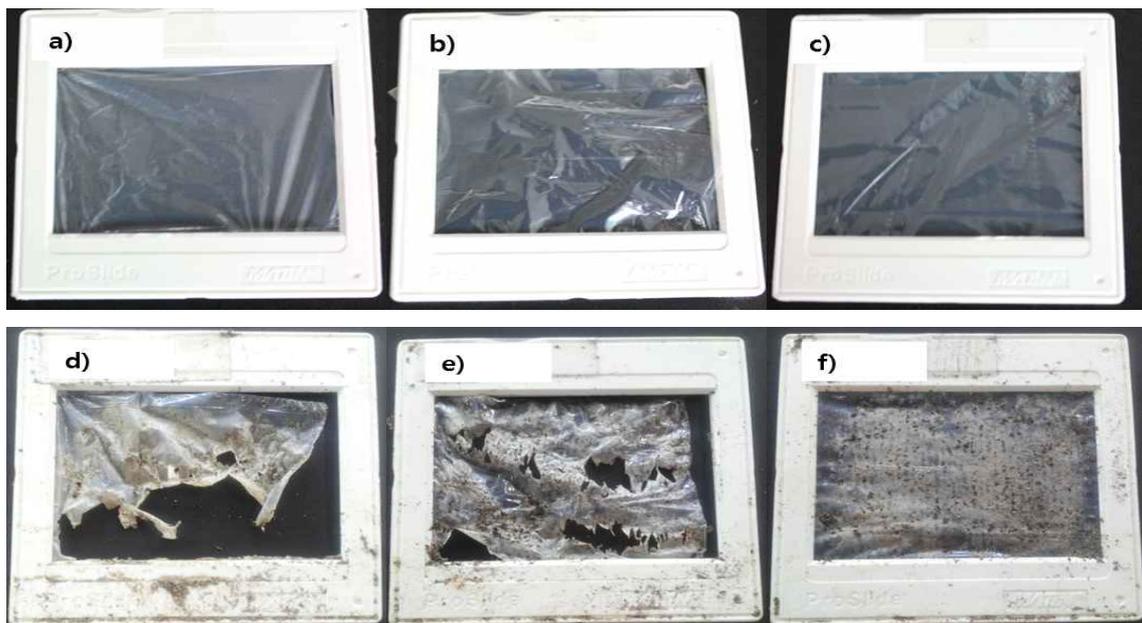
Resin I	Resin II	Resin III
		
Frost Line 570mm Die Lip Temp : 144°C HAZE : 15.1%	Frost Line 200mm Die Lip Temp : 145°C HAZE : 4.9%	Frost Line 250mm Die Lip Temp : 145°C HAZE : 8.2%

(나) 물성 평가

	Tensile Strength (N/mm ²)			Elongation (%)		Tear Strength (N/mm)		Dart Impact (kgf/cm)
	YP	TD	MD	TD	MD	TD	MD	
Resin I	-	46.0	52.7	818	492	163	157	2670
Resin II	-	24.7	48.0	744	451	177	151	1266
Resin III	-	36.6	41.5	839	286	177	145	1093



(다) 생분해도 평가



[그림 11] a) Resin I 초기, b) Resin II 초기, c) Resin III 초기
 d) Resin I 30일 경과, e) Resin II 30일 경과, f) Resin III 30일 경과

압출 가공성에서 Resin I 이 Melt Index가 높아 Bubble의 Frost Line이 높게 형성되는 현상이 나타났으나 Tensile Strength와 Elongation, Tear Strength 등 기계적인 물성이 고르게 우수하였으며 멀칭 피복 후 파종을 위하여 필름 표면에 구멍을 뚫는 2차 작업 고려한 Dart Impact 평가에서도 월등히 우수한 물성을 나타냈다. 또한 Lab에서 실시한 간이 생분해도 평가에서 타 수지에 비하여 생분해도가 빠르게 진행되는 것을 확인할 수 있었다.

나. Matrix 첨가제 조성을 통한 가공 특성 및 품질 특성 평가

PBAT 수지는 신축성과 수축 특성으로 인하여 PBAT 수지 단독으로 필름 성형을 하는데에는 어려움이 있다. Bubble 형성 이후, Nip Roll에서 압착이 되면 필름의 개구성이 좋지 않아 편폭 Winding이 불가능한 수준이 된다. 이러한 개구성을 해결하기 위해 별도의 Slip Agent나 Anti-bloking제를 사용하기도 하는데 본 연구에서는 별도의 개구제를 사용하지 않고 천연고분자 물질을 이용하여 생분해도 조절 및 개구특성의 효과까지 기대할 수 있는 성과를 이루었다. 적용하고자 하는 천연고분자 물질들은 각각 단독으로 필름 성형이 불가능하여 천연고분자 물질과 PBAT에 소량의 가공조제를 일정한 비율로 Compounding 하여 새로운 Matrix 펠릿으로 성형하였다. 이렇게 만들어진 각각의 Matrix M/B를 PBAT와 Dry Blending 하여 Blown Extruder를 이용하여 필름 성형을 하였다.

(1) Test Material

	Matrix I	Matrix II	Matrix III
Type	Starch	Thermo-Plastic Starch	Hydrophobic Starch
Density(g/cm ³)	1.0	1.12	1.26
Melt Index (g/10min)	3.2	3.6	2.7
Melt Point (°C)	110	127	120
Maker Nationality	USA	Korea	USA

(3) Temperature 및 가공특성

	Unit	1	2	3
Cylinder 1	°C	145	150	150
Cylinder 2	°C	150	155	155
Cylinder 3	°C	150	155	155
Cylinder 4	°C	150	155	155
Adapter	°C	150	155	155
Joint	°C	155	160	160
Die	°C	150	155	155

(4) Test Result

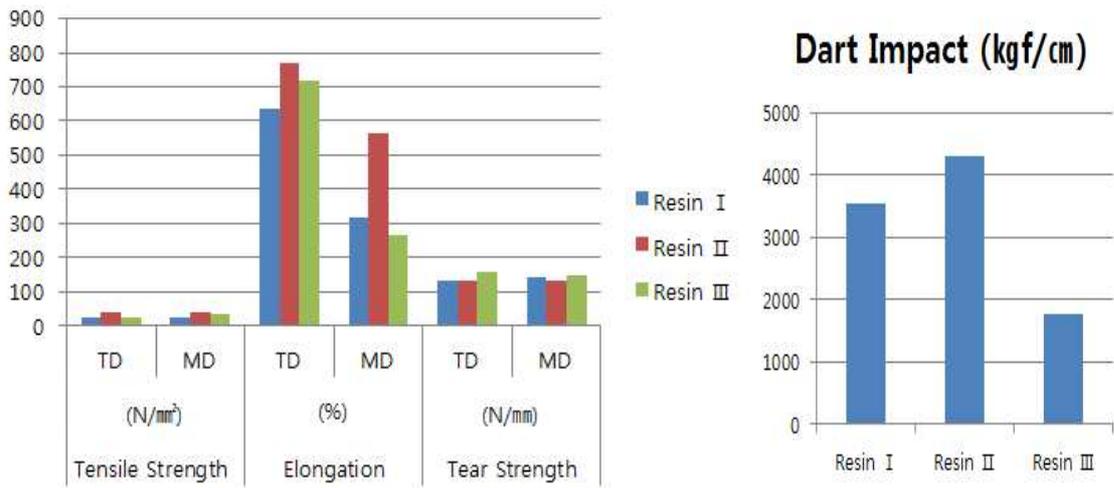
(가) 압출 평가

Starch의 함량이 높을수록 생분해 속도가 빠르게 진행되지만 필름 압출가공성은 저하되는 점을 고려하여 Matrix I의 Starch 함량을 변경하며 압출 평가를 시행하였다. 최초 Starch 함량을 50%로 하여 필름을 성형하였고 두 번째 40%, 세 번째 30%로 하향 조정을 한 결과, Starch 함량 30%에서 안정적인 Film 성형이 가능하였다. Starch 함량 50%와 40%의 Matrix M/B는 Bubble이 불안정하게 형성되며 구멍이 발생하는 등 압출이 불안정한 현상을 나타냈다. Starch 30%의 안정적인 성형을 통하여 각각의 Matrix M/B 함량을 20% 수준에서 Base Resin I 과 Dry Blending하여 필름을 성형하였다.

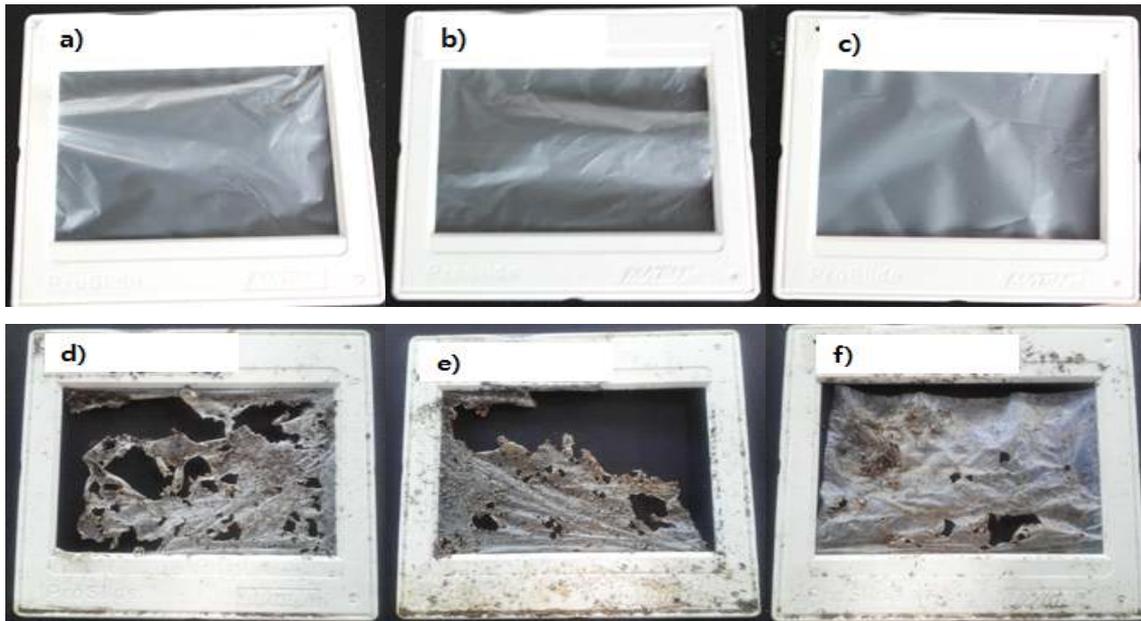
50%	40%	30%
		
Matrix I	Matrix II	Matrix III
		
<p>Frost Line 250mm Die Temp : 138℃</p>	<p>Frost Line 500mm Die Temp : 139℃</p>	<p>Frost Line 250mm Die Temp : 137℃</p>

(나) 물성 평가

	Tensile Strength (N/mm ²)			Elongation (%)		Tear Strength (N/mm)		Dart Impact (kgf/cm)
	YP	TD	MD	TD	MD	TD	MD	
Matrix I	-	23.6	25.8	637	316	133	141	3532
Matrix II	-	38.6	40.3	767	566	131	130	4290
Matrix III	-	26.3	37.0	720	267	156	148	1767



(다) 생분해도 평가



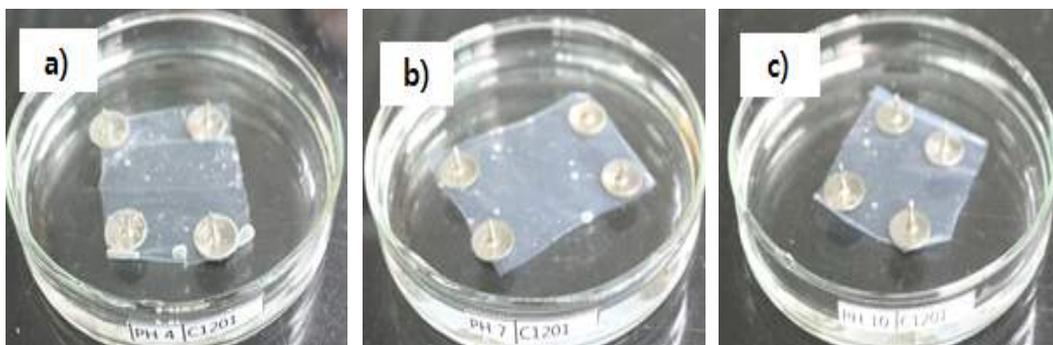
[그림 12] a) Matrix I 초기, b) MatrixII 초기, c) MatrixIII 초기
d) Matrix I 30일 경과, e) MatrixII 30일 경과, f) MatrixIII 30일 경과

다. pH 변화에 따른 BDP 소재의 특성 평가

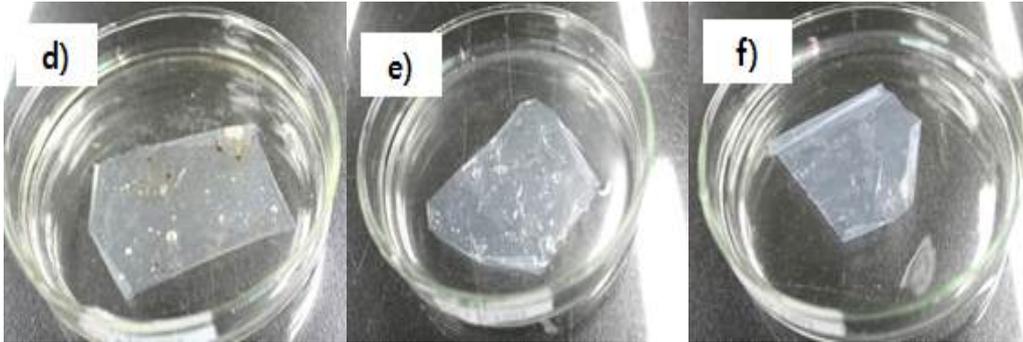
토양의 pH는 토양이나 배지의 용액 내 수소이온(H⁺) 농도의 활성화 정도를 측정한 것으로 수소이온(H⁺) 역수의 로그 값으로 정의한다. 즉 $pH = \log_{10} \frac{1}{[H^+]}$ 이다. 순수한 물의 [H⁺]는 25℃에서 1×10^{-7} 이기 때문에 순수한 물의 pH는 $\log_{10} \frac{1}{[1 \times 10^{-7}]} = 7$ 이며 중성을 나타낸다. 수소이온(H⁺)과 수산화이온(OH⁻)의 수가 균형을 이루는 값이며 수소이온(H⁺)이 수산화이온(OH⁻)보다 많으면 그 토양은 산성이고 pH값은 7 이하이며 반대로 수산화이온(OH⁻)이 수소이온(H⁺)보다 많으면 알칼리성 토양을 나타내고 pH값은 7 이상이다. pH범위는 0~14이며 산성 범위는 0~6.5이고 알칼리성 범위는 7.5~14이며 pH 6.5~7.5는 중성 범위에 속한다. pH는 H⁺이온의 역수의 로그값이므로 pH 7에서 pH 8로 pH가 증가하면 토양은 알칼리성이 10배 증가한 것이고, pH 7에서 pH 5로 수치가 감소하면 토양은 100배 산성화된 것이다. 개발하고자 하는 생분해필름이 pH의 농도에 따라 어떠한 특성(물리성, 생분해성)이 작용하는 지에 대한 평가를 진행하였다. 일반 토양을 이용하였을 경우, 토양의 pH를 임의로 설정하기에 어려움이 있고 또한 물리성 및 생분해성이 pH 이외의 요인들로 인하여 변수가 작용 할 것을 우려하여 pH 수용액을 이용 하였다. 이용 된 Buffer solution은 Samchun의 표준완충용액 pH4.00, pH7.00, pH10.00(±0.02, 25℃)이다. 산성과 알칼리성의 극단적인 조건에서의 변화를 관찰하기 위하여 각기 다른 pH 완충용액을 이용 하였으며 소형 유리 샤알레에 각각의 수용액을 채우고 필름 상태의 시료를 침전시켜 30일 경과 후의 표면을 관찰하였다.



[그림 13] pH 완충 용액

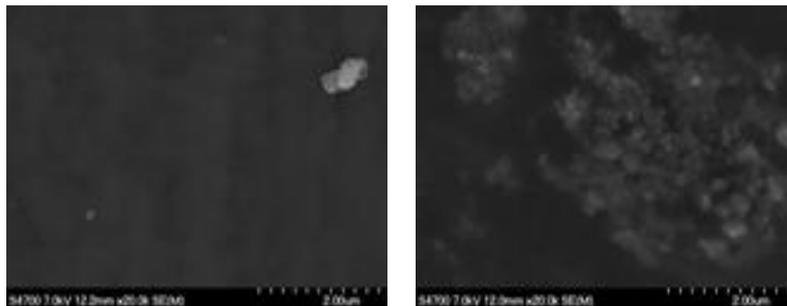


[그림 14] PBAT pH에 따른 특성 평가 a) pH 4.0, 초기 b) pH 7.0 초기 c) pH 10.0 초기



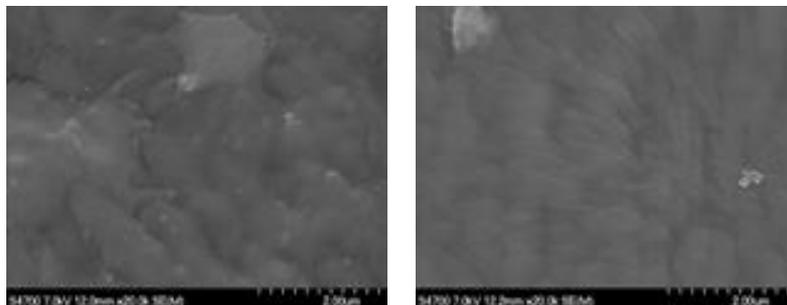
[그림 15] d) pH 4.0 30일 경과, e) pH 7.0 30일 경과, f) pH 10.0 30일 경과

pH에 따른 외관상의 변화는 육안으로 식별이 어려워 FM-SEM 주사현미경으로 20000 배를 확대하여 관찰하였다. 각각의 pH 완충액에 침수한 시료들의 표면에서 NaCl이 일부 검출되었으나 PBAT는 무처리와 상태와 비교하여 pH 산도별 표면 상태에 큰 변화가 없었다. 하지만 열가소성변성전분을 포함한 Matrix II M/B를 이용하여 성형한 Film은 pH 완충액 침수 30일 경과한 시점의 표면상태에 미세한 Hole이 발생하였다. 이러한 현상은 pH 산도가 높아질수록 Hole의 발생 수량이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 PBAT 수지 자체만으로는 pH 산도에 영향을 받지 않으나, 전분계통의 첨가제가 포함되면 pH에 의한 변화가 일어나는 것을 알 수 있으며 pH 산도가 낮은 강산성에서 보다 pH 산도가 높은 알칼리성에서 그 반응이 더 활발하게 진행 되는 것을 알 수 있다.



a) 무처리

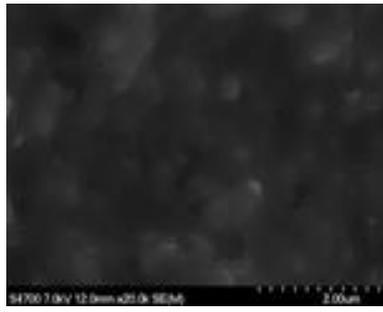
b) pH 4.0



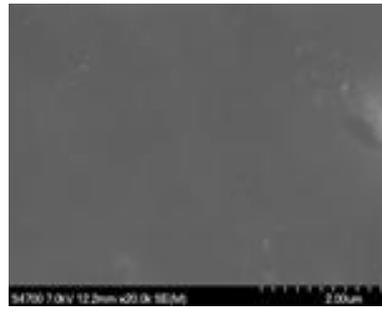
c) pH 7.0

d) pH 10.0

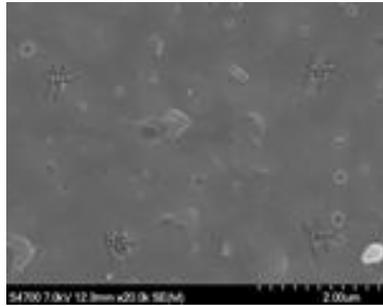
[그림 16] PBAT pH 별 표면 변화 (×20.0K)



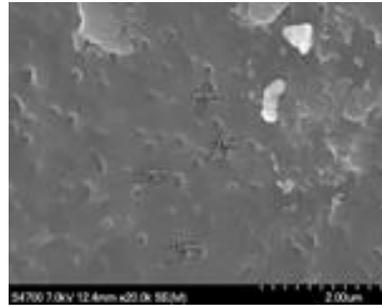
a) 무처리



b) pH 4.0



c) pH 7.0



d) pH 10.0

[그림 17] Matrix II pH 별 표면 변화 (×20.0K)

라. UV에 의한 BDP 소재의 붕괴 특성 평가

태양에서 방사되는 자외선은 100-400nm의 파장대를 가지고 있다. 이를 세부적으로 구분하면 UV-A(400-320nm), UV-B(320-280nm), UV-C(280-200)로 나누어진다. 이 중 UV-C는 대기중의 산소와 오존층에서 대부분 흡수가 되고 UV-A와 UV-B 일부가 지표에 도달한다. 최근 오존층의 파괴로 인하여 지표에 도달하는 UV-B의 양이 늘어나고 있다. UV-A, UV-B는 플라스틱, 고무 등 고분자화합물에는 변색, 표면 갈라짐 기계적 물성 저하 등의 원인이 되고 있다. 대부분의 고분자화합물은 분자구조 내에 분해하기 쉬운 불포화탄소-탄소, 탄소-산소결합 또는 3차 탄소원자를 가지고 있다. 이러한 부분은 반응성이 커서 자외선에 노출이 될 때 쉽게 분해되어 자유라디칼을 생성하며 이것은 즉시 고분자내 다른 분자를 연쇄적으로 공격, 이른바 연쇄반응을 진행시킴으로써 고분자 고유물성을 크게 약화 시킨다.

멀칭필름은 잡초 발생 억제, 토양 온도 상승, 토양수분 용탈 방지 등 작물을 재배하는 데에 있어 중요한 역할을 수행한다. 관행 멀칭필름(LDPE, HDPE 등)의 경우 필요에 따라 필름 내에 UV안정제를 처방하여 작물 재배가 완료 되고 수확 후 사용 필름을 수거 할 때까지 UV에 의한 열화를 강제로 억제 시키고 있다. 하지만, 생분해 멀칭필름의 경우, 관행 멀칭필름과 동일한 용도로 사용 되지만 관행 멀칭필름과 달리 작물을 수확함과 동시에 경작지를 경운하고 수거하지 않은 필름이 작게 조각 난 채로 토양 속에 묻히게 하여 토양 미생물에 의한 생분해를 진행하는 과정이 필요하다. 트랙터, 경운기 등의 농기계를 이용하여 토양 위에 필름이 잔존 해 있는 상태로 경운을 시행해야 하므로 필름이 농기계

의 로터리 날에 감기는 현상이 없어야 한다. 이런 작업을 위하여 피복 후 일정기간이 경과하면 UV에 의한 광 붕괴가 수반 되어야 한다. 토양을 덮고 있는 부분과 광에 노출되어 있는 부분의 분해가 비슷한 시기에 이루어 질 수 있도록 필름의 Recipe를 선정하는 것이 과제이다. PBAT와 PBS는 모두 생분해성 수지이지만 구성하고 있는 벤젠고리의 유무에 따라 UV에 의한 특성이 상이하게 나타난다. 두 수지의 UV에 대한 영향을 평가하기 위하여 Atlas사의 UV-con을 이용하여 촉진 내후성을 평가 하였다. 사용 된 UV lamp는 314nm의 UV-B lamp 이며 Chamber 내의 condition은 UV 조사 8H(60°C, 0.77w/m²), SPRAY 4H(50°C)로 설정하였으며 50H 가동 후 외관을 점검하였다. 외관 검사 결과 UV-B(314nm)에 의한 광적 열화는 PBAT에서 먼저 진행되는 것을 확인하였다. PBAT는 UV-con 내에서 50H 경과 후 시료 거취대에서 분리하는 순간 필름이 찢어지는 현상이 나타날 정도로 붕괴가 진행 되어 있었으며 상대적으로 PBS는 일정한 Tension과 물성을 보유하고 있어서 거취대에서 쉽게 분리 되었다. 적용 되는 작물에 따라 일부 UV안정제 처방이 필요 할 것으로 보이나 PBAT, PBS 두 수지의 특성을 이용하면 일정기간 광에 의한 붕괴를 Control 할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 18] a) PBS, b) PBAT

2절. 지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증실험

생분해 멀칭필름의 생분해도의 표준은 퇴비화조건에서의 플라스틱의 생분해도 평가(ISO 14855-1)에 의하여 규격화 되지만, 토양에 존재하는 미생물에 의하여 완전 분해되어지는 이유로 피복하고자 하는 현지의 Field 실증이 반드시 필요하다.

본 수행과제의 당해 연도의 목표는 생분해기간이 8개월과 12개월인 제품을 개발하는 것이다. Base Resin인 PBAT 만으로는 생분해도 조절이 용이하지 않기 때문에 생분해기간 조절 용으로 천연고분자계 수지를 적용하였으며 그 중 생분해 기간을 8개월 이내로 단축시키기 위하여 검토한 소재가 Starch와 TPS이다. Starch가 처방 된 Matrix I은 TPS가 처방된 Matrix II에 비하여 가공조제가 어렵고 연속 압출에 따른 잠열 발생 등으로 인하여 성형에

부담이 따르며 필름 성형 후에도 기계적 물성이 TPS 대비 60% 정도로 감소되는 특성을 확인하였으므로 Field 실증 시험 시 생분해도의 비슷한 특성을 가지는 하고 Matrix I 과 Matrix II 중 Matrix II 를 적용하였다.



[그림 19] 경북 의성 봉양면 피복 초기



[그림 20] 경북 의성 봉양면 피복 4개월 경과

Matrix III의 조성(시험품1)과 Matrix II의 조성(시험품2)을 이용하여 1차 시제품을 생산하였다. 작물의 재배 특성에 따라 투명과 흑색으로 필름을 생산 하였고 필름의 두께는 투명 필름은 일괄적으로 15 μ m으로 생산하였으며 흑색필름은 바람이 강하게 부는 제주지역은 재배자의 요청에 의하여 20 μ m, 기타지역은 15 μ m으로 생산하였다. 피복 지역은 시험품1(12개월

생분해 목표- 가제 지속형)과 시험품2(8개월 생분해 목표- 가제 단축형)로 구분하여 피복하였다. 시험품1(지속형)의 피복지역은 경북 의성 봉양면(한지형 마늘)과 제주시 한경면(양파), 시험품2(단축형)는 충남 당진(고구마), 경기도 안산 팔곡동(고추) 등 두 그룹으로 구분하여 피복하였다. 또한 전남 무안의 RDA 국립식량과학원-바이오에너지작물센터(양파)에 시험품1(12개월)과 시험품2(8개월)을 각각 보급하여 시험품의 생분해성을 평가하였다. 시험품1(지속형)의 피복 그룹은 각 지역에서 2013년 10월 말에서 11월 초에 피복하였고, 시험품2(단축형)는 2014년 4월 중순에서 5월 초에 피복진행 하였다.



[그림 21] 경북 의성 봉양면 피복 6개월 경과 - 마늘 수확



[그림 22]경북 의성 안평면 시험품 피복 초기

[그림 23]경북 의성 안평면 피복 초기(좌:관행멀칭)



[그림 24] 경북 의성 안평면 피복 4개월 경과



[그림 25] 경북 의성 안평면 피복 6개월 경과



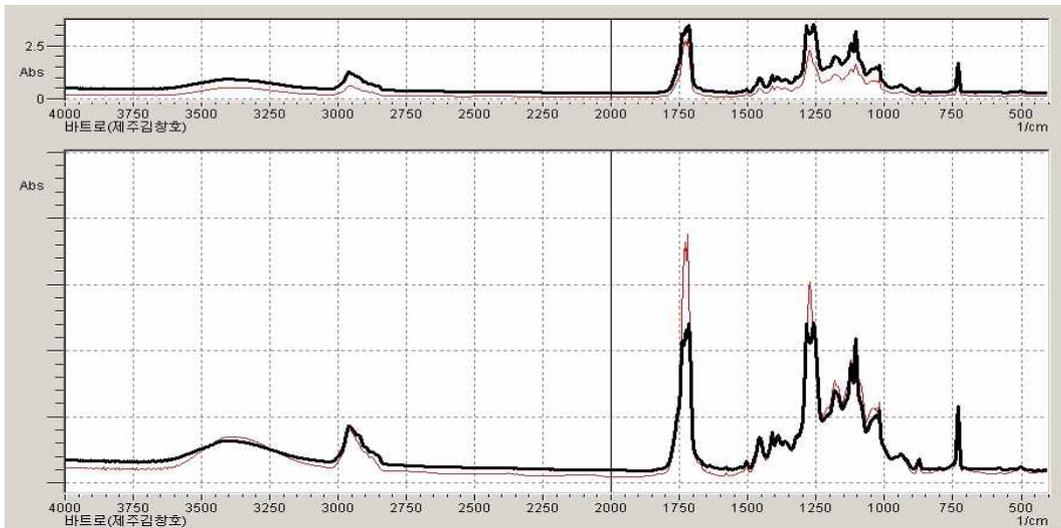
[그림 26] 작물 수확 후 생분해 멀칭 & 관행 멀칭(LLDPE)

시험품 1(지속형)을 피복 한 경북 의성은 봉양면과 안평면 두 군데로 구분되어 진행하였다. 의성은 마늘과 벼를 이모작하는 농법으로 벼 수확이 끝난 논답에 한지형 마늘을 재배하여 이듬해 6월경 마늘 수확을 한 후 바로 벼 모내기를 시행한다. 따라서 일반 전답에 비하여 토양수분과 양분이 풍부할 것으로 예상할 수 있다. 특히, 봉양면에서는 실제로 마늘 씨앗을 심고 멀칭을 피복 후에 밭 전체를 관수하여 수일 동안 물에 담수하는 방식의 농법을 시행하고 있었다. 봉양면의 경우 피복 4개월 경과 시점에서 피복 시 필름의 고정을 위하여 흙으로 덮어 두었던 양쪽 모서리 부분에서 생분해가 진행되었으나 안평면에서는 대부분 생산초기의 물성을 보유하고 있는 것으로 보아 봉양면에 비하여 생분해가 더디게 진행되는 것을 확인 할 수 있었다. 생분해성 수지가 가수분해에 취약한 점을 고려했을 때 개발품이 기대하는 생분해 기간에도 영향을 미칠 것으로 판단되며 Field에서의 생분해도 진행 최종 결과를 평가하여 가수분해에 저항성을 가지는 첨가제를 선정하여 부분적으로 적용 할 필요가 있다. 또한 작물 수확 후 경운 시, 작업의 용의성을 위하여 UV에 의한 붕괴를 조절할 수 있는 Recipe 선정이 요구된다.

제주시 한경면에 피복 된 시험품1(B12)는 PLA Base의 Black MB가 처방된 제품으로 11월 경 피복 하였으나 5개월이 경과 되어도 초기의 물성을 그대로 보유하고 있을 정도로 분해의 정도가 미미하였다. 경북 의성과 동일한 Recipe로 제작 되었으나 필름의 두께가 경북 의성에 비하여 $5\mu\text{m}$ 두꺼운 $20\mu\text{m}$ 이며 Carbon Black의 영향으로 인하여 별도의 UV안정제 없이도 UV에 의한 광적열화의 영향을 적게 받은 것이 초기 물성을 보유한 요인으로 해석할 수 있다. 또한 경북 의성과 제주시 한경면의 토양을 채취하여 강원도농업기술원에서 토양을 분석 한 결과, pH 6.5의 약산성 의성 토양에 비해 제주시 한경면의 토양 pH는 4.7로 강산성을 나타냈으며 BDP 수지를 분해 하는 직접적인 요인이 되는 토양미생물 활동과도 관계 있는 O.M(g/kg)의 함량이 16.5(g/kg)로 의성 봉양면 토양 대비 44% 정도의 수준을 나타냈다. 제주시 한경면에 피복 되었던 시험품1(지속형)의 샘플을 수거하여 FT-IR을 촬영하여 분석한 결과, 생산초기의 시료와 성분 변화가 거의 없었다. 이는 토양에서의 생분해가 거의 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.



[그림 27] 제주 한경면 피복 5개월 경과



[그림 28] 시험품1(B12)의 생산 초기 & 피복 5개월 경과 비교

전남 국립식량과학원에서는 BDP 필름을 이용한 양파와 마늘의 작황을 평가 중이며 본 연구에서는 생분해 속도 조절용 시험품 2종(8개월, 12월)을 위 실험에 공급하여 작황 평가와 별도로 시험품 1(B12)와 시험품 2(단축형)의 생분해성 정도를 평가하였다. 시료는 두께 15 μm , 100cm 폭의 반투명한 필름이며 2013년 10월 18일에 피복하였다. 두 시료의 생분해도 비교 평가에서는 피복 4개월 경과 시점에서 시험품 1(B12)에 비하여 시험품 2(단축형)의 분해 속도가 빠르게 진행되는 것을 확인 할 수 있었다. 두 시료 간에 토중 온도의 차이도 발생하였는데, 시험품 1(B12)는 9.7 $^{\circ}\text{C}$, 시험품 2(단축형)은 8.5 $^{\circ}\text{C}$ 로 두 시료간 1.2 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 지온차가 발생하였다. 이는 시험품 2(단축형)이 시험품 1(B12) 보다 표면의 붕괴가 진행되어 필름이 담아두고 있는 열이 외부로 방출되어 나타나는 현상으로 판단된다.



[그림 29] 전남 무안 시험품 1(B12) 피복 4개월 경과



[그림 30] 전남 무안 시험품 2((단축형) 피복 4개월 경과

8개월 생분해성을 목표로 제작 된 시험품 2(단축형)의 경우, 전남 국립식량과학원을 제외한 충남 당진, 경기 안산, 경기 의정부 등 모든 피복지역에서 피복 1개월 만에 물리적인 분해가 이루어졌다. 개발 당시 기대했던 분해 개시기간에 비하여 광조건 하에서 조기에 분해가 진행되었다. 전남 국립식량과학원을 제외한 지역은 모두 Carbon Black이 함유 된 흑색 필름으로 UV 조사에 의한 영향을 상대적으로 적게 받는 조건이지만 Field에서 나타난 현상으로 보아 광에 의한 붕괴가 진행 된 것을 확인 하였다. 이러한 현상은 1차적인 요인으로 필름 압출 성형 시, 첨가제간의 상용성에서 나타난 현상으로 Carbon Black의 분산이 적정하게 이루어지지 않아 필름의 MD방향(Machine Direction)으로 줄무늬가 형성되면서 필름의 두께 및 착색에 문제가 발생된 것으로 판단된다. 2차 요인으로는 투명 필름에 비하여 상대적으로 UV광에 의한 안정성이 있는 흑색필름이지만 정상적으로 착색 되지 않은 PBAT가 피복작물 재배 없이 1개월 가량 UV광에 노출 되어 열악한 UV조건에 노출 되었던 부분을 발견할 수 있다. 위와 같은 문제는 추가로 진행 된 연구를 통하여 분산성이 상당히 개선되었으며 시험품에 적용 되어 2차년도 Field 실증 실에 적용되었다.

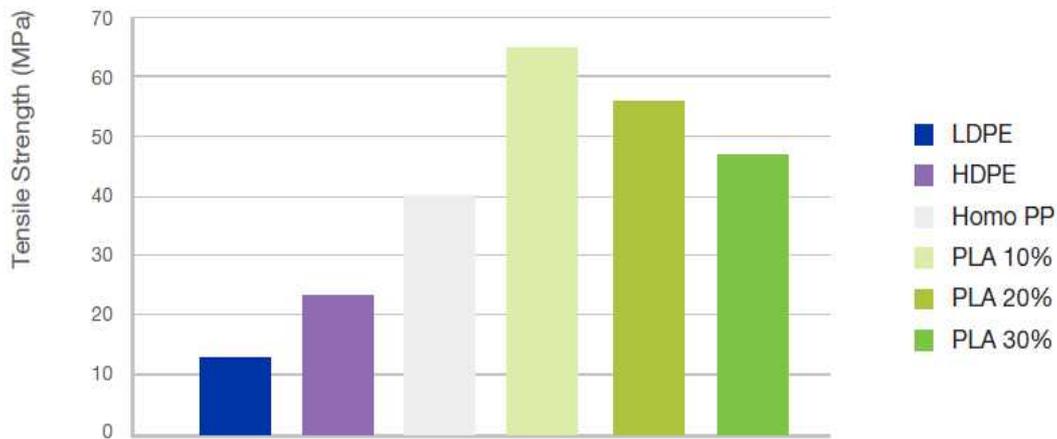


[그림 31] 충남 당진 피복 1개월 경과

3절. 흑색 필름 분산성 향상을 위한 평가

위 Field 평가에서 문제가 되었던 흑색 필름의 분산성 개선을 위하여 Matrix M/B와

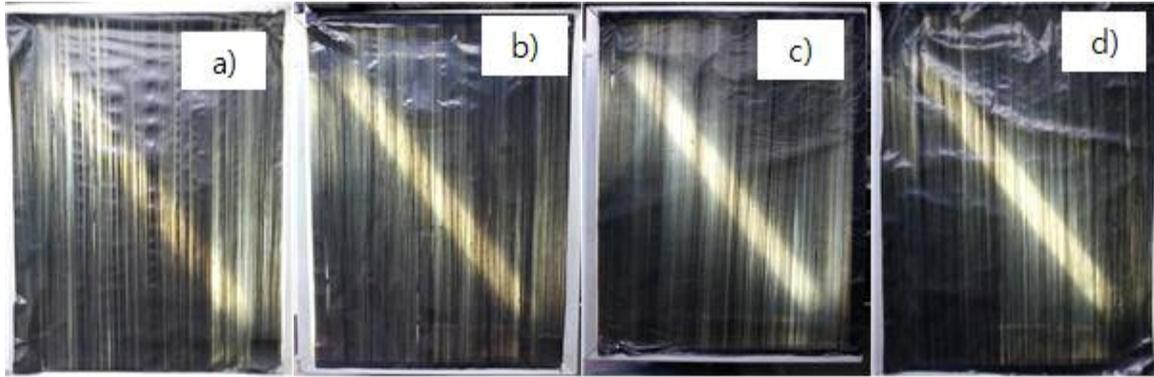
Black M/B의 상용성을 평가 하였다. 이러한 현상은 투명 필름에서 나타나지 않았던 현상으로 흑색으로 착색이 되어지는 과정에서 발생한 것으로 판단된다. 흑색 착색을 위하여 처방 하였던 Black M/B의 조성은 PLA를 Base로 하여 Carbon Black이 20w% 농도로 구성되어 있다. 이미 여러 문헌 등을 통하여 PBAT와 PLA와의 상용성은 검증되어 있는 수지이므로 압출 시, 가공조건에 변화를 주는 방향으로 분산성 안정화를 진행하였다. PLA는 물성면에서 Stiffness가 우수하나 다량 사용 시 필름의 연신율이 저하되고 또한 생분해 속도가 느려 필름 성형 시 적정량을 고려해야 한다. 따라서 PLA의 함량이 전체 성분의 10~20w% 일 때 가장 양호한 기계적 물성을 보유하고 있는 점을 감안하여 시험품에 적용되는 PLA 함량은 10~20w% 이하에서 관리하여 실험 을 진행하였다.



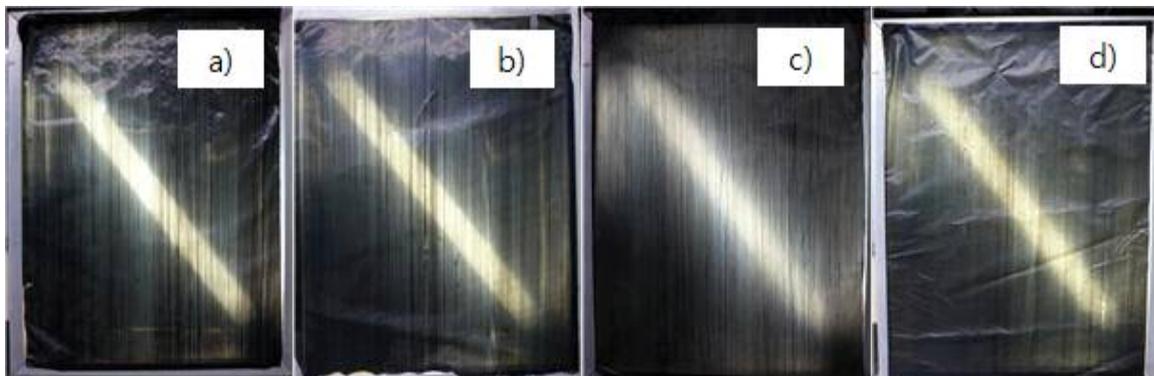
[그림 32] PBAT와 PLA Blending 효과 (자료 출처 : 삼성정밀화학)

성형에 사용되는 PLA는 C사에서 제공한 96% 1-lactide를 사용하였고 국내 T업체에서 Carbon Black 20w% 함량으로 Compounding 하였다. PLA 함량을 20w% 수준에서 작업 온도를 상승 시키며 성형하였다. PLA는 다른 BDP수지에 비하여 열분해 온도(Td)가 20~30℃ 높기 때문에 필름 성형 압출 시 작업온도에 주의가 필요하다. 함께 Dry Blending 되는 Starch는 적정 가공온도를 150℃ 내외에서 가공해야 하므로 보다 열적으로 안정적인 TPS를 적용하여 성형 가능한 온도까지 최대한 상승시켜 작업하였다.

Black M/B의 분산성 검사는 KS M 3503(농업용폴리에틸렌필름규격)의 시험방법에 준하는 간이 외관검사기를 자체 제작하여 필름의 분산성 검사를 실시하였다. [그림 33]의 a)는 PLA 함량 20w%의 작업온도 150℃에서 작업하였으며 b)는 PLA 함량 20w%의 155℃에서 작업하였다. c)는 160℃에서 d)는 165℃에서 작업하였다. 가공온도가 170℃ 이상 상승하면서 필름이 용융상태가 되어 더 이상 작업이 진행되지 않았다. a), b)는 필름의 Stiffness가 HDPE 수준으로 향상되었으나 Machine Direction으로 Die Line이 형성되었고 Black 부분의 골 간격이 손으로 느껴질 정도로 깊게 잡혀있었다. 비교적 온도를 높게 설정하여 압출한 c), d)는 Stiffness가 감소하고 골의 정도가 감소하였으나 여전히 MD방향의 Die Line이 형성 되는 것을 확인 할 수 있었다.



[그림 33] a) PLA 20w%, 150°C, b) PLA 20w%, 155°C, c) PLA 20w%, 160°C, d) PLA 20w%, 165°C



[그림 34] a) PLA 10w%, 150°C, b) PLA 10w%, 155°C, c) PLA 10w%, 160°C, d) PLA 10w%, 165°C

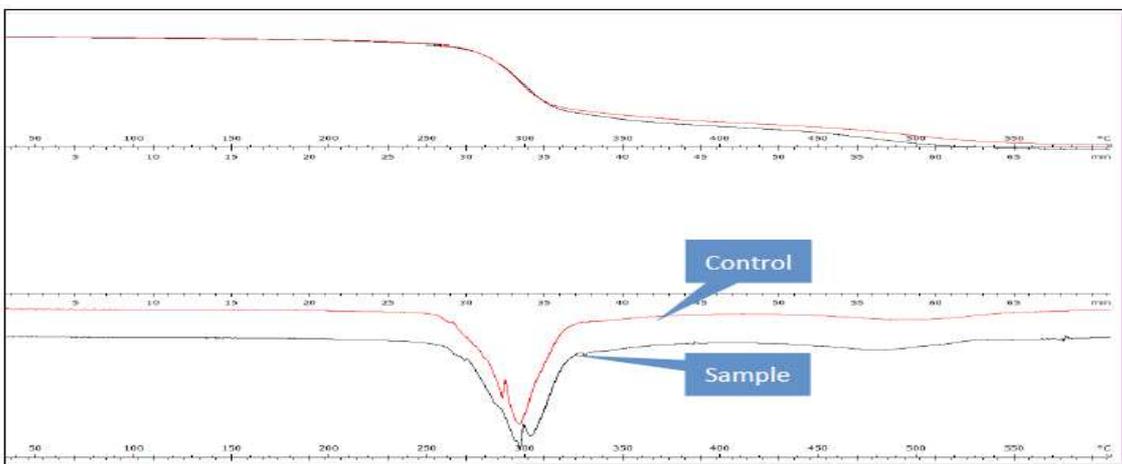
Black M/B의 분산 개선을 위한 2차 압출평가는 PLA의 함량을 10w%로 낮추고 위 실험과 동일하게 가공온도를 5%씩 상향 조정하면서 실시하였다. 결과 [그림 34]에서 보는 바와 같이 가공온도가 5°C 씩 상승할수록 필름표면의 분산성이 양호하게 변화 되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 d)에서도 MD방향으로 미세한 Die line이 나타났다.

위 실험으로 분산성이 개선되는 현상은 검증되었으나 필름의 개구성³⁾에는 변화가 없었다. 연구 논문에 따르면 열적변성전분인 TPS와 PLA(MPLA)의 Blend 의 계면접착력은 향상되어 진다고 밝혔다.⁴⁾ 시험품 생산에 이용된 TPS의 글리세린 함량에 의한 점성이 개구성 불량³⁾의 원인이 될 수도 있는 상황이라 필름 압출가공에 적절한 함량의 글리세린이 적용되었는지의 점검이 필요하여 (주)대상에 TGA 열분석을 통하여 TPS에 포함되어 있는 글리세

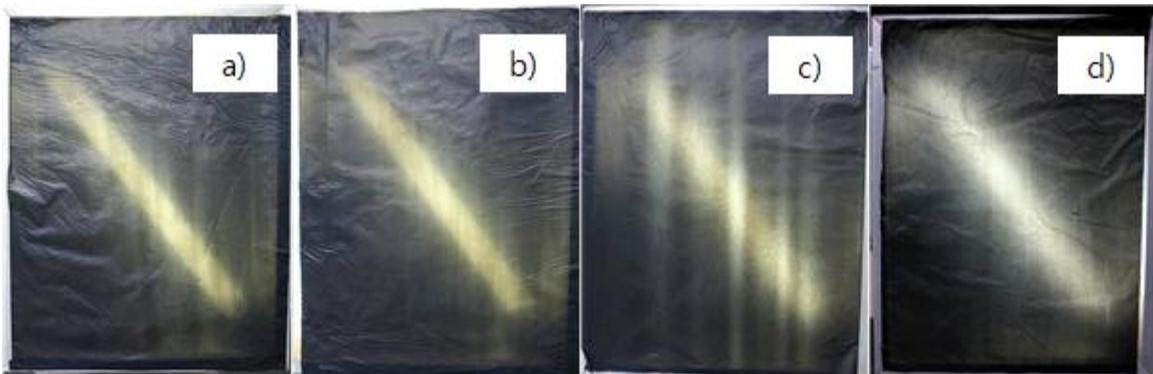
3) 개구성 : Blown 압출 필름 제품에서 매우 중요한 물성의 하나로 붙어있는 두겹의 필름을 분리시키는데 필요한 단위폭 당 평균 부하를 개구성이라 한다.

4) PLA/TPS 블렌드의 물성과 형태학에 관한 연구, 정병욱외, 영남대학교 화학공학, 1998

린을 용출시켜 함량을 분석하였다.[그림 35] 분석 결과 일반적으로 적용 되는 글리세린 함량(11~14.5%)이 용출 되었다. PLA 함량의 조정과 가공온도 조건의 변화로 흑색필름의 분산성을 일정부분 보완하였으나 보다 완전한 개선과 개구성 개선을 위하여 PLA/TPS 이외의 소재를 적용 할 필요성을 감지하였다. 본 연구를 통하여 생분해 멀칭의 생분해성 향상과 가공성 향상을 위하여 Matrix M/B를 개발하였다. 개구성 개선을 위하여 사용된 첨가제는 프랑스 O사의 CaCO₃이며 ppm 수준의 처방이 되는 Slip agent, Anti-blocking agent와 달리 w% 수준까지 혼용이 가능하여 Extruder 혼련 시 PLA와 TPS의 계면 점착특성 완화에 효과적으로 활용 할 수 있다.



[그림 35] TPS TGA 분석 결과 (주대상)



[그림 36] a) CaCO₃ 3w%, 160°C, b) CaCO₃ 3w%, 165°C,
c) CaCO₃ 5w%, 160°C, d) CaCO₃ 5w%, 165°C

위 [그림 36]에서 CaCO₃ 함량이 5w% 인 c), d) 가 3w% a), b) Die Line이 고르게 분산되는 것을 확인 할 수 있었으며 개구 특성도 개선되었다. 또한 CaCO₃ 함량이 5w% 인 c), d) 의 엄폐력이 더 양호한 것을 확인 할 수 있었다.

4절. 연구의 결과물 평가

본 연구의 종합적인 평가를 통하여 생분해 진행기간을 일정기간 단축시킬 수 있는 조성의 Bio M/B 1과 토양 내의 가수분해가 지연 될 수 있는 조성의 Bio M/B 2를 각각 개발하였다. Bio M/B 1은 Matrix II 조성을 포함하여 생분해 8개월, Bio M/B 2는 Matrix III 조성을 포함하여 생분해 12개월을 목표로 각각의 Recipe로 확정 하였으며, 상대적으로 Microbes와 Hydrolysis에 느리고 UV에 의한 분해속도가 빠른 PBAT의 특성과 Microbes와 Hydrolysis에 빠르고 UV에 의한 분해속도가 느린 PBS의 특성을 이용하여 Bio M/B를 포함하는 다층 공압출용 생분해 필름 Recipe를 개발하였다. 공압출 필름은 Skin Layer와 Core Layer의 층간 조성비를 달리하여 분해 인자(Microbe, Hydrolysis, UV)에 의한 Layer 간 분해 속도의 진행을 임의로 Control 할 수 있는 장점이 있다. 다만, 피복하고자 하는 토양의 물리, 화학적 특성에 따라 그 결과는 유동적일 수 있다.

	pH (1:5)	EC (dS/m)	O.M (g/kg)	P2O5 (mg/kg)	Ca	K	Mg	LR (kg/10a)
					cmol+ /kg			
제주시 환경면	4.7	0.8	16.5	1037	2.9	1.4	1.2	265
서귀포시 상모리	7.0	0.2	41.6	245	15.3	2.2	3.3	133
경북 의성 봉양면	6.5	1.2	37.1	675	11.8	1.3	2.7	133
적정범위 ⁵⁾	6~6.5	2이하	25~35	350 ~500	6~7	0.7~0. 8	2~2.5	-

표 6. 제주시 환경면 토양, 경북 의성 봉양면 토양 분석 비교 (강원도농업기술원)

위 표6은 피복 5개월이 경과하는 동안 분해가 진행 되지 않았던 제주시 환경면 양파밭의 토양과 피복 3~4개월 만에 토양으로 덮은 양쪽 모서리 부위에서 생분해가 진행되었던 경북 의성 봉양면의 토양을 각각 채취하여 강원도 농업기술원에 토양분석을 의뢰하였다. 표의 결과만으로 BDP수지의 생분해도와 직접저적인 관여도를 판단하기에 다소 무리가 있으나 BDP수지가 토양 미생물에 의해 분해 되는 점을 감안 하였을 때, 측정 항목 중 토양 미생물 생육환경에 영향을 미칠 수 있는 인자(pH도, O.M-Organic Matter, P2O5, LR-Leaching Requirement)들의 측정치를 비교하면 경북 의성 봉양면 토양이 6.5 수준의 pH를 나타내는 반면 제주시 환경면의 토양은 pH 4.7 수준으로 강산성을 나타내고 있다. 일반적으로 토양미생물은 pH6.0~7.0에서 가장 활발하게 활동하게 되는데 환경면의 경우

5) 적정 범위 : 양파 재배 기준 - 강원도 농업기술원

pH4.7로 산성화가 양분의 결핍이 생길 수 있고 독성물질에 의하여 식물 생육과 토양미생물 활동이 억제될 수 있다. 실제로 환경면 토양의 유기물 함량(O.M)은 경북 의성 봉양면에 비하여 50% 수준으로 토양미생물 생육 환경으로는 상당히 열악한 조건임을 확인 할 수 있다. 결과적으로 BDP 멀칭필름은 생분해도를 위한 필름 자체의 구성성분도 중요하지만 실제 피복되어 지는 토양의 물리, 화학적 특성 및 일사량, 강수량 등의 환경적 요인에 의한 영향이 지대하다는 사실을 참고 할 필요가 있다. 본 연구의 결과물인 Bio M/B 1과 Bio M/B 2를 각각 Pilot Extruder를 이용하여 두께 15 μ m의 필름을 성형하였다. 이 두가지 결과물을 가지고 기계적 물성평가(KS M 3503), UV를 이용한 축진 내후성평가, 자연광을 이용한 내후성평가, pH 농도차를 이용한 분해특성 평가, 퇴비화 조건에서의 플라스틱의 생분해도 시험(KS M 3100), 환경 유해물질 인증(RoHS) 등을 진행하고 있다. 평가 항목 중 기계적 물성평가(KS M 3503), 퇴비화 조건에서의 플라스틱의 생분해도 시험(KS M 3100)시험은 평가의 신뢰성 확보를 위하여 공인기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)을 통하여 분석의뢰 하였으며, UV를 이용한 축진 내후성평가, 자연광을 이용한 내후성평가, pH 농도차를 이용한 분해특성 평가, 플라스틱 재료 붕괴도 측정 실험 (KS T ISO 20200) 등은 자체 실험실 보유 장비를 통하여 진행하였다.

5절. 무기영양소가 첨가된 생분해 멀칭필름 개발

1차년도 개발을 통하여 작기에 영향을 주지 않는 수준의 생분해 멀칭필름 분해기간을 조정할 수 있는 기술을 개발하였다. 2차년도 연구과제의 궁극적 목표는 지속가능한 농업을 실현시키는 것이다. 따라서, 생분해성 멀칭이 토양 중에서 분해 될 때, 필름 내부에 있던 작물 생육에 이로운 물질이 토양에 유입되고 차후 재배 시, 이를 작물이 이용할 수 있도록 하여야 한다. 뿌리를 튼튼하고 건강하게 하여 생장에 필요한 영양소를 보다 많이 흡수 할 수 있도록 만들어 주어 생산량을 증가 시킬 수 있다.

작물을 재배하고 있는 우리나라의 대부분의 토양은 이미 비옥한 상태라고 볼 수 있다. 생분해 멀칭필름에 필수비료 성분(N, P, K)을 처방하는 것은 필름내의 비료함량이 높아져 필름의 압출성형에 제한이 되며, 또한 작물, 지역에 맞는 적정시비량을 산정하기에는 너무나 다양한 조건이 수반되어야 하기 때문에 3대 비료의 처방은 크게 의미가 없다. 따라서 필름 압출 성형성에 영향을 미치지 않으며 소량으로도 작물 생육에 도움이 되는 미량원소를 적용하고자 한다.

1. 무기영양소 특성분석

식물은 토양으로부터 대부분의 필요한 영양소를 흡수하며, 이 영양소는 토양광물, 유기물 및 비료와 같이 인위적으로 첨가되는 여러 가지 물질로부터 공급된다. 식물이 필요로 하는 필수원소는 C, H, O를 비롯하여 N, P, K, Ca, Mg, S과 같은 다량원소와 Fe, Mn, Cu, Zn,

Cl, B, Mo와 같은 미량원소로 구분되며, 필수원소가 하는 역할은 아래와 같다.

가. 인(phosphorus, P)

핵산, 세포막, 인지질, 설탕, 인산염, ATP와 ADP의 구성 성분으로서 세포의 에너지 대사에 중요한 역할을 한다. 세포 분열 및 지방과 알부민의 형성, 종자 형성을 포함하여 개화 및 결실, 작물의 성숙 및 과잉 질소 사용에 따르는 부작용 방지, 뿌리(특히 측근 및 섬유성 세근)의 발육, 곡물 작물의 통한 도복 방지, 특정 질병에 대한 저항성 강화 및 작물(특히 사료 및 과채류)의 품질 개선에 기여한다. 인이 결핍될 경우 단백질 및 핵산의 합성이 제한된다. 때문에 작물의 생장이 저하되며 뿌리 발육이 불량해져 잎에 톱니형 괴사 증상이 발생하고 어린잎에 진한 녹색이 띄는 현상이 발생된다. 인 결핍 현상은 오래된 잎에서 먼저 발생한다.

토양 중의 인의 총 함량은 0.005~0.15%이며, 식물은 토양용액으로부터 $H_2PO_4^-$ 나 $H_2PO_4^{2-}$ 와 같은 무기인산형태의 인을 흡수한다. 인은 토양중의 총 함량이 적고 또한 불용성 화합물을 쉽게 형성하기 때문에 식물에 대한 이의 유효도는 매우 제한적이다. 때문에 토양 중의 인의 유효도 관리는 중요하다. 식물은 전적으로 토양으로부터 인을 공급받으며, 공급되지 않는 경우에는 식물의 생장이 급격히 제한된다. 토양중 인 함량은 101~2494kg/ha이며, 토양 표면 2cm를 기준으로 998kg/ha정도 존재한다.

토양용액 중 인의 적정 농도는 작물의 종류와 생육 단계에 따라 다르지만, 일반적으로 여러 작물에 대하여 0.2~0.3mg/kg이 적당하다고 한다.

나. 칼륨(kalium, K)

칼륨은 식물의 구조를 형성하는 원소는 아니지만, 다양한 생리, 생화학적인 기능을 담당한다. 칼륨은 식물체 내에서 NO_3^- 이나 SO_4^{2-} 과 대응하여 이온균형을 유지하는데 중요한 역할을 하며, 공변세포의 팽압을 조정하는 이온으로 기공의 개폐에 관여함으로써 광합성과 증산에 영향을 끼친다. 칼륨은 다양한 종류의 효소 작용을 활성화시킴으로 단백질과 전분의 합성에 관여한다. 특히, 칼륨은 당이나 전분의 함량이 많은 감자, 사탕무, 사탕수수 등의 작물에서 수량과 품질에 영향을 끼친다. 칼륨은 이동성이 강하여 어린 조직에 축적되는 경향이 있기 때문에 체내 함량이 부족한 경우에는 오래된 잎에서 그 증상이 먼저 나타난다. 결핍이 심하지 않은 경우에는 잎의 색이 연해지는 수주네 그치지만, 결핍이 심해지면 잎의 주변과 끝부분에서 황화 현상이나 괴사현상까지 나타난다. 작물 생육에 필요한 토양용액 중의 칼륨 농도는 작물의 종류와 성장정도 및 수분함량 등의 토양조건에 따라 달라지지만, 최적 농도는 20-60mg/kg수준이다.

다. 황(sulfur, S)

황은 주로 SO_4 의 형태로 뿌리를 통하여 식물에 흡수되지만, 대기 중의 SO_2 이 기공을 통하여 일부 흡수된다. 황은 아미노산 cysteine과 methionine의 구성성분으로 단백질이나 폴리펩티드 중에서 disulfide결합을 형성한다.

식물체 내 황의 90%이상이 단백질에 존재한다. 또한, 황은 coenzyme-A와 비타민 중 biotin과 thiamine의 구성성분이다. coenzyme-A는 지질의 합성과 에너지 전달반응에 관여한다. 식물체 중에는 황이 대개 0.1~0.5% 함유되어 있으며, 곡류작물의 경우 0.1~0.2%가 함유되어 있어야 생육에 지장이 없다. 반면, 배추과 작물의 경우에는 요구량이 많아 1% 이상 축적되기도 한다. 황의 결핍증상은 질소결핍증상과 유사한데, 부족할 경우에는 황 함유 단백질의 합성이 원활하지 못하므로 생육이 억제되고, 결실 또한 지연된다. 대부분의 식물의 어린 잎에서 황화현상이 먼저 나타나고 콩과작물의 경우 근류(뿌리혹)의 형성이 저해되기도 한다.

라. 아연(zinc, Zn)

아연은 Zn^{2+} 형태로 식물에 흡수되는데 식물체 내의 아연함량은 100mg/kg저도로 매우 적다. 식물의 인산 흡수가 많을 때 아연흡수가 억제되며 구리와 경쟁관계에 있는 것으로 알려져 있다. 이동량이 적어 뿌리 조직에 많이 축적되며, 결핍식물에서 노화된 잎에 함유된 아연이 어린 조직으로 이동하기는 매우 어렵다. 특히 아연은 RNA polymerase와 RNase의 활성 및 리보솜의 구조의 안정화에 관여하므로 단백질 대사에 크게 영향을 끼친다. 그러므로 아연이 결핍되면 RNA의 함량이 감소되고, 또 리보솜의 함량이 감소되며, 결국 단백질 합성이 저해된다. 아연은 carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase 등의 효소의 활성화에도 관여한다. 식물체의 아연함량이 건물기준으로 15~20mg/kg이하이면 결핍증상이 나타날 수 있는데 줄기의 마디길이가 짧아지는 로제트 현상과 잎의 크기가 작아지는 little leaf현상이 특징적인 결핍현상이다. 이러한 현상은 아연이 식물생장호르몬으로 작용하는 IAA의 합성에 관여하기 때문이다. 또한 아연이 부족할 경우에는 오래된 잎에서 황화현상이 나타나는데, RNA의 합성이 억제되어 엽록체가 정상적으로 발달하지 못하기 때문이다.

마. 칼슘 (calcium, Ca)

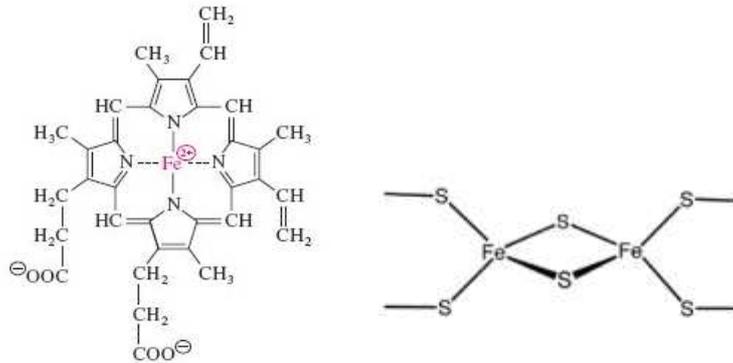
칼슘은 식물의 생장과 대사활동에 필수적인 영양원소이다. 칼슘은 Ca^{2+} 형태로 흡수되어 식물의 조직 내에서도 Ca^{2+} 형태로 존재하는데, 주로 세포벽에 다량 존재하면 펙틴(pectin) 등 세포벽 구성물질 중 COO-기에 결합하여 세포벽의 구조적인 안정성을 높여주고 세포막에서도 이러한 역할을 한다. 따라서, 칼슘은 세포의 신장과 분열에 필요하고 부족할 경우에는 성장점의 조직이 파괴되어 새 잎이 기형으로 되고 뿌리의 신장이 나빠진다. 칼슘은 또한 APTase를 포함한 여러 효소의 활성화에 관여하며, 특히 Ca^{2+} 이 결합된 단백질인 calmodulin은 효소의 작용을 조절하는 것으로 알려져 있다. 칼슘은 식물체 내에서 비확산성 음이온에 쉽게 흡착되므로 그 이동성이 매우 낮다. 따라서 흡수된 칼슘이 오래된 조직으로부터 새로 성장하는 유조직으로의 이동과 재분배는 매우 어렵다. 그러므로 칼슘은 작물재배기간 동안 지속적으로 토양에 흡수되어 증산류를 따라 직접 필요한 부위로 공급되어야 한다. 칼슘함량은 곡류작물의 경우 0.5%정도이고 콩과작물의 경우에는 그 요구도가 대개 1~2%정도이다.

바. 철(iron, Fe)

식물의 철 함량은 50~350mg/kg수준이며, 식물의 종류에 따라 다르지만 건물기준으로 잎 중의 함량이 50-150mg/kg이하이면 결핍현상이 나타날 수 있다. 철은 식물체 내에서 매우 다양한 역할을 하는데, 주로 착화합물을 형성할 수 있는 특성을 지니고 있고 Fe^{3+} , Fe^{2+} 로 존재할 수 있어 산화환원반응을 유도 할 수 있기 때문이다.

철은 haemoprotein이나 Fe-S protein과 같은 단백질과 결합하여 산화환원과정에 관여하는데, haemoprotein으로는 질소고정작용에 필요한 leghaemoglobin과 광합성이나 호흡과정에서 전자전달 역할을 하는 시토크롬 그리고 cytochrome oxidase, catalase, peroxidase 등의 효소가 해당한다. 또한 철은 엽록서의 생합성과정에 직접 관여하기도 한다. 철의 결핍증상은 마그네슘 결핍증상과 유사한데, 이는 두 원소가 공통적으로 엽록서의 생성에 관여하기 때문이다. 마그네슘의 결핍현상이 오래 된 잎에서 먼저 나타내는데 비하여 철의 결핍현상은 항상 어린 잎에서 주로 나타난다. 엽맥 사이의 황화현상이 특징적인 결핍증상이고 특히 아주 어린 잎에서는 백화현상이 나타나기도 한다.

철 결핍현상은 석회질 토양에서 자주 나타나며, 일반 토양에서도 과도하게 석회를 시용했을 때 발생할 수 있다.



[그림 37] haemoprotein과 Fe-S protein의 구조

사. 구리(copper, Cu)

구리는 토양용액 중에서 Cu^{2+} 형태로 존재하며 유기물과의 결합력이 매우 강하고 이동성이 낮은 특징이 있다. 석회를 시용하여 pH가 높아지면 구리의 용해도가 감소된다.

구리의 흡수는 토양용액 중에 농도에 의하여 주로 결정되는데 흡수과정에서 아연과 경쟁하는 것으로 알려져 있다. 식물체 내 구리함량은 건물기준 2~20mg/kg이며 대부분 토양에서 구리의 결핍현상은 나타나지 않는다.

구리는 식물에 흡수되어 엽록체 내에 대부분 함유되어있으며 광합성과 단백질이나 탄수화물의 대사과정에 필요한 cytochrome oxidase와 같은 산화환원 관련 효소에 필요한 원소이다. 또 플라스토시아닌(plastocyanin)의 구성성분으로 산화환원 반응에 관여하는 효소의 보조인자 역할을 수행하며 세포벽의 목질화에 관여한다.

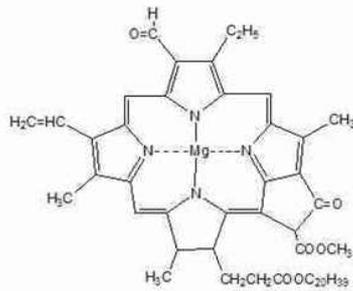
구리가 결핍되면 잎에서 백화현상이 나타나며 잎 전체가 좁아지고 뒤틀린다. 개화 지연이나 곡류작물의 경우 결실이 되지 못하고 생장점 고사현상 등도 결핍증상으로 나타난다. 이러한 현상은 어린 잎에서 먼저 나타나 오래된 잎으로 퍼져나간다.

아. 마그네슘(magnesium. Mg)

마그네슘은 Mg^{2+} 의 형태로 식물에 흡수된다. 식물에 의하여 흡수되는 마그네슘의 총량은 칼슘과 칼륨에 비해 낮으며, 건물 기준으로 0.5%종도의 함량이다.

마그네슘은 광합성에 관여하는 엽록소 분자의 구성원소이다. 또한 인산화작용을 활성화 시키는 효소들의 보조인자로 작용하는데, 이 때 마그네슘은 ATP의 pyrophosphate와 효소분자 사이에서 가교역할을 한다.

마그네슘이 결핍되면 엽록소의 합성이 저해되므로 잎에서 엽맥 사이의 황화 현상이 뚜렷하게 나타난다. 마그네슘은 칼슘과 달리 체관부를 통한 이동성이 있으므로 식물체 내에서 재분배가 가능하며, 따라서 결핍증상은 오래된 잎에서 먼저 나타난다.



Chlorophyll b

[그림 38] 엽록소의 구조

자. 망간(mangan, Mn)

식물은 망간을 Mn^{2+} 형태로 흡수하며, 흡수율이 낮은편인데 이는 2가의 양이온과 경쟁적인 관계에 있기 때문이다. 토양 pH가 높거나 유기물 함량이 많으면 망간결핍이 일어나기 쉽다. 망간은 주로 산화환원과정에 관여하는데 구연산회로에서 탈탄산과 탈수소효소들을 활성화시키거나 광합성과 질소동화작용에 관여하며 유해 활성 산소를 없애는 usperoxide dismutase(SOD)의 보조인자로 작용한다. 망간이 부족할 경우 조직이 작아지고 세포벽이 두꺼워지며 표피조직이 오그라든다 또 엽맥과 엽맥 사이에서 황백화 현상이 나타나고 마그네슘과 달리 노화된 잎에서 먼저 나타난다. 보리나 귀리에서는 엽맥 사이에 갈색 또는 회색의 반점이 나타나기도 한다.

차. 몰리브덴(molybdenum. Mo)

몰리브덴은 식물에 대한 필수성이 공통적으로 인정되는 영양소 중에서 식물의 요구도가 가장 낮다. 식물체 중 몰리브덴 함량은 건물기준으로 1mg/kg 이하이고, 식물 종류에 따라 다르지만 대개 잎 중의 함량이 0.1~1.0mg/kg이하이면 결핍증상이 나타난다.

몰리브덴은 주로 질소대사와 밀접한 관련이 있으며, 질소고정에 많이 의존하는 콩과작물의 경우 몰리브덴이 많이 필요하며, 일반 식물에서 질소원으로 NO₃⁻을 주로 이용하는 경우에는 몰리브덴이 필수적이다. 몰리브덴 결핍증상은 오래된 잎에서 먼저 나타나며, 황화현상과 잎 변두리부분이 오그라드는 현상이 나타나며 잎이 작아지거나 피사반점이 생기기도 한다. 몰리브덴의 결핍이 심한 경우에는 그 증상이 질소의 결핍과 유사하게 나타나는데 이는 위에서 설명한 바와 같이 몰리브덴이 질소대사에 관여하는 주요 효소의 보조인자로 작용하기 때문이다.

2. 무기영양소가 첨가 된 Matrix 수지의 Compounding 기술 개발.

개발 중인 생분해성 멀칭에 다양한 무기영양소를 함침하기 위하여 검토한 것은 국내에서 쉽게 접할 수 있는 탄산칼슘, 제올라이트, 규소 등의 광물질이다. 이들은 우리나라 토양에서 어렵지 않게 확인 할 수 있으며 작물생육에 직접적으로 관여하는 필수원소는 아니지만 여러 가지 기능을 가지고 식물 생육 및 병해를 예방하고 산성화된 토양을 중화 시키는 토양 개량제로 주로 사용 된다. 각 성분의 기능은 다음 표와 같다.

종류	특징	적정 시비량
제올라이트	<ul style="list-style-type: none"> - 제올라이트비료의 CEC(양이온치환용량)⁶⁾은 80me/100g 이상이며 결정형의 미세다공질로 이속에 물과 비료를 잘 보관 함. - 점착력이 좋아 땅을 부드럽게 하므로, 피트모스와 같은 재료들과 섞어 배양토(상토, 배토)의 원료로도 쓰임. - 식물 성장 촉진 : 제올라이트 사용 시 토양 중 암모니아태⁷⁾ 질소함량이 증가되어, 식물 생육량이 증가 함.⁸⁾ 	1ton/10a당 1톤 (부분 시비 시 500kg/10a당)
규산(SiO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> - 규산질비료는 알카리분이 40%이상 함유되어 있어 산성토양을 개량하여 주고 석회·고토성분은 미질 및 등숙률⁹⁾을 향상 시킴. - 규산질비료는 식물의 필수원소는 아니나 벼는 규산(SiO₂)을 다량 함유하고 있어 비료를 줄 경우 10%정도의 증수효과가 있으며, 내충성과 내병성이 높아짐 - 작물체내에서 줄기와 잎의 표피세포의 규화를 촉진하고 조직을 굳게 하며, 결핍지 줄기와 잎이 연약해 짐 	벼에 대한 표준 사용량은 10a당 200~300kg

6) 100g이 보유하는 치환성 양이온의 총량을 mg당량(milli equivalent, me)으로 표시. 토양의 잠재적 비옥도를 측정 할 때 쓰임.

7) 식물이 흡수 할 수 있는 형태의 질소

8) 사력질 시설 오이 재배지에 인공제올라이트를 사용하므로써 착과수가 증대하여 수량이 증가한 연구사례도 존재.

<인공제올라이트의 농업적 실용화 연구> 인공제올라이트를 이용한 시설원예지 토양환경 개선, 농진청

9) 증수성에 관여하는 요소. 벼의 증수성은 이삭수, 등숙율, 천립중 등이 관여함.

탄 산 칼슘 (CaCO ₃)	<ul style="list-style-type: none"> - 석회는 산성토양을 중성토양으로 개량하여 작물의 영양흡수를 돕고, 탄수화물의 이동을 촉진하여 뿌리 및 잎 줄기를 튼튼하게 함. - 식물에 질산태 질소, 칼리, 고토 의 흡수를 조화롭게 하는 등의 효과가 있음. - 석회는 토양미생물의 활동을 촉진하여 유기물분해촉진, 입단구조의 발달촉진 등 토양의 물리성을 개선하고, 양분의 유효도를 증진시켜 작물의 뿌리발육 및 생육을 촉진 함. 	200kg/10a
--------------------------------	---	-----------

표 7. 광물질 특성 비교

이러한 성분들이 피복 필름 내에 처방되어 토양의 화학성을 개선시키기 위해서는 200~1,000kg/a 정도의 상당히 많은 양이 투입되어야 하며 그로인하여 필름 성형 및 생분해성 기능에 문제를 야기 시키게 된다. 본 연구에서는 이러한 광물질의 이용을 토양개량의 효과보다는 작물의 근권부 생육에 도움이 될 수 있는 미량원소를 함침하는 모체의 개념으로 접근하고 위 1장에서 거론 된 미량원소를 처방한 기능성Matrix M/B(가제)를 개발 하고자 한다.

가. 미량원소 선정 및 가공평가.

미량원소를 함침 한 Matrix M/B를 개발하는 데에 있어 가장 중요한 사항은, 포함하고 있는 각각의 성분을 유실하지 않고 최적의 상태로 Compound 하는 것이다. 본 개발을 위하여 사용 된 미량원소는 미국 ‘N’사에서 공급 된 뿌리착근용 ‘H’제품(비료수입업 등록 : 번호 제 14가-미량 4-22호)으로 액상타입의 복합비료제이다.

‘H’제품을 선택한 이유는 천연광물을 가압 가열 처리 후 액상으로 만들어 철(Fe), 황(S), 마그네슘(Mg), 아연(Zn), 붕소(B), 몰리브덴(Mo), 코발트(Co)등의 천연상태의 미량요소를 함유하고 있어 뿌리 발근에 탁월한 효능을 갖추고 있으며 천연광물질에서 추출한 성분이므로 친환경 농업에 적합하여 생분해 멀칭필름의 사용목적과 일치한다고 판단하였다.

액상 상태인 다종의 미량원소를 입상화 하기 위하여 함침 시킬 모체는 CEC(Cation Exchange Capacity)가 높고 다공성 광물인 제올라이트(CEC 75meg/100g 수분함량 1% 이내, 16~42mesh)를 이용하였다. 다공성 제올라이트는 물분자와 칼륨, 칼슘 그 외의 실리 콘 및 알루미늄이온으로 이루어진 규산염 구조로 높은 CEC를 가지고 있으며 이로 인하여 작물의 근권부에서 CEC를 높여주어 식물의 뿌리생장에 유용하고 다공질이기 때문에 물과 비료를 잘 보관할 수 있으며 산과 알카리 등 화학 물질에도 안정하다. 물의 근권부에서 CEC를 높여주어 식물의 뿌리생장에 유용하고 다공질이기 때문에 물과 비료를 잘 보관할 수 있으며 산과 알카리 등 화학 물질에도 안정하다.

Huffman Lab No. 188107
October 23, 2007
Page 1 of 2

No. [REDACTED]
Stephen A. Schuchardt

ATOMIC NUMBER	ELEMENT NAME	ELEMENT SYMBOL	Sample #1	Sample #1	Sample #1	Sample #2	Sample #2
			188107-21	188107-212	188107-217	188107-02	188107-02d
			conc	conc	conc	conc	conc
1	Hydrogen	H	NA	NA	NA	NA	NA
2	Helium	He	NA	0.1	0.1	<0.1	<0.1
3	Lithium	Li	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
4	Beryllium	Be	<0.1	<0.1	<0.1	NA	NA
5	Boron	B	<0.1	NA	NA	NA	NA
6	Carbon	C	NA	NA	NA	NA	NA
7	Nitrogen	N	NA	NA	NA	NA	NA
8	Oxygen	O	NA	NA	NA	NA	NA
9	Fluorine	F	NA	NA	NA	NA	NA
10	Neon	Ne	NA	NA	88.4	88.0	88.2
11	Sodium	Na	69.7	88.8	70.3	88.4	88.8
12	Magnesium	Mg	70.7	70.7	26.7	25.2	25.2
13	Aluminum	Al	29.7	26.8	26.7	5.1	4.9
14	Silicon	Si	33	6.1	5.0	389.0	389.0
15	Phosphorus	P	380.0	278.0	258.0	287.0	358.0
16	Sulfur	S	388.0	NA	NA	NA	NA
17	Chlorine	Cl	NA	NA	NA	NA	NA
18	Argon	Ar	NA	172.7	177.2	178.0	178.0
19	Potassium	K	178.0	58.0	66.2	52.2	54.2
20	Calcium	Ca	84.4	0.2	0.2	0.2	0.2
21	Scandium	Sc	0.2	1.2	1.1	1.1	1.2
22	Titanium	Ti	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
23	Vanadium	V	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12
24	Chromium	Cr	51.7	51.6	50.0	49.1	50.0
25	Manganese	Mn	81.4	81.1	88.8	88.5	88.1
26	Iron	Fe	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
27	Cobalt	Co	1.6	1.7	1.6	1.7	1.7
28	Nickel	Ni	8.8	8.9	8.9	8.1	8.1
29	Copper	Cu	108.0	107.0	108.0	107.0	103.0
30	Zinc	Zn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
31	Gallium	Ga	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
32	Germanium	Ge	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
33	Arsenic	As	8.0	8.0	8.0	6.1	8.0
34	Selenium	Se	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
35	Bromine	Br	NA	NA	NA	NA	NA
36	Krypton	Kr	NA	NA	NA	NA	NA
37	Rubidium	Rb	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
38	Silver	Ag	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
39	Cadmium	Cd	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
40	Mercury	Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
41	Thallium	Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
42	Lead	Pb	0.7	0.6	0.7	0.7	0.6
43	Bismuth	Bi	NA	NA	NA	0.2	0.6
44	Polonium	Po	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	NA
45	Arsenic	As	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
46	Selenium	Se	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
47	Bromine	Br	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
48	Krypton	Kr	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
49	Rubidium	Rb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
50	Silver	Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
51	Cadmium	Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
52	Mercury	Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
53	Thallium	Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
54	Lead	Pb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
55	Bismuth	Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
56	Polonium	Po	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
57	Arsenic	As	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
58	Selenium	Se	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
59	Bromine	Br	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
60	Krypton	Kr	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
61	Rubidium	Rb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
62	Silver	Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
63	Cadmium	Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
64	Mercury	Hg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
65	Thallium	Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

- 10 -

[그림 39] 'H' 성분 함량표 (출처: 'N'사)



[그림 40] 액상 비료 'H'



[그림 41] 천연 제올라이트

‘H’ 제품이 액상인 관계로 마스터벳치화 하기 위하여 교반 및 건조과정이 필요하다. 약간 연갈색의 ‘H’액과 제올라이트를 다양한 비율에 따라 혼합하여 충분한 교반을 실시하였으며 80℃로 1시간 이상 가열하였다. 이를 15℃ 이하로 냉각시켜 침전물을 얻고, 이 침전물은 여과장치를 통하여 여과 시킨 후 건조 하여 연갈색 Powder를 얻었다.



적하



Filtering



Dry

[그림 42] 액상 복합미량원소의 Powder 제조

액상‘H’의 pH가 이미 식물수용성 40% 황산화물 상태로 존재하므로 교반을 위하여 별도의 촉매 및 가교제를 처방하지 않았다.

세가지의 비율로 Matrix Powder(이하 MP라 표기)를 제조하여 다음과 같은 공정 결과를 얻을 수 있었다.

	MP1 (5 : 95)	MP2 (10 : 90)	MP3 (20 : 80)
수 율	○	○	○
재 료 비	○	○	×
순 도	○	◎	△
생 산 성	◎	○	×

◎ 매우우수 ○ 우수 △ 보통 × 나쁨

표 8. Matrix Powder 가공성 비교

위의 표와 같이 MP1(H 5%, 제올라이트 95%)는 액상이 적은 비율로 혼합이 되어 교반 및 건조과정에서 우수한 생산성을 나타냈으나 미량원소들의 함침이 다른 실험에 비하여 소량 적용되어 적정 효과를 기대하기 위해서는 차후 Compounding 가공 시, 다량의 함량을 처방해야 하는 문제점이 있다. MP2(H 10%, 제올라이트 90%)는 수율이나 생산성 등 전부분에서 양호하였으나 순도면에서 제올라이트에 함침 된 미량원소의 비율을 보면 MP2가 다소 양호한 판정을 받았다.(액상 비료 도포 기준 : 1ℓ/are) 반면, MP3(H 20%, 제올라이트 80%)는 ‘H’의 함량이 증가됨에 따라 투입량 대비 건조까지의 시간이 MP1,2에 비하여 2~4배 지연되었으며 수율 및 생산성이 가장 좋지 않았다 Compounding 가공 시 MP2(H 10%, 제올라이트 90%)를 적용하여 다양한 평가를 진행하고자 한다.



[그림 43] MP2

MP2 Powder는 천연제올라이트에 비하여 조금 더 진한 흙갈색을 띠고 있으며 ‘H’ 상태의 pH가 2.2 였으나, Powder화 되면서 pH5.2 수준으로 다소 상승하였다. 이는 제올라이트 (pH 7.0)과 혼합되는 과정에서 황산화용액이 중화되어 진 것으로 보여진다. MP2의 특성은 아래 표와 같다.

외 관	결정성 갈색분말	화학적 안정성	양호
냄새	저취	인화점	250℃ 이상
pH	5.2	산화성	없음
용해도	30% (at 35℃)	폭발성	없음
입도	65mesh	주의사항	-

표 9. Matrix Powder2 (MP2) 특성

나. 미량원소 Compounding 가공기술 개발.

위 과정을 통하여 확보한 MP2 분말을 이용하여 1차년도 연구에서 개발 된 Matrix M/B Recipe에 처방하여 Compounding 가공기술을 개발하였다. Matrix M/B내에 TPS의 점성을 완화 시키기 위한 무기물 CaCo3가 이미 처방 되어있으므로 다량의 제올라이트가 추가 된다면 Extruder의 내부 마모와 생산 된 필름의 물성저하가 우려되는 상황이다. 제올라이트에 함침 되어 있는 미량원소의 효과를 극대화 하고 필름의 적정한 물성을 확보 하기 위하여 CaCo3 함량을 조정하고 점성이 없는 제올라이트의 함량을 1w%에서 20w%까지 5w% 씩 올려가면서 실험을 진행 하였다. 생분해성 필름 완성물의 분해시기의 일관성을 유지하기 위하여 MP2의 함량변화에 따라서 PBAT와 TPS의 함량을 조정하였고 비교적 소량 처방되는 산화방지제 및 열안정제의 함량은 동일 수준에서 처방하였다.

(단위 : w%)

	Base Resin	TPS	CaCo3	MP2	첨가제(ppm)
1	66	28	5	1	2,000
2	64.4	27.6	3	5	2,000
3	62.3	26.7	1	10	2,000
4	59.5	25.5	1	15	2,000
5	55.3	23.7	1	20	2,000

표 10. Compounding 혼합비



[그림 44] Test 4 (MP2 20w%) 니더 용착 및 냉각 시 고착 현상

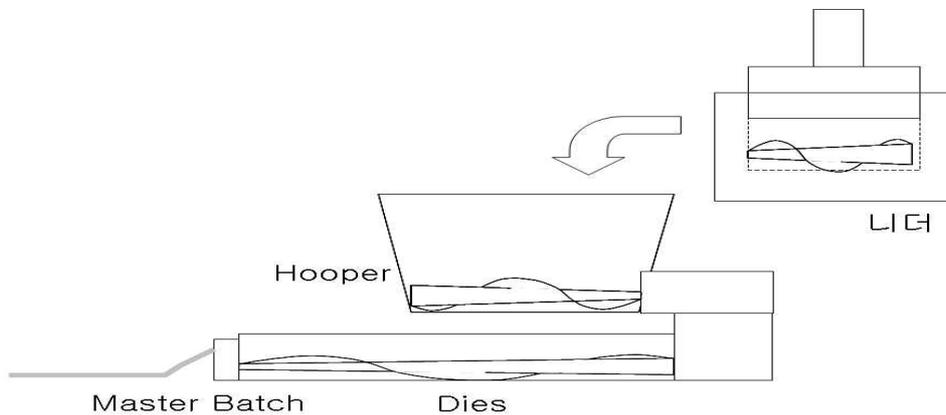
	반죽성	압출성	컷팅성	가공성
1	○	○	○	○
2	○	○	○	○
3	○	○	○	○
4	△	△	△	X
5	X	△	X	X

표 11. Compounding 가공평가

Compounding 작업에서는 반죽성, 압출성, 컷팅성 그리고 가공성을 평가하였다. Master batch 작업에서는 반죽성, 압출성, 컷팅성 그리고 가공성을 평가하였다. 반죽성은 수지와 첨가제간의 혼합되는 과정에서 상 분리나 뭉침이 발생하는가를 지켜보았고, 모든 제품에서 이상 없이 잘 반죽되는 특성을 관찰할 수 있었다. 압출성은 수지와 첨가제를 혼합하여 반죽한 다음 열을 가하여, 첨가제가 혼합된 수지를 압출시킬 때 평가하였다. MP2 함량 15w% 이상에서 압출 시 반죽상태에 끈적임이 높아져 니더에 용착되는 문제점이 발생되었다. 컷팅성은 압출 후 수지를 펠렛 상태로 컷팅하는 것을 의미한다. 컷팅 시에는 20w% 함량에서 컷팅성이 매우 불량하게 진행되었다.

이들을 종합한 가공성 평가에서 MP2의 1~5w% 수준에서 안정성을 보여주었지만 첨가제의 뿌리발근 기능면을 고려하여 미량원소가 최대로 적용 될 수 있는 최대 허용치인 10w%를 적용하여 Compounding 평가를 진행하고자 한다.

TPS는 반죽과 압출 시 열안정성 부족으로 문제가 될 수 있으나, 상용성이 우수한 산화방지제, 열안정제의 적절한 선택과 배합으로 극복할 수 있다. 기화손실이나 열안정성의 확보를 위해 가공시의 온도조건을 최대한 낮게 설정하고 혼합시간을 줄이는 방법으로 해결하였다.



[그림 45] Compounding용 Kneader 개략도

MP2 10w% 농축 마스터배치를 기준으로 니더와 압출기의 온도, 속도, 등의 변수를 이용하여 가공기술을 개발하였다. Compounding Test 3번(PBAT 62.3%, TPS 26.7%, CaCo3 1%, MP2 10%, 첨가제 2,000ppm)을 정량하여 니더에 넣어 서 혼합을 하게 된다, 이때 혼합시간을 조절하여 마스터배치 혼합 상태를 평가하였다.

혼합시간	반죽상태	혼합상태	기화손실	완 성 도
5 분	불완전	불량	매우 우수	52
10 분	양호	우수	매우 우수	78
15 분	매우 우수	우수	매우 우수	94
20 분	매우 우수	매우 우수	우수	94
25 분	매우 우수	매우 우수	양호	88
30 분	매우 우수	매우 우수	불완전	76

※ 완성도 = 반죽상태(40%) + 혼합상태(30%) + 기화손실(30%)

※ 각 항목별 ‘매우우수’-‘우수’-‘양호’-‘불완전’-‘불량’으로 판단

표 12. 혼합시간 조절을 통한 마스터배치 혼합상태 평가

니더에서 반죽 시작후 5분 이하에서는 반죽의 상태가 불완전하며, 혼합 상태 또한 불량 판정을 받았다. 10분 반죽 후에는 반죽상태가 양호해졌지만, 전반적인 완성도가 부족한 상태였다. 15분 이후에서는 반죽상태와 혼합 상태가 좋았으며, 기화손실에서도 좋은 평가받아 높은 완성도를 나타냈다. 하지만, 니더에서 반죽 후 20분 이상이 되면 기화손실이 발생되어 효율성에서 떨어지는 것으로 나타났다. 니더에서 반죽시간은 15분~20분이 가장 높은 완성도를 나타냈으며, 효율성에서도 우수한 것으로 나타났다.

니더온도	반죽상태	혼합상태	기화손실	완 성 도
100 ℃	양호	우수	매우 우수	78
110 ℃	우수	매우 우수	매우 우수	92
120 ℃	매우 우수	매우 우수	우수	94
130 ℃	매우 우수	매우 우수	양호	88
140 ℃	매우 우수	매우 우수	불량	76
150 ℃	매우 우수	매우 우수	불량	76

※ 완성도 = 반죽상태(40%) + 혼합상태(30%) + 기화손실(30%)

※ 각 항목별 ‘매우우수’-‘우수’-‘양호’-‘불완전’- 불량’으로 판단

※ 온도는 니더의 셋팅 온도로 실제 온도와 +10℃차이가 존재

표 13. 니더 반죽온도 조절에 따른 평가

다른 조건을 모두 일정하게 유지하고 니더의 반죽온도를 조절하였다. 통상적으로 PE 수지를 반죽할 때 130~ 150℃에서 작업을 진행하지만, 생분해성 수지(PBAT)의 용점이 110℃ 미만인 점을 고려하여 100℃부터 반죽을 시작하였다. 반죽속도는 3~5 단계로 설정하고 15분간 진행하였다. 니더의 온도는 110℃ 이상에서 높은 완성도를 보여주고 있다. 120℃에서 아주 높은 완성도를 보여주고 있으며, 그 이상의 온도에서는 반죽상태와 혼합상태는 아주 우수하지만 기화손실이 발생하여, 비효율적인 모습을 보여주고 있다.



[그림 46] Compounding 완성품

생분해성 필름이 양산화 단계에 도달하면 compounding 가공 방식을 가압니더 방식에서 대량 양산이 가능한 Twin Screw 방식으로의 전환을 검토할 필요가 있다.

YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

우 425-836 경기도 안산시 단원구 지원로 107 (성곡동) TEL (031)499-5360~1 FAX (031)499-6867
 시화여파도항공장 관리동 119호
 성적서번호 : TAA-005073 접수 일자 : 2015년 06월 08일
 대 표 자 : 정철수 시험완료일자 : 2015년 06월 24일
 업 체 명 : 일신화학공업(주)
 주 소 : 경기 안산시 단원구 성곡동 632-3
 시 료 명 : 비료(액제)

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인산(P ₂ O ₅)	%	-	25.9	농촌진흥청고시 제2013-29호
가리(K ₂ O)	%	-	6.16	농촌진흥청고시 제2013-29호
규산(SiO ₂)	%	-	0.24	농촌진흥청고시 제2013-29호
석회(CaO)	%	-	1.84	농촌진흥청고시 제2013-29호
고토(MgO)	%	-	4.35	농촌진흥청고시 제2013-29호
망간(MnO)	%	-	4.86	농촌진흥청고시 제2013-29호
질	mg/kg	-	1010	농촌진흥청고시 제2013-29호
불리염	mg/kg	-	검출안함	농촌진흥청고시 제2013-29호
아연	mg/kg	-	773	농촌진흥청고시 제2013-29호
pH (1:5, 25 ℃)	-	-	2.1	KS I ISO 10390 : 2005

* 용 도 : 품질관리용

비 고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험방법으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인은 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 총포, 건포, 광고 및 소송용 용도로 사용할 수 없으며, 영도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(복본 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

2015년 06월 24일


 책임자 : 정준호
 E-mail: jstho207@ktr.or.kr


 기술책임자 : 김선일
 Tel : 1577-6291(ARS ☎-40)



한국화학융합시험연구원장


 위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 1

진자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

진자문서본(Electronic Copy)



KTR KOREA TEXTILE & RESEARCH INSTITUTE KTR-QP-TRP-FRI-00000



AK210 X 207

[그림 47] 미량원소 분석결과표 (H, 액상)

YOUR PARTNER FOR THE BEST QUALITY

TEST REPORT

우 425-836 경기도 안성시 단원구 자원로 107 (성곡동)
 시화아파트행정장 관리동 119호
 성적서번호 : TAA-005072
 대 표 자 : 정철순
 업 체 명 : 일신화학공업(주)
 주 소 : 경기 안성시 단원구 성곡동 632-3
 사 료 명 : 배료(교체)

TEL (031)499-5390~1 FAX (031)499-6867
 접수 일자 : 2015년 06월 08일
 시험일/출일자 : 2015년 06월 25일

시험결과

시험항목	단위	시험구분	결과치	시험방법
인산(P ₂ O ₅)	%	-	0.73	농촌진흥청고시 제2013-29호
가리(K ₂ O)	%	-	1.12	농촌진흥청고시 제2013-29호
규산(SiO ₂)	%	-	0.002	농촌진흥청고시 제2013-29호
석회(CaO)	%	-	1.96	농촌진흥청고시 제2013-29호
고토(MgO)	%	-	0.55	농촌진흥청고시 제2013-29호
망간(MnO)	%	-	0.08	농촌진흥청고시 제2013-29호
질	%	-	1.51	농촌진흥청고시 제2013-29호
불리브덴	mg/kg	-	115	농촌진흥청고시 제2013-29호
아연	mg/kg	-	203	농촌진흥청고시 제2013-29호
CEC(염기치환용량)	cmol/kg	-	31	농촌진흥청고시 제2013-29호
pH (1:5, 25 °C)	-	-	3.1	KS I ISO 10390 : 2005

* 용도 : 분질관리용

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험방법으로 시험한 결과이며 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인용 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code를 확인 가능합니다.
 2. 이 성적서는 홀로, 인건, 물고 및 배송을 병으로 사용할 수 있으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서는 원본(원본 무효)인 유효하며, 시본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Jung Sun Ho

직인자 : 정순호
 E-mail : junhs2017@ktr.or.kr

Kim Sun-il

기술책임자 : 김선일
 Tel : 1577-0091(AHS 01-40)

2015년 06월 25일



한국화학융합시험연구원장



위변조 확인용 QR code

Page: 1 of 1

전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

전자문서본(Electronic Copy)

KTR KOREA TESTING & INSURANCE INSTITUTE KTR-QP-T09-F01-02002



AK218 X 257

[그림 48] 액상 미량원소를 함친 시킨 기능성MP2의 성분 분석결과표

3. 압출가공 안정화를 위한 Operating 기술 개발.

한국플라스틱표준(KSP M 1004 : 농업용 광폭 폴리에틸렌계 필름)에서의 시설원예용 필름과 멀칭필름의 구분을 필름의 두께와 나비로 구분하고 있다. (0.06mm, 185cm 이상 시설원예용 필름) 현재 관행멀칭 필름의 경우, 일반적인 수준은 나비 90~150cm 이내에서 사용되어지고 있으나, 의성 한지형마늘, 홍천 노지형 가지, 양평 장단콩 등 일부 지역 또는 특정 작물의 경우 150cm 보다 넓은 나비의 수준을 요구하고 있다. 특히 최근 대두되어지고 있는 벌써 부착형 직파 농법은 최소 180cm에서 300cm까지 장폭의 멀칭필름을 요구하는 실정이다. 현행 인플레이션 공법의 압출 방식으로는 장폭의 멀칭필름을 생산하기에 현실적으로 어려움이 있다. 더구나 요구되는 두께수준이 0.01 ~ 0.015mm 정도의 박막형이어서 생분해 멀칭 필름의 경우 수지의 가공특성 상, 현행 인플레이션 공법으로는 두께안정성을 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 생분해성필름으로는 현재까지 시도되지 않은 Cast 공법(T-Die)의 압출 Operating 기술을 최초로 개발하고자 한다.

가. Cast Extruder를 이용한 생분해 멀칭필름 가공 Process 개발.

본 개발에 사용 된 Cast Line은 충청남도 당진에 위치한 (주)랩텍의 압출설비로 15t/일의 압출량을 보유하고 폭 3,000mm 장폭 생산이 가능한 Multi-Layer T-die Extruder이다.



[그림 49] Cast Line Multi-Layer Extruder

분당 1.5kg 생산 할 수 있는 인플레이션(Blown Type) 대비 Cast Type은 8kg/min의 생산능력을 보유하고 있다. 또한 T-die 공법에 의하여 나비의 두께 균일도가 상당히 안정적인 장점을 가지고 있다. 하지만 Blown Type과 달리 Die에서 압출 과정 시, Machine Direction

으로만 연신이 이루어져 필름의 가로, 세로 방향의 물성 차이가 크고 연신율이 작아지는 단점과 고속 생산에 의한 내부 잠열 발생으로 인하여 생분해성 수지가 Extruder 내에서 탄화 혹은 산화 될 우려가 높다. 따라서 압출 수지의 흐름성을 고려하여 PBAT 수지 선정에 각별한 주의가 필요하다. 압출 Test를 위하여 사용 된 PBAT는 B사와 T사 PBAT 이다.

	Resin I	Resin II
Type	PBAT	PBAT
Density(g/cm ³)	1.37	1.12
Melt Index (g/10min)	6.0	2.0
Melt Point (°C)	110	127
Maker Nationality	German	China

표 14. Test Material

B사의 Resin1은 Melt Index가 6.0g/10min로 Cast Line에 적합한 물성을 가지고 있으나 Melt Point는 110°C로 S사의 Resin2에 비하여 15°C 이상 낮은 가공성을 가지고 있다. Cast Line은 고속 가공에 적합한 Extruder라 수지는 MI 뿐 아니라 열적 안정성도 보유하고 있어야 한다.



[그림 50] Cast Line Extruder의 PABT 수지 압출 평가(좌: Resin1, 우: Resin2)

Resin 1이 투명성 및 압출성이 다소 양호하였으며, 인장강도의 경우 TD(Translate Direction)방향에서 약 50% 수준 이상 높게 나타났다. 반면 인열강도 TD방향에서는 Resin

2가 10% 미만대에서 다소 높게 측정되었으나 시료간의 차에서 발생할 수 있는 수준으로 데이터의 신뢰성에 의미 있는 유효범위는 아니었다.



[그림 51] Resin 1 압출 평가

	인장강도		신장율		인열강도		dart Impact
	TD	MD	TD	MD	TD	MD	
Resin 1	4646	5277	818	492	163	157	2670
Resin 2	2475	4842	744	451	177	151	1266

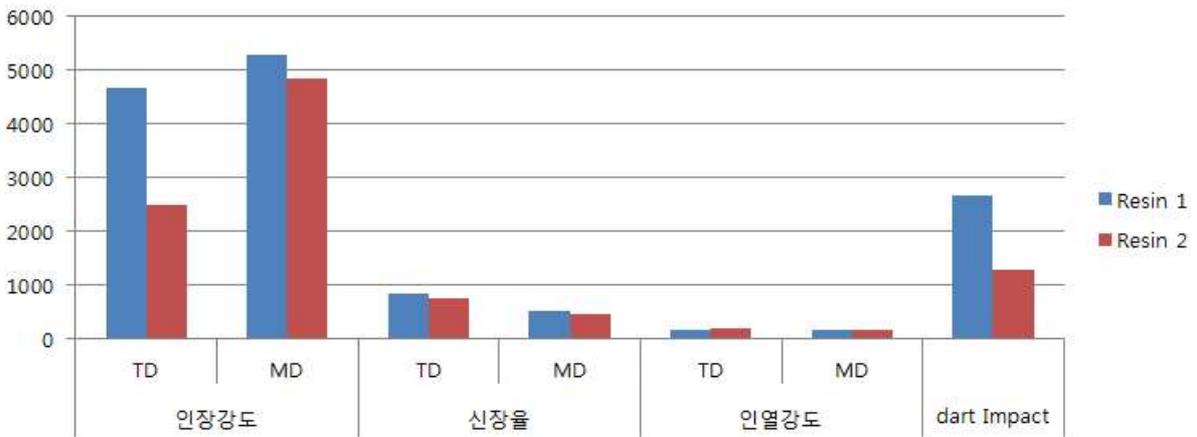


표 15. Resin 1, 2 물성비교 Data



[그림 52] Resin 1, 2 간이 생분피도 평가 결과 (퇴비화조건, 60℃, 45일 경과)

※ 플라스틱 재료 붕괴도 측정 실험 (KS T ISO 20200)

- 4mm 채망(거름망)에 거른 부숙토를 걸러낸다.
- 20cm*30cm*10cm 이상의 반응조에 채망에서 걸러낸 퇴비를 넣고 증류수로 토양수분이 55%정도 되도록 만든다.
- 4.5cm*6cm크기의 시료를 3개 이상 준비하여 필름 틀에 고정하여 준비한다.
- 시료를 퇴비 속에 눌러 묻고 58 °C, 50%의 항온 항습기 혹은 오븐기에 넣어 실험한다.
- 반응조의 초기 질량을 기록하고, 시험 수행 기간 동안 필요한 경우 초기 질량과 같도록 물을 추가하고, 퇴비물을 혼합해 준다.
- 주 1회 샘플을 꺼내서 사진을 찍어 표면 관찰을 진행한다.



[그림 53] 플라스틱 재료 붕괴도 측정 장치

두가지 Resin의 시료를 가지고 위의 붕괴도 측정실험 방법에 따라 평가한 결과, 45일 경과 시 Resin 1의 표면에 미세한 구멍만 발생한 반면 Resin 2는 시료의 형태를 찾아볼 수 없었다. 이는 정상적인 미생물에 의한 분해가 진행 된 양상이 아니며 고온 혹은 수분에 의하여 분자간의 연결고리가 절단되어 붕괴된 것으로 판단된다. Resin2의 열적안정성이 부족으로 나타난 현상으로 인하여 만일 Field에 피복되었을 경우 뜻하지 않은 조기 붕괴의 원인이 될 수 있는 위험을 초래 할 수 있다.

전반적인 가공성, 물성, 생분해 안정성을 평가한 결과 Resin 1을 적용하여 평가를 지속하는 것이 바람직한 것으로 나타났다

해당 Extruder를 이용하여 나비 3,000mm의 흑색필름의 압출을 시도하였다. 초기 T-Die의 흐름성 차이로 인하여 중앙부분의 압출이 다소 빠르게 진행되었으나 시간이 경과 후 전체적으로 안정적인 흐름성을 갖추게 되었다. 테스트를 진행하는 Extruder가 생분해성 필름용 전용 설비가 아닌 관계로 Extruder 내부에 존재하고 있던 탄화 된 PE 수지가 간간히 밀려나

와 Gel과 함께 구멍을 발생 시켰다. 다만 Blown Type의 압출기와 차이가 나는 부분은 Blown Type은 Bubble이 팽창되면서 Gel에 의한 구멍이 넓게 형성되어 Bubble이 끊어지는 현상이 나타나지만, T-die에서는 구멍이 커지지 않고 일자로 나타난다. 이는 연속 가공에 있어서 안정적이지만 제품의 완성도를 저해하는 요인으로 작용 된다.

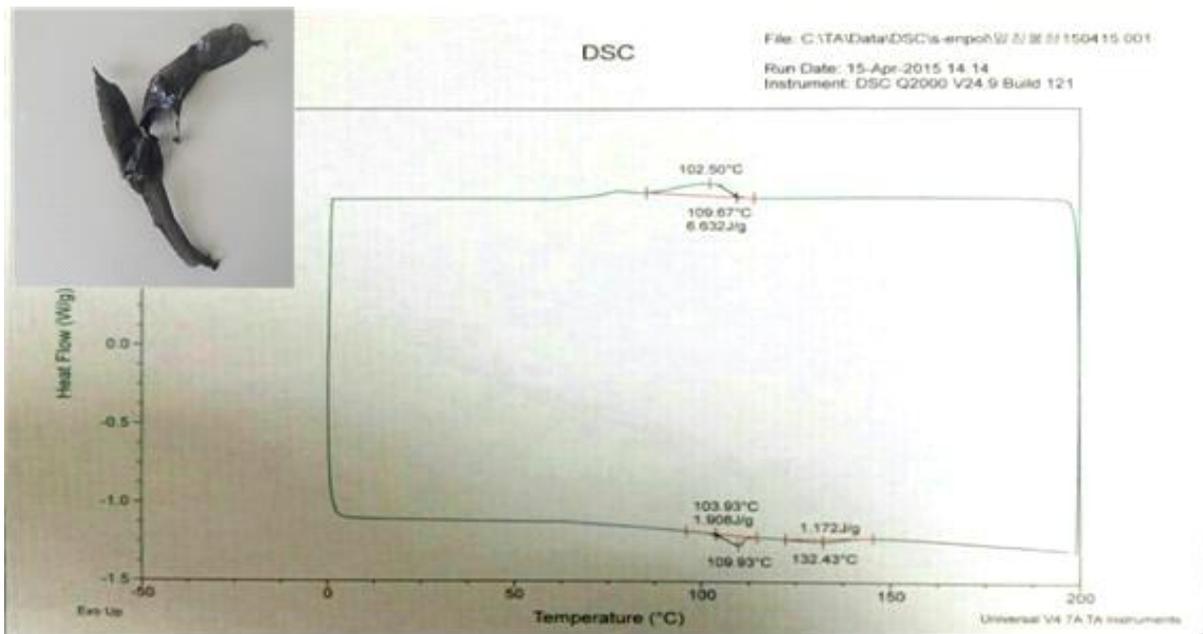


[그림 54] Cast Line 필름 나비 3,000mm 권취 모습

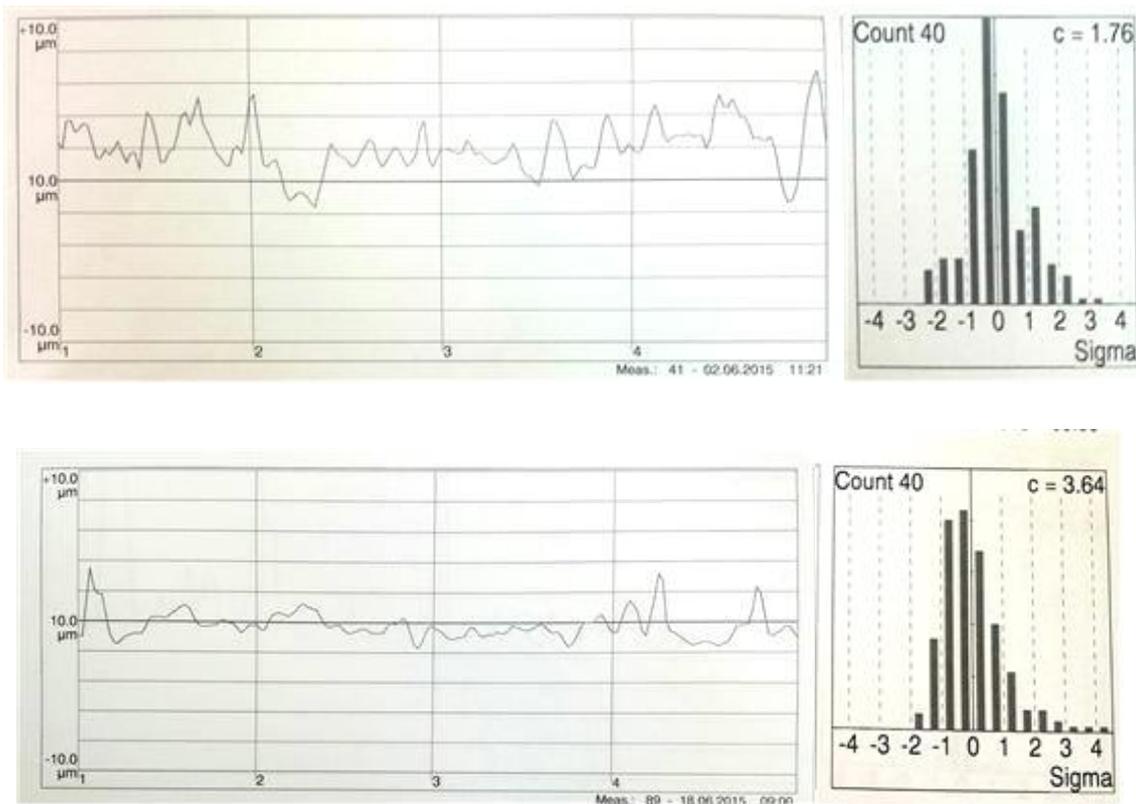


[그림 55] Blown Type & Cast Type 이물 발생 시 현상 (좌: Blown, 우: Cast)

연속 생산에 있어서 이와 같은 이물의 유입은 압출 중 필름의 끊어짐을 유발하여 대량의 Loss를 유발 할 수 있으므로 압출 전 충분한 Purging이 필요하다. Cast Line의 압출에 필요한 온도조건은 Inflation Line과 유사한 150~160℃ 범위에서 셋팅을 하여 진행하였으며 Line Speed를 현행 작업 수준에 비하여 1/3 수준 하향 조정하여 필름을 압출하였다. Cast Line에서 생산 된 필름이 품질 수준은 수지와 카본블랙의 분산성이 향상 되었으며 두께 균일도가 상당히 안정적이었다.



[그림 56] 검출이물 및 이물분석 자료



[그림 57] 생분해 필름 두께 균일도 및 산포도 (상 : Inflation, 하 : Cast)

Cast Line과 Inflation Type에서 생산 된 각각의 필름의 물리적 특성을 평가하였다. 인장강도는 Inflation 공법에 비하여 20% 수준 낮게 측정되었으나 인열강도 및 충격강도는 다소 우수하게 평가 되었다. 이는 농업용 폴리에틸렌필름 규격(KS M 3503)의 저밀도폴리에틸렌 필름 규격 수준을 상회하는 결과로 농업용 필름 사용에 적합한 수치이다.

	인장강도		신장율		인열강도		Dart Impact
	TD	MD	TD	MD	TD	MD	
Inflation	2144	3166	774	283	1179	1309	78
Cast	1676	2523	692	253	1221	1360	362

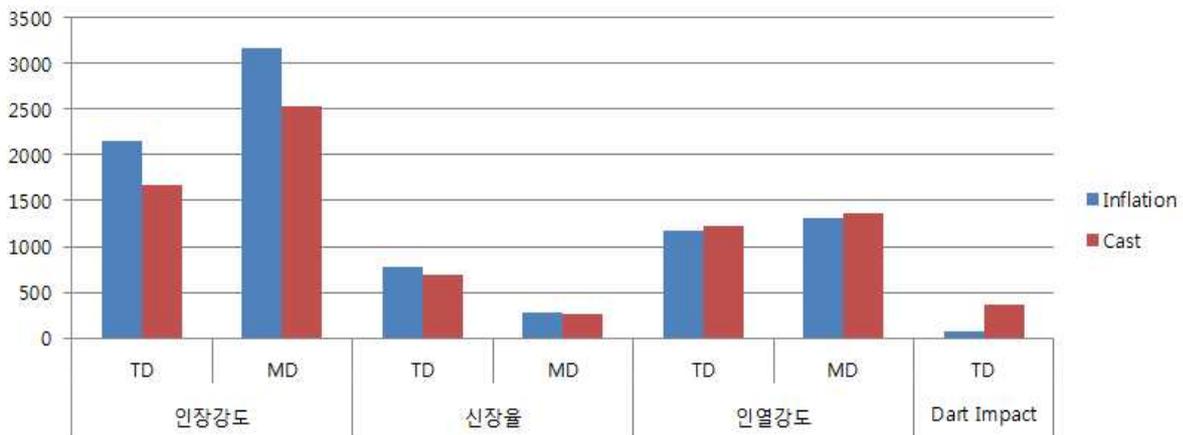


표 16. Inflation Type & Cast Type 물성 비교 (SHIMADDZU, JAPAN)

6절. 국내 생육환경에 적합한 Recipe 개발.

생분해성 멀칭필름은 멀칭필름이 가지고 있어야 할 기능(보온, 보습, 잡초억제)을 보유하면서 작물이 생육 하는 동안에 악영향을 미치지 않고 작물 수확 후 인력이 투입되는 인위적인 수거작업 필요 없어서 재배의 생력화(기계화)가 가능한 것이 최대의 장점이다. 생분해성 필름의 성분에 전분(유기물)이 포함되어 토양 중에서 미생물의 활성을 유도하는 기능을 부여하고 있으나, 본 연구에서는 작물 뿌리발근에 도움이 되는 다수의 미량원소를 함유함으로써 작물 재배의 생력화와 더불어 농가 경영의 수익증대 효과까지 기대할 수 있다. 작물의 생육과 생산량은 가장 소량으로 존재하는 무기성분에 의해 지배되는 최소량의 법칙이 적용된다. 때문에 작물이 필요한 필수 무기성분이 결핍되지 않게 공급해 주는 것이 매우 중요하다. 다량원소는 건물 1kg당 10mmol 보다 많은 양을 필요로 하며 주로 분자 구조를 만드는데 사용 되는 반면 미량원소는 적은 양으로 효소 활성제나 촉매역할을 한다. 건물 1kg당 포함되어 있는 영양소 함량(mmol/kg)은 다음과 같다.

원 소	합 량	원 소	합 량
수소 (H)	60,000	염소 (Cl)	3.0
탄소 (C)	40,000	붕소 (B)	2.0
산소 (O)	30,000	철 (Fe)	2.0
질소 (N)	1,000	망간 (Mn)	1.0
칼륨 (K)	250	아연 (Zn)	0.3
칼슘 (Ca)	125	구리 (Cu)	0.1
마그네슘 (Mg)	80	니켈 (Ni)	0.05
인산 (P)	60	몰리브덴 (Mo)	0.001
황 (S)	30		

표 17. 건물 1kg 당 영양소 함량. (출처 : 흙이야기, 현해남)

수소, 탄소, 산소는 자연계에서 흡수할 수 있는 원소이며 질소, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 인산, 황은 10mmol/kg 이상의 다량원소, 염소, 붕소, 구리, 철, 망간, 아연, 니켈, 몰리브덴은 5mmol/kg 이하의 미량원소로 구분된다. 이중 다량원소와 미량원소는 비료성분으로 공급된다. 미량원소는 식물에 필요한 것이지만 그 요구도가 매우 낮아 과량 처방되면 오히려 해가 될 수도 있다. 본 연구는 우리나라 토양의 성분구성에 따른 미량원소의 함량이 최적화 될 수 있는 생분해성 멀칭필름의 Recipe를 개발하고자 한다.

1. 실제 토양을 이용한 간이 생분해도 평가.

액상 미량원소를 제올라이트에 함침하여 생산한 MP2의 성분 함량은 아래 표와 같다.

	단위	H(액상)	MP2
인산(P ₂ O)	%	25.9	0.73
가리(K ₂ O)	%	6.16	1.12
규산(SiO ₂)	%	0.24	0.002
석회(CaO)	%	1.84	1.56
고토(MgO)	%	4.35	0.55
망간(MnO)	%	4.86	0.08
철(Fe)	%	1010	1.51
몰리브덴(Mo)	mg/kg	0	115
아연(Zn)	mg/kg	773	203
CEC(염기치환용량)	cmol ⁺ /lg	-	31
ph(1:5,25°C)	-	2.1	3.1

표 18. 액상 미량원소와 MP2의 미량원소 함량 변화

액상 상태에서 고상으로 함침 되는 과정 중 대부분의 미량원소가 큰 폭으로 감소하였다. 그 중 인산(P₂O)와 규산(SiO₂), 고토(MgO), 망간(MnO), 철(Fe)은 큰 폭으로 감소 되었다. 반면 액상에서 검출되지 않았던 몰리브덴(Mo)이 115mg/kg 증가 하였다. 액상 복합비료의 경우 300평 기준 1리터를 1,000배 희석하여 살포할 것을 권장하고 있다. MP2의 미량원소 함량은 액상 대비 1/100 수준이므로 생분해 필름 내에 10% 수준이 처방 되면 권장기준이 1,000배 희석 되는 효과를 기대 할 수 있다.

그 룹	조 합	비 고
A	PBS PBAT (Resin 2, China) PBAT (Resin 1, German)	Base Resin 분해도 비교
B	Bio 8 (생분해 8개월) Bio 12 (생분해 12개월)	분해시기별 1차년도 성과물 평가
C	PBAT(Resin 1) + 기능성M/B 10% PBAT(Resin 1) + 기능성M/B 20% PBAT (Resin 2) + 기능성M/B 10%	기능성M/B의 분해도 관여 평가

표 19. 생분해도 평가 시료 구성

시험은 총 9가지의 시료를 표 19와 같이 3가지 그룹으로 나누어 진행하였다. 그룹A의 경우 앞서 압출 평가 한 Resin 1(German)과 Resin 2(China) 이외에 물리적 강도 향상을 위하여 적용한 PBS (KOREA) 100%를 적용하여 생분해도를 측정하였다. 그룹B는 1차년도 성과물인 Bio 8(생분해 8개월)과 Bio12(생분해 12개월)의 생분해도 차이를 Data화 하기 위하여 진행하였고, 그룹C는 개발된 기능성M/B의 함량 변화가 분해도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 Base Resin 만을 이용하여 기능성M/B 함량별 평가를 진행하였다. 본 생분해도 실험은 경기도 시흥시 정왕동에 위치한 농장에서 Field 실증 실험이 진행 되었고, 충북대 환경물리학 실험실에서 Lab으로 각 시료들의 생분해도와 미생물 활성에 대하여 실험이 병행 되었다. 본 실험은 퇴비화조건에서의 생분해도 측정이 아닌, 일반 경작지 토양에서 흙을 채취하여 진행 되었다. 따라서 퇴비화조건에서의 생분해도와 비교하여 전체적으로 50% 이하의 생분해도 차이가 발생하였다.

아래 시흥시 농장에서 진행한 실험 결과와 충북대학교 환경물리학 실험실에서 진행한 실험 보고서에 의하면 Bio 8(생분해 8개월)과 Bio 12(생분해 12개월) 결과물 간의 생분해도는 50% 정도 차이가 있음을 확인 하였고, 기능성 M/B의 함량의 변화는 필름의 생분해도에 큰 영향을 미치지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이 결과를 활용하여 협동기관(강원도농업기술원)의 Field에서 작물 생육에 대한 실증 실험을 진행 하였다.



[그림 58] 경기도 시흥시 정왕동 시험 농장



[그림 59] 충북대 환경물리학 실험 준비과정

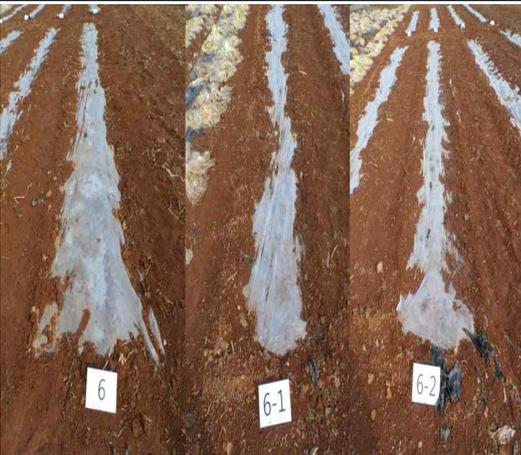
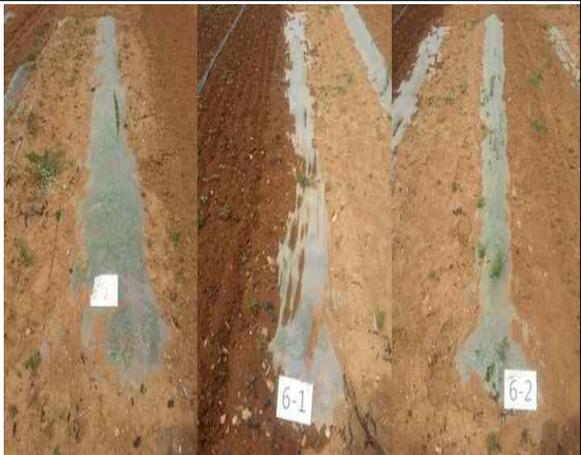
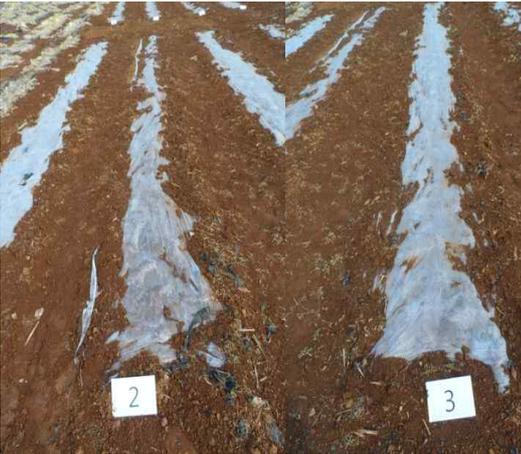
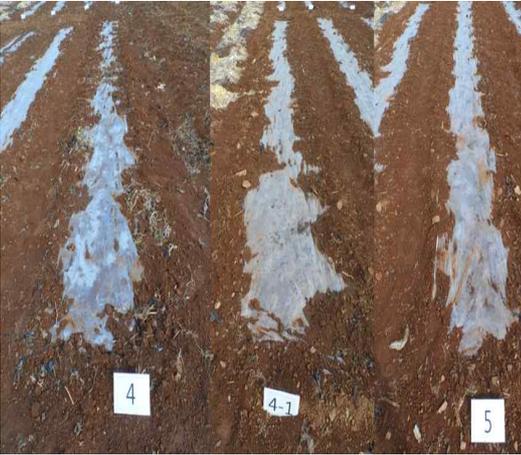
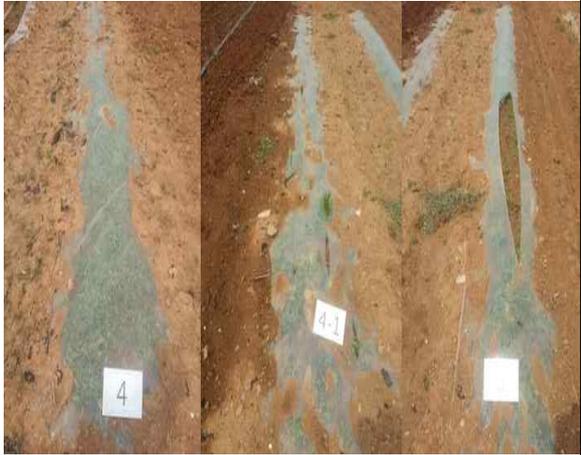
가. 성분에 따른 토양 피복 생분해도 평가. (경기도 시흥시 정왕동)

- (1) 시험 기간 : 2014. 11. 17 ~ 2015. 4. 25 (5개월)
- (2) 시료

그 룹	시료 번호	시료 내용
A	6	PBAT_G (PBAT, 독일B사)
	6-1	PBAT_C (PBAT, 중국T사)
	6-2	PBS
B	2	Bio12 (생분해 12개월)
	3	Bio 8 (생분해 8개월)
C	4	PBAT_C + 기능성M/B 10% (PBAT, 중국T사)
	4-1	PBAT_G + 기능성M/B 10% (PBAT, 독일B사)
	5	PBAT_G + 기능성M/B 20% (PBAT, 독일B사)

(1) 평가 결과

아래 평가 결과는 5개월 동안 진행된 Field 평가였으나, 시험을 개시하는 시간이 동절기가 시작 되는 시기이므로 평가기간 중 토양중의 유기물이나 미생물에 의한 분해는 3월 이후에 관여 했을 것으로 보고 미생물에 의한 평가보다는 UV에 의한 붕괴의 경향으로 평가하는 것이 바람직하다.

	피복초기	피복 5개월 경과
A그룹		
B그룹		
C그룹		

그룹A는 순수 생분해성 수지 Base Resin 100%로 구성되었으며 3종 모두 5개월이 경과 되었을 때까지 일정부분의 물성을 유지하고 있었다. 6-1(PBAT_C, 중국)의 경우 Lab에서 실시한 퇴비화 조건에서의 간이 생분괴도 평가에서 4주만에 형태를 찾아 볼 수 없이 붕괴 되었으나 Field에서는 형태의 변화가 가장 적었다. PBAT_G와 PBS는 필름의 초기 형태를 유지하고 있었으나 물성이 취약하여 일부 붕괴와 잡초가 뚫고 올라오는 수준이었다.

그룹C 역시 그룹A와 동일한 조성에서 기능성M/B를 처방한 실험으로 미량원소가 처방 된 기능성 M/B의 함량의 차이는 생분해도에 크게 관여하지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

생분해도 조절용 평가 그룹인 그룹B의 경우, 생분해 8개월, 12개월 제품 모두 5개월 경과 시, 상당부분 붕괴가 진행되었다. 이러한 현상은 작물 수확 후 필름의 수거 없이 트랙터를 이용한 로터리 작업이 수월하게 진행 할 수 있다.



[그림 66] 로터리 작업 후 토지 상태와 로터리 칼날

나. 성분에 따른 토양 중 생분해성 필름의 분해도와 미생물 활성 평가

(1) 연구목적

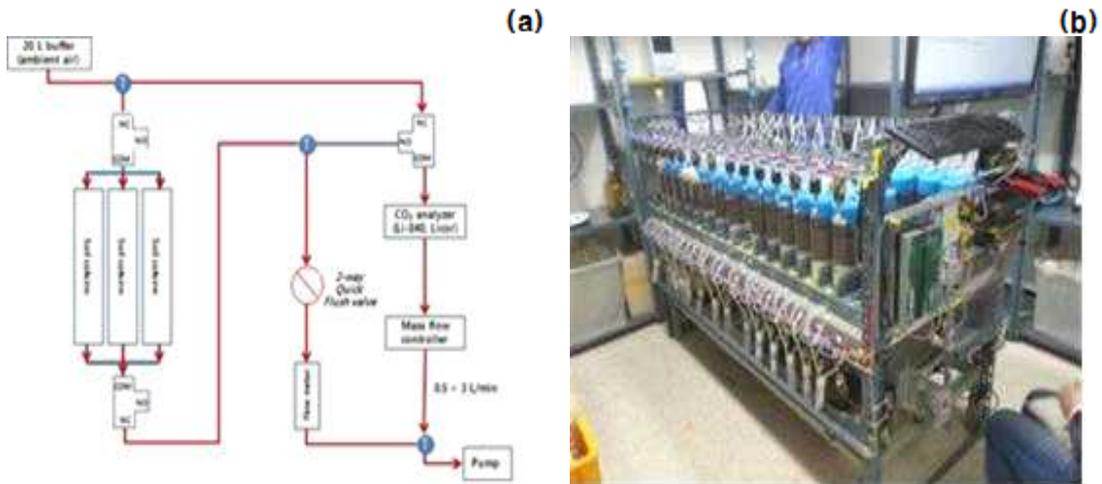
- (가) 종류가 다른 8가지의 생분해성 비닐의 분해도 평가
- (나) 녹말 함유량이 다른 생분해성 비닐의 분해도 조사
- (다) 토양 중 생분해성 비닐의 CO₂ 방출에 대한 경시적 변화 조사

(2) 시험방법

- (가) 고속항온배양장치를 이용한 CO₂ 발생 플럭스 측정

생분해성 비닐에 따른 토양 호흡량 측정을 위해 항온 배양 장치 (EAR, Enhanced Aeration Respirometer) 를 사용하였다. 본 실험은 실온 30℃ 에서 진행하였고, 토양수분함량을 조절하기 위하여 일주일에 한 번씩 토양 컬럼에 수분을 5ml 씩 공급하였다. 토양 컬럼에서 발생한 CO₂ 는 플럭스 측정 라인의 펌프를 통하여 빠져나와 일정한 유량 (0.5L min⁻¹)으로 CO₂ analyzer(LI-840, LI-COR) 에 의해 분석되었다.

측정된 데이터는 data logger (CR-1000, CAMBELL SCIENTIFIC) 을 사용하여 자동 측정 및 저장하였다. 데이터의 측정은 4시간마다 이루어지도록 프로그래밍 되어 있으며 각 컬럼당 60초 동안 라인과 컬럼 내부 고농도의 CO₂ 를 씻어 준 뒤 49~59초, 469~479초 동안 1초 간격으로 데이터를 저장하여 CO₂ 의 발생 차이를 기록하였다.



[그림 67]. 고속향온배양장치(EAR)
 (a) EAR 장치 모식도;(b) EAR 장치.

(나) 토양 채취

공시토양은 2015년 3월 21일 충북대학교 내 농장(GPS N36°37'29", E 127°27'20")에서 깊이 0-20 cm 의 토양을 채취하였으며, 토양 컬럼 제작시 토양은 2mm 체로 걸러서 사용하였다. 향온배양실험 기간은 2015년 3월 23일부터 2015년 5월 4일까지 총 40일간 진행되었으며, 첫 번째 생분해성 비닐 수거는 2015년 4월 4일에 하였고, 두 번째 수거는 동년 동월 13일에 하였으며 마지막 수거는 동년 5월 4일에 하였다.

(다) 토양 컬럼 제작

본 실험은 총 10개의 처리구로 3반복으로 시행되었다. 종류가 다른 각각의 생분해성 비닐을 총 단면적 42 cm², 가로 2 cm × 세로 3.5 cm 로 동일하게 잘라 2장씩 토양 컬럼의 밑으로부터 깊이가 다른 3개의 층 (2, 5, 8 cm) 으로 구분하여 처리하였다. 토양 컬럼 제작 시 사용한 토양의 무게는 350 g 이며, 토양 컬럼의 높이를 10 cm로 하였다.



[그림 68]. 토양 컬럼 제작
 (a)컬럼 내 생분해성 비닐위치;
 (b)토양 내 생분해성 비닐;
 (c)토양 컬럼.

pH	EC	OC	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Avail-P ₂ O ₅	토성
	dS m ⁻¹	%	-----mg kg ⁻¹ -----			
7.5 ± 0.1	0.1 ± 0.0	2.0 ± 0.1	11.3 ± 1.4	3.1 ± 0.7	83.9 ± 1.8	Sandy loam

표 20. 공시 토양의 이화학성

(라) pH 및 EC 분석

pH는 토양 5 g 을 측정하여 증류수 25ml 넣어 1:5로 추출하였고, 1시간동안 180rpm 조건에서 진탕하여 pH Meter를 이용하여 측정하였다. EC는 pH 측정 후 3000rpm 3분 원심분리하여 EC Meter를 이용하여 측정하였다.

No.	생분해성 비닐	처리구	설명	유기물 함량 (%)
1		Control	대조구	
2		Cellulose	셀룰로오스	44.50
3	T1	PBS	생분해성 수지 100% 비닐 (한국)	70.11
4	T2	PBAT_C	생분해성 수지 100% 비닐 (중국)	73.50
5	T3	PBAT_G	생분해성 수지 100% 비닐 (독일)	70.26
6	T4	PBAT_G+기능성 10	T3 + 기능성M/B 10%	72.59
7	T7	PBAT_G+기능성 20	T3 + 기능성M/B 20%	69.75
8	T6	PBAT_C+기능성 10	T2 + 기능성M/B 10%	70.97
9	T5	Bio 8	생분해 8개월용	63.80
10	T8	Bio 12	생분해 12개월용	67.03

표 21. 생분해성 비닐의 처리구 조성

(마) 토양 내 유기물 함량 분석

토양 내 유기물 함량 분석은 Walkley - Black method에 따라 수행 하였으며, 150 mesh 체를 친 풍건토 0.5 g 을 갈아 1 N K₂ Cr₂ O₇ 시약을 가한 후 30분간 고온 보온 처리 후 O-phenanthroline 지시약을 3 ~ 4 방울 넣은 뒤 0.5 N FeSO₄ 로 적정하였다.

(바) 토양 내 질산태 질소 함량 분석

0.5 M K₂ SO₄ 토양 추출액(1:10)을 1ml 넣고, Dry Oven으로 건조 시킨 뒤 2% Salicylic acid - H₂ SO₄ 용액을 넣어 상온 10분 방치 후, 5 M Sodium hydroxide 를 가하였다. 이후 UV-spectrometer를 이용하여 410 nm 에서 흡광도를 측정하였다.

(사) 토양 내 암모니아태 질소 함량 분석

0.5 M K₂ SO₄ 토양 추출액을 2 ml 넣고, EDTA 용액 및 Sodium Salicylate-nitro prusside, hypochlorite buffer(sodium hydroxide, sodium monohydrogen phosphate he ptahydrate, sodium hypochlorite 혼합용액) 를 가한 후 10 초간 불텍싱하였다. 37℃

에서 10 분 동안 발색 시켰다. 이 후 UV-spectrometer를 이용하여 660 nm 에서 흡광도를 측정하였다.

(아) 토양 내 유효인(avail-P) 분석

토양 1.0 g 을 칭량하고 Extraction solution(NH₄F) 을 넣은 후 가장 강한 세기로 불텍싱한 뒤 Whatman NO. 42 filter paper 와 석션을 이용하여 여과하였다. 여과된 용액 1 ml, 와 Mixed reagent (2.5 M H₂SO₄, ammonium molybdate, ascorbic acid, antimony potassium tartrate 혼합 용액), 증류수를 가하고 잘 섞어준 후 30°C 에서 10 분 동안 발색시켰다. 이 후 UV-spectrometer를 이용하여 880 nm 에서 흡광도를 측정하였다.

(자) 토성

토양 10 g 을 칭량하여 증류수와 과산화수소를 넣고 90°C 의 열을 가해 유기물을 분해하였다. 분해가 완료되면 전자레인지에 이용하여 수분을 제거하고 0.1 N HCl 와 분산제 (5% Sodium Hexametaphosphate) 를 넣어 진탕한 후 1000 ml 메스실린더에 담고 증류수를 가하였다. 이 후 파라필름으로 입구를 막고 1 분간 End-over-end 로 흔든 후 방치한 뒤 토양 입경별 채취시간에 토양 용액을 취해 건조시켰다. 건조 무게는 미국농무부 (USDA; United States Department of Agriculture) 삼각도에 준하여 토성을 결정하였다.

(3) 연구 결과

(가) 생분해성 비닐에 따른 토양 중 경시적 CO₂ 발생량 변화

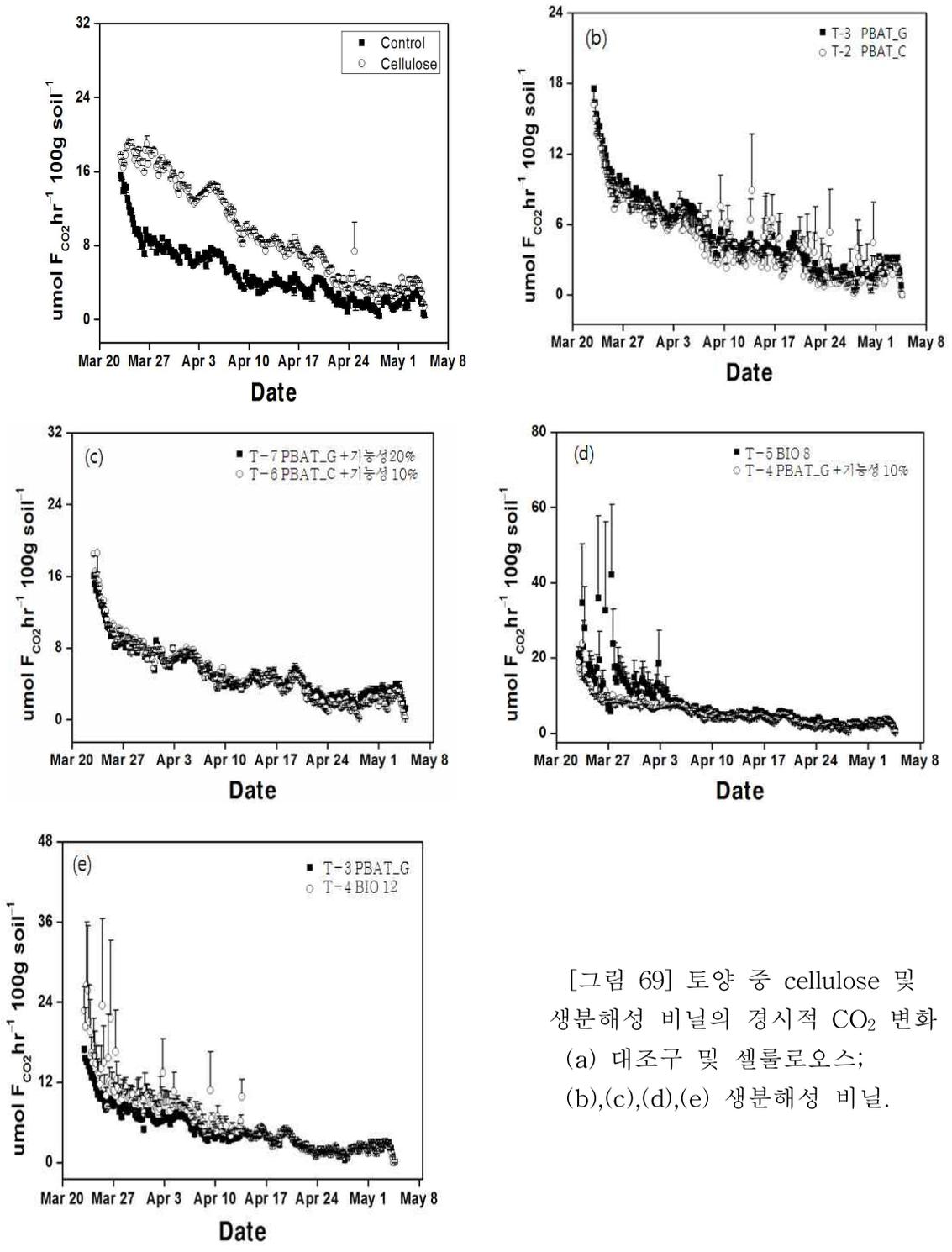
항온배양기간 중 모든 처리구에서 초기 높은 CO₂ 발생량을 보였으나 점차 감소하는 경향이 나타났다. Cellulose는 40일 경과 후 초기 CO₂ 발생량보다 절반수준 가량 감소되었고 다른 처리구에 비해 토양 중 CO₂ 발생량이 높은 것으로 조사되었다. T5(Bio 8)의 CO₂ 발생량이 가장 높은 것으로 측정되었고 최대 CO₂ 방출량은 Cellulose의 약 2배 높은 수준으로 조사되었으며, 이는 미생물이 다른 처리구에 비하여 쉽게 분해하여 이용할 수 있는 것으로 여겨진다.

T8(Bio 12) 처리구 역시 다른 처리구에 비하여 비교적 높은 CO₂ 발생량을 보였고 T5(Bio 8)의 항온배양기간 중 CO₂ 발생량이 높은 것으로 보아 녹말함량이 높을수록 토양 내 미생물에 의한 분해에 긍정적인 영향을 줄 것으로 여겨진다. 그 외의 생분해성 비닐의 토양 중 CO₂ 발생량은 본 실험에 사용된 생분해성 비닐 제품인 T1(PBS)와 T3(PBAT-G)의 CO₂ 발생량과 유사한 것으로 나타났다.

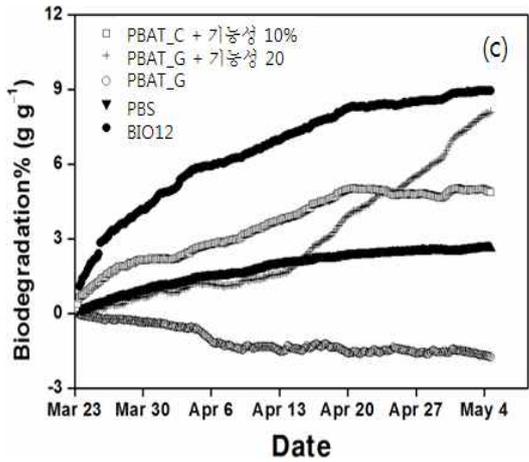
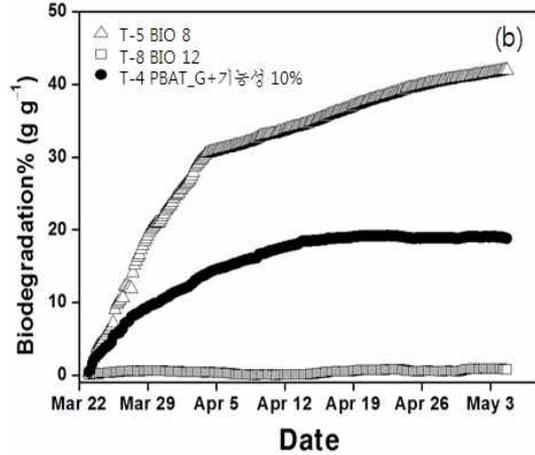
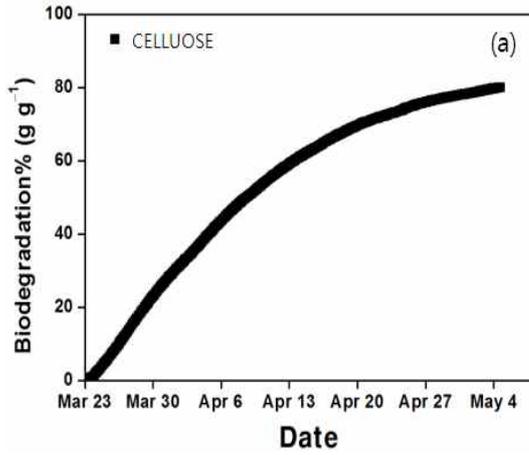
(나) 생분해성 비닐의 토양 중 누적 분해도

항온배양기간 동안 Cellulose의 분해도가 다른 처리구에 비해 높은 수준을 나타내었고, 40 일 경과 후 약 80% 분해된 것으로 조사되었다. T5(Bio 8) 처리구의 토양 중 누적 분해도는 Cellulose의 50% 수준으로 가장 높은 것으로 나타났고, 2주 경과 후 천천히 분해되는 경향이 있었다.

실험기간 중 T2(PBAT-C)처리구의 누적 분해도는 약 0.5% 로 다른 처리구에 비하여 낮은 것으로 조사되었다. 반면, T8(Bio 12)의 누적 분해도는 T2(PBAT-C)보다 약 38배 높은 것으로 나타났고, PBAT-TPS의 녹말함량이 높을수록 분해도가 높을 것으로 사료된다. 또한, 생분해성 비닐 제품보다 녹말이 첨가된 비닐의 분해도가 대부분 높은 것으로 조사되었다.



[그림 69] 토양 중 cellulose 및 생분해성 비닐의 경시적 CO₂ 변화 (a) 대조구 및 셀룰로오스; (b),(c),(d),(e) 생분해성 비닐.



[그림 70]. 토양 중 cellulose 및 생분해성 비닐의 누적 분해도
(a) Cellulose;
(b),(c) 생분해성 비닐.

No.	생분해성 비닐	처리구	누적분해도 (%)		
			10 Days	20 Days	40 Days
1	Cellulose		34.0	60.1	80.1
2	T5	Bio 8	27.9	34.3	42.0
3	T8	Bio 12	12.7	18.1	18.8
4	T4	PBAT_G + 기능성 10	5.2	7.1	8.9
5	T6	PBAT_C + 기능성 10	2.3	3.8	4.9
6	T7	PBAT_G + 기능성 20	0.9	1.7	8.1
7	T1	PBS	1.2	2.0	2.6
8	T3	PBAT_G	0.4	0.1	0.8
9	T2	PBAT_C	-0.5	-1.5	-1.7

표 22. 셀룰로오스 및 생분해성 비닐의 누적분해도

(4) 결론

본 실험은 토양 내 생분해성 비닐의 분해도를 조사하기 위하여 진행되었다. 항온 배양 기간 동안 모든 처리구에서 초기 높은 CO₂ 발생량을 보였으나 점차 감소하는 경향이 있었다. T5(Bio 8)와 T8(Bio 12) 처리구의 토양 중 CO₂ 발생량 및 누적분해도가 다른 비닐에 비하여 높은 것으로 측정되었다. 이는 토양 중 미생물에 의한 생분해성 비닐 분해가 다른 처리구에 비하여 비교적 용이한 것으로 사료되었다.

실험에 사용된 생분해성 비닐 제품인 T4(기능성 10%)와 T7(기능성 20%)의 경우 약 8% 분해된 것으로 조사되었다. T5(Bio 8) 처리구에서 녹말 함유량이 적은 같은 비닐의 T8(Bio 12)보다 실험기간 중 CO₂ 발생량 및 누적 분해도가 높은 것으로 측정되었고, 이는 녹말 함유량이 증가할수록 토양 내 미생물에 의한 분해에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

7절. 지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증실험

본 단락에서는 1차년도 성과물의 Field 실증 실험에 대하여 기술한다. 작물의 생육과 관련된 평가는 협동기관인 강원도농업기술원에서 진행을 하며 본문은 Field의 생분해도 위주의 평가가 이루어진다.

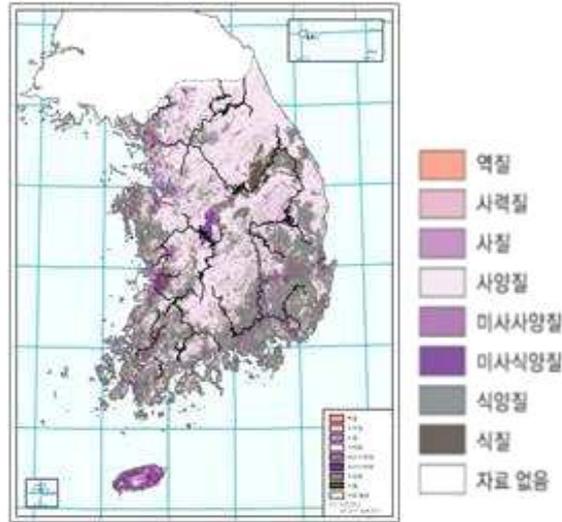
1. 전답용 지역별, 작물별 평가

생분해 필름의 경우 토양 및 대기환경 등에 의한 분해정도가 달라지기 때문에 지역별로 토성과 조사량을 고려하여 전국 6개 지역을 선정하여 실증실험을 진행하였다. 지역별 환경 특성은 지형에 따른 토성과 지역별 조사량을 고려하였으며, 조사량의 경우, 기상청 2014. 1. ~ 2014. 12.까지 조사량 통계 자료를 참조하였다.

토양은 환경조건에 따라 특성이 다르며 토양생성에 관여하는 인자는 기후, 모재, 지형, 시간, 생물 등이다. 현 실험에서는 우리나라의 10)지형을 산악지, 용암류 대지, 분석구, 구릉지, 산록경사지, 선상지, 곡간지, 홍적대지, 하성평탄지, 하해혼성평탄지 등으로 구분하고, 지형별로 발달한 토성¹¹⁾을 사질, 사양질, 미사사양질, 식양질, 미사식양질, 식질로 분류하였다. 아래 그림 71을 보면 지형별 발달한 토성을 볼 수 있다.

10) 지형은 토양생성에 있어서 토양의 수분함량 및 토양침식에 영향을 준다. 저지대나 평탄지의 토양은 경사지에 분포하는 토양에 비하여 토양 수분함량이 달라 토양배수등급에 차이가 있으며 급경사지 토양은 평탄지 토양에 비하여 토양침식이 심함으로서 일반적으로 토심이 얇은 경향이 있다. 한편 토양침식에 의한 토양 유실도는 평탄저지에 퇴적되어 새로운 토양이 생성되기도 한다.

11) 토성은 무기질 토양입자들의 여러 가지 크기의 상대적인 비율 즉, 점토, 미사 및 모래(직경 2mm 이하)의 비율에 의하여 결정되며, 토양의 이화학적 성질을 지배하는 주요 요인이다. 토성속은 미국 토양분류법(Soil Taxonomy)의 저차 분류 단위 중 하나이며 사질, 사양질, 미사사양질, 식양질, 미사식양질, 식질과 같이 6가지로 구분하고 있다.



[그림 71].지형별 발달한 토성 지도¹²⁾

전국 조사량의 경우 기상청 2014. 1. ~ 2014 .12. 까지 조사량 통계자료를 바탕으로 작성하였다. 전국 일사량은 연평균 419 MJ/m²이며, 지역별로 강원도 389 MJ/m², 경상도 429 MJ/m², 전라남도 452 MJ/m², 전라북도 471 MJ/m², 충청도 420 MJ/m², 서울 359 MJ/m², 경기도 368 MJ/m² 등 이었다.

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
서울	225	268	392	455	627	465	296	352	388	362	250	229	4309	359
인천	231	280	424	464	650	552	519	401	406	286	234	204	4651	388
수원	273	323	464	459	630	528	460	386	200	274	215	199	4411	368
광주	285	295	421	501	700	504	448	349	437	420	269	198	4827	402
제주	259	221	420	498	682	529	468	384	429	396	242	163	4691	391

표 23. 전국 일사량 측정치(기상청, 2014)

강원도 지역 일사량 [MJ/m ²]													389	
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
대관령	278	284	459	489	698	413	562	361	464	353	258	273	4892	408
춘천	234	295	425	462	634	502	518	394	419	340	226	225	4674	390
북강릉	261	222	442	464	657	409	571	375	422	349	241	265	4678	390
강릉	91	59	259	490	699	532	588	388	425	367	261	283	4442	370

12) 농촌진흥청, 농업과학기술원, 2006. 이 지도는 1995년에서 2006년에 걸쳐 조사한 토양 검정 자료로부터 논과 밭에 대한 산도와 유기물 함량을 농경지의 면적 가중치를 이용하여 동·리의 평균값을 구한 후, 동·리의 평균값과 면적을 이용하여 읍·면의 평균값을 구하였고 이 값과 면적을 이용하여 시·군의 가중 평균값을 계산한 결과이다.

경상남도 지역 일사량 [MJ/m ²]														429
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
부산	327	267	429	519	680	484	513	351	446	388	293	292	4989	416
진주	336	309	456	523	716	489	482	361	454	416	293	272	5107	426
영광군	299	308	479	571	751	607	492	392	488	445	279	222	5333	444
김해시	332	281	369	506	697	464	478	323	414	396	291	292	4843	404
북창원	337	298	456	518	731	482	503	356	441	428	305	296	5151	429
양산시	344	296	462	542	745	510	529	379	463	427	311	309	5317	443
함양군	313	314	468	537	761	543	512	396	465	404	282	267	5262	439

경상북도 지역 일사량 [MJ/m ²]														429
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
추풍령	341	320	479	564	770	556	540	377	455	403	264	247	5316	443
안동	269	277	410	496	790	599	601	434	492	421	287	257	5333	444
대구	333	397	474	542	761	538	564	338	477	423	322	300	5469	456
청송군	300	265	437	534	725	509	543	370	423	371	265	261	5003	417
경주시	296	235	416	490	688	448	486	304	391	344	262	263	4623	385

전라남도 지역 일사량 [MJ/m ²]														452
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
목포	270	267	390	480	651	523	430	357	428	399	258	192	4645	387
흑산도	292	282	477	559	727	612	480	412	457	418	265	188	5169	431
보성군	333	335	470	549	742	526	478	408	483	465	306	281	5376	448
강진군	576	550	701	741	956	557	450	376	526	531	376	468	6808	567
의령군	304	314	457	522	724	504	501	346	434	400	291	297	5094	425
광양시	336	337	472	543	746	530	499	425	473	449	305	302	5417	451

전라북도 지역 일사량 [MJ/m ²]														417
	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
전북	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
전주	249	264	387	480	635	481	459	363	457	432	263	222	4692	391
고창	297	300	453	541	717	572	479	377	473	426	266	234	5135	428
고산	279	293	454	535	654	469	424	402	395	243	122	78	4348	362
고창군	304	302	460	556	734	579	488	369	477	431	273	215	5188	432
순창군	347	354	492	560	782	621	524	443	508	461	309	270	5671	473

충청도 지역 일사량 [MJ/m ²]														420
충남	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계	연평균
서산	242	271	419	483	630	524	462	382	430	268	212	185	4508	376
청주	271	291	465	542	731	577	526	410	432	380	233	222	5080	423
대전	297	322	491	576	784	605	562	423	504	451	279	250	5544	462

위에서 조사 된 지역별 환경특성 분석을 바탕으로 생분해 Field평가를 진행하였다. 선정된 6개 지역은 경기도 시흥시(비트), 충남 서산시(고구마), 전북 진안군(고구마), 강원도 홍천군(가지), 경북 의성군(마늘), 충청도 대호 간척지(벼) 이다. 선정 지역에서는 토양 검정을 통해서, 토성 및 화학적 성질을 분석하였다. 토양 검정을 통해서 알 수 있는 토양의 화학적 성질은 토양산도(pH)¹³⁾, 토양유기물¹⁴⁾, 유효인산, 유효규산, 치환성 양이온, 양이온 치환 용량 등이 있다.

가. 충청남도 서산시 음양면 고구마 재배지역

서산시는 해안가에 위치한 하해홍선평탄지로서, 토성은 미사 식양질이다. 토양 분석결과 pH 5.8의 산성토이고, 배수가 양호하고 투수성은 느리며, O.M의 함량은 21-30g/kg으로 토양 조건이 양호한편이다. 전반적으로 토지 생산력이 높은 편이며, 미생물 활성화에도 적합한 토양이다. 이 곳의 연간 일사량은 377MJ/m²이다. 최근 3년간 생분해 멀칭필름을 피복하는 지역으로 매년 5월 초 피복하여 10월 초 수확하면서 로터리 작업을 병행하였다.



[그림 72] 생분해 필름 피복한 모습

13) 토양의 산도(pH)는 양분의 유효도를 결정하기 때문에 생육 환경의 판정 지표가 된다. 토양 반응이 중성(pH 6.5-7.0)에 가까울 때 각종 양분의 유효도가 가장 높다. 토양 산성이 강하면(pH 5.5 이하일 때) 유효한 토양 미생물의 번식과 활동을 억제할 수 있다. 토양이 알칼리성으로 치우치면(pH 8.0 이상일 때), 철, 아연 등과 같은 원소들의 용해도가 매우 낮아진다.
 14) 토양 유기물은 토양 비옥도 판정의 지표가 되는데 유기물은 토양의 통기성과 투수성을 좋게 하여 토양 물리성을 개선하며 토양미생물 활동을 왕성하게 한다.

나. 경기도 시흥시 정왕동 1600-5번지

시흥시의 연평균 일사량은 $388\text{MJ}/\text{m}^2$ 이며, 필름을 설치한 4월-8월의 평균 일사량은 2014 기준 $517\text{MJ}/\text{m}^2$ 으로 타 지역 대비 일사량이 다소 높은 편에 속한다. 토양은 황적색 및 암회색의 미사질 양질¹⁵⁾로 배수는 불량하고 투수성이 느리다. 토양미생물 활동과 관련이 있는 유기물 함량은 $22\text{g}/\text{kg}$ 이다. 일반적으로, 배수가 불량한 지역에서는 산소의 유통이 제한되어 미생물활성이 낮아 유기물의 분해가 느리다. 이곳은 지난 2014년 11월 투명 생분해 멀칭필름을 피복하여 생분해도를 평가 했던 지역으로 2015년 4월 로터리 작업 완료 시, 흑색 생분해 멀칭필름을 피복하여 재현성 평가를 진행하고 있다.

미량원소가 첨가된 기능성M/B을 생분해 기간별(Bio 8, Bio 12)에 10%와 20% 혼합하여 생산된 4종의 필름을 피복하였다. 작물이 수확되는 10월 이후 토양의 화학성을 평가 할 예정이다.



[그림 73] 생분해 필름 피복 초기 모습

다. 강원도 홍천군 남면 남노1리

이 지역은 산악지에 위치하고 있으며 자갈이 없는 갈색의 미사사 양질 토양이다. 배수가 양호하고 투수성은 보통~약간 빠른 편이며, 유거는 느리다. pH 4.6-5.0의 산성토양이며, 유기물은 41-50으로 타 지역보다 유기물 함량이 높은 편이며, 유효인산은 $601\text{mg}/\text{kg}$ 이상 칼슘 $3.0\text{cmol}^+/ \text{kg}$ 이하의 토양이다. 재배 작물은 가지이며 작물의 상부가 필름을 덮을 수 있는 조건이 아니며 재배기간 전일 동안 필름이 직사광선에 노출 되는 상황이다. 이 지역의 평균 일사량은 $390\text{MJ}/\text{m}^2$ 이며, 필름을 설치한 4월-8월의 평균 일사량은 $502\text{MJ}/\text{m}^2$ 으로 일사량은 타지역보다 높기 때문에 UV에 의한 조기산화가 진행 되었다.

15) 미사질 함량이 50%이상이고 점토함량이 27% 이내인 토양 중 미사질 함량 80% 이상, 점토함량 12% 이하 범위 내에 있는 토양이다.



[그림 74] 홍천 가지 재배 농가, 피복 1개월 만에 붕괴

라. 전북 진안군 마령면 덕천리

산지와 평지의 중간 형태를 갖는 지형인 구릉지로 점토함량이 다소 높은 적황색을 띤 식양질 토양이다. 점토의 함량이 높아 보수성과 보비성이 높으나 토양배수는 약간 불량하고 투수성은 느려 과대한 관개 시 습해가 우려되는 토양이다. pH 5.1-5.5의 산성토양이며, 유기물 함량은 21-30g/kg, 유효인산은 201-300mg/kg, 칼슘은 0.71cmol+/kg 이상이다. 이 지역의 평균 일사량은 연평균 392MJ/m²이며 피복기간인 4-8월의 평균 일사량은 2014년 기준 484MJ/m²으로 전국평균수준이다. 이 지역의 특이한 점은 동일한 재배지 임에도 불구하고 피복 후 정식기간의 차에 의하여 필름이 산화되는 현상이 발생되었다. UV-B에 의한 붕괴현상이 타 수지에 비하여 빠르게 진행되는 PBAT 수지의 특성이 나타나는 것으로 판단된다.



[그림 75] 좌측 4/29 피복, 5/4 정식, 우측 4/29 피복 5월 9일 정식

마. 경북 의성군 봉양면

경북 내륙지역에 위치한 식양질 토양이다. 배수는 약간 불량하고 투수성은 느리며 대부분의 지역은 논으로 이용하기 위해 논뚝을 만들었기 때문에 느리거나 매우 느리다. pH 6.5의 미산성 토양으로 유기물 함량은 21-30g/kg, 유효인산은 601mg/kg, 칼슘은 0.71cmol+/kg이상이다. 이 지역의 평균 일사량은 연평균 445MJ/m²이며 5-9월의 평균 일사량은 523MJ/m²으로 일사량이 높다. 2104년 11월에 피복하여 2015년 6월에 소형 로터리로 마늘을 수확 할 때 필름의 감김 현상이 나타나지 않았다.



[그림 76] 경북 의성 봉양면 피복 7개월 경과 (2015. 6. 17)

2. 논답 직파용 생분해 멀칭 필름 개발.

2013년 기준 우리나라의 농경지 면적은 1,712,000ha 이다 이중 논은 964,000ha 이고 밭은 748,000ha 이다.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
경지면적	1,759	1,737	1,715	1,698	1,730	1,711
논	1,046	1,010	984	960	966	964
·밭	713	727	731	738	764	748

표 24. 경지면적 추이 [출처 : e-나라지표, 단위 : 천ha]

쌀 생산은 2008년 대비 농경지 면적이 지속적으로 감소되고 있는 상황에서 생산비까지 상승함에 따라 농가 소득율도 감소되었다. 우리나라 쌀 생산비는 이미 미국과 중국의 쌀 생산비 대비 3배, 6배, 높은 상황이다. 쌀 생산비의 지속적인 증가로 인한 농가 소득율이 낮아지는 추세가 고착되어 FTA 이후 관세화로 쌀이 완전 개방 된다면 가격 경쟁력에서 매우 불리한 상황으로 내 몰리 수 있다.

최근, 농촌진흥청은 쌀 생산비를 줄일 수 있는 벼 논직파의 확대보급을 위하여 ‘벼 무논직파재배 기술’을 홍보, 보급하고 있다. 벼 무논직파는 육묘를 위해 못자리를 설치하지 않

아도 되고 따로 모내기를 할 필요가 없어 봄 작업(경운~중기제초제)단계에서 이앙재배보다 경영비 5.6%, 노동력은 42.0% 줄일 수 있는 재배 기술이다. 벼 무논직파 재배 면적은 2008년 100ha에서 2014년 1만 3,090ha이며 건답 직파를 포함하면 3만4,000ha에 이른다.(출처 : 뉴스와이어 2015. 5. 12, 한국농어민신문 2013. 11. 25)

이러한 직파재배의 장점에도 불구하고 전국적으로 보급이 확대되지 않는 가장 큰 이유는 제초제의 사용에 따라 발생하는 문제점들이다. 직파재배를 지속할 경우 저항성 잡초의 발생과 제초제 살포, 손제초 등 추후의 노동력 투입의 증가와 수량 감소가 나타난다.



[그림 77] 생분해 멀칭필름을 이용한 모 이앙 (2010. 5. 14. 수원)



[그림 78] 무처리, BDP 필름 처리구, 관행 필름 처리구 잡초발생량비교 (2010. 10. 26)



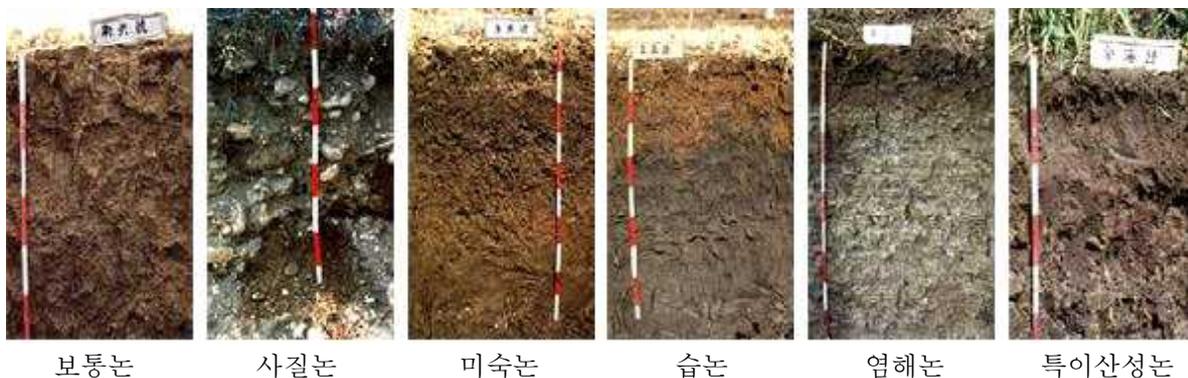
[그림 79] 잡초방제효과

(2011, Lab. of Weed Science, Div. of Organic Agriculture, RDA)

이 때에 직파재배에 생분해성 멀칭을 피복하면 피복 32일 경과 시 98.4%, 60일 경과 94.5% 의 잡초발생 억제 효과는 선행기술을 통하여 이미 검증 되었다.

선행기술은 직파재배에 적용된 기술이 아니며 못자리에서 육묘된 모를 이앙기로 논에 이앙할 때 생분해 멀칭필름을 동시에 피복하는 기술이 적용 되었다. 최근 직파에 대한 관심이 높아지면서 생분해 멀칭필름을 별찌를 생분해 필름에 부착하는 기술이 개발 되었고 충남 서산, 경북 김천 등 일부 지자체에서 생분해 멀칭필름을 이용한 직파재배 시범사업이 진행되었다. 이는 직파에서 수확까지 기계화를 통한 농업의 생력화를 기대할 수 있으며 육묘, 모내기, 제초 방제 작업 등으로 인하여 발생하는 비용과 노동력을 절감 시킬 수 있는 최적의 기술로 기대 된다.

우리나라의 토양통은 390가지가 밝혀졌으며 크게 논토양, 밭토양, 임지토양으로 나눈다. 직파에 가능한 논토양은 크게 두가지로 구분 된다.



[그림 80] 우리나라 논토양 형태 (출처 : 흙도람)

보통 논은 특별한 제한요소가 없어 생산력이 높은 논으로 우리나라 논토양의 32% 정도 차지하며, 점토함량이 적어서 수분 및 양분을 보유하는 능력이 부족한 사질논도 32% 정도

된다. 또한 경작 연수가 적어 토층분화가 덜 된 미숙한 논이 23%, 지하수위가 높아 습해의 우려가 있는 습논이 9% 대를 차지한다. 이렇게 우리나라의 논토양 중 보통논을 제외한, 양분의 보유능이 부족한 논토양이 전체의 60% 정도를 차지한다. 이러한 논토양에 미량원소가 함침된 생분해성 멀칭필름의 피복은 토양의 유기물의 변화를 유도하여 뿌리 발근 및 작물 생육에 도움이 될 수 있다.

벼를 직파할 수 있는 논 경작지를 구분하면 크게 건답직파와 무논직파로 구분할 수 있다. 건답과 무논의 토양은 보유하고 있는 특성이 서로 달라 피복하고자 하는 토양의 특성에 따라 피복재의 Recipe를 달리 해야 한다.

건답직파의 경우, 수리 불안정지역과 사질 논에서 시행하는 직파기술로 보비력이 습답에 비하여 다소 부족하다. 또한, 논 하층토는 유기물함량이 낮아 토양미생물에 의한 산소의 소모가 없다. 따라서 건답의 하층토의 산화층은 여름에 담수되어도 산소가 결핍되는 일이 없어 산화상태에 있다. 지하수위가 낮은 건답의 심토는 표토와는 달리 재배기간 중 불포화 상태에서 비교적 산화적 경향에 놓이고 pH값이 낮아지면 철의 농도가 낮아져 인산과 칼리가 결핍되는 현상이 나타난다. 따라서 건답에는 MP2로 Copounding 된 기능성M/B의 함량을 늘려 Fe와 P, K의 함량을 높여 이용할 수 있다. 담수에 의하여 작토층이 환원되면 Fe와 Mn이 Fe^{++} , Mn^{--} 로 환원되어 용해도가 증가하는 효과도 기대할 수 있다.

무논직파(습답)는 지하수위가 높아 토양의 환원상태를 유지하여 비교적 비옥도는 높은 편이나 심하여 유기산이 다량 집적되기 쉬워 칼륨성분의 저해가 오기 쉽다. 이러한 조건에서 미량원소의 함량을 높이는 것은 양분 간의 불균형을 초래할 수 있으나 도복 저항성을 향상 시키고 줄기와 잎의 표피세포 규화를 위하여 Si 함량이 처방 되도록 최소한의 기능성 M/B를 처방한다.



[그림 81] 직파재배용 생분해멀칭 뱀씨 부착 설비 (G사, 충남 서산)



[그림 82] 직과용 생분해필름의 범씨 부착 모습(원 : 범씨 탈락부분)



[그림 83] 생분해 멀칭필름 건담직과 피복 (강화도, 2015. 5)

밭 피복용은 노지의 상태와 직사광의 자외선에 의한 조기붕괴 등의 이유로 0.015mm 이상의 두께로 생산된다. 반면 논 피복용 생분해 멀칭필름은 밭 피복용보다 두께가 얇은 0.01mm로 생산 된다. 생분해성 멀칭필름의 Base Resin 인 PBAT는 연신율이 우수한 특성을 가지고 있으나 필름의 두께가 얇아지면서 보유하고 있는 기계적 물성 (인장강도)가 감

소하는 현상이 나타났다. 그로 인하여 직과재배용 범씨를 부착하는 과정에서 생분해성 필름의 연신에 의하여 점착제가 도포 된 범씨부착 부위가 늘어나면서 파단이 되어 범씨가 탈락하는 현상이 나타나게 된다. 이러한 현상으로 인하여 직과 피복 시, 결주가 발생하게 된다. 이를 방지하기 위하여 필름의 물리적 강도를 향상 시키고 연신율을 감소시킬 필요가 있다. 기존 필름 배합비에 PBS를 처방하여 인장강도를 적정수준 까지 향상 시켰다.



[그림 84] 생분해성 멀칭필름 무논직과 피복 (충남 당진 2015. 5)

건담과 무논에 직과용 생분해성 필름을 피복해본 결과, 건담은 Cast Line Extruder에서 나비 2700mm 필름을 피복하는 데에 전혀 어려움이 없었다. 필름에 부착 된 범씨의 들뜸 현상을 방지하기 위하여 트랙터로 피복과 동시에 필름 위로 흙을 덮어주는 작업이 병행되어 비교적 안정적으로 진행 되었다. 2015년 5월 RDA 국립식량과학원에서 주관한 대호간척지 수출용 원료 벼 생산단지 실증시험 연시회에 트랙터, 무인헬기를 이용한 직과 시연과 함께 범씨가 부착 된 생분해성 필름 직과 피복 시연을 선보였다. 직과와 함께 친환경 잡초방제가 동반되는 생필름 직과에 많은 관계자들이 관심을 보였다. 이번 대호간척지 연시회에서는 시연을 위하여 이미 논정리가 최적화 되어 있는 상태여서 피복작이 무리없이 진행 되었으나 무논직과 피복은 건담에 비하여 몇가지 문제점을 가지고 있다. 무논직과용 피복을 위해서는 우선적으로 논준비가 선행 되어져야 한다. 논준비가 나쁘거나 논둑이 부실하거나 경지의 균평이 고르지 못하면 피복작업에 어려움이 따른다. 필름이 논바닥과 접촉하지 않는 부분에서 범씨가 발아되지 않는 현상이 나타날 수 있다. 생분해성 필름의 비중이

1.2g/cm³으로 물보다 무겁기는 하지만 논의 균평이 고르지 못하면 범씨부분이 들뜨는 현상이 발생할 수 있다. 이를 해결 할 수 있는 피복 방식이 고려되어야 한다.



[그림 85] 대호간척지 수출용 벼 생산단지 신기술 실증사업 연시회 (2015. 5. 21)

8절. 벼 건답직파형 생분해 멀칭필름 실증 평가.

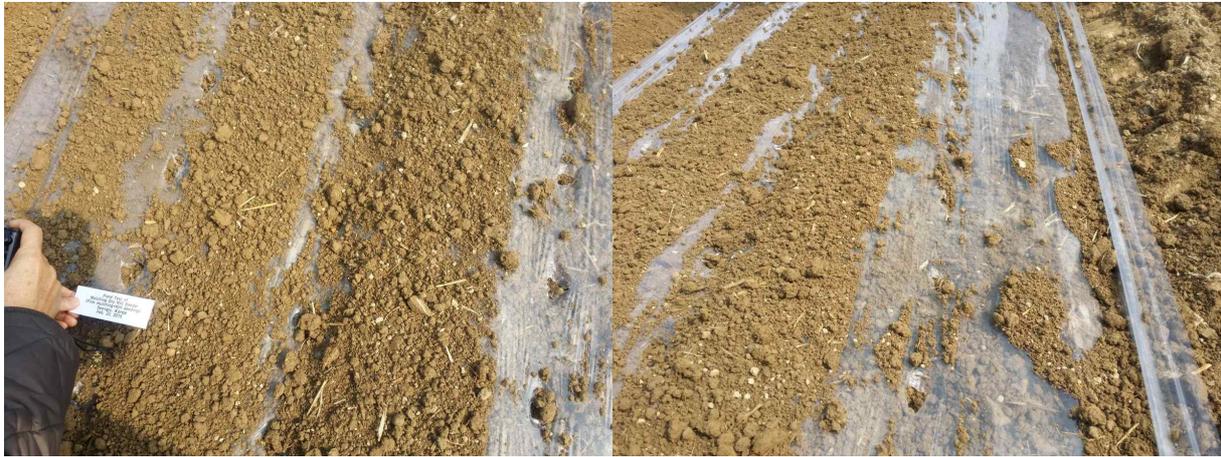
2001년 중국의 WTO 가입에 따라 중국은 쌀 수출국에서 쌀 수입국으로 전환 되었고 불과 수년 전에 수출의 규모보다 수입의 규모가 역전되는 현상이 발생했다. 미국 농무부에 따르면 지난해 중국의 백미 수입량은 260만 톤이었다. 중국은 2011년부터 백미를 57만 5000톤 수입하기 시작했고, 이후 중국의 백미 수입량은 가파른 증가세를 기록하고 있다. 중국의 연간 쌀 소비량은 약 1억4000만 톤이며 연간 520만톤의 쌀 수입을 할당 받았다고 한다. 그 중 50%인 260만톤은 중단립종(자포니카) 품종의 쌀을 수입해야한다. 그동안 주

소비 품종이었던 장립종(인디카)을 대체하여 중단립종(자포니카) 품종의 쌀 선호도가 급증하였으며 최근 중국인들 사이에 식품의 안전, 안심에 대한 관심이 높아지면서 고가의 고급 쌀 소비가 늘어나고 있는 추세이다. 중국의 동북 3성 지역을 제외한 지역에서 생산한 쌀은 수질이 대부분 3급수이며 토양 및 환경오염으로 인하여 품질에 대한 불신이 높고, 일본은 원전사고 이후 방사능에 대한 불안함, 미국은 유전자 변형인 GMO 품종에 대하여 불안감을 가지고 있는 상황이라 상대적으로 청정한 지역에서 재배한 우리나라 쌀은 충분한 경쟁력을 가지고 있다. 한중FTA 개방은 우리나라 농산물 시장에 지대한 타격을 줄 것으로 예상되지만, 이러한 중국의 현상은 기회로 작용할 여지가 충분히 높다.

2015년 11월 한국농수산대학교(박광호교수팀)의 주관으로 일신화학공업(주), BASF KOREA,(전. 삼성정밀화학) (주)불스 등이 참여하여 생분해 멀칭필름을 이용한 벼 직파재배를 위한 컨소시엄이 형성되었으며 향후, 주기적인 시연과 평가를 통하여 벼 직파재배 농업의 농가보급을 위한 정책 반영을 목표로 하고 있다.



[그림 86. 2015년 11월 멀칭건답 점파기 테스트 시연, 경북 고령]



[그림 87] 2016. 2. 멀칭건담 점파기 시연테스트, 경북 성주



[그림 88] 2016. 6. 건담점파 피복현장 (14일 경과, 한국농수산대학 시험필지)



[그림 89] 2016. 7. 전남 보성 건답점과 피복지



멸칭 건답점과
(생분해 필름이용)
충북 청주
2016. 9. 2

[그림 90] 2016. 9. 충북 청주 건답점과 피복지

9절. 흑색, 투명으로 구성된 배색필름 개발.

멀칭 필름의 3대 필수 기능은 수분의 증발 억제, 잡초발생 억제, 지온의 보온(상승)이다. 이러한 기능을 이용하여 멀칭용으로 투명필름과 흑색 필름이 이용되고 있다. 투명 멀칭필름은 LDPE와 LLDPE를 Dry Blend하여 압출을 하며 흑색 멀칭필름은 투명 멀칭필름에 Carbon Black을 Blend 하여 제작한다. 투명필름의 투명도는 90% 이상의 투과율을 가지고 있어서 낮 동안의 복사열이 토양에 축적되어 지온의 상승효과와 토양 수분의 증발을 억제해주는 기능이 있다. 반면, 태양의 전체광이 투과되어 잡초의 생육을 억제하지 못하는 단점이 있다. 반면 흑색 멀칭필름은 전체광을 차단하여 잡초 발생을 억제할 수는 있으나 투명 멀칭필름에 비하여 지온 상승의 효과가 부족한 단점을 가지고 있다. 이로 인하여 광량이 부족한 동절기 재배작물(한지형마늘, 양파, 땅콩 등)은 투명 멀칭필름을 주로 사용하고 일반적인 봄철 재배작물에는 흑색 멀칭필름을 사용한다. 일부 지역과 재배작물은 투명 멀칭필름과 흑색 멀칭필름의 단점을 보완한 배색 멀칭필름이 일부 사용되고 있다.



투명 멀칭필름



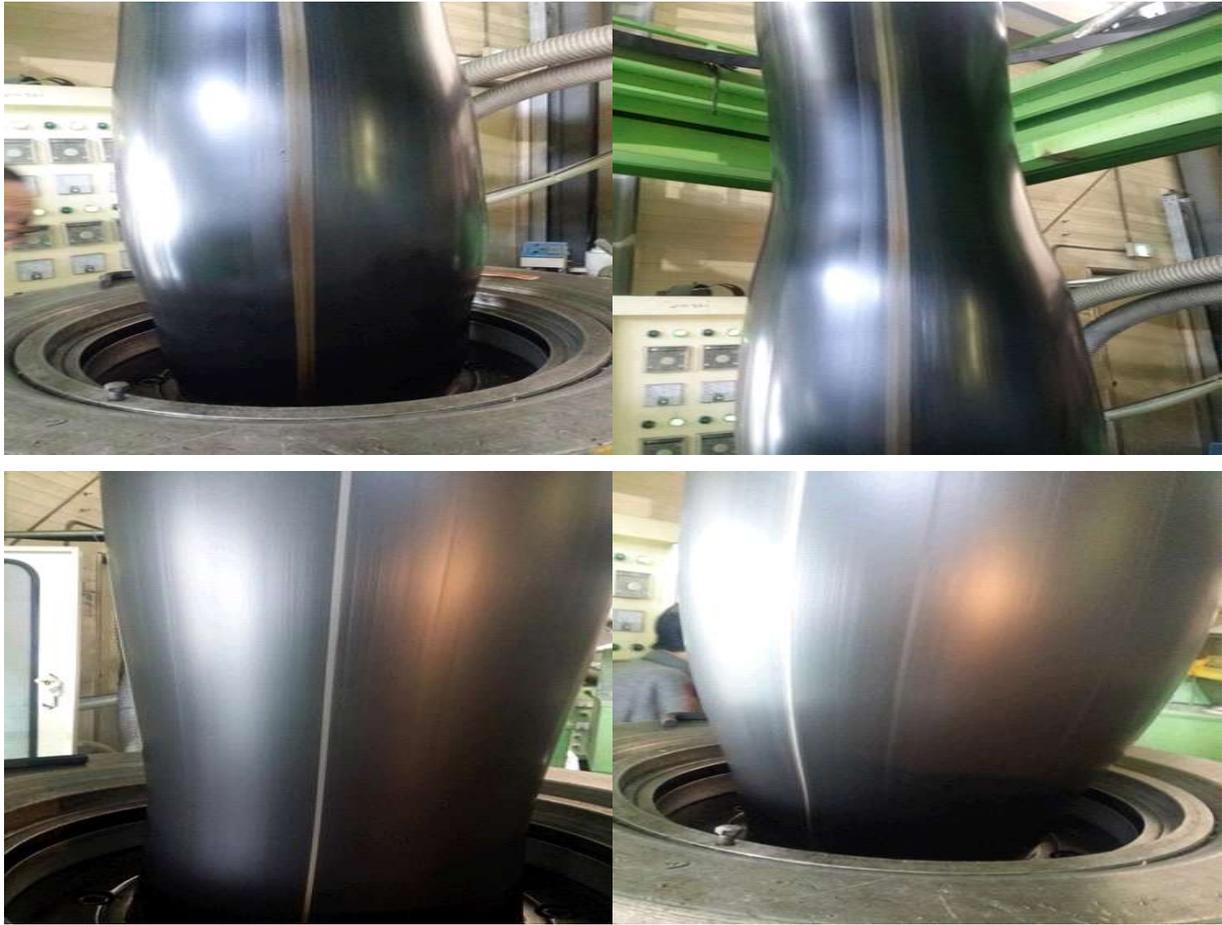
흑색 멀칭필름



배색 멀칭필름

[그림 91] 멀칭필름종류

국내에 소비되는 멀칭필름은 연간 5만여톤에 달한다. 그 중 30% 정도 배색형태의 멀칭 필름이 사용된다. 따라서 생분해 멀칭필름도 배색형태의 필름이 요구되는 상황이며 이를 위하여 전용 압출기의 Dies를 개조하여 배색 생분해멀칭 필름을 제작하였다. 배색 멀칭 필름은 일반 PE수지를 이용하여 제작할 경우에도 공정 조건을 맞추기가 몹시 까다롭고 민감한 제품이어서 숙련된 기술이 요구되는 제품이다. 본 연구를 통하여 국내최초 혹은 세계최초로 배색형 생분해 멀칭필름을 개발하였다.



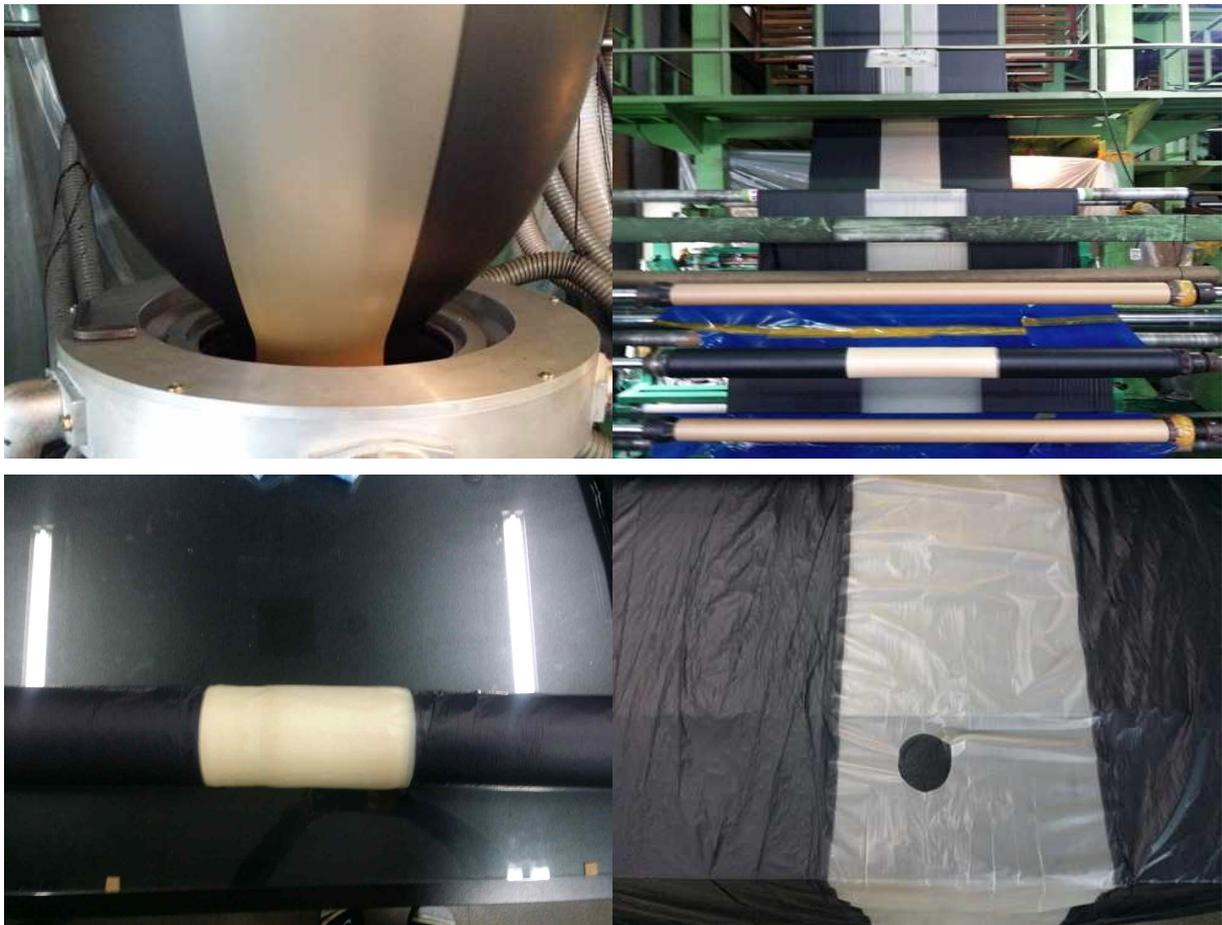
[그림 92] 다이스 Design 변경 전



[그림 93] Dies 구조 변경

기존 배색 밀칭을 생산하던 2Layer Extruder에서 개발된 Recipe를 적용하여 압출을 시도한 결과, 흑색부분과 투명부분의 경계가 발생하였으나 Bubble이 불안정하여 정상적인 배색형태

의 구간을 확보하지 못했다. 단일 컬러 생분해 필름과 달리 기존 LD 전용 다이스 구조에서는 흑색과 투명부분의 융합이 정상적이지 못한 것을 확인 할 수 있다. 생분해 수지가 무리 없이 올라와서 흑색부분과 투명부분의 접합이 가능하도록 다이스의 Air-ring과 스파이럴 구조를 변경하였다. Design 변경 이후 압출 시, Bubble의 안정성이 향상되었으며 흑색과 투명부분의 접합부분도 정상적으로 압출 되었다. 다만, 투명부분의 넓이 조정이 용의치 않아 투명부분의 배합 Recipe를 조정하여 넓이를 컨트롤했다.



[그림 94] 배색형 생분해 멀칭 개발품 및 타공 응용품

본 개발을 통하여 국내 최초(세계 최초)로 배색형 생분해 멀칭필름의 제조 기술을 개발 하였으며 필름의 폭과 투명부분의 넓이에 따른 각각의 Recipe도 확보하였다. 해당 상품은 2017년부터 상품화를 진행 할 예정이다. 이에 한발 더 나아가 소비자의 요구에 맞게 필름에 구멍을 타공한 유공 제품과 바늘구멍 사이즈의 침공 제품 등으로 응용이 가능하여 양산 가능성도 확인 하여 생분해 멀칭필름을 더욱 수월하게 소비자들이 접할 수 있어서 더욱 하였다.

2장. 생분해 멀칭필름 현장 실증실험 (강원도농업기술원)

1절. 작목별 재배기술

1. 고추

● 생육과정 (주요 농작업)

1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월		8월		9월		10월		11월		12월					
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하				
밭이거, 육모기						정식기						개회기															
온상설치				파종, 이식기				정식				지주설치, 유인				뚫고수 수확				붉은고추 수확				생신량 및 수량 감소시 연장 재배			
1회웃거름						2회웃거름						3회웃거름															

가. 파 종

- (1) 파종시기 : 남부 2월초~중순 / 중부 2월중~하순
- (2) 파종량 : 1dl/10a

나. 육 묘

- (1) 온도관리 : 낮 22~30℃ / 밤 15℃이상
- (2) 육묘일수 : 70~80일
- (3) 물주기 : 오전중에 20℃ 정도의 물 관수

다. 정 식

- (1) 정식시기 : 남부 4월하~5월상순 / 중부 5월상~중순
- (2) 재식거리 : 1줄재배 - 100cm×35~40cm, 2줄재배 - 150cm×35~40cm
- (3) 비닐덮기 : 0.02~0.03mm비닐

2. 양과

● 생육과정(주요 농작업)

8월		9월		10월		11월		12월		1월		2월		3월		4월		5월		6월		7월																									
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하																								
유묘기(조·중·만생)						결착기						활동기						경엽신장기						구비대기																							
파종 및 묘상관리						정식						배수구 정비						배수						1회 웃거름						2회 웃거름						병해충방제, 관수						수확					

가. 파종

- (1) 파종시기 : 8월중~9월상순
- (2) 묘상면적 : 50m²/10a
- (3) 파종량 : 6~8dl/10a
- (4) 모잘록병 방제 : 파종전

나. 관리 작업

- (1) 정식시기 : 10월중~11월중순
- (2) 정식거리 : 이랑나비 24~30cm, 포기사이 12~15cm

3. 옥수수

생육과정(주요농작업)

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
				유모기	신장기	출몰출시	동숙기				
			파종, 밑초억 쓰기	보식	웃거름			수확			

나. 파종적기

- (1) 중북부 : 4중~5상순
- (2) 남부 : 4상~하순

다. 파종량

- (1) 곡실용 옥수수 : 2.0~2.5kg/10a
- (2) 식용 풋옥수수 : 1.5~2.0kg/10a

4. 곰취

생육과정(주요농작업)

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
			입거름 토양관리	파종	육묘 정식	웃거름	중경제초		수확		
					2년차 수확		중경제초 및 웃거름				

6. 감자

● 생육과정(주요농작업)



가. 파종량

- (1) 소요량 : 150kg/10a
- (2) 씨감자 자르기 : 30~40g/1쪽

나. 묘상설치

- (1) 시기 및 기간

	시기	기간
봄재배	2하~3상	25~30일간
가을재배	7중~8상	10~15일간

다. 적정시비

- (1) 기비(N-P-K) : 10-10-12 + 퇴비 1,000kg/10a
- * 가을재배시 봄재배보다 질소거름 50% 증시

라. 심는거리

- (1) 일반재배 : 70×25cm(5,660주/10a), 조기재배 : 60×25cm(6,600주/10a)

마. 생육적온

- (1) 덩이줄기 비대적온 : 15~18℃, 덩이줄기 비대정지 : 27~30℃

8. 양배추

● 생육과정(주요 농작업)



가. 파종

- (1) 파종시기 : 7월
- (2) 육묘주수 : 4,500~5,000주/10a
- (3) 파종량 : 0.6dl/10a
- (4) 망사피복 : 파종직후 망사터널 피복

나. 정식 및 관리

- (1) 정식시기 : 9월
- (2) 재식거리 : 이랑나비 75cm, 포기사이 45cm
- (3) 관수 : 가뭄시 관수
- (4) 제초 : 제초제 사용

9. 야콘

가. 재배 현황

야콘은 안데스 산맥이 원산지로서 남미에서 주로 재배된다. 뉴질랜드, 미국, 일본서 연구되고 있으며, 우리나라는 1985년 4월 타키이사로부터 묘 세 포기를 원예시험장에 도입하여 시험 재배하였다. 현재는 옥천, 괴산, 상주, 강화, 영양 등 여러 지역에서 재배되고 있다.

나. 재배 시 토양 환경

야콘은 토양의 종류와 pH에 대한 적응 범위가 넓다. 하지만 비옥하고 토심이 깊으며 구조가 잘 발달하여 물리성과 배수가 양호한 토양에서 잘 자라고 중점토에서는 생육이 불량하다. 야콘은 강변, 토사지, 길가에 자생하며 식물이 자라지 못하는 틈새지역의 불모지에 적응하여 군락을 이루고 있다.

10. 고구마

● 생육과정(주요농작업)

1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하
					육묘기	심는시기	줄기일 증가기	덩이뿌리비대기			
					상도준비	묘판설치	육묘관리	집초억쓰기	배수관리	수확	수매 및 저장

가. 건묘육성

- (1) 씨고구마 소독(검은무늬병 예방) : 47~48℃ 물에 40분간 침적
- (2) 묘상 적기설치 : 온상 - 3월상·중순, 냉상 - 3월중·하순
- (3) 묘상기간 온·습도관리 : 싹나오기전 - 30~33℃, 싹나온 후 - 23~25℃, 모판흙 습도 - 70%유지

나. 정식적기

- (1) 적기 : 단작 - 5월상·중순(극남부 4월하순), 후작 - 6월상·중순

다. 파종방법

- (1) 방 법 : 수평식, 개량수평식
- (2) 재식거리 : 단작 - 90×25~30cm(4,200주), 후작 - 75×20~25cm(6,000주)

2절. 세부연구수행 결과

1. 연구배경

멀칭은 농작물 재배 시 잡초방제를 위하여 널리 이용되는 농자재다. 우리나라에서는 1980년 이전까지만 해도 벧짚 등의 초목류를 이용하였고, 폴리에틸렌 필름이나 종이류를 개발·이용 하였다(Jeon *et al.*, 2006). 작물재배 시 멀칭은 잡초생육을 억제하는 효과뿐만 아니라 양분유실 저감, 지온 상승 등 다양한 효과가 보고된 바 있다(Kwon and Lee, 1984). 특히 폴리에틸렌 멀칭은 온도가 낮은 시기에 지온 상승에 의한 작물 수량증진 효과가 있다고 하였다(Lim *et al.*, 1988). 그러나 대기온도가 높은 시기의 멀칭은 높은 토양 온도 상승에 의해 작물의 수량이 오히려 감소된다는 보고도 있다(Miller, 1986). 따라서 대기온도가 낮은 봄에는 흑색멀칭이 토양 온도 상승에 효과적이고(Hatt *et al.*, 1995), 여름에는 과도한 온도 상승을 억제하는 흰색멀칭이 흑색멀칭보다 작물수량 증수에 효과가 있다고 하였다(Schalk and Robbins, 1987). 그러나 비닐피복재배는 이러한 장점 외에 몇 가지 문제점을 안고 있다. 작물을 폴리에틸렌 필름으로 멀칭 하여 재배할 경우 수확작업 후 비닐을 걷어야 하는데, 이때 흠속에 묻혀있거나 토양표면에 엉켜 붙은 비닐을 수거하는데 많은 노동력

이 든다. 이외에도 토양에 남은 비닐은 분해되는데 오랜 기간이 걸려 토양오염 및 환경오염을 야기 시키기도 하며, 밭 주위에 방치되어 농촌경관을 훼손하기도 한다 (그림 95).



[그림 95] 비닐수거 작업과 수거된 폐비닐.

2009년 우리나라의 농촌 폐비닐 발생량은 34만톤 이었으며, 이 중 60%도 수거되지 않고 있는 실정이고, 나머지는 토양 중에 잔류하거나 농경지와 농경지 주변환경에 버려진다. 각 지자체와 정부는 해마다 폐비닐 수거에 많은 노력과 비용을 지불하는 실정이다. 폴리에틸렌 필름은 소각이나 매립할 경우 환경호르몬 유출, 다이옥신 발생 등 사회적 문제를 야기하고 있다(Gracia *et al.*, 1992). 따라서 현재 농업용 멀칭재료는 폴리에틸렌 필름의 이러한 문제점을 해결하기 위해 물성은 폴리에틸렌 필름과 같으면서 사용 후에 미생물, 광선, 지열 등에 의해 쉽게 분해될 수 있는 환경 친화적이고 무해한 분해성 필름개발에 대한 요구가 높아지고 있다(Jung *et al.*, 1999). 분해성 플라스틱은 제조에 사용되는 소재와 분해되는 반응에 따라 생분괴성, 광분해성, 생분해성으로 나누어진다(Doane, 1992). 생분괴성 플라스틱이란 기본적으로 폴리에틸렌 등에 전분과 같은 미생물에 의해 분해 가능한 물질을 일정 부분 첨가하여 붕괴되는 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 플라스틱은 붕괴성은 인정되지만, 완전한 생분해성의 의미로 볼 수는 없으며, 분해가 되지 않은 플라스틱은 토양 혹은 그 주변에서 오염물질로 작용할 수 있다. 광분해성 플라스틱은 태양광의 작용에 의해 분해되는 플라스틱을 말하며, 폴리에틸렌 필름에 광 증감제, 금속화합물 등이 첨가되어 분해 중에 환경오염을 일으킬 우려가 있어 적합한 방법이라 볼 수 없다(Scott, 1990). 생분해성 필름은 미생물이 생산하는 바이오플라스틱, 전분이나 지방족 폴리에스테르 등의 천연소재를 주성분으로 하여 제조하는 것과 여기에 분해성을 부여한 화학합성 플라스틱으로 분류할 수 있다(Shin *et al.*,1995). 이들은 모두 땅속에 묻거나 바다 속에 버려두면 세균이나 조류, 곰팡이와 같은 자연에 존재하는 미생물에 의해 분해되어 저분자 화합물이 되었다가 최종적으로 물과 이산화탄소 또는 물과 메탄가스로 분해가 이루어진다.

본 연구는 수확 후 멀칭비닐의 수거 노동력 저감과 농촌환경 오염의 원인이 되고있는 폐비닐 처리 등의 문제를 해결하기 위해 최근 개발된 생분해성 필름을 사용하여 고추, 양파, 옥수수, 곰취, 감자, 야콘, 양배추의 생육과 수량에 미치는 영향과 환경에 대한 안전성을 구명하고, 피복재료로의 이용 가능성을 검토하였으며, 더불어 미량원소를 필름에 주입하여 멀칭효과와(여기서 더불어 뺏음) 생육촉진 효과를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

본 시험은 시험1~6으로 구성하여 실시하였다. 작목별로 시험장소와 처리내용은 표 25과 같다. 시험1~4는 2014~2015년 수행 하였으며, 시험5는 2016년, 시험6은 2015~2016년 실시하였다.

표 25 작목별 시험장소 및 처리내용.

구분	시험 1	시험 2	시험 3	시험 4	시험 5	시험 6
작목	고추	양파	옥수수	곰취	무	감자, 야콘, 양배추
장소	춘천	평창	춘천	평창	춘천	감자(강릉), 양배추(평창), 야콘, 고구마(춘천),
처리내용	생분해필름(1·2), 관행(HDPE), 무피복				생분해 필름 3, 관행	생분해필름 2, 관행필름

옥수수 파종은 1년차, 2년차 모두 4월 24일, 수확은 7월 21일 실시하였다. 농촌의 고령화로 인한 노동력의 부족으로 생분해 필름의 요구에 따라 영월군 주천면 용석리 옥수수 보급종 생산단지에서 생분해필름의 농가실증을 수행하였다. 다년생 작물인 산채류인 곰취의 경우 2회에 걸쳐 반복시험을 수행하였는데, 1차 노지포장에서 2014년 5월 15일 128구 트레이묘를 정식하고 무차광 재배하였으며, 고온장해로 인한 생육불량으로 인해 2차 시험으로 해가림시설로 장소를 변경하여 2014년 9월 19일 분주묘를 가을정식하고 이듬해 5월부터 10월까지 생육기간중 35%차광망을 설치하여 재배하였는데 2차 시험에서 월동후 년차별로 4회씩 1.2㎡면적에서 20주를 대상으로 지상부 위의 수량성을 조사하였다. 산채류 추가 예비시험으로 곤드레에 대해 시험을 수행한 바, 재식거리는 20×30cm로 하였고 2014년 5월 15일 정식하였고 당해년도 2회, 이듬해 3회에 걸쳐 수확작업을 실시하였다.

표 26. 생분해 멀칭필름 작목별 파종 내용

구분	고추	양파	옥수수	곰취
재식거리	70×40cm	20×15cm	70×30cm	20×30cm
품종	남격	춘불	미백2호	자생종
정식	5/16(1차) 4/28(2차)	5/15	4/24(1,2차)	5/15(1차) 9/19(2차)

미량원소 함유 생분해 필름의 멀칭효과를 검토하고자 무를 대상으로 시험을 수행하였다. 생분해필름에 함유된 미량원소는 B 0.34%, Zn 0.26%, Fe 0.069% Mn 0.028% Cu 0.23%, Mo 0.05% 였으며, 10a 에 생분해필름이 12.2kg이 필요 하므로 미량원소의 토양내 투입은 각각 B 41.48g, Zn 31.72, Fe 8.39, Mn 3.45, Cu 28.02, Mo 6.11 였다. 미량원소가 함유된 생분해 필름 재료인 파우더를 재료로 하여 종자밭아 시험을 수행하였다. 생분해필름 파우더를 100배 희석하여 50℃에서 24시간 추출한 후 그 여액 5ml를 No. 2 여과지를 바닥에 깔 페트리디시에 가하고, 종자를 치상 하였다. 페트리디시는 파라필름으로 감아 수분증발을 막고 생육상 온도 25℃에서 120시간 후에 조사하였다.

시험 수행 중 농가의 요청에 따라 감자, 양배추, 야콘, 배추, 고구마에 대한 농가실증 시험을 수행하였다. 처리는 생분해필름 한 종류를 선택하였고, 관행필름과 토양환경, 수량성 등을 조사하였다. 표 27과 같이 작목별 파종을 하였다.

표 27. 생분해 멀칭필름 작목별 파종 내용

구분	감자	양배추	배추	야콘	고구마
채식거리	75×25cm	80×50cm	70×40cm	100×50cm	70×20cm
품종	오륜감자	대박나	불암 3호	백야	신울미
정식	4/6	5/27	8/20	5/20	5/23
수확	7/29	8/10	11/5	10/20	9/20

작목별 시험 전 토양의 화학성은 표 28와 같다. 토양산도(pH)는 6.4~7.2의 범위 였으며, 전기전도도 (EC) 는 0.04~0.10dS/m, 토양유기물(OM)은 6.5~26.3g/kg, 가용성 인산은 128~625mg/kg, 치환성 양이온인 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)는 각각 0.1~0.9, 5.3~6.3, 1.1~1.5 cmol⁺/kg 범위 였다. 고추와 옥수수의 시험포장은 같은 포장으로 시험전 토양을 고루 섞어 시료를 채취하여 시험 전 토양의 화학성 값이 같았다. 작물별 비료량은 농촌진흥청의 기준에 의해 산출하여 시비하였다.

표 28. 주요 작목의 시험 전 토양의 화학적 성질.

작목	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. cation (cmol ⁺ /kg)		
					K	Ca	Mg
고추	7.2	0.10	11.5	128	0.4	5.0	1.2
양파	6.7	0.06	6.5	170	0.1	5.0	1.1
옥수수	7.2	0.10	11.5	128	0.4	5.0	1.2
곰취	6.7	0.12	6.5	170	0.45	8.7	1.7
무	6.5	0.08	21.3	356	0.7	6.1	1.5

시험에 사용한 생분해필름은 지방족 폴리에스터(PBSA, Polybutylene-co-adipate terephthalate)에 PLA (Poly lactic acid)와 변성전분(Theomo Plastic Starch)을 혼합, 생육이 3개월 내에 재배가 끝나는 작물을 대상으로한 생분해 1과 3개월 이후에 재배가 끝나는 작물에 적용하는 생분해 2. 그 외 관형(HDPE)구와 무멀칭구를 두었으며, 시험 5의 미량원소 함유 생분해필름은 생분해 3으로 구분하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였고, 시험구의 재초는 파종(정식) 후 30일 1회 실시하였다. 작물의 생육 및 수량은 농촌진흥법 표준조사법에 준하였고(RDA, 2003), 결과 값의 통계분석은 SAS(9.2)를 사용하여 Duncan의 다중검정을 실시하였다.

토양은 음건하여 2 mm 체에 통과된 것을 화학성분 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(NAAS, 2000)을 적용하였다. pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 초자 전극법으로 측정 하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 양이온은 1N $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7.0)로 추출, 붕소 등 미량원소는 왕수로 추출하여 유도결합플라즈마분광광도계(GBC, Inductively Coupled Plasma, Victoria Australia)로 측정하였다.

멀칭필름의 분해 개시기는 육안으로 비닐이 분해되기 시작한 때로 하였으며, 멀칭필름의 중량 감소분은 수확기에 필름의 일정량을 채취, 깨끗한 물로 세척하고, 잘 말린 후에 멀칭 전 무게와 비교하여 감소한 비율로 나타내었다. 지온 조사(옥수수)를 위하여 온도센서를 처리별 두둑의 토중 10cm에 매설하고 데이터 로거를 이용하여 2시간 간격으로 측정하였다.

토양미생물상 조사(옥수수)용 시료는 수확 후 채취하여 분석하였다. 세균은 NA 배지를 사용하여 분리하였고, 사상균은 Rose bangal 한천배지, 방선균은 전분 Casein 한천배지를 각각 사용하였다. 각각의 배지에 토양희석액을 도말한 후 세균, 사상균, 방선균을 25°C에서 3일간 배양 후 조사하였고, Microbial biomass C는 토양시료를 클로로포름으로 혼중하여 0.5 M K_2SO_4 용액으로 분해하고 황산제1철암모니움 용액으로 적정하였다. 탈수소효소(Dehydrogenase) 활성도 측정은 CaCO_3 와 3% TLC(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride)용액을 혼합한 후 여과하여 UV/Vis Spectrophotometer로 485 nm에서 흡광도를 측정하였다. 본 시험에서 취급한 작목의 일반적 재배법은 아래와 같다.

3. 결과 및 고찰

가. (시험1) 고추에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

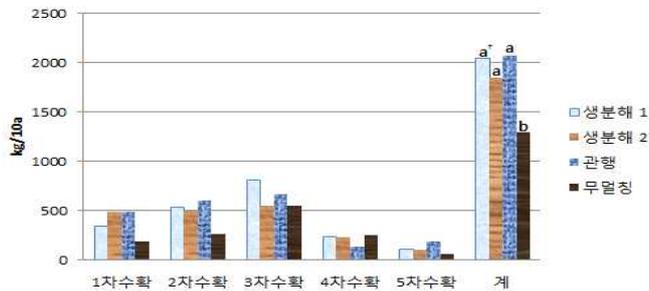
고추의 수확기 생육은 표 29과 같다. 고추의 초장은 무멀칭구를 제외하고 통계적으로 유의적인 차이가 없었고, 그 외 경경, 과장, 과경도 같은 경향 이었다.

표 29. 수확기 고추의 생육.

구 분	초장(cm)	경경(mm)	과장(cm)	과경(mm)
생분해 1	99 a [†]	13.7 a	12.3 a	22.2 a
생분해 2	97 a	13.6 a	12.0 a	22.3 a
관행	101 a	13.5 a	12.1 a	22.3 a
무멀칭	87 b	12.5 b	10.9 b	20.5 b

[†] : DMRT(0.05)

그림 96는 고추의 처리별 수량을 보여주고 있다. 모든 처리에서 첫 수확부터 2차, 3차 수확까지 수확량이 증가하다, 4차 수확부터 수량이 줄었다. 전체수량은 관행 > 생분해 1 > 생분해 2 > 무멀칭 순이었으나, 무멀칭을 제외하고 통계적은 차이는 없었다.



[그림 96] 처리별 고추의 수량.

그림 97은 고추 수확 후 관행필름, 생분해필름을 나타내고 있다. 관행필름은 수확 후에도 원형이 거의 그대로 유지 되어있어서 재활용의 가능성은 있으나 수거율이 현실적으로 10%에 머물러 오염원이 될 수 있다. 생분해필름은 그림 97 에서 보듯이 작기 후 거의 분해되어있다. 고추는 4월말~5월중순 정식하여 10월중순 까지 재배하는 비교적 생육기간이 긴 작물이다. 또한 생육기간과 수확시기가 겹쳐 있어 사람의 발길이 잦아 비닐훼손이 쉽고, 재배 후 경운 전 고추 지주대를 제거해야하는 농작업상의 이유로 생분해 필름을 권장 하기는 이른 듯 하다.



관행피복

생분해 1

생분해 2

[그림 97] 고추 재배 후 관행필름과 생분해성 분해 비교.

시험전·후 토양의 화학성은 표 30와 같다. pH와 EC, K, Mg은 통계적으로 시험전과 차이가 없었다. 토양유기물과 칼슘은 처리별로 약간의 차이가 있었지만, 멀칭종류에 의한 결과로 보이진 않았다. Lim et al.(1979)이 1~2회의 토양실험에서 기대한 결과를 얻기는 힘들다는 보고하였는데, 추후 멀칭 종류에 따른 토양 내 공기유통, 빗물에 의한 양분의 유실 등을 고려한 면밀한 검토가(추후 뺏음) 필요 할 것으로 본다.

표 30. 시험전·후 토양의 화학성 비교.

구 분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Ca	K cmol+/kg	Mg	P ₂ O ₅ (mg/kg)
생분해 1	7.0 a [†]	0.12 a	11.2 a	4.5 b	0.3 a	1.0 a	223 ab
생분해 2	7.0 a	0.09 a	6.0 a	3.6 b	0.3 a	1.1 a	245 a
관행	6.8 a	0.09 a	7.3 b	4.0 ab	0.3 a	1.0 a	195 b
무멀칭	6.9 a	0.07 a	11.8 b	4.4 ab	0.4 a	1.3 a	206 b
시험전	7.2 a	0.10 a	11.5 b	5.0 a	0.4 a	1.2 a	128 c

[†] : DMRT(0.05)

표 31는 고추의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 생분해필름은 멀칭 후 50~60일 정도부터 두둑 측면과 정식구멍에서 분해가 시작되는 것을 확인 할 수 있었다. 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1이 60%로 가장 높았고, 생분해 2, 관행 순이었다.

표 31. 고추의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

구 분	육안 분해 개시기 (정식후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기(7.16)	수확기(10.17)	
생분해 1	50	5 미만	70	60
생분해 2	60	5 미만	65	55
관행	-	-	-	1

나. (시험2) 양파에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

양파의 수확기 생육은 표 32과 같다. 양파의 구고, 구폭, 겹수는 무멀칭구를 제외하고 통계적 차이는 없었다. 수량을 결정하는 구중의 경우 생분해 1구가 193g/개로 가장 무거웠고, 수량은 생분해필름 멀칭구 > 관행 멀칭구 > 무멀칭구 순이었다. 8월 이후 생분해필름 멀칭구의 분해에 따른 낮과 밤의 지온차이에 의해 양파의 인경이 비대된 것으로 추정되며, 그림 98는 수확기 양파의 생육상황을 보여주고 있다.

표 32. 수확기 양파의 생육상황.

처 리	구고 (mm)	구폭 (mm)	겹수 (개)	구중 (g/개)	결주율 (%)	수량 (kg/10a)
생분해 1	66 a [†]	72 a	8.5 a	193 a	7.5 a	5,177 a
생분해 2	63 a	71 a	8.2 a	187 ab	7.5 a	5,016 a
관행	65 a	72 a	8.5 a	185 ab	7.4 a	4,968 ab
무멀칭	56 b	67 b	8.5 b	152 b	15.2 b	3,748 b

[†] : DMRT(0.05)



[그림 98] 양파의 처리별 생육상황.

표 33은 시험전·후 토양의 화학성을 보여주고 있다. pH는 처리와 관계없이 전체적으로 시험전 6.7보다 높아지는 경향이었으나, 멀칭에 의하기 보다는 토양수분 변동에 따른 산, 염기 물질의 이동에 따른 것으로 추정되며, 주기적인 관찰이 필요 할 것으로 생각된다. EC는 거의 변화가 없었으며, 양이온은 약간 감소하거나 같았고, 인산은 고추 시험과 같이 토양인산 고유특성에 따라 시험전보다 1.4배 이상 높아졌다.

표 33. 시험전·후 토양의 화학성 비교.

처 리	pH	EC	OM	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)	cmol+/kg			(mg/kg)
생분해 1	6.9 a	0.07 a	6.9 b	4.7 a	0.1 a	1.2 a	254 b
생분해 2	6.9 a	0.08 a	6.9 b	4.9 a	0.1 a	1.1 a	246 b
관행	7.0 a	0.07 a	7.3 a	4.8 a	0.1 a	1.2 a	321 a
무멀칭	7.1 a	0.07 a	6.8 b	4.5 b	0.1 a	1.1 a	255 b
시험전	6.7 b	0.06 a	6.5 c	5.0 a	0.1 a	1.1 a	170 c

† : DMRT(0.05)

표 34은 양파의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 고추와 마찬가지로 생분해필름은 멀칭 후 50~60일 정도부터 두둑 측면과 정식구멍에서 분해가 시작되었고, 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1이 50%로 높았고, 생분해 2, 관행 순이었다. 평지에서 재배한 고추보다 약간 덜 분해되는 양상이었는데, 이는 시험지역이 평창으로 온도가 고추 시험지 보다 낮고, 수확시기가 한 달 정도 빨랐기 때문인 것으로 생각된다.

표 34. 양파의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

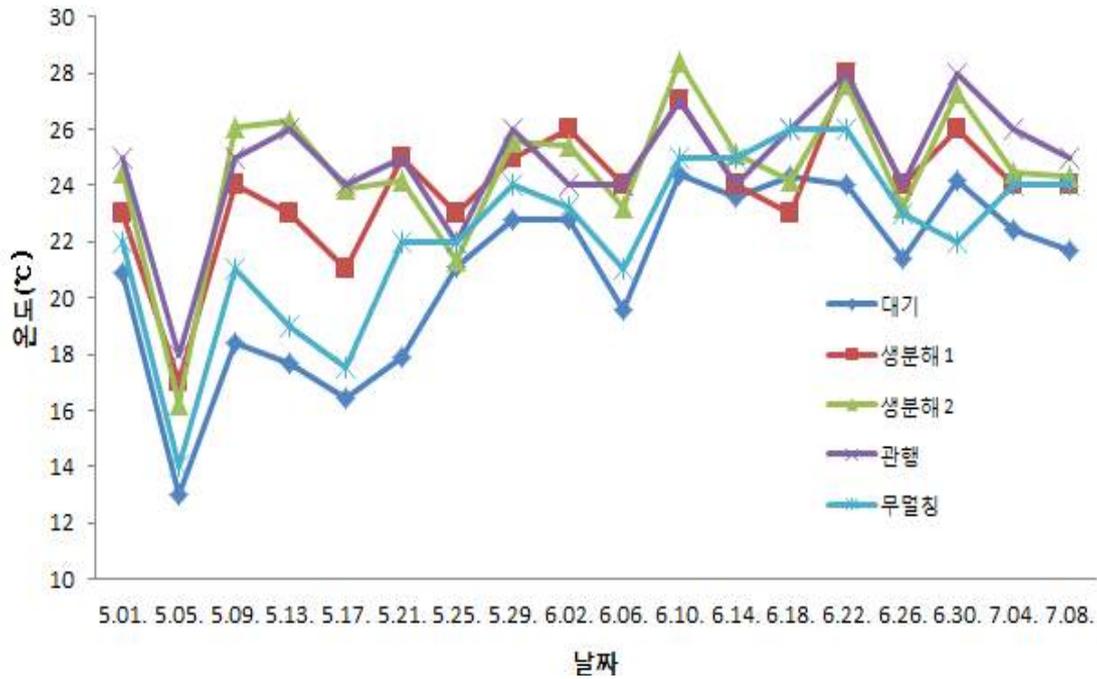
구 분	육안 분해 개시기 (정식후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기(7.16)	수확기(9.20)	
생분해 1	50	5 미만	60	50
생분해 2	60	5 미만	55	45
관행	-	-	-	1

다. (시험3) 옥수수에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

그림 99는 옥수수 작기 중 토양 지중 10 cm 부분의 평균지온을 나타냈다. 생육기 동안 일평균 지온의 합은 관행구 에서 1,711℃로 가장 높았고, 생분해 2구는 1,690℃, 생분해 1구는 1,649℃ 무멀칭구는 1,497℃ 순이었다. Yun et al.(2011)은 5월초부터 6월말까지 일평균 지온이 관행구가 무멀칭구 보다 2℃ 높다고 보고 하였는데, 본 시험에서도 관행구의 일평균 지온이 무멀칭구 보다 3.1℃ 높았고, 생분해 1구와 생분해 2구 또한 무멀칭구 보다 각각 2.2℃, 2.8℃ 높게 조사되었다.

표 35는 옥수수의 생육시기별 멀칭필름의 육안 분해도와 수확기 중량 감소분을 나타내고 있다. 생분해 1구는 파종 후 50일, 생분해 2구는 파종 후 60일경부터 두둑 측면과 파종구멍에서 분해가 시작되었다. 파종 후 50~60일 정도일 때 생분해성 필름이 분해되어도 옥수수의

지상부가 번무하여 잡초발생이 억제되었다. 수확기 중량감소분에 의한 분해율은 생분해 1구가 30%로 높았고, 생분해 2구는 25%, 관행구는 1% 였다.

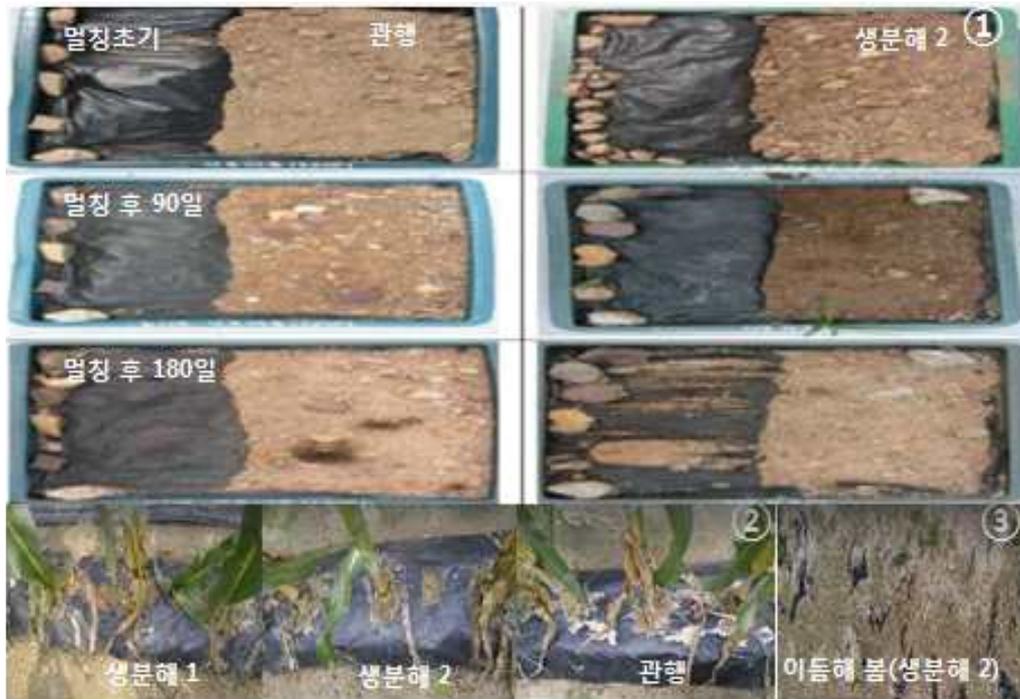


[그림 99] 멀칭재료 별 지온변화(지중 10cm)

표 35. 옥수수의 생육시기별 멀칭필름의 분해도.

구분	육안분해 개시기 (과종후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (수확기, %)
		생육중기 (6.24.)	수확기 (7.21.)	
생분해 1	50	7	35	30
생분해 2	60	5	30	25
관행	-	-	-	1

그림 100은 생분해필름과 관행필름의 분해정도를 보여주고 있다. 60×40×10 cm 사각 포트에 토양을 충진, 관행과 생분해 2로 멀칭한 후 주기적으로 관수하고 생분해필름의 분해정도를 관찰한 결과이다(①). 그림 100에서 나타난 결과와 같이 사람이 인위적으로 훼손하지 않는 한 멀칭 후 90일까지는 멀칭효과를 유지할 수 있을 것으로 예상되며, 180일 이후에는 분해가 많이 진전되었다. 옥수수의 작기 중에는 생분해필름이 온전히 유지되었으며(②), 수확 후 옥수수 지상부와 남은 비닐을 제거하지 않고 로터리 작업이 가능하여 농작업의 편의성이 획기적으로 증대될 것으로 판단된다. 비닐을 제거하지 않은 시험구는 이듬해 봄에 거의 분해되었고(③), Lee et al. (2009)의 연구결과와 같은 경향이였다.



[그림 100]. 시기별 생분해 필름 분해정도

옥수수의 수확기 생육은 표 36과 같다. 간장은 생분해 2 처리가 195 cm로 가장 컸고, 관행구 > 생분해 1구 > 무멀칭구 순이었으나 무멀칭구를 제외하고 통계적 유의성은 없었다. 이삭장, 이삭폭, 착립장, 이삭열수, 열당립수도 처리간 통계적 유의성은 없어, 생분해필름으로 멀칭하면 관행필름과의 생육 차이는 없을 것으로 생각된다.

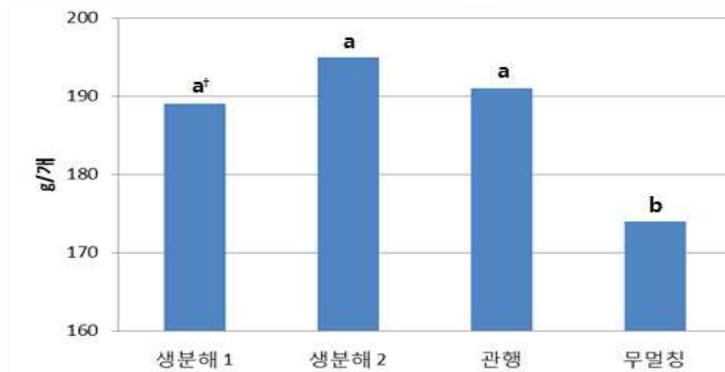
표 36. 수확기 옥수수의 생육 및수량.

구분	간장(cm)	이삭장(cm)	이삭폭(cm)	착립장(cm)	이삭열수(열)	열당립수 (립)
생분해 1	192 a [†]	20.6 a	43.6 a	19.0 a	14.6 a	37.6 a
생분해 2	195 a	20.7 a	43.2 a	19.3 a	14.8 a	37.8 a
관행	193 a	20.8 a	42.5 a	19.5 a	14.2 a	38.5 a
무멀칭	181 b	21.2 a	41.7 a	18.5 a	14.7 a	36.2 a

[†] : DMRT(0.05)

그림 101은 멀칭처리별 옥수수의 이삭중을 보여주고 있다. 생분해 2 처리의의 개체당 이삭중은 195 g으로 가장 무거웠고, 관행구 > 생분해 1구 > 무멀칭 구 순이었다. 무멀칭구를 제외하고 통계적 유의성은 없었으며, Lee et al.(2009)의 결과와 같은 경향이였다. 지온 상승은 뿌리의 활성증진에 의해 작물의 생산량을 증가 시키지만 (Dodd *et al.*, 2000), 대부분의 식물뿌리는 생육적온을 가지고 있다(Paulsen, 1994). 식물뿌리는 생육적온 이하에서 지온 상승과 생산량 증가는 정의 상관관계를 보이지만(Paulsen, 1994), 생육적온 이상의 지온 상승은 생산

량이 감소 할 수 있다고 알려져 있다(Cooper, 1973). 본 시험에서 관행구의 일평균 지온은 생분해 2구보다 0.35℃ 높았으나 이삭중의 무게는 오히려 반대의 결과를 나타냈다. 이는 온도의 상승폭이 좁고, 또한 뿌리활성 증진에 기여하는 요인이 지온 외에 지력, 토양물리성, 토양미생물 등 여러 요인이 있기 때문인 것으로 생각되며, 추후 면밀한 검토가 필요로 할 것이다. 종합해보면, 생분해 필름을 사용할 때 옥수수의 목표수량을 얻는데 불리한 점은 없는 것으로 판단된다.



[그림 101] 멀칭 처리별 옥수수의 이삭중 비교.

† : DMRT(0.05)

옥수수를 재배한 후 토양의 화학성은 표 37과 같다. pH는 6.5~7.0, EC 0.12~0.17 dS m⁻¹, 유기물 16.5~21.2 g kg⁻¹, 인산 256~383 mg kg⁻¹ 등으로 차이의 폭은 적었다. 시험 전 토양이 척박하여 비료사용처방서에 따라 비료를 처리하여 EC와 유기물함량은 시험 전 보다 약간 높아졌다. 칼리, 마그네슘도 같은 경향이였다. 칼슘은 석회사용량이 없어 작물체가 흡수하는 감소 요인만 있었으나, 처리 간 약간의 차이는 있었다. 생분해필름 사용으로 인한 토양의 큰 변화는 없는 것으로 판단된다.

표 37. 옥수수 수확 후 토양의 화학성비교.

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K Ca Mg		
					cmol+/kg		
생분해 1	7.0 a [†]	0.17 a	21.2 a	383 a	1.0 a	5.2 ab	1.3 b
생분해 2	7.0 a	0.15 a	17.5 b	313 b	1.0 a	4.6 b	1.4 b
관행	6.5 b	0.15 a	16.5 b	263 c	1.1 a	6.8 a	2.1 a
무멀칭	6.8 ab	0.12 b	17.0 b	256 c	0.9 a	4.6 b	0.9 c
시험전	7.2 a	0.10 b	11.5 c	128 d	0.4 b	5.0 ab	1.2 b

† : DMRT(0.05)

멀칭처리별 토양 미생물상 변화는 표 38와 같다. 생분해필름이 분해되면 탄소가 잔류되어 일반적으로 미생물체량이 많아질 것으로 예상 했으나, 세균은 $0.3 \sim 1.1 \times 10^7$ CFU soil g^{-1} 이었고, 관행구와 무멀칭구에서 각각 1.0×10^7 , 1.1×10^7 CFU soil g^{-1} 로 생분해필름구 보다 3배 가량 높았다. 이는 미생물체량은 유기물질이 많을수록 높아진다는 보고(Lee and Ha, 2011, Kim *et al.*, 2012)와 다른 결과였는데 방선균은 생분해 1구가 0.9×10^7 CFU soil g^{-1} 로 가장 많았다. 사상균은 처리구별로 $2.2 \sim 5.6 \times 10^3$ CFU soil g^{-1} 으로 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 = 무멀칭구 순이었으나, 위에서 언급한 바와 같이 한 요인에 의한 결과로 생각되지는 않는다. 토양미생물을 대표하는 정량적 지표인 Biomass C함량은 99~147 mg kg^{-1} 범위로 생분해 2구 > 생분해1구 > 관행구 > 무멀칭 구 순이었고, 멀칭필름 처리 간 통계적 유의성은 없었다. 토양생태계의 건전성 지표로 이용되고 있는 Dehydrogenase 활성은 생분해 2 처리구가 168 mg kg^{-1} 으로 가장 높았고 관행구와 유의적인 차이를 보여, 생분해필름으로 멀칭 하여 토양미생물의 건전성이 높아진 것으로 판단된다.

표 38. 처리별 옥수수 재배 후 토양미생물상 분포.

구분	Bacteria	Actinomycetes	Fungi	Biomass C	Dehydrogenase
	($\times 10^6$)	($\times 10^6$)	($\times 10^3$)	-----mg kg^{-1} -----	
	-----CFU soil g^{-1} -----				
생분해 1	0.3 b [†]	0.9 a	3.2 b	137 a	123 ab
생분해 2	0.3 b	0.1 b	2.2 c	147 a	168 a
관행	1.0 a	0.1 b	5.6 a	127 a	85 b
무멀칭	1.1 a	0.4 b	2.2 c	99 b	81 b
시험 전	0.9 a	0.1 b	2.4 c	92 b	87 b

[†] : DMRT(0.05)

그림 102은 농업인을 대상으로 현장설명 및 평가회 광경이다(15. 6. 17.) 옥수수과 고추의 생육을 관찰하고, 생분해 멀칭필름의 현재 상태를 관찰하였다. 농업인 대부분이 생분해필름 사용으로 작물의 목표수량이 확보된다면 사용의지가 있다고 밝히고 있다. 다만 필름구입 가격이 일반 관행필름 보다 비싸다는 문제는 앞으로의 해결과제라 생각된다.



[그림 102] 생분해필름 현장설명·평가회.

그림 103는 영월군 주천면 용석리 옥수수 보급종 생산단지에서 수행한 현장평가회 광경이다('16. 9. 8.). 옥수수는 부정근이 발달하여 멀칭필름 제거에 많은 노동력이 필요로 하고, 보급종 생산을 할 때에는 가을에 멀칭필름을 제거하고 경운을 하여야, 수확되지 않은 옥수수가 늦여름~가을에 발아하여 월동을 하지 못하고 죽게되어 이듬해 순도 높은 종자를 생산하는데 유리하다. 따라서 생분해 필름은 옥수수 보급종 생산시에 아주 적합한 농자재로 생각된다. 생분해필름을 써보지 않은 농가와 정책부서(관련농업기관) 등과 함께 옥수수와 멀칭필름을 제거하지 않은 상태에서의 작업광경을 시연하였다.



[그림 103] 옥수수 보급종 생산단지 현장평가회.



[그림 104] 현지농가 설명.

(채종단지장의 변)

이 농자재가 많이 보급되도록 정책부서의 관심이 필요하다고 생각합니다. 지금은 가격이 비싸지만 대량 소비시, 가격도 내려갈 것으로 예상되며, 특히 채종단지에 적용 할 때에는 우량종자 생산에도 많은 도움이 될것으로 믿습니다. 저는 5~6년 전부터 생분해필름을 사용해 왔으며, 해가 갈수록 필름의 질이 좋아지는 느낌을 받았고, 농한기(가을, 겨울)에 전부 분해되어, 이듬해 농작업에 전혀 불편함이 없습니다. 다시한번 농업정책 부서에서 관심을 가지고 농가에서 저렴하게 구입 할 수 있도록 도와주시기 바랍니다(편집하지 않은 내용임).

라. (시험4) 산채(곰취, 곤드레)에 대한 생분해성 멀칭필름 실증시험

노지 무차광 재배시 생분해 필름은 곰취 정식후 약 60~70일 경과 후 분해 개시가 관찰되었으며 이듬해 월동후의 표면 분해율은 60~80%수준을 나타내었다.(표 39, 그림 105)

표 39. 곰취 노지포장 1차 정식후 생분해필름 분해율.

구분	육안분해 개시기 (정식 후, 일)	분해도(육안, %)		중량감소분 (15. 3., %)
		월동전('14.10)	월동후('15.3)	
생분해 1	60일	50	80	44
생분해 2	70일	40	60	43
관행	-	-	-	1.3

※ '14. 5. 15. 트레이묘 봄 정식후 표면분해양상 달관조사

- 분해율 5~10% : 필름이 세로로 미세하게 갈라지는 증세 관찰, 수분보존, 잡초방제 기능 유지
- 분해율 20~40% : 필름 균열이 심해지면서 토양이 나출되는 상태, 수분보존 기능상실
- 분해율 50~80% : 토양표면이 1/2이상 보이면서 멀칭 기능상실
- 분해율 80%이상 : 필름의 흔적만 보이고 로타리 작업에 지장이 없는 상태

※ 중량감소율 조사방법 : 4m² 시험구 면적 필름회수후 세척건조 중량감소분 측정



[그림 105]. 곰취 1차 정식후 이듬해 생분해필름 분해양상('15.3.20)

노지에서서의 고온장해로 인한 곰취 생육불량으로 인해 시험장소를 변경하여 재시험을 수행한 결과, 정식후 2년에 걸친 년차별 필름의 표면 분해율은 표 40와 같다. 노지와 달리 해가림 시설 재배기간중 표면 분해양상이 상당히 지연되는 경향을 보였는데, 정식후 2년에 걸친 수확이 끝난 이후에도 약 50% 수준의 분해율을 나타내었다. 이는 시험에 사용된 생분해필름이 태양광에 의한 광분해 효과에도 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

표 40. 곰취 해가림 시설 내 2차 정식후 생분해필름 분해율.

구분	분해개시기	시기별 분해도(육안, %)									
		2015년				2016년					
		6월 중	8월 중	9월 중	10월 중	3월 중	4월 중	5월 중	6월 중	8월 중	
생분해필름 1	'15. 5.10	-	15	20	30	30	35	40	50	60	
생분해필름 2	'15. 7.20	5	15	20	25	30	35	40	45	55	
관행필름	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

※ '14. 9. 19. 분주묘 가을정식후 '15~'16년 표면분해양상 달관조사

- 분해율 5~10% : 필름이 세로로 미세하게 갈라지는 증세 관찰, 수분보존, 잡초방제 기능 유지
- 분해율 20~40% : 필름 균열이 심해지면서 토양이 나출되는 상태, 수분보존 기능상실
- 분해율 50~80% : 토양표면이 1/2이상 보이면서 멀칭 기능상실
- 분해율 80%이상 : 필름의 흔적만 보이고 로타리 작업에 지장이 없는 상태

※ 차광망 설치시기 : 5월상~10월하

곰취 수확엽의 생육은 표 41와 같다. 엽병장은 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 > 무멀칭구 순으로 컷으며, 엽중도 관행구 > 생분해 1구 > 생분해 2구 > 무멀칭구 순이었으나, 관행필름과 생분해필름간 차이는 미미하였다.

표 41. 곰취 수확엽 엽병장 및 엽중.

처 리	엽병장(cm)	엽중(g)
생분해 1	33.2 ± 3.2	5.0 ± 0.25
생분해 2	31.3 ± 3.7	5.0 ± 0.10
관행	35.3 ± 4.1	5.1 ± 0.19
무멀칭	26.0 ± 4.4	4.5 ± 0.27

※ 조사일자 : 2015. 5. 25.

년차별로 각 4회에 걸친 수량성 검정 결과는 표 42과 같으며, 수확량의 총합계는 그림 108, 109와 같다. 관행필름에 비해 상대적으로 수량성이 낮았는데 이는 조기 분해로 인해 잡초다발, 수분 보유력 저하 등이 주요 원인으로 판단되며, 무멀칭에 비해서는 상대적으로 높아서 어느 정도 피복효과는 유지하는 것으로 확인되었다. 하지만 곰취와 같은 장기 식물의 경우 제초관리 등의 어려움이 있고 재배직후 포장 로타리 작업에 의한 분쇄과정이 단기 작물처럼 없어 생분해필름의 실용화에 문제가 있을 것이다.

2015~2016년 2년간 곰취 수확시기의 생육양상은 그림 106, 107과 같으며, 년차별로 유사한 경향을 나타냈다.



[그림 106] 2015년 곰취 수확시기 생육양상.



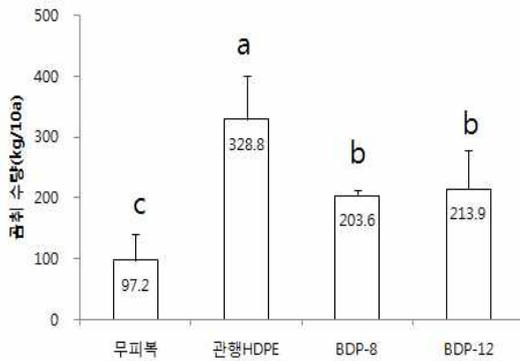
[그림 107] 2016년 곰취 수확시기 생육양상.

표 42. 년차별 곰취 수량성 검정.

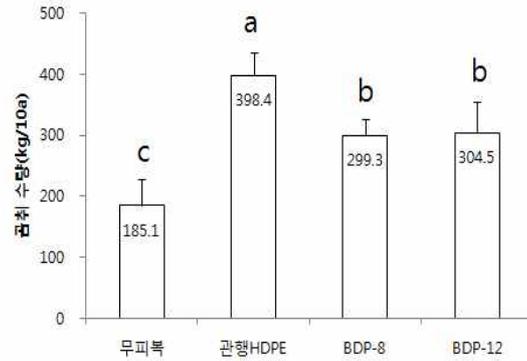
(생체중, g/1.2m²)

수확 년도	구분	1회차		2회차		3회차		4회차
		무게	엽수	무게	엽수	무게	엽수	무게
2015년	생분해 1	75.3	16.3	135.0	26.7	81.3	15.0	57.3
	생분해 2	82.3	16.3	154.7	31.3	78.3	15.7	51.3
	관행	100.3	18.3	212.3	44.3	162.7	30.3	88.3
	무멀칭	17.7	5.3	48.3	10.7	61.7	12.0	39.0
2016년	생분해 1	95.7	20.0	205.7	45.7	115.3	26.3	96.3
	생분해 2	104.7	21.3	203.7	43.3	126.0	27.3	87.7
	관행	103.7	21.3	247.3	51.7	209.7	44.7	122.3
	무멀칭	40.7	8.7	94.3	21.3	94.3	21.3	88.0

※ 2차 재시험 가을정식('14. 9월)후 2015~2016년 년차별 수량 조사(1.2m², 20주 대상)
 - 2015년 : 5. 15., 5. 31., 6. 15., 6. 28. 4회
 - 2016년 : 5. 6., 5.16., 5.28., 6..10. 4회



[그림 108] 2015년 곰취 수량



[그림 109] 2016년 곰취 수량

시험전후 시기별 토양화학성은 표 43과 같다. 필름 처리간에 토양화학성은 큰 차이가 없었다.

표 43. 곰취 해가림 시설재배(2차) 시험전후 토양화학성.

조사시기 및 처리구	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Ca	K	Mg	P ₂ O ₅
				(cmol+/kg)			(mg/kg)
시험전('14. 9)	6.9	0.18	23.6	6.2	0.48	1.33	632
곰취 수확후('15. 7.)							
생분해 1	7.1	0.23	26.0	6.9	0.53	1.39	667
생분해 2	6.8	0.38	25.1	7.2	0.53	1.47	742
관행	7.1	0.29	24.3	7.3	0.52	1.43	767
무멀칭	7.0	0.38	27.2	7.5	0.56	1.49	761
곰취 월동전('15. 11.)							
생분해 1	7.2	0.25	20.5	7.1	0.56	1.27	637
생분해 2	7.0	0.57	20.4	7.1	0.58	1.26	709
관행	6.7	0.51	23.5	7.1	0.59	1.32	789
무멀칭	7.1	0.52	24.2	6.8	0.53	1.30	716
곰취 수확후('16. 6.)							
생분해 1	6.8	0.18	18.6	6.5	0.48	1.15	586
생분해 2	6.9	0.28	18.5	6.3	0.50	1.16	626
관행	6.7	0.29	21.4	6.5	0.51	1.12	701
무멀칭	7.0	0.33	22.2	6.4	0.48	1.20	686

곰취 외 주요산재인 곤드레에 대해서도 생분해필름 사용효과 검정을 수행하였는데 육묘 이식후 년차별 수확량은 표 44과 같다.

표 44. 생분해필름 사용시 년차별 곤드레 수량성 검정. (kg/10a)

처리내용	2014년		2015년			합계
	1회차	2회차	1회차	2회차	3회차	
생분해 2	432	645	366	550	449	2,442
관행	455	750	290	322	-	1,817

※ 정식기 : 2014. 5. 15.

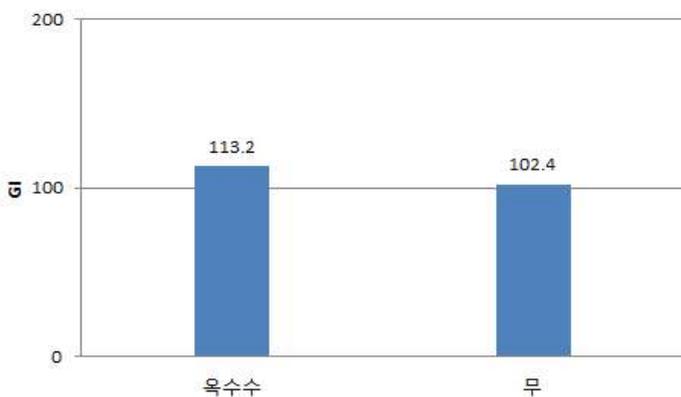
수확기 : 1년차- 2014. 7. 7., 7. 25., 2015년 관행(2회) 5. 28., 6. 15.,

생분해(3회) 7. 4., 7. 21., 8. 5.

위 시험은 예비시험 차원으로 단구제로 검정하였는데 특이하게도 곤드레의 경우 옥묘이식 당해년도에는 관행필름보다 생분해필름이 약간 수량이 낮았으나, 종자가 결실한 후 필름이 균열된 생분해필름 상면에 떨어져 이듬해 직파한 효과가 나타나 정상수확이 년차별로 계속 가능하였다. 이는 생분해필름을 곤드레와 같이 연작시 입모율이 현저히 저하되거나 잡초 방제를 위한 피복이 필수적인 작물특성을 고려할 때 금후 활용가능성이 높은 중요한 의미를 가질 수 있다고 생각된다.

마. (시험5) 미량원소가 함유된 생분해 필름 효과시험

미량원소가 함유된 생분해 필름 원재료로 옥수수과 무에 대하여 종자 발아시험을 수행하였다. 시험방법에 따라 처리된 각각 종자의 발아지수(Germination Index)를 구하였다. 이식은 일반적으로 퇴비의 부속도 측정방법으로 많이 쓰이며, 토양 이상에 의한 작물생육 불량시 검정방법으로도 많이 쓰인다. 만약 어떠한 물질의 발아율이나 뿌리길이가 control과 같다면 GI 값은 100이며, GI 값이 100 보다 높거나, 낮으면 거기에 따른 좋은 효과, 나쁜 효과로 구분 할 수 있다. 옥수수와 무의 발아지수는 113.2, 102.4(그림 110, 111)로 발아생육에 좋은 효과가 있는 것으로 확인되었다.



(종자발아지수 계산식)

$$GR = (\text{발아율} / \text{control 발아율}) \times 100$$

$$RE = (\text{뿌리길이} / \text{control 뿌리길이}) \times 100$$

$$GI = (GR \times RE) / 100$$

[그림 110] 미량원소 함유 생분해 필름 원재료의 발아지수.



생분해 파우더

증류수

생분해 파우더

증류수

[그림 111]. 옥수수와 콩 종자의 발아지수를 위한 발아시험 결과.

표 45는 시험처리별 무의 생육 및 수량을 나타내고 있다. 그림 110, 111에서와 같이 입모율은 발아율 향상에 의한 효과로 보이나 차이는 미미하였고, 엽장 등 생육도 차이가 크지 않아 수량에 유의성 있는 결과를 나타내지 못하였다.

표 45 . 멀칭재료별 무의 생육 및 수량.

처리	입모율 (%)	엽장 (cm)	엽수 (매)	엽중 (g/주)	근경 (cm)	근장 (cm)	근중 (g/주)	상품율 (%)	수량 (kg/10a)
생분해 3	93.3	39.5	20.1	241	8.3	31.8	1,167	86.2	5,069 a*
관행	90.0	38.5	20.5	242	8.0	31.9	1,078	87.3	4,895 a

* : DMRT(0.05)

표 46은 시험전·후의 미량원소 함량 변화를 보여주고 있다. 미량원소는 토양에서 작물에 공급하는 양이 아주 작은 원소이다. 토양내 평균 함량은 붕소(B)가 약 4.71mg/kg, 아연(Zn) 64.88mg/kg, 망간(Mn) 258.54mg/kg, 구리(Cu) 24.71mg/kg, 몰리브덴(Mo) 1.76mg/kg 이다. 우리나라는 경작층을 10cm로 간주하며, 용적밀도 1.2g/cm³을 고려하여 10a당 토양의 무게를 산출하면 120,000kg이다. 미량원소가 함유된 생분해필름(생분해 3)이 전량 분해되어 토양에 투여 됐을 때 그 양은 붕소(B)가 약 41,480mg/10a, 아연(Zn) 31,720, 철(Fe) 8,390, 망간(Mn) 3,450 구리(Cu) 28,020, 몰리브덴(Mo) 6,110이며, 시험전 토양내 함유된 량의 붕소(B)가 약 7.3%, 아연(Zn) 0.4, 철(Fe) 0.0005, 망간(Mn) 0.01, 구리(Cu) 0.95, 몰리브덴(Mo) 2.90 수준 이었다. 생육기의 필름 분해율이 2~30% 임을 감안하면 그 양은 위의 수치에 1/3 이하 일 것이다. 물론 미량원소가 작물에 적은량이 필요로 하기 때문에 어느 정도 효과를 기대하는 것이 무리는 아니나 미량원소가 점토광물 또는 킬레이트 화합물과 결합한 후 복잡한 토양화학반응에 따라 필요로 하는 식물체로 이동하므로 어느 정도 미량원소를 공급하였다고 해서 작물의 생육에 도움이 될 것을 기대하기란 어렵다(김, 2003) 라는 주장과 같이 토양내 미량원소의 전 함량이 많다고 과연 작물의 생육에 도움이 되는지 여부는 추후 검토할 문제로 생각된다.

표 46. 멀칭재료별 토양의 미량원소 함량 변화.

(mg/kg)

구분	B	Zn	Fe	Mn	Cu	Mo	(사진자료)
생분해 3	4.72	64.79	15,356	261.34	25.61	1.95	
관행	4.69	64.51	14,987	259.54	24.95	1.65	
시험전	4.71	64.88	15,256	258.54	24.71	1.76	

생분해 3 관행

바.(시험 6) 감자, 양배추, 야콘에 대한 생분해 필름 농가실증

(1) 감자

농가에 생분해필름을 제공하고 직접 재배한 감자의 수량은 표 47과 같다. 출현율이 생분해필름구가 94%로 관행구 보다 낮았는데, 생분해필름 멀칭시 비닐의 공기 투과율이 관행필름 보다 높아 가뭄 시기인 봄에 과중하여 수분 부족으로 인한 것으로 생각되며, 상서증은 관행구가 3,930kg/10a로 생분해필름구에 비해 많았는데, 농가실증의 시험으로 반복값이 없어 통계적 판단이 어려워 추후 토양수분 등 여러 요인을 가만한 시험이 필요 할 것으로 본다. 그림 112는 수확기 농가포장 광경이며, 그림 113은 수확기 필름 분해정도와 감자의 생육상황을 보여주고 있고, 육안으로 감자의 생육차이는 없었다. 생분해필름을 사용한 농가의 의견은 감자의 수확기가 보통 한여름이고 수확후 2작기 작물이 재배 되어야 하므로 농작업의 생력화가 가능한 생분해필름은 감자에 적합한 농자재로 생각되며, 앞으로 사용가치가 충분할 것이라 하였다.

표 47 . 처리별 감자의 생육 및 수량.

구분	출현율(%)	경장(cm)	수량 (개/주)	피경중 (g/주)	상서중 [↓] (kg/10a)
생분해 2	94	49	14	818	3,776
관행	100	52	12	809	3,930

상서중[↓] : 51g 이상



관행필름 제거 후 생분해 필름

[그림 112] 수확기 농가포장 광경.

표 49. 멀칭재료별 관련비용 비교

(원/10a)

구분	비닐구입가격	생장억제제 구입비용	인건비		계
			생장억제제 살포비용	비닐제거비용	
생분해	142,290	-	-	-	142,290
관행	47,430	20,000	50,000	40,000	157,430

(3) 야콘

생분해필름을 야콘 농가에 적용하였다. 생분해필름 멀칭시 수량은 4,654kg/10a로 관행필름보다 32% 정도 많았다(표 50). 보통 뿌리작물은 낮과 밤의 온도차이가 많을 때 낮에 생성된 대사산물이 뿌리로 48되어 근비대가 촉진되는데, 생분해 필름의 경우 9월이면 50% 이상이 분해되어 공기의 토양내 침투로 밤의 지중온도가 관행필름구 보다 낮았기 때문인 것으로 생각된다. 춘천에 위치한 농가의 포장전경과 수확기 생육상황은 그림 115와 같다.

표 50 . 멀칭재료별 야콘 수량.

구분	수량 (kg/10a)
생분해필름	4,654
관행필름	3,521



[그림 115] 포장전경 및 수확기 야콘 생육상황

표 51는 야콘재배시 생분해필름과 관행필름을 적용할 때의 경제성을 비교한 표이다. 소득부분은 김 등(2012)의 자료를 기준으로 하였다. 생분해필름을 사용함으로써 멀칭비용은 94,860원의 추가비용이 발생하지만 수거비용 절감(80,000원), 생산성 향상 이득(420,343)이 발생하여 총 405,483원/10a의 소득향상 효과가 있어, 야콘에 대한 생분해 필름의 적용은 농가소득 증대에 기여할 것으로 기대된다.

표 51. 멀칭재료별 경제성.

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 - 멀칭비용(생분해 필름 사용시 추가비용) : 94,860	○ 증가되는 이익 - 멀칭수거비용 절감 : 80,000원 - 생산성 향상 이득 : 420,343 계 : 500,343원
○ 추정 수익액(B-A) = 405,483원	

(5) 고구마

고구마를 대상으로 한 생분해필름의 수량은 표 52과 같다. 수량의 차이가 거의 두배에 가까워 소득향상효과가 1,065,124원에 달했다(표 53). 본 결과는 2015년 농가포장에서 이루어진 실증시험으로 단반복으로 이루어져 통계적 해석이 어려워 2016년 확인시험을 수행하고 있다. 고구마의 수확은 9월 말 실시하므로 본과제와 별도로 결과가 도출되면 농가에 활용하고자 한다. 그림 116은 2015년 고구마의 멀칭재료별 생육상황을 나타내고 있다.

표 52. 멀칭재료별 고구마 수량

구분	총수량(kg/10a)	상저수량(kg/10a) [↓]	지수
생분해 필름	3,184	3,078	194
관행필름	1,814	1,587	100

[↓] : 51g 이상



[그림 116] 멀칭재료별 고구마

표 53. 멀칭재료별 경제성.

손실적 요소(A)	이익적 요소(B)
○ 증가되는 비용 - 멀칭비용(생분해 필름 사용시 추가비용) : 10,000	○ 증가되는 이익 - 멀칭수거비용 절감 : 80,000원 - 생산성 향상 이득 : 1,085,124 계 : 500,343원
○ 추정 수익액(B-A) = 1,065,124원	

4. 결론

농업인의 고령화로 인한 수거 노동력의 부족과 폴리에틸렌 필름의 토양잔류나 방치에 의한 환경오염을 최소화 하고자 몇몇 작목을 대상으로 생분해성 필름의 사용 가능성을 검토하였다. 여러 작물중 옥수수, 양배추, 감자 등은 생력화 부분에서 효과가 인정되며, 야콘, 고구마 등 뿌리작물은 수량증대 효과가 있어 유리할 것으로 생각된다. 세계 각국의 비분해성 멀칭필름 규제, 생분해성 필름 보조금 도입(스페인 17.5%, 이태리 부가가치세 4% 감면) 추세에 발맞추어 환경오염을 방지하고, 농작업의 생력화, 농업생산성 유지 및 증대에 효과가 있는 생분해성 필름을 정책적으로 보급해야 할 것으로 생각한다.

5. 참고문헌

- Kwon, O.D. and J.M. Lee. 1984. Effect of different mulching on the growth, pod yield and nodule development in 3 snapbean cultivars. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 25:212-217.
- Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth - A review. Commonwealth Agr. Bureaux, Slough, U.K.
- Doane, W.M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. Starch. 44:216-219.
- Dodd, I.C., J. He, C.G.N. Turnbull, S.K. Lee and C. Critchley. 2000. The influence of supra-optimal root-zone temperature on growth and stomatal conductance in *Capsicum annuum* L.J. Expt. Bot. 51:239-248.
- Gracia, C., T. Hernandez, and F. cotea. 1992. Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. Soil Sci. Plant Nutr. 38:339~346
- Hatt, H.Q., D. Decoteau, and D.E. Linvill. 1995. Development of a polyethylene mulch system that changes color in the field. HortScience. 30:265-269.
- Jeon, W.T., W.H. Yang, S.W. Roh, and M.T Kim. 2006. Influence of controlled-release fertilizer levels on rice growth, weed control and nitrogen efficiency in paper mulching transplanting. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:345-350
- Jung B.W., C.H. Shin, Y.J. Kim, S.H. Jang, and B.Y. Shin. 1999. A study on the biodegradability of plastic films under controlled composting condition. J. Int. Industrial Technol. 27:107-116
- Kim, K.C., Ahn, B.K., Kim, H.G., Jeong, S.S., 2012. Effect of expeller cake fertilizer application on soil properties and red mustards(*Brassica Juncea* L.) yield in soil of organic farm of plastic film greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:1022-1026.
- Lee, J. S., Jeong, K.H., Kim, H.S., Kim,J.J., Song, Y.S., Bang, J.K., 2009. Biodegradable plastic mulching in sweetpotato cultivation. Korean J. Crop Sci. 54:135~142.
- Lee, Y.H., Ha, S.K., 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in gyeongnam province. Korean J. Soil Sci. Fert. 44,242-247.

- Lim, D.K., J.S. Shin, and K.S. Seong. 1988. Mono-granular compound fertilizer acting slow release for the crops under vinyl mulching cultivation. III. Effect of newly developed compound fertilizer on sesame. Korean J. Soil Sci. Fert. 21:296-300.
- Lim, S.U., J.C. Ryu, C.W. Hong, 1979. Study on the effects of an organic fertilizer on the yield of chinese cabbage and radish and the physico-chemical properties of soil Korean J. Soil Sci. Fert. 12:125~132.
- Miller, D.E. 1986. Root system in relation to stress tolerance. HortScience. 21:963-970
- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses. of crop plant, p.p. 365-389.
- Rural Development Administration (RDA). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development, RDA, Suwon, Korea.
- Schalk, J.M. and M.L. Robinnns. 1987. Reflective mulches influence plant survival, prouduction and insect control in fall tomatoes. HortScience. 22:30-32
- Scott, G. 1990. Photo-degradable plastic: Theit role in the protection of the environment polymer. Deg. and Stabil. 29:136-143.
- Shin, B. Y., H. B. Lee, and M. H. Cho. 1995. Photodegradable of HDPE film containing mechannically induced photosensitive groups. Environ. Res. 15:331-40.
- Yun, H.B. J.S. Lee, Y.J. Lee, R.Y. Kim, Y.S. Sang, S.G. Han, Y.B. Lee, 2011. Chinese cabbage growth effected by black vinyl mulching and organic fertilizer application in spring season. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:1107-1111.
- 김수정. 남정환. 진용익. 홍수영. 장동철. 정진철. 야콘의 국내 재배동향. 2012. 한국자원식물학회 춘계학술발표회. p. 16.
- 김유학. 작물과 토양화학. 2003. 한국토양비료학회, 토양과 비료 13. pp. 3-11.

○ 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 성과

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2013.08.25.~2016.08.2. (3년)			
	소요예산(백만원)	810			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		4.3	5	10	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	90	95	95
국외		0	1	5	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0	1	3	
	수 출	0	1	4	

- 사업화 계획 및 매출 실적

항목	세부항목		성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	4.3 억원
			향후 3년간 매출	8 억원
		관련제품	개발후 현재까지	0 억원
			향후 3년간 매출	0 억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 90 % 국외 : 0 %
			향후 3년간 점유율	국내 : 95 % 국외 : 1 %
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 0 % 국외 : 0 %
			향후 3년간 점유율	국내 : 0 % 국외 : 0 %
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		10 위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		5 위

4. 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06	
4-1. 목표달성도				
구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2014)	작물의 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 가능한 생분해 멀칭필름 개발. (8개월 생분해용, 12개월 생분해용)	생분해성 멀칭 Film의 관련정보 수집을 통한 개발 Process 동기화.	100%	<ul style="list-style-type: none"> • BDP수지 정보 조사
		BDP 수지의 특성 평가를 통한 토양내의 생분해도 특성 평가.	100%	<ul style="list-style-type: none"> • BDP 수지의 특성 분석. • BDP 수지의 조성별 특성평가. • 작물별 생육 특성 분석. (작물별 멀칭 피복시기 및 수거시기)
		Matrix 첨가제 조성을 통한 토양 내의 생분해도 특성 평가.	100%	<ul style="list-style-type: none"> • 변성전분 및 탄산칼슘의 특성 분석. • 조성에 따른 특성 평가. • 토양환경에 따른 BDP수지의 분해 관계 확립.
		생분해 멀칭필름의 생분해 기간에 관여하지 않는 물리적 특성 향상 방안 마련.	100%	<ul style="list-style-type: none"> • 초기 물성 확보를 위한 수지와 첨가제 간의 조성 확정. • PE 멀칭 Film에 상응하는 요구 물성확보를 위한 조성비 개발. • 원천 소재의 물리적 화학적 분석이 가능한 기술진 자문과 협조를 통하여 연구진행.
		지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증 실험.	100%	<ul style="list-style-type: none"> • 경북 의성 (마늘) • 전남 무안 (양파) • 충남 당진 (고구마) • 제주 한경 (양파)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	달성도 (100%)	연구개발 수행 내용
2차 년도 (2015)	[세부] 일신화학공업(주) ○ 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 멀칭필름 개발.	BDP수지 조성점검 및 무기영양소 선정, 함량 평가	100	<ul style="list-style-type: none"> • 생분해멀칭용 무기영양소 선정 • 가공특성을 고려한 무기영양소 함량 평가
		무기영양소가 첨가된 Matrix 수지의 Compounding 가공기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> • 액상 무기소재의 합성 • 저열가공 컴파운딩 가공기술 개발
		압출가공 안정화를 위한 Operating 기술개발	100	압출 온도, 압출 Speed, Pressure - BDP 수지와 M/B의 혼련성 - BDP 수지와 M/B의 상용성 - Carbon Black 입자에 따른 혼련성 및 UV 안정성 검토
		국내 생육 환경에 적합한 Recipe 개발.	100	<ul style="list-style-type: none"> • 시포 지역별 토양의 특성 분석 • 각 특성 분석을 통한 지역별, 작물별 Biodegradable 성능 최적화 조성비 개발 - 밭 멀칭용 - 논 멀칭용
		지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증 실험.	100	<ul style="list-style-type: none"> • 경북 의성-한지형마늘 • 전북 진안-고구마 • 충청 당진-고구마 • 충청 서산-벼 • 강원 홍천-가지, 셀러리
	[협동] 강원도농림기술원 ○ 고추 등 작목에 적합한 생분해 필름 선발	고추 평지(표고100) 재배 시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행	100	- 필름분해율, 시험전·후 토양의 이화학성
		양파 고랭지(표고600) 재배 시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행	100	- 필름분해율, 시험전·후 토양의 이화학성
		옥수수 평지(표고200) 재배 시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행	100	- 필름분해율, 시험전·후 토양의 이화학성
		산채 고랭지(표고600) 재배 시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행	100	- 필름분해율, 시험전·후 토양의 이화학성

구분 (연도)	세부과제명	세부연구내용	달성도 (100%)	연구개발 수행 내용
3차 년도 (2015)	[세부] 일신화학공업(주)	배색멀칭 필름 압출 가능한 Extruder Design 설계 및 설비보완	100	<ul style="list-style-type: none"> • Co Extruder 설계 • Die Design 설계
	○Co-Extrusion을 이용한 투명, 흑색이 혼합 된 배색멀칭필름 제조기술 개발 및 관련규격 표준화	압출 가공 안정성이 향상 된 생분해 배색멀칭용 필름 Recipe 및 압출 Process 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> • 배색 멀칭용 필름 Recipe 개발 • 압출성형 Process 개발
		100% 생분해성 멀칭필름의 관련 규격 표준화.	100	생분해성수지 제품 업체 협의 체 참여 (한국 생분해 플라스틱 협회) 및 필름 규격 제정.
		미량원소가 함유된 생분해 필름 효과 검증	100	- 미량원소가 함유된 생분해필름 효과 검정(재배작물 : 무)
	[협동] 강원도농림기술원 ○ 고추, 양파, 옥수수, 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험	고추에 대한 생분해성 필름 실증시험	100	<ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 춘천 - 처리내용 : 무피복, 관행 (HDPE), 생분해 1, 2 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수 량, 토양화학적 성 등
		양파에 대한 생분해성 필름 실증시험	100	<ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 평창 - 처리내용 : 무피복, 관행 (HDPE), 생분해 1, 2 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수 량, 토양화학적 성 등
		옥수수에 대한 생분해성 필름 실증시험	100	<ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 : 춘천 - 처리내용 : 무피복, 관행 (HDPE), 생분해 1, 2 • 주요조사항목 : 작물생육 및 수량, 토양화학적 성 등
		산채에 대한 생분해성 필름 실증시험	100	<ul style="list-style-type: none"> - 시험장소 및 작물 : 춘천(무) - 처리내용 : 생분해 3, 관행 - 주요조사항목 : 작물생육 및 수 량, 토양화학적 성 등

4-2. 관련분야 기여도

○ 바이오 멀칭 필름 국내외 동향

가. 바이오플라스틱 세계시장 규모는 2011년부터 2016년까지 34.3% 성장해 2016년에는 약 37억 톤까지 성장 함. 2020년에는 최소 30%까지 기존 플라스틱 시장을 대체할 것임.

나. 생분해성 플라스틱 국내시장의 경우 아직 빈약한 상태이며, 생분해 플라스틱의 세계적인 수요 증가와 함께 바이오 생분해성 멀칭비닐의 수요도 확대될 것으로 전망 임. 최근 국내에서 PLA를 중심으로 한 바이오플라스틱의 시장이 형성되고 있으며, 관련업체에서 제품 생산을 위한 연구개발을 진행하고 있음

다. 국내 농업용 멀칭필름 시장규모는 연간 약 37,000톤~42,000톤으로 추정되며 농업용 필름 중 비중이 가장 큼. 국내 생분해성 필름 상용 제품 생산업체는 일신화학공업 1개소로 연간 생산량은 약 35톤 수준. (멀칭필름 중 1% 수준)

[표 3] 세계 용도별 농업용 필름시장

(단위 : 백만 달러)

구분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
그린하우스	2,522.8	2,677.6	2,871.2	3,080.3	3,307.1	3,552.9	3,816.8	4,145.0
멀칭	2,500.9	2,652.2	2,841.9	3,046.8	3,268.8	3,509.3	3,767.3	4,088.3
사일리지	855.8	909.6	978.9	1,053.5	1,134.6	1,222.6	1,317.4	1,434.8
합계	5,879.5	6,239.4	6,692.0	7,180.6	7,710.5	8,284.8	8,901.5	9,668.1

자료: Transparency Market Research, Agricultural Films Market for Greenhouse, Mulching and Stage Application: Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2013-2019, 2013

○ 국내 바이오 멀칭 필름 시장의 현황

노동투입, 환경문제, 경제적인 측면에서 바이오 생분해성 멀칭비닐이 기존 비닐을 대체해 갈 것이라는 관련 전문가들의 진단이 나오고 있으나, 사회적 인식의 부족, 원천적인 기술 미보유, 정부의 관련 정책 부재 등의 어려움이 있음.

가. 사회적 인식 부족

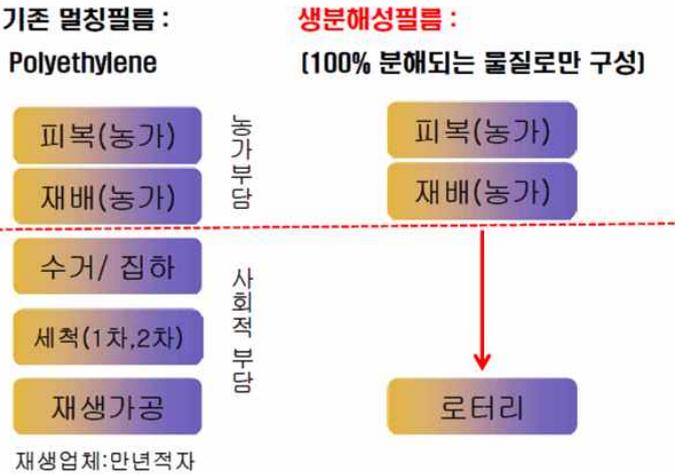
(1) 생분해 멀칭 필름 사용에 대한 사회적 인식 개선 활동

① 농업인 대면 홍보 진행

- (가) 생분해성 멀칭필름 현장설명 및 평가회(2016 춘천)
- (나) 옥수수 채종단지 생분해성 멀칭필름 현장평가회(2016 영월)
- (다) 친환경 농업반 교육-친환경 토양관리 및 생분해성 멀칭필름 설명 (2015)
- (라) 생분해성 멀칭 필름 현장설명 및 평가회
 - 고추, 옥수수에 대한 생분해성 멀칭필름 현장 설명, 지도 (2015)
- (마) 제품시연회 - 대호간척지 벼수출 신기술 시연회 (충남 서산, 2015)

② 경제적 측면

초기 구입가격 높으나, 사용 이후 수거~재활용 비용이 들지 않고 환경적인 이익까지 고려하면 오히려 저비용이라는 인식이 확대될 것으로 보임



경제성 비교(A) : 레드치커리 면적 : (300평) 충북 제천 2011년

	관행멀칭(LLDPE)	생분해성멀칭	비교
규격	0.015 x 100cm x 1,000m (13.9kg)	0.012 x 100cm x1,000m (18.7kg)	
구입가격	47,430원	148,500원	3.1배
제거인건비	1인* 60,000원=60,000원		
운송처리비	10,000원		
합계	117,430원	148,500원	1.26배

나. 정부 지원 정책의 부재

제품 가격이 일반 관행필름에 비하여 3~4배가량 비싸 현 단계에서는 시장 경쟁력을 갖추지 못해 정부 보조사업 등이 필요한 실정임. 일본의 경우, 정부 보조사업을 통해 2012년 기준 생산업체 8개소에서 생분해성 멀칭필름을 연간 약 2,000톤 생산, 멀칭필름 시장의 약 5% 점유하였음. (200m 기준 PE제품은 1,000엔, 생분해성 필름은 4,500엔)

- (1) 친환경 자재 등록을 위한 친환경자재 등록을 위한 ‘환경표지인증’ 획득 (친환경 자재 등록은 정부 보조사업 신청 시 필수요소)
- (2) 일부 지자체 생분해 필름 지원 사업 진행예정
 - ① 강원도 농업지원과 : 찰옥수수 명품화 사업중 생분해 필름 지원내역 포함

다. 생분해 필름 기계적 강도 개선

생분해성 멀칭필름의 문제점인, 관행 필름 대비 제품 물성이 떨어지는 것은 관행필름과 유사한 수준으로 발전시켜 기계피복 등 작업 시 무리가 없음

- (1) 한국 생분해 플라스틱 협회를 통한 표준마련 (ks 3503, LDPE 기준)
- (2) 일신화학공업의 생분해 멀칭필름의 물성측정 결과 (KTR TEST REPORT) 첨부

표 1. 제품별 필름의 기계적 비교

제 품	두께	인장강도(N/cm ²)	인열강도(N/cm)	신장율(%)
	규격	22.5	64	250
바트로 흑색	15	28.9	164	274
바트로 투명	15	34.8	168	312
일본제품	15	26.3	178	313
LLDPE	20	24.5	151	613
HDPE	15	55.4	262	449

라. 기타 경제적 파급효과 발생

(1) 관련 업체 동반 성장

생분해 수지의 원천기술 미보유 및 국내 생분해 시장이 작아 생분해 원료 제품 개발 어려움이 있었음. 일신화학의 안정적인 생분해 원료 소비로 인한 생분해 원료 시장 확대 (연간 사용량 TPS 11 ton, PBAT 5ton)

<별첨 1. 생분해 멀칭필름 흑색 및 투명 물성 결과>



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98 (중앙동)

TEL (02)2164-0011

FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TAK-021279

접수 일자 : 2016년 07월 21일

대표자 : 환경산업기술원장

시험완료일자 : 2016년 08월 18일

업체명 : 한국환경산업기술원(일신화학공업(주))

주소 : 서울특별시 은평구 진흥로 225 한국양성평등교육진흥원1층
인증1실

시료명 : 생분해 농업용 멀칭필름(바트로 흑색1)

시험결과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
겉모양	개	-		2 : KS M 3503 : 2010
치수(두께, 최소)	mm	-	0.008	KS M 3503 : 2010
치수(두께, 최대)	mm	-	0.010	KS M 3503 : 2010
치수(두께, 평균값)	mm	-	0.009	KS M 3503 : 2010
인장강도	N/cm ²	-	2898	KS M 3503 : 2010
인열강도	N/cm	-	1643	KS M 3503 : 2010
신장률	%	-	274	KS M 3503 : 2010

- Method Detection Limit -

Cd, Hg : 0.1 mg/kg

As, Cr(VI), Cu, Ni, Zn : 0.5 mg/kg

Pb : 5 mg/kg

* 용도 : 환경표지인증용

- 비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로써 전체 제품에 대한 품질을 보증하지 않으며, 성적서의 진위확인인 홈페이지(www.ktr.or.kr) 또는 QR code로 확인 가능합니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 원본(등본 포함)만 유효하며, 사본 및 전자 인쇄본/파일본은 결과치 참고용입니다.

Park Joo-ick

작성자 : 박주익
E-mail : jooick@ktr.or.kr

You Seok

기술책임자 : 유석
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2016년 08월 18일

KTR 한국화학융합시험연구원



위변조 확인용 QR code



BEYOND ASIAN HUB, TOWARD GLOBAL WORLD

TEST REPORT

우 13810 경기도 과천시 교육원로 98 (중앙동)

TEL (02)2164-0011

FAX (02)2634-1008

성적서번호 : TAK-021278

접수 일자 : 2016년 07월 21일

대표자 : 환경산업기술원장

시험완료일자 : 2016년 08월 17일

업체명 : 한국환경산업기술원(일신화학공업(주))

주소 : 서울특별시 은평구 진흥로 225 한국양성평등교육진흥원1층
인증1실

시료명 : 생분해 농업용 멀칭필름(바트로 투명)

시험결과

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
FT-IR	-	-	Chart 참조	EL-724-2002/2/2014-164
열분석(TGA)	-	-	Chart 참조	EL-724-2002/2/2014-164
용출법에 의한 지방족 폴리에스터 함량	%	-	94.0	EL-724-2002/2/2014-164
NMR(¹ H)	-	-	Chart 참조	EL-724-2002/2/2014-164
NMR(¹³ C)	-	-	Chart 참조	EL-724-2002/2/2014-164
겉모양	개	-	3	KS M 3503 : 2010
치수(두께, 최소)	mm	-	0.013	KS M 3001 : 2001
치수(두께, 최대)	mm	-	0.016	KS M 3001 : 2001
치수(두께, 평균값)	mm	-	0.015	KS M 3001 : 2001
인장강도	N/cm ²	-	3480	KS M 3503 : 2010
인열강도	N/cm	-	1680	KS M 3503 : 2010
신장률	%	-	312	KS M 3503 : 2010
As	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, 6010D
Pb	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, 6010D
Cd	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, 6010D
Hg	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, CV-AAS
Cr	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, 6010D
Cu	mg/kg	-	검출안됨	EPA 3051A, 6010D
Ni	mg/kg	-	4	EPA 3051A, 6010D

- 다음 페이지 -

Park Joo-ick

작성자 : 박주익
E-mail: jooick@ktr.or.kr

Yoo Seok

기술책임자 : 유석
Tel : 1577-0091(ARS ①-④)

2016년 08월 17일

KTR 한국화학융합시험연구원



위변조 확인용 QR code

5. 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

○ 본 연구에서 개발한 기술은 생분해 멀칭필름으로 농촌 환경 보존 및 사회적비용을 절감할 수 있는 필름이다. 현재 국내 생분해 필름 시장은 작으며, 생분해필름 사용에 대한 인식도 부족한 편이므로, 국내 생분해 멀칭시장 활성화가 필요하다.

가. 농가 대상 홍보 진행

- (1) 영농 신문 및 잡지 등에 홍보자료 배포
- (2) 공장방문을 통한 생분해 필름 제품 소개
- (3) 농기계 전시회 참가
- (4) 영농 교육을 통한 제품 소개

나. 생분해 필름 추가 연구 진행

- (1) 농촌진흥청 및 농업기술원과의 Co-work를 통해 생분해 필름 시험포 확대
- (2) 생분해 필름 관련 논문발표 활성화

다. 기타

- (1) 환경표지인증 등록을 통해 친환경기자재 등록 및 환경부 부조금 사업 추진
- (2) 친환경 멀칭 필름 적용 작물 확대
 - ① 벼(직파전용), 양파 이외에도 생육 상 생분해 멀칭 필름 적용이 용이한 작물 선발

6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

	코드번호	D-08
<p>○ 일본공개특허 2003-284478 (출원인 : C I KASEI CO LTD)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 송충이 등의 훈증 구제용 생분해성 필름 - 지방족 디카르복실산과 방향족 디카르복실산으로 되는 디카르복실산 성분과 지방족 디올으로 되는 디올 성분과의 중축합물인 지방족-방향족 폴리에스테르계 수지(A)70~90 중량%, 지방족 디카르복실산으로 되는 디카르복실산 성분과 지방족 디올으로 되는 디올 성분과의 중축합물로, MFR이 1.0~9.0g/10 분이는 지방족 폴리에스테르계 수지(B)10~30 중량%, 및 그 밖의 생분해성 수지(C)0~20 중량%로 되는 혼합물 이용한 생분해성 필름 <p>○ 일본공개특허 1999-080524 (출원인 : GUNZE LTD)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생분해성 멀칭 필름 - 지방족 폴리에스테르계 중합체 50~97 중량%, 3-히드록시 부틸레이트와 3-히드록시 버레이트의 공중합체 50~3 중량%를 필수 성분이라고 한 조성물로 된 생분해성 멀칭 필름을 제공 		

7. 연구개발결과의 보안등급

	코드번호	D-09
<p>가. 결정사유</p> <p>‘국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정’ 제 24조의 4에 해당하지 않음</p>		

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

- 해당없음

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호	D-11
<p>○ 담당부서 : 기술연구소</p> <p>○ 안전조치 이행사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 연구실 안전관리 규정 비치 <ul style="list-style-type: none"> - 안전관리규정, MSDS, 비상연락망, 연구실 안전수칙 비치 및 게시 - 장소 : 실험실 및 분석실 2) 연구실 안전점검 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 분기별 2회 이상 의무적으로 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 자체 안전점검 실시 후 연구실 위험 요소, 전기시설 등 보완설치 3) 연구실 안전교육 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 모든 연구활동 종사자는 월 4시간 이상 안전교육 실시 - 교육내용 : 연구실 안전 환경 조성에 관한 법률 연구실 유해, 위험요인 등 4) 연구실 안전시설 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 연구실 출입문 위험물 안전표시 부착 - 연구실내 개인 보호 장구 및 소화기 비치 5) 연구 내용 및 결과물 안전 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 일신화학공업(주)에서는 정기적으로 원차원에서 인원 및 시설 보안 항목, 문서 보안 항목 그리고 정보보안 항목의 보안점검을 실시하여 연구 내용 및 결과물의 안전을 확보하고 있음 - 참여 연구원들을 대상으로 연구 결과의 안전한 관리를 위한 안전교육 실시 6) 연구실 안전 확보 계획 <ul style="list-style-type: none"> - 참여 연구원들이 안전관련 각종 법규, 규정 및 지침을 준수하도록 하며, 요구되는 안전교육 및 훈련 실시 - 실험에 관련된 위험 정보를 숙지하고 적절한 개인 보호 장비 착용 - 실험실에 노출된 위험을 안전관리책임자에게 보고 - 연구실의 잠재되어 있는 위험성 발견 및 위험물질과 각종 실험장비 등 사용에 따른 안전수칙이 잘 이행될 수 있도록 지도점검 및 교육 	

10. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Effects of Bio-degradable Mulches on the Yield of Maize and the Density of Soil Microbe	강원도농 업기술원	제1 저자	한국토양비 료 학 회 / 한 국	-	2016.08.26.	-	비SCI
2	학술 발표	한국토양비료학회 추계학술대회	강원도농 업기술원	-	한국	-	2016. 3. 10	-	-

11. 기타사항

코드번호	D-13
○ 특기 사항 없음	

12. 참고문헌

코드번호	D-14
<ul style="list-style-type: none"> ○ Kwon, O.D. and J.M. Lee. 1984. Effect of different mulching on the growth, pod yield and nodule development in 3 snapbean cultivars. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 25:212-217. ○ Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth - A review. Commonwealth Agr. Bureaux, Slough, U.K. ○ Doane, W.M. 1992. USDA research on starch-based biodegradable plastics. Starch. 44:216-219. ○ Dodd, I.C., J. He, C.G.N. Turnbull, S.K. Lee and C. Critchley. 2000. The influence of supra-optimal root-zone temperature on growth and stomatal conductance in <i>Capsicum annuum</i> L.J. Expt. Bot. 51:239-248. ○ Gracia, C., T. Hernandez, and F. cotea. 1992. Comparison of humic acids derived from city refuse with more developed humic acids. Soil Sci. Plant Nutr. 38:339~346 ○ Hatt, H.Q., D. Decoteau, and D.E. Linvill. 1995. Development of a polyethylene mulch system that changes color in the field. HortScience. 30:265-269. ○ Jeon, W.T., W.H. Yang, S.W. Roh, and M.T Kim. 2006. Influence of controlled-release fertilizer levels on rice growth, weed control and nitrogen efficiency in paper mulching transplanting. Korean J. Soil Sci. Fert. 39:345-350 ○ Jung B.W., C.H. Shin, Y.J. Kim, S.H. Jang, and B.Y. Shin. 1999. A study on the biodegradability of plastic films under controlled composting condition. J. Int. Industrial Technol. 27:107-116 ○ Kim, K.C., Ahn, B.K., Kim, H.G., Jeong, S.S., 2012. Effect of expeller cake fertilizer application on soil properties and red mustards(<i>Brassica Juncea</i> L.) yield in soil of organic farm of plastic film greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:1022-1026. ○ Lee, J. S., Jeong, K.H., Kim, H.S., Kim,J.J., Song, Y.S., Bang, J.K., 2009. Biodegradable plastic mulching in sweetpotato cultivation. Korean J. Crop Sci. 54:135~142. ○ Lee, Y.H., Ha, S.K., 2011. Impacts of chemical properties on microbial population from upland soils in gyeongnam province. Korean J. Soil Sci. Fert. 44,242-247. ○ Lim, D.K., J.S. Shin, and K.S. Seong. 1988. Mono-granular compound fertilizer acting slow release for the crops under vinyl mulching cultivation. III. Effect of newly developed compound fertilizer on sesame. Korean J. Soil Sci. Fert. 21:296-300. ○ Lim, S.U., J.C. Ryu, C.W. Hong, 1979. Study on the effects of an organic fertilizer on the yield of chinese cabbage and radish and the physico-chemical properties of soil Korean J. Soil Sci. Fert. 12:125~132. ○ Miller, D.E. 1986. Root system in relation to stress tolerance. HortScience. 21:963-970 	

- National Academy of Agricultural Science (NAAS). 2000. Methods of soil chemical analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- Paulsen, G.M. 1994. High temperature responses. of crop plant, p.p. 365-389.
- Rural Development Administration (RDA). 2003. Standard measurement and analysis in agricultural research and development, RDA, Suwon, Korea.
- Schalk, J.M. and M.L. Robins. 1987. Reflective mulches influence plant survival, prouduction and insect control in fall tomatoes. HortScience. 22:30-32
- Scott, G. 1990. Photo-degradable plastic: Theit role in the protection of the environment polymer. Deg. and Stabil. 29:136-143.
- Shin, B. Y., H. B. Lee, and M. H. Cho. 1995. Photodegradable of HDPE film containing mechanically induced photosensitive groups. Environ. Res. 15:331-40.
- Yun, H.B. J.S. Lee, Y.J. Lee, R.Y. Kim, Y.S. Sang, S.G. Han, Y.B. Lee, 2011. Chinese cabbage growth effected by black vinyl mulching and organic fertilizer application in spring season. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:1107-1111.
- 김수정. 남정환. 진용익. 홍수영. 장동철. 정진철. 야콘의 국내 재배동향. 2012. 한국자원식물학회 춘계학술발표회. p. 16.
- 김유학. 작물과 토양화학. 2003. 한국토양비료학회, 토양과 비료 13. pp. 3-11.

<별첨작성 양식>

[별첨 1]

연구개발보고서 초록

과 제 명	(국문) BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭 필름 개발 및 적용기술 개발						
	(영문) Development and application of controlled and biodegradable agricultural-mulch film by using BDP resin and mineral nutrient						
주관연구기관	일신화학공업(주)		주 관 연 구 책 임 자	(소속) 일신화학공업(주)			
참 여 기 업	강원도농업기술원			(성명) 박광익			
총연구개발비 (810,000 천원)	계	810,000	총 연 구 기 간	2013 .08 .26. ~ 2016 .08 .25(3년)			
	정부출연 연구개발비	600,000		총 인 원	13		
	기업부담금	210,000		총 참 여 연 구 원 수	내부인원	13	
	연구기관부담금	-			외부인원	0	

○ 연구개발 목표 및 성과

가. 연구개발 목표

(1) 주관기관

100% 토양 미생물 분해가 가능한 BDP수지(Bio Degradable Plastic)를 사용하여 토양 및 환경오염을 방지하고 필름 내에 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 다종의 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술을 개발.

(2) 협동기관

영농과정에서의 폐비닐은 농경지를 오염시키고, 농촌경관 악화 및 회수 노동력 및 비용발생 등 많은 문제점이 있는바 생분해성 비닐 개발과 이에 따른 작목에 대한 적응시험으로 청정 농업환경 유지 및 회수비용 절감.

나. 연구개발 성과

- (1) 토양 중 8개월, 12개월 완전 생분해 필름 개발.
- (2) 뿌리 활착용 미량원소가 첨가 된 기능성 생분해 필름 개발.
- (3) 흑색, 투명이 조합된 생분해 배색 멀칭필름 개발.
- (4) 친환경마크(KS M 724) 획득. (투명, 흑색)
- (5) 생분해플라스틱 협회 단체표준 제정.

○ 연구내용 및 결과

(가) 주관기관

- (1) 작물별 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 Recipe 개발.
- (2) 작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소의 Compounding 가공 기술 및 성형압출 공정기술 개발.
- (3) 생분해 배색멀칭필름 압출 성형 가공기술 개발.
- (4) 생분해성 멀칭필름 단체표준 제정 건의 (표준화)
- (5) Field 작물 재배 실증실험을 통한 생분해도 평가.
- (6) Field 작물 재배 실증실험을 통한 연작 생육특성 및 토양 이화학성 변동 평가.

(2) 협동기관

- (1) 고추에 대한 생분해성 필름 실증시험
- (2) 양파에 대한 생분해성 필름 실증시험
- (3) 옥수수에 대한 생분해성 필름 실증시험
- (4) 산채에 대한 생분해성 필름 실증시험

○ 연구성과 활용실적 및 계획

가. 주관기관

- (1) 친환경 유기농업 벼농사의 가장 큰 애로사항인 잡초방제에 손쉬운 대안을 제공 (오리농법, 왕우렁이 농법의 단점을 극복할 수 있는 기술적 대안)
- (2) 친환경적 제초효과를 기대할 수 있고, 구근류, 근채류의 기계화 작업을 촉진하는 효과
- (3) 생분해성 멀칭필름의 보급으로 PE멀칭의 수거/재생처리에 따른 사회적 비용 절감.

나. 협동기관

- (1) 친환경적 제초효과 기대
- (2) 생분해성 멀칭필름 사용에 의한 기존의 비닐수거노력 저감 및 사회적비용 절감
- (3) 생분해성 비닐의 자연 친화적 분해로 청정 농업환경 및 농촌경관 유지

[별첨 2]

자체평가의견서

1. 과제현황

				코드번호	D-15
		과제번호		313008-3	
사업구분	지정공모사업				
연구분야	[농림식품 환경생태] [농업토목] [농업 토목시설]			과제구분	단위
사업명	농생명산업기술개발사업				일신화학공업
총괄과제	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용 기술 개발			총괄책임자	박광익
과제명	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용 기술 개발			과제유형	(개발)
연구기관	일신화학공업(주)			연구책임자	박광익
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2013.08.26.~ 2014.08.25.	200,000	70,000	270,000
	2차년도	2014.08.26.~ 2015.08.25	200,000	70,000	270,000
	3차년도	2014.08.26.~ 2016.08.25	200,000	70,000	270,000
	4차년도	-	-	-	-
	5차년도	-	-	-	-
	계	2013.08.26.~ 2016.08.25	600,000	210,000	810,000
참여기업	일신화학공업(주), 강원도 농업기술원				
상대국	대한민국	상대국연구기관	대한민국		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2016. 09. 29.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
기술연구소	소장	박광익

4. 평가자(연구책임자) 확인 : 박 광익

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

확약	
----	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

당 연구는 100% 생분해가 가능하며, 무기영양소를 첨가한 생분해성 멀칭필름을 개발하였음. 기존의 생분해 멀칭필름으로 판매된 필름은 생분해 필름이 아닌, 광분해성 필름 이었음. 개발된 생분해 농업용 멀칭필름의 경우, 토양 미생물에 의해 생분해가 가능하며, 토양 내, 결필되기 쉬운 무기영양소를 첨가하여 식물생장 및 토양을 비옥화에 관여하는 것으로 독창적인 기술임.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

당 연구에서 개발된 기술들은 침공, 유공, 배색 필름 등으로 활용하여 발농사에 사용가능 함. 또한 범씨 부착필름에 적용하여, 친환경 쌀 생산이 가능하고, 기계화 작업을 줄여 인건비 등 생산비 절감에 효과적인 기술임

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

본 연구를 통해 생분해필름이 환경에 미치는 영향 및 환경관련 인증 등을 획득하였음. 본 연구 결과물을 활용하여 환경부 보조금 지원 등, 생분해 제품 시장 활성화가 가능할 것으로 보임

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (**아주우수**, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구는 한국프라스틱협회와의 협력을 통해 단체표준제정을 위해 노력하였음. 또, 국내 생분해 원료 업체 및 컴파운딩 업체와의 CO-WORK을 통해서 필름 개발을 진행하였으며 2년간의 현장 평가 및 환경표지인증(국내 인증), OWS (국제 인증) 등 생분해 멀칭필름의 상용화를 위해서 노력하는 등 성실한 연구를 수행하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, 우수, **보통**, 미흡, 불량)

국내 논문(비 SCI) 1건, 국내학술발표 2건, 특허출원 2건, 제품 시연회 1건을 진행하였음.

가. 논문

- (1) 2016, Effects of Bio-degradable Mulches on the Yield of Maize and the Density of Soil Microbe, 임수정, 한국, 375-380, 국내, 비 SCI, ISSN 2288-2162 (온라인)

나. 국내 학술발표

- (1) 2016, 한국토양비료학회 추계학술대회, 강원도농업기술원,
- (2) 2015, 식물조절학회, 일신화학공업(주)

다. 특허 출원

- (1) 2014, 생분해수지조성물 및 이를 이용한 생분해멀칭필름, 일신화학공업, 대한민국, 제 2014-05886194호
- (2) 2016, 생분해성 수지 조성물, 이를 이용한 생분해성 멀칭 필름, 일신화학공업, 대한민국, 특허출원 제 2016-0107452호

라. 제품시연회

- (1) 2015, 대호간척지 벼수출 신기술 시연회 (충남 서산)

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
작물의 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 가능한 생분해 멀칭필름 개발. (8개월용, 12개월용 생분해 필름)	20	100	BDP수지의 조성별 특성 평가 및 작물 생육특성 분석을 통해 토양내 생분해 기간 조절 멀칭필름 개발
작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 멀칭필름 개발	30	100	액상 무기소재 합성 및 컴파운딩 가공기술 개발을 통해서 다기능성 생분해 멀칭필름 개발
Co-Extrusion을 이용한 투명, 흑색이 혼합된 배색멀칭 필름 제조 기술 개발.	20	100	BDP수지와 M/B 혼련성 및 상용성을 고려한 배색 압출 성형 Process 개발
100% 생분해성 멀칭필름의 관련규격 표준화.	15	100	PL협회와 관련하여 규격 표준화 추진, 생분해성수지 제품업체 협의체 참여
재배 안정 및 환경보전에 적합한 생분해성 필름 선발	15	100	고추, 양파, 옥수수, 산채 등은 연차별로 (2015, 2016) 진행 - 생육특성 및 토양 이화학성 변동 평가
합계	100	100	-

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구는 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 농업용 멀칭필름 개발 및 적용 기술 개발을 목표로 하였음. 생분해 원료 업체, 컴파운딩 업체, 생산 현장 등과 밀접하게 협력관계를 통해, 토양 미생물에 의해 100% 분해 가능한 다기능 멀칭필름을 생산 가능한 Process를 구축 하였음. 또한, 농협, 농어촌 공사, 농가 등과의 협력을 통해 현장 평가 및 제품 홍보를 진행하여 생분해 멀칭 필름 시장을 활성화 하였음.

2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

- 특기 사항 없음

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

가. 환경 농자재 등록을 통한 보조금 확보

현재 한국산업기술원의 '환경표진인증' 획득 및 OWS 인증을 통해 환경부 친환경자재 등록을 통한 생분해 멀칭필름 보조금을 확보하기 위한 협의 진행

IV. 보안성 검토

o 일반과제

가. 결정사유

'국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정' 제 24조의 4에 해당하지 않음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

- 특기 사항 없음

2. 연구기관 자체의 검토결과

- 특기 사항 없음

[별첨 3]

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제		분 야	농생명산업기술개발사업
연구과제명	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름 개발 및 적용기술 개발			
주관연구기관	일신화학공업(주)		주관연구책임자	박광익
연구개발비	정부출연 연구개발비	기업부담금	연구기관부담금	총연구개발비
	600,000,000	210,000,000	-	810,000,000
연구개발기간	2013.08.26.~2016.08.25.			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 생분해성 멀칭 Film의 관련정보 수집을 통한 개발 Process 동기화.	• BDP수지 정보 조사
② BDP 수지의 특성 평가를 통한 토양 내의 생분해도 특성 평가. (작물별 멀칭 피복시기 및 수거시기)	• BDP 수지의 특성 분석 • BDP 수지의 조성별 특성 평가. • 작물별 생육 특성 분석.
③ Matrix 첨가제 조성을 통한 토양 내의 생분해도 특성 평가.	• 변성전분 및 탄산칼슘의 특성 분석. • 조성에 따른 특성 평가. • 토양환경에 따른 BDP수지의 분해관계 확립.
④ 생분해 멀칭필름의 생분해 기간에 관여하지 않는 물리적 특성 향상 방안 마련.	• 초기 물성 확보를 위한 수지와 첨가제 간의 조성 확정. • PE 멀칭 Film에 상응하는 요구 물성확보를 위한 조성비 개발. • 원천 소재의 물리적 화학적 분석이 가능한 기술진 자문과 협조를 통하여 연구진행.
⑤ 지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증 실험.	• 경북 의성 (마늘) • 전남 무안 (양파) • 충남 당진 (고구마) • 제주 한경 (양파)
⑥ BDP수지 조성점검 및 무기영양소 선정, 함량 평가	• 생분해멀칭용 무기영양소 선정 • 가공특성을 고려한 무기영양소 함량 평가
⑦ 무기영양소가 첨가된 Matrix 수지의 Compounding 가공기술 개발	• 액상 무기소재의 합성 • 저열가공 컴파운딩 가공기술 개발
⑧ 압출가공 안정화를 위한 Operating 기술 개발	• 압출 온도, 압출 Speed, Pressure - BDP 수지와 M/B의 혼련성 - BDP 수지와 M/B의 상용성 - Carbon Black 입자에 따른 혼련성 및 UV 안정성 검토
⑨ 국내 생육 환경에 적합한 Recipe 개발.	• 시포 지역별 토양의 특성 분석 • 각 특성 분석을 통한 지역별, 작물별 Biodegradable 성능 최적화 조성비 개발 - 밭 멀칭용 - 논 멀칭용
⑩ 지역별 작물 재배 Field 평가를 통한 실증 실험.	• 경북 의성-한지형마늘 • 전북 진안-고구마 • 충청 당진-고구마 • 충청 서산-벼 • 강원 홍천-가지, 셀러리

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
⑮ Co-Extrusion을 이용한 투명, 흑색이 혼합된 배색멀칭 필름 제조기술개발.	<ul style="list-style-type: none"> • 생분해멀칭용 무기영양소 선정 • 가공특성을 고려한 무기영양소 함량 평가
⑯ 무기영양소가 첨가된 Matrix 수지의 Compounding 가공기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 배색멀칭 필름 압출 가능한 Extruder Design 설계 및 설비 점검 및 보완. <ul style="list-style-type: none"> - Co Extrusion 설계 - Die Design 설계 • 생분해 배색멀칭 필름용 Recipe 개발. • 압출 성형 Process 개발. <ul style="list-style-type: none"> - 압출 온도, 압출 Speed, Pressure - BDP 수지와 M/B의 혼련성 - BDP 수지와 M/B의 상용성
⑰ 100% 생분해성 멀칭필름의 관련규격 표준화.	<p>(작물별 멀칭 피복시기 및 수거시기)생분해성 수지 제품업체 협의체 참여</p> <ul style="list-style-type: none"> - KS 혹은 PL(한국플라스틱협동조합)관련 규격 표준화 추진.
⑱ 산업화를 위한 대량생산 Process 최적화.	<ul style="list-style-type: none"> • 생분해 전용 설비 확보
⑲ 재배 안정 및 환경보전에 적합한 생분해성 필름 선발	<ul style="list-style-type: none"> • 고추 평지(표고100) 재배시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행 • 양파 고랭지(표고600) 재배시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행 • 옥수수 평지(표고200) 재배시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행 • 산채 고랭지(표고600) 재배시 적용가능 생분해 필름 선발시험 수행 • 연차별 생육특성 및 토양 이화학성 변동 평가

3. 연구목표 대비 성과

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책 활용·홍보		기타 (타 연구 활용 등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용 창출	투자유치		논문		학술발표			정책 활용	홍보 전 시	
												SC I	비 SC I						
최종목표	2	1	-	1	1	2	-	-	-	-	-	3	-	2	-	1	3	-	
연구기간내 달성실적	1	0	-	1	1	5	413	-	2	-	-	1	-	2	1	1	3	-	
달성율(%)	50	0	-	100	100	250	-	-	-	-	-	33	-	100	100	100	100	-	

* 매출 창출 : 2014~2015 기준 413,000,000원 매출발생

* 고용 창출 : 개발 계획 단계에서 검토가 도지 않았으나 2014년 신규고용 4명 창출

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	작물의 생육특성에 따른 토양내의 생분해 기간 조절 가능한 생분해 멀칭필름 개발. (8개월 생분해용, 12개월 생분해용)
②	작물 생육 및 토양 비옥화에 관여하는 무기영양소를 첨가한 다기능성 생분해 멀칭필름 개발.
③	Co-Extrusion을 이용한 투명, 흑색이 혼합 된 배색멀칭 필름 제조기술 개발.

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허출원	산업체이전 (상품화)	현장으로 해결	정책자료	기타
①의 기술		v	v				v	v	v	
②의 기술		v				v	v	v		
③의 기술		v					v	v		

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	- 작물별 생육시기를 고려한 투명/흑색 필름 생산 - 침공 및 유공제품 생산하여 작물생육 증진 및 인건비 부담 경감, 식부면적 증수 등과 같은 작업성을 향상 시킨 멀칭필름 생산
②의 기술	- 마그네슘(Mg), 붕소(B) 등의 미량요소를 함유, 뿌리활성 및 작물생육을 활성화하는 고기능성 멀칭필름 생산
③의 기술	- 감자, 고구마 등 배색멀칭을 사용하는 작물농가에 배포 가능 - 생분해 멀칭필름 시장 확대

7. 연구종료 후 성과창출 계획

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술실시 (이전)		사업화					기술 인 증	학술성과			교육 지 도	인 력 양 성	정책 활용-홍보		기 타 (타 연구 활용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SC I	비 SC I						
최종목표	2	1	-	1	1	2	431	-	0	-	-	3	0	2	0	1	3	-	
연구기간 내 달성실적	1	0	-	0	0	5	431	-	2	-	-	1	1	4	1	1	3	-	
연구종료 후 성과창출 계획	1	1	-	1	1	1	567	-	1	-	-	2	1	3	2	0	1	-	

* 매출 창출 : 2017 기준 567,000,000원 매출 발생 예정

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾	BDP수지와 무기영양소를 이용, 분해기간 조절이 가능한 생분해성 농업용 멀칭필름		
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input checked="" type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	36,000천원
이전방식 ²⁾	<input checked="" type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간	2016.08.26.	실용화예상시기 ³⁾	2016.08.26.
기술이전시 선행조건 ⁴⁾	없음		

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발 사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.