

818005-02-
1-WT011

농식품연구성과후속지원사업 제2차 연도 최종 보고서

발간등록번호

11-1543000-003210-01

NRM
기술을
이용한
고추
맞춤형
완효성
비료
개발
최종
보고서
2020

NRM 기술을 이용한 고추 맞춤형 완효성비료 개발 최종보고서

2020.07.13.

주관연구기관/(주)삼농바이오텍
협동연구기관/(재)차세대융합기술연구원

농림
식품
기술
기획
평가
원

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

(견고닥 20p)

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "NRM 기술을 이용한 고추 맞춤형 완효성비료 개발 최종보고서"(개발기간 : 2019.01. ~ 2019.12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 01. 13.

주관연구기관명 : (주)삼농바이오텍 (대표자) 하병연 (인)

협동연구기관명 : 차세대융합기술연구원 (대표자) 차세대융합기술연구원장 (인)

주관연구책임자 : 하병연

협동연구책임자 : 박상운

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	818005-02-1 -WT011	해 당 단 계 연 구 기 간	2019. 01. 01. ~ 2019. 12. 31.	단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단계)
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	농생명산업기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	NRM 기술을 이용한 고추 맞춤형 완효성비료 개발			
	세 부 과 제 명				
연구책임자	하병연	해당단계 참여연구원 수	총: 2 명 내부: 2 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 100,000 천원 민간: 34,000 천원 계: 134,000 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 5 명 내부: 5 명 외부: 명	총 연구개발 비	정부: 175,000 천원 민간: 59,000 천원 계: 234,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	(재)차세대융합기술연구원			참여기업명: (주)삼농바이오텍	
국제공동연구	상대국명: (해당없음)			상대국 연구기관명: (해당없음)	
위탁연구	연구기관명: (해당없음)			연구책임자: (해당없음)	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급및 사유	
---------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

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

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) 보고서 면수

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 작물 양분 용출 모델 기술인 NRM 기술을 이용한 국내외 고추 맞춤형 완효성비료를 개발하기 위한 피복물질 개발 및 완효성비료를 제조하고 이들의 품질을 조사함 2) 개발된 완효성비료를 이용한 국내외 밭토양에서 작물 재배 시험을 통한 효과를 규명함 				
<p>연구개발성과</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 저렴한 제조 공정가격과 품질이 우수한 수분산형 우레탄-아크릴 공합중합 피복물질을 개발하여 2. 맞춤형 고추 완효성비료 시제품 제작을 위한 피복기 설계 제작 및 생산공정을 확립하여 연구에 필요한 시제품을 성공적으로 제작완료하였음 3. 고추양분 흡수 특성에 알맞은 고추 맞춤형 완효성비료를 고추 모종 뿌리 바로 밑에 시비(근권시비)함으로써 현행 속효성비료 관행시비량보다 최대 90% 정도 절감하여도 고추 생육 및 수확량이 떨어지지 않았음 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 상업화 제품 생산을 위한 기초 기술자료 확보 2. 화훼, 조경용 수입 완효성비료 대체를 위한 고품질 완효성비료개발 3) 고추 작물 이외 타 작물용 작물 맞춤형 완효성비료 개발 4) 현 속효성비료 대비 비료 사용량 50~90% 절감 가능한 환경 보존형 완효성비료 개발 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	완효성비료	고추	양분용출기술	피복기	친환경비료
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	Controlled Release Fertilizer	Pepper	NRM (nutrition release management)	coating machine	eco-friendly fertilizer

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	5
2. 연구수행 내용 및 결과	8
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	60
4. 연구결과의 활용 계획 등	62
붙임. 참고 문헌	63

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

- 고추 생육단계에 따른 양분 요구량에 적합한 완효성 비료 개발을 목표로 함.

나. 연구개발의 필요성

- 국내 화학비료 산업은 타 산업에 비해 연구개발미약으로 인해 70년대 생산된 속효성비료가 현재까지 대부분의 국내농경지에 사용되고 있어 현 산업 발달속도에 따라가지 못하고 있는 실정임
- 국내 일부 회사에서 양분 용출 조절이 비교적 쉬운 수도작에서만 연구개발하여 시판하고 있으나 용출 조절이 어려운 원예, 화훼, 시설작물 등은 아직 개발되지 않아 일부 농가에서는 고가의 수입 완효성비료(약 100,000~160,000원/포)를 사용하고 있는 실정임
- 현재 국내 비료 시장 대부분을 차지하고 있는 속효성비료는 작물의 양분이용율이 약 20~30% 정도 밖에 되지 않아 자원 낭비 및 대기, 수질등 환경오염 문제를 야기하고 있어 기후환경 변화에 대응 가능한 고기능성 비료 개발 필요
- 비료 낭비를 최소화하기 위해서는 작물뿌리에 의해 양분 흡수가 가능한 위치에 비료를 시비하여야 하며 비료가 작물 생육기간에 따라 비료 양분 양과 종류를 안정적으로 공급함으로써 작물 생육 및 품질, 수확량이 속효성비료보다 우수한 하이테크한 비료 개발이 필요함
- 국내 완효성 피복 비료들은 최근 가격경쟁에 관심이 집중되어 있으나, 원료나 인건비가 비교적 저렴한 중국에 의해 점차 대외 가격 경쟁력이 떨어지고 있어 향후 가격보다는 품질과 기술 경쟁력에서 우위를 점해야만 세계 무한 경쟁 속에서 생존이 가능할 것으로 판단됨.
- 특히, 2019년 기준으로 언론 보도에 따르면 농협의 무기질 비료 최저가 입찰 방식 채택으로 국내 화학비료를 농협 및 농민들에게 팔면 팔수록 손해가 발생하는 구조이어서 국내시장보다는 고가 및 하이테크한 비료를 팔 수 있는 해외시장을 목표로 삼는 것이 필요함.

- NRM(Nutrient Release Treatment) 기술을 이용한 작물 맞춤형 완효성비료는 작물 생리특성, 작물양분 흡수특성, 토양 특성, 기후환경 특성 등과 같은 농작물의 생육 환경을 과학적으로 분석하여 작물의 생산성 및 품질을 극대화시킬 수 있도록 비료의 양분이 작물의 양분흡수 특성에 맞게 작물 전생육 동안 양분효과가 지속적으로 공급할 수 있는 비료를 말하는 데 본 연구를 통해 세계 최초 고추 맞춤형 완효성비료를 개발함으로써 국내뿐만 아니라 하이테크한 기술을 해외 시장에 수출하기 위해 본 연구가 필요함

다. 연구개발 범위

(1). 제 1세부 과제 : 작물 맞춤형 완효성비료 개발을 위한 고기능성 피복물질 합성 및 개발

- 전 세계 피복비료 생산용 피복물질 분석

- 1) 특허 분석을 통한 전 세계 피복비료 생산용 피복물질 특성 및 종류 확인
- 2) 국내 유통중인 피복비료 샘플 확보를 통한 피복물질 특성 파악 및 분석

- 목표 피복 물질의 선정

- 1) 피복비료의 용출 기간 및 고화 성능 확보를 고려한 피복물질 선정
- 2) 저가 피복비료 생산을 위한 저가 고품질 원재료 확보 및 검토분석

- 피복 물질의 합성 및 물성 조절

- 1) 고분자 합성 장치를 이용한 최적의 고분자화 반응 조건 확보를 위한 반응공정 변수 확보
- 2) DLS를 이용한 고분자 입자 분석을 통한 반응 효율 분석
- 3) 점도 측정기를 활용한 최종 제품 점도 분석을 통한 고분자화 반응 정도 확인
- 4) TGA, DSC, TMA, DMA 열분석기기를 이용한 고분자수지 열특성 분석

- 합성된 피복물질 평가

- 1) 합성된 피복물질의 저장 안전성 평가
- 2) 합성된 피복물질을 이용한 피복비료 생산 및 품질 평가
- 3) 피복비료의 용출 및 고화성능 평가

(2). 제 2세부 과제 : 고추 작물 맞춤형 완효성비료 평가를 위한 작물 재배 시험

- 작물 맞춤형 피복비료 생산을 통한 작물 재배 시험용 시료 확보

- 1) 피복온도, Air유량, 피복물질 공급속도 등 공정 변수 확보

- 국내외 고추 농가 시비법 조사

- 1) 국내외 고추 농가 시비량 및 시비방법 조사
- 2) 국내외 고추 재배 연구 결과물 조사

- 국내외 고추작물재배 시험

- 1) 한국 및 중국에서 고추 작물 재배 시험 실시를 통한 고추 맞춤형 완효성비료 시제품 효과 검증
- 2) 고추 맞춤형 완효성비료 시용시 문제점 및 개선 사항 파악
- 3) 고추 생육 및 수확량 조사를 통한 본 시제품 효과 검증
- 4) 토양 분석을 통한 토양 안정성 조사

- 비료품질 안전성 분석연구

- 1) 피복비료 용출을 분석 및 고화 시험을 통한 피복비료 품질 안정성 조사

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 완효성비료 국내의 기술개발 현황

- 해외에서 개발한 최초의 피복형 완효성 비료는 1961년 미국 TVA (Tennessee Valley Authority)의 국립비료개발센터(NFDC, National Fertilizer Development Center)에서 드럼 피복기 내에서 유허를 입상 요소비료 표면에 피복하여 제조한 것으로 1971년에 시간당 1톤의 생산능력을 갖는 공정을 개발하였다. 영국의 ICI(Imperial Chemical Industries) 회사는 TVA기술로 SCU 생산에 성공하여 “Gold-N”의 상품명으로 시판하였으나 생산을 중단하고 그 후 캐나다에서 연간 3만 톤 규모로 생산하였다. 현재까지 피복형 완효성 비료의 제조에 사용될 수 있는 피복 물질로는 왁스, Rosin, 고분자 물질 및 황 등이 있음 (Trenkel ME (2010))
- 미국 Archer Daniels Midland(ADM)회사에서는 1964년에 Dicyclopentadiene과 Glycerol ester의 Copolymer 형태의 피복물질을 사용하여 “Osmocote” 상표의 피복비료를 생산하고 있으며 전 세계적으로 품질이 안정적이라고 평가받고 있음.
- 일본에서는 1980년대에 잇소아사히 회사에서 피복물질로 Polyolefin계 수지와 Polyvinylidene chloride을 사용하였으며 질소의 함량이 40%이고 피복량은 약12% 정도이며 이 비료는 20℃ 포장조건하에서 80% 용출율을 기준으로 6가지 형태의 비료가 생산되고 있음. 또한 1988년 일본 Central Glass회사에서는 피복물질로 열경화성인 Alkyd 수지를 사용하였는데 Alkyd수지는 천연 식물성 기름의 지방산을 이용하여 피복비료를 생산하고 있음.(Shoji S, Gandeza AT (1992)), (Shoji S, Kanno H (1994))
- 이스라엘 하이파사는 이스라엘에 Head Office를 두고 전 세계에 11개의 자회사를 두어 글로벌 경영을 하고 있으며 딸기전용 등과 같은 작물별 맞춤형 코팅비료를 생산하여 판매하고 있음.
- 2013년에 중국 스키즈대학(Shihezi Univ.)과 중국과학아카데미 연구진의 공동연구로 홍합으로부터 추출한 접착 단백질을 이용, 화학비료의 효율을 극대화시켜서 비용절감 효과와 환경보호 효과를 동시에 얻을 수 있는 친환경 고분자 코팅 서방형 화학비료를 개발함.

또한 중국 Kingenta Group은 1998년도에 피복비료 생산을 전문으로 설립하여 용제형 피복물질을 이용하여 현재 약 년산 500,000톤을 생산하여 세계 제 1의 피복비료 생산회사가 되었

음.

- 국내 완효성비료 개발은 1985년 (주)조선비료가 피복형 완효성비료 생산을 성공하였고 2008년 (주)남해화학이 수분산성 아크릴고분자 수지를 이용한 피복형 완효성비료가 상업적으로 생산됨에 따라 완효성비료 생산이 본격화되었고 현재는 조비, 남해화학 이외 팜한농, 누보에서 피복형 완효성비료를 생산하여 판매하고 있음.
- 국내 완효성비료는 대부분 양분 용출 조절이 대체적으로 용이한 수도작용 완효성비료기술 방향으로 개발이 이루어져 현재 공급 되고 있으며, 작물의 양분 용출 조절이 어려운 시설하우스용 작물 및 원예작물, 화훼작물, 과수작물 등에 사용이 적합한 작물별 전용 완효성비료는 아직까지 국내 개발제품이 유통되고 있지 않아 일부 농가에서는 고가의 수입 완효성비료를 부득이하게 사용하고 있음.
- 국내에서 제조하여 판매되고 있는 수도용 완효성비료는 일반 속효성화학비료 70%에 피복요소가 30% 정도 혼합된 피복요소복합비료로서, 벼 생육 기간 동안 단지 질소 성분만 완효 효과를 제공하기 때문에 고도의 양분조절기술이 필요하지 않음.
- 최근 (주)에코텍씨드는 한국잔디연구소와 함께 정부과제 연구수행을 통해 생육 및 병해 예방 페어웨이용 비료와 완효성 비료를 제조하여 병방제 및 생육을 동시에 예방 및 치료 할 수 있는 제품을 개발함.
- 작물 맞춤형완효성비료 개발은 국내에서는 수도작 이외 타 작물은 미미한 수준이며 외국에서는 골프장 잔디, 화훼, 토마토,고추 등과 같은 작물별 맞춤형 완효성비료가 개발되어 시판되고 있음. 하지만 시비방법에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있고 대부분의 표층시비 및 전층 시비 방법으로 비료를 시비할 것을 추천하고 있으며 근권시비에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정임.

나. 제 1세부 과제 : 작물맞춤형 완효성비료개발을 위한 고기능성 피복 물질 합성 및 개발

(1). 수분산 폴리우레탄-아크릴레이트 하이브리드 수지 (WPUA) 개발 필요성

- 기존의 피복제로 사용되어온 폴리우레탄 수지(PU)는 뛰어난 내화학적, 접착성 및 강성을 지닌 사슬과 연성을 지는 사슬로 구성되어 발현되는 특유의 기계적 특성으로 코팅재료로써 선호되어 왔으나 내열성과 내수성이 약하여 비료 코팅제로 사용 시 문제가 됨.
- 또한, 세계적으로 VOC(Volatile Organic Compounds) 발생 등의 환경 문제가 대두되면서 고분자 수지 합성에서 유기 용제를 대량으로 사용한다는 점에서 대체제가 필요하며 이를 해결하기 위해 수분산 폴리우레탄 수지(WPU, Waterborne Poly Urathane)가 개발되어 왔음.
- 용매로써 물을 사용하기 때문에, 상대적으로 친환경적인 장점이 있고, 우레탄 특유의 내충격성과 저온에서의 유연성이 뛰어난 장점이 있음.
- 하지만 WPU는 용매인 물에 분산된 콜로이드로 제조되며, 수분산을 위해 친수성의 원료가 사슬에 적용됨으로 인해 내수성과 내가수분해성이 기존 PU에 비해 떨어짐.
- 한편, 아크릴레이트 수지(PA)는 PU에 비해 상대적으로 저렴한 가격과 뛰어난 기계적 물성, 내수성을 겸비하여 널리 사용되어왔으나 다양한 온도 범위에서 극단적으로 연성 혹은 강성의 성질을 띄어 비료 보관 시 코팅제 간 접착 문제나 크랙 형성의 문제가 발생함.
- 이를 보완하기 위해 연구된 것이 수분산형 폴리우레탄-아크릴레이트 수지(WPUA)이며, 위에서 열거한 각 수지의 단점을 서로 상호보완해주어 시너지 효과를 내는 재료로 기대가 됨.
- 수분산 폴리우레탄-아크릴레이트 하이브리드 수지(WPUA)는 기존 아크릴수지의 취성을 보완하여 다중 코팅이 필요가 없으며, 완효성에서는 우레탄과 아크릴레이트의 구성비에 따라 조절이 가능한 특성이 있어 기술적인 면에서 유리함.
- 또한, 가격이 높은 단일 우레탄에 비해 아크릴레이트가 함께 사용되므로 단가를 낮추는 것이 가능한 이점이 있음. 수분산 수지이므로 기존의 유기용매를 사용하는 우레탄에 비해 환경규제

로부터 상대적으로 유연한 대처가 가능한 부분도 긍정적임.

- 피복제로 사용되는 여러 수지의 단점을 보완하기 위해 WPUA를 비율별로 혼합하고, 공정 최적화 (피복제 단순화, 가격 효율성)를 위해 직접 제조함.
- 비료 피복제로써 보관, 사용 및 제조에 중요한 요인으로 작용하는 점들은 다음과 같음.
 - 1) 콜로이드 분산 안정성
 - 2) 내수성
 - 3) 열 안정성
 - 4) 비료 저장 안정성
 - 5) 합성 공정 비용 절감
- 따라서, 위의 중요 요인들을 기준으로 WPUA 분석 및 연구를 진행함.

(2). 피복제 (WPUA) 용액의 콜로이드 분산 안정성

- 수분산 폴리우레탄-아크릴레이트 수지는 용매인 물에 폴리머들이 콜로이드(Colloid) 형태로 분산되어 있는데 이러한 방식으로 분산된 물질들은 보관 시 지속적으로 분산되어 있을 수는 없음.
- 언젠가는 침전 혹은 응집이 생기게 되는데 최대한 오랫동안 분산을 유지할 수 있다면 용액의 재고를 확보해가면서 생산을 할 수 있어서 생산성에 있어서 중요한 요소가 됨.
- 입자 크기의 균일도(PdI)는 콜로이드 안정성을 대표하는 데이터로써, 콜로이드 입자는 아이오닉(ionic)한 부분을 표면에 가지고 있으며 전하의 밀도가 커지게 되어 정전기적 상호작용으로 인해 입자 간의 반발력을 통해서 분산됨.
- 따라서, 특정 부피에서 상호 간의 반발력이 일정하다고 가정하면, 입자의 크기는 균일할 것이고 원료들의 비중이 크게 차이가 나지 않는다면, 긴 시간 동안 안정한 분산을 유지함.
- 용액의 안정성은 점도의 변화를 통해 측정 가능하며 점도는 마찰을 통해 데이터가 측정되는데, 분산이 잘되어 있고 일정한 입자크기를 가질수록 낮은 점도를 가질 것이며 점도의 변화는 용액의 수명을 가늠할 수 있어서 여러 분야에서 품질관리(QC)에 활용이 되고 있음.

- 이러한 안정성을 측정하기 위한 방법으로 위 두 가지가 있으며 이는 콜로이드의 침강 속도 식으로부터 무엇이 안정한 콜로이드 용액인지 유추할 수 있음.

- 입자를 움직이게 하는 알짜 힘과 유체 저항력은 서로 비례하기 때문에 Stokes 법칙에 의해

$$F_g = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)g \quad (r=\text{콜로이드 입자의 반지름}, \rho=\text{입자의 밀도}, g=\text{중력가속도}, \rho_0=\text{액체의 밀도}, F_g=\text{알짜 힘})$$

$$- F_f = f \cdot u, \quad f = 6\pi\eta r \quad (f=\text{마찰계수}, \eta=\text{유체의 점도})$$

$$- \frac{4}{3}\pi r^3(\rho - \rho_0)g = 6\pi\eta r u \quad (\eta=\text{유체의 점도}, u=\text{침강 속도})$$

$$- \therefore u = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta}$$

- 다음과 같은 침강 속도 식이 나타내어 짐. 위 식으로부터 입자크기가 작을수록, 액체 점도가 클수록 침강 속도가 감소하는 것을 확인할 수 있음.

- 본 연구에서 분석 진행한 다양한 WPUA의 스펙은 다음과 같음.

Sample	고형분(%)	점도 (cps)	pH	이온성	외관	T _g (°C)
WPUA-1	31.8	24	7.8	음이온성	유백색 액체	103
WPUA-2	40.4	84	7.7	음이온성	유백색 액체	103
WPUA-3	39.6	36.5	7.9	음이온성	하늘색 액체	-28.4

표 1. 다양한 WPUA 샘플에 대한 고형분 농도, 점도, pH, 이온성, 외관, 유리전이온도 스펙

- 다양한 종류의 WPUA에 따른 콜로이드 입자의 크기를 DLS 측정을 통해 분석하였음.

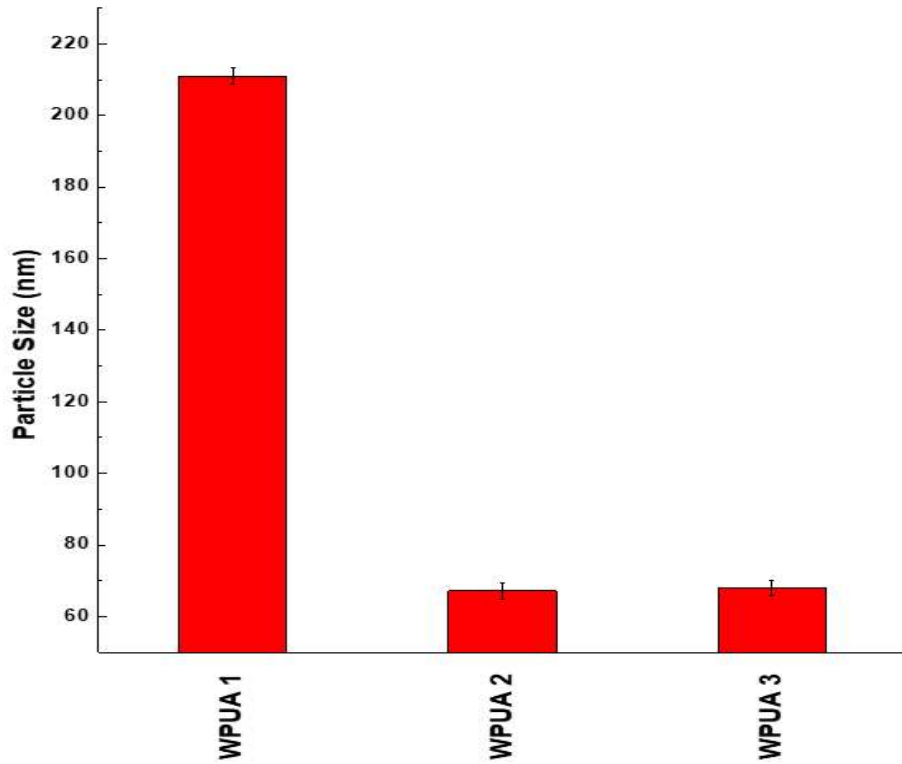


그림 2. WPUA의 콜로이드 입자 크기 분석을 위한 DLS 측정 결과

- WPUA-1의 콜로이드 크기는 WPUA-2, WPUA-3의 콜로이드의 크기가 ~70 nm 정도인 것과 달리 ~210 nm 정도인 것으로 확인됨. 입자의 크기가 작은 WPUA-2와 WPUA-3이 침강 속도가 느려 분산 안정성을 가질 것으로 보임.
- 또한 WPUA-1, WPUA-2, WPUA-3의 입자 크기의 분포도의 폭이 좁아 예러 범위가 작으므로 입자 크기가 거의 균일한 것으로 여겨지며 콜로이드 형태를 지녔을 때 이에 따라 긴 시간 동안 안정한 분산을 유지할 것으로 예상됨.

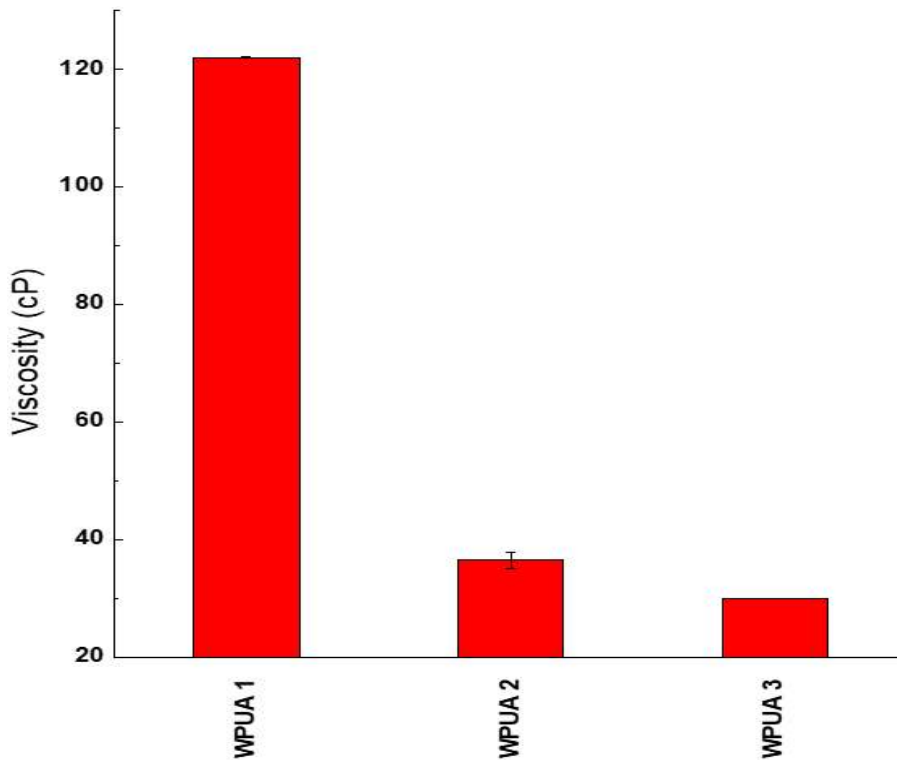


그림 3. WPUA가 분산된 액체의 점도 측정 결과

- WPUA-1, WPUA-2, WPUA-3의 점도를 측정한 결과 WPUA-1의 점도가 ~120 cP로 비교적 높으며 WPUA-2는 ~36 cP, WPUA-3은 ~30 cP로 비교적 낮은 점도를 가짐. 이로써 종합적으로 WPUA-2와 WPUA-3이 높은 콜로이드 안정성을 가질 것으로 보여짐.

(3) 피복제 (WPUA)의 내수성

- 완효성 비료가 기본적으로 갖춰야 할 성능은 비료 성분의 방출을 천천히 오랫동안 컨트롤해야 하는 데 비료 양분 방출을 지연하기 위해 피복제로 비료표면을 코팅 처리함으로써 비료 양분이 물에 용해되는 시간을 최대한 늦추고, 삼투압으로 인해 비료양분이 피복제 바깥으로 빠져나오는 양을 최대한 저지하는 것이 피복 이유임.
- 이러한 특성을 갖기 위해서는 피복 물질이 내수성을 갖춰야 하므로 피복제의 물에 대한 저항성 및 물 분자의 접근이 쉬운 구조를 가졌는지 평가할 필요가 있음.
- 내수성의 평가법에는 여러 가지가 있지만, 가장 쉽고 널리 이용되는 방법으로는 흡수도 및 접촉각의 측정이 있음.
- 흡수도 측정은 필름의 내부구조에 물이 얼마나 허용되는지를 판단하는 기준이 될 수 있고 다른

시각으로 본다면 물이 얼마나 흡수되기 쉬운지, 혹은 어려운지를 판단하는 근거로 작용할 수가 있음.

- 이와는 별개로 물이 표면에 얼마나 접근이 쉬운 물질인지를 판단할 수 있는 접촉각 측정을 통해서 부가적인 내수성을 수치를 통해 정량적으로 판단할 수 있음.
- 소수성 및 친수성의 물질이 섞여 있다고 가정할 때, 피복재 표면에 소수성 물질이 많은 경우에 물이 접근하기 어려울 것이고 반대로, 친수성 물질이 많은 경우에는 물의 접근이 쉬움.
- 이러한 물에 대한 성질들이 완효성에 영향을 끼치는 요소이므로 흡수도 측정을 수행하였음.
- WPUA의 다양한 스펙에 따른 피복 물질의 성능을 확인하기 위해 Acrylate-1, Acrylate-2, WPUA-1, WPUA-2, WPUA-3와 같은 다양한 샘플을 구입하여 10mm × 10mm × 2mm 크기의 물성 평가용 필름을 제조함.
- 고형분 40 %의 WPUA 10 ml 수용액에 WPUA는 분산되어 외부는 친수성기, 내부는 소수성기를 가지는 콜로이드 형태로 존재하게 됨.
- 필름 형태로 제조하여 화학적, 열적 안정성을 평가하기 위해 평형 맞춘 테프론 플레이트에 드라이핑하고 상태 온도에서 건조하여 필름을 제조함.
- 흡수도는 필름의 무게를 측정하고, 이온교환수에 넣어 72시간 동안 방치 후, 꺼내어 표면의 수분을 닦고 무게를 측정하여 얻은 데이터로 다음을 계산하였음.

$$\text{Water absorption}(\%) = \frac{\text{Hydrated sample weight}(g) - \text{Dried sample weight}(g)}{\text{Dried sample weight}(g)} \times 100$$

- Acrylate 및 WPUA의 최대 흡수 용량 관련 흡수도는 다음과 같은 도표로 나타내어 짐.

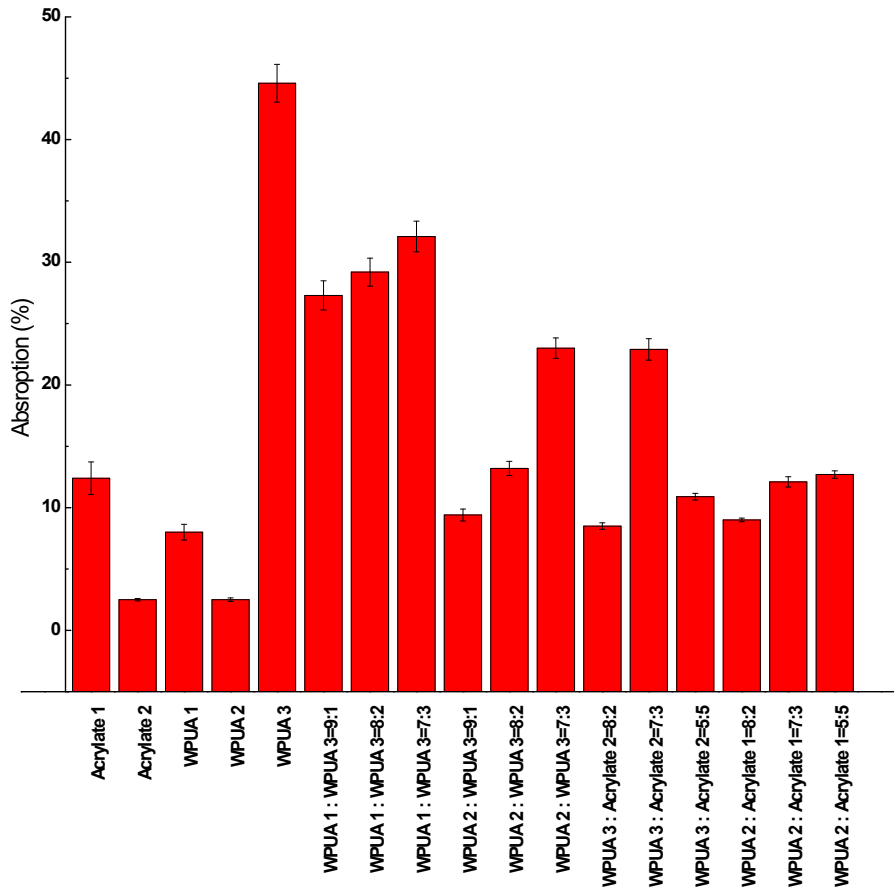


그림 4. Acrylate, WPUA에 따른 혼합물의 흡수도 측정 결과

- Acrylate-1의 경우 평균 흡수도가 ~13 %로 낮은 편이나 T_g 가 20 ℃로 낮아 상온에서 작은 압력에도 코팅한 비료가 늘러 붙게되고 고온에서는 코팅이 유지되기 어려워 코팅제로 사용하기 어려움.
- Acrylate-2의 경우 평균 흡수도가 ~2 %로 매우 낮으나 경도가 너무 높고 T_g 가 40 ℃로 비료 보관 시 예상 최대 온도 (60 ℃)보다 낮아 비료 보관 시 코팅 유지가 어려우며 경도가 매우 높아 작은 충격에도 쉽게 크랙이 형성되므로 비료 코팅제로 사용하기 어려움.
- WPUA-1과 WPUA-2의 경우 평균 흡수도가 각각 ~8 %, ~2 %로 매우 낮은 편이나 경질의 성질을 가져 코팅 후 작은 충격에도 비료에 크랙이 형성되는 문제점을 지님.
- WPUA-3의 경우 평균 흡수도가 ~45 %로 높고 연질의 성질을 가져 작은 압력에도 코팅이 찢어지고 고온에 노출 시 코팅된 비료끼리 늘러붙게 됨.
- 이와 같은 문제점들을 개선하기 위하여 연질의 Acrylate-1, WPUA-3과 경질의 Acrylate-2,

WPUA-1, WPUA-2를 구분하여 각각 혼합하여 물성 개선을 하고자 함.

- 우선 경질의 WPUA-1, WPUA-2, Acrylate-2와 연질의 WPUA-3을 혼합하여 비율별로 흡수도를 평가함.
 - 1) WPUA-1과 WPUA-3을 비율별 (9:1, 8:2, 7:3)로 혼합 시, 흡수도가 기존의 WPUA-1과 비교해 보았을 때 매우 높아져 코팅소재로 적합하지 않음. (WPUA-3의 흡수도가 높으므로 WPUA-1의 비율이 높도록 혼합함)
 - 2) WPUA-2와 WPUA-3을 비율별 (9:1, 8:2, 7:3)로 혼합 시, 9:1일 때의 흡수도가 ~9 %로 어느정도 코팅제로 사용 가능할 것으로 사료됨. (WPUA-3의 흡수도가 높으므로 WPUA-2의 비율이 높도록 혼합함)
 - 3) WPUA-3과 Acrylate-2를 비율별 (8:2, 7:3, 5:5)로 혼합 시, 8:2, 5:5일 때의 흡수도가 각각 ~9 %, ~11 %로 어느정도 코팅제로 사용 가능할 것으로 사료됨. (WPUA 기반의 코팅 소재로 제조하므로 WPUA-3의 비율이 높도록 혼합함)
- 위 연구를 통하여 경질의 WPUA-1보다는 WPUA-2가 혼합 시 효능이 좋아 WPUA-2를 기준으로 연질의 Acrylate-1과 혼합하였음.
- WPUA-2와 Acrylate-1을 (8:2, 7:3, 5:5)로 혼합 시, 8:2, 7:3, 5:5일 때의 흡수도가 각각 ~9 %, ~11 %, ~12 %로 어느정도 코팅제로 사용 가능할 것으로 사료됨. (WPUA 기반의 코팅 소재로 제조하므로 WPUA-2의 비율이 높도록 혼합함)
- Acrylate 및 WPUA의 물에 대한 접촉각은 다음과 같은 이미지를 바탕으로 도표로 분석하여 나타냄.

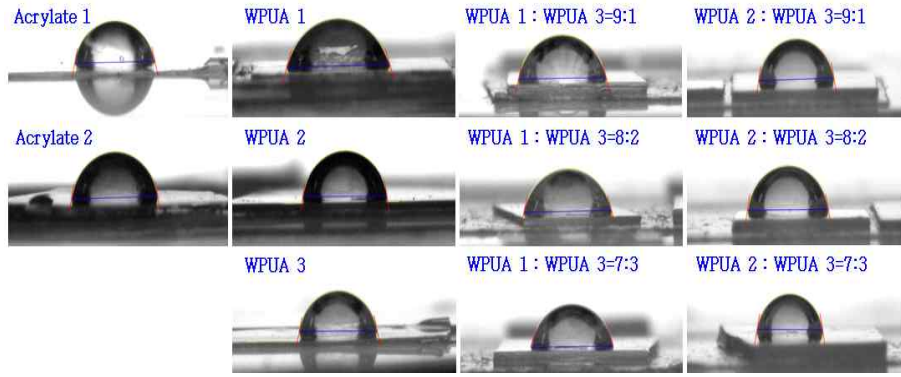


그림 5. Acrylate 및 WPUA의 물에 대한 접촉각 측정 이미지

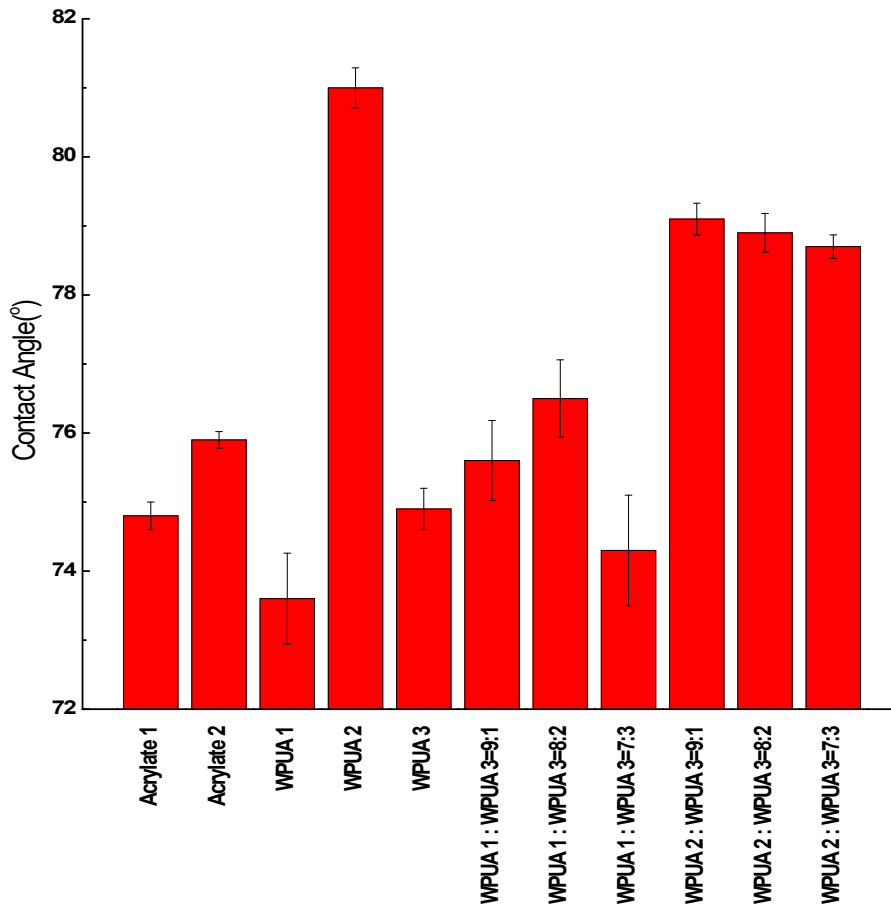


그림 6. Acrylate 및 WPUA의 물에 대한 접촉각 측정 결과

- 위 흡수도 측정을 바탕으로 WPUA 기반으로 한 비료 코팅제를 제조하기 위해 WPUA-1, WPUA-2, WPUA-3의 혼합 비에 따른 분석을 진행함.
- WPUA-2가 접촉각이 가장 높은 것으로 판단되며 이를 통해 WPUA의 혼합비로 판단해 볼 때 접촉각은 WPUA-2의 비율이 높을수록 높은 접촉각, 소수성을 가지는 것을 확인할 수 있음.

- 위 흡수도 데이터와 접촉각을 통한 소수성 정도 데이터를 비교해 보았을 때 WPUA-2와 WPUA-3의 혼합 비가 9:1일 때 내수성이 가장 좋은 코팅제로 제조가 될 수 있음을 유추할 수 있음.

(4). 피복제 (WPUA)의 열 안정성

- 유리전이온도(T_g) 및 결정화 온도, 저장탄성율, 손실탄성율, 열팽창계수, 열에 의한 질량감소 등 고분자의 상이 변하는 온도 혹은 물성이 달라지는 온도를 알 수 있으며, 이러한 열특성들은 특정한 온도에 대한 물리적 특성에 그대로 반영이 되어 고분자 재료의 특성 파악에 상당히 중요한 요소임.
- 특정한 온도에서의 상이 변하는 물질에 대한 공정 설계 및 제품 SDS 자료, 적용 가능한 분야의 설정 등에 사용이 가능하여 열특성은 고분자 재료의 분석에서 필수항목으로 언급할 수 있음.
- 본 연구에서 공정설계와 관련하여 필름을 형성하는 최소온도(Minimum Film Forming Temperature)가 유리전이온도와 크게 차이나지 않음을 이용하여 열분석을 통해서 공정에 적합한 재료인지 아닌지를 판단하는 기준으로 삼았음.
- 또한, 녹는점이 낮을 때 피복제 간의 용융접착이 일어날 수 있음.
- 제품을 수출하게 될 경우, 제품은 선박을 통해 운송될 것이며 그때, 컨테이너 내부의 온도는 최대 60 °C 까지 올라가는 것으로 조사된 문헌이 있었고, 이 온도에서 피복제가 녹지 않아야 함.
- 열에 의한 피복제의 특성은 제품화에 있어 여러 항목에 걸쳐 영향을 끼치기 때문에 열특성 파악이 중요하여 열 관련 분석 기기에 따른 분석 가능한 항목에 대한 정리는 다음과 같음.

분석 기기명칭	분석 항목
DSC	<ul style="list-style-type: none"> • 유리전이온도(T_g) • 결정화온도(T_c) • 결정화도(Degree of crystallization) • 융점(M_p) • 산화유도시간(T_o) • 비열(Specific heat, C_p) • 열용량(Heat capacity)
TGA	<ul style="list-style-type: none"> • 열분해온도(T_d) • 혼합물 중 특정물질의 함량
TMA	<ul style="list-style-type: none"> • 열팽창계수(온도변화에 따른 열팽창률) • 유리전이온도(T_g) • 연화점(T_s) 측정
DMA	<ul style="list-style-type: none"> • 저장탄성율 • 손실탄성율 • 유리전이온도(T_g)

표 2. 열 관련 분석 기기에 따른 분석 항목

- 피복제의 유리전이온도를 알아보기 위해서 TGA/DSC 분석을 진행하였으며, 선박운송을 가정하여 피복재 필름을 적층하여 가압, 가온 상태에 방치하는 실험과 요소비료를 피복재로 피복한 알갱이들을 포장하여 가압 및 가온을 하여 분석을 진행하여 다음과 같은 결과를 얻었음.

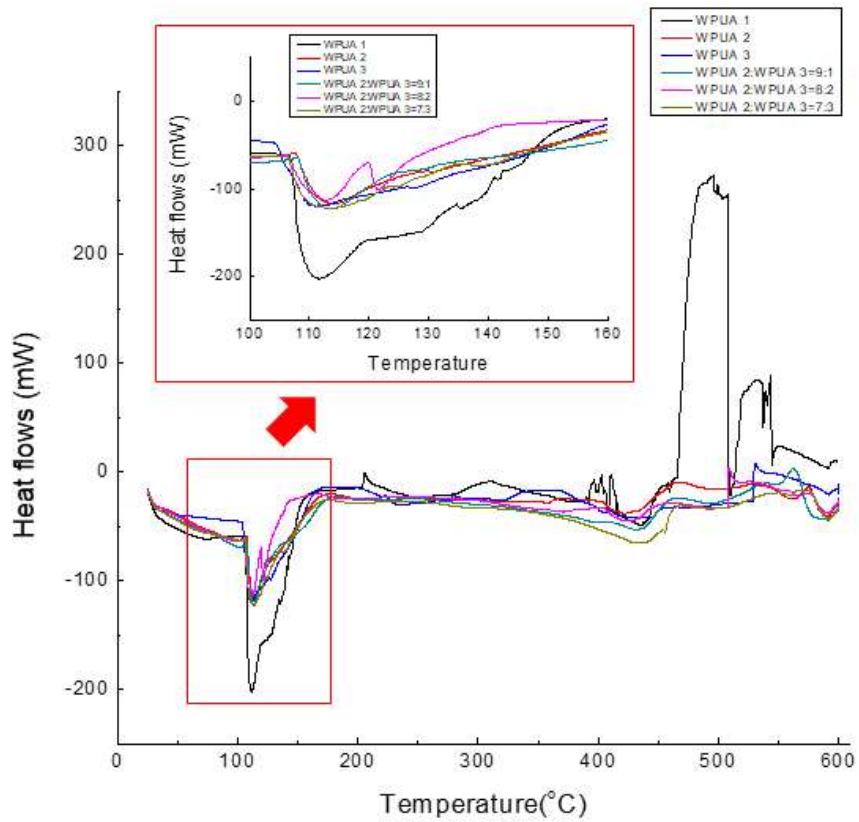


그림 7. WPUA의 혼합 비에 따른 TGA/DSC 분석

- WPUA-1, WPUA-2, WPUA-3 및 WPUA-2/WPUA-3 혼합물의 열에 의한 상태를 분석 시 유리전이 온도 (T_g)는 WPUA-3 < WPUA-1 < WPUA-2로 WPUA-3의 경우가 가장 낮고 WPUA-2의 경우가 가장 높은 것을 확인할 수 있음.
- WPUA-2/WPUA-3 혼합물에서 혼합 비가 9:1일 경우 T_g 가 WPUA-2와 비슷하게 유지되며 8:2, 7:3의 경우 T_g 가 WPUA-2보다 낮아지는 것이 확인됨.
- 이로써 열 안정성은 위 흡수도 데이터와 비교해 보았을 때 WPUA-2/WPUA-3 (9:1)이 가장 적합한 코팅제인 것으로 확인됨.

(5). 피복제 (WPUA)의 고온-저압 저장 안정성 분석

- 피복 비료의 포장 보관은 외부의 습기로부터 제품이 보호받기 위해서 밀봉으로 이루어져야만 함.
- 포장 보관 시 대부분 서늘한 곳에 보관하도록 유도하는 문구들이 삽입되어 있지만, 환경적으로 어려운 부분도 있을 것이고 수출과정에서 선박으로 운송 시 고온의 환경에 노출되기 마련임.
- 해상 컨테이너 내부의 온도는 Korea EM CO., Ltd.의 기존 실험을 통하여 확인됨. 조사에 따르면, 해상 운송 과정에서 적재를 하기 때문에 해상 컨테이너 내부의 온도는 최대 60 °C 까지 상승함.(주이엠 코퍼레이션, (2016).)
- 따라서 이 60 °C에서 고분자 피복은 녹아 붙지 않고 유지되어야 함.
- 이러한 안정성의 분석은 대략으로 녹는점(Melting point)를 조사하여 포기할 수도 있겠지만, 실제 60 °C 환경에서 피복재가 버터내는지 확인할 필요가 있음.
- 선박을 통한 운송을 가정하기 위해 60 °C에 맞춘 오븐을 활용하여, 피복재를 일정한 크기의 필름 (23.75 cm²)으로 만들어 겹친 후에 하중 (15 kg)을 주어 필름의 용융접착을 확인하여 피복재의 내열 저장 안정성을 평가할 수 있도록 실험을 진행했음.
- 또한, WPUA 3종과 블렌드 1종을 비료에 피복 후 가압, 가온 하에 저장성 테스트를 진행함. 이에 대한 계략도는 다음과 같음.

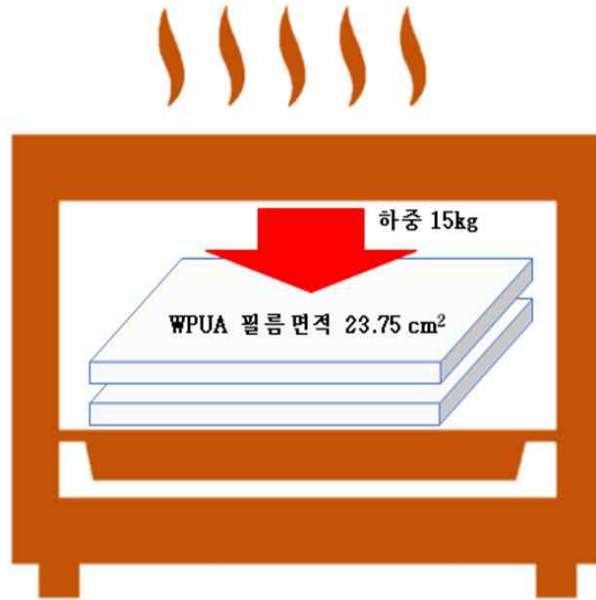


그림 8. WPUA 필름의 고온 (60℃), 저압 (15 kg) 저장 안정성 계략도

- 연구 결과, WPUA의 고온-저압 저장 안정성은 다음과 같은 표로 나타내어 짐.

피복재 종류	고온-저압 안정성
WPUA 1	접착 ○
WPUA 2	접착 ×
WPUA 3	접착 ×
WPUA-2/WPUA-3 (9:1)	접착 ×

표 3. 다양한 WPUA에서의 고온 저장 안정성 (조건 : 온도 60 ℃, 압력 15 kg, 168 시간)

- 온도 60 ℃, 압력 15 kg의 조건에서 168 시간 유지 후 필름의 상태를 확인해 보면, WPUA-1의 경우 WPUA 필름이 접착되어 분리되지 않는 것을 확인함. 이는 WPUA-1을 이용하여 비료 코팅 후 비료를 저장할 시에 하중이 가해지면 비료가 필름화되는 문제점이 발생할 것으로 여겨짐. 따라서 WPUA-1의 경우 비료 코팅 소재로 적합하지 않음.
- WPUA-2와 WPUA-3, 그리고 가장 적합하다고 여겨진 WPUA-2/WPUA-3 (9:1)의 경우 고온-저압 조건에서 필름이 접착되지 않아 비료 코팅 소재로 적합하다고 판단됨.

(6). 피복 (WPUA) 비료의 고온-고압 저장 안정성 분석

- 위 연구 결과를 토대로 필름 형태가 아닌 직접 비료에 피복제를 코팅하여 고온-고압 저장 안정성을 분석함. 주관연구기관 삼농바이오텍에서 스프레이 코팅 방법으로 피복제를 코팅함.
- WPUA를 비료에 코팅하여 코팅된 비료로 고온-고압 저장 안정성을 아래의 계략도와 같이 측정함.

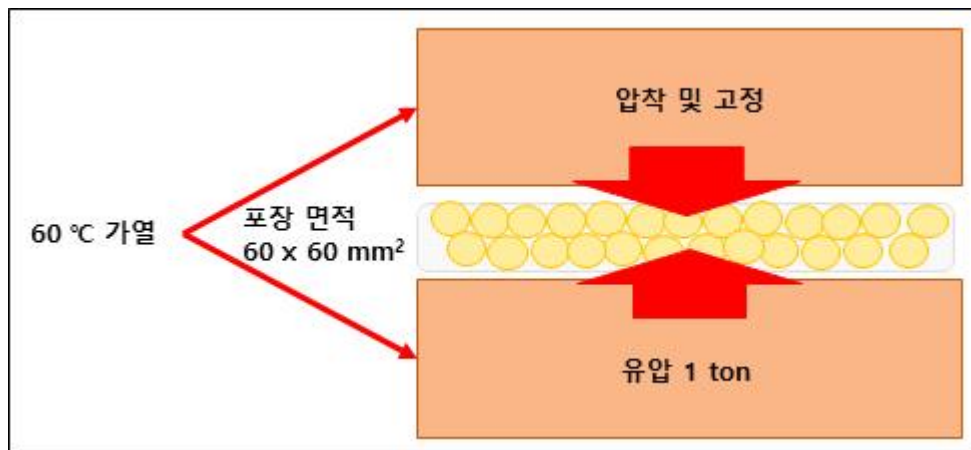


그림 9. PUA 코팅된 비료의 고온 (60 °C), 고압 (1 ton) 저장 안정성 계략도

- 연구 결과, WPUA의 고온-고압 저장 안정성은 다음과 같은 표로 나타내어 짐.

피복재 종류	고온-고압 안정성
WPUA 1	접착 ○, 크랙 형성 ×
WPUA 2	접착 ×, 크랙 형성 ○
WPUA 3	접착 ×, 크랙 형성 ×
WPUA-2/WPUA-3 (9:1)	접착 ×, 크랙 형성 ○

표 4. WPUA 코팅된 비료의 고온-고압 저장 안정성 (조건 : 60 °C, 1 ton, 3 시간)



그림 10. WPUA 코팅된 비료의 고온-고압 저장 안정성 결과 이미지

- 위의 이미지에서 확인된 바와 같이 WPUA-1의 경우 비료끼리 접촉되어 코팅제로 사용하기에 문제점으로 작용하는 것을 확인함. WPUA-2와 WPUA-2/WPUA-3 (9:1)의 경우 비료에 크랙이 형성되어 고압에서 안정성이 작을 것으로 판단됨. 따라서 고온-고압 안정성은 WPUA-3에서 가장 안정한 것으로 여겨짐.
- 이에 따라 본 안정성 문제를 해결함과 동시에 가격적인 측면에서 기존에 제조된 WPUA보다 저렴한 WPUA를 직접 합성하고자 함.

(7). 피복제 (WPUA)의 합성

- 목표한 피복제의 물성을 조절하고 저렴한 가격에 자체적으로 공급하기 위해 피복제의 합성을 기획함.
- 피복제의 합성을 통해 생산단가를 절감하면서 조절이 필요한 물성에 대한 물성을 조절하는 연구를 하기 위해서 진행함.
- 기본적인 WPUA 합성 방법은 조사를 통해 확보하였으며, 실험을 통해 자세한 비율, 성분의 조성 등을 개선하는 중으로 다음과 같은 그림으로 나타내어짐. (Y. J. Deng, C. Zhou, M. Y. Zhang, H. X. Zhang,)

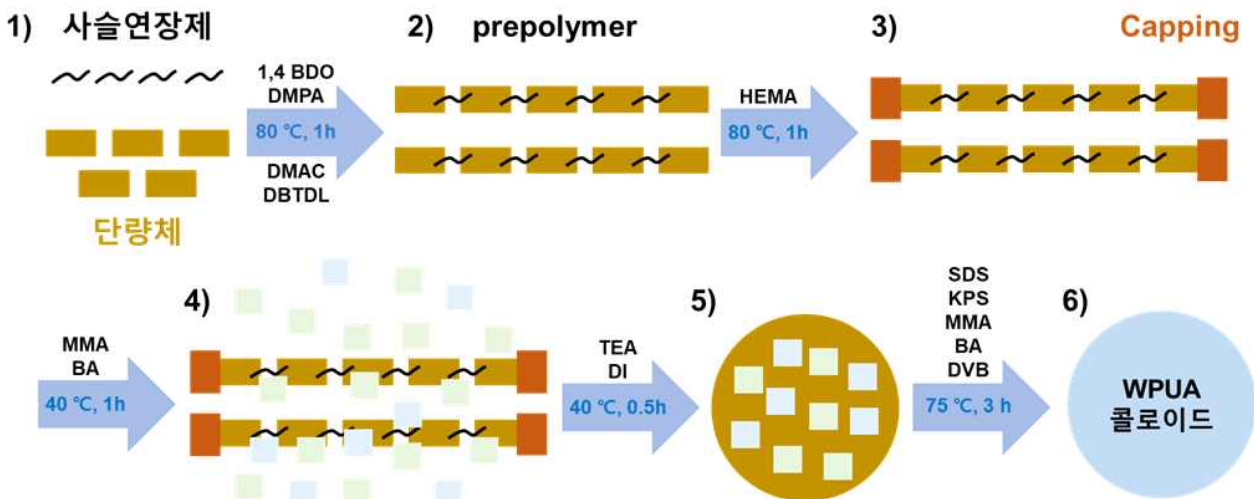


그림 11. WPUA 합성 방법의 개략도

- 위 합성 방법에서 사용된 개시제, 단량체 등은 가격적으로 저렴한 방법을 사용하고 수계 반응으로 간단히 합성 가능하여 대량 생산에 용이할 것으로 보임.
- 합성된 WPUA의 물성을 확인하기 위해 Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR)을 통해 분석함.

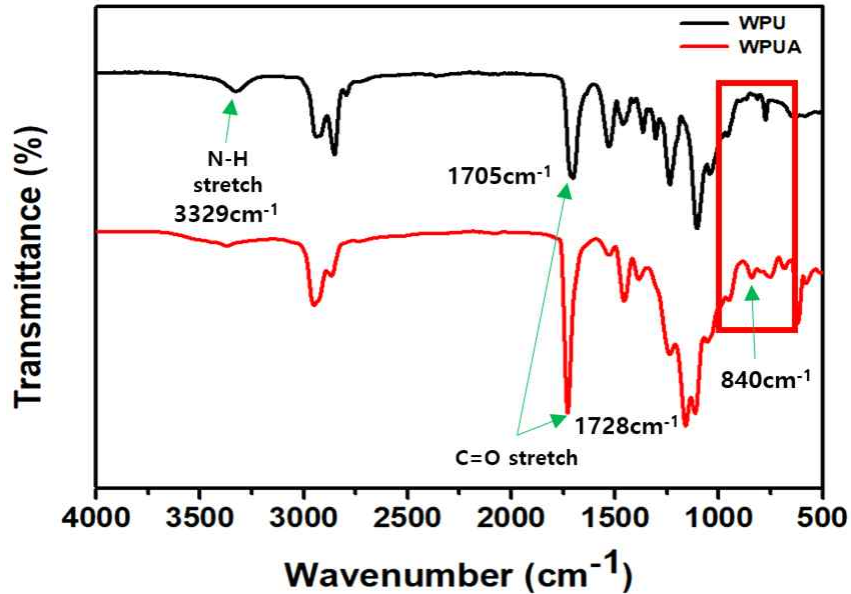


그림 12. WPU와 아크릴기가 첨가된 WPUA의 FT-IR 측정 결과

- Pre-polymer의 FT-IR 분석을 통해 N=C=O 결합이 사라진 것을 확인하고, N-H, C=O 결합의 존재를 통해 우레탄이 형성되었음을 확인함. (J. Datta,(2009))
- Acrylate 합성의 진행 후, C=O 결합의 피크가 이동된 것과 삼치환 C=C의 피크가 840 cm⁻¹에서 나타남으로써 Acrylate 합성을 확인하였음.
- 이를 통해 수분산 폴리우레탄 아크릴레이트 (WPUA)가 제조되었음을 확인함.
-
- 아래와 같이 WPUA가 합성되어 분산 안정성을 지니는 것을 육안으로 확인함.



그림 13. 물에 분산되어 합성된 WPUA의 이미지

PU/PA	입자 크기 (nm)
50/50_1	204.16
50/50_2	195.43
50/50_3	174.5
30/70_1	71.05

표 5. WPUA 제조 재현성 확인 및 비율별 콜로이드 입자 크기 비교를 위한 DLS 측정 결과

- 재현성 확보를 위해 PU와 PA의 비가 5:5인 WPUA를 3회 제조하여 콜로이드 입자 크기를 측정하였고 위 합성 방법을 통해 재현되는 것을 확인함.
- PU와 PA의 비율을 3:7로 달리하여 제조하였을 때 입자 크기가 5:5일 때 (~200 nm)와 비교해 보았을 때 매우 작은 것(~70 nm)으로 확인됨.
- 이로써 액상 WPUA의 분산 안정성을 확보하기 위해서는 PA의 비율을 높이는 과정이 필요한 것으로 보임.
- 합성한 WPUA의 흡수도는 다음과 같음.

Sample	흡수 전 (g)	흡수 후 (g)	흡수도 (%)
WPUA-3	2.5113	3.7407	48.95
WPUA (30:70)	1.0236	1.1824	15.51

표 6. WPUA의 흡수도 비교

- 저렴한 상용제품 WPUA-3과 비교해 보았을 때 높은 흡수도를 나타냄.
- 더 높은 흡수도를 가지기 위해서는 PU/PA의 조성을 바꾸어 제조하는 것이 필요하며 이를 최적화하는 과정에 있음.

PU/PA	pH	점도 (cP)			변화율 (%)
		초기	20일 후	30일 후	
50/50	5	10.80	10.80	12.30	5 % 상승
30/70	3	9.60	9.90	11.10	5 % 상승

표 7. 합성된 WPUA 콜로이드 분산 안정성 비교를 위한 점도 측정 결과

- 제조된 WPUA의 경우 pH는 3, 5로 pH가 낮은 경우 분산 안정성이 우려가 되어 시간에 따른 점도를 측정 중임.
- PU와 PA의 비가 50:50인 WPUA의 경우 20일 이후까지 점도 변화가 없으나 30일 이후 점도가 5 % 상승하는 것을 확인함.
- PU와 PA의 비가 30:70인 WPUA의 경우 20일 이후에 0.3 cP 정도 상승하였으며 30일 이후 점도가 비슷하게 5 % 상승하는 것을 확인함.
- 시간의 경과에 따른 결과로 보아 pH를 증가시켜야 되는 것으로 판단되며 이는 pH 조절제 (염기성)을 이용하게 합성된 WPUA의 pH를 쉽게 증가시킬 수 있음.
- 이는 후속 연구로 진행될 예정이며 현재 제조된 WPUA로 비료 코팅 시도를 위해 용량을 증가시켜 제조 중임.

다. 제 2세부 과제 : 작물 맞춤형 완효성 비료 개발을 위한 작물 재배 시험 실시

(1). Lab 피복기 설계 및 제작

- 삼농바이오텍의 오래된 유동층 설계 기술을 이용한 Lab 피복기 설계 및 제작
- Lab 피복기 용량 : 2kg/batch, working volumn 30L
- NPK fertilizer design 기준 : Bulk Density 1.2
- Air Fan 용량 : 250m³/hr
- Total Coater Height : 2400mm
- Bottom Plate : 150mm
- Electric AIR HEATER : Max 90°C
- Compressor Pressure : 2.5Mpa Max

(2). Lab 피복기 이용 피복비료 제조

- 입자 크기가 2 ~ 4 mm 의 입상비료 2kg을 정량하여 유동층 피복기에 투입하고, 유동 공기량을 약 200 m³/hr 정도로 하여 입상 비료를 공중으로 부상시키고 유동 공기 온도를 60°C, 10분간 예열공정을 거쳤음.
예열공정이 완료된 후, 본 연구에서 개발된 피복물질 조성물 800 g(고형분 함량 25%)을 비료 표면에 50분 동안 분무하여 제1 피복층을 형성하도록 하였음. 이때 피복 온도는 50 °C, 유동화 공기량은 200 m³/hr, 분무노즐 공기압력은 2 kg/cm² , 분무량 13 g/min의 조건에서 피복을 약 60여분간 실시함.
- 피복 조성물의 분무가 완료되면 열풍기를 이용하여 70~80°C에서 20분간 열처리 공정을 진행하였음. 상기 열처리 공정 후 피복 층의 수분 함량은 약 2% 이하로 확인됨.
- 상기 열처리 공정이 완료되면 Heater를 끄고 자연 냉각시키고, 유동층 피복기 배출구를 통하여 최종적으로 피복 입상 비료를 제조하였음.

운전 순서	시간(분)	온도(℃)	Spray 량 (g)
Pre-Heating	10	60	-
Coating	60	50	800
Drying	20	70~80	-
Cooling	10	-	-

표 8. 결과 피복기의 운전조건

(3). 피복비료 품질 평가를 위한 용출율 시험 실시

- 피복 입상 비료의 수중 내 양분 용출 효능을 확인하기 위하여, 피복 입상 비료 2.5g을 250 ml 플라스크에 넣고 증류수를 채운 후 밀봉하여 30℃ 항온조에 정치한 후, 피복층을 통하여 수중으로 용출되어 나온 비료의 질소 성분을 굴절율 검출기(RI Detector)가 부착되어 있는 고성능 액체크로마토그래피(HPLC)을 사용하여 측정함. 상기 용출 성분의 함량을 측정하여 용출율을 계산하여 아래 [표 9]에 나타내었음.

샘플	1일	10일	30일	50일	70일	90일	110일	130일
샘플 1	12	25	61	83	95	100		
샘플 2	5	18	37	59	67	88	100	
샘플 3	3	7	15	29	42	68	83	94

표 9. 피복비료 용출률(%)

- 고추 생육 단계에 따라 고추가 필요로 하는 양분의 양을 계산하여 공급하는 NRM 기술은 상기 용출율 분석 결과를 이용하여 적용하며 샘플 하나만 가지고는 고추가 필요로 하는 양분의 양과 종류를 공급하기에는 한계가 있기 때문에 최소 3종 이상의 피복비료를 혼합하여 제조를 함
- 고추는 초기 생육단계에서 건실한 고추 줄기대 성장과 뿌리 발육이 매우 중요하므로 초기에는 질소 성분과 인산성분이 많이 용출되어 나오도록 설계하고 생육 중후반기에는 영양성장과 생식성장을 동시에 이루어지므로 질소와 칼리 성분이 동시에 지속적으로 공급되어야 하며 특히 열매가 달리기 시작할때부터는 칼리질 성분이 부족하여서는 안되며 건실한 꽃이 지속적으로 피기 위해서는 인산 성분도 지속적으로 공급되어야 함

- 또한 열매가 달리기 시작할때부터 칼슘과 마그네슘 및 유황 성분도 지속적으로 공급하여야 고추 병해충 피해가 덜하고 고추 품질이 향상되며, 특히 홍고추를 말렸을 때 무게가 많이 나오므로 피복비료 성분에 작물의 다량원소(질소, 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘, 유황)를 포함시키는 것이 중요함

(4). 피복비료 품질 평가를 위한 고화율 시험 실시

- 제조된 피복비료의 고화 안정성 문제를 파악하기 위해 비료 20kg을 20포를 쌓았을 때 맨 밑에 있는 비료포대에서 받는 하중을 계산하여 아래 그림과 같이 고화 시험을 실시함.
-
- 고화 시험은 하절기 고온 및 습도에 감안하여 2019. 7. 1 ~7. 31일, 한 달간 실시하였고, 한 달 후 Iron 링 바를 제거한 후 피복비료의 고화 여부를 파악함.
- 고화 시험 결과 본 연구에서 개발된 피복제를 이용한 피복비료는 고화가 되지 않아 고화 안정성은 확보됨.



그림 14. 고화시험 실시

(5). 고추 맞춤형 완효성비료 개발을 위한 작물 재배 시험

<작물재배시험 1 : 국내 고추 재배 시험>

- 1) 고추 모종은 농우바이오사의 품종인 빅스툼을 사용하였으며 재배 시험 장소는 경남 사천시 사천읍 두량공원길 소재의 경상대학교 시험 포장(귀산통, 사양토)에서 2019년 5월 12일에 모종을 정식하여 2019년 7월 30일경에 홍고추가 고추나무에 열리기 시작하여 홍고추 수확을 다음과 같이 각각 실시하였음.
- 2) 홍고추 1차 수확 2019년 8월 19일, 2차 수확 2019년 9월 1일, 3차 수확 2019년 10월 1일에 실시하였으며 수확된 홍고추를 고추 건조기에 넣고 65℃에서 3일간 말려 건조고추를 얻었음.
- 3) 고추 맞춤형 완효성비료 품질 평가를 위해 작물 재배 시험 면적은 처리구당 시험면적 20m²에 재식거리 30 cm × 70 cm 간격으로 처리구간 반복수는 난괴법 3반복으로 실시하였음. 이때 고추 정식 20일 전에 고추 작물에 대한 농촌진흥청 시비처방 기준(RDA, 2010)에 의거하여 2019년 4월 23일에 퇴비 2000kg/10a, 소석회 비료(알카리분 60%) 200kg/10a를 각각 시비하고 토양과 잘 혼합되도록 트랙터를 활용하여 로우타리 작업을 실시하였으며 주요 시험구 처리내용은 다음과 같음.

- 처리구1 근권시비_폴빅산함유 피복비료*¹ 3g/plant (9kg/1000m²)
- 처리구2 근권시비_일반피복비료*² 3g/plant (9kg/1000m²)
- 처리구3 근권시비_일반피복비료 5g/plant (15kg/1000m²)
- 처리구4 근권시비_일반피복비료 10g/plant (30kg/1000m²)
- 처리구5 근권시비_일반피복비료 15g/plant (45kg/1000m²)
- 처리구6 근권시비_폴빅산함유 피복비료*² 15g/plant (45kg/1000m²)
- 처리구7 근권시비_폴빅산함유 피복비료 10g/plant (30kg/1000m²)
- 처리구8 근권시비_폴빅산함유 피복비료 5g/plant (15kg/1000m²)
- 처리구9 밴드시비_폴빅산함유 피복비료_관행시비 시비량대비 30% (42kg/1000m²)
- 처리구10 밴드시비_폴빅산함유 피복비료_관행시비 시비량대비 50% (70kg/1000m²)
- 처리구11 밴드시비_폴빅산함유 피복비료_관행시비 시비량대비 70% (98g/1000m²)
- 처리구12 밴드시비_폴빅산함유 피복비료_관행시비 시비량대비 100% (140kg/1000m²)
- 처리구13 관행시비_요소 49kg, 용과린56kg, 황산가리33kg 총 138kg/1000m²)

*1 : 폴빅산함유피복비료 비종은 16-7-8으로 폴빅산이 약 7% 함유됨.

*2 : 일반피복비료 비중은 16-7-8으로 폴빅산이 함유되지 않았음.

- 4) 비료 시용방법은 관행시비구는 밑거름 1회 시비와 웃거름 질소 3회, 칼리 2회 시비하여 총 비료 시비횟수는 4회 실시하였고 밑거름은 전층시비를, 웃거름 비료는 멀칭비료를 뚫고 비료를 일정량을 시비하였음.
- 5) 일반피복비료 시비방법은 완효성비료를 고추 뿌리 근처 근권에 시비할 수 있도록, 고추 모종 정식 시 멀칭된 비닐에 구멍을 뚫고 일정량의 피복비료를 넣고 모종을 심은 후 다시 흙으로 덮어 마무리하였음. 비료 시비 방법 및 모종 정식 방법은 다음 그림과 같음.



그림 15. 근권형 완효성비료 시비방법 및 고추 정식 방법

- 6) 밴드 시비는 고추 모종이 심겨질 자리 부분만 골을 약 10cm 정도 파고 피복비료를 시비한 후 다시 흙을 덮고 고추 모종을 정식 하였고, 두둑 전체에 코팅비료를 시비하지 않고 고추 모종이 심어질 자리에만 피복비료를 뿌렸음.

7) 고추 모종 정식 후 약 한 달 경과 후인 6월 22일 고추 생육은 다음 그림과 같이 근권시비량이 15g 처리구인 처리구 5, 6번에서 고추 생육이 불량하였고 나머지는 처리구는 모두 양호했음.

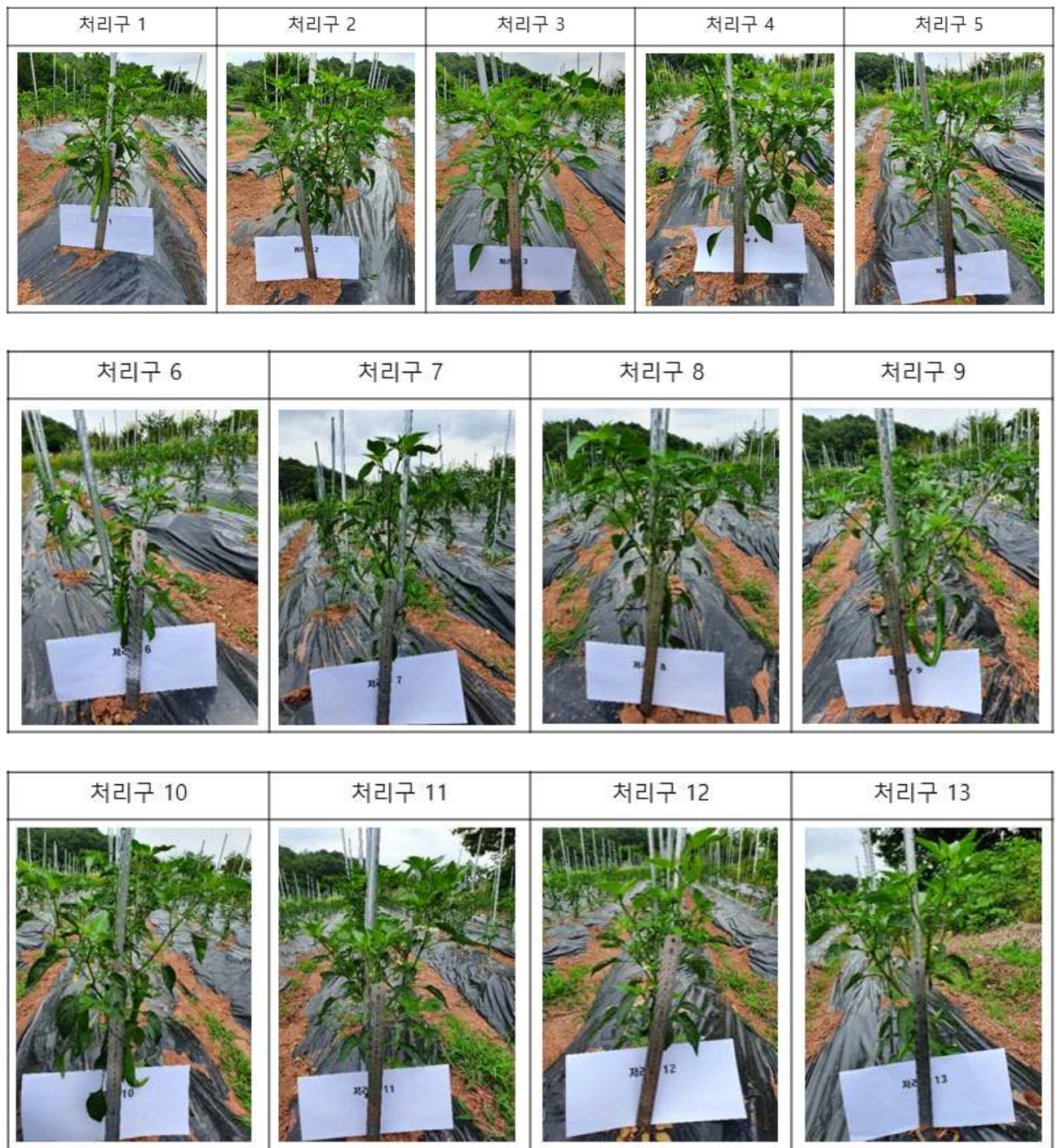


그림 16. 6월 22일 고추 생육 전경

8) 7월 2일 고추 생육은 타 처리구에 비해 처리구 6에서 생육이 불량하였고, 나머지는 근권 완효성비료 처리에 의한 피해는 없었고 관행처리구 13에 비해 초기 고추 생육이 우수하였음.

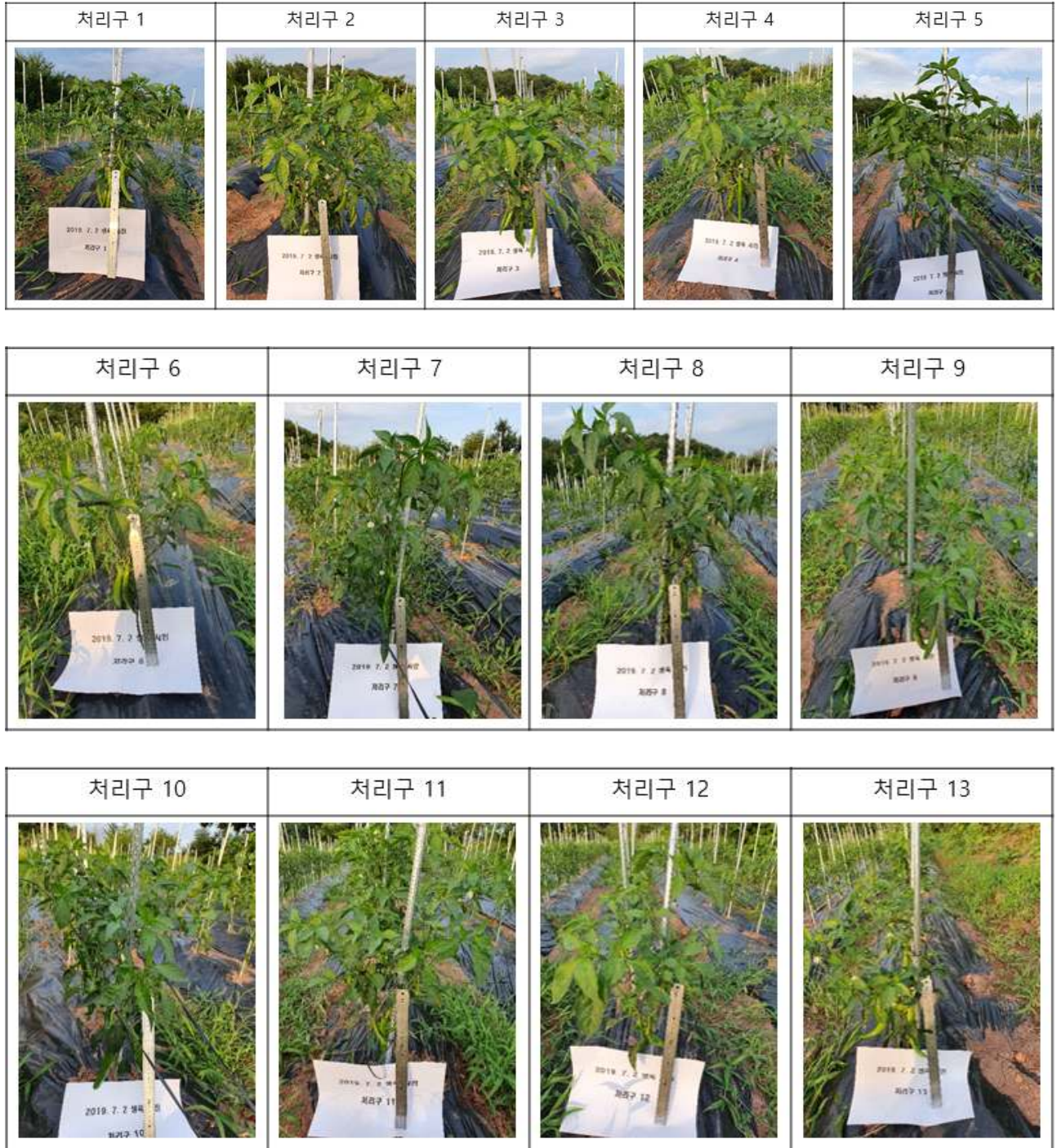


그림 17. 7월 2일 고추 생육 전경

9) 8월 10일이 되자 고추가 붉게 익었고 처리구간 고추 수량이 차이가 발생 됨.



그림 18. 8월 10일 고추 생육 전경

10) 8월 19일에 고추 첫 수확을 했고, 타처리구에 비해 처리구 7, 8에서 가장 많은 홍고추가 달려 비료 성분 차이에 따른 고추 수확량이 다름을 확인할 수 있었음.

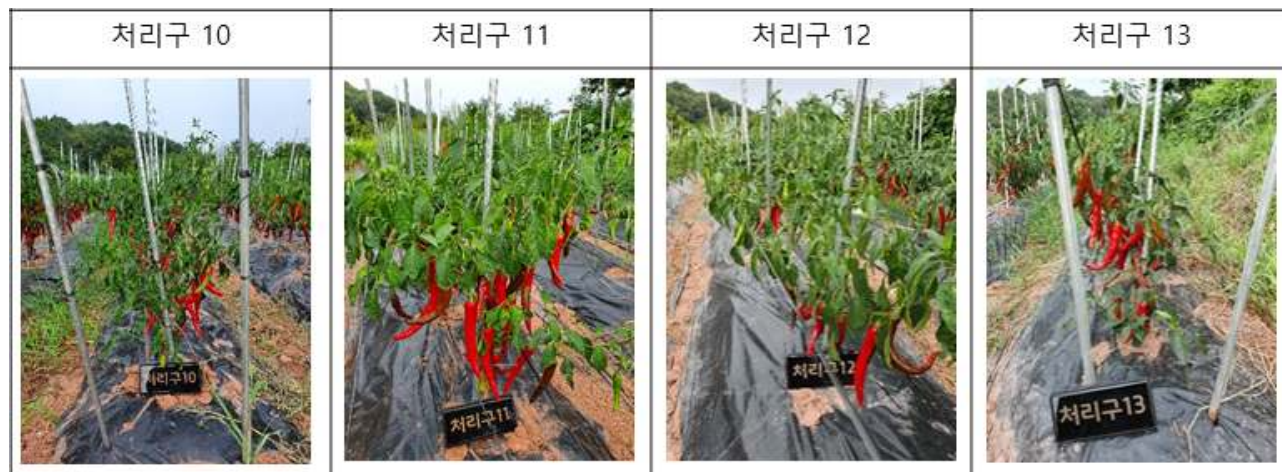
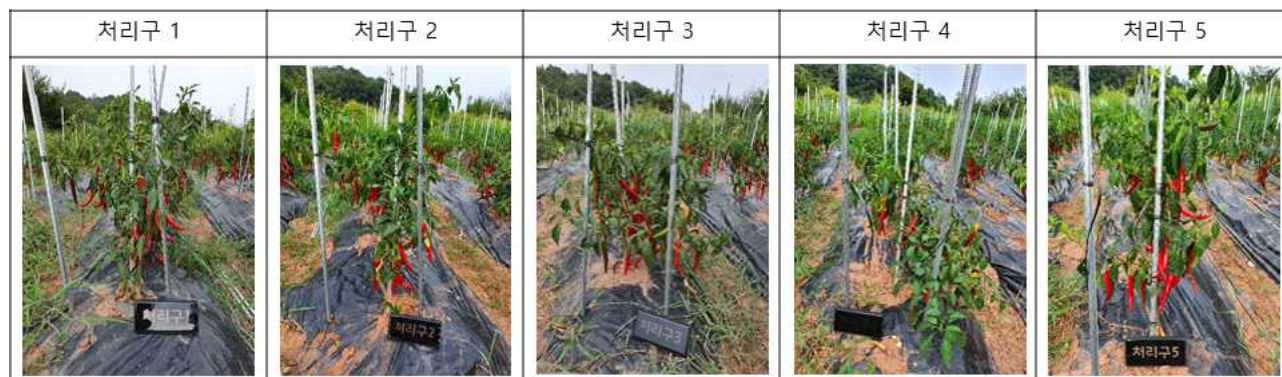


그림 19. 8월 10일 고추 생육 전경

- 11) 아래 사진과 같이 속효성비료 관행시비구인 처리구 13에 비해 근권 시비 피복비료 및 밴드 시비 피복비료 시비구에서 자란 고추 열매의 크기 및 품질이 뒤떨어지지 않았음.
- 12) 처리구간 고추 생육 상황을 조사한 결과 속효성 관행시비구 처리구보다 피복비료 처리구에서 고추 품질이 더욱 우수하였음.



그림 20. 2019년 8월 19일 고추 1차 수확 고추 열매 사진

처리구1		처리구2	
			
처리구3		처리구4	
			
처리구5		처리구6	
			
처리구7		처리구8	
			
처리구9	처리구10	처리구11	
			
처리구12	처리구13		
			

그림 21. 2019년 9월 1일 고추 2차 수확 고추 열매 사진



그림 22. 고추 생육 전경 및 고추 생육 조사

13) 고추 생육 단계별 초장 변화 조사

- 고추 생육 기간별 고추 초장을 조사한 결과는 그림 27.과 같음. 고추 초장은 처리구 7, 8, 9, 10에서 가장 크고, 처리구 1, 2, 5, 12, 13번 처리구에서 고추의 키가 크지 않았음.
- 처리구 6의 초기 초장은 가장 적었지만 고추생육 중후반기부터는 타 처리구와 유사할 정도로 고추의 생육이 좋아서 폴빅산이 고추생육 효과를 증진 시켰다고 할 수 있음.
- 근권 시비량이 15g/포를 처리하면 고추 생육에 장애를 일으켜 고추 초장이 5g 및 10g/포 처리구보다 불량하여 본 연구에서 개발한 근권완효성비료의 시비량은 10g/포를 넘기면 안 됨.

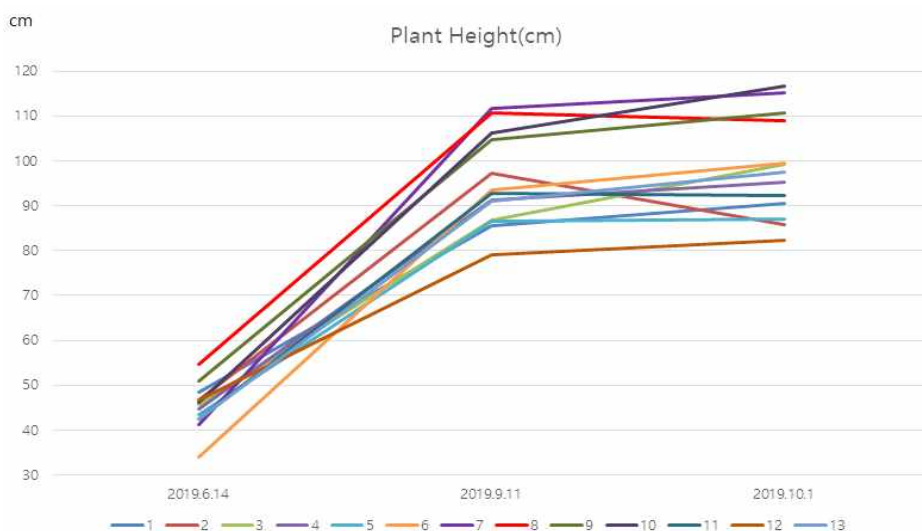


그림 23. 고추 생육 기간에 따른 초장 변화

14) 고추 생육기간별 엽색도 변화 조사

- 고추 엽색도 조사를 위해 SPAD 엽색도 측정기를 활용하여 다음 그림과 같은 결과를 얻었음. 그림과 같이 처리구 12에서 가장 높은 엽색도를 가져 비료 양분 공급이 고추 생육 전 과정 동안 과다하게 공급됨을 확인할 수 있었고 처리구 1,2에서 엽색도가 가장 낮아 비료 시비량에 따른 고추 엽색의 변화가 뚜렷하게 나타났음.
- 처리구 7, 8에서 엽색도가 관행시비 처리구인 처리구 13에 비해 떨어지지 않아 적은 양의 근권코팅비료에 의한 양분 부족 현상은 없었음.

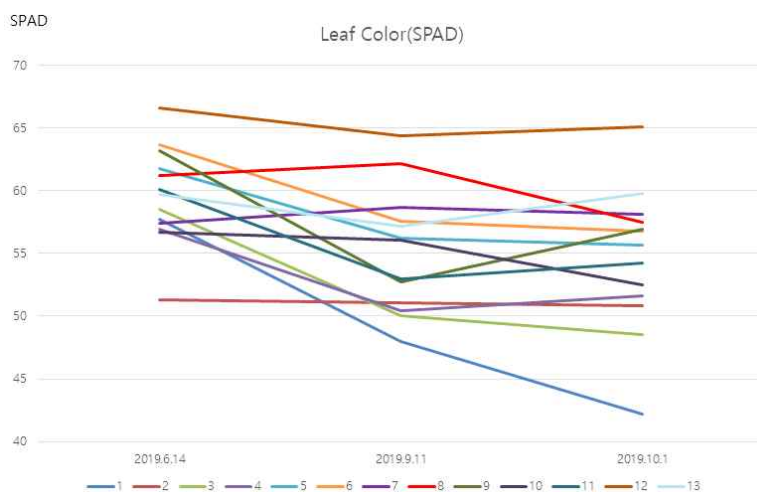


그림 24. 고추 생육기간별 엽색도 변화 조사

15) 고추 생육기간별 고추 줄기 직경 변화 조사

- 고추 생육 기간별 고추 줄기 직경을 조사한 결과 처리구 7, 8, 10에서 가장 높은 결과를 보였고 처리구 1, 2에서 가장 낮은 결과 값을 보였음.
- 고추 줄기도 관행비료 처리구인 처리구 13보다 근권 코팅비료 및 밴드 코팅비료 처리구가 떨어지지 않아 근권 코팅비료의 양분 공급 효과가 우수함을 보여주었음.

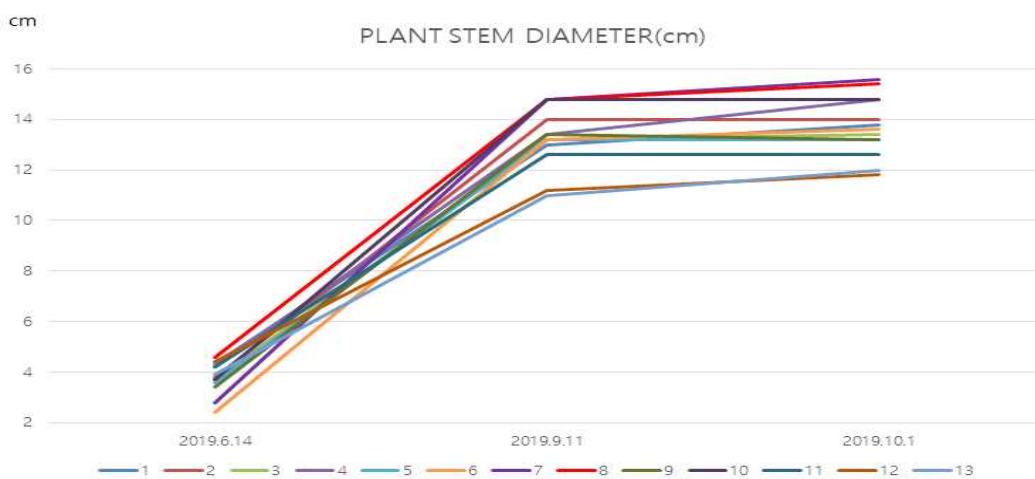


그림 25. 고추 생육기간별 고추 줄기 직경 변화 조사

16) 고추 열매 및 엽 내 무기양분 함량 조사

- 고추 열매 및 고추엽내 무기양분함량을 조사하기 위해 2019년 10월 1일에 고추엽을 따서 바로 현장에서 착즙기로 착즙하여 Merk 사에서 제조한 RQ Flex 10 기기를 활용하여 고추엽 및 열매 내 무기 양분을 측정하였음.
- 관행비료 처리구인 처리구 13과 비교시 모든 처리구에서 확연히 무기양분이 부족하거나 과다하지 않아 본 근권 완효성비료 시비에 의한 고추 열매 및 엽 내 무기양분 함량은 정상적이었음.

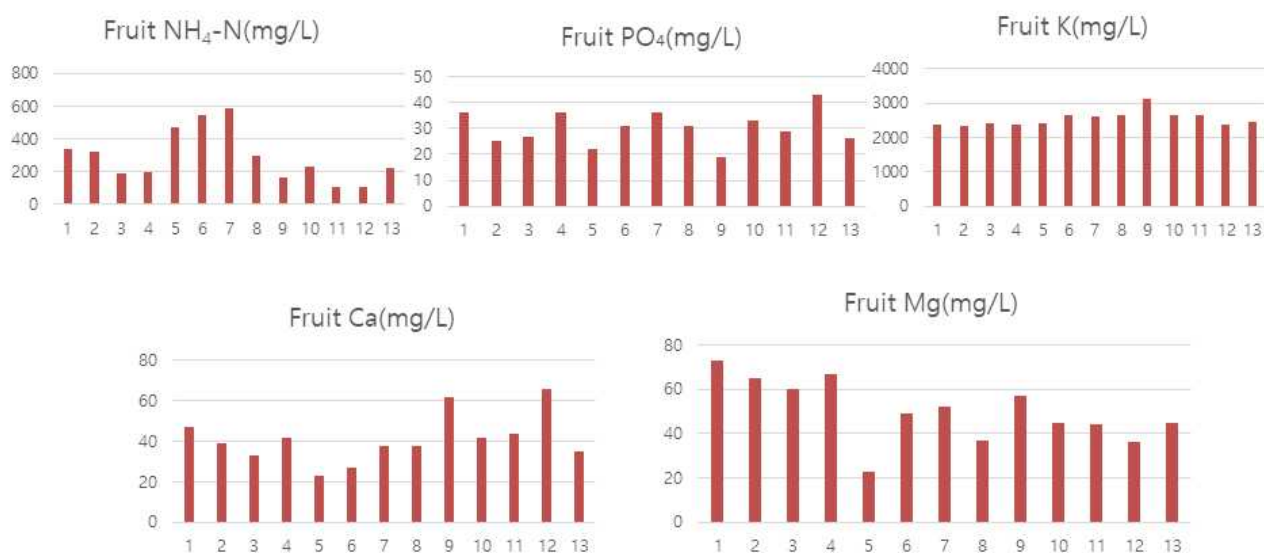


그림 26. 고추 열매내 무기양분 함량

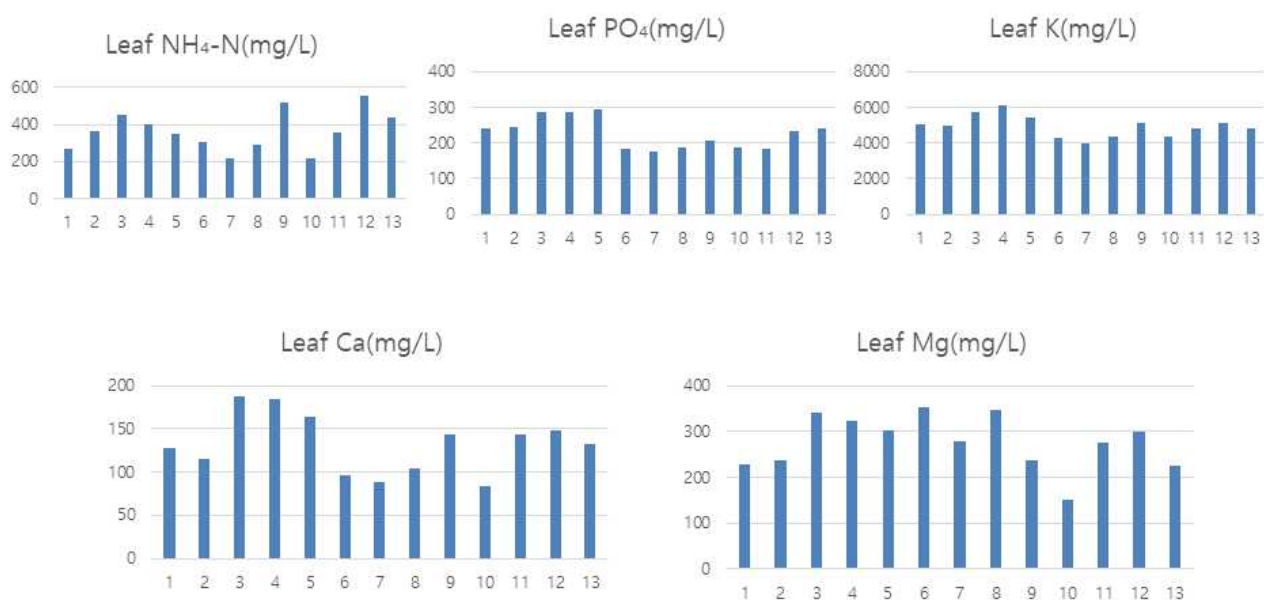


그림 27. 고추엽내 무기양분 함량

17) 홍고추 및 건고추 수확량 조사

- 홍고추 및 건고추 수확량을 조사한 결과 처리구 11에서 가장 높은 수확량을 얻었고 그 다음은 처리구 8, 12이며, 처리구 4, 7, 9, 10, 13에서 유사한 결과를 보였고 나머지는 처리구 13보다 홍고추 수확량이 낮았음.
- 홍고추 및 건고추 수확량을 보면 처리구 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12에서 관행비료 시비구인 처리구 13과 대등 또는 그 이상의 수확량이 나와 본 연구 모델에 대한 검증결과는 우수하였음.

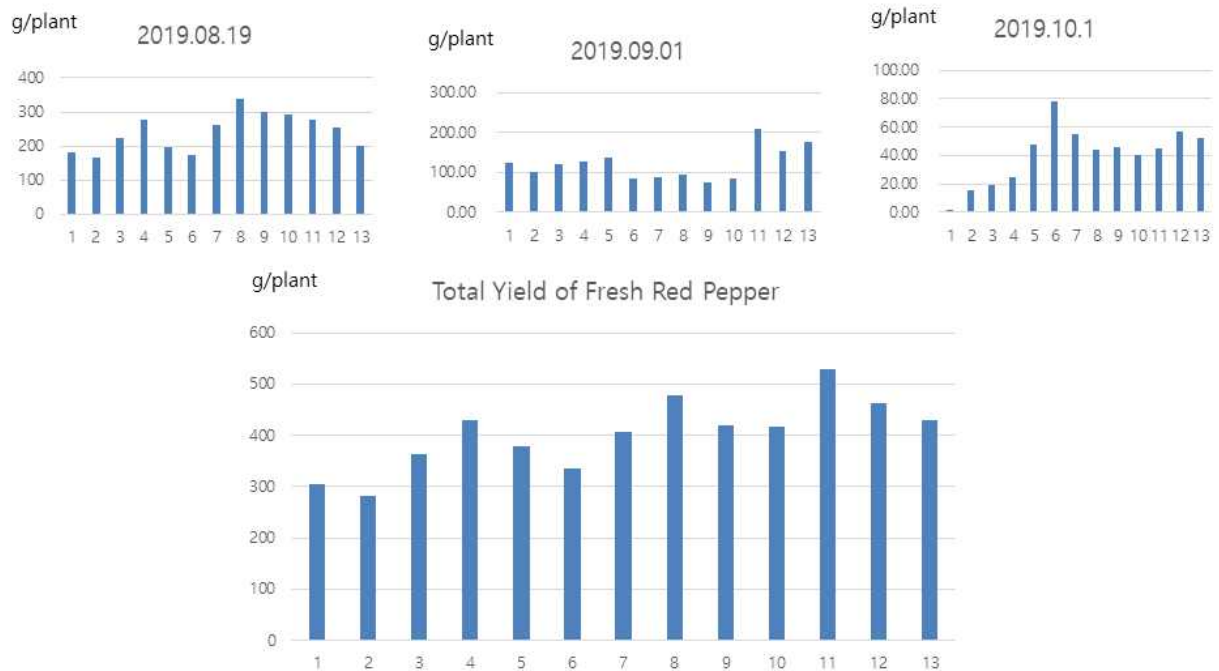


그림 28. 홍고추 수확량 조사

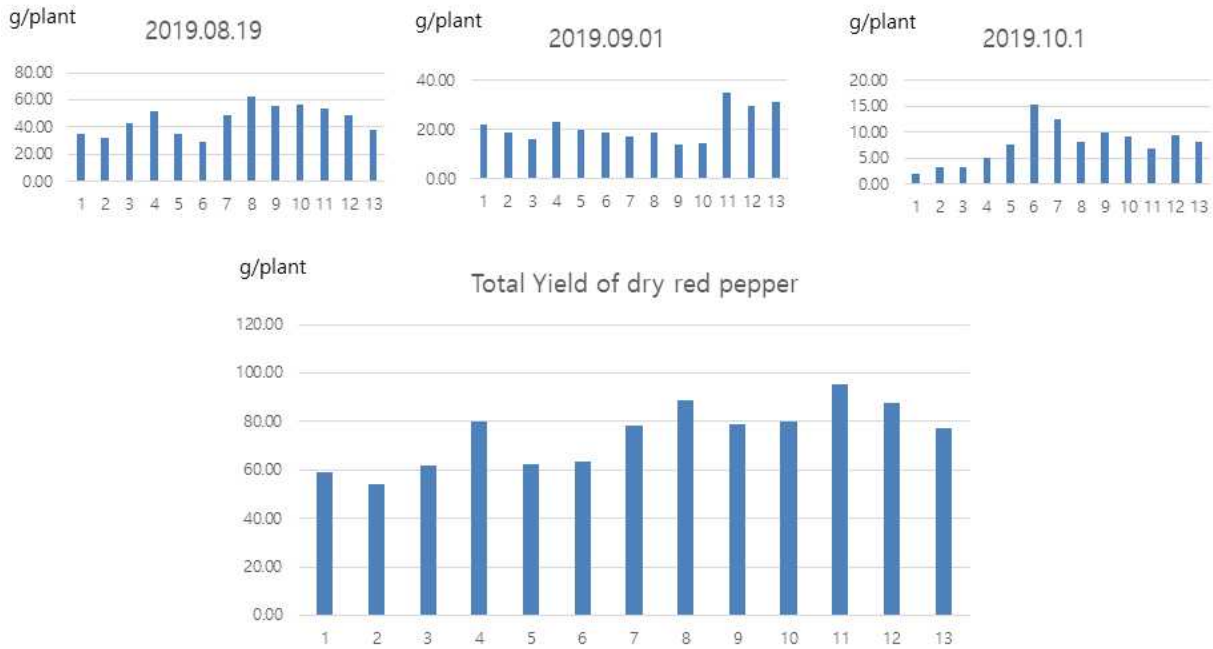


그림 29. 건고추 수확량 조사

18) 시험 결과 해석

- 현 고추 시비용 정부 추천 화학비료 시용량 대비 본 연구를 통해 개발된 근권 완효성비료 시용시 화학비료 절감량은 최대 약 90% 가능함.
- 일반 화학비료 코팅비료보다는 풀빅산이 함유된 3중복합비료 코팅비료가 고추 생육에 우수한 결과를 보였음.
- 고추 뿌리 근처 시비 이외 고추 모종이 심을 자리에만 뿌리는 Band 시비 (골 시비)를 실시하였을 시 정부 추천 시비량 대비 최대 70% 정도 비료 사용량이 절감됨.
- 고추 뿌리 바로 밑에 본 연구를 통해 개발된 근권 완효성비료를 시비하여도 고추 생육 피해 및 고추 수확량이 떨어지지 않고 고추는 정상적인 생육을 보였음.
- 비료 가격 비교
 - A. 관행시비 화학비료 138kg/1000m² 시비시 비료 가격 : 76,140원(2019년 대농민 판매가격기준)(요소 8600원/20kg*49kg + 용과린 9,650원/20kg*56kg + 입상황산가리 17,000원/20kg*33kg=76,140원).
 - B. 근권 시비 5g/포기 적용시 15kg/1000m² 완효성비료 소요.
 - C. 따라서 근권시비 완효성비료 1포 가격이 101,520원/20kg이면 일반 화학비료 구입비와 동일.

<작물재배시험 2: 해외 고추 작물 재배 시험>

1) 주 목적

- 중국 고추비료 시장 진출을 위한 중국 고추 재배용 근권 완효성비료 개발.(중국 고추비료 시장은 약 5,000억원 규모이며 국내 고추비료 시장 200억원보다 약 25배 큰 시장.)

2) 세부 목적

- 중국 현지에서 중국 고추에 알맞은 근권 완효성비료 개발.
- 중국 고추 재배 현황 및 생육 특성 파악.
- 밑거름 1회 시비로 중국 고추 재배 가능성 파악.
- 중국 정부의 환경 오염 저감 정책에 따른 신기술 적용 가능성 검토.

3) 시험 장소 및 시험 면적

- 시험 장소 : 중국 허베이성 보정시.
- 시험 면적 : 1,000m².

4) 재배 방법

- 품종 : 일시수확형 중국 재래식 고추종자.
- 재배 주수 : 9,000개/1000m² (초밀식재배).
- 모 정식방법 : 한 두둑에 2줄 정식.
- 모종 : 씨앗을 직접 농가에서 채종하여 모상에서 고추 재배 후 본밭에 정식.
- 고추 수확방법 : 홍고추 수확을 단 일회로 끝마치며 고추대를 베어서 수작업으로 홍고추를 따.
- 년피법 3반복 실시.

5) 시험 처리구 (* 모든 비료 샘플은 삼농바이오텍에서 제공)

No of plot	Fertilizer Grade	Fertilizer Amount	Fertilizer Type	Remarks
1	-	-	무 비료	
2	-	Urea 489kg/ha FSP 560kg/ha K2SO4 331kg/ha Total 1,380kg/ha	일반 속효성비료	Total 비료시비량 1,380kg/ha (T-N 225kg/ha, P2O5 112kg/ha, K2O 149kg/ha)
3	16-7-8+2+0.1	3g/plant (hole 2/furrow)	근권 완효성비료	270kg/ha(Basis; 90,000plant/ha)
4	16-7-8+2+0.1	5g/plant (hole 2/furrow)	"	450kg/ha(Basis; 90,000plant/ha)
5	16-7-8+2+0.1	10g/plant (hole 2/furrow)	"	900kg/ha(Basis; 90,000plant/ha)

그림 30. 시험 처리구

6) 고추 재배 및 생육 현황

- 중국 농민들은 한국처럼 고추 모종을 구매하여 정식하지 않고 고추씨앗을 직접 채종하여 비닐모장에서 고추 모를 생산하고 있었음.
- 고추 뿌리에는 토양이 많이 있지 않았으며 뿌리가 흰히 보일 정도로 고추 모종을 채취하여 사용하고 있었음.



그림 31. 중국 고추 모 생산 사진

- 근권 완효성비료 시비를 위해 비닐에 구멍을 뚫고 근권 완효성비료를 시비한 후, 바로 고추를 심고 다시 흙으로 덮어서 완료함.
- 추가적인 비료는 시비하지 않음.



그림 32. 근권 완효성비료 시비 및 고추 정식

- 속효성비료 비료 시비는 다음 그림과 같이 두둑 전면에 비료를 뿌리 후 다시 흙으로 덮은 후 고추 모종을 정식 하였음.



그림 33. 일반 속효성비료 비료 시비방법

- 고추 모종정식이 완료되면 중국농가에서는 바로 고랑에 물을 대어 주어 뿌리 활착을 도움.



7) 고추 생육 현황 생육 조사

- 2019년 7월 3일 고추 생육은 관행비료 처리구에서 고추 생육이 저조하였고 근권 완효성비료 처리구에서는 고추 생육이 모두 양호하였음.
- 관행시비 처리구에서 고추 생육 저조는 고추 뿌리가 약한 상태에서 비료 양분이 많은 토양에 정식한 결과 비료 독성에 의한 뿌리 피해가 발생 되었을 것으로 판단됨.



그림 35. 2019년 7월 3일 고추 생육

- 2019년 7월 23일날 고추 생육은 전체 포장에서 양호하게 잘 자랐으며 양분 부족 현상은 발견되지 않았음.



그림 36. 2019년 7월 23일 고추 생육

- 고추 생육 조사 결과 관행시비구인 처리구에서 고추 초장 및 줄기 직경이 가장 저조하여 속효성비료에 의한 비해가 발생 되었음을 확인했음.
- 초장 및 줄기경은 처리구 4에서 가장 우수하였고 엽색도는 처리구3이 가장 우수하였음.

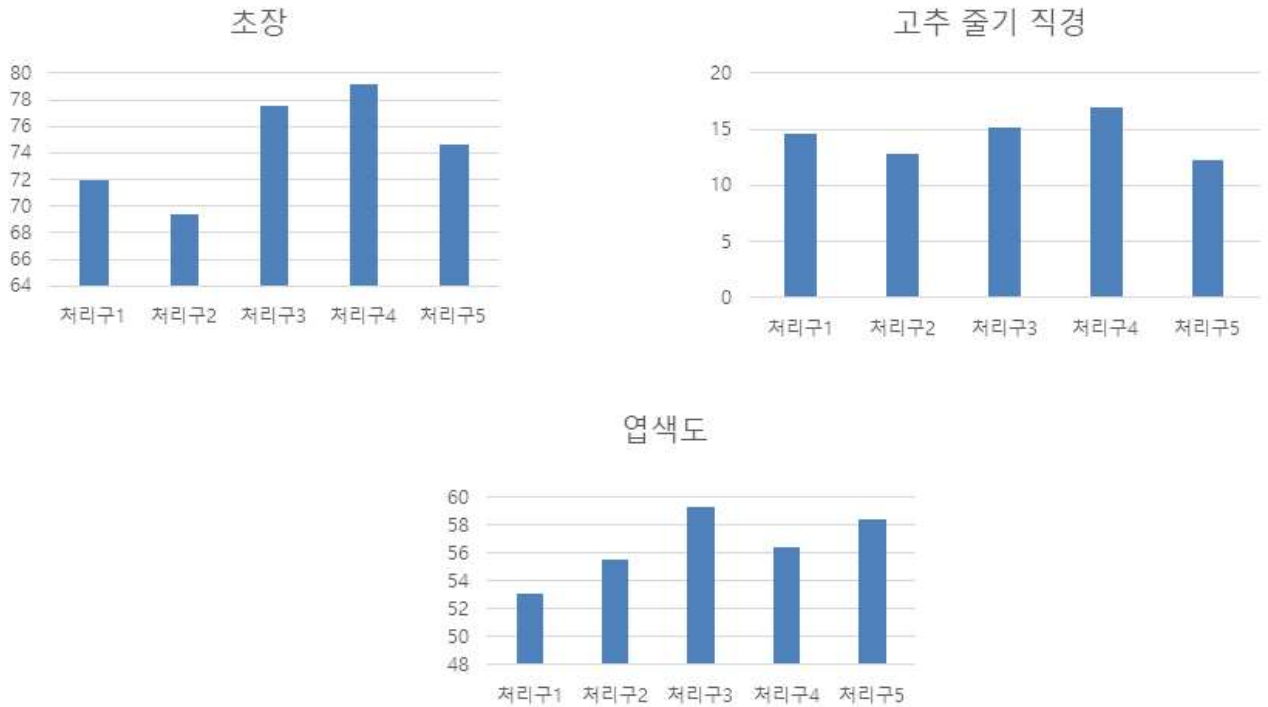


그림 37. 처리구 별 초장, 고추 줄기 직경, 엽색도

- 2019년 8월 28일 생육은 다음과 같으며 홍고추가 달리기 시작하였고 고추가 무성하게 잘 자랐고 소량의 근권 완효성비료 시용에 따른 생육 장애 현상은 발견되지 않았음.



그림 38. 2019년 8월 28일 생육

- 2019년 10월 9일 날 재배 시험 현장을 방문하여 고추 수확 및 생육 조사를 실시함. 고추는 처리구 5를 제외한 전체 처리구에서 약 95% 이상 정도 홍고추로 변했고, 처리구 5는 약 90% 정도가 홍고추로 변해 계속 영양 생장을 계속하고 있었음.
- 하지만 중국 농민 말에 의하면 청고추도 고추대를 베어서 말리면 홍고추로 변한다고 하여 홍고추 및 청고추 모두 수확량에 포함 시켰음.



그림 39. 2019년 10월 9일 재배 시험 현장

- 처리구별 생육 상황은 근권 완효성비료 시용에 의한 양분 부족 현상은 발생되지 않았고 오히려 근권 완효성비료 시비량이 많은 처리구 5에서 청고추가 많이 발견되어 영양생장이 계속되고 있어서 근권 완효성비료 시용은 10g/포기 이내로 사용하여야 함을 알게 되었음.



그림 40. 2019년 10월 9일 재배 시험 현장

10) 처리구 3(3g/plant)의 고추 뿌리 생육 조사

- 근권 완효성비료에 의한 고추 뿌리에 어떤 영향을 미쳤는지를 확인하기 위해 고추 뿌리 근권을 파본 결과 고추 뿌리는 근권 완효성비료에 의한 뿌리 피해는 없었고 고추 뿌리 1, 2, 3차근 모두 완성하게 잘 자랐음을 확인하였음.



그림 41. 고추 뿌리 확인 현장

- 고추 수확 후 토양 내 근권 완효성비료의 형태는 그대로 남아 있었고 대부분 비료 양분 용출이 모두 이루어진 상태이었으며 코팅재만 토양에 잔류하고 있었음.



그림 42. 고추 수확 후, 토양 내의 완효성 비료

11) 고추 생육 조사

- 고추 생육을 조사한 결과 고추 초장은 처리구 5에서 가장 낮았는데 이것은 근권 완효성 비료 시용이 과다하여 약간의 생육 장애가 발생되었지만 고추 분지수가 타 처리구에보다 많았음.
- 엽색도는 전체 처리구에서 유사한 결과 값을 보였고 처리구 4에서 가장 높은 결과 값을 보였음.
- 고추 줄기 직경은 처리구 3, 4에서 가장 높은 결과값을 보였고 처리구 1에서 가장 낮은 결과값을 보였음.
- 고추 길이는 처리구 3, 4에서 가장 높은 결과값을 보였고 처리구 1, 2에서 낮은 결과값이 나왔음. 하지만 고추 길이가 가장 긴 처리구 4에서는 고추 직경이 가장 낮았음.

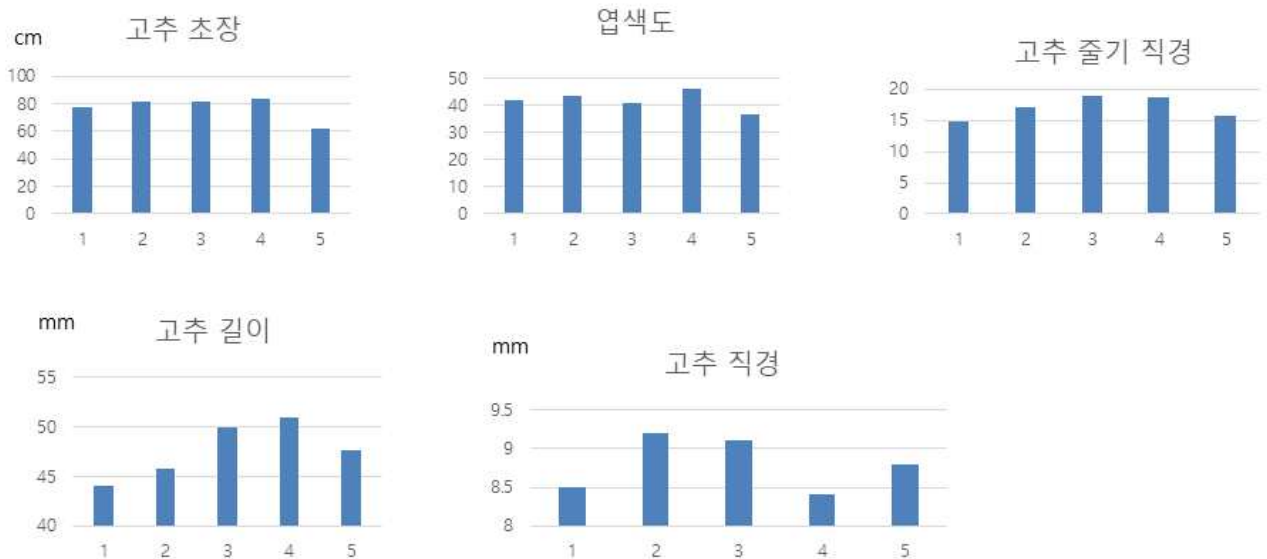


그림 43. 처리구 별 고추 초장, 엽색도, 고추 줄기 직경, 고추 길이 및 직경

12) 고추 열매 내 무기양분 함량

- 고추 열매 내 무기양분 함량을 조사한 결과 열매 내 질소 성분은 근권 시비량이 많을수록 증가하였고 관행시비구인 처리구 2보다 높은 값을 보였음.
- 타 양분들도 근권 완효성비료 전처리구에서 처리구2와 비교 시 대등한 수준의 결과값이 나와 근권 완효성비료 시용에 의한 고추 열매 내양분 부족현상은 발생되지 않았음.



그림 44. 처리구 별 고추열매 내의 무기양분

13) 고추엽 내 무기양분

- 고추엽내 무기양분은 처리구간 약간의 상이한 결과 값을 보였고 고추 생육에 지장을 초래할 정도의 극심한 양분 결핍 및 과다 현상은 발견되지 않았음.

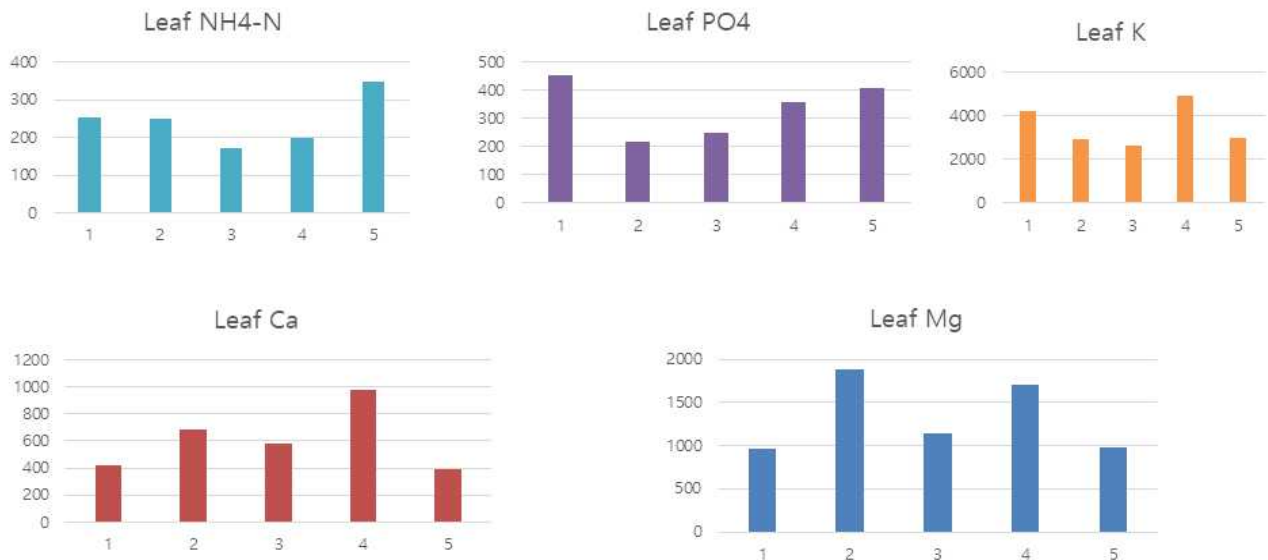


그림 45. 처리구 별 고추엽 내의 무기양분

14) 홍고추 수확량

- 홍고추 수확량은 관행시비구인 처리구 2보다 근권 완효성비료 처리구 모든 처리구에서 높은 결과값을 보였음.

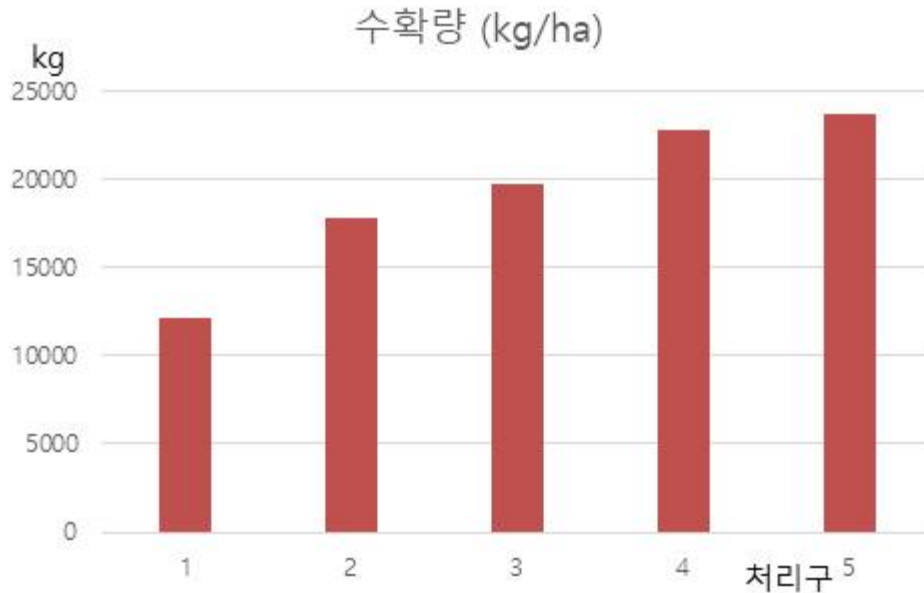


그림 46. 처리구 별 홍고추의 수확량

15) 시험 결과 해석

- 홍고추 수확량
정부추천 속효성비료 시비구 대비 근권 완효성비료 모든 시비구에서 홍고추 수확량 높음.
 - 3g/포기 처리구에서 11%
 - 5g/포기 처리구에서 28%
 - 10g/포기 처리구에서 32% 수확량 증수.
- 근권 완효성비료 시용에 의한 고추 생육 효과.
고추 포기당 3~5g 근권 완효성비료 사용 시 고추 생육 장애 현상 발견되지 않았으나, 고추 포기당 10g 근권 완효성비료 사용 시 약간의 고추 생육 장애 현상 발견.
- 비료 사용량 절감.
근권 완효성비료 3g/포기 사용 시 비료 사용량을 약 90% 정도 절감 가능.
- 중국 농민 평가.
주변 농가들 고추 수확량보다 당 시험구에서 고추 수확량이 많을 것으로 판단했으며, 비료 효과에 대해 만족하였고 향후 구매 의사 표현.

<작물재배시험 3: 고추 육묘용 완효성비료 효과 시험연구>

1) 시험 목적

- 고추 육묘 기간이 장기간이라 현행 상토회사 및 육묘장에서 외국산 완효성비료를 사용하고 있어 본 과제를 통해 개발된 시제품을 이용하여 고추 육묘용 완효성비료 개발 가능성을 확인하고자 함

2) 시험 장소

- 시험 장소 : 삼농바이오텍 식물배양실 (경기도 수원)

3) 재배 방법

- 품종 : 동원교배 미니스틱고추
- 시험수 : 50공 트레이에 고추 씨앗 1개씩 파종
- 사용상토 : 바로커상토(서울바이오).
- 시험기간 : 2019. 10.14 ~ 2020. 1. 14 (3개월)
- 시험방법 : 삼농바이오텍 식물배양실에서 실시
(배양실 온도 25℃ 유지, 식물재배용 형광등이용)

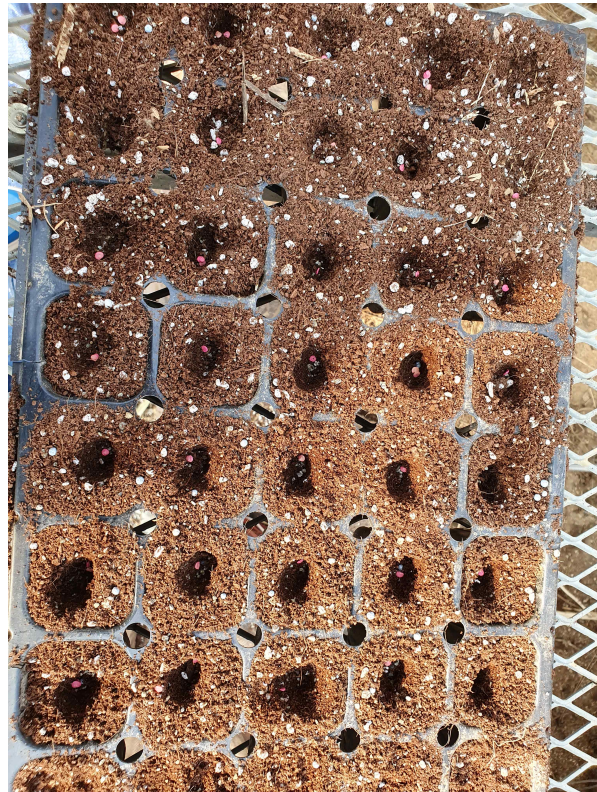
4) 고추 육묘 재배 및 생육 현황

- 상토 2L에 완효성비료 시제품 30g 혼합하여 50공 트레이에 상토를 충전함



<그림 47. 육묘용 고추 완효성비료 시험을 위한 원재료>

- 완효성비료 시제품이 혼합된 상토에 아래 그림과 같이 고추 씨앗을 넣고 씨앗을 넣은 구멍 부분은 상토로 다시 충전하여 편평하게 함



<그림 48. 고추 씨앗을 파종 처리한 모습, 2020년 10월 14일>

- 파종 후 30일 경과 후 발아 정도를 측정한 결과 발아율이 약 96% 정도이어서 본 개발 시제품인 완효성비료에 의한 초기 발아에 대한 피해는 없었다
-



<그림 49. 씨앗 파종 후 30일 경과한 고추 육묘상태, 2020년 11월 13일>

- 씨앗 발아가 끝난 후 아래 사진과 같이 고추 모종 생육 상태를 확인한 결과 전체 모종이 비료에 의한 비료 피해 없이 모두 잘 성장 하였음



<그림 49. 고추 모종 생육 상태, 2020년 12월 05일>

- 일반 야외보다 생육 환경이 불량한 조건에서 2020년 1월 14일까지 생육 현황을 조사한 결과 다음 그림과 같이 고추 모종이 불량하거나 비료에 의한 고추 모종의 고사 문제가 발생 되지 않아 본 시제품에 의한 상토 혼합용 완효성비료 개발이 가능할 것으로 판단되었음



<그림 50. 고추 모종 상태, 2020년 1월 14일>

16) 시험 결과 해석

본 과제에 의해 개발된 시제품을 상토에 혼합하여 장기 육묘를 하는 고추 모종에 적용한 결과

- 본 시제품에 의한 비료 피해는 발생되지 않았고
- 전체 고추 모종이 생육 기간에 따라 균일하게 잘 자라

향후 상토 혼합에 따른 육묘용 완효성비료 신규 제품 개발 가능성을 보여주었음

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표 달성도

○ 정량 실적 달성도

성과지표	계획(A)	실적평가(B)	목표달성율(B/A)
특허출원	1	1	100%
제품화	1	1	100%
고용창출	2	5	250%
인력양성	1	0	0%

○ 세부 목표 달성도

구분 (연도)	세부연구목표	연구개발 수행내용	달성도
1차 년도 (2018)	해외 선진제품 기술수준 및 완효성비료 시료 확보	- 동 분야 IP 검색 및 기술 수집하였음 - 타 외국산 완효성비료 시료 확보를 통한 성분별 용출률 시험	100%
	국내·외 고추농업의 현황 파악 및 고추작물 양분용출 모델 설정	- 국내·외 재배지 방문 및 현장 정보 수집완료함 - 고추 생육단계별 비료양분 패턴 분석 및 최적모 델 확보함	100%
	최적 피복물질 선정	- 최적 피복물질 검색 및 발굴함 (경제성, 효율성)	100%
	유동층피복기 운전조건 및 코팅방법확립	- 유동층 피복기 제작 및 최적 운용조건 확립하였 음	100%
	최종 연구개발된 피복비료 품질평가	- Linear, Sigmoid type 피복비료 생산 완료하였음 - 타제조업체의 완효성비료와의 비교 품질평가함	100%
2차 년도 (2019)	미국 스카츠사 피복물질 Alkyd, 가격 4,000원/kg의 60% 수준	- 원재료가 저렴한 아크릴-우레탄 공중합체 수지 개 발로 저렴한 피복물질 합성완료함	100%
	현 수입 완효성비료 판매가격 (10만~12만원/포)의 약 절반 가격 (5만~6만원/포)으로 판매 가능한 피복비료 개발	- 저렴한 피복물질 개발 및 피복공정 시간 절감, 코 팅을 절감을 통한 피복비료 생산 코스트를 절감 가능하게 하였음	100%
	고추 양분 용출모델 설정	- 국내외 고추 양분 모델 설정에 의한 근권완효성 비료 개발로 국내외 고추 재배 시험 성공함	100%
	기존 시비량 대비 40~50% 절감	- 국내외 고추 작물 재배시험을 통한 최대 시비량 절감 80%까지 가능한 근권 완효성비료 개발	100%

나. 관련분야 기여도

- 본 연구를 통해 개발된 근권 완효성비료는 현 정부 추천 화학비료 시용량보다 최대 90% 절감 가능하여 농경지 내 비료 사용량 절감에 따른 환경오염(수질, 대기, 토양)에 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 판단됨.
- 작물의 종류에 따라 비료 양분의 종류 및 양이 다르게 공급하여야 하는 데 현 화학비료 공급 체계는 작물의 양분 흡수 특성을 무시한 채 생산 및 공급 위주의 체계로 운영되고 있어 비료 자원 낭비가 심하여 본 연구개발 기법 제시를 통해 다양한 작물별 맞춤형 비료가 개발 될 것으로 기대됨.
- 본 연구와 같이 작물 양분 흡수 특성에 알맞게 개발된 작물 맞춤형 완효성비료를 이용한 근권 완효성비료 적용 연구는 아직까지 학계나 산업체에서 보고된 적이 없어, 본 연구를 통해 화학비료 절감형 비료개발에 대한 연구개발 기법을 제시한 바, 향후 많은 후속 연구가 수반 될 것으로 예상 됨.

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 인력양성은 본 과제 수행을 위해 대학원생 인력을 양성하고자 하였으나 협동연구기관인 서울대학교 차세대융합기술연구원에서 대학원생을 확보하지 못하여 인력 양성을 하지 못하였 음
- NRM 기술을 이용한 작물 맞춤형 완효성비료는 본 연구를 통해 고추 맞춤형 완효성비료를 성공적으로 개발완료하였고 추후 후속 연구를 통해 타 작물 맞춤형 완효성비료를 개발하기 위해서는 추가연구를 진행할 필요가 있고 이 분야의 전문가 인력양성을 위해 향후 가능한 대학교와 연계하여 대학원생 인력을 양성할 예정임

4. 연구결과의 활용 계획

- 본 연구를 통해 국내 수입 완효성비료를 대체할 화훼, 골프장 잔디, 조경수, 산림용 나무, 육묘장, 상토제조용, 시설하우스 작물용 전용 맞춤형 완효성비료 개발을 우선적으로 진행할 예정이며 향후 추가적인 연구를 통해 작물 맞춤형 완효성비료 개발을 지속적으로 수행할 예정입니다.
- 옷거름 시비가 어려운 비닐 멀칭을 이용하는 작물, 즉 마늘, 양파, 옥수수, 배추 등에도 향후 추가적인 연구를 통해 작물 맞춤형 완효성비료 개발 예정입니다.
- 수성 아크릴-우레탄 공중합체 수지 합성 경험의 토대로 작물 수확 후 일정 기간 지나면 고분자 수지가 생분해되어 사라지는 저가의 생분해성 고분자수지를 개발 연구를 진행할 예정입니다.
- 본 연구 결과를 통해 최우선적으로 중국 고추 전용 근권 완효성비료 수출을 추진할 예정이며 타 외국에도 본 연구 결과를 활용하여 고추전용 근권 완효성비료 수출 추진할 예정입니다.
- 금년 봄에 우선적으로 교류중인 중국 비료회사와 협력하여 중국 고추 주산지 2~3군데에서 1ha 이상 규모의 고추 시범포 사업을 실시하여 중국 고추 주산지 토양 특성, 기후특성, 농민 재배 특성, 중국 고추 품질 특성 등과 같은 빅데이터 축적과 시제품 홍보를 동시에 실시하고자 하였으나 금년 코로나 팬데믹 사태가 발생되어 내년으로 미루게 되었음
- 본 연구과제를 수행한 후 일반 가정 화훼용, 도시 텃밭용, 잔디용, 수목원 조경용 등과 같은 범용 완효성비료를 필요로 하는 곳에는 매출이 발생하였으나 본 연구 결과를 이용한 고추 맞춤형 완효성비료는 연구개발이 작년 연말에 완료되었고 현행 일반 속효성 화학비료 시비량 대비 최대 90% 절감 가능하다는 본 연구 결과에 대한 신빙성을 의심하여 농가에서는 올해 당장 구매하여 적용하기에는 위험도가 높다고 인식하여 금년에는 고추 농가에 무료로 본 시제품을 공급하였으며 본 시범포 사업의 효과 및 품질 검증을 거친 후 내년부터 본격적으로 판매가 될 수 있도록 적극 노력 중에 있음

붙임. 참고문헌

1. (주)이엠 코퍼레이션, (2016). *해상 컨테이너 안의 화물의 안전 대책*. 서울: 한국공업포장협회 2016년 춘계 포럼, <https://www.kemcorp.co.kr/boardPost/116155/192>.
2. Y. J. Deng, C. Zhou, M. Y. Zhang, H. X. Zhang, Effects of the reagent ratio on the properties of waterborne polyurethanes-acrylate for application in damping coating, *Prog. Org. Coat.*, 122 (2018), pp. 239-247.
3. J. Datta, Synthesis and investigation of glycolysates and obtained polyurethane elastomers, *J. Elastom. Plast.*, 42 (2009), pp. 117-127.
4. Y. Lu, R.C. Larock, New hybrid latexes from a soybean oil-based waterborne polyurethane and acrylics via emulsion polymerization, *Biomacromolecules*, 8 (2007), pp. 3108-3114.
5. Morgan KT, Cushman KE, Sato S (2009) Release mechanisms for slow-and controlled release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. *HortTechnology* January-March 19:10-12
6. Trenkel ME (2010) Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. International Fertilizer Industry Association (IFA)
7. Shoji S, Gandeza AT (1992) Controlled Release Fertilizers with Polyolefin Resin Coating. Kanno Printing, Sendai, Japan
8. Shoji S, Kanno H (1994) Use of polyolefin-coated fertilizers for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Fert Res* 39:147-152

<뒷면지>

주 의

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