

RS-2021
-IP82106
8

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

발간등록번호

11-1543000-004768-01

다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발

2024.7.29.

주관연구기관 / (주)테라그린

공동연구기관 / 한남대학교 산학협력단

공동연구기관 / 배재대학교 산학협력단

2024

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발”(개발기간 : 2021.4.1 ~ 2023.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 7. 29.

주관연구기관명 : (주)테라그린 (대표자) 전호연 (인)
공동연구기관명 : 한남대학교 산학협력단 (대표자) 김윤중 (인)
공동연구기관명 : 배재대학교 산학협력단 (대표자) 채순기 (인)

주관연구책임자 : 김윤섭 (인)
공동연구책임자 : 나양호 (인)
공동연구책임자 : 이용하 (인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		기술사업화지원				총괄연구개발 식별번호	
내역사업명)		민간중심 R&D 사업화 지원(응복합)				연구개발과제번호	821068-3
기술 분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0203	40%	2순위 LB0403	30%	3순위 NC0502	30%
	농림식품 과학기술분류	1순위 AA0203	40%	2순위 RA0202	30%	3순위 CA0104	30%
총괄연구개발명							
연구개발과제명		다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발					
전체 연구기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)					
총 연구개발비		총 1,070,800 천원 (정부지원연구개발비: 803,000 천원, 기관부담연구개발비 : 267,800 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도	착수시점 기준(3단계) 종료시점 목표(9단계)	
연구개발과제 유형							
연구개발과제 특성							
연구개발 목표 및 내용		최종 목표		○ 육묘, 분화, 토경 등 용도에 최적화된 하이드로겔 기반의 토양 개량제 제품 개발과 사업화			
		전체 내용		<ul style="list-style-type: none"> - 국외에서 수입되는 TerraCottem[®]의 경우 이화학성이 고정되어 있는 한계가 있음. 육묘, 분화, 토경용 등 작물의 사용처에 따라 다양한 수분함유능력과 물리성을 가진 ‘다기능 하이드로겔’의 제조 기술을 확립하도록 함 - 다기능 하이드로겔의 제조 조건을 확립하고 연간 10ton 규모의 하이드로겔을 생산할 수 있는 대량 생산 체계를 확립함. 균일하면서도 고수율의 하이드로겔을 생산하는데 주안점을 둠 - 토양에 하이드로겔을 적용할 때 개선되는 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성을 분석하고 하이드로겔 처리의 효율 및 현장 지속성을 평가함 - Sensor 기반의 관수 및 관비 시스템을 확립하여 하이드로겔이 적용된 배지의 적정 관리법을 구명함. 식물의 수분 스트레스를 최소화한 고품질 육묘, 분화 생산 체계를 확립함 - 입자형 하이드로겔과는 달리 토양의 구조를 파괴하지 않고 처리할 수 있는 분사형 하이드로겔을 개발하고 조경, 토경 재배지에 적용함 - 다기능(육묘, 분화, 토경용) 하이드로겔을 기반한 토양개량제를 제품으로 개발하여 국내 수익을 창출하고 해외 수출을 시도함 - 토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진 			
		1단계 [1년차]	목표	○ 다기능 하이드로겔 제조 확립 및 재배실험			
		내용	<ul style="list-style-type: none"> - 입자형 하이드로겔 제조(육묘용, 분화용, 토경용) - 입자형 하이드로겔의 대량생산을 위한 기초공정 확립 - 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립 - 재배실험을 통하여 효과 검증 및 최적 조건 구명 				

	1단계 [2년차]	목표	○ 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔을 현장에 적용
		내용	- 다기능 하이드로겔, 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비 구명 - 비료시험 연구기관에 지정된 재배시험기관을 통한 재배시험 - 재배 농가에 적용시험 - 입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 재배 고도화
	2단계 [1년차]	목표	○ 다기능 하이드로겔 제품 생산과 사업화
		내용	- 입자형 하이드로겔 기반 토양개량제 비료 공정 규격 신청 및 사업화 - 시스템 종합 성능 테스트 및 공정 베드 최적화 - 하이드로겔 현장 처리 효율 조사 및 지속성 평가 - 하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가 - 심한 토양 수분 상태 시의 식물에 미치는 영향 평가 - 극한 가뭄조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 한국생산기술연구원의 반응기를 이용하여 입자형 하이드로겔 대량생산 시스템을 구축하여 안정적으로 여러 가지 형태의 다기능 하이드로겔 생산기술 확보 - 대량생산된 하이드로겔의 확인 및 안정성을 위한 공인기관 시험분석을 통하여 입증자료 확보 - 입자형(육묘, 분화, 토경), 분사형 하이드로겔 제조에 따른 다양한 기능을 가진 제품 생산과 사업화 - 토양의 물리성 및 화학성이 식물 재배에 최적화되어 작물 생산성 및 품질 향상 관련 연구성과 확보 - 입자형 하이드로겔 제조 비용을 낮추기 위한 시약 변경으로 인한 원가 절감 - 친환경적인 하이드로겔 기반 토양개량제의 제품화로 해외수출을 할 수 있는 기반 마련 - 정량적 성과로는 특허출원 2건, 특허등록 1건, 제품화 3건, 고용창출 1명, 논문학술성과 5건(SCI 3건, 비SCI 2건), 학술발표 9건, 인력양성 6명, 홍보전시 3건 달성 추가성과로는, 신기술인증(NET) 1건, 수상실적 2건 달성
--------	--

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>1) 연구개발성과의 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none"> - 국내업체를 중심으로 기존 TerraCottem[®]을 사용하고 있는 업체평가 및 시장 진출을 통한 제품화 - 해당 기술을 통한 다양한 방법으로 응용 제조 및 원천기술 지속 개발을 통한 파생된 제품 생산 계획 - 다기능 하이드로겔과 관련된 특허출원, 논문 투고, 학회 발표, 매체 홍보완료 <p>2) 연구개발성과의 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 외국에서 전량 수입하고 있던 농업용 고흡수성수지를 국산화하여 해외 원재료의 의존도를 낮추고 더 낮은 가격으로 농민들에게 공급함 - 토양의 물리성 및 화학성이 식물 재배에 최적화되어 작물 생산성 및 품질이 향상될 것으로 기대 - 생산자에게는 농업용 고흡수성수지의 매입 단가를 낮추고 작물의 생산성이 향상되어 농가 소득이 향상 될 것이며 농민의 의욕이 고취될 것으로 기대됨 - 고흡수성수지를 포함한 배지의 재배 시 토양 수분 상태를 정확하게 알려주는 데이터를 제시하여 재배자들로 하여금 과학영농을 하도록 도움을 줌
---------------------	--

국문핵심어 (5개 이내)	고흡수성수지	상토	비료	관수 시스템	토양 생태계
영문핵심어 (5개 이내)	Super absorbent polymer	Substrate	Fertilizer	Irrigation system	Soil ecosystem

<연구개발성과 최종 목표 대비 실적> (2021~2023년)

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용· 홍보		기타 (수상 실적)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논 문		논 문 평 균 I F			학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													S C I	비 S C I							
단위	건	건	건	건 10건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건		건	명	건	건			
가중치	10	10					20	20	10	10		/	/	5	5		5	5			
최종목표	2	1					3	94		1		3	1	0.6	8		2	2			
1년차 실적(21년)										1					2						
2년차 실적(22년)	1						2					2	1		4		4	1	1		
3년차 실적(23년)	1	1					1	148			1	1	1		3		2	2	1		
합계	2	1					3	148		1	1	3	2	8.4	9		6	3	2		
달성률 (%)	100	100					100	157		100		100	200	140 0	112		300	150			

목 차

1. 연구개발과제의 개요	001
1) 연구개발기술의 배경 및 필요성	001
2) 개발 기술의 차별성	003
3) 개발 기술의 사업화	004
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	005
1) 연구 개발 최종 목표	005
2) 연구계획대비 진도표	007
3) 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용	009
(1) 1단계 1차년도 수행 과정 및 수행 내용	009
(2) 1단계 2차년도 수행 과정 및 수행 내용	056
(3) 2단계 1차년도 수행 과정 및 수행 내용	128
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	214
1) 연구수행 결과	214
2) 목표 달성 수준	220
4. 목표 미달 시 원인분석	221
5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도	221
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	221
별첨자료 (공통요구자료 외)	222

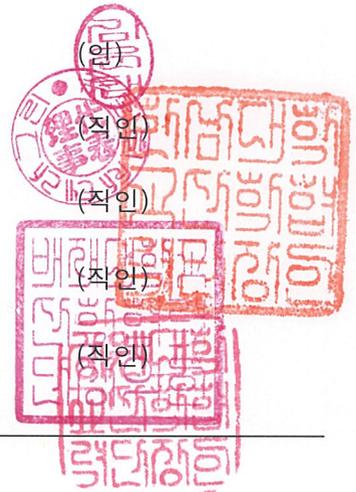
최종보고서							보안등급		
							일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[<input type="checkbox"/>]		
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명	사업명		기술사업화지원사업		
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명		민간중심 R&D 사업화 지원(융복합)		
공고번호		농축2021-41호		총괄연구개발 식별번호		821068-3			
				연구개발과제번호					
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 LB0203	40%	2순위 LB0403	40%	3순위 NC0502	30%		
	농림식품과학기술분류	1순위 AA0203	40%	2순위 RA0202	40%	3순위 CA0104	30%		
총괄연구개발명 (해당 시 기재)		국문	다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발						
		영문							
연구개발과제명		국문	Development of soil amendments based on multi-functional hydrogel						
		영문							
주관연구개발기관		기관명	테라그린		사업자등록번호	107-86-29184			
		주소	(우)17797 경기도 평택시 청북읍 청오로 357-52		법인등록번호	110111-2690885			
연구책임자		성명	김윤섭		직위	연구소장			
		연락처	직장전화	1688-7950		휴대전화	[Redacted]		
			전자우편	[Redacted]		국가연구자번호	[Redacted]		
연구개발기간		전체	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)						
		단계	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)					
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원	기관부담	그 외 기관 등의 지원금				연구개발 비외 지원금	
		연구개발비	연구개발비	지방자치단체	기타()		합계		
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	
총계		803,000	9,740	258,060			812,740	258,060	
1단계									
1년차		219,000		73,000			219,000	73,000	
2년차		292,000		97,400			292,000	97,400	
2단계									
1년차		292,000	9,740	87,660			301,740	87,660	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고		
							역할	기관유형	
공동연구개발기관		한남대학교 산학협력단	나양호	교수	[Redacted]	[Redacted]	공동	대학	
		배재대학교 산학협력단	이용하	조교수	[Redacted]	[Redacted]	공동	대학	
위탁연구개발기관		강원대학교 산학협력단	김혁수	조교수	[Redacted]	[Redacted]	위탁	대학	
연구개발기관 외 기관									
연구개발과제 실무담당자		성명	김윤섭		직위	연구소장			
		연락처	직장전화	1688-7950		휴대전화	[Redacted]		
			전자우편	[Redacted]		국가연구자번호	[Redacted]		

이 단계보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 연구개발과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 02월 29일

연구책임자: 김윤섭
 주관연구개발기관의 (주)테라그린장: 전호연
 공동연구개발기관의 한남대학교 산학협력단장: 김태동
 공동연구개발기관의 배재대학교 산학협력단장: 채순기
 위탁연구개발기관의 강원대학교 산학협력단장: 장철성

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발기술의 배경 및 필요성

- 식물은 토양에서 양분과 수분을 적절하게 공급받아야 건전한 생육을 하기 때문에 근권부 환경인 토양의 물리성, 화학성을 적절하게 조성하는 것이 중요하다. 채소, 화훼식물 등 원예 작물의 생산성이 비약적으로 증가하게 된 것은 자연 풍화된 토양이 아닌 보수, 보비력이 우수한 인공배지(상토)를 사용하는 등 근권부 환경을 적극적으로 관리했던 것이 중요한 요인이었다.
- 그에 따라 나무나 풀, 꽃 등이 자라는 정원이나 초원, 산림에서는 인간이 직접 꾸준하게 수분 관리를 해주어야 하는 난제가 있으며, 사막 지역에서는 수분관리가 더욱 어려워 사막이 넓어지고 식량자원 생산 가능지역과 산림이 감소하게 되어 국제적으로 문제가 발생하고 있다.
- 또한, 국토교통부(2016)의 ‘수자원 장기종합계획(2001~2020)’에 따르면 농업용수의 부족과 전 세계적으로 사막화로 인한 산림 감소에 따른 환경, 재산 피해 증가들이 예상되며, 사막화를 촉진하는 요인인 염류직접 영향을 해결하기 위해 물탱크처럼 수분을 저장할 수 있고 저장된 수분을 이용해 토양과 식물에 수분공급을 돕는 소재의 개발이 필요하기 때문에 사회적 측면, 기술적 측면으로도 필요성이 있다. 이에 따라 향후 이러한 이상기후에 피해를 보지 않도록 토양개량제가 필요하다.
- 토양개량제는 토양의 이화학적 성질을 개선하여 식물생육에 알맞아지도록 하는 제품으로 토양의 단립화를 촉진과 수분 유지를 위해 국외 제품인 *TerraCottem*[®] 등이 토양개량제로 사용되고 있으며 화학적 성질의 불량을 개량하기 위해 제올라이트, 펄라이트, 석회비료, 퇴비, 유기질비료 등이 이용되고 있다. 그중 단립화 촉진과 수분 유지를 도와주는 소재는 순수 국내 기술을 이용하여 상용화된 토양개량제가 전혀 없는 상황이며 *TerraCottem*[®]이라는 국외 제품은 친수성 망상 고분자인 하이드로겔(hydrogel)과 무기양분, 성장 촉진제 및 전해질물질이 혼합된 제품이며 수분과 영양분을 오랫동안 공급할 수 있어, 토양개량제의 역할로서 척박하고 영양이 없는 땅에서도 다양한 식물들을 울창하게 자라게 할 수 있다.

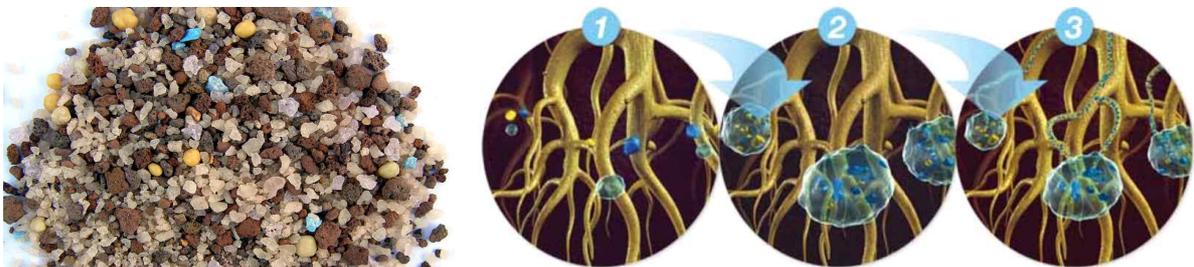


그림 3. *TerraCottem*[®]의 모습(좌), 수분과 영양분을 저장 후 식물이 흡수하는 원리(우)

- 고흡수성수지는 농업에서 근권부 환경 개선에 중요한 역할을 하기 때문에 국내·외에서 고흡수성수지 개발에 관한 다양한 연구와 특허가 등록되어 있음.

표 1. 고흡수성수지 관련 국내·외 지식재산권

지식재산권명	지식재산권출원인	출원국/출원번호
① 하이드로겔 형성성 조성물 및 이로부터 제조되는 하이드로겔	고쿠리츠다이가쿠호진 군마다이가쿠	KR/10-2013-0055268
② 토양개량제	주식회사 알티캡	KR/10-2016-0121818A
③ Water absorbing hydrogels and methods of making and use thereof	Geohumus International Verwaltungs GmbH & Co.KG	US/7652080 B2
④ Water-absorbing agent, method for the production and the utilization thereof	BASF Aktengesellschaft	US/6831122 B2
⑤ Flüssigkeiten speicherndes und expandierbares Kompositmaterial sowie dessen Herstellung und Anwendung	Inotec Glienke & Glienke GbR	DE/102009034137 A1
⑥ Poröses und wasserdurchlässiges Element für die Pflanzenkultur und Verfahren zum Herstellen dieses Elementes	Callwaert, Jean et al	EP/0156786 B1
⑦ Als Zusätze für Pflanzenwachstumsmittel zu verwendende teilchenförmige Zusammensetzungen	Wiesenhaan, Herman, Drs. et al	EP/0072213 B1

□ 고흡수성수지와 관련된 기술은 특허 출원 및 등록이 되었지만, 농업용 고흡수성수지로 국내에 사업화가 되었다는 보고는 확인할 수 없었다. 이러한 농업용 고흡수성수지의 국내 사업화가 더딘 문제점으로 분석된 것은 기존에 개발된 *TerraCottem*[®]보다 뛰어난 특성을 가진 농업용 고흡수성수지 개발의 부재와 사업화를 위한 생산의 규모화, 판로 개척의 어려움이라고 판단된다.

□ 그에 따라, 본 연구는 고흡수성 나노복합체 하이드로겔을 개발하여 토양개량제에 대한 국내 자체기술을 쌓고 상용화를 시도하는 것을 목표로 하며, 이를 통해 토양의 수분유지를 도와주어 사막화 방지 및 황폐지를 재건하고 이상기후로 인한 식물 피해 최소화가 가능하고 장기간 수분을 유지할 수 있는 토양으로 개량할 수 있는 것이 가능하다. 또한, 유지보수가 편리해지면서 인력 소요가 줄어들어 인건비 절약에도 도움이 된다. 토양개량제로 널리 알려진 *TerraCottem*[®]의 물리·화학적 분석(팽윤도, 수분 흡수 속도, 토양개량성 등)을 통해 성능 지표를 설정하여 해당 제품의 성능을 개선하고, 국내 자체기술만으로 종래의 토양개량제의 제조 메커니즘과 전혀 다른 독창적인 토양개량제를 개발하는 것이 주요 기술 개발 내용이다.

2) 개발 기술의 차별성

- 국외에서 수입되는 *TerraCottem*[®]의 경우 이화학적성이 고정되어 있는 한계가 있다. 육묘, 분화, 토경용 등 작물의 사용처에 따라 다양한 수분함유능력과 물리성을 가진 다기능 하이드로겔의 제조 기술을 확립하고자 한다.
- 다양한 수분함유능력과 물리성을 가진 다기능 하이드로겔을 제조하기 위해 토양에 친화적인 나노시트형 클레이(nano-sheet clay)를 가교소재로 이용하여 제조한 나노복합체 하이드로겔이라는 유기가교와 다른 전혀 다른 가교 결합을 도입하고자 한다. 이러한 기술을 제안하는 국내·외 연구는 없으며, 핵심기술을 토양개량제로 이용하는 특허는 존재하지 않는다.
- 본 연구에서 제안하는 나노복합체 하이드로겔에 사용되는 나노시트 클레이는 표면에 음전하(-)를 띄기에 식물의 생장을 돕는 K, Ca, Fe, Mg 등과 같은 양전하의 금속이온들을 끌어들이 수 있어 추가적인 무기염이나 성장촉진제 첨가량을 줄일 수 있고, 나노복합체 하이드로겔은 고온·고압과 같은 제조환경이 필요가 없으며, 별도의 경화장치가 필요 없기 때문에 제조가 안전하고 간편하여 대량생산이 용이하고 다양한 화학구조의 모노머에 적용 가능한 중합 메커니즘을 사용하기에 폭넓은 응용제품 생산이 가능하고 맞춤형 제품의 보급에 유리하다.

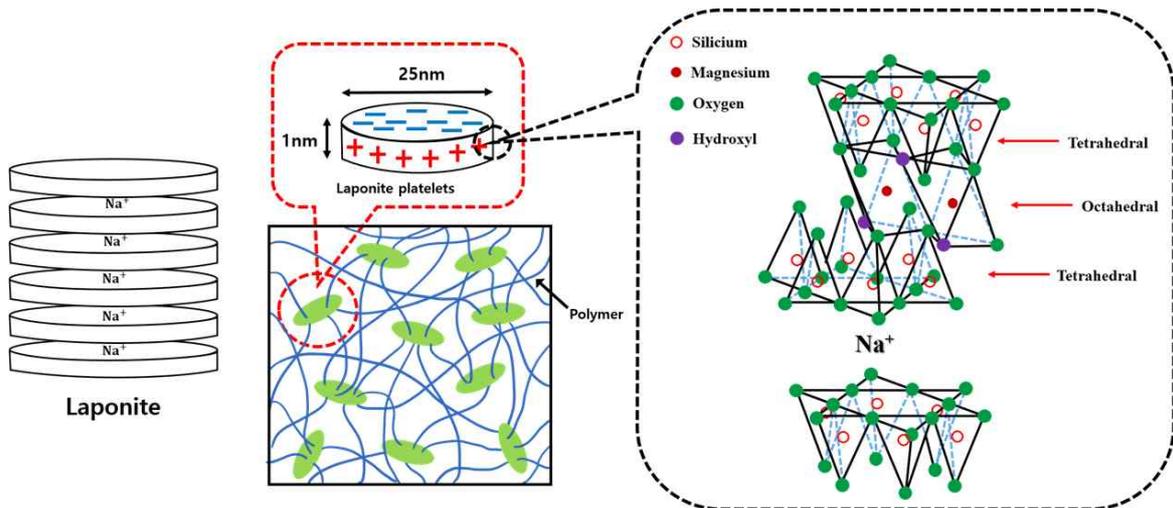


그림 4. 나노복합체 하이드로겔의 미세 구조 모식도

3) 개발 기술의 사업화

- 개발된 농업용 고흡수성수지의 사업화를 위해서는 다음의 선행 문제가 해결되어야 한다.
 - 다양한 물성을 가진 고흡수성수지를 개발하여 용도(육묘용, 분화용, 토경용)에 따라 선택할 수 있는 다기능 하이드로겔이 개발되어야 한다. 국외 제품인 *TerraCottem*[®]보다 뛰어난 흡수능력을 가질 뿐 아니라 토양 내에서 건전한 이화학성을 구성할 수 있는 경쟁력 있는 농업용 고흡수성수지가 필요하다.
 - 토양 내에 고흡수성수지가 첨가가 되면 토양의 기상, 액상과 같은 물리성을 변화시킬 뿐 아니라 무기 양분의 이동과 같은 화학성에도 영향을 끼치기 때문에 실제 채소, 화훼 식물과 같은 원예 작물의 생육에 어떠한 영향을 끼치는지 구명하고 작물의 최적 생육을 보장할 수 있는 고흡수성수지의 처리 비율이 구명되어야 한다.
 - 소량의 고흡수성수지는 실험실 수준에서도 합성이 가능하지만 토양개량제로의 제품화를 위해서는 고흡수성수지의 대량 생산 체계가 확립되어야 한다. 공정의 최적화와 반응 환경 조건이 구명되어야 균일하면서도 고수율의 고흡수성수지 생산이 가능케 된다.
 - 새롭게 고흡수성수지가 개발되어도 토양개량제 회사가 보유하고 있는 축적된 제품 개발 능력과 안정적인 판매 경로가 마련되어 있지 않으면 사업화의 성과가 나타날 수 없다.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구 개발 최종 목표

(1) 1단계 1차년도 연구 개발 목표

연구개발기관	주요연구내용	가중치 (%)
테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 수행 ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립(육묘용, 분화용, 토경용) ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조(육묘용, 분화용, 토경용) ○ (주)신성미네랄 상토회사와 NDA, MOU 계약 체결 	25
한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형 하이드로겔 제조(육묘용, 분화용, 토경용) ○ 나노 하이드로겔의 물리·화학적 성능 분석 ○ 입자형 하이드로겔의 대량생산을 위한 기초공정 확립 	25
배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화 ○ 육묘 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명 ○ 분화 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명 	25
강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 처리에 따른 재배실험, 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사 ○ 하이드로겔 적정 토양 처리 조건 확립 	25

(2) 1단계 2차년도 연구 개발 목표

연구개발기관	주요연구내용	가중치 (%)
테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구명된 입자형 하이드로겔의 대량 생산 시스템 구현 테스트 ○ 입자형 하이드로겔 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립 ○ 입자형 하이드로겔의 투입 기기 개발 및 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비 구명 ○ 작물 재배 농가에 적용하여 재배실험 ○ 다기능 하이드로겔을 혼합한 상토 및 유기질 퇴비 생산 	25
한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이온성 Polymer의 합성 공정 최적화 ○ 이온성 Polymer의 Sol-Gel 전이 현상 구명 ○ 이온성 Polymer의 전하 비율에 따른 물리적 특성 평가 	25
배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서 센서 사용 표준화 ○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 육묘 재배 고도화 ○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 분화 재배 고도화 	25
강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 현장 토양에 고흡수성 나노복합체 하이드로겔 처리 및 효율 조사 ○ 하이드로겔의 효율 비교 평가 	25

(3) 2단계 1차년도 연구 개발 목표

연구개발기관	주요연구내용	가중치 (%)
테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형 하이드로겔 제조 및 상토, 부속유기질비료(퇴비) 혼합 고도화 ○ 입자형 하이드로겔 자동화 제조 시스템 구축 ○ 입자형 하이드로겔(육묘용, 분화용, 토경용) 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비 ○ 한국생산기술연구원의 반응기를 통해 분사형 하이드로겔 제조 테스트 ○ 분사형 하이드로겔 토양 적용 모의실험 ○ 토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진 	25
한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형, 분사형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화 ○ 분사형 하이드로겔의 분사 시스템(유량, 압력 등) 조립 ○ 시스템 종합 성능 테스트 및 공정 베드 최적화 	25
배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명 ○ 분사형 하이드로겔의 관리 방안 매뉴얼 작성 ○ 심한 토양 수분상태시의 식물에 미치는 영향 평가 	25
강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 현장 처리 효율 조사(계속) 및 지속성 평가 ○ 하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가 ○ 극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가 	25

2) 연구계획대비 진도표

(1) 1단계 1차년도 연구계획대비 진도표

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배실험 및 시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조					→	→	→	→	→	→	→	→	*	100
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립								→	→	→	→	→	→	100
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조(육묘,분화,토경용)								→	→	→	→	→	→	100
(주)신성미네랄 상토회사와 NDA, MOU 계약								→	→	→	→	→	→	100
다양한 수분 함유량을 가지는 입자형 하이드로겔 제조				→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	100
입자형 하이드로겔의 대량생산을 위한 기초 공정 확립						→	→	→	→	→	→	→	→	100
수분 함유량 조건 별 대량생산을 위한 제조 조건 확립									→	→	→	→	→	100
하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화						→	→	→	→	→	→	→	*	100
육묘 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명						→	→	→	→	→	→	→	*	100
분화 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명						→	→	→	→	→	→	→	*	100
하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사						→	→	→	→	→	→	→	*	100
하이드로겔 적정 토양 처리 조건 확립						→	→	→	→	→	→	→	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

(2) 1단계 2차년도 연구계획대비 진도표

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
구명된 입자형 하이드로겔의 대량 생산 시스템 구현 테스트		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립(육묘용, 분화용, 토경용)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔의 투입 기기 개발 및 상토, 부숙유기질 비료(퇴비) 혼합비 구명			→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100	
작물 재배 농가에 적용하여 재배시험			→	→	→	→	→	→	→	→				100	
㈜신성미네랄 상토회사와 실제계약을 통한 다기능 하이드로겔을 혼합한 상토 생산								→	→	→	→	→	→	100	
이온성 Polymer의 합성 공정 최적화		→	→	→	→	→	→	*	*	*	*	*	*	100	
이온성 Polymer의 합성		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100	
이온성 Polymer의 Sol-Gel 전이 현상 구명							→	→	→	→	→	*	*	100	
이온성 Polymer의 농도에 따른 점도 변화 분석							→	→	→	→	→	→	*	100	
이온성 Polymer의 전하 비율에 따른 물리적 특성평가								→	→	→	→	→	→	100	
하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서 센서 사용 표준화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100	
입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 육묘 재배 고도화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100	
입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 분화 재배 고도화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100	
현장 토양에 고흡수성 나노복합체 하이드로겔 처리 및 효율 조사		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100	
하이드로겔의 효율 비교 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100	
총 진도율														100	
* → 로 진도표기															

(3) 2단계 1차년도 연구계획대비 진도표

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
입자형 하이드로겔 제조 및 상토, 부속유기질비료(퇴비) 혼합 고도화		→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100
입자형 하이드로겔 자동화 제조 시스템 구축		→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	*	*	100
입자형 하이드로겔(육묘용, 분화용, 토경용) 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
한국생산기술연구원의 반응기를 통해 분사형 하이드로겔 제조 테스트					→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
분사형 하이드로겔 토양 적용 모의실험					→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
입자형, 분사형(액상형) 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화				→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100
분사형(액상형) 하이드로겔의 분사 시스템(유량, 압력 등) 조립		→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100
시스템 종합 성능 테스트 및 공정 베드 최적화						→	→	→	→	→	→	→	→	100
분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
분사형 하이드로겔의 관리 방안 매뉴얼 작성				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
심한 토양 수분상태시의 식물에 미치는 영향 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
하이드로겔 현장 처리 효율 조사(계속) 및 지속성 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

3) 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

(1) 1단계 1차년도 수행 과정 및 수행 내용

가. [주관연구기관 _ (주)테라그린 _ 1단계 1차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 (입자형 하이드로겔 제조 시험 및 사업화 준비)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배실험 및 시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조					→	→	→	→	→	→	→	→	*	100
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립								→	→	→	→	→	→	100
한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조								→	→	→	→	→	→	100
(주)신성미네랄 상토회사와 NDA, MOU 계약								→	→	→	→	→	→	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 제조 시험

- 사업화를 위해서는 소량의 합성이 아닌 대량 생산단계의 공정의 최적화 반응 환경조건의 규명이 필요함. 한국화학융합시험연구원(이하 KTR)은 하이드로겔의 반응기를 보유하고 있으며, 반응조건 최적화 시설을 보유하고 있음.
- 테라그린과 KTR은 하이드로겔 파일럿 제조 및 Scale-up을 위한 계약서를 체결하고 실무 담당자와 협의하여 하이드로겔 제조 일정을 논의함.
- 테라그린은 하이드로겔 제조를 위한 소재를 수입하기 위해 화학소재 취급 업체인 켐바이오, 유니소재와 계약하여 KTR에서 소재를 받기로 함.
- 하이드로겔 제조 소재를 8월에 KTR이 받아 샘플 제조를 다음의 과정으로 수행함.

○ Acrylic acid 염 단량체 제조

얼음 bath에서 acrylic acid(AAc) 수용액을 제조과 potassium carbonate를 섞어 교반시켜 AAc의 카복실산에 있는 수소(H)를 칼륨(K)으로 치환시켜 Acrylic acid 염(KA) 단량체가 제조됨.

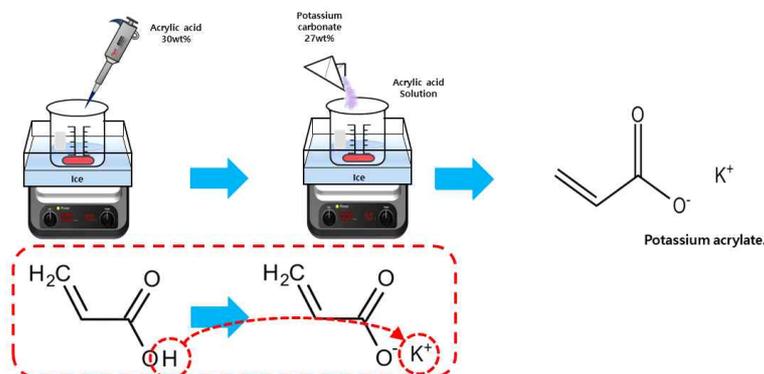


그림 5. 단량체 Potassium acrylate(KA)의 제조과정

○ 입자형 하이드로겔 제조

비이커에 증류수와 라포나이트 및 분산제(Sodium pyrophosphate tetrabasic)을 섞어 라포나이트를 완전히 분산시킨 후 단량체인 N,N-dimethylacrylamide(DMAAm) 및 KA를 KA:DMAAm=0:10 ~ 6:4 비율로 라포나이트를 분산시킨 수용액에 첨가함. 개시제 potassium persulfate(KPS) 및 촉매 N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine(TEMED)를 넣어 섞어 준 후 오븐에서 가교시켜 하이드로겔을 제조함. 하이드로겔을 토양개량제로서 사용하기 위한 최적의 조건을 찾기 위해 단량체와 라포나이트의 함량을 다양하게 하여 제조를 진행함. 제조된 하이드로겔의 이름은 단량체 KA, DMAAm의 비율에 따라 지정됨.

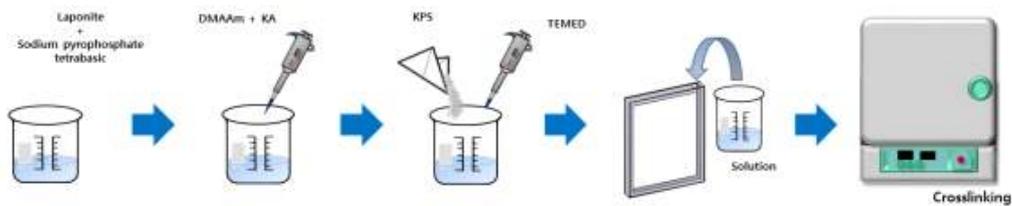


그림 6. 입자형 하이드로겔의 제조 과정

○ 입자형 하이드로겔의 파우더 제조

국외의 TerraCottem[®]과 비슷한 형태로 제조하기 위해 제조된 하이드로겔을 충분히 열풍 건조시켜 수분이 남아있지 않도록 한 후 증류수에 오랫동안 침지하여 잔존해 있는 물질들을 제거함. 이후 다시 충분히 열풍 건조시켜 수분이 남아있지 않도록 한 후 믹서기를 이용해 분쇄하여 파우더 형태의 하이드로겔을 제조함.

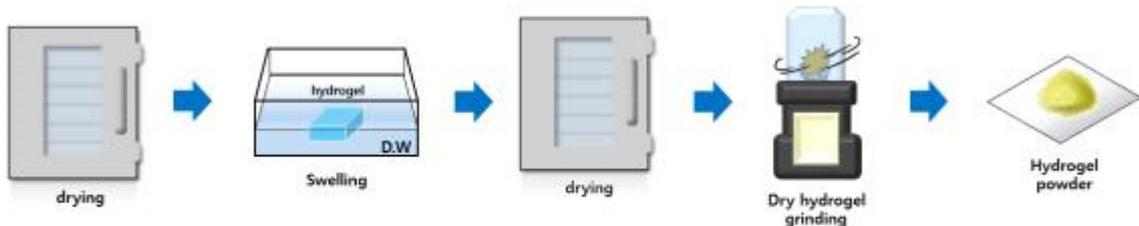


그림 7. 입자형 하이드로겔의 제조 과정

○ KTR의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립(육묘,분화,토경용)

- 하이드로겔의 농업적 이용을 위해서는 다양한 기능을 가진 제품이 개발되어야 함. 하이드로겔에 다양한 기능을 부여하기 위해서는 제조 과정 방법을 다르게 하여 각 용도에 맞는 제조 조건을 확립하여야 함.
- 작물의 생육 단계 및 재배 환경에 따라 필요한 토양개량제는 다를 수밖에 없음. 각각의 조건에 필요한 하이드로겔 또한 달라지므로 여러 가지의 조건을 충족할 수 있는 전문적인 제품이 필요함. 따라서 육묘용, 분화용, 토경용 등 세가지 용도의 하이드로겔 생산 제조 조건을 확립함.
- 육묘는 개별 육묘트레이의 사이즈가 작아 세심한 물관리가 요구되는 작업임. 육묘용 하이드로겔의 팽윤도는 300g/g의 높은 수분 흡수율을 보유하여 물관리 작업에 소요되는 비용을 절감하고 출하일수를 단축시키며 고품질 묘를 생산할 수 있을 것이라 생각됨.
- 분화는 개별 화분의 사이즈가 다양하고 화훼, 채소 등 사용 분야가 다양하여 범용적으로 사용이 가능한 하이드로겔을 생산하는 것이 바람직할 것으로 판단됨. 분화용 하이드로겔의 팽

윤도는 200g/g의 수분 흡수율을 보유하여 다양한 화분에서 안정적인 수분공급과 미세공극을 제공해주어 뿌리의 빠른 활착과 성장을 도와줄 수 있을 것으로 판단됨.

- 토경은 필수적으로 경운 작업이 동반되어야 하기 때문에 단단한 물성을 기반으로 하이드로겔이 제조되어야 함. 토경용 하이드로겔의 팽윤도는 100g/g의 수분 흡수율을 보유하여 노지 토양에서 경운 작업에 파괴되지 않는 단단함을 보유하면서 적절한 수분보유를 통해 건조시기에도 작물의 생육을 도모하여 수확량을 증가시킬 것으로 판단됨.
- 하이드로겔의 팽윤도는 단량체 함량 또는 KA:DMAAm 단량체 함량비를 다르게 하여 변화시킬 수 있는 요인임. 사전 실험을 통해 선발된 함량비는 다음과 같음.

표 2. 육묘용, 분화용, 토경용 하이드로겔 선발 함량비

구분	단량체 함량(wt%)	KA:DMAAm 단량체 함량비(wt%)
육묘용	20	0.25:9.75
분화용	20	2:8
토경용	20	3:7

- 선발된 함량비는 하이드로겔 제조 과정에서 각 용도에 맞는 조건으로 사용되며 결과물의 분석을 통해 성능지표를 만족하지 못할 경우 함량비는 달라질 수 있음.

○ KTR의 반응기를 통해 재배실험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조

- KTR 반응기를 통한 하이드로겔 제조는 다음의 과정으로 수행됨.

○ Potassium acrylate 단량체 제조

증류수 2000mL에 Acrylic acid 805.7mL를 첨가하여 수용액을 제조함. 제조된 수용액에 Potassium carbonate 758g을 천천히 첨가하고 생기는 기포가 모두 제거된 뒤 밀폐 보관함.



그림 8. 입자형 하이드로겔 제조 소재(Acrylic acid(좌), Potassium carbonate(가운데), Laponite(우))

○ 하이드로겔 제조

Laponite 400g과 Sodium pyrophosphate tetrabasic(분산제) 30.4g을 증류수 8600mL에 첨가하여 녹인 후 Potassium acrylate 2620g과 Dimethylacrylamide 1920mL를 첨가하여 섞어 줌. 제조된 수용액에 Potassium persulfate(KPS) 33g을 첨가하여 녹인 뒤 TEMED 0.04mL를 첨가하여 섞어준 후 밀폐 후 40°C에서 24시간 가교 시킴.



그림 9. 입자형 하이드로겔 제조(라포나이트 분산(좌), 개시제 및 촉매 첨가(가운데), 24시간 가교(우))

○ 하이드로겔 파우더 제조

가교 후 80°C에서 건조 시키고 건조된 하이드로겔을 충분한 양의 물에서 팽윤시키고 침지하여 잔존해 있는 불순물을 제거함. 팽윤된 하이드로겔을 잘게 부수고 80°C에서 다시 건조시킨 후 믹서기를 이용해 분쇄하여 입자 형태의 하이드로겔을 제조함.

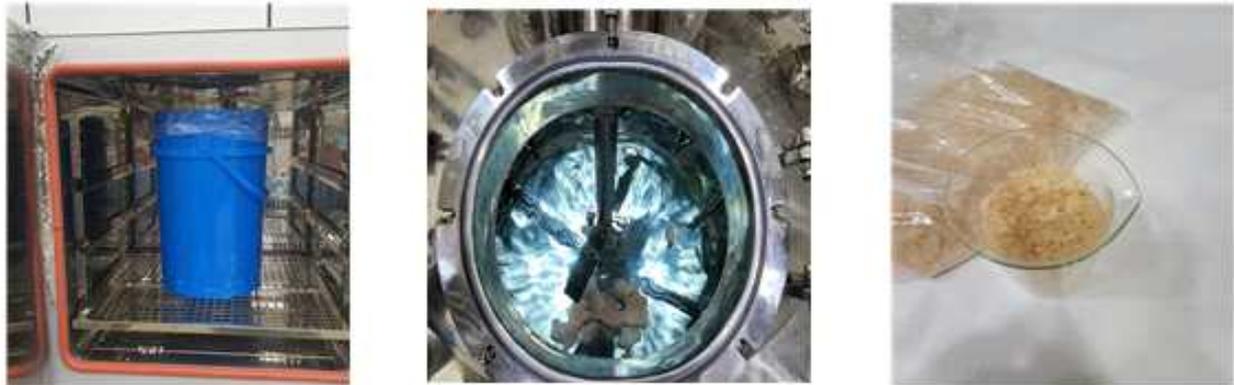


그림 10. 입자형 하이드로겔 파우더 제조(80°C 건조(좌), 팽윤 및 불순물 제거(가운데), 입자형 하이드로겔(우))

- KTR 반응기는 동시에 여러 가지 다양한 함량비의 하이드로겔을 제조할 수 없어서 한남대학교와 공동 제조하였고, 제조된 하이드로겔은 배재대학교와 강원대학교에 재배실험을 위한 재료로 제공됨.

○ (주)신성미네랄 상토회사와 비밀유지계약(NDA), 업무협약(MOU)계약을 통한 사업화 준비

- 다기능 하이드로겔 사업화를 위한 제품군 중 하나인 상토를 생산하기 위한 준비과정으로 1998년부터 원예용 상토를 생산해 작년 매출 기준 250억을 달성한 기업인 (주)신성미네랄과 비밀유지계약(NDA) 및 업무협약(MOU)을 체결함.
- 2022년도에 예정된 사업화 제품 중 부속유기질비료(퇴비)는 생산 라인을 갖추고 있는 테라그린에서 생산되고 원예용 상토는 (주)신성미네랄에서 생산되어 다기능 하이드로겔이 사용된 제품 출시는 무난할 전망이다.

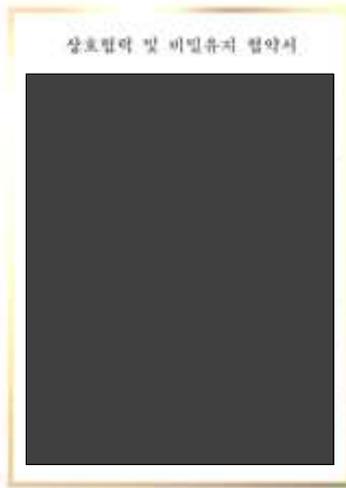


그림 13. 업무협약 체결식(21. 7. 1) 및 업무협약서

나. [공동연구기관 _ 한남대학교 _ 1단계 1차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 (토양 개량용 고분자 하이드로겔 제조 및 특성 분석)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
다양한 수분 함유량을 가지는 입자형 하이드로겔 제조					→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	100
입자형 하이드로겔의 대량생산을 위한 기초 공정 확립							→	→	→	→	→	→	→		100
수분 함유량 조건 별 대량생산을 위한 제조 조건 확립											→	→	→	→	100
총 진도율														100	
* → 로 진도표기															

○ 다양한 수분함유량을 가지는 고 흡수성 나노복합체 하이드로겔의 제조

- 하이드로겔은 순수 토양에서 자라는 식물보다 장기간 동안 수분을 유지시키는 역할을 함. 그러나 수분을 흡수하는 과정에서 하이드로겔의 크기가 커지며 지반의 형태를 급격히 변화시키는 등의 식물 재배에 어려움이 있음. 그에 따라 수분함유량이 100 (g/g)인 하이드로겔을 제조하고자 함.

○ 실험 방법

- 단량체인 DMAAm 및 KA의 함량 과 KA:DMAAm=0:10~6:4 비율로 조정하여 수분함유량(팽윤도)이 100 (g/g)인 하이드로겔을 제조하고자함. 또한, 개시제 KPS 및 촉매 TEMED는 동일하게 진행됨.
- 또한, 수분함유량의 경우 연구에서 진행된 동일한 샘플을 각각 준비하여 팔콘튜브에 일정량의 하이드로겔 파우더와 증류수를 넣어 최대로 수분을 흡수할 때까지 충분히 침지시킨 후 수분을 흡수한 각각의 하이드로겔의 무게를 측정

$$\text{Swelling ratio} = (W_s - W_d) / W_d$$

* W_s는 수분을 최대한 흡수한 하이드로겔의 무게이며, W_d는 건조한 하이드로겔의 무게.

- 다음과 같은 수식을 이용하여 수분 함유량을 측정함. 각 샘플의 반복실험횟수는 3회로 진행됨.

○ 실험 결과

가) 다양한 수분 함유량을 가지는 하이드로겔 제조를 위한 단량체의 비율 조정

- 수분 함유량이 100 (g/g)을 나타내는 하이드로겔의 조건을 확립하기 위해 단량체인 DMAAm 및 KA의 함량을 20 wt%에서 30 wt%로 증가하여 진행되었으며 단량체의 비율은 KA:DMAAm=0:10~2:8 비율로 진행됨. 결과는 다음 그래프와 같이 기존 20 wt%와 비교하여 30 wt%일 때, 단량체가 증가됨에 따라 수분함유량이 감소됨을 예측하였으나 수분함유량이 증가하는 거동을 나타냄. KA:DMAAm=2:8 의 경우 20 wt%일 때 수분 함유량이 230 (g/g)을 보이거나 30 wt%의 경우 수분 함유량이 약 400 (g/g)을 나타냄.

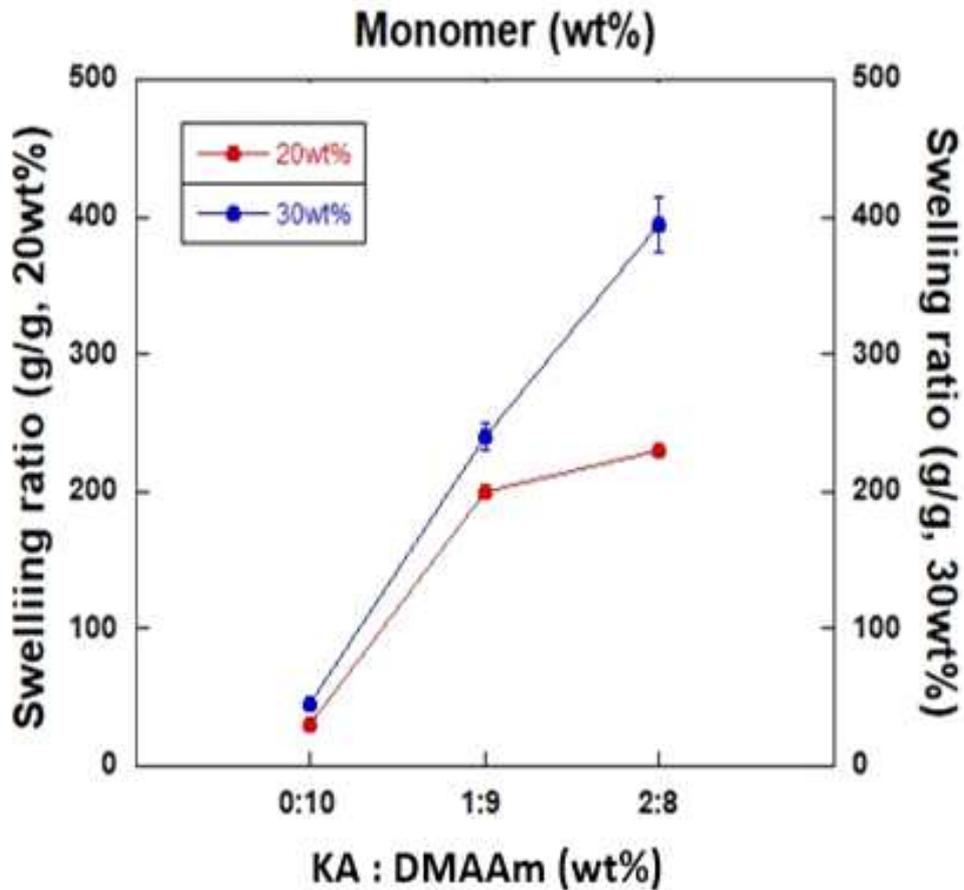


그림 14. DMAAm 및 KA의 함량(20 wt%, 30 wt%)별 수분 함유량 비교 그래프

나) 다양한 수분 함유량을 가지는 하이드로겔 제조를 위한 단량체 함량 및 비율 조정

- 수분 함유량이 100 (g/g)을 나타내는 하이드로겔의 조건을 확립하기 위해 단량체 함량을 20 wt%로 고정하여 진행되었으며 단량체의 비율은 KA:DMAAm=0:10~0.75:9.25 비율로 진행됨. 결과는 (그림 13a)와 같이 이온성 단량체인 KA의 함량이 증가함에 따라 하이드로겔 내에 이온들의 반발로 인해 수분 흡수 공간이 넓어져 팽윤도가 증가하는 거동을 보임. 그러나 단량체 함량이 20 wt% 일 때 보다 수분 함유량이 더 높게 나타남.
- (그림 13b)의 경우 단량체 함량을 40 wt%로 고정하여 진행되었으며 단량체의 비율은 KA:DMAAm=0:10~0.75:9.25 비율로 진행된 결과이며, 기존 실험에서 단량체를 20wt%에서 30wt%로 증가 시켰을 때 팽윤도가 증가하는 거동을 보였으나, 40wt%로 증가 시켰을 때는 오히려 팽윤도가 줄어드는 경향을 보임. 이러한 거동에 대해 일반적인 하이드로겔의 수분함유량은 단량체가 증가함에 따라 결합 사슬이 증가하여 팽윤도가 감소되지만 하이드로겔은 일정수치까지의 단량체 증가는 팽윤도가 증가하고 일정 수치 이상에서는 팽윤도가 감소하는 거동을 보이는 것으로 판단됨.
- 단량체의 함량(30 wt%, 40 wt%)을 조정하였으나 변화가 크게 나타나지 않았기 때문에 경제적인 부분을 고려하여 단량체의 함량을 20 wt%로 고정한 뒤, KA:DMAAm 비율을 이전 데이터를 바탕으로 KA:DMAAm=0:10~1:9로 조정하여 (그림 13c)와 같은 결과를 도출함. KA:DMAAm=0.25:9.75에서 수분 함유량이 98.05 ± 2.49 (g/g)으로 나타남. 이전에 실험된

KA:DMAAm=0.25:9.75 조건에서 단량체의 함량이 20~40 wt%일 때의 수분 함유량 그래프로 단량체 함량 증가에 따른 경향성이 나타나지 않았기 때문에 추가적인 실험을 필요로 함 (표3).

- 또한, 기존의 수분함유량이 200 (g/g) 및 300 (g/g)으로 나타났을 때보다 수분 함유량이 큰 쪽으로 감소하여 추가적으로 수분 함유량이 150 (g/g)을 가지는 하이드로겔 제조 조건 확립을 필요로 함. 그에 따라, 수분 함유량이 150(g/g)을 나타내는 하이드로겔을 제조하고자 단량체 함량을 20 wt%로 고정하고 단량체 비율은 이전 데이터를 바탕으로 KA:DMAAm=0.25:9.75~0.5:9.5 비율로 진행됨. 결과는 (그림 13d) 와 같이 수분함유량이 150 (g/g)을 나타내는 구간은 단량체 비율이 KA:DMAAm=0.45~0.475:9.55~9.525 사이일 때 확인되었으나, 단량체 비율이 KA:DMAAm=0.35:0.965부근에서 그래프 Peak가 급격히 오르거나 KA:DMAAm=0.475:9.525에서 낮아지는 등 경향성을 보이지 않음.
- 이는 수분 함유량에 직접적으로 영향이 가는 KA함량의 조절이 잘 이루어지지 않은 것으로 판단됨. 따라서 수분 함유량이 150 (g/g)을 제조하기 위해 추가적인 실험을 필요로 함. 추가적으로, 단량체 함량에 따라 기계적 강도가 변하기 때문에 단량체 함량에 따른 하이드로겔의 기계적 강도를 제어하기 위해 단량체 함량을 30 wt%와 40 wt%로 증가하여 팽윤도 100 (g/g)를 하이드로겔을 제조하고자 단량체 함량이 30 wt%일 때, KA:DMAAm=0:10~0.25:9.75로 진행하였으며 40 wt%는 KA:DMAAm=0:10~0.25:9.75로 비율을 조정하여 (그림 13e, f)와 같은 결과를 도출해냄. (그림 13e)의 경우, KA:DMAAm=0.225:9.775와 0.2:9.8 일 때 각각 수분 함유량이 100.4 ± 7.6 (g/g) 및 98.3 ± 3.5 (g/g)으로 확인됨.
- 또한, KA:DMAAm=0.225:9.775은 평균 100.4 (g/g)으로 확인되었으나 표준 편차가 7.6으로 나타났으며 KA:DMAAm=0.2:9.8의 경우 98.3 (g/g)으로, KA:DMAAm=0.225:9.775일 때 보다 평균 수분 함유량이 차이나지만 표준편차가 2배가량 낮은 일정함을 보임. (그림 13f)는 KA:DMAAm=0.275:9.725일 때 104.7 ± 1.78 (g/g)으로 나타남.

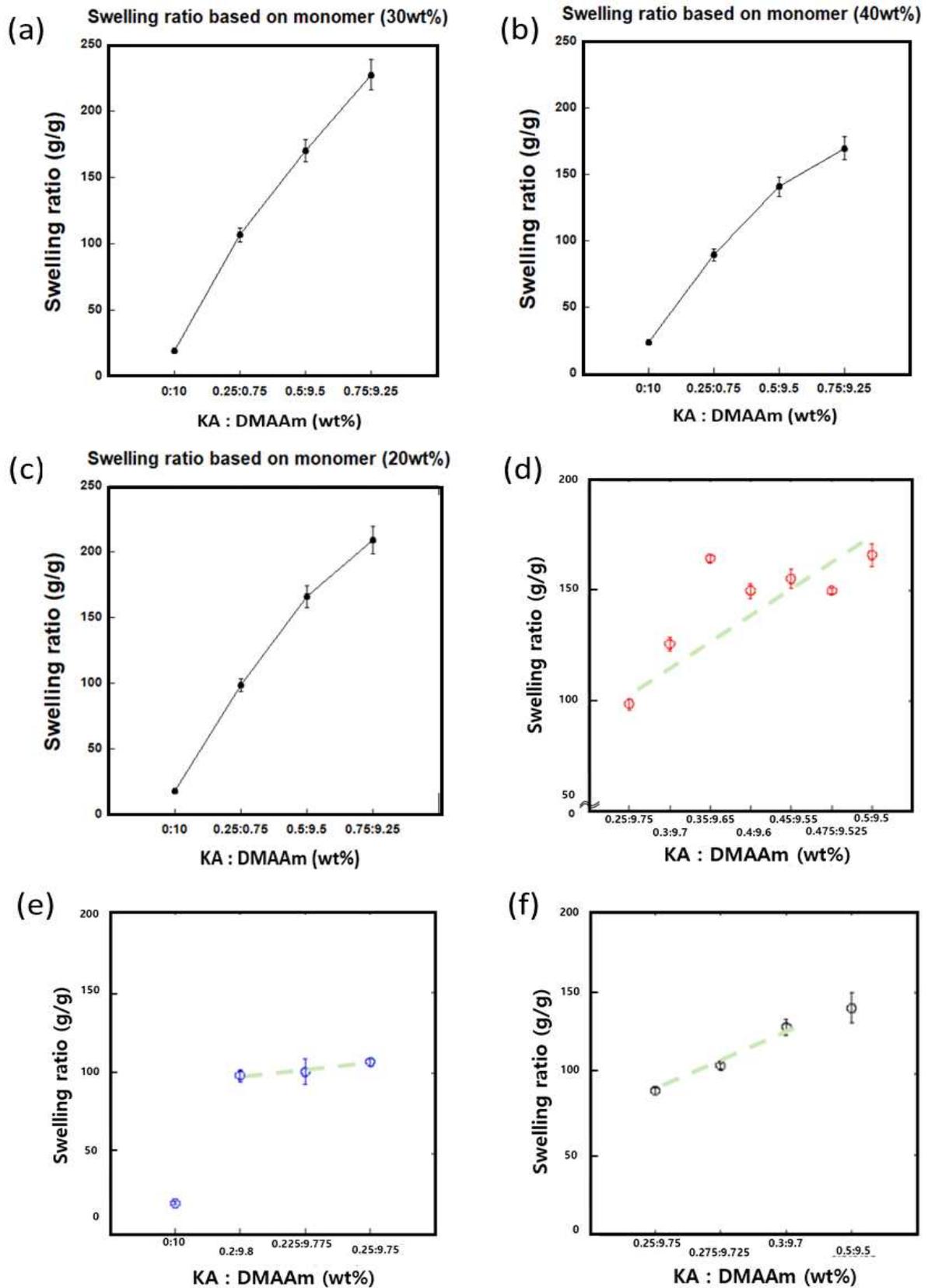


그림 15. 단량체 함량 및 비율을 변경하여 진행된 하이드로겔의 팽윤도; (a~c) 단량체 함량에 따른 팽윤도, (d) 단량체 함량 20 wt%일 때, 단량체 비율에 따른 팽윤도, (e) 단량체 함량 30 wt%일 때, 단량체 비율에 따른 팽윤도, (f) 단량체 함량 40 wt%일 때, 단량체 비율에 따른 팽윤도

표 3. 단량체 함량 및 단량체 비율 별 팽윤도 표

단량체 함량	단량체 비율 KA:DMAAm			
	0:10	0.25:0.75	0.5:9.5	0.75:9.25
20 wt%	17.84 ± 0.32	98.05 ± 2.49	166.15 ± 5.23	209.12 ± 4.41
30 wt%	19.16 ± 1.00	106.68 ± 2.87	169.99 ± 3.66	227.29 ± 3.12
40 wt%	23.42 ± 2.09	89.33 ± 2.04	140.75 ± 9.03	169.75 ± 7.50

○ 입자형 하이드로겔의 대용량 제조 시 재현성 평가

- 수분 함유량이 100 (g/g)을 나타내는 하이드로겔의 조건은 단량체 함량 20 wt% 및 단량체 비율이 KA:DMAAm=0.25:9.75에서 수분 함유량이 98.05 ± 2.49 (g/g)으로 나타남을 확인하였으며, 그에 따라 실험 스케일을 증가(100mL → 3000mL)하여 대용량 제조 시 수분 함유량이 100 (g/g)을 나타내는지 재현성을 확인하기 진행됨. 결과는 다음 오른쪽 그래프와 같이 수분 함유량이 98±3.5 (g/g)으로 재현성을 나타내는 것을 확인함.

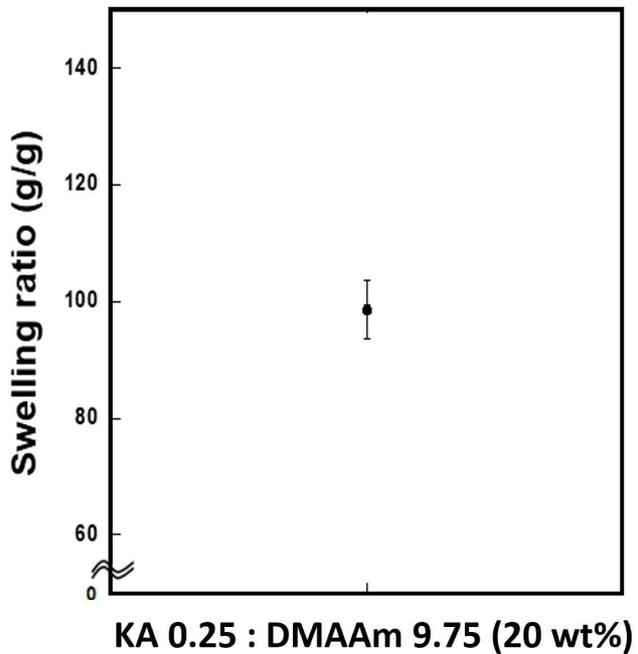


그림 16. (좌) 건조 중인 하이드로겔 (우) 단량체 함량 20 wt% 및 단량체 비율이 KA:DMAAm=0.25:9.75 일 때 3000mL 스케일에서의 수분 함유량 그래프

○ 온도 변화에 따른 나노복합체 하이드로겔의 건조 시간 측정

- 80°C와 110°C인 환경을 조성하여 하이드로겔의 팽윤도가 100, 200, 300일 때 건조 시간의 차이를 알아보기 위하여 실험을 진행함. 팽윤도 변화에 따른 각각의 샘플은 단량체 함량을 20 wt%로 고정하고 단량체의 비율은 이전에 확립된 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g), 300 (g/g)을 기준으로 KA:DMAAm=0.25:9.75, 2:8, 3:7로 진행됨. 방법은 제조된 하이드로겔을 증류수에 침지하여 최대한 수분을 흡수한 샘플의 건조율을 측정하기 위해 각 온도 환경에서 일정시간 마다 샘플의 건조율을 측정하며 하루 동안 실험을 실시하였으며 측정된 수분의 정도는 %로 나타냄. 실험의 결과는 아래 그래프와 같이 80°C에서 건조한 왼쪽 그래프의 경우 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g)인 하이드로겔은 비슷한 건조 거동을 보이며 5

시간 안에 건조가 되지만 팽윤도 300 (g/g)인 하이드로겔은 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g)인 하이드로겔 보다 많은 수분을 유지하고 다른 팽윤도를 갖는 하이드로겔 보다 긴 8시간 동안 건조가 이루어짐. 110℃에서 건조한 오른쪽 그래프의 경우 왼쪽 그래프와 비슷한 거동을 보이거나 낮은 수분을 유지해 빠르게 건조되어 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g)은 3시간 안에, 팽윤도 300 (g/g)의 경우 5시간 안에 건조가 나타남.

- 이를 통해 온도변화에는 수분유지 차이에 의해 110℃에서 약 2시간 빠르게 건조가 이루어짐. 또한, 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g)은 미미한 차이를 갖고 있지만 팽윤도가 300 (g/g)인 하이드로겔은 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g)인 것보다 더 오랫동안 많은 수분을 유지할 수 있음.

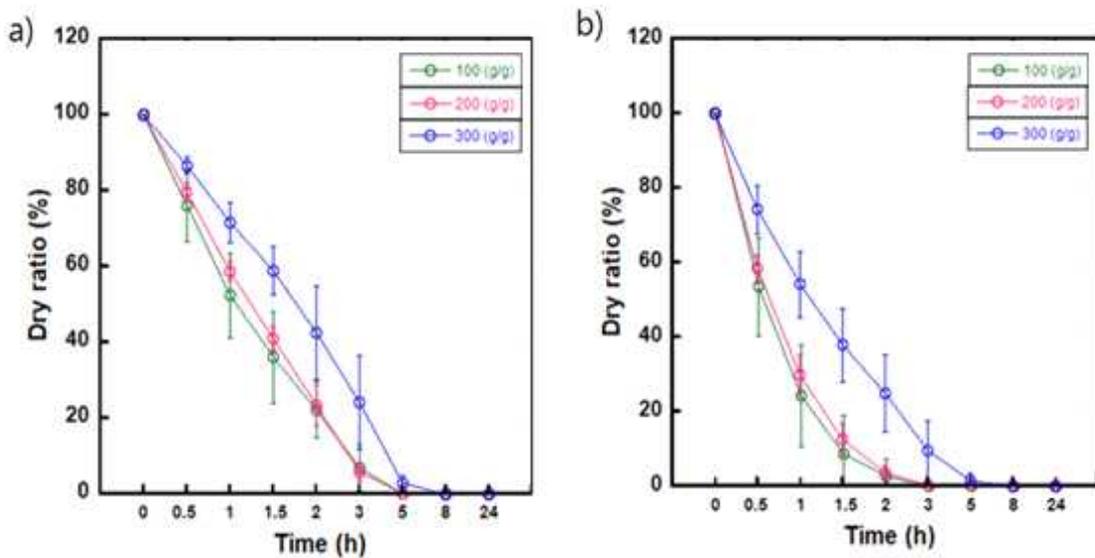


그림 17. 온도 변화에 따른 하이드로겔 건조율 측정 그래프 (좌) 80℃, (우) 110℃

○ 온도 변화에 따른 팽윤 거동 측정

- 단량체 함량 20 wt% 기준, 단량체 비율이 KA:DMAAm=3:7인 팽윤도 300 (g/g)를 나타내는 하이드로겔의 온도에 따른 팽윤 거동을 알아보기 위해 4℃, room temperature (RT, 25℃), 40℃의 온도 조건하에 실험을 실시함. 일반적으로 팽윤을 시키는 온도인 RT의 온도에서의 팽윤 거동을 비교하기 위해 차가운 냉장온도와 상온보다 약간 높은 물 온도인 4℃, 40℃의 온도를 임의로 설정하였으며 충분한 팽윤이 일어나는 하루 동안 일정 시간에 샘플 무게를 측정하여 실험을 진행함.
- 아래 왼쪽 그래프의 경우 팽윤되는 시간적인 거동을 나타내기 위해 비율로 표시하였고 오른쪽 그래프는 온도변화로 인한 팽윤된 양을 알아보기 위해 온도와 팽윤 무게로 표시하고 있음. 왼쪽 그래프에서 초반 40℃일 때 큰 폭으로 팽윤도 상승을 보이며 RT, 4℃는 비슷한 거동을 보임. 초기 40℃에서 큰 폭으로 팽윤도가 상승한 이유는 다른 온도보다 40℃일 때 분자간의 움직임이 활발하며 샘플은 건조된 상태이기 때문에 수분을 빠르게 흡수하여 큰 폭으로 상승했을 것이고 많은 양의 수분을 흡수한 뒤에는 샘플 안의 물의 분자 운동도 활발해 지고 흡수할 수 있는 양이 적어서 팽윤도가 느리게 증가하는 것으로 예상 할 수 있음.
- 오른쪽 그래프의 경우 온도가 상승 할수록 팽윤 값이 커지는 거동을 보이고 있음. 이는 왼쪽 그래프와 같이 온도에 따른 물 분자의 움직임성이 높아져 더 많은 양의 물을 흡수함을 예상할 수 있음.

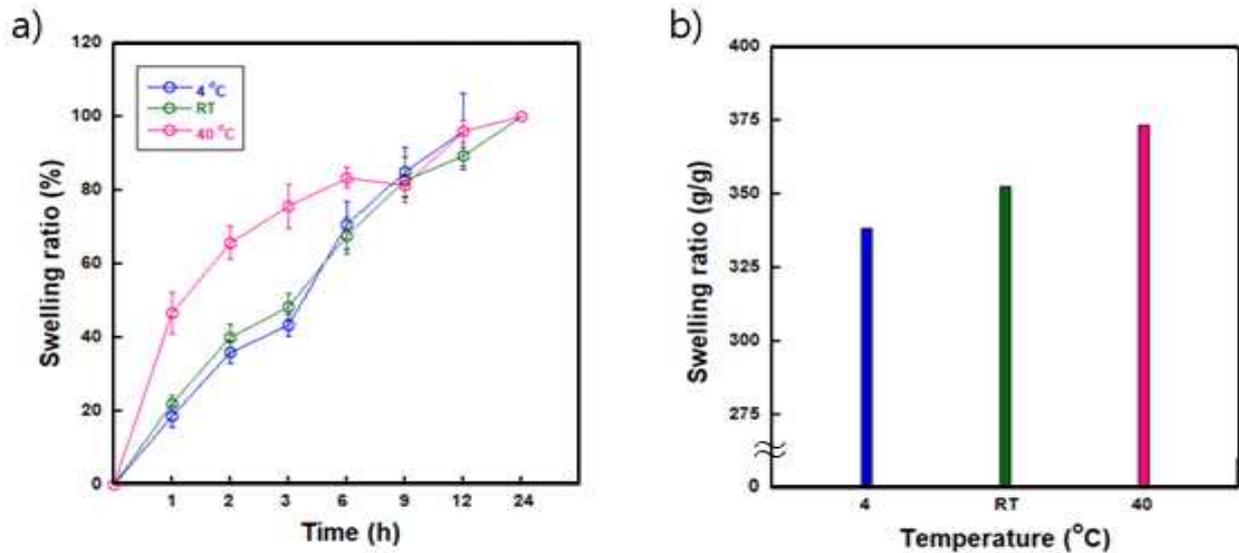


그림 18. 온도 변화에 대한 팽윤도 그래프. (좌) 온도에 따른 시간별 팽윤도 그래프, (우) 온도에 따른 최종 팽윤도 그래프

○ pH에 따른 팽윤 거동 확인

- 다양한 pH에 따른 하이드로겔의 팽윤 거동을 확인하고자 실시함. pH는 강산부터 중성 강염기까지 범위가 크지만 이번 실험에서는 토지가 산 또는 염기에 오염된 상황을 보기 위해 강산과 강염기를 제외한 pH 5~9의 범위로 설정하였으며 각 pH 수용액에 단량체 함량 20 wt% 기준, 단량체 비율이 KA:DMAAm=3:7인 팽윤도 300 (g/g)를 나타내는 하이드로겔을 하루 동안 침지 시켜 충분히 팽윤을 시킨 후 팽윤된 하이드로겔의 무게를 측정하여 비교함. 또한, 하이드로겔을 기존에 팽윤시키기 위해 사용된 물은 1차 증류수이며 pH는 5.7을 나타냄. 실험의 결과는 pH에 따라 약간의 팽윤도 차이를 보이긴 하지만 거의 유사한 거동을 보이며 팽윤도 300 (g/g)에 근접한 값을 보임. 따라서 하이드로겔의 팽윤 거동은 pH에 영향을 크게 받지 않는 것으로 보임.

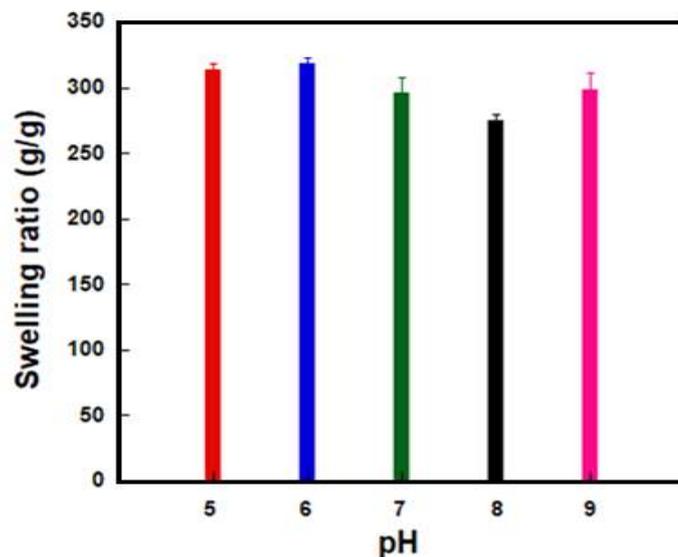


그림 19. pH조건에 따른 단량체 함량 20 wt% 및 단량체 비율 KA:DMAAm=3:7의 조건의 하이드로겔 팽윤 거동 그래프

○ KTR 장비를 이용하여 제조된 입자형 하이드로겔의 재현성 평가

- 추 후, 상품화를 위한 대량생산을 위해 KTR 장비의 시험을 위해 KTR 장비를 이용하여 단량체 함량 20 wt% 기준, 단량체 비율이 KA:DMAAm=3:7인 팽윤도 300 (g/g)를 나타내는 하이드로겔을 제조하고자함. 시약의 경우 기존 시약이 사용됨. 이 때, KTR 장비는 랩 스케일이 아닌 대량 생산을 목적으로 하는 장비이며 기존 장비가 아닌 새로운 장비를 사용하기 때문에 재현성 평가를 위해 진행됨. 결과는 아래 그래프와 같이 기존 장비를 사용했을 때와 비슷한 팽윤 거동을 보이며 재현성이 나타남을 확인 함.

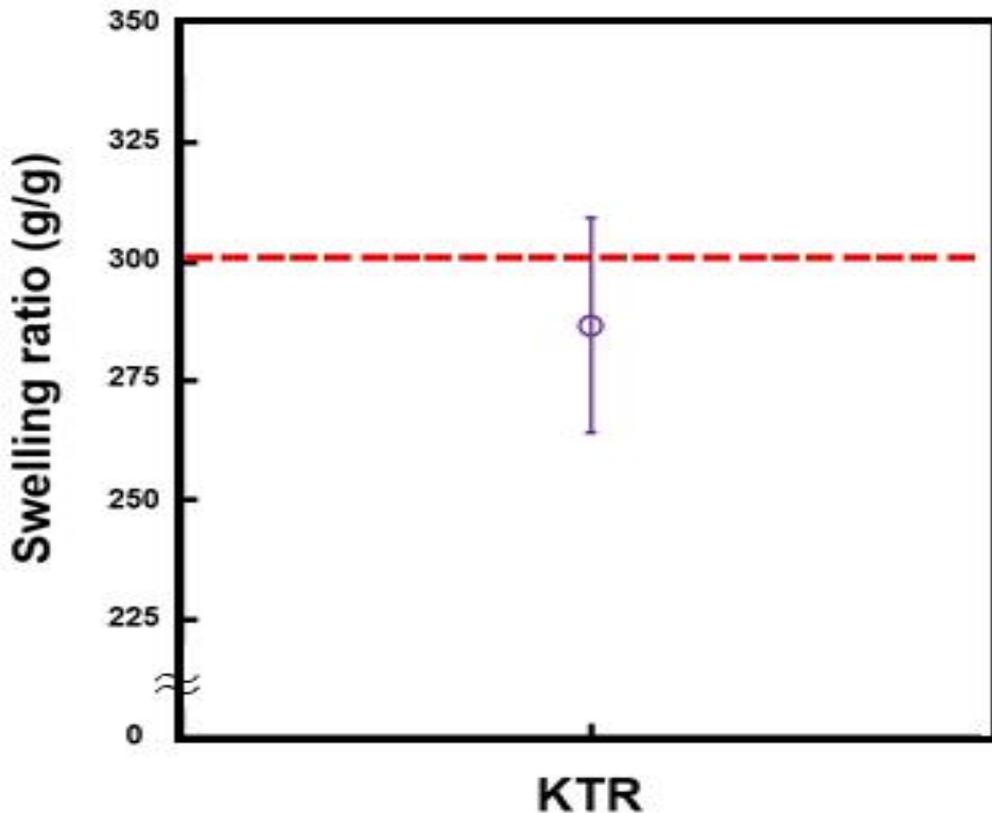


그림 20. KTR 장비를 이용하여 제조된 단량체 함량 20 wt% 및 단량체 비율 KA:DMAAm=3:7의 조건의 하이드로겔의 팽윤 그래프

○ 시약 변경으로 인한 입자형 하이드로겔 팽윤도 재현성 평가

- 제조 원가 절감을 위한 시약 변경으로 인한 팽윤도 변화를 확인하고자 진행됨. 또한, 단량체 함량을 20 wt%로 고정하고 단량체의 비율은 이전에 확립된 팽윤도 100 (g/g), 200 (g/g), 300 (g/g)을 기준으로 KA:DMAAm=0.25:9.75, 2:8, 3:7로 진행됨. 실험 결과는 아래의 그래프와 같이 변경된 시약으로 하이드로겔 제조된 샘플의 팽윤도를 기존 시약과 비교 하였을 때 팽윤도가 증가된 거동을 확인함. 이는, 팽윤도 시험에 사용된 건조된 겔이 기존보다 더 많은 건조 시간으로 인해 팽윤도 식에 따라 팽윤도가 증가된 것으로 판단됨.

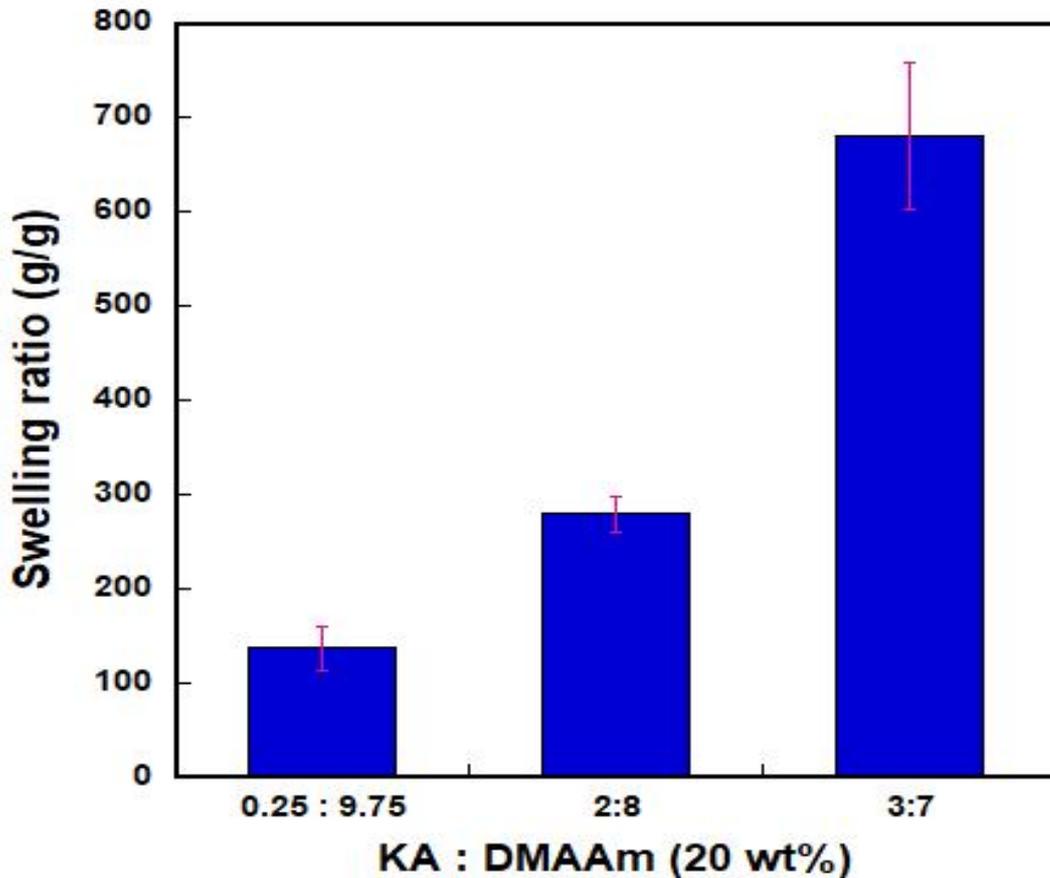


그림 21. 변경된 시약으로 제조된 나노복합체 하이드로겔의 팽윤도 그래프 (이때, 단량체 함량은 20 wt%이며 단량체 비율은 KA:DMAAm=0.25:9.75, 2:8, 3:7)

○ 시약 변경으로 인한 입자형 하이드로겔의 제조 과정 시 온도 변화에 따른 팽윤도 거동 측정

- 제조 원가 절감을 위한 시약 변경으로 인한 팽윤도 변화를 확인하고자 진행됨. 또한, 제조과정 시 건조 시간이 오래 걸리는 문제를 해결하기 위해 건조 온도를 상승시킨 후, 단량체 함량을 20 wt%로 고정하고 단량체의 비율은 KA:DMAAm=3:7로 진행됨. 또한, 건조 과정에서 기존의 온도 80 °C와 건조 시간문제를 해결하기 위해 KTR에서 설정 가능한 최대 온도인 150 °C에서 건조하여 온도에 따른 거동을 확인함. 또한, 팽윤 거동에 중요한 요인인 KA의 영향을 최소화하기 위해 각 샘플의 'n' 값 마다 제조하여 팽윤 거동을 확인함. 결과는 아래 그래프와 같이 80 °C와 150 °C 사이에 ± 10% 범위 안에 존재하는 것으로 보아 건조 시 온도를 상승하여도 하이드로겔에 문제가 나타나지 않는 것으로 판단됨.

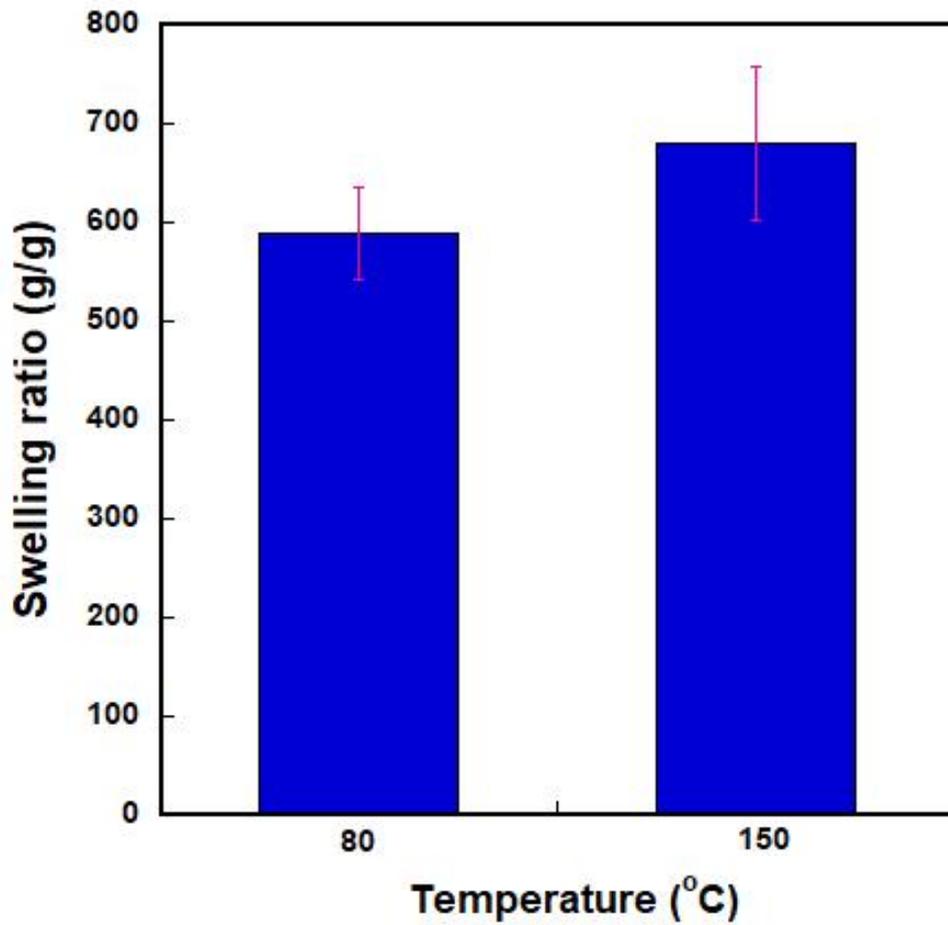


그림 22. 변경된 시약으로 제조된 하이드로겔의 건조 온도에 따른 팽윤도 그래프
(이때, 단량체 함량은 20 wt%이며 단량체 비율은 KA:DMAAm=3:7)

다. [공동연구기관 _ 배재대학교 _ 1단계 1차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 (하이드로겔 적용 연구 및 관수 기준 확립)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화							→	→	→	→	→	→	*	100
육묘 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명							→	→	→	→	→	→	*	100
분화 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명							→	→	→	→	→	→	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 식물의 선정 및 수급

○ 연구 재료 선정

- 하이드로겔이 혼합된 상태에서 육묘 재배실험을 하기 위하여 많이 생산되고 이용이 되고 있는 작물인 상추로 선정하였으며, 파종부터 육묘단계까지 실험을 하기 위하여 종묘사에서 청상추의 종자로 수급하였음. 또한 분화 생산을 위한 재배실험을 위해서는 꽃이 피고 관상가치가 높은 작물인 국화(Pot-mum)를 개화하지 않은 개체의 성묘 상태로 수급하였음.



그림 23. 상추



그림 24. 국화

○ 입자형 하이드로겔

- 하이드로겔을 한남대학교에서 공급받았으며, 팽윤도는 300g/g인 하이드로겔을 사용하였음. 또한 트레이 및 화분에 사용할때에는 부피비로 계산하여 실험을 진행하였음.



그림 25. 공급받은 입자형 하이드로겔

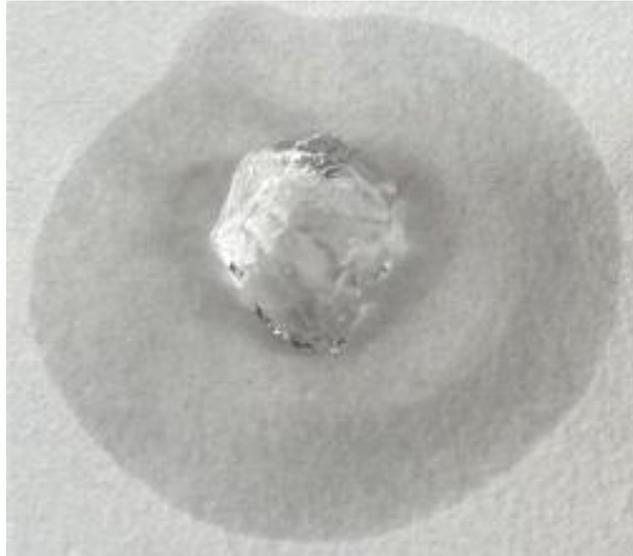


그림 26. 수분을 흡수한 하이드로겔

○ 하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화

○ 토양 수분 결정을 위한 soil moisture retention curve 실험

- 토양의 수분 정도를 나타낼 때 가장 정확한 수치는 토양의 장력(kPa, pF)으로 나타내는 것임. 토양의 장력은 토양의 종류와 관계없이 식물이 실제 물을 이용할 수 있는 토양의 수분 상태를 나타내어 포장용수량, 유효수분, 위조점 등으로 표현될 수 있음. 그런데 자동관수시스템을 이용하기 위해서는 시스템 상 토양 수분의 장력을 측정하는 토양장력계가 아닌 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 또는 TDR(Time Domain Reflectometry) sensor를 사용해야 함. FDR 또는 TDR sensor는 토양의 수분을 부피로 측정하는 토양수분 함량으로 표현됨. FDRsensor는 TDR sensor보다 저렴하면서 토양의 수분함량을 민감하게 측정을 할 수 있어 최근 널리 활용되고 있어 FDR sensor를 선택하였음.
- 토양수분함량은 센서 주위의 토양 부피당 물의 부피를 나타낸 것으로 토양의 종류에 따라 그리고 답압 정도에 따라 변하기 때문에 우리가 실험에 설정한 토양수분함량이 어느 정도의 토양장력을 나타내는지 연관관계를 알아보는 것이 중요함. 향후 다른 연구자가 실험을 진행할 때 참고해야할 수치는 토양수분함량이 아닌 토양의 장력이라는 뜻이라고 말할 수 있음.
- Hyprop(UMS GmbH, Munich, Germany)를 이용하여 moisture retention curve 계산하였음. 토양내의 수분은 자연적인 강우, 인위적인 관수, 증발, 식물의 증산 등 다양한 경로를 통해 변화됨. 수분은 토양이 수분을 잡아당기는 힘과 식물의 뿌리가 잡아당기는 힘의 기울기로 이동을 하게 되는데 토양의 수분장력을 측정하면 이 수분이 식물이 사용할 수 있는 수분인지 사용하지 못하는 수분정도인지를 판단 할 수 있음.



그림 27. Hyprop 구동 모습

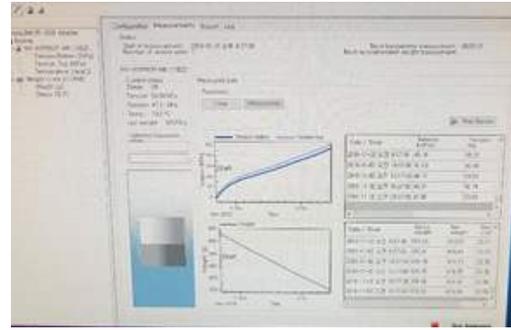


그림 28. moisture retention curve 계산

○ 물성이 다른 하이드로겔의 토양수분센서 모니터링

- 물성이 서로 다른 2가지 하이드로겔(경도가 강한, 경도가 약한)을 강모래와 각각 혼합하여 수분보유의 차이를 확인하였음. 대조구는 시중에 사용되고 있는 테라코템 (TerraCottem) 내에 있는 하이드로겔을 사용하였음. 3가지 종류의 하이드로겔 0.32g 과 강모래 320g을 고르게 섞어 측정하였음. 3개의 센서를 각 화분에 꽂아 토양수분을 모니터링 하였으며, 토양수분함량(VWC)를 측정하여 포화 후 건조되는 정도의 차이와 하이드로겔의 종류에 따라 센서값의 차이를 확인하였음. Hyprop를 통하여서 유효수분함량범위와 토양장력을 측정하였으며, 센서의 보정식을 구하였음.

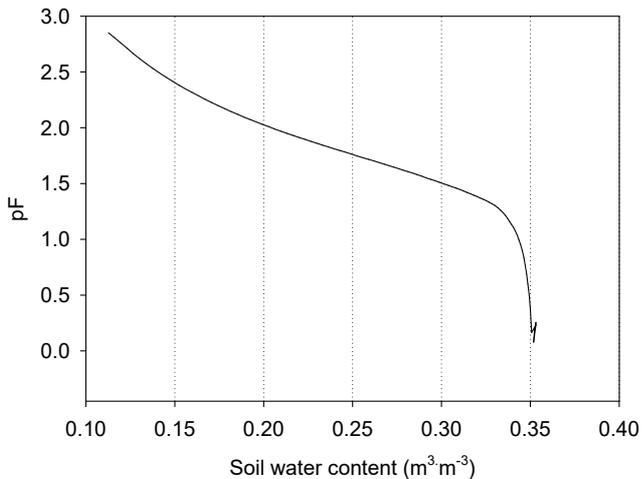


그림 29. 계산된 토양의 soil moisture retention curve

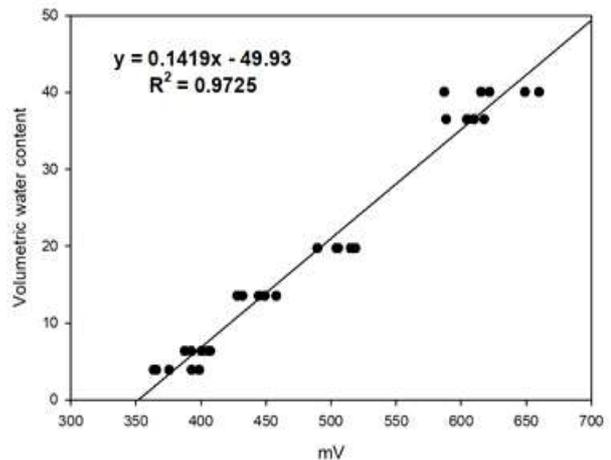


그림 30. 토양수분센서의 calibration

- 처리구 마다 3개의 EC-5(Decagon)토양수분센서를 활용하여 토양수분 VWC를 측정하였으며, 데이터로거(CR1000, Campbell Scientific)를 이용하여 데이터를 수집하였음. 강모래를 포화 후 초기 토양수분함량을 측정하였을 때 기존 하이드로겔, 경도가 약한 하이드로겔, 경도가 강한 하이드로겔순으로 각각 38, 35, 32 $m^3 \cdot m^{-3}$ 로 나타났음. 하지만 포화 후 12일이 경과된 후에는 경도가 약한 하이드로겔, 기존 하이드로겔, 경도가 강한 하이드로겔 순으로 21, 17, 16 $m^3 \cdot m^{-3}$ 으로 변화의 차이가 나타났음

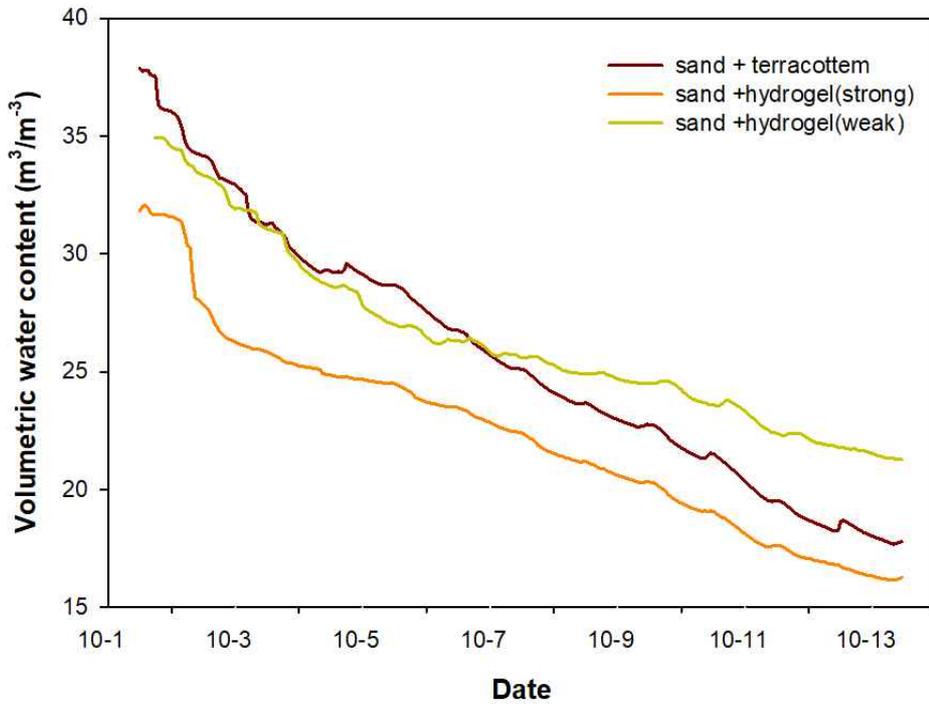


그림 31. 하이드로겔의 종류(3가지)에 따른 포화 이후 토양수분함량

○ 육묘 생산을 위한 재배실험 및 최적 하이드로겔 적용 비율 구명



그림 32. 상추 종자 치상 후 처리 사진



그림 33. 상추 재배실험 진행 사진

- 자연 강우 및 외부환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였으며, 입자형 하이드로겔의 농도(0,0.5%,0.1%, 0.2%)처리를 다르게 하였으며, 관수시기(1일,2일,3일)의 차이를 두어 생육의 차이를 확인하였음. 관수 시 20분 포화를 시킨 후 20분 이후에 무게를 측정하였음. 실험은 10월 2일부터 10월 26일까지 진행하였음.

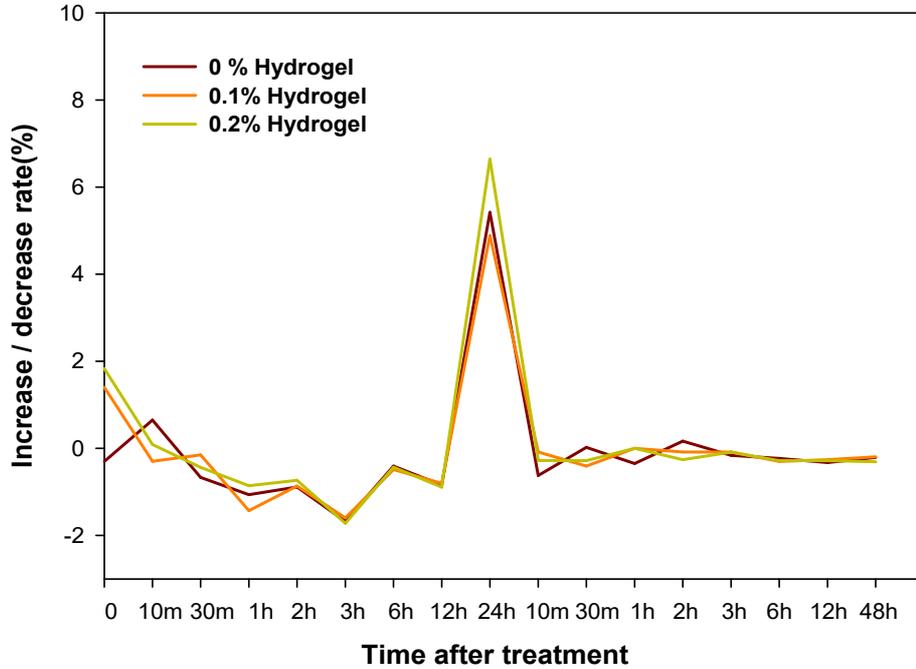


그림 34. 하이드로겔 농도처리별 관수후 토양 무게 증감율(관수는 0, 24h 하였음)

- 처리 후 24시간이 지나고 건조된 상태에서 관수하였을 때 증가한 무게가 대조구, 0.1%, 0.2% 하이드로겔 각각 4.88, 5.42, 6.64%로 대조구와 0.1%의 경우 유사한 값을 나타내었으며, 하이드로겔의 농도가 가장 높은 0.2%의 처리구의 경우 증가율이 가장 높게 나타났음

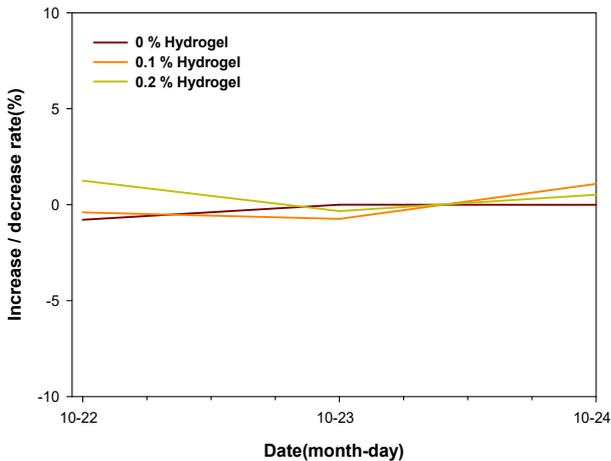


그림 35. 하이드로겔 농도처리별 매일관수시 토양 무게 증감율

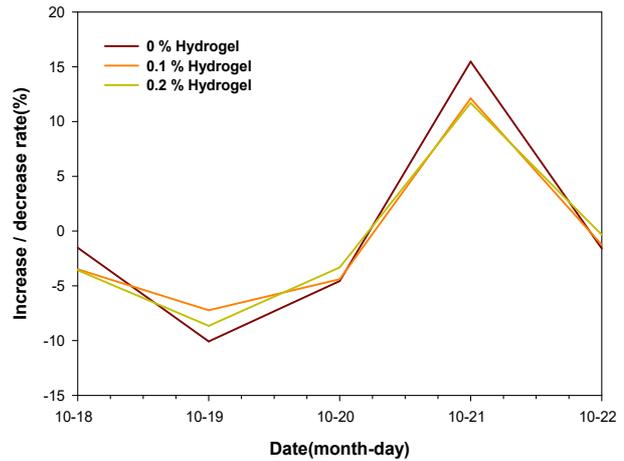


그림 36. 하이드로겔 농도처리별 3일에 한번 관수시 토양 무게 증감율

- 상추를 파종한 이후 관수주기(매일, 3일, 6일)에 따라 토양무게의 증감율을 보았을 때, 매일관수의 경우 모든처리구에서 비슷한 값으로 나타났음. 3일에 한번 관수한 경우에는 건조되는 정도에서는 하이드로겔을 처리한 처리구의 경우 대조구보다 변화차이가 작았으며, 수분을 공급하였을 때 토양의 무게의 변화차이가 대조구에 비해 작았음.

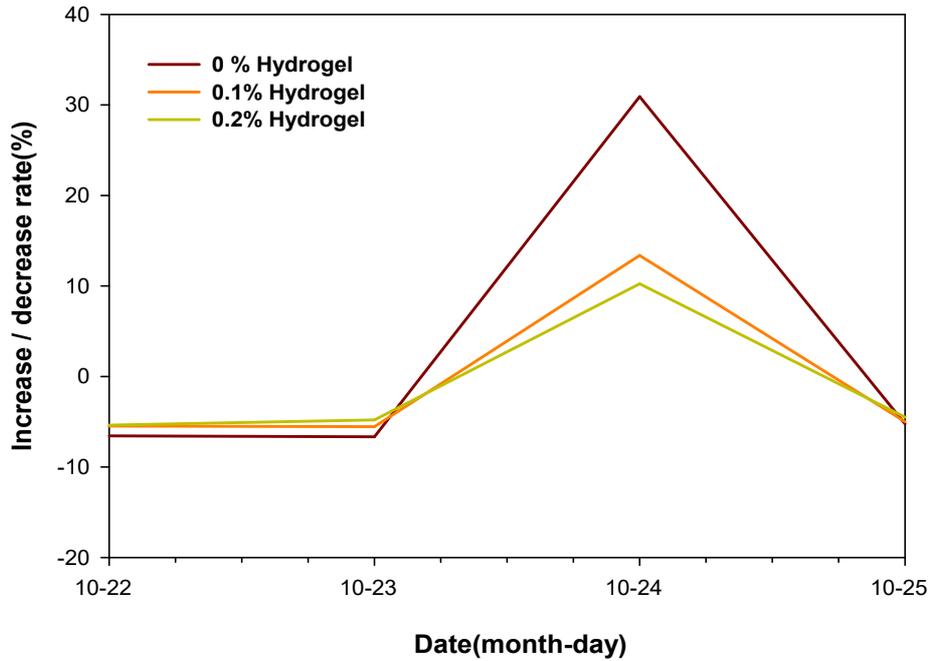


그림 37. 하이드로겔 농도처리별 6일에 한번 관수시 토양 무게 증감율

- 토양이 가장 건조되어지는 6일에 한번 관수처리구에서 수분을 공급하였을 때 대조구, 0.1, 0.2% 각각 30.9%, 13.8%, 10.2%로 하이드로겔 처리구에서는 수분을 공급하였을 때 3일에 한번 관수하였을 경우와 비슷한 값으로 나타났으며, 대조구의 경우 3일에 한번 관수하였을 때보다 약 2배정도의 증가율을 나타내었음. 따라서 하이드로겔을 처리하였을 경우에는 대조구보다 토양수분을 유지하고 있어 변화의 폭이 작은 것이라고 판단됨.

○ 매일관수

표 4. 입자형 하이드로겔 농도에 따른 상추의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	0.07	0.01	14.2 a
0.1 %	0.07	0.008	10.2 b
0.2 %	0.07	0.018	11.6 b
Significance	NS	NS	***

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 매일 수분을 공급하였을 때에는 지상부의 건물중과 지하부의 건물중은 통계적인 차이가 나타나지 않았으며, 뿌리길이에서는 대조구가 가장 길었으며, 처리구간의 차이는 나타나지 않았음.

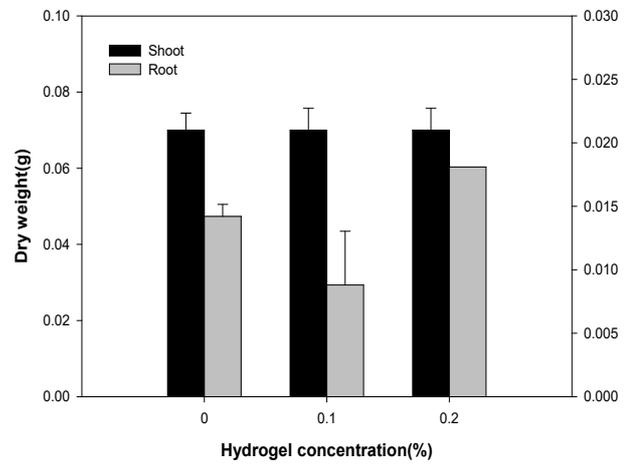
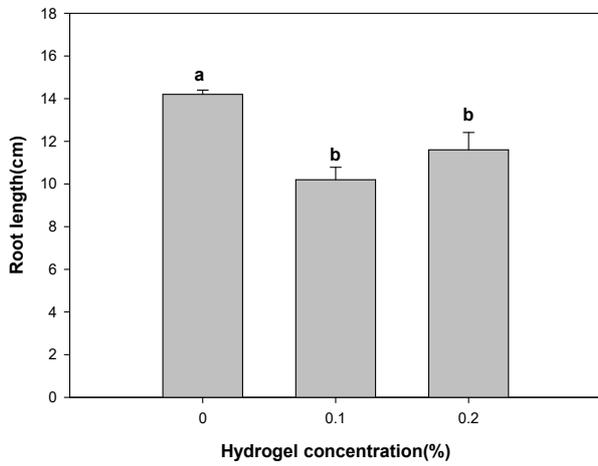


그림 38. 하이드로겔 농도처리별 매일관수시 뿌리길이 그림 39. 하이드로겔 농도처리별 매일관수시 건물중

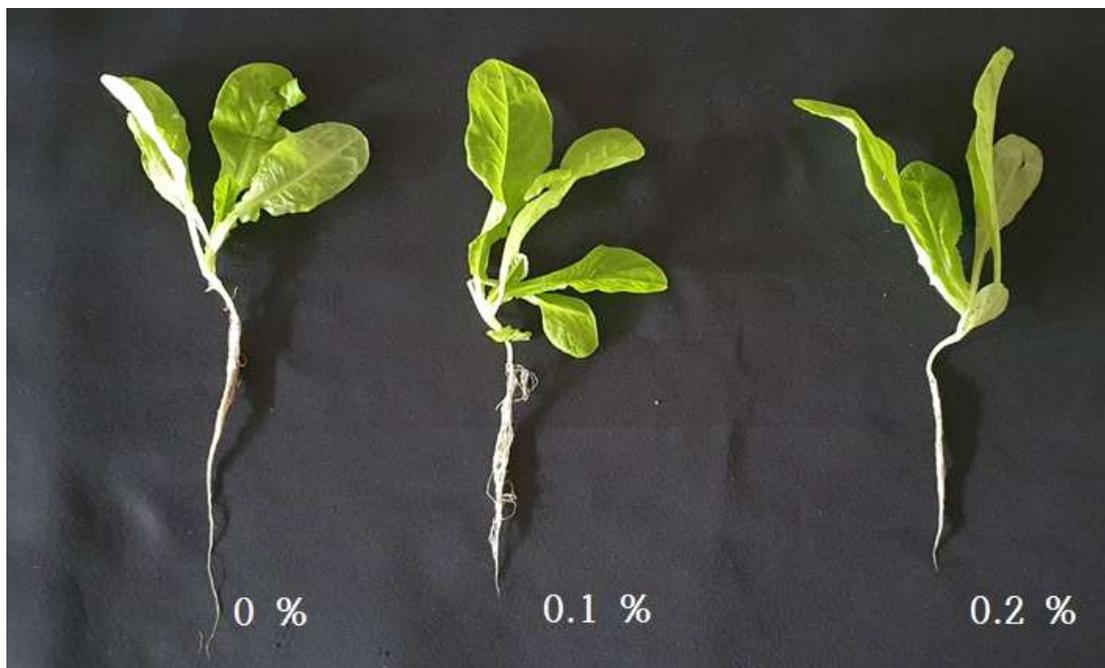


그림 40. 하이드로겔 농도처리별 매일관수시 수확사진

○ 3일에 한번 관수

표 5. 입자형 하이드로겔 농도에 따른 상추의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	0.08	0.01	8.8
0.1 %	0.07	0.01	9.0
0.2 %	0.06	0.01	8.5
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 수분을 3일에 한번 공급하였을 때에는 지상부, 지하부 건물중, 뿌리길이등 모든 측정 항목에서 통계적인 차이를 나타내지 않았음.

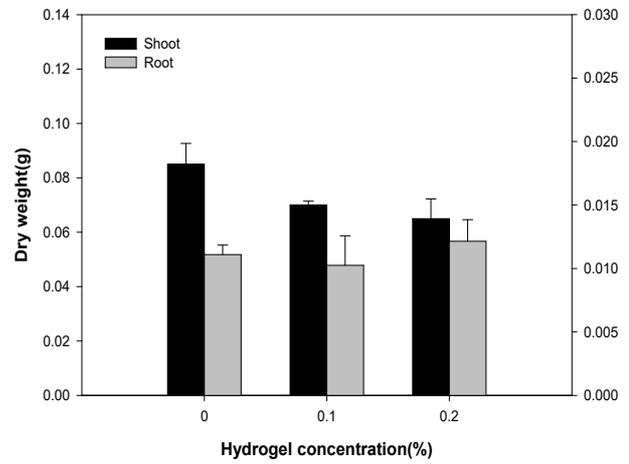
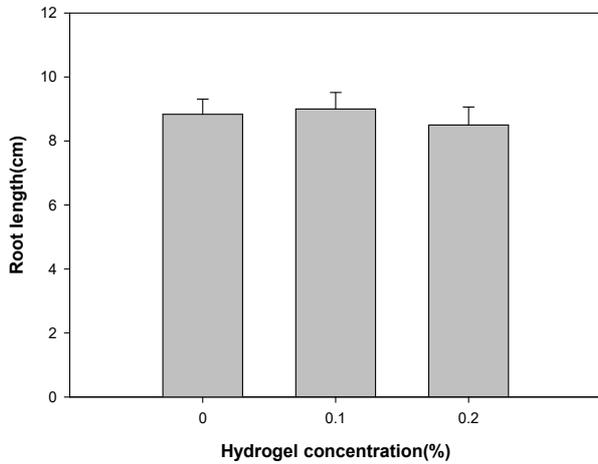


그림 41. 하이드로겔 농도처리별 3일에 한번관수시 뿌리길이 그림 42. 하이드로겔 농도처리별 3일에 한번관수시 건물중



그림 43. 하이드로겔 농도처리별 3일에 한번관수시 수확사진

○ 6일에 한번 관수

표 6. 입자형 하이드로겔 농도에 따른 상추의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	1.2 b	0.1 a	10.2
0.1 %	1.4 a	0.1 a	10.3
0.2 %	1.1 c	0.03 b	8.2
Significance	***	***	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 수분을 6일에 한번 공급하였을 때에는 지상부 건물중에서 0.1%, 0%, 0.2% 처리구순으로 나타났으며, 지하부에서는 0.2% 농도가 낮은 값을 나타내었음. 뿌리길이에서는 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

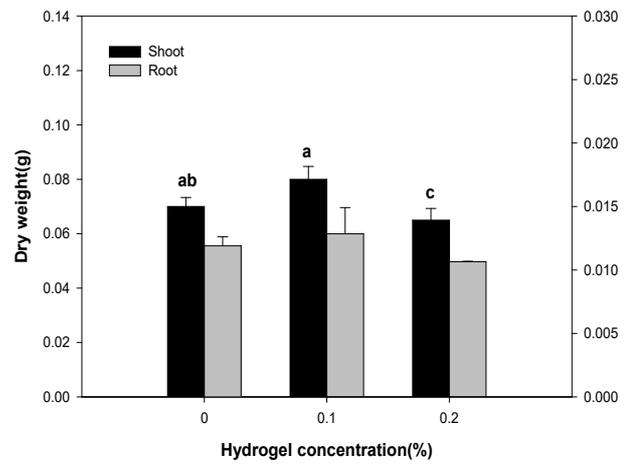
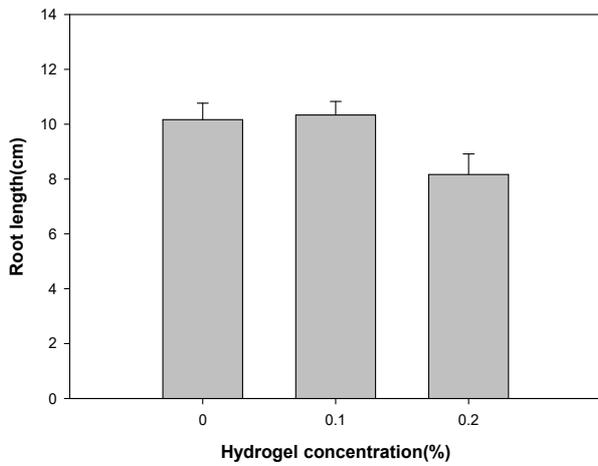


그림 44. 하이드로겔 농도처리별 6일에 한번관수시 뿌리길이

그림 45. 하이드로겔 농도처리별 6일에 한번관수시 건물중



그림 46. 하이드로겔 농도처리별 6일에 한번관수시 수확사진

○ 분화 생산을 위한 재배실험 및 최적 하이드로겔 적용 비율 구명

○ 관수 시스템 및 모니터링 시스템 구축

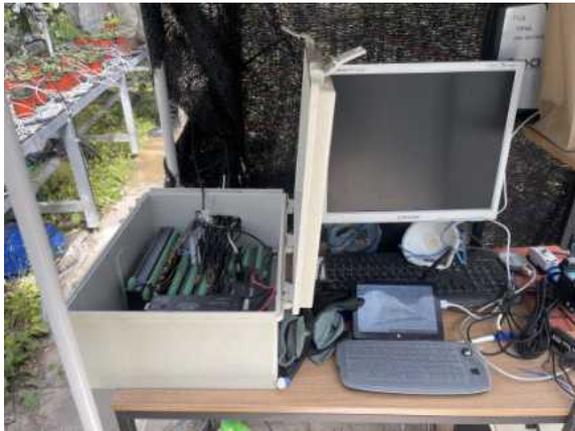


그림 47. 자동제어 시스템 구축



그림 48. 자동관수 시스템 설치

- 자연 강우 및 외부환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였으며, FDR 방식의 토양수분센서 인 EC-5(Decagon)를 통해 각 화분의 토양 수분을 VWC로 측정하였으며. 측정된 토양수분 측정치는 CR1000(Campbell Scientific)내에 저장되고 프로그램을 이용하여 책정된 set point이상에서 관수가 이루어지도록 프로그래밍 하였으며, 1회 관수시 관수시간을 60초로 설정했으며 관수 여부를 조절하기 위한 토양수분 측정은 5분 이후로 설정하였음. 1회 관수시 400mL/pot의 물이 관수되도록 설정하였음.



그림 49. 국화실험 전체 사진



그림 50. 국화실험 처리 사진

○ 국화의 토양수분함량의 차이에 따른 재배실험

- 실험처리는 VWC(토양수분함량) 40, 50, 60 $m^3 \cdot m^{-3}$ 3가지로 진행하였음. 2021년 9월 15일에 식물을 식재하였고, 식재한 식물은 개화하지 않은 국화의 성묘를 사용하였음. 각 실험처리마다 8개의 식물을 식재하였음. 10월 29일까지 생육조사 및 관수주기, 관수량에 대한 데이터를 조사하였음. 생육조사 평가항목으로는 초장, 초폭, 꽃눈 수 등을 하였음.

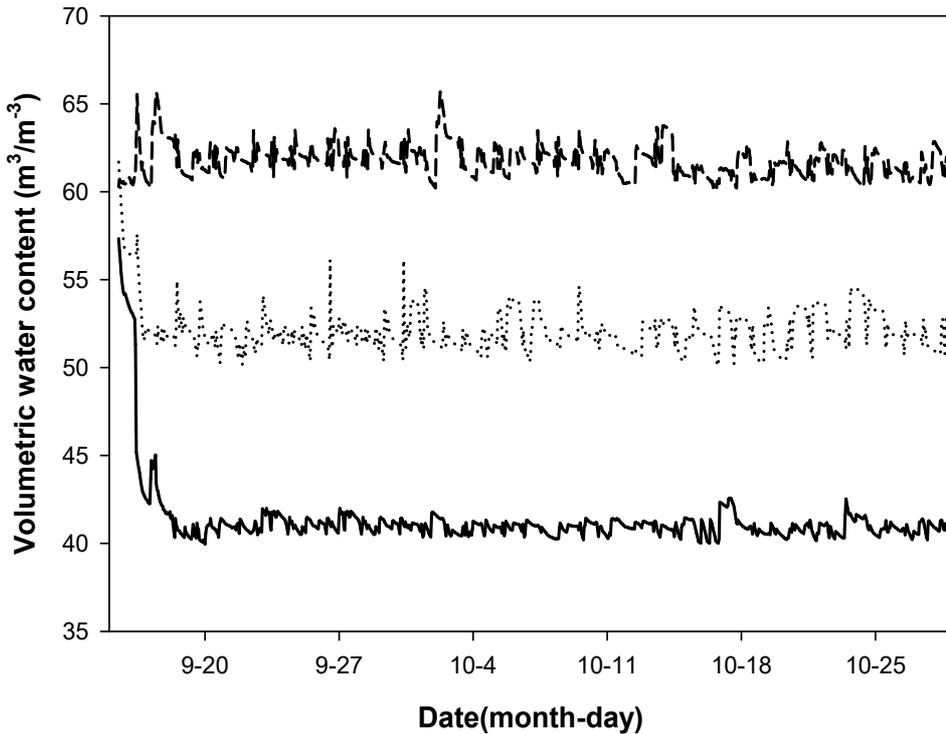


그림 51. 실험진행기간의 각 처리별 토양수분함량(VWC)

- 실험이 진행되는 기간에 처리별로 설정한 토양수분함량(VWC)이 잘 유지되는 것을 알 수 있으며, 온실에서 진행되었기 때문에 강우등과 같은 외부 환경의 영향을 받지 않았음.

표 7. 1개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃눈 수의 변화(n=3)

토양수분	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃눈 수
40 $m^3 \cdot m^{-3}$	19.4	26.0 b	56.8
50 $m^3 \cdot m^{-3}$	19.4	26.6 a	52.0
60 $m^3 \cdot m^{-3}$	17.8	27.1 a	54.7
Significance	NS	***	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

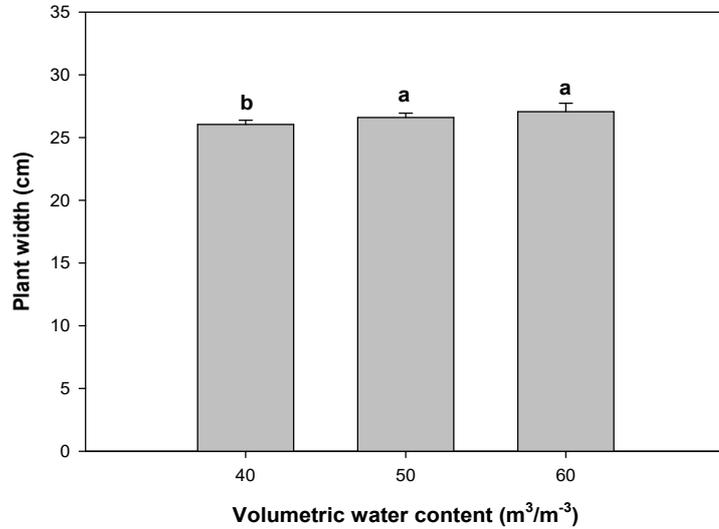


그림 52. 토양수분에 따른 초폭의 변화

- 토양수분함량에 따른 처리에서는 초장과 꽃눈 수에서는 모든처리에서 통계적인 차이가 나타나지 않았으며, 초폭에서는 50, 60 m³·m⁻³ 처리구에서 40 m³·m⁻³ 보다 높은 값을 나타내었음.

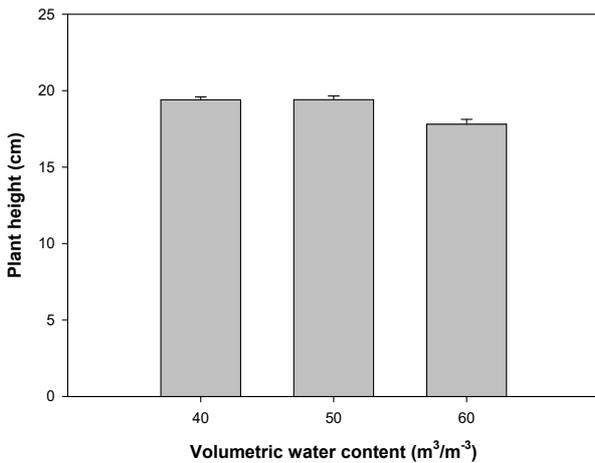


그림 53. 토양수분에 따른 초장의 변화

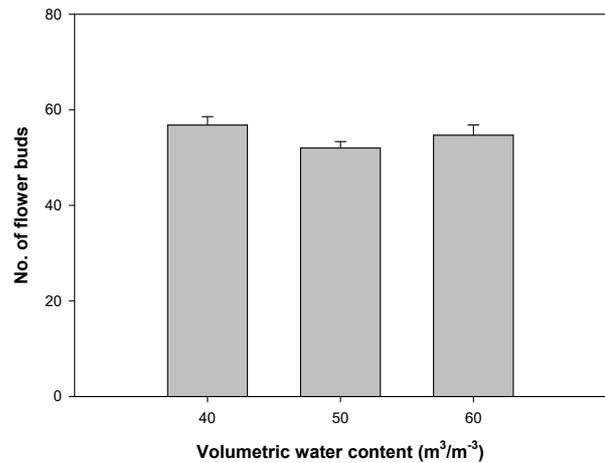


그림 54. 토양수분에 따른 꽃눈 수의 변화

표 8. 3개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃수의 변화(n=3)

토양수분	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃 수	개화된 꽃 수
40 m³·m⁻³	17.2	28.3	64.4	48.7
50 m³·m⁻³	16.0	29.5	64.1	44.1
60 m³·m⁻³	16.7	29.7	69.5	49.9
Significance	NS	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

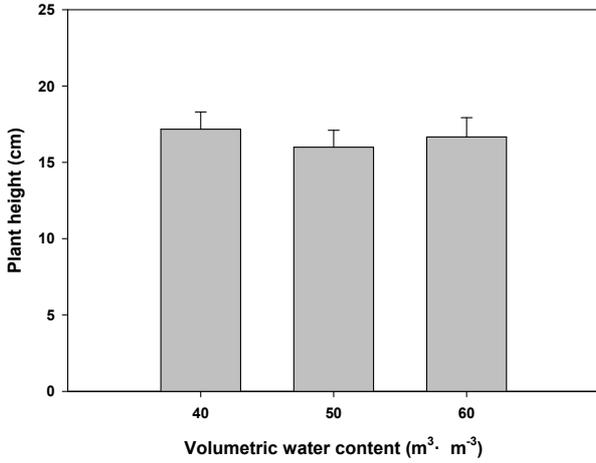


그림 55. 토양수분에 따른 초장

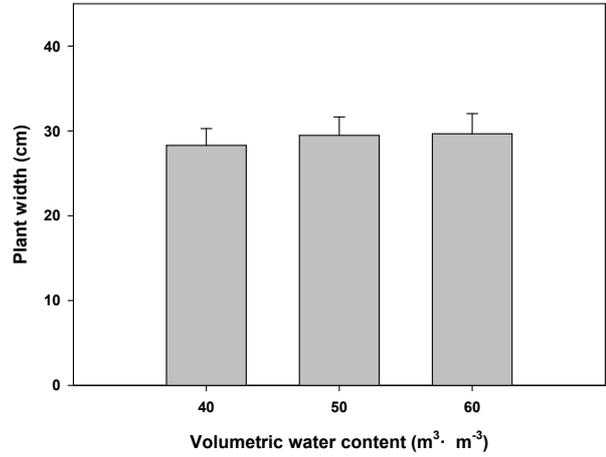


그림 56. 토양수분에 따른 초폭

- 토양수분함량에 따른 처리에서는 초장, 초폭, 꽃 수, 개화된 꽃 수 등 모든 처리에서 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

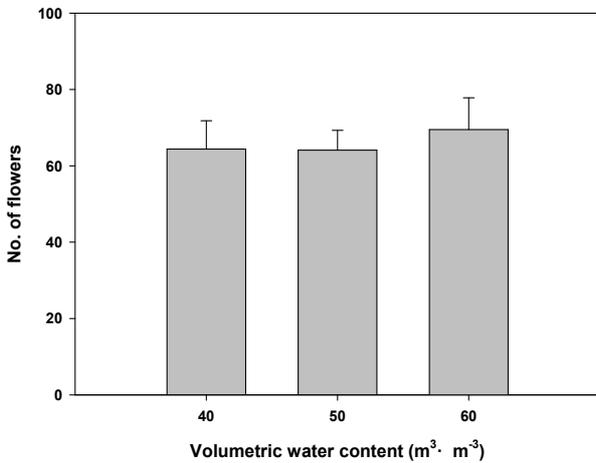


그림 57. 토양수분에 따른 꽃 수

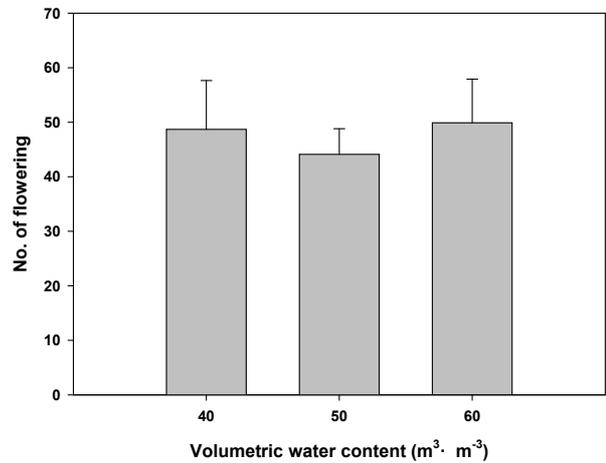


그림 58. 토양수분에 따른 개화된 꽃 수

표 9. 토양수분에 따른 국화의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

토양수분	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
40 $m^3 \cdot m^{-3}$	7.9 b	1.6	25.8
50 $m^3 \cdot m^{-3}$	7.7 b	1.3	26.7
60 $m^3 \cdot m^{-3}$	9.4 a	1.5	27.6
Significance	**	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

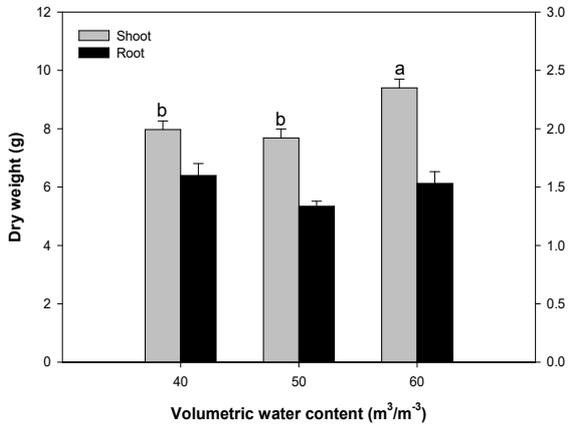


그림 59. 토양수분에 따른 국화의 건물중

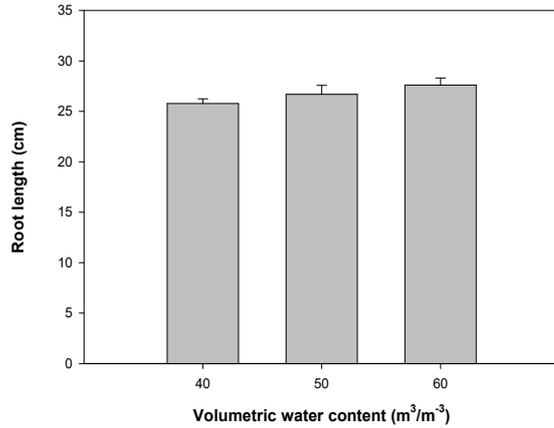


그림 60. 토양수분에 따른 국화의 뿌리길이

- 토양수분함량에 따른 수확 후 건물중을 보았을 때, 줄기부분에서 토양수분함량이 가장 많은 60 $m^3 \cdot m^{-3}$ 처리구에서 가장 높은 값을 나타내었고 뿌리 건물중과 뿌리길이에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았음.



그림 61. 토양수분에 따른 국화 수확 후 사진

○ 국화의 하이드로겔의 농도 차이에 따른 재배실험

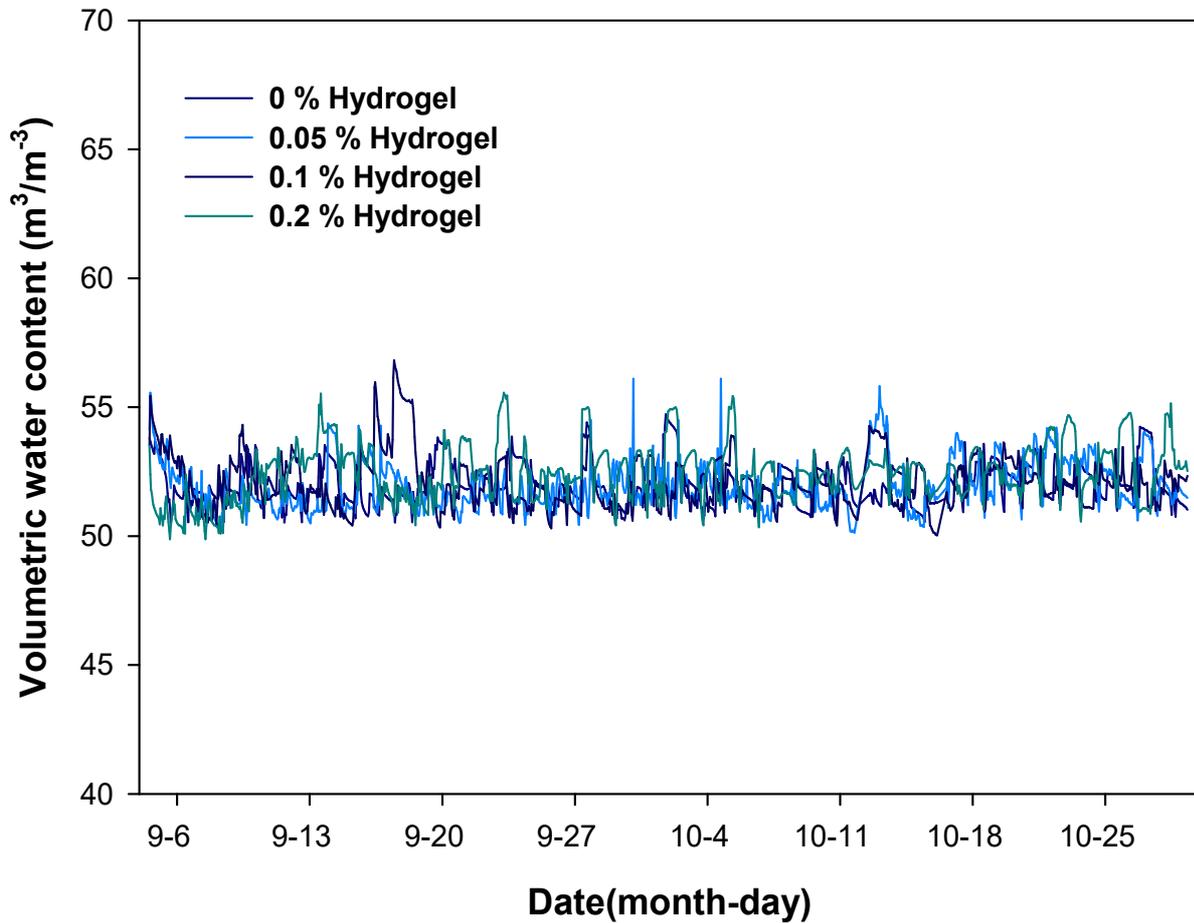


그림 62. 하이드로겔 농도 차이에 따른 실험기간의 토양수분함량

- 실험이 진행되는 기간에 처리별로 설정한 토양수분함량(VWC)이 잘 유지되는 것을 알 수 있으며, 온실에서 진행되었기 때문에 강우등과 같은 외부 환경의 영향을 받지 않았음.

표 10. 2개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃눈 수
cont	25.2 bc	18.9	52.7
0.05 %	23.5 c	18.8	52.3
0.1 %	27.3 a	18.4	58.5
0.2 %	27 ab	19.3	54.2
Significance	*	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

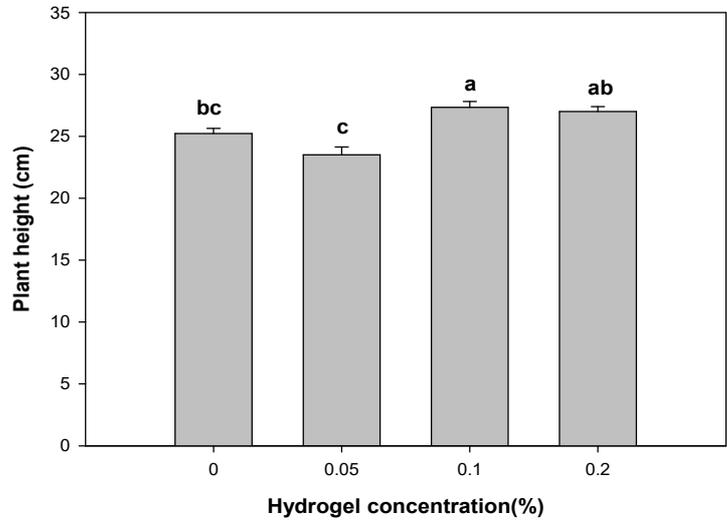


그림 63. 하이드로겔 농도에 따른 초장의 변화

- 하이드로겔 농도 따른 처리에서는 초장에서 0.1% 처리구에서 가장 높았으며, 0.05 % 처리에서 가장 낮은 값을 나타내었음. 다른 측정항목인 초폭과 꽃눈 수에서는 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

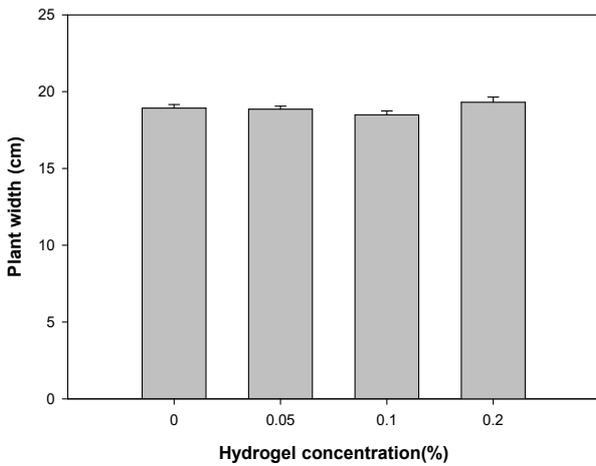


그림 64. 하이드로겔 농도에 따른 초폭의 변화

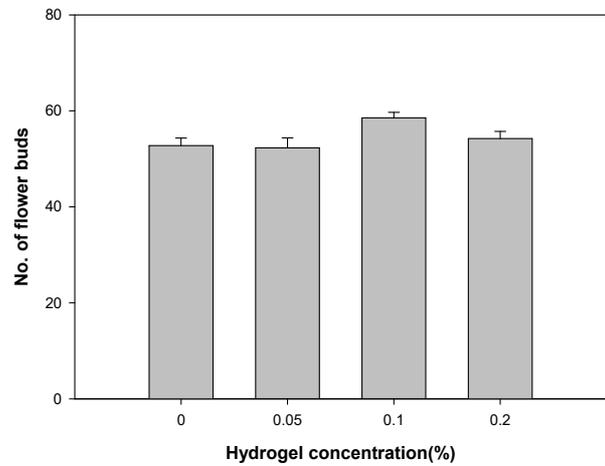


그림 65. 하이드로겔 농도에 따른 꽃눈 수의 변화

표 11. 3개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃수, 개화된 꽃수 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수	개화된 꽃수
cont	17.9	29.5	64.1	44.1 ab
0.05 %	17.3	28.9	63.9	48.8 a
0.1 %	17.4	28.7	70.6	44.0 ab
0.2 %	17.4	28.5	65.3	40.9 b
Significance	NS	NS	NS	*

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes` t(P=0.05)로 하였음

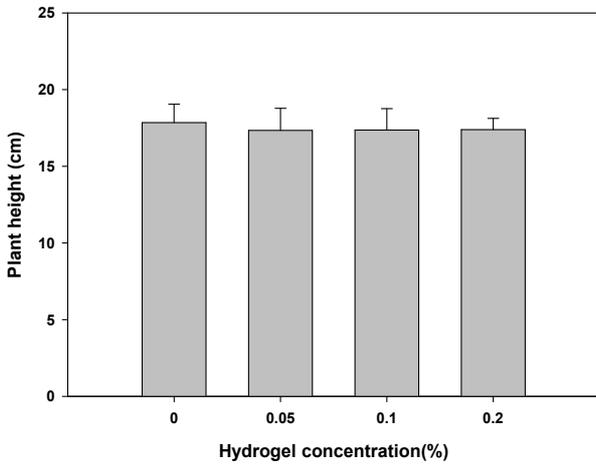


그림 66. 하이드로겔 농도에 따른 초장

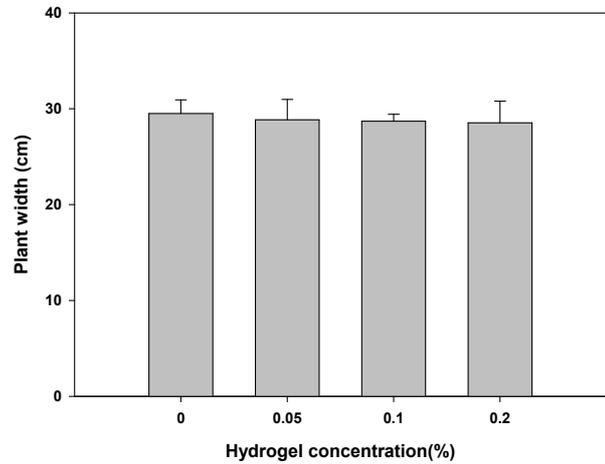


그림 67. 하이드로겔 농도에 따른 초폭

- 하이드로겔의 농도 따른 처리에서는 실험기간이 늘어남에 따라 초장, 초폭, 꽃 수의 항목에서는 모든 처리구간의 통계적인 차이를 나타나지 않았으며, 꽃눈 수에서는 0.05% 처리구에서 가장 높게 나타내었지만 처리구간의 차이가 크지 않았음.

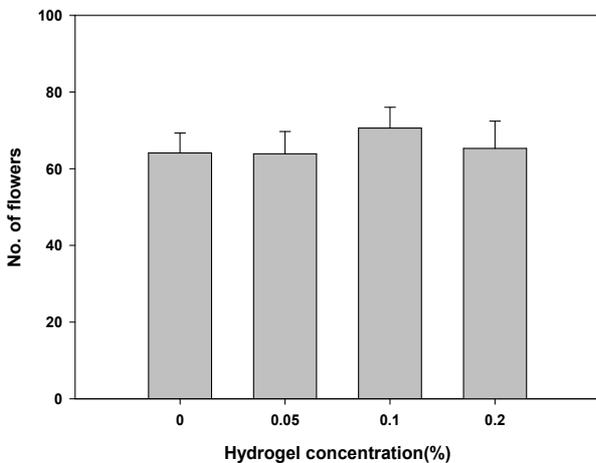


그림 68. 하이드로겔 농도에 따른 꽃 수

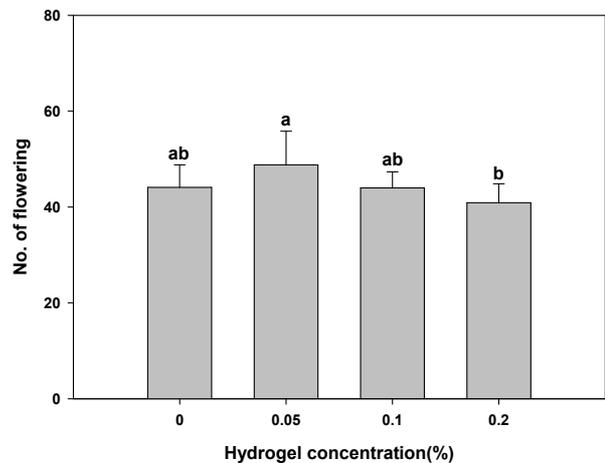


그림 69. 하이드로겔 농도에 따른 개화된 꽃 수

표 12. 하이드로겔 농도에 따른 국화의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	8.9	1.3 b	24.2 b
0.05 %	9.4	1.4 b	27.9 ab
0.1 %	8.6	1.5 ab	28.9 a
0.2 %	8.6	1.7 a	30.0 a
Significance	NS	**	**

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

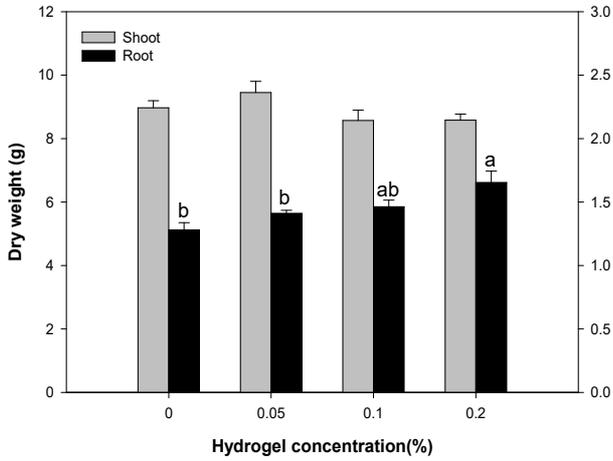


그림 70. 하이드로겔 농도에 따른 건물중

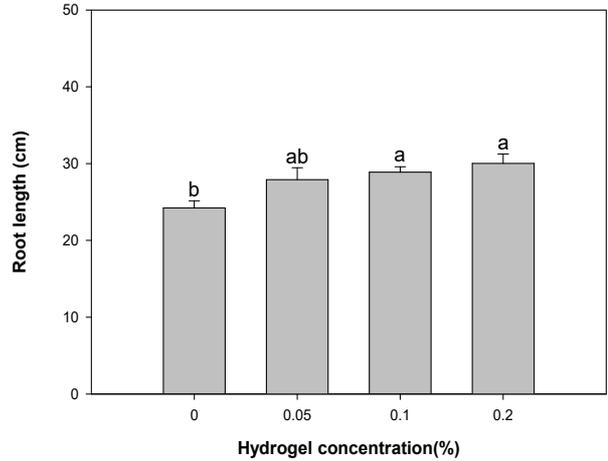


그림 71. 하이드로겔 농도에 따른 뿌리길이

- 하이드로겔 농도에 따른 건물중에서 줄기부분에서는 처리구간의 통계적인 차이가 나타나지 않았으나, 뿌리부분에서 하이드로겔의 농도가 높을수록 높은 값을 나타내었으며, 뿌리길이에서도 대조구와 비교하였을 때, 처리구가 뿌리길이가 길게 나타났음. 하이드로겔의 처리하였을 때 대조구와 생육적인 부분에서는 지상부가 아닌 지하부에서 차이가 있는 것을 알 수 있었으며, 하이드로겔이 지하부에 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단됨.



그림 72. 하이드로겔이 토양속에서 수분을 흡수한 모습



그림 73. 하이드로겔 농도에 따른 국화 수확 후 사진

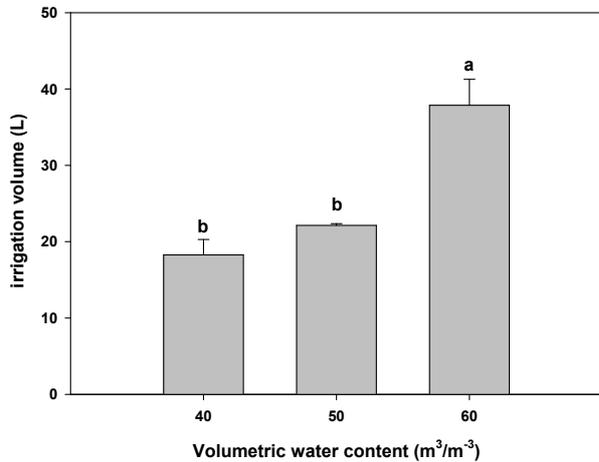


그림 74. 토양수분 처리별 실험기간의 관수된 물 사용량(L)

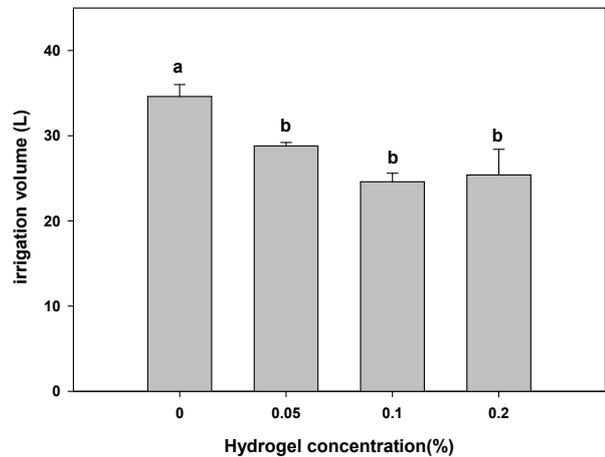


그림 75. 하이드로겔 농도별 실험기간의 관수된 물 사용량(L)

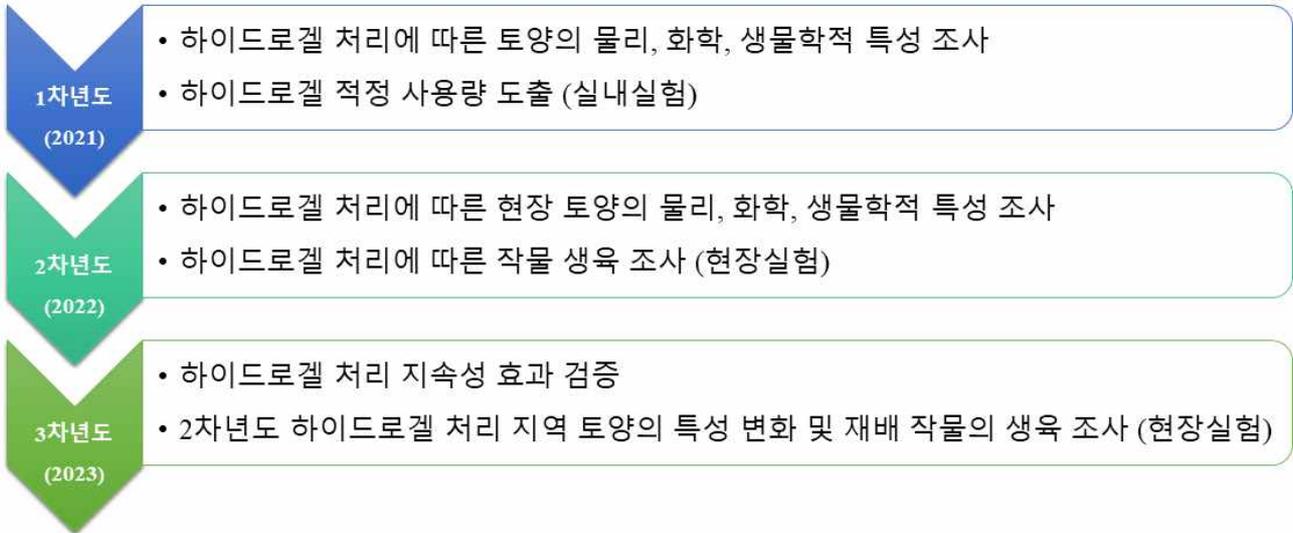
- 실험이 진행되는 기간에 처리별 관수된 물 사용량을 계산하였을 때 $60m^3 \cdot m^{-3}$ 처리에서 37.9L로 가장 많았으며, 그 외 처리구에서는 통계적인 유의한 차이가 나타나지 않았음.
- 또한 하이드로겔 농도별처리에서는 대조구에서 34.6L로 가장 많았으며, 하이드로겔이 첨가된 처리구에서는 통계적인 유의한 차이는 나타나지 않았지만 대조구에 비해 물의 사용량이 줄어드는 것을 알 수 있음.
- 따라서 토양수분의 정도를 보았을 때 40, 50, 60 $m^3 \cdot m^{-3}$ 처리구별로 생육적인 차이는 없었으며, 토양수분정도를 50 $m^3 \cdot m^{-3}$ 으로 유지하고 하이드로겔농도의 차이를 두었을 때, 처리구별 차이는 나타나지 않았으나, 물 사용량에서 대조구에 비해 물 사용량이 유의적인 차이로 적게 나타내어 하이드로겔을 사용하였을 때 토양수분함량을 잘 유지하여 관수를 적게 하더라도 정상적인 생육을 유지할 수 있다고 판단됨. 또한 입자형 하이드로겔의 사용량에 대한 기준이 확실하지 않아 하이드로겔의 농도차이를 분명하게 하고 토양수분을 더 건조하게 실험하여 하이드로겔이 건조상태에서 식물의 생육정도를 파악하는 추가적인 실험이 필요하다고 생각됨.

라. [위탁연구기관 _ 강원대학교 _ 1단계 1차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 (토양 개량용 하이드로겔 적용 연구)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사							→	→	→	→	→	→	*	100
하이드로겔 적정 토양 처리 조건 확립							→	→	→	→	→	→	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

◆ 수행과정



○ 하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사

- 하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화를 조사하고자 토성이 다른 춘천 농경지 2지점에서 토양을 채취
- 각 채취 토양의 특성은 표 13과 같으며, 채취한 토양에 하이드로겔을 0, 0.5, 1, 2%(w/w) 비율로 처리
- 2차년도에 진행할 현장 포장 실험 진행에 앞서 하이드로겔 처리 토양에서 작물을 재배하여 하이드로겔이 작물 생육에 미치는 영향을 파악하고자 상추를 대상으로 포트 실험을 진행하였음
- 모니터링 실험과 동일하게 2개 지역 토양에 각각 하이드로겔을 0, 0.5, 1, 2% (w/w) 처리 후 상추를 정식하였음
- 상추는 생장상에서 1달간 재배하였으며, 재배 조건은 낮 16시간, 밤 8시간, 온도 25℃로 유지함. 관수는 1일 1회 동일한 양의 물을 공급하였음

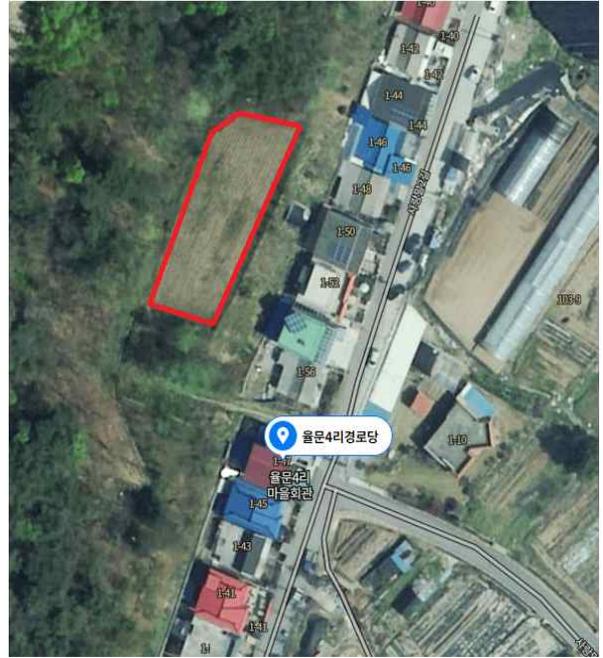


그림 76. 토양 시료 채취 지역(좌: 춘천 덕두원리, 우: 춘천 울문리)

표 13. 실험에 사용한 토양 특성

주소	토성	pH	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	총질소 (%)	용적밀도 (g/cm ³)
춘천 덕두원리	Clay loam	7.0	0.44	12.18	184.5	0.21	1.38
춘천 울문리	Sandy loam	5.5	0.32	13.87	221.4	0.11	1.46

주소	양이온치환용량 (cmol/kg)	Exch.-Ca (cmol/kg)	Exch.-K (cmol/kg)	Exch.-Mg (cmol/kg)	Exch.-Na (cmol/kg)
춘천 덕두원리	10.93	6.27	0.34	0.89	0.01
춘천 울문리	5.88	1.77	0.26	0.33	0.00

주소	중금속 총합량(mg/kg)					
	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
춘천 덕두원리	11.93	2.61	29.02	45.23	46.29	170.62
춘천 울문리	5.98	1.48	17.32	24.68	20.74	78.10

- 하이드로겔 처리 후 토양은 플라스틱 박스에 담고 (그림 73) 초기 토양 수분 함량을 70% 수준으로 조절 후 7주간 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화를 표 14와 같은 방법에 준하여 분석함
- 하이드로겔 처리에 따른 작물 (상추)의 성장량 및 양분 (N, P, K)함량을 분석함
- 토양 특성 변화 결과를 토대로 하이드로겔 적정 사용량 도출함



그림 77. 토양 물리, 화학, 생물학적 특성 분석을 위한 시료 준비

표 14. 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 분석방법

	분석 항목	분석 방법	출처 및 참고문헌
물리	용적밀도	코어 측정법	토양 및 식물체 분석법 (국립농업과학원)
	수분함량	105°C 건조	
화학	pH	1:5 H ₂ O 측정	토양화학분석법 (국립농업과학원)
	EC		
	치환성 양이온	1N ammonium acetate법	토양오염공정시험기준 (국립환경과학원)
	유효인산	Bray No.1 (추출), SnCl ₂ 에 의한 몰리브덴(Mo) 청법(정량)	토양화학분석법 (국립농업과학원)
	유기물	Walkely & black 법	토양화학분석법 (국립농업과학원)
	CEC	1N ammonium acetate법	토양오염공정시험기준 (국립환경과학원)
생물	토양호흡	알칼리성 흡수제에 의한 방법	양창술. 김종식. 토양미생물실험법. 월드사이언스. pp 392-394.
	CFU	미생물 희석 평판법	양창술. 김종식. 토양미생물실험법. 월드사이언스. pp 16-17.
	Phosphatase	Tabatabai & Bremner (1969), Eivazi & Tabatabai (1977)	양창술. 김종식. 토양미생물실험법. 월드사이언스. pp 403-405. R.W. Weaver et al. Methods of Soil analysis Part2. pp 801-810.
	Dehydrogenase	Eivazi & Tabatabai (1988)	R.W. Weaver et al. Methods of Soil analysis Part2. pp 820-823.
	Urease	Kandeler & Gerber (1988)	Kandeler E and Gerber H. 1988. Bio Fertil Soils. 6:68-72.
	β-glucosidase	Eivazi & Tabatabai (1988)	양창술. 김종식. 토양미생물실험법. 월드사이언스. pp 396-398. R.W. Weaver et al. Methods of Soil analysis Part2. pp 823-826.

◆ 1차년도 (2021년) 연구개발과제 수행 결과

○ 상반기 하이드로겔 처리에 따른 상추 재배 춘천 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화

- 7주간 토양의 용적밀도 및 수분함량을 모니터링한 결과는 그림 74, 75과 같으며, 토양의 화학적 특성 모니터링 결과는 그림 11-19과 같음
- 토양의 용적밀도는 하이드로겔 처리에 따라 감소하는 경향을 나타냈고, 각 토양시료 채취 시기별 수분함량은 하이드로겔 처리에 의해 증가하는 것으로 나타남
- 토양의 호흡량 (그림 85)은 시간이 지남에 따라 하이드로겔 처리량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으나, 통계적 유의성이 낮아 하이드로겔 처리에 따른 생물학적 특성 변화에 대해서 향후 지속적인 모니터링이 필요하다고 판단하였으며 위해 2-3차년도 연구기간 동안 현장 실험을 통해 하이드로겔의 토양 생물학적 특성 영향 정도를 평가하였음

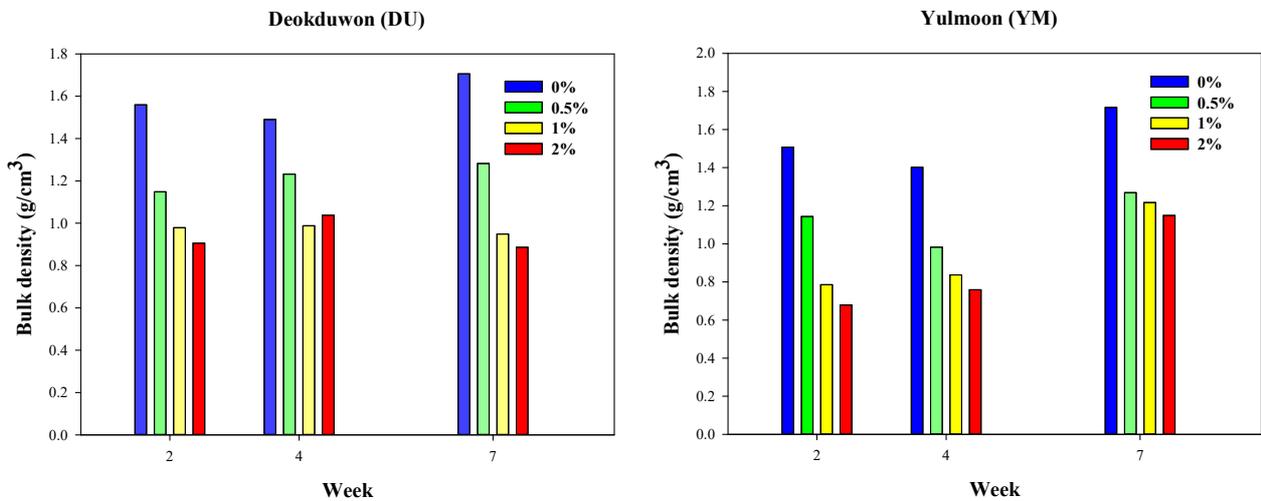


그림 78. 토양의 용적밀도 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

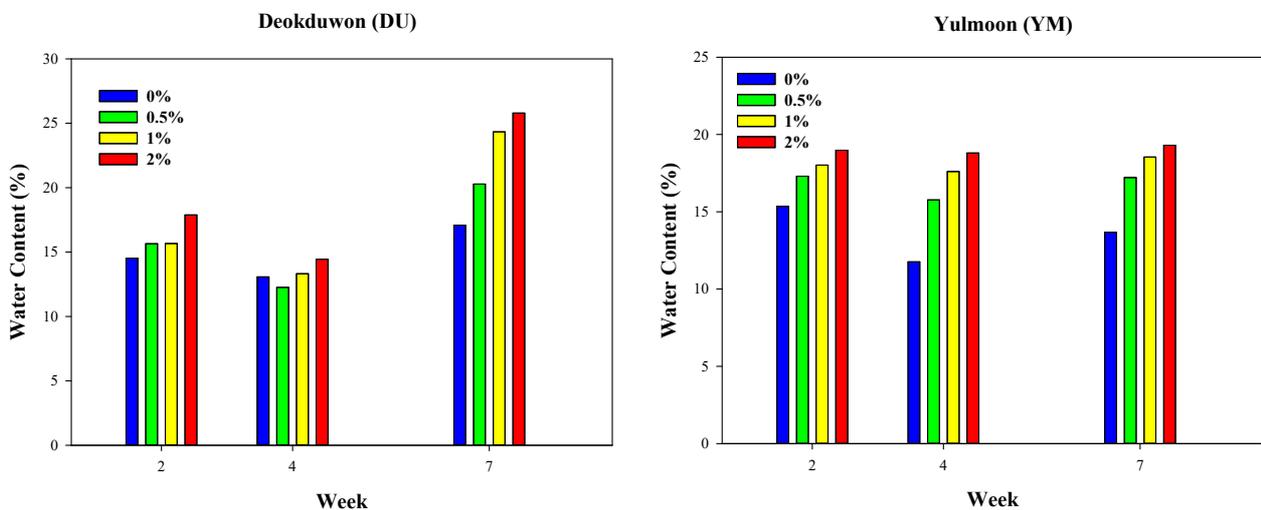


그림 79. 토양의 수분함량 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

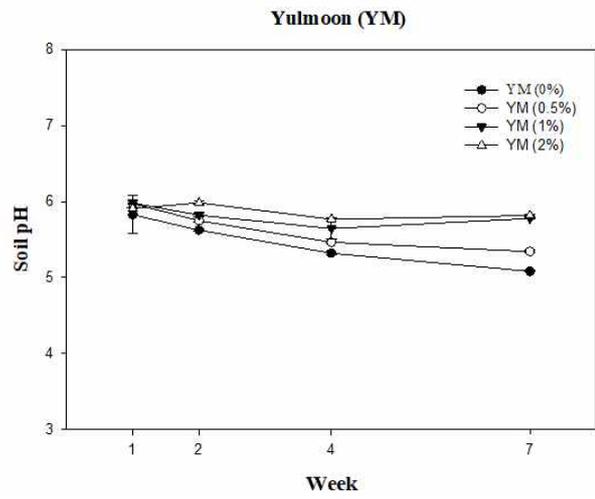
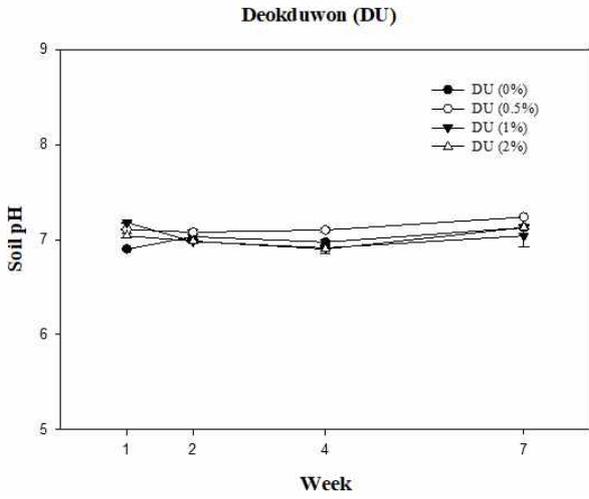


그림 80. 토양 pH 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

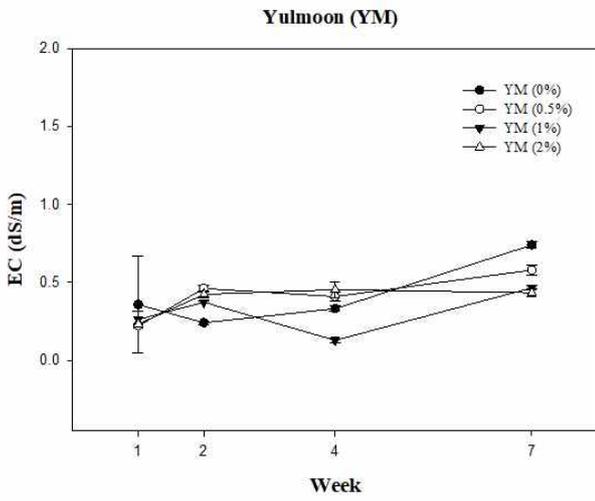
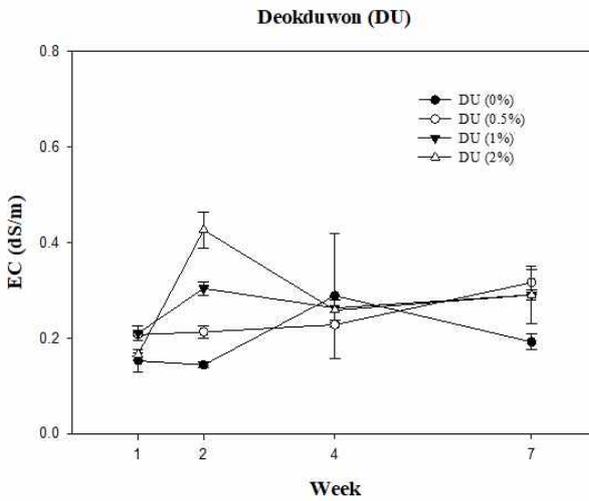


그림 81. 토양 EC 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

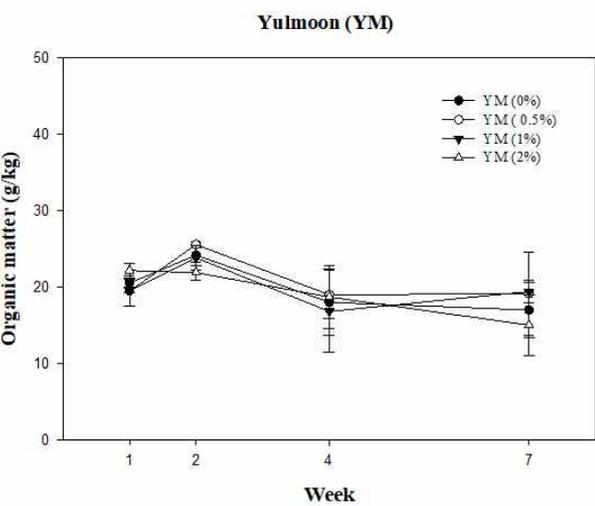
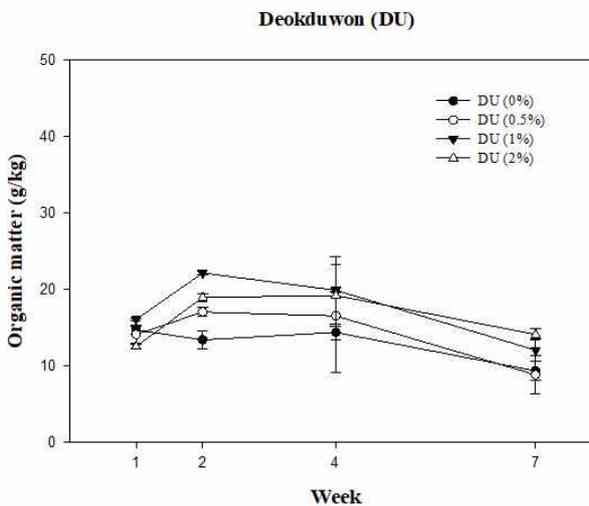


그림 82. 토양 유기물 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

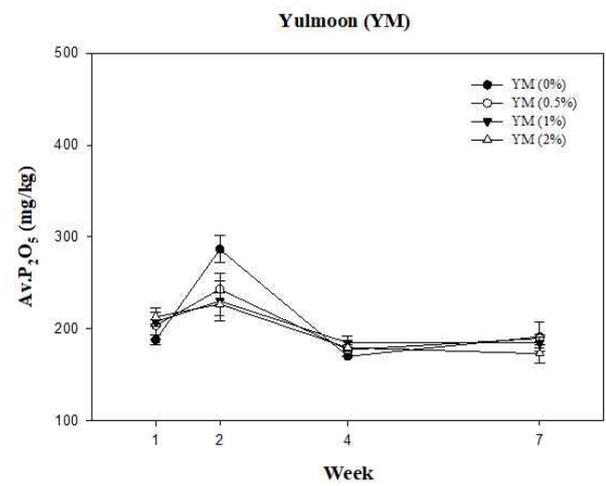
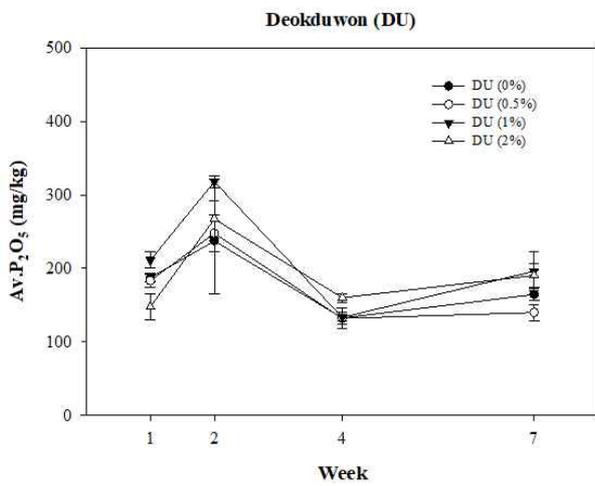


그림 83. 토양 유효인산 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

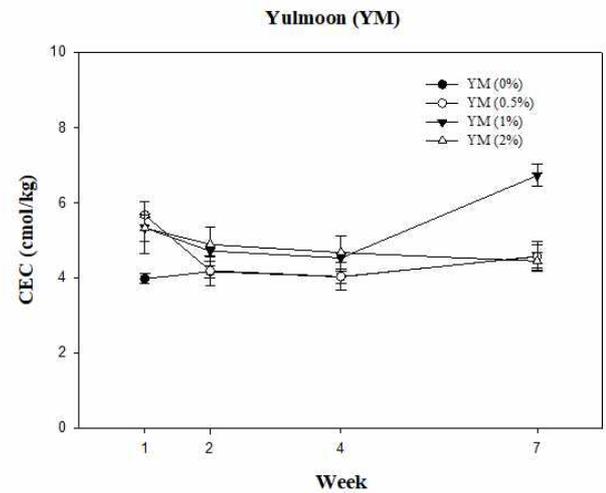
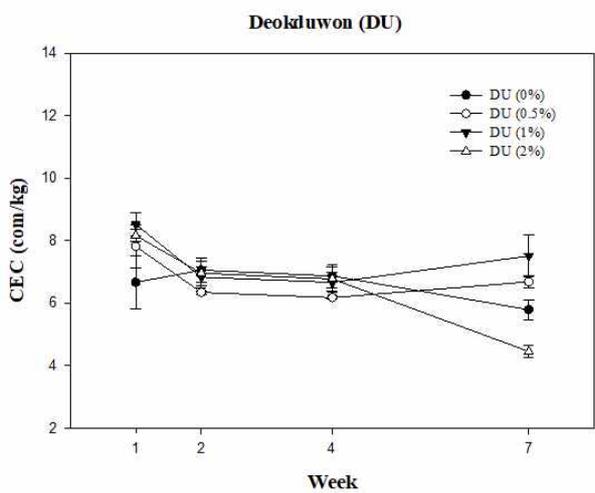


그림 84. 토양 양이온치환용량(CEC) 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

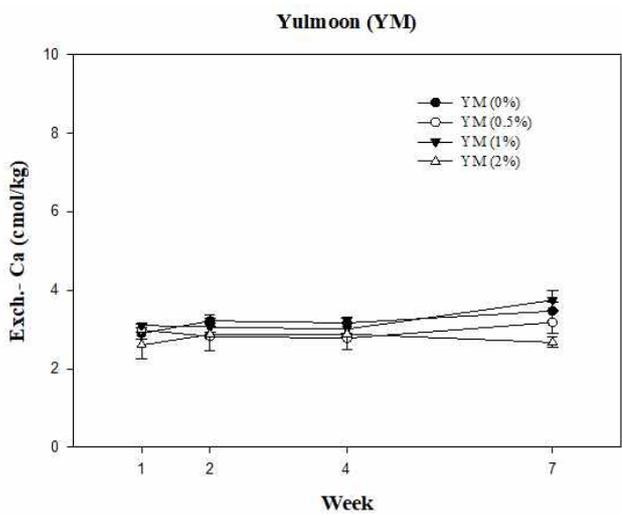
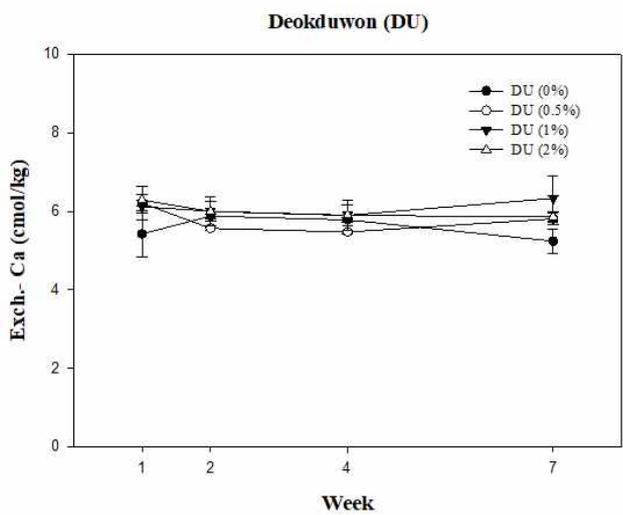


그림 85. 토양 치환성 Ca 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 읍문리)

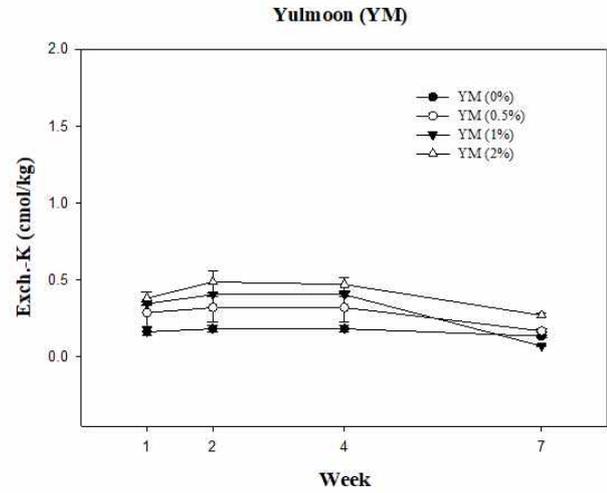
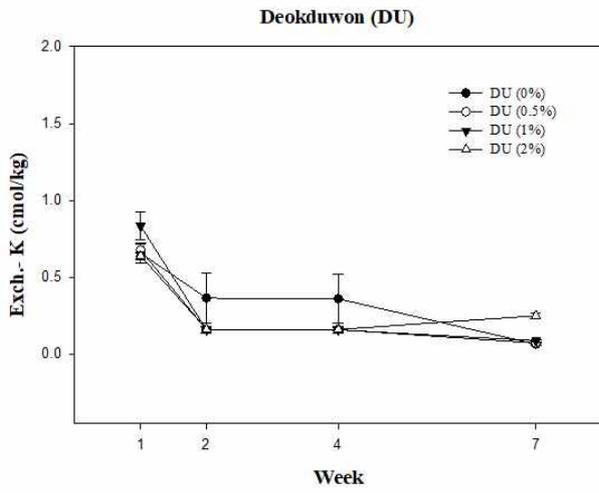


그림 86. 토양 치환성 K 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

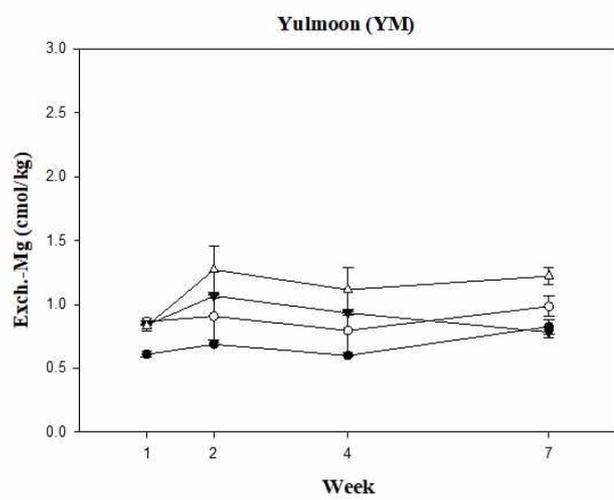
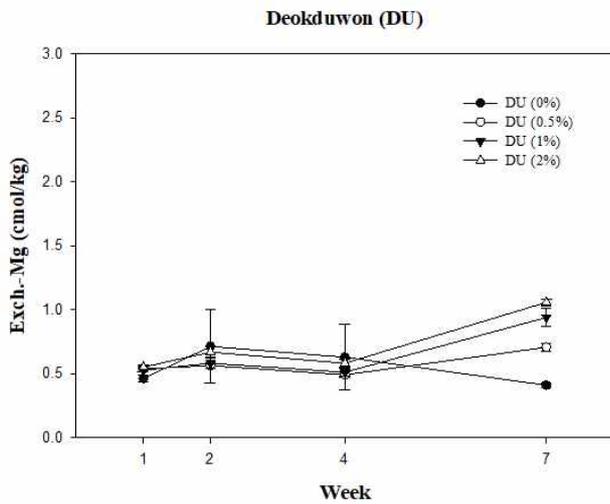


그림 87. 토양 치환성 Mg 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

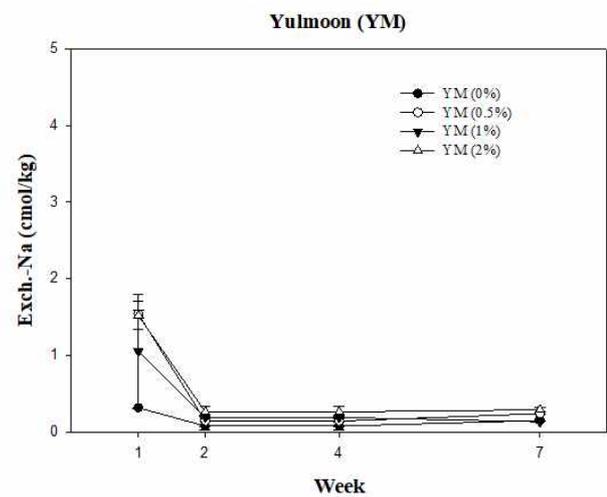
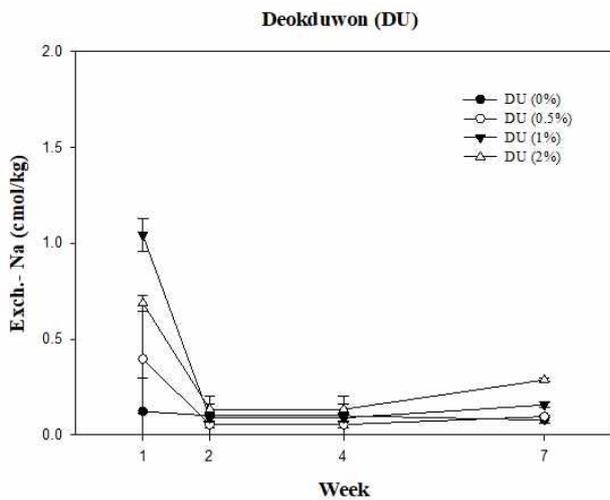


그림 88. 토양 치환성 Na 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

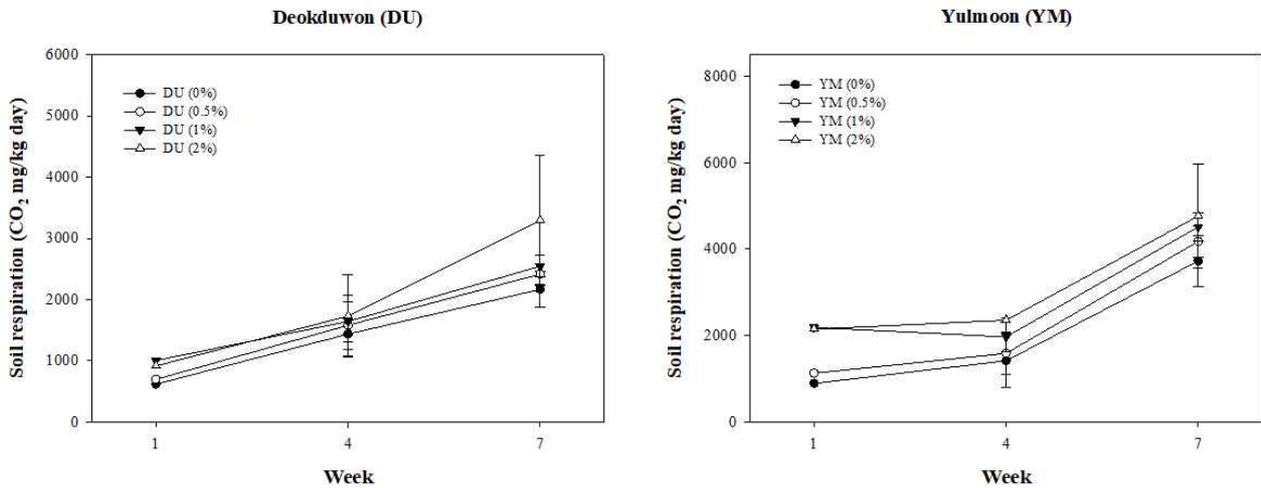


그림 89. 토양 호흡량 분석 결과 (좌: 덕두원리, 우: 울문리)

○ 하이드로겔 처리에 따른 상추의 생육 변화 조사

- 1달간 재배한 상추 (그림 86)는 지상부 수확 후 건물중을 조사한 후 N, P, K 함량을 분석하였음 (그림 87-90)
- 성장상에서 재배한 상추의 건물중은 하이드로겔 처리량이 증가할수록 증가하였으며, 다른 처리구에서 재배한 상추와 비교했을 때 하이드로겔 2% 처리 토양에서 재배한 상추의 건물중이 통계적으로 유의하게 가장 높은 것으로 나타남 (그림 87)
- 또한 상추 내 N, P, K 함량 분석결과, 덕두원리 토양에서 재배한 상추의 질소 함량은 하이드로겔 처리에 의해 통계적으로 유의하게 증가하였고, 비록 대부분 처리구 간 통계적 유의성은 없었으나, 하이드로겔 처리량이 많을수록 N, P, K 함량은 높아지는 경향을 나타냄
- 앞서 모니터링 결과에서 하이드로겔 처리가 토양의 화학적 특성 변화에 미치는 영향은 미비한 것으로 나타났으나, 토양의 물리적 특성 개량 효과가 작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단됨
- 또한 하이드로겔 2% 처리 시 토양의 용적밀도가 다른 처리구 뿐만 아니라 일반적인 농경지 토양의 용적밀도보다 상대적으로 낮아 작물 지지력에 문제가 있을 것으로 판단되었으나, 상추의 생육 과정 동안 문제점은 발견되지 않았으며, 건물중도 가장 높은 것으로 나타남. 따라서 하이드로겔 처리에 의한 용적밀도 감소는 작물 생육에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단됨
- 결과적으로 실내실험을 통해 하이드로겔 처리가 토양의 물리적 특성 (용적밀도, 수분함량)을 개량하는 효과를 지닌 것을 확인하였고, 이는 향후 토양 호흡과 같은 생물학적 특성에 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단되며, 결국 화학적 특성에도 간접적인 영향을 미칠 것으로 보임. 2차년도에는 하이드로겔을 현장 토양에 적용 후 1년 동안 장기 모니터링 및 작물 생육 실험을 통해 명확한 하이드로겔 처리 효과를 도출하였음



그림 90. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 모습

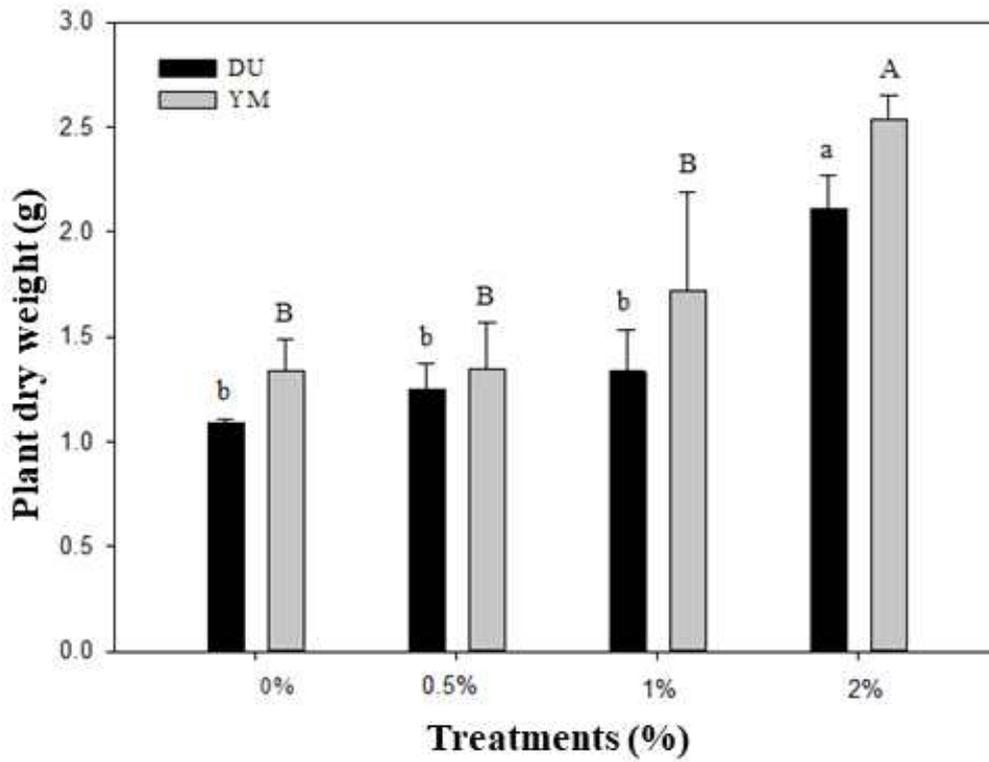


그림 91 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 건물중

Deokduwon (DU)

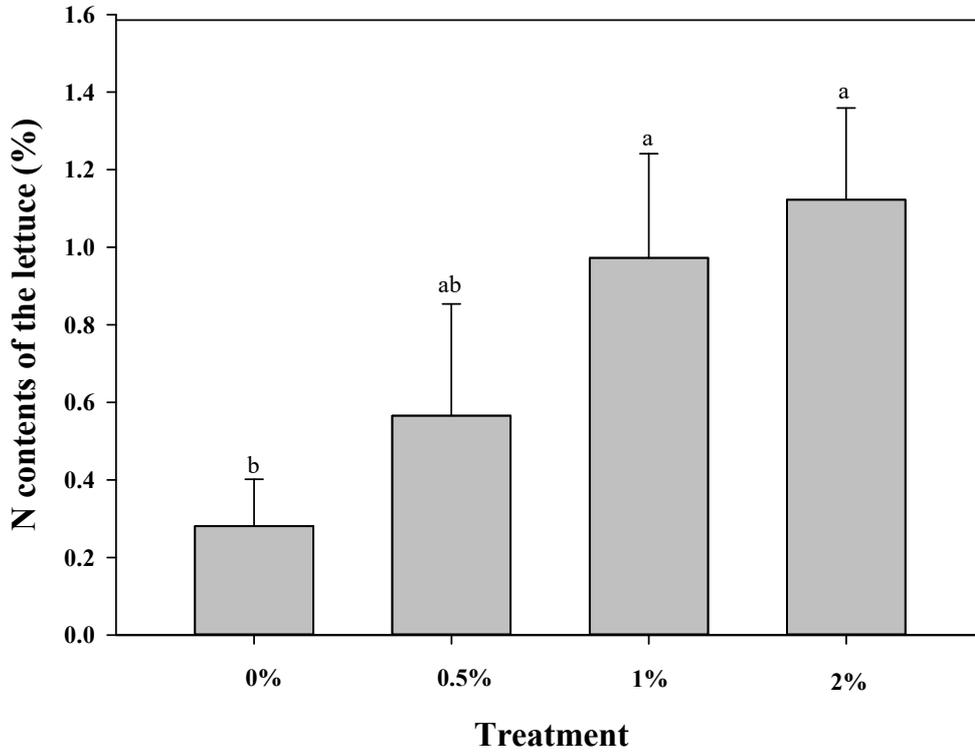


그림 92. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 질소 함량(덕두원리)

Yulmoon (YM)

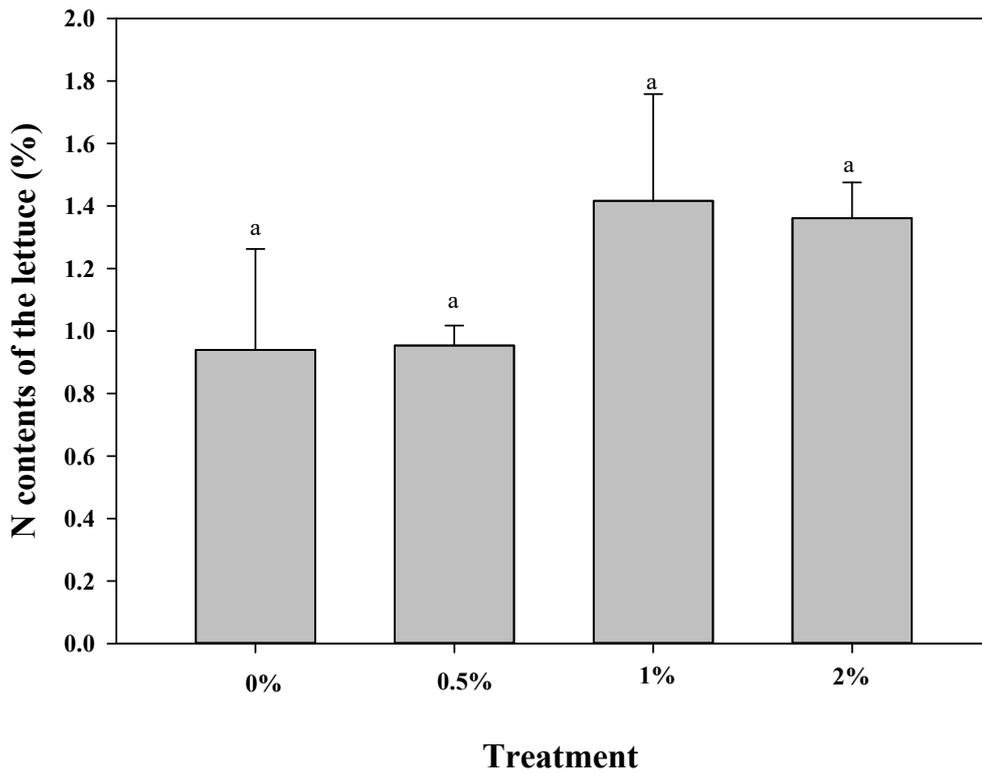


그림 93 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 질소 함량(울문리)

Deokduwon (DU)

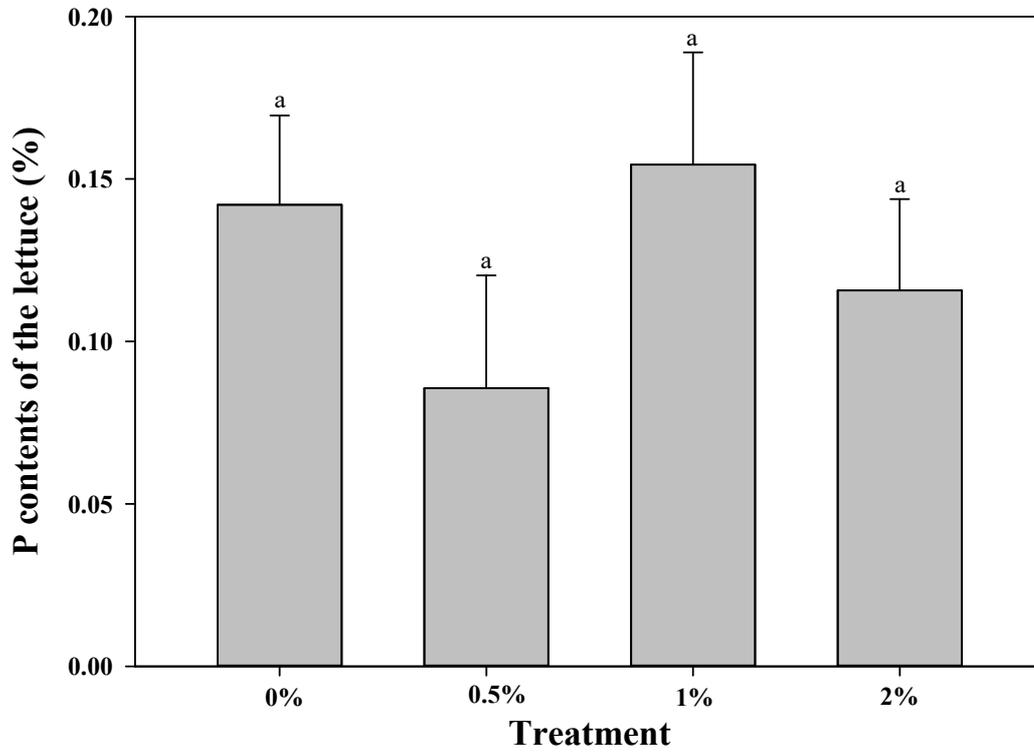


그림 94. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 인 함량(덕두원리)

Yulmoon (YM)

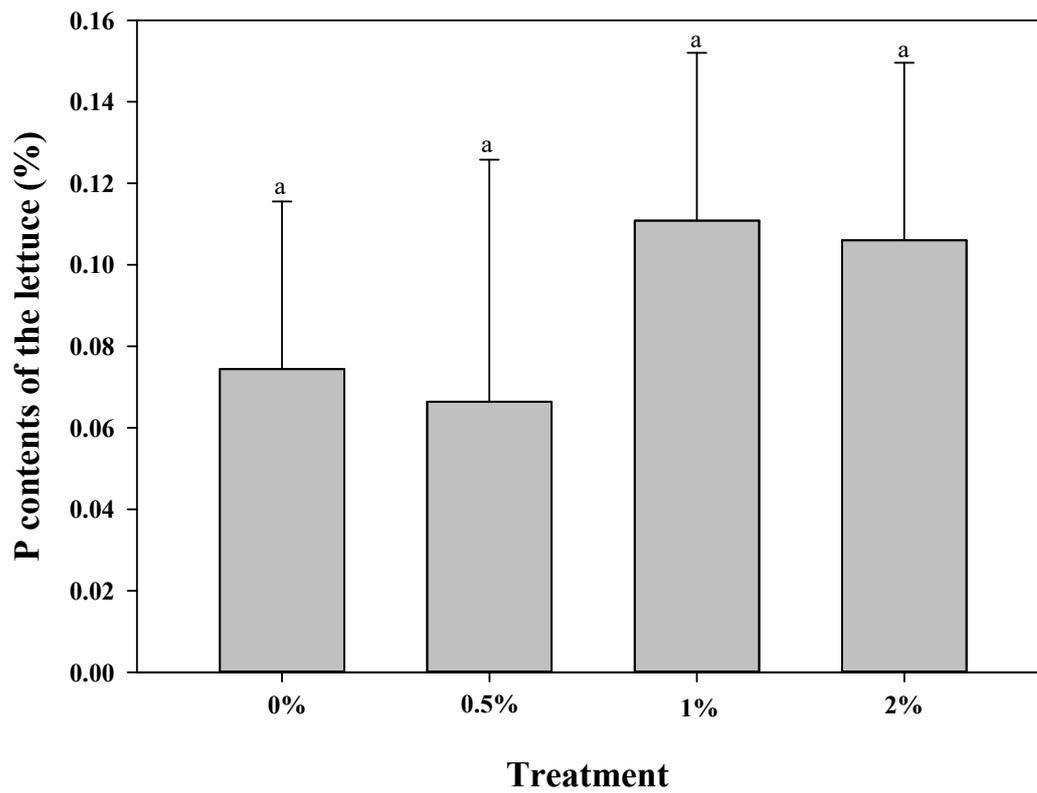


그림 95. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 인 함량(율문리)

Deokduwon (DU)

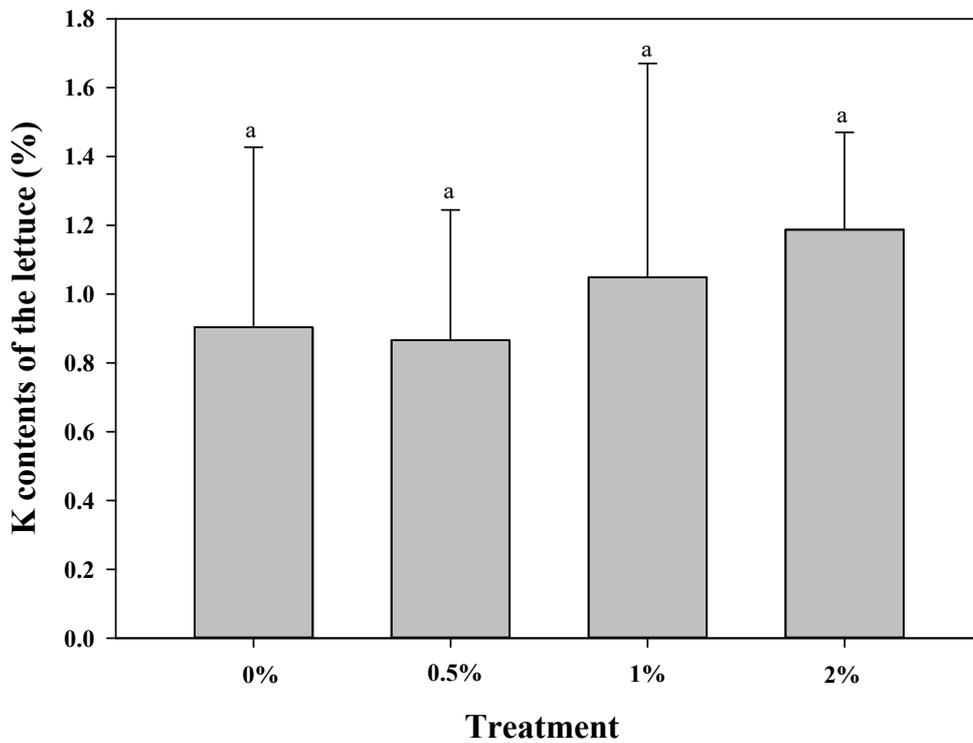


그림 96. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 칼륨 함량(덕두원리)

Yulmoon (YM)

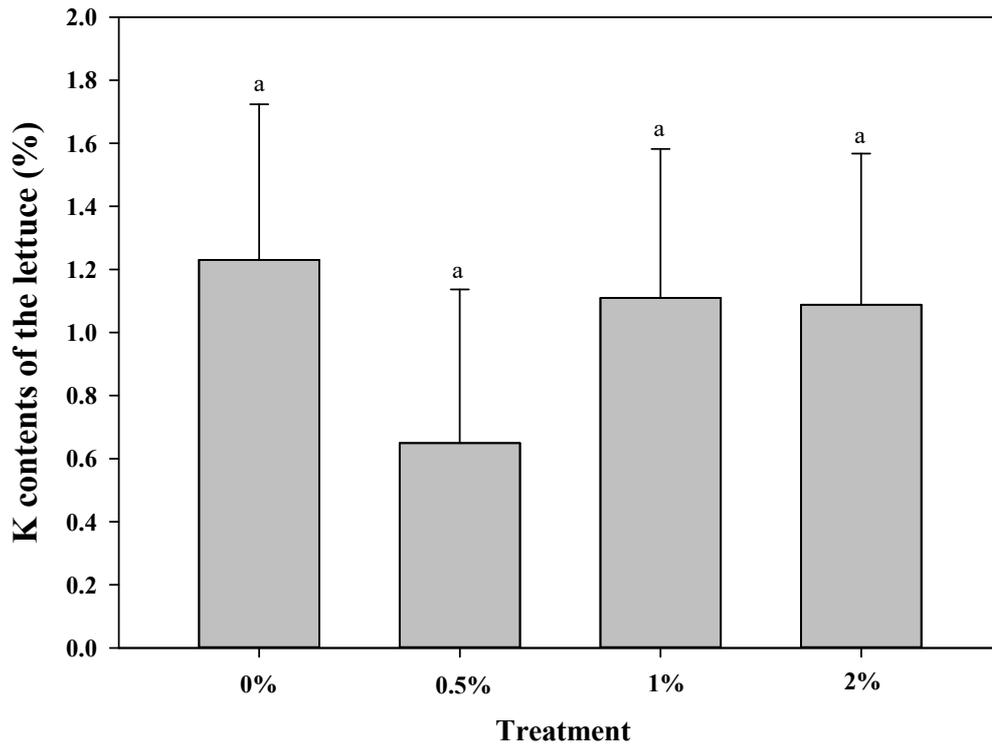


그림 97. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 칼륨 함량(율문리)

(2) 1단계 2차년도 수행 과정 및 수행 내용

가. [주관연구기관 _ (주)테라그린 _ 1단계 2차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 (대량 생산 시스템 구축 및 농가 재배시험)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
구명된 입자형 하이드로겔의 대량 생산 시스템 구현 테스트		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립 (육묘용, 분화용, 토경용)		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔의 투입 기기 개발 및 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비 구명			→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100
작물 재배 농가에 적용하여 재배시험			→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*	100
(주)신성미네랄 상토회사와 실제계약을 통한 다기능 하이드로겔을 혼합한 상토 생산									→	→	→	→	→	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 구명된 입자형 하이드로겔의 대량 생산 시스템 구현 테스트

- 사업화를 위해서는 대용량 합성반응을 통한 균일한 생산이 필요함. 일회성이 아닌 다양한 조건과 방법으로 반복 테스트를 하여 대량 생산 시스템 구현 테스트를 진행함.
- 2022년 3월 이틀간 한국생산기술연구원의 장비를 이용하여 입자형 하이드로겔 대량 생산을 위한 테스트를 수행함.
- 합성한 입자형 하이드로겔의 팽윤, 건조, 파쇄 테스트 수행함

○ 입자형 하이드로겔 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립 (육묘용, 분화용, 토경용)

- 2022년 4월 한국생산기술연구원 장비를 이용하여 1차 테스트에서 미흡한 부분 보완 및 다양한 팽윤도 및 물성의 육묘용, 분화용, 토경용 하이드로겔 생산 테스트 및 제조 조건 테스트를 수행함.
- 재현성 평가와 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립을 위해 2022년 6월 이틀간 한국생산기술연구원에서 하이드로겔 반복 테스트 수행 및 다기능 하이드로겔 1차 공정 제조 매뉴얼 작성함.



1. Laponite 투여 및 녹임



2. Sodium pyrophosphate tetrabasic (분산제) 투여



3. 반응기에 Acrylic acid 넣음



4. Potassium carbonate(탄산칼륨) 넣음



5. KA 수용액이 투명해질 때까지 기다림



6. Laponite 녹았는지 확인
Potassium persulfate(KPS) 개시제



7. Dimethylacrylamide(DMAAm) 넣음



8. KA 수용액 넣음



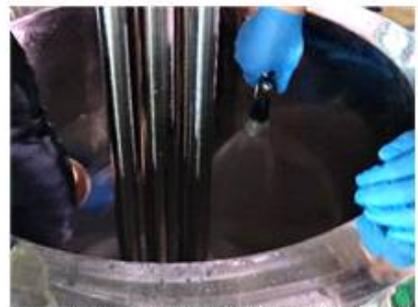
9. 5분간 믹싱하기



10. TEMED(촉매제) 넣기



11. 드레인하여 1차 합성물 담기



12. 아세톤으로 반응기 및 고속믹서 청소

그림 98. 다기능 하이드로겔 1차 공정 제조 매뉴얼

- 국내 사업화 추진을 위해 한국생산기술연구원의 반응기를 통해 대량 생산을 진행하여 상토 및 부속유기질비료(퇴비)의 혼합에 필요한 재고를 확보하고 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 제조 조건을 확립함.
- 한국생산기술연구원에서 1차 공정으로 생산된 합성물을 (주)테라그린 공장으로 가져와 2차 공정을 거쳐 최종 생산물을 만들어 냄.



1. 1차 공정 합성물 굳히기



2. 적당한 크기로 절단하기



3. 물에 넣어 잔류 monomer 제거하기



4. 건조기 채반에 펼쳐서 90℃에 24시간 건조시킴



5. 건조 후 채반에서 떼어냄



6. 파쇄기를 이용하여 작은 입자형태의 최종 생산물을 만듦

그림 99. 다기능 하이드로겔 2차 공정 매뉴얼

○ 대량생산 및 파일럿 제조시의 성능지표 측정 및 분석

- 다기능 하이드로겔의 흡수율 측정(공인 기관)
- 단량체 함량 비율에 따라 (주)테라그린과 한국생산기술연구원에서 제조된 최종 생산물의 재현성 평가를 위해 시료의 팽윤도(흡수율)를 측정하기 위해 KS K 0764 : 2015를 준용하여 시험을 진행하였다. 최초 시험시작부터 24시간 후의 부피를 측정하였다. 토경용 NC 100, 육묘용 NC 300 이다.

표 15. 팽윤도

시험항목		시료양	시험결과	분석방법
팽윤도	NC 100	0.5 g	100 mL	KS K 0764 : 2015 (준용)
	NC 300	0.5 g	220 mL	

- 대량생산 및 파일럿 제조시에도 최종 생산물 다기능 하이드로겔의 흡수율을 저해하는 요소는 없는 것을 확인할 수 있었다.
- 다기능 하이드로겔의 유효양이온 함유 확인(공인 기관)
- 단량체 함량 비율에 따라 (주)테라그린과 한국생산기술연구원에서 제조된 최종 생산물의 재현성 평가를 위해 시료의 성장유효 이온 치환 여부를 ICP-OES 분석기기를 통해 분석한 결과 아래와 같은 표를 얻을 수 있었다. 분석방법은 EPA 3052, 6010D를 준용하여 시험을 진행하였다. 토경용 NC 100, 육묘용 NC 300 이다.

표 16. 무기원소 정량분석

시험항목		단위	시험결과	분석방법
K(칼륨)	NC 100	%	0.29	EPA 3052, 6010D (준용)
	NC 300		1.43	

- 다기능 하이드로겔의 열분해에 의한 무게 감소 확인(공인 기관)
- 단량체 함량 비율에 따라 (쥬테라그린과 한국생산기술연구원에서 제조된 최종 생산물의 재현성 평가와 제품화에 따른 유통과정을 위해 시료의 열분해에 의한 무게 감소를 확인하기 위해 TGA 분석을 진행하였다. 토경용 NC 100, 육묘용 NC 300 이다.

표 17. 열중량 분석 장비

장 비 명	모델 및 제조사
열중량 분석기 (Thermogravimetric analyser, TGA)	METTLER TOLEDO (TGA/DSC 2 STAR SYSTEM), SWISS



그림 100. 열중량 분석기

표 18. TGA 분석조건

항목	조건
Temperature range	25 °C ~ 1 600 °C
Temperature accuracy	less than ± 0.5 °C
Heating rate	± 20 °C/min

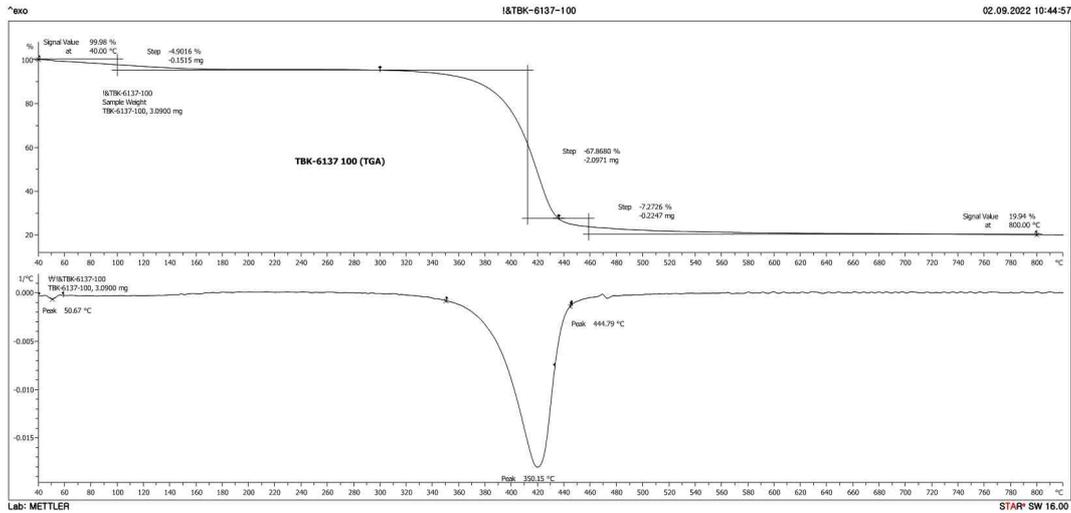


그림 101. TGA (NC-100)

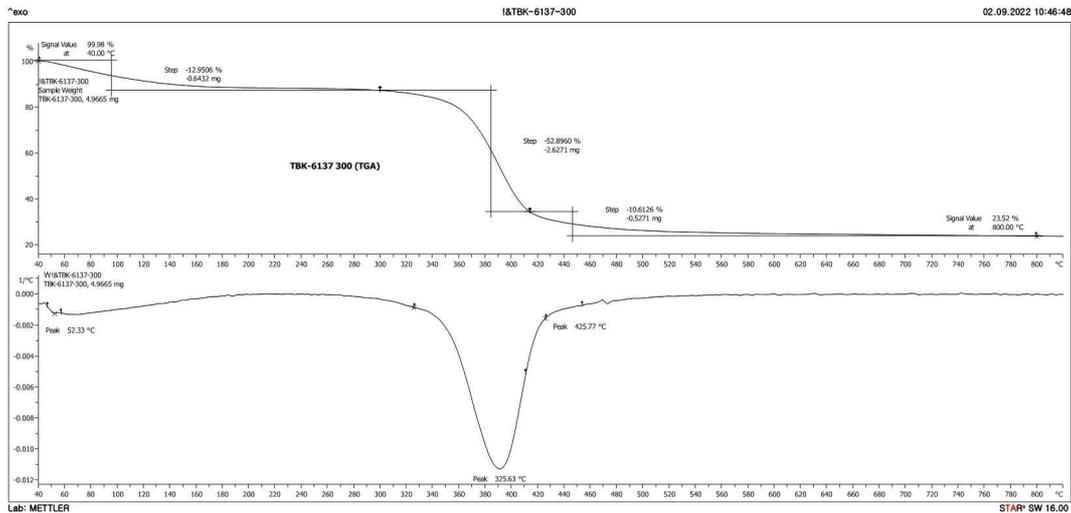


그림 102. TGA (NC-300)

- 다기능 하이드로겔의 합성 확인(공인 기관)
- 단량체 함량 비율에 따라 (쥬테라그린과 한국생산기술연구원에서 제조된 최종 생산물의 재현성 평가와 합성 확인을 확인하기 위해 FT-IR을 통한 spectrum을 관찰한 결과 아래와 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 토경용 NC 100, 육묘용 NC 300 이다.

표 19. 적외선분광 분석 장비

장 비 명	모델 및 제조사
적외선분광분석기 (Fourier transform infrared spectroscope, FT-IR)	JASCO(FT-IR 6100), JAPAN



그림 103. 적외선분광분석기

표 20. FT-IR 분석조건

항목	조건
Resolution	0.5 cm ⁻¹
S/N Ratio	42000 : 1

FT-IR 분석결과

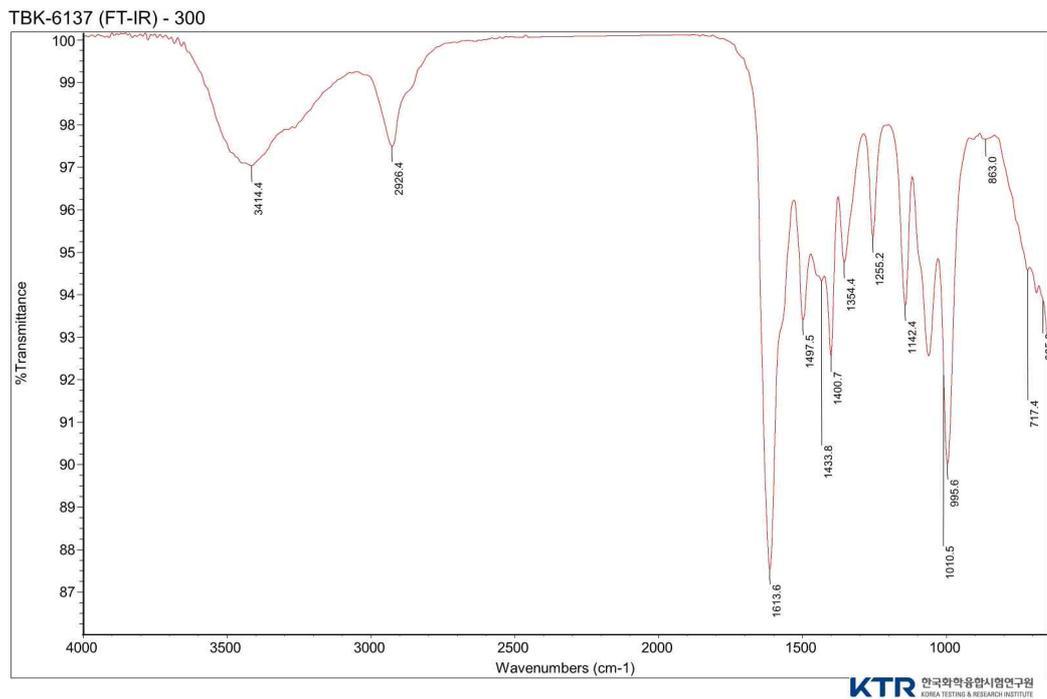
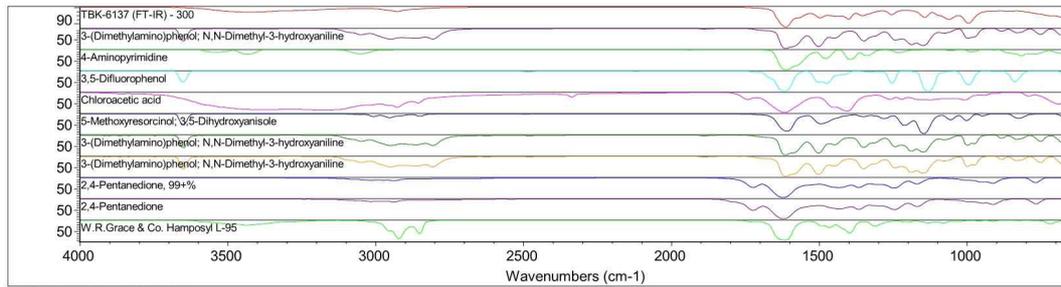


그림 104. FT-IR(NC-100)

Search results for: TBK-6137 (FT-IR) - 300
 Date: Mon Aug 29 15:48:36 2022 (GMT+09:00)
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3494.44-650.06

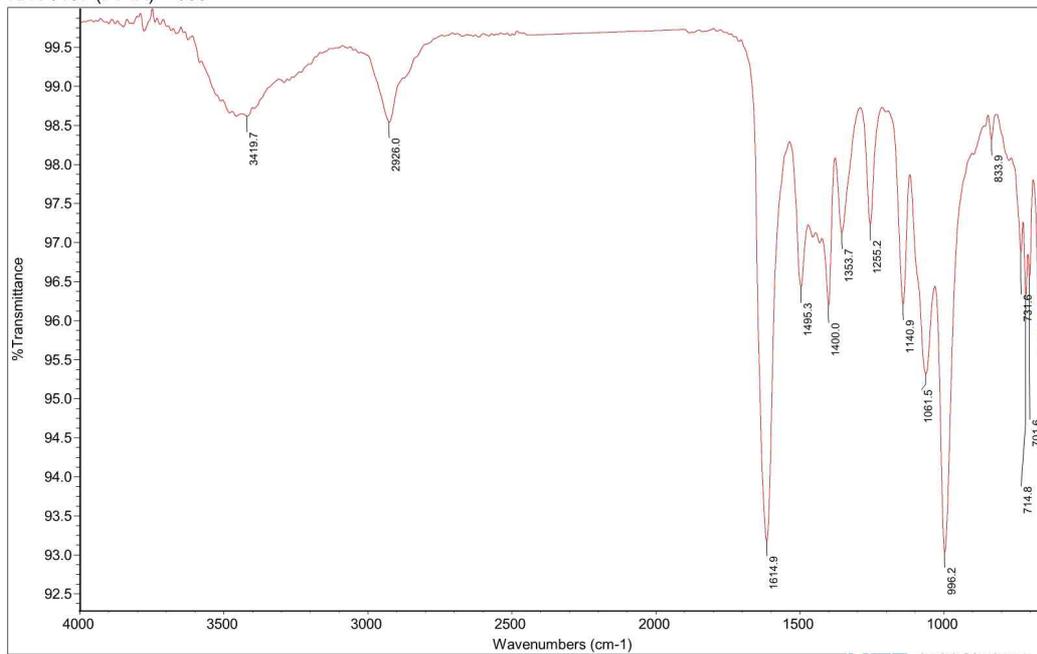


Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name	
1	5665	59.86	3-(Dimethylamino)phenol; N,N-Dimethyl-3-hydroxyaniline	Nicolet Vapor Phase
2	8020	58.59	4-Aminopyrimidine	Nicolet Vapor Phase
3	5166	57.78	3,5-Difluorophenol	Nicolet Vapor Phase
4	1269	56.81	Chloroacetic acid	Hummel Polymer and Additives
5	5280	54.94	5-Methoxyresorcinol; 3,5-Dihydroxyanisole	Nicolet Vapor Phase
6	5665	54.79	3-(Dimethylamino)phenol; N,N-Dimethyl-3-hydroxyaniline	HR Nicolet Vapor Phase
7	4398	54.79	3-(Dimethylamino)phenol; N,N-Dimethyl-3-hydroxyaniline	HR Aldrich Vapor
8	32	53.30	2,4-Pentanedione, 99+%	Nicolet/Aldrich Vapor Phase
9	610	53.23	2,4-Pentanedione	EPA Vapor Phase
10	515	52.85	W.R.Grace & Co. Hamposyl L-95	Surfactants

그림 105. FT-IR(NC-100)

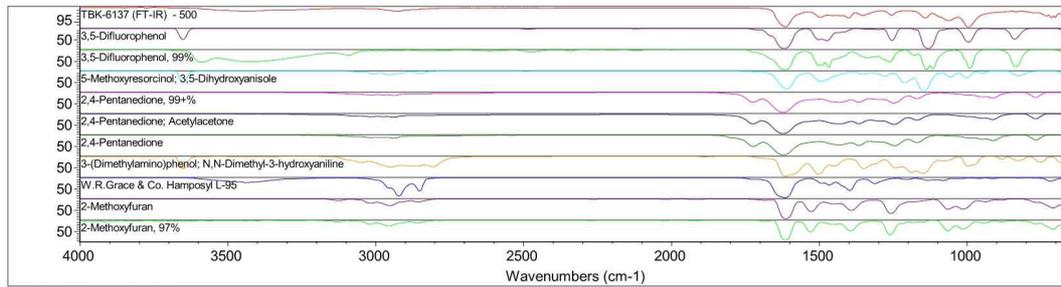
TBK-6137 (FT-IR) - 500



KTR 한국화학융합시험연구원
 KOREA TESTING & RESEARCH INSTITUTE

그림 106. FT-IR(NC-300)

Search results for: TBK-6137 (FT-IR) - 500
 Date: Mon Aug 29 15:49:39 2022 (GMT+09:00)
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3494.44-650.06

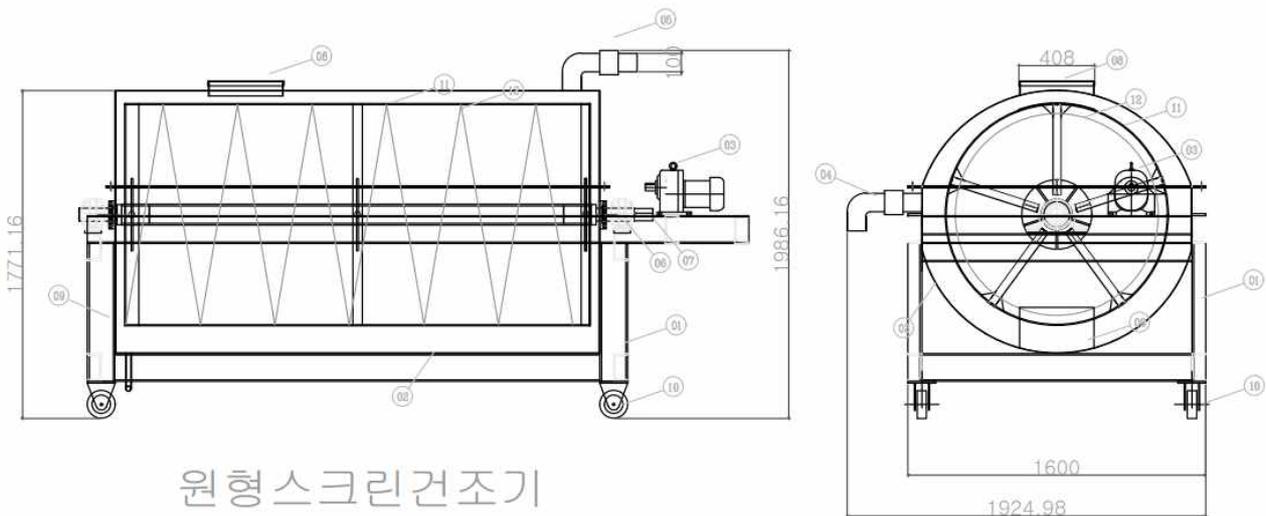


Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	5166	60.43 3,5-Difluorophenol	Nicolet Vapor Phase
2	7102	54.58 3,5-Difluorophenol, 99%	Aldrich FT-IR Collection Edition II
3	5280	52.51 5-Methoxyresorcinol; 3,5-Dihydroxyanisole	Nicolet Vapor Phase
4	32	52.33 2,4-Pentanedione, 99+%	Nicolet/Aldrich Vapor Phase
5	2319	51.82 2,4-Pentanedione; Acetylacetone	Nicolet Vapor Phase
6	610	51.71 2,4-Pentanedione	EPA Vapor Phase
7	5665	51.58 3-(Dimethylamino)phenol; N,N-Dimethyl-3-hydroxyaniline	Nicolet Vapor Phase
8	515	51.43 W.R.Grace & Co. Hamposyl L-95	Surfactants
9	7499	51.10 2-Methoxyfuran	Nicolet Vapor Phase
10	1962	51.03 2-Methoxyfuran, 97%	Nicolet/Aldrich Vapor Phase

그림 107. FT-IR(NC-300)

- 2차 공정에 투입되는 인력과 시간을 최소화하고 자동화 라인을 구축하기 위한 장비 제작을 위해 특수장비 제작 업체인 (주)케이지시스템에 의뢰하여 설계도를 제작하였음.
- 2차 공정 자동화 설비는 2023년 3월까지 설치를 마칠 계획임.



원형스크린건조기

그림 108. 다기능 하이드로겔 2차 공정 자동화 설비 설계도

- 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 제조 조건 확립을 위해 각 용도에 맞는 팽윤도를 설정하여 하이드로겔을 생산함. 본 과제 연구팀이 사전 실험에서 나타난 결과를 토대로 협의한 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 팽윤도는 각각 300, 200, 100배임.
- 하이드로겔의 팽윤도는 단량체 함량 또는 KA:DMAAm 단량체 함량비를 다르게 하여 변화시킬 수 있는 요인임. 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 제조 조건은 다음과 같음.

표 21. 육묘용, 분화용, 토경용 하이드로겔 선발 함량비

구분	팽윤도(g/g)	단량체 함량(wt%)	KA:DMAAm 단량체 함량비(wt%)
육묘용	300	20	0.25:9.75
분화용	200	20	2:8
토경용	100	20	3:7

○ 입자형 하이드로겔의 투입 기기 개발 및 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비 구명

- 상토(육묘용) 및 부숙유기질비료(토경용)에 혼합되는 입자형 하이드로겔의 양은 1L당 1~10g 정도로 소량 혼합 됨. 따라서 재배시험을 통한 결과물을 이용하여 상토 및 유기질 비료에 혼합해야 할 적절한 혼합비를 구명하고 대량 생산 시스템 공정에 들어가기 전 시 제품 생산을 통해 균일한 양의 첨가 및 혼합 테스트를 수행함.
- 상토 및 부숙유기질비료에 다기능 하이드로겔을 적정량 혼합하기 위해서는 생산 라인에 하이드로겔 투입 장비를 설치해야 함. (쥬케이시스시스템에 의뢰하여 진동 방식으로 하이드로겔 투입량을 조절할 수 있는 장비와 스크류 방식을 제작하여 설치함.



그림 109. 상토 및 부숙유기질비료(퇴비) 생산 라인에서 다기능 하이드로겔을 투입하기 위한 장비

- 배재대학교에서 수행한 재배시험 결과를 바탕으로 구명된 다기능 하이드로겔 육묘용(상토) 혼합비는 NH 2%이다.
- (쥬테라그린에서 의뢰한 농가 재배시험 결과를 바탕으로 구명된 다기능 하이드로겔 토경용 (부숙유기질비료) 혼합비는 NH 2%이다.

○ 작물 재배 농가에 적용하여 재배시험

- 다기능 하이드로겔(토경용)을 실제 작물 재배농가에 적용하여 이화학적 특성을 분석하고 생육조사를 실시하여 실제 사용 효과를 입증하는 재배시험을 수행함.
- 시험결과는 작물 재배시험 인증기관인 (주)신성미네랄에 의뢰하여 작성된 재배시험 결과 보고서(별도 첨부)에 의거하여 작성됨.

가) 시험장소: 경기도 평택시 죽백동 212

나) 식물재료 및 처리구

- 토양: 공인인증기관(에이티분석센터) 정식 전 토양분석
- 식물재료: 고추 ‘칼라탄’ 과 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 접목묘
- 부숙유기질비료(퇴비): 다기능 하이드로겔을 적용하지 않은 시제품 부숙유기질비료(퇴비)
- 처리구: 부숙유기질비료(퇴비)에 하이드로겔을 혼합하지 않은 무처리, 부숙유기질비료(퇴비)에 테라코템(TC) 2%(w/w) 혼합, 부숙유기질비료(퇴비)에 다기능 하이드로겔(NH) 0.5%(w/w) 혼합, 부숙유기질비료(퇴비)에 다기능 하이드로겔(NH) 1%(w/w) 혼합, 부숙유기질비료(퇴비)에 다기능 하이드로겔(NH) 2%(w/w) 혼합

다) 실험방법

- 재배토양에 유기질 비료(무처리), 테라코템(TC) 2%, 다기능 하이드로겔(NH) 0.5, 1, 2%가 혼합된 유기질 비료를 표층에 뿌려준 후 관리기를 이용하여 상층부와 식재층이 잘 섞이도록 경운하여 줌.
- 재배방법은 농촌진흥청 농업기술길잡이의 토마토와 고추 재배 책자를 이용하여 처리간 동일하게 관리함. 관수는 하지 않았으며 자연적으로 내리는 강수량에 의존하여 재배함. 또한 EC-5 수분센서(Meter)를 이용하여 각각의 처리구에 꽃아 수분상태를 측정함.
- 식물체 조사: 정식 후 120일 후 조사항목별 수행
- 조사항목: 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 관부직경, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중, 토양 보수력 증진제 종류별 토양수분 변화, 식물체의 생육비교
- 지하부의 뿌리는 토양과 하이드로겔을 최대한 제거하여 건조기에서 65℃로 48시간 건조하여 건물중을 측정함.

라) 실험 결과

○ 재배 농가 토양 분석

표 22. 식물체 정식 전 분석(2월 11일)

분석항목(단위)		시료구분			
		①	②	③	평균
유기물(g/kg ⁻¹)		17.32	14.43	18.71	16.82
N(%)		0.098	0.175	0.070	0.11
유효P ₂ O ₅ (mg/kg)		283.26	264.08	242.55	263.30
치환성K(cmol ⁺ /kg)		0.42	0.67	0.47	0.52
치환성Ca(cmol ⁺ /kg)		4.21	3.66	5.55	4.47
치환성Mg(cmol ⁺ /kg)		1.37	1.75	1.42	1.51
치환성Na(cmol ⁺ /kg)		0.18	0.13	0.19	0.17
양이온치환용량(cmol ⁺ /kg)		8.20	10.60	7.50	8.77
pH[1:5]		7.19	7.15	8.06	7.47
전기전도도[1:5] (dS/m)		1.16	1.15	1.20	1.17
NaCl(%)		0.0034	0.0023	0.0056	0.0038
토성 [美농무성법 분류]	모래(%)	69.41	64.45	67.91	67.26
	미사(%)	19.54	24.77	20.61	21.64
	점토(%)	11.05	10.78	11.48	11.10
	분류	사질양토	사질양토	사질양토	사질양토

○ 고추와 토마토의 적정 유기물 함량은 고추 25~30(g/kg-1), 토마토 20~30(g/kg-1) 으로 식물체 정식 전 토양분석 결과에 따르면 유기물은 적은 수준으로 판단되었다. 유기물은 보수력, 통기성, 투수성, 토양구조의 변화 등 토양의 이화학적 성질 개선에 중요한 역할을 함과 동시에 미생물의 활동을 왕성하게 하고 식물에 영양분을 공급하고 저장하는 저장고이므로 양분 보급면에서 매우 중요한 기능을 한다. 또한 모래함량이 67.26%로 모래의 함량이 많은 토양이라 토양배수는 양호하나 유기물 또는 수분을 보유할 수 있는 능력이 매우 적어 식재 후 가뭄 등으로 인한 건조피해의 우려가 있는 토양이었다. 따라서 토양분석에 의거 흙토람 기준의 시비 처방을 하고, 다기능 하이드로겔을 기반 토양개량제의 부숙유기질비료(퇴비) 제품화를 하기 위한 시제품과 다기능 하이드로겔을 적용하지 않은 부숙유기질비료(퇴비) 원료를 적용하여 정식하였다. 재배지의 토양은 사질양토로 모래의 비중이 67.26%로 높고 점토의 함량이 낮아 보수력이 필요한 토양으로 사료되었다.

○ 토양 보수력 증진제 종류별 토양수분 변화

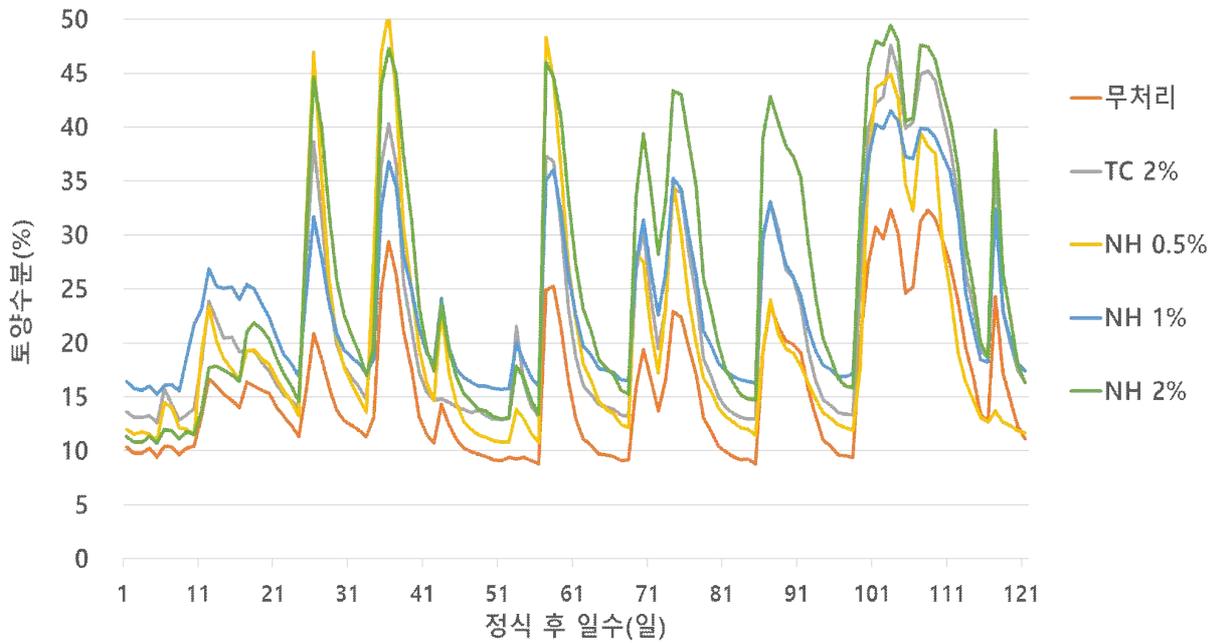


그림 110. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 '칼라탄' 수분함량의 변화

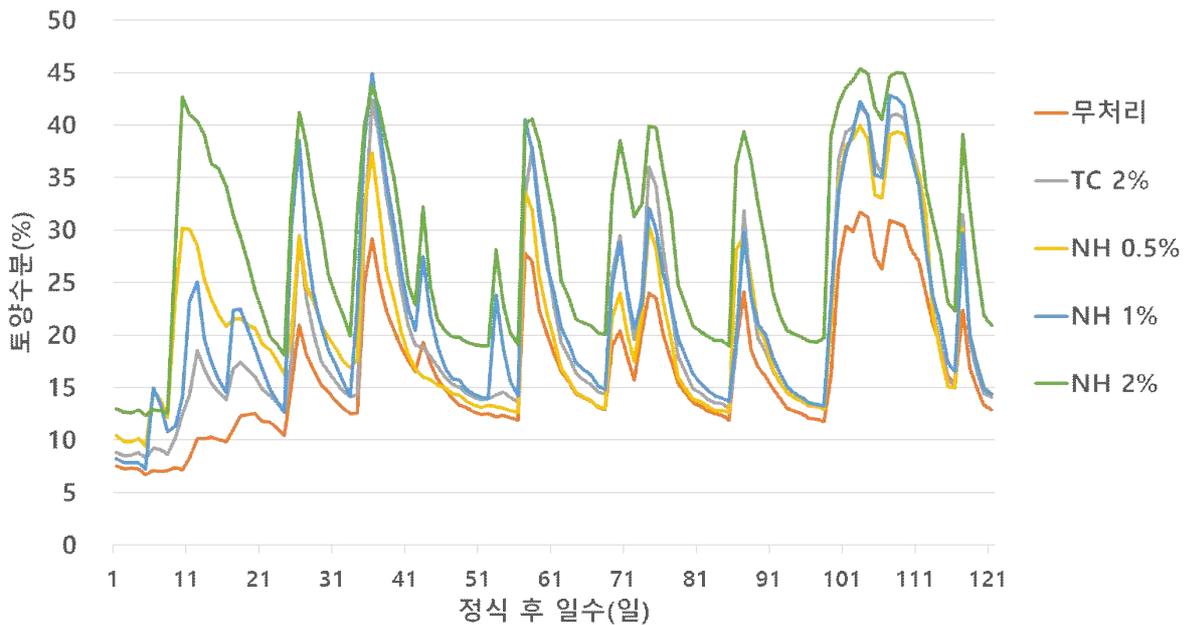


그림 111. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 토마토 '슈퍼도태랑' 수분함량의 변화

○ 토양 보수력 증진제 종류별 식물체의 생육 비교

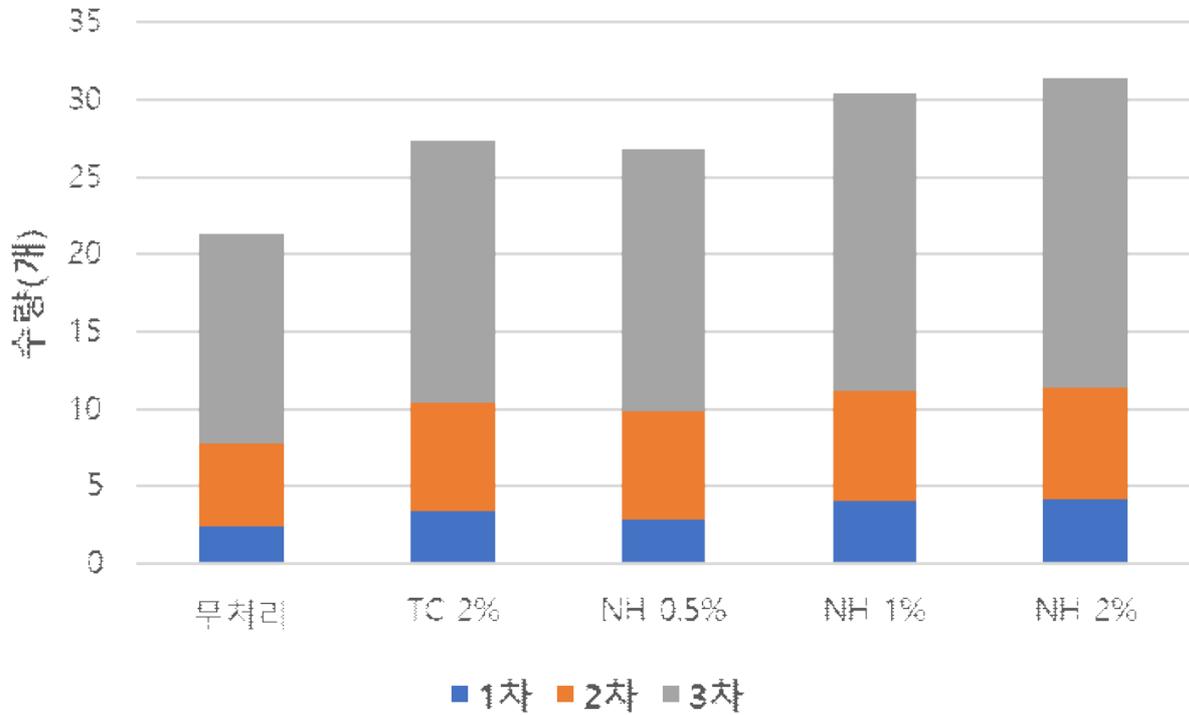


그림 112. 고추 '칼라탄' 재배 중 누적 과실 수량(적과)

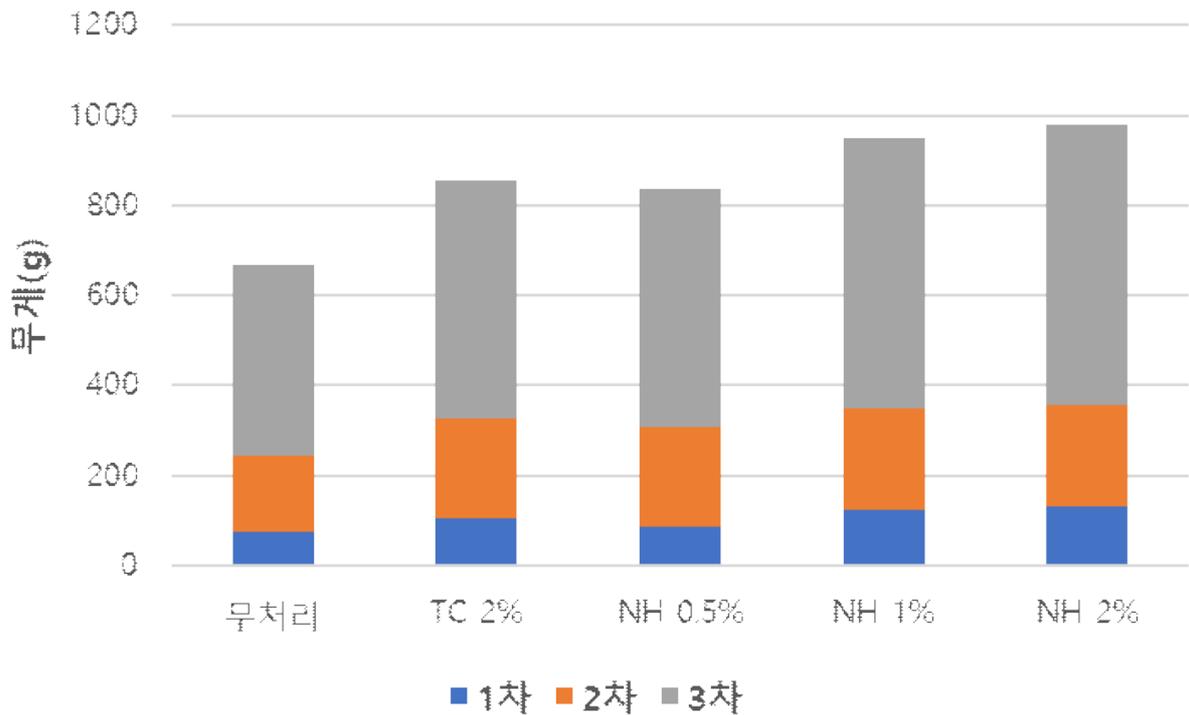


그림 113. 고추 '칼라탄' 재배 중 누적 과실 무게(적과)

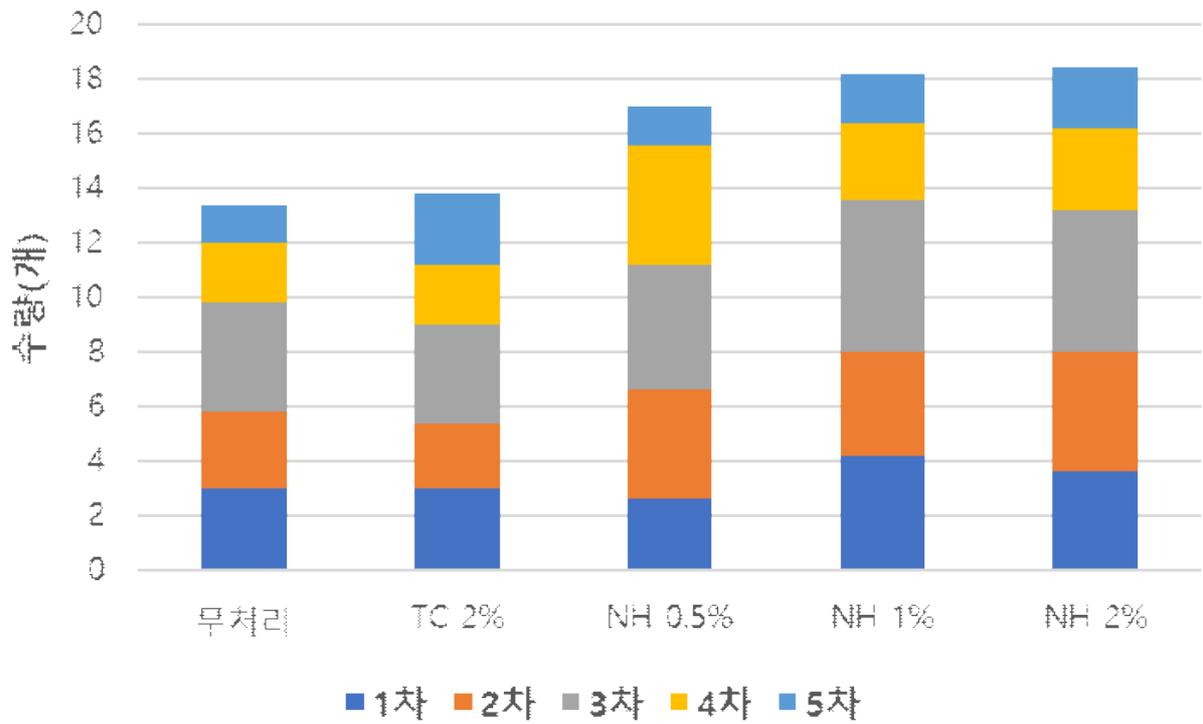


그림 114. 토마토 '슈퍼도태랑' 재배 중 누적 과실 수량(완숙)

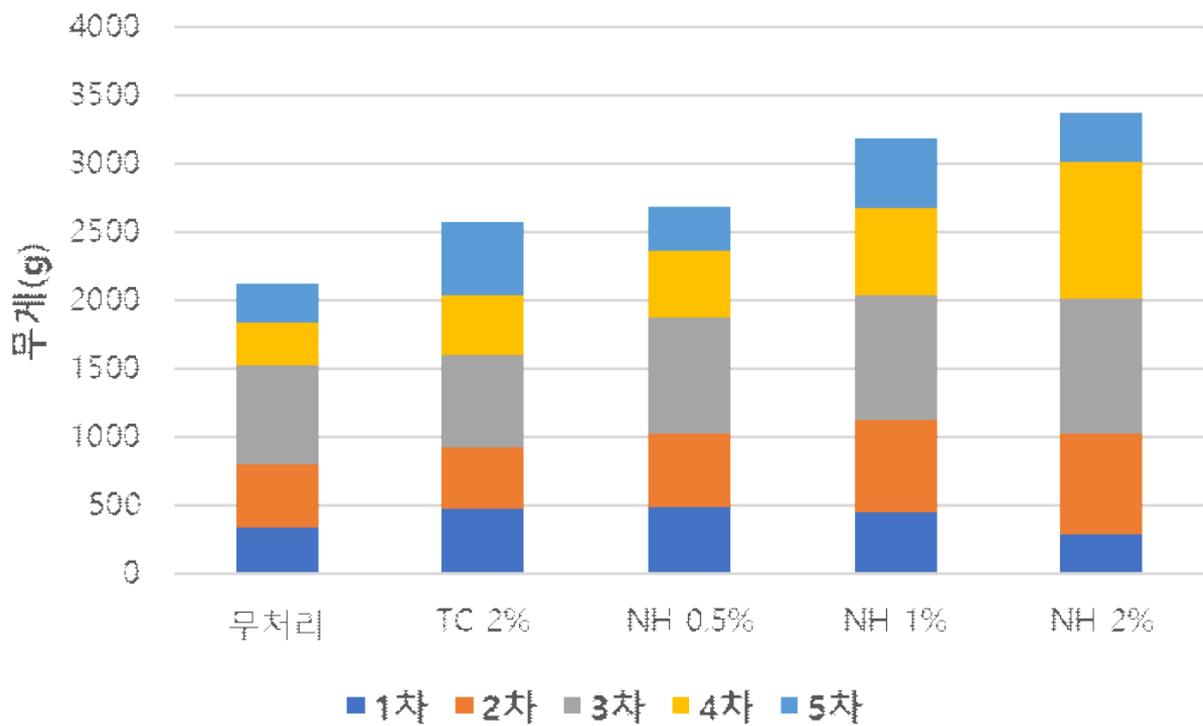


그림 115. 토마토 '슈퍼도태랑' 재배 중 누적 과실 무게(완숙)

표 23. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 ‘칼라탄’ 정식 120일 후 생육

	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Stem diameter (mm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Cont.	111.7 ab ^z	11.6 a	5.5 c	311.7 a	458.2 c	88.2 b	17.0 ab	24.3 b	5.3 b
TC 2%	118.3 a	13.6 a	6.1 b	373.0 a	587.7 ab	108.3 ab	18.9 a	26.5 b	6.2 ab
NH 0.5%	106.3 b	12.5 a	6.1 b	388.0 a	574.7 b	105.7 ab	16.9 b	27.0 b	6.4 ab
NH 1%	117.0 a	12.9 a	6.8 a	467.7 a	679.0 ab	119.0 a	18.6 ab	32.1 a	7.3 a
NH 2%	113.0 ab	13.0 a	6.1 b	500.7 a	692.3 a	126.8 a	18.5 ab	34.5 a	7.4 a

^zDuncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

표 24. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 정식 120일 후 생육

	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Stem diameter (mm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Cont.	159.0 abcz	46.7 a	48.7 a	13.3 b	1096.3 c	132.3 c	15.2 a	74.7 c	15.2 b
TC 2%	153.7 c	46.7 a	52.0 a	15.0 b	1361.0 ab	165.0 ab	16.1 a	76.7 bc	16.3 a
NH 0.5%	173.3 a	45.8 a	52.0 a	14.3 b	1220.2 bc	158.2 bc	15.3 a	78.3 bc	16.6 a
NH 1%	157.3 bc	46.0 a	48.3 a	21.3 a	1466.3 a	176.2 ab	19.2 a	83.3 ab	17.3 a
NH 2%	169.3 ab	47.7 a	47.7 a	19.7 a	1510.7 a	191.2 a	16.0 a	86.7 a	17.5 a

^zDuncan’s multiple range test at $p \leq 0.05$.

○ 재배시험 사진



그림 116. 다기능 하이드로겔을 토양에 혼합하기 위해 관리기로 경운

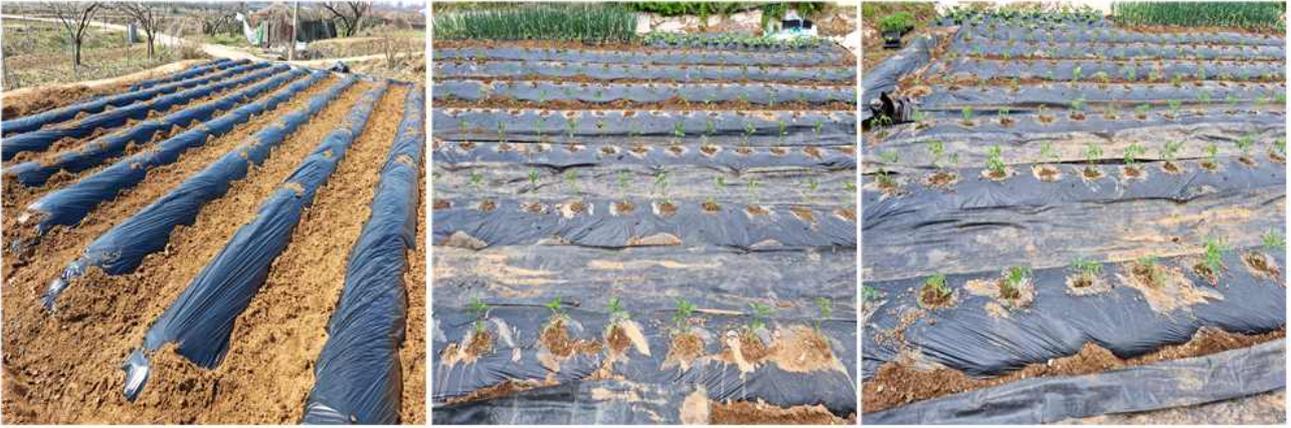


그림 117. 멀칭 한 후 고추, 토마토 정식



그림 118. 토양 수분 센서(EC-5)를 통한 토양 수분 변화 측정



그림 119. 고추, 토마토 정식 후 65일



그림 120. 고추, 토마토 과실 수확

마) 재배실험 결과 요약

- 본 시험은 다기능 하이드로겔 농가 재배시험 연구에 대한 작물 재배시험으로 실제 농가 재배 토양에서 다기능 하이드로겔의 수분 보유력과 작물 생육 등을 검토하기 위하여 (주)테라그린과 (주)신성미네랄에서 공동으로 실시하였다.
- 작물 재배 기간동안 토양의 수분 변화를 관찰하기 위해 고추와 토마토 재배 토양의 각 처리구에 토양 수분 센서를 설치하였다. 고추 ‘칼라탄’의 토양 수분은 작물 재배 기간동안 평균적으로 무처리 15.7%, NH 0.5% 처리구 20.5%, TC 2.0% 처리구 22.2%, NH 1.0% 처리구 23.7%, NH 2.0% 처리구 25.8% 순으로 나타났다. 무처리에서 토양 수분 함량이 가장 적었고 NH 2.0% 처리구에서 무처리에 비해 약 10% 높은 수분 함량을 나타내었다. 토마토 ‘슈퍼도태랑’의 경우 작물 재배 기간동안 평균적으로 무처리 16.4%, TC 2.0% 처리구 20.5%, NH 0.5% 처리구 20.8%, NH 1.0% 처리구 22.0%, NH 2.0% 처리구 28.7% 순으로 나타났다. 토마토 또한 무처리에서 토양 수분 함량이 가장 적었고 NH 2.0% 처리구에서 무처리에 비해 약 12% 높은 수분 함량을 나타내었다. 고추와 토마토 모두 무처리보다 토양 보수력 증진제를 처리한 토양에서 수분 함량이 높게 유지되었으며 시판중인 테라코템과 비교하여 다기능 하이드로겔이 더 높은 효율을 보인 것이 확인되었다.
- 작물 재배 기간동안 고추 ‘칼라탄’ 과 토마토 ‘슈퍼도태랑’의 과실 조사를 각각 3회와 5회 실시하였다. 고추 1주당 과실의 수량과 무게는 무처리, NH 0.5%, TC 2.0%, NH 1.0%, NH 2.0% 처리구 순으로 나타났다. 고추 과실 수량과 무게는 NH 2.0% 처리에서 31.4개 및 981g으로 무처리의 21.4개 및 669g에 비해 약 47% 높았다. 토마토 1주당 과실의 수량과 무게는 무처리, TC 2.0%, NH 0.5%, NH 1.0%, NH 2.0% 처리구 순으로 나타났다. 토마토 과실 수량과 무게는 NH 2.0% 처리에서 18.5개 및 3377g으로 무처리의 13.4개 및 2129g에 비해 각각 37% 및 59% 높았다.

- 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 ‘칼라탄’ 정식 120일 후 생육에서 NH 2.0% 처리구는 무처리보다 지상부 생체중 및 건물중은 각각 51% 및 44% 높았고, 지하부 생체중 및 건물중은 각각 42% 및 40% 높은 결과를 보였다. 토양 보수력 증진제별 처리에서도 NH 2.0%는 TC 2.0%에 비해 지상부 생체중 및 지하부 생체중은 각각 18% 및 30% 높게 나타났다. 통계처리결과 5% 유의수준에서 NH 처리구는 무처리에 비해 엽폭, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중에서 유의성이 인정되었고 초장, 엽장, 엽수, 관부직경은 유의성이 나타나지 않았다.
- 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 정식 120일 후 생육에서 NH 2.0% 처리구는 무처리보다 지상부 생체중 및 건물중은 각각 38% 및 45% 높았고, 지하부 생체중 및 건물중은 약 16% 높은 결과를 보였다. 토양 보수력 증진제별 처리에서도 NH 2.0%는 TC 2.0%에 비해 지상부 생체중 및 지하부 생체중은 각각 11% 및 13% 높게 나타났다. 통계처리결과 5% 유의수준에서 NH 처리구는 무처리에 비해 엽수, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중에서 유의성이 인정되었고 초장, 엽장, 엽폭, 관부직경은 유의성이 나타나지 않았다.
- 종합결과 다기능 하이드로겔(NH) 처리구는 120일의 재배기간 중 고추 및 토마토의 황화, 위축 및 반점 등의 생리장해는 발현되지 않았으며, 지상부의 생육 및 활력도 무처리에 비해 효과적이었다. NH 처리구의 수분 보유력은 무처리보다 높았으며 테라코템과 동일한 양을 처리하였을 때 토양 수분이 높게 유지되었다. 재배기간 중의 토양 수분함량은 NH 2% 처리구에서 가장 높게 유지됨으로써 다른 처리구에 비해 생육지표가 높게 나타났다고 판단된다.
- 다기능 하이드로겔(NH) 처리구는 무처리에 비해 고추와 토마토에서 과실 수량, 무게, 생체중 및 건물중 등의 생육지표에서 월등히 높게 나타났으며, 국외 시판제품인 테라코템과 동일한 양을 처리하였을 때 테라코템보다 뛰어난 생육을 보여 과실의 수량과 무게가 높은 결과를 보였다. 따라서 토양 수분 함량 및 생육에서 가장 높은 지표를 나타낸 NH 2% 처리가 다기능 하이드로겔(토경용) 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비로 선정하는 것이 적절하다고 판단된다.

○ (주)신성미네랄 상토회사와 실제계약을 통한 다기능 하이드로겔을 혼합한 상토 생산

- 다기능 하이드로겔 제품화를 위해 (주)신성미네랄 회사와 OEM(주문자 상표 부착 생산) 계약을 체결하여 육묘, 분화용 하이드로겔을 혼합한 원예용 상토를 생산하고, (주)테라그린은 토경용 하이드로겔을 혼합한 부숙유기질비료(퇴비)를 생산하여 국내 사업화를 추진함.



그림 121 원예용 상토 시제품(좌)과 제품 포장 이미지(우)



그림 122 부숙유기질비료(퇴비) 시제품(좌)과 제품 포장 이미지(우)

- 시제품 분석결과

(주)반코리아 농업환경과학연구원
관리번호 제 2022-1065(102)호

검 사 성 적 서				
위탁자	사업자번호	301-81-54242		
	기관명	(주)신성미네랄		
	주소	충청북도 괴산군 청안면 조천로 2길 34		
시료명	상토2호 초경량			
분석기간	2022. 04. 26 ~ 2022. 06. 17			
용도	관공서제출용			
검 사 성 적				
시료명	항목	규격규격	성적	비고
상토2호 초경량	물리성	용적밀도	0.3Mg/m ³ 미만	0.25
	기타 성분	pH	4.0~7.0	5.81
		EC	1.2dS/m 이하	0.45
		암모니아태질소	암모니아태질소와 질산태질소의 합계량:	123.90
		질산태질소	500mg/kg 이하	204.05
	유해 성분	비소	건물중대 이하	불검출*
		카드뮴	25mg/kg 이하	불검출
		수은	4mg/kg 이하	불검출
		납	200mg/kg 이하	2.59
		크롬(6가)	5mg/kg 이하	0.16
구리		150mg/kg 이하	3.17	
니켈	100mg/kg 이하	2.50		
아연	300mg/kg 이하	15.73		
리스테리아모노사이토제네스	불검출	불검출		

* 정량한계 이하

농촌진흥청 고시 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」에 준하여 발행된 성적서이며, 비료의 이화학적 검사방법 등은 별표1에 따른 검사성적입니다.

「이 성적서는 위탁자가 임의로 제시한 시료 및 시료명의로 시험한 결과로서 소송 및 광고 기타 구속력이 있는 자료로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.」

2022. 06. 17

(주)반코리아 농업환경과학연구원

농촌진흥청 지령 비료 시험연구기관 (제 2008-01호) | 이화분석·재배시험·배합시험 TEL: 042)824-6794

그림 123. 시제품 분석결과_원예용상토

AT 에이티분석센터(주)
연구·분석·전문기관 www.atac.co.kr
22013 인천광역시 연수구 백지로100번길 21,201호 TEL: 032-715-4755 FAX: 032-710-4750

검 사 성 적 서			
의뢰처	상 호	(주)테라그린	사업자등록번호
	주 소	경기도 평택시 정북읍 정오로 357-52	
시 료 명	다기능 하이드로겔 혼합 시제품 7	분 석 목 적	품질관리용
접 수 년 월 일	2022. 7. 7.	접 수 번 호	22-07-R178-4
분 석 결 과			
규격	분석항목(단위)	공정규격	분석결과
유해 성분	유기물(%)	30이상	32.60
	비소(mg/kg) [건물중]	45이하	불검출
	카드뮴(mg/kg) [건물중]	5이하	불검출
	수은(mg/kg) [건물중]	2이하	불검출
	납(mg/kg) [건물중]	130이하	5.84
	크롬(mg/kg) [건물중]	200이하	24.67
	구리(mg/kg) [건물중]	350이하	22.85
	니켈(mg/kg) [건물중]	45이하	13.63
	아연(mg/kg) [건물중]	900이하	72.09
	대장균O157:H7	불검출	불검출
그밖의 규격	삼오닐러	불검출	불검출
	유기물대 질소의 비	45이하	42.89
	염분(%) [건물중]	2.0이하	0.20
	수분(%)	55이하	32.26
규격	부숙도 [음백법]	부숙완료 이상	부숙완료
규격	염산불용액 중(%)	25이하	22.42
규격	질소전량(%)	-	0.76
규격	인산전량(%)	-	0.18
규격	칼리전량(%)	-	0.44

* 본 시험성적서는 농촌진흥청고시 제2020-29호 비료의 품질검사방법 및 시료채취기준에 따라 위와 같이 발급합니다.

2022년 7월 15일
에이티분석센터(주) [인정] [인정] [인정]
농촌진흥청 비료시험연구기관 제 48호
국립농산물품질관리원 유기농업자재시험연구기관 제35호

시험책임자: 이충원 [인정]

※ 위의 분석결과는 귀하께서 분석의뢰하신 시료에 대한 분석결과이며, 의뢰용도 이외의 상업적인 광고 및 법적인 해결 수단으로 사용할 수 없습니다.

AT Analysis Center Co., Ltd. 도청(수목·건다·농작물)분야/미로(유기질·퇴적비료)분야/탄력분야/경용·식물재분분야

그림 124. 시제품 분석결과_부숙유기질비료(퇴비)

나. [공동연구기관 _ 한남대학교 _ 1단계 2차년도]

□ 이온성 하이드로겔 기반 액상형 토양개량제의 개발 (토양 개량용 고분자 하이드로겔 제조 및 특성 분석)

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
이온성 Polymer의 합성 공정 최적화		→	→	→	→	→	→	*	*	*	*	*	*	100
이온성 Polymer의 합성		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
이온성 Polymer의 Sol-Gel 전이 현상 구명							→	→	→	→		*	*	100
이온성 Polymer의 농도에 따른 점도 변화 분석							→	→	→	→	→	→	*	100
이온성 Polymer의 전하 비율에 따른 물리적 특성평가									→	→	→	→	→	100
총 진도율													100	
* → 로 진도표기														

○ 이온성 Polymer의 제조

- 액상형 하이드로겔은 음전하의 PNaSS(Poly(Sodium 4-strenesulfonate)와 양전하의 PMPTC(Poly(3-(methacryloylamino) propyl-trimethylammonium chloride))의 이온 결합으로 형성이 되는 이온성 하이드로겔이다. 따라서, 이온성 하이드로겔 제조를 위한 양이온성 Polymer 제조하고자 하였다.

○ 실험 방법

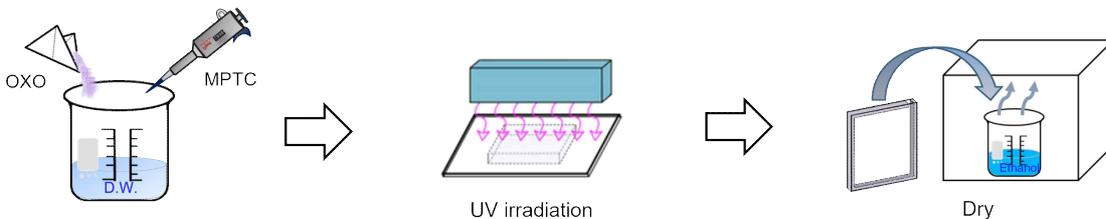


그림 125. 양이온성 Polymer PMPTC 제조 과정

- 단량체 MPTC를 Ploymer 상태인 PMPTC로 중합하기 위해 단량체 MPTC를 광가교제인 OXO(2-oxoglutaric acid)로 중합하여 준비되었다. MPTC 1M, OXO 0.5 mol%로 준비되었으며, 유리 몰드에 넣어 24시간 동안 UV 광가교를 진행하였다. 반응이 완료된 PMPTC는 EtOH에서 세척되어 건조 과정을 통해 Powder 형태로 얻어지게 된다.

○ 실험 결과

가) PMPTC 중합 확인을 위한 NMR 분석

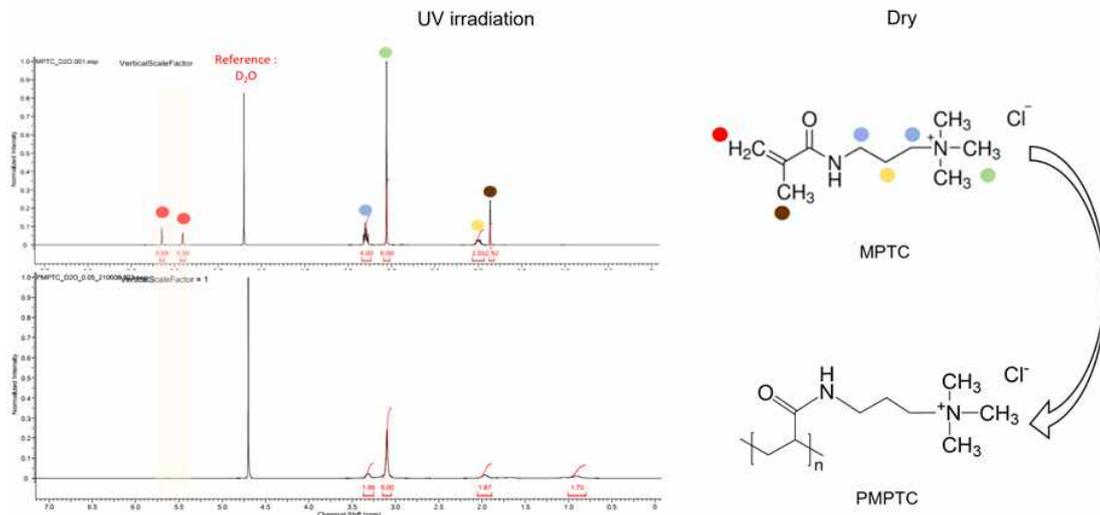


그림 126. MPTC와 PMPTC의 NMR 그래프

- MPTC 단량체와 PMPTC 고분자의 모식도를 나타낸 분자 구조이며 분자구조에 나타난 점은 NMR 피크가 나타내는 고분자 사슬의 지점이다. 단량체 MPTC의 중합으로 인해 사라지는 바이닐기를 나타내는 빨간색 점으로 표시된 NMR 피크는 PMPTC 고분자 중합이 되었다는 것을 의미한다.

○ 이온성 Polymer를 이용한 하이드로겔의 제조 방법의 확립

- 이온 결합으로 이루어진 하이드로겔 제조 시 참고 문헌(Luo, Feng, et al. Macromolecules 49.7 2016; 2750-2760.)의 경우 하이드로겔 제조 시 양이온성 폴리머인 PMPTC와 음이온성 단량체인 NaSS를 광 가교 과정을 통해 이온 복합 하이드로겔을 제조하였다. 위 제조 방법의 경우 PMPTC수용액에 NaSS를 분산시키기 위해 NaCl이 첨가됨. 위 방법은 중합에 필요한 시간이 길며, 제조 후에 이온성 폴리머 내부에 존재하는 자체적인 NaCl보다 더 많은 양의 NaCl을 함유하고 있어 식물생장에 불리함을 가진다.
- 이에, 이이온성 하이드로겔 제조 시 두 이온성 Polymer 수용액을 따로 준비하여 증류수에 교반과 함께 첨가 후, Self-assembly 과정을 통해 이온결합으로 구성된 이온 복합 하이드로겔을 제조하는 방법으로 진행하였다.

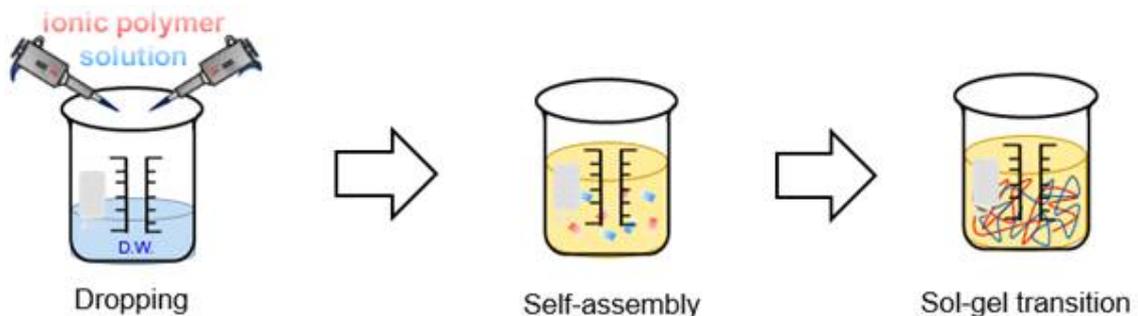


그림 127. 두 이온성 Polymer의 Self-assembly 과정

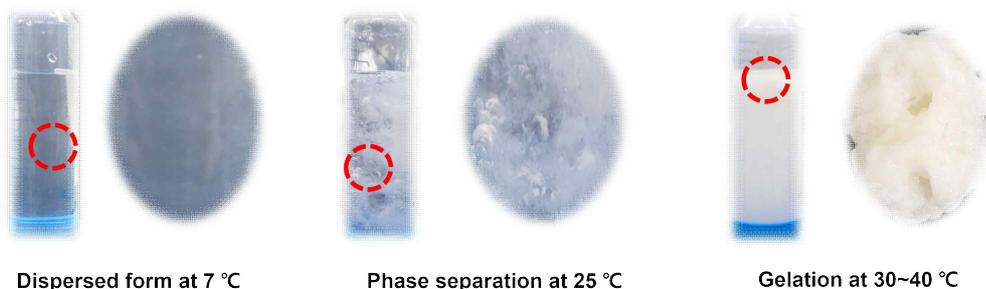
- 이는 증류수를 교반하면서 PNaSS수용액과 PMPTC수용액을 함께 첨가하면 증류수가 결합을 방해하는 염을 제거하면서 이온성 하이드로겔이 형성되는 원리이다.



그림 128. 두 이온성 Polymer의 Self-assembly 과정을 통해 형성된 이온성 하이드로겔

○ 온도에 따른 이온성 Polymer의 형성

- 이온 복합 하이드로겔이 액상형 토양 보습제로의 적용은 토양 내에 이온성 Polymer가 수용액 상태로 첨가된 뒤에 증류수 첨가 과정을 통해 토양 내에서 Gel이 형성되는 원리를 바탕으로 하였다. 따라서 이온성 Polymer가 수용액 상태로 섞여 있을 때 온도에 대한 영향을 알아보기 위해 진행되었다.



Dispersed form at 7 °C

Phase separation at 25 °C

Gelation at 30~40 °C

그림 129. 두 이온성 Polymer의 온도에 따른 Self-assembly 과정

- 7 °C에서 PIC는 상분리가 일어나지 않았으며, 25 °C에서 PIC는 부분적으로 상분리가 일어나지만 전체적으로 액체에 가까운 형태를 나타낸다. 한편, 30~40 °C에서 완전한 상분리가 일어나 Gel 형태로 바뀌는 모습을 보여준다.
- 이러한 현상들은 이는 이온성 Polymer들과 온도의 상관관계로 판단되며 실제 적용 시 온도를 저온으로 유지하기에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 또한, 30~40 °C의 온도 이상에서는 Gel 형상을 나타내기 때문에, 온도는 20~25 °C로 고정하여 진행되었다.

○ 이온성 Polymer의 점도

- 이온성 Polymer가 용액상태로 혼합되어있는 경우 상분리 또는 Gel화가 진행된다는 점을 고려하여 이온성 Polymer들을 각각 따로 첨가하여 토양에 적용하고자 하였다.
- 이때, 토양에 적용 시 용액의 점도는 토양 내에서 흡수되는 속도와 관련이 있기 때문에 두 Polymer 폴리머의 점도에 대한 분석이 이루어졌다.

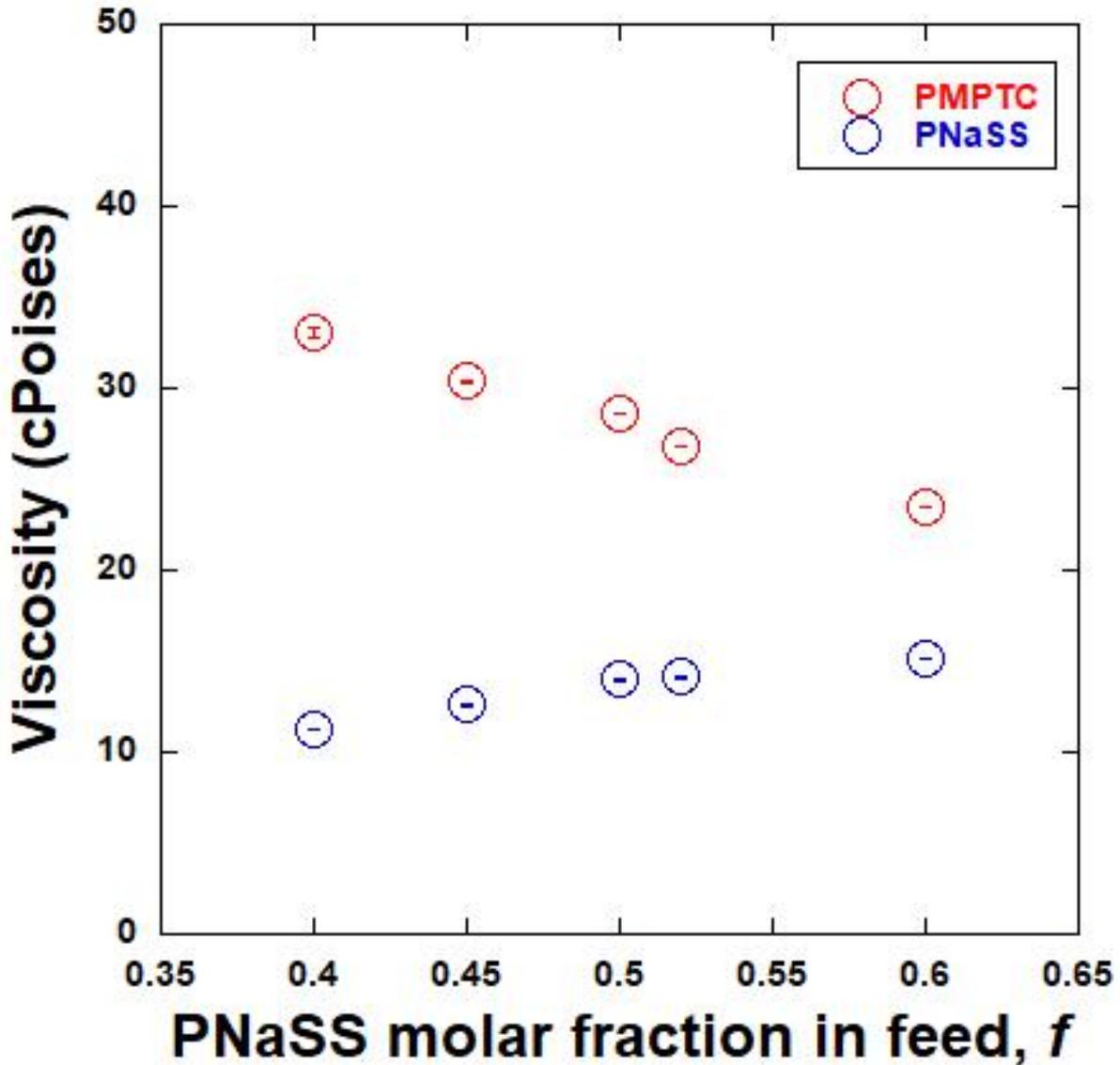


그림 130. 두 이온성 Polymer 비율(농도)에 따른 점도

- 전하 비율(f)는 $[PNaSS]/[PNaSS]+[PMPTC]$ 로, 0.5에 가까울수록 두 이온성 Polymer의 전하 비가 동일하다. 이때, f 값이 커질수록 PNaSS의 비율이 높아지며 PNaSS는 높아지는 양상을 나타내며, PMPTC는 감소하는 경향을 나타낸다.
- 그럼에도, PMPTC의 농도는 PNaSS의 점도보다 높은 경향을 나타낸다. 이는 두 이온성 Polymer의 분자량과 관련이 있을 수 있다.

○ 이온성 Polymer의 비율에 따른 기계적 거동 및 팽윤 크기

- 앞서 언급된 바와 같이 전하 비율(f)는 $[PNaSS]/[PNaSS]+[PMPTC]$ 로, 0.5에 가까울수록 두 이온성 Polymer의 전하 비가 동일하다.
- 이러한 특징은 하이드로겔의 기계적 거동에서 영향을 미치기 때문에 전하 비율에 따른 기계적 거동 및 팽윤 크기에 대해 연구되었다.

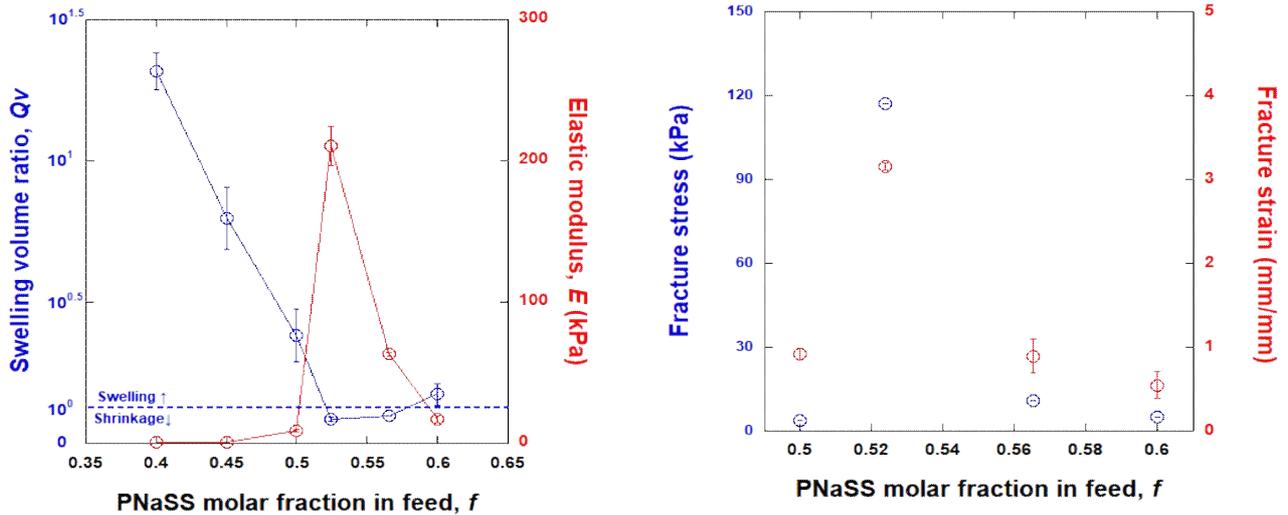


그림 131. 전하비율 (f)에 따른 (좌) 기계적 거동 및 탄성계수, (우) 파단 강도 및 파단 신장

- 전하 균형점 ($f = 0.49-0.52$) 근처에서 하이드로겔은 물에서 수축된다. 이는 사슬 사이의 쿨롱 인력이 단량체 단위 사이의 반발력보다 우세하기 때문이다. 반면, 전하 불균형이 충분한 영역($f < 0.49$ 또는 $f > 0.52$)에서는 겔이 팽창된다. 이는 쿨롱 반발이 우세하고 짝을 이루지 않은 이온 함유 부분이 우선적으로 물과 상호 작용하게 된다.

○ 이온성 Polymer의 비율에 따른 수득률

- 이온성 Polymer가 전하 비율에 따라 Gel화가 진행되었을 때 생성되는 Gel을 수득하여 이온성 Polymer수용액과 Gel사이의 상변화의 정도를 분석하였다.
- 수득률을 구하기 위한 수득 백분율은 (실제수득량/이론적 수득량)*100%로 측정되었으며, 실제수득량은 건조시킨 샘플의 무게로 진행되었다. 이론적 수득량은 합성에 사용된 PMPTC와 PNaSS를 합친 무게를 칭한다.

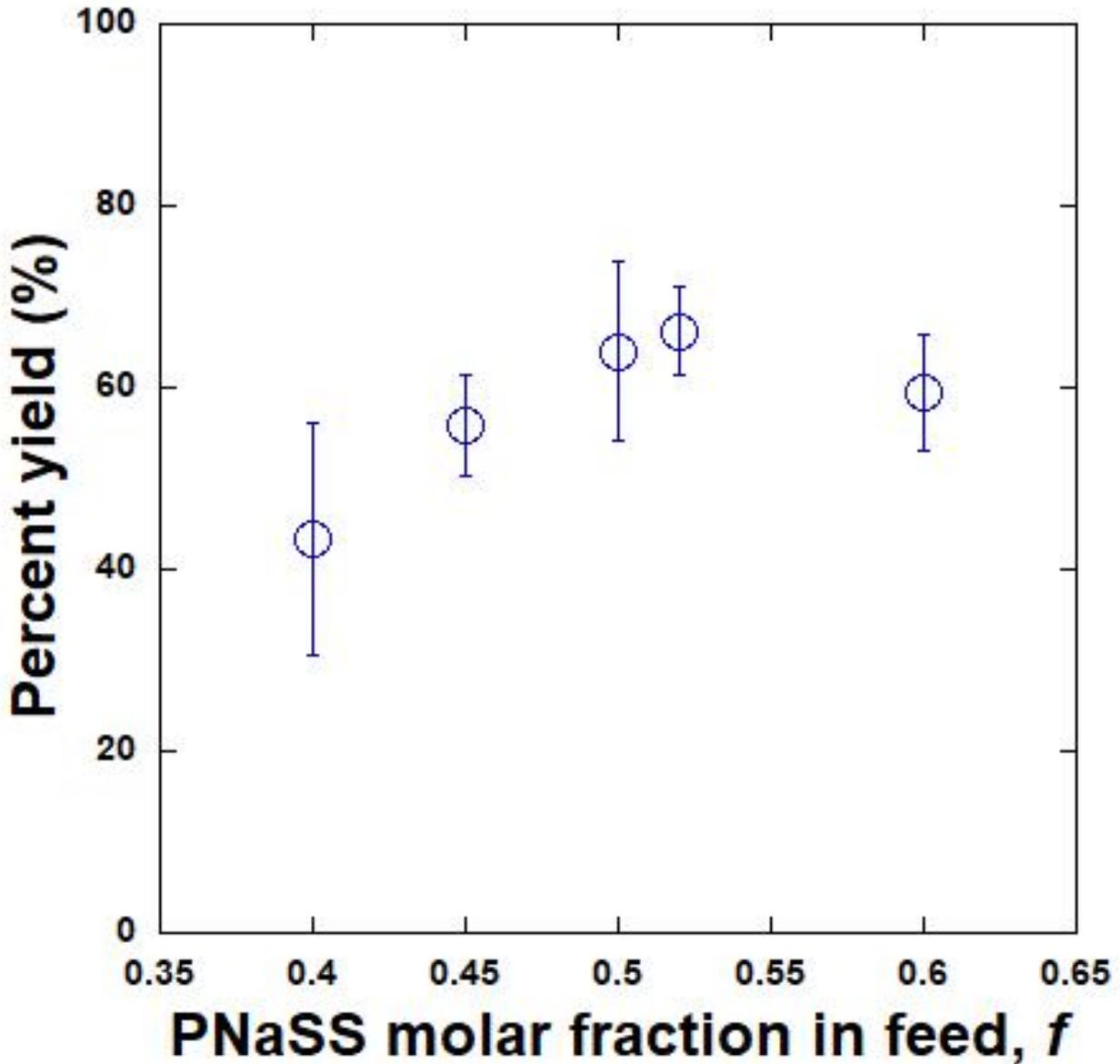


그림 132. 전하비율 (f)에 따른 이온성 하이드로겔의 수득률

- 전하 균형점 ($f = 0.49-0.52$) 근처에서 이온성 하이드로겔의 수득률이 높게 나타났다. 이는 평운거동과 유사하게 전하 균형점에서 사슬 사이의 쿨롱 인력이 단량체 단위 사이의 반발력보다 우세하기 때문으로 예상되며 전하 불균형이 충분한 영역($f < 0.49$ 또는 $f > 0.52$)에서는 겔이 팽창된다. 이는 쿨롱 반발이 우세하고 짝을 이루지 않은 이온 함유 부분이 생성되는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

○ 이온성 Polymer의 첨가 순서에 따른 Gel화 분석

- 이온성 Polymer가 용액상태로 혼합되어있는 경우 상분리 또는 Gel화가 진행된다는 점을 고려하여 이온성 Polymer들을 각각 따로 첨가하여 토양에 적용하고자 하였다.
- 이때, 2가지의 이온성 Polymer와 물 사이에서 Gel화의 상관관계가 존재하는지 알아보고자 50 ml 코니칼 튜브에 PNaSS 수용액 10 mL, PMPTC 수용액 10 mL, 증류수 20 mL의 조성으로 첨가 순서를 변경하여 겔 형성을 비교하였다. 이때, 이온성 Polymer의 전하비율(f)은 0.4-0.6, Cm은 0.21로 진행되었다. # Cm= [PNaSS]+[PMPTC]

1. 증류수 → PMPTC, PNaSS; 2. 증류수 → PMPTC → PNaSS; 3. 증류수 → PNaSS → PMPTC; 4. PMPTC, PNaSS → 증류수; 5. PNaSS → 증류수 → PMPTC; 6. PMPTC → 증류수 → PNaSS

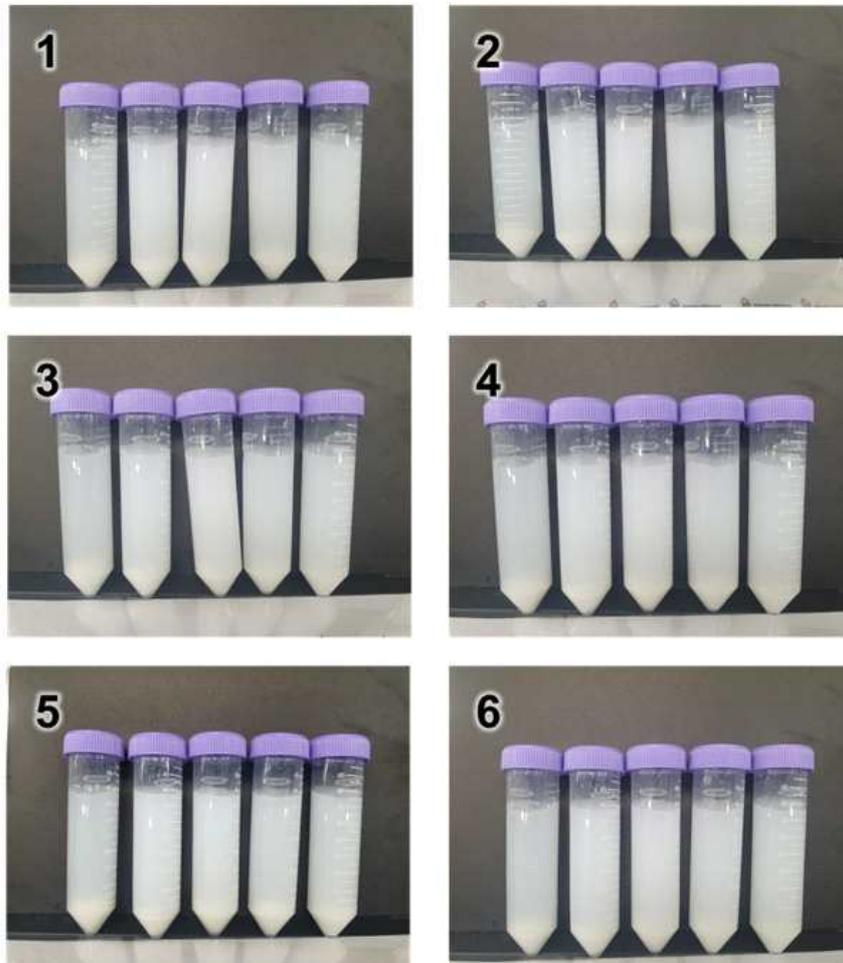


그림 129. 전하비율 (f) 및 2가지의 이온성 Polymer와 물의 첨가 순서 따른 Gel화 진행 (사진 별 왼쪽부터 전하비율(f) 0.4, 0.45, 0.5, 0.52, 0.6을 나타냄.),

- (1. 증류수 → PMPTC, PNaSS; 2. 증류수 → PMPTC → PNaSS; 3. 증류수 → PNaSS → PMPTC; 4. PMPTC, PNaSS → 증류수; 5. PNaSS → 증류수 → PMPTC; 6. PMPTC → 증류수 → PNaSS)

- 이러한 조건들로 실험한 결과 (그림 129)와 같이 이온성 하이드로겔이 아래쪽으로 가라앉는 형태를 나타내며 2가지의 이온성 Polymer와 물 사이에서 Gel화의 상관관계가 나타나지 않는 것으로 판단됨.

다. [공동연구기관 _ 배재대학교 _ 1단계 2차년도]

□ 하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서의 수분 센서 사용 표준화 및 재배 고도화

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서 센서 사용 표준화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 육묘 재배 고도화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 분화 재배 고도화				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 식물의 선정 및 수급

- 연구 재료 선정 : 하이드겔을 육묘 생산을 위한 재배실험을 하기 위하여 많이 생산되며, 생육기간에 따른 차이를 확인할 수 있는 토마토를 사용하였다. 파종부터 육묘단계까지 실험을 하기 위하여 종묘사에서 토마토의 종자 ‘예광토마토(대과종)’ 로 수급하였음. 또한 분화 생산을 위한 재배실험을 위해서는 꽃이 피고 관상가치가 높은 작물인 국화(Pot-mum) ‘품종명’ 를 개화하지 않은 개체의 성묘 상태로 수급하였음.



그림 134. 예광 토마토(대과종) 종자



그림 135. 공시재료 포트멈 국화

- 고체 하이드로겔 : 고체하이드겔을 한남대학교에서 수급받았으며, NC 3:7 로 팽윤도는 300인 하이드로겔을 사용하였음. 또한 트레이 및 화분에 사용할때에는 부피비로 계산하여 실험을 진행하였음.

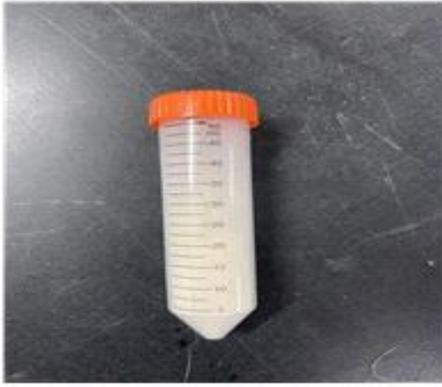


그림 136. 수급받은 고체 하이드로겔

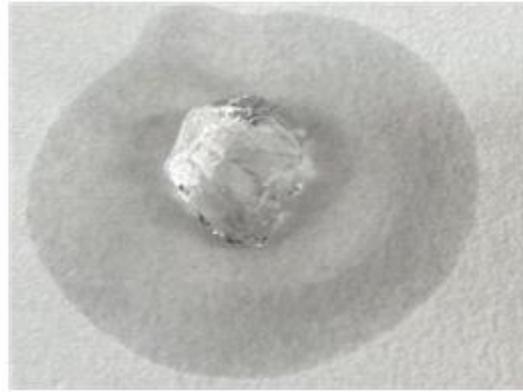


그림 137. 수분을 흡수한 하이드로겔

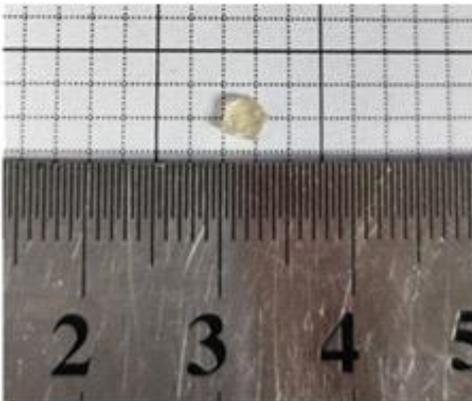


그림 138. 포화 전 하이드로겔

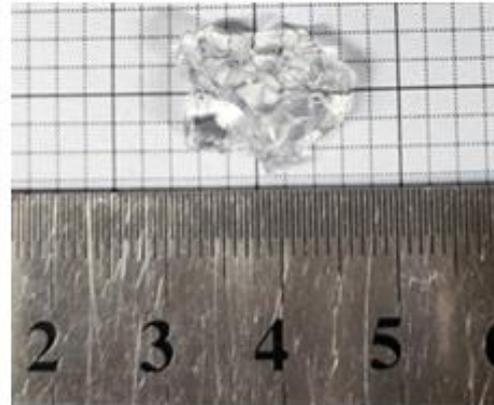


그림 139. 포화 후 하이드로겔

○ 하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서 센서 사용 표준화

○ 토양 수분 결정을 위한 soil moisture retention curve 실험

토양의 수분 정도를 나타낼 때 가장 정확한 수치는 토양의 장력(kPa, pF)으로 나타내는 것임. 토양의 장력은 토양의 종류와 관계없이 식물이 실제 물을 이용할 수 있는 토양의 수분 상태를 나타내어 포장용수량, 유효수분, 위조점 등으로 표현될 수 있음. 그런데 자동관수 시스템을 이용하기 위해서는 시스템상 토양 수분의 장력을 측정하는 토양장력계가 아닌 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 또는 TDR(Time Domain Reflectometry) sensor를 사용해야 한다. FDR 또는 TDR sensor는 토양의 수분을 부피로 측정하는 토양수분함량으로 표현됨. FDRsensor는 TDR sensor보다 저렴하면서 토양의 수분함량을 민감하게 측정을 할 수 있어 최근 널리 활용되고 있어 FDR sensor를 선택하였음.

토양수분함량은 센서 주위의 토양 부피당 물의 부피를 나타낸 것으로 토양의 종류에 따라 그리고 답압 정도에 따라 변하기 때문에 우리가 실험에 설정한 토양수분함량이 어느 정도의 토양장력을 나타내는지 연관관계를 알아보는 것이 중요함. 향후 다른 연구자가 실험을 진행할 때 참고해야할 수치는 토양수분함량이 아닌 토양의 장력이라는 뜻이라고 말할 수 있음.

Hyprop(UMS GmbH, Munich, Germany)를 이용하여 moisture retention curve 계산하였음. 토양내의 수분은 자연적인 강우, 인위적인 관수, 증발, 식물의 증산 등 다양한 경로를 통해 변화된다. 수분은 토양이 수분을 잡아당기는 힘과 식물의 뿌리가 잡아당기는 힘의 기울기로 이동을 하게 되는데 토양의 수분장력을 측정하면 이 수분이 식물이 사용할 수 있는 수분인지 사용하지 못하는 수분정도인지를 판단 할 수 있음.



그림 140. Hyprop 구동 모습

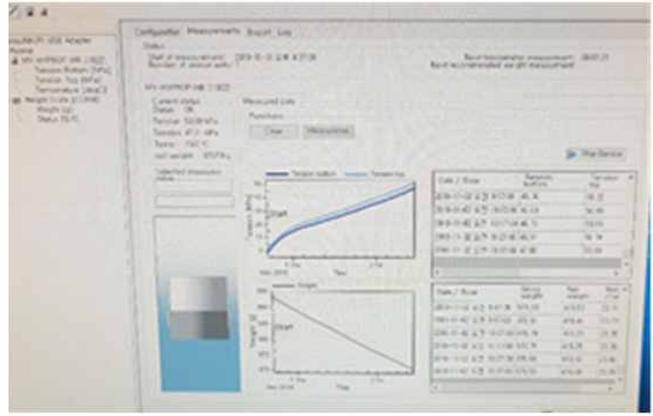


그림 141. Moisture retention curve

○ 하이드로겔의 농도에 따른 토양수분센서 모니터링

하이드로겔의 농도에 따른 유효수분함량범위를 측정하기 위해 대조구는 peatmoss : perlite 를1:1로 혼합하여 사용하였으며, 처리는 하이드로겔 농도(부피비) 3%와 peat : perlite 를1:1로 혼합하여 사용하였다. 하이드로겔은 0.32g 과 peat : perlite 를1:1로 혼합하고 충분히 포화할 수 있도록 수분 공급후 48시간동안 포화되도록 처리하였다. 3개의 센서를 각 화분에 꽂아 토양수분을 모니터링 하였으며, 토양수분함량(VWC)를 측정하여 포화 후 건조되는 정도의 차이와 하이드로겔의 종류에 따라 센서값의 차이를 확인하였음. HYPOP를 통하여서 유효수분함량범위와 토양장력을 측정하였으며, 센서의 보정식을 구하였음(그림 138, 그림 139).

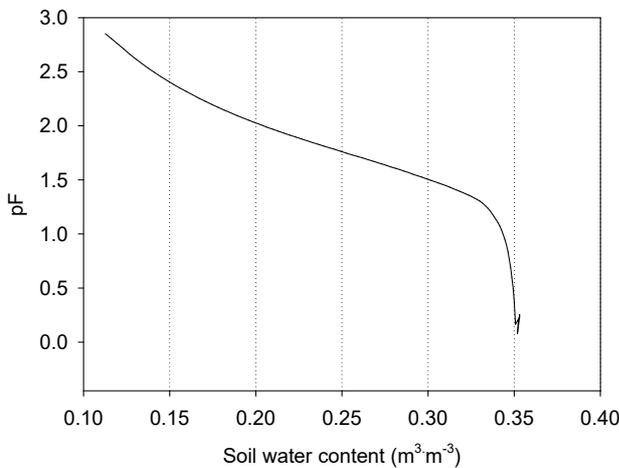


그림 142. 토양의 soil moisture retention curve

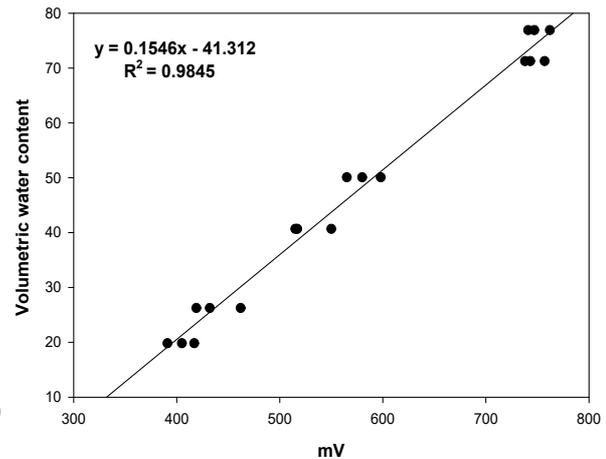


그림 143. soil moisture caribration

- 처리구 마다 3개의 EC-5(Decagon)토양수분센서를 활용하여 토양수분 VWC를 측정하였으며, 데이터로거(CR1000,Campbell Scientific)를 이용하여 데이터를 수집하였음.

○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배재에서의 육묘 재배 고도화



그림 144 토마토 종자파종 이후 발아상태



그림 145 토마토 육묘 실험진행모습

- 자연 강우 및 외부환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였으며, 고체 하이드로겔의 농도(0%,1%,2%,3%)처리를 하였으며, 관수시기(1일,2일,4일)의 차이를 두어 생육의 차이를 확인하였음. 관수 시 20분 포화를 시킨 후 10분 이후에 무게를 측정하였음. 실험은 6월 2일부터 7월 8일까지 진행하였음. 측정항목은 식물의 초장, 초폭, 생체중, 건물중, 토양 무게 증감율을 측정하였음. 72구 tray를 8등분하여 9개의 식물, 3반복으로 진행하였음.

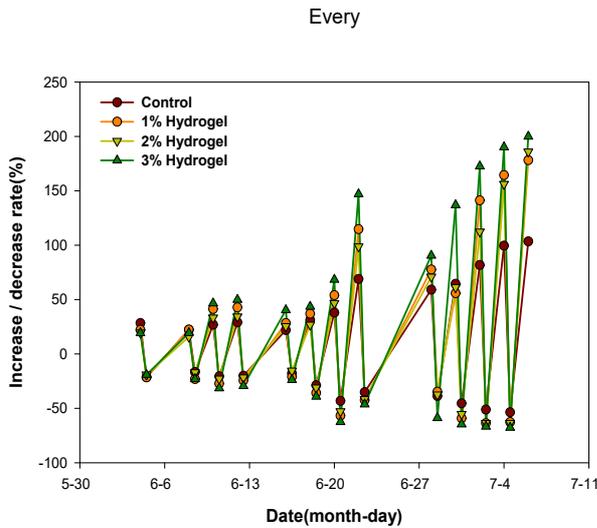


그림 146. 매일관수처리의 토양무게 증감율

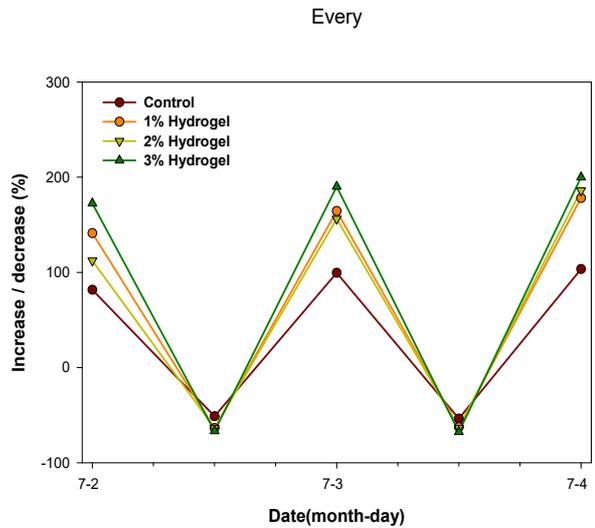


그림 147. 매일관수처리의 토양무게 세부 증감율

- 매일관수하였을 때 무처리구와 처리구간의 차이는 나타났으며, 건조시에는 차이가 없었으나, 수분 공급시 무처리에 비해 30%이상 증가하였음.

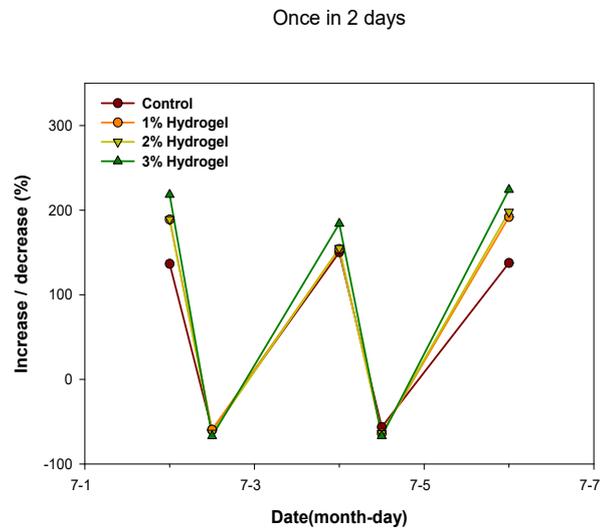
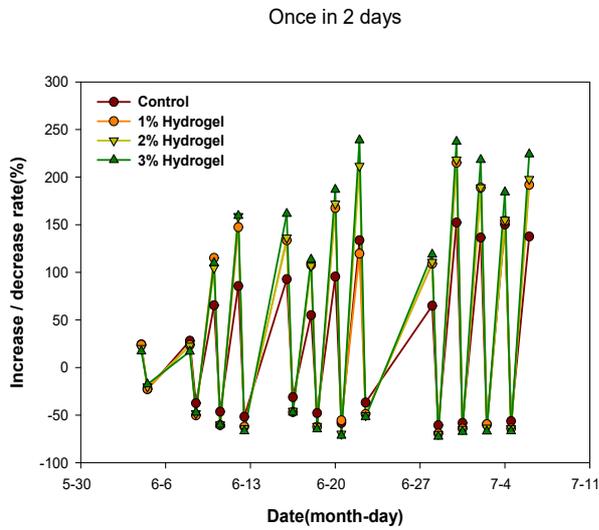


그림 148. 2일에 한번 관수처리의 토양무게 증감을 그림 149. 2일에 한번 관수처리의 토양무게 세부증감을

- 2일에 한번 관수하였을 때 3% 처리구에서 가장 높았으며, 1%와 2% 처리구간에는 차이를 나타내지 않았으나 처리구와 무처리간의 차이를 나타내었음.

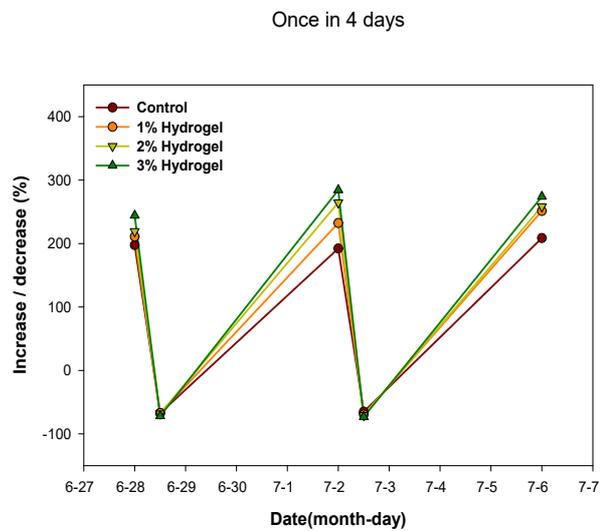
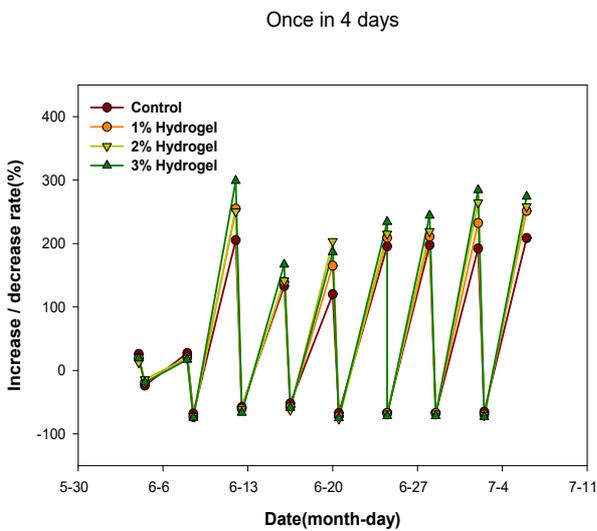


그림 146. 4일에 한번 관수처리의 토양무게 증감을 그림 147. 4일에 한번 관수처리의 토양무게 세부증감을

- 4일에 한번 관수하였을 때 모든 처리구에서 증감율의 차이의 폭이 크지 않았으며, 4일에 한번의 경우 모든 처리에서 건조의 정도가 심해서 모든처리구간에 차이가 크지 않다고 판단됨.

○ 매일관수

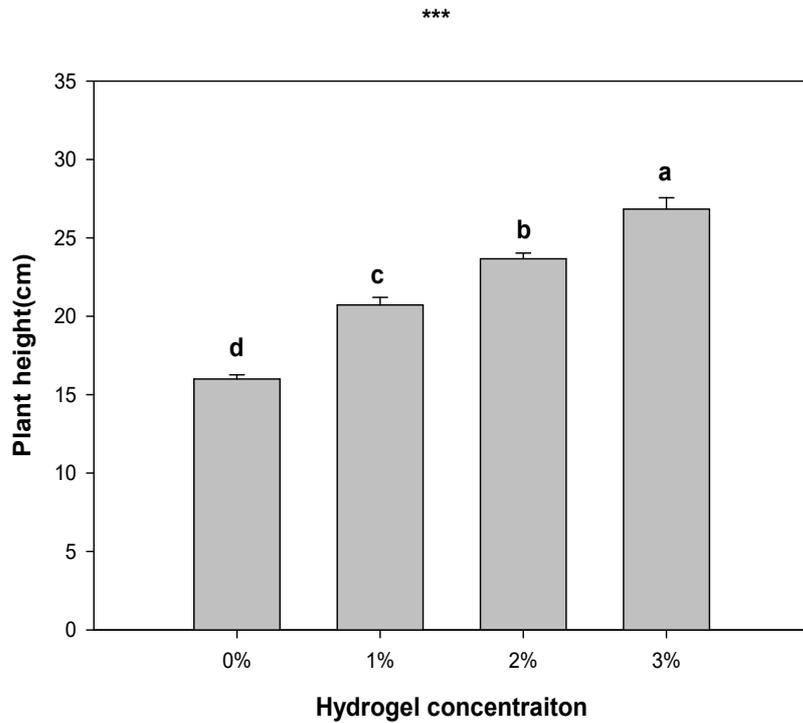


그림 152. 매일관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 초장차이

- 매일 관수하는 경우 하이드로겔의 농도가 증가할수록 초장이 높아졌음.

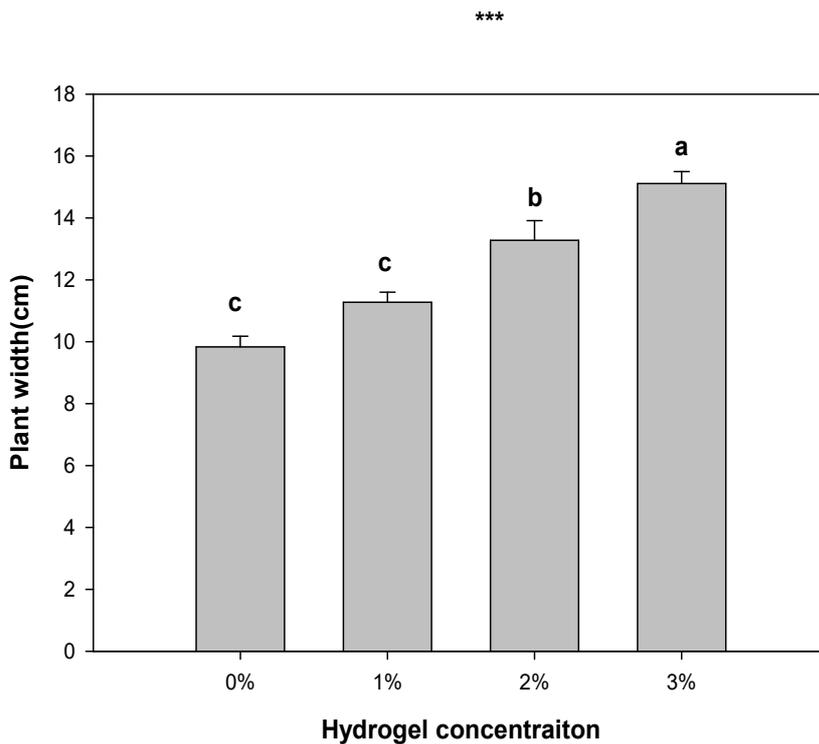


그림 153. 매일관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 초폭차이

- 매일 관수하는 경우 초폭은 하이드로겔의 처리 0 = 1 < 2 < 3 %로 농도가 상대적으로 높은 2,3% 처리구에서 높았음.

표 25. 고체 하이드로겔 농도에 따른 토마토의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	0.19 c	0.03 b	12.7
1%	0.34 b	0.06 a	13.7
2%	0.39 a	0.06 a	15.1
3%	0.42 a	0.07 a	13.4
Significance	***	**	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 매일 수분을 공급하였을 때에는 지상부 건물중이 상대적으로 하이드로겔의 농도가 높은 2,3% 처리구에서 높았고 무처리에서 가장 낮았으며, 지하부 건물중은 무처리를 제외하고 처리구간의 차이는 나타나지 않았으며, 뿌리길이에서는 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

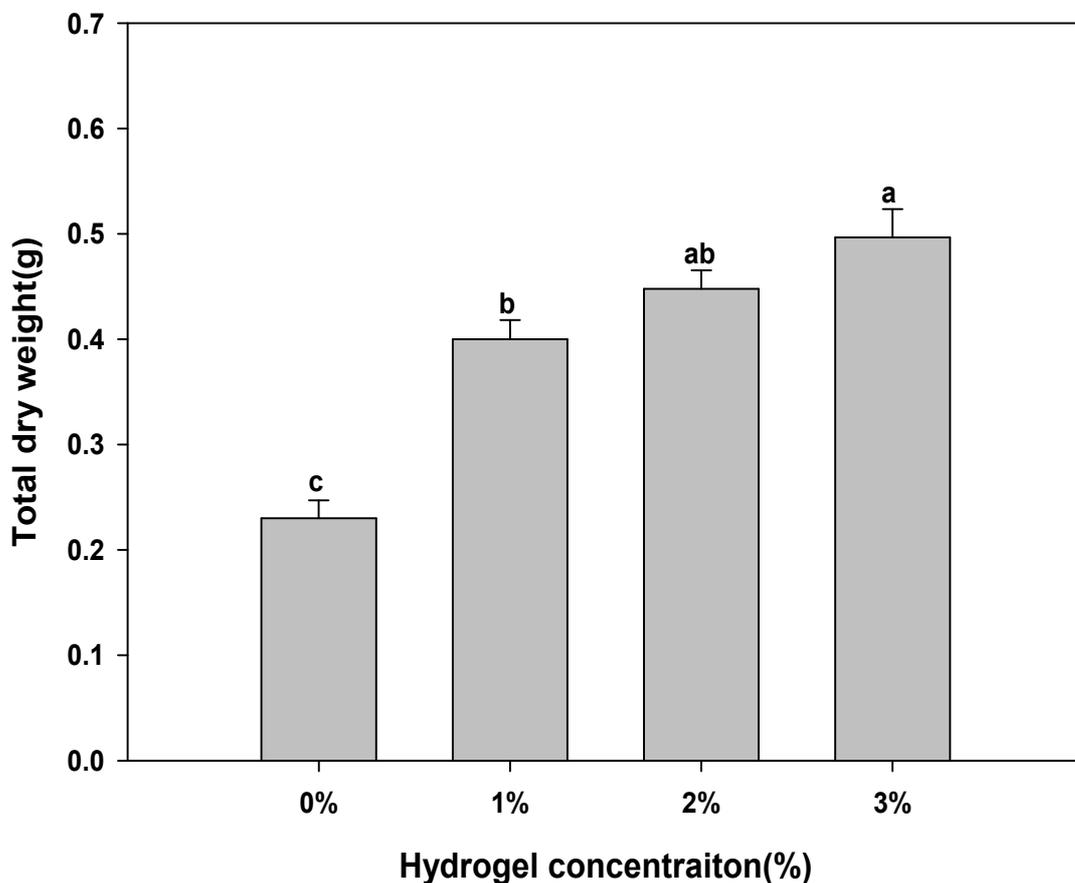


그림 154. 매일관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 종합 건물중

- 지상부와 지하부를 종합한 건물중에서는 농도가 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있으며, 생육이 하이드로겔의 농도가 높을수록 좋다고 판단됨.

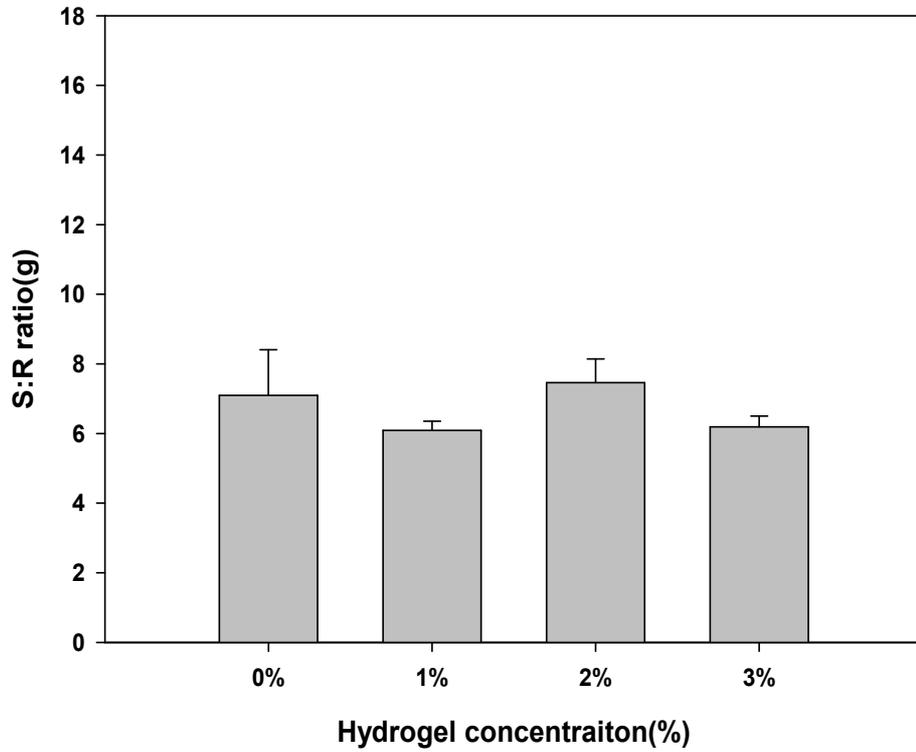


그림 155. 매일관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 S:R ratio

- 지상부와 지하부를 비율은 통계적으로 모든 처리간의 차이가 나타나지 않았음.

**

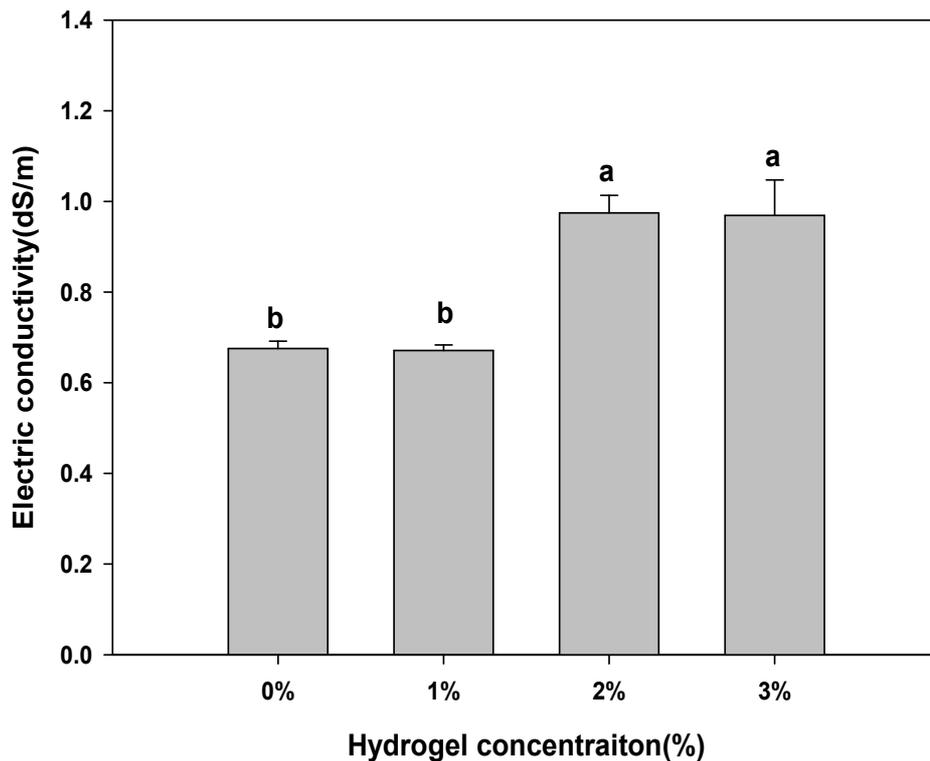


그림 156. 매일관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 전기전도도

- 전기전도도는 무처리와 = 1%처리구 < 2% = 3% 처리구로 나타났으며, 하이드로겔의 농도가 높을수록 비료를 공급하였을 때, 이온을 붙잡고 있어 전기전도도가 높은 것으로 판단됨.



그림 157. 매일관수 시 하이드로겔 농도처리에 따른 수확사진

○ 2일에 한번 관수

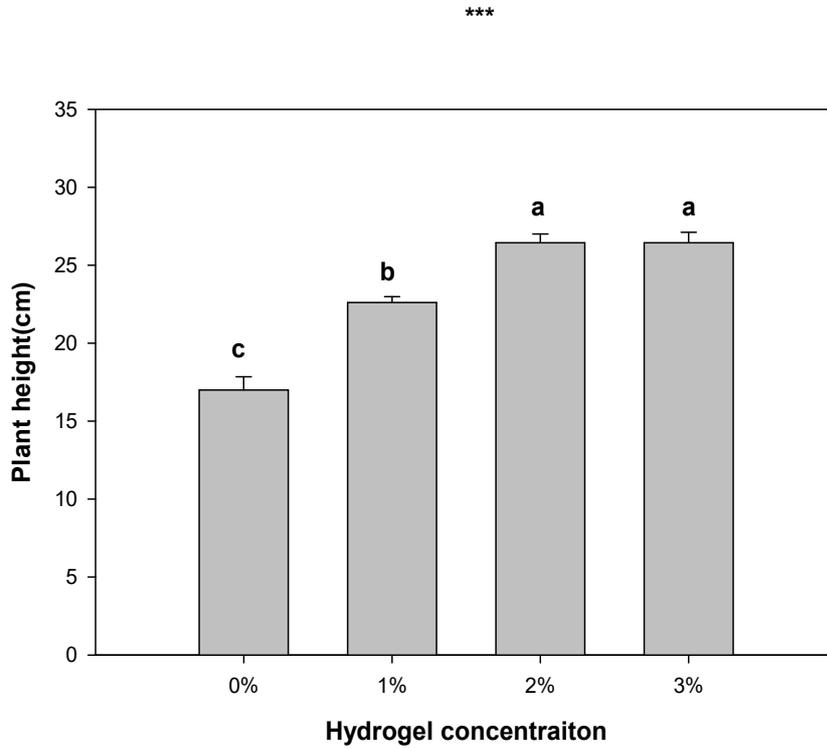


그림 158. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 초장

- 2일에 한번 관수에서는 초장이 무처리 < 1% < 2% = 3% 처리구순으로 나타났으며, 무처리에 비해 처리구에서 초장이 높은 것으로 나타났음.

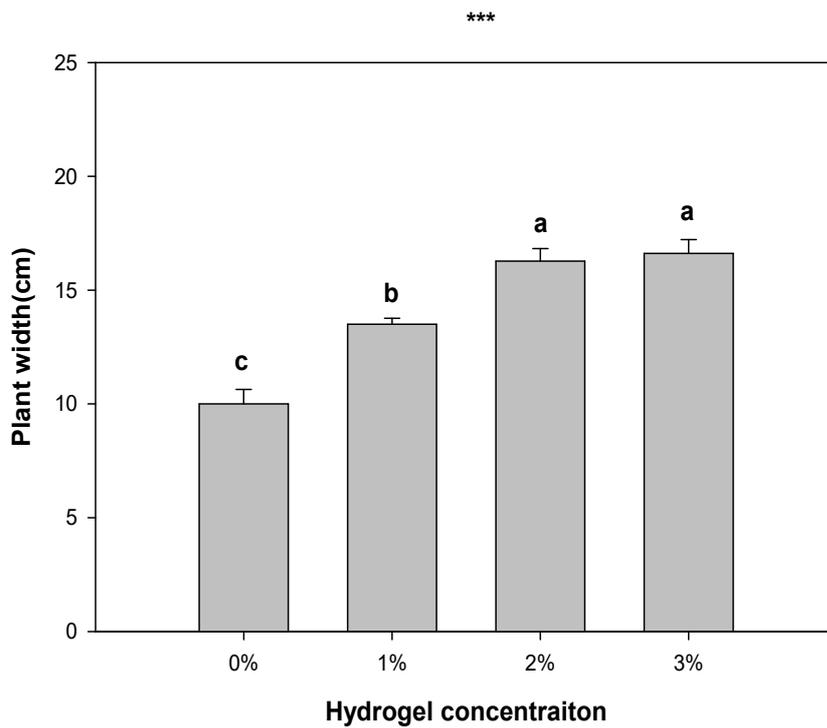


그림 159. 2일에 한번 관수 시 하이드로겔 농도처리의 따른 초폭

- 2일에 한번 관수에서는 초폭은 무처리 < 1% < 2% = 3% 처리구순으로 나타났으며, 초장과 동일하게 나타났으며, 무처리와 처리구간에 통계적인 차이가 나타났음.

표 26. 고체 하이드로겔 농도에 따른 토마토의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	0.17 b	0.02 b	7.2 b
1 %	0.38 a	0.04 a	10.6 a
2 %	0.46 a	0.04 a	10.7 a
3%	0.45 a	0.05 a	12.5 a
Significance	***	**	**

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 2일에 한번 관수하였을 때에는 지상부 건물중이 무처리와 처리구간의 통계적인 차이가 나타났으며, 지하부 건물중도 무처리를 제외하고 처리구간의 차이는 나타나지 않았다. 뿌리 길이에서는 마찬가지로 무처리를 제외하고 처리구간의 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

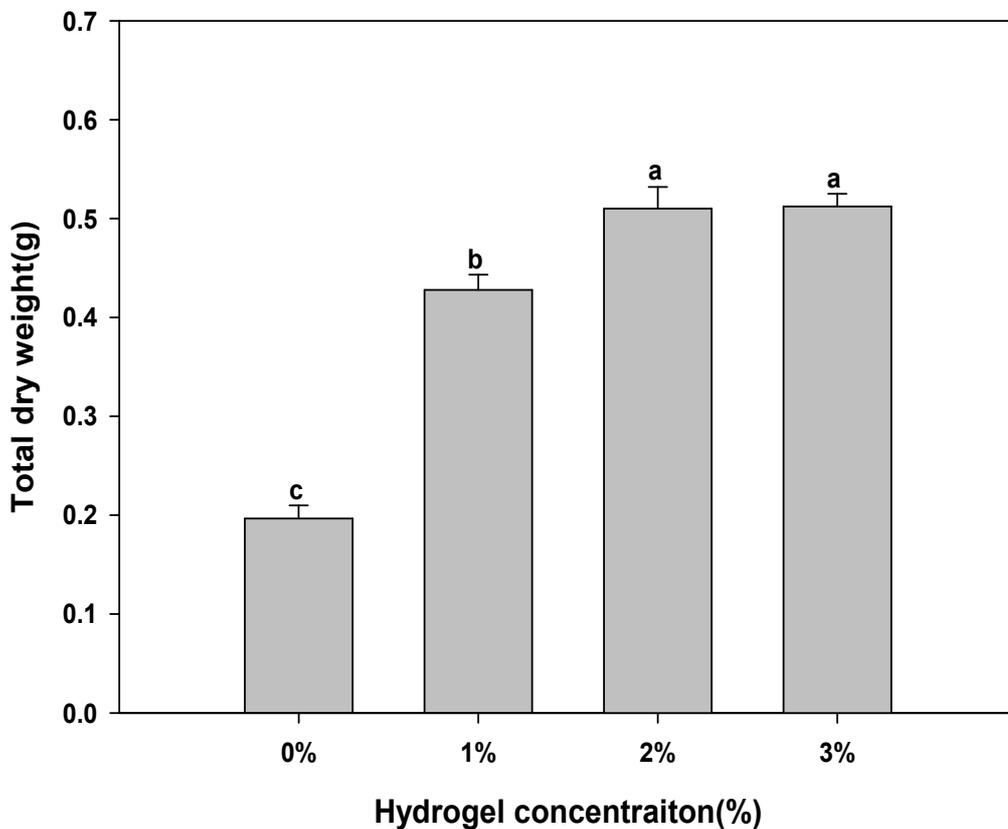


그림 160. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 종합 건물중

- 지상부와 지하부를 종합한 건물중에서는 농도가 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있으며, 무처리와 처리구간의 차이가 두배이상 나타났으며, 하이드로겔을 처리하면 생육이 좋다고 판단됨.

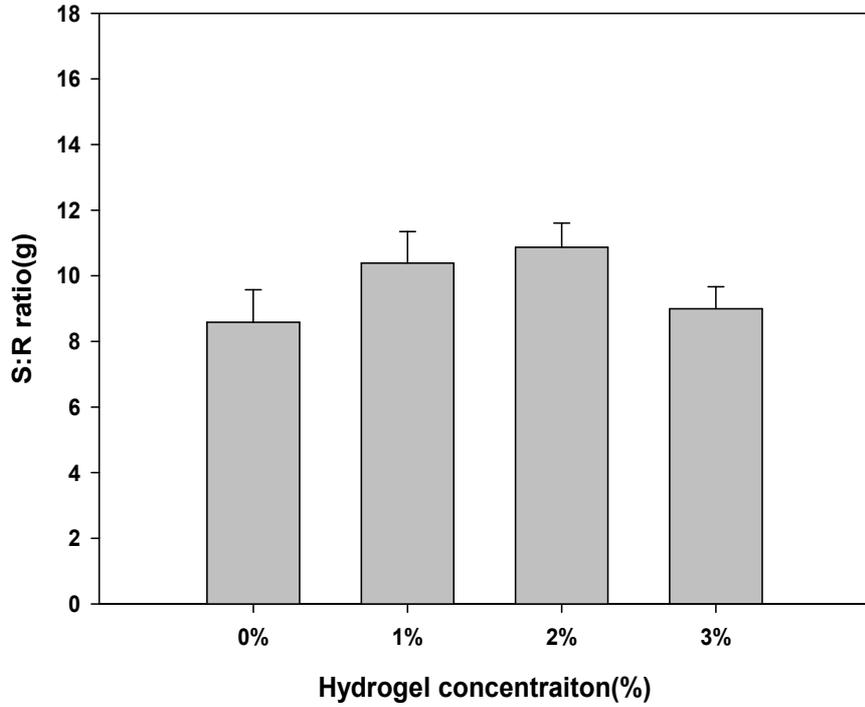


그림 161. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 S:R ratio

- 지상부와 지하부를 비율은 통계적으로 모든 처리간의 차이가 나타나지 않았음.

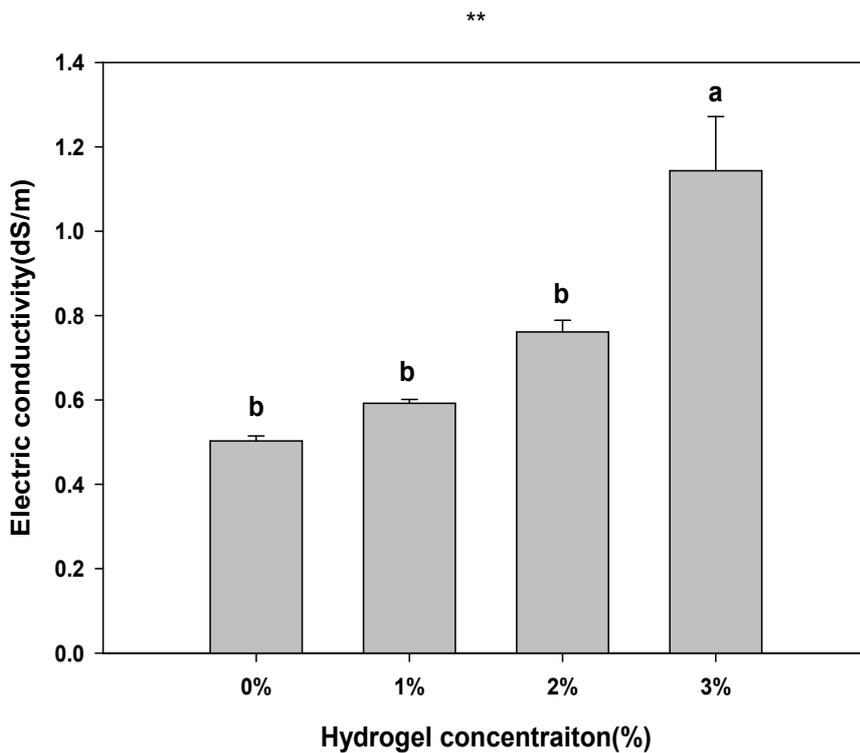


그림 162. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 전기전도도

- 전기전도도는 무처리와 = 1% = 2% < 3% 처리구로 나타났으며, 하이드로겔의 농도가 높은 3% 처리구에서 가장 높았음.



그림 163. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 수확사진

○ 4일에 한번 관수

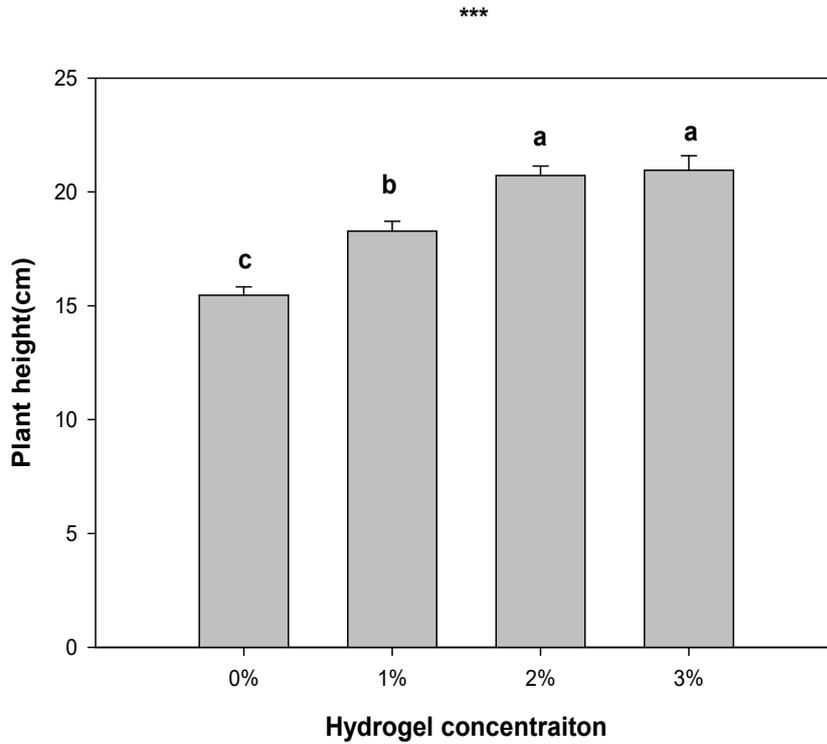


그림 164. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 초장

- 4일에 한번 관수에서는 초장이 무처리 < 1% < 2% = 3% 처리구순으로 나타났으며, 무처리에 비해 처리구에서 처리구에서 초장이 높은 것으로 나타났음.

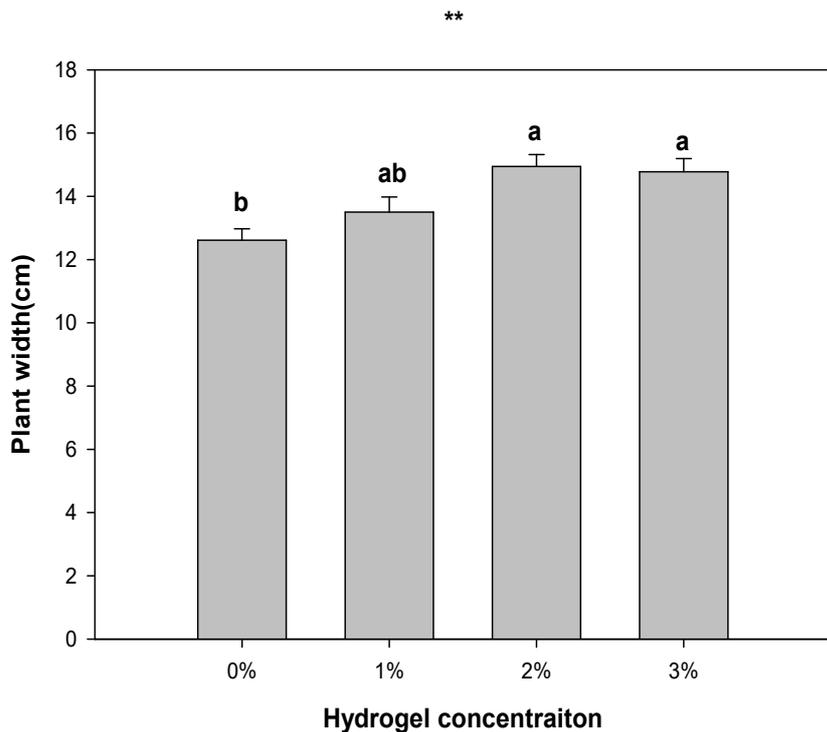


그림 165. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 초폭

- 4일에 한번 관수에서의 초폭은 무처리 ≤ 1% ≤ 2% = 3% 처리구순으로 나타났으며, 상대적으로 농도가 높은 2,3% 처리구에서 무처리에 비해 초폭이 넓게 나타났음.

표 27. 고체 하이드로겔 농도에 따른 토마토의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	0.2 b	0.03	8.8 b
1 %	0.3 a	0.04	9.7 ab
2 %	0.3 a	0.03	9.4 ab
3%	0.3 a	0.03	11.5 a
Significance	***	NS	*

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test(P=0.05)로 하였음

- 4일에 한번 관수하였을 때에는 지상부 건물중이 무처리와 처리구간의 통계적인 차이가 나타났으며, 지하부 건물중에서는 모든 처리구간의 차이는 나타나지 않았다. 뿌리길이에서는 3% 처리구에서 가장 길었고, 무처리에서 가장 짧은 길이를 나타내었다.

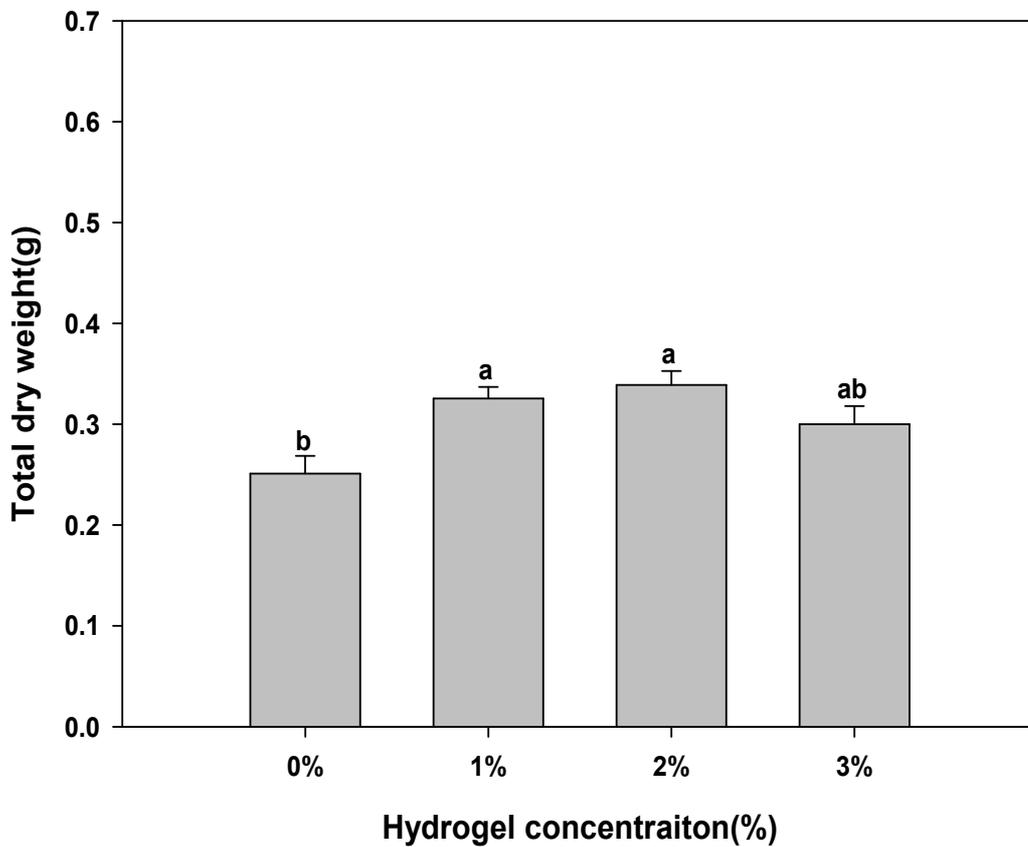


그림 166. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 종합 건물중

- 지상부와 지하부를 종합한 건물중에서는 무처리 ≤ 3% < 1% = 2% 순으로 나타났으며, 무처리와는 차이가 있었으나 처리구간에 통계적인 차이는 나타나지 않았음.

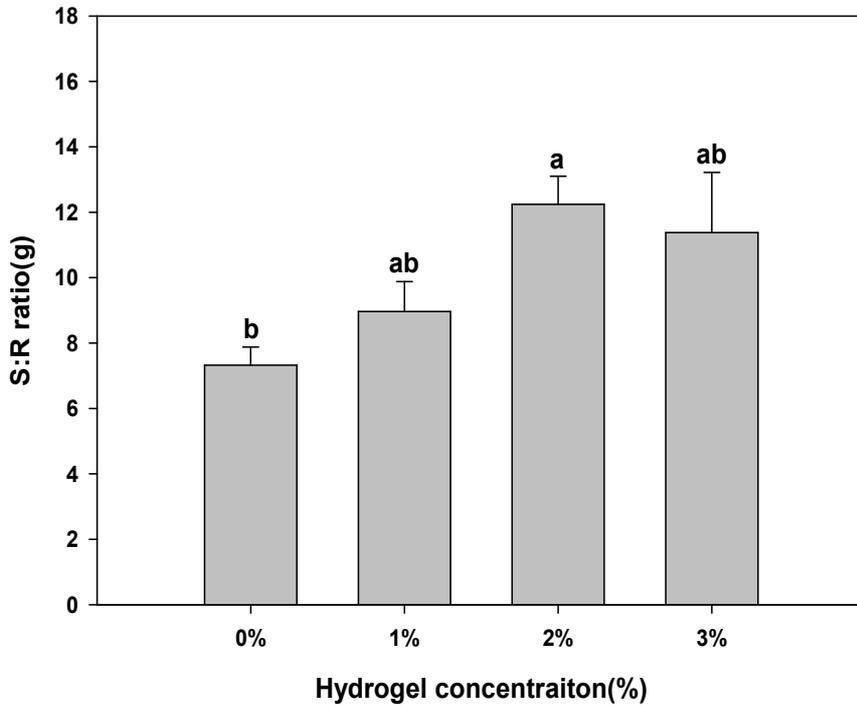


그림 167. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 S:R ratio

- 지상부와 지하부를 비율은 2% 처리구에서 높았으며, 무처리구에 비해 처리구에서 지상부의 비율이 증가하는 것을 알 수 있었음.

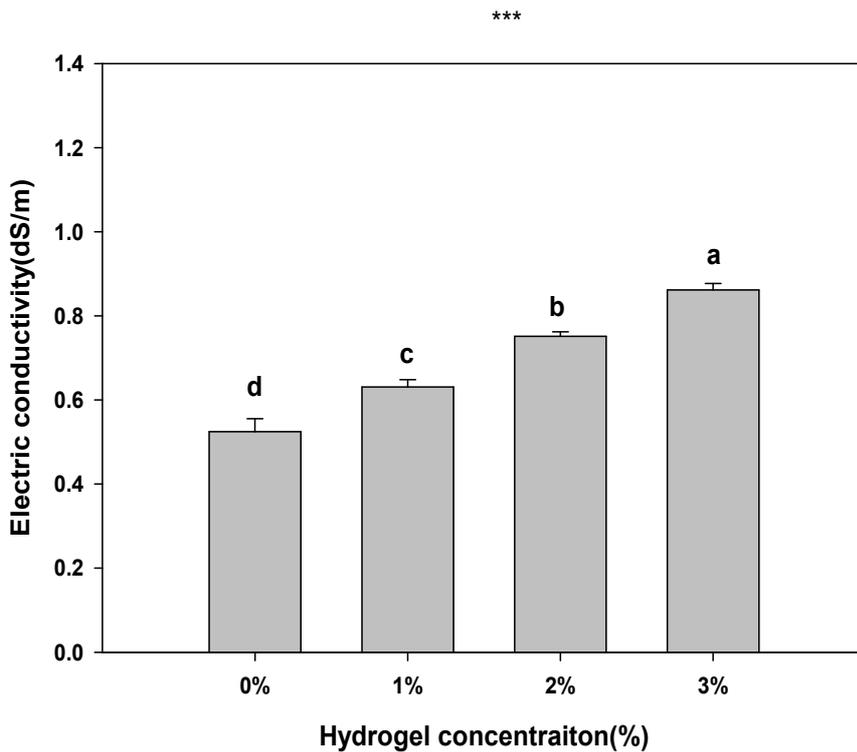


그림 168. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 전기전도도

- 전기전도도는 무처리 < 1% < 2% < 3% 처리구로 나타났으며, 하이드로겔의 농도가 증가할수록 전기전도도가 높아졌음.



그림 169. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 수확사진

○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배재에서의 분화 재배 고도화

○ 관수 시스템 및 모니터링 시스템 구축



그림 170. 자동관수 시스템 설치



그림 171. 자동제어 시스템 구축

- 자연 강우 및 외부환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였으며, FDR방식의 토양수분센서 인 EC-5(Decagon)를 통해 각 화분의 토양 수분을 VWC로 측정하였으며, 측정된 토양수분 측정치는 CR1000(Campbell Scientific)내에 저장되게 하였으며, 각 처리당 토양수분센서 2개씩 측정하였으며, 관수는 16 ch Relay (SDM CD16AC/DC controller, CampbellsScientific, Logan Utah, USA)로 수동으로 관수하였으며, POT당 1개의 점적핀을 꽂았다. 1회 관수시 관수시간을 10분으로 설정하였으며, 1회 관수시 200mL/pot의 물이 관수 되도록 설정하였으며.



그림 172. 국화실험 전체사진



그림 173. 국화실험 처리사진

○ 국화의 하이드로겔 농도 및 관수주기에 따른 재배실험

실험처리는 하이드로겔 농도(0,1,1.5,3,%)처리와 관수주기(2일,4일,6일)로 진행하였음. 2022년 9월 19일에 식물을 식재하였고, 식재한 식물은 개화하지 않은 국화의 성묘를 사용하였음. 각 실험처리마다 12개의 식물을 식재하였으며, 개화기간까지 실험진행예정으로 현재 실험을 진행중에 있음. 11월 8일까지 생육조사 및 관수주기, 관수량에 대한 데이터를 조사하였음. 생육조사 평가항목으로는 초장, 초폭, 꽃수 등을 하였음.

Irrigation once every 2 days

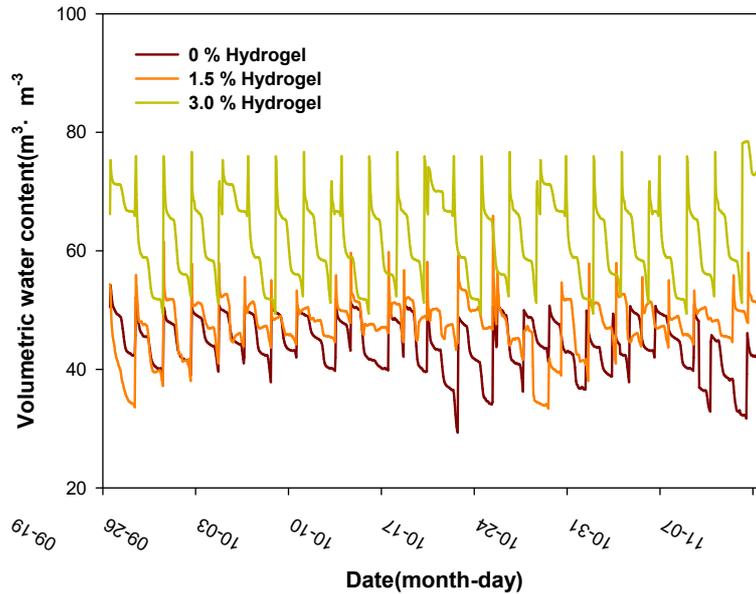


그림 174. 2일에 한번 관수시 토양수분함량(VWC)

- 2일에 한번 관수하는 처리구로 설정한 토양수분함량(VWC)은 잘 유지되는 것을 알 수 있으며, 온실에서 진행되었기 때문에 강우등과 같은 외부 환경의 영향을 받지 않았음.

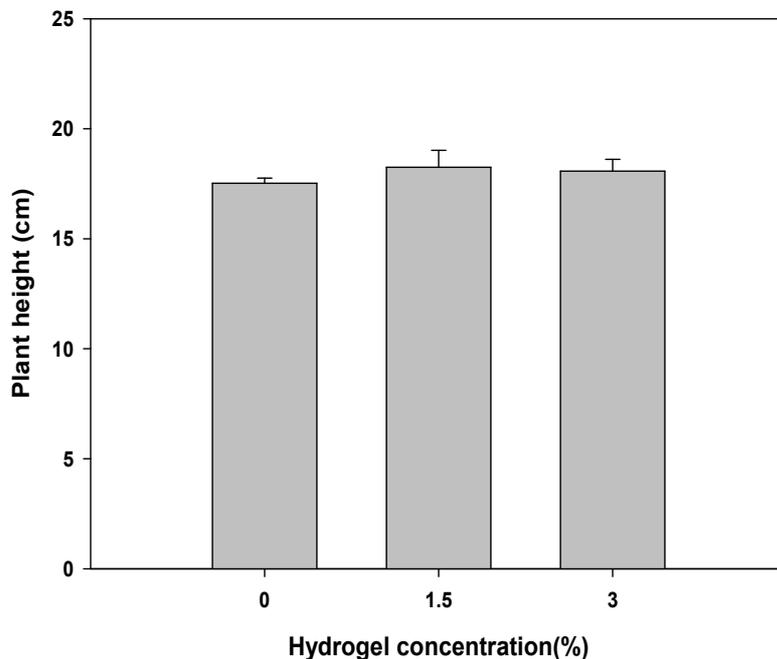


그림 175. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초장의 변화

- 하이드로겔 농도 따른 2일 관수 처리의 초장에서 0, 1.5, 3.0% 처리구 각각 17.5, 18.2, 18.1cm로 농도에 구분없이 유사한 값으로 나타내었으며, 다른 측정항목인 초폭의 경우 3.0%에서 29.0cm로 가장 높은 값으로 통계적인 차이가 나타내었음.

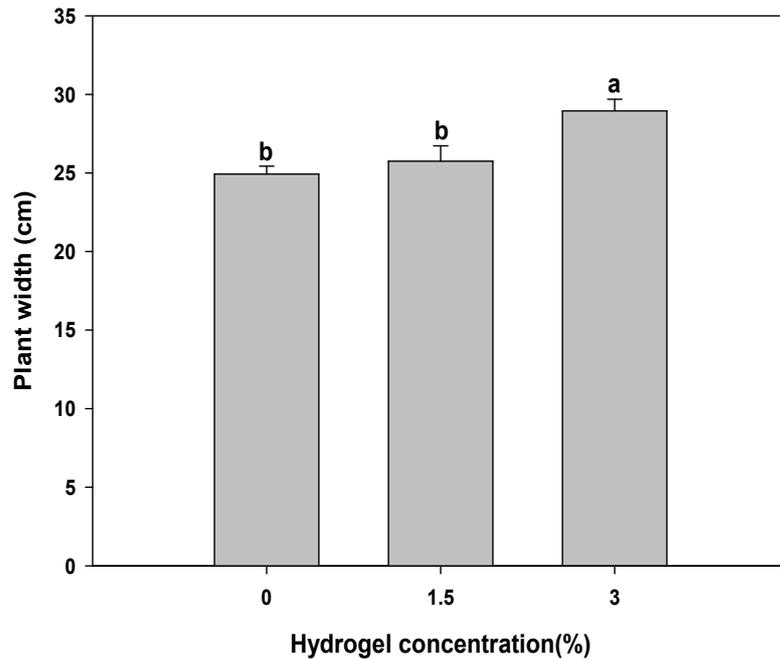


그림 176. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초폭의 변화

- 하이드로겔 농도에 따른 2일 관수시 2개월째 꽃수의 변화는 0, 1.5, 3.0%로 각각 61.5, 60.0, 56.8개로 측정되었으나 통계적 유의성은 나타나지 않았음.

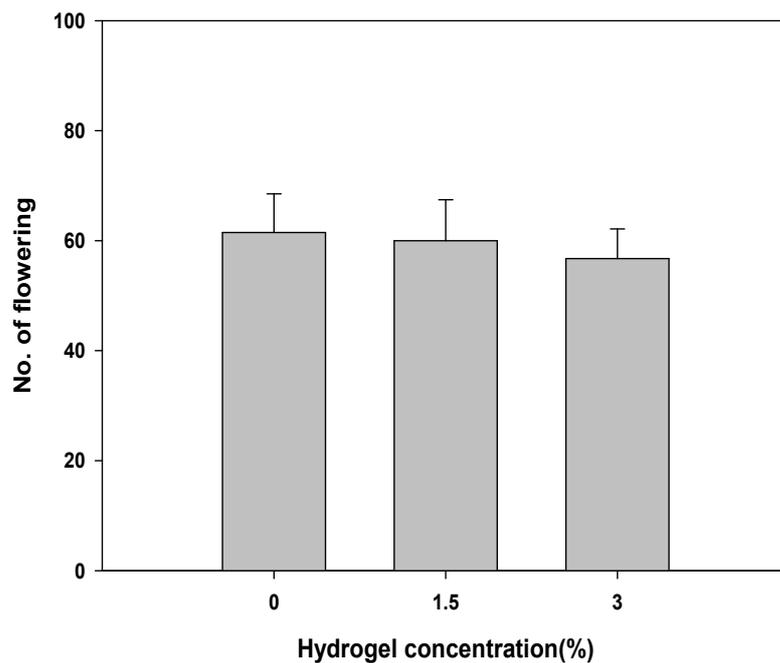


그림 177. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 꽃수의 변화

표 28. 1개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	16.0	24.2	36.3
1.5 %	17.2	22.8	35.9
3.0 %	16.8	23.8	38.1
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

표 29. 2개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	17.5	24.9 b	61.5
1.5 %	18.2	25.8 b	60.0
3.0 %	18.1	29.0 a	56.8
Significance	NS	*	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

표 30. 2일에 한번 관수주기와 하이드로겔 농도에 따른 국화의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	6.0	0.3 b	14.7
1.5 %	6.0	0.5 ab	15.0
3.0 %	6.5	0.6 a	15.0
Significance	NS	**	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

- 하이드로겔 농도에 따른 건물중에서 지상부는 처리구간 통계적 유의성은 나타나지 않았으나, 지하부에서 하이드로겔의 통도가 높을수록 높은 값으로 나타내었음. 뿌리길이는 대조구와 비교하였을 때, 처리구간 차이는 나타나지 않았음. 하이드로겔의 처리하였을 때 대조구와 생육적인 부분에서는 지상부가 아닌 지하부에서 차이가 있는 것을 알 수 있었으며, 하이드로겔이 지하부에 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단됨.

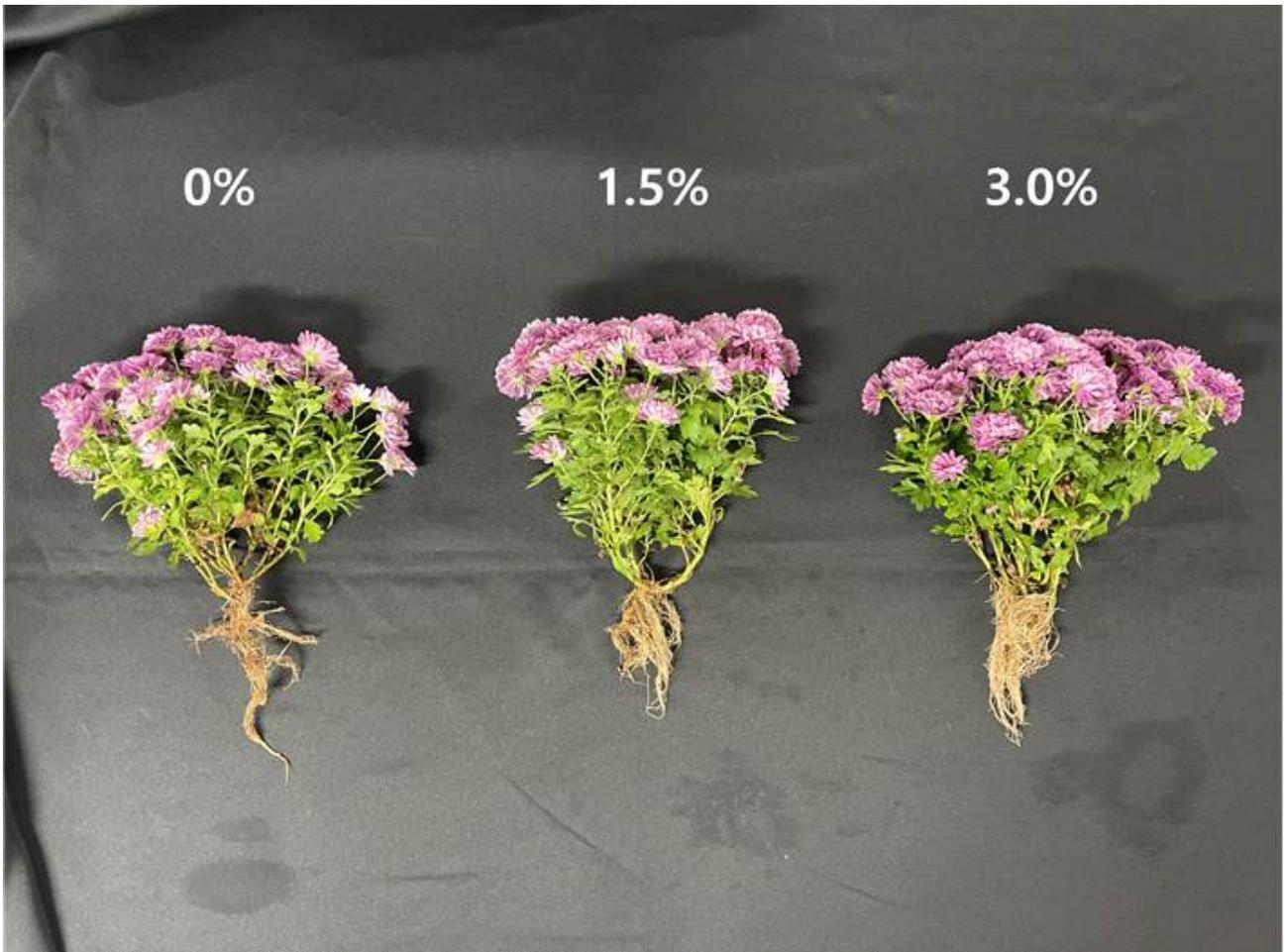


그림 178. 2일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 수확사진

Irrigation once every 4 days

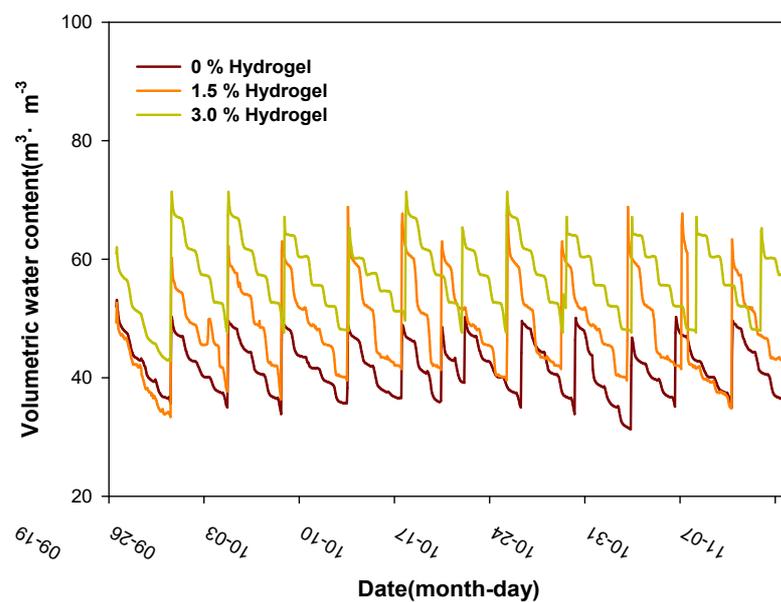


그림 179. 4일에 한번 관수시 토양수분함량(VWC)

- 4일에 한번 관수하는 처리구로 설정한 토양수분함량(VWC)은 잘 유지되는 것을 알 수 있으며, 온실에서 진행되었기 때문에 강우등과 같은 외부 환경의 영향을 받지 않았음.

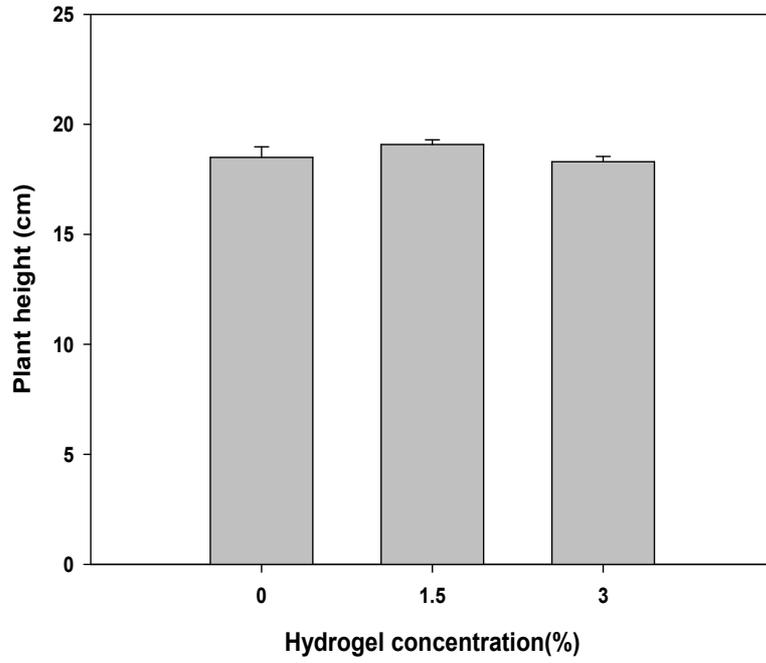


그림 180. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초장

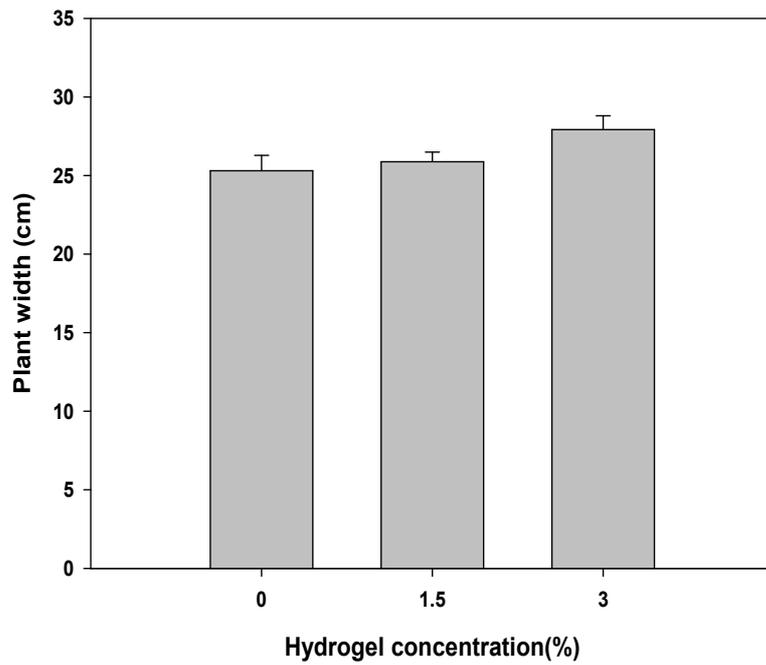


그림 181. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초폭

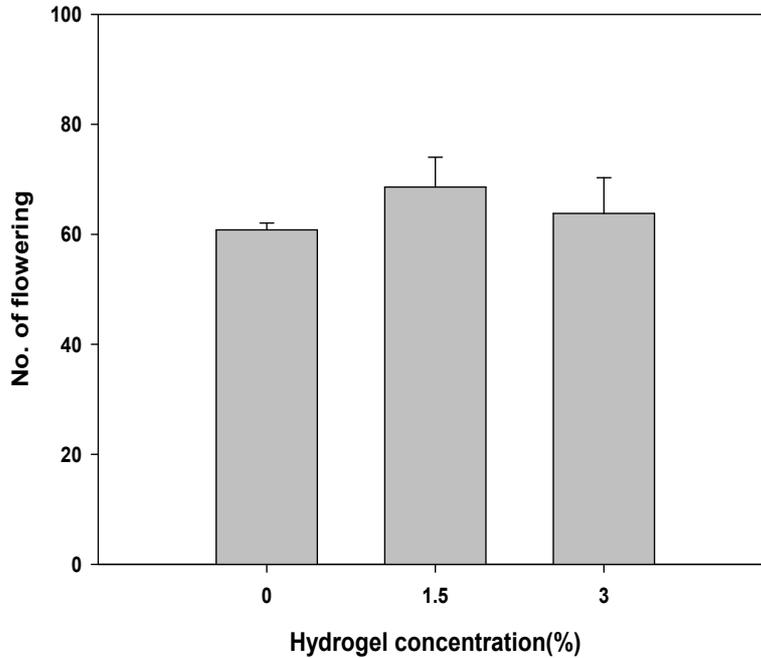


그림 182. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 꽃수

- 하이드로겔의 농도 따른 처리에서는 실험기간이 늘어남에 따라 초장, 초폭, 꽃수의 항목에서는 모든 처리구간의 통계적인 차이를 나타나지 않았음.

표 31. 1개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	16.0	23.5	56.7
1.5 %	16.0	23.8	54.8
3.0 %	17.6	23.6	56.7
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

표 32. 2개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	18.1	20.2	60.8
1.5 %	18.6	21.6	64.5
3.0 %	18.0	24.0	63.8
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

표 33. 4일에 한번 관수주기와 하이드로겔 농도에 따른 국화의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	6.2	0.4	14.2
1.5 %	6.2	0.4	13.4
3.0 %	6.6	0.5	13.0
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) test($P=0.05$)로 하였음

- 하이드로겔의 농도 따른 처리에서는 실험기간이 늘어남에 따라 지상부와 지하부 건물중, 뿌리길이 측정항목에서도 대조구와 비교하였을 때, 처리구간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났음. 하이드로겔이 4일 관수시에는 생육적으로 큰 영향은 미치지 않은 것으로 판단됨.



그림 183. 4일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 수확사진

Irrigation once every 6 days

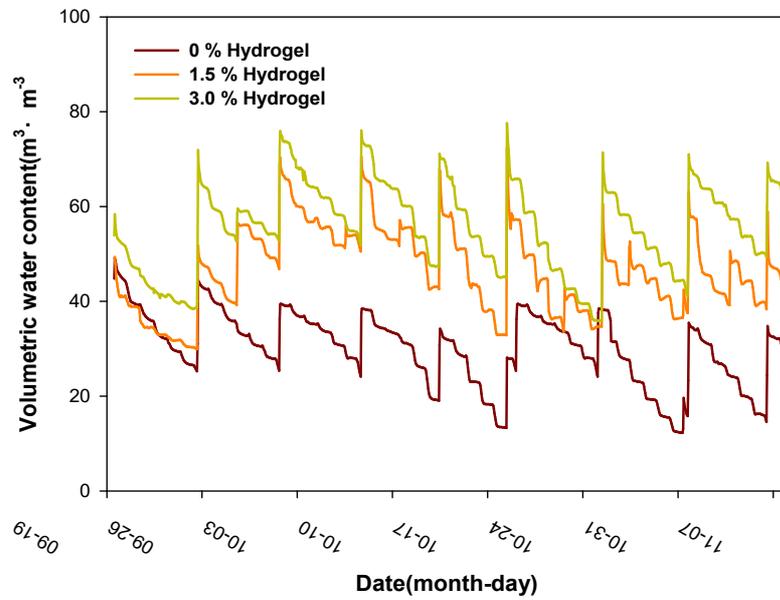


그림 184. 6일에 한번 관수시 토양수분함량(VWC)

- 6일에 한번 관수하는 처리구로 설정한 토양수분함량(VWC)은 잘 유지되는 것을 알 수 있으며, 온실에서 진행되었기 때문에 강우등과 같은 외부 환경의 영향을 받지 않았음.

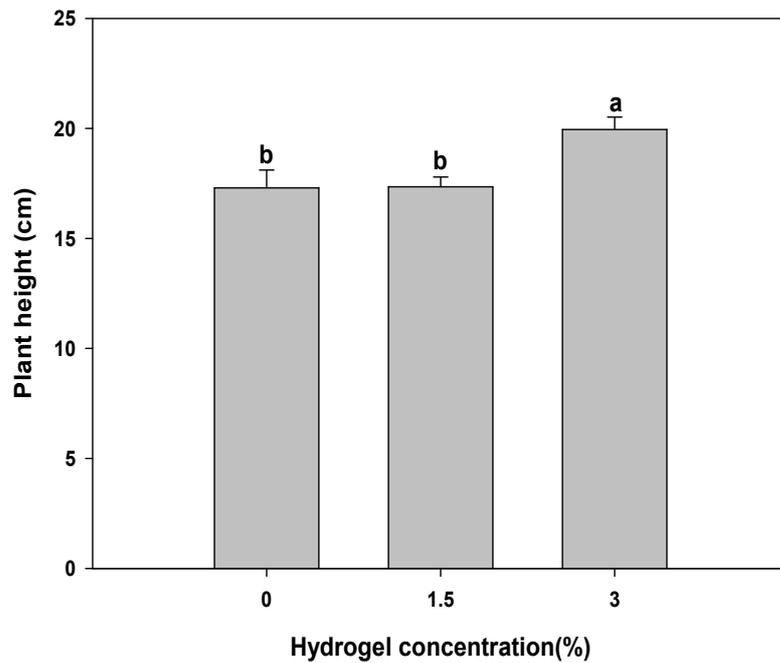


그림 185. 6일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초장

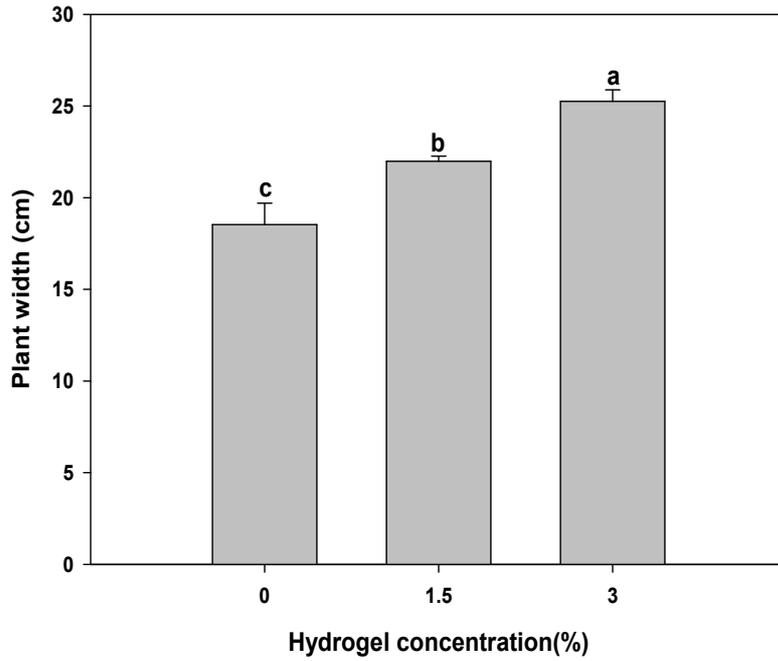


그림 186. 6일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 초폭

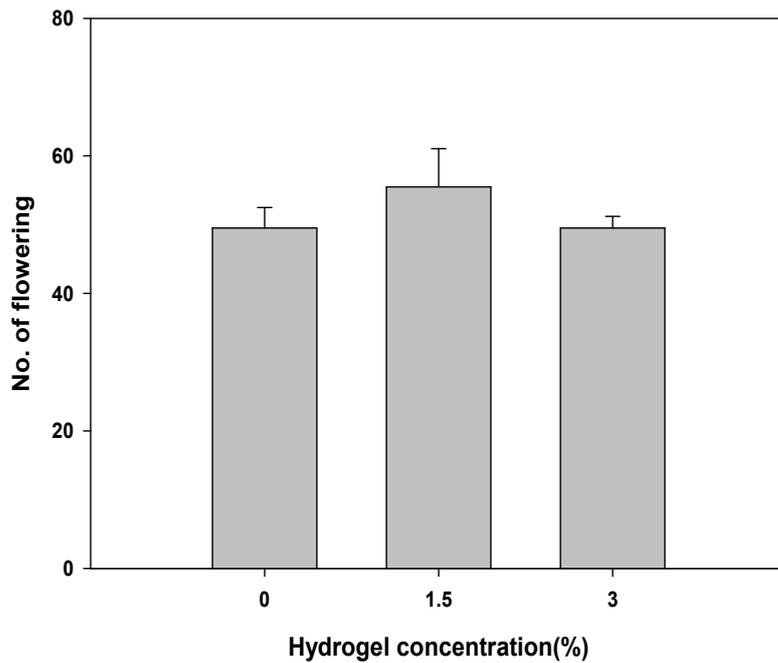


그림 187. 6일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리에 따른 꽃수

- 하이드로겔의 농도 0, 1.5, 3.0%에서의 초장은 3.0%에서 20.0cm로 가장 높았으며, 0%와 1.5%는 각각 17.3cm와 17.4cm로 통계적 차이는 없었음. 하이드로겔 농도에 따라 꽃수의 변화는 없었으나, 6일 관수시 초폭의 경우 3.0%농도 처리에서 25.2%로 가장 높게 나타났으며, 1.5%, 0%로 농도가 낮을수록 낮은 값을 나타내었음.

표 34. 1개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	15.7	23.7	40.9
1.5 %	15.9	24.0	43.3
3.0 %	16.2	22.2	40.0
Significance	NS	NS	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

표 35. 2개월 실험 진행 이후 국화의 초장, 초폭, 꽃봉오리수의 변화(n=3)

하이드로겔 농도	초장 (cm)	초폭 (cm)	꽃수(n)
cont	17.3 b	18.5 c	49.5
1.5 %	17.4 b	22.0 b	55.5
3.0 %	20.0 a	25.2 a	49.5
Significance	*	***	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

표 36. 6일에 한번 관수주기와 하이드로겔 농도에 따른 국화의 지상부와 지하부의 건물중, 뿌리 길이

하이드로겔 농도	지상부 건물중(g)	지하부 건물중(g)	뿌리길이(cm)
cont	5.6 b	0.3 b	12.3
1.5 %	6.1 b	0.3 b	13.7
3.0 %	7.2 a	0.4 a	14.6
Significance	*	*	NS

NS: non-significant, *, **, ***는 유의수준 0.05, 0.01, 0.001에서 유의성 검정을 한 것임
사후검정은 Tukey's HSD (honestly significant difference) tes`t(P=0.05)로 하였음

- 하이드로겔 농도에 따른 뿌리길이는 처리구간 통계적인 차이가 나타나지 않았으나, 지상부와 지하부의 건물중은 하이드로겔 3.0% 농도처리에서 각각 7.2g과 0.4g으로 처리구간 가장 높은 값으로 나타내었음. 6일 관수시 하이드로겔을 처리하였을 때 3.0% 하이드로겔 농도가 식물 생육에 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단됨.



그림 188. 6일에 한번 관수시 하이드로겔 농도처리의 따른 수확사진

라. [위탁연구기관 _ 강원대학교 _ 1단계 2차년도]

□ 하이드로겔 적용 토양의 효율 조사 및 비교 평가

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
현장 토양에 고흡수성 나노복합체 하이드로겔 처리 및 효율 조사			→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
하이드로겔의 효율 비교 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사

- 하이드로겔 처리에 따른 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화를 조사하고자 상반기 (5-6월)에는 춘천 농경지 현장 조건에서 하이드로겔 처리 후 옥수수 및 상추 재배를 수행하였고 하반기 (9월-10월)에는 춘천 및 횡성에서 상추 재배 연구를 수행하였음 (그림 185-187)
- 본 연구에 사용한 토양의 특성은 표 37, 표 38와 같으며, 토양에 하이드로겔을 0, 0.25, 0.5, 1%(w/w) 비율로 처리하였음
- 상반기 토양에 하이드로겔을 처리한 뒤 흙토람 시비 기준에 따라 비료를 시비한 후 옥수수와 상추를 파종함, 작물을 심은 토양은 작물 파종 전, 작물 생육 도중 (25일 경과 후), 작물 수확 후 (49일)로 나누어 3차례 분석을 수행하였음
- 상반기 춘천에서 진행한 처리구에 하반기 상추를 다시 정식 후 약 7주 (49일)간 재배한 이후 작물을 수확하여 분석을 수행하였음
- 반기 춘천 옥수수의 경우 작물 수확 시기 야생동물에 의해 농작물 피해를 입어 작물 파종 전, 작물 생육 중 (25일 경과 후) 일부 데이터만을 분석하였음
- 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화는 표 2와 같은 방법에 준하여 분석하였음
- 각 시기별, 위치별 채취한 작물 시료는 건물중, 생체중, 양분함량(N, P, K)을 분석하였음



그림 189. 하이드로겔 실증 실험 지역(춘천 울문리)



그림 190. 하이드로겔 실증 실험 지역 (황성 법주리)

표 37. 하이드로겔 실증 실험 처리구 (울문리) 토양 특성

주소	토성	pH	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	총질소 (%)	용적밀도 (g/cm ³)
춘천 울문리	Sandy loam	5.5	0.32	13.87	221.4	0.11	1.46
주소	양이온치환용량	Exch.-Ca	Exch.-K		Exch.-Mg	Exch.-Na	
	(cmol/kg)						
춘천 울문리	5.88	1.77	0.26	0.33	0.00		

표 38. 하이드로겔 실증 실험 처리구 (황성) 토양 특성

주소	토성	pH	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	총질소 (%)	용적밀도 (g/cm ³)
황성 법주리	Loamy sand	5.2	0.8	35.84	952.3	-	1.28
주소	양이온치환용량	Exch.Ca	Exch.K	Exch.Mg	Exch.Na		
	(cmol/kg)						
황성 법주리	14.35	10.3	0.91	34.08	4.20		



그림 191. 상추 및 옥수수 재배 현장 모습

○ 하이드로겔 처리에 따른 식물체 가뭄 스트레스 (L-proline) 분석

- Leaf-proline(L-proline)은 작물이 수분 스트레스를 받게 되면 잎에 축적되는 물질로, 하이드로겔 처리에 따른 작물 수분 스트레스 해소에 미치는 영향을 확인할 수 있는 중요한 지표임
- L-proline 분석은 Bate et al. (1973)가 제시한 방법에 따라 분석을 진행하였음
- 하반기 춘천과 횡성에서 재배한 상추를 대상으로 L-proline 분석을 진행하였음

◆ 2차년도(2022년) 연구개발과제 수행 결과

○ 상반기 하이드로겔 처리에 따른 상추 재배 춘천 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화

- 상반기 춘천의 하이드로겔 처리 후 시간에 따른 토양 용적밀도 및 수분함량 결과는 그림 188과 같으며, 1차년도 선행한 실내실험과 마찬가지로, 하이드로겔 처리는 토양 용적밀도 감소와 수분함량 증가 등, 7주간 모니터링 기간동안 동일한 경향이 유지되는 것으로 나타남
- 모니터링 기간 중 실내실험과 마찬가지로 하이드로겔 1% 처리 토양에서, 용적밀도가 식물 생육에 적절한 1.3 g/cm^3 수준으로 유지되는 것을 확인함 (그림 188)
- 7주간 토양의 화학적 특성 결과 모니터링 결과는 그림 189-193과 같으며, 물리적 특성 결과와 달리 화학적 특성은 모니터링 기간 처리구간 유의한 변화가 없는 것으로 나타남
- 현장 실험에서 이루어졌던 재배 토양의 호흡량 (그림 194 좌)은 시간이 지남에 따라 하이드로겔 처리량이 증가할수록 유의미하게 높아지는 경향을 보였고, CFU (그림 194 우) 또한 하이드로겔 1% 처리구에서 수확 후 토양에서 가장 높은 것으로 나타남. 이는 하이드로겔 처리에 의해 토양 수분 함량이 증가하여 미생물 활동이 증가한 것으로 사료됨. 토양 효소 활성 phosphatase (그림 195 좌)는 다른 효소 활성 (그림 195 우, 196)과는 달리 하이드로겔 처리에 의해 증가하는 경향을 보였는데, 이는 phosphatase가 토양 내 공극 크기와 밀접한 관련이 있기 때문에 하이드로겔 처리로 용적 밀도가 낮아진 결과와 상관성이 있는 것으로 보임
- 현장 실험에서 토양의 화학적인 특성 결과는 하이드로겔 처리에 의한 유의미한 변화는 없었지만 일부 생물학적 특성 결과의 변화를 볼 때 향후 현장 실험을 동일한 지역의 장기간 모니터링을 진행하여 하이드로겔 처리와 토양의 화학적 특성 변화 간의 관계를 지속적으로 관찰하였음

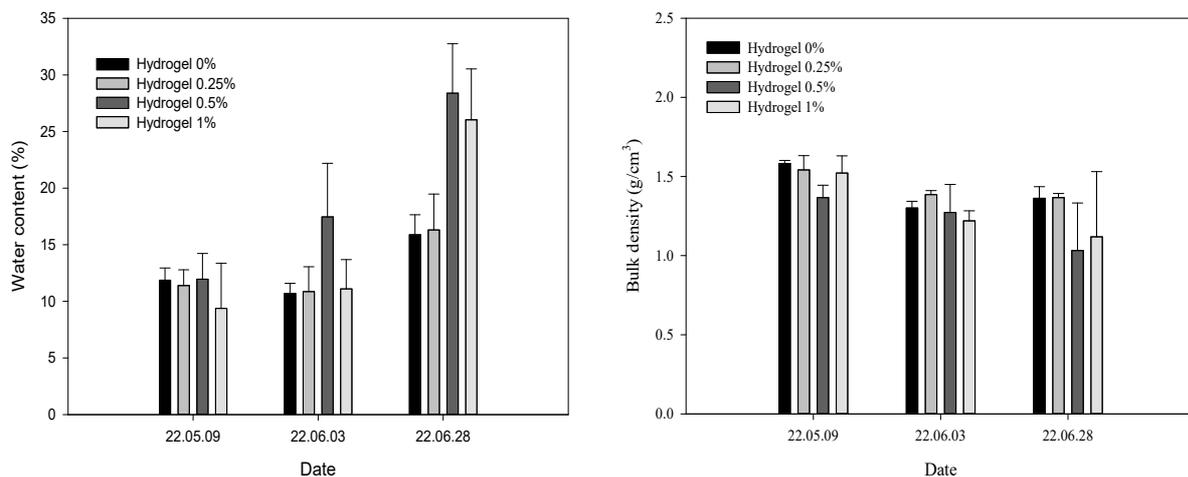


그림 192. 토양의 수분함량, 용적밀도 분석 결과 (좌: 수분함량, 우: 용적밀도)

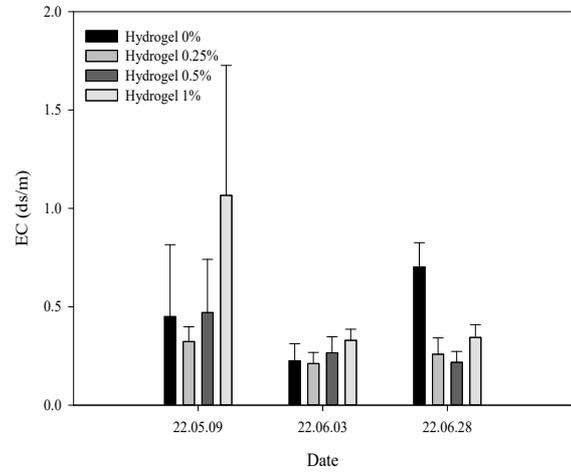
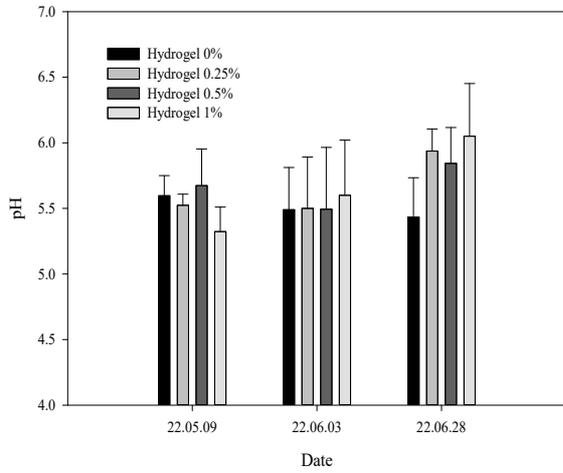


그림 193. 토양의 pH, EC 분석 결과 (좌: pH, 우: EC)

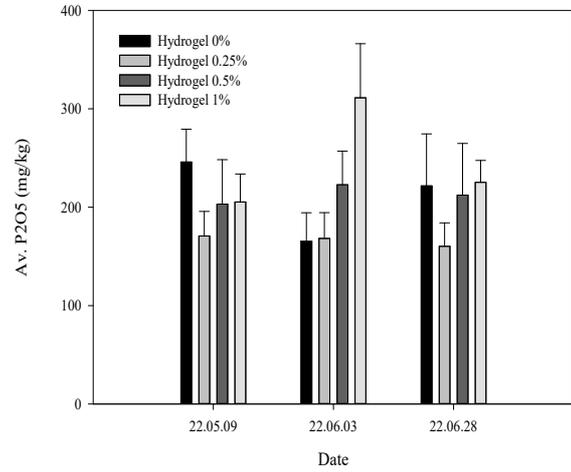
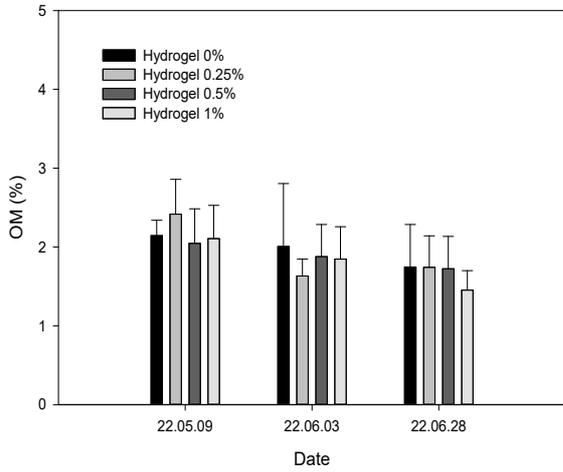


그림 194. 토양의 유기물, 유효인산 분석 결과 (좌: 유기물, 우: 유효인산)

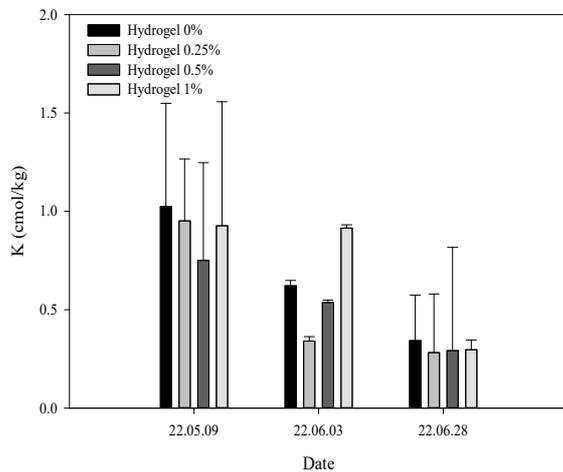
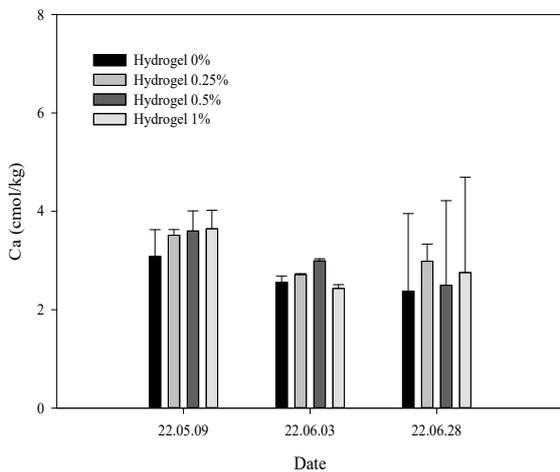


그림 195. 토양 치환성 Ca, K 분석 결과 (좌: Ca 우: K)

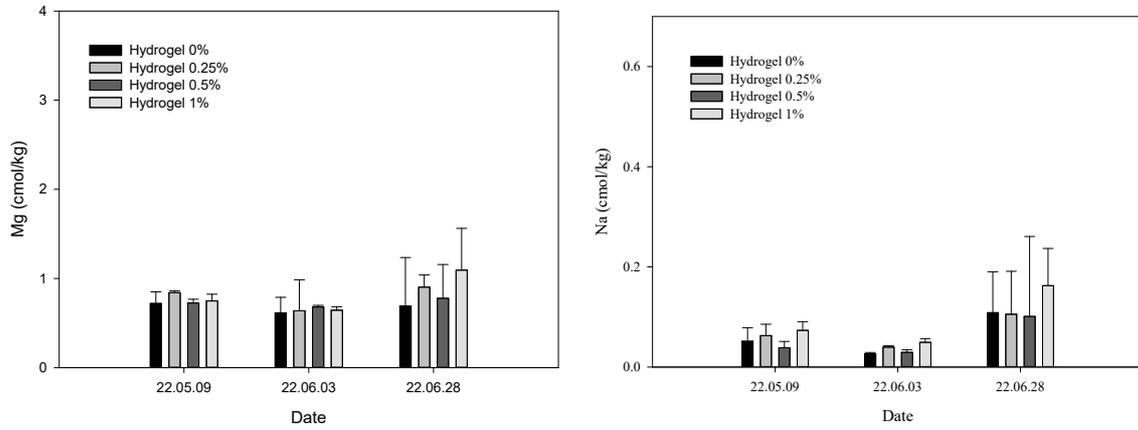


그림 196. 토양 치환성 Mg, Na 분석 결과 (좌: Mg 우: Na)

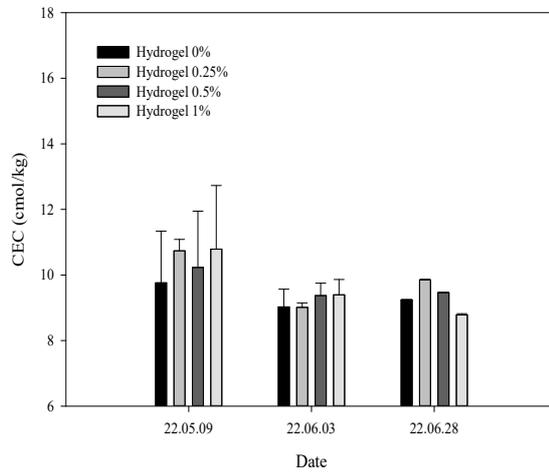


그림 197. 토양 양이온치환용량(CEC)

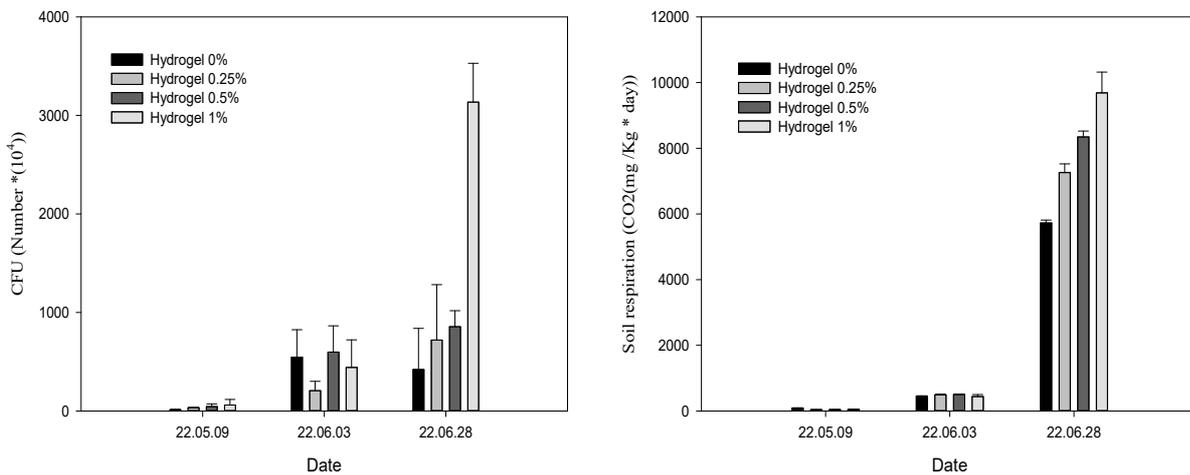


그림 198. 토양 호흡, CFU 분석 결과 (좌: 토양호흡, 우: CFU)

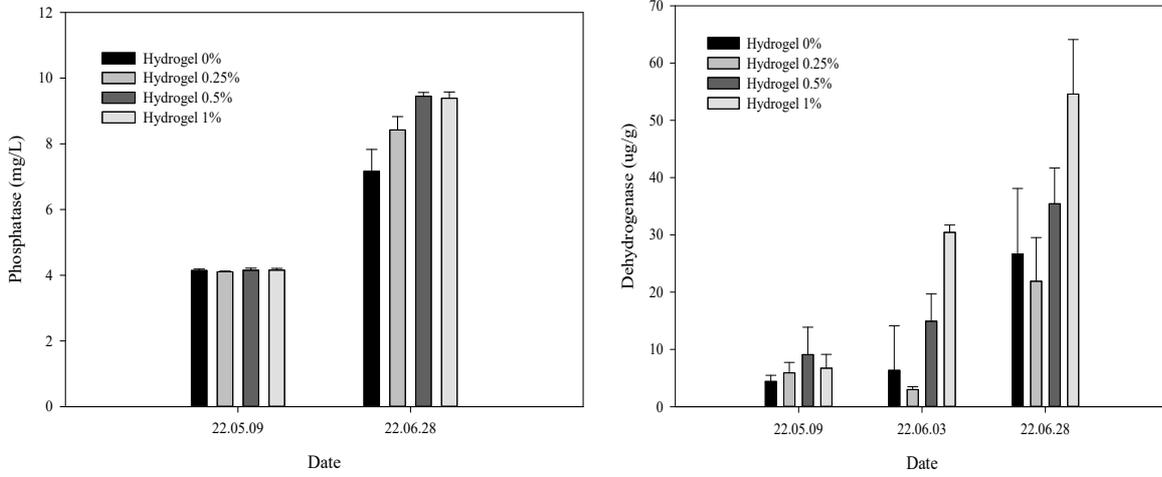


그림 199. 토양 Phosphatase 효소 및 Dehydrogenase 효소 분석 결과 (좌 : Phosphatase 우 : Dehydrogenase)

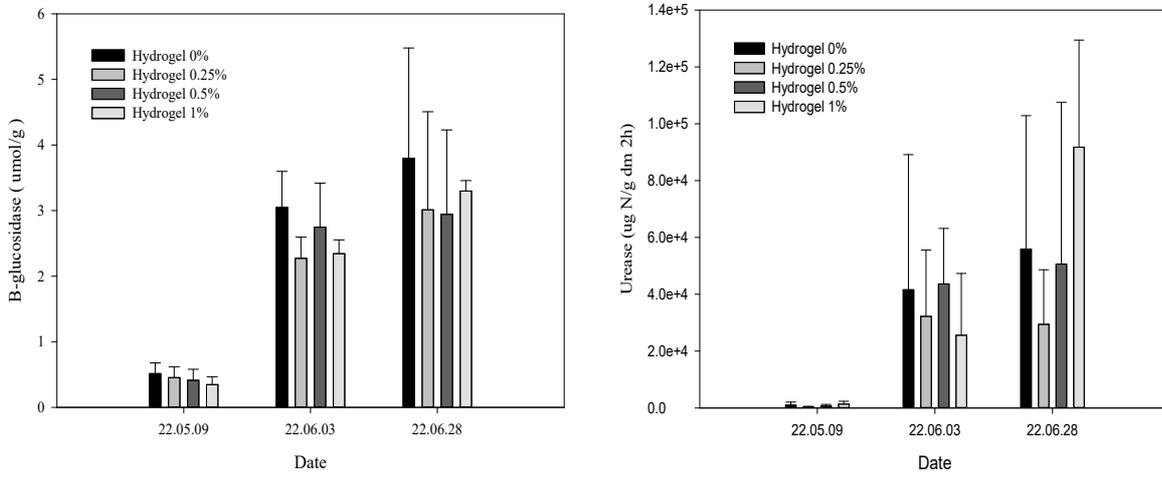


그림 200. 토양 β -glucosidase 및 Urease 효소 분석 결과 (좌 : β -glucosidase 우 : Urease)

○ 하반기 하이드로겔 처리에 따른 상추 재배 춘천 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화

- 하반기 춘천과 횡성의 하이드로겔 처리 후 시간에 따른 토양 용적밀도 및 수분함량 결과는 그림 197-198와 같으며, 춘천의 경우 하이드로겔 처리량이 0.5% 이상일 때 용적밀도가 유의하게 줄었으며, 횡성 또한 하이드로겔 처리량이 증가함에 따라 용적밀도의 감소가 나타났음
- 2차년도 상반기 결과와 유사하게 토양 수분함량은 하이드로겔 처리량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였음
- 하지만 하반기 모니터링 기간 처리구간 토양의 화학적 특성은 유의미한 차이를 관찰하지 못하였음 (그림 199-207)
- 토양 생물성의 경우 일부 항목을 제외한 춘천과 횡성 처리구에서 하이드로겔 처리량이 늘어남에 따라 미생물 활성이 증가하는 것을 관찰하였음

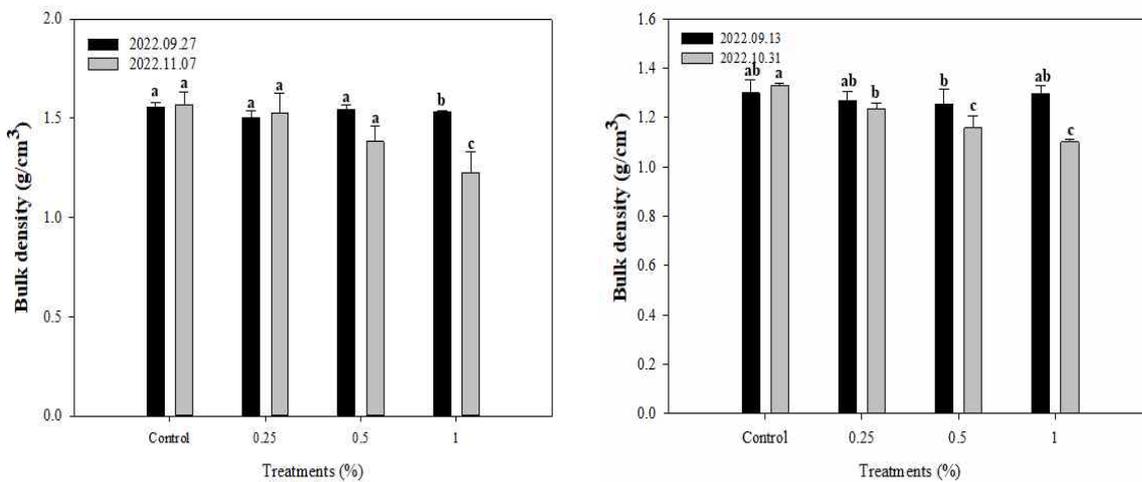


그림 201. 토양 용적밀도 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

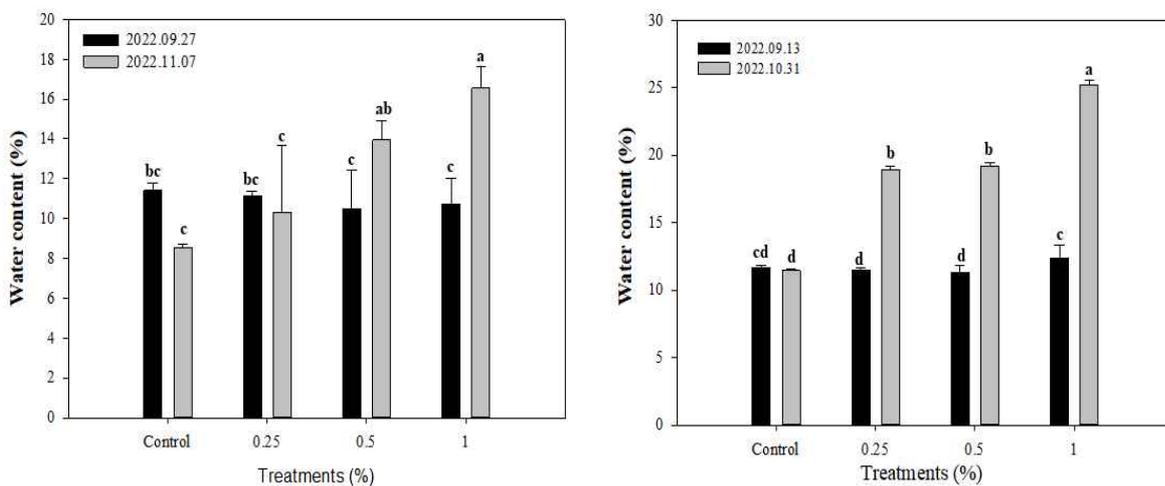


그림 202. 토양 수분함량 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

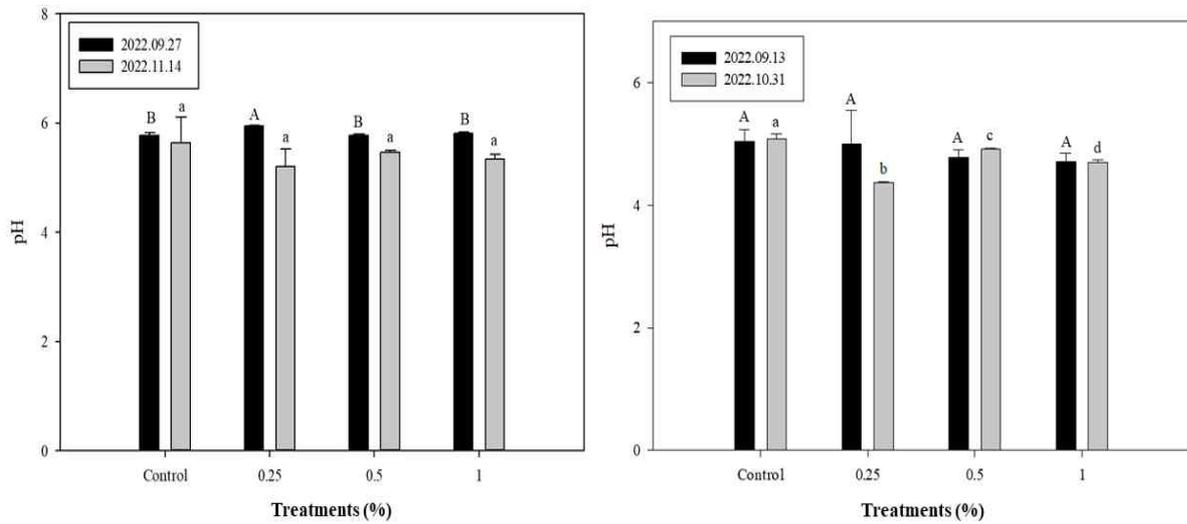


그림 203. 토양 pH 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

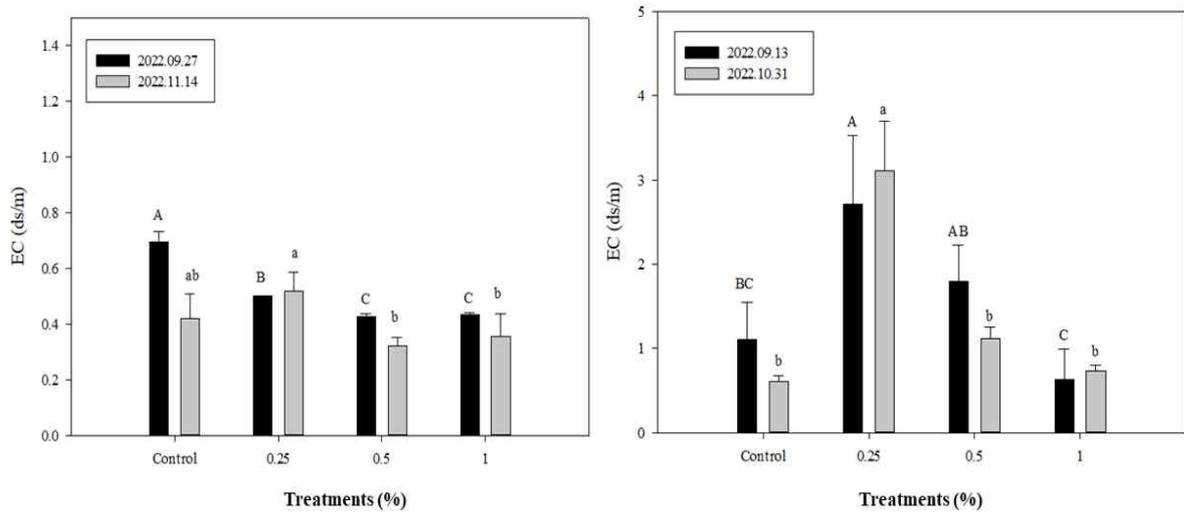


그림 204. 토양 EC 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

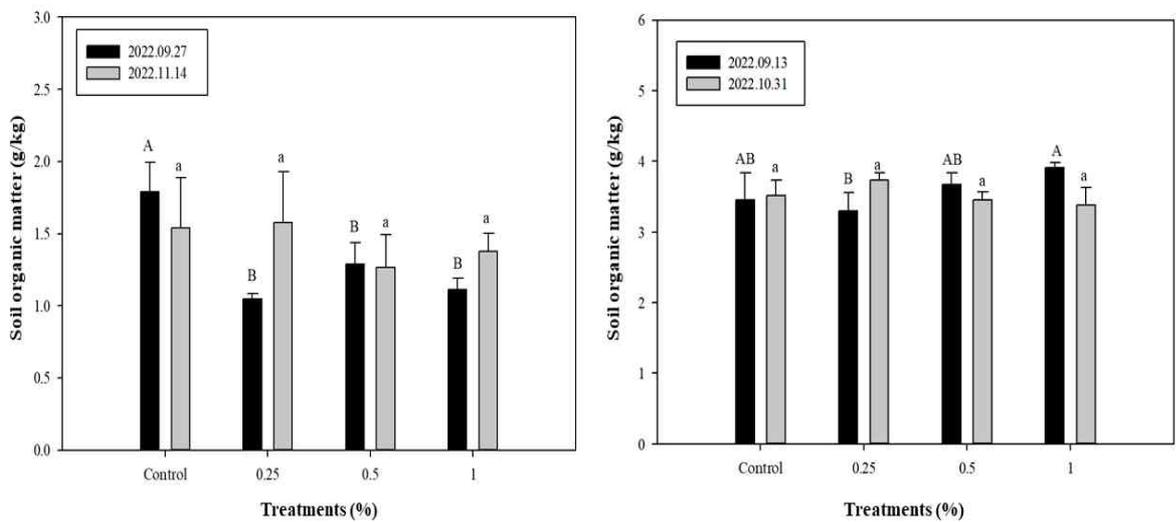


그림 205. 토양 유기물 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

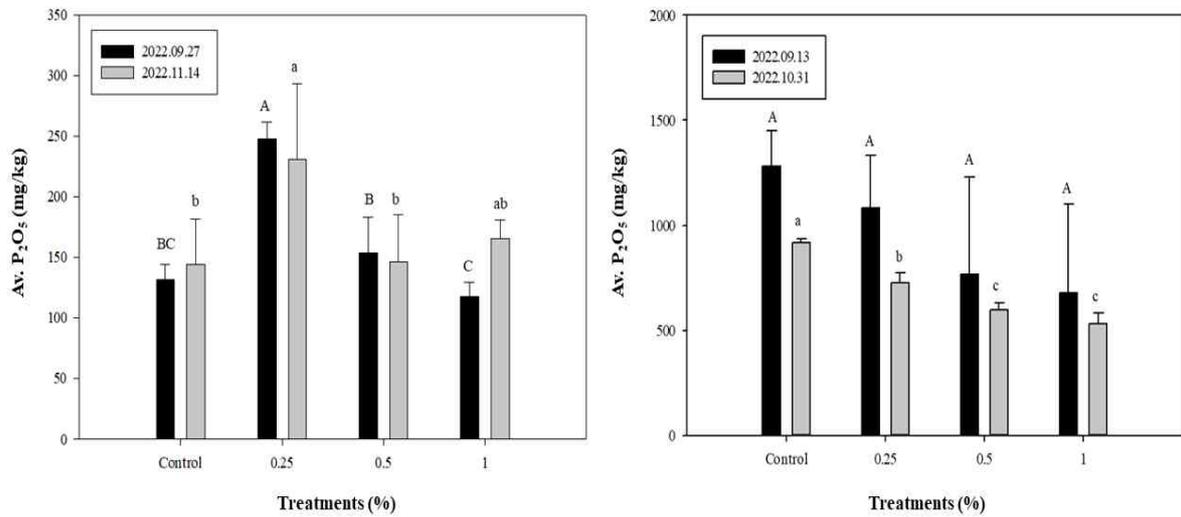


그림 206. 토양 유효인산 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

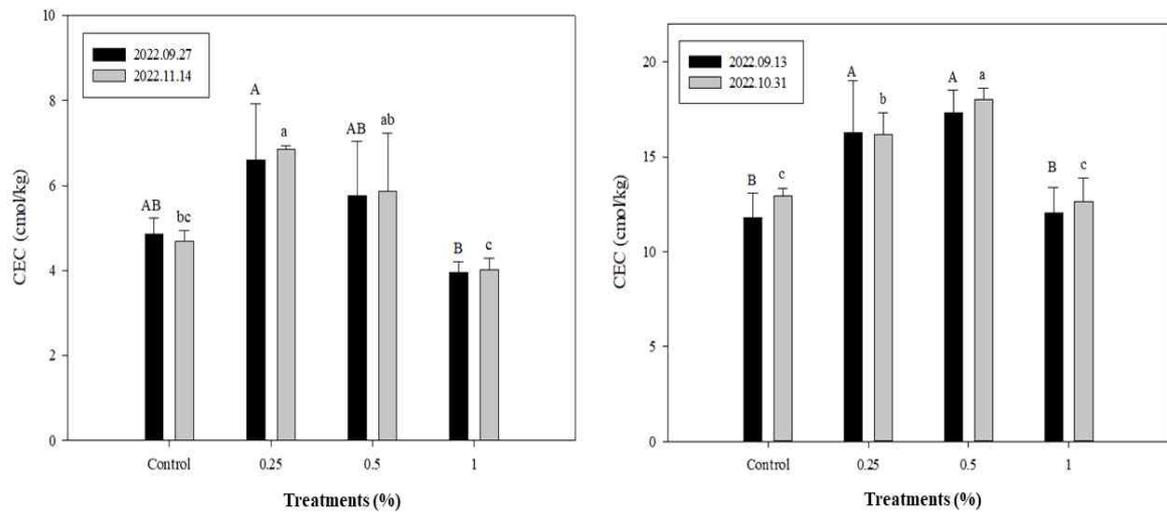


그림 207. 토양 양이온치환용량 (CEC) 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

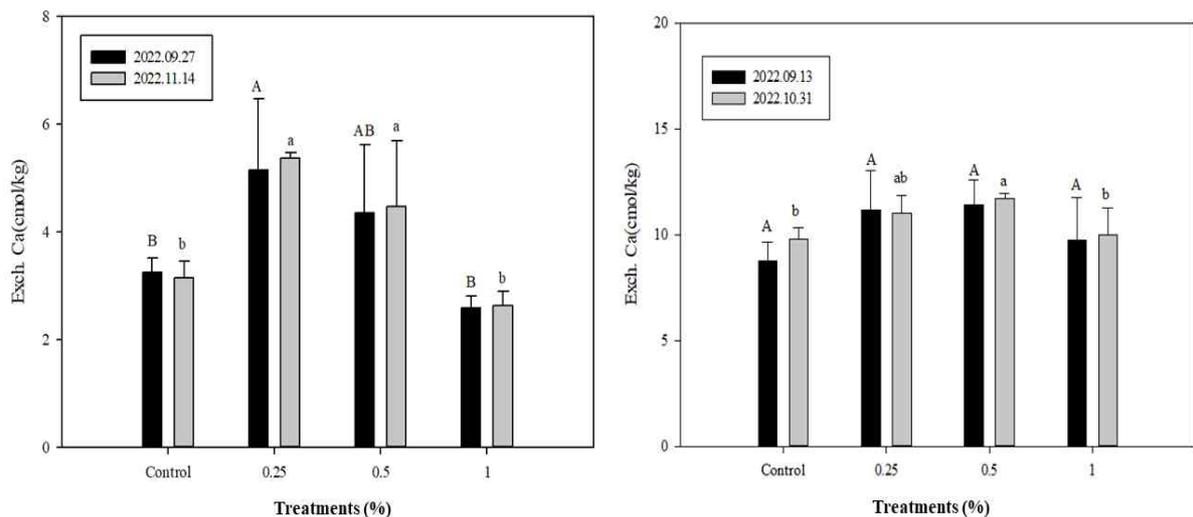


그림 208. 토양 치환성 Ca 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

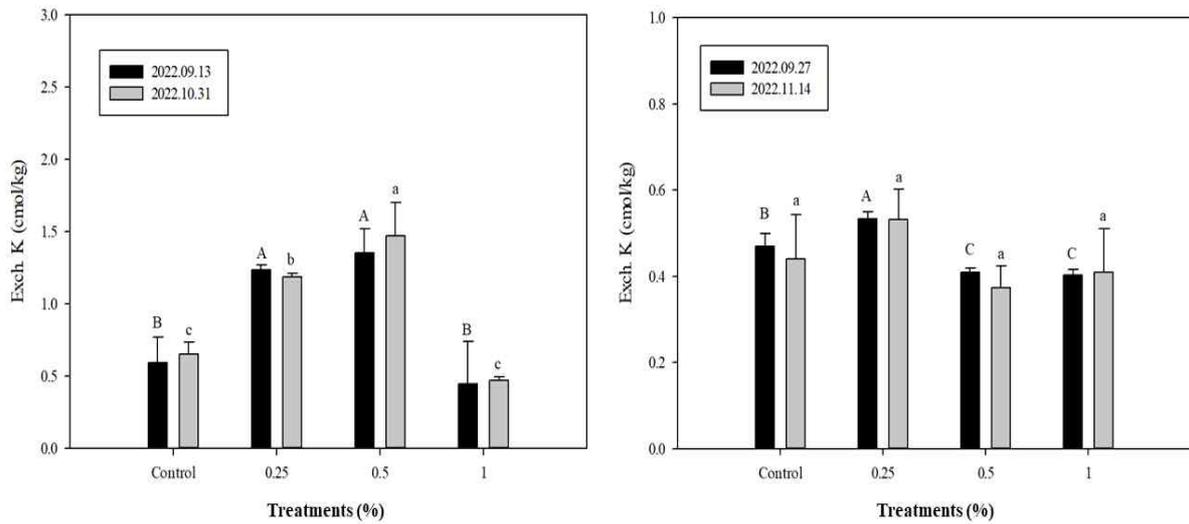


그림 209. 토양 치환성 K 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

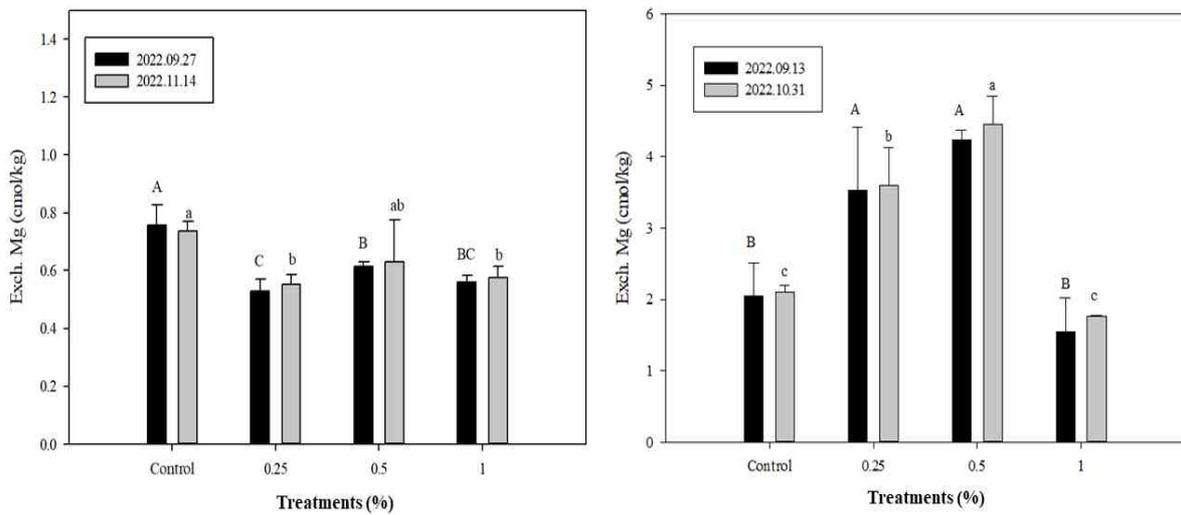


그림 210. 토양 치환성 Mg 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

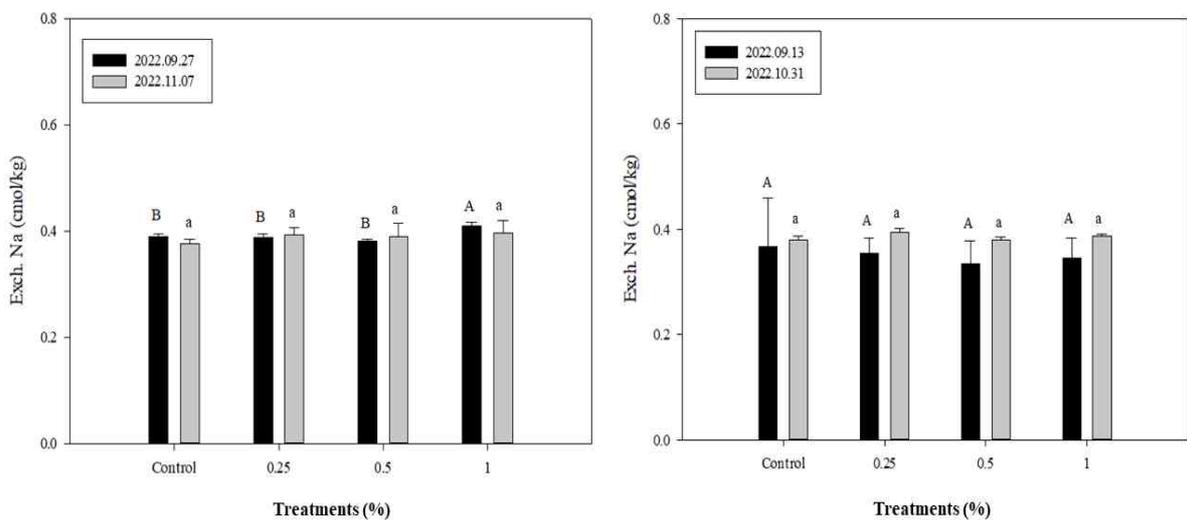


그림 211. 토양 치환성 Na 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

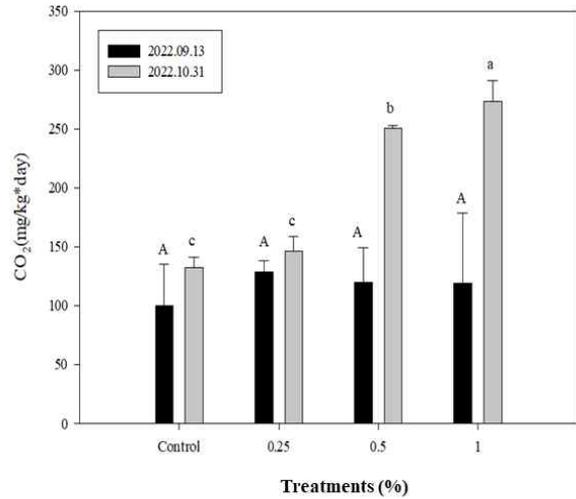
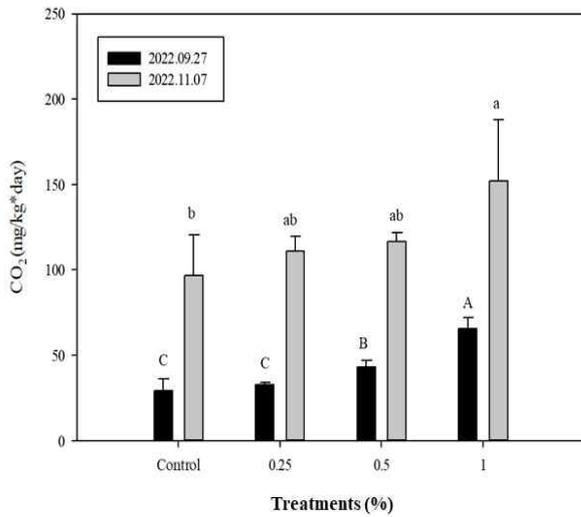


그림 212. 토양 호흡 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

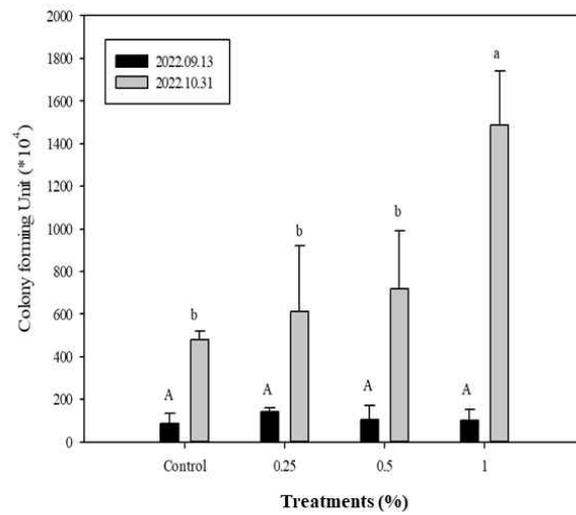
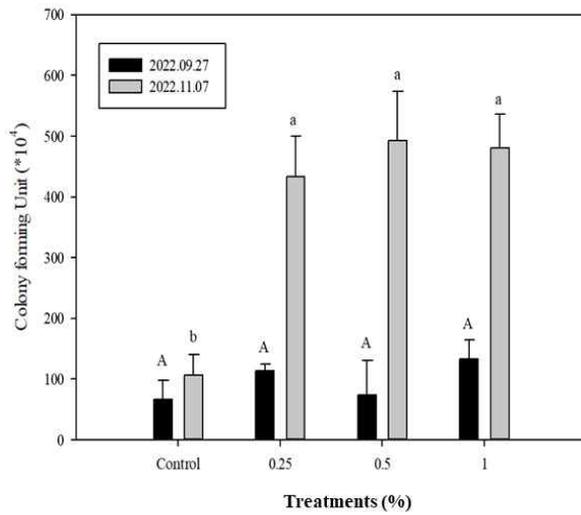


그림 213. 토양 CFU 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

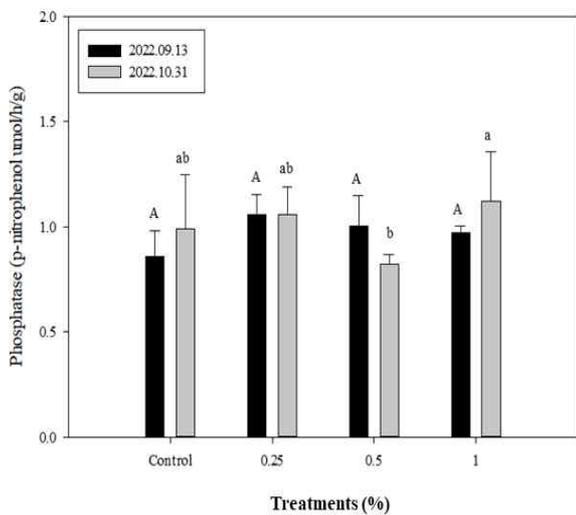
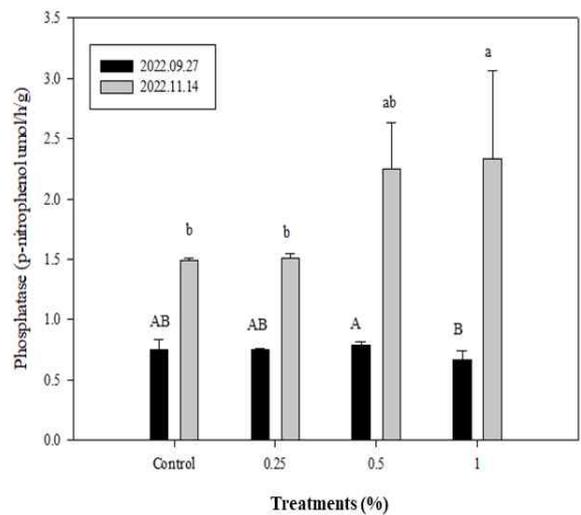


그림 214. 토양 phosphatase 효소 활성 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

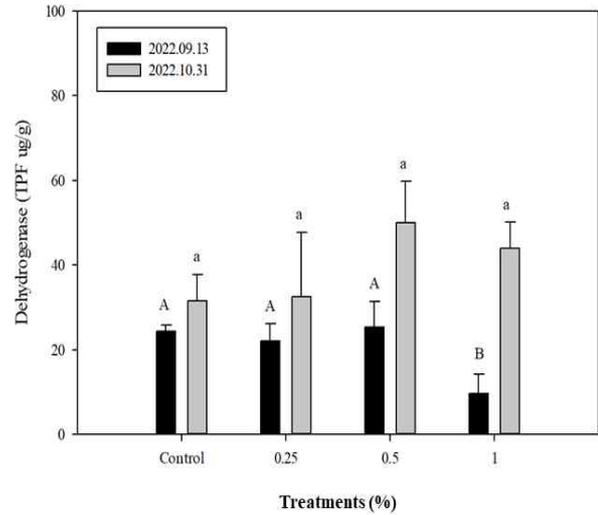
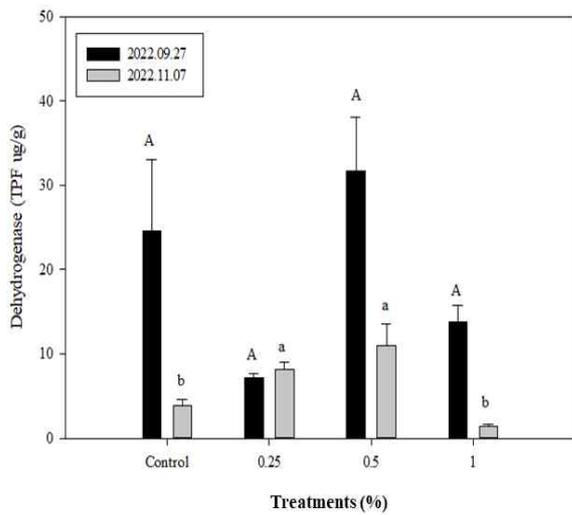


그림 215. 토양 dehydrogenase 효소 활성 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

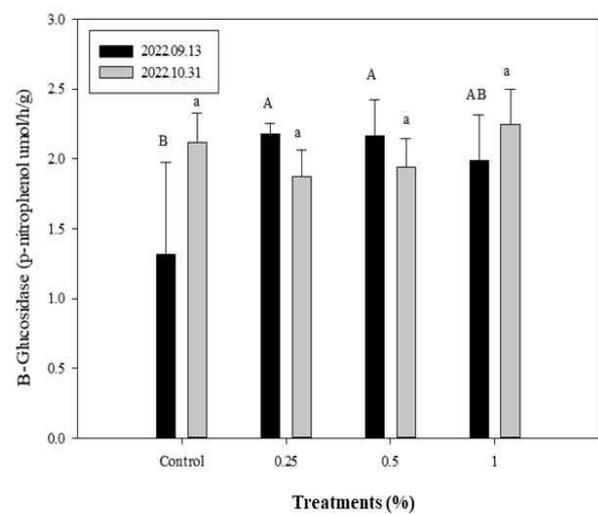
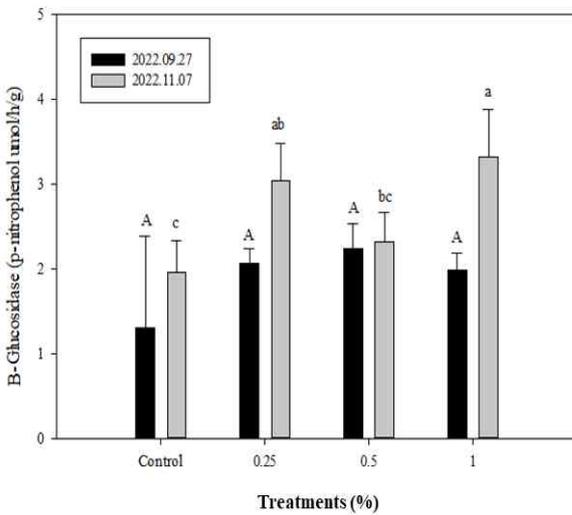


그림 216. 토양 β -glucosidase 활성 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

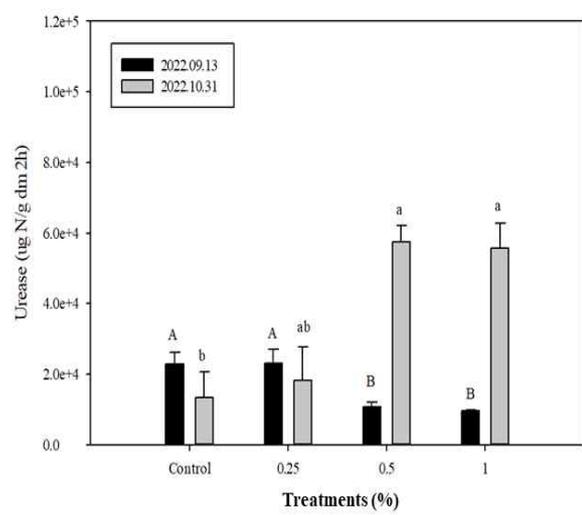
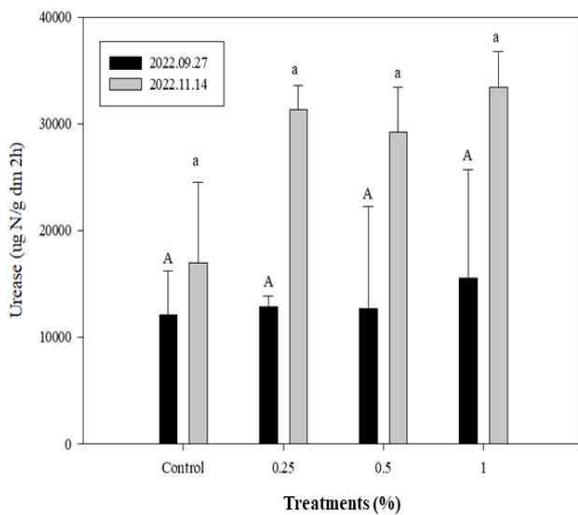


그림 217. 토양 Urease 효소 분석 결과 (좌: 춘천, 우: 횡성)

○ 하이드로겔 처리에 따른 옥수수 재배 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화

- 상반기 춘천 처리구 옥수수는 야생동물에 의해 수확하지 못함
- 상반기 춘천 농경지 하이드로겔 처리 후 시간에 따른 토양의 용적밀도 및 수분함량 결과는 그림 214와 같으며, 상추 재배 토양과 마찬가지로 용적밀도는 감소하고, 수분함량은 증가한 이후, 생육 중간 과정 간 모니터링 기간 동일한 경향이 유지되는 것으로 나타남
- 모니터링 기간 중 상추 재배 토양과 마찬가지로, 물리적 특성의 변화는 식물 생장에 긍정적인 영향을 미쳤고, 화학적 특성의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타남
- 하이드로겔 처리에 따라 토양 dehydrogenase 효소와 토양 호흡 (그림 215)이 증가하였음

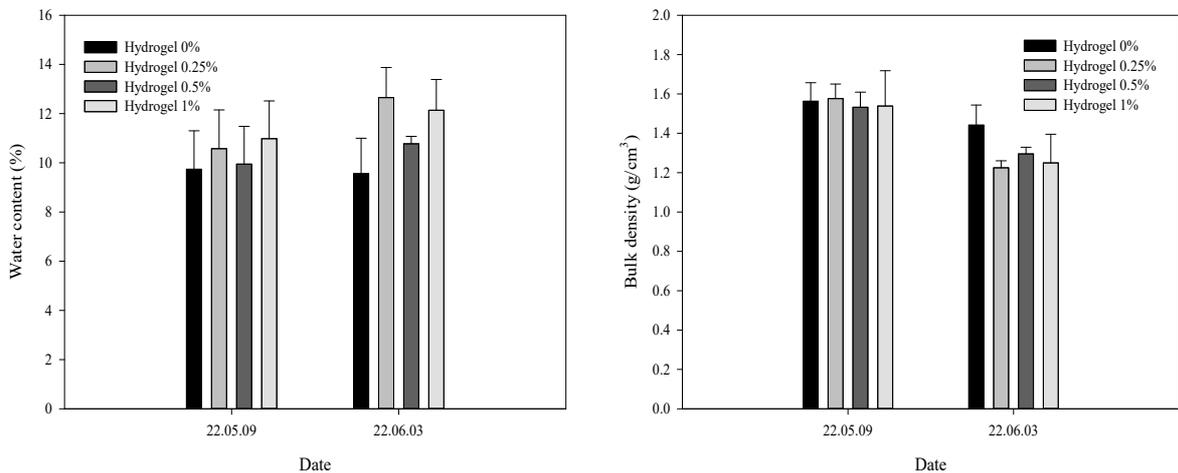


그림 218. 토양의 수분함량, 용적밀도 분석 결과 (좌: 수분함량, 우: 용적밀도)

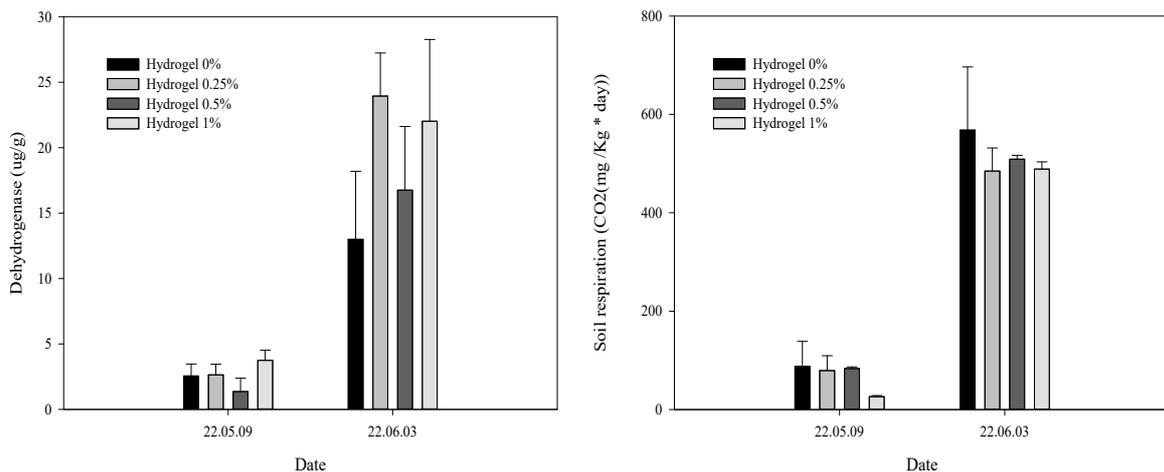


그림 219. 토양 Dehydrogenase 효소, 토양 호흡 분석 결과 (좌: Dehydrogenase, 우: 토양 호흡)

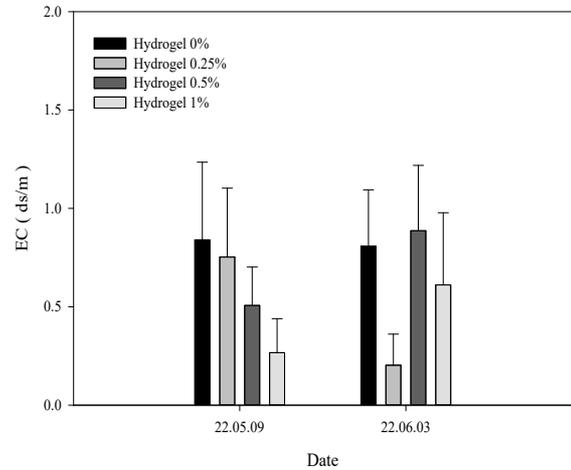
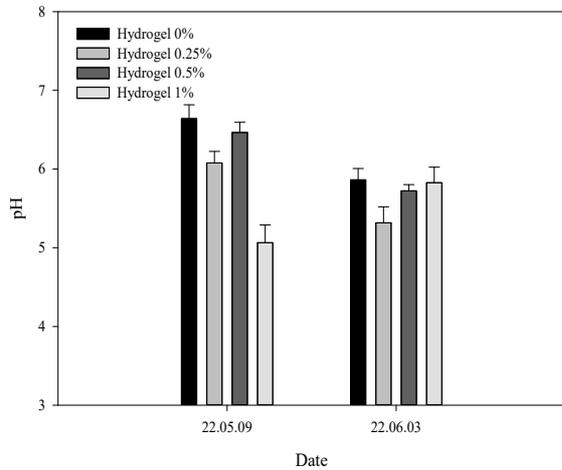


그림 220. 토양의 pH, EC 분석 결과 (좌: pH, 우: EC)

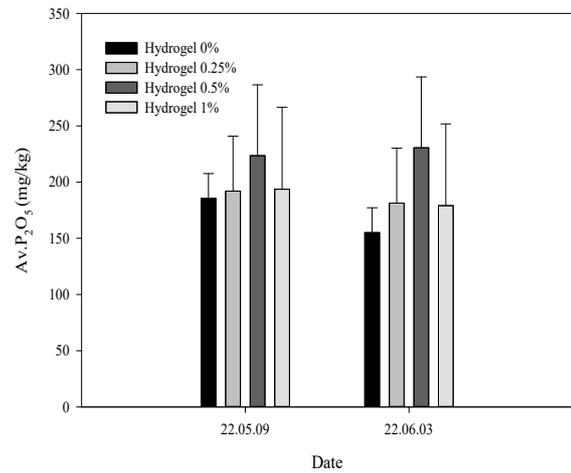
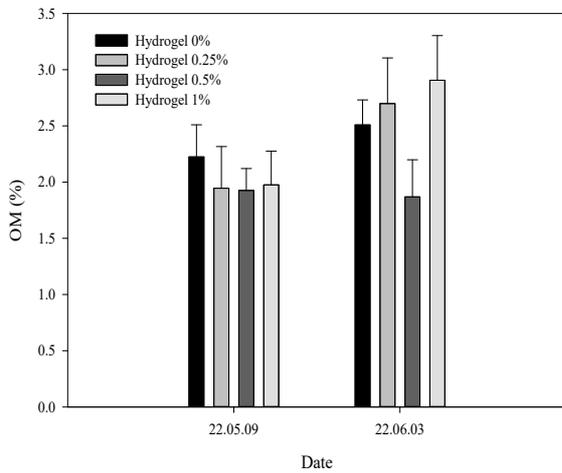


그림 221. 토양의 유기물, 유효인산 분석 결과 (좌: 유기물, 우: 유효인산)

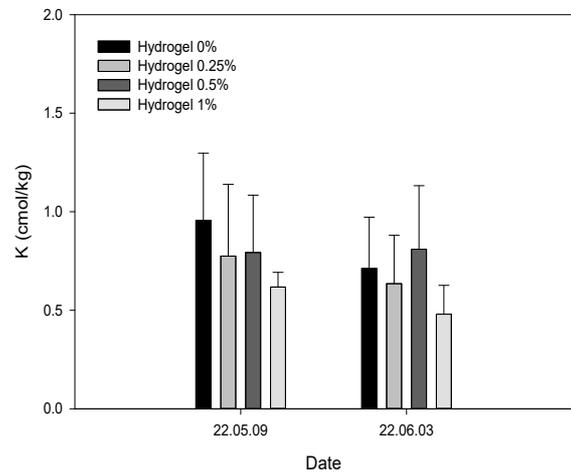
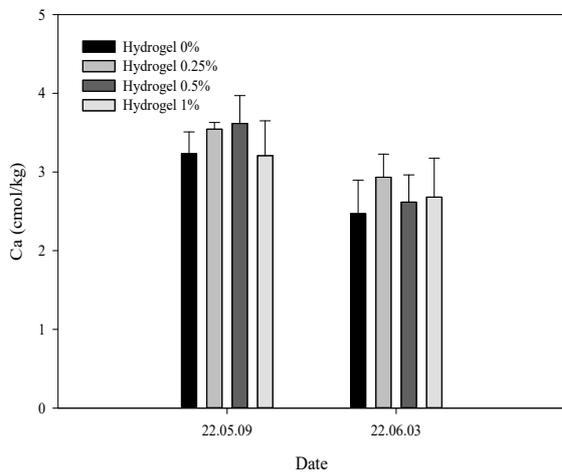


그림 222. 토양 치환성 Ca, K 분석 결과 (좌: Ca 우: K)

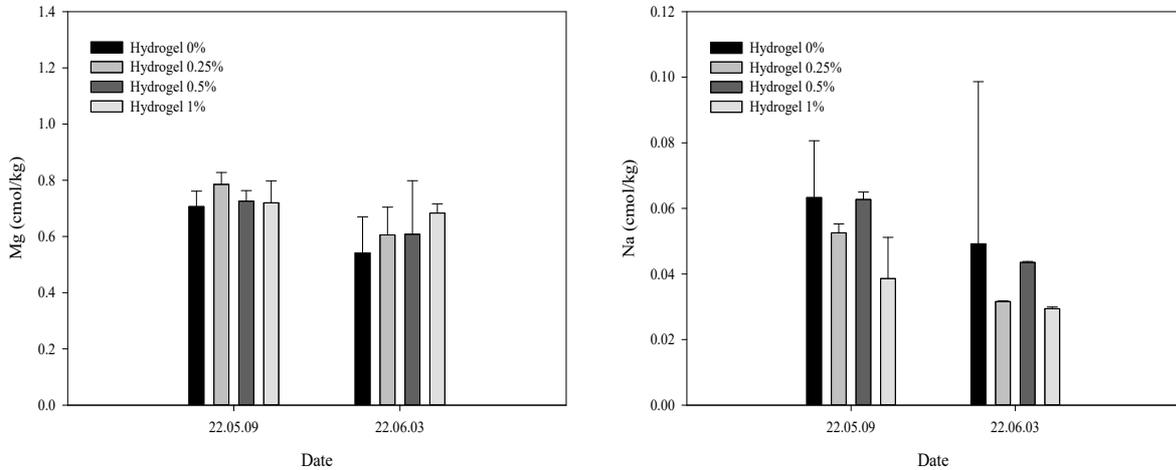


그림 223. 토양 치환성 Mg, Na 분석 결과 (좌: Mg 우: Na)

○ 하이드로겔 처리에 따른 상추의 생육 변화 조사

- 춘천지역과 횡성 지역에서 재배한 상추 모두 대조구 대비 하이드로겔을 토양에 처리하였을 때 생체중의 증가를 관찰할 수 있었음 (그림 220.)
- 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 상추의 건물중은 하이드로겔 처리량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 횡성 또한 통계적 차이는 나타나지 않았지만, 평균 상추 건물중이 증가하였음
- 또한 하이드로겔 처리량 증가에 따라 L-proline 함량이 감소하는 경향을 나타내, 토양 내 하이드로겔 처리 시 작물이 느끼는 수분 스트레스가 줄어드는 효과를 보였음 (그림 221)
- 앞서 토양 특성 모니터링 결과에서 하이드로겔 처리가 토양의 화학적 특성 변화에 미치는 영향은 미비했지만, 토양의 물리적 특성 개량 효과와 미생물의 활성 증대, 일부 효소 활성의 증가로 인해 작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단됨
- 또한 1차년도 연구에서 하이드로겔 2% 처리 시 토양의 용적밀도가 다른 처리구 뿐만 아니라 일반적인 농경지 토양의 용적밀도보다 상대적으로 낮아 작물 지지력에 문제가 있을 것으로 판단되었기 때문에 2차년도 현장 조건 실험에서는 처리구 조성 시 하이드로겔 처리량을 최대 1%로 설정하였는데, 하이드로겔 1% 처리구에서 식물의 지상부 생체중이 통계적으로 유의미하게 가장 값이 큰 것으로 나타나 하이드로겔 1% 처리가 적절하다고 판단됨
- 결과적으로 1차년도 실내실험을 통해 하이드로겔 처리가 토양의 용적밀도와 수분함량을 개선하는 효과를 지닌 것을 확인하였고, 2차년도 현장실험에서 토양의 용적밀도 및 수분함량 개선이 토양 호흡과 일부 토양효소 활성과 같은 생물학적 특성에 긍정적 영향을 미쳤으며, 결과적으로 작물 생육이 개선되는 효과를 보였음

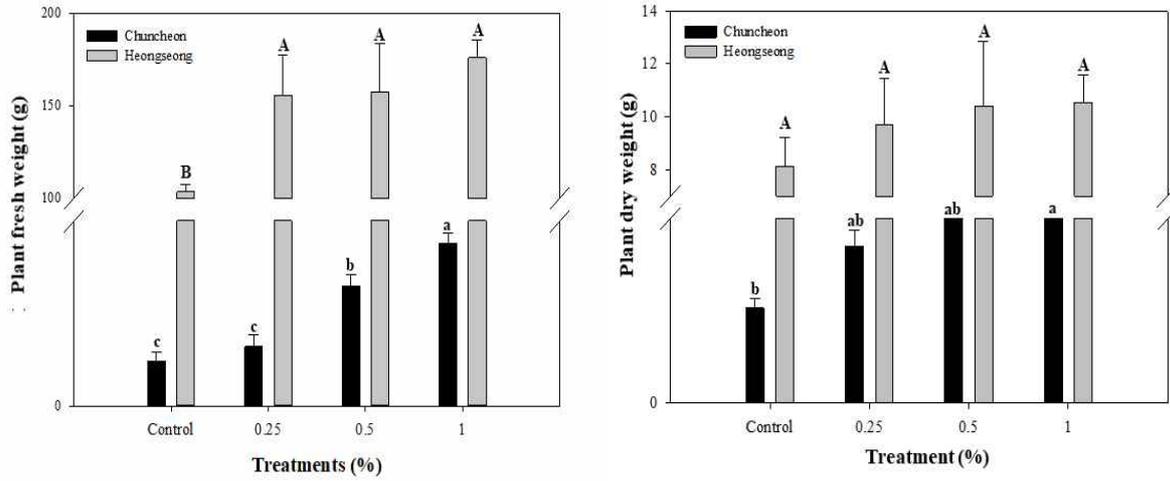


그림 224. 하이드로겔 처리에 따른 하반기 상추의 생체중 및 건물중(좌: 춘천, 우: 횡성)

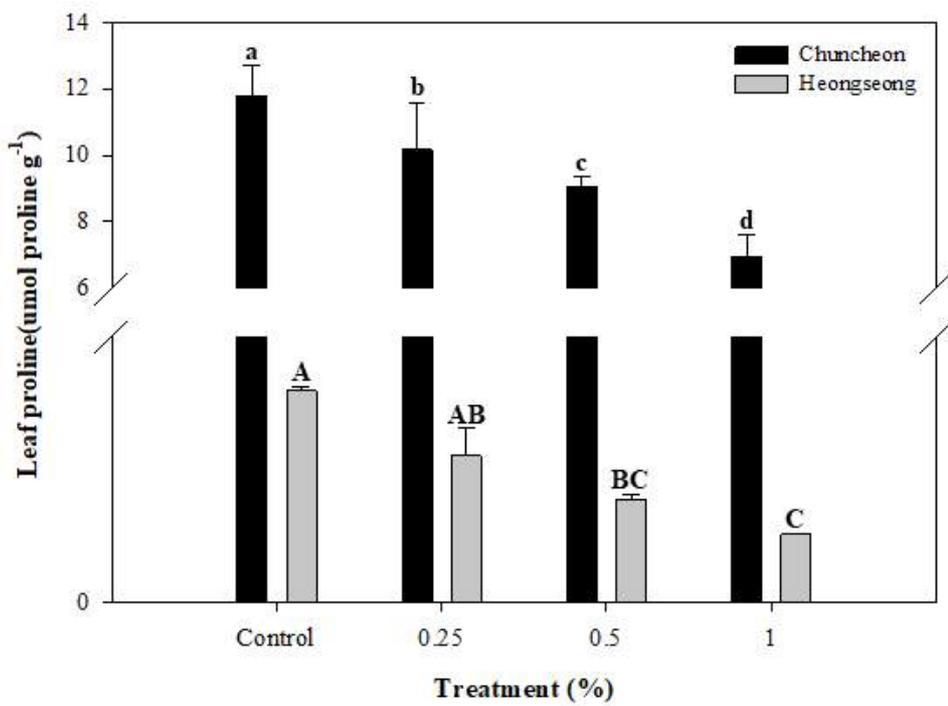


그림 225. 하이드로겔 처리 토양에서 재배한 하반기 상추의 L-proline 함량 변화

(3) 2단계 1차년도 수행 과정 및 수행 내용

가. [주관연구기관 _ (주)테라그린 _ 2단계 1차년도]

□ 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발

개발내용	구분	연구 개발 기간											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
입자형 하이드로겔 제조 및 상토, 부속유기질비료(퇴비) 혼합 고도화		→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	*
입자형 하이드로겔 자동화 제조 시스템 구축		→	→	→	→	→	→	*	*	*	*	*	*
입자형 하이드로겔(육묘용, 분화용, 토경용) 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
한국생산기술연구원의 반응기를 통해 분사형 하이드로겔 제조 테스트					→	→	→	→	→	→	→	→	→
분사형 하이드로겔 토양 적용 모의실험					→	→	→	→	→	→	→	→	→
토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
* → 로 진도표기													

○ 입자형 하이드로겔 제조 및 상토, 부속유기질비료(퇴비) 혼합 고도화

- 입자형 하이드로겔 제조는 작물 및 생육 단계, 재배 환경에 따라 필요한 토양개량제는 다를 수밖에 없음. 각각의 조건별 필요한 하이드로겔 또한 달라지므로 여러 가지의 조건을 충족할 수 있는 전문적인 제품이 필요함.
- 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 제조는 표에 나타난 비율로 최적화 제조 조건을 확립함.

표 39. 육묘, 분화, 토경용 하이드로겔 최적화 제조 조건

구분	팽윤도(g/g)	KA%(w/v)	DMAAm%(w/v)	Laponite%(w/v)
육묘용	300	3	7	3
분화용	200	2	8	3
토경용	100	0.3	9.7	3

- 입자형 하이드로겔(토경용)의 작물 재배농가 적용시험을 반복 수행하고 고도화하기 위해 2년차에 실시한 재배시험을 3년차에도 같은 장소에서 재현 시험함.
- 재배시험은 작물 재배시험 인증기관인 (주)신성미네랄에 의뢰하여 작성된 재배시험 결과 보고서(별도 첨부)에 의거하여 작성됨.

가) 시험장소: 경기도 평택시 죽백동 212

나) 식물재료 및 처리구

- 토양: 공인인증기관(에이티분석센터) 토양분석
- 식물재료: 고추 '칼라탄'
- 부숙유기질비료(퇴비): 입자형 하이드로겔을 적용하지 않은 시제품 부숙유기질비료(퇴비)
- 처리구: 무처리, 테라코템(TC) 2%, 토경용 하이드로겔(NH) 0.5%, 1%, 2%

다) 실험방법

- 재배토양에 무처리(부숙유기질비료), 테라코템(TC) 2%, 토경용 하이드로겔(NH) 0.5, 1, 2%가 혼합된 부숙유기질비료를 표층에 뿌려준 후 관리기를 이용하여 상층부와 식재층이 잘 섞이도록 경운하여 줌.
- 재배방법은 농촌진흥청 농업기술길잡이의 고추 재배 책자를 이용하여 처리간 동일하게 관리함. 관수는 하지 않았으며 자연적으로 내리는 강수량에 의존하여 재배함. 또한 EC-5 수분센서(Meter)를 이용하여 각각의 처리구에 꽂아 수분상태를 측정함.
- 식물체 조사: 정식 후 120일 후 조사항목별 수행
- 조사항목: 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 관부직경, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중, 토양 보수력 증진제 종류별 토양수분 변화, 식물체의 생육비교
- 지하부의 뿌리는 토양과 하이드로겔을 최대한 제거하여 건조기에서 65℃로 48시간 건조하여 건물중을 측정함.

라) 실험 결과

○ 재배 농가 토양 분석

표 40. 식물체 정식 전 분석

분석항목(단위)	시료구분				
	①	②	③	평균	
유기물(g/kg ⁻¹)	16.54	17.84	17.56	17.31	
N(%)	0.084	0.156	0.142	0.127	
유효P ₂ O ₅ (mg/kg)	275.62	284.51	256.12	272.08	
치환성K(cmol ⁺ /kg)	0.51	0.54	0.51	0.52	
치환성Ca(cmol ⁺ /kg)	4.63	3.54	4.25	4.14	
치환성Mg(cmol ⁺ /kg)	1.25	1.54	1.34	1.38	
치환성Na(cmol ⁺ /kg)	0.21	0.23	0.24	0.23	
양이온치환용량(cmol ⁺ /kg)	9.5	12.5	11.2	11.07	
pH[1:5]	7.15	7.12	7.21	7.16	
전기전도도[1:5] (dS/m)	1.52	1.62	1.34	1.49	
NaCl(%)	0.0021	0.0054	0.0035	0.0037	
토성 [美농무성법 분류]	모래(%)	66.43	64.84	63.28	64.85
	미사(%)	21.52	22.64	23.51	22.56
	점토(%)	12.05	12.52	13.21	12.59
	분류	사질양토	사질양토	사질양토	사질양토

- 재배지의 토양은 사질양토로 모래의 비중이 높고 점토의 함량이 낮아 보수력이 필요한 토양으로 사료됨. 또한 모래함량이 많은 토양이라 토양배수는 양호하나 유기물 또는 수분을 보유할 수 있는 능력이 매우 적어 식재 후 가뭄 등으로 인한 건조피해의 우려가 있는 토양임. 따라서 토양분석에 의거 흡토람 기준의 시비 처방을 하고, 입자형 하이드로겔 기반 토양개량제의 부숙유기질비료(퇴비) 제품화를 하기 위한 재배시험지로 적절하다고 판단됨.

○ 토양 보수력 증진제 종류별 토양수분 변화

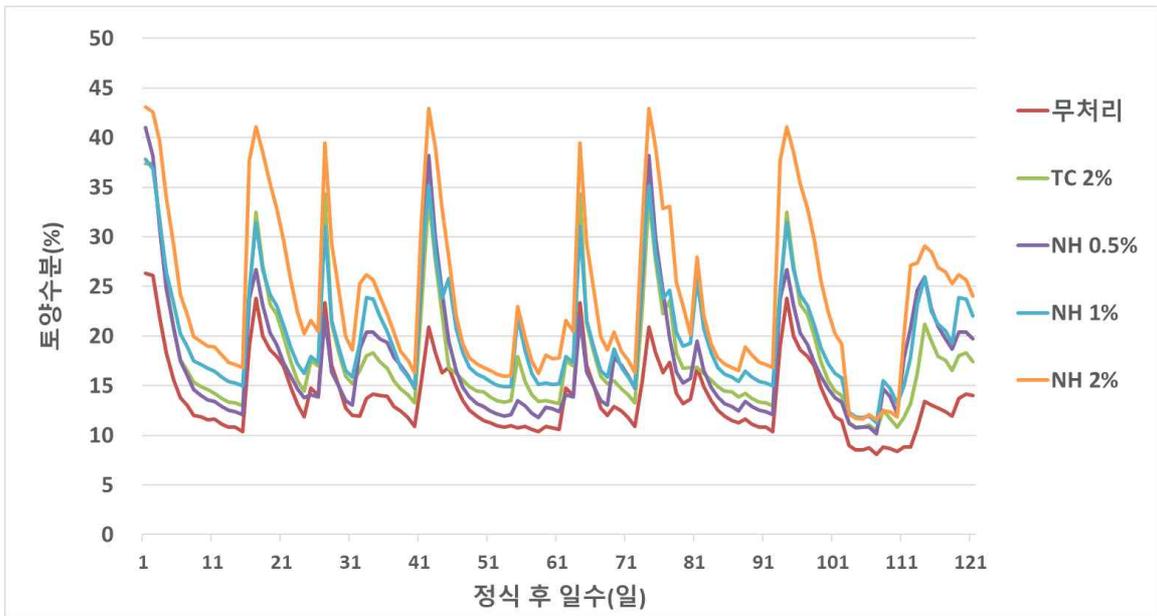


그림 226. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 '칼라탄' 수분함량의 변화

○ 토양 보수력 증진제 종류별 식물체의 생육 비교

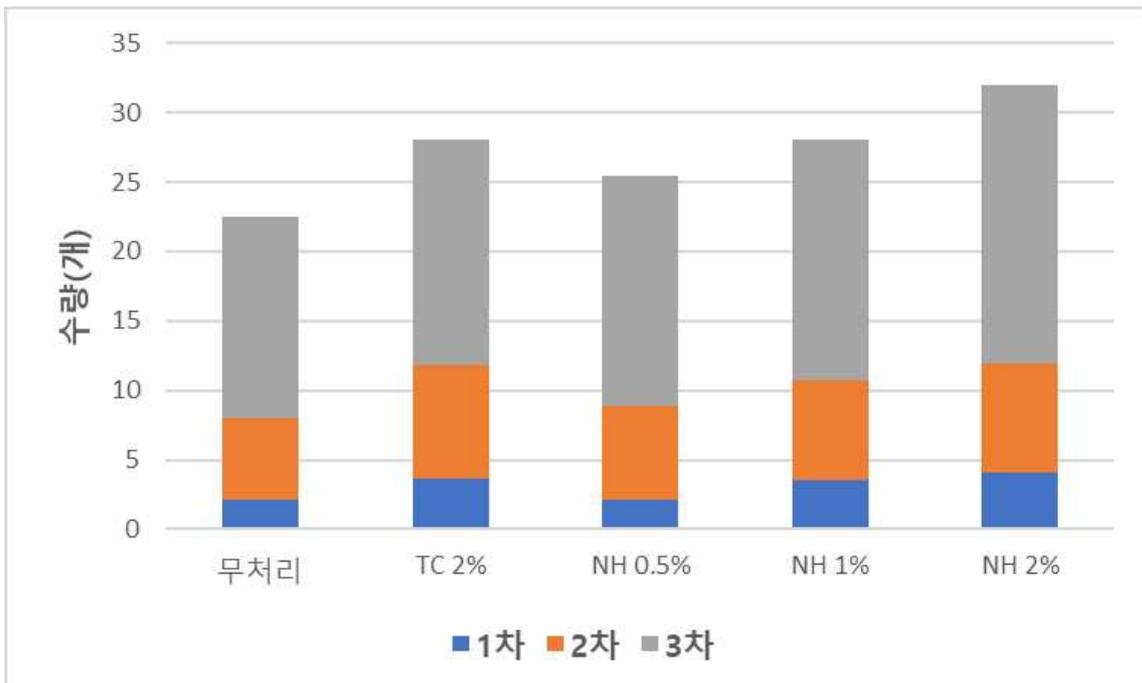


그림 227. 고추 '칼라탄' 재배 중 누적 과실 수량(적과)

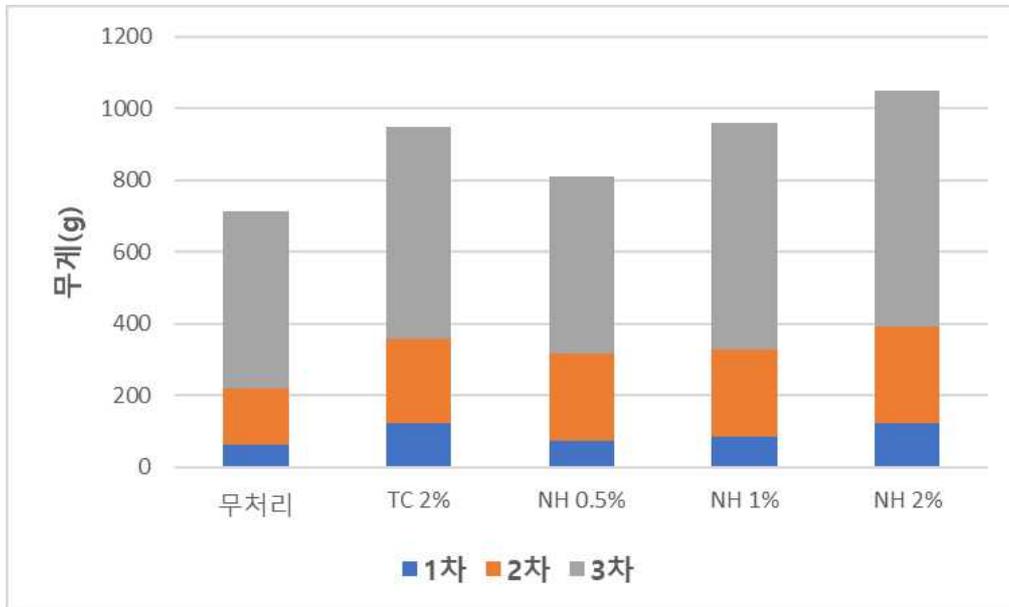


그림 228. 고추 ‘칼라탄’ 재배 중 누적 과실 무게(적과)

표 41. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 ‘칼라탄’ 정식 120일 후 생육

	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Stem diameter (mm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Cont.	106.3 b ^z	10.9 b	5.2 b	305.3 b	547.3 d	83.4 b	16.6 c	21.7 c	4.6 c
TC 2%	122.0 a	13.0 a	6.6 a	440.7 a	699.0 ab	109.5 a	18.9 ab	29.8 b	6.0 b
NH 0.5%	112.3 ab	11.1 b	5.3 b	316.7 b	604.3 c	88.6 b	16.7 c	29.0 b	5.9 b
NH 1%	121.0 a	12.2 ab	6.2 a	410.7 a	656.0 bc	98.6 ab	18.1 b	31.7 ab	6.2 b
NH 2%	121.3 a	12.5 ab	6.4 a	434.3 a	712.3 a	112.0 a	19.3 a	34.0 a	6.8 a

^zDuncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

○ 재배시험 사진



그림 229. 재배지 토양과 고추 ‘칼라탄’ 정식



그림 230. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 '칼라탄' 과실 무게(적과)

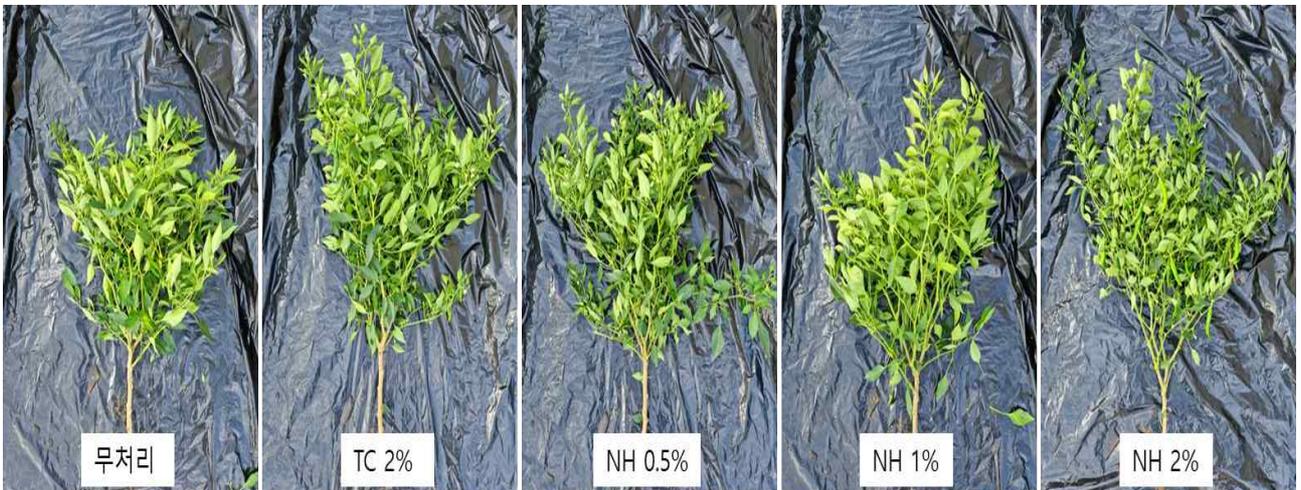


그림 231. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 '칼라탄' 지상부 생육

마) 재배실험 결과 요약

- 본 시험은 입자형 하이드로겔 농가 재배시험 연구에 대한 작물 재배시험으로 실제 농가 재배 토양에서 하이드로겔의 수분 보유력과 작물 생육 등을 검토하기 위하여 (주)테라그린과 (주)신성미네랄에서 공동으로 실시함.
- 작물 재배 기간동안 토양의 수분 변화를 관찰하기 위해 고추 재배 토양의 각 처리구에 토양 수분 센서를 설치한 결과 고추 '칼라탄'의 토양 수분은 작물 재배 기간동안 평균적으로 무처리 13.9%, NH 0.5% 처리구 17.6%, TC 2.0% 처리구 18.0%, NH 1.0% 처리구 20.0%, NH 2.0% 처리구 24.0% 순으로 나타남. 무처리에서 토양 수분 함량이 가장 적었고 NH 2.0% 처리구에서 무처리에 비해 약 10% 높은 수분 함량을 나타냄. 무처리보다 토양 보수력 증진제를 처리한 토양에서 수분 함량이 높게 유지되었으며 시판중인 테라코템과 비교하여 동일 비율 처리시 입자형 하이드로겔이 더 높은 효율을 보인 것이 확인됨.

- 작물 재배 기간동안 고추 ‘칼라탄’의 과실 조사를 3회 실시한 결과 고추 1주당 과실의 수량과 무게는 무처리, NH 0.5%, TC 2.0%, NH 1.0%, NH 2.0% 처리구 순으로 나타남. NH 2.0% 처리에서 고추 과실 수량과 무게는 32.0개 및 1050g으로 무처리의 22.5개 및 713g에 비해 약 47% 높게 나타남.
- 토양에 혼합된 보수력 증진제별 고추 ‘칼라탄’ 정식 120일 후 생육에서 NH 2.0% 처리구는 무처리보다 지상부 생체중 및 건물중은 각각 30% 및 34% 높았고, 지하부 생체중 및 건물중은 각각 57% 및 48% 높은 결과를 보임. 토양 보수력 증진제별 처리에서 NH 2.0%는 TC 2.0%에 비해 지상부 생체중 및 지하부 생체중은 각각 2% 및 14% 높게 나타남. 통계처리결과 5% 유의수준에서 NH 2% 처리구는 무처리에 비해 초장, 엽폭, 엽수, 관부직경, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중에서 유의성이 인정됨.
- 3년차 농가 실증시험 결과 토경용 하이드로겔(NH) 처리구의 수분 보유력은 무처리보다 평균적으로 약 7% 높았으며 시판제품인 테라코템과 동일한 양인 2%를 처리하였을 때 토양 수분이 약 6% 높게 유지되어 지상부의 생육 및 뿌리의 활력도 무처리에 비해 효과적으로 나타남. 재배기간 중 NH 처리구의 토양 수분함량은 NH 2% 처리구에서 가장 높게 유지됨으로써 다른 처리구에 비해 생육지표가 높게 나타났다고 판단됨.
- 2년차 및 3년차 농가 실증시험 결과를 종합 분석한 결과 토양 수분 함량은 NH 2.0%, NH 1.0%, TC 2.0%, NH 0.5%, 무처리 순으로 높게 나타났고 그에 따른 생육지표도 NH 2.0%, NH 1.0%, TC 2.0%, NH 0.5%, 무처리 순으로 나타나 재배 토양에 처리된 하이드로겔이 충분한 효과를 낸 것으로 판단됨. 토경용 하이드로겔은 국외 시판제품인 테라코템과 동일한 양을 처리하였을 때 테라코템보다 뛰어난 생육을 보여 과실의 수량과 무게가 높은 결과를 보여 토양 수분 함량 및 생육에서 가장 높은 지표를 나타낸 NH 2% 처리가 토경용 하이드로겔 부속유기질비료(퇴비) 혼합비로 선정하는 것이 적절하다고 판단됨.

○ 입자형 하이드로겔 자동화 제조 시스템 구축

- 입자형 하이드로겔의 제조는 각각의 재료를 혼합하여 반응시키는 1차공정과 반응후에 굳어진 합성물을 팽윤시켜 불순물을 제거하고 건조시켜 최종 생산물을 만들어내는 2차공정의 과정으로 이루어짐.
- 1차공정은 다양한 반응기와 화학약품을 취급하기에 용이한 한국생산기술연구원의 장비와 장소를 대여하여 1차 합성물을 생산하도록 협의가 이루어짐. 주관 연구팀은 2차 공정에 투입되는 인력과 시간을 최소화하고 자동화 라인을 구축하기 위한 장비 제작을 위해 특수장비 제작 업체인 (주)케이시스템에 의뢰하여 설계도를 제작하였고 2023년 6월에 2차 공정 자동화 장비를 설치함.



그림 232. 입자형 하이드로겔 2차 공정 자동화 장비(원형스크린건조기)

- 수많은 재현성 평가를 통해 확립된 1차 공정 제조 매뉴얼에 따라 한국생산기술연구원에서 1차 공정을 수행하여 2차 공정 자동화 장비의 테스트를 진행하였고 수정·보완을 통해 최종 매뉴얼을 작성함.



그림 233. 입자형 하이드로겔 2차 공정 자동화 장비 매뉴얼

- 자동화 장비에 하이드로겔 투입 후 시작 버튼을 누르면 잔류 monomer를 제거하기 위한 물이 급수되고 원형 스크린이 천천히 돌아가며 스웰링이 시작되고 12시간 후에 배수되어 잔류물을 제거함. 이 후 열풍건조기 온도 90℃에 24시간 가동되어 팽창되어 있는 하이드로겔을 건조시켜 무게 및 부피를 최소화하고 적당한 크기로 분쇄시켜 최종 생산물을 만들어 냄.

○ 입자형 하이드로겔(육묘용, 분화용, 토경용) 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비

- 입자형 하이드로겔 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비를 위해 다음의 선행 문제를 해결함.

(1) 다양한 물성을 가진 고흡수성수지를 개발하여 용도(육묘용, 분화용, 토경용)에 따라 선택할 수 있는 다기능 하이드로겔이 개발되어야 함. 국외 제품인 TerraCottem®보다 뛰어난 흡수능력을 가질 뿐 아니라 토양 내에서 건전한 이화학성을 구성할 수 있는 경쟁력 있는

농업용 고흡수성수지가 필요함.

- 공동 연구팀의 협업을 통해 육묘, 분화, 토경 등 용도에 따른 입자형 하이드로겔 제조 조건을 확립하고 주관기관에서 대량 생산 체계를 정립함으로써 다양한 기능을 갖춘 제품을 개발하여 농업 전반에 걸쳐 사용범위를 확대시킴. 2년에 걸친 농가 실증시험 데이터를 기준으로 입자형 하이드로겔은 국외 제품인 *TerraCottem*[®]보다 토양 수분 보유능력이 약 33% 높게 유지되었고 실제 농가 소득에서도 약 14% 이익을 더 얻을 수 있는 것으로 나타남.
- (2) 토양 내에 고흡수성수지가 첨가가 되면 토양의 기상, 액상과 같은 물리성을 변화시킬 뿐 아니라 무기 양분의 이동과 같은 화학성에도 영향을 끼치기 때문에 실제 채소, 화훼식물과 같은 원예 작물의 생육에 어떠한 영향을 끼치는지 구명하고 작물의 최적 생육을 보장할 수 있는 고흡수성수지의 처리 비율이 구명되어야 함.
 - 하이드로겔이 원예 작물의 생육에 미치는 영향을 분석하고 최적 처리 비율을 구명하기 위해 강원대학교에서 상추 재배 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화를 파악했고 배재대학교에서 육묘 생산을 위해 토마토를, 분화 생산을 위해 국화를 대상으로 생육 및 재배 특성을 분석함. 주관기관에서는 고추, 토마토를 대상으로 농가 실증시험을 실시하여 최적 처리 비율을 검증하고 실제 재배농가에서 발생할 수 있는 문제점을 분석함.
- (3) 소량의 고흡수성수지는 실험실 수준에서도 합성이 가능하지만 토양개량제로의 제품화를 위해서는 고흡수성수지의 대량생산 체계가 확립되어야 함. 공정의 최적화와 반응 환경 조건이 구명되어야 균일하면서도 고수율의 고흡수성수지 생산이 가능케 됨
 - (주)테라그린은 입자형 하이드로겔의 대량생산 체계를 확립하기 위해 1년차에 대량생산 공정을 반복적으로 테스트하고 장비 제작업체와 지속적인 협의를 통해 2차 공정 자동화 장비를 제작하기 위해 계획하였음. 그 결과 2년차에 대량생산 공정의 최적화와 반응 환경 조건을 구명하고 2차 공정 자동화 장비의 설계도를 작성하였음. 마지막 3년차에 2차 공정 자동화 장비인 원형스크린건조기를 설치하고 반복 재현 테스트를 통해 문제점을 수정 및 보완하여 입자형 하이드로겔 대량생산 체계를 확립함.
- (4) 새롭게 고흡수성수지가 개발되어도 토양개량제 회사가 보유하고 있는 축적된 제품 개발 능력과 안정적인 판매 경로가 마련되어 있지 않으면 사업화의 성과가 나타날 수 없음.
 - 본 연구팀은 (주)테라그린이 주관연구기관이 되어 기업이 주도적으로 연구팀을 이끌어 공동 연구팀의 연구 결과를 실제 제품에 반영하여 다기능 하이드로겔의 사업화를 위해 협업함. 또한 농림식품기술기획평가원이 관리하고 평가하는 농림식품 신기술 인증제인 NET에 신청하여 ‘토양 보수력 증진용 나노복합체 하이드로겔 제조기술’(인증번호: 52-169)로 3년간(2024~2026년)의 신기술 인증을 고시함. 하이드로겔 기술의 혁신성과 우수성을 신기술 인증으로 평가받음으로써 사업화를 위한 기반을 마련하였고 이후 사업화 자금지원, 신기술 적용제품의 우선구매 요청, 기술지도 및 국내외 품질인증의 연계지원제도 등 인증기술 지원혜택을 적극적으로 활용할 계획임.
- (5) 국내 사업화와 더불어 해외 수출을 위한 준비를 수행해야 제품 경쟁력이 확보됨.
 - (주)테라그린은 10년 이상 몽골 등의 급격한 사막화 지역에 수입제품인 *TerraCottem*[®]을 통하여 녹화 및 작물 재배가 가능함을 입증하였음. 본 과제에서 개발된 다기능 하이드로겔

은 TerraCottem®보다 뛰어난 성능지표를 보였고 다기능 하이드로겔은 대량생산 시스템 구축으로 인한 대량 공급이 가능하고 다양한 기능을 가진 제품 생산이 가능함. 또한 농촌 진흥청에서도 한국형(K)-농업기술 전파에 관한 연구가 이루어지고 있고, 열악한 농업기후 지대 국가와 개도국 대상 맞춤형 농업기술개발 및 보급, 첨단 농업기술 개발 선도 농업 등에 반드시 다기능 하이드로겔의 적용은 필요하고 현지 필수 농업 자재로 공급하고자 함.

○ 한국생산기술연구원의 반응기를 통해 분사형 하이드로겔 제조 테스트

- 분사형 하이드로겔은 기존의 입자형 하이드로겔을 이용한 토양개량제와 달리 액상형으로 분사하여 토양 내에 첨가할 수 있는 방식으로 간편하게 토양 내에 토양개량제를 첨가할 수 있음. 분사형 하이드로겔의 토양 보습제로의 적용은 토양 내에 이온성 Polymer가 수용액 상태로 첨가된 뒤에 증류수 첨가 과정을 통해 토양 내에서 Gel이 형성되는 원리를 바탕으로 함.
- 분사형 하이드로겔을 실제 토양에 사용할 경우 재배중인 작물에 즉시 적용할 수 있고 물리적으로 토양과 혼합하기 어려운 지역과 넓은 지역에서도 사용 가능함. 또한, 정해진 유량만 분사하여 사용하기 때문에 경제적 손실을 감축하는 장점이 있으나 분사형 하이드로겔이 토양의 표면에만 머물러있지 않고 토양 내부까지 침투하여 식물의 뿌리 부분까지 영향을 줄 수 있어야 함. 토양 표면에 물이 있는 상태에서는 하이드로겔이 토양 안으로 침투하기가 어려운 단점을 보완하기 위해 본 연구팀은 각각의 이온성 고분자에 물을 추가하여 공정을 개선함.
- 분사형 하이드로겔 제조: 분사형 하이드로겔은 양이온성 폴리머인 PMPTC와 음이온성 단량체인 NaSS를 광 가교 과정을 통해 이온 복합 하이드로겔을 제조하며 두 이온성 Polymer 수용액을 따로 준비하여 증류수에 교반과 함께 첨가 후, Self-assembly 과정을 통해 이온결합으로 구성된 이온 복합 하이드로겔을 제조하는 방법으로 진행함. 양이온 고분자(PMPTC)와 음이온 고분자(PNaSS)의 비율인 전하비율에 따라 팽윤 특성이 달라지므로 다음과 같이 두 고분자의 무게비율에 따라서 제조함.

표 42. 양이온 고분자(PMPTC)와 음이온 고분자(PNaSS) 함량 비율

구분	P1	P2	P3	P4	P5
양이온 고분자	0.28	0.24	0.20	0.16	0.12
음이온 고분자	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28



그림 234. 분사형 하이드로겔 제조 시험(한국생산기술연구원)

○ 분사형 하이드로겔 토양 적용 모의실험

가) 시험장소: 충남대학교 농업생명과학대학 유리온실

나) 식물재료 및 처리구

- 토양: 사질양토(모래 65%, 미사 23%, 점토 12%)
- 식물재료: 토마토 ‘슈퍼도태랑’
- 포트: 내경 17.5cm, 높이 21.5cm를 사용
- 처리구: 무처리(Cont.), 테라코템(TC) 2%, 분사형 하이드로겔(SH) 0.05%, 0.1%, 0.2%

다) 실험방법

- 수분평형된 토양에 TC 2%, SH 0.05%, 0.1%, 0.2%를 각각 첨가하여 고루 혼합한 후 대조구와 함께 3시간 포화한 뒤 식물체 정식
- 온실 내에 두고 주기적으로 관수하였으며 EC-5 수분센서(Meter)를 이용하여 TC, SH 및 대조구(Cont.)가 첨가된 토양에 꽃아 수분상태를 측정함
- 식물체 조사: 정식 후 4주째 조사항목별 수행
- 조사항목: 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 관부직경, 지상부 및 지하부 생체중 및 건물중

라) 실험 결과

표 43. 토양에 혼합된 보습제별 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 정식 4주 후 생육

	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	No. of leaves	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Stem diameter (mm)	Root fresh weight (g)	Root dry weight (g)
Cont.	65.2 c ²	5.8 b	3.6 bc	32.3 c	93.7 c	11.5 c	8.5 a	53.5 c	5.8 c
TC 2%	67.5 bc	6.2 a	3.9 ab	35.8 b	115.4 b	13.9 b	8.6 a	70.4 b	7.1 b
SH 0.05%	65.7 c	5.7 b	3.5 bc	33.2 c	93.8 c	11.5 c	8.6 a	54.1 c	5.9 c
SH 0.1%	71.7 b	5.8 b	3.8 b	39.7 a	121.2 a	14.8 a	8.7 a	76.7 ab	7.4 ab
SH 0.2%	74.5 a	6.3 a	4.1 a	40.1 a	125.1 a	15.1 a	8.9 a	82.5 a	8.3 a

²Duncan’s multiple range test at P≤0.05.

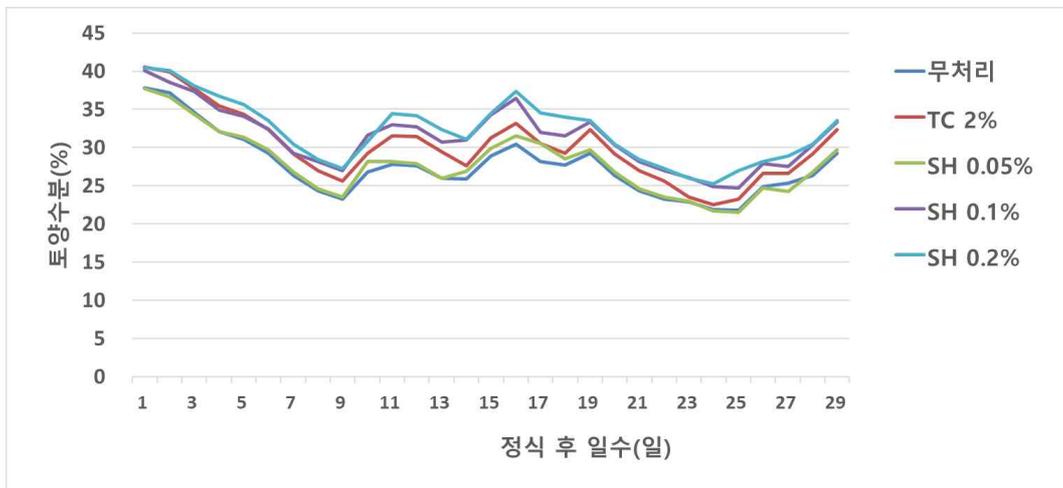


그림 235. 토양에 혼합된 보수력 증진제별 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 수분함량의 변화

마) 재배시험 결과 요약

- 본 시험은 분사형 하이드로겔 토양 적용 재배시험으로 실제 농가 재배 토양을 이용하여 하이드로겔의 수분 보유력과 작물 생육 등을 검토하기 위하여 충남대학교 유리온실에서 수행함.
- 작물 재배 기간동안 토양의 수분 변화를 관찰하기 위해 각 처리구에 토양 수분 센서를 설치한 결과 평균적으로 무처리 27.6%, SH 0.05% 처리구 28.0%, TC 2.0% 처리구 30.1%, SH 0.1% 처리구 31.3%, SH 0.2% 처리구 32.2% 순으로 나타남. 무처리에서 토양 수분 함량이 가장 적었고 SH 0.2% 처리구에서 무처리에 비해 약 5% 높은 수분 함량을 나타냄. 무처리보다 토양 보수력 증진제를 처리한 토양에서 수분 함량이 높게 유지되었으며 시판중인 테라코템과 비교하여 분사형 하이드로겔 0.1% 및 0.2% 처리에서 수분함량이 높게 유지됨.
- 토양에 혼합된 보수력 증진제별 토마토 ‘슈퍼도태랑’ 정식 30일 후 생육에서 SH 0.2% 처리구는 무처리보다 지상부 생체중 및 건물중은 각각 34% 및 31% 높았고, 지하부 생체중 및 건물중은 각각 54% 및 43% 높은 결과를 보임. 토양 보수력 증진제별 처리에서 SH 0.2%는 TC 2.0%에 비해 지상부 생체중 및 지하부 생체중은 각각 8% 및 17% 높게 나타남. 통계처리결과 5% 유의수준에서 SH 0.2% 처리구는 무처리에 비해 초장, 엽폭, 엽수, 지상부 및 지하부 생체중, 건물중에서 유의성이 인정됨.
- 분사형 하이드로겔 토양 적용 재배시험 결과 분사형 하이드로겔(SH) 0.2% 처리구의 수분 보유력은 무처리보다 평균적으로 약 5% 높았으며 시판제품인 테라코템과 비교했을 때 토양 수분이 약 2% 높게 유지되어 지상부 및 지하부 생육이 무처리 및 테라코템에 비해 효과적으로 나타남. 재배기간 중 SH 처리구의 토양 수분함량은 SH 0.2% 처리구에서 가장 높게 유지됨으로써 다른 처리구에 비해 생육지표가 높게 나타났다고 판단됨.

○ 토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진

- 토양개량제(상토, 부숙유기질비료) 등록을 위한 비료 공정 규격 검사를 위해 비료시험 인증기관인 (주)신성미네랄에는 원타임 원예용상토(가칭)를, (주)판코리아에는 원타임 파워(가칭)를 각각 접수함.
- 다음의 내용은 (주)신성미네랄, (주)판코리아에 의뢰하여 작성된 재배시험 결과 보고서(별도 첨부)에 의거하여 작성됨.

상토 육묘 시험 결과보고서

시험 물질명 : 상토 2호 초경량

작물명 : 엽채류(배추)

조미채소(고추)

2023. 09. 25

시험기간 : 2023. 08. 28 ~ 2023. 09. 19

시험의뢰 회사명 : (주)테라그린

시험기관 : ㈜신성미네랄 기술연구소 (직인)



(㈜신성미네랄 농촌진흥청 비료시험연구기관 제 65호(재배시험))

주소 : 충북 괴산군 청안면 조천로2길34, 전화 : 043-836-9630, FAX : 043-836-9653

시험 제목: (주)테라그린 원예용상토 육묘실험 연구

시험 번호 : 2023 - 08

시험 일정 : 2023. 08. 29 ~ 2023. 09. 13

시험 구분 : 육묘 시험

시험 목적 : 비료생산업 등록신청용

시험 장소 : ㈜신성미네랄 기술연구소

시험담당자 : 윤 상 기

1. 시험 목적 : 본 시험은 상토2호 초경량의 엽채류(배추), 조미채소(고추) 육묘시험에 따른 생육을 검증하여 비료생산업 등록을 위한 자료로 활용하고자 함.

2. 시험 일정

2-1. 엽채류(배추)

가. 시험 접수일 : 2023. 08. 25

나. 시험 개시일 : 2023. 08. 28

다. 시험 종료일 : 2023. 09. 13

2-2. 조미채소(고추)

가. 시험 접수일 : 2023. 08. 25

나. 시험 개시일 : 2023. 08. 25

다. 시험 종료일 : 2023. 09. 19

3. 재료 및 방법

가. 시험 기관

(1) ㈜신성미네랄 기술연구소(농촌진흥청 비료시험 연구기관 제 65호(재배시험))

(2) 명인분석센터(농촌진흥청 비료시험 연구기관 제 78호(이화학, 미생물))

나. 시험 재료 : 원예용상토 2종

(1) 대조구 : 원예용 K-media (코코피트55 : 피트모스 15 : 펄라이트15 : 질석 15)

(2) 시험구 : 상토2호 초경량

다. 시험 작물 : 엽채류(배추), 조미채소(고추)

사. 시험물질의 원료 및 배합비

단위 : %

코코피트	피트모스	질석	펄라이트	제오라이트	비료	습윤제
51.6	10	13	15	10	0.2	0.2

라. 시험 규모 및 처리내용

엽채류(배추)

- (1) 육묘시험구 : 2 처리구 임의배치법 3 반복
- (2) 육묘상자 규격 : 128구 트레이 (270x270x50mm)
- (3) 처리내용 : 대조구 - 원예용 K-media 3판 (상토 4L + 128립 / 트레이)
시험구 - 상토2호 초경량 3판 (상토 4L + 128립 / 트레이)

조미채소(고추)

- (1) 육묘시험구 : 2 처리구 임의배치법 3 반복
- (2) 육묘상자 규격 : 72구 트레이 (270x270x50mm)
- (3) 처리내용 : 대조구 - 원예용 K-media 3판 (상토 4L + 72립 / 트레이)
시험구 - 상토2호 초경량 3판 (상토 4L + 72립 / 트레이)

마. 시험 일정

엽채류(배추) : 2023. 08. 28 ~ 2023. 09. 13

- (1) 23. 08. 28 : 파종
- (2) 23. 09. 05 : 1차 비해조사
- (3) 23. 09. 08 : 2차 비해조사, 1차 생육조사
- (4) 23. 09. 13 : 3차 비해조사, 2차 생육조사

조미채소(고추) : 2023. 08. 25 ~ 2023. 09. 19

- (1) 23. 08. 25 : 고추종자 발아처리(36℃)
- (2) 23. 08. 28 : 가식
- (3) 23. 09. 05 : 1차 비해조사
- (4) 23. 09. 12 : 2차 비해조사, 1차 생육조사
- (5) 23. 09. 19 : 3차 비해조사, 2차 생육조사

바. 재배조건 및 생육조사

엽채류(배추)

- (1) 재배장소 : 신성미네랄 기술연구소 내 재배하우스
- (2) 재배 온도 조건 : 낮에는 30℃ 밤에는 20℃를 유지함
- (3) 생육조사 항목 : 엽수, 엽장, 엽폭, SPAD, 건체중(지상부, 지하부)
- (4) 생육조사 일정 : 파종 후 10, 15일 생육조사

조미채소(고추)

- (1) 재배장소 : 신성미네랄 기술연구소 내 재배하우스
- (2) 재배 온도 조건 : 낮에는 30℃ 밤에는 20℃를 유지함
- (3) 생육조사 항목 : 엽수, 전장, 엽장, 엽폭, 경직경, 건체중(지상부, 지하부)
- (4) 생육조사 일정 : 가식 후 12, 20일 생육조사

4. 시험 결과

가. 상토의 이화학적 특성

구분	pH	EC	암모니아태질소	질산태질소	용적밀도
		dS/m	mg/kg		Mg/m ³
대 조 구	5.82	0.43	100.65	142.07	0.23
시 험 구	6.35	0.53	105.91	166.43	0.27
공정규격	4.0~7.0	1.2 이하	암모니아태질소와 질산태질소의 합계량 : 500 이하		0.3 미만

나. 상토의 유해성분

(건물중)

구분	As	Cd	Hg	Pb	Cr ⁶⁺	Cu	Ni	Zn
	mg/kg							
대 조 구	불검출	불검출	불검출	3.95	불검출	10.96	8.81	0.75
시 험 구	0.63	불검출	불검출	0.73	불검출	9.83	8.03	불검출
공정규격(이하)	25	4	4	200	5	150	100	300

* 불검출 : 정량한계 이하

다. 상토의 병원성 미생물

구분	리스테리아 모노사이토제네스
대 조 구	불검출
시 험 구	불검출
공정규격	불검출

라. 육묘 시험 사진 및 생육조사 : 엽채류(배추)

<p>(1) 생육 1일 차 사진</p> 	<p>(2) 생육 5일 차 사진</p> 
<p>(3) 생육 10일 차 사진</p> 	<p>(4) 생육 15일 차 사진</p> 

(5) 생육 비교 : 엽채류(배추)

생육 10일 차

측 면



대조구

시험구

상 면



대조구

시험구

생육 15일 차

측 면



대조구

시험구

상 면



대조구

시험구

(6) 생육 10 일차 생육조사 결과 : 엽채류(배추)

구 분	엽수		엽장		엽폭		엽록소		건 물 중			
	ea	지수	cm	지수	cm	지수	SPAD	지수	지상부		지하부	
									g/ea	지수	g/ea	지수
대조구	4.22 ^a	100	4.98 ^a	100	2.82 ^a	100	24.28 ^a	100	0.65 ^a	100	0.12 ^a	100
시험구	4.04 ^a	96	4.96 ^a	99	2.88 ^a	102	26.26 ^a	108	0.63 ^a	97	0.13 ^a	108

* 던컨 신다중 검정 5% 수준

(7) 생육 15 일차 생육조사 결과 : 엽채류(배추)

구 분	엽수		엽장		엽폭		엽록소		건 물 중			
	ea	지수	cm	지수	cm	지수	SPAD	지수	지상부		지하부	
									g/ea	지수	g/ea	지수
대조구	5.60 ^a	100	5.52 ^b	100	3.39 ^a	100	22.96 ^b	100	1.12 ^a	100	0.36 ^a	100
시험구	5.93 ^a	106	5.99 ^a	108	3.77 ^a	112	25.14 ^a	109	1.20 ^a	107	0.32 ^a	89

* 던컨 신다중 검정 5% 수준

(8) 비해 조사 : 엽채류(배추)

작물명	시험물질명	비해(0~4)			비해증상
		5일차	10일차	15일차	
엽채류 (배추)	대조구	0	0	0	없음
	시험구	0	0	0	없음

마. 육묘 시험 사진 및 생육조사 : 조미채소(고추)

<p>(1) 생육 0일 차 사진</p> 	<p>(2) 생육 5일 차 사진</p> 
<p>(3) 생육 12일 차 사진</p> 	<p>(4) 생육 20일 차 사진</p> 

(5) 생육 비교 : 조미채소(고추)

생육 12일 차

측 면



대조구

시험구

상 면



대조구

시험구

생육 20일 차

측 면



대조구

시험구

상 면



대조구

시험구

(6) 생육 12 일차 생육조사 결과 : 조미채소(고추)

구 분	엽수		전장		엽장		엽폭	
	ea	지수	cm	지수	cm	지수	cm	지수
대조구	4.29 ^a	100	9.67 ^a	100	4.28 ^a	100	2.14 ^a	100
시험구	4.18 ^a	97	9.42 ^a	97	4.14 ^a	97	2.15 ^a	100

구 분	경직경		건 물 중			
	mm	지수	지상부		지하부	
			g/ea	지수	g/ea	지수
대조구	1.69 ^a	100	0.54 ^a	100	0.11 ^a	100
시험구	1.57 ^b	93	0.53 ^a	98	0.12 ^a	109

* 던컨 신다중 검정 5% 수준

(7) 생육 20 일차 생육조사 결과 : 조미채소(고추)

구 분	엽수		전장		엽장		엽폭	
	ea	지수	cm	지수	cm	지수	cm	지수
대조구	6.66 ^a	100	17.89 ^a	100	5.87 ^a	100	2.94 ^a	100
시험구	7.30 ^a	110	18.92 ^a	105	6.20 ^a	105	3.40 ^a	115

구 분	경직경		건 물 중			
	mm	지수	지상부		지하부	
			g/ea	지수	g/ea	지수
대조구	2.48 ^a	100	1.14 ^a	100	0.40 ^a	100
시험구	2.58 ^a	104	1.88 ^a	165	0.38 ^a	95

* 던컨 신다중 검정 5% 수준

(8) 비해 조사 : 조미채소(고추)

작물명	시험물질명	비해(0~4)			비해증상
		5일차	12일차	20일차	
조미채소 (고추)	대조구	0	0	0	없음
	시험구	0	0	0	없음

5. 결과요약

5-1. 엽채류(배추)

가. 본 시험은 엽채류(배추)에 대한 상토2호 초경량의 육묘시험으로 상토의 생육효과와 피해 등을 검토하기 위해 실시하였다.

나. 상토의 이화학적 특성은 비료 공정규격에 적합하였고, 상토의 유해성분 8종은 모든 항목에서 기준치 이하로 검출되었으며, 상토의 병원성 미생물도 검출되지 않았다.

다. 시험구(상토2호 초경량)의 10일째 생육조사결과 대조구와 지상부 생육은 비슷하였고, 식물체 건물중 조사결과 대조구 보다 지하부가 8% 정도 증가하였다.

던컨 신다중 검정 결과 5% 유의수준에서 모든 항목의 유의성이 인정되지 않았다.

라. 시험구(상토2호 초경량)의 15일째 생육조사결과 대조구에 비해 엽장은 8%, 엽폭은 10%, 엽록소는 10% 정도 증가하였고, 식물체 건물중 조사결과 대조구 보다 지상부가 7% 정도 증가하고, 지하부가 10% 정도 감소하였다.

던컨 신다중 검정 결과 5% 유의수준에서 엽장과 엽록소의 유의성이 인정되었다.

5-2. 조미채소(고추)

가. 본 시험은 조미채소(고추)에 대한 상토2호 초경량의 육묘시험으로 상토의 생육효과와 피해 등을 검토하기 위해 실시하였다.

나. 시험구(상토2호 초경량)의 고추 12일째 생육조사결과 대조구와 지상부 생육은 비슷하였고 식물체 건물중 조사결과 대조구 보다 지하부 건물중이 10% 정도 증가하였다.

던컨 신다중 검정 결과 5% 유의수준에서 경직경의 유의성이 인정되었다.

다. 시험구(상토2호 초경량)의 20일째 생육조사결과 대조구보다 지상부 생육이 양호하였고, 식물체 건물중 조사결과 대조구 보다 지상부가 60% 정도 증가하였다.

던컨 신다중 검정 결과 5% 유의수준에서 모든 항목의 유의성이 인정되지 않았다

6. 소견

본 시험 결과 (주)테라그린의 상토2호 초경량 상토는 공정규격에 적합하였고, 유해성분이 검출되지 않았다. 육묘기간 동안 비해 증상이 전혀 나타나지 않았으며, 상토로 인한 잡초의 비해가 발견되지 않았다.

엽채류(배추)의 육묘 기간동안 초기 생육이 양호하였고, 후기 생육은 지상부 생육이 양호하였다.

조미채소(고추)의 육묘 기간동안 초기생육은 대조구와 비슷하였고, 후기 지상부 생육은 대조구보다 양호하였다. 전반적인 시험결과 (주)테라그린의 상토2호 초경량은 비료관리법상의 상토2호 초경량 기준에 적합하다고 확인되었다.

7. 기초자료

본 재배시험 보고서는 위의 기준에 따라 작성됨.

농촌진흥청 고시 제2016-10호(2016.03.07.) 비료 시험연구기관 지정 및 관리기준

농촌진흥청 고시 제2022-29호(2022.09.30.) 비료의 품질검사방법 및 시료채취 기준

농촌진흥청(2012. 12.) 농업 과학기술 연구조사 분석기준

시험담당자	2023년 9월 25일	성 명	윤 상 기 (서명)
시험책임자	2023년 9월 25일	성 명	심 창 용 (서명)

(주)신성미네랄 기술연구소

※ 위 결과는 **위탁자가 임의로 제출한 시료에** 대한 시험 결과이며, 의뢰용도 이외의 상업적인 광고 및 법적인 해결 수단으로 사용할 수 없고, **관공서 제출용** 으로만 사용이 가능합니다.



명인분석센터(주)

농촌진흥청 비료시험연구기관 제 78호 (이화학, 미생물)

국립농산물관질관리원 유기농업자재 시험연구기관 제 50호 (이화학, 미생물)

시험 성적서

시험의뢰자		시험물질	
상 호	(주) 테라그린	시 료 명	상토2호 초경량
사업자번호	107-86-29184	용 도	비료생산업등록용
주 소	경기도 평택시 청북읍 청오로 357-52	접 수 일 자	2023-09-01
		접 수 번 호	23-09-N003

※시험(분석) 결과:

분석항목(단위)		공정규격	분석결과
밀도의 기준(Mg/m ³)		0.3미만	0.27
유해성분	비 소(mg/kg)	25이하	0.63
	카드뮴(mg/kg)	4이하	불검출
	수 은(mg/kg)	4이하	불검출
	납 (mg/kg)	200이하	0.73
	크롬(6가)(mg/kg)	5이하	불검출
	구 리(mg/kg)	150이하	9.83
	니 켈(mg/kg)	100이하	8.03
	아 연(mg/kg)	300이하	불검출
	리스테리아 모노사이토제네스	불검출	불검출
그 밖의 규격	pH	4.0 ~ 7.0	6.35
	EC(dS/m)	1.2이하	0.53
	암모니아태질소(mg/kg)	합계량 500mg/kg이하	105.91
	질산태질소(mg/kg)		166.43
수 분(%)	-	49.98	

시험책임자:

2023년 9월 12일

명인분석센터 주식회사

경기도 부천시 석천로 397, 102동 1203호
Tel: 032-624-3545, Fax: 032-624-3546



※이 성적서는 의뢰자가 제출한 시료를 분석한 것으로, 상기 용도 외의 목적(법적, 상업적 등)으로 사용할 수 없습니다.

[관리번호] 제2023 - 7011호

비료피해 시험 결과 보고서

시험물질 : 원타임 파워

2023. 11. 6

위탁기관 : (주)테라그린 대표자 전 호 연

시험기관 : (주)판코리아 농업환경과학연구소 (직인)

제 출 문

시험제목 : 원타임 파워 비료피해 시험

◎ 국립농산물품질관리원 고시 제2020-20호(2020.12.8.) 유기농업자재 공시기준 제8조 검사 및 시험방법 등 별표 5, 별표 1 중 식물에 대한 시험성적서

본 보고서의 시험과정은 위의 기준에 따라 실시되었고, 시험결과는 모든 시험 기초자료를 토대로 작성 되었다.

시험책임자 : 한 기 필 (서명또는인)

시험담당자 : 홍 주 화 (서명또는인)

연 락 처 : 042-824-6734

1. 시험목적 : 원타임 파워 처리에 따른 작물 생육에 미치는 비료피해 발생 여부를 검증하고자 한다.
2. 계약기간 : 2023. 8. 28 ~ 2023. 10. 27
3. 시험장소 : 대전광역시 유성구 대학로 99
충남대학교 농업생명과학대학 부설 농장 유리온실
4. 재료 및 방법
 - 가. 시험물질 : 원타임 파워
 - 나. 시험작물 : 배추(가을맛배추, 팜한농) 상추(열풍, 권농종묘), 오이(조은백다다기, 흥농씨앗), 고추(녹광, 흥농씨앗), 콩(대풍)
 - 다. 시험규모
 - (1) 포트규격 : 직경 100mm, 높이 89mm
 - (2) 완전임의배치법 3반복, 반복 당 5포트, 포트 당 1주 이상으로 실시하였다.

라. 시험 전 토양의 특성

Texture	pH	EC	T-N	O.M	Ava.-P ₂ O ₅	Ex.-cations (cmol _e /kg)				CEC
	(1:5)	dS/m	%	%	mg/kg	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	cmol _e /kg
사양토	5.58	1.24	0.20	2.47	258	5.53	1.67	0.56	0.25	9.25

마. 처리내용

- (1) 무처리구 : 무처리
- (2) 기준량구 : 원타임 파워 기준량시비
- (3) 2 배량구 : 원타임 파워 2 배량시비

바. 시용량

처 리 구	원타임 파워 처리량(kg/10a)
무 처 리 구	-
기 준 량 구	2,000
2 배 량 구	4,000

사. 경종개요

- (1) 재배양식 : 유리온실
- (2) 정식날짜 : 2023년 9월 13일
- (3) 시비방법 : 배추, 상추, 오이, 고추 및 콩을 정식하기 전에 기비로 시험물질 원타임 파워를 각 처리구에 설정된 양만큼 처리하고 토양과 잘 혼합하였다.
- (4) 생육조사 : 작물 정식 후 21일째 초장과 엽수를 조사하였다.
- (5) 비료피해조사 : 배추, 상추, 오이, 고추 및 콩은 정식 후 7일(9월 20일), 14일(9월 27일), 21일(10월 4일)에 걸쳐 외관상 피해 유무를 3회 조사하였고, 사진촬영을 실시하였다.
- (6) 비료피해조사 기준
 - 0 : 육안으로 비료피해(肥害)가 인정되지 않음
 - 1 : 아주 가벼운 비료피해(肥害)로서 작은 약반이 약간 인정됨
 - 2 : 처리된 잎의 소부분에서 비료피해(肥害)가 인정됨

3 : 처리된 잎의 50퍼센트 정도 비료피해(肥害)가 인정

4 : 상당한 피해를 받고 있으나 아직 건전한 부분이 남아 있음

(7) 제품 및 시비방법 사진



5. 시험 결과

가. 작물별 생육 조사 결과

작물	처리구	초장 (cm)	엽수 (ea)
배추	무처리구	7.1	6.1
	기준량구	7.9	6.3
	2배량구	9.0	6.6
상추	무처리구	7.9	4.5
	기준량구	9.0	4.7
	2배량구	10.0	4.8
오이	무처리구	10.8	3.4
	기준량구	12.2	4.0
	2배량구	12.9	4.3
고추	무처리구	7.8	6.0
	기준량구	8.9	6.5
	2배량구	9.8	7.2
콩	무처리구	14.3	6.2
	기준량구	15.9	8.0
	2배량구	17.4	8.6

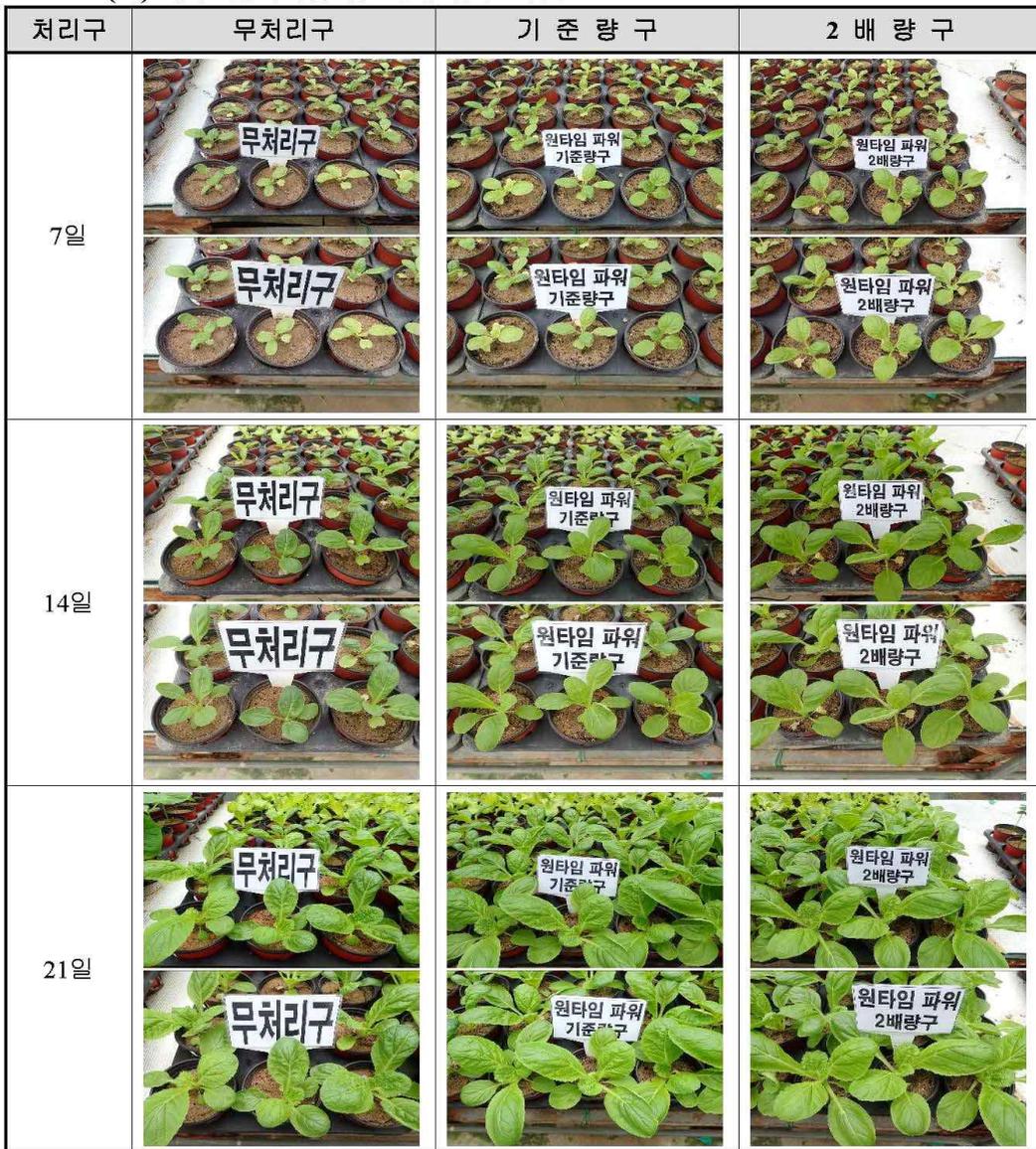
나. 작물별 생육과정 중 사진

(1) 배추

(가) 배추 생육과정 중 전경 사진



(나) 배추 생육과정 중 비배 유무 사진

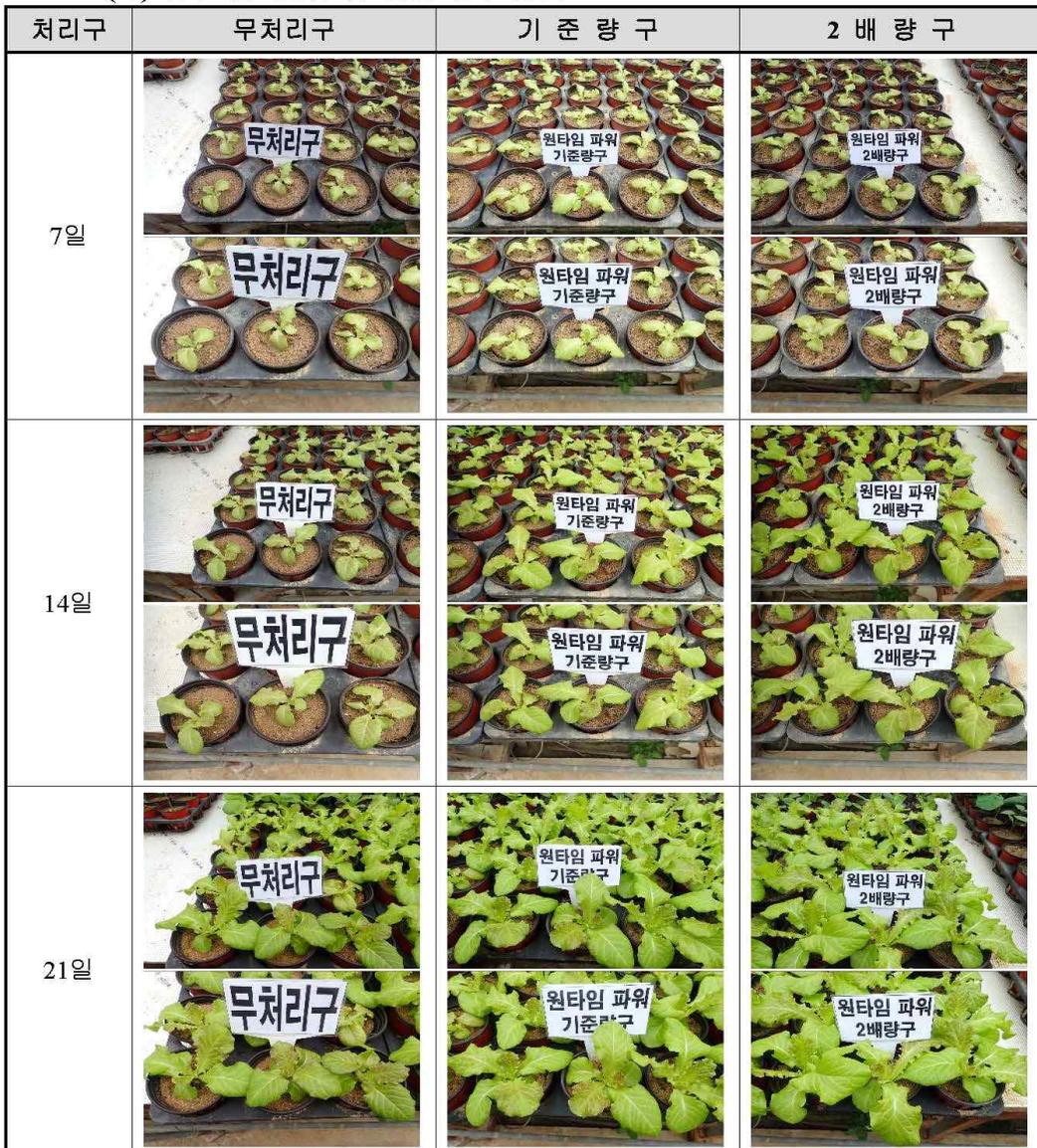


(2) 상추

(가) 상추 생육과정 중 전경 사진

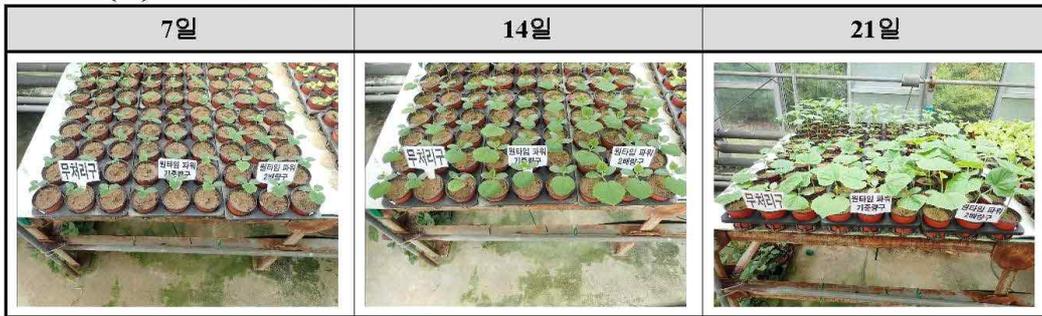


(나) 상추 생육과정 중 비해 유무 사진

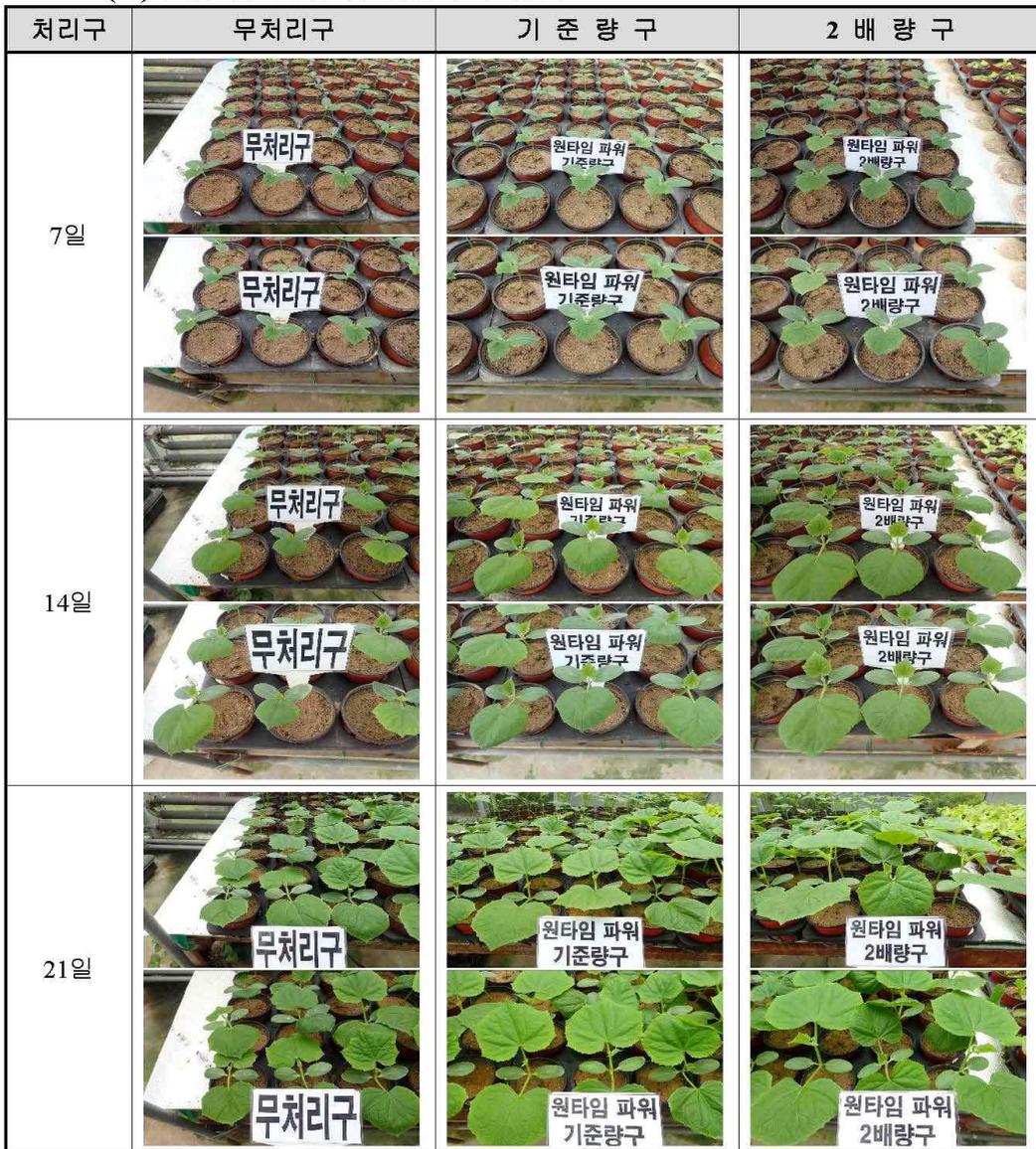


(3) 오이

(가) 오이 생육과정 중 전경 사진



(나) 오이 생육과정 중 비해 유무 사진

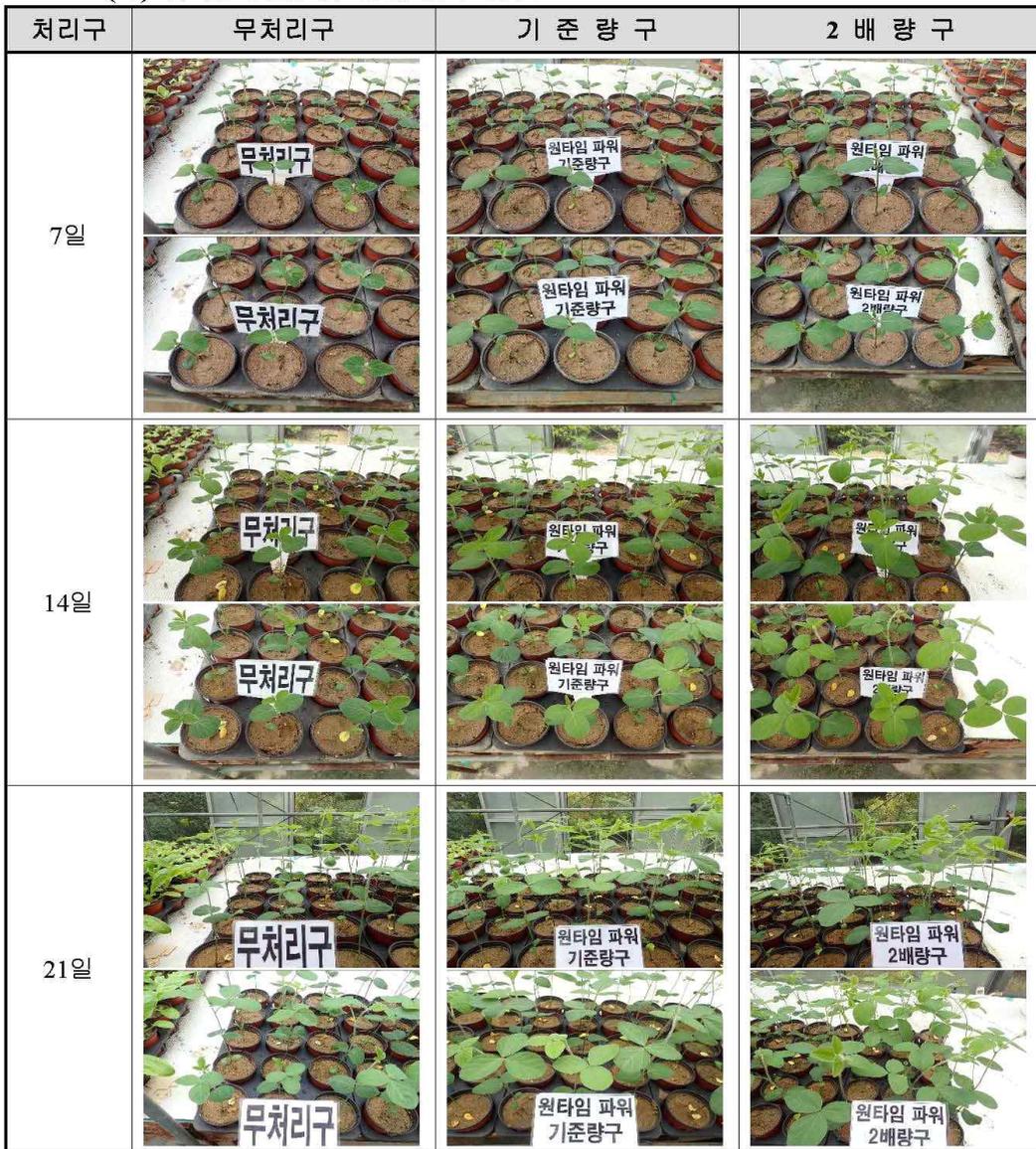


(5) 콩

(가) 콩 생육과정 중 전경 사진



(나) 콩 생육과정 중 비해 유무 사진

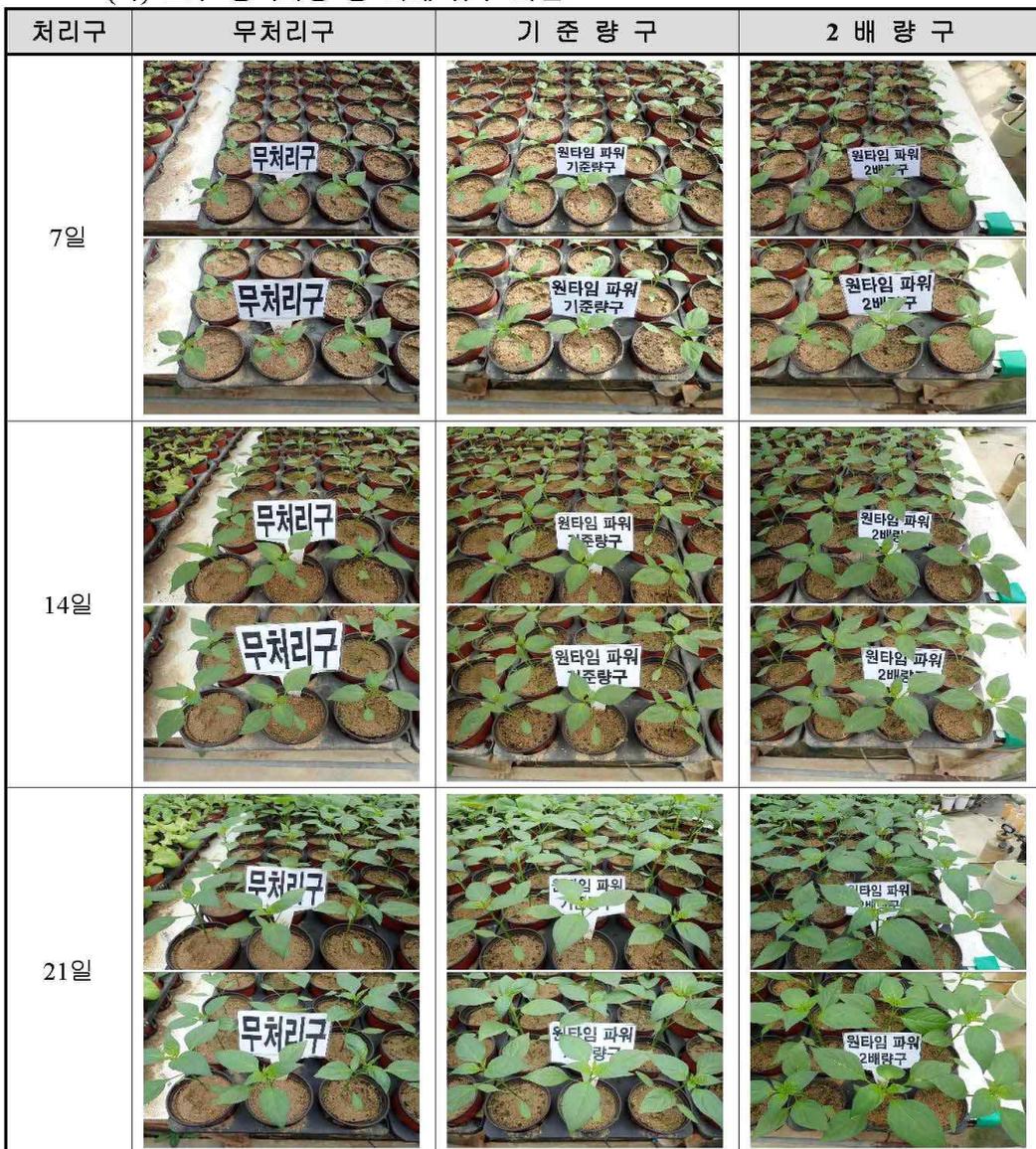


(4) 고추

(가) 고추 생육과정 중 전경 사진



(나) 고추 생육과정 중 비해 유무 사진



다. 비료피해 조사 종합 결과

작 물	처 리 구	비료피해(0~4)			비료피해 증상
		7일	14일	21일	
배 추	기 준 량 구	0	0	0	없음
	2 배 량 구	0	0	0	없음
상 추	기 준 량 구	0	0	0	없음
	2 배 량 구	0	0	0	없음
오 이	기 준 량 구	0	0	0	없음
	2 배 량 구	0	0	0	없음
고 추	기 준 량 구	0	0	0	없음
	2 배 량 구	0	0	0	없음
콩	기 준 량 구	0	0	0	없음
	2 배 량 구	0	0	0	없음

6. 결과 요약

가. 본 비료피해 시험은 시험물질 원타임 파워 처리에 따른 유식물체의 비료피해 등을 검토하기 위하여 본 연구소에서 위탁 시험으로 실시하였다.

나. 비료피해 시험 기간 동안 시험물질 원타임 파워 시비에 따른 배추, 상추, 오이, 고추 및 콩의 피해는 발견되지 않았으며, 무처리구와 비교하여 시험물질 기준량 및 2 배량처리구에서 비료피해로 판단될 만한 특이한 증상 등은 나타나지 않았다.

결론적으로, 전 시험기간을 통하여 시험물질 원타임 파워 시비에 따른 배추, 상추, 오이, 고추 및 콩의 유식물체에 대한 비료피해 증상이 발생되지 않아 비료피해가 없는 것으로 판단된다.

위 결과는 위탁자가 임의로 제출한 시료로 수행한 시험결과이며, 소송 및 광고, 기타 구속력이 있는 자료로 사용할 수 없고, 자체보관 및 관공서 제출용으로만 사용이 가능합니다.

나. [공동연구기관 _ 한남대학교 _ 2단계 1차년도]

□ 입자형, 분사형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
입자형, 분사형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화					→	→	→	→	→	→	→	→		100
분사형 하이드로겔의 분사 시스템(유량, 압력 등)조립						→	→	→	→	→	→	→		100
시스템 종합 성능 테스트 및 베드 최적화										→	→	→	→	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

○ 고상형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화

- 입자형 하이드로겔의 제조에 있어서 수분의 흡수량을 조절하고 제조하는 공정에 대한 최적화 조건을 확립하기 위해 단량체 함량과 비율을 용도에 따라 확립하여 표와 그림에 나타냄
- 단량체의 함량은 30 wt%, 40 wt%인 입자형 하이드로겔의 팽윤도는 20 wt%와 비교하였을 때 큰 차이가 없었으며, 경제적인 부분을 고려하면 단량체 함량이 20 wt%인 입자형 하이드로겔이 적합함

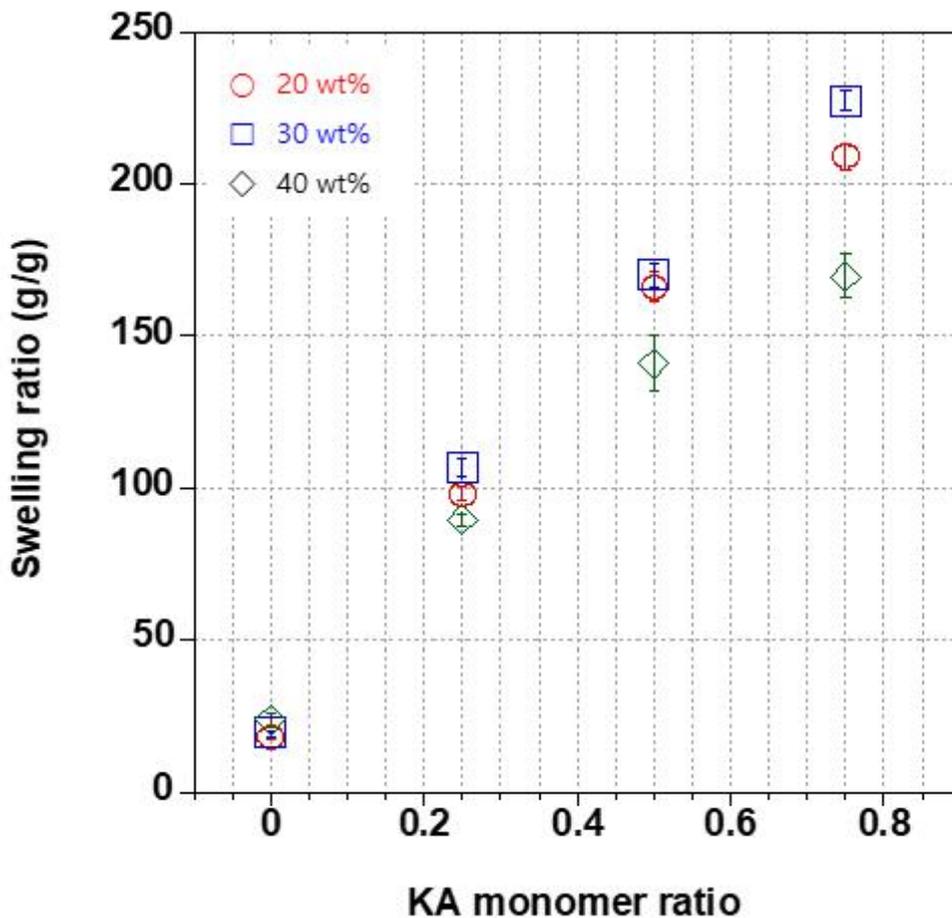


그림 249. KA 단량체 비율에 따른 팽윤도 변화

- 농업적 이용을 위해서 작물의 생육 단계 및 재배 환경에 따라 필요한 팽윤도가 다른 토양개량제가 필요하기 때문에 재배 작물에 따라서 육묘용, 분화용, 토경용, 세 가지 용도의 하이드로겔로 분류하고 제조 조건을 확립하여 표에 나타냄. 작물재배 용도별 하이드로겔의 특징은 아래와 같음
- 육묘용 토양보습제는 팽윤도가 300 g/g으로 작은 크기의 트레이에서도 세심한 물관리가 가능하고 작업에 소요되는 비용을 절감하며 출하일수가 단축될 것으로 판단되고, 분화용 토양보습제는 팽윤도가 200 g/g으로 다양한 크기의 트레이에서 화훼, 채소 등에 범용적으로 사용이 가능하여 뿌리의 빠른 활착과 성장에 도움을 줄 것으로 예상됨. 토경용 토양보습제는 팽윤도가 100 g/g으로 높은 경질 특성 갖기 때문에 경운작업에 적절함.

표 44. 육묘용, 분화용, 토경용 하이드로겔 최적화 함량비

구분	KA %(W/v)	DMAAm %(w/v)	Laponite %(w/v)
육묘용	2.5~3.5	6.5~7.5	2~4
분화용	0.5~2.5	6.5~9.5	2~4
토경용	0.2~0.5	9.5~9.8	2~4

□ 분사형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화

- 분사형 하이드로겔은 실제 토양에 사용할 경우 사람의 접근이 어려운 장소, 물리적으로 토양과 혼합하기 어려운 지역과 넓은 지역에서도 사용 가능함. 또한, 정해진 유량만 분사하여 사용하기 때문에 경제적 손실을 감축하는 장점이 있음.
- 분사 시스템을 이용하여 분사형 하이드로겔의 적용 가능성과 성능을 평가하고 농도를 조절 한 두 이온성 고분자 수용액을 분사하여 상변화를 확인과 분사 시스템에서의 적절한 분사 높이와 압력, 유량 조건을 확립함.

○ 분사형 하이드로겔 함량 비율 조정

- 분사형 하이드로겔은 양이온 고분자(PMPTC)와 음이온 고분자(PNaSS)의 비율인 전하비율에 따라 팽윤 특성이 달라지므로 표. 와 같이 두 고분자의 무게비율에 따라서 제조함.
- 분사형 하이드로겔에서 f 는 전체 고분자 무게에 대한 PNaSS 무게비로 하였으며, f 값이 증가할수록 PNaSS 함량 증가를 나타냄. C_w 는 전체 무게에 대한 농도로 제조된 하이드로겔 모두 동일하게 10 g/L로 진행함.

표 45. 분사형 하이드로겔 제조 함량 비율

Sample name	P1	P2	P3	P4	P5
Cationic polymer (g)	0.28	0.24	0.20	0.16	0.12
Anionic polymer (g)	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28
<i>f</i>	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

$$f = \frac{\text{Weight of PNaSS (g)}}{\text{Weight of PNaSS (g)} + \text{Weight of PMPTC (g)}}$$

$$C_w = \frac{\text{Weight of PNaSS(g)} + \text{Weight of PMPTC(g)}}{\text{Amount of D.W.(L)}}$$

f : PNaSS weight fraction in feed

C_w : Total weight concentration

○ 분사형 하이드로겔의 최적화된 제조 방법

- 참고 문헌에 있는 분사형 하이드로겔의 제조 방식은 물을 먼저 넣은 다음 이온성 고분자 수용액을 추가하는 방식이었으나, 토양 표면에 물이 있는 상태에서는 하이드로겔이 토양 안으로 침투하기가 어려운 단점이 있음.
- 이 문제를 해결하기 위한 기존 공정 모델은 그림 과 같이 PMPTC(양이온) 수용액과 PNaSS(음이온) 수용액을 혼합 후 다시 물을 추가하는 방식이었으나, 단순화를 위해 그림 과 같이 미리 각각의 이온성 고분자에 물을 추가하여 공정을 개선함.
- 개선 전, 후 모두 고분자 수용액의 농도는 동일하게 제조함

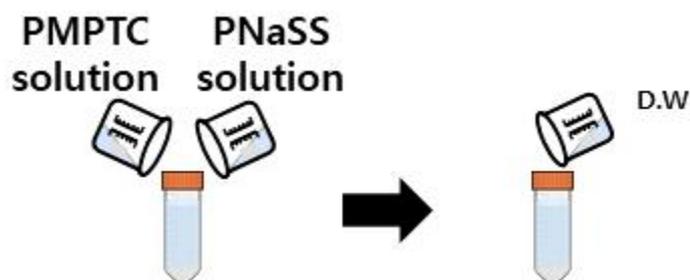


그림 251. 기존 분사형 하이드로겔 제조 공정

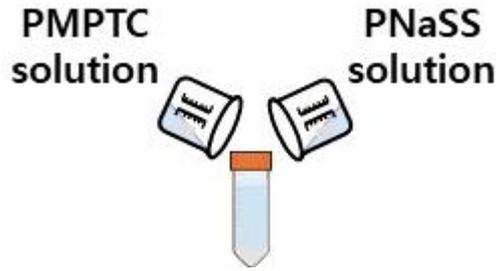


그림 252. 개선된 분사형 하이드로겔 제조 공정

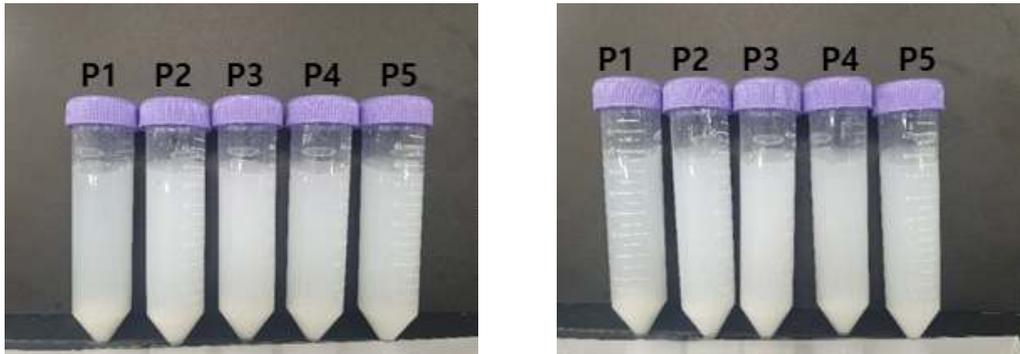


그림 253. 제조방식이 다른 분사형 하이드로겔 비교
(좌) 물을 추가하는 방식의 분사형 하이드로겔, (우) 개선된 분사형 하이드로겔

- 미리 물을 추가하는 방식의 분사형 하이드로겔은 기존의 방식과 동일한 $C_w = 10 \text{ g/L}$ 이며, 두 제조 방식 모두 그림 과 같이 겔이 아랫부분에 상분리되어 만들어지며 더 간단한 분사형 하이드로겔 제조가 가능함을 확인함.

○ 분사형 하이드로겔 팽윤도 비교

1. 실험 방법

- 양이온 고분자 PMPTC 및 음이온 고분자 PNaSS를 $f = 0.3 \sim 0.7$ 비율로 조정하여 수분함유량(팽윤도)를 비교하고자 함. C_w 는 동일하게 진행됨.
- 건조된 하이드로겔의 무게(W_d)는 동결건조를 5일 동안 진행하여 수분을 완전히 제거하고 측정함
- 수분함유량의 경우 건조된 샘플을 담아 분사형 하이드로겔이 최대로 수분을 흡수할 때까지 충분히 침지시킨 후 하이드로겔의 무게(W_s)를 측정하여 아래와 같은 수식으로 수분함유량을 측정함. 각 샘플의 반복실험 횟수는 5회로 진행됨.

$$\text{Swelling ratio} = (W_s - W_d) / W_d$$

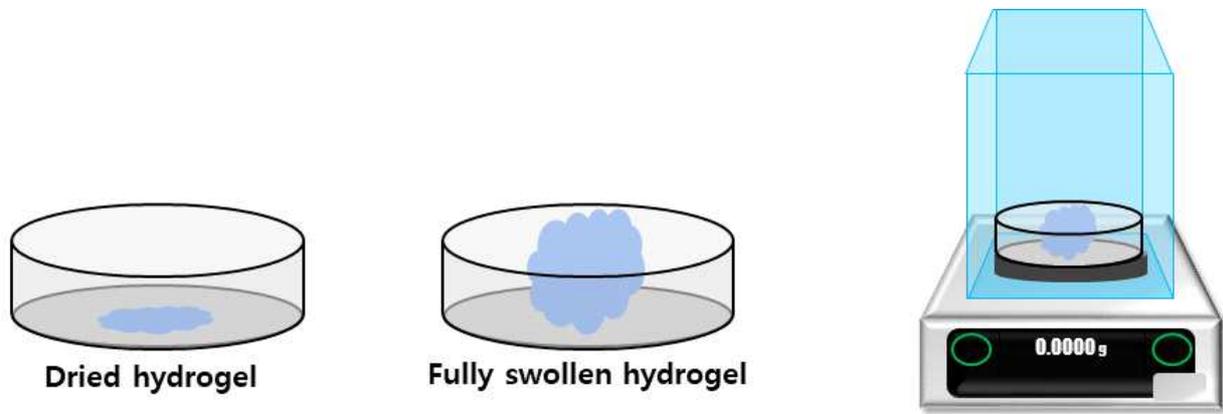


그림 254. 분사형 하이드로겔 팽윤도 측정 방법

2. 실험 결과

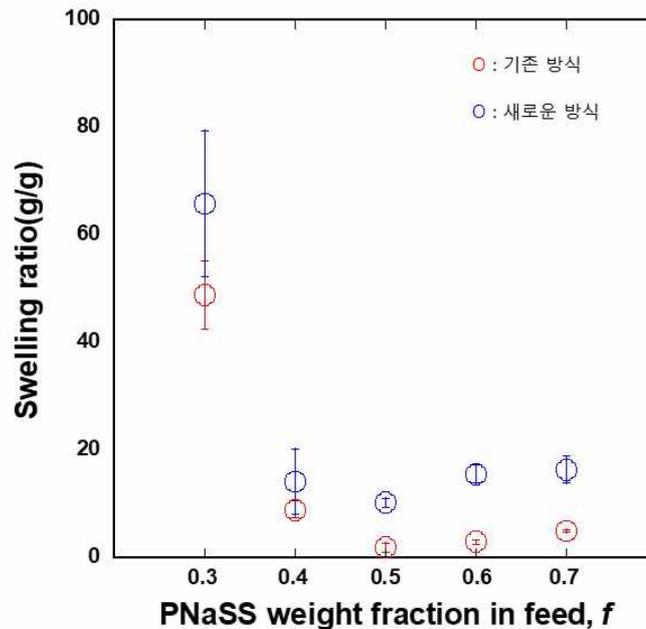


그림 255. 분사형 하이드로겔 팽윤도 비교

- 기존 방식과 개선된 새로운 방식 둘 다 무게비율(f) 값이 0.3을 제외하면 나머지 0.4, 0.5, 0.6, 0.7은 낮은 팽윤도를 보이기 때문에 $f = 0.3$ 을 사용하고자 함. 기존 방식 보다 팽윤도가 약간 증가한 것은 수용액 상에서 고분자 사슬 이동이 더욱 자유로워져 가교점 간의 간격이 넓어진 것으로 판단함.

○ 농도 변화에 따른 이온성 고분자 수용액 점도 측정

- 분사형 하이드로겔을 토양에 적용 시 음이온, 양이온 고분자 수용액의 점도는 토양 내부로 흐르는 속도와 관련이 깊기 때문에 PMPTC 수용액과 PNaSS 수용액의 점도를 각각 측정함
- 각 고분자 수용액은 농도 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 2.8 wt%로 제조하여 아래와 같은 방법으로 점도를 측정함

- 점도 측정은 Parallel plate 레오미터를 이용하여 25 °C에서 하단 플레이트에 고분자 수용액 2 ml를 넣고 상단 플레이트를 간격 1mm 되게 하강시켜 플레이트 밖으로 누수된 용액은 닦아 주고 회전 속도는 600 rpm, shear rate는 1700/s로 샘플당 4회씩 측정함.

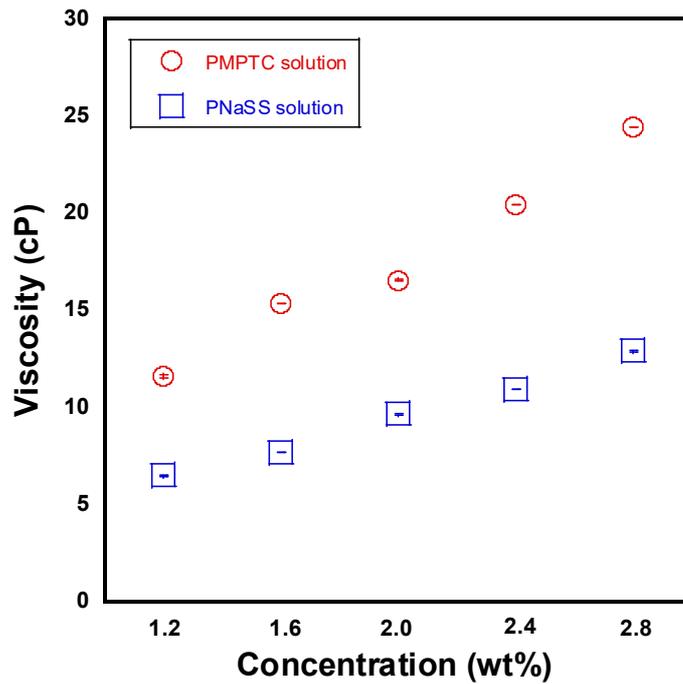


그림 256. 기존 방식으로 제조된 PMPTC 수용액과 PNaSS 수용액 농도별 점도 측정 결과

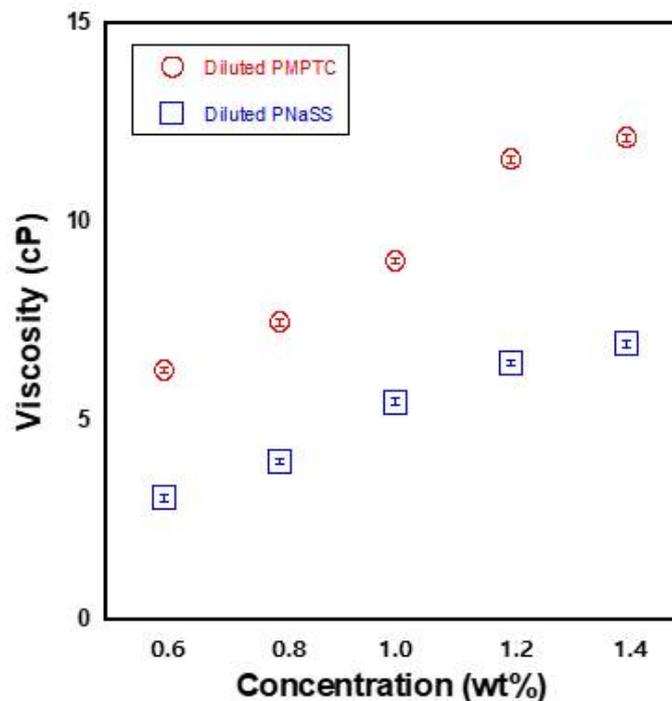


그림 257. 개선된 새로운 방식으로 제조한 PMPTC 수용액과 PNaSS 수용액 농도별 점도 측정 결과

- PMPTC 수용액이 PNaSS 수용액보다 점도가 높은 경향이 나타내며 이는 두 이온성 고분자의 화학적 구조, 분자 간의 인력, 분자량 등과 관련이 있음
- 분자간 작용하는 힘은 이온-쌍극자, 수소결합, 쌍극자-쌍극자, 쌍극자-유도쌍극자, 분산력이 있으며 여기서 고분자의 구조에 따라 분산력이 커지면 액체의 점도가 커질 수 있음. PMPTC는 NH부분이 물과 수소결합을 하기 때문에 PNaSS보다 높은 점도를 가질 수 있음.
- 가지 사슬 또한 점성에 영향을 줄 수 있으며 PNaSS의 경우 가지 사슬에 방향족 화합물을 갖고 있기 때문에 PMPTC 보다 상대적으로 분자 간의 결합이 어려워 낮은 점도를 가질 수 있음
- 개선된 방식의 고분자 수용액은 기존 방식보다 낮은 점도를 나타내며 토양에 침투할 수 있는 시간이 단축될 뿐만 아니라 추가로 물을 넣는 과정이 생략됨으로써 더 간단하게 적용 가능함.

표 46. 25 °C에서의 액체 점도 자료

액체	점성 [cP]
메탄올	0.544
물	0.8949
에탄올	1.074
수은	1.526
우유	3
피	3~4
에틸렌 글라이콜	16.1
황산	24.2
올리브 기름	81

- 시험에서 사용한 가장 높은 양이온 고분자 수용액의 농도가 2.8 wt%일 때 점도가 약 25 cP로 표의 황산과 유사한 수준이며 충분히 토양에 침투할 수 있는 점도임을 알 수 있음.

□ 분사형 하이드로겔의 분사 시스템(유량, 압력 등) 조립

- 분사형 하이드로겔을 위한 분사 시스템을 조립하고 이를 통하여 동일한 유량에서 압력과 분사 높이에 따른 분사 면적과 분사 형태를 알아보고자 함.
- 랩 사이즈의 분사 시스템은 고분자 수용액을 분사하기 위한 spray nozzle, 유체에 압력을 가하기 위한 air compressor, 튜브를 개폐하며 유체의 흐름을 제어하기 위한 solenoid, spray nozzle의 높이를 조절하기 위한 스탠드와 clamp, 분사 장치를 원격으로 제어하기 위해 Programmable DC power supply와 분사 조절 프로그램 Easypower로 구성되어 있음(그림 참고).
- spray nozzle은 유체가 존재하는 PU tube에 연결되어 air compressor로부터 압력이 가해져

용액을 분사하며, spray nozzle과 판 사이의 거리는 클램프를 이용하여 최대 50 cm까지 조절이 가능함.

- 분사 거동을 정밀하게 제어하기 위해 air compressor에 전자식 압력계를 부착하여 용액을 분사하기 전에 압력 조절을 할 수 있고, 용액의 on-off를 제어하기 위해 solenoid valve를 air compressor와 연결된 PU tube에 연결함.
- 분사 시스템은 아날로그 제어 신호로 고분자 수용액을 분사하기 위해 Programmable DC power supply에 연결되며, 이 장치는 프로그래밍이 가능한 전원 공급장치여서 Easypower 프로그램과 연동하여 용액이 분사될 수 있도록 출력 전압에 원격 제어 기능을 부여함.
- 분사 시간과 분사 횟수는 Easypower 프로그램을 통해 제어함.



그림 258. 분사 시스템 구성 요소

(a) 분사시스템 배치, (b) spray nozzle, (c) 전원 공급을 위한 DC power supply, (d) Solenoid valve, (e) Air compressor, (f) 압력센서, (g) 용액 누수 방지를 위한 Syringe pump, (h) 용액 주입을 위한 T-shaped high pressure branch

□ 시스템 종합 성능 테스트 및 공정 베드 최적화

○ 분사 시스템을 통해 제조된 분사형 하이드로겔

- 분사 시스템을 통한 최적의 설정 조건은 두 가지 방식으로 평가하였으며, 하이드로겔의 분사 형태 분포를 육안으로 판별하여 3종류로 분류하고, 분포 면적을 프로그램을 이용하여 분석하였음

1. 실험 방법

- 실험 조건은 팽윤도가 가장 높은 무게비율 $f = 0.3$ 인 시료로 사용하고 유량은 희석한 고분자 수용액(개선한 고분자 수용액)은 각 6 ml씩 분사하였고 희석하지 않은 고분자 수용액(기존 고분자 수용액)은 각 3 ml씩 분사 후 증류수를 6 ml 더 분사하였으며 같은 $C_w = 10 \text{ g/L}$ 가 되도록 함.
- 분사 높이는 15, 20, 25 cm로 하며, 압력은 120, 140, 160, 180, 200, 220 kPa로 진행함.
- Easypower 프로그램을 이용하여 원격제어로 일정한 시간(1초)으로 $20 \times 20 \text{ cm}$ 크기의 우드락 위에 분사하였음.

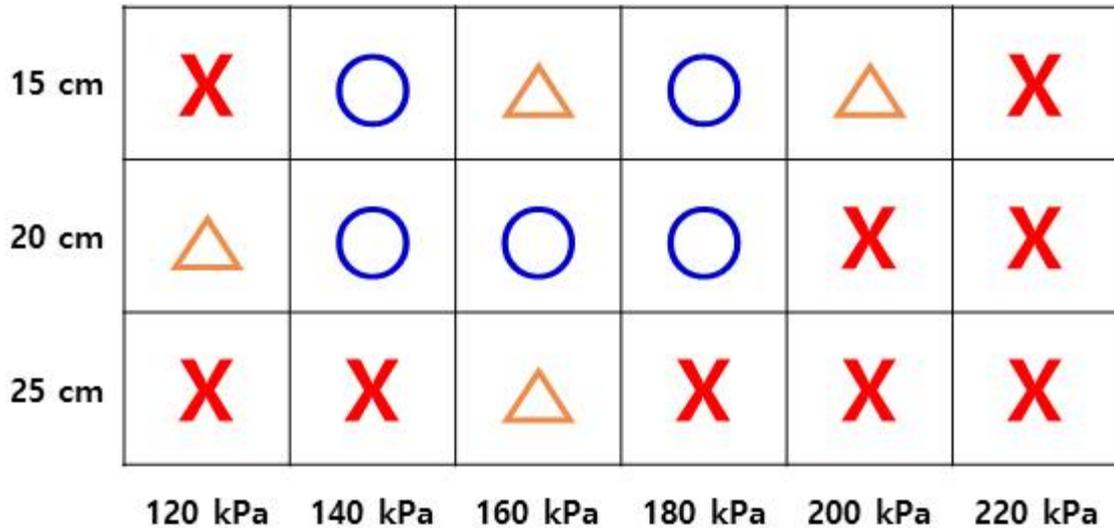
2. 실험 결과



그림 259. 분사된 하이드로겔을 분류한 3가지 유형

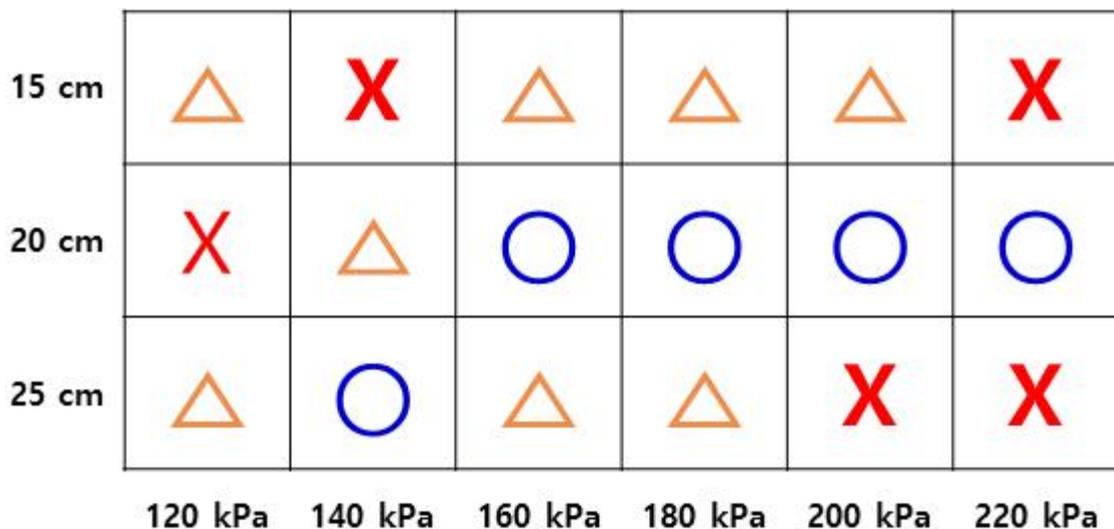
- 분사된 겔이 우드락 표면 위에 적게 형성되면 X, 겔이 중앙이 비어있고 외곽으로 집중되거나 넓게 퍼지지 않고 작은 원 형태는 Δ, 겔이 중앙에 분포하고 넓게 퍼져있으면 O로 표시함.

표 47. 희석한 고분자 수용액으로 분사된 하이드로겔의 분포 형태 밴 다이어그램



- 희석한 고분자 수용액에서 나타난 분사 형태는 아래와 같음
- 15 cm 높이에서는 120 kPa은 압력이 낮아 넓게 분사되지 못하고 220 kPa은 압력이 너무 높아 우드락 표면을 벗어나고 140 kPa과 180 kPa에서 적절한 분포를 보임
- 20 cm 높이에서는 15 cm보다는 균일하게 원형 형태로 나타내고 압력 140~180 kPa에서 적절한 분포를 보임, 이보다 압력이 높으면 가운데 부분에 겔이 형성되지 않고 낮으면 한곳에 뭉침.
- 25 cm 높이에서는 대부분의 설정 압력에서 우드락 표면 밖으로 벗어나 적절한 압력조건이 없었음.

표 48 희석되지 않은 고분자 수용액으로 분사된 하이드로겔의 분포 형태 밴 다이어그램



- 희석하지 않은 고분자 수용액에서 나타난 분사 형태는 아래와 같음
- 15 cm 높이에서는 희석된 고분자 용액보다 점도가 높아 원형에 가까운 형태를 보임

- 20 cm 높이에서는 160~220 kPa 에서 균일하게 겔이 형성되었고 120 kPa의 경우 한 곳에 뭉쳐짐.
- 25 cm 높이에서는 희석된 고분자 용액과 유사하게 대부분의 압력 조건에서 우드락 표면 밖으로 벗어나지만 희석한 고분자 수용액 대비 점도가 높아 형태가 조금 더 균일하여 140 kPa에서는 적절하게 분사됨.

○ 분사 시스템을 통해 제조된 분사형 하이드로겔 면적 계산

- 분사된 하이드로겔의 설정 조건(압력과 높이, 고분자 수용액 점도)에 따른 분사 면적을 비교하여 보다 적절한 분사 조건을 찾고자 ImageJ 프로그램을 사용하여 그림 243. 과 같이 측정함.
- 분사된 하이드로겔의 면적 범위를 구하기 위한 기준 설정은 스케일 바를 우드락의 크기(20 × 20 cm)와 같이 20 cm로 설정하여 측정함.



그림 260. ImageJ 프로그램 통한 분사된 하이드로겔 면적 분포

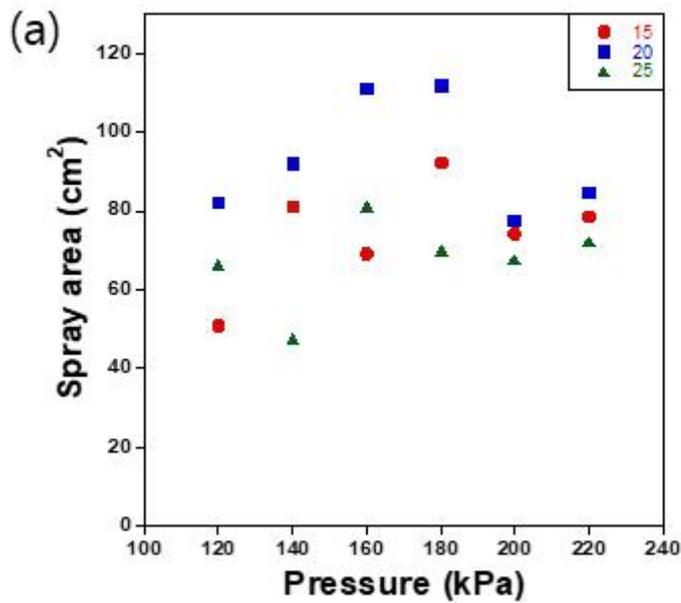


그림 261. 압력에 따른 희석된 고분자 수용액이 분사된 면적

- 희석된 고분자 수용액에서 높이 20 cm에서 분사했을 때 높이 15, 25cm에서 보다 넓은 면적을 보임
- 특히 희석된 고분자 수용액으로 분사한 경우 높이 20 cm에서 160 kPa과 180 kPa이 가장 넓은 면적을 나타내며 또한 분포 형태에서 양호하였음.
- 높이 15 cm, 압력 140, 180 kPa에서도 분포 형태가 적절하였지만, 분포 면적은 희석된 고분자 수용액의 최대 분포 면적(높이 20 cm, 압력 180 kPa) 대비 각각 72, 83 % 수준으로 나타남.

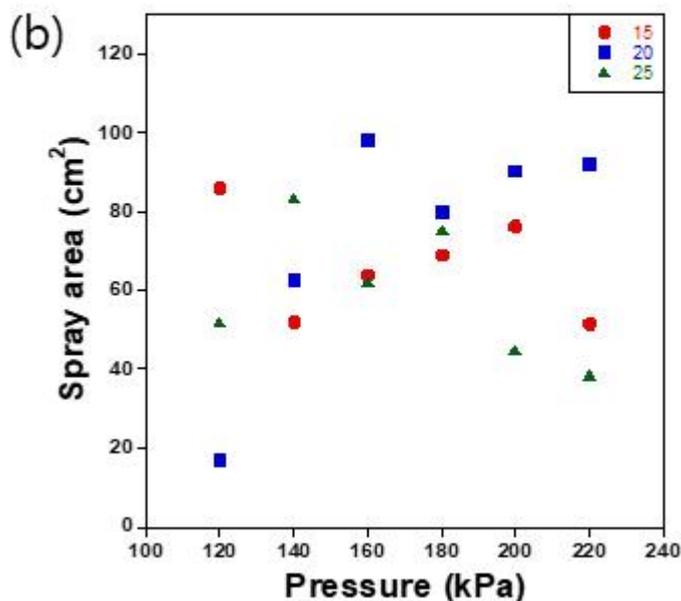


그림 262. 압력에 따른 희석되지 않은 고분자 수용액이 분사된 면적

- 희석되지 않은 고분자 수용액을 분사한 면적 그래프는 20 cm 높이에서 분사했을 때 압력 증가에 따라서 면적이 증가하는 경향을 보이고 15, 25 cm 높이에서는 압력에 따른 특별한 경향을 보이지 않음.
- 희석되지 않은 고분자 수용액의 벤 다이어그램과 종합한 결과, 높이 20 cm에서는 압력 160 kPa 이상에서 적절한 형태로 분사가 이루어지고 이때 분포 면적도 증가했으며, 15 cm에서는 적절한 분사 형태가 없었고 25 cm에서는 140 kPa에서만 적절한 분사 형태를 나타냈음.
- 연구결과를 종합하면, 본 연구에서 개선한 희석된 고분자 수용액이 보다 단순화된 사용방법으로 경제적, 시간적 장점을 확보할 수 있을 것으로 판단되며 랩 단위의 분사 시스템에서의 설정 조건 최적화 시험을 진행한 결과, 개선한 고분자 수용액의 경우 높이 20 cm, 압력 160, 180 kPa에서 가장 높은 면적을 보이고 분포 형태도 적절한 것으로 확인할 수 있었음.

다. [공동연구기관 _ 배재대학교 _ 2단계 1차년도]

□ 분사형 하이드로겔의 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명 및 매뉴얼 작성

개발내용	구분	연구 개발 기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
분사형 하이드로겔의 관리 방안 매뉴얼 작성		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	100
심한 토양 수분상태시의 식물에 미치는 영향 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
총 진도율														100
* → 로 진도표기														

□ 공동연구기관 배재대학교 2단계 1차년도 연구개발 목표

(1) 2단계 1차년도 연구개발 목표

- 분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명: 분사형 하이드로겔은 온실내에서 재배하는 육묘, 분화에 적용하기 보다는 정원과 조경 등 노지 환경에 적용하는 것이 활용도가 높을 것임. 따라서 정원에 활용되는 관상식물을 대상으로 노지에 식재를 하고 분사형 하이드로겔을 적용한 이후에 건조 스트레스 하에서 식물의 생육이 어떻게 변하는지 모니터링하고자 함. 조사 항목으로는 식물의 외적 성장 지표인 초장, 엽수, 초폭, 엽면적, 뿌리 길이, 생체중, 건물중을 측정하고자 함.



그림 263. 노지에서 센서 및 관수시스템 적용

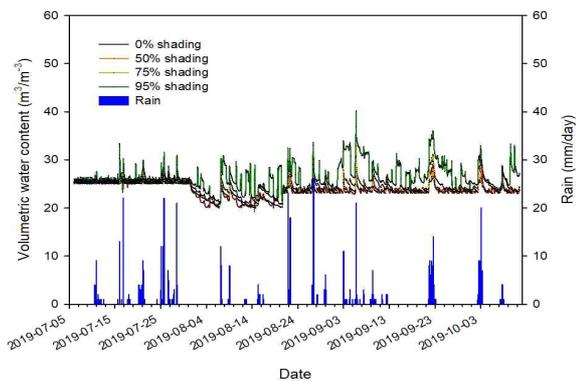


그림 264. 노지 환경에서 수분 제어

- 분사형 하이드로겔의 관리 방안 매뉴얼 작성: 분사형 하이드로겔은 입자형 하이드로겔과 달리 토양의 구조를 파괴하지 않고 활용할 수 있는 장점이 있지만 배지 또는 토양의 종류에 따라 얼마나 처리를 해야 하는지 그리고 토양의 수분은 어떻게 관리를 해야 하는지 토양 내에서 어느 위치에 하이드로겔이 위치를 하게 되는지 구멍이 필요함. 다양한 가능성을 염두하여 분사형 하이드로겔을 적용하기 위한 관리 매뉴얼을 작성하고자 함.

○ 식물의 선정 및 수급

- 연구 재료 선정 : 분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적응 실험을 하기 위하여 많이 생산되는 작물인 상추와 깻잎을 사용하였음. 파종부터 육묘 단계까지 실험을 하기 위하여 종묘사에서 상추 종자 '청치마' 와 깻잎 모종을 수급하였음. 또한 정원 식물로 많이 사용되며 관상 가치가 높은 작물인 백일홍(mini)을 개화한 개체의 성묘 상태로 수급하였음.



그림 265. 상추(청치마) 종자 그림 266. 공시재료 깻잎 모종 그림 267. 공시재료 미니 백일홍

- 분사형 하이드로겔 : 분사형 하이드겔은 한남대학교에서 수급받았으며, 실험에 사용하기 전에 유실을 방지하기 위하여 48시간의 충분한 포화 후에 실험에 사용하였음. 또한 처리시 Pot 부피비로 계산하여 고체화시킨 분사형 하이드로겔을 상토와 충분히 혼합한 후에 실험을 진행하였음.

○ 하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화

○ 토양 수분 결정을 위한 soil moisture retention curve 실험

- 토양의 수분 정도를 나타낼 때 가장 정확한 수치는 토양의 장력(kPa, pF)으로 나타내는 것임. 토양의 장력은 토양의 종류와 관계없이 식물이 실제 물을 이용할 수 있는 토양의 수분 상태를 나타내어 포장용수량, 유효수분, 위조점 등으로 표현될 수 있음. 그런데 자동관수시스템을 이용하기 위해서는 시스템 상 토양 수분의 장력을 측정하는 토양장력계가 아닌 FDR(Frequency Domain Reflectometry) 또는 TDR(Time Domain Reflectometry) sensor를 사용해야 함. FDR 또는 TDR sensor는 토양의 수분을 부피로 측정하는 토양수분함량으로 표현됨. FDR sensor는 TDR sensor보다 저렴하면서 토양의 수분함량을 민감하게 측정을 할 수 있어 최근 널리 활용되고 있어 FDR sensor를 선택하였음.
- 토양수분함량은 센서 주위의 토양 부피당 물의 부피를 나타낸 것으로 토양의 종류에 따라 그리고 답압 정도에 따라 변하기 때문에 우리가 실험에 설정한 토양수분함량이 어느 정도의 토양장력을 나타내는지 연관관계를 알아보는 것이 중요함. 향후 다른 연구자가 실험을 진행할 때 참고해야 할 수치는 토양수분함량이 아닌 토양의 장력이라는 뜻이라고 말할 수 있음.
- Hyprop(UMS GmbH, Munich, Germany)를 이용하여 moisture retention curve 계산하였음. 토양내의 수분은 자연적인 강우, 인위적인 관수, 증발, 식물의 증산 등 다양한 경로를 통해 변화됨. 수분은 토양이 수분을 잡아당기는 힘과 식물의 뿌리가 잡아당기는 힘의 기울기로 이동을 하게 되는데 토양의 수분장력을 측정하면 이 수분이 식물이 사용할 수 있는 수분인지 사용하지 못하는 수분 정도인지를 판단 할 수 있음.

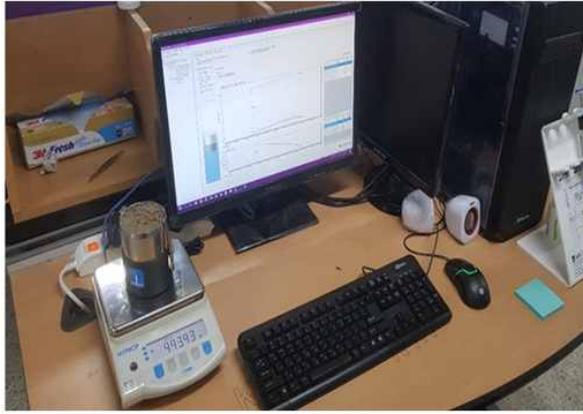


그림 268. Hyprop 구동 모습

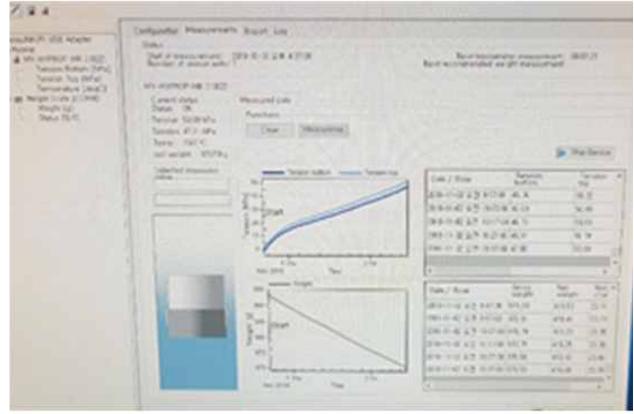


그림 269. Moisture retention curve

Table 1. Parameters, mathematical expressions, and descriptions of the steps for fluorescence transient O-J-I-P, technical fluorescence, quantum yields and efficiencies/probabilities, specific energy fluxes, and performance index (Modified from Stirbet & Govindjee 2011; Thwe & Kasemsap 2014; PSI, 2021; Oh et al. 2014)

Parameter	Mathematical expression	Description
Fluorescence transient O-J-I-P		
F_o	$F_o = F_{50\mu s}$	Fluorescence intensity at O-step (50 μs) of O-J-I-P (a.u.)
F_j	$F_j = F_{2ms}$	Fluorescence intensity at J-step (2 ms) of O-J-I-P (a.u.)
F_i	$F_i = F_{30ms}$	Fluorescence intensity at I-step (30 ms) of O-J-I-P (a.u.)
$F_m (= F_p)$		Maximal fluorescence intensity, at the peak P of O-J-I-P (a.u.)
Technical fluorescence parameters		
F_v	$F_v = F_m - F_o$	Maximal variable fluorescence
F_m/F_o		Representing quantum yield of PSII photochemistry
F_v/F_m	$F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$	Maximum quantum efficiency of PSII
Quantum yields and efficiencies/probabilities		
Φ_{P_o}	$\Phi_{P_o} = TR_o/ABS = 1 - (F_o/F_m)$ (or F_v/F_m)	Maximum quantum yield of primary PSII photochemistry
Ψ_o	$\Psi_o = ET_o/TR_o = 1 - V_j$	Probability that a trapped exciton moves an electron into the electron transport chain beyond Q_A
Φ_{E_o}	$\Phi_{E_o} = ET_o/ABS = [1 - (F_o/F_m)] \times \Psi_o$	Quantum yield of electron transport
Φ_{D_o}	$\Phi_{D_o} = 1 - \Phi_{P_o}$	Probability that an absorbed photon is dissipated
$\Phi_{P_{av}}$	$\Phi_{P_{av}} = [\Phi_{P_o} \times (S_M/t_{F_m}) \times t_{F_m}] / 1000$	Time to reach $F_m (= F_p)$ (in second)
Specific energy fluxes (per active PSII reaction center)		
ABS/RC	$ABS/RC = (M_o/V_j) \times (1/\Phi_{P_o})$	Absorption flux per RC
TR _o /RC	$TR_o/RC = M_o/V_j$	Trapped energy flux per RC (at $t = 0$)
ET _o /RC	$ET_o/RC = (M_o/V_j) \times \Psi_o$	Electron transport flux from Q_A to Q_B per RC (at $t = 0$)
DI _o /RC	$DI_o/RC = (ABS/RC) - (TR_o/RC)$	Dissipated energy flux per RC (at $t = 0$)
Performance index (combination of parameters)		
PI_{ABS}	$PI_{ABS} = (RC/ABS) \times [\Phi_{P_o}/(1 - \Phi_{P_o})] \times [\Psi_o/(1 - \Psi_o)]$	Performance index (PI) on an absorption basis (= energy conservation from photons absorbed by PSII antenna, to the reduction of Q_B)

○ Teros 12 sensor를 활용한 전기전도도(EC) 및 토양수분함량 측정

- FDR 토양센서(TEROS 12, Meter group)을 통한 토양 전기전도도(EC)의 알맞은 측정 및 활용을 위하여 농도별 NaCl처리에 따른 토양수분과 토양 전기전도도(EC) 변화 양상을 03월 20일부터 04월 03일까지 2주간 측정하였음. 측정치는 Data logger(CR1000; Campbell Scientific, Logan, UT, USA)를 이용하여 수집하였음. 시료는 15cm Pot에 peatmoss : perlite를 1:1로 혼합하여 사용하였고, 48시간 동안 포화되도록 처리하여 충분히 수분 공급이 될 수 있도록 하였음. 토양수분과 전기전도도(EC)는 3개의 센서를 각 화분에 꽂아 모니터링하였으며, 포화 후 건조되는 정도의 차이와 하이드로겔의 농도에 따른 센서 값의 차이를 확인하였음.

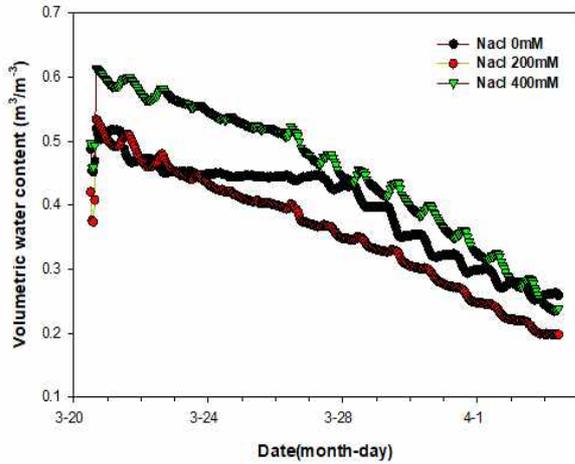


그림 270. 하이드로겔 0%에서 토양수분함량(VWC)

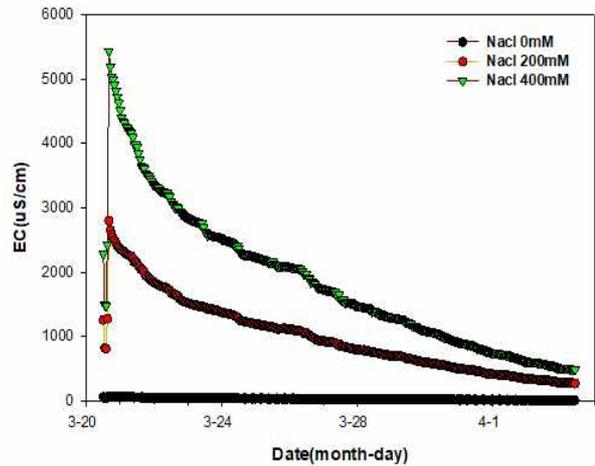


그림 271. 하이드로겔 0%에서 전기전도도 (EC)

- 하이드로겔 0%에서의 토양수분함량(VWC) 측정 결과, NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 감소율 46.2, 63.0, 61.3%로 NaCl 200mM 처리에서 가장 큰 감소폭을 보였음. 토양 전기전도도(EC) 항목에서는 NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 150, 2800, 6400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 값을 나타냈으며 점차 감소하는 경향을 나타냈음.

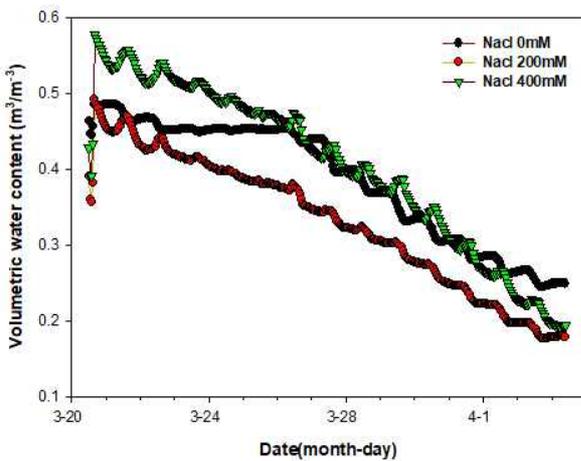


그림 272. 하이드로겔 0.05%에서의 토양수분함량

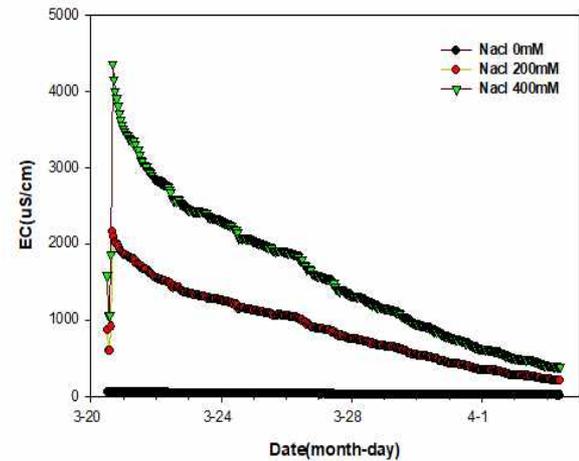


그림 273. 하이드로겔 0.05%에서 전기전도도 (EC)

- 하이드로겔 0.05%에서의 토양수분함량(VWC) 측정 결과, NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 감소율 47.9, 46.0, 63.8%로 NaCl 400mM 처리에서 가장 큰 감소폭을 보였음. 토양 전기전도도(EC) 항목에서는 NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 160, 2200, 4400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 값을 나타냈으며 점차 감소하는 경향을 나타냈음.

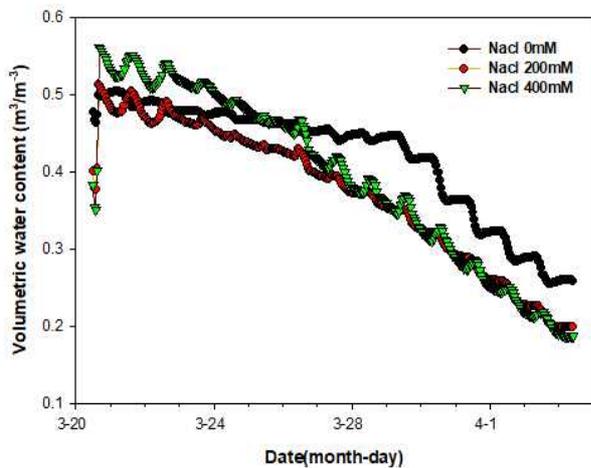


그림 274. 하이드로겔 0.1%에서의 토양수분함량

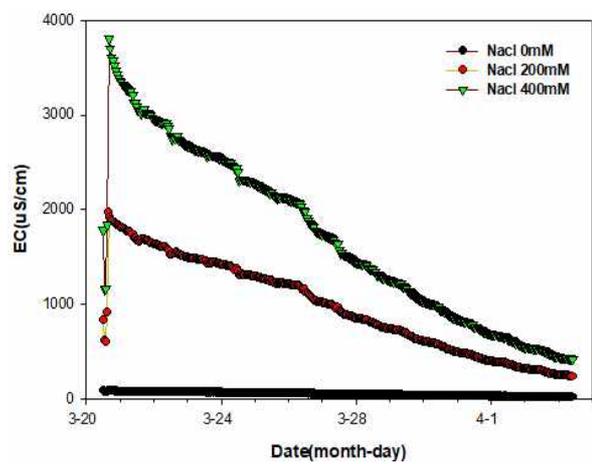


그림 275. 하이드로겔 0.1%에서의 전기전도도(EC)

- 하이드로겔 0.1%에서의 토양수분함량(VWC) 측정 결과, NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 감소율 46.0, 61.5, 67.9%로 NaCl 400mM 처리에서 가장 큰 감소폭을 보였음. 토양 전기 전도도(EC) 항목에서는 NaCl 0, 200, 400mM 처리 각각 180, 2000, 4800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 값을 나타냈으며 점차 감소하는 경향을 나타냈음.

○ 분사형 하이드로겔 농도 차이에 따른 상추 재배실험



그림 276. 상추 종자 파종 이후 발아 상태



그림 277. 상추 재배실험 진행 사진

- 자연 강우 및 외부 환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였으며, 각 화분의 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC)은 FDR 방식의 토양수분센서인 TEROS 12(Meter Inc.) sensor를 통해 측정하였음. 측정된 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC) 측정치는 Data logger(CR1000; Campbell Scientific, Logan, UT, USA) 내에 저장되게 하였으며 각 처리당 센서를 3개씩 배치하였음. 분사형 하이드로겔은 농도별(0, 0.05, 0.1, 0.2%)처리를 하였으며, 포화 이후 건조 양상을 확인하였음. 실험은 6월 16일부터 6월 27일까지 진행하였으며 식물의 초장, 초폭, 엽수, 뿌리길이, 생체중, 건물중을 측정하였음.

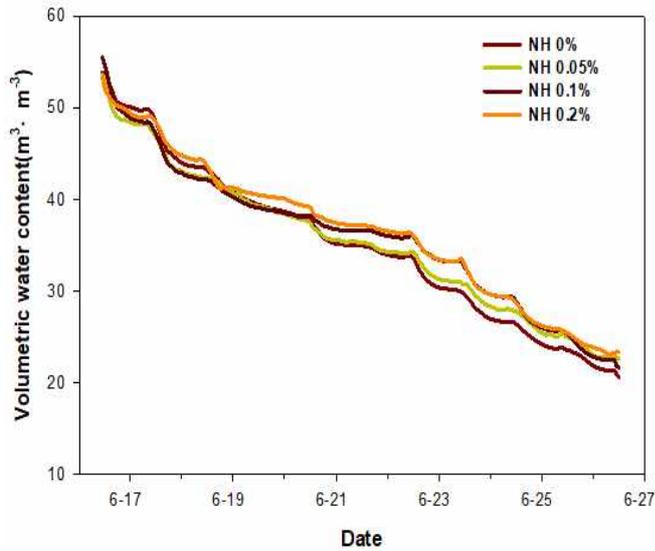


그림 278. 하이드로겔 농도에 따른 토양수분함량

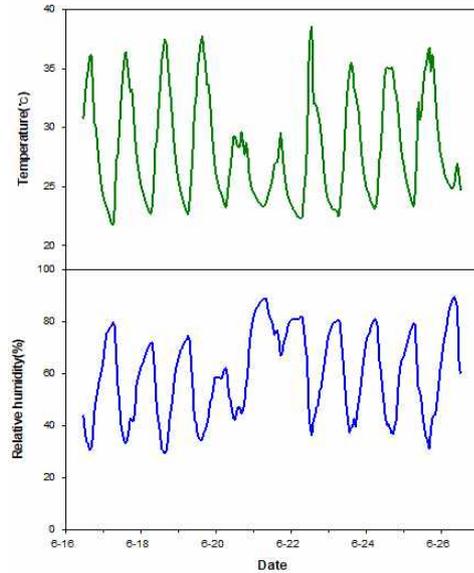


그림 279. 온실 내 온도 및 습도

- 하이드로겔 농도(0, 0.05, 0.1, 0.2%)에 따른 토양수분함량(VWC)의 측정 결과, 토양수분의 차이는 있었으나 통계적인 유의성은 없었음. 이러한 결과는 하이드로겔의 농도가 낮았기 때문이라고 판단됨.

○ 초장

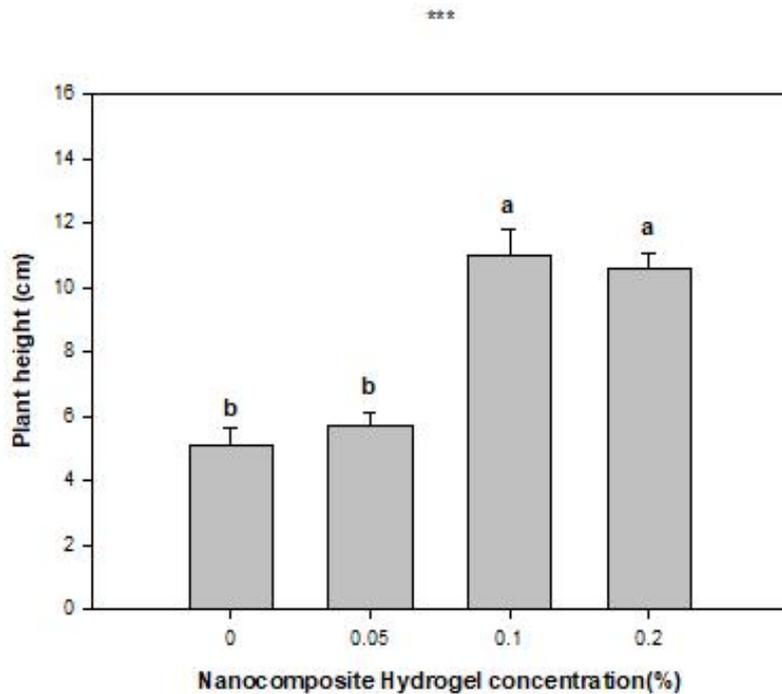


그림 280. 하이드로겔 농도 처리에 따른 초장 차이

- 초장의 경우 하이드로겔 농도가 상대적으로 높은 0.1와 0.2% 처리구에서 높게 조사되었음.

○ 초폭

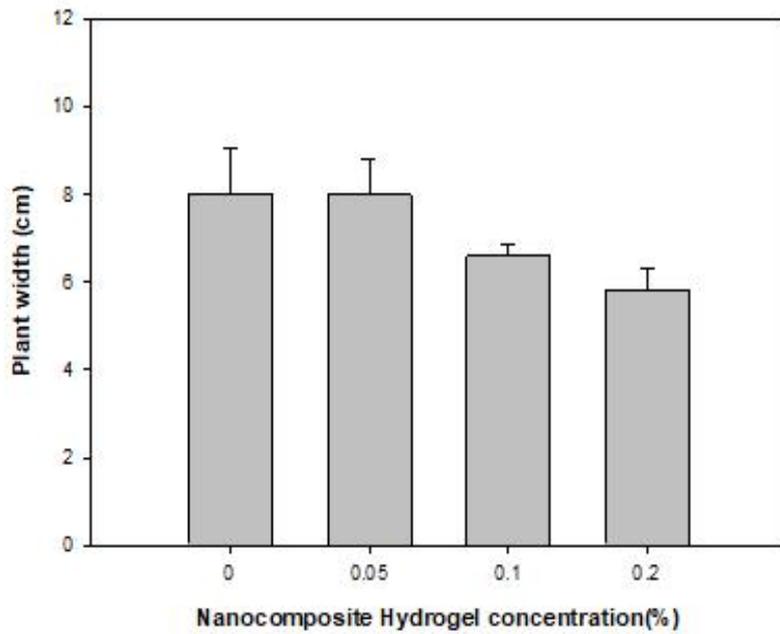


그림 281. 하이드로겔 농도 처리에 따른 초폭 차이

- 초폭 항목에서는 하이드로겔 농도가 0 = 0.05 > 0.1 > 0.2 순으로 농도가 낮을수록 값이 높게 나타났음.

○ 엽수

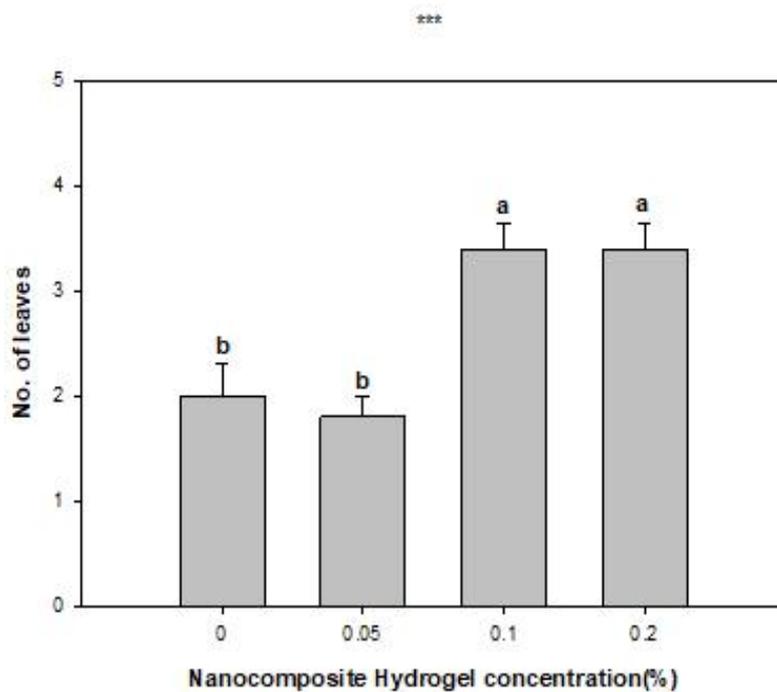


그림 282. 하이드로겔 농도 처리에 따른 엽수 차이

- 엽수의 경우 하이드로겔 농도가 상대적으로 높은 0.1와 0.2% 처리구에서 높게 나타났음.

○ 뿌리길이

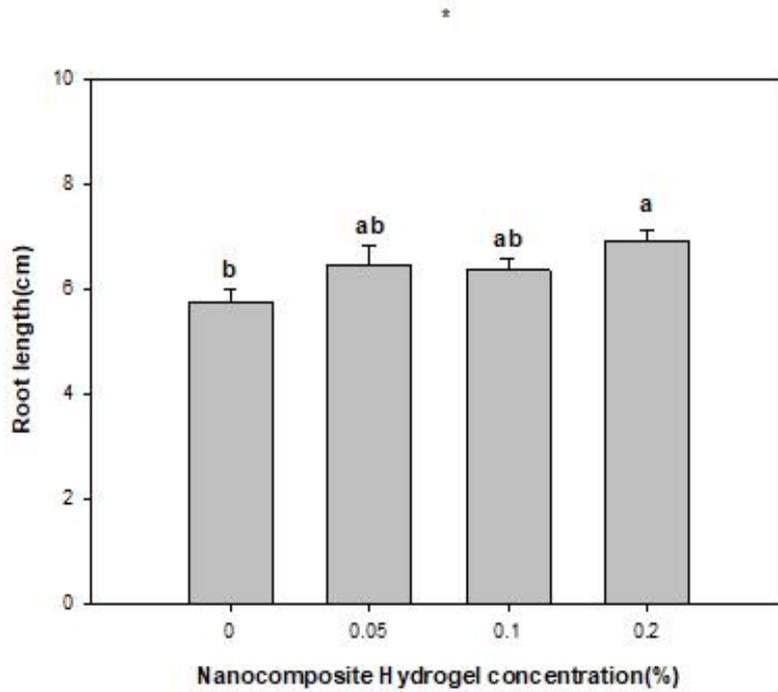


그림 283. 하이드로겔 농도 처리에 따른 뿌리 길이 차이

- 뿌리 길이는 농도가 상대적으로 높은 0.2% 처리에서 가장 높게 나타났고, 0.05 = 0.1 > 0 % 순으로 높게 조사되었음.

○ 생체중

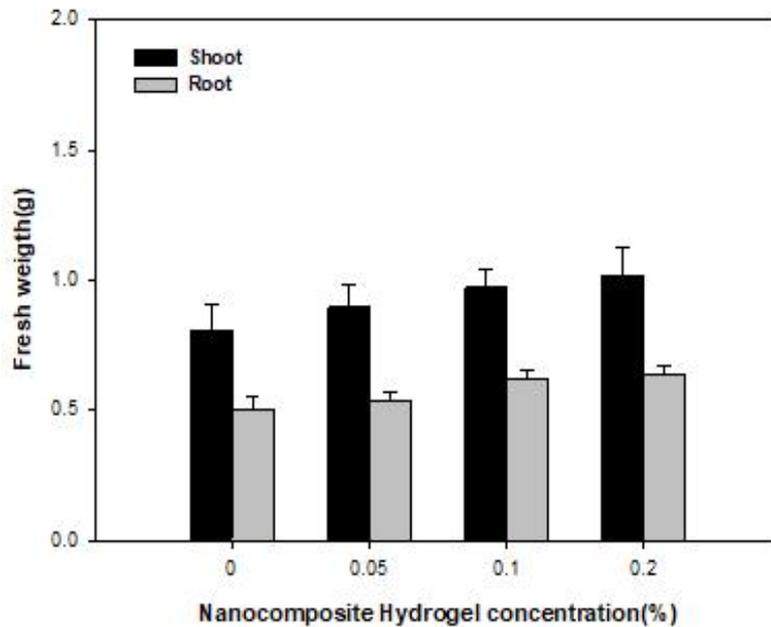


그림 284. 하이드로겔 농도 처리에 따른 생체중 차이

- 지상부와 지하부의 생체중 조사 결과, 하이드로겔의 농도가 증가할수록 조사된 값도 높게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었음.

○ 건물중

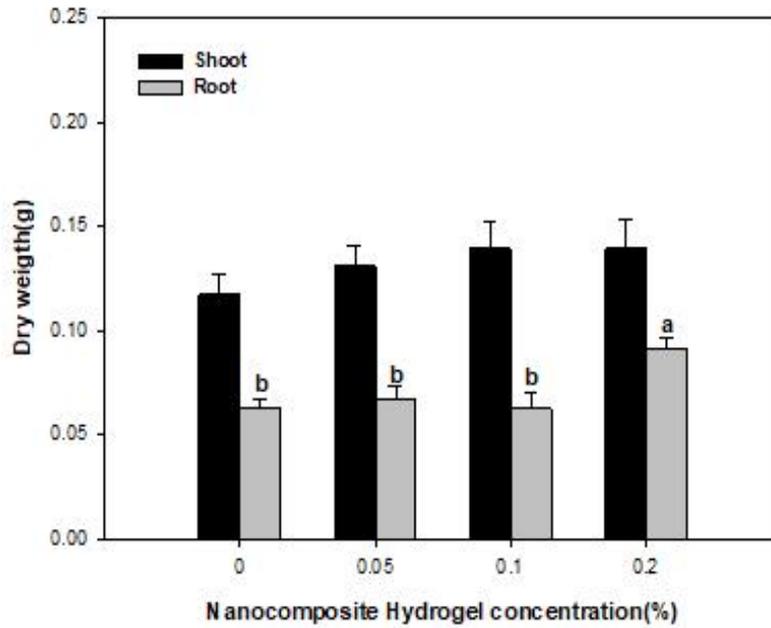


그림 285. 하이드로겔 농도 처리에 따른 건물중 차이

- 지상부의 건물중에서는 하이드로겔의 농도 구분 없이 유사한 값으로 나타났으며, 지하부 건물중의 경우 하이드로겔 농도가 가장 높았던 0.2% 처리구에서 가장 높은 값으로 나타났음. 이를 통해 높은 농도의 하이드로겔 처리가 식물의 생육에 긍정적인 영향을 미쳤다고 판단됨.

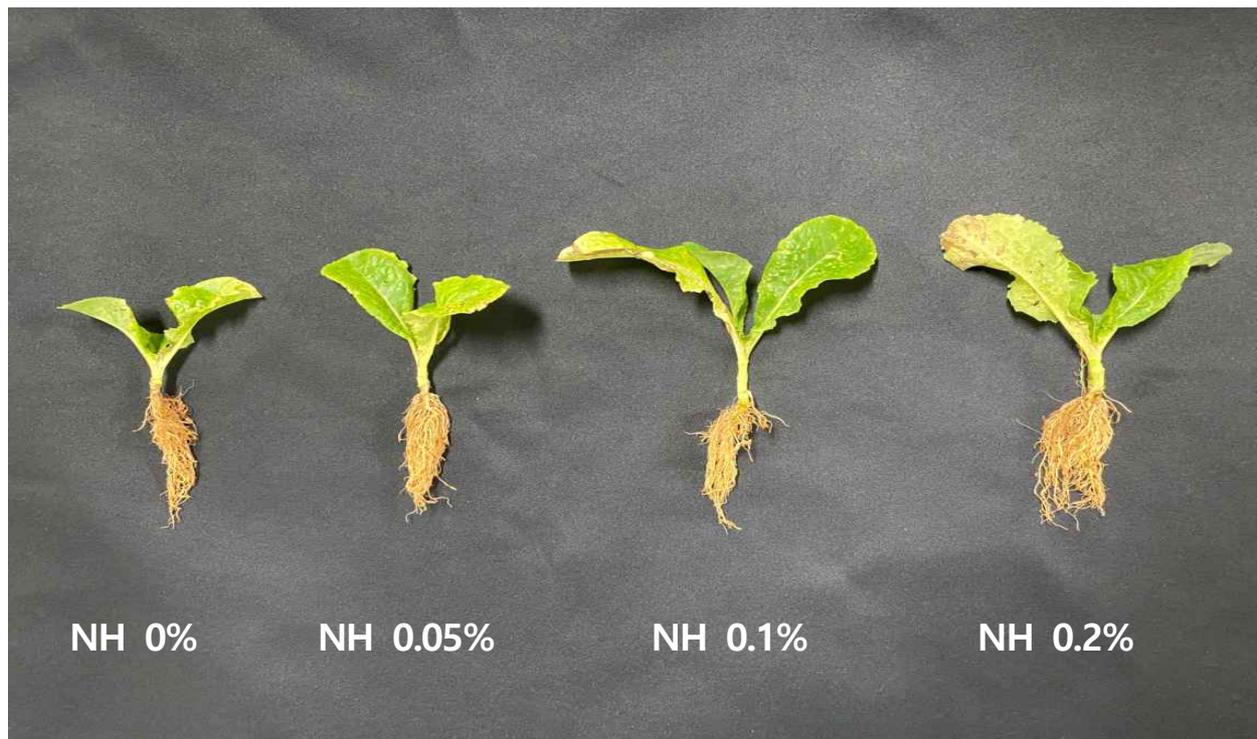


그림 286. 하이드로겔 농도 처리에 따른 상추 수확 사진

○ 심한 토양 수분 상태시의 식물에 미치는 영향 평가
 가. 분사형 하이드로겔 농도 차이에 따른 깻잎 재배실험



그림 287. 유묘 상태의 깻잎을 이식한 상태



그림 288. 깻잎 재배실험 진행 사진

- 심한 토양 수분 상태시의 식물에 미치는 영향을 평가하기 위하여 관수한 이후 건조상태를 계속 유지하여 심한 토양 수분 상태로 유도하였으며, 심한 토양 수분에서 상태를 비교하기 위하여 자연 강우 및 외부 환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였음. 각 화분의 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC)은 FDR 방식의 토양수분센서인 TEROS 12(Meter Inc.) sensor를 통해 측정하였음. 측정된 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC) 측정치는 Data logger(CR1000; Campbell Scientific, Logan, UT, USA) 내에 저장되게 하였으며 각 처리당 센서를 3개씩 배치하였음. 분사형 하이드로겔은 농도별(0, 0.1, 0.2, 0.4%)처리를 하였으며, 포화 이후 건조 양상을 확인하였음. 실험은 8월 07일부터 8월 29일까지 진행하였으며 식물의 초장, 초폭, 엽수, 뿌리 길이, 생체중, 건물중을 측정하였음.

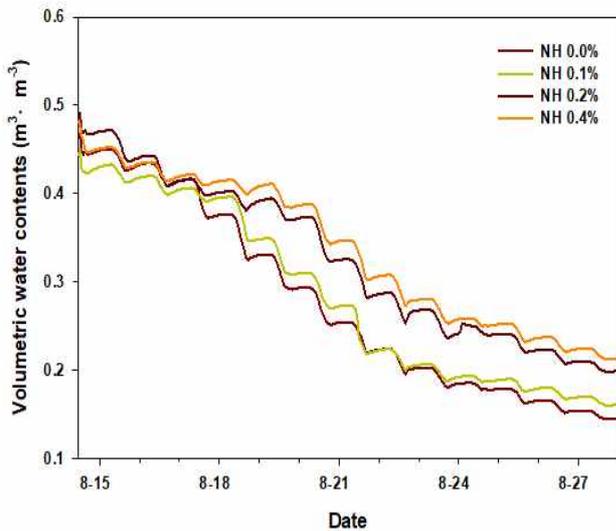


그림 289. 하이드로겔 농도에 따른 토양수분함량

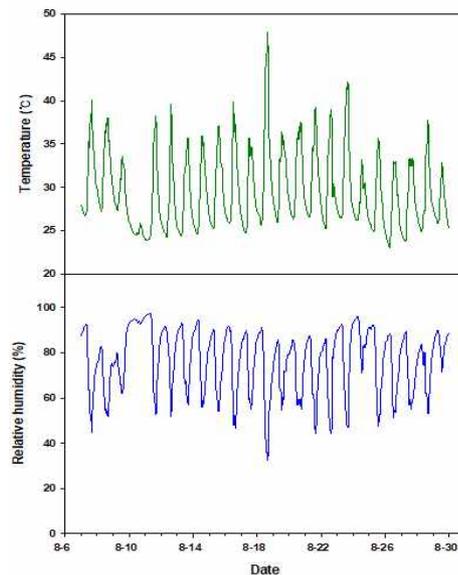


그림 290. 온실 내 온도 및 습도

- 하이드로겔 농도(0, 0.1, 0.2, 0.4%)에 따른 토양수분함량(VWC)의 측정 결과, 토양수분의 차이는 있었으나 통계적인 유의성은 없었음. 이러한 결과는 하이드로겔의 농도가 낮았기 때문이라고 판단됨.

○ 초장

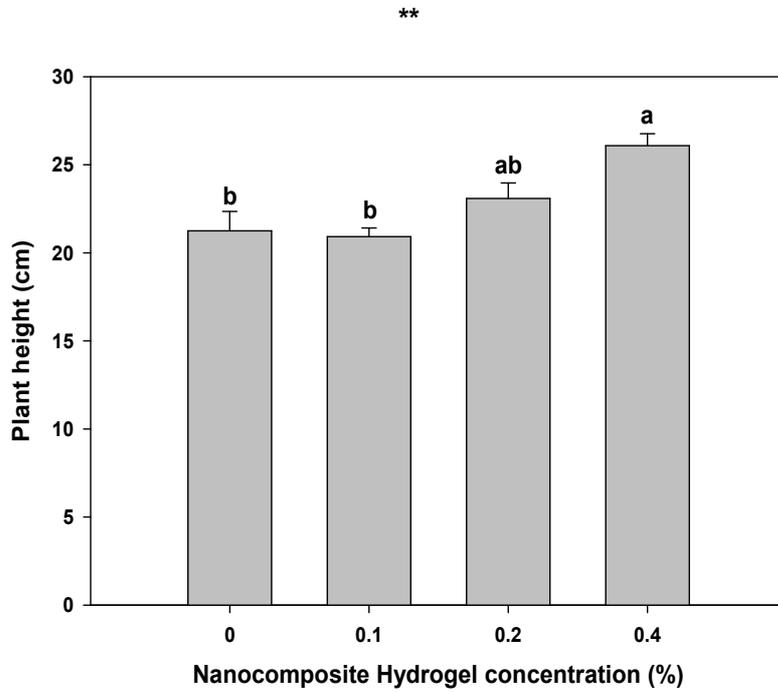


그림 291. 하이드로겔 농도에 따른 초장 차이

- 초장의 경우 농도가 상대적으로 높은 0.4% 처리구에서 가장 높게 나타났으며 0.2 > 0.1 > 0% 순으로 높게 나타났음.

○ 초폭

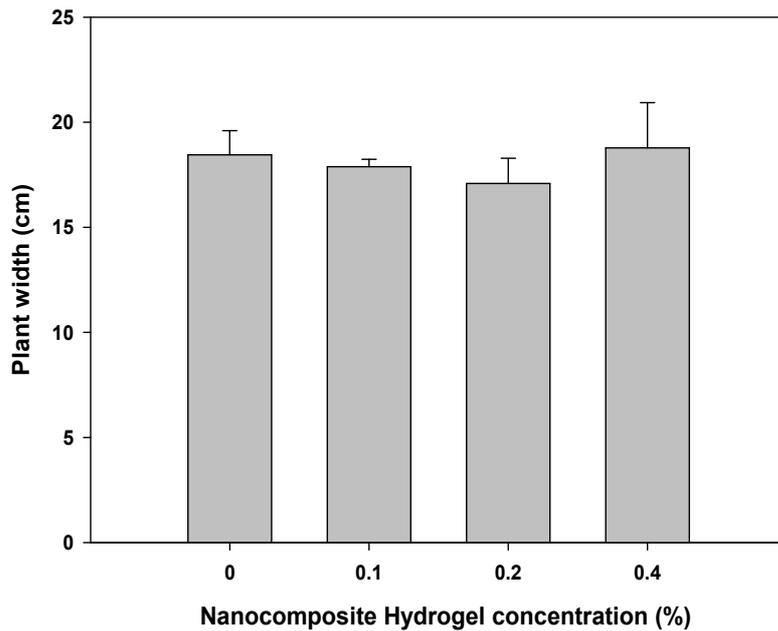


그림 292. 하이드로겔 농도에 따른 초폭 차이

- 초폭 항목에서는 처리구 간 유사한 값으로 나타났으며 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

○ 엽수

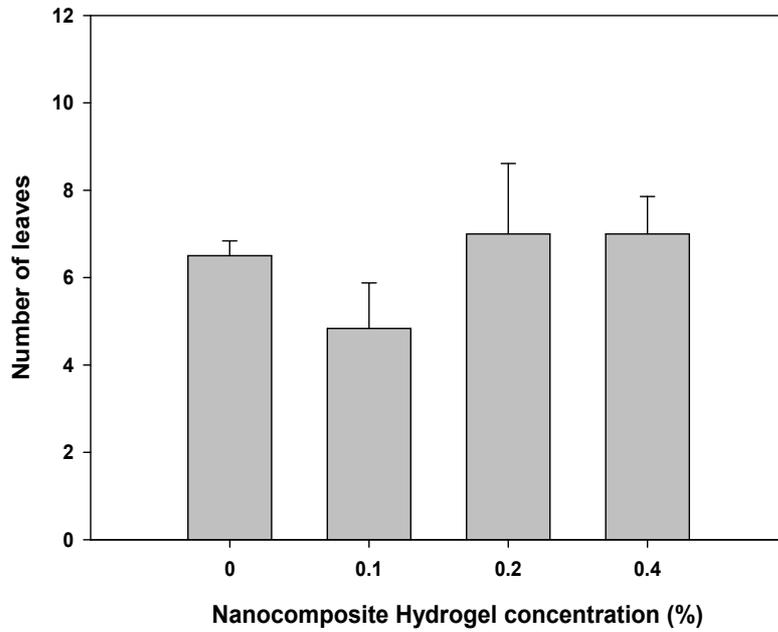


그림 293. 하이드로겔 농도에 따른 엽수 차이

- 엽수 항목에서는 하이드로겔 농도에 따른 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

○ 뿌리 길이

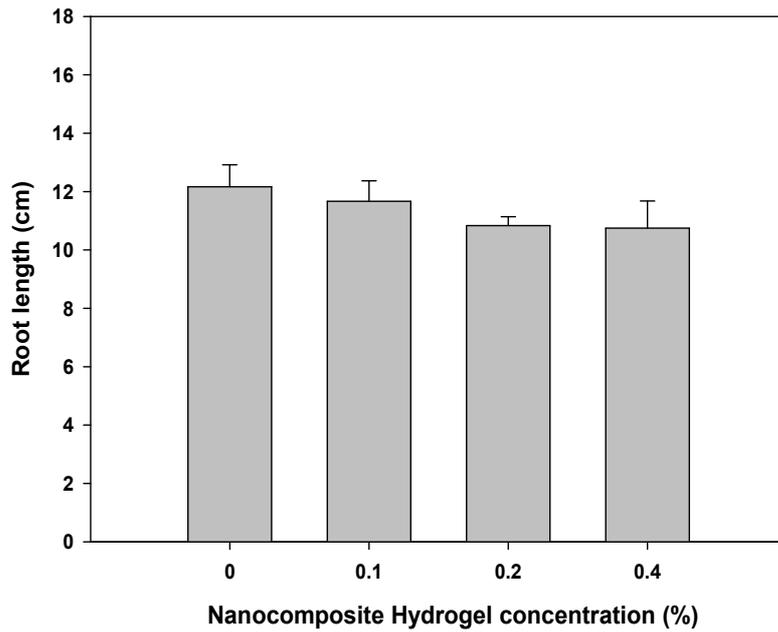


그림 294. 하이드로겔 농도에 따른 뿌리 길이 차이

- 뿌리 길이의 경우 처리구 간 유사한 값으로 나타났으며 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

○ 생체중

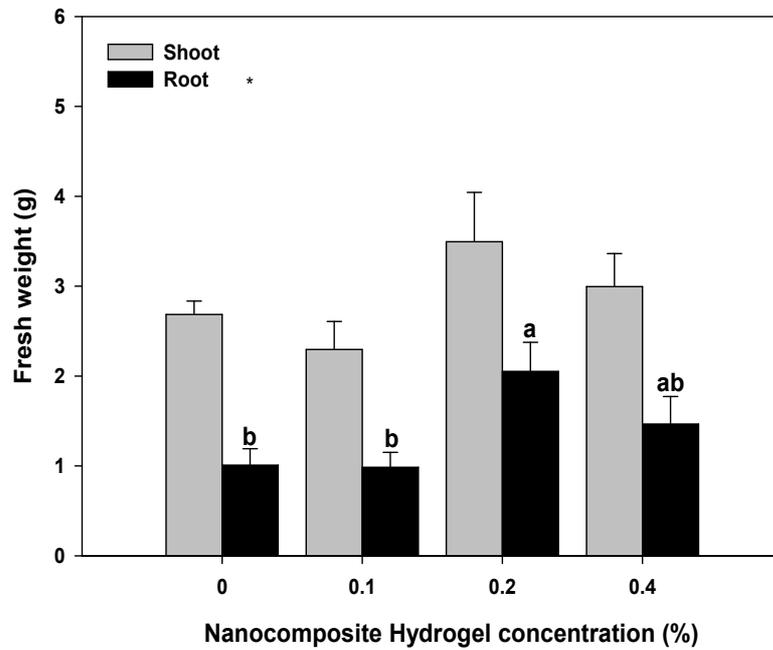


그림 295. 하이드로겔 농도에 따른 생체중 차이

- 지상부와 지하부의 생체중을 조사하였을 때 지상부에서는 0.2%와 0.4% 처리구에서 높게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았음. 지하부의 경우 0.2% 처리구에서 통계적으로 가장 높게 나타났고 0.4 > 0.1 = 0 % 순으로 높게 나타났음.

○ 건물중

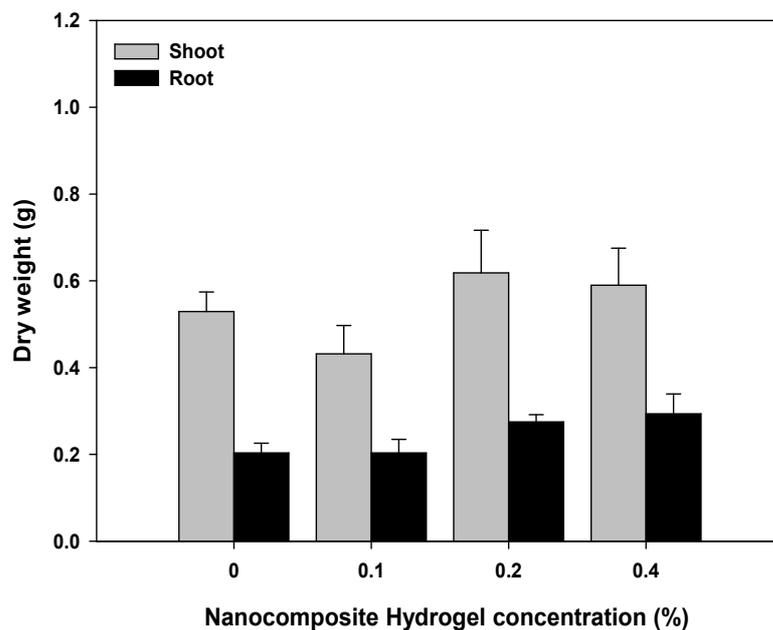


그림 296. 하이드로겔 농도에 따른 건물중 차이

- 건물중의 경우 지상부와 지하부 모두 0.2%와 0.4% 처리구에서 높게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이가 나지 않았음.



그림 297. 하이드로겔 농도 처리에 따른 깻잎 수확 사진

나. 분사형 하이드로겔 농도 차이에 따른 백일홍 재배실험



그림 298. 성묘 상태의 백일홍



그림 299. 백일홍 재배실험 진행 사진

- 심한 토양 수분 환경의 경우 실험시작에서 포화시킨 이후 계속 건조상태를 유지하였으며, 동일하게 자연 강우 및 외부 환경조건을 상대적으로 받지 않는 유리온실에서 진행하였음. 각 화분의 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC)은 FDR 방식의 토양수분센서인 TEROS 12(Meter Inc.) sensor를 통해 측정하였음. 측정된 전기전도도(EC)와 토양수분함량(VWC) 측정치는 Data logger(CR1000; Campbell Scientific, Logan, UT, USA) 내에 저장되게 하였으며 각 처리당 센서를 3개씩 배치하였음. 분사형 하이드로겔은 농도별(0, 0.2, 0.4, 0.8%)처리를 하였으며, 포화 이후 건조 양상을 확인하였음. 실험은 10월 13일부터 11월 20일까지 진행하였으며 식물의 초장, 초폭, 꽃 수, 뿌리 길이, 생체중, 건물중을 측정하였음.

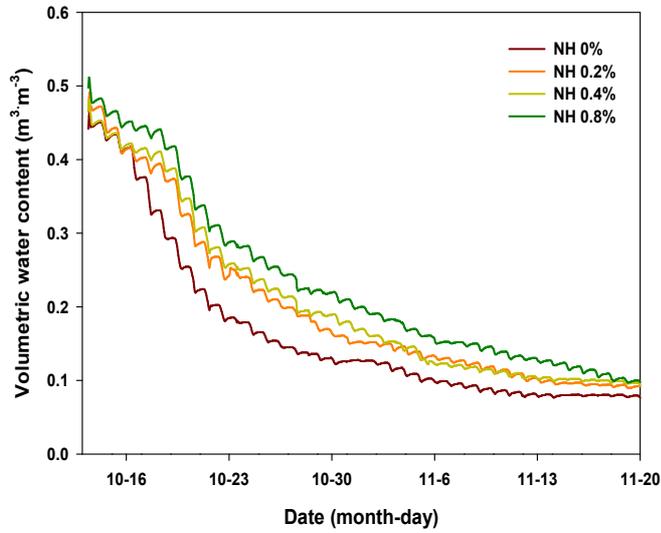


그림 300. 하이드로겔 농도에 따른 토양수분함량

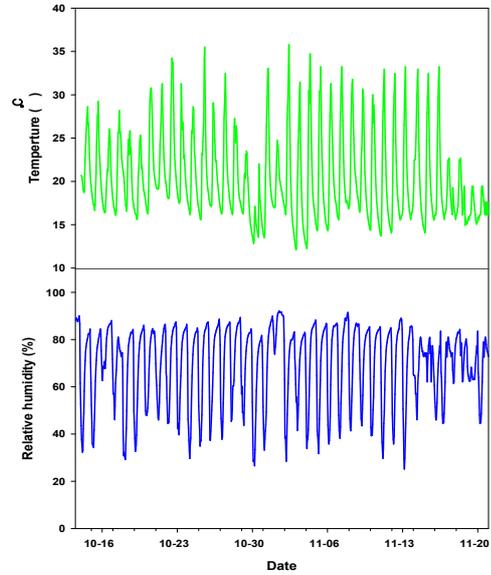


그림 301. 온실 내 온도 및 습도

○ 초장

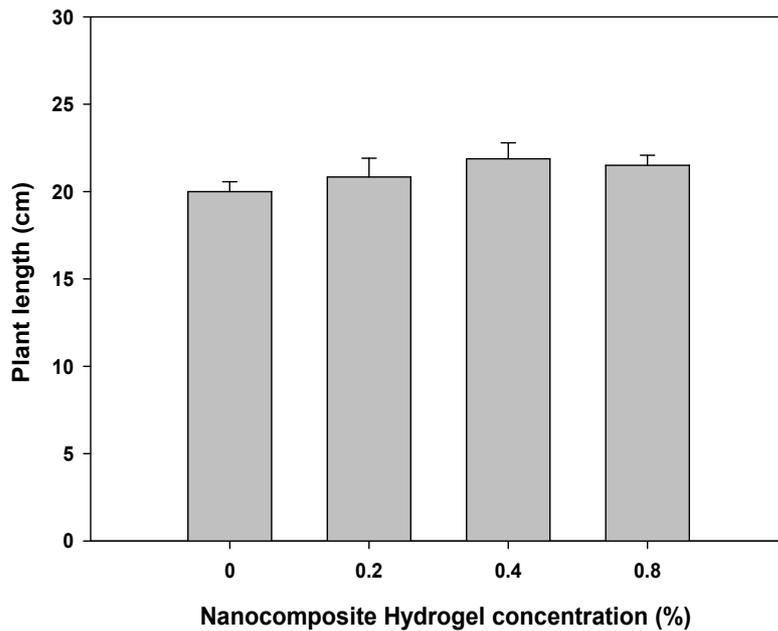


그림 302. 하이드로겔 농도에 따른 초장 차이

- 초장 항목에서는 처리구 간 유사한 값으로 나타났으며 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

○ 초폭

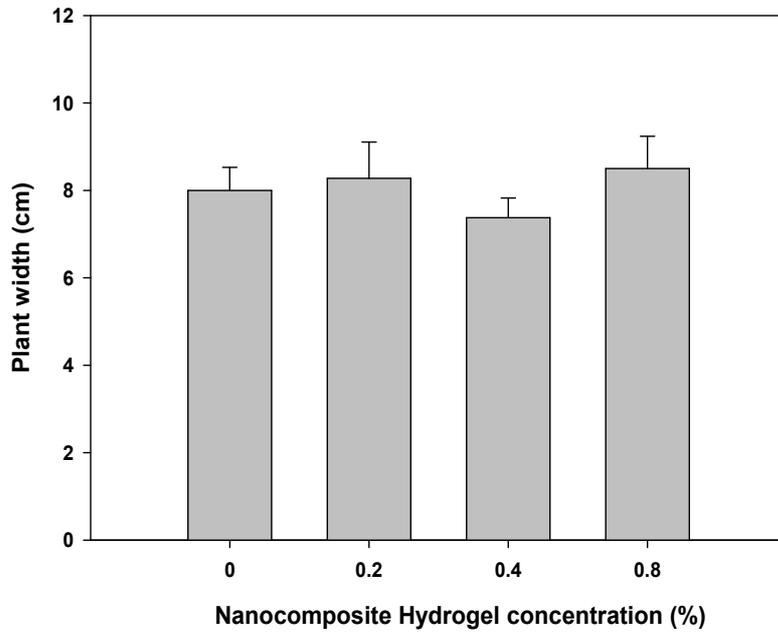


그림 303. 하이드로겔 농도에 따른 초폭 차이

- 초폭 항목에서는 처리구 간 통계적인 차이가 나타나지 않았으나, 0.4%를 제외한 나머지 처리구에서 높게 나타났음.

○ 뿌리 길이

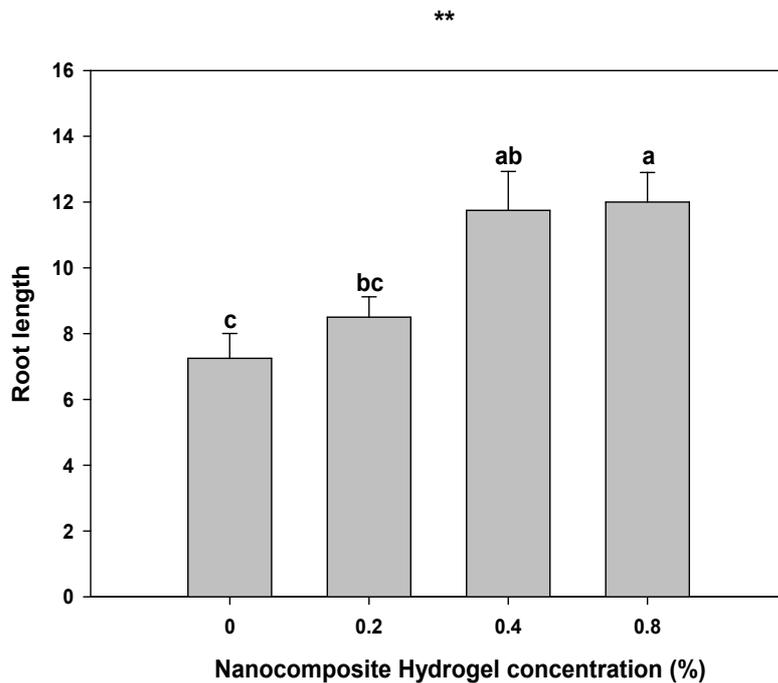


그림 304. 하이드로겔 농도에 따른 뿌리 길이 차이

- 뿌리 길이의 경우 0.8% 처리구에서 가장 높았으며 0.4 > 0.2 > 0 % 순으로 높게 나타났음.

○ 꽃 수

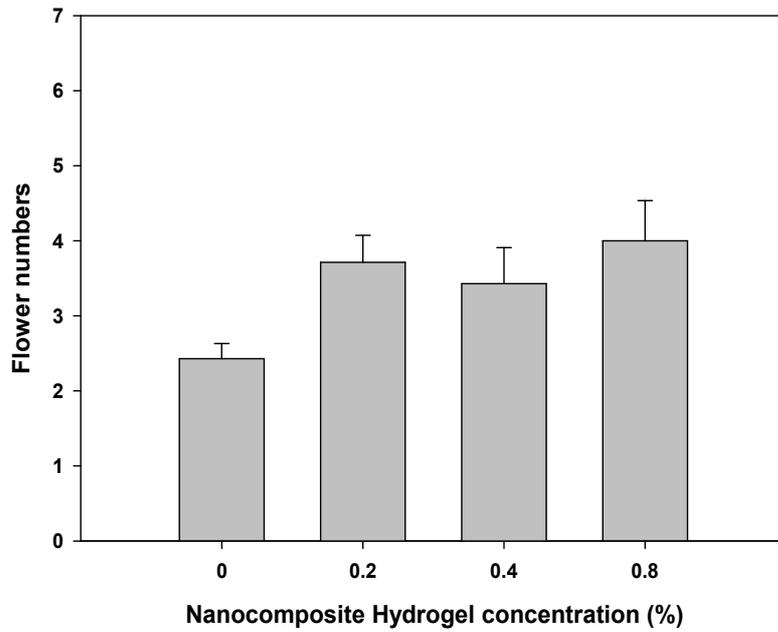


그림 305. 하이드로겔 농도에 따른 꽃 수 차이

- 꽃 수 항목에서는 0.2 와 0.8% 처리구에서 값이 가장 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았음.

○ 생체중

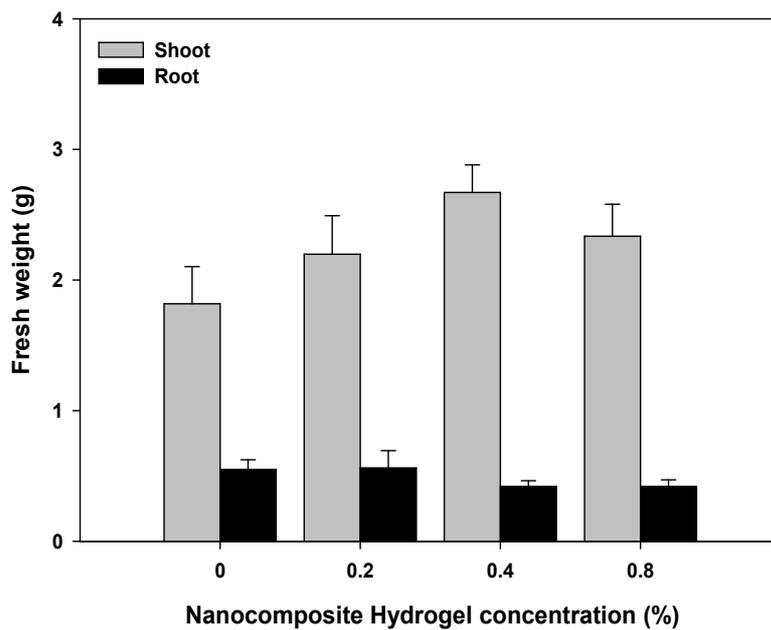


그림 306. 하이드로겔 농도 처리에 따른 생체중 차이

- 지상부의 생체중을 조사하였을 때 0.4% 처리에서 가장 높게 나타났으나 통계적인 차이는 나타나지 않았음. 지하부의 경우 처리구 간 유사한 값으로 나타났으며 통계적인 차이는 나타나지 않았음.

○ 건물중

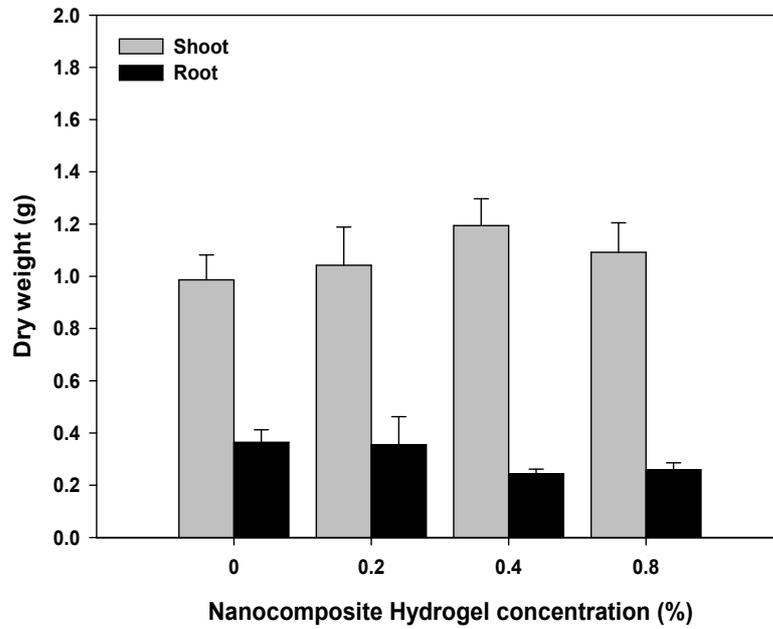


그림 307. 하이드로겔 농도 처리에 따른 건물중 차이

- 지상부와 지하부의 건물중 모두 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았음.

○ 전기전도도(EC)

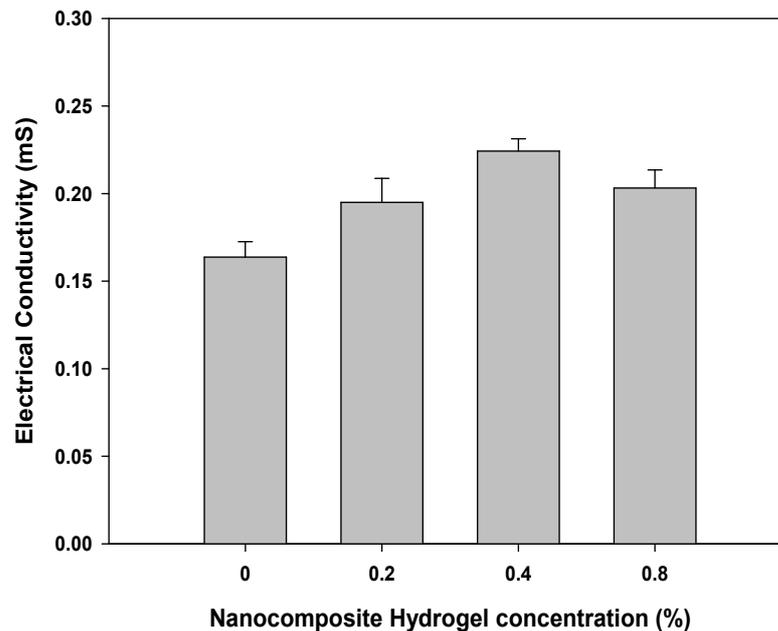


그림 308. 하이드로겔 농도 처리에 따른 전기전도도(EC) 차이

- 하이드로겔 농도 처리에 따른 전기전도도(EC) 조사 결과 0.4%에서 가장 높게 나타났으며 0.8 > 0.2 > 0 % 순으로 높게 나타났음.

○ 엽록소 형광(Fm/Fo)

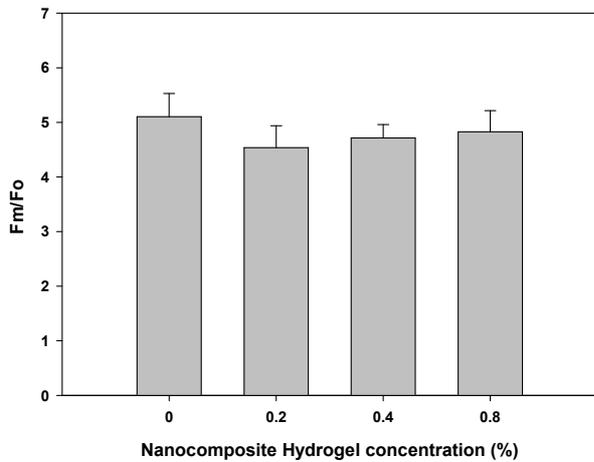


그림 309. 3주차 엽록소 형광(Fm/Fo) 측정값

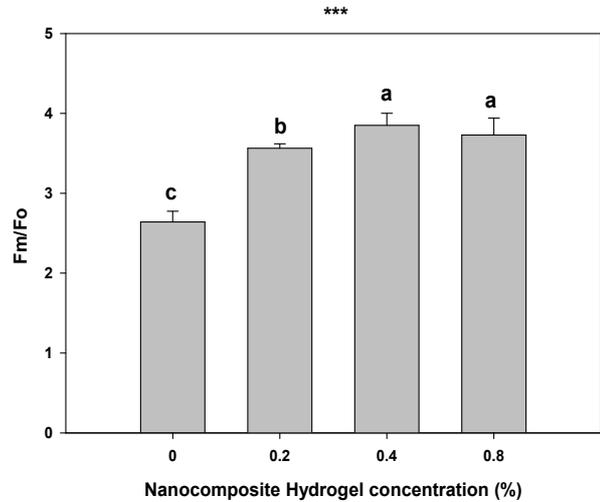


그림 310. 5주차 엽록소 형광(Fm/Fo) 측정값

- 포화이후 3주차 Fm/Fo에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 5.10, 4.53, 4.71, 4.82로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 Fm/Fo에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 2.64, 3.56, 3.85, 3.72로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(Fv/Fo)

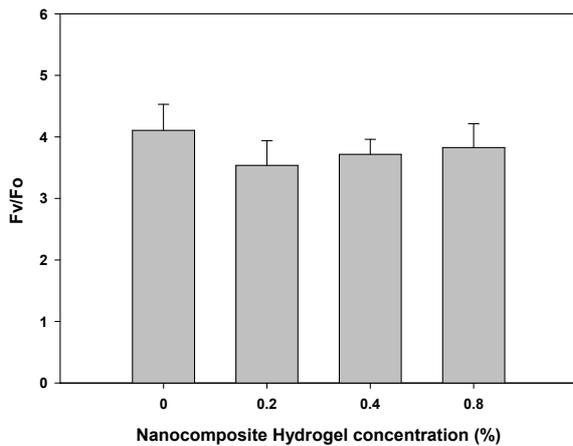


그림 311. 3주차 엽록소 형광(Fv/Fo) 측정값

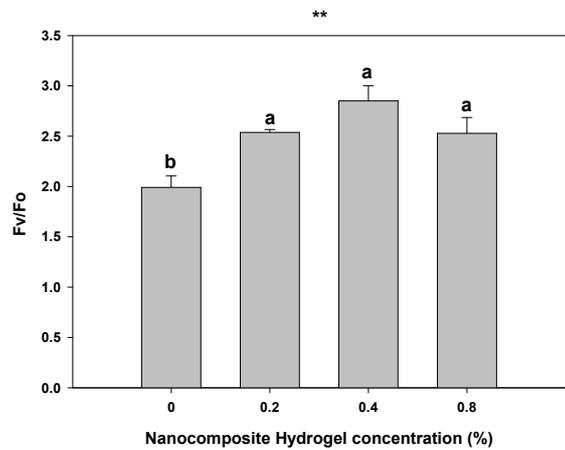


그림 312. 5주차 엽록소 형광(Fv/Fo) 측정값

- 포화이후 3주차 Fv/Fo에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 4.10, 3.53, 3.71, 3.82로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 Fv/Fo에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 1.99, 2.53, 2.85, 2.52로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(Fv/Fm)

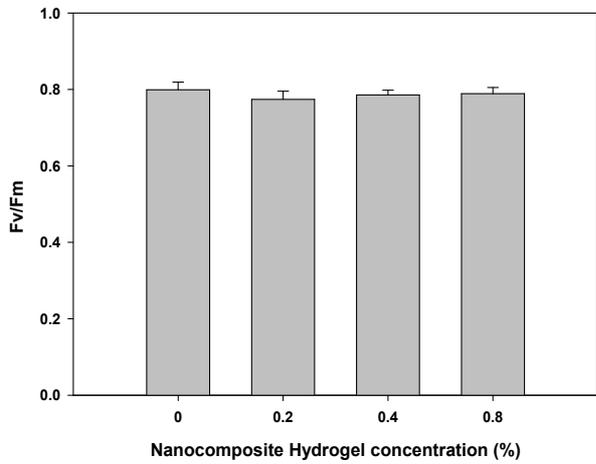


그림 313. 3주차 엽록소 형광(Fv/Fm) 측정값

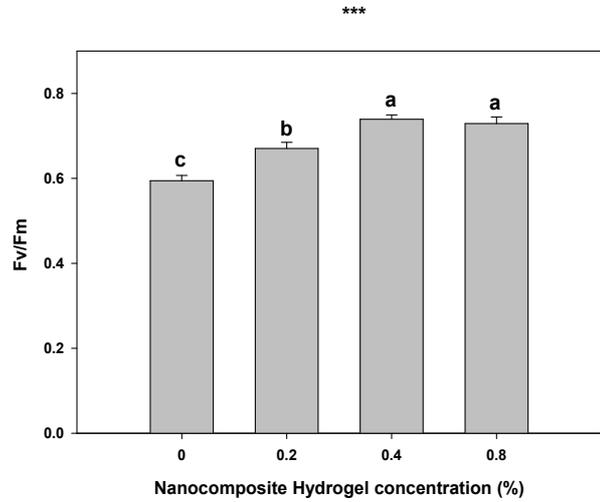


그림 314. 5주차 엽록소 형광(Fv/Fm) 측정값

- 포화이후 3주차 Fv/Fm에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 m³·m⁻³에서 각각 0.79, 0.77, 0.78, 0.78로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 Fv/Fm에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8m³·m⁻³에서 각각 0.59, 0.67, 0.73, 0.72로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(Pi_Abs)

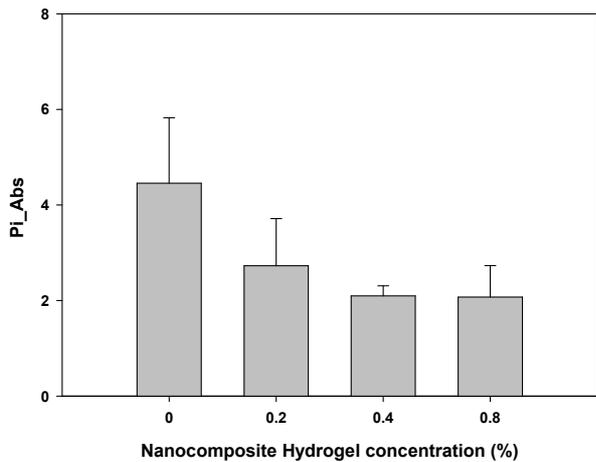


그림 315. 3주차 엽록소 형광(Pi_Abs) 측정값

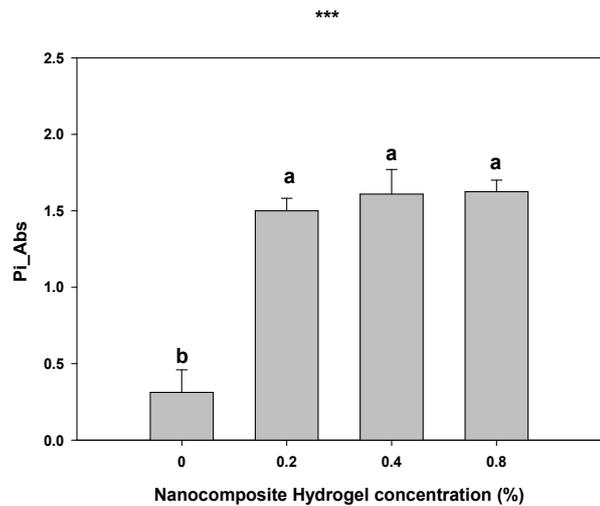


그림 316. 5주차 엽록소 형광(Pi_Abs) 측정값

- 포화이후 3주차 Pi_Abs에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 m³·m⁻³에서 각각 4.45, 2.72, 2.09, 2.07로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 5주차 Pi_Abs에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8m³·m⁻³에서 각각 0.31, 1.50, 1.60, 1.62로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(TR_o/RC)

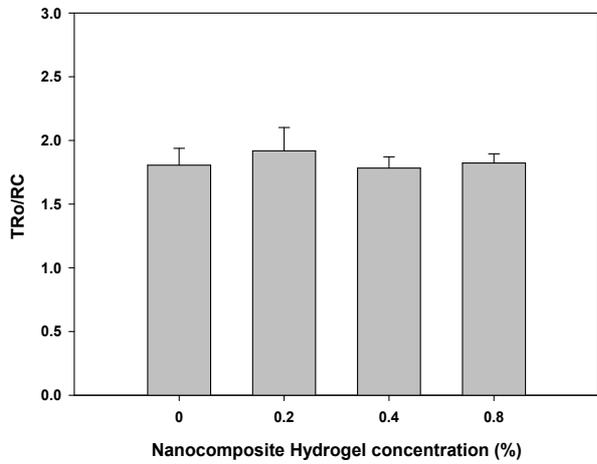


그림 317. 3주차 엽록소 형광(TR_o/RC) 측정값

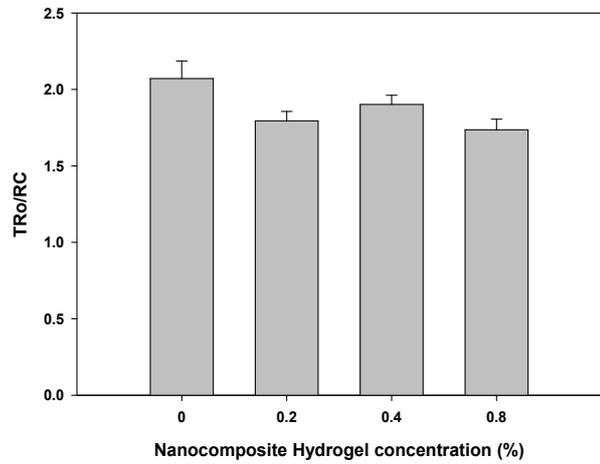


그림 318. 5주차 엽록소 형광(TR_o/RC) 측정값

- 포화이후 3주차 TR_o/RC 에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 1.80, 1.91, 1.78, 1.82로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 TR_o/RC 에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 2.07, 1.79, 1.90, 1.73로 하이드로겔 농도에 따라 통계적인 차이가 나타나지 않았음.

○ 엽록소 형광(ET_o/RC)

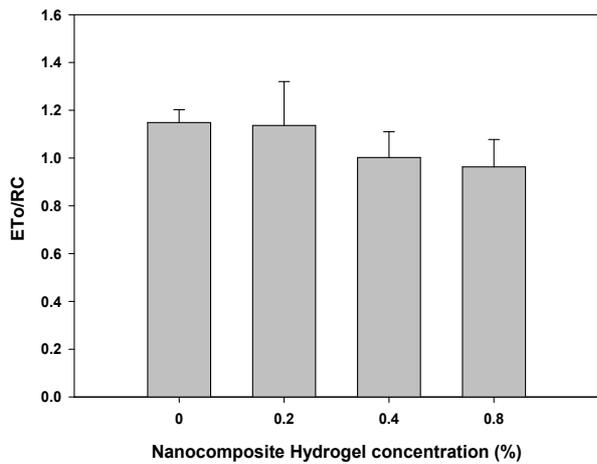


그림 319. 3주차 엽록소 형광(ET_o/RC) 측정값

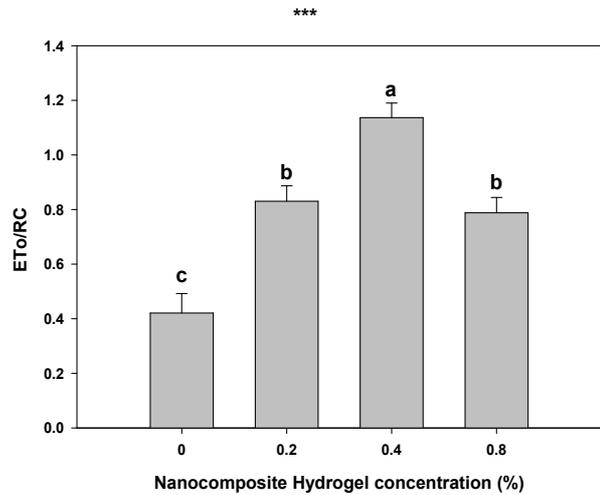


그림 320. 5주차 엽록소 형광(ET_o/RC) 측정값

- 포화이후 3주차 ET_o/RC 에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 1.14, 1.13, 1.00, 0.96로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 ET_o/RC 에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 0.42, 0.83, 1.13, 0.78로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(DIo/RC)

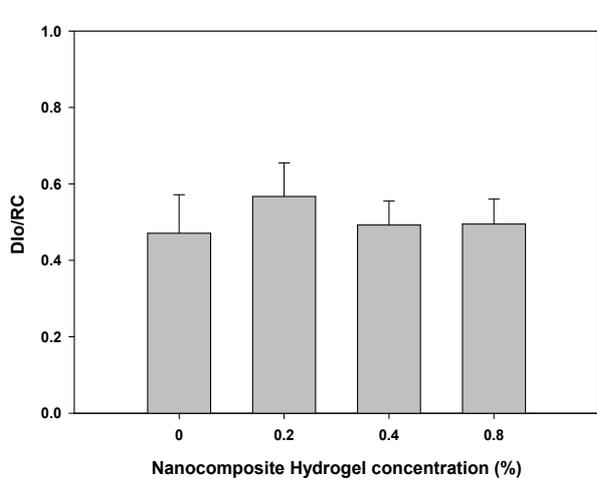


그림 321. 3주차 엽록소 형광(DIo/RC) 측정값

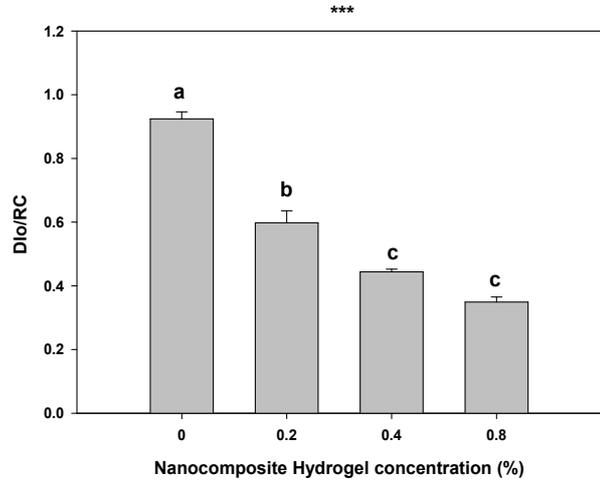


그림 322. 5주차 엽록소 형광(DIo/RC) 측정값

- 포화이후 3주차 DiO/RC에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 0.47, 0.56, 0.49, 0.49로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 DiO/RC에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 0.92, 0.59, 0.44, 0.34로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 엽록소 형광(ABS/RC)

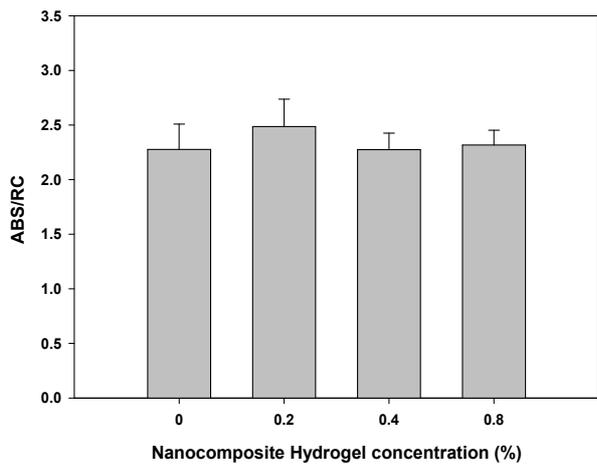


그림 323. 3주차 엽록소 형광(ABS/RC) 측정값

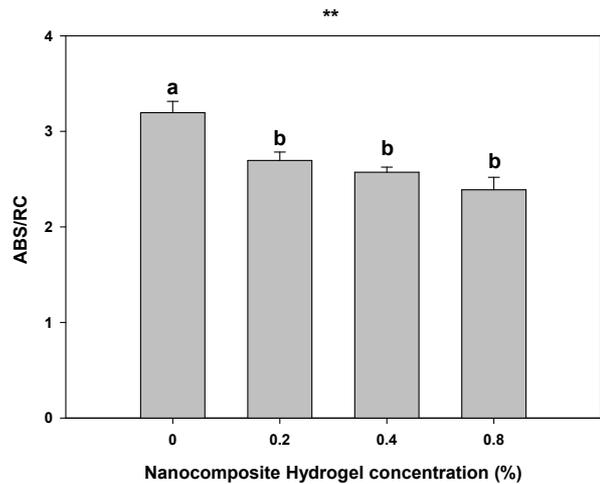


그림 324. 5주차 엽록소 형광(ABS/RC) 측정값

- 포화이후 3주차 ABS/RC에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 2.27, 2.48, 2.27, 2.31로 하이드로겔 농도에 따라 높은 값을 나타냈음. 통계적인 차이가 나타나지 않았음. 5주차 ABS/RC에서의 실험에서 결과는 VWC 0, 0.2, 0.4, 0.8 $m^3 \cdot m^{-3}$ 에서 각각 3.19, 2.69, 2.57, 2.38로 하이드로겔 농도에 따라 유의적으로 높은 값을 나타냈음.

○ 결과 요약

- 본래의 3차년도 계획은 분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명 이었으나, 분사형 하이드로겔의 제조특성 및 초기실험결과 유실로 인한 문제점이 발견 되어 필드가 아닌 실내(온실)에서 실험이 진행되었음.
- 분사형 하이드로겔의 경우 입자형(고체) 하이드로겔과 다르게 액체의 형태로 되어 있는 하이드로겔을 수분을 공급하였을 때 고체화를 이루어지는 것을 목표로 하였으나, 원하는 위치나 고체화에 있어 불안정한 요소들이 발견되어 상토와 혼합하고 포화시켜 고체화를 인위적으로 시킨 이후에 실험을 진행하였음.
- 1,2년차의 입자형 하이드로겔의 팽윤도와 다르게 분사형 하이드로겔의 경우 용토와 혼합하는 수준이나 비율등 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되며, 상추와 깻잎의 실험의 결과에서 토양수분의 차이가 발생하였고 생육의 차이는 크지 않으나 농도가 높을수록 생육이 좋아지는 경향을 보였음.
- 백일홍의 실험에서 포화이후에 분사형 하이드로겔의 배합비율(부피비)에 따라서 건조처리에 따라 생육을 비교하였을 때, 개화직후의 묘를 사용하였기 때문에 생육의 차이는 크지 않았으나 토양수분의 차이와 식물이 스트레스를 받았을 때 나오는 엽록소 형광값에서 대조구에 비해 스트레스지표들이 낮게 나타난 것을 확인하여, 최적비율과 유실문제등을 해결해나아가면 충분히 상업화하는데 문제가 없을 것으로 판단됨.
- 심한 토양수분 상태에서 식물의 미치는 영향을 보았을 때, 깻잎의 경우 약 4주의 건조기간에 대한 조건에서는 분사형 하이드로겔의 배합비율에 대해서 농도가 높을수록 생육이 좋아지는 경향을 보아 심한 토양수분 상태에서 식물이 생육 및 토양수분을 유지할 수 있도록 도와주는 역할을 할 것으로 판단됨.
- 또한 백일홍의 약 8주의 건조기간에 대한 심한 토양수분 상태에서 엽록소 형광값에서 심한 토양수분 조건에서 스트레스를 많이 받은 것으로 나타났으며, 뿌리길이에서도 통계적인 차이가 나타나 분사형 하이드로겔의 배합비율에 대해서 농도가 높은 조건에서 식물이 생육 및 토양수분을 유지할 수 있도록 도와주는 역할을 할 것으로 판단됨.

라. [위탁연구기관 _ 강원대학교 _ 2단계 1차년도]

개발내용	구분	연구개발기간												진도 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
하이드로겔 현장 처리 효율 조사(계속) 및 지속성 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가			→	→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가				→	→	→	→	→	→	→	→	*	*	100
총 진도율													100	
* → 로 진도표기														

◆ 3년차(2023년) 연구개발과제 수행 과정

□ 하이드로겔 현장 처리 효율 조사 및 지속성 평가

- 2년차에 수행하였던 현장 처리구를 대상으로 하이드로겔 지속성 평가를 위한 작물 재배 및 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사 연구를 수행함 (그림 308-309)

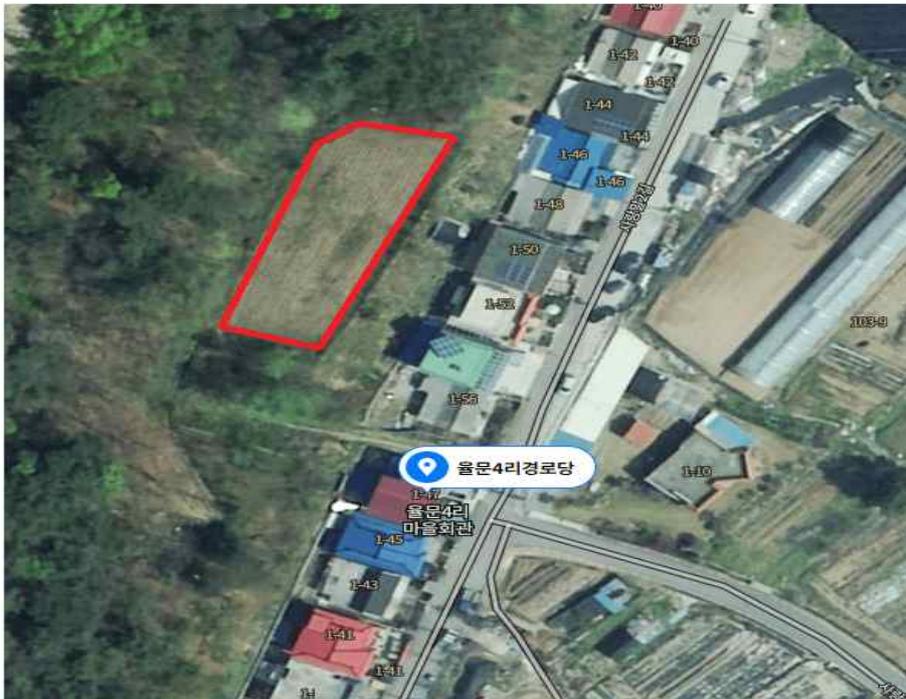


그림 325. 하이드로겔 실증 실험 지역 (2단계 1차년도 춘천시 울문리)

- 하이드로겔을 추가 처리하지 않았지만, 토양 양분은 농촌진흥청의 시비처방 방법에 따라 NPK 시비량을 산출하여 요소 12 kg/10a, 용성인비 13 kg/10a, 황산칼륨 4.8 kg/10a을 처리하였음.
- 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성은 표 14와 같은 방법에 준하여 분석하였음.
- 재배 시험에 사용된 작물은 상추로, 4월 28일에 묘를 정식하여 49일 재배 후 6월 16일에 수확하였음



그림 326. 현장 처리구 상추 재배(좌: 묘 정식 후, 우: 수확 시기)

□ 극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가

- 작물: 상추 (*Lactuca sativa*)
- 수분함량 : 15%, 25%, 35% 설정
- 하이드로겔 처리량: 0%(대조구), 0.25%, 0.5%, 1% 처리
- 반복수: 3반복
- 재배기간: 49일(8주)
- 토양: 500g 처리 (강원도 춘천시 울문리 밭토양 화학성, 표 49)
- 가뭄조건: 1일차 수분함량 전체 30%(적정 토양 수분 함량 기준) 2일 경과 후 각각의 수분함량에 맞게 임의적인 수분 공급(그림 310)
- 분석방법: 생중량 측정 후 1g씩 상추를 채취하여 L-proline을 측정



그림 327. 초기 정식 후 가뭄조건 하이드로겔 처리 효과 평가 사진

표 49. 가뭄 조건(Pot시험) 초기 토양 특성

Site	pH (1:5)	EC dS m ⁻¹	OM* g kg ⁻¹	avil.-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	CEC** cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Soil Texture
Chuncheon	5.5±0.02	0.32±0.07	13.9±0.3	221.4±37.2	5.88±0.24	Sandy loam

□ 하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가

- 3년차에 진행한 실증 실험 결과를 바탕으로 하이드로겔 처리에 따른 토양 보전 (유실방지), 온실가스 배출 조절, 생물 다양성 증진 등의 토양 생태계 서비스의 개선 효과를 정량적으로 평가하였음
- 각 생태계 서비스에 대한 토양 기능을 평가하는 토양 특성의 모델 지수값 (0.0-1.0)을 산술 평균하여 토양 기능과 생태계 서비스에 대한 값을 산정하였음
- 평가 항목 중 유효수분 함량은 측정하지 못하여, 평가 항목에서 제외하고, 값을 산정하였음

표 50. 토양 생태계 기능 점수 도출 기준

생태계 서비스 (Ecosystem Service)	토양 기능 (Soil function)	토양 특성 (Soil Properties)											
		밀도	Sand	Clay	유효수분	pH	EC	유기물, 탄소	유효인산	CEC	토양 호흡	토양 효소	점수
공급 (Provisioning)	바이오매스 생산	L	O	O	M	O	O	M	O	M	M	M	11개 총점/11
	수자원 함량	O	O	O	M			M					5개 총점/5
조절 (Regulating)	기후 & 가스 조절	O	O	O	O			M			M		6개 총점/6
	유실 & 홍수 조절	L	O	O	O			M					5개 총점/5
	탄소 고정	O	O	O	O			M					5개 총점/5
	수질 정화	O	O	O	M			M			M	M	7개 총점/7
지지 (Supporting)	양분 순환	L	O	O	O	O	O	M	O	M	M	M	11개 총점/11
	서식지 공급							M			M	M	3개 총점/3

표 51. 토양 생태계 기능 평가 유형

	More is better (M)	Optimum (O)	Less is better (L)
Model graph			
Soil properties	유효수분, 유기물, 토양호흡, 토양효소	pH, EC, 유효인산, sand, clay	용적밀도

◆ 3년차(2023년) 연구개발과제 수행 결과

□ 하이드로겔 현장 처리 효율 조사 및 지속성 평가

○ 하이드로겔 처리에 따른 상추 재배 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화

- 2단계 1차년도에 수행한 연구는 2차년도 하이드로겔을 처리했던 춘천 지역에서 추가 하이드로겔 처리 없이 상추를 재배하였으며, 재배 후 토양의 물리, 화학, 생물학적 분석을 수행하였음
- 1단계 2차년도에 하이드로겔 처리 후 2단계 1차년도에 상추 재배 토양의 용적밀도 및 수분 함량 변화 결과는 그림 311와 같음
- 전년도 하이드로겔 처리로 인해 토양 용적밀도는 계속적으로 대조구 대비 유의하게 감소하였음
- 실험 기간 중 하이드로겔을 1% 처리한 토양에서, 용적밀도가 1.0 g/cm³ 이하 수준으로 유지되는 것을 확인함
- 따라서 식물 생육에 적절한 수준인 1.3 g/cm³ 수준을 유지하는 0.5% 처리량이 적합한 수준으로 보임
- 하이드로겔 처리로 인한 토양의 수분함량은 대조구 대비 26%, 131%, 357% 상승한 것으로 나타났고, 이는 하이드로겔 처리량을 늘릴수록 토양의 수분함량 증대에 도움이 될 것으로 판단됨

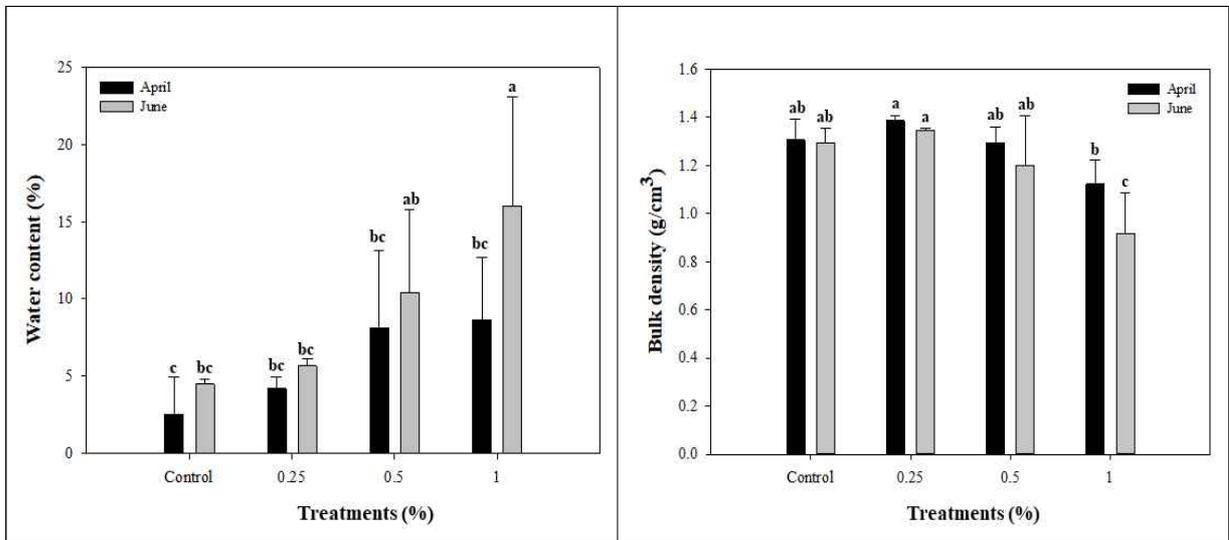


그림 328. 토양의 수분함량, 용적밀도 분석 결과 (좌: 수분함량, 우: 용적밀도)

- 토양의 화학적 특성 모니터링 결과는 그림 312-315와 같으며, 물리적 특성 결과와는 달리 화학적 특성은 처리구간 유의한 차이를 보이지 않았음
- 토양 호흡량은 재배 전후를 비교하였을 때 하이드로겔 처리량 0.5%까지는 유의한 차이를 보이지 않았고, 1% 처리구에서 가장 높은 값을 보였음 (그림 316)
- 하이드로겔 처리량이 증가할수록 토양 호흡 및 urease를 제외한 토양 효소들은 활성도가 유의하게 증가하는 것으로 나타났음 (그림 318-319). 이는 하이드로겔 처리에 의해 용적밀도가 감소하면서 토양 공극이 증가하고, 토양 수분 함량이 증가하면서 미생물 활동이 증가한 것으로 판단됨
- 실증 실험에서 토양의 화학적인 특성은 하이드로겔 처리에 의한 유의미한 변화를 보이지 않았지만, 토양의 수분함량을 포함해 물리성과 생물학적 특성은 하이드로겔 처리에 따른 개선 효과를 확인함

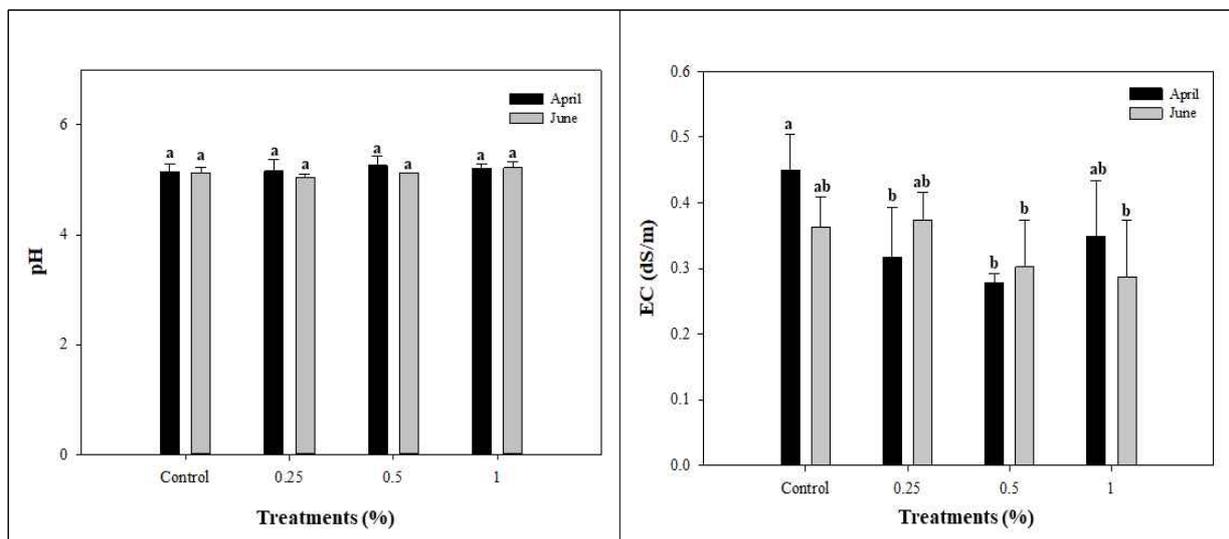


그림 329. 토양의 pH, EC 분석 결과 (좌: pH, 우: EC)

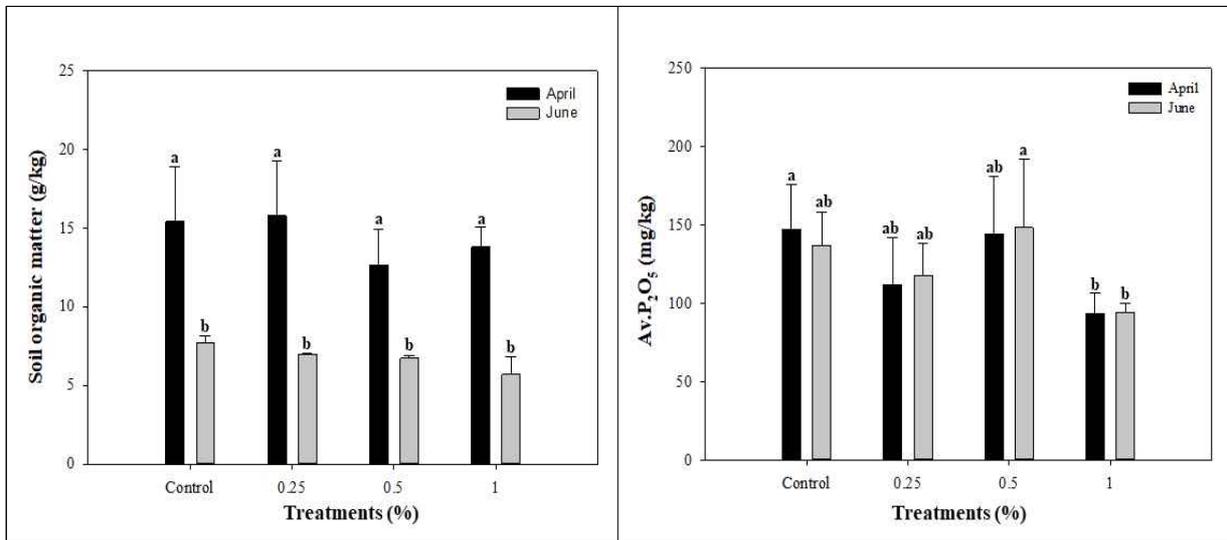


그림 330. 토양의 유기물, 유효인산 분석 결과 (좌: 유기물, 우: 유효인산)

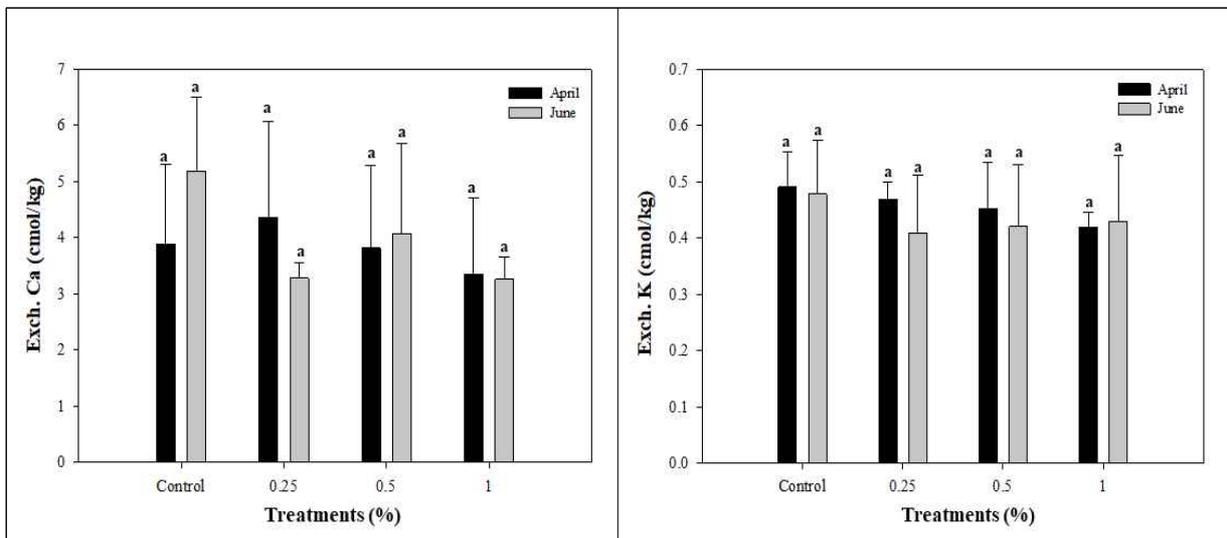


그림 331. 토양의 치환성 양이온 (Ca, K) 분석 결과 (좌: Ca, 우: K)

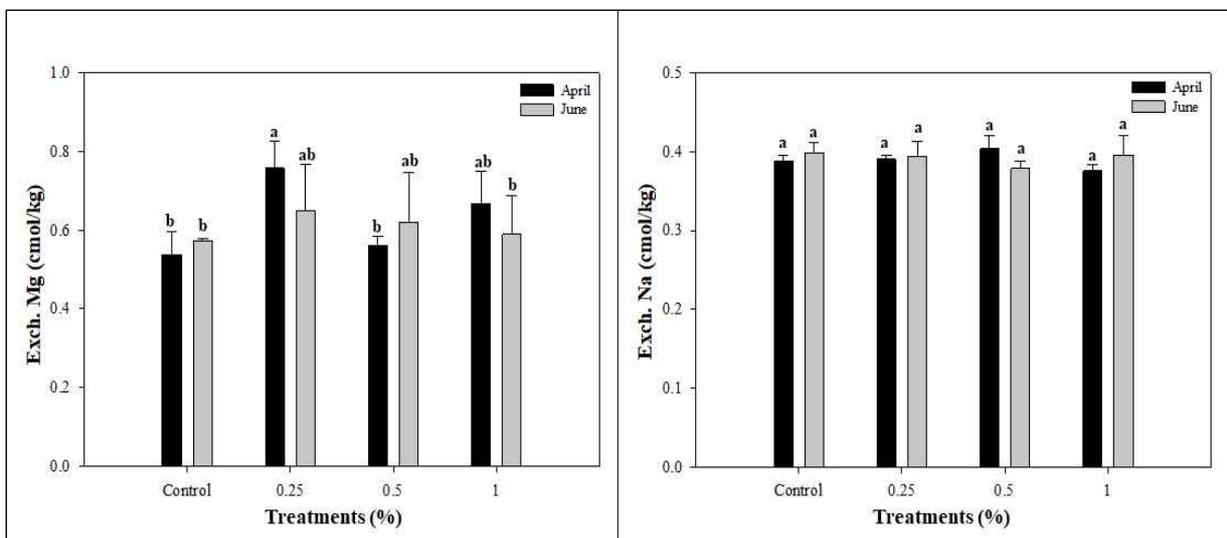


그림 332. 토양의 치환성 양이온 (Mg, Na) 분석 결과 (좌: Mg, 우: Na)

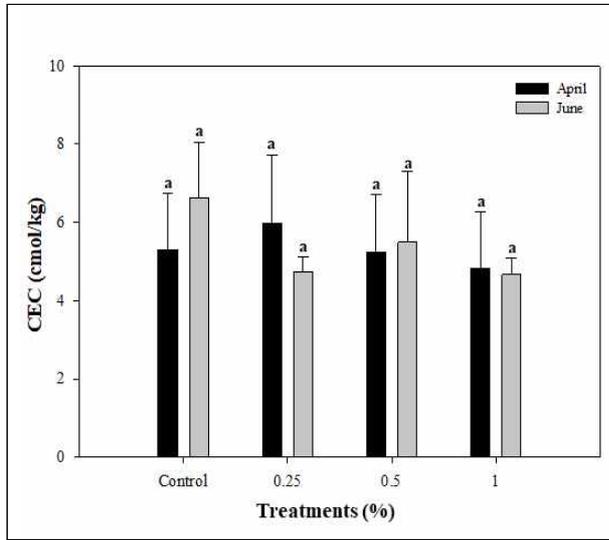


그림 333. 토양의 양이온 치환용량(CEC) 분석결과

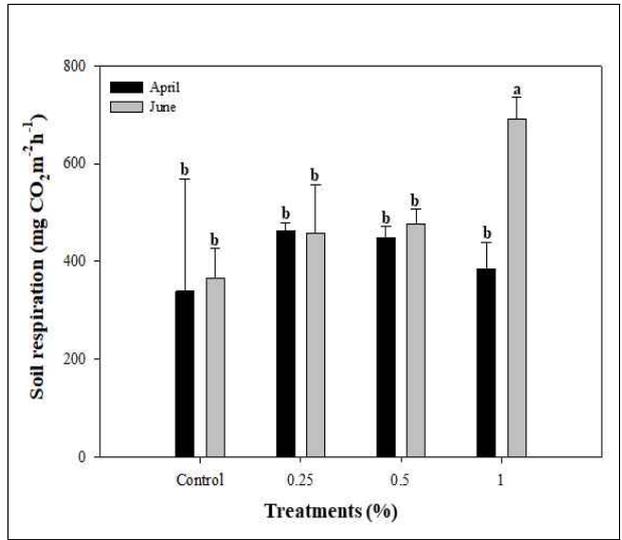


그림 334. 토양의 호흡 분석 결과

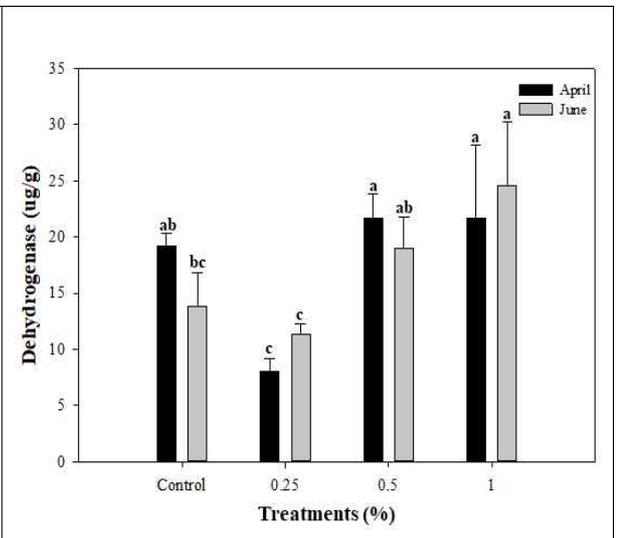
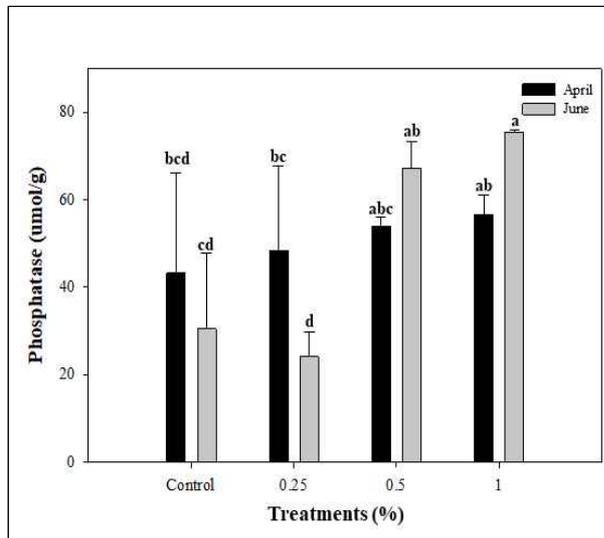


그림 335. 토양의 Phosphatase 효소 및 Dehydrogenase 효소 분석 결과 (좌 : Phosphatase 우 : Dehydrogenase)

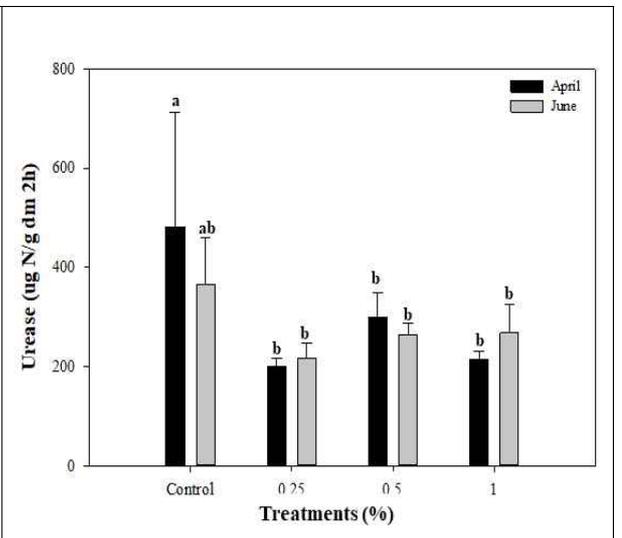
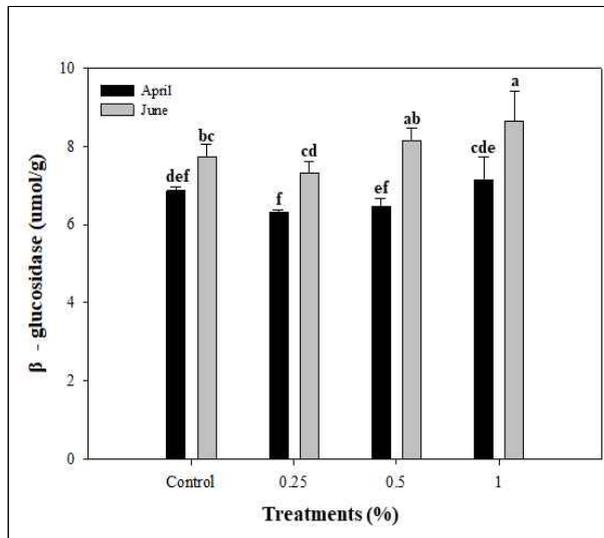


그림 336. 토양 beta-glucosidase 및 Urease 효소 분석 결과 (좌 : beta-glucosidase 우 : Urease)

○ 하이드로겔 처리에 따른 상추의 생육 변화 조사

- 실증 실험에서 하이드로겔을 처리한 토양은 대조구 대비 상추의 생체중이 유의미하게 증가하는 경향을 나타냈으며, 하이드로겔 1% 처리구에서 가장 높은 생체중을 나타냈음 (그림 320)
- 앞서 토양 특성 결과에서 하이드로겔 처리가 토양의 화학적 특성 변화에 미치는 영향은 미비했지만, 2년동안 재배 시험을 진행한 결과, 하이드로겔은 토양의 물리적 특성 개량 효과와 미생물의 활성 증대, 효소 활성의 증가로 인해 작물의 생육에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단됨.
- 또한 1차년도 연구에서 하이드로겔 2% 처리 시 토양의 용적밀도가 일반적인 농경지 토양의 용적밀도보다 상대적으로 낮아 작물 지지력에 문제가 있을 것으로 판단되었기 때문에 2차년도 현장 조건 실험에서는 처리구 조성 시 하이드로겔 처리량을 최대 1%로 설정하였는데, 하이드로겔 1% 처리구에서 식물의 지상부 생체중이 통계적으로 유의미하게 가장 값이 큰 것으로 나타나 하이드로겔 1% 처리가 적절하다고 판단됨
- 하지만 2단계 1차년도 연구에서는 하이드로겔의 처리량이 증가할수록 용적밀도의 감소가 적정범위 이하로 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 하이드로겔을 과다하게 처리하는 것은 식물 뿌리 활착 및 생장에 악영향을 미칠 수 있다고 판단됨.
- 결과적으로 1차년도 실내실험을 통해 하이드로겔 처리가 토양의 용적밀도와 수분함량을 개선하는 효과를 지닌 것을 확인하였고, 2차년도 현장실험에서 토양의 용적밀도 및 수분함량 개선이 토양 호흡과 일부 토양효소 활성과 같은 생물학적 특성에 긍정적 영향을 미쳤으며, 결과적으로 작물 생육이 개선되는 효과를 보였음. 또한 2단계 1차년도 실증실험에서 2차년도와 마찬가지로 토양의 물리성과 생물성 개선이 나타나고, 작물의 생육이 증진되는 것을 확인하였음. 따라서 하이드로겔의 지속력을 확인할 수 있었으며, 2년간의 실험을 통해 하이드로겔이 토양에 긍정적인 영향을 미치고 작물의 생육에 도움을 주는 것으로 판단할 수 있었음

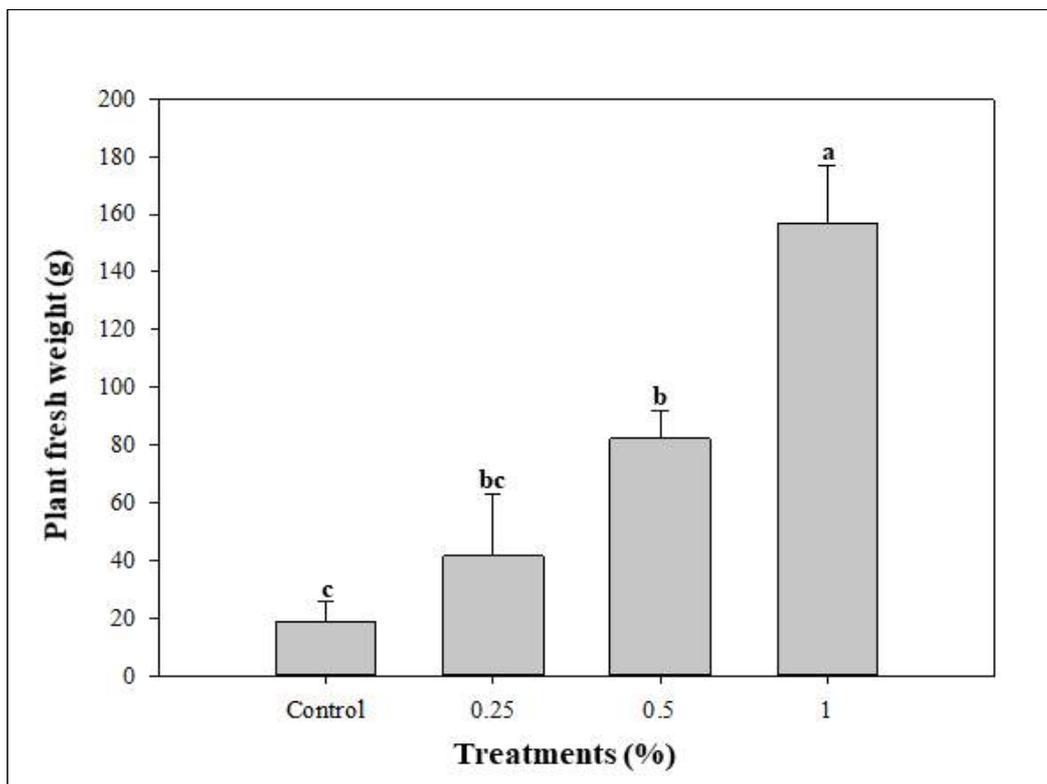


그림 337. 하이드로겔 처리에 따른 상추 생체중 결과

○ 극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가 결과

- 가뭄 조건에서 하이드로겔 처리에 따른 상추 생육 개선 효과를 평가하기 위해 외부 조건을 제한한 환경에서 상추 재배 포트에 물을 인위적으로 공급하여 토양 내 수분이 15, 25, 35%가 되도록 조절했으며, 49일간 상추 재배 후 생중량을 측정한 뒤 이 중 1g씩 채취하여 L-proline을 측정하였음.
- 상추 생중량의 경우 수분함량 15% 처리 시 하이드로겔 1% 처리구가 8.2g으로 가장 높은 생중량을 나타냈으며, 전반적으로 15% 수분함량 조건에서 재배한 상추가 25%와 35% 수분함량 조건에서 재배한 상추보다 상대적으로 낮은 생중량을 나타냄(표 52).
- L-proline 분석 결과, 수분함량 15% 조건에서 0.25%, 0.5% 하이드로겔 처리구는 무처리구와 통계적 차이는 존재하지 않았으며, 1% 하이드로겔 처리구의 경우 0.058 $\mu\text{mol proline/g}$ 을 나타내며 통계적으로 유의한 차이를 나타냄. 수분함량 25% 조건에서는 처리구간 무처리구 대비 큰 차이는 존재하지 않았고, 적정 토양 수분함량 기준 이상인 35%를 처리했을 때에는 1% 하이드로겔 처리구에서 0.014 $\mu\text{mol proline/g}$ 을 나타내며 전체 처리구 중에서 가장 낮은 값을 나타냄(그림 321-323).
- proline은 식물이 스트레스에 처한 식물체에서 함량이 증가하여 세포 내 삼투압 안정, 세포막 보호, 단백질 안정화 등을 통해 각종 염, 수분 스트레스 저항성을 높이는 대표적인 삼투물질로 알려져 있으며, 본 연구에서도 가장 높은 하이드로겔 처리구인 1% 처리구에서 가장 낮은 proline 함량을 나타냄. 따라서 물이 부족한 조건에서 하이드로겔 처리는 식물 건조스트레스 개선에 효과적인 것으로 나타남.

표 52. 수분함량과 하이드로겔 처리량에 따른 상추 생중량(g)

수분함량	15%	25%	35%
하이드로겔 처리량	생중량(g)		
0%	3.09±0.05b	3.30±0.17b	4.02±0.05c
0.25%	3.30±0.73b	3.96±1.11b	4.95±0.70bc
0.5%	5.07±1.21ab	6.69±1.72b	6.08±1.13b
1%	8.19±4.74a	10.23±3.12a	9.62±0.14a

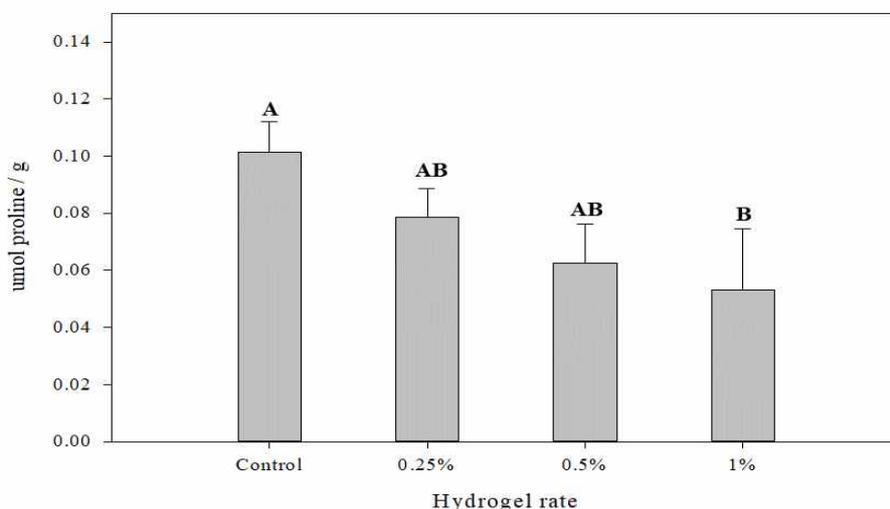


그림 338. 하이드로겔 15% 처리에 따른 L-proline 함량

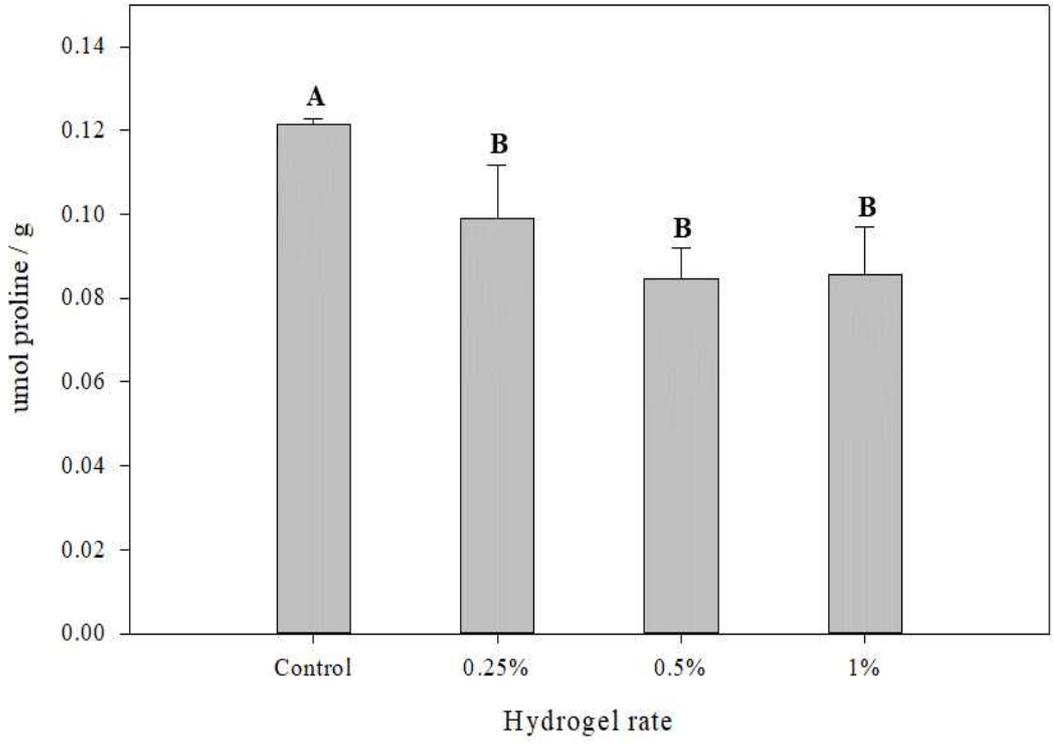


그림 339. 하이드로겔 25% 처리에 따른 L-proline 함량

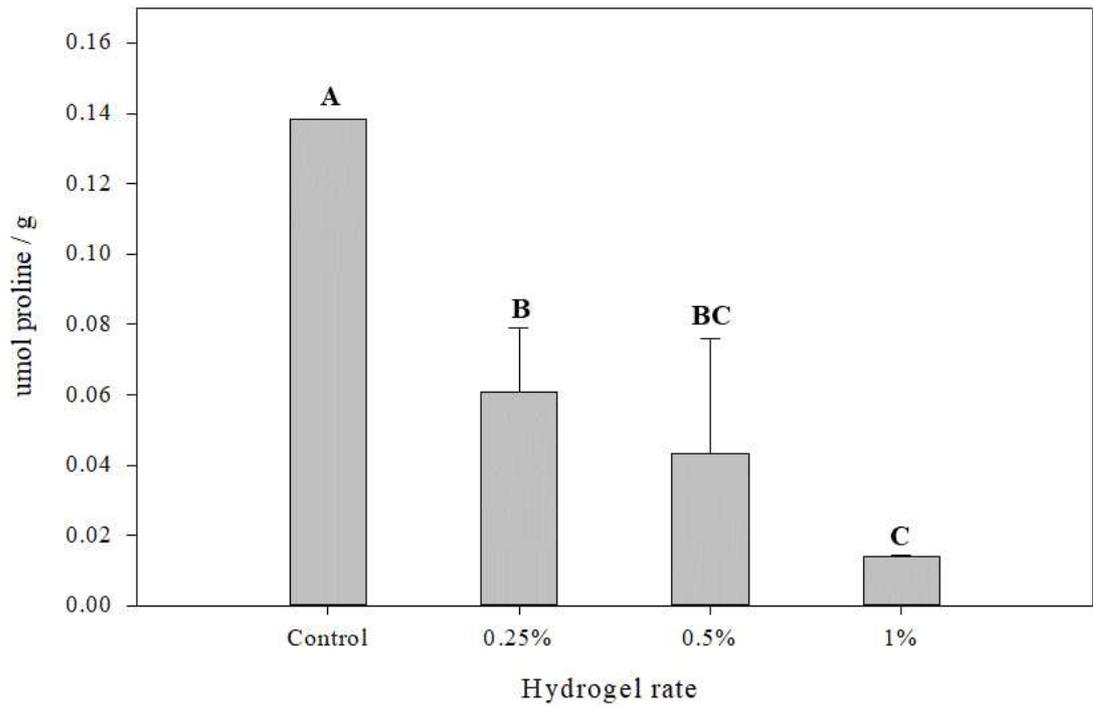


그림 340. 하이드로겔 35% 처리에 따른 L-proline 함량

○ 하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가

- 토양 생태계 서비스 평가 결과는 그림 324-326과 같으며, 2단계 1차년도 상추 재배 전 (April) 과 재배 후 (June) 결과를 평가하였음.
- 토양 생태계 서비스 평가 항목 중 공급 (provisioning)과 지지 (supporting)는 하이드로겔 처리에 의한 뚜렷한 효과는 없는 것으로 나타남 (그림 324, 326)
- 하지만 토양의 조절 기능은 하이드로겔 처리에 의해 증가하는 경향을 보였음 (그림 325)
- 결과적으로 2차년도에 처리한 하이드로겔이 지속적으로 토양의 물리, 생물성에 영향을 끼쳐, 2단계 1차년도 토양 생태계 서비스에 긍정적인 영향을 준 것으로 판단되며. 전체 연구 결과를 종합해볼 때 하이드로겔을 토양에 0.5-1% 처리시 토양의 기능이 가장 극대화 되는 것으로 판단됨. 또한 토양 생태계 서비스 개선으로 작물의 생산성이 증대되고, 토양의 질이 높아짐으로, 하이드로겔이 토양에 긍정적인 영향을 끼치며 0.5-1% 처리량이 적합한 처리량으로 판단됨.
- 토양이 제공하는 생태계서비스 중 조절 (regulating)은 기후와 가스 조절, 토양 유실 및 홍수 조절, 탄소 고정, 수질 정화와 같은 기능을 제공함

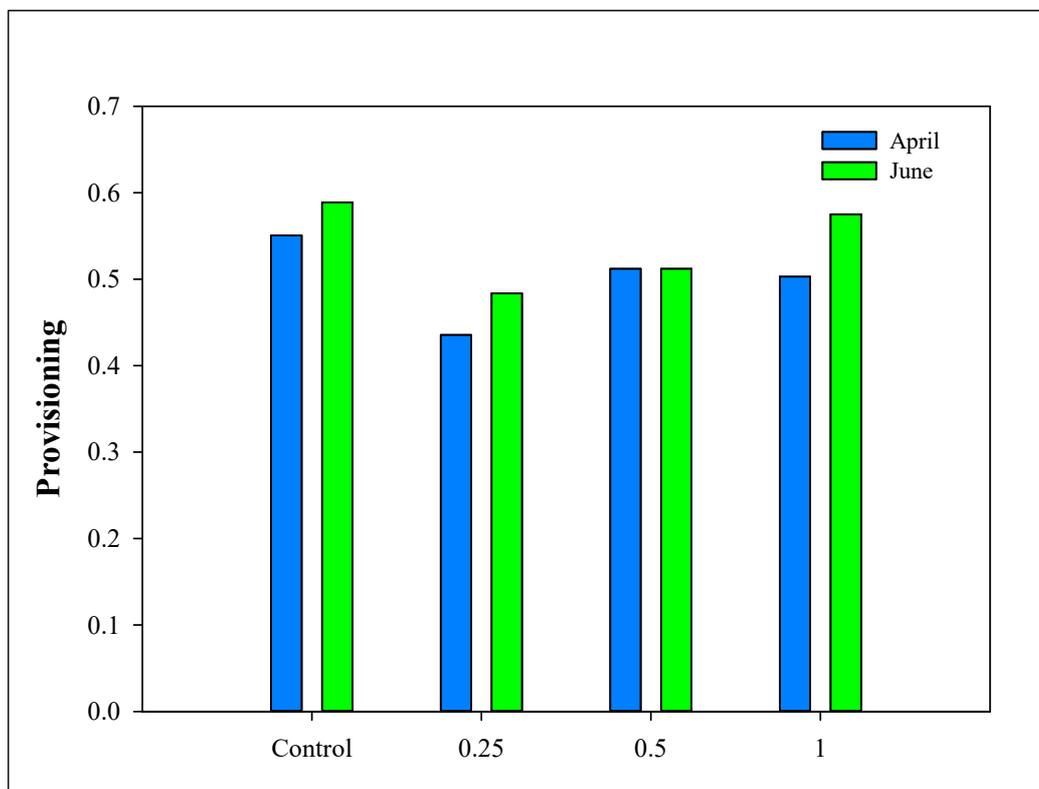


그림 341. 토양 생태계 서비스 평가 중 공급 (provisioning) 결과

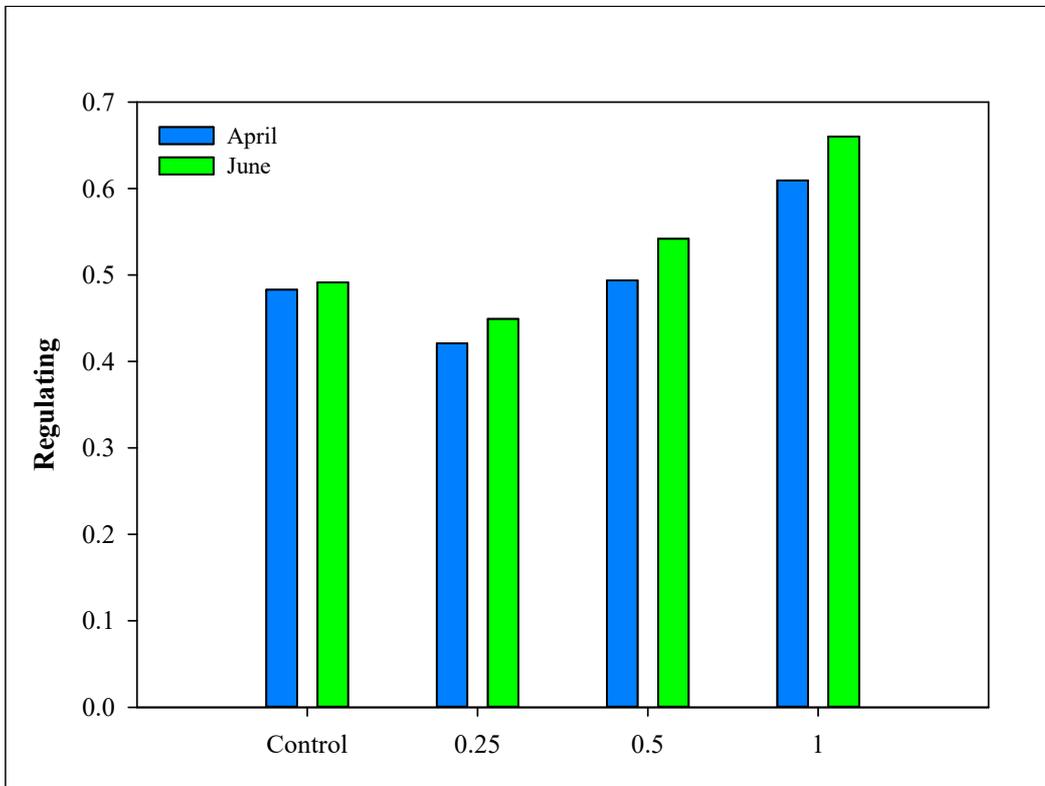


그림 342. 토양 생태계 서비스 평가 중 조절 (regulating) 결과

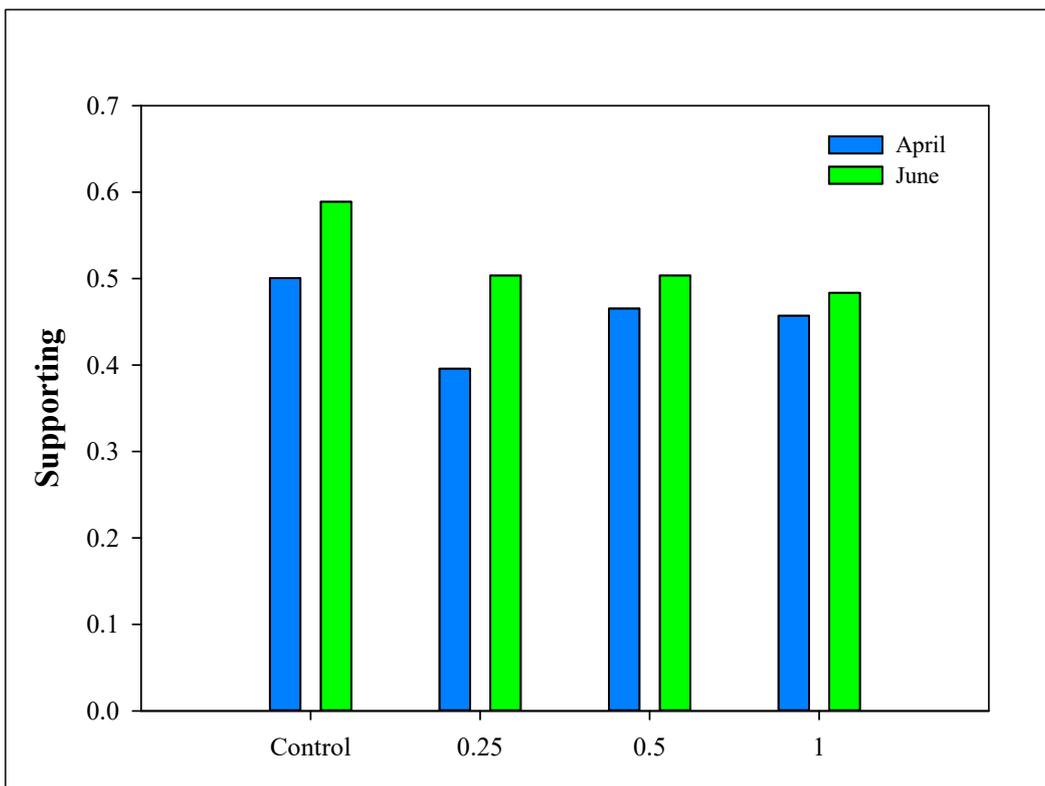


그림 343. 토양 생태계 서비스 평가 중 지지 (supporting) 결과

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 종합적 결론

- 한국화학융합시험연구원의 연구장비를 이용하여 다기능 하이드로겔의 대량생산 제조조건을 확립하였고, 사업화 준비를 위해 국내 원예용상토 업계 1위인 신성미네랄과 비밀유지계약 및 업무협약을 체결하였다.
- 다양한 수분함유량을 가진 입자형 하이드로겔 제조 테스트, 재현성 평가, 물리화학적 서능 분석 등을 진행하여 대량생산을 위한 기초공정을 확립하였다.
- 육묘 및 분화 생산을 위한 하이드로겔 적용비율 구명 육묘의 경우 0.1%적용이 좋은 것으로 나타났으며, 분화의 경우 0.1~0.2% 적용이 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다.
- 토양 수분 50% 유지 실험결과, 다기능 하이드로겔 0.1~0.2% 처리 시 32% 정도 관수가 적게 되었음에도 생육에 영향을 주지 않는 것으로 조사되었다.
- 다기능 하이드로겔의 대량생산을 위해 제조 매뉴얼을 구축하고, 자동화 대량생산 장비를 갖추었다. 또한, 실제 재배 농가에 적용하여 실험을 진행하여 하이드로겔 처리가 증가함에 따라 고추와 토마토의 과실 무게는 약 50%가량 증가하는 것으로 조사되었다.
- 다기능 하이드로겔 입자형은 안정한 구조로 토양에 잔류하여 오랜 기간 그 기능을 유지하기 위한 목적을 가지고 개발하였고, 토양과 식물에 수분을 저장하고 공급하는 기능을 장기간 지속하여 주는 것을 알 수 있었다. 또한 분사(액상)형 하이드로겔을 안정적으로 합성하여 토양에 적용하여 수분공급 및 생육에 관해 확인할 수 있었다.
- 다기능 하이드로겔을 토양에 적용하여 상추 실험 결과 무처리 대비 1% 처리 군에서 생체중이 700% 증가하는 것으로 나타나 하이드로겔 처리 시 작물 생육이 우수한 것으로 나타났다.
- 작물 스트레스 지표인 L-prolin 분석결과 다기능 하이드로겔 처리량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타나 하이드로겔이 수분 스트레스 저감효과가 있는 것으로 확인되었다.
- 나트륨 등을 이용한 하이드로겔은 토양오염을 야기할 수 있는 문제를 가지고 있으며, 토양 입단을 파괴하고 배수를 불량하게 하며, 염해, 수확량 감소로 이어진다. 또한, 토양 통기성 저하와 수분 보유력의 역효과가 발생할 수 있다.
- 다기능 하이드로겔은 칼륨을 이용하여 제조하였고, 나트륨에 대한 토양오염은 존재하지 않으며 다기능 하이드로겔을 토양에 적용 시 수분 및 양분 보유력 향상, 관수 빈도 감소, 가뭄 저항성 증가, 뿌리 발달 촉진, 토양구조 개선, 토양 통기성 개선, 토양 침식방지, 식물 성장 촉진 등 여러 가지 장점이 있음을 확인하였다.
- 입자형 하이드로겔의 제조 원가는 20kg 기준 4만원 초반으로 현재 수출 판로 개발을 위해 국외 국내외 가장 판매가 활성화된 제품인 테라코템 대표와 국외 하이드로겔 기반 토양개량제인 테라코템에 다기능 하이드로겔을 적용하는 것을 목표로 역수출을 하고자 추진 중
- 다기능 하이드로겔은 직접적인 탄소를 흡수하거나 고정하지는 않지만, 다양한 방법을 통해 간접적으로 탄소중립에 이바지할 수 있는 물질이다. 물 사용 효율성 향상, 식물 성장 촉진, 토양 물리성 개선, 농업 생산성 향상, 가뭄 대응력 향상, 토양 침식 방지, 에너지 절약 등 여러 가지 중요한 역할을 할 수 있는 소재이다.
- 기술인증으로 신기술인증(NET)을 취득하였으며, NET기반으로 혁신제품 신청 중이 있다. 다기능 하이드로겔 기술의 혁신성과 우수성을 인증으로 평가받음으로써 사업화를 위한 기반을 마련하여 지속적으로 활용 할 계획이다.

(2) 정성적 연구개발성과

[사회적 성과]

- 국내업체를 중심으로 기존 *TerraCottem*[®]을 사용하고 있는 업체평가 및 시장 진출을 통한 제품화 가능성
- 신규 다기능 하이드로겔 기반 토양개량제와 관련하여 논문 5건, 학회 발표를 통한 연구 성과 공유 9건
- 탄소중립 실현을 위한 탄소흡수원인 식재 및 농업 등의 녹지화 사업의 적용이 가능해짐

[기술적 성과]

- 수분함유량이 조절 가능한 고흡수성수지 제조에 따른 토양 수분 개량력 제어 가능
- 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통한 입자형 하이드로겔 대량생산을 위한 기초공정 확립
- 토양의 물리성 및 화학성이 식물 재배에 최적화되어 작물 생산성 및 품질 향상 관련 연구 성과 확보
- 다기능 하이드로겔의 적용 시 관수량을 줄일 수 있으므로 수자원과 보관 시 소모되는 관수의 양과 전기에너지 및 노동력 감소 관련 연구 확보
- 단량체인 KA:DMAAm의 비율 조절로 수분함유량 100 (g/g), 200 (g/g), 300 (g/g)의 제조 조건 확립(KA:DMAAm=0.25:9.75, 2:8, 3:7)
- 한국 화학 융합 시험 연구원의 반응기를 통한 입자형 하이드로겔(KA:DMAAm=3:7) 제조 시 재현성 확보
- 한국생산기술연구원의 생산장비를 이용하여 입자형 하이드로겔의 대량생산 시스템 구축하여 안정적으로 여러 가지 형태의 다기능 하이드로겔 생산기술 확보
- 대량생산된 하이드로겔의 확인 및 안정성을 위한 공인기관 시험분석을 통하여 입증자료 확보
- 분사형 하이드로겔의 합성 공정 최적화, Sol-Gel 전이 현상 구명
- 분사형 하이드로겔의 농도에 따른 점도 변화 분석
- 분사형 하이드로겔의 전하 비율에 따른 물리적 특성평가

[경제적 성과]

- 외국에서 전량 수입하고 있던 농업용 고흡수성 수지를 국산화하여 해외 원재료의 의존도를 낮추고 더 낮은 가격의 공급이 기대됨
- 생산자에게는 농업용 고흡수성수지의 매입 단가를 낮추고 작물의 생산성이 향상되어 농가 소득이 증가 될 것이며 농민의 의욕이 고취될 것으로 기대됨
- 친환경적인 하이드로겔 기반 토양개량제의 제품화로 해외수출 할 수 있는 기반 마련함
- 입자형 하이드로겔 제조 비용을 낮추기 위한 시약 변경¹⁾으로 인한 원가 절감 및 제조²⁾
 - ¹⁾ N, N-Dimethylacrylamide (kg당 176,000원 →12,950원)
 - Acrylic acid (kg당 43,410원 → 3,200원)
 - Potassium carbonate, anhydrous (kg당 4,400 → 2,300원)
 - ²⁾ KA:DMAAm=3:7, 수분 함유량은 약 700 (g/g)
- 상용 하이드로겔과 같은 기존 토양개량제들의 사용 방법(토양과 혼합)과 달리 토양과 혼합하는 과정의 생략을 통한 인건비 감소

(3) 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 천원)

성과지표명			연도	1단계 1~2년차 (2021~2022)	2단계 3년차 (2023)	계	가중치(%)
전담기관 등록·기탁 지표	논문 학술성과	SCI	목표	1	2	3	
			실적	2	1	3	
		비SCI	목표		1	1	
			실적	1	1	2	
		학술발표	목표	5	3	8	5
			실적	6	3	9	5
논문평균 IF	목표	0.5	0.7	0.6	5		
	실적			8.4	5		
연구개발과제 특성 반영 지표	산업재산권	출원	목표	1	1	2	10
			실적	1	1	2	10
		등록	목표		1	1	10
			실적		1	1	10
	사업화	제품화	목표	2	1	3	20
			실적	2	1	3	20
		매출액	목표		94	94	20
			실적		148	148	20
	고용창출	목표	1		1	10	
		실적	1		1	10	
	인력양성	목표			2	2	5
		실적		4	2	6	5
	홍보전시	목표	1	1	2	5	
		실적	1	2	3	5	
기타	포상 및 수상실적	목표					
		실적	1	1	2		
	인증	목표			1	1	
		실적			1	1	
계	목표		11	12	23	90	
	실적		19	14	33	90	

*최초 협약 시, 가중치 수출액 10%반영으로 과제종료 이후 발생에 따라, 최종평가 시 성과지표 제외(90점 만점 배점)

(4) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Mechanistic Evidence for Hg Removal from Wastewater by Biologically Produced Sulfur	Toxics	정석순	12/4	Switzerland	MDPI	SCIE	2024.4	2305-6304	100%
2	라포나이트 하이드로겔 적용이 토양의 질 및 상추(Lactuca sativa L.) 생육에 미치는 영향 평가	농업생명 환경연구	이찬규	35(4)	KOREA	강원대학교 농업생명과학연구원	비SCIE	2023.12	2233-8322	100%
3	고흡수성 폴리머의 혼합배율에 따른 국화 생육	Flower Research Journal	권영현 외	30(4)	KOREA	한국화훼학 회	비SCIE	2022.11	1225-5009	100%
4	Synthesis of Nanocomposite Hydrogels for Improved Water Retention in Horticultural Soil	ACS Agric. Sci. Technol.	Sung Min Kim	6	U.S.A.	American Chemical Society	SCIE	2022.10	1206-1217	100%
5	Spray Coating of Nanosilicate-Based Hydrogel on Concrete	Advanced Materials Interfaces	Won Hyeok Kim	220166 4	U.K.	Wiley	SCIE	22.10.10	2196-7350	100%

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2023 한국고분자학회	민춘기, 나양호	2023.10.13	제주국제컨벤션센터	대한민국
2	2023 한국환경농학회	이지은	2023.07.07	소노벨 변산	대한민국
3	2023 한국화훼학회	권영현	2023.04.27	케이플라워시티(한국화훼농협_고양시)	대한민국
4	2022 추계 한국원예학회	권영현	2022.11.04	제주국제컨벤션센터	대한민국
5	한국환경농학회	윤혁진, 박병준, 이찬규, 김연호, 김혁수, 남성현, 정재영	2022.07.08	썬비치 양양	대한민국
6	2022 춘계 한국원예학회	권영현	2022.05.25	대전컨벤션센터	대한민국
7	2022 춘계 한국 고분자 학회	나윤일	22.04.06-22.04.08	대전컨벤션센터	대한민국
8	2021 한국원예학회	권영현	21.10.25.	온라인	대한민국
9	2021 한국고분자학회	김성민	21.10.22.	경주화백컨벤션센터	대한민국

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허등록	대한민국					(주)테라그린	2023.07.11	10-2555843	100	
2	특허출원	대한민국	한남대학교 산학협력단	2023.11.29	1020230169857					100	
3	특허출원	대한민국	(주)테라그린	2022.10.24	10-2022-0137723					100	

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	농림식품신기술 (NET 인증)	농림축산식품부	토양 보수력 증진용 나노복합체 하이드로겔 제조기술	52호 169	2024. 01. 03.	대한민국

[경제적 성과]

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	직접실시	다기능 하이드로겔 기반 토양개량제	(주)테라그린	2022.10.26	-	-
2	직접실시	다기능 하이드로겔 기반 토양개량제	(주)테라그린	2023.12.12	-	-

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
	자기실시	신제품 개발	국내	원타임 워터플러스	다기능 하이드로겔 혼합 토양개량제 제품화	(주)테라그린	-	-	-	
	자기실시	신제품 개발	국내	원타임 K-POWER	다기능 하이드로겔 혼합 토양개량제 제품화	(주)테라그린	132,593	-	2023	
	자기실시	신제품 개발	국내	원타임 원예용상토	다기능 하이드로겔 혼합 토양개량제 제품화	(주)테라그린	15,600	-	2023	

- * 1) 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재합니다.

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
1단계 해당없음					
다기능 하이드로겔 기반 토양개량제	2023	148,193		148,193	매출세금계산서 발행분 공급가액

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과		다기능 하이드로겔 혼합된 토양개량제			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2023년(개발종료 해당년)~2028년(종료 후 5년)			
	소요예산(천원)	8,660,650			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		-	1,189,000	10,189,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	제외	30%	90%
국외		제외	3%	10%	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		- 다기능 하이드로겔 관련 기술 NET인증 취득, 혁신제품 추진_토양개량제 6종(24년) - 분사형 하이드로겔, 도시농업용 토양개량제(2024년) - 산불지역 복원용 토양개량제(2025년) - 염류집적용 임해매립지용 토양개량제(2026년) - 미세먼지 질감 토양개량제(2027년) - 사막화지역용 토양보습제(2028년)			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
			118,900	3,056,700	
		수출	2,200,000		

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	2022년	
1	기술사업화지원	테라그린	1		1
합계			1		1

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	3
		생산인력	3
	개발 후	연구인력	4
		생산인력	3

[사회적 성과]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황											
			학위별				성별		지역별					
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타	
1	연구인력	2023		1	1		2			1				1
2	연구인력	2022		4			3	1		4				

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	신문기사	한국일보	2023 제17회 녹색에너지 우수기업 대상 (주)테라그린-수입 토양개량제, 국산화 성공 특허등록	2023.05.12
2	박람회	(사)한국조경협회	2023 대한민국 조경 정원박람회	2023.5.17.~20
3	신문기사	한국일보	2022 제16회 녹색에너지 우수기업 대상 (주)테라그린-사막화.산불.수해 토양'복원 연구'박차	2022.05.20

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	녹색기술	제 17회 대한민국 녹색에너지 우수기업 大賞	다기능 하이드로겔 기반 물리·생물성 개선 복합 토양개량제 개발	(주)테라그린	2023.05.12	한국일보 (한국환경공단, 한국에너지경제연구원 후원)
2	녹색기술	제 16회 대한민국 녹색에너지 우수기업 大賞	다기능 하이드로겔 기반 토양개량제의 개발 및 고도화	(주)테라그린	2022.05.20	한국일보 (한국환경공단, 한국에너지경제연구원 후원)

2) 목표 달성 수준

단계	연차	연구개발기관	달 성 내 용	달성도 (%)	
1단계	1년차 (2021)	테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 수행 ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 입자형 하이드로겔 파일럿 제조 조건 확립(육묘용, 분화용, 토경용) ○ 한국화학융합시험연구원의 반응기를 통해 재배시험에 필요한 입자형 하이드로겔 제조(육묘용, 분화용, 토경용) ○ ㈜신성미네랄 상토회사와 NDA, MOU 계약 체결 	100	
		한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형 하이드로겔 제조(육묘용, 분화용, 토경용) ○ 나노 하이드로겔의 물리·화학적 성능 분석 ○ 입자형 하이드로겔의 대량생산을 위한 기초공정 확립 	100	
		배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 적용 토양에서의 수분 센서 사용 표준화 ○ 육묘 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명 ○ 분화 생산을 위한 최적 하이드로겔 적용 비율 구명 	100	
		강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 처리에 따른 재배실험, 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성 변화 조사 ○ 하이드로겔 적정 토양 처리 조건 확립 	100	
	2년차 (2022)	테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구명된 입자형 하이드로겔의 대량 생산 시스템 구현 테스트 ○ 입자형 하이드로겔 대량 생산 및 파일럿 제조 조건 확립 (육묘용, 분화용, 토경용) ○ 입자형 하이드로겔의 투입 기기 개발 및 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합비 구명 ○ 작물 재배 농가에 적용하여 재배시험 ○ ㈜신성미네랄 상토회사와 실제계약을 통한 다기능 하이드로겔을 혼합한 상토 생산 	100	
		한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분사형(액체형) 하이드로겔 합성 ○ 분사형(액체형) 하이드로겔의 물리·화학적 성능 분석 ○ 하이드로겔 유체역학적 거동 고찰 	100	
		배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔과 비료가 적용된 토양에서 센서 사용 표준화 ○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 육묘 재배 고도화 ○ 입자형 하이드로겔이 적용된 배지에서의 분화 재배 고도화 	100	
		강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 현장 적용 및 효율 조사 ○ 하이드로겔 적정 토양 처리 조건 확립 	100	
		1년차 (2023)	테라그린	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형 하이드로겔 제조 및 상토, 부숙유기질비료(퇴비) 혼합 고도화 ○ 입자형 하이드로겔 자동화 제조 시스템 구축 ○ 입자형 하이드로겔(육묘용, 분화용, 토경용) 기반 토양개량제 사업화 및 해외 수출을 위한 준비 ○ 한국생산기술연구원의 반응기를 통해 분사형 하이드로겔 제조 테스트 ○ 분사형 하이드로겔 토양 적용 모의실험 ○ 토양개량제 등록을 위한 비료 공정 규격 신청 추진 	100
			한남대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 입자형, 분사형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화 ○ 분사형 하이드로겔의 분사 시스템(유량, 압력 등) 조립 ○ 시스템 종합 성능 테스트 및 공정 베드 최적화 	100
1년차 (2023)	배재대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분사형 하이드로겔을 이용한 정원 및 노지 식물 적용 효과 구명 ○ 분사형 하이드로겔의 관리 방안 매뉴얼 작성 ○ 심한 토양 수분상태시의 식물에 미치는 영향 평가 ○ 하이드로겔 현장 처리 효율 조사(계속) 및 지속성 평가 	100		
	강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> ○ 하이드로겔 처리에 따른 토양 생태계 서비스 평가 ○ 극한 가뭄 조건에서의 하이드로겔 처리 효과 평가 	100		

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 없음)

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 하이드로겔 배합 상토 및 부속유기질비료(퇴비)의 녹색인증을 통한 탄소중립 제품 생산 기반 마련
- 사막화 토양에 다기능 하이드로겔을 사용하여 녹지화를 시키는 것에 활용이 가능
- 입자형 하이드로겔의 공정 플랫폼 최적화를 통해 대량생산 가능해질 것으로 보임
- 최적화된 분사 시스템으로 액상형 하이드로겔을 효율적으로 모든 토양의 땅속으로 고르게 분포되어 모든 작물의 뿌리에 영양분과 수분을 공급할 수 있을 것으로 기대
- 외국에서 전량 수입하고 있던 농업용 고흡수성수지에 대한 의존도를 낮추고 더 낮은 가격 판매할 수 있으며, 육묘, 분화, 토경용 등 다양한 분야로 확대될 것으로 기대
- 토양의 물리성 및 화학성이 식물 재배에 최적화되어 작물 생산성 및 품질이 향상될 것으로 기대

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

< 연구개발성과 활용계획표 >1)

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE		
	비SCIE	3	
	계	3	
국내논문	SCIE		
	비SCIE		
	계		
특허출원	국내		
	국외		
	계		
특허등록	국내	1	
	국외		
	계	1	
인력양성	학사		
	석사		
	박사		
	계		
사업화	상품출시	9	
	기술이전		
	공정개발		
제품개발	시제품개발		
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보			
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

1) 연구개발 종료 후 5년 이내 성과 수 합계

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 공통 요구자료	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 연구부정행위 예방 확인서
2. 성과서, 보고서 및 성과증빙자료	4) 성적서
	5) 논문 성과
	6) 학술발표 성과
	7) 홍보실적
	8) 포상 및 수상 실적
	9) 특허출원서 및 특허등록서
	10) 제품화 실적
	11) 매출실적
	12) 기술인증

주 의

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