

817028

코어
드릴
블렌더
스팀
토양
소독기
무인
자동화
시스템
개발과
사업화

최
종
보
고
서

2019

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
기술사업화지원사업 2019년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003198-01

코어드릴 블렌더 스팀 토양소독기 무인자동화 시스템 개발과 사업화

최종보고서

2020.07.17.

주관연구기관 / (주)제이에스이
협동연구기관 / 고려대학교, 에스텍

농림축산식품부

농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 귀하

본 보고서를 '코어드릴 블렌더 스팀 토양소독기 무인자동화 시스템 개발과 사업화'(연구개발 기간 : 2017.05.30. ~ 2019.12.31.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 07. 17.

주관연구기관명 : (주)제이에스이

김 정 호



협동연구기관명 : 고려대학교 산학협력단

허 준



협동연구기관명 : 에스텍

손 주 목



주관연구기관책임자: 김 정 호

협동연구기관책임자: 문 경 환

협동연구기관책임자: 손 주 목

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	817028-03	해 당 단 계 연 구 기 간	2017.05.30. - - 2019.12.31	단 계 구 분	3단계/ 3단계
연구사업명	단 위 사 업	농림식품연구개발사업			
	사 업 명	기술사업화지원사업			
연구과제명	대 과 제 명	코어드릴 블렌더 스팀 토양소독기 무인자동화 시스템 개발과 사업화			
	세부 과제명	코어드릴 블렌더 스팀 토양소독기 무인자동화 시스템 개발과 사업화			
연구책임자	김 정 호	해당단계 참여연구원 수	총: 13명 내부: 10명 외부: 3명	해당단계 연구개발비	정부:289,000천원 민간:97,000천원 계:386,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 13명 내부: 10명 외부: 3명	총 연구개발비	정부:771,000천원 민간:259,000천원 계:1,030,000천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)제이에스이			참여기업명 고려대학교 산학협력단 에스텍	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

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

9대 성과 등록·기탁번호

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

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

- 기존 엔진 및선 구동부 및 유압모터를 이용한 구동부의 전동화
- 레이저 스캐너를 활용한 진행방향 전면 비상정지 기능
- 변위 센서를 이용한 좌우측 거리 측정으로 진행 방향 체크
- 상기 기능을 활용한 무인 자동 직진 주행이 가능한 토양 소독기 시스템 개발
- 조향시스템의 개선 : 유압 매뉴얼 밸브 조작 조향 -> 전자 조향 시스템 개발 설계
- 디젤엔진 구동에서 전기모터 구동 시스템으로 전환 개발 설계
- 스팀발생기 효율 증대 및, 고압고온 분사 인젝터 개발 설계
- 1/5 전동화 궤도차량 PLC활용 개발
- 실차량 적용가능한 전동화 및 직진 무인화 차량 아두이노 이용한 제어 시스템 개발
- 스팀 토양소독기의 소독 효율 검증 완료: 다양한 조건의 농작지에서 토양 미생물은 평균적으로 91%, 토양 선충은 평균적으로 93% 사멸되는 것을 반복 실험을 통해 검증하였음
- 토양소독기 최적 운행 조건 제시: 토양 미생물 및 토양 선충 사멸율을 최대한 함과 동시에 에너지 소비량을 최소로 하는 토양소독기의 운행 조건을 분석하고, 최적의 운행 조건을 제시함
- 학술대회 발표 및 국외 학술지 투고: 위의 핵심연구내용을 국내 학술대회(2019 한국환경보건학회) 및 국제 학술대회(2019 ISEE-ISES)에서 발표하였으며, 국외 학술지(International Journal of Environmental Research and Public Health)에 투고하여 7월 13일자 등록

보고서 면수
110p

<요약문>

연구의 목적 및 내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 자동 가이드시스템을 활용한 스팀토양소독기의 무인자동화 시스템 개발. <ul style="list-style-type: none"> - 전자조향시스템개발 - 에너지효율 증대 2. 스팀토양 소독기 살충,살균 데이터 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 연구방법에 대한 문헌 고찰 - 토양미생물에 대한 스팀소독기의 소독 효율 분석 (1차) - 토양미생물의 효과적인 제거를 위한 스팀소독기의 최적 조건 선정 				
연구개발성과	<ol style="list-style-type: none"> 1. 자동 가이드시스템을 활용한 스팀토양소독기의 무인자동화 시스템 개발. <ul style="list-style-type: none"> - 현유압시스템을 FMEA를 통한 전자 조향 시스템으로 개선 - 디젤엔진 구동에서 전기모터 구동 시스템으로 전환 개발 설계 - 보일러 열관리를 통한 스팀발생기 효율 증대 - 고온 고압 인젝터 개발 설계 - 현모델 및 시제품 개발에 필요한 3D모델링 작업 2. 스팀토양 소독기 살충,살균 데이터 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 주요 토양병원균의 종류 및 병충해 유형 조사 - 선충 및 토양미생물 각각에 대한 분석 방법 조사 - 일반미생물의 소독 전 후 변화 분석 - 선충의 소독 전 후 변화 분석 - 병충해의 심각성에 따라 분석 대상 토양미생물 선정 - 운행조건에 따른 토양미생물 제거 효율 비교 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 기술적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 지형물을 이용한 자기위치 인식시스템은 부정형 공간에서 자동화를 위하여 많은 개발의 편의성 제공 예상 - 고압 고온의 증기발생 및 인젝터 시스템은 에너지 효율을 극대화시켜 보다 적은 전기 소비로 완전 전기동력 무인 토양소독기로 발전하는데 계기가 됨. 2. 경제적·산업적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 경마장 트랙소독에서의 활용 - 농촌의 고령화로 인한 노동력 부족 문제를 무인 자동화로 일부 해결 - 무인화 시스템은 농민이 시설외부에서 작업을 감시할 수 있는 환경을 제공 - 지형 지물 및 시설물 일부분의 스캔만으로 가상의 가이드안에서 동작하는 자주식 차량의 시스템은 농업과 건설등 많은 분야에서 활용 가능 3. 사회적 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 전문인력의 양성은 곧 새로운 직업이 창출됨을 의미함. 젊은 농민들에게 많은 도움이 것으로 예상. - 무농약 토양소독은 결국 진정한 유기농작물 재배가 가능하므로 지역 특산농작물의 브랜드화가 가능하다고 판단 				
국문핵심어 (5개 이내)	스팀토양소독기	경운작업	자동제어시스템	유기농재배	뿌리혹선충
영문핵심어 (5개 이내)	soil steam sterilizer	plow	Automatic Control Systems	Organic farming	Root-knot nematode

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	9p
2. 연구수행 내용 및 결과	21p
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	83p
4. 연구결과의 활용 계획 등	93p
붙임. 참고 문헌	

<별첨> 주관연구기관의 자체평가의견서

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

스팀 토양 소독의 특성상 고온의 환경에서 저속주행중인 소독기의 매뉴얼 관리가 필수인 상황이다. 노동력무족 문제 및 고온 환경 하에서의 장시간 작업은 농민의 피로도 증가 및 건강 문제를 발생시킬 수 있다. 이를 해결하기 위하여 자동자율주행의 개발이 필요한 실정이다. 자율주행을 위한 전자적 조향시스템의 개발과 함께 디젤엔진구동에서 전기구동의 개발과 함께 스팀을 발생시키는 보일러 및 스팀 분사장치의 고효율화를 이끌어 저비용으로써 토양을 소독할 수 있는 시스템의 개발을 목표로 한다.

나. 연구개발의 필요성

- (1) 연구개발 개요 : 무농약 재배의 확대와 함께 농민의 수익 증대 및 친환경적 국민 건강에 큰 도움이 될 것으로 판단. 다양한 센싱 시스템을 이용 무인 자동화 직진 운전이 가능한 경우 토양 스팀 소독기 개발
- (2) 핵심기술
 - (가) 제이에스이에서 보유한 심경 경운 작업이 가능한 스팀 토양소독기 기술을 기반으로 한다.
 - (나) 첨단 센싱 시스템의 도입으로 서설물 내의 자기위치 기반 가이드 시스템의 개발
 - (다) 안전성을 기반으로 하는 전방 세이프티 기술과 장애물 회피 비상정지 기술개발

다. 연구개발 범위

- (1) 주요 개발 기능
 - (가) 전자 조향 시스템 개발
 - (나) 전기 구동부 설계
 - (다) 레이저 스캔을 활용한 자기위치 인식 기능
 - (라) 레이저 변위 센서 및 센싱을 통한 장애물 탐지 기동 중지 및 안전 기능

- (마) 인젝션 보완을 통한 고온 증기 발생 및 분사 효능 증대를 위한 시제품 제작
- (바) 원격제어를 통한 작업능률 향상
- (사) 토양미생물 및 선충의 스팀 소독 살충률 데이터 확보
- (아) 토양미생물의 효과제거를 위한 스팀 토양소독기의 운행 최적 조건 산정

(2) 개발 목표 성능치

- (가) 비닐하우스 내 지주대 및 모서리 기준 1m 오차 안의 자기 위치 인식
- (나) 돌발장애물에 대한 회피 및 기동정지
- (다) 증기 배관 및 인젝터 성능 강화로 에너지 효율 극대화 현 수준 30% 향상
- (라) 전기구동개발로 유압 액츄에이터 축소로 누유에 문제 사전 차단
- (마) 전반적인 소독 작업 시간 단축 현행 대비 30% 이상

(3) 기술 적용 범위의 확대

시설농가 토양소독기뿐만 아니라 어린이 놀이터, 해수욕장, 경마장 등 고온증기 스팀소독이 용이한 분야에서 활용 가능

라. 연구수행방법

(1) 기존 모델 3D모델링, 전자조향시스템개발

(가) 기존 디젤엔진구동 및 매뉴얼 주행 문제점 파악

- ① 좌륜 우륜 개별 제어시에 따르는 문제점 조사
- ② 지면 형태에 따른 조향 변화 조사

(나) 전자조향을 위한 액츄에이터 설계

- ① 좌륜 우륜의 동시 제어가 가능한 시스템 설계
- ② 인버터를 활용하여 모터의 제어를 위한 프로그램 개발

(다) 구체적방법

- ① 아두이노 제어 프로그램 개발.
- ② 변위 센서의 값을 인버터제어에 활용하여 자동 제어가 될 수 있도록 프로그램 작성
- ③ 원격 조정 시스템 개발
 - 좌우측 개별 매뉴얼 조작에 조향시스템은 차량의 진행 방향의 변화를 육안으로 감지하여 다시 개별 조작으로 진행방향을 수정 함으로 조작의 난이도가 상당히 높으나 전자 조향장

치로 동시 제어를 하여 조향 조작의 편의성 및 반응속도를 높이기 위한 전자조향 액츄에이터 시스템을 개발 하여 현 모델에 우선 적용하고자 함. 이를 위하여 현문제점을 파악하여 FMEA를 통한 신규 설계를 진행하고 데모버전을 제작하여 공동으로 테스트를 진행 향후 실차 제작에 필요한 선행연구를 목적으로 함

(2) 에너지효율 증대

(가) 스팀발생기 효율 증대 및, 고압고온 분사 인젝터 개발 설계

- ① 보일러를 이용한 스팀 발생기와 재가열기를 통한 스팀 고압 유지를 함에 있어 열손실을 최소화할 목표로 함
- ② 스팀 노즐분사 및 그에 이르는 배관에서 발생하는 열손실을 줄이고 스팀 소독의 효율성을 높이기 위한 고온 고압 인젝터의 개발을 목표로 함

(나) 구체적방법

- ① 보일러에서 발생할 수 있는 스팀의 양을 증대 시키고 전기사용의 효율을 높이기 위해 열 손실을 최소화 할수 있는 케이지의 설계 및 재가열기를 통하는 배관의 단열 설계
- ② 스팀소독의 효율을 높이기 위하여 재가열기를 히터에서 고주파 코일로 대체 설계를 진행 하며 고온 고압용 인젝터를 이용하여 토양의 심층에서 보다 높은 압력으로 배출 할 수 있도록 함

(3) 변위 센서 활용 위치 확인

(가) 좌우측 각 2ea의 변위 센서를 활용하여 설비의 좌우측 변위 오차를 이용한 설비 운전 방향의 위치를 확인하고자 함

(나) 구체적방법

- ① 설비 양측면의 변위 센서를 좌우양 방향으로 설치하여 각각 벽면과의 거리를 측정.
- ② 설비 후진단에 전진단과 같은 방법으로 설치하고 측정.
- ③ 실측된 변위 값을 이용 설비의 진행 중 직진 운행의 유무를 판단 좌우 기울임정도를 계산하여 모터의 인버터 제어에 활용

(4) 레이저 스캐너를 활용한 안전구역 설정

(가) 스캐너를 이용 경주행 중 스스로 안전 기동할 수 있도록 함

(나) 구체적방법

- ① 경보 지역을 설정하여 주행중 위험물 접근 시 경보가 가능하도록 함
- ② 안전구역 내 장애물 및 작업자 감지 시 작동을 중지 시켜 사고를 방지함

(5) 전기구동부 설계

(가) 디젤 구동 시스템에서 전기구동 제어 시스템으로 전환 개발

- 엔진 과 미션 조합 구동의 부하문제로 인한 용량 증대 문제 해결을 위한 저속시 높은 토크 효율을 가진 전기 구동시스템으로 전환 개발이 필요함

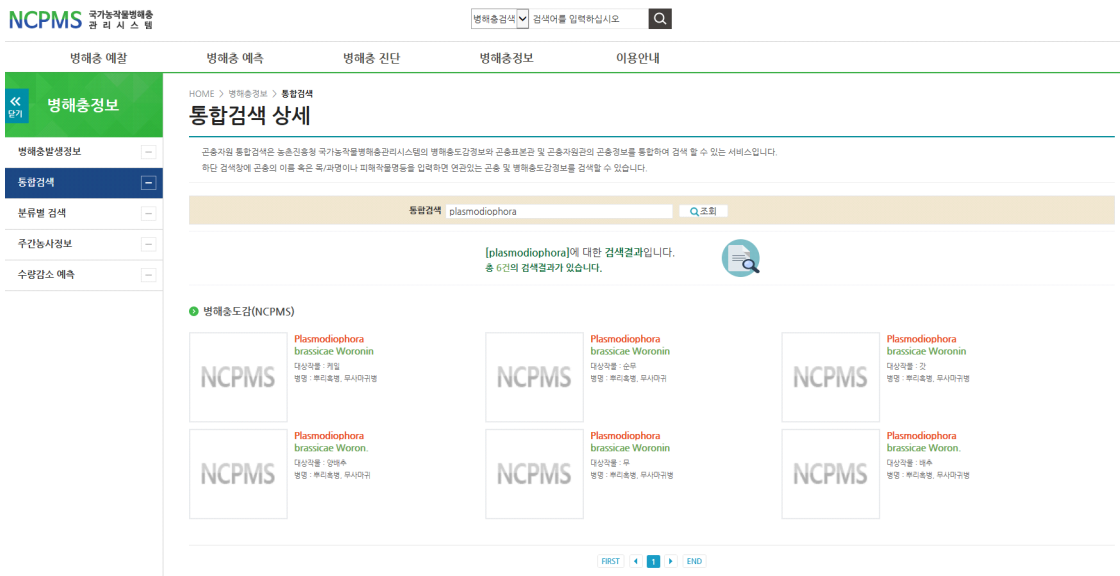
(나) 구체적방법

- ① 디젤엔진과 미션 조합은 저속주행시 부하에 따른 즉각적인 변속주행에 어려움이 있음. 이를 개선하고자 저속시 높은 토크효율을 보일 수 있는 전기 구동 시스템으로 개발
- ② 전기 모터와 무한계로로 구성 된 시스템의 기구부 설계를 진행

(6) 토양미생물 및 선충의 스팀 소독 사충률 데이터 확보

(가) 병충해의 심각성에 따라 분석 대상 토양미생물 선정

- ① 토양 중에 존재하는 모든 토양병원균의 소독 효율을 확인하는 것은 현실적으로 불가능하므로, 병충해의 심각성에 따라 분석 대상 토양미생물의 우선순위를 선정하여 본 연구의 소독 효율을 확인할 대상 미생물로 결정함.
- ② 국가병해충관리시스템(<http://ncpms.rda.go.kr/npms/>)에서는 각 병해충에 대한 정보를 조건에 따라 검색할 수 있으며, 이를 이용하여 병해충에 관한 자료를 수집함



[그림 2] 국가농작물병해충 관리시스템 통합검색 결과 예시

(나) 주요 토양병원균의 종류 및 병충해 유형 조사

① 백견병(Southern blight), 병원균 : Athelia rolfsii(Curzi)

곰팡이의 일종인 Corticium rolfsii에 의하여 발생하는 줄기 마름병의 일종. 이 균은 숙주범위가 대단히 넓고 특히 수박, 오이, 호박, 고구마, 무, 완두 등의 야채류, 담배,

곤약 등에 잘 발생함. 통상은 줄기의 지표에 발생하지만 지면에 접한 호박, 수박 등의 과실도 피해가 있음

농작물 병해충 발생정보

[제 15 호 / 2017. 12. 1. ~ 12. 31]

2017. 12. 1.

농촌진흥청

농촌진흥청은 토마토, 오이, 딸기 등 시설재배 작물에 발생하는 잣빛곰팡이병, 흰가루병, 노균병, 바이러스병, 총채벌레류, 가루이류, 응애류, 진딧물, 작은뿌리파리 등과 검역병해충인 딸기 세균모무늬병 등에 대해 예보를 발표하오니 농작물 관리를 철저히 하여 병해충에 의한 피해를 받지 않도록 최선을 다하여 주시기 바랍니다.

위기단계별 주요 병해충 발생상황

구 분	시 설 작 물
예 보	<ul style="list-style-type: none"> • 잣빛곰팡이병, 균핵병, 흰가루병 • 노균병, 딸기 꽃곰팡이병 • 토마토반점위조바이러스(TSWV) • 토마토황화잎말림병(TYLCV) • 추키니황화모자이크바이러스(ZYMV) • 딸기 세균모무늬병 • 국화줄기괴저바이러스병
	<ul style="list-style-type: none"> • 총채벌레류 • 가루이류 • 진딧물류 • 응애류 • 작은뿌리파리



농촌진흥청

농약 안전사용기준을 잘 지켜 안전한 농산물을 생산합시다!
- 본 병해충 발생정보는 <http://www.nongsaro.go.kr>에서도 보실 수 있습니다 -

[그림 3] 농촌진흥청 농작물 병해충 발생정보 예시

② 역병(Phytophthora root rot), 병원균 : Phytophthora spp.

하엽이 누렇게 변하면서 시들음증상을 보이면서, 잎자루의 아래줄기가 회갈색 내지 검은색으로 변함. 뿌리나 덩이줄기는 외관상 건전하게 보이나 식물체를 토양에서 파내면 구근 부위는 완전히 썩어 있는 것을 알 수 있음. 유색칼라의 무름병과도 유사하므로 전문가의 진단이 필요한 병



[그림 4] 역병 피해 증상

③ 뿌리혹병(Clubroot) - 병원균 : Plasmodiophora brassicae Wor.

뿌리혹병은 많은 배추속 작물들을 가해하는데, 이것은 플라스모디오포르 브라시카(*Plasmodiophora brassicae* Wor)에 의해서 야기됨. 이 병은 전 세계에 걸쳐 중요하리만큼 다양하고, 유럽과 중국 등지의 배추속 채소의 대규모 생산지에서 특별하게 피해를 나타냄. 봄 파종 유채에서 심하게 나타나고 배수(Drainage)가 불량하고 산성토양에서 잘 나타남.



[그림 4] 뿌리혹병 피해 증상

④ 무름병(Bacterial soft rot) - 병원균 : Erwinia carotovora

칼라(calla)의 무름병 병원균인 *Erwinia carotovora*는 개화기 전후에 급격히 확산되어 칼라 재배에 있어 가장 치명적인 세균임. 이 균은 식물체 조직의 상처부위를 통하여 감염되고 고온다습 환경조건에서 급격히 확산됨. 생육기에는 지면부 물의 이동에 따라 줄기부분이 짓무르고 병의 진전에 따라 지하부 괴경과 식물체 전체가 완전히 녹아내림. 병이 심해지면 썩는 불쾌한 냄새도 날 수 있음. 고온기에 이병 포장에서 절화했을 때 수확 후 감염이 진전되어 유통 중 꽃대가 짓무르는 경우도 많이 발생함. 병원균은 무름병 증상을 일으키는 *Erwinia* 세균으로 주로 물의 이동에 따라 상처를 통해 침입함. 재배토양이 배수가 안 되는 질퍽일 때 심하게 발생하고 물 빠짐이 좋은 모래땅에서는 병 발생이 덜함. 개화기가 지난 후 고온 다습 환경일 때 급격하게 퍼짐.



[그림 5] 무름병 피해 증상

⑤ 피시움속

식물의 어린묘에서 모잘록병을 일으키는 대표적인 병원균. 여기에는 *Pythium arrhenomanes*, *P. aphanidermatum*, *P. ultimum* 등이 있으며, 이들은 단독 또는 *P. debaryanum*과 공동으로 각종 식물의 잘록병을 일으킴. 병원균은 난 포자의 형태로 이 병식물의 조직 또는 토양에서 월동하며, 관개수나 토양에 의해 건전지역으로 옮겨짐.

⑥ 라이족토니아속

식물병원균으로 불완전균아문(Deuteromycotina)에 속하며, 완전세대는 담자균아문(Basidiomycotina)에 속함. 작물에 따라 병징이 다르며, 심지어 같은 기주식물에서도 다른 병징을 보임. 가장 일반적인 병징은 모잘록병, 뿌리썩음병, 혹은 줄기궤양병 등이며, 일부 작물에서 지표면에 가까운 잎에 마름증상 혹은 반점증상을, 그리고 수확 후 저장중에 부패를 일으키기도 함.

⑦ 베르티실룸속

몇 개의 중요한 식물병원종을 포함하는 Hyphomycetes강(綱)의 1속. 곤충병원성 종, *V. lecanii*(*Cephalosporium lecanii*)가 온실 및 야외조건하에서 여러 가지 곤충페스트에 대비하여 성공적으로 쓰이고 있음. 균사는 격벽이 있고, 무색, 무격벽 분생자가 분생자병 위에 형성됨. 식물체에 반쪽시들음병을 일으키는 불완전균에 속하는 곰팡이의 일종.

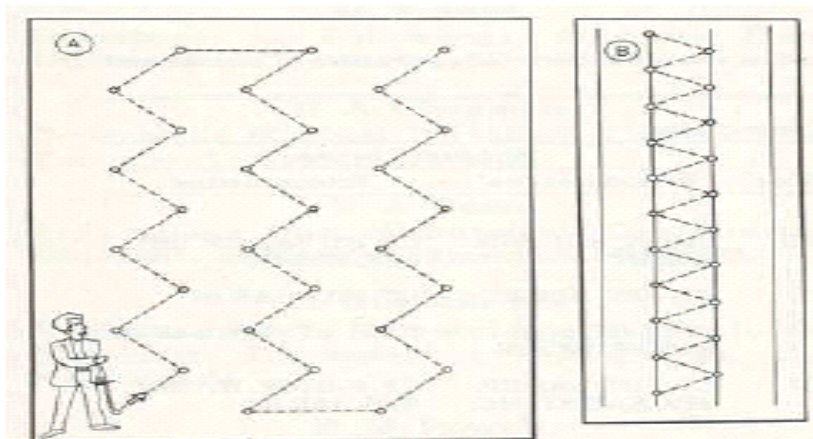
⑧ 풋마름병(청고병)

최근에 발생이 증가하고 있는 중요 토양 전염성 병해. 여름철 온도가 높고 토양 습도가 높은 장마철에 많이 발생하는데 완전히 부숙되지 않은 퇴비 시용과 토양 염류 집적 등으로 토양 환경이 불량할 경우 병 발생은 더욱 심해짐. 역병처럼 전 재배 지역에 걸쳐 발병하지 않으나 지역적으로 큰 피해를 주기도 함.

(다) 선충 및 토양미생물 채집방법

① 토양 채집

선충은 포장 내에서 군데군데 집중적으로 분포하는 특성이 있다. 또한 토양 채집 방법 및 보관방법, 토양 섞기, 선충 분리, 선충 계수 등에 따라 많은 차이가 생기므로 선충 조사 및 실험에 있어 토양 채집은 매우 중요함



[그림6] (A) 노지

(B) 시설하우스

- ② 포장 1,000cm²(약 300평)를 기준으로 지그재그로 30개 지점에서 선충피해가 의심되는 작물 근권을 중심으로 깊이 20cm까지의 토양을 토양채집도구(모종삽 등)를 이용하여 소량씩 채취하여 비닐봉지에 넣어 약 2,000cm³ 토양을 채취함



[그림 7] 토양 시료 채취 모습

- ③ 채집한 토양은 재배작물, 채집일자(년월일), 채집장소, 포장면적, 경작자, 지번 등을 기록함
- ④ 채집된 토양은 비닐봉투에 넣어 마르지 않게 하고, 40℃ 이상에 노출시키지 말 것이며, 특히 포장에서 직사광선에 노출시키지 않아야 함. 채집된 토양에서 선충을 즉시 분리하거나 혹은 10-15℃에 보관하며, 채집 후 1달 이내에는 반드시 분리해야 함
- ⑤ 식물기생선충 채집 시기는 작물재배 후기가 적당함

(라) 토양 선충 분석

- ① 선충 분석 방법에는 크게 깔때기법과 원심분리법이 있고 다음과 같은 장단점이 있음
- ② 본 연구에서는 살아있는 선충을 분리 및 계수하기 위하여 베르만 깔때기법을 활용할 것임

	깔때기법	원심분리법
장점	살아있는 선충만을 취할 수 있음	빠른 조사 가능(2~3시간 소요)
단점	오랜 시간 소요(24~48시간 후 조사가능)	토양 내 죽어있거나 살아있는 선충 모두를 분리함

[표 1] 분석방법 장단점

③ 토양 내 식물기생선충 밀도 평가

식물 기생선충의 유충 밀도는 실제현미경 아래서 50배율로 토양에서 분리한 선충의 수를 세어 토양 부피당 밀도로 평가함

예) 토양 500cm³ 당 뿌리혹선충 2기 유충 수 = 2기 유충 100마리/토양 500cm³

토양 500cm³ ekd 뿌리썩이선충 100마리/토양 500cm³



[그림 8] 깔대기법 실험과정 모습

(마) 일반미생물의 소독 전 후 변화 분석

① 희석평판법을 통해 소독 전 후 토양미생물의 변화를 살펴봄

② 분석을 위한 시료의 조제 방법은 다음과 같음

㉠ 채취한 토양을 2mm 체로 거른 후 사용

㉡ 즉시 사용하지 않을 경우 4℃의 냉장실에 시료를 보관

㉢ 생토: 미생물분리나 계수를 위한 희석평판과 미생물체량 분석 등에 사용

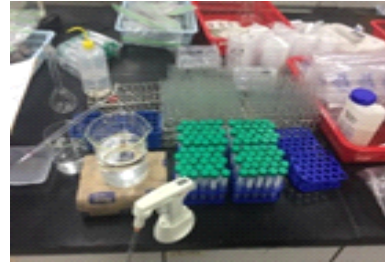
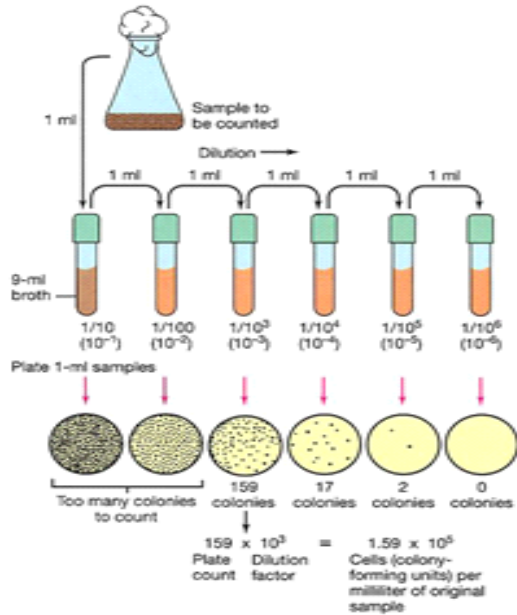
㉣ 풍건 시료: 탈수소 효소 분석 및 화학분석에 사용

③ 희석평판법(Dilution plate method)

㉠ 배양 및 계수: 배지는 기본적으로 다음의 계수용 배지를 사용하나, 균의 종류 및 기능에 따라 달리 사용할 수 있음

㉡ 세균(호기성): R2A 한천배지 등을 사용하여 28℃에서 3-5일간 배양한 후 배지에 형성된 콜로니를 계수함. 세균 계수는 콜로니 수가 20-200개 정도 나타난 희석단계의 평판을 선택하여 배지에 형성된 콜로니를 계수함. 5반복을 기본으로 함.

㉢ 진균: 로즈벵갈(RB) 한천배지를 사용하여 28-30℃에서 5-7일간 배양함. 콜로니수가 20-40개 정도 나타난 희석단계의 평판을 선택하여 배지에 형성된 콜로니를 계수함



[그림 9] 희석평판법 모형과 실험과정 모습

(7) 토양미생물의 효과제거를 위한 스팀 토양소독기의 운행 최적 조건 산정

(가) 스팀소독기 운행 조건에 따른 소독 효율 비교

- ① 스팀소독기의 효율은 땅을 소독할 때의 조건에 따라 달라질 수 있으며, 소독 효율에 영향을 줄 수 있는 소독기 운행 조건으로는 스팀소독기의 주행 속도, 스팀 분사 깊이 등이 있음
- ② 스팀소독기의 속도 등 운행조건에 따른 토양미생물 제거 효율을 비교하기 위하여, 소독기의 운행 조건을 변경시키며 샘플을 채취함
- ③ 결과의 오차를 줄이기 위해 시료는 같은 일시, 같은 장소에서 채취하며, 분석 방법은 각 대상 미생물의 시험방법을 따름

(나) 스팀소독기 소독 조건에 따른 소독 효율 비교

- ① 토양 중에 존재하는 토양병원균 및 선충은 매우 다양하며, 이러한 병원균들과 선충은 각각 다른 생식 영역을 가지고 있기 때문에 사멸 온도 또한 다양함
- ② 따라서 스팀소독기의 토양 소독 효율을 높이기 위해서는 전체적인 소독 효율을 높일 수 있는 소독조건을 찾는 것은 매우 중요하다고 할 수 있음
- ③ 본 연구에서는 스팀소독기의 열 온도, 분사 깊이, 분사 시간 등 소독 조건에 따른 토양미생물 및 선충의 제거 효율을 비교하는 것을 목표로 함
- ④ 소독조건에 따른 토양미생물 및 선충의 제거 효율을 비교하기 위하여 스팀소독기의 소독 조건을 변경시키며 샘플을 채취함
- ⑤ 마찬가지로 시료는 같은 일시, 같은 장소에서 채취하며, 분석 방법은 각 대상 미생물의 시험 방법을 따름

2. 연구수행 내용 및 결과

가. 추진전략

다양한 센싱 시스템을 이용 무인 자동화 직진 운전 과제 수행을 위한 추진전략은 시기별 3 단계로 나뉜다.

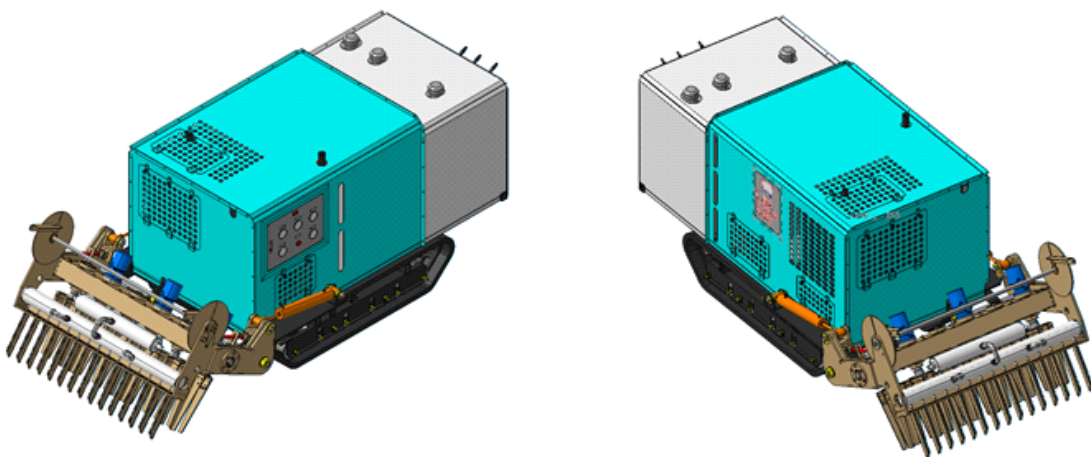
1단계 : 당사가 보유한 다수의 특허 및 시제품 제작 기술을 활용하여 자기위치 인식 기술과 자동 조향 장치의 개발을 진행한다. 레이저 스캐너를 활용하여 실시간 지형지물의 위치를 파악하고 변위 센서를 이용하여 직진성 위치 주행 상황을 분석 주행 방향을 결정하는 핵심기술을 개발.

2단계 : 레이저 변위 센서 등을 활용하여 1단계 개발된 진행 방향 결정에 있어 장애물과의 실시간 거리를 파악 충돌 회피 및 돌발상황 주행 중지 등의 안전 시스템을 개발. 유압 구동 문제점 파악후 전기 구동부 설계

3단계 : 가이드 시스템 장애물 회피 및 안전 시스템을 통합한 원격제어 시스템을 개발한다.

나. 연구개발 성과

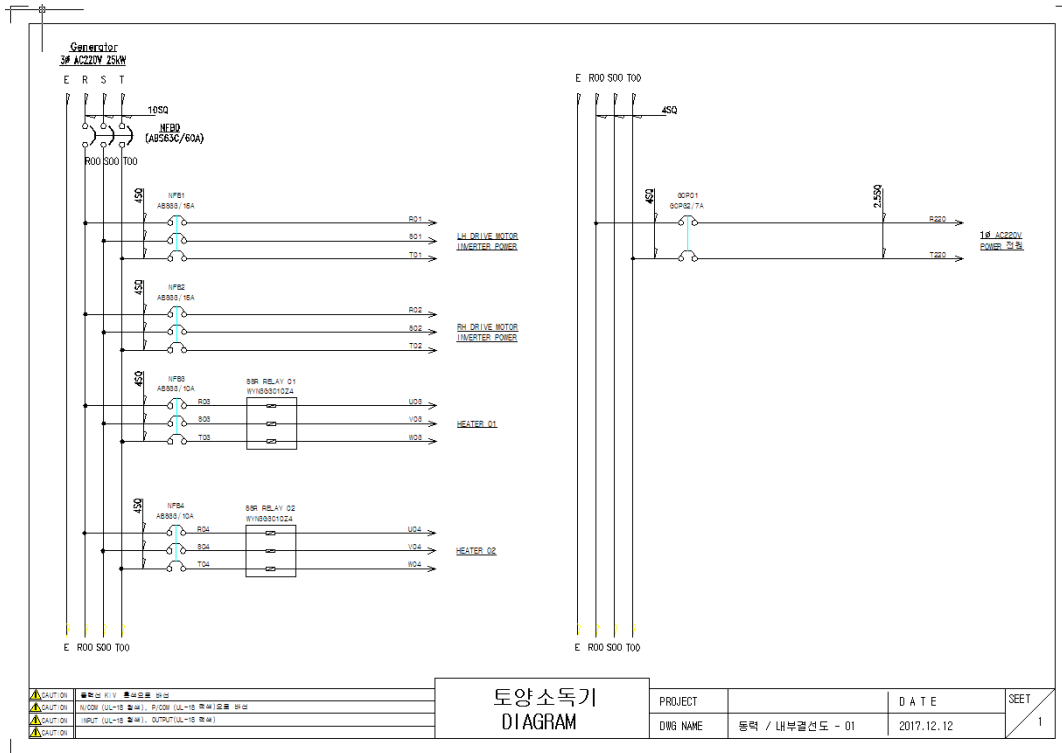
(1) 기존 모델 3D모델링



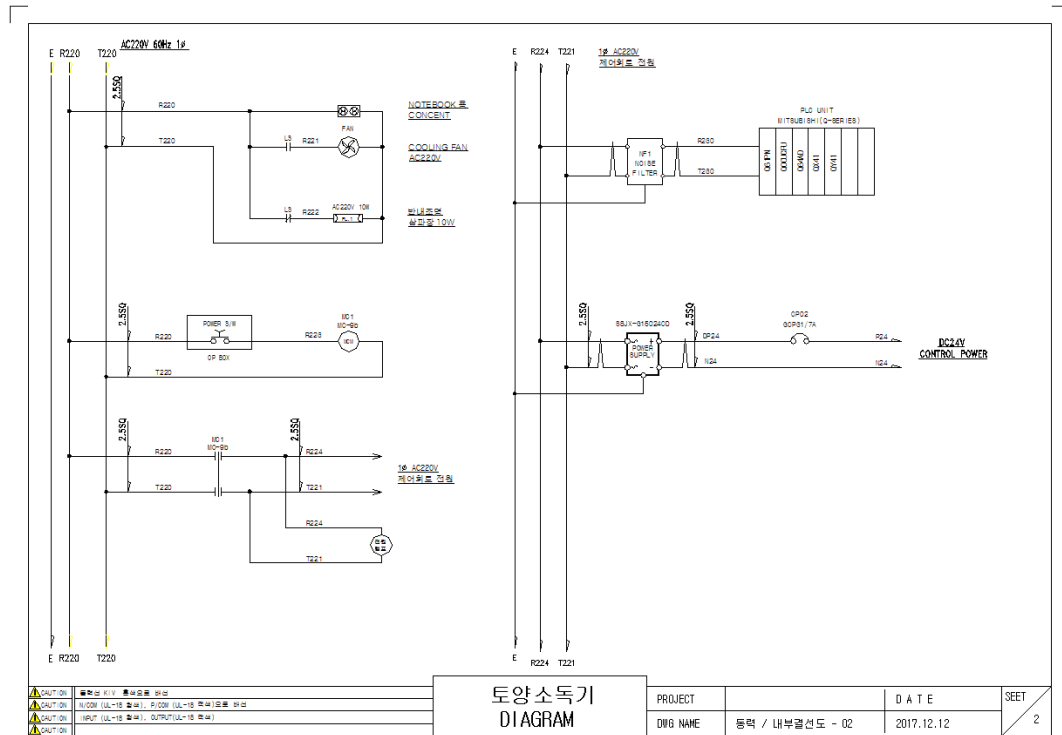
[그림 10] 스팀 토양소독기 3D 모델링

(2) 레이저 스캐너 및 센서를 활용한 조향 시스템

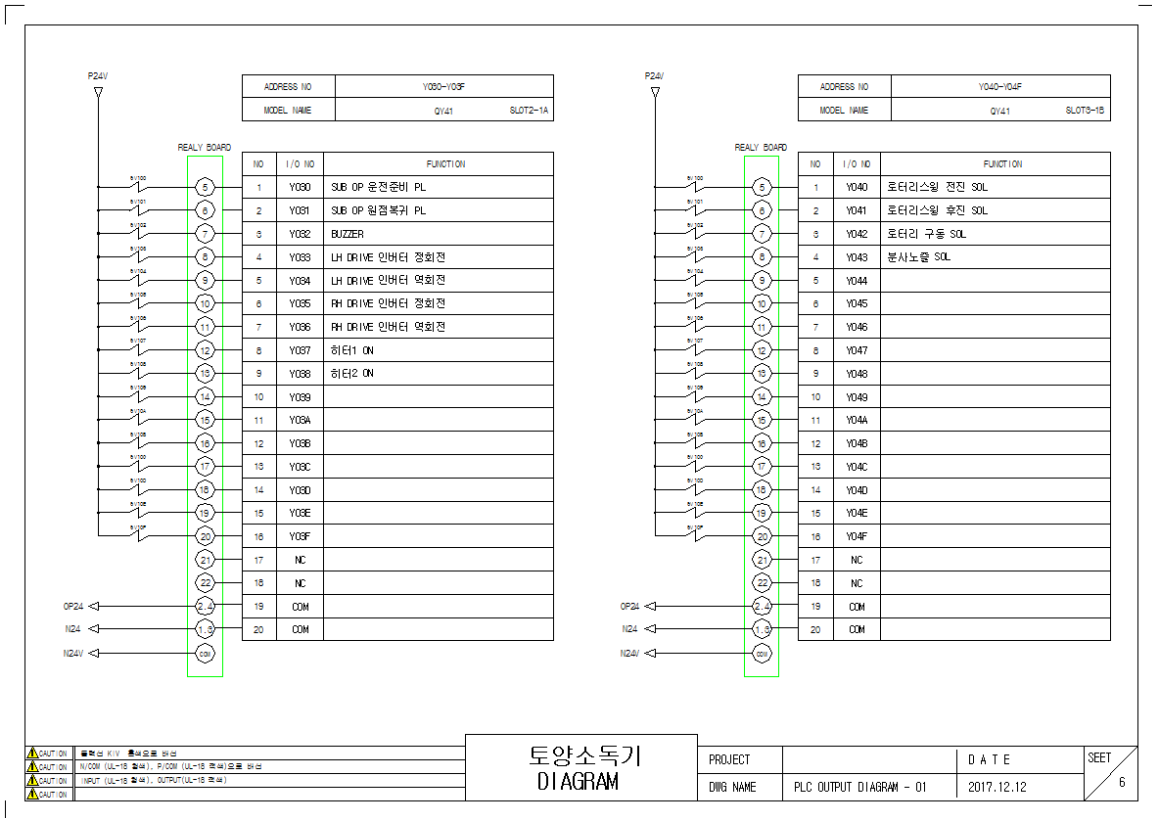
(가) 시스템 결선도 및 PLC diagram



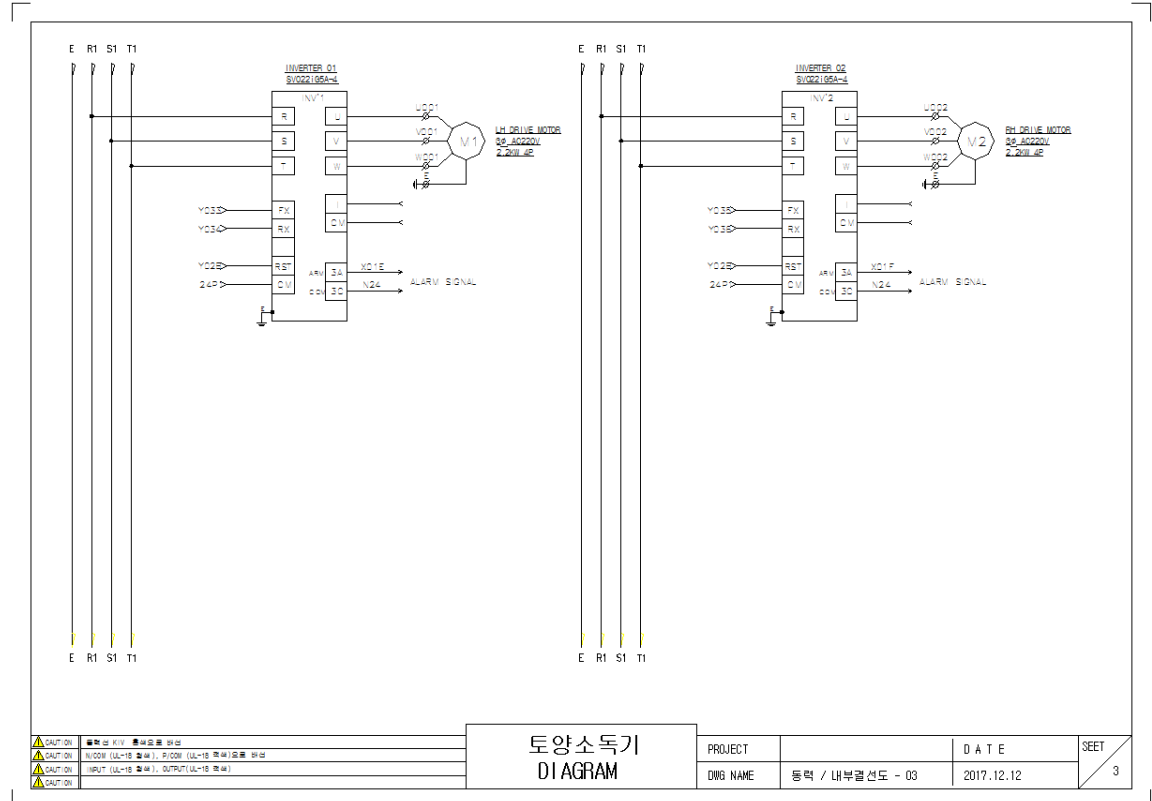
[그림 11] 시스템 결선도 및 PLC diagram



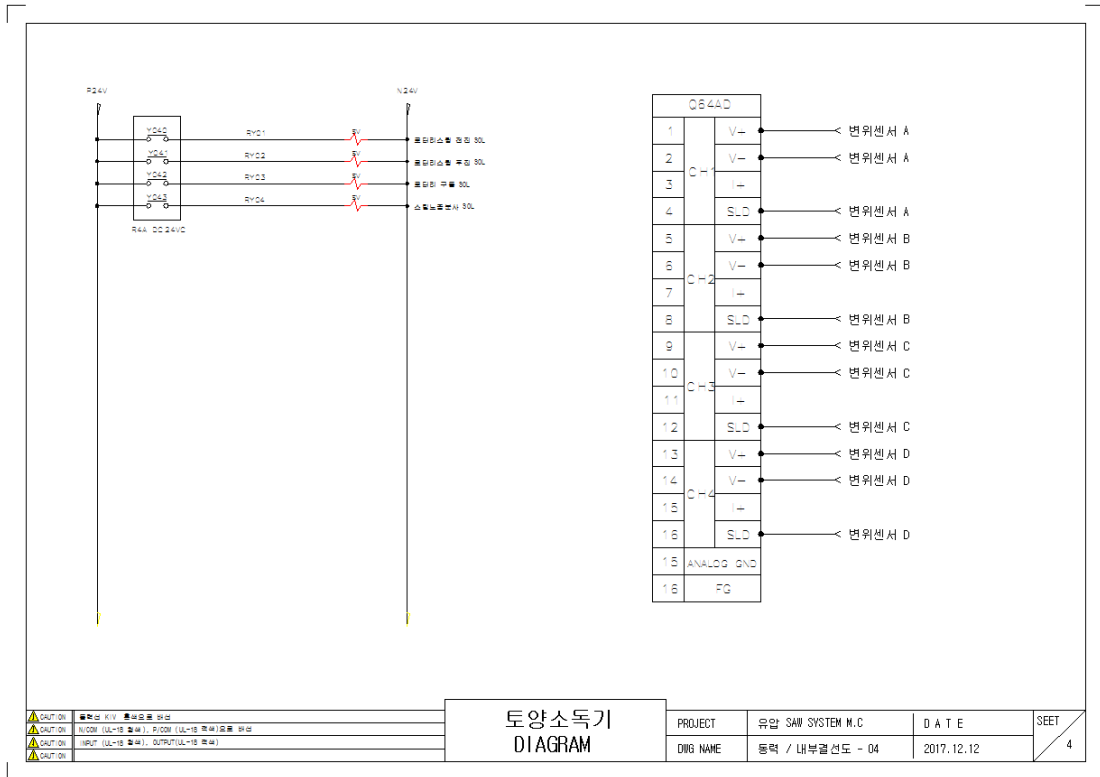
[그림 12] 시스템 결선도 및 PLC diagram



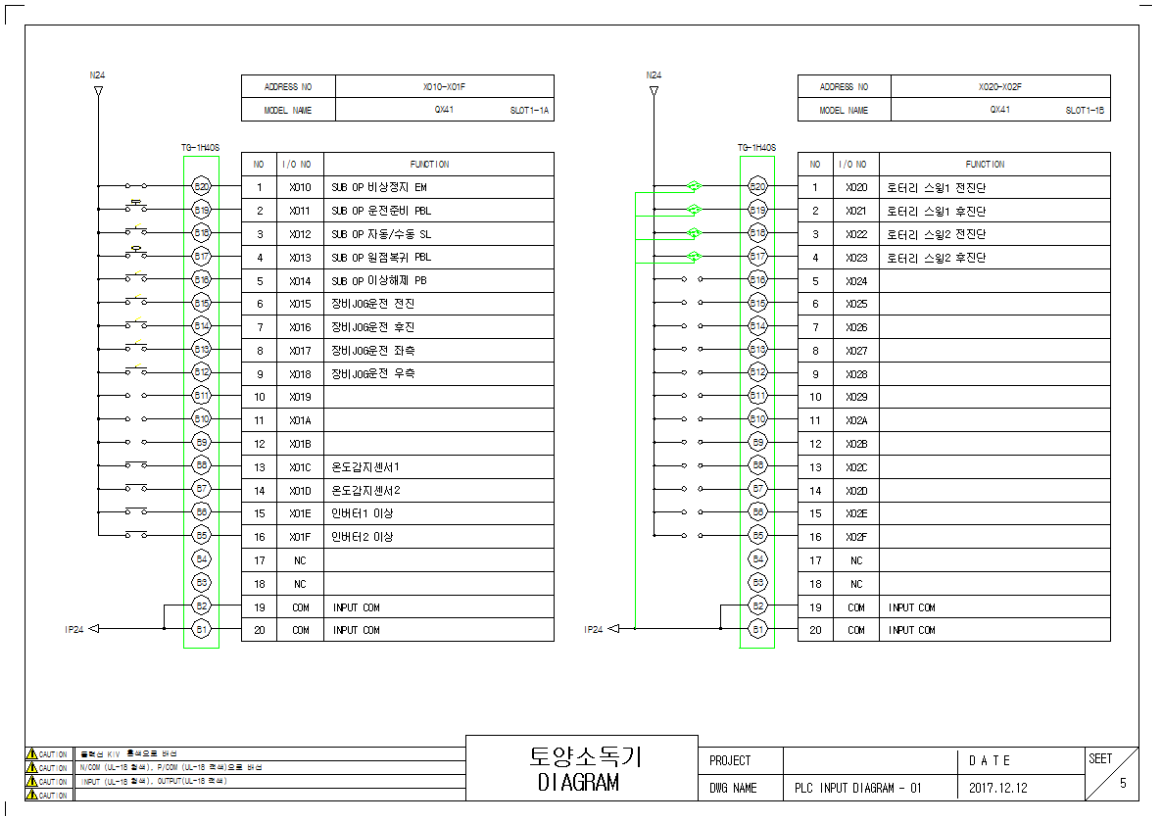
[그림 13] 시스템 결선도 및 PLC diagram



[그림 14] 시스템 결선도 및 PLC diagram

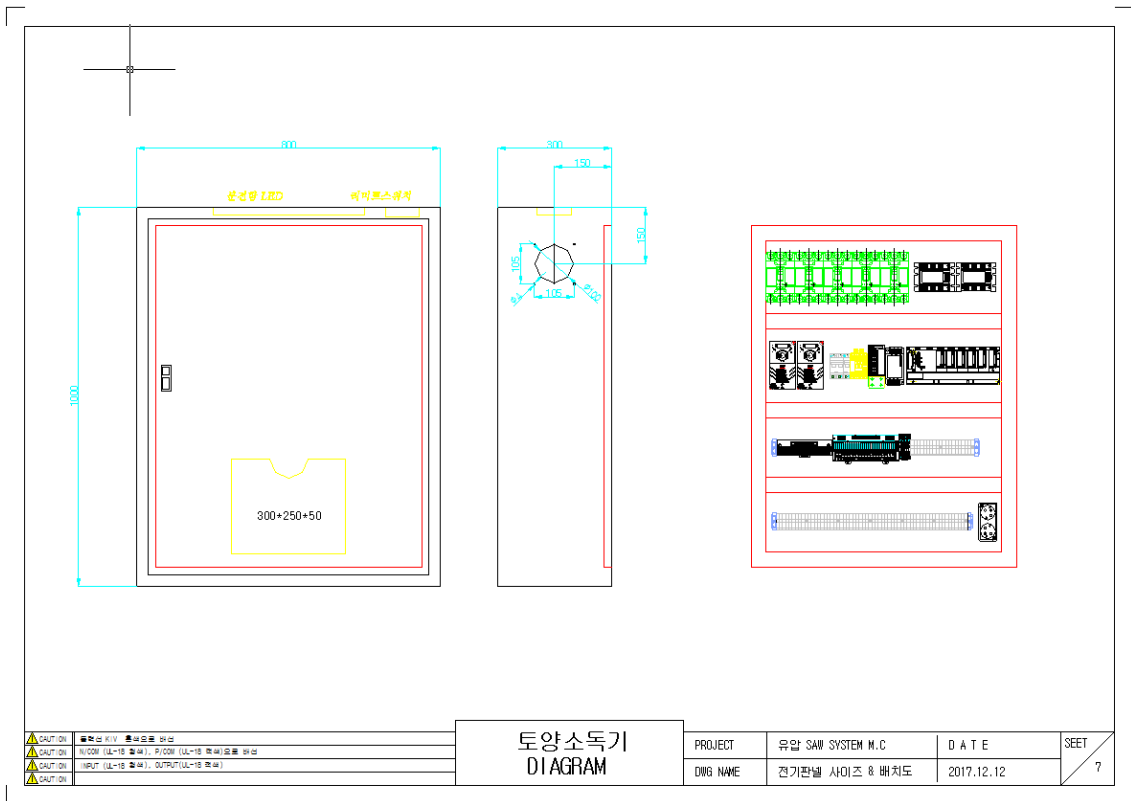


[그림 15] 시스템 결선도 및 PLC diagram



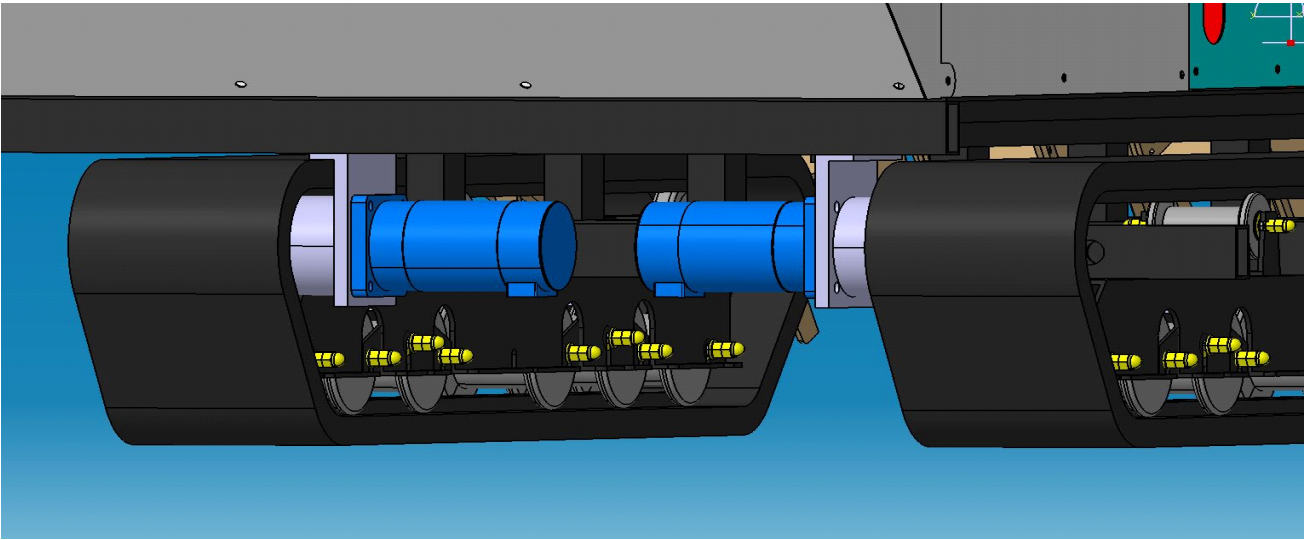
[그림 16] 시스템 결선도 및 PLC diagram

(나) 제어 Pannel H/W

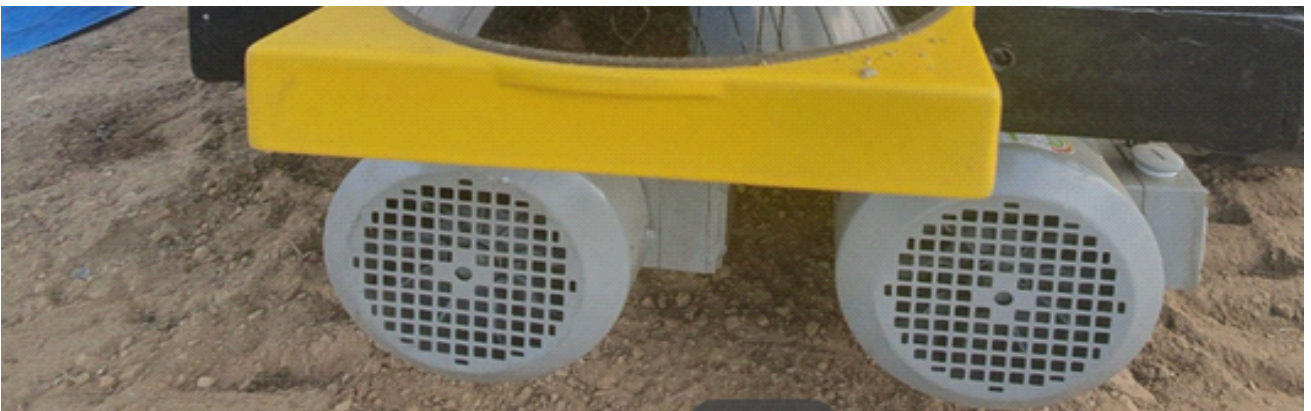


[그림 17] 제어 Pannel H/W

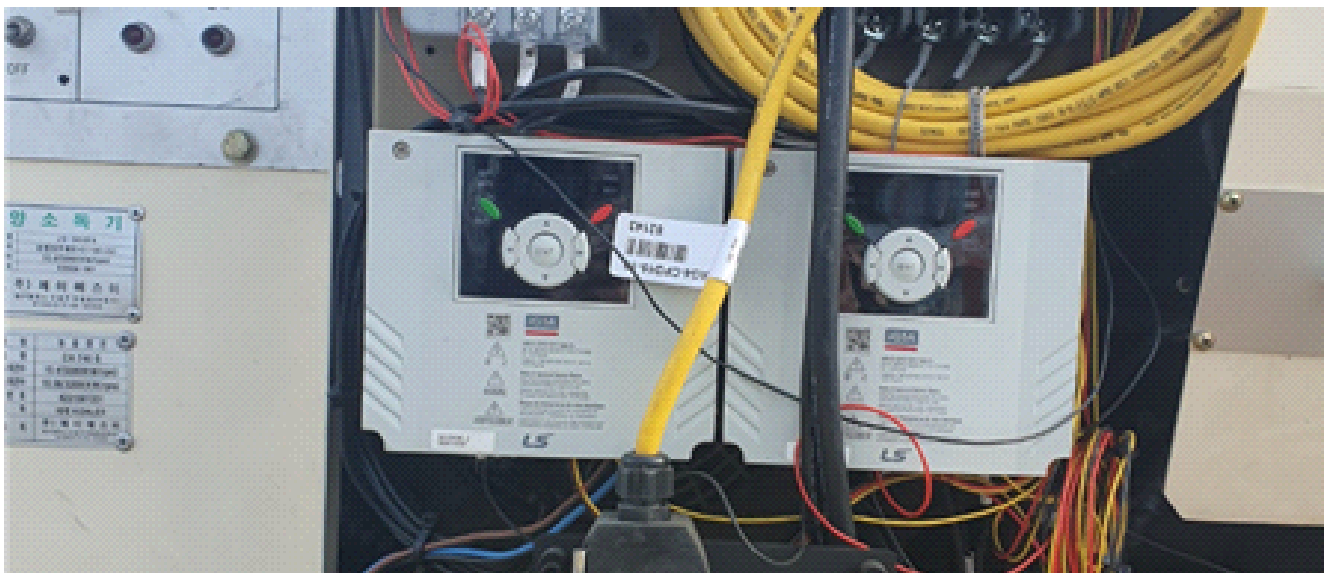
(3) 전기모터 구동부와 제어용 인버터 설계



[그림 18] 전기모터 구동부와 제어용 인버터 설계

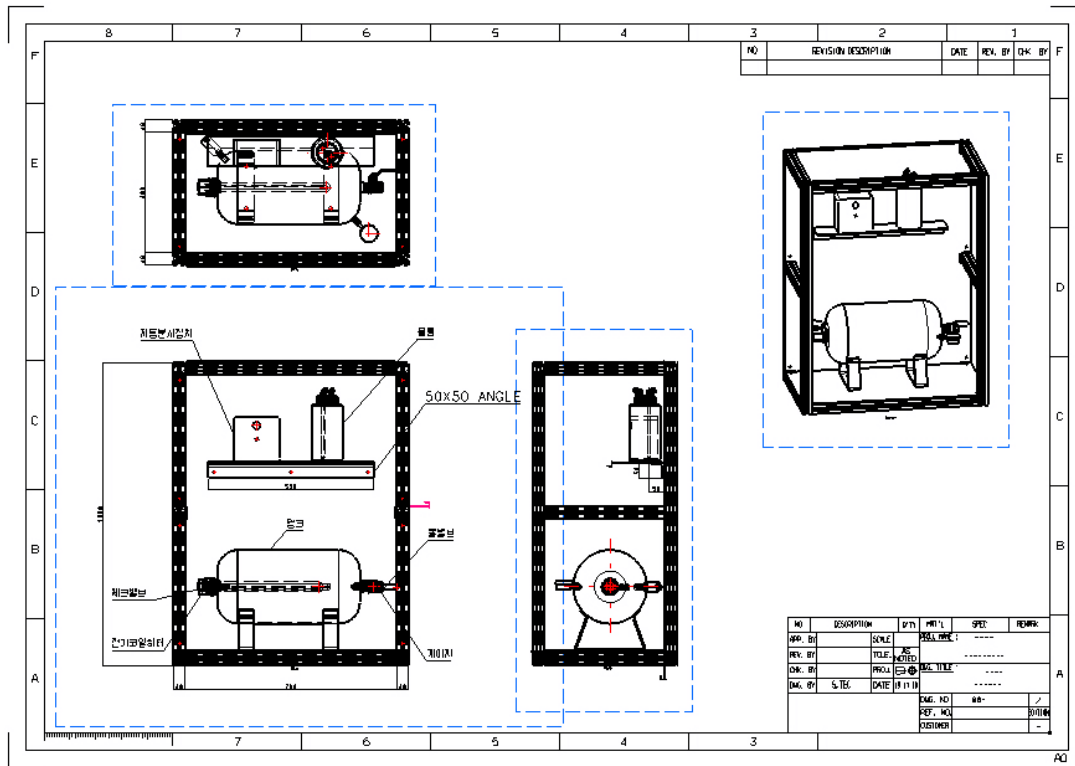


[그림 19] 전기모터 구동부

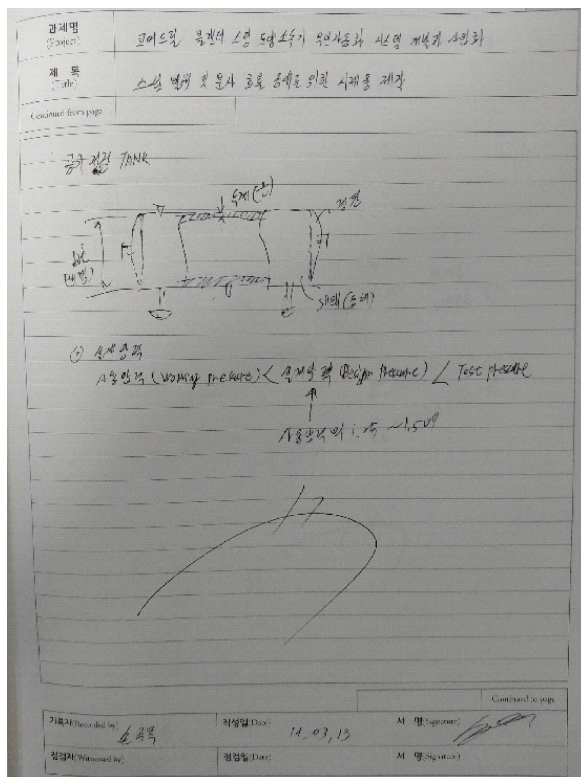


[사진 20] 제어용 인버터

(4) 고온 스팀 발생 및 분사 효율 증대를 위한 인젝션 제작 테스트



[그림 21] 인젝션 설계도

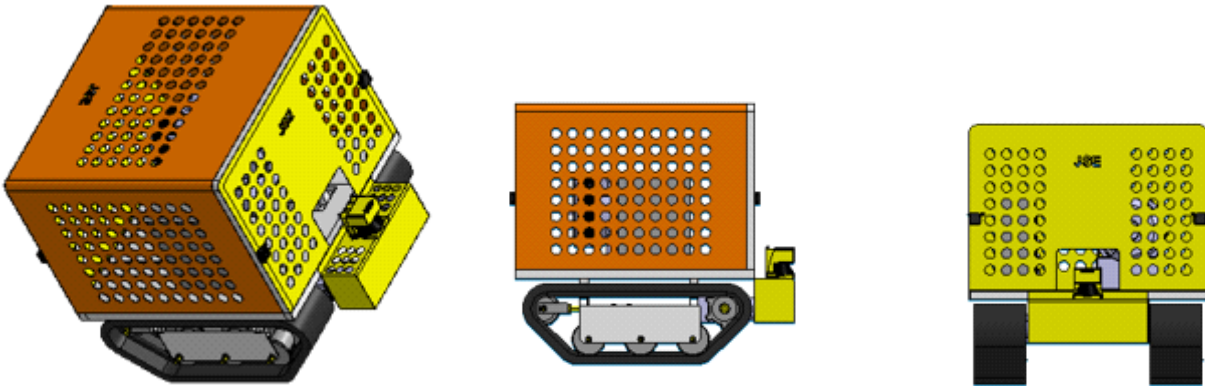


[그림 22] 인젝션개발 노트와 모형

(5) 테스트용 데모 차량 제작 및 테스트 공간 확보

(가) 제작 차량 개요

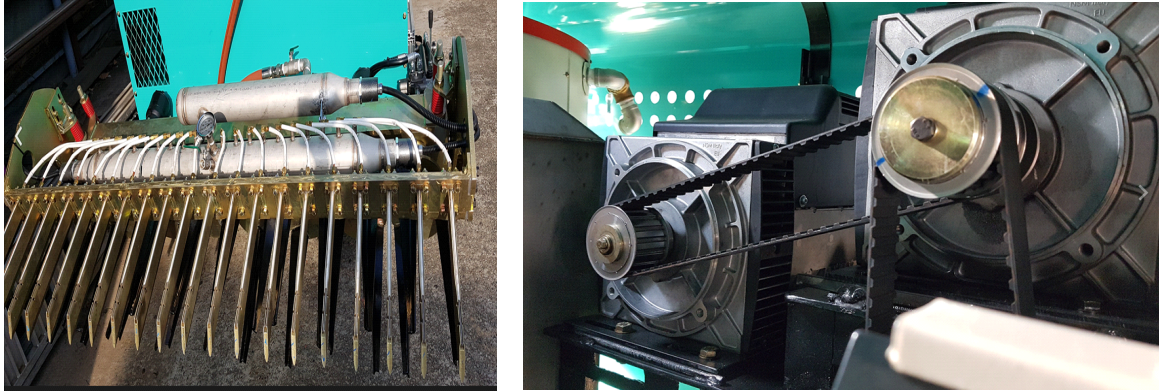
- ① 전동화된 주행 부분을 구성한 궤도를 이용하여 실제 토지에서 주행 중 발생하는 변수를 데이터베이스화하여 주행에 필요한 프로그램의 완성도를 높이기 위함.
- ② 실 차량에 적용할 레이저 스캐너 및 레이저 변위 센서를 활용하여 전방 및 좌우 장애물 및 진행 직진성을 확인할 수 있도록 구성
- ③ 레이저 스캐너 및 변위 센서에서 확보된 수치를 이용하여 PLC 및 인버터를 이용하여 실시간으로 주행 모터를 자동으로 제어하도록 제어 패널 제작
- ④ 테스트 진행된 자료를 활용하여 차기년도에 실차 제작에 반영할 수 있도록 주행중 발생할 수 있는 변수 사항에 관한 자료 수집 및 제어 기술 확보



[그림 23] 테스트용 데모 차량 모델링과 1/5 데모 차량 제작

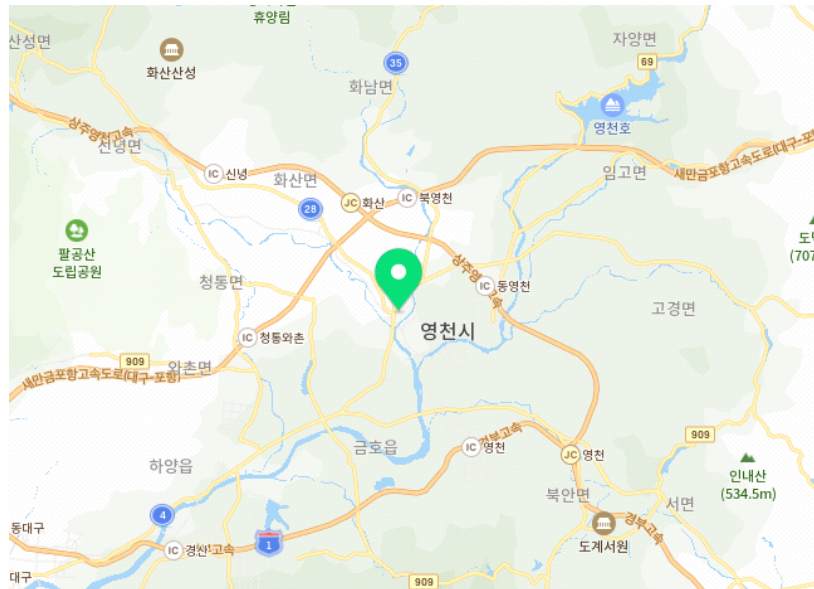
(나) 고온 스팀 발생을 위한 재가열기 제작

- ① 13KW 용량의 발전기 두 대를 엔진에서 생성되는 동력을 이용하여 전기를 생산.
- ② 스팀 발생용 보일러에서 배출되는 $6\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 86\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 스팀을 발생시킨다.
- ③ 고압의 스팀은 1차 가열기를 통해 1차적으로 고온의 스팀을 생성한다.(130도 목표)
- ④ 1차 가열된 스팀은 분사 노즐 직전의 2차 가열기를 통해서 가열한다.(220도 목표)



[그림 24] 재가열기

(다) 테스트베드 구성



[그림 25] 테스트베드 위치

- ① 경상북도 영천시 대전동 일부의 텃밭 부분 약 150m^2 을 테스트 베드 사용지로 무상임대하기로 하고 설치
- ② 비닐하우스 테스트 용지 약 66m^2 설치
- ③ 노지 테스트 용지 80m^2 조성
- ④ 데모 테스트 차량 보수 및 개선 작업용 테이블 1EA 제작

(라) 5M급 신형 토양소독기 개발

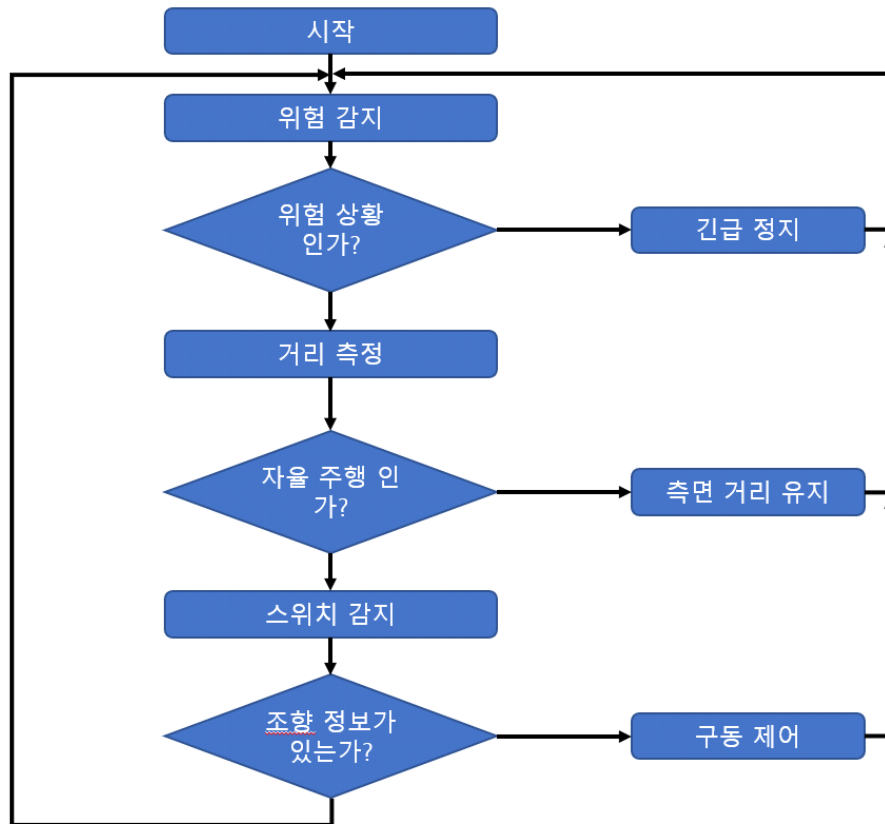
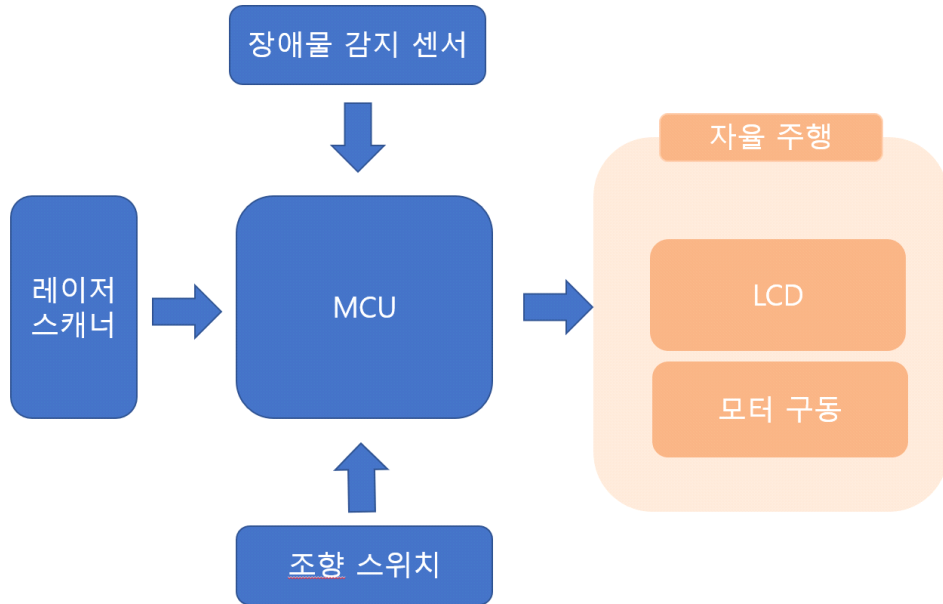
- ① 현 사양은 폭 1.5M의 작업이 가능하나 시설 농가의 요구사항에 따라 2M이상의 폭이 작업가능 하도록 성능을 향상시킨 전체 길이 5M급 작업 폭 2M의 신형 토양 소독기를 개발 제작 진행
- ② 엔진 출력 56마력, 발전기 26KW 최고 스팀 온도 220도를 목표로 제작 발전기 및 보일러 출력 부분에서 부하 발생으로 인한 개선 사항 발생
- ③ 제작 완료 후 천안국제농기계자재박람회 출품 전시 완료



[그림 26] 천안 국제농기계박람회 전시

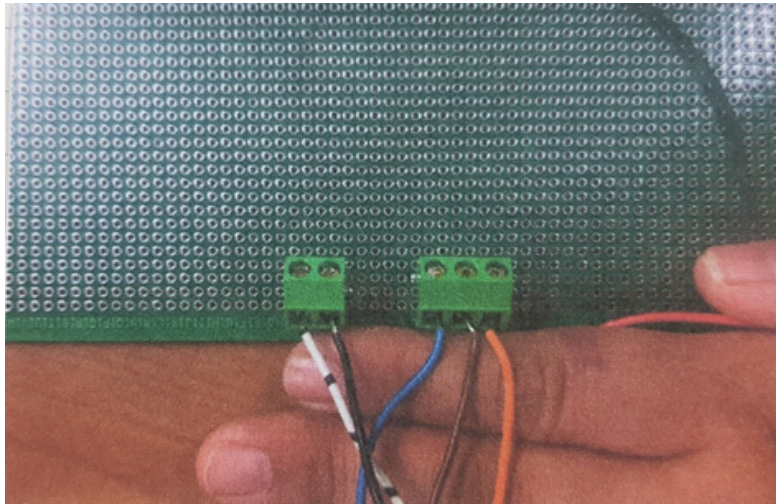
(6) 실증 노지 주행을 위한 토양소독기 제작

(가) 무선 조향 및 실차량 제어를 위한 컨트롤 제어 보드의 제작



[그림 27] 무선 조향 및 실차량 제어를 위한 컨트롤 제어

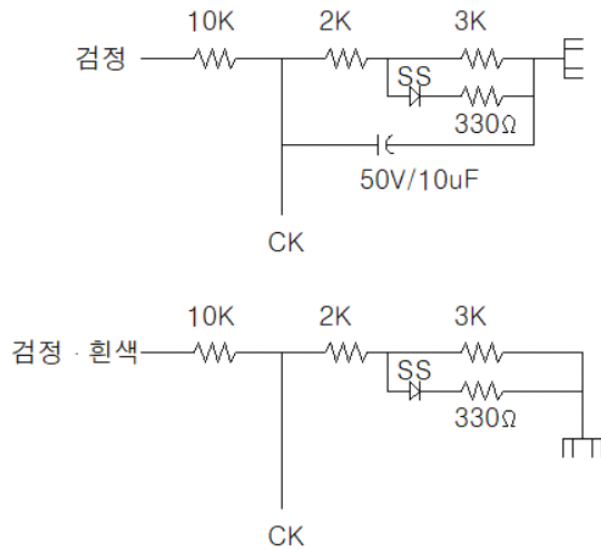
① 레이저 스캐너 셋업 및 개발 환경구축



[그림 28] 레이저 스캐너 셋업

주황색 - VCC, 갈색 - VCC 연결, 파란색 - GND

검정색 - 검·흰색 얼룩이 —



[그림 29] 레이저 스캐너 셋업

디지털 11 → 두번째 LED

아날로그 A5 → 두번째 저항(200Ω)

digital 10 → 첫번째 LED

아날로그 A4 → 첫번째 저항(200Ω)

”

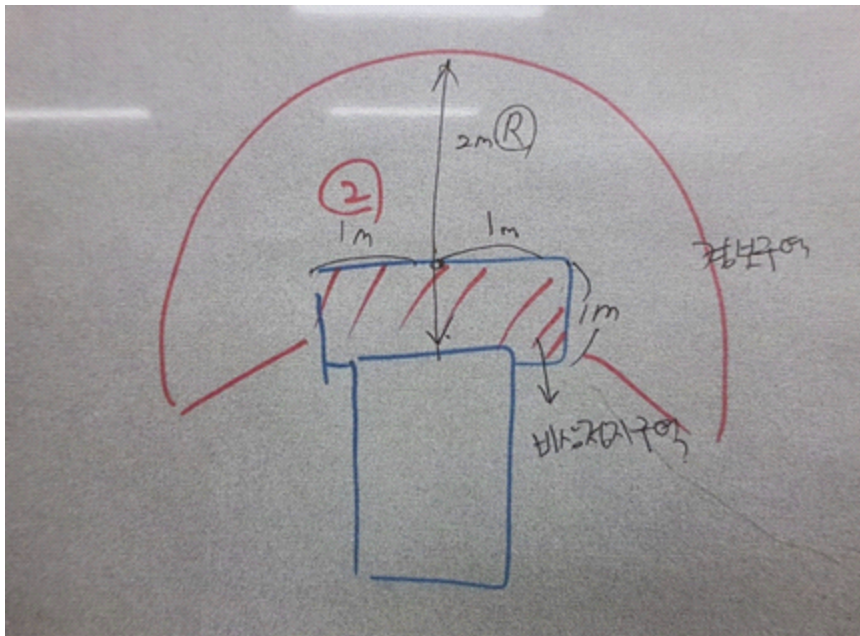
아날로그 A6 → 세번째 저항(200Ω)

아날로그 A7 → 네번째 저항(200Ω)

BANNER AG4-4E Cable 역할 & 프로그램 관련

Brown	-	VCC
Blue	-	GND
Orange	-	FP1 1Zone
Yellow	-	FP2 2Zone
Red	-	FP3 3Zone
Gray	-	FP4 4Zone
Black or White	-	OSS 1
White & Black	-	Alram

② 경보 및 비상구역 설정



[그림 30] 레이저 스캐너 셋업

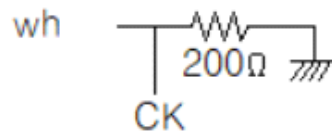
경보구역 : 중심점에서 반지름 2m

비상정지구역 : 중간점에서 양측1m

중간점에서 전방1m

③ 변위 측정 센서 개발환경구축

④ 변위 데이터 전압으로 변환 설계



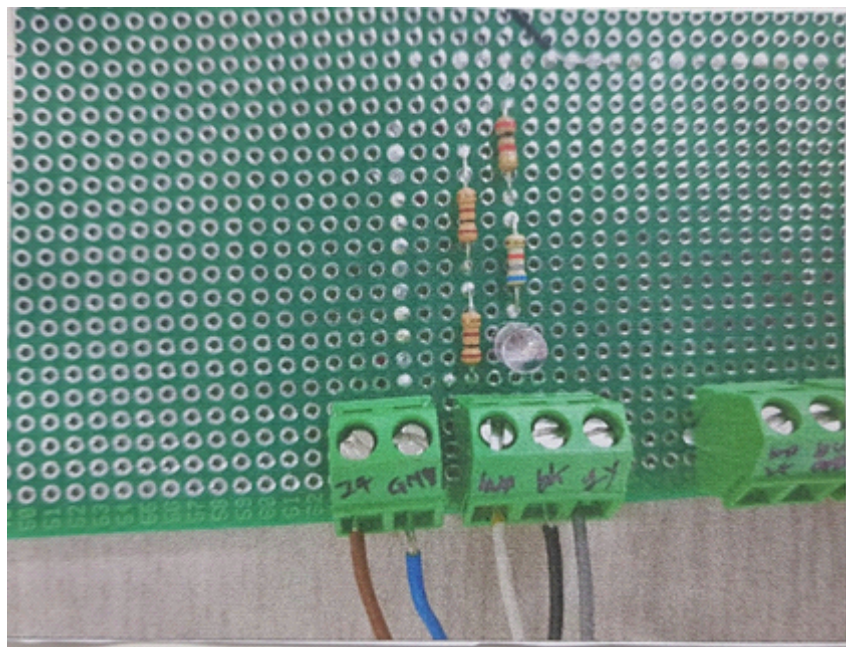
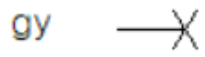
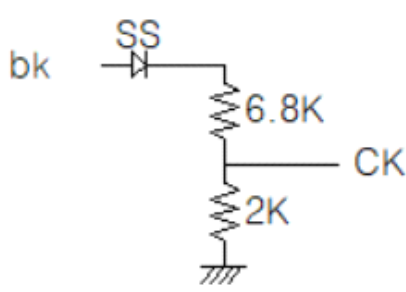
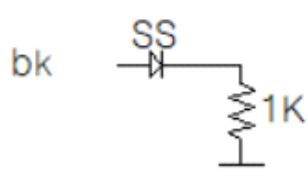
실험을 위해 100Ω 두개직렬

$$V = IR$$

$$5V = 20mA \cdot R$$

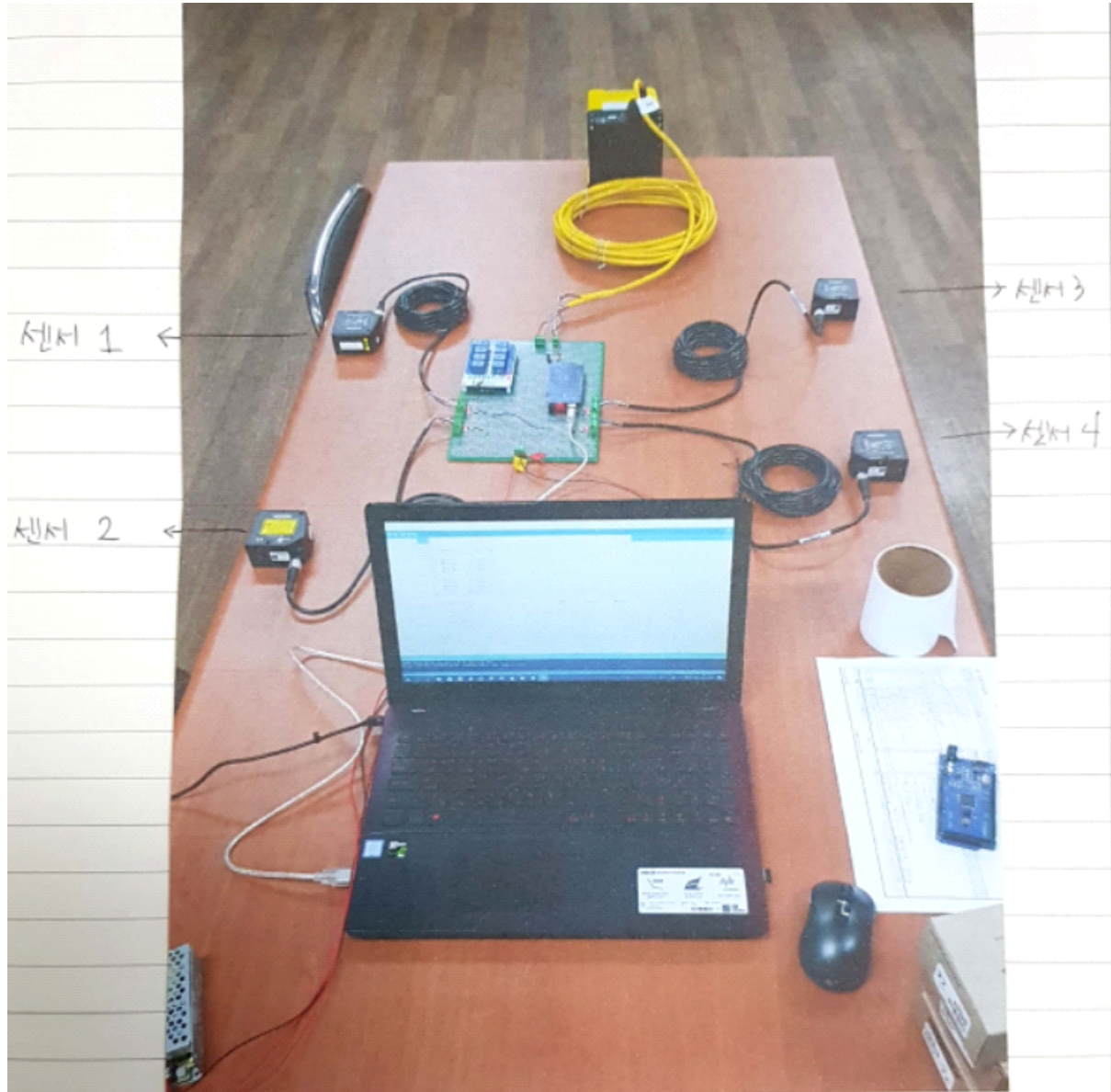
$$R = \frac{5}{0.02}$$

$$R = 250\Omega$$



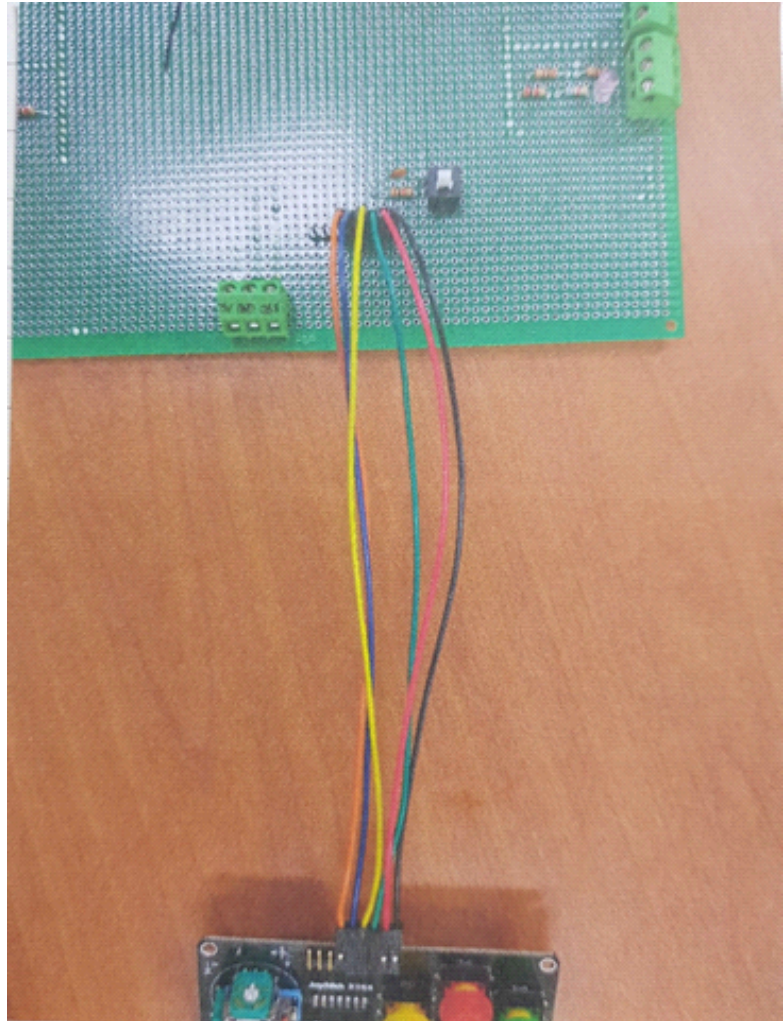
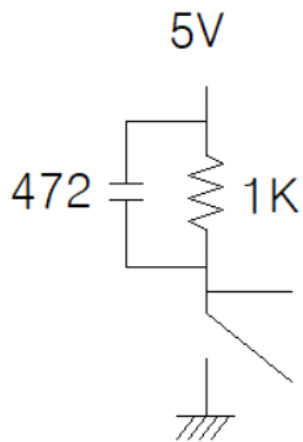
[그림 31] 레이저 스캐너 셋업

⑤ 레이저 스캐너 및 레이저 변위 센서 연결 테스트



[그림 32] 레이저 스캐너 및 레이저 변위 센서 연결 테스트

⑥ 조작 스위치 연결 관련



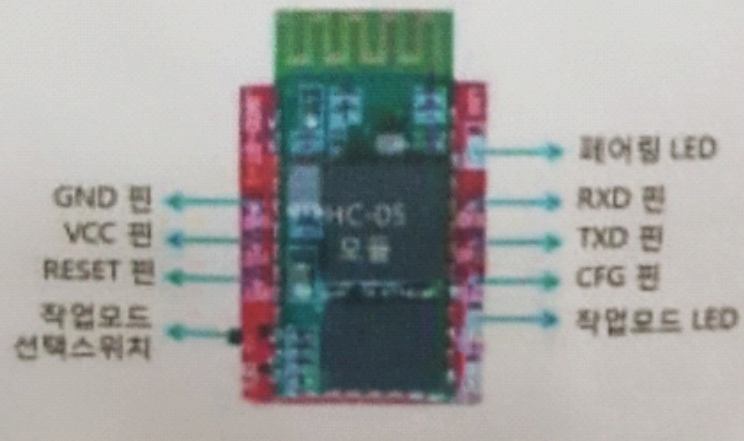
[그림 33] 레이저 스캐너 조작 스위치

⑦ 통신 설정.a

```
AT
AT+NAME
AT+NAME=aaa

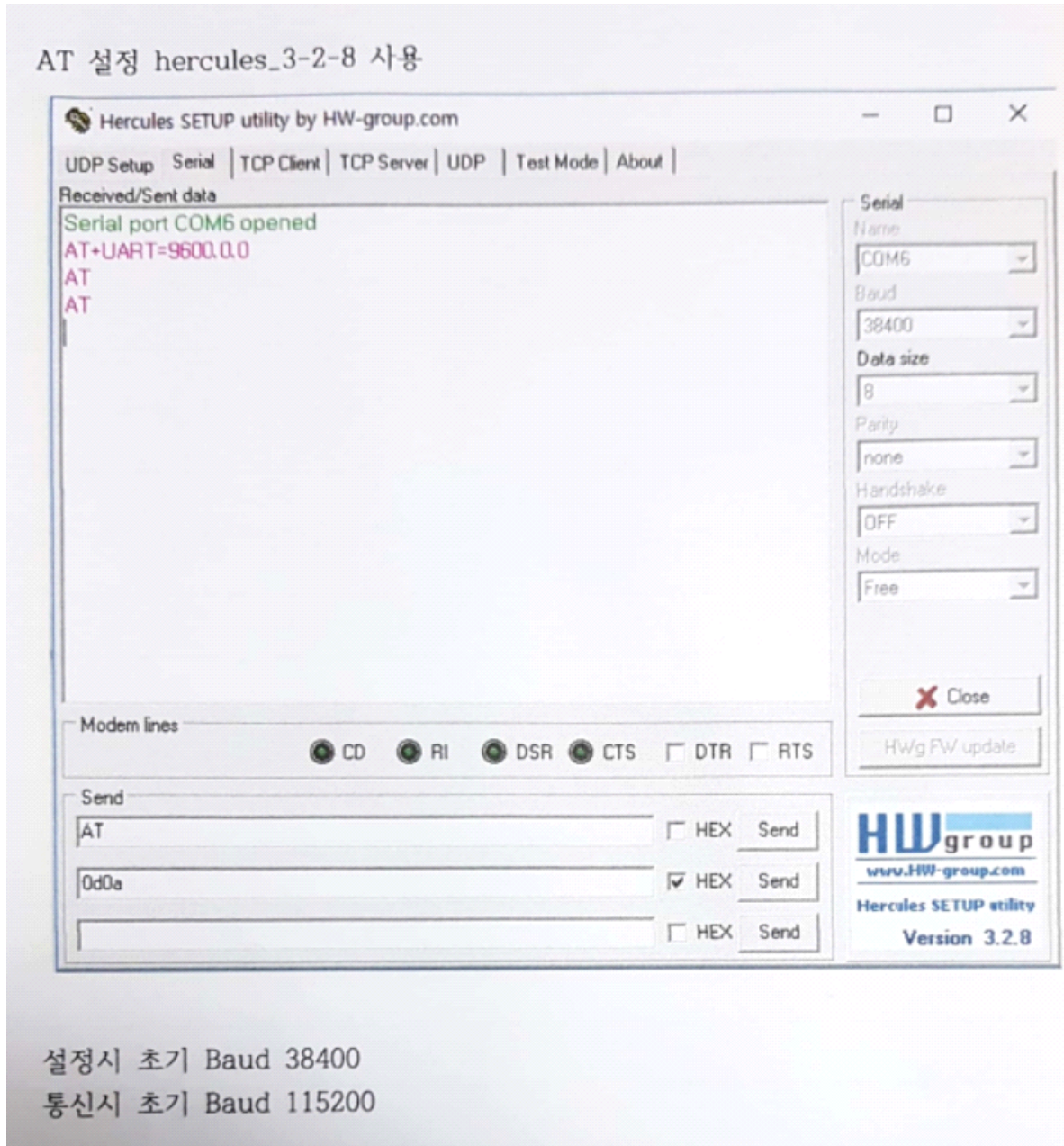
AT+ROLE?//0슬레이브 1마스터
AT+ROLE=0
AT+ROLE=1
AT+BIND?
AT+BIND=00,00,00//단일 모듈에 접속 하도록 명령
AT+ADDR?

HC-05 RX핀을 MEGA2560 TX1(18번)에 연결
HC-05 TX핀을 MEGA2560 RX1(19번)에 연결
```



[그림 34] 통신설정

⑧ 통신 설정 b.

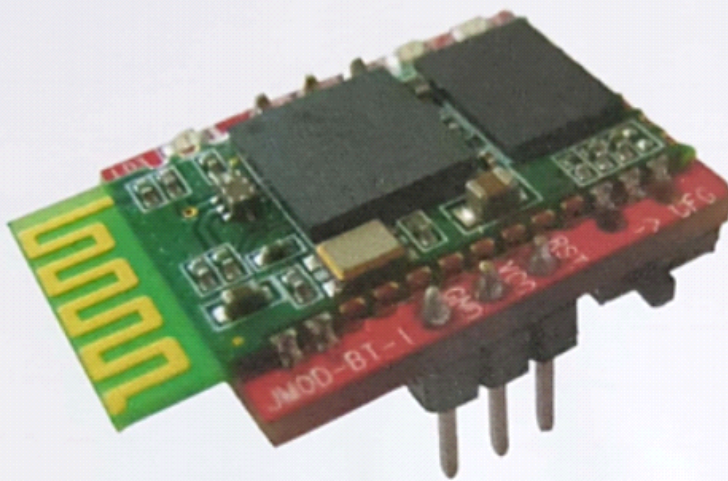


[그림 35] 통신설정

⑨ 통신 설정 c.

스캐너가 위험지역이고 오토를 동작 시킨 경우 블루투스 AT모드 진입 할 수 있도록 아두이노 프로그램 함.

AT 동작을 위해서는 설정 핀을 CFG로 하고 전원을 다시 인가해야함.



```
if(digitalRead(Scanner1)==0&&digitalRead(Scanner2)==0&&digitalRead(Auto_SW)==0)
{
  if (Serial1.available())           // 블루투스 버퍼에 데이터가 있다면
    Serial.write(Serial1.read());
  if (Serial.available())           // 시리얼 버퍼에 데이터가 있다면
    Serial1.write(Serial.read());
}
```

[그림 36] 통신설정

⑩ 통신 설정 d.

MEGA2560이랑 Nexion Debug로 테스트
가능 통신 BORD는 115200으로 설정

nexion LCD RX를 MEGA2560 TX2에 연결
nexion LCD TX를 MEGA2560 RX2에 연결

**MEGA2560이랑 Nexion 연결시 GND 연
결 안되면 통신 되지 않음 샘플 테스트
시 주의 할 것**

```
Serial.begin(115200);  
Serial1.begin(115200);  
//블루 투스 통신  
Serial2.begin(9600);//  
  
Serial2.print("TF1.val=");  
Serial2.print(TF1_val);  
Serial2.write(0xff);  
Serial2.write(0xff);  
Serial2.write(0xff);
```

[그림 37] 통신설정

① HMI 디스플레이

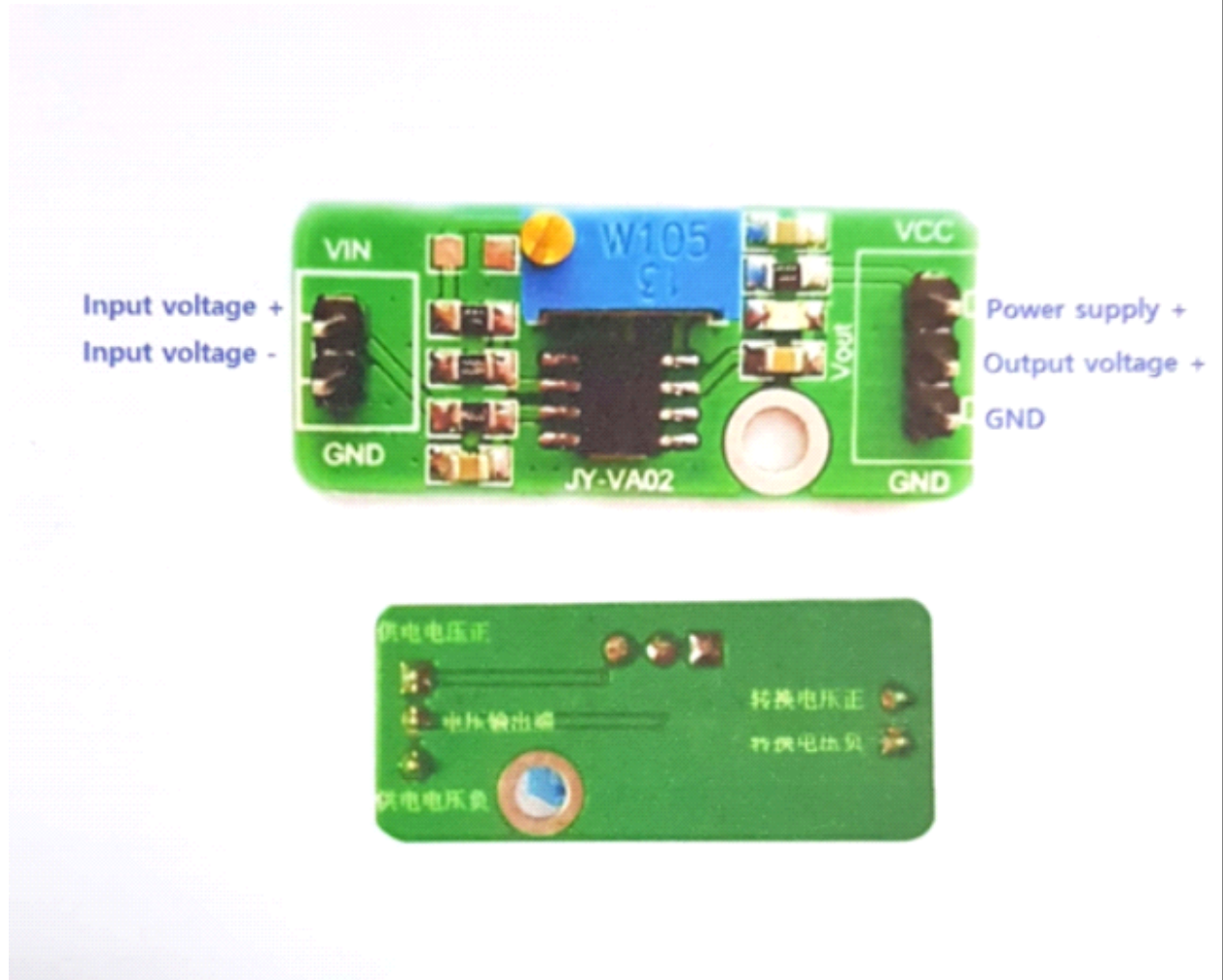
```

va0.val=TF1_Num.val/4
TF1.val=100-va0.val
va0.val=TF2_Num.val/4
TF2.val=100-va0.val
TF_LT_set_Num.val=400-TF_LT_set.val
TF3.val=TF3_Num.val/4
TF4.val=TF4_Num.val/4
TF_RT_set_Num.val=TF_RT_set.val

if(W_area.val==1)
{
p1.pic=1
}
if(W_area.val==0)
{
p1.pic=2
}
if(E_area.val==1)
{
p2.pic=3
}
if(E_area.val==0)
{
p2.pic=4
}

```

[그림 38] HMI 디스플레이 설정



[그림 39] LM358

(나) 노지에서서의 실제 테스트 진행

① 영천시 대전리에 마련된 테스트 비닐하우스 내에서의 노지 기동 테스트 진행



[그림 40] 주행 테스트

② 레이저 스캐너



[그림 41] 레이저스캐너

③ 레이저 변위 센서



[그림 42] 변위센서 장착

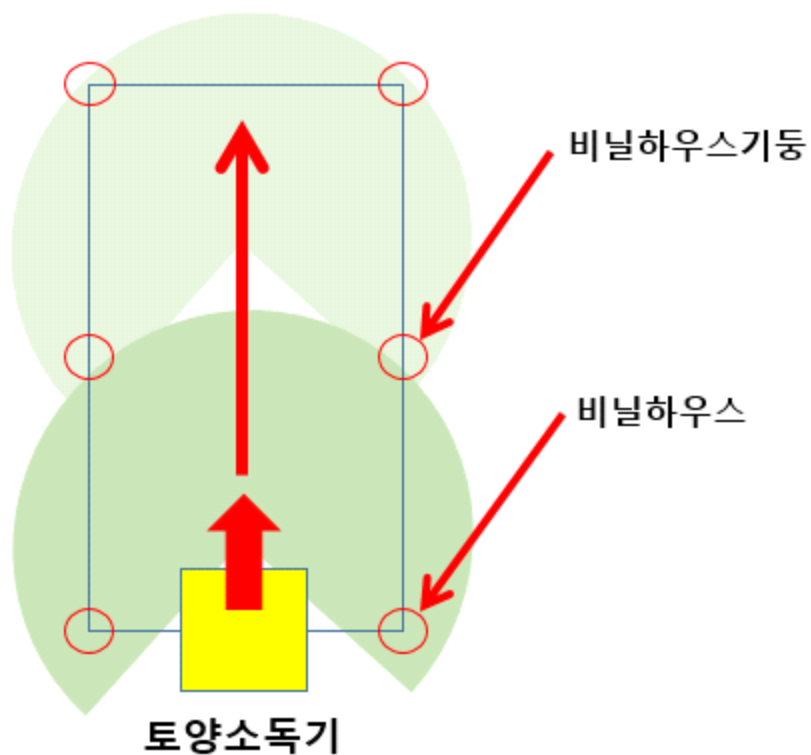


[그림 43] 변위센서 장착

다. 토양소독기 전기구동 무인화 시스템 개발 결과

(1) 레이저 스캔을 이용한 자가 위치 인식

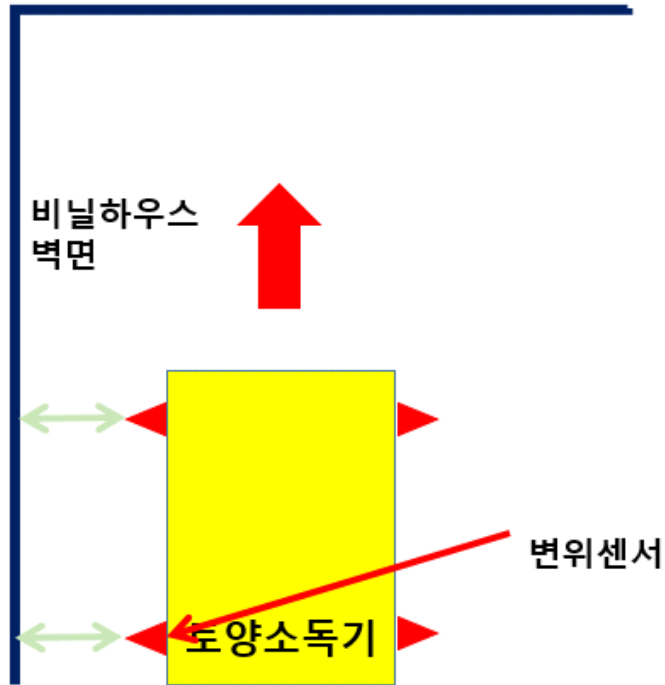
- (가) 토양소독기 진행방향으로 레이저 스캐너를 이용
- (나) 주위 지형지물을 스캔하여 하우스 형태 인지
- (다) 주변 장애물을 인식하여 위험 구간 경보 및 비상제동



[그림 44] 레이저 스캔 자가 위치 인식도

(2) 변위센서를 활용한 조향 시스템제어

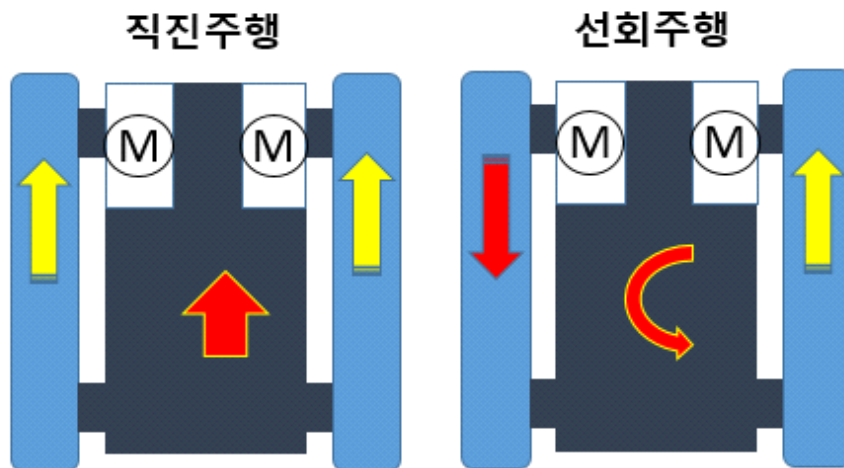
- (가) 변위 센서를 활용하여 지형지물과 토양소독기간의 실시간 거리 파악
- (나) 한방향 두 개 이상의 센서를 설치하여 올바른 주행상태인가 확인
- (다) 취득된 데이터를 분석하여 조향 시스템에 전달



[그림 45] 변위센서 조향 시스템 제어 이해도

(3) 전기 모터 구동 시스템 개발

- (가) 좌우 독립 모터의 사용으로 드라이브휠 속도제어
- (나) 취득된 데이터를 통해 가이드 라인을 따라 자율 주행 조향
- (다) 변위센서로 실시간 주행 방향을 확인하여 피드백



[그림 46] 변위센서 조향 시스템 제어 이해도

라. 고온증기 토양소독기의 소독 효율 분석

본 연구에서는 지난 1차, 2차년도 연구에 진행한 고온증기 토양소독기의 소독 효율 분석을 17회 진행하였음. 3차년도에는 전남 여수, 전남 광양, 경기 화성, 충남 태안, 경북 안동, 전남 영암 등 총 7지역에서 14회 실험을 수행하였음.

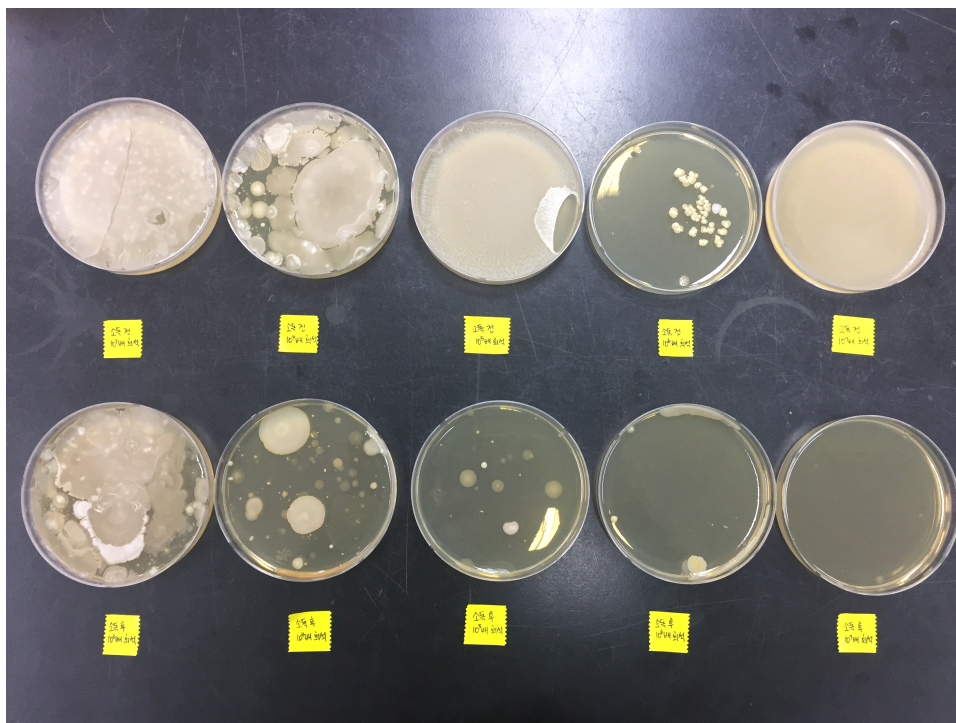
(1) 연구방법

(2) 토양 미생물의 소독 전 후 변화 분석

본 연구에서는 희석평판법을 통해 종합적인 토양미생물의 소독 전 후 사멸 정도를 확인하였음

(가) 경상북도 고령군 운수면 대평리 (2017년 8월 28일)

- ① 작기가 끝난 수박재배 비닐하우스 1개동 전체를 처리구역으로 정함
- ② 희석배수가 커질수록 점점 콜로니 밀도가 감소하고, 소독 전보다 소독 후일 때 콜로니 밀도가 감소
- ③ 생성된 콜로니의 모양도 다양하고 크기도 커서 해당 결과로는 콜로니를 계수 할 수 없었고, 희석배수와 소독 전 후에 따른 경향성만 시각적으로 확인해 볼 수 있었음



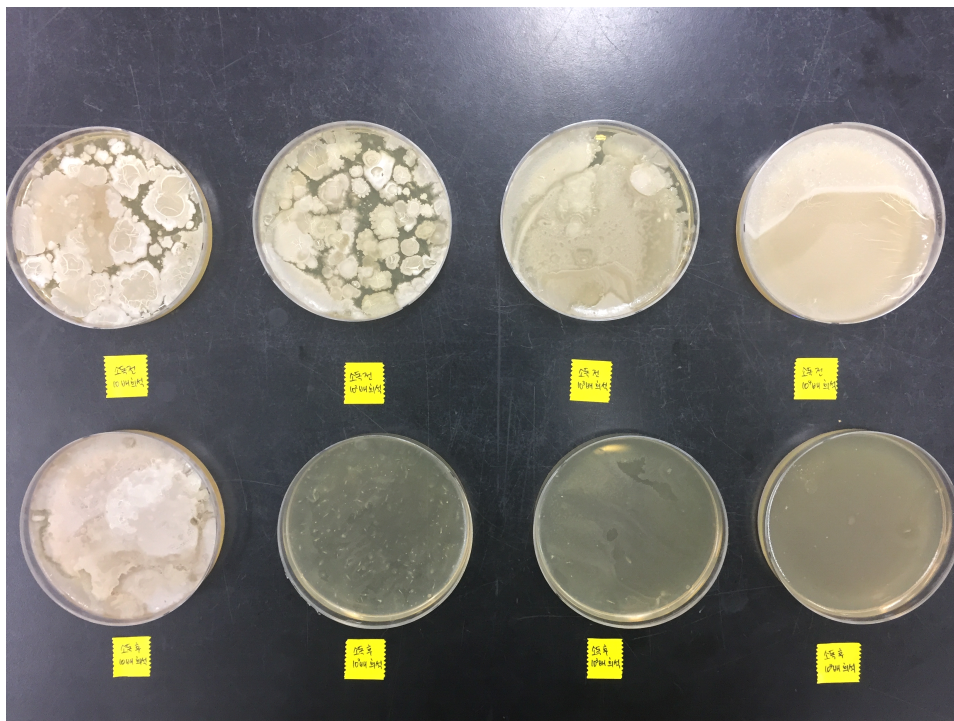
[그림 47] 실험배지



[그림 48] 소독중인 비닐하우스 전경

(나) 경상북도 성주군 성주읍 백전리 (2017년 9월 19일)

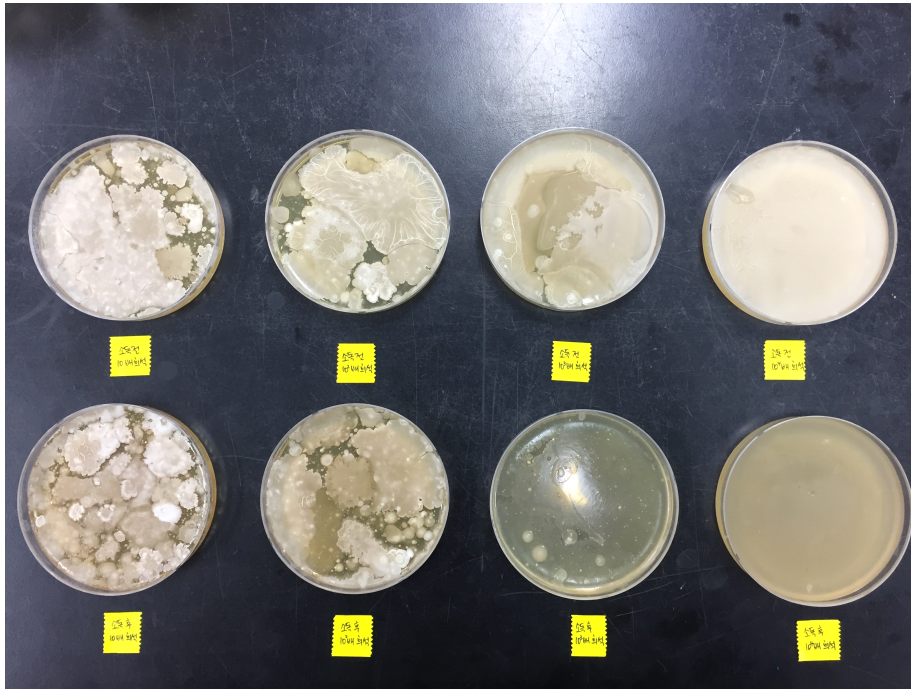
- ① 소독 전 후에 따른 콜로니 차이가 확연하게 보이고 있으나 생성된 미생물의 형태가 다양해 콜로니 계수에는 어려움이 있음



[그림 49] 실험배지

(다) 경상북도 성주군 초진면 용봉리 (2017년 9월 20일)

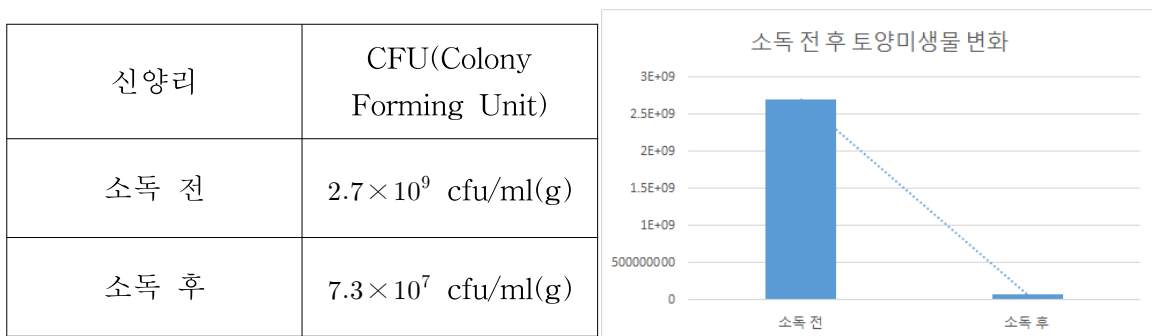
- ① 희석배수에 따라, 소독 전 후에 따라 콜로니가 감소하는 경향성을 육안으로 확인
- ② 콜로니가 크고 다양하게 형성되어 계수의 어려움이 있음.



[그림 50] 실험배지

(라) 충청북도 음성군 생극면 신양리 (2017년 11월 13일 월요일)

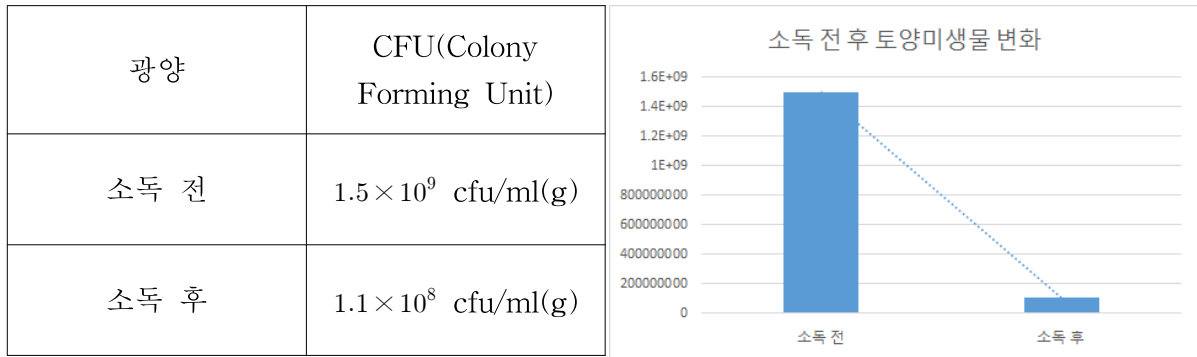
- ① 콜로니 카운팅을 통해 집락형성능(CFU)를 구해 본 결과 소독 전과 후에 각각 2.7×10^9 cfu/ml(g), 7.3×10^7 cfu/ml(g)로 나타남
- ② 소독 전 후 CFU 차이가 큰 것으로 보아 스팀소독이 토양미생물에 주는 영향이 큼



[표 2] 토양미생물 분석결과

(마) 전남 광양시 진월면 월길리 (2017년 11월 29일 수요일)

- ① 배양된 배지에서 콜로니를 계수하여 CFU를 구한 결과 소독 전 후에 1.5×10^9 cfu/ml(g), 1.1×10^8 cfu/ml(g)로 나타났다. 앞서 진행한 충북 음성에서의 결과와 비슷한 경향성을 나타남



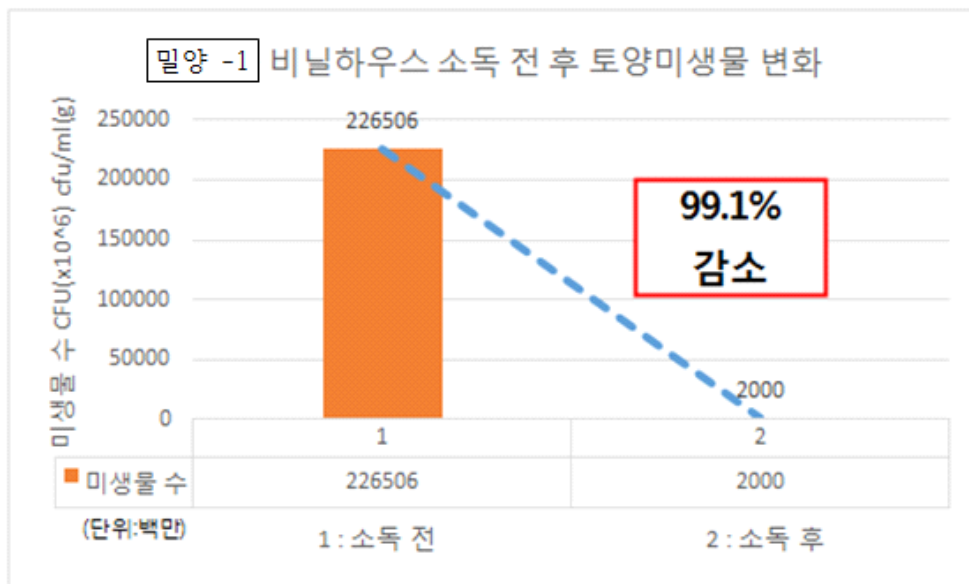
[표 3] 토양미생물 분석 결과

(바) 경상남도 밀양시 산외면 금곡리 (2018년 5월 16일)

경상남도 밀양시 산외면 금곡리에서는 서로 다른 두 개의 스템 토양소독기를 이용하여 비닐하우스 좌우를 소독하였으며, 양쪽의 시료를 각자 채취하여 소독효율을 분석하였음

① 비닐하우스 우측 - 토양 소독 전 2.27×10^{11} cfu/mL에서 소독 후 2.0×10^9 cfu/mL로 미생물 집락이 99.1% 감소한 것을 확인할 수 있음

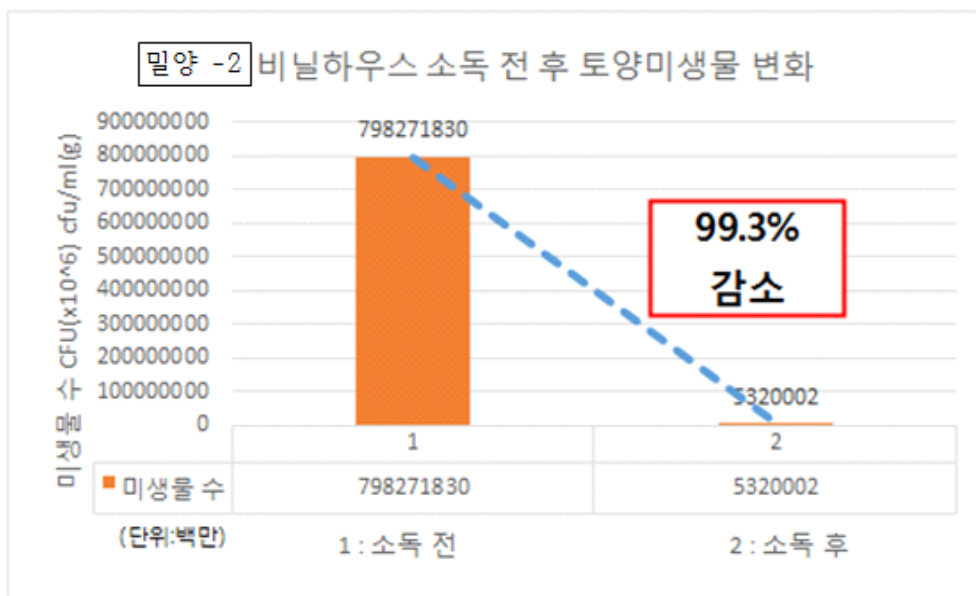
오른쪽 비닐하우스	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	2.27×10^{11} cfu/ml(g)	99.1 %
소독 후	2.0×10^9 cfu/ml(g)	



[표 4] 토양미생물 분석 결과

- ② 비닐하우스 좌측 - 토양 소독 전 7.98×10^{12} cfu/mL에서 소독 후 5.32×10^8 cfu/mL 로 미생물 집락이 99.3% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ③ 토양 소독 전과 후 토양미생물이 99% 이상 감소한 것으로 보아 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

왼쪽 비닐하우스	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	7.98×10^{12} cfu/ml(g)	99.3 %
소독 후	5.32×10^8 cfu/ml(g)	

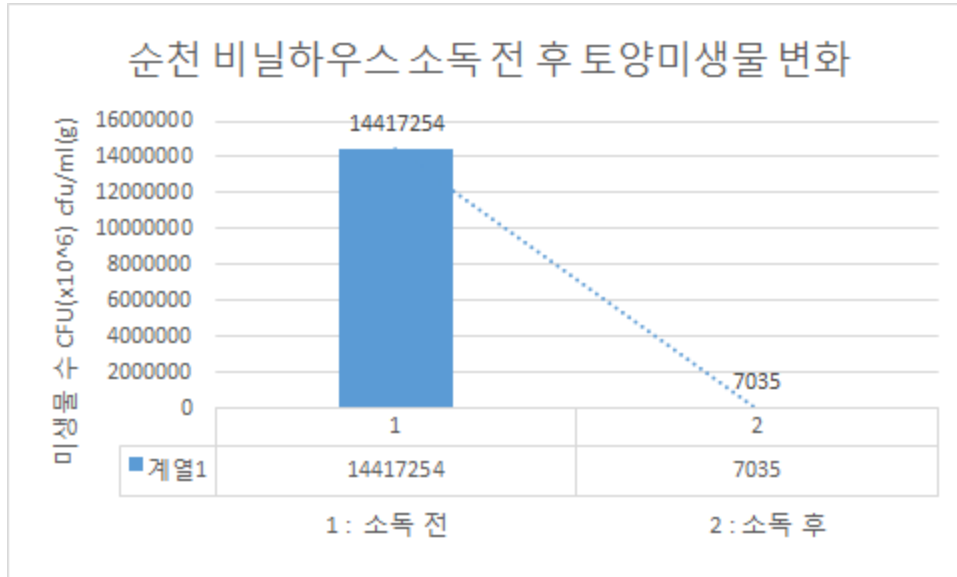


[표 5] 토양미생물 분석 결과

(사) 전라남도 순천시 낙안면 교촌리 조정래길 (2018년 7월 12일)

- ① 토양 소독 전 1.44×10^{13} cfu/mL에서 소독 후 7.04×10^9 cfu/mL 로 미생물 집락이 99.9% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 토양 소독 전과 후 토양미생물이 99.9% 감소한 것으로 보아 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

순천	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	1.44×10^{13} cfu/ml(g)	99.9 %
소독 후	7.04×10^9 cfu/ml(g)	

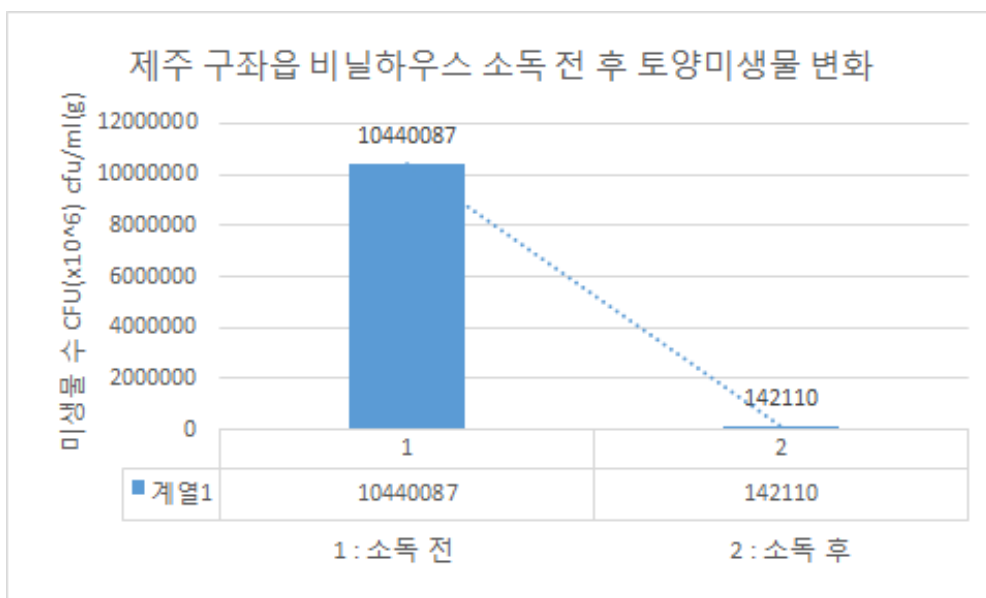


[표 6] 토양미생물 분석 결과

(아) 제주도 제주시 구좌읍 평대리 (2018년 8월 7일)

- ① 토양 소독 전 1.04×10^{13} cfu/mL에서 소독 후 1.42×10^{11} cfu/mL 로 미생물 집락이 99.0% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 토양 소독 전과 후 토양미생물이 99.0% 감소한 것으로 보아 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

제주 구좌	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	1.04×10^{13} cfu/ml(g)	99 %
소독 후	1.42×10^{11} cfu/ml(g)	

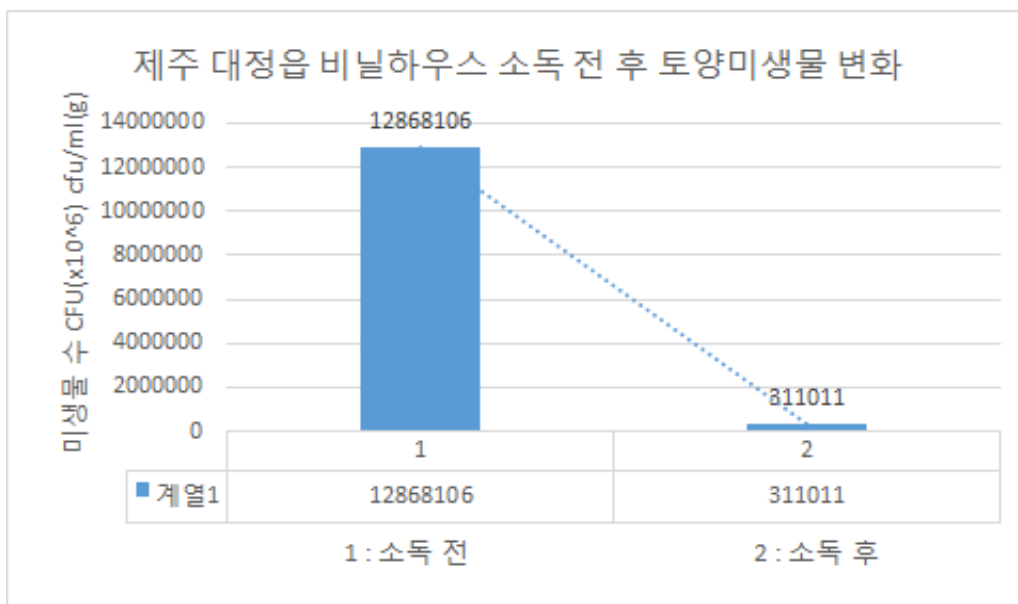


[표 7] 토양미생물 분석 결과

(자) 제주도 서귀포시 대정읍 신평리 (2018년 8월 8일)

- ① 토양 소독 전 1.29×10^{13} cfu/mL에서 소독 후 3.11×10^{11} cfu/mL 로 미생물 집락이 98.0% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 토양 소독 전과 후 토양미생물이 98.0% 감소한 것으로 보아 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

제주 대정	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	1.29×10^{13} cfu/ml(g)	98 %
소독 후	3.11×10^{11} cfu/ml(g)	

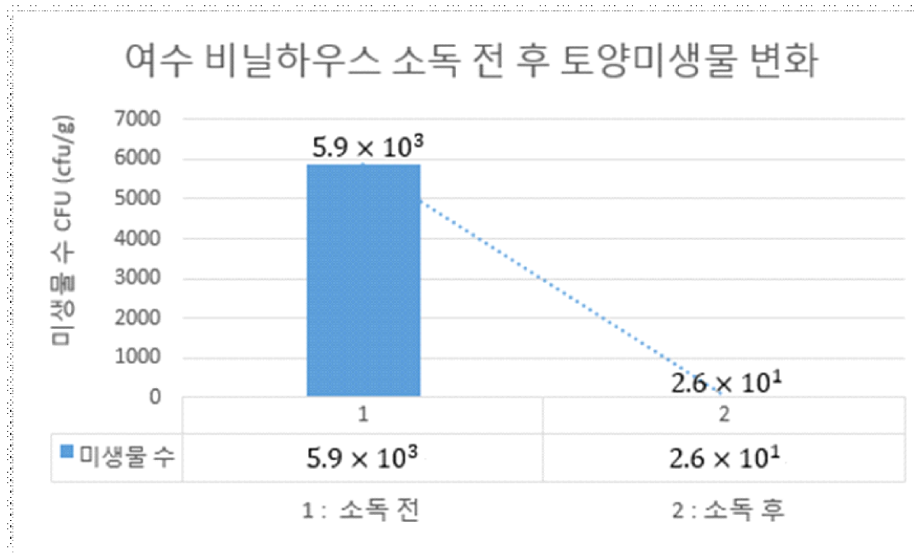


[표 8] 토양미생물 분석 결과

(차) 전라남도 여수시 여천동 (2018년 8월 9일 목요일)

- ① 토양 소독 전 5.9×10^3 cfu/g 에서 소독 후 2.6×10^1 cfu/g 으로 미생물 집락이 99.6% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

여수	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	5.9×10^3 cfu/g	99.6 %
소독 후	2.6×10^1 cfu/g	

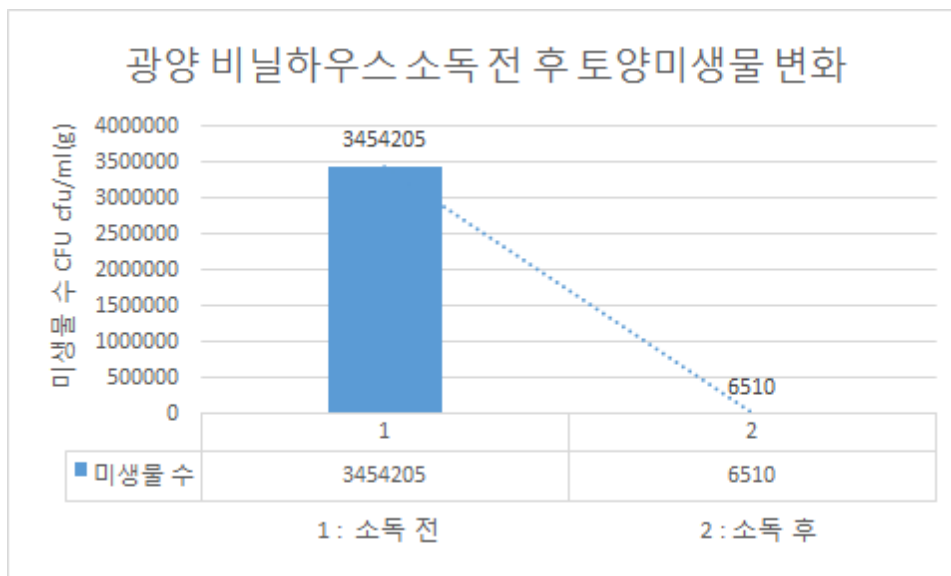


[표 9] 토양미생물 분석 결과

(카) 전라남도 광양시 진상면 청암리 (2018년 8월 10일 금요일)

- ① 토양 소독 전 3.45×10^6 cfu/g 에서 소독 후 6.51×10^3 cfu/g 으로 미생물 집락이 99.8% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

광양	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	3.45×10^6 cfu/g	99.8 %
소독 후	6.51×10^3 cfu/g	

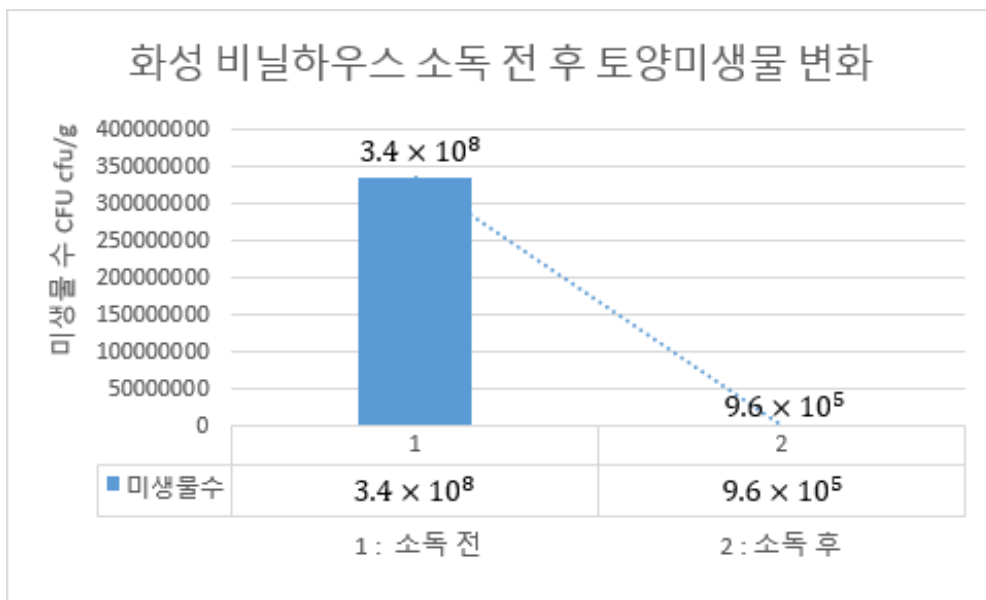


[표 10] 토양미생물 분석 결과

(타) 경기도 화성시 매송면 매송로 (2018년 12월 12일 수요일)

- ① 토양 소독 전 3.35×10^8 cfu/g 에서 소독 후 9.60×10^5 cfu/g 으로 미생물 집락이 99.7% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

화성	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	3.35×10^8 cfu/g	99.7 %
소독 후	9.60×10^5 cfu/g	

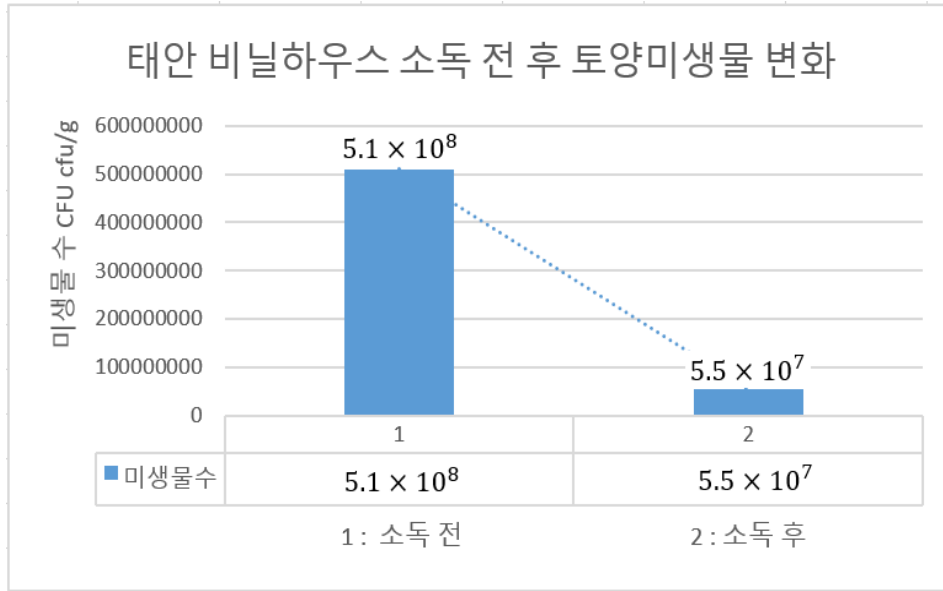


[표 11] 토양미생물 분석 결과

(파) 충청남도 태안군 안면읍 정당리 (2019년 3월 12일 화요일)

- ① 토양 소독 전 5.11×10^8 cfu/g 에서 소독 후 5.51×10^7 cfu/g 으로 미생물 집락이 89.2% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

태안	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	5.11×10^8 cfu/g	89.2 %
소독 후	5.51×10^7 cfu/g	

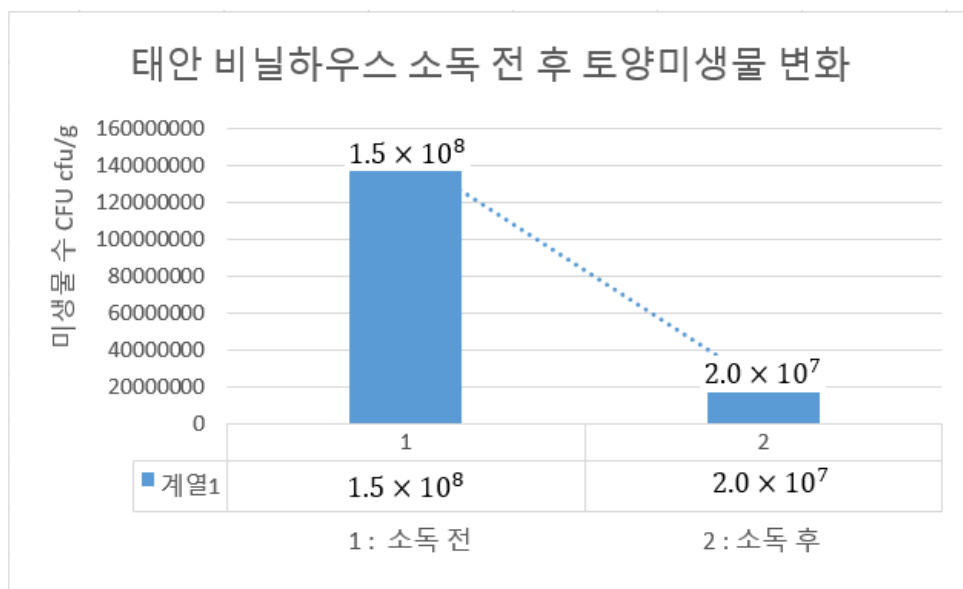


[표 12] 토양미생물 분석 결과

(하) 충청남도 태안군 안면읍 정당리 (2019년 3월 14일 목요일)

- ① 토양 소독 전 1.46×10^8 cfu/g 에서 소독 후 2.03×10^7 cfu/g 으로 미생물 집락이 86.1% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

태안	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	1.46×10^8 cfu/g	86.1 %
소독 후	2.03×10^7 cfu/g	

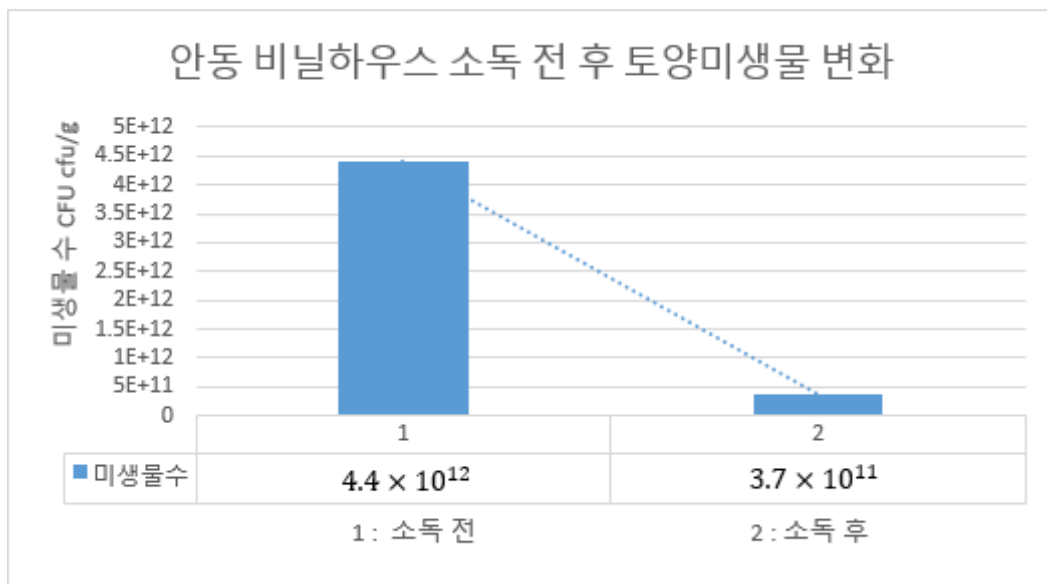


[표 13] 토양미생물 분석 결과

(가) 경상북도 안동시 남후면 하아리 (2019년 4월 10일 목요일)

- ① 토양 소독 전 4.39×10^{12} cfu/g 에서 소독 후 3.71×10^{11} cfu/g 으로 미생물 집락이 91.5% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

안동	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	4.39×10^{12} cfu/g	91.5 %
소독 후	3.71×10^{11} cfu/g	

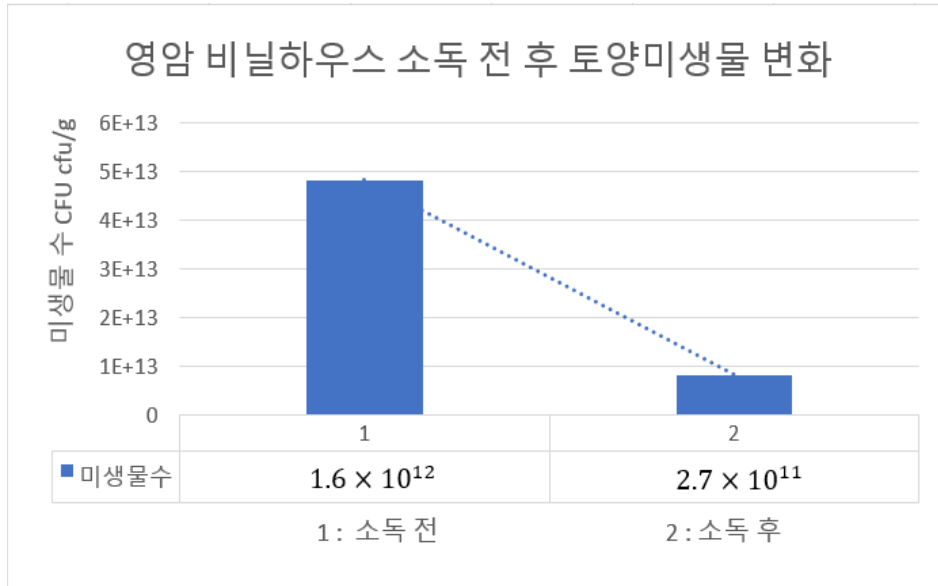


[표 14] 토양미생물 분석 결과

(나) 전라남도 영암군 도포면 명당길 (2019년 7월 2일 화요일)

- ① 토양 소독 전 1.61×10^{12} cfu/g 에서 소독 후 2.70×10^{11} cfu/g 으로 미생물 집락이 83.2% 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 인하여 충분한 미생물 사멸이 이루어진 것을 확인할 수 있으며, 스팀 토양소독기를 활용한 토양 소독이 토양미생물 제거에 효과가 있는 것으로 나타남

영암	CFU(Colony Forming Unit)	감소율
소독 전	1.61×10^{12} cfu/g	83.2 %
소독 후	2.70×10^{11} cfu/g	



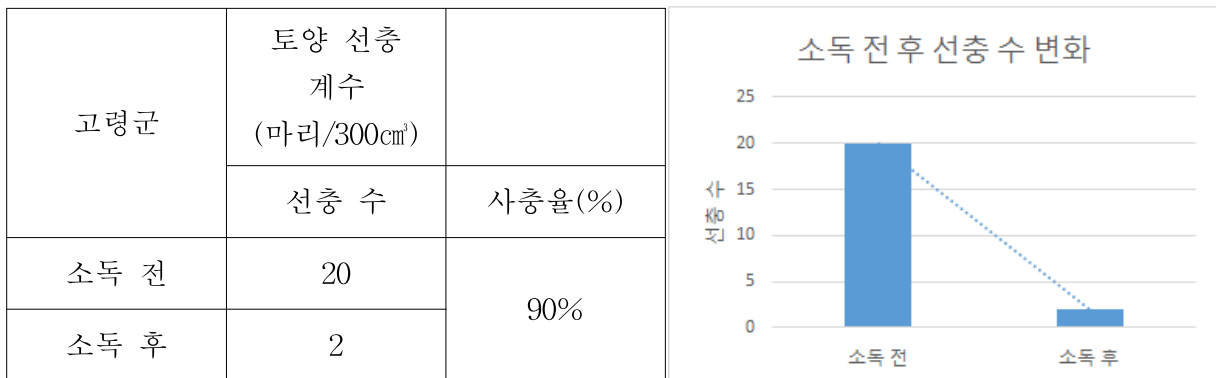
[표 15] 토양미생물 분석 결과

(2) 토양 선충의 소독 전 후 변화 분석

본 연구에서는 베르만 깔대기법을 통해 토양 선충의 소독 전 후 사멸 정도를 확인

(가) 경상북도 고령군 운수면 대평리 (2017년 8월 28일)

- ① 소독 전에는 20마리에서 소독 후에 2마리로 90%의 사충율을 보임
- ② 높은 사충율에도 불구하고 소독 후에도 소수의 선충이 검출되는 것을 확인. 뿌리혹 선충의 경우 한 마리만 있어도 한두달 안에 천 마리 이상으로 증식할 수 있기 때문에 추후 꾸준한 모니터링이 필요함.

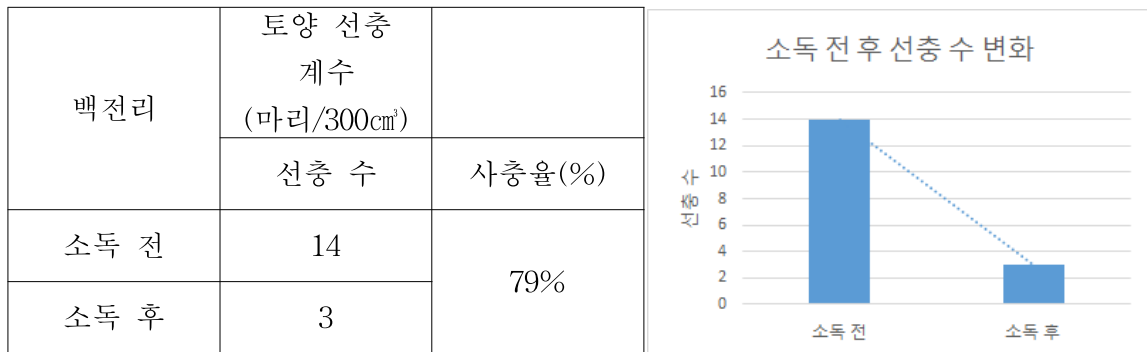


[표 16] 선충 분석 결과

(나) 경상북도 성주군 성주읍 백전리 (2017년 9월 19일)

- ① 소독 전에 14마리, 소독 후에 3마리의 선충이 분리되어 79%의 높은 사충율을 보임

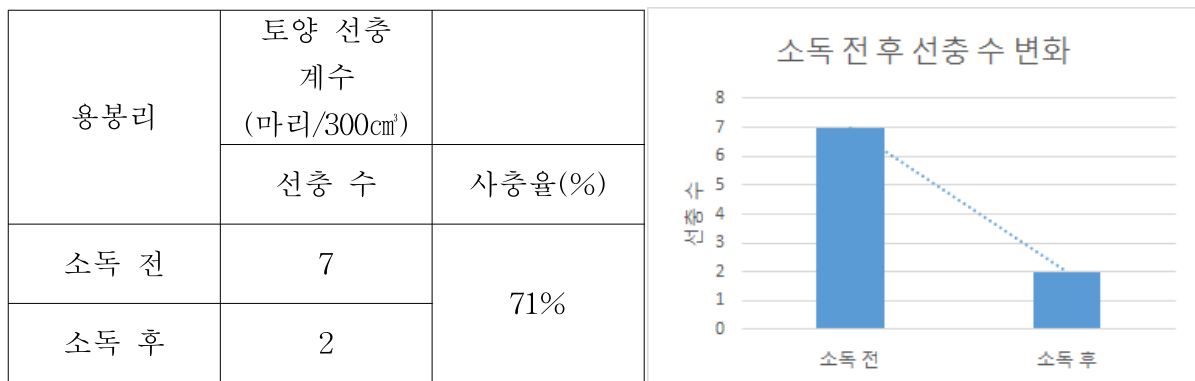
- ② 소독 후 선충이 3마리로 많이 줄어들었지만 해당 선충들이 작물에 심각한 피해를 주는 해로운 선충일 수 있으므로 작기 중 선충의 증식에 대한 지속적인 모니터링이 필요함.



[표 17] 선충 분석 결과

(다) 경상북도 성주군 초전면 용봉리 (2017년 9월 20일)

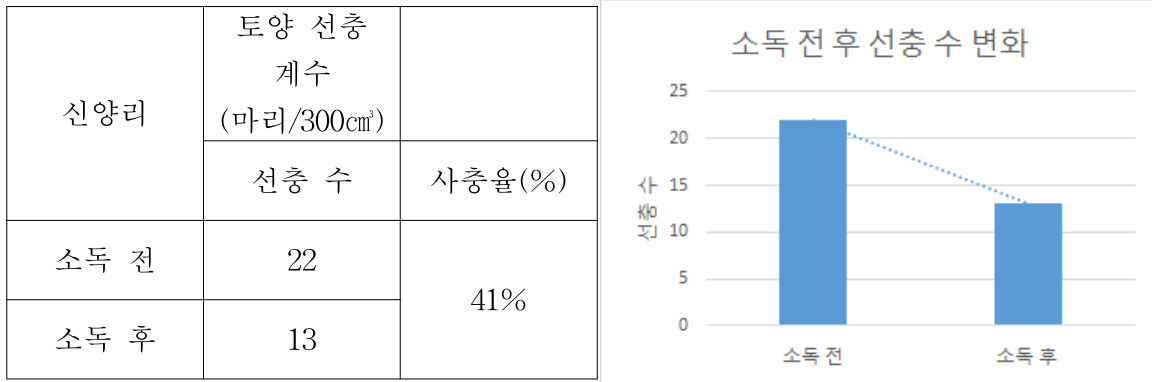
- ① 해당 토양에서는 소독 전 7마리, 소독 후 2마리로 선충이 감소하였으며 사충율 71%를 보임
- ② 70%가 넘는 사충율에도 불구하고 소독 전 후 모두 분리된 선충의 수가 매우 적기 때문에 이 실험만으로 소독에 의한 효과라고 단정하기 어려움. 추후 꾸준히 선충의 증감을 확인할 필요성이 있음



[표 18] 선충 분석 결과

(라) 충청북도 음성군 생극면 신양리 (2017년 11월 13일 월요일)

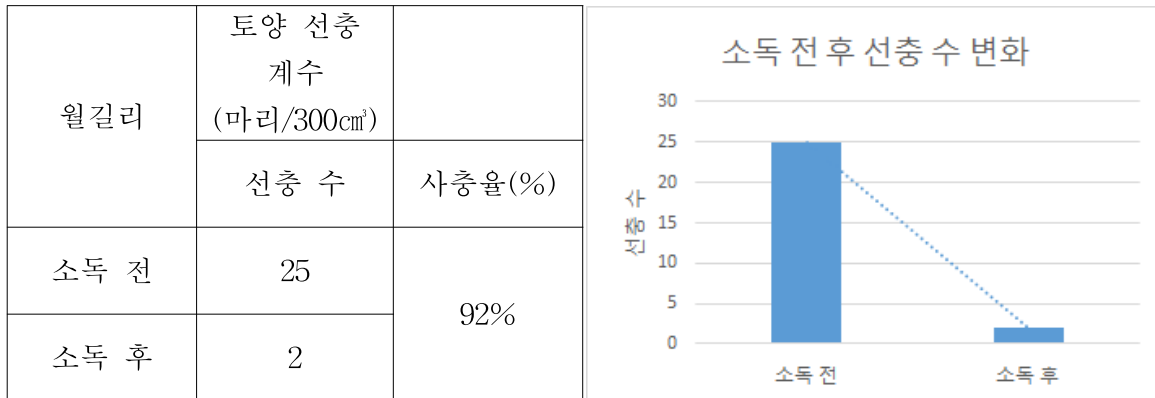
- ① 소독 전 22마리에서 소독 후 13마리로 감소하여 41%의 사충율을 보임
- ② 다른 케이스에 비해 선충이 조금 더 분리되었지만 소독 전 후 모두 더 검출되어 오히려 사충율은 낮은편임을 확인할 수 있음
- ③ 3모작을 시행하는 수박농가 하우스에서 시료를 채취함
- ④ 시료를 채취하고 소독 할 당시 하우스 내 토양이 잘 갈아져 있어 토양 내 선충이 하우스 내 곳곳으로 골고루 퍼졌을 가능성이 있음



[표 19] 선충 분석 결과

(마) 전남 광양시 진월면 월길리 (2017년 11월 29일 수요일)

- ① 소독 전 25마리 검출된 선충이 소독 후에는 2마리로 줄어 92%의 사충율을 보임. 선충의 감소폭도 크지만 소독 후 선충의 수 자체도 0에 가깝기 때문에 선충에 대한 스팀 소독 효율 확인에 있어서 의미있는 결과라 할 수 있음
- ② 휴지기의 오이 재배 비닐하우스에서 토양을 채취함.
- ③ 토양 소독과 시료 채취 시에 비닐하우스 내 땅이 발목까지 들어갈 정도로 잘 갈아져 있었음.
- ④ 표토도 건조하지 않고 촉촉한 상태를 유지하고 있어 선충 생육에 좋은 환경일 것으로 사료됨.
- ⑤ 소독 전 토양에서 분리된 선충의 수가 다소 많은 것으로 보아 휴지기가 된 지 얼마 되지 않았거나 유기물이 풍부한 토양으로 사료됨.



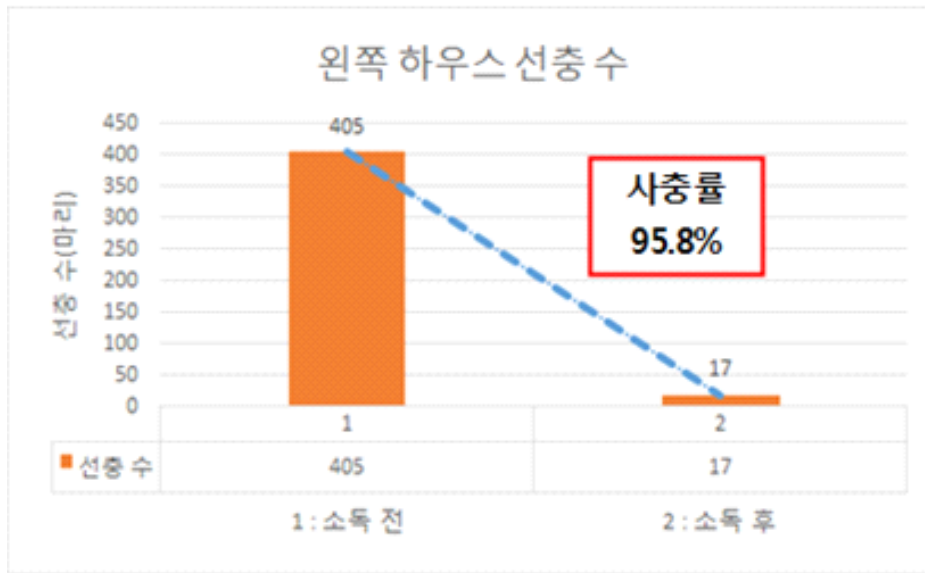
[표 20] 선충 분석 결과

(바) 경상남도 밀양시 산외면 금곡리 (2018년 5월 16일)

경상남도 밀양시 산외면 금곡리에서는 서로 다른 두 개의 스팀 토양소독기를 이용하여 비닐하우스 좌우를 소독하였으며, 양쪽의 시료를 각자 채취하여 소독효율을 분석하였음

- ① 비닐하우스 좌측 - 토양 소독 전 최대 405마리 (평균 160.2마리)에서 소독 후 최대 17마리 (평균 12.1마리)로 선충의 개체수가 최대 95.8% (평균 92.4%) 감소한 것을 확인할 수 있음

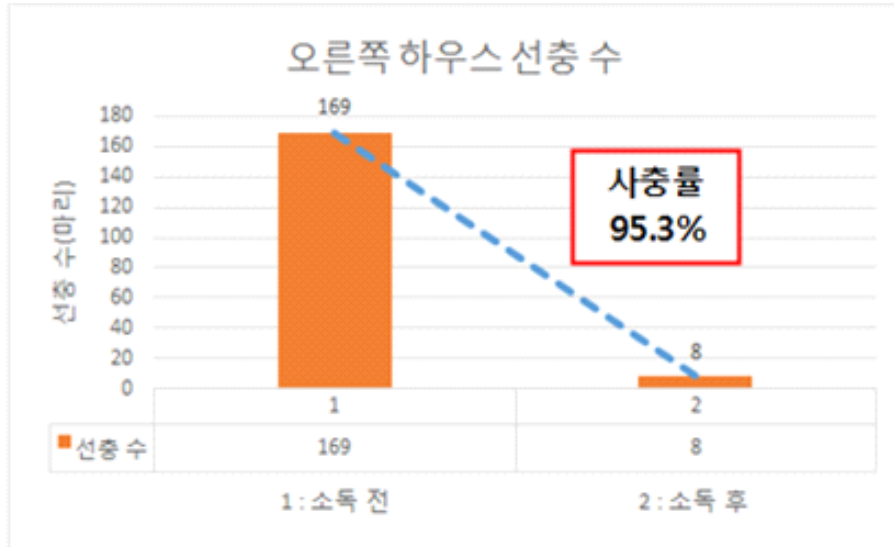
밀양 왼쪽 비닐하우스			
구분	소독 전	소독 후	사충률(%)
최대사충 지점	405	17	95.8 %
평균(마리)	160.2	12.1	92.4 %



[표 21] 선충 분석 결과

- ② 비닐하우스 우측 - 토양 소독 전 최대 169마리 (평균 180.4마리)에서 소독 후 최대 8마리 (평균 17.3마리)로 선충의 개체수가 최대 95.3% (평균 90.4%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ③ 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률 95% 이상인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

밀양 오른쪽 비닐하우스			
구분	소독 전	소독 후	사충률(%)
최대사충 지점	169	8	95.3 %
평균(마리)	180.4	17.3	90.4 %

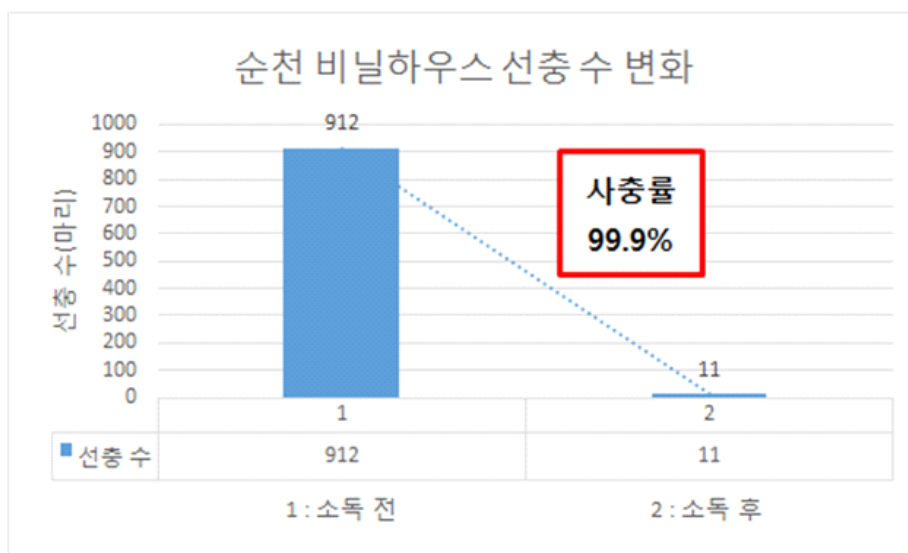


[표 22] 선충 분석 결과

(사) 전라남도 순천시 낙안면 교촌리 조정래길 (2018년 7월 12일)

- ① 토양 소독 전 최대 912마리 (평균 518.2마리)에서 소독 후 최대 11마리 (평균 12.3마리)로 선충의 개체수가 최대 99.9% (평균 97.3%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률 99.9% 이상인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	순천 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	912	11	99.9 %
평균(마리)	518.2	12.3	97.3 %

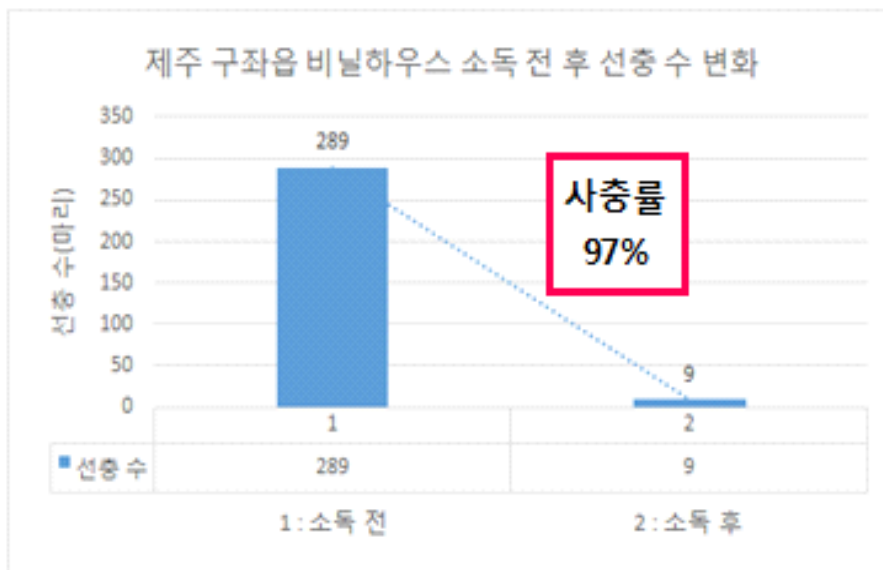


[표 23] 선충 분석 결과

(아) 제주도 제주시 구좌읍 평대리 (2018년 8월 7일)

- ① 토양 소독 전 최대 289마리 (평균 166.4마리)에서 소독 후 최대 9마리 (평균 10.2마리)로 선충의 개체수가 최대 96.9% (평균 92.9%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률 96.9% 이상인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

제주 구좌 비닐하우스			
구분	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	289	9	96.9 %
평균(마리)	166.4	10.2	92.9 %

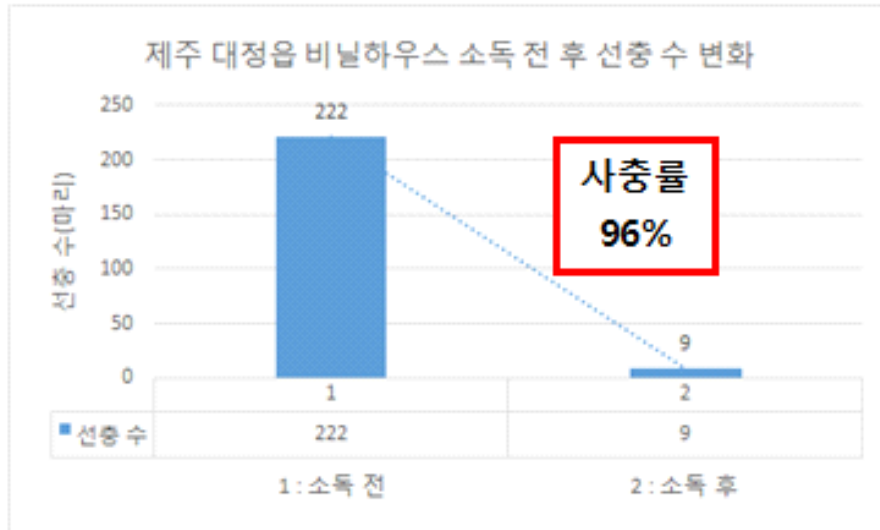


[표 24] 선충 분석 결과

(자) 제주도 서귀포시 대정읍 신평리 (2018년 8월 8일)

- ① 토양 소독 전 최대 222마리 (평균 191마리)에서 소독 후 최대 9마리 (평균 11.4마리)로 선충의 개체수가 최대 95.9% (평균 93.8%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률 95.9% 이상인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

제주 대정 비닐하우스			
구분	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	222	9	95.9 %
평균(마리)	191	11.4	93.8 %

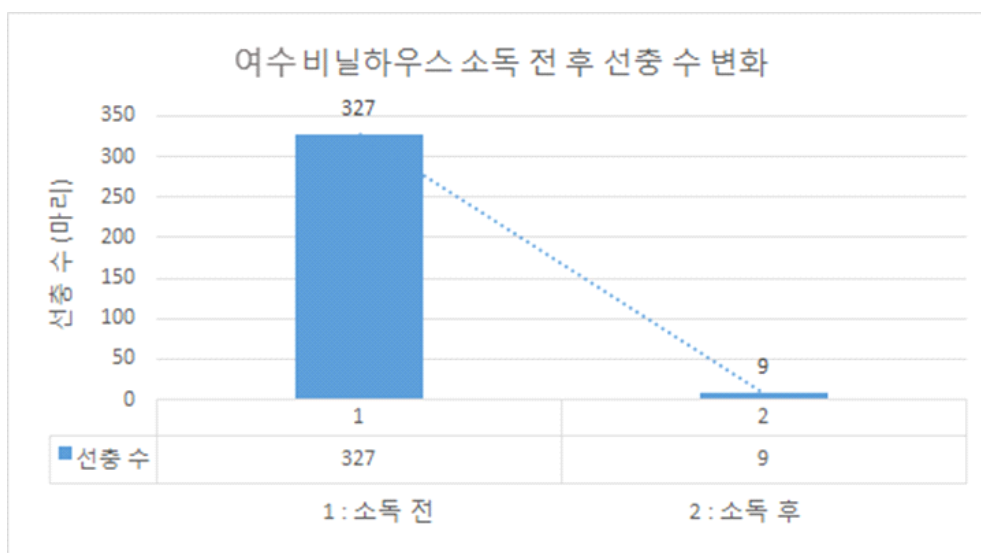


[표 25] 선충 분석 결과

(자) 전라남도 여수시 여천동 (2018년 8월 9일 목요일)

- ① 토양 소독 전 최대 327마리 (평균 349.67마리)에서 소독 후 최대 9마리 (평균 9.67마리)로 선충의 개체수가 최대 97.2% (평균 97.2%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 97.2%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	여수 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	327	9	97.2 %
평균	349.67	9.67	97.2 %

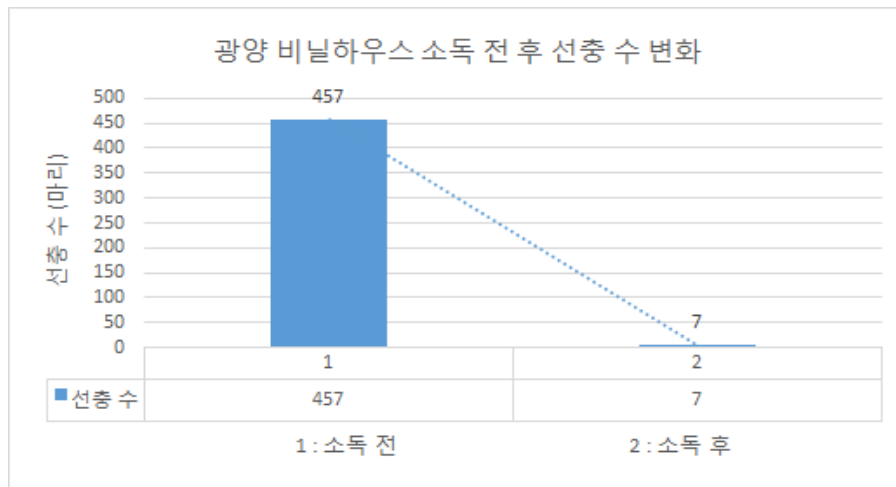


[표 26] 선충 분석 결과

(차) 전라남도 광양시 진상면 청암리 (2018년 8월 10일 금요일)

- ① 토양 소독 전 최대 457마리 (평균 371.67마리)에서 소독 후 최대 7마리 (평균 6.67마리)로 선충의 개체수가 최대 98.5% (평균 98.2%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 98.5%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	광양 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	457	7	98.5 %
평균	371.67	6.67	98.2 %

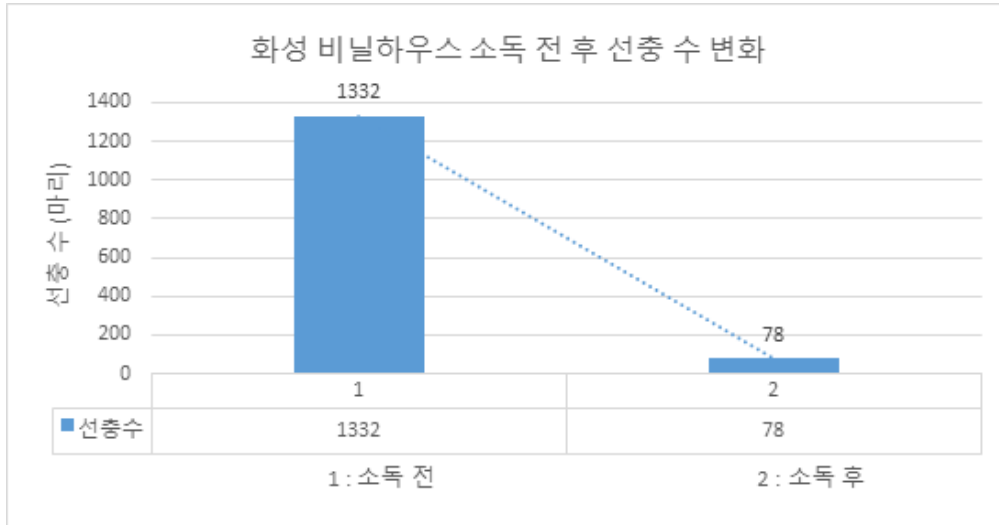


[표 27] 선충 분석 결과

(카) 경기도 화성시 매송면 매송로 (2018년 12월 12일 수요일)

- ① 토양 소독 전 최대 1332마리 (평균 562.2마리)에서 소독 후 최대 78마리 (평균 78마리)로 선충의 개체수가 최대 94.1% (평균 86.1%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 94.1%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	화성 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	1332	78	94.1 %
평균	562.2	78	86.1 %

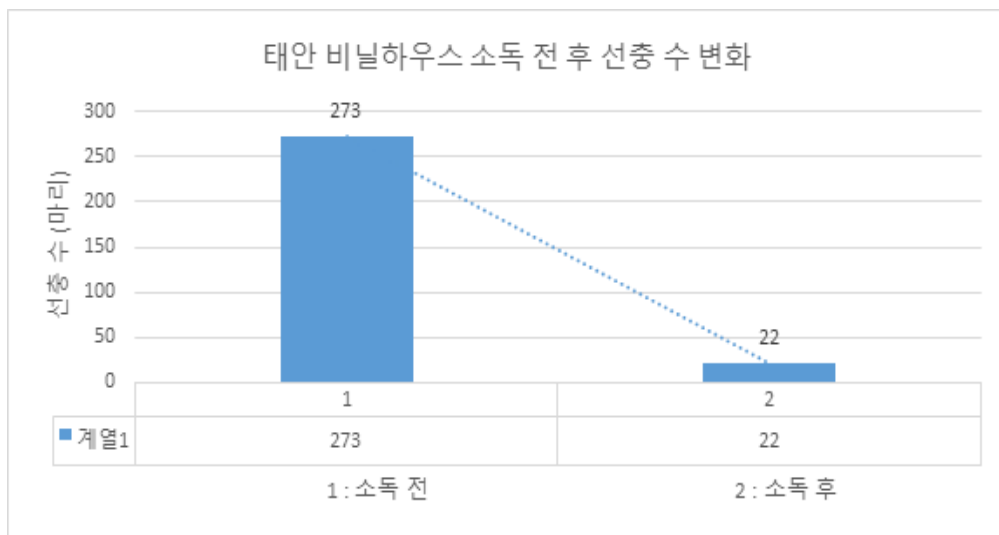


[표 28] 선충 분석 결과

(타) 충청남도 태안군 안면읍 정당리 (2019년 3월 12일 화요일)

- ① 토양 소독 전 최대 273마리 (평균 105.4마리)에서 소독 후 최대 22마리 (평균 50.75마리)로 선충의 개체수가 최대 91.9% (평균 51.9%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 91.9%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	태안 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	273	22	91.9 %
평균	105.4	50.75	51.9 %

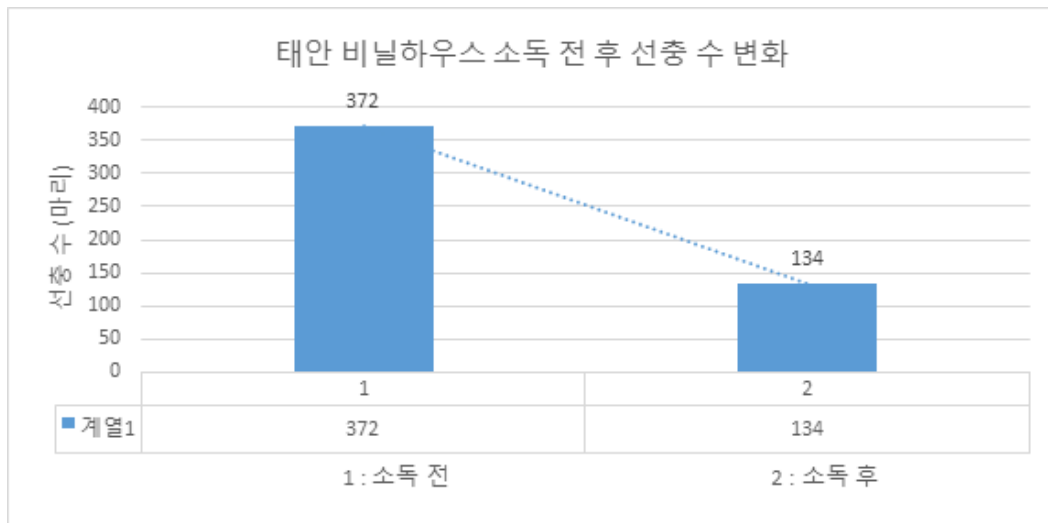


[표 29] 선충 분석 결과

(과) 충청남도 태안군 안면읍 정당리 (2019년 3월 14일 목요일)

- ① 토양 소독 전 최대 372마리 (평균 264.2마리)에서 소독 후 최대 134마리 (평균 184.8마리)로 선충의 개체수가 최대 64.0% (평균 30.1%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 최대 사충률이 64.0%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 보이나, 낮은 기온 및 토양 상태로 인한 토양소독기의 작동 한계로 충분한 사멸효과를 얻지 못한 것으로 판단됨

구분	태안 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	372	134	64.0 %
평균	264.2	184.8	30.1 %

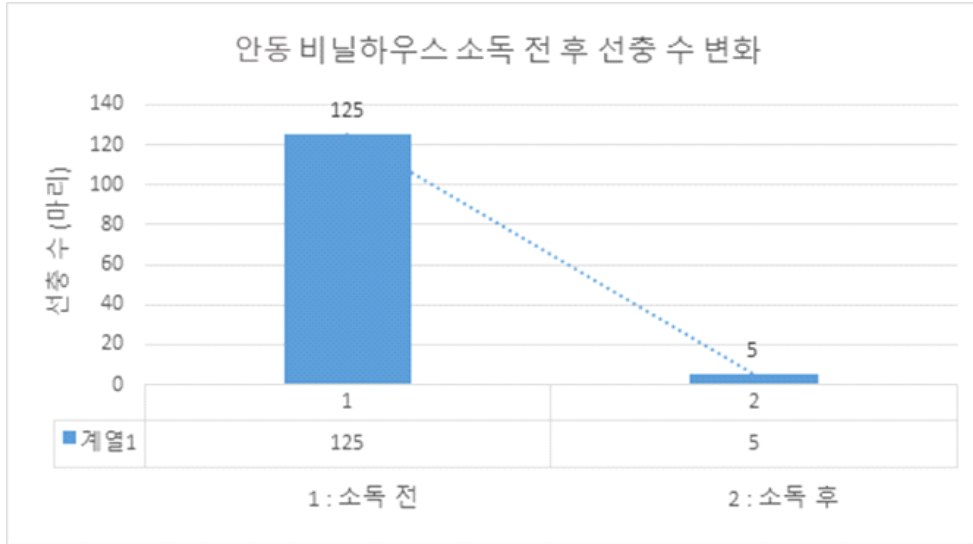


[표 30] 선충 분석 결과

(하) 경상북도 안동시 남후면 하아리 (2019년 4월 10일 목요일)

- ① 토양 소독 전 최대 125마리 (평균 83마리)에서 소독 후 최대 5마리 (평균 10마리)로 선충의 개체수가 최대 96.0% (평균 88.0%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 96.0%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	안동 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	125	5	96.0 %
평균	83	10	88.0 %

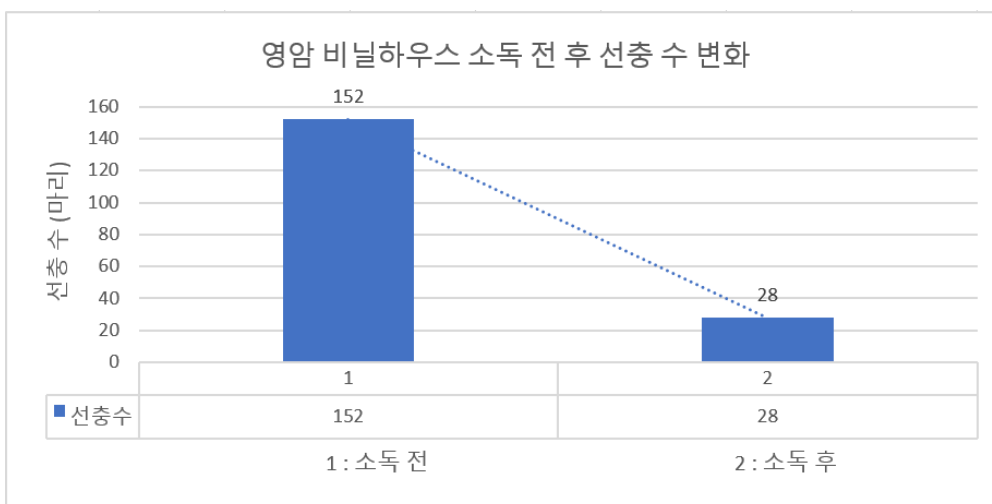


[표 31] 선충 분석 결과

(가) 전라남도 영암군 도포면 명당길 (2019년 7월 2일 화요일)

- ① 토양 소독 전 최대 176마리 (평균 152마리)에서 소독 후 최대 17마리 (평균 28마리)로 선충의 개체수가 최대 90.0% (평균 81.6%) 감소한 것을 확인할 수 있음
- ② 스팀 토양소독기로 하우스 내 토양을 소독하기 전과 후의 토양선충 개체수 차이가 실험한 모든 지점에서 크게 나타나고 최대 사충률이 90.0%인 것으로 보아 스팀 토양소독기를 통한 토양 소독이 선충 사멸에 효과적인 것으로 나타남

구분	영암 비닐하우스		
	소독 전	소독 후	사충률 (%)
최대사충 지점	176	17	90.0 %
평균	152	28	81.6 %



[표 32] 선충 분석 결과

마. 토양 미생물 및 선충의 효과적인 제거를 위한 스팀 소독기의 최적 조건 산정

(1) 연구의 필요성

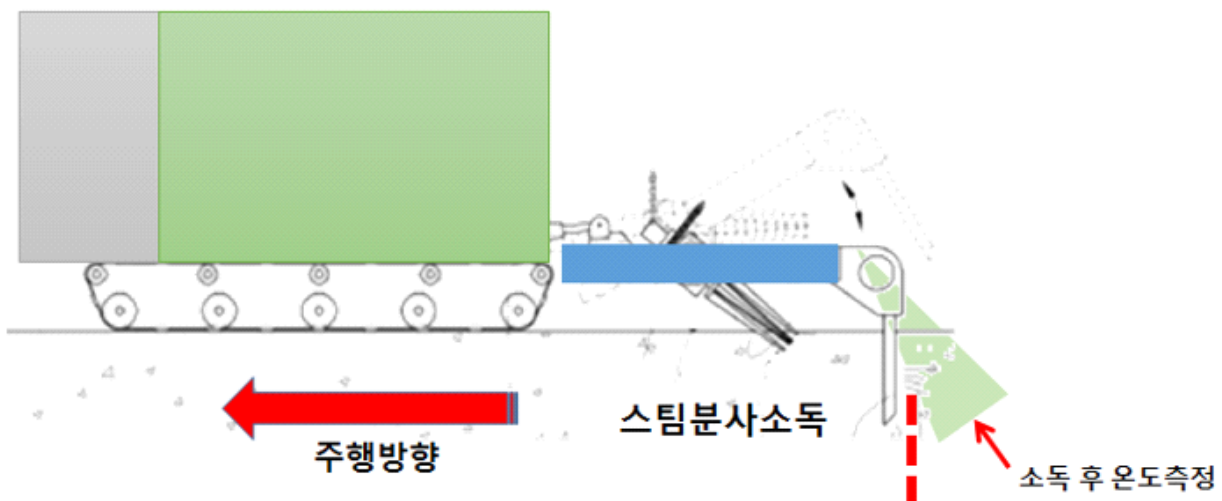
농가에서는 작물 피해를 막기 위해 화학적 방법을 이용한 소독을 실시해왔으며, 살충제를 이용한 토양 훈증제가 일반적으로 사용되었음

그러나 화학물질이 환경 및 건강에 미치는 영향이 알려짐에 따라 살충제가 널리 사용되는 것에 대한 우려가 증가하였고, 대표적인 토양 훈증제로 사용되는 메틸브로마이드는 전 세계에서 2015년까지 단계적으로 사용이 금지되었음

최근 한국에서는 가습기살균제 사건으로 인해 화학물질의 사용을 피하려는 경향이 더욱 증가하였으며, 이 같은 배경으로 인해 화학적 방법을 대체할 수 있는 방법인 스팀 소독이 각광받고 있음. 또한 스팀을 더 깊은 토양에 안정적으로 분사할 수 있는 기술이 개발됨에 따라 고온 스팀을 이용한 토양소독 효율과 활용성이 점차 개선되고 있으며, 이로 인해 한국 농업기술원에서는 친환경적인 스팀 소독을 권장하고 있는 추세임

그러나 국내에서 현재까지 고온스팀소독의 효과와 소독 효율을 높이기 위한 운행 조건에 대해 진행된 연구는 거의 없음. 효율적인 토양소독을 수행하기 위해서는 운행 조건을 최적화하여 사멸율은 높이고 비용은 절약하는 것이 필요할 것으로 판단됨

따라서 본 연구에서는 선충과 토양미생물에 대한 고온스팀소독기의 소독 효율과 소독 비용을 연구하고 이러한 요소들의 효율을 최대화하는 운행조건을 제시함으로써, 효율적인 토양소독을 수행하기 위한 기초자료를 제시하고자 함



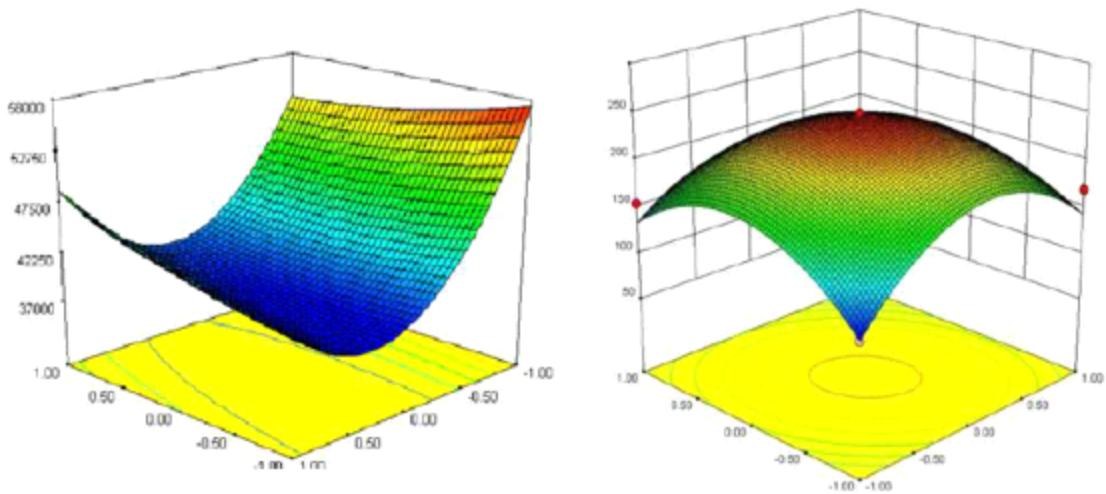
[그림 51] 실험 모형도

(2) 연구방법

(가) 최적화를 위한 목표 변수 선정

- ① 농가에서 고온스팀 토양소독기를 이용할 때 일반적으로 쉽게 조절할 수 있는 지표들은 스팀의 온도, 소독기의 운행 속도, 스팀 분사 깊이 등이 있음. 이 변수들은 토양 선충 및 미생물의 제거 효과와 관련이 있으며, 동시에 소독 비용의 증가와도 관련이 있음
- ② 따라서 본 연구에서는 이 세 가지 변수들을 최적화 대상 변수로 선정하였음. 또한 고온 스팀 소독기는 토양의 상태에 따라 스팀 분사 깊이를 조절할 수 없는 경우가 있으므로, 본 연구진은 스팀 분사 깊이에 따른 스팀 온도와 소독기의 운행 속도 최적값도 조사하였음

(나) 박스-벤켄 설계(Box-Behnken design, BBD)



[그림 52] 박스-벤켄 설계도

- ① 반응표면방법(response surface methodology, RSM)은 실험설계, 모형구축 및 공정변수의 영향을 평가하기 위한 통계 기법의 집합이라고 할 수 있음. 이 방법론은 설명 변수와 반응 변수 간의 관계를 연구하기 위해 박스와 윌슨(1951)에 의해 소개되었음
- ② 대부분의 현실에서는 반응변수와 설명변수 사이의 관계를 알 수 없지만, RSM은 이 변수들의 관계에 대한 적절한 근사치를 찾는 데 도움을 줄 수 있음. RSM은 최적의 반응을 얻기 위해 일련의 설계된 실험들을 사용하며, 이를 2차 다항식을 통해 모델링함
- ③ 반응 표면은 설명 변수와 반응 변수 간의 관계를 판단하기 위해 시각적으로 사용될 수 있으며, 이러한 시각적 표현은 사용자가 변수들의 관계에 대한 특성을 더 잘 이해할 수 있도록 사용할 수 있음

- ④ RSM 설계 중 하나인 박스-벤켄 설계(Box-Behnken design, BBD)는 변수 공간의 가장 자리 중간 지점과 중심에 변수 조합이 있는 내재된 요인 또는 부분 요인 점이 없는 독립적이고 회전 가능한 4차 설계임
- ⑤ BBD는 각 설명 변수에 대해 3단계의 수준을 필요로 하며, 이는 또 다른 RSM 설계 방법인 중앙복합설계(central composite design, CCD)보다 변수와 그 상호작용의 영향을 추정하는 실험 횟수가 적음
- ⑥ 따라서 본 연구에서는 BBD를 활용하여 요인을 최적화하기 위한 실험을 디자인하였음
- ⑦ 본 연구진은 세 가지 수준을 가진 세 가지 변수를 BBD에 기초하여 실험하는 연구를 확립하였음. 통계적 계산을 위해 각 독립 변수는 -1, 0, 1의 세 가지 수준에서 코드화되었음
- ⑧ 변수의 코딩은 다음 수식에 의해 진행되었음

$$X_i = \frac{x_i - x_c}{\Delta x_i} \quad i = 1, 2, 3$$

이 때, X_i 는 단위가 없고 코드화된 독립변수이며, x_i 는 독립변수의 실제 값, x_c 는 각 독립변수의 중앙값, 그리고 Δx_i 는 독립변수의 단계 변화 값을 나타냄

- ⑨ BBD에서는 3개의 중심점을 포함한 총 15번의 실험이 실시되었음. 반응 변수와 독립 변수 간의 관계를 관찰하기 위해 2차 다항식 모형이 설계되었음
- ⑩ 이를 위해 통계 소프트웨어 Minitab이 사용되었으며, 각 모델의 적합도 및 계수가 추정되었음. 선형 모형을 포함하는 2차 모형은 아래와 같음

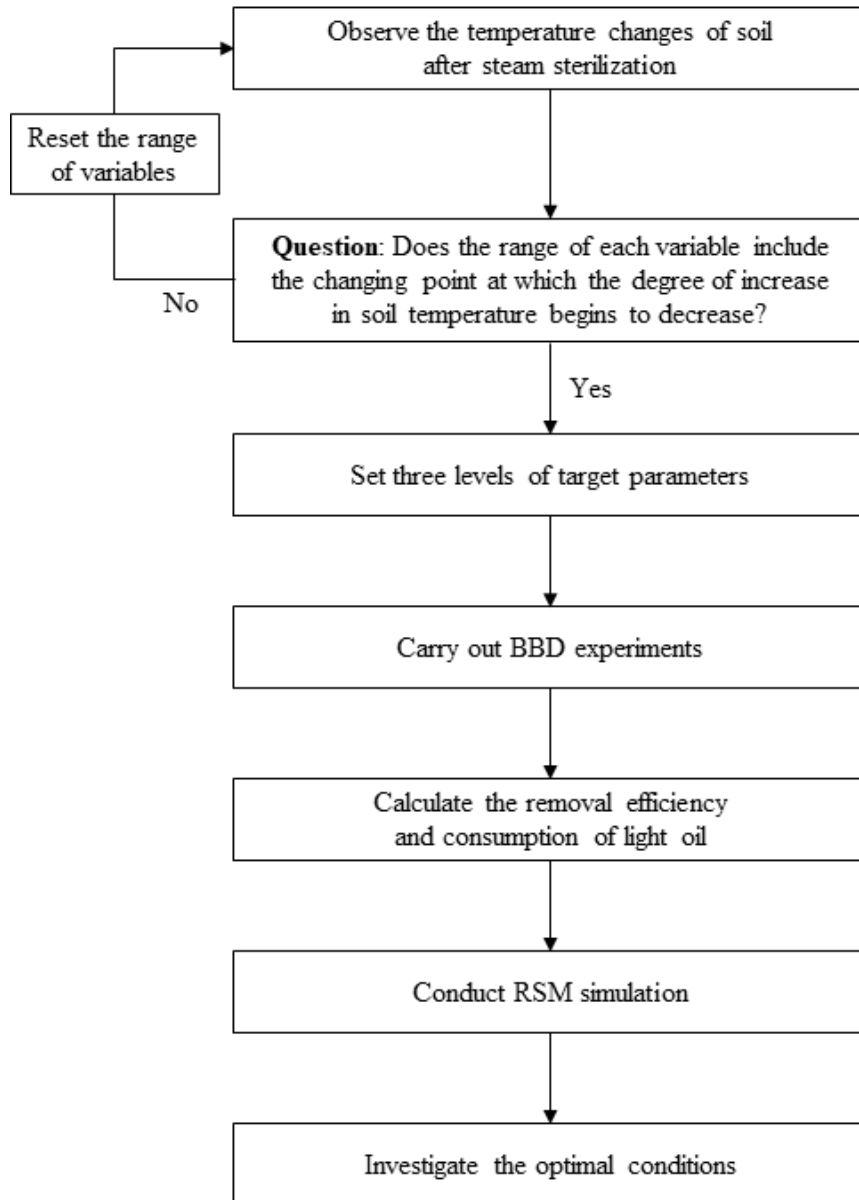
$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=2}^3 \beta_{ij} X_i X_j + e_i$$

이 때, Y 는 반응변수이며, X_i 와 X_j 는 변수, β_0 는 모델의 절편값, β_i 는 선형계수, β_{ii} 는 2차항의 계수, β_{ij} 는 상호작용항의 계수, 그리고 e_i 는 오차를 나타냄

(다) 최적화를 위한 실험 과정

본 연구진들은 토양 스팀 소독기의 운행 변수를 최적화하기 위해 아래의 단계에 따라 실험을 수행하였음. 아래의 그림은 실험 단계의 흐름도를 나타냄

이 최적화 과정에서는 증기 온도, 운전 속도, 분무 깊이를 설명 변수로 사용하였으며, 토양 선충 및 미생물의 제거 효율과 경유의 소비량을 반응 변수로 설정하였음



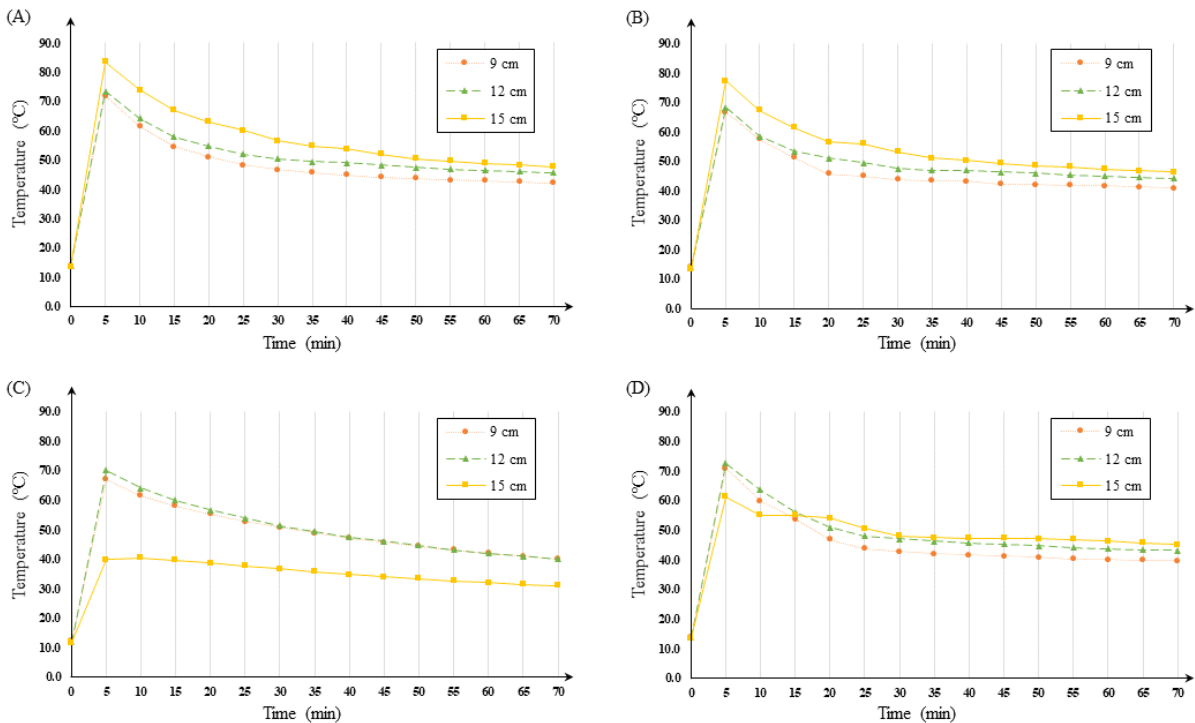
[그림 53] 운행조건 최적화를 위한 실험 진행 단계 흐름도

- 1단계: 세 가지 설명 변수의 수준에 따라 토양의 온도 변화를 관찰함. BBD에서 각 변수의 범위는 결과가 증가하거나 감소하기 시작하는 변화점을 포함해야 함. 따라서 각 변수의 범위에 토양온도 상승 정도가 감소하기 시작하는 변화점이 포함되지 않으면 변수의 범위를 재설정하게 됨. 변수의 범위가 변경점을 포함하는 경우, 본 연구진은 BBD 수행을 위해 세 가지 수준의 변수를 설정함
- 2단계: BBD 실험을 수행하여 토양 선충과 미생물의 제거 효율과 토양 소독에 사용되는 경유의 양을 계산함
- 3단계: RSM 시뮬레이션 및 분산분석을 수행하고 변수에 대한 2차 방정식을 추정함
- 4단계: 등고선 그래프와 RSM 시뮬레이션에 따른 표면도에 기초하여 설명 변수의 최적 상태를 조사함

(3) 연구결과

(가) 기초실험을 통한 설명변수들의 범위 설정

- ① BBD를 위한 설명변수들의 범위를 설정하기 위하여, 우리는 변수 수준을 변화시키며 스팀 소독을 진행한 후 토양의 깊이 별 온도를 측정하였음. 아래의 그림은 스팀 소독을 수행한 후 시간에 따른 토양 온도의 변화를 나타냄
- ② 토양 소독기를 스팀 온도 160℃, 운행 속도 1m/min, 분사 깊이 15cm의 조건에서 가동했을 때, 토양 온도는 9cm, 12cm, 15cm에서 각각 71.9℃, 73.5℃, 83.5℃까지 상승했다가 서서히 감소하였음. 토양온도의 감소 정도는 시간이 지남에 따라 줄어들었으며, 온도는 40℃에 수렴하였음. 변수 수준을 변화시키는 계속된 실험에서, 9cm, 12cm에서의 토양 온도의 변화 경향은 거의 달라지지 않았으나 15cm에서는 차이가 발견되었음. 15cm에서의 토양 온도는 스팀의 온도를 120℃로 낮춘 경우 초기 온도가 약 5℃ 감소하였으며, 운행 속도를 2m/min으로 증가시킨 경우 온도가 상승하는 폭이 절반 미만으로 감소하였음. 또한 스팀을 9cm 깊이에서 분사했을 때 15cm에서의 토양 온도가 최대 60℃까지만 도달하는 것이 관찰되었음.



[그림 54] 스팀 소독 후 시간 경과에 따른 온도 변화: (a) 160℃, 1m/min 및 15cm, (b) 120℃, 1m/min 및 15cm, (c) 160℃, 2m/min 및 15cm, (d) 160℃, 1m/min 및 9cm

- ③ 이러한 결과를 바탕으로 본 연구진은 BBD를 수행하기 위한 세 가지 설명 변수의 수준을 아래의 표와 같이 설정하였다.

Variables	Symbols	Uncoded levels		
		-1	0	1
Steam temperature (°C)	x_1	120	140	160
Running speed (m/min)	x_2	1.0	1.5	2.0
Spray depth (cm)	x_3	9	12	15

[표 33] Box-Behnken 설계에 대한 목표 변수들의 수준 설정 결과

(나) BBD에 따른 실험 결과 및 회귀 모형

- ① 아래의 표는 BBD에 따른 실험 계획과 각 실험에서의 반응변수들의 결과를 나타냄. 세 가지 변수와 세 가지 수준의 BBD는 총 15회의 실험 실행을 필요로 함. 본 연구진은 각 변수들의 수준들을 조합하며 설계된 실험을 기반으로 15개의 실험을 연속적으로 수행하였음
- ② 토양 선충 제거 효율, 토양 미생물 제거 효율, 경유 소비량의 범위는 각각 82.56-97.25%, 80.23-96.83%, 31-191mL/m² 으로 나타남. 단위면적당 오일 소모량이 많아질수록 선충과 병원체의 제거 효과는 증가하는 경향을 나타냄

Run no.	Coded levels of explanatory variables			Uncoded levels of explanatory variables			Response variables		
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	Nemato de RE (%)	Total bacteria RE (%)	Oil consumption (mL/m ²)
1	0	-1	-1	140	1.0	9	94.42	96.56	145
2	0	1	-1	140	2.0	9	84.80	83.10	40
3	0	0	0	140	1.5	12	92.09	95.64	71
4	1	1	0	160	2.0	12	89.90	86.22	42
5	-1	0	1	120	1.5	15	91.77	94.30	58
6	1	0	-1	160	1.5	9	91.34	89.67	91
7	1	-1	0	160	1.0	12	97.25	94.95	191
8	0	-1	1	140	1.0	15	95.12	96.71	158
9	1	0	1	160	1.5	15	93.89	96.83	98
10	0	0	0	140	1.5	12	93.64	96.12	75
11	-1	-1	0	120	1.0	12	95.95	96.81	103
12	0	0	0	140	1.5	12	93.99	94.55	81
13	-1	1	0	120	2.0	12	82.56	80.23	31
14	0	1	1	140	2.0	15	92.01	94.58	49
15	-1	0	-1	120	1.5	9	90.29	88.55	41

[표 34] 각 실험값에 대한 Box-Behnken 설계 및 각 실험에서의 반응변수 결과값

- ③ 아래의 표는 분산분석의 결과를 보여주며, 모델의 적합도 결과 또한 제시한다.
- ④분산분석에서 세 가지 반응 변수에 대한 모형의 p값은 각각 0.022, 0.003 및 0.001 미만이었으며, 모든 모형에 대한 적합성 결여는 유의하지 않게 나타났음. 따라서 모든 반응 변수는 2차 모델에 의해 적합되었다고 결론을 내릴 수 있음
- ⑤모형이 반응 변수의 변형을 예측할 수 있는 정도를 나타내는 결정 계수(R^2)는 모형마다 각각 0.9279, 0.9678 및 0.9979로 나타남
- ⑥세 가지 설명 변수와 반응 변수 사이의 경험적 관계는 교호작용 항이 있는 2차 다항식에 의해 표현되었음. 코드화되지 않은 변수를 통해 얻은 최종 수식은 다음과 같음

$$\begin{aligned}
 RE_{nematode}(\%) &= 90.0 + 0.350x_1 - 30.2x_2 - 0.09x_3 - 0.00199x_1^2 - 4.12x_2^2 - 0.069x_3^2 \\
 &\quad + 0.1510x_1x_2 + 0.0045x_1x_3 + 1.085x_2x_3 \\
 RE_{bacteria}(\%) &= -1.2 + 1.883x_1 - 27.5x_2 - 2.75x_3 - 0.00786x_1^2 - 10.97x_2^2 + 0.0048x_3^2 \\
 &\quad + 0.1962x_1x_2 + 0.0059x_1x_3 + 1.888x_2x_3 \\
 OC(mL/m^2) &= -469 + 8.04x_1 - 83.8x_2 + 5.31x_3 - 0.01240x_1^2 + 84.17x_2^2 + 0.144x_3^2 \\
 &\quad - 1.925x_1x_2 - 0.0417x_1x_3 - 0.67x_2x_3
 \end{aligned}$$

이 때, RE는 제거 효율을 나타내며, OC는 경유 소모량, x_1 은 증기 온도, x_2 는 운행 속도, x_3 는 분사 깊이를 나타냄

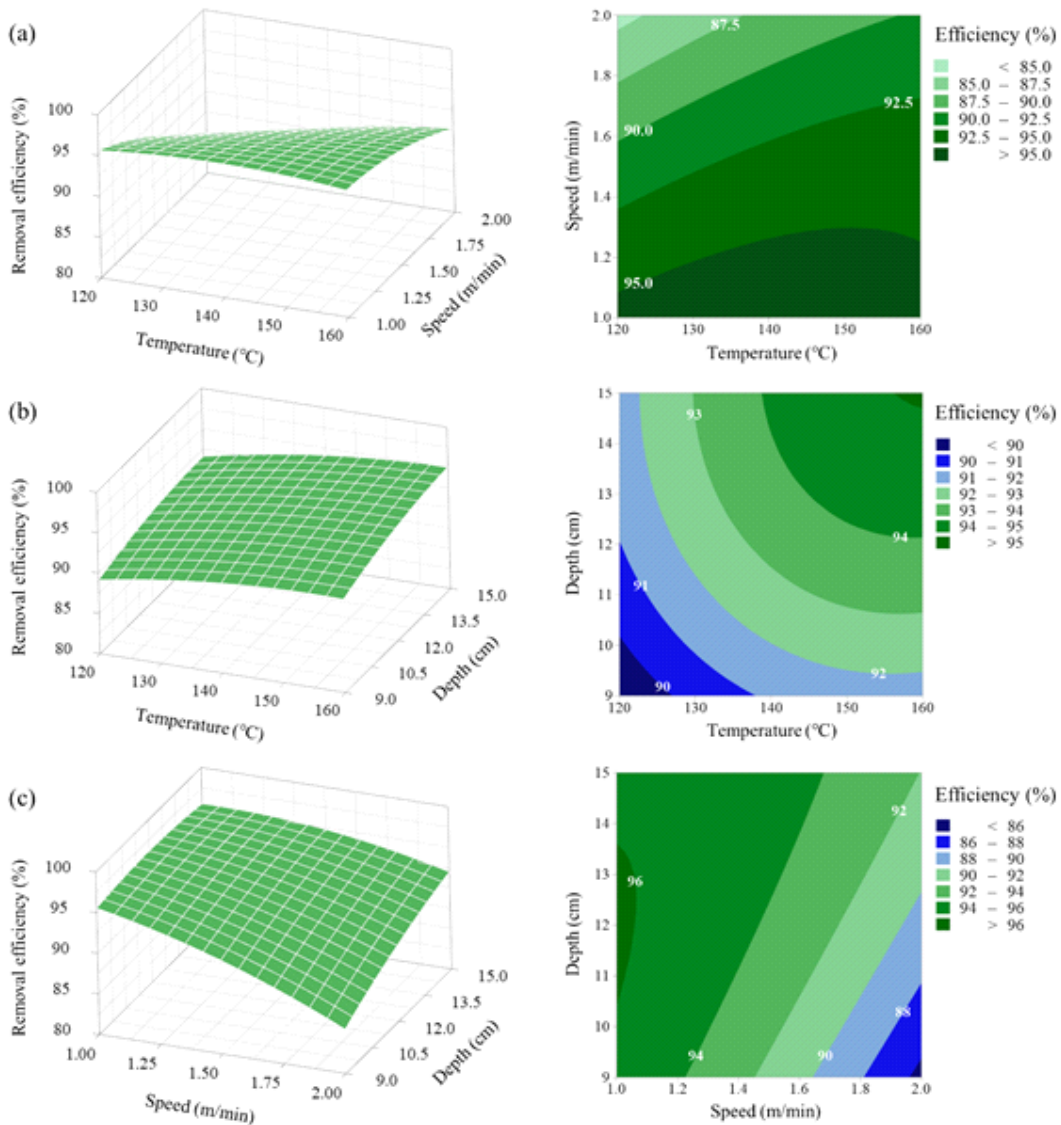
Sources	Nematode removal efficiency				Total bacteria removal efficiency				Oil consumption			
	β	p-value	R^2	Adj R^2	β	p-value	R^2	Adj R^2	β	p-value	R^2	Adj R^2
Model		0.022	0.9279	0.7982		0.003	0.9678	0.9097		<0.001	0.9979	0.9941
Lack-of-fit		0.189				0.142				0.876		
Constants	90.0	<0.001			-1.2	<0.001			-469	<0.001		
x_1	0.350	0.568			1.883	0.088			8.04	<0.001		
x_2	-30.2	0.007			-27.5	0.002			-83.8	<0.001		
x_3	-0.09	0.087			-2.75	0.006			5.31	0.037		
x_1^2	-0.00199	0.428			-0.00786	0.014			-0.01240	0.049		
x_2^2	-4.12	0.315			-10.97	0.023			84.17	<0.001		
x_3^2	-0.069	0.529			0.0048	0.962			0.144	0.529		
$x_1 \cdot x_2$	0.1510	0.149			0.1962	0.061			-1.925	<0.001		
$x_1 \cdot x_3$	0.0045	0.775			0.0059	0.684			-0.0417	0.231		
$x_2 \cdot x_3$	1.085	0.126			1.888	0.018			-0.67	0.609		

[표 35] 세 가지 반응 변수에 대한 모형 및 회귀계수분석결과

(다) 반응 표면도 및 등고선 분석

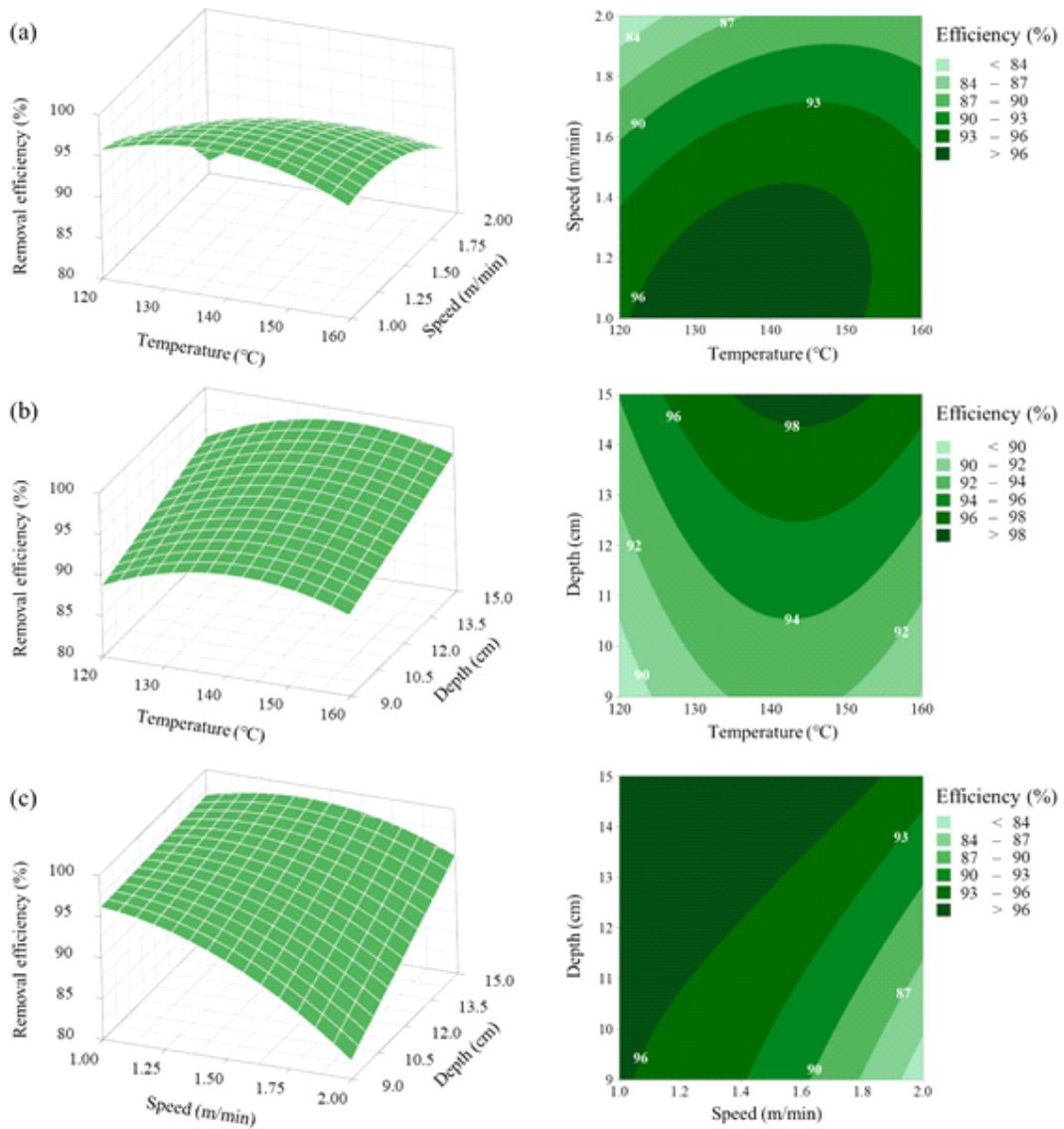
- ① 아래의 그림들은 설명 변수와 반응 변수 사이의 관계를 설명하는 3차원 반응 표면도와 2차원 등고선도를 나타냄. 이러한 그림은 변수 간의 상호작용 효과를 시각화할 수 있으며, 한 요인이 다른 요인의 변화에 어떻게 영향을 받는지에 대한 정보를 제공함

- ② 아래의 그림은 두 개의 설명 변수의 효과와 다른 변수의 중간 수준에서 선충 제거 효율이라는 반응변수와의 상호작용을 보여줌. 고온(160℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가했을 때 제거 효율이 95.54%에서 90.16%로 감소하였음. 낮은 증기 온도(120℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가하면 제거 효율이 95.63%에서 84.21%로 감소하였음
- ③ 운행속도와 분사 깊이 간에는 또 다른 상호작용이 관찰되었음. 높은 주행 속도(2m/min)에서는 분사 깊이를 9cm에서 15cm로 변경했을 때 제거 효율이 84.20%에서 90.52%로 높아졌음. 그러나 낮은 주행 속도(1m/min)에서는 제거 효율에 변화가 거의 관찰되지 않았음



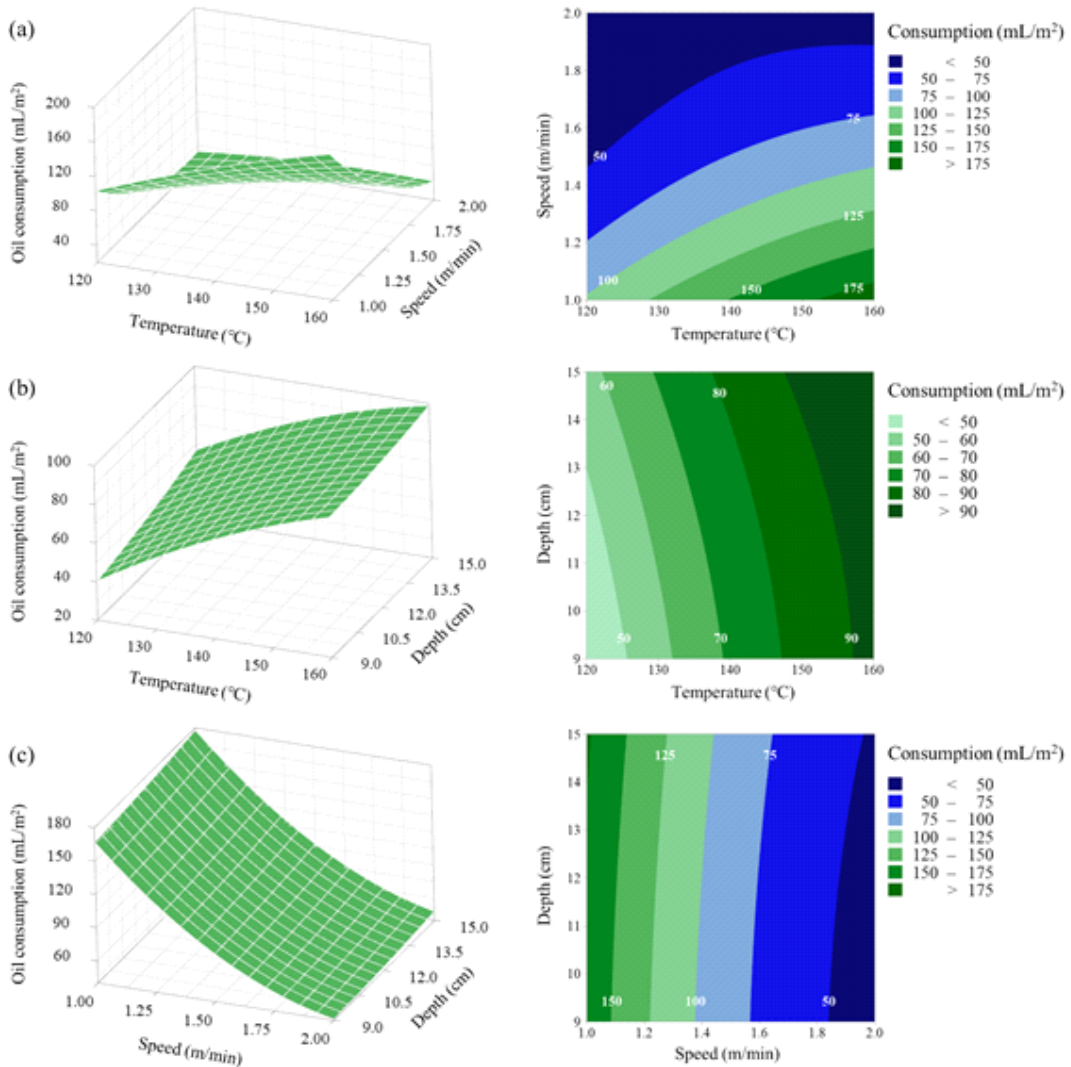
[그림 55] 세 가지 변수의 상호작용이 토양 선충 제거 효과에 미치는 영향을 나타내는 반응 표면도: (a) 증기 온도 및 운행 속도가 제거 효율에 미치는 영향, (b) 증기 온도 및 분무 깊이가 제거 효율에 미치는 영향, (c) 운행 속도 및 분사 깊이가 제거 효율에 미치는 영향

- ④ 아래의 그림은 두 개의 설명 변수의 효과와 다른 변수의 중간 수준에서 토양 미생물 제거 효율이라는 반응변수와의 상호작용을 보여줌. 선충의 결과와 마찬가지로 증기 온도와 운행 속도, 그리고 운행 속도와 분사 깊이 사이의 상호작용이 관찰되었음
- ⑤ 고온(160℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가했을 때 제거 효율이 93.46%에서 87.10%로 감소하였음. 낮은 증기 온도(120℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가하면 제거 효율이 95.49%에서 81.28%로 감소하였음
- ⑥ 또한 높은 주행 속도(2m/min)에서는 분사 깊이를 9cm에서 15cm로 변경했을 때 제거 효율이 81.48%에서 93.28%로 높아졌음. 그러나 낮은 주행 속도(1m/min)에서는 제거 효율에 변화가 거의 관찰되지 않았음



[그림 56] 세 가지 변수의 상호작용이 토양 미생물 제거 효율에 미치는 영향을 나타내는 반응 표면도: (a) 증기 온도 및 운행 속도가 제거 효율에 미치는 영향, (b) 증기 온도 및 분무 깊이가 제거 효율에 미치는 영향, (c) 운행 속도 및 분사 깊이가 제거 효율에 미치는 영향

- ⑦ 아래의 그림은 두 개의 설명 변수의 효과와 다른 변수의 중간 수준에서 경유 소비량이라는 반응변수와의 상호작용을 보여줌. 오일 소모의 경우, 증기 온도와 운행 속도 사이의 상호작용 단 한 가지가 관찰되었음
- ⑧ 고온(160℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가했을 때 경유 소비량이 188.68mL/m²에서 41.35mL/m²로 감소하였음. 낮은 증기 온도(120℃)에서는 주행 속도가 1.0m/min에서 2.0m/min으로 증가하면 경유 소비량이 102.98mL/m²에서 32.65mL/m²로 감소하였음



[그림 57] 세 가지 변수의 상호작용이 경유 소비량에 미치는 영향을 나타내는 반응 표면도: (a) 증기 온도 및 운행 속도가 경유 소비량에 미치는 영향, (b) 증기 온도 및 분무 깊이가 경유 소비량에 미치는 영향, (c) 운행 속도 및 분사 깊이가 경유 소비량에 미치는 영향

(라) 소독 운행 조건의 최적화

- ① 설명 변수가 반응 변수에 미치는 영향을 연구한 후, 본 연구진은 만족도 함수를 이용하여 3개의 설명 변수를 동시에 최적화하였음. 본 연구진의 목표는 토양 선충과 토양 미생물의 제거 효율을 극대화하면서 동시에 경우 소비량을 최소화하는 것으로 설정하였음
- ② 모든 반응 변수에 동일한 가중치를 부여하고, Minitab 통계 소프트웨어를 사용하여 개별 만족도 함수를 조합한 전체 만족도 값을 계산하였음
- ③ 아래의 표는 최적의 운행 조건에 대한 최종 설정값을 나타냄
- ④ 최적화 방정식은 150.56℃의 증기 온도, 1.69m/min의 운행 속도, 15.0cm의 분사 깊이에서 달성되었으며, 이에 상응하는 만족도 값은 0.8367로 나타남
- ⑤ 이러한 최적 조건은 토양 선충 제거 효율 93.99%, 토양 미생물 제거 효율 97.49%, 경우 소비량 70.49mL/m²을 예측하는 것으로 나타남

Variables	Optimal conditions			Predicted responses		
	Steam temperature (°C)	Running speed (m/min)	Spray depth (cm)	Nematode RE (%)	Bacteria RE (%)	Oil consumption (mL/m ²)
Values	150.56	1.69	15.0	93.99	97.49	70.49

[표 36] 세 가지 설명 변수에 대한 최적 운행 조건 산출 결과

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 목표

(1) 무인 자동화 토양 소독기 개발 목표

(가) 현 모델 및 시제품 개발에 필요한 3D모델링 작업

(나) 조향시스템의 개선 : 유압 매뉴얼 밸브 조작 조향 -> 전자 조향 시스템 개발

- ① 1차적으로 유압 조향시스템을 개선 설계를 진행함과 함께 현 문제점을 파악
- ② 전자조향을 위한 조향 액츄에이터 시스템 설계 진행
- ③ 데모버전 설계 제작을 공동으로 수행하여 테스트 진행과 함께 데이터 확보

(다) 디젤엔진 구동에서 전기모터 구동 시스템으로 전환 개발 설계

- ① 운행 속도 및 조향의 효과적인 제어를 위하여 동력원 변경 설계
- ② 구동부 제어에 필요한 요소 데이터 확보
- ③ 전기 구동부 데모제작 테스트 공동 진행

(라) 스팀발생기 효율 증대 및, 고압고온 분사 인젝터 개발 설계

- ① 보일러 효율 증대를 위한 열손실 최소화 설계
- ② 토양속 효과적인 스팀 분사를 위한 고온 고압 인젝터 개발 설계

(마) 레이저 스캐너를 활용한 가이드 시스템 개발

- ① 시설물 내의 실시간 자기위치 확인 위한 조건 구명
- ② 위치 좌표 기반한 유도시스템 개발
- ③ 무인 운전을 위한 조향시스템 개발

(바) 시설농업(비닐하우스 내) 운행 가능한 안전 시스템 개발

- ① 거리 측정 센서 활용한 전후측방 장애물 확인 시스템개발
- ② 진행방향 돌발 장애물 발생시 범퍼 시스템의 개발
- ③ 무인 운행중 장애물 회피 및 운행 중단 알림 시스템 개발

(3) 지속적인 시료데이터 검사를 실시하여 토양소독기에 관한 신뢰성 확보 목표

(가) 고려대학교 보건과학대 환경위해성연구실 유해균 및 병원균, 선충 및 해충 전문 기관에 검사시험을 의뢰하여 토양소독기의 효율적인 성능 및 소독 안정성의 신뢰성 구축을 위하여 연구기간 동안의 지속적인 데이터 확보를 실시.

(나) NET 신기술 인증에서 최소 20회 이상의 평균 데이터를 요구했음. 정부산하기관의 1회 검사비용 1,500만원임을 감안하여 연구기간동안 꾸준한 데이터 확보가 필요. 정부 기관 농업 진흥청 산하 국립농업과학원은 자체 연구과제로 인해 도와주기 힘들다고 함.

(다) 대학교 연구 시험 분석 의뢰는 정부 인증과 동일한 방법으로 실시하여 객관성을 유지 함.

(라) 3년차 까지 실시된 시연회 및 고려대학교의 분석 결과를 반영 하여 과제종료이후 시 연 및 분석시에 활용하도록 소독온도 및 소독 속도, 토질에 따른 소독환경 변수들을 고 려하여 각 토질 및 농지에 따른 소독 환경 시방서를 작성하여 시연회 및 분석 실시시 적용하여 검증 작업을 실시하여 최종 소독 시방서를 작성 함

(4) 토양 미생물 및 선충의 효과적인 제거를 위한 스팀 소독기의 최적 조건 산정

(가) 농가에서 고온스팀 토양소독기를 이용할 때 일반적으로 쉽게 조절할 수 있는 지표들은 스팀의 온도, 소독기의 운행 속도, 스팀 분사 깊이 등이 있음. 이 변수들은 토양 선충 및 미생물의 제거 효과와 관련이 있으며, 동시에 소독 비용의 증가와도 관련이 있음

(나) 본 연구에서는 이 세 가지 변수들을 최적화 대상 변수로 선정하였음. 또한 고온 스팀 소 독기는 토양의 상태에 따라 스팀 분사 깊이를 조절할 수 없는 경우가 있으므로, 본 연구진 은 스팀 분사 깊이에 따른 스팀 온도와 소독기의 운행 속도 최적값도 조사하였음

나. 목표 달성여부

(1) 토양소독기 무인 자동화 시스템 개발

(가) 현모델 및 시제품 개발에 필요한 3D모델링 작업완료

① 대면 마케팅시 보다 쉬운 이해

(나) 조향시스템의 개선

① 현 유압시스템을 개선하면서 PME를 통한 전자조향 시스템 개발 설계완료

(다) 디젤엔진 구동에서 전기모터 구동 시스템으로 전환 개발 설계완료

① 전기코터를 이용한 동력부 설계

② 전기구동 무한궤도 설계

(라) 스팀발생기 효율 증대,고온 고압 인젝터 개발 설계

① 테스트용 시제품 설계 및 제작완료

(마) 레이저 스캐너를 활용한 가이드 시스템 개발

① 경보 지역을 설정하여 주행중 위험물 접근 시 경보가 가능하도록 함.

(바) 레이저 스캐너를 활용한 가이드 시스템 개발

① 변위 센서의 값을 인버터제어에 활용하여 자동 제어가 될 수 있도록 프로그램

(사) 토양소독기 무인시스템 정량적 목표와 결과

	1차년도	2차년도	3차년도	결과
무인주행개발 (실주행 오차)	±0.5M 데모테스트진행 (1/5 SIZE)	±0.3M 데모테스트진행 (1/5 SIZE)	±0.2M 실차 적용	±0.1M 무인 주행시 신호 딜레이 1초 발생
주행컨트롤 (직진도)	±1M/5M 데모테스트진행 (1/5 SIZE)	±0.5M/20M 데모테스트진행 (1/5 SIZE)	±0.3M/30M 실차 적용	±0.3M/10M 테스트 시설 길이 확보 미흡
안전시스템	-	-	0.5m 실차적용	1m 경보 구간 0.5m 비상정지

[표 37] 토양소독기 무인시스템 정량적 목표 및 결과

(2) 시료데이터 검사를 실시하여 토양소독기에 관한 신뢰성 확보와 토양 미생물 및 선충의 효과적인 제거를 위한 스팀 소독기의 최적 조건 산정

(가) 토양 소독 정량적 목표와 결과

① 토양 분사 10분 후 잔존 온도(계절별 목표 및 결과)

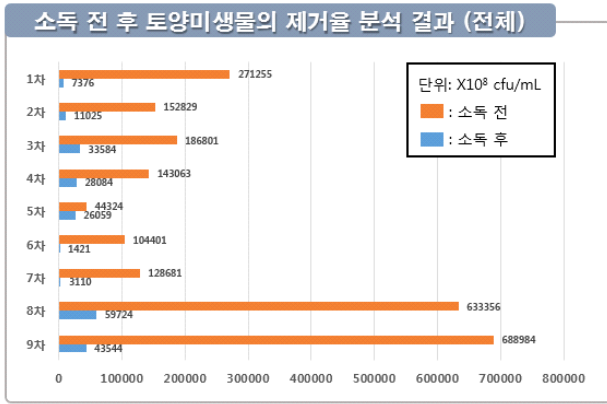
	11 - 2월	3,4,9,10월	5,6,7,8월
기준온도	38°C	51°C	60°C
목표온도	45°C	60°C	66°C
실제온도	68°C	72°C	78°C

[표 38] 토양소독기 잔존온도 정량적 목표 및 결과

② 선충 사충률(계절별 목표 및 결과)

	11 - 2월	3,4,9,10월	5,6,7,8월
기준 살충률	45 %	78 %	84 %
목표 살충률	65 %	85 %	92 %
실제 살충률	75.6%	84.0 %	96.2 %

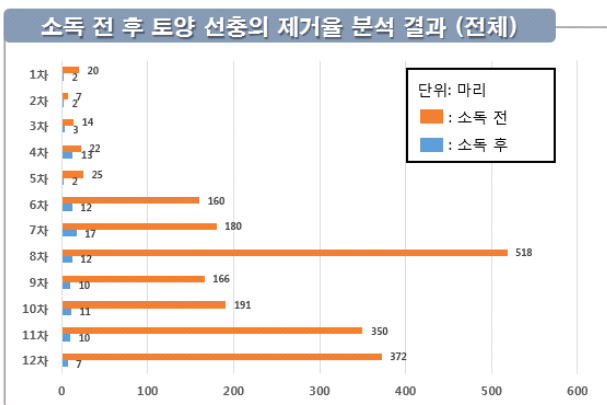
[표 39] 토양소독기 선충 사충률 정량적 목표 및 결과



소독 전 후 토양미생물의 제거율 분석 결과 (요약)

구분	소독여부	집락 수 (X10 ⁸ cfu/mL)	사멸율(%)
최대사멸지점	소독 전	104,401	98.6
	소독 후	1,421	
평균	소독 전	261,521.6	90.9
	소독 후	23,769.7	

[표 40] 토양소독기 토양미생물 제거율 결과(전체)



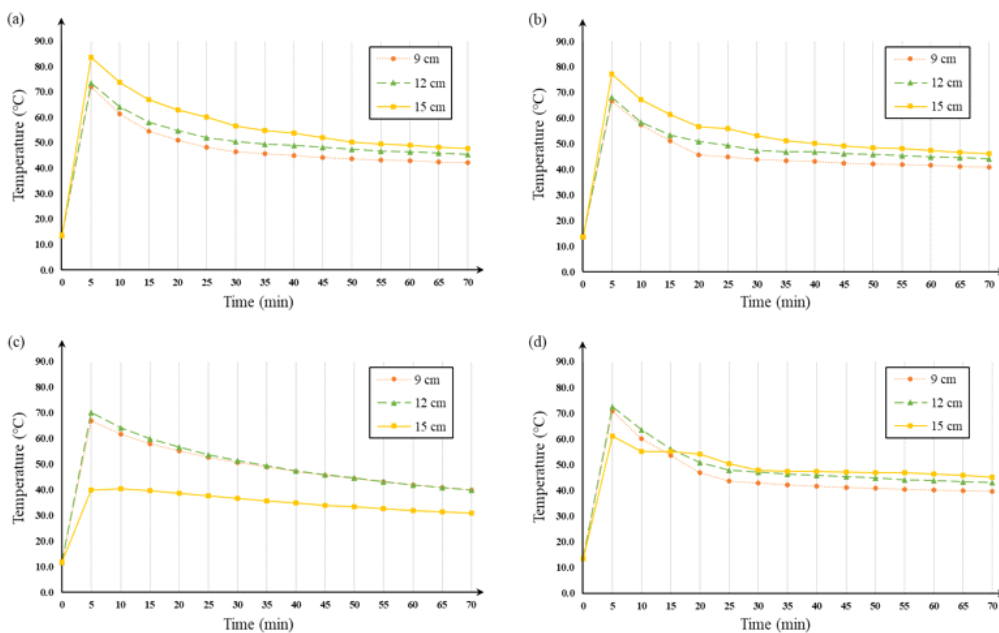
소독 전 후 토양 선충의 제거율 분석 결과 (요약)

구분	소독여부	마리수	사충률(%)
최대사충지점	소독 전	372	98.1
	소독 후	7	
평균	소독 전	123.6	93.4
	소독 후	8.1	

[표 40] 토양소독기 토양 선충 제거율 결과(전체)

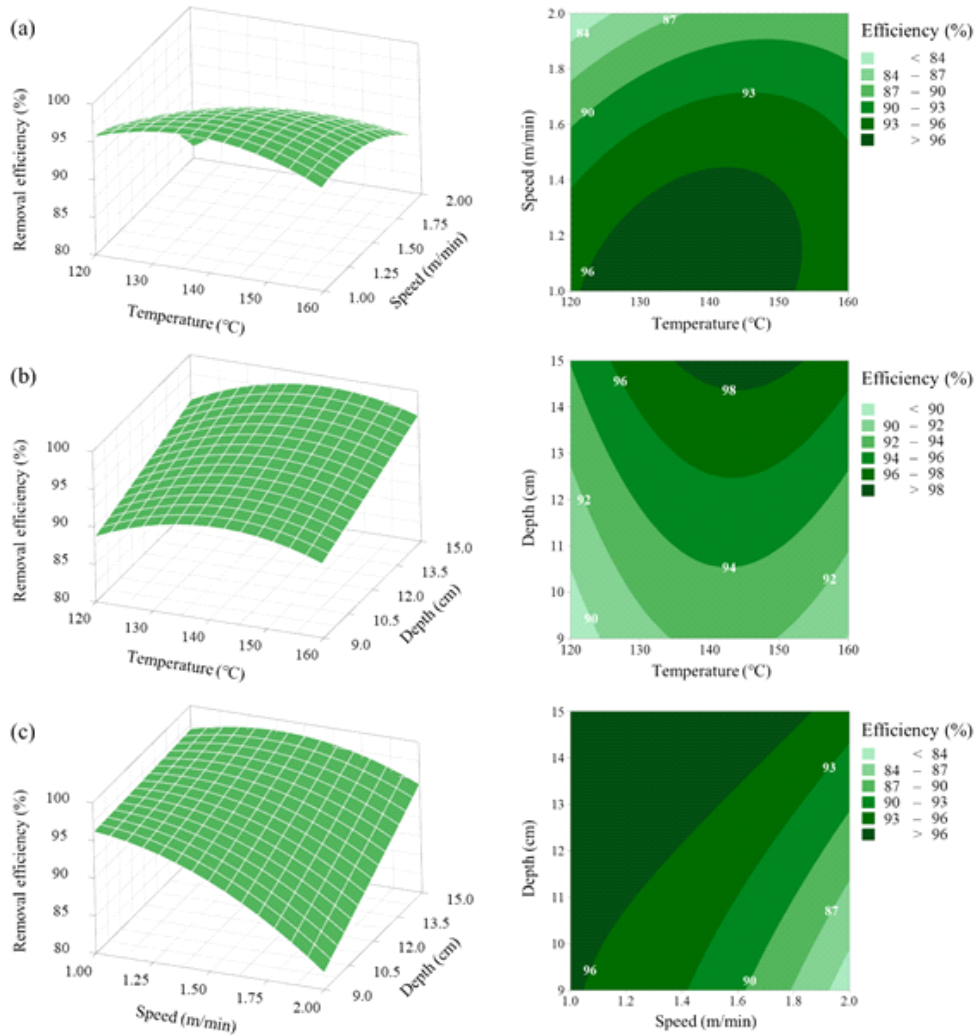
(나) 토양 미생물 및 선충의 효과적인 제거를 위한 스팀 소독기의 최적 조건 산정

- ① 스팀 온도의 변화는 토양 온도에 큰 변화를 주지 않았으나, 주행 속도와 분사 깊이의 변화는 토양 온도를 유의하게 감소시킴



[그림 58] 스팀 소독 후 시간 경과에 따른 온도 변화

- ② 최적화 방정식은 150.56℃의 증기 온도, 1.69m/min의 운행 속도, 15.0cm의 분사 깊이에서 달성되었으며, 이에 상응하는 만족도 값은 0.8367로 나타남
- ③ 이러한 최적 조건은 토양 선충 제거 효율 93.99%, 토양 미생물 제거 효율 97.49%, 경우 소비량 70.49mL/m²을 예측하는 것으로 나타남



[그림 59] 세 가지 변수의 상호작용이 토양 미생물 제거 효과에 미치는 영향을 나타내는 반응 표면도: (a) 증기 온도 및 운행 속도가 제거 효율에 미치는 영향, (b) 증기 온도 및 분무 깊이가 제거 효율에 미치는 영향, (c) 운행 속도 및 분사 깊이가 제거 효율에 미치는 영향

변수	최적 조건			예측 결과값		
	증기온도 (°C)	주행속도 (m/min)	증기 분사 깊이 (cm)	선충 제거율 (%)	미생물 제거율 (%)	경유 소비량 (mL/m ²)
값	150.56	1.69	15.0	93.99	97.49	70.49

[표 41] 토양 미생물 및 선충의 효과적인 제거를 위한 스팀 소독기의 최적 조건

바. 사업화성과

(1) 사업화 성과의 목표 달성도

성과지표	계획(A)	달성(B)	목표달성률(%)	비고
제품화	2	3	150	우수
매출액(백만)	1050	555	52.9	미흡
고용창출	5	3	60	미흡
투자유치	1	0	0	미흡
지식재산권(출원)	5	6	120	우수
지식재산권(등록)	3	3	100	우수
학술발표	1	3	300	우수
홍보전시	41	42	102.4	우수

[표 42] 사업화성과 목표 달성도

제품명	JS-S001A/3A	JS-S005A
출시일	'17.11.01	'19.07.01
특징	인젝션보완	3t유,무인시스템
매출액	4억원	1억원
매출발생시기	'17.11.~19.12	'19.08
		

[표 43] 사업화성과 매출

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	5억원	
			향후 3년간 매출	10억원	
		관련제품	개발후 현재까지	2억원	
			향후 3년간 매출	10 억원	
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 100% 국외 : %	
			향후 3년간 매출	국내 : 10% 국외 : 90%	
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 30% 국외 : 70%	
			향후 3년간 매출	국내 : 100% 국외 : 30%	
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			1위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			1위

(2) 향후 사업화 계획

(가) 토양 소독기 (JS-S001A, JS-S002A 등) 브랜드 강화

- ① BIOFLASH처럼 JS-S001A와 JS-S002를 상표 steamy로 브랜드화하여 공격적인 마케팅에 적합하도록 브랜드 스토리, 로고 등을 제작하여 브랜드 인지가 쉽도록 재설정
- ② 이를 바탕으로 나라별 현지에서 사용하는 단어와 문구를 가지고 카달로그 또는 홈페이지를 현지화하여 온라인을 통해 인콰이어리가 많이 들어오는 농기계의 특성에 맞게 온라인 인콰이어리에 1:1 대응 전 홈페이지나 카달로그만으로 충분한 정보 전달이 될 수 있도록 함
- ③ 유튜브 채널도 함께 관리하여, 시연영상이 아닌 '홍보영상'으로서의 역할을 충분히 할 수 있도록 관리 필요

(나) 국가별 인증 취득을 통한 신뢰도 확보(안전 및 효율성 검증을 통한 인증 마크 취득)

- ① 국가별로 안전성과 효율성의 인증절차가 중요도를 넘어 필수로 인정하고 있으므로 국내 NET 신기술 인증 취득을 위한 노력과 함께 각국의 농기계 관련 인증을 취득하여 소비자에게 브랜드 신뢰도 및 충성도를 높일 수 있도록 도모
- ② 독일의 AGRITECHNICA, 이탈리아 EIMA, 브라질의 Agrishow 등에 참관 또는 참가하여 적극적인 영업활동을 통한 업계 브랜드 인지도기여에 투자.
- ③ 브랜드 강화 후, 유럽 제품의 대체품으로 한국과 달리, 관련 기기가 많이 거래되고 있는 것을 1차 목표로 유럽과 미국 제품 대체품으로서 일본보다 높은 기술력에 가격경쟁력이 있는 강점으로 영업활동

(다) 국내 대형 농기계사와 협력 제의

- ① 대동, LS, 동양 등 대형 농기계회사와 연계하여 판매와 서비스망 확보 노력

(라) 단기 수출 계획 수립 및 시행

- ① 관련 기술의 선도 기업이 몰려있는 북미 그리고 유럽의 선도기업에 OEM공급을 확대하거나, 또는 토양소독기가 없는 농기계 기업에 OEM 사업 제안
- ② 기술이전을 통해 현지에서 소모 될 수 있는 마케팅 비용을 절감하는 방법도 고려중
- ③ 현재 세계 최대 농약회사인 독일 바이엘사와 3차 밋업중임

(마) 장기 수출 계획 수립 및 시행

- ① 지속적으로 관련 농기계의 수요가 증대하고 있는 중국 포함 아시아와 중남미 지역에 단기 수익이 아닌 장기적인 계획으로 브랜드 인지도를 높이고 추 후 더 많은 수익창출을 위한 시장개척 프로젝트로 진행
- ② 연구를 통해 얻은 데이터를 기반으로 스팀소독 및 무인화 시스템을 연구하는 선진국 농업 관련 연구소와 교류를 통해 자사 토양소독기의 우수성과 확보 계획
- ③ 현재 미국 UC DAVIS 상호연구지원 확정 캘리포니아 CDFa(California Department of Food and Agriculture) 와CSC(California Strawberry Commission)의 지원으로 증기소독 테스트 대상 확정

4. 연구결과의 활용 계획 등

가. 정부지원 연구과제 기본 자료로 활용

본 연구과제의 결과물은 미래지향적 첨단농법의 일환으로 모두에게 피해를 주는 기존의 농약 사용법에서 벗어 날 수 있는 계기를 마련함. 연구개발의 주요 내용들은 분명 타 제품 개발에 영향을 줄 수 있으며, 아직 부족하지만 지난 연구개발 기간 동안 축적된 소독 전후 시료데이터는 제품의 성능을 대변하므로 해외 수출 향로에 도움이 될 임.

(1) 레이저 스캐너를 활용한 가이드 시스템과 무인 조향시스템의 개발

- 수 많은 종류의 자주적 농기계에 적용 가능

(2) 전기 구동시스템과 고압고온 분사 인젝터 개발 설계

- 시설재배지 소독시 배출되는 매연을 차단
- 고압 분사 인젝터는 당사가 개발중인 목조건축물 흰개미 방충, 살충 제품에 적용 가능

(3) 지속적인 시료데이터 검사를 실시하여 토양소독기에 관한 신뢰성 확보

- 증기식 토양소독기의 우수성 증빙자료 확보

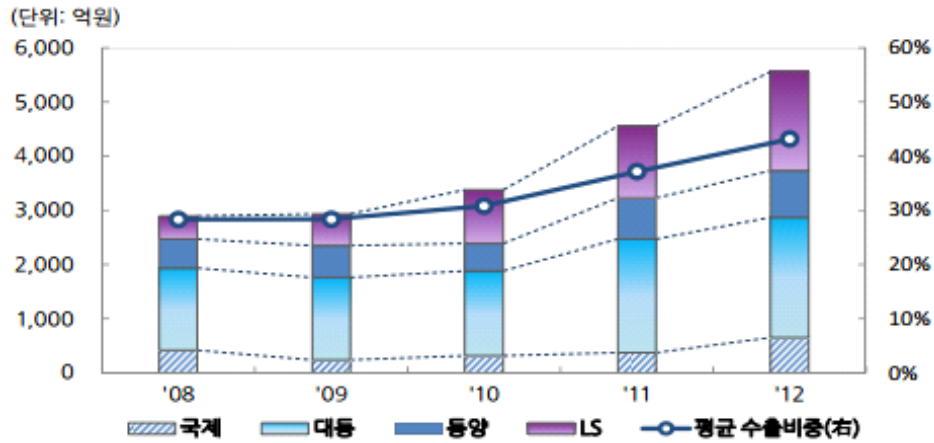
나. 사업화를 위한 비즈니스 모델설정

(1) BM 수립 배경

자사 제품의 특성상 일반 농민이 바로 이용하는 것 보다 농민은 지자체(농업기술센터등)에서 임대를 해서 사용을 하는 것이다. 결국 B2G모형을 근간으로 경영방향을 잡았다. 그리고 국내 내수 시장 보다는 수출에 중점을 두고 사업화를 추진 계획

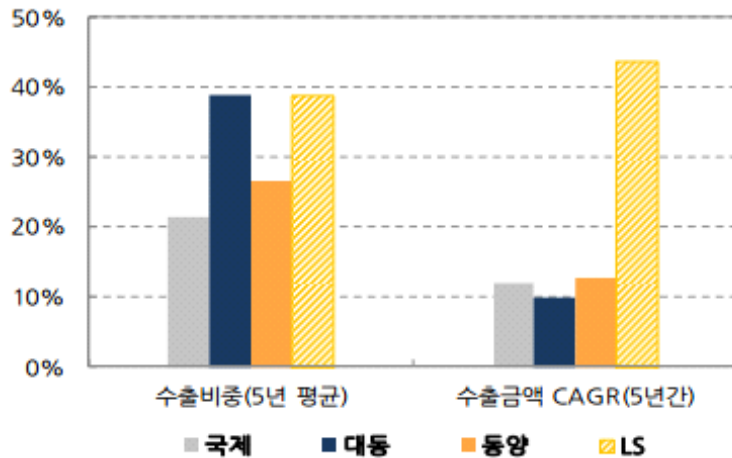
(가) 국내 내수시장 불황에 따른 수출을 통한 성장 동력

- ① 수출확대는 신규 성장 동력
- ② 국내 농기계 산업의 구조적 한계가 뚜렷해지면서 업계 4개사의 농기계 내수매출은 지난 5년간 연 7,300~7,600억원 수준에 그치는 등 국내 영업환경은 저하
- ③ 해외 수출금액은 꾸준히 증가(2008~2012년 CAGR 17.7%)하여 농기계 업체가 일정 수준의 성장폭은 유지하는 요인으로 작용
- ④ 농기계 수출비중이 50%(2012년 평균 기준)에 이르는 대동공업과 LS엠트론이 농기계 업계 수출 확대를 주도
- ⑤ 4개사 공히 수출비중이 상승하면서 2008년 2,900억원 수준의 수출금액은 2012년 5,555 억원으로 현저히 증가



[그림 60] 업체별 농기계 수출금액 및 수출 비중 추이 (자료원: 공시자료 및 회사 제시자료 재구성)

⑥ 특히, LS엠트론의 경우 2010년부터 해외법인을 통해 직수출을 확대하고 글로벌 메이저 업체에 대한 OEM 공급을 개시하면서 수출기반 구축에 따른 고성장세가 지속



[그림61] 08 ~ 12'년 수출비중 및 연평균 성장률 (자료원: 공시자료 및 회사 제시자료 재구성)

⑦ 실제로 국내 집계된 농기계 수출금액은 증가추이에 놓여 있음은 물론, 2009년부터 농기계 수입금액을 상회하여 전체수지는 흑자를 기록한 이후 트랙터 수출을 중심으로 흑자폭을 매년 확대

(단위 : 천달러)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	
수출금액	트랙터	195,092	181,618	222,693	325,631	426,295
	콤바인	5,815	12,108	14,573	10,662	6,882
	이앙기	3,585	5,700	10,631	11,490	17,001
	기타	190,531	176,031	185,660	260,374	295,535
	계	395,023	375,457	433,557	608,157	745,713
수입금액	468,346	362,205	419,125	471,039	533,428	
수지	-73,323	+13,252	+14,432	+137,118	+212,285	

[표 44] 농기계 수출입 추이 (자료원:한국농기계공업협동조합)

- ⑧ 국내 4개사 합산기준으로는 2009년을 제외하고 농기계 수출이 매년 450~1,000억원 증가하면서 농기계 매출 증가분의 70%이상을 차지하였으며, 5년간 평균으로는 96%에 달하는 등 수출 확대가 국내 농기계 업계를 견인해 온 유일한 성장동력으로 판단
- ⑨ 향후 국내 농기계 업계로서는 수출기반 구축을 통한 시장확대가 절실하며, 이의 성과가 국내 농기계 업계의 사활을 가를 것으로 예상

(2) BM 목표 및 핵심경쟁요인

(가) BM 목표

- ① 국내여건에 발맞추어 내수는 장기적 전략으로 수출을 중점 전략화
- ② 세계적 유기농작물 재배사, 지방 자치 단체 등에 집중 공략



[그림62] 비즈니스모델

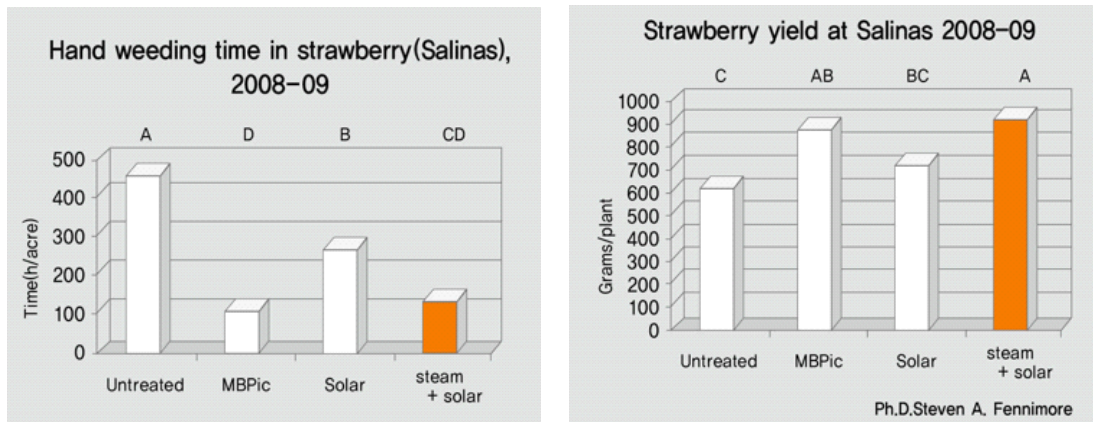
(나) 핵심경쟁요인

- ① 농업용 토양 소독의 경우 토양 속에 서식하고 있는 각종 병원 미생물이 식물을 감염, 시설 하우스 토양도 미생물의 감염으로 지물 재배의 피해가 발생.
참외, 오이, 수박, 토마토 등의 시설 하우스 재배 시 주로 선충이라는 병원 미생물에 피해를 입고 있으며 감염된 식물은 수확량이 10~30% 감소 또는 식물의 조기 고사를 가져옴
- ② 2006년 Methyl Bromide의 토양사용 금지에 따른 농업 선진국의 대체 소독법의 개발
- ③ 선충의 구제방법은 토양 소독이 매우 효과적이며 토양 소독의 종류는 태양열 소독, 화학약제 훈증 소독, 증기 소독, 저온살균 유기물 혼합제조 등의 방법이 사용되나 장, 단점을 보유

병원균	서식 깊이		사멸온도와 처리 시간
	생식 영역 (cm)	생식한계 (cm)	
白絹病菌 <i>Sclerotium rolfsii</i> Curzi	0 - 5	10	50°C - 10분간
疫病菌 <i>Phytophthora spp.</i>	0 - 5	15	40°C - 10분간 (黃瓜疫病菌)
根瘤子病菌 <i>Plasmodiophora brassicae</i>	0 - 5	20	55°C - 10분간
Pythium菌	0 - 10	20	50°C - 20분간 (莖立枯病)
Rhizoctnia菌	0 - 15	20	53°C - 10분간
Fusarium菌	0 - 25	40	60°C - 10분간, 45°C-48시간
Verticillium菌	0 - 25	40	50°C - 10분간, 45°C-3시간
青枯病菌 <i>Ralstonia solanacearum</i>	0 - 30	숙주식물 한계 범위	52°C - 10분간
軟腐病菌 <i>Erwinia carotovora</i>	0 - 25	40	50°C - 10분간

[표 45] 온도별 병원균 사멸도 (자료 : 일본 사이타마현 농림부, 유기물 100배 운동의 기술 자료 매뉴얼)

- ③ EU 등 선진국에서는 친환경 관련 토양 소독에 대하여 2차 오염 방지를 위하여 매우 엄격하게 관리하고 있어 토양 소독에 대한 인식 및 시장이 매우 발전, 국내의 경우 비교적 경지 면적이 크지 않고 정부의 환경적인 제한이 없는 관계로 농약을 통한 토양 소독이 주를 이룸
- ④ 세계 농업용 토양 소독 시장은 133조 (2010년 기준) 국내 시장 규모는 1조4천억 (2011년 기준) 추정되고 있으나 국내의 경우 토양 소독의 대한 규제가 미흡하여 토양 소독에 대한 인지도 특히 환경을 고려한 토양 소독 시장에 대한 고객 Needs는 미흡한 수준임
- ⑤ 정부에서의 2차 오염 방지를 위한 친환경 토양소독을 법제화 및 농업인 스스로 농약 자제 등을 고려한 친환경 토양 소독의 이해도가 제고 되지 않는 한 국내 토양소독 시장은 제한적임, 또한 당사에서 공급하는 토양 소독기를 농가에서 구매하여 토양 소독에는 한계를 가짐



[그림 63] 미국 캘리포니아 딸기 농장 소독 비율

- ⑥ 결론적으로 토양 소독기 고객은 농협, 농업영노조합법인, 지자체 등으로 제한 농가가 아닌 정부기관에서 소독기를 구매 임대 또는 소독 위탁하는 형태의 정략 필요하고 EU, 미국 등 친환경 토양 소독 시장이 발전한 해외 시장의 판로개척이 선행되어야 할 것으로 판단함
- ⑦ 자사 제품은 기존 화학약제처리법에서 탈피한 태양열처리, 생물방제, 수경재배등의 방법보다 처리 기간이 줄어들어 그만큼의 추가 수익이 발생하며 폐비닐 발생등 2차 오염을 줄일수 있는 장점이 있음

기존 방법과 경쟁력 비교 I

	저농약	태양 / 담수	유기농	자사제품 (임대)
소독기간 (일)	30	30	30	10
수확량 / 5개월 평균(box)	500	500	500	500
수확율 (%)	90	70	70	90
판매가 / box (원)	20,000	30,000	40,000	40,000
연 매출	90,000,000	105,000,000	140,000,000	180,000,000
특수비용 / 연간	4,000,000	2,000,000	2,000,000	7,000,000
공통비용	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000
자사제품 사용시 수익증가	76,000,000 + 87,000,000 + 4,000,000	93,000,000 + 70,000,000 + 4,000,000	128,000,000 + 35,000,000 + 4,000,000	

참외하우스10동기준 : 1동=1,000m²=300평=10a
참외판매가 1box 10kg기준 | 참외 연간 수확기간 평균 6개월

[표 46] 증기 토양소독기 수익 경쟁력

(3) 목표 시장 구조

(가) 경쟁기업 현황

① (주)팜텍21과 경상북도농업기술원 (기술이전)

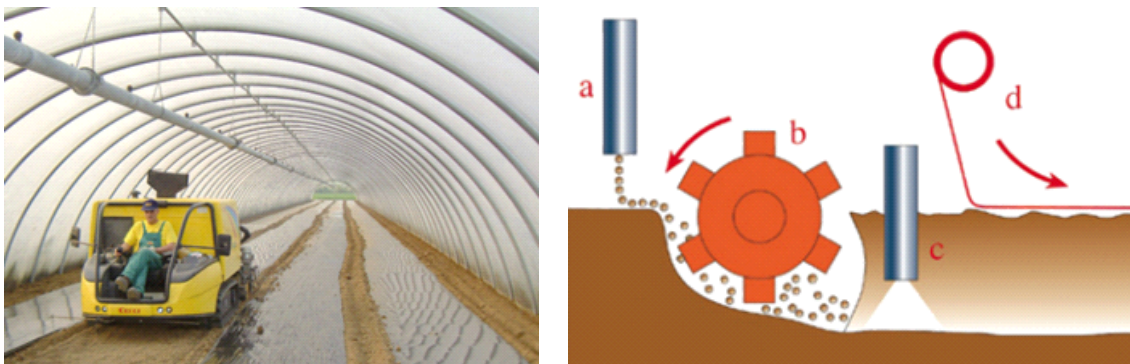
- 국내에는 스팀으로 소독하는 방법이 있으나 자주식이 아니라 시설하우스 밖에 설치한 보일러에서 가열하여 시설 내 매립된 배관을 통해 살균하는 방법이 있음. 그러나 이 방법은 거리에 따른 열 효율성이 떨어지며 많은 유지비가 필요해 많은 문제점을 가지고 있음.



[그림 64] 매설 연결식 증기 토양소독기

② 이탈리아 celli사의 Bioflash

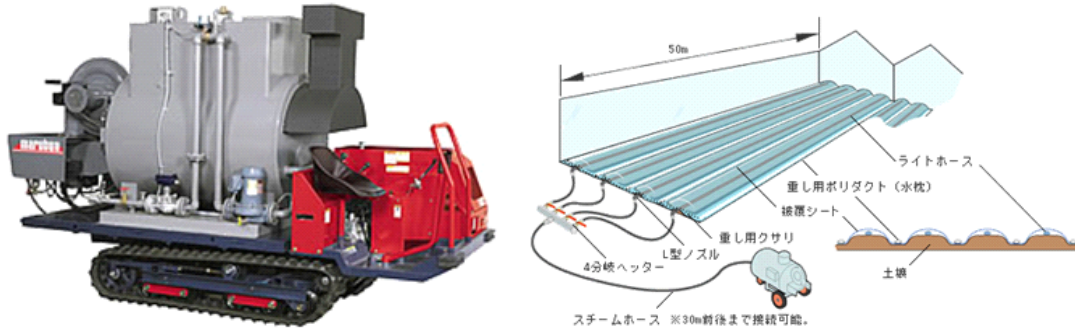
- 로터리작동+생석회+증기를 이용하는 최대 80°C 수증기분사 가능한 자주식 제품으로 200년대 전 세계 5000여대 판매가 될 만큼 인기가 많았음. 그러나 비닐 덮개작업시 곰팡이균이 번식하고 비닐제거 작업 필요하며, 무엇보다 생석회 사용으로 인한 토양경화, 스팀 효율성저하와 고가격 저효율의 단점이 있으며 현재는 생석회의 문제로 생산이 중단된 상태. 최근 첼리사의 수석 연구원과의 미팅에서 이와 같은 사실을 인지.



[그림 65] celli사의 Bioflash

③ 일본 아야제작소

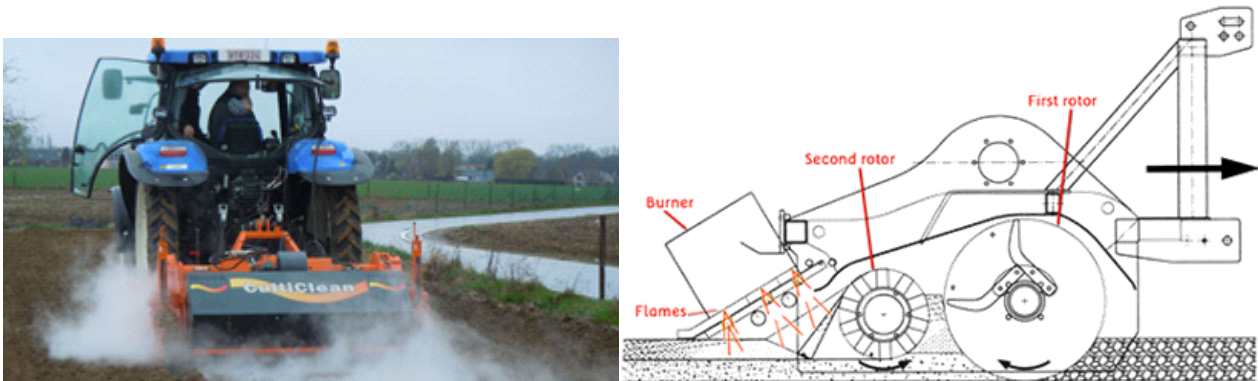
- 매립관 연결식 + 시트덮개 사용으로 최대 70°C 증기분사함. 자주식과 연결식 두 제품이 있으나 하우스 300평 소독시간이 20-25시간이 걸리는 단점과 시트덮개 관리가 용이하지 않음



[그림 66] 아야제작소 연결식 증기 토양소독기

④ 네덜란드 struik + HOAF사의 Culticlean

- 트랙터 연결 견인식으로 2개의 로터리로 4-5cm 깊이로 토양을 분쇄하며 프로판 버너의 가열로 최대 275°C 화염분사로 주로 잡초 씨앗을 제거하는데 사용함. 토양 깊은곳의 선충이나 유해 미생물 방제에는 부적합. 최근 정원이나 가로수 주변 잡초 제거용으로 변경 판매되고 있음



[그림 67] struik + HOAF사의 Culticlean

⑤ 독일 MSD + 스위스 FOBRO

- 자주식 스파이크 판넬 스팀 제품으로 최대 70°C 증기분사. 독일, 스위스 정부의 지원으로 개발된 제품으로 출시 당시 여러 농기계 혁신상을 받으며 미국 CSC(California Strawberry Commission) 와 수백만달러 MOU를 체결하였으나 낮은 온도로 인해 유류비용이 많이 들고 토양 속까지 증기 분사가 약한 단점이 있음



[그림 68] MSD의 FOBRO

⑤ 독일 MSD + J.Zeyer의 MSDZ-1

- 2017년이후 자사 제품과 경쟁하는 유력 제품으로 스파이크 판넬을 이용하는 무인자동화 시스템 토양소독기. 그러나 제품이 크고 유지비가 자사 제품의 3배에 해당하여 고비용 비효율의 단점이 있음.



[그림 68] MSD의 MSDZ-1

(나) 핵심 경쟁 요인

- ① 기존의 고온스팀소독기에 비해 크기가 1/3 정도 컴팩트 사이즈여서 하우스재배 소독등 다용도로 사용이 가능. 크기는 줄면서 유지비가 적게들고 효율성을 더욱 높아졌다.
- ② 토양 속으로 증기 분사 침봉을 삽입한 채 스팀이 분사되는 깊이는 현재 세계 최고 깊이인 35cm임
- ③ 재가열기의 장착으로 증기 분사 온도가 최고 200°C이므로 토양 소독 효율이 높음
- ④ 무인 자동화 시스템으로 작업자의 근무 환경과 효율성이 높아짐

- ⑤ 해외 경쟁사 제품에 비해 크기가 작아 유동적으로 사용할 수 있으며, 세계에서 가장 높은 온도의 증기를 분사하여 농지 면적당 소득비용이 60% 절감되어 가격 경쟁력을 확보함. (유류비 인건비포함 250만원/1ha 이므로 경쟁사 제품의 1/3 소득비)
- ⑥ 개발한 고온스팀소독기는 시설재배의 토양소독뿐만 아니라 어린이 모래놀이터, 경마장 등의 트랙등 레저시설의 잡초 제거 등에 사용되므로 사업의 확장성이 용이

기존 방법과 경쟁력 비교 II

	팜텍21	bioflash	DÄMPFMOBIL	자사제품
소독기간(1동)	4일	6시간	8시간	8시간
국 적	대한민국	이탈리아	독일	대한민국
제 품 가 격 (시 설 비)	8천만원	1억2천만원	1억5천만원	6천만원
연 간 유 지 비	1천2백만원	1천5백만원	정보없음	7백만원
특 징	매립연결식	자주식	자주식	자주식
장 점	없음	생석회 사용으로 소독열 유지 승차가능	노지사용 탁월 승차가능	하우스 사용탁월 제초와 살충살균 동시 가능
단 점	비싼유지비 열효율저하 추가노동력	석회의 토양경화 추가노동력	하우스 이용제한	승차 불가능 (무인운전 개발중)

하우스1동기준 : 1동=1,000m²=300평=10a

[표 47] 경쟁사 토양소독기와 비교

(다) 고령화 시대 신규 인력 양성

- ① 노령화 농촌 사회에서의 노동력 문제해결
- ② 전문 토양소독 일자리 창출

	자사제품 개인운영 사례 1 하우스	자사제품 개인운영 사례 2 놀이터	자사제품 개인운영 사례 2 임대
1 일 소 독 매 출	70만원	60만원	43만원
1 일 소 독 량	1개동 1,000m ²	500m ²	1,000m ²
1 일 지 출 액	23만원(유류)	15만원(유류)	23만원(유류)
연 간 작 업 일	150일 이상	150일 이상	150일 이상
연 간 순 이 익	7천만원 이상	6천만원 이상	3천만원 이상

하우스1동기준 : 1동=1,000m²=300평=10a

[표 48] 자사 토양소독기 개인운영 수익 구조

다. 향후 계획

(1) 제품의 성능개선

- (가) 현재 개발된 무인자동시스템은 자동차에서 이용되는 자율 주행의 개념과는 다르므로 완전 자동화 시스템을 구축까지는 시간이 필요함
 - ① 무인 자동 시스템의 정량적 측정 방법에 대한 연구가 필요
 - ② 자동차 관련 학과 전문가들에게 문의하여 정량적 측정 방법 도입으로 객관성 확보
- (나) 완전 전기구동 모델 개발
 - ① 전기자동차의 구동 원리 연구
 - ② 전기배터리 및 전기자동차 전문가들에게 문의하여 연구 개발 준비
- (다) 트랙터 연결식 소독기 개발
 - ① 하우스용이 아닌 노지 사용 대형 토양소독기 개발 필요
 - ② 구동부와 스팀 발생기를 별도 분리하여 이동식 토양소독기 개발
- (라) 잡초씨앗 제거 기술 향상 필요
 - ① 노지 사용에 필수인 잡초 씨앗 제거 성능 향상을 위한 기술 개발
 - ② 현재 대형 전기다리미 기술 이용 특허 신청

(2) 해외 판로 개척

- (가) 검증된 데이터 확보
 - ① 선충, 미생물뿐만 아니라 잡초씨앗 제거를 데이터 확보 시급
 - ② 토양소독후 토양 상태를 파악할 수 있는 검증 필요
 - ③ 해외 진출을 위한 해외 토양 소독 사례 및 데이터 확보
 - ④ 취득된 데이터 기반으로 국제 학술지 발표 (현재 2020년 7월 13일자 등록
International Journal of Environmental Research and Public Health : Optimizing
Operating Parameters of HighTemperature Steam for Disinfecting Total
Nematodes and Bacteria in Soil: Application of the Box- Behnken Design, Da-An
Huh, Woo Ri Chae, Hong Lyuer Lim, Joung Ho Kim)
 - ⑤ 신기술인증 취득 필요
- (나) 전문 마케팅 인력 확보
 - ① 해외 바이어 확보를 위한 외국어 능통 인력 확보
 - ② 홈페이지 및 유튜브 개선을 통해 랜선 마케팅 필요
 - ③ 연간 1회 이상 국제 전시회 참가 필요

(3) 국내 시장 진출 대책

(가) 보수성이 강한 농민의 인식 변화 개선을 위한 노력

- ① 농업기술센터와 연계하여 무료 시연회 개최
- ② 이때 수집한 시료로 작물별 데이터 확보

(나) 대형 농기계회사와 협력 체계 구축

- ① 당사 제품 자체 브랜드를 대형 농기계 회사 브랜드화
- ② 대량 생산 제품이 아닌 만큼 대형 농기계 회사 네임드를 이용
- ③ 애프터 서비스 역시 대형 농기계회사 지점 이용

붙임. 참고문헌

- 증기식 토양소독기의 증기분사에 의한 토양온도에 대한 연구(2014, 영남대학교)
- 중국 토양정화시장 현황과 전망, KOTRA 해외비즈니스 정보 포털, 2014
- Sterilization and inhibition of microbial activity in soil (1996, Trevors, J.T. Journal of Microbiological Methods)
- A high efficacy steam soil disinfestation system (2010, P Gay, P Piccarolo, DR Aimonino, C Tortia. Biosystems Engineering)
- Preliminary results of physical soil disinfestation by hot air (2004, WT Runia, International Symposium on Chemical and non-Chemical Soil and Substrate Disinfestation)
- Low temperature - short duration steaming of soil kills soil-borne pathogens, nematode pests and weeds (2003, van Loenen, Y Turbett, European Journal of Plant Pathology)
- Soil Disinfection with Hot Water in Japan (2010, Gu Song, Wang Zhongwei, Northeast Agricultural University)
- Effects of high temperature steam treatment on microbial and phytochemical contents, antioxidant activities, chemical stability, and shelf life of oral liquid prepared from the leaves of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim (2017, Yawei Zhang, Fengyuan He, Journal of Food Processing and Preservation)
- Momma, N.; Kobara, Y.; Uematsu, S.; Kita, N.; Shinmura, A. Development of biological soil disinfestations in Japan. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2013, 97, 3801 - 3809.
- RDA. Distribution and Occurrence of Root-Knot Nematodes under Greenhouse Cultivation; Rural Development Administration: Seoul, Korea, 2016.
- Shurtleff, M.C.; Averre, C.W. Diagnosing Plant Diseases Caused by Nematodes; APS Press: St Paul, MN, USA, 2000.
- RDA. Study on Occurrence and Damage to Disease and Pest of Crops by Climate Changes; Rural Development Administration: Seoul, Korea, 2014.
- UNEP. 2010 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee; United Nations Environmental Programme: Nairobi, Kenya, 2010.
- Chrustek, A.; Hołyńska-Iwan, I.; Dziembowska, I.; Bogusiewicz, J.; Wróblewski, M.; Cwynar, A.; Olszewska-Słonina, D. Current Research on the Safety of Pyrethroids Used as Insecticides. *Medicina (Kaunas)* 2018, 54, 61.
- UNEP. 1998 Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee; United Nations Environmental Programme: Nairobi, Kenya, 1998.
- Baker, K.F. Principles of heat treatment of soil and planting material. *J. Aust. Inst. Agr. Sci.* 1962, 28, 118 - 126.
- Runia, W.T.; Molendijk, L.P.G. Physical methods for soil disinfestation in intensive agriculture: Old methods and new approaches. *Acta Hort.* 2010, 883, 249 - 258.

- Holmes, G.J.; Mansouripour, S.M.; Hewavitharana, S.S. Strawberries at the Crossroads: Management of Soilborne Diseases in California Without Methyl Bromide. *Phytopathology* 2020, 110, 956 - 968.
- Lee, Y.K. The Study on the Soil Temperature Heated by Steam Injection of the Steam Soil Sterilizer. Master Thesis, Yeungnam University, Gyeongsangbuk-do, Korea, 2014. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 5029 16 of 17
- Paek, D.; Koh, Y.; Park, D.-U.; Cheong, H.-K.; Do, K.-H.; Lim, C.-M.; Hong, S.-J.; Kim, Y.-H.; Leem, J.-H.; Chung, K.H.; et al. Nationwide study of humidifier disinfectant lung injury in South Korea, 1994 - 2011. Incidence and dose - response relationships. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 2015, 12, 1813 - 1821.
- Jang, I.H. Evaluation of Damage Caused by Root-Knot Nematode in Eggplant and the Effect of High Temperature Steam Treatment on Nematode Growth. Master Thesis, Catholic University, Seoul, Korea, 2010.
- Viglierchio, D.R.; Schmitt, R.V. On the methodology of nematode extraction from field samples: Baermann funnel modifications. *J. Nematol.* 1983, 15, 438 - 444.
- Cappuccino, J.G.; Welsh, C.T. *Microbiology: A Laboratory Manual*, Global Edition; Benjamin-Cummings Publishing Company: New York, NY, USA, 2017; p. 477.
- Tong, L.-I.; Chang, Y.-C.; Lin, S.-H. Determining the optimal re-sampling strategy for a classification model with imbalanced data using design of experiments and response surface methodologies. *Expert Syst. Appl.* 2011, 38, 4222 - 4227.
- Khuri, A.I. *Response Surface Methodology and Related Topics*; World Scientific Publishing Co.: Hackensack, NJ, USA, 2006.
- Montgomery, D.C. *Design and Analysis of Experiments*, 6th ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2002.
- Prakash Maran, J.; Sivakumar, V.; Sridhar, R.; Prince Immanuel, V. Development of model for mechanical properties of tapioca starch based edible films. *Ind. Crops Prod.* 2013, 42, 159 - 168.
- Ragonese, R.; Macka, M.; Hughes, J.; Petocz, P. The use of the Box - Behnken experimental design in the optimisation and robustness testing of a capillary electrophoresis method for the analysis of ethambutol hydrochloride in a pharmaceutical formulation. *J. Pharm Biomed. Anal.* 2002, 27, 995 - 1007.
- Harrington, E.C. The desirability function. *Ind. Qual. Control* 1965, 21, 494 - 498.
- Pimentel, D.; Burgess, M. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In *Integrated Pest Management: Pesticide Problems*; Pimentel, D., Peshin, R., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2014; Volume 3, pp. 47 - 71.
- Navarro, S.; Vela, N.; Navarro, G. An overview on the environmental behavior of pesticide residues in soils. *Span. J. Agric. Res.* 2007, 5, 357 - 375.
- Frank, M.P.; Graebing, P.; Chib, J.S. Effect of soil moisture and sample depth on pesticide photolysis. *J. Agric. Food Chem.* 2002, 50, 2607 - 2614.

- Sonia Rodríguez-Cruz, M.; Jones, J.E.; Bending, G.D. Field-scale study of the variability in pesticide biodegradation with soil depth and its relationship with soil characteristics. *Soil Biol. Biochem.* 2006, 38, 2910 - 2918.
- Tateya, A. Japan's Big Effort to Phase-out of Methyl Bromide by 2013; International Society for Horticultural Science (ISHS): Leuven, Belgium, 2010; pp. 83 - 89.
- Rokunuzzaman, M.; Hayakawa, A.; Yamane, S.; Tanaka, S.; Ohnishi, K. Effect of soil disinfection with chemical and biological methods on bacterial communities. *Egypt. J. Basic Appl. Sci.* 2016, 3, 141 - 148.
- Himelrick, D.G.; Dozier, W.A. Soil fumigation and soil solarization in strawberry production. *Adv. Straw Prod.* 1991, 10, 12 - 28.
- Runia, W.T.; Molendijk, L.P.; Neophytou, G.; Greenberger, A. Soil treatment with hot air (Cultivit) as alternative to methyl bromide. *Commun. Agric. Appl. Biol. Sci.* 2006, 71, 185 - 192.
- Runia, W.T.; Janse, J.; Maaswinkel, R.; Molendijk, L.P.G. Effect of Soil Treatment with Hot Air (Cultivit) on Crop Development of Squash. *Applied Plant Research*; Wageningen University and Research: Gelderland, Netherlands, 2007; Report 3250074700.
- Ascard, J.; Hatcher, P.E.; Melander, B.; Upadhyaya, M.K. *Non-chemical Weed Management: Thermal Weed Control*; CAB International: London, UK, 2007; pp. 155 - 177.
- Soriano-Martín, M.L.; Porrás-Piedra, A.; Porrás-Soriano, A. Use of microwaves in the prevention of *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis* infection during the commercial production of melon plantlets. *Crop. Prot.* 2006, 25, 52 - 57.
- Min, Y.Y.; Sato, E.; Shirakashi, T.; Wada, S.; Toyota, K.; Watanabe, A. Suppressive effect of anaerobically digested slurry on the root lesion nematode *Pratylenchus penetrans* and its potential mechanisms. *Nematol. Res. (Japanese Journal of Nematology)* 2007, 37, 93 - 100.
- Abdel-Rahman, F.H.; Clark, S.; Saleh, M.A. Natural organic compounds as alternative to methyl bromide for nematodes control. *J. Environ. Sci. Health Part. B* 2008, 43, 680 - 685. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 5029 17 of 17
- Mahran, A.; Tenuta, M.; Hanson, M.; Daayf, F. Mortality of *Pratylenchus penetrans* by volatile fatty acids from liquid hog manure. *J. Nematol.* 2008, 40, 119 - 126.
- Shennan, C.; Muramoto, J.; Lamers, J.; Mazzola, M.; Roskopf, E.N.; Kokalis-Burelle, N.; Momma, N.; Butler, D.M.; Kobara, Y. Anaerobic soil disinfestation for soil borne disease control in strawberry and vegetable systems: Current knowledge and future directions. *Acta Hort.* 2014, 1044, 165 - 175.
- He, S.; Zhu, F.; Li, L.; Ren, W. Box - Behnken design for the optimization of the removal of Cr(VI) in soil leachate using nZVI/Ni bimetallic particles. *Soil Sediment Contam. Int. J.* 2018, 27, 658 - 673.
- Li, Y.-L.; Fang, Z.-X.; You, J. Application of Box-Behnken experimental design to optimize the extraction of insecticidal Cry1Ac from soil. *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61, 1464 - 1470.

- Agarry, S.E.; Ogunleye, O.O. Box-Behnken design application to study enhanced bioremediation of soil artificially contaminated with spent engine oil using biostimulation strategy. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 2012, 3, 31.

주 의

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