

발간등록번호

11-1543000-003018-01

# 간척농지에서의 ICT 생체정보를 이용한 기능성 작물 재배 신기술 개발 최종보고서

2019.11

주관연구기관 / 충남대학교 산학협력단  
협동연구기관 / (주)아큐랩  
위탁연구기관 / 충남대학교 산학협력단

농림축산식품부  
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

<제출문>

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

‘간척농지에서의 ICT 생체정보를 이용한 기능성 작물 재배 신기술 개발’(개발기간 : 2016. 11. 29. ~ 2019. 11. 28.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020. 02.

주관연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (대표자) 이 영 석 (인)

협동연구기관명 : (주)아큐랩 (대표자) 김 태 연 (인)

위탁연구기관명 : 충남대학교 산학협력단 (대표자) 이 영 석

주관연구책임자 : 충남대학교 박 종 석

협동연구책임자 : (주)아큐랩 김 태 연

위탁연구책임자 : 충남대학교 박 상 언

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정  
제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.



<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p><b>연구목적</b> : 최근 농업환경(쌀, 생산, 소비구조)의 변화 및 간척농지의 다각적인 활용 방안 모색이 요구되는 현 시점에서 간척농지에서의 기능성 작물 대상으로 ICT융복합 생체정보 탐지 기술 적용 및 환경 모니터링 기술 개발을 통하여 간척지에서도 기능성 작물 재배 실용화를 이루어 농가소득 향상 및 신개념의 첨단 농업시스템 모델 제시를 이끌 수 있는 기능성 작물 재배 신기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>작물 접촉식 ICT 생체 정보 센서 기술 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 대상 작물의 증산류 계측 방식을 이용한 작물 생체 정보 기초 데이터 확보</li> </ul> </li> <li>- <b>기능성 작물의 생육 모니터링 및 피드백 지원 가능한 신 개념 모니터링 시스템 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 지하부, 기상, 작물 생체 정보를 망라한 모니터링 시스템 구축</li> <li>· 종합적 데이터에 기반한 작물의 생육정도 판별 (4단계: 양호, 주의, 경계, 심각)</li> </ul> </li> <li>- <b>간척농지에서의 방풍 및 향부자 안정적 재배를 위한 자동 급액 인프라 구축</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 무전력 환경에서 일사량에 비례하여 자동급수 시스템 개발</li> <li>· 자동 급수 시스템을 활용한 방풍과 향부자의 최적 급액 시나리오 개발</li> </ul> </li> <li>- <b>방풍 및 향부자 안정적 재배기술 및 재배 매뉴얼 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· (비)떨침과 정식거리에 따른 방풍과 향부자의 생산량 비교 및 경제성 분석</li> <li>· 간척지에서 고부가가치 작물 재배 실용화 보급을 위한 재배 매뉴얼 개발</li> </ul> </li> <li>- <b>간척농지에서 재배된 방풍 및 향부자의 기능성 물질 분석 및 환 개발</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 간척지 재배 작물의 표준 기능성 물질 선정 및 분석</li> <li>· 대상 작물을 이용한 기능성 식품(환) 개발</li> </ul> </li> <li>- <b>Test-Bed 구축 및 현장 적용성 검증</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· ICT 생체 정보 센서 적용 및 토양 지하암거 공법을 적용한 Test-Bed 구축</li> <li>· 자동 급수 시스템을 활용하여 Test Bed에서 작물 재배 실증</li> </ul> </li> </ul>				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 작물 생체 정보 획득을 위한 생체 센서 시스템 개발 및 지하부, 기상, 작물 정보를 활용한 모니터링 시스템 구축</li> <li>- 무전력 조건에서 일사량에 비례하여 자동으로 급수할 수 있는 시스템 개발 및 현장 TEST를 통한 재배 검증</li> <li>- 간척농지 대상으로 수도작이 아닌 껏방풍과 향부자의 성공적인 재배 및 매뉴얼 개발</li> <li>- 고부가가치화를 위한 건강기능성 식품(환) 개발</li> <li>- 경제성 분석을 통하여 간척농지에 타작물 재배의 성공을 위한 현실적 대안 제시</li> </ul>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 간척농지에서 재배작물의 다각화를 통한 간척농지의 새로운 영농 패러다임 제시</li> <li>- 노지에서 재배되는 작물관리의 새로운 패러다임 제시 (토양, 기상, 작물 환경 분석 및 이를 통한 급수관리)</li> <li>- 무전력 자동 급수 장치의 보급을 통한 국내 밭 관개율 개선 및 가뭄 대책 기술 적용</li> <li>- 간척농지에 수도작 이외의 고부가가치 작물생산 및 건강기능성 식품 개발을 통한 농가수익 창출 모델 제시</li> </ul>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>간척지</p>	<p>정보통신기술</p>	<p>생체 정보</p>	<p>기능성작물</p>	<p>재배 기술</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Reclaimed land</p>	<p>ICT</p>	<p>Phytomonitoring</p>	<p>Medicinal plant</p>	<p>Cultivation technology</p>

# 목 차

## 1. 연구개발의 개요

1. 연구개발 목적 .....	01
2. 연구개발 필요성 .....	01
3. 연구개발 범위 .....	07

## 2. 연구수행 내용 및 결과

1. 작물 접촉식 ICT 생체정보 센서 기술 개발 .....	08
2. 기능성 작물생육 모니터링 및 피드백 지원 가능 신개념 모니터링 시스템 개발 .....	25
3. TEST-BED 구축 및 현장 적용성 검증 .....	32
4. 간척농지에서의 안정적 재배를 위한 자동 급액 인프라 구축 .....	40
5. 간척농지 재배 작물 선정 .....	51
6. 간척농지 안정적 재배기술 개발 .....	52
6-1. 온실재배를 통한 방풍, 향부자 적정 지하부 EC한계 농도 검증 .....	52
6-2. 간척지 내 작물 재배 및 성분분석[2차년도] .....	68
6-3. 간척지 내 작물 재배 및 성분분석[3차년도] .....	88
7. 자동 관수 시스템을 활용한 간척농지 작물 경제성 및 효율성 분석 .....	119
8. 간척농지에서 고부가가치 작물 재배 실용화 보급을 위한 재배 매뉴얼 .....	134
9. 향부자와 방풍의 기능성 물질 분석 및 선정 .....	144
10. 부위별 기능성 물질 함량 비교 분석 .....	157
11. 건조방식에 따른 기능성 물질 함량 비교 분석 .....	164
12. 기능성식품(환) 개발 .....	169

## 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 .....	171
2. 목표 달성도 .....	171

## 4. 연구결과의 활용 계획

1. 연구결과 활용 계획 .....	174
---------------------	-----

## 5. 참고 문헌

1. 참고문헌 .....	175
[별첨] 시험성적서 .....	176

# 1 연구개발과제의 개요

## 1-1 연구개발 목적

농업환경(농업 소비/생산 구조 및 영농 환경) 변화에 따른 간척농지 내 벼 이외의 타작물 재배를 적극 지원하는 정부 정책과 연계하여, 벼 대신 고부가가치 작물(향부자, 방풍)을 간척농지에서 재배될 수 있도록 ICT 생체정보 센서 및 모니터링 시스템 적용을 통하여 간척농지의 다각적 활용 및 안정적인 농가소득을 창출할 수 있는 기능성 작물 재배 기술개발에 있다.



[그림 1] 기능성 작물재배 통합플랫폼 개념도

## 1-2 연구개발 필요성

### 가. 기술적 측면

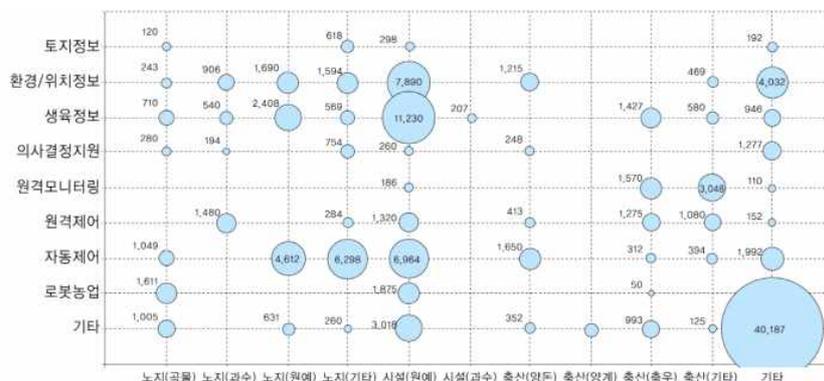
- 국내 간척농지의 타 작물 재배에 대한 연구는 기반 조성을 위한 기술적이고 정책적인 방안 수립에 국한되어 있었으며, 저비용·고효율의 최적 인프라 구축을 위한 실용화 측면에서 나타나는 문제점들에 대한 해결방안은 제시되지 못하고 있는 실정이다.
- 이에 간척농지의 고부가가치 작물 재배를 달성하기 위해서는 간척농지에 적용 가능한 관수 시스템, 토양수분 및 배수 최적 관리기술 등의 개발이 요구되고 있는 있고 더불어 비용저감 및 효율을 높일 수 있는 인프라 구축 기술 개발이 절실히 필요하다.
- 간척농지는 일반 농지와 다른 토양 특성을 가지고 있기 때문에 벼 이외의 작물 재배를 할 경우에는 작물 생육 상태에 대한 정확한 계측을 할 수 있는 정보가 필요하며, 재배 작물의 생육 정보 분석을 통해서 안정적인 작물 성장을 위한 적기 적소의 대처가 중요하다.
- 기존 작물 재배 모니터링 기법인 토양에 직접 센서 부착을 통한 토양 위주 정보 분석을 통한 방식을 넘어서는 재배 작물에 대한 생육 흐름을 실시간 분석할 수 있고 토양 이외의 식물 생장 요소에 대한 정보 습득 가능으로 새로운 개념의 작물 재배 모니터링 시스템 기술 개발이 필요하다.

- 또한 쌀 생산과잉 및 쌀 소비감소 등의 쌀 수급변화에 따라 정부는 간척농지에서의 벼 재배에서 타 작물 재배를 촉진할 수 있는 인센티브 및 정책방향을 모색하고 있다.
- 이에 따라 기존 벼 작물에서부터 타 작물 생산을 고려하되, 고부가가치 소득 창출이 가능하면서 안정적인 농가소득 창출을 도모할 수 있는 간척농지에서의 기능성 작물 재배 기술이 절실하게 필요하다.



[그림 2] 연도별 쌀 생산량, 생산비 및 단위면적 현황

- 국내의 스마트팜 연구개발 투자 규모는 2009~2013년 기간에 총 1,257억원으로 연평균 11.1%씩 성장한 것으로 나타나고 있으며, 과제 수는 2012년까지 증가한 후 2013년에는 소폭으로 감소한 것으로 나타나고 있다.



[그림 3] 국내 스마트팜 기술의 품목 및 상세기술별 투자 현황

- 현재까지 논의의 경우 수도작의 특성상 많은 물관리 자동화 기술이 개발되고 적용되는 것에 비해 밭의 경우 작물의 다양성 등에 따른 표준 모듈의 부재 등으로 인해 많은 기술개발이 수행되지 못하고 있으며, 스마트팜 기술개발이 시설 및 원예에 집중 투자가 됨으로서 논지 밭작물의 생육을 위한 센서 및 정보의 전달과 제어기술을 포함하는 논지형 스마트 농업체계에 대한 연구개발은 미진한 실정으로 이에 대한 기술 개발이 필요하다.
- 따라서 간척농지 환경 스트레스에 저항성이 상대적으로 높으며 고부가가치로서의 상품 가치가 있는 작물인 방풍과 향부자의 작물 재배를 위해서는 생육 특성을 정밀 분석하여야 하며 대량생산을 위한 정식간격, 수분 관리, 적정 수확시기, 기능성 물질 함량 등의 기준 설정이 필요하다.
- 특히, 본 사업 중요한 부분 중 하나인 생체정보를 획득할 수 있는 센서의 연구개발과 기존에 사용되고 있는 재배환경(기상환경, 토양환경) 정보를 획득할 수 있는 센서의 데이터 융합을 통해 보다 실질적인 기준 설정이 가능하다.
- 작물에 직접 부착함으로써 획득할 수 있는 생체정보를 통해 주변 환경(토양 및 기상)이 작물의 생장에 미치는 영향을 직접적으로 분석 할 수 있으므로 보다 최적화된 재배 기술 개발이 가능할 뿐 만 아니라 현재 사용되는 토양 및 기상 환경 취득 기술(방법)에 비하여 생체정보 측정 장치는 크기가 매우 작고 제작비용 역시 저렴하다.
- 이러한 센서 기술은 방풍과 향부자에 국한되지 않고 다양한 작물에 적용할 수 있으므로 중장기적으로 생장에 대한 데이터 누적과 분석이 가능할 수 있으며 딥러닝과 같은 인공지능 및 빅데이터 기술을 접목하였을 때 ICT 융합 농업의 선도적 역할을 할 수 있다.
- 간척 재배지는 일반적으로 전력공급 설비가 미비하여 원하는 전력을 사용하기 때문에 무전력 급액관리 시스템 개발이 필요하며 이러한 결과로 간척지 적절한 작물 재배관리 표준을 만들고 실행하여 생산효율성을 증가 시킬 필요가 있다.
- 또한 방풍 및 향부자 품종의 대량 생산 및 기능성 물질 분석 이후, 건강 기능성 식품의 종류, 첨가 형태, 식품 소비층에 대한 심층적 접근이 필요하며 경제성 분석이 병행되어야 한다.
- 이와 함께 건강 기능성 식품개발 및 천연물 식의약 제품으로 발전시키기 위한 제도적 기술적 프로세스가 필요하다.

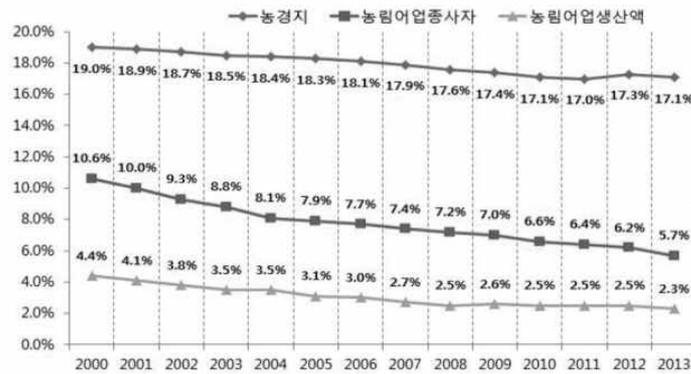
#### 나. 경제산업적 필요성

- 쌀 시장의 구조적 공급 과잉 등 쌀 소비량 변화에 따른 논면적 감소 및 밭 전환으로의 농정 변화가 이루어지고 있으며, 논 면적의 지속적인 감소와 밭 면적의 지속적인 증가를 목표로 하는 정책에 따라 밭 작물에 대한 기술적 대응 필요성이 증대된다.

[표 1] 연도별 논면적(좌) 및 밭면적(우) 증감 현황

연도별	논면적(천ha)	증감(%)	밭면적(천ha)	증감(%)
1990	1,345.3	-	763.5	-
1995	1,205.9	-10.4	779.4	2.1
2005	1,104.8	-8.4	719.2	-7.7
2009	1,010.3	-8.6	726.5	1.0
2010	984.1	-2.6	731.2	0.6
2011	959.9	-2.5	738.1	0.9
2012	966.1	0.6	763.9	3.5
2013	963.9	-0.2	747.6	-2.1
2014	933.6	-3.1	757.5	1.3
2015	908.2	-2.7	770.8	1.8

- 간척농지에서도 논 재배 면적 축소 정책이 적용되는 현시점에서, 간척농지 외부환경 및 다양한 스트레스에 대해 적응하면서 성장할 수 있는 작물 중에서 고부가가치를 이끌어 낼 수 있는 작물에 대한 선정, 작물 재배 방법 및 더 나아가 재배 작물에서 추출되는 물질을 이용하여 의약, 기능성 식품 및 화장품 등 고부가가치 창출의 원료로 이끌어 낼 수 있는 신기술 개발 필요성이 증대된다.
- 이에 따라 내염성 작물이면서 고부가가치 상품성을 지니고 있는 방풍 및 향부자 재배를 통하여 고부가가치 천연물 신의약 및 건강 기능성 보조식품이나 화장품 등을 이용한 제품 기술개발 필요하다.
- 무전력 급액관리 시스템 개발을 통하여 간척농지와 같은 척박한 환경에서 안정적인 작물 생산 효율성을 확보할 수 있는 기술이 필요하다.
- 농림축산식품부 자료에 의하면 2012년 전 세계 식물자원 활용시장은 981억불로 크게 성장했다. (천연물 의약품 243억불, 식물유래 화합물 34억불, 식의약품 704억불)
- 정부가 추진하는 6차산업의 모델로서 1차 원물 생산 및 기능성 식품 가공을 통한 고부가가치 수익 모델의 창의적 개발은 매우 필요하다.
- 사회적으로 보면 국내 농업은 농업인구의 고령화, 인력 및 농경지 감소, 생산액 비중 감소 등의 문제점에 봉착해 있다. 농업인구의 고령화는 농업생산에 있어 특히 큰 문제점으로 2013년 총 농림어업 취업자 152만명 중 약 61%에 달하는 92.6만명이 60세 이상으로 집계되고 있다.



[그림 4] 국내 농림어업 현황

- 이러한 문제점에 대응하기 위한 수단으로 ICT(정보통신), BT(바이오), ET(환경) 등 첨단 기술과의 융합이 농업 문제의 해결방안으로 부상하고 있지만, ICT 융합기술 대부분은 시설원예에 집중되고 상대적으로 대부분의 고령 농업인이 종사하고 있을 것으로 판단되는 노지의 농업에 있어서 노동의 강도 및 회수를 감소시킬 수 있는 ICT 융합 기술개발은 미진한 실정이다.
- 한국시설원예 ICT 융복합 협동조합에서 복합환경 제어를 도입한 농가를 대상으로 ICT 도입 전후를 비교한 설문조사를 보면, 생산량, 품질향상, 생산비절감, 소득증대, 투입노동시간단축, 영농편의성 증대 부분에서 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 2] 시설원예 ICT 도입 전후의 효과

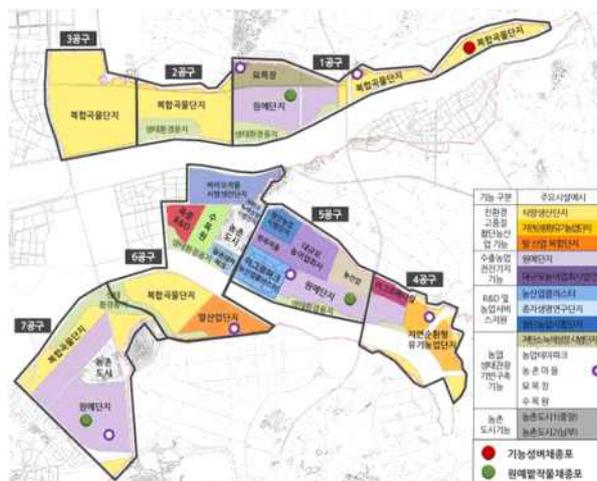
구분	3년 이하 사용자(A)	4년 이상 사용자(B)	계	B/A
생산량증가	14.3	20.0	16.7	1.40
물질향상	15.3	23.5	18.0	1.54
생산비절감	14.3	14.7	14.6	1.03
소득증대	12.9	16.5	14.6	1.28
투입노동시간단축	23.3	28.9	25.0	1.24
영농편의성증대	38.3	54.0	43.5	1.41

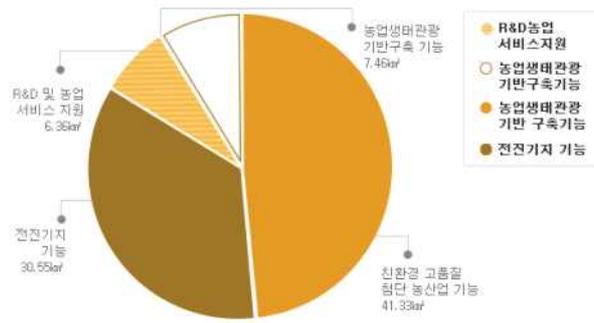
- 투입노동시간 및 영농활동의 강도에 대한 부분에 있어서 약 80%의 효과를 나타내고 있는 것으로 조사되었으며, 노지의 경우 이러한 효과는 더욱 커질 것으로 판단되며, 농업인구의 고령화 및 귀농인구가 증가하는 사회적 현상에 대응할 수 있는 가장 효과적인 기술개발로 판단된다.
- 또한, 본 사업을 통해 기업은 ICT 농업 및 스마트팜 관련 센서, 장치, 플랫폼과 같은 인프라 기술 확보를 기반으로 단기적으로는 시범사업 같은 B2G 모델, 중장기적으로는 직접 농민을 대상으로 한 B2C 모델로부터 수익 향상을 기대할 수 있다.
- 이에 따라 전 세계 농업 관련 기술시장에 대한 선점, 매출증대 및 부가가치 창출 등을 위

하여 본 연구는 그 중요성을 가지고 있다.

**다. 정책적 측면**

- 농식품부는 주요 밭 식량작물의 생산과 수요확대 등을 통해 농가소득 및 자급률 제고를 위해 「밭 식량산업 중장기 발전대책」 발표(2016.7.20) 하였는데, 관련 대책 중에는 다양한 타작물 재배 작부체계 모델을 지속적으로 개발 및 보급을 통하여 농가 소득을 증대하고자 하는 방안이 포함되어 있어 본 제안 연구에서의 간척농지 대상 벼 이외 타작물 재배 기술 개발은 정부 정책에 부합되는 과제라고 판단된다.
- 농업 생산현장에 관련된 정보는 환경정보, 생체정보 그리고 재배관리 정보로 나눌 수 있으며 환경정보 센서는 현재 상당한 기술 축적이 이루어져 있고 비교적 저렴한 센서 네트워크형 환경정보 수집 장비도 존재하고 작물의 생육 상태를 알 수 있는 생체 정보 계측에 대한 많은 시도와 개발이 이루어지고 있으나, 아직까지는 연구개발 수준으로 실용화에는 보다 시간이 필요할 것이다.
- 본 연구에서 제안하는 개발은 재배관리 정보로 구분될 수 있으며, 비록 농업생산이 1개 작목에 대하여 1년 단위로 이루어지므로 의미있는 자료를 축적하기에 많은 시간이 소요되나, 간척지에서 축적되는 이러한 재배관리 정보는 효율적인 수집과 분석이 이루어지면 근래 관심이 집중되는 빅데이터(Big data) 측면에서는 반드시 확보가 필요한 정보이다.
- 이러한 재배관리 정보를 축적하면 간척농지에서 벼 이외 타 작물에 대한 생산량 변화 및 관련 변화와 연동하여 농가에 대한 재배관리 정보를 제공할 수 있고, 간척농지에서 기능성 작물 재배 기술에 대한 지원 및 정책 제안 등 다양한 분야에서 의미 있는 정보로 활용할 수 있다.





[그림 5] 새만금 간척지 다각적 활용 정부 계획 토지이용구상(안)

### 1-3 연구개발 범위

- 작물 접촉식 ICT 생체 정보 센서 기술개발
  - 대상 작물의 증산류 계측 방식을 이용한 작물 생체 정보 기초 데이터 확보
- 기능성 작물의 생육 모니터링 및 피드백 지원 가능한 신 개념 모니터링 시스템 개발
  - 지하부, 기상, 작물 생체 정보를 망라한 모니터링 시스템 구축
  - 종합적 데이터에 기반한 작물의 생육정도 판별 (4단계 : 양호, 주의, 경계, 심각)
- 간척농지에서의 방풍 및 향부자 안정적 재배를 위한 자동 급액 인프라 구축
  - 무전력 환경에서 일사량에 비례하여 자동급수 시스템 개발
  - 자동 급수 시스템을 활용한 방풍과 향부자의 최적 급액 시나리오 개발
- 방풍 및 향부자 안정적 재배기술 및 재배 매뉴얼 개발
  - (비)떨침과 정식거리에 따른 방풍과 향부자의 생산량 비교 및 경제성 분석
  - 간척지에서 고부가가치 작물 재배 실용화 보급을 위한 재배 매뉴얼 개발
- 간척농지에서 재배된 방풍 및 향부자의 기능성 물질 분석 및 환 개발
  - 간척지 재배 작물의 표준 기능성 물질 선정 및 분석
  - 대상 작물을 이용한 기능성 식품(환) 개발
- Test-Bed 구축 및 현장 적용성 검증
  - ICT 생체 정보 센서 적용 및 토양 지하암거 공법을 적용한 Test-Bed 구축
  - 자동 급수 시스템을 활용하여 Test Bed에서 작물 재배 실증

## 2 연구수행 내용 및 결과

### 2-1 작물 접촉식 ICT 생체정보 센서 기술 개발

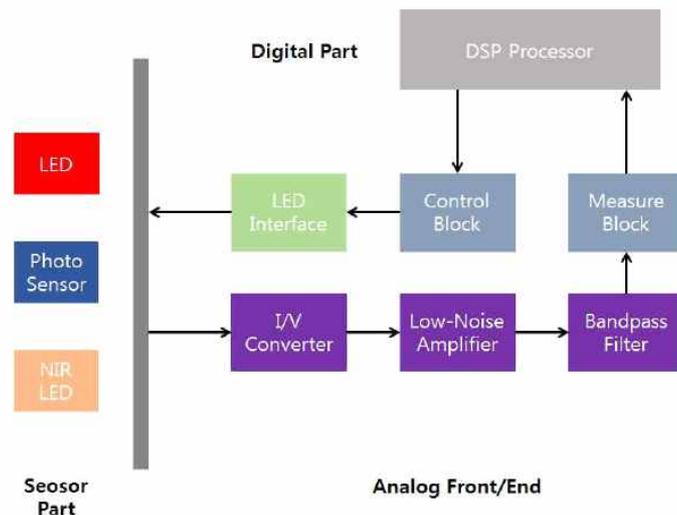
#### 가. 연구개발내용

- 작물 상태, 토양 상태, 온습도, 일사량, 풍향속, 자외선 및 우적 환경(이후 ‘복합센서’ 라 함) 측정용 센서노드 개발
- 근거리 단위 센서노드와 원거리 데이터 수집 서버로의 데이터 처리를 위한 IoT 게이트웨이 개선 및 개발

#### 나. 연구결과

##### 1) 작물상태 정보 측정 센서 개발

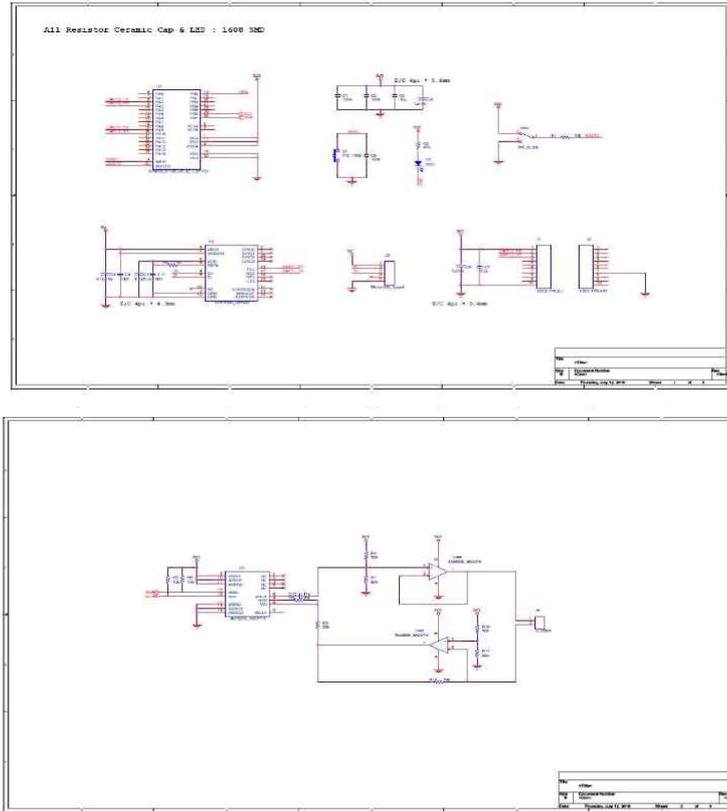
- 일반적으로 빛은 가시광선 외에 자외선 영역, 적외선 영역의 파장을 지니고 있는 가운데, 그 중 적외선 영역은 섬유질로의 투과가 쉽게 이루어지고 수분 및 기타 다른 성분에 따른 신호 반응이 나타날 수 있으므로 본 연구에 적용하고자 시도하였다.
- 적외선은 크게 근적외선, 중적외선, 원적외선으로 구분되며 본 실험에는 생물체 투과성이 좋은 근적외선 영역대를 선택하여 관련된 장치로써 샘플 식물에 대한 반응을 보고자 실험하였다.
- LED 광원의 파장은 대략 660nm, NIR LED의 파장은 940nm를 이용하며 최대한 주변 파장의 빛이 없는 광원을 선택하였다.



[그림 6] 광학 반응 측정용 신호처리부 개념도

- 회로를 통해 LED 및 근적외선(NIR, Near Infra-red) LED를 제어하고 동시에 포토센서로부터 반사광 신호를 계측한다.

- 아날로그 Front/End는 크게 LED 및 NIR LED를 제어하기 위한 인터페이스, 즉 전류 제어 회로와 포토 센서의 전류 신호를 전압으로 변환하는 I/V변환기, 미세 신호의 정밀 증폭을 위한 저잡음 증폭기, 필요한 신호의 대역만 선별할 수 있는 대역통과 필터로 설계되었다.



[그림 7] 개선 전 작물센서 모듈 회로도

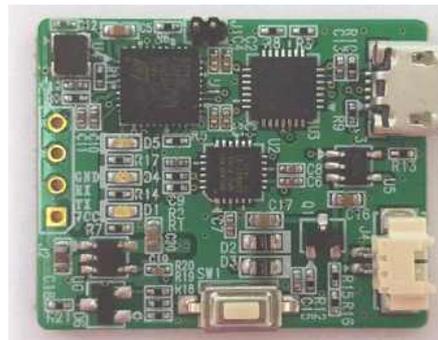


[그림 8] 광학 반응 측정용 프로브

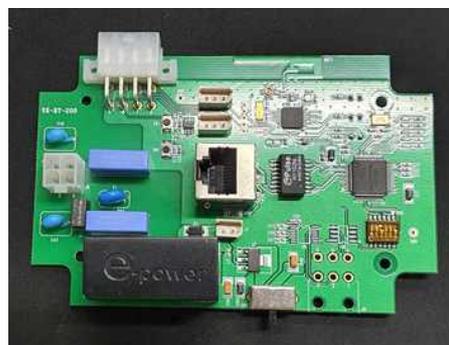


[그림 9] 프로브를 이용한 작물 상태 확인 모습

- 2차년도에 개발한 작물생체센서 적용 시 센서 모듈이 추가되어야 하는 방식에서 센서노드에 인터페이스를 추가하여 보드에서 신호처리를 하는 센서 노드 형태로 수정하여 프로토타입 형태에서 양산 및 사업화 형태의 보드로 개선하였다.
- 사업화에 적합한 방진/방수, 동작온도 등의 정량적 평가항목을 수용하고 실 현장에 적용하여 운영할 수 있도록 케이스 및 전원 공급체계, 센서 인터페이스 등을 개선하여 센서노드를 설계하고 개발하였다.



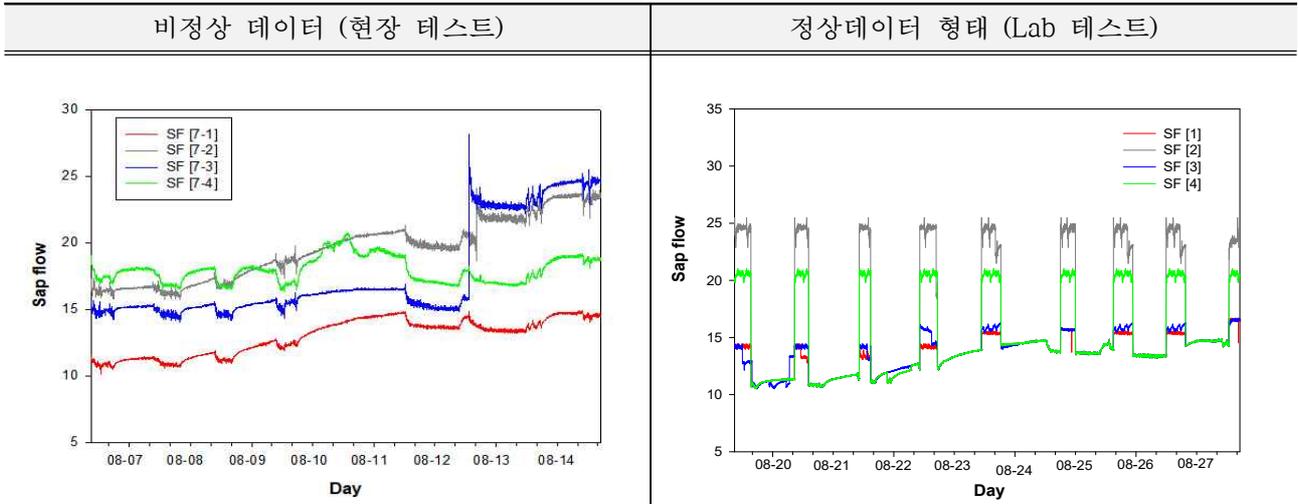
[그림 10] 기존 작물센서 모듈



[그림 11] 개선된 센서노드

- 사업화에 적합한 방진/방수, 동작온도 등의 정량적 평가항목을 수용하고 실 현장에 적용하여 운영할 수 있도록 케이스 및 전원 공급체계, 센서 인터페이스 등을 개선하여 센서노드

를 설계하고 개발하였다.



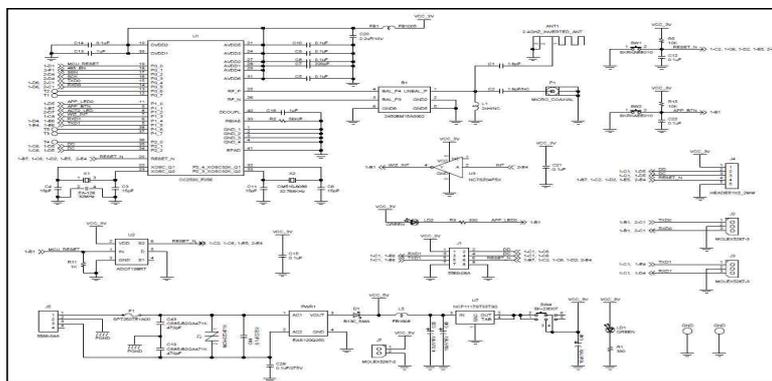
[그림 12] 작물센서 노드 테스트 데이터 비교

- 위의 그림 12에서 보는 바와 같이 Lab 테스트 환경에서는 정확하지는 않지만 주기적이고 정량화 가능한 형태로 sap flow 데이터가 검출되는 반면에 현장 테스트에서는 불규칙하고 정형화 되지 않는 형태로 검출됨

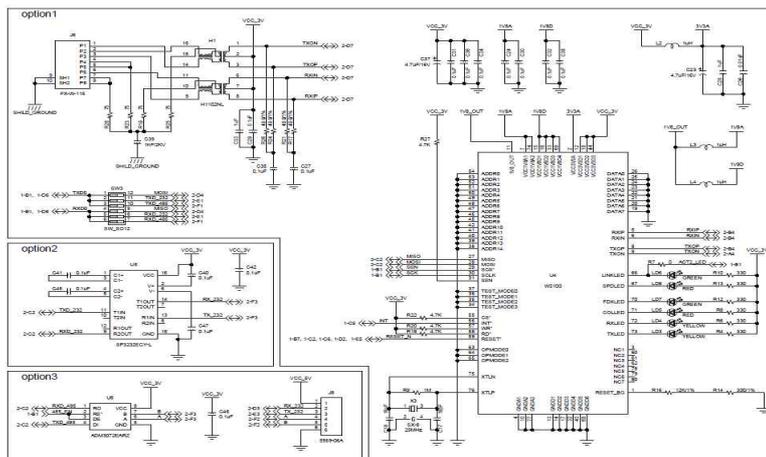
현장 테스트 시 문제점	개선방안
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광 프로브 방식의 센서의 경우 잎 면적 또는 측정 대상 면적이 프로브 면적 대비 넓어야 함</li> <li>- 센서가 바람 등 외부환경에 의해 탈착되는 경우가 많음</li> <li>- sap flow를 안정적으로 측정하기 위해 충분한 (직경 10mm 내외)의 줄기나 뿌리 등이 있어야 함</li> <li>- 센서 측정 Line의 손실 또는 훼손 대비 필요 (설치현장의 경우 관리자 또는 농민 등의 작업 등에 의해 훼손 또는 탈착이 되는 경우 발생)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광 프로브 방식을 적용하는 작물의 경우 잎이 넓은 작물을 선정하여 적용</li> <li>- 바람 등의 영향을 최소화하기 위한 고정밴드 적용 검토</li> <li>- 광 프로브 방식이 아닌 탐침 방식 적용 검토 및 고정 방안 개선, 고정 밴드 방식 적용 시에도 작물 생장에 장애를 주지 않는 방식 적용 (고무 밴드 등의 방식은 성장에 장애를 줌)</li> <li>- 훼손 및 탈착 방지를 위해 데이터 케이블 색상 변경(가시성 높은 색으로) 및 Shield 처리된 케이블 적용 필요</li> <li>- 적용 작물 선정 기준 정립 및 추가 데이터 수집을 통한 안정적 데이터 확보 필요 (적용 가능한 작물과 적용 불가능한 작물 분류 및 선정을 통한 적합도 정립 후 사업화)</li> </ul>

2) 환경측정 센서노드 개발

- 1차년도와 2차년도에는 프로토타입으로 개발하여 작물상태, 토양상태, 복합센서의 데이터 수집용 센서노드를 각각 개발 및 적용하도록 개발하였으나 3차년도에서는 기존 프로토타입 개발에서 논의 및 검토되었던 사항을 반영하여 개발하였다.
- 센서 노드에 적용 및 이용하게되는 상용 센서들의 값을 수집할 때 요구되는 입력 인터페이스가 ADC, I2C, RS-485, RS-232로 이루어져 있으므로 하나의 센서노드에 각각의 인터페이스를 통합 제공할 수 있도록 하였다.
- 개선된 센서노드를 기반으로 정량적 평가항목에서 요구하는 성능시험을 받았으며 운영성과 사업적용성을 검증하였다.



[그림 13] 최종버전 센서노드 회로도1

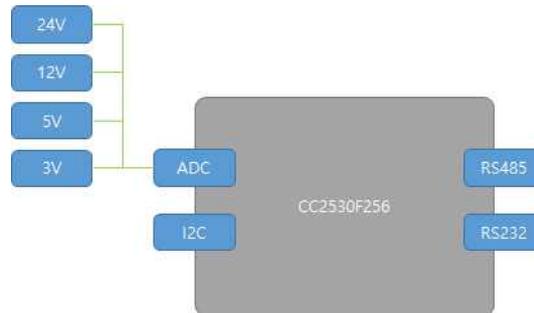


[그림 14] 최종버전 센서노드 회로도2

- 단 ADC 입력의 경우 센서에 따라 3V, 5V, 12V, 24V를 사용하는 경우가 많아, 가변적으로 사용 전원을 선택할 수 있도록 회로 설계를 진행하였다. (예시 : 토양센서 : 12V 사용, 복합센서 : 24V 사용, 작물센서 : 3V 사용)



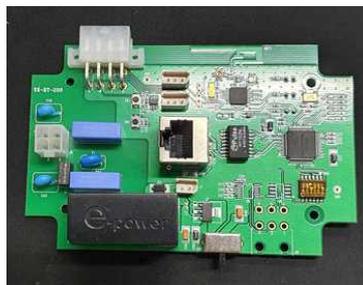
[그림 15] 회로도 메인구조



[그림 16] ADC 전압분배 구조도



[그림 17] 기존 센서노드



[그림 18] 개선된 센서노드

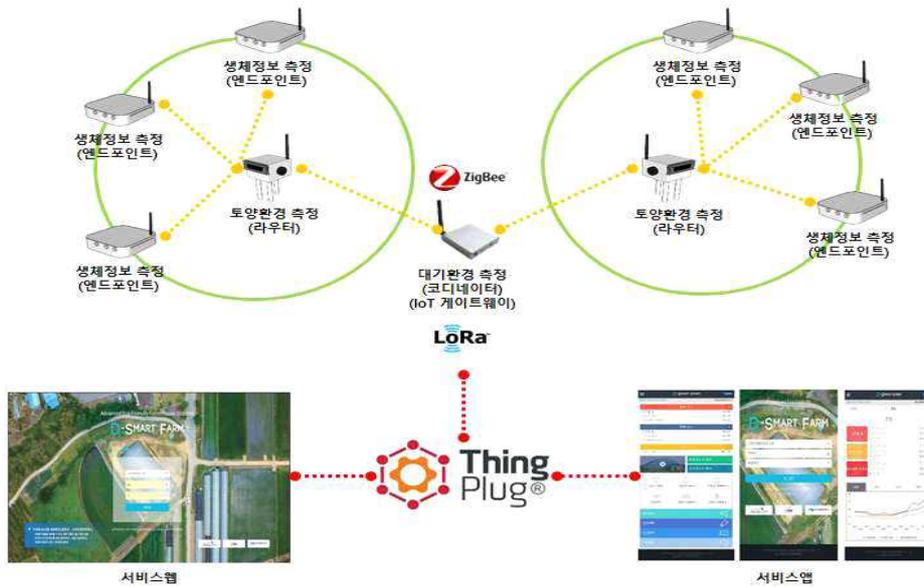
- RF의 경우 기성품인 Xbee 모듈을 이용하여 작업을 진행하였고, 최종 버전의 경우 TI CC2530 기반 RF Chip을 이용하여 제품 설계를 진행하였다.

### 3) IoT 게이트웨이 개선개발

- 대상 간척농지(전북 김제시 광활면 창제리)에 대한 계층적 구조를 갖는 센서노드를 포함한

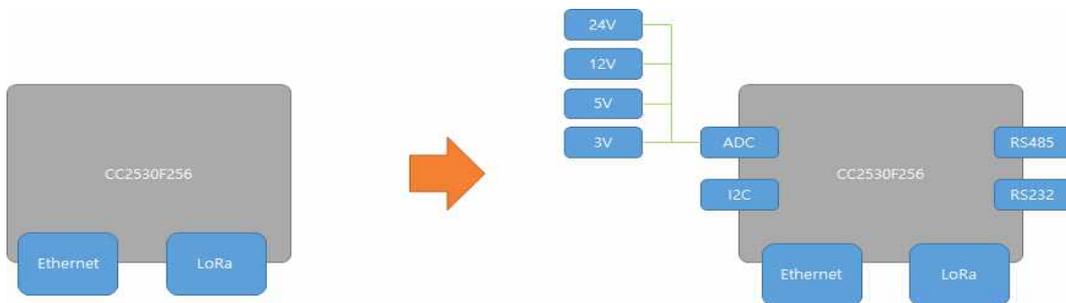
사물 인터넷 기반 플랫폼 구축을 위하여 센서노드 별 데이터 통신 권역 설정이 필요한 가운데, 구축 예정 농지의 면적(크기)와 주변 환경에 대한 조사를 수행하였으며 지역 네트워크 방식으로 채택한 지그비의 가시거리가 충분히 확보됨을 확인하였다.

- 사물인터넷 기반 플랫폼 구축을 위한 네트워크 구조는 크게 센서노드로 구성된 지그비 방식의 지역 네트워크 망과 LoRa 방식의 광역 네트워크 망, 그리고 두 네트워크를 연결하기 위한 게이트웨이로 구성되며 세부적으로 지역 네트워크는 생체정보 측정을 위한 엔드포인트 노드, 토양환경 측정을 위한 라우터 노드 및 대기환경 측정을 위한 코디네이터 노드로 구성하였다.



[그림 19] IoT 기반 플랫폼 네트워크 구성도

- IoT 게이트웨이의 경우 별도로 진행하려 하였으나, 센서노드에 LoRa 모듈 인터페이스와 Ethernet 인터페이스를 추가 설계가 가능하여 하나의 센서노드에 모두 통합하여 회로 설계를 진행, LoRa 모듈은 SK에서 제공하는 모듈을 이용하여 적용 및 테스트 진행하였다.



[그림 20] IoT 게이트웨이 변경 구조도





[https://www.rra.go.kr/ko/license/A\\_b\\_popup.do?app\\_no=201817210000190594](https://www.rra.go.kr/ko/license/A_b_popup.do?app_no=201817210000190594)

국립전파연구원  
National Radio Research Agency

인증현황검색결과

상호	아이에스테크놀로지(주)
기기명칭	RFID/USN용 무선기기(900MHz 대역 사용 기기)
모델명	LRM1200
파생모델명	
인증번호	R-C-U/LM-LRM1200
제조사	아이에스테크놀로지(주)
제조국가	한국
인증연월일	2018-08-10
기타	

[그림 23] 로라 장착 형태 및 KC 인증 확인 내용

- 위의 그림에서와 같이 적용된 로라모듈은 아이에스테크놀로지(주)에서 인증 및 생산한 LRM-1200 모델의 로라 모듈을 적용했다.
- 인증을 위해 테스트한 RF 적합성 시험의 온도 특성은 저온 -10도 ~ 고온 50도 환경에서 테스트하였다.
- 위의 그림에서와 같이 인증 받은 로라모듈을 적용할 때에도 외부환경을 고려하여 IP66 성능 테스트를 통해 확인된 센서노드의 내부에 장착하여 적용. 외부환경 온도 변화에도 안정적인 운영환경을 확보하였으며 이를 기반으로 테스트 등을 수행하였다.
- 이번에 개발 적용한 센서 노드 역시 KC 인증을 받았으며 동일한 온도 특성 시험을 수행하였으며 테스트를 통해 안정성을 인증받았다. (그림 21 및 170페이지 별첨 참조)



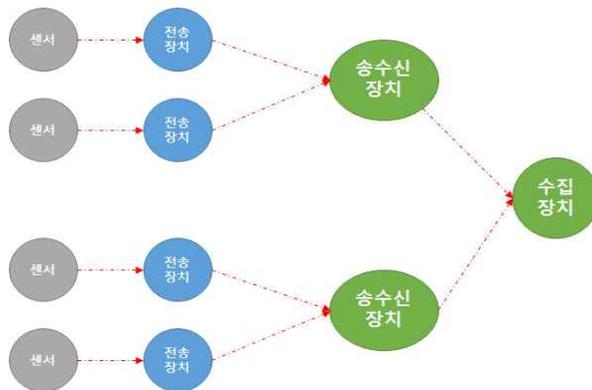
[그림 24] 적용 배터리 내장 사진 및 배터리 특성

- 센서 노드 및 게이트웨이에 적용된 배터리는 Hankook AtlasBX 사의 KB 18-12 모델을 적용하였다.

- 일반적으로 센서 노드 등의 배터리로 소형 충전식 리튬 배터리를 적용하는 것이 대부분인데 이 경우는 실내나 소형화를 염두에 두고 적용하는 경우이다.
- 본 개발에서는 태양전지를 이용한 충전, 외부 환경에서의 안정적인 운영 등을 고려하여 검증된 제품을 적용하였고 향후 사업화 시 유지보수를 위해서 기성품 (구매가 용이하고 안정적인 공급이 가능한)을 적용하였다.
- 적용된 배터리는 ‘무누액 밀폐형 축전지’ 로써 고율방전 성능이 우수하며 전압을 안정시키고 내부저항은 최소화함으로써 강력한 파워와 긴 수명을 보장하는 제품이다.
- 옥외 환경에서의 운영에서의 안전성을 위해서 배터리를 IP-66 인증을 받은 케이스 내에 보관 및 장착하여 적용함으로써 배터리의 외부 온도 변화에 따른 변화를 최소화하여 적용하였다.

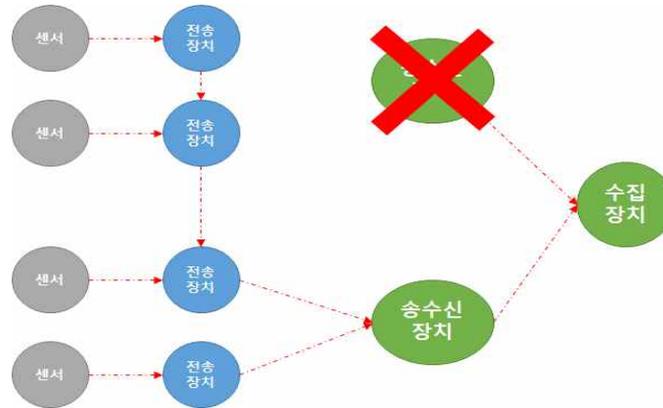
6) 통합 센서노드 외부환경 테스트에 의한 무선통신 방식 변경

- 센서노드 간 통신은 Zigbee 통신을 사용하였으며, 아래 그림과 같이 처음 구성을 하였으며, 기본적인 Zigbee Mesh 네트워크 구조로 인터페이스 설계하였다.



[그림 25] 기본 Zigbee Mesh 네트워크 구조

- 연구개발 진행 중 위 구조와 같이 통신을 할 경우 문제가 있다고 판단하여 전송장치 간에도 브로드캐스팅 할 수 있는 구조로 변경하여 거리 상의 문제 또는 장치 고장일 경우에도 데이터는 수집 장치로 갈 수 있는 구조로 네트워크 인터페이스 새로 설계 및 반영하였다.



[그림 26] Zigbee 브로드캐스트 방식으로 변경한 구조

7) 센서노드, IoT 게이트웨이 및 서버 간 통신 프로토콜 규격

- 센서노드에서 데이터를 송신 시 아래와 같이 메시지 블록을 구성하였으며, 프로토콜 기본 구조를 구성하였다.

[표 3] 프로토콜 기본 구성

1 byte	1 bytes	1 byte	1byte	1byte	0 ~ n bytes
Protocol ID	Device ID	Sequence	Command ID	Payload Length	Data

[표 4]

필드	크기	타입	설명
Protocol ID	1 byte	unsigned char	프로토콜 시작 확인 0xAB
Device ID	2 byte	unsigned char	장치 구분 아이디 1001 ~ 1003 : 토양 수분 센서 5016 : 기상센서
Sequence	1 byte	unsigned char	데이터 순서
Command ID	1 byte	unsigned char	데이터 구분 0x11 ACK 0x22 PRESENCE_REPORT 0x23 CONNETION_REQUEST 0x24 SENSOR_VALUE_REPORT
Payload Length	1 byte	unsigned char	센서값 길이
Data	1 ~ n bytes	unsigned char	센서값

- 메시지 타입은 기본 프로토콜 구성을 이용하여 아래와 같이 정의하였으며, 해당 프로토콜

을 이용하여 각 센서노드 간 통신을 이루며, 모니터링 시스템에서의 프로토콜도 동일한 규격으로 개발 진행하였다.

① 센서타입

[표 5] 각 센서 코드 정보

코드	센서	비고(단위, 최저, 최고)
0x01	강우량	“mm/h“ , “0“,“500“
0x12	제적 수분 함량	“m3/m3“ , “0“,“1“
0x13	토양 온도	“C“ , “-40“,“50“
0x14	토양 전도도	“dS/m“ , “0“,“23“
0x21	풍향	“도“ , “0“,“359.9“
0x22	풍속	“m/s“ , “0“,“75“
0x23	대기온도	“C“ , “-50“,“60“
0x24	기압	“hPa“ , “300“,“1200“
0x25	상대습도	“%“ , “0“,“100“
0x26	현재 일사량	“W/m2“ , “0“,“2000“
0x27	최저 일사량	“W/m2“ , “0“,“2000“
0x28	최고 일사량	“W/m2“ , “0“,“2000“
0x29	평균 일사량	“W/m2“ , “0“,“2000“
0x06	배터리 전압	“V“ , “0“,“15“
0x90	모든 센서	““ , “0“,“0“

② 강우량

[표 6] 강우량 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서값 길이
Data	1 ~ n bytes		강우량 카운트 값

③ 제적 수분함량

[표 7] 제적수분 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서값 길이
Sensor Type	1 byte	0x12	센서 타입: 제적 수분 함량
Data	1 ~ n bytes		제적 수분 함량 보고

④ 토양온도

[표 8] 토양온도 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서값 길이
Sensor Type	1 byte	0x13	센서 타입: 토양 온도
Data	1 ~ n bytes		토양 온도 값

⑤ 토양전도도

[표 9] 토양전도도 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서값 길이
Sensor Type	1 byte	0x14	센서 타입: 토양 전도도
Data	1 ~ n bytes		토양 전도도 값

⑥ 풍향 및 풍속

[표 10] 풍향 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서 값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서 값 길이
Sensor Type	1 byte	0x21	센서 타입: 풍향
Data	1 ~ n bytes		풍향 값

[표 11] 풍속 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서값 길이
Sensor Type	1 byte	0x22	센서 타입: 풍속
Data	1 ~ n bytes		풍속 값

⑦ 일사량

[표 12] 일사량 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서 값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서 값 길이
Sensor Type	1 byte	0x28	센서 타입: 현재 일사량
Data	1 ~ n bytes		현재 일사량 값

⑧ 배터리 전압

[표 13] 배터리 전압 데이터 프로토콜 정의

이름	크기	형식	내용
Protocol ID	1 byte	0xABr	프로토콜 시작
Device ID	2 byte	0x5016	장치 아이디
Sequence	1 byte	0x01	수집 순번
Command ID	1 byte	0x24	센서 값 보고
Payload Length	1 byte	0x01 ~	센서 값 길이
Sensor Type	1 byte	0x06	센서 타입: 배터리 전압
Data	1 ~ n bytes		배터리 전압 값

8) 타사 대비 경쟁력 검토

- 국내 스마트 팜 또는 작물 센서와 관련하여 비교할 수 있는 제품은 텔로팜의 sap flow 센서임. (주)텔로팜의 sap flow 센서 패키지는 탐침 타입의 센서 패키지로 센서와 센서 처리용 보드, 센싱 데이터 수집용 노트북으로 구성되어 있음

내용	(주)텔로팜	(주)아큐랩	비고
측정내용	sap flow	sap flow	
측정센서 타입	침 타입	광 프로브 방식	
측정범위	비공개 (자체 내부 기준)		
적용분야	가로수 등 수목, 토마토	엽채류	
통신방식	유선(전용케이블)	근거리(Zigbee) 광역통신(LoRa)	
가격	400만원	50만원	
인증	미인증	KC 인증	
전원	220V 상용전원	DC 12V, AC220V 어댑터	
구성품	탐침형 센서, 센서 보드, 노트북(센싱 데이터 수집)	광 프로브 센서, 센서 노드	
확장성	없음. (sap flow 전용)	ADC, I2C, RS-485, RS-232 방식 센서 지원	



- 현재 주요 적용사례 등을 확인한 결과 서울시 가로수 등과 같은 수목의 sap flow를 측정하고 모니터링 하여 상태 측정 및 급수시기 안내 등을 제공하고 있음

- 가격이 현재 노트북 등을 포함하여 제공하고 있어 고가이고 전용센서와 케이블을 이용하여 확장성은 부족함
- 본 사업의 결과물인 작물센서와 센서 노드의 데이터 안정성 등을 확보하여 사업화 한다면 사용성, 확장성, 가격 측면에서 우수한 것으로 사료됨

## 2-2 기능성 작물생육 모니터링 및 피드백 지원 가능 신개념 모니터링 시스템 개발

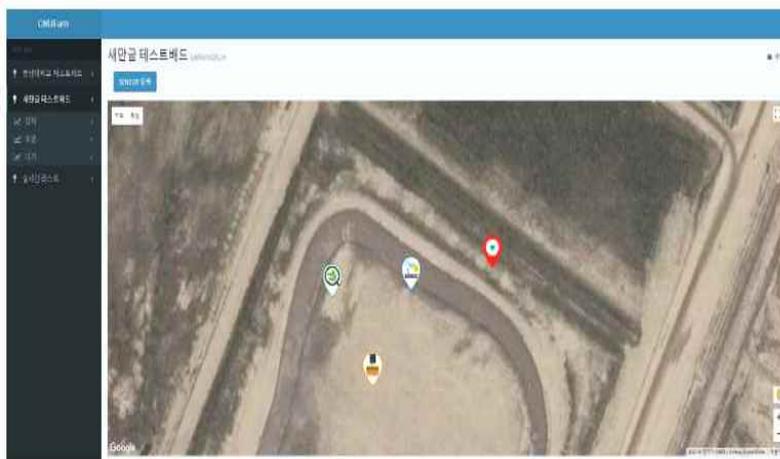
### 가. 연구개발내용

- 대상 작물 실시간 생육 및 환경 변화 모니터링 기술 개발
- 대상 작물의 생육 변화에 따른 시나리오별 대응 방안 구축 및 모니터링 시스템 개발
- 대상 작물의 생육 변화에 따른 문제점 분석 및 대처 방안의 관리자 정보 전달 기술 개발

### 나. 연구결과

#### 1) 모니터링 웹 서비스 개발

- 해당과제를 수행함에 있어 2차년도까지 수행한 웹 서비스에 대한 형태를 보완하여 3차년도에는 웹 서비스 형태를 변경하여 개발 진행하였다.
- 기존의 웹 서비스는 데이터를 직관적으로 표시하지 못하는 부분과 사용자가 사용할 경우 해당 농지에서 작물이 제대로 성장하고 있는지를 파악하기가 어렵다는 판단에 사용자 중심의 서비스 제공이 가능하도록 변경 진행하였다.



[그림 27] 웹 서비스 화면 (2차년도)



[그림 28] 웹 서비스 화면 (3차년도)

- 개선된 모니터링 시스템 메뉴 구성은 아래 그림과 같다.



[그림 29] 메뉴 구성도

- 웹 서비스에 대한 전반적인 설명을 정리하였다.

① 로그인



② 대시보드



[1번 항목]

- 작물선택 : 갯방풍, 향부자 2종 선택
- 위치선택 : 시스템 구축 지역 선택
- 날짜선택 : 데이터 확인 날짜 선택

[2번 항목]

- 작물 재배 상태에 대한 정보 확인: 양호, 주의, 경계, 심각 4단계로 나누어 현재 작물 재배 상태에 대한 정보를 표시

[3번 항목]

- 작물 재배 상태에 대한 위험도에 대한 상태를 그래프로 표시

[4번 항목]

- 센서정보표시 : 해당 날짜에 센서 정보를 표시

[5번 항목]

- 생육환경정보
- 작물생육정보 위험도의 누적일수를계산하고 위험도가 낮은단계를 기준으로선택작물의 위험단계별 현재 상태를 제공
- 토양염분, 토양수분, 일사량, 기상 온도 데이터 가공
- 작물별 양호, 주의, 경계, 심각 단계 종합정보 제공
- 지속일수 표기를 통해 한시적 · 지속적 문제 여부 확인 가능
- 일시적으로 저하 또는 상승되는 불규칙 치수는 이전값 적용으로 오류값 정정

[6번 항목]

- 위치정보 : 대시보드에 선택된 계측기의 설치 위치정보를 제공

[7번 항목]

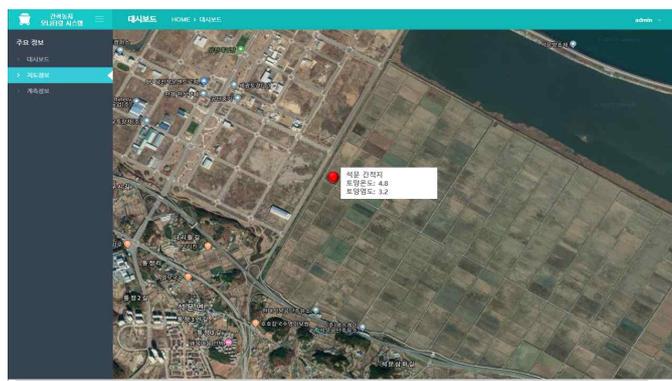
- 토양/기상 계측관련 계측정보를 주간의 일단위 그래프 정보 표출

[표 14] 계측그래프

구 분	내 용
토양계측 그래프	
기상1 그래프 (강우,온도,습도)	
기상2 그래프 (일조,풍향,풍속)	

③ 지도정보

- 계측위치 별 계측현황 및 정보 제공



[그림 30] 구글 위치정보를 이용하여 계측데이터 표시

④ 계측정보

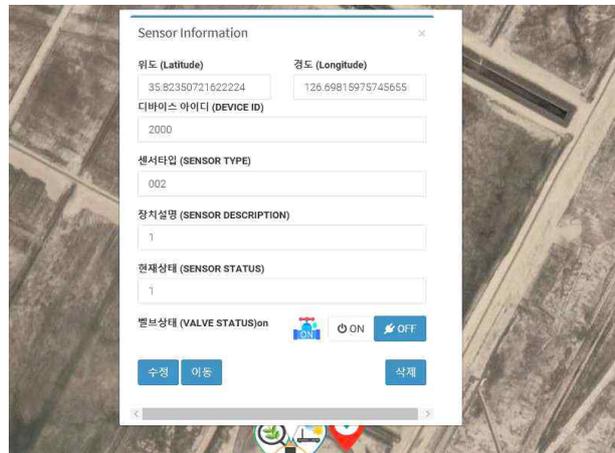
- 계측데이터별 기간에 따른 그래프 및 테이블 정보 조회



[그림 31] 계측정보 제공 화면 구성

⑤ 밸브제어

- 관리자 모드로 들어갈 경우 밸브 및 장비에 대한 설정 및 제어가 가능



[그림 32] 제어메뉴

- 대시보드에서 제공하는 항목 중 계측정보를 기반으로 작물별 생육환경 정보를 제공하고, 생육 환경에 대한 위험도 수준을 표시함으로써 생육 변화에 대한 정보를 확인하고 이를 관리자에게 전달할 수 있도록 서비스 화면을 구성하였다.
- 작물생육정보 위험도 기준은 아래와 같이 정하여 모니터링 시스템을 구동된다.

[표 15] 위험도 기준

구 분	토양염분	토양온도	토양수분	일사량
위험도 분석정보				
표기방식	양호,관심, 주의,심각	양호,관심, 주의,심각	0 ~ 100%	평년대비 비율
데이터 가공기준	관개용수 전기전도도에 따른 작물상대수량	성장기 기준의 온도관리 기준제시	계측데이터 값을 파이그래프로 표현	기상청 인근, 기상관측소, 계측일 평년대이터와 시간누적값과 비교
단계구분 방법	작물별 수확량 기준	상한/하한에 대한 관리정보 제공	단계구분 없이 현재 수분함량 제공	평년대비 값을 비교하여 제공

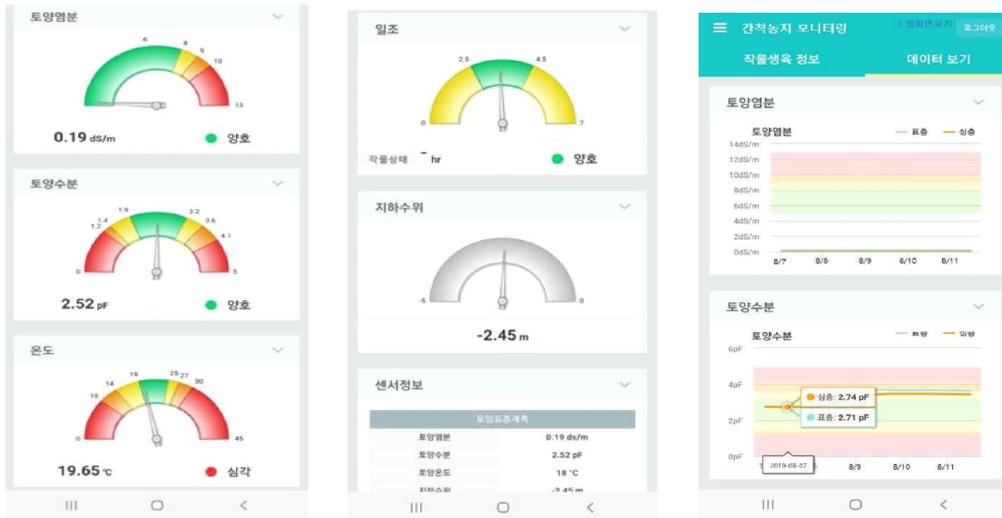
2) 모니터링 앱 서비스 개발

- 과제 수행 시 아이오닉 플랫폼을 활용한 하이브리드 앱 개발을 수행목표로 두었으나. 과제 수행기간 동안 리액트 개발 플랫폼을 적용하여 개발을 진행하였다.
- 웹에서 제공하는 기능 중 작물생육 정보와 센서 데이터 그래프를 보여주는 형태만 불러들여 모바일에 디스플레이 하도록 개발을 진행하였다.
- 앱에서 작물선택, 위치선택, 날짜선택에 대한 기본 선택 창은 포함하여 개발하였다.



[그림 33] 작물, 위치, 날짜 선택 화면

- 계측정보를 기반으로 작물별 생육환경 정보를 제공하고, 생육 환경에 대한 위험도 수준을 표시한다.



[그림 34] 위험도 분석 및 데이터 그래프 화면

## 2-3 TEST-BED 구축 및 현장 적용성 검증

### 가. 토양 지하암거 공법 적용 Test-Bed 구축

#### 1) 기술적 필요성

- 국내의 논(간척농지 포함)의 범용화에 대한 연구는 기반 조성을 위한 기술적인, 정책적인 방안 수립에 국한되어져 있었으며, 실제 논외의 범용화 작업 중 발생하는 문제점들에 대한 해결방안은 제시되지 못하고 있는 실정이다.
- 이에 논 범용화를 위한 토양수분 및 배수 최적 관리기술의 개발이 요구되고 있는 실정이며, 이와 함께 논 토양의 밭 농업 전환 시 토양수분관리 및 배수를 위한 암거 설치 시 비용저감 및 효율을 높일 수 있는 방안의 개발이 요구되고 있다.
- 또한, 지하배수개선 공법 적용 시 논외의 특성 상 배수 암거 설치를 위한 배수로의 구축 및 암거 설치, 그리고 되메우기 등의 복잡한 공정으로 진행되며, 배수로 구축 시 연약지반의 붕괴로 작업의 어려움이 많이 발생하고 있다.
- 따라서, 지하배수의 효율성을 높이고, 암거 설치가 용이한 방법의 개발이 요구되고 있다. 이와 함께, 신속한 지하 배수를 위해서는 설치 간격, 깊이 등에 대한 설계기술 개발뿐 아니라 현장에서의 설치 시 일정 깊이에서 요구되는 배수효과를 발휘할 수 있도록 하는 설치기술에 대한 개발이 요구된다.
- 이러한 설치 기술은 배수시설의 효율성 증대뿐 아니라 지하에 설치된 암거의 공용성을 증대할 수 있어 반드시 개발되어져야 할 기술이라 할 수 있다. 지하배수를 위한 암거의 설치 기술은 일정한 깊이에서의 설치뿐만 아니라 지하수 토양의 파쇄와 암거 설치가 동시에 이루어질 수 있는 기술의 개발이 요구되며, 이를 통해 설치 시간의 절약을 통한 설치비용의 절감이 가능할 것이다.

#### 2) 기존 농지범용화 기술(암거기술)과의 성능 비교 평가 및 장단점 분석

- 기존 농지범용화 사업에 적용되었던 굴착식 암거공법은 공사기간 및 공사비 증가로 경제성 및 효율성이 저하되는 문제점이 발생하였다. 따라서 상기와 같은 문제점을 해결할 수 있는 공법이 필요하다. 본 연구에서는 기존 굴착식 암거공법과 무굴착 암거의 공법의 장단점을 분석하고 고효율 저비용의 농지범용화 시스템의 개발 방향을 설정하였다.
- 기존 암거의 문제점으로는 지하배수불량, 암거 막힘 및 공사비 과다, 재염화 토양 경화 및 유지관리가 어렵다는 점이 있기 때문에, 이를 해결하기 위하여 지하배수 불량 개선을 위한 저비용 고효율 지하암거 공법과 막힘 방지와 재염화 및 표층 토양경화 방지가 필수적이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 단관 방식 무굴착 지하관개+배수암거 시스템을 현장에 구축하였다.
- 무굴착식 암거공법은 굴착식 암거 공법과 비교하여 공사비 감소 및 효율성이 증대한 기술이다. 그러나 토립자 유입을 극복하지 못하여 통수단면이 저하되고 폐색되는 문제점이 발생되고 있다. 암거폐색에 대한 문제점은 특히 암거에 필터가 없기 때문에 크게 나타난다. 따라서 암거폐색에 대한 문제점을 해결하기 위해서는 전면필터 등을 도입할 필요가 있다.

또한 무굴착암거는 시공장비에 의하여 성능이 크게 좌우된다. 따라서 시공장비에 개발이 필요하며, 현재 국내에서는 백호우를 이용하여 무굴착암거를 시공하고 있다. 그러나 시공 속도 면에서 문제가 발생하고 있으므로 이를 해결할 수 있는 장비의 선정 및 적용이 동시에 필요하다. 무굴착암거의 장단점과 이를 해결하기 위한 방법은 다음 표와 같다.

[표 16] 굴착식 암거와 무굴착식 암거 비교

구분	굴착식암거	무굴착식암거	해결방안(연구방향 설정)
시공성	나쁨	매우우수함	
배수성능	우수함	보통	전면필터 및 공법의 개선 필요
시공장비	-	국내 백호 적용	최적의 장비를 선택 필요
유지관리	-	보통	전면필터 및 유공관 청소 공법 적용 필요
경제성	나쁨	매우 우수함	
영농편의성증대	38.3	54.0	

- 굴착식 암거와 무굴착식 암거의 특성을 비교한 결과 경제성 측면에서는 무굴착식 암거가 우수하다. 다만 무굴착 암거의 경우 배수성능이 굴착식 암거에 비하여 떨어지는 문제점이 있다. 이와 같은 이유는 무굴착식 암거 시공시 발생하는 공극의 막힘 현상이 주요 원인이다.
- 따라서 이를 해결하기 위해서는 암거의 전면에 필터를 설치하여 공극막힘 현상을 억제할 필요가 있다. 이러한 전면필터에는 현실적인 방법으로 부직포 등을 사용하는 방법이 있다.
- 본 연구에서는 부직포를 전면필터로 적용하는 것을 고려하고자 한다. 또한 2중 필터 형식으로 현재는 모래나 고로슬래그 골재를 수직필터로 적용하고 있다. 특히 본 연구에서는 재활용 재료인 고로슬래그 골재를 이용하여 수직필터로 적용함으로써 자원순환 및 친환경성을 확보하고자 한다.
- 따라서 본 연구에서는 무굴착암거의 문제점인 배수성능을 향상시키기 위하여 수직 및 수평의 2중 전면필터 층을 형성하여 배수성능을 향상시킴으로써 경제성과 효율성이 우수한 최적의 농지범용화 시스템을 개발하려 한다.

### 3) Test-Bed 지하암거 설치를 통한 최적 인프라 시공 기술 검토

#### ① 간척지 받조성 과제와 해결방안

- 암거를 설치하여도 암거사이 흙속에서 물이 흐르지 않아 염해 (제염)와 습해 (지하배수) 문제 발생하기에 지하 암거(간격 5m 이하)와 심토파쇄를 하여 흙속에서 물이 잘 흐르게 하여 제염 및 지하 배수문제를 해결하려한다.
- 또한, 기존 지하암거 공사는 고가의 암거 재료를 사용하고 굴착식 암거 공법을 이용하기 때문에  $\phi 150\text{mm}(16\text{천원}/\text{m}) + \text{자갈소수재} \rightarrow 50\text{mm} + \text{필터매트}(2\text{천원}/\text{m})$ 의 비용이 소모된다. 본 연구에서 지하암거 설치를 위해 저비용 재료 사용과 무굴착 암거공법(심

토파쇄 포함 25백만원/ha이하)을 사용하려한다.

- 마지막 문제점으로 건기에 염수모관상승으로 인하여 토양의 재염화가 발생되어 지하관개 염수 모관상승 차단하고, 암거관이 막히게 되어 배수가 되지 않음으로 지하관개수 이용하기 위해서는 암거관 주기적 청소할 필요가 있고 필터에 세립토가 집적 막히게 되기에 적정 유효구멍크기를 시방기준에 준수하여 설정하여 본 문제들을 해결하려 한다.

② 간척지 제염암거 시험시공 성과

- 저비용 고효율 무굴착 지하 관개 + 배수 암거 시스템 개발 제안

순번	기준	성과
①	공사비	2,500만원/ha(기존 4,000만원/ha)
②	제염	2~5ds/m이하(암거설치 후 2년 장마철 강우로 제염가능)
③	지하배수	삼투량20~50mm/day이상(5m간격 암거 + 수직심토파쇄 효과)
④	암거관청소	가능(지하관개시스템 활용)
⑤	재염화방지	건기 지하관개 염수모관상승 차단
⑥	내구성	기계로 자동 포설 시공 품질 우수

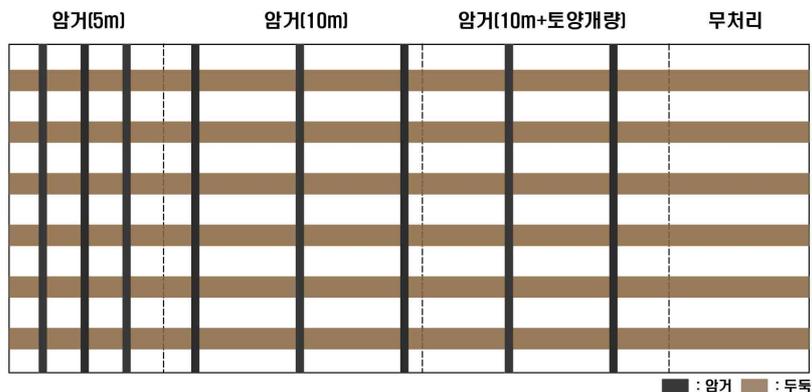
③ 저비용 고효율 최적 암거모양 선정

- 공사비가 저렴하고 효율이 높은 암거를 찾기 위하여 무굴착식으로 설치가 가능한 암거 모양에 대하여 이론해석(침투류)을 실시한 결과 암거 ③ (50mm유공관+필터매트B50cm)가 단위공사비는 50%이나 배수성능은 175%를 발휘하므로 개선공법으로 선정하였다.

[표 17] 암거모양별 배수성과 공사비 비교

암거 종류	①	②	③	④
	굴착식 암거 (자갈B30×H40cm)	무굴착 암거1 (50mm유공관)	무굴착 암거2 (50mm유공관 +필터매트 B50cm)	무굴착 암거3 (유공+필터매트+모래 또는 고로슬래그골재 B10cm)
지하 배수 형상				
배수량 Q (m³/s/m)	2.37*10 <sup>-6</sup>	1.29*10 <sup>-6</sup>	2.17*10 <sup>-6</sup>	2.41*10 <sup>-6</sup>
비교(%)	100	54	92	102
설치간격 (m)	10	5	5	5
단위지하 배수량 (mm/d)	20.5 (100%)	22.3	35.8 (175%)	41.6 (209%)
공사비 (백만원)	50 (100%)	22 (50%)	25 (50%)	30 (80%)

④ 간척지 지하암거 설치 후 밭 조성



- 지하암거 공법을 적용하여 작물을 재배하기 위하여 재배지 구역을 각각 나누었다. 암거 시공 거리 기준으로 재배지 넓이를 선정하였다. 재배지인 간척지는 가로 80m와 세로 0.6m로 암거 5m간격 구역은 가로 15m, 암거 10m간격 구역은 25m, 암거 10m+토양개량 구역 25m, 무처리 구역 15m로 선정하였다.

## 나. 작물 생체정보 및 환경 모니터링 Test-Bed 구축

### 1) Test-Bed 구축 개요

- 2차년도 Test-Bed였던 새만금지구에서 3차년도에는 석문지구로 이전하여 Test-Bed를 구축하게 됨에 따라 새만금 지구에 설치되어 있던 시스템을 석문지구로 이전하여 작물 생체정보 및 환경 모니터링 시스템을 구축하였다.
- 설치 및 측정 센서는 2차년도와 Test-Bed 구축 및 데이터 수집 등을 통해 검증한 생체정보 센서, 토양환경(토양수분, EC, 토양온도), 대기환경(온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 가우량) 센서를 설치하였다.
- 3차년도 Test-Bed인 석문지구의 경우에도 새만금지구와 같이 간척지에 조성된 시험포에 Test-Bed를 조성하게 되어 센서↔라우터, 라우터↔게이트웨이 간의 무선통신 환경은 Zigbee로 구성되었으며 게이트웨이를 통해 수집된 데이터는 LoRa망을 통해 서버로 전달하는 동일한 구성으로 구성되었으며 대기환경 측정 센서노드의 데이터는 넓은 지역에 걸쳐 큰 변화가 없으므로 지역 네트워크 망에서 최상위 계층에 위치하게 되고 하위 라우터 및 엔드포인트 노드의 데이터를 일괄 수집하여 광역 네트워크 망으로 전송하는 게이트웨이 역할을 하는 것으로 동일하게 구성되었다.

### 2) Test-Bed 구축 경과

- Test-Bed 구축 시기는 작물을 정식하기 위해 인프라를 구성하기 시작하는 2019년 3월 말부터 현장방문 및 협의를 시작하였으며, 1차 기본 인프라 설치, 2차 환경센서 및 관수시스템 설치, 3차 토양 및 작물센서 설치 등으로 총 4회에 걸쳐 현장 작업을 수행하였다.
- 2차년도와 3차년도의 차이점은 설치 지역 변경에 따른 원수 탱크 형태와 장치 설치 환경의 변화, 자동 급수 시스템과의 연계, 센서노드 전원 함체 등이 변경되었다.

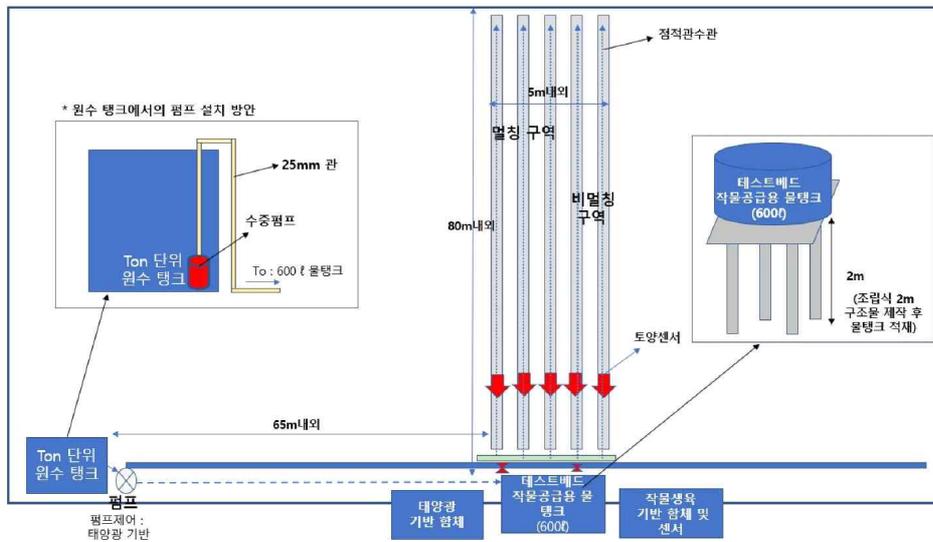
#### ① 석문지구 설치현장 조사 및 협의



[원수 탱크 연결]



[배관 및 펌프전원 설치]



[그림 35] 석문지구 Test-Bed 구축 설계안

② 1차 기초인프라 설치



[원수 탱크 연결]



[배관 및 펌프전원 설치]



[작물용 탱크 설치]



[센서노드/게이트웨이 이전]

③ 2차 환경센서 설치 및 관수 제어시스템 연계 테스트

- 1차 인프라 설치 이후 작물 정식 시기에 맞춰 환경센서 및 관수제어 시스템을 연계하여 테스트하기로 하였다.



[환경센서 설치 및 통신체계 구축]



[관수 제어시스템 연계 테스트]

④ 3차 토양센서 설치 및 작물센서 테스트

- 토양센서 설치 및 작물센서 테스트 일정은 초기에는 작물 정식 후 2주 이내 설치하기로 협의하였으나 2주간의 지속된 강우로 인해 정식한 작물이 고사하여 재정식으로 이후 설치 및 테스트 수행하였다.



[센서노드 설치]



[토양센서 설치]



[작물센서 테스트]

④ 연차별 Test-Bed 구축 내역 비교



[그림 36] 연차별 Test-Bed 구축 형태 비교

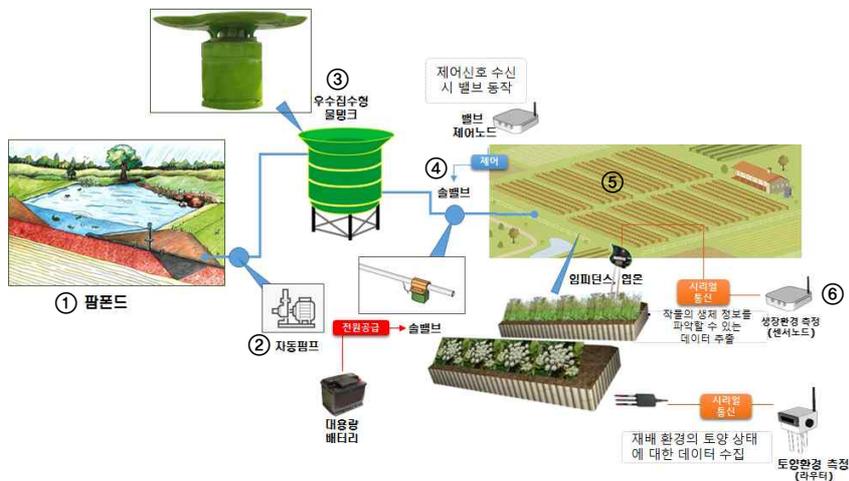
	2차년도	3차년도
<p>동일 사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 센서                      토양센서 : 수분함유량, EC, 토양온도                      대기환경 : 온도, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 강우량                      생체정보 센서</li> <li>- 통신방식 : Test-Bed 내 근거리는 무선통신 Zigbee, 원거리 통신은 LoRa 방식 적용</li> <li>- 전원 : 태양광 패널, 충전배터리 전원</li> </ul>	
<p>차이점</p>		 <p style="text-align: center;">센서노드 기구물 변경 적용 (안정성과 운영성 확보)</p>

## 2-4 간척농지에서의 안정적 재배를 위한 자동 급액 인프라 구축

### 가. 자동 급액 시스템 개발

#### 1) 간척지 이용 가능한 담수/우수 겸용 자동 급액 시스템 개발

- 자동 급액 시스템의 기본 구성은 제어기, 소형펌프, 수위센서, 솔레노이드 밸브 등으로 되어 있으며 펌프를 이용하여 팜폰드(저류지)에서 물탱크(고수조)로 물을 끌어올려 공급하게 된다. 물탱크 내부 수위를 감지할 수 있는 불탑(수위감지센서)에서 물탱크 내부 일정 수위(만수위, 저수위)를 감지하고 제어장치에서 펌프의 동작을 ON/OFF로 제어한다. 팜폰드(저류지)에서 양수 시, 불순물을 걸러낼 수 있는 여과장치(스크린 설치)도 고려할 수 있고, 특히 토양센서 및 생체정보 센서노드를 통한 데이터 전송 및 제어신호 수신을 통한 솔레노이드밸브 제어가 가능하다. (솔레노이드밸브 구동은 태양전지를 이용한 충전형 전지 전원을 이용하여 제어)
- 밸브제어 및 펌프제어에 소모되는 전력량이 높아 간척지 및 노지에서 전기의 공급없이 독립된 동작을 하기 위해서는 밸브 및 펌프의 용량에 제약이 있으며 본 시스템 개발에서는 저용량의 펌프 적용이 요구된다.



순번	시스템 구성요소	기능	기타
①	팜폰드 (저류지)	원수 공급	
②	펌프	물탱크에 용수공급	
③	물탱크 (우수/담수용)	필요 용수 공급시, 상시공급	
④	자동급액부 (솔밸브 제어노드)	신호전달에 의해 밸브 제어 및 펌프제어 역할	충전용 배터리 적용
⑤	점적호스	작물체에 용수공급 말단 역할	
⑥	센서신호부	토양환경, 작물생육환경 센싱	

[그림 37] 담수/우수 겸용 무전력 급액 시스템 계획안

① 급수용 물탱크의 장점

- 펌프에서 직접 필드로 공급할 경우, 필요시마다 펌프를 작동시켜야 하므로 전력 손실이 크고 비효율적이며, 작물생육에 필요한 미량 급수를 조절하기에도 부적합하며 비경제적이다.
- 물탱크(고수조) 설치를 통한 급수는 일정량을 야간에 채웠다가 필요시마다 낙차고를 통해서 고효율적 용수 공급이 가능하며 전력공급이 원활하지 않는 무전력 지역의 긴급 급수를 위한 시스템이 필요하다.

② phytomonitoring과 연계된 제어 시스템 구축



[그림 38] Phytomonitoring system과 연계된 관수 제어 시스템

㉠ Phytomonitoring 센서 구축

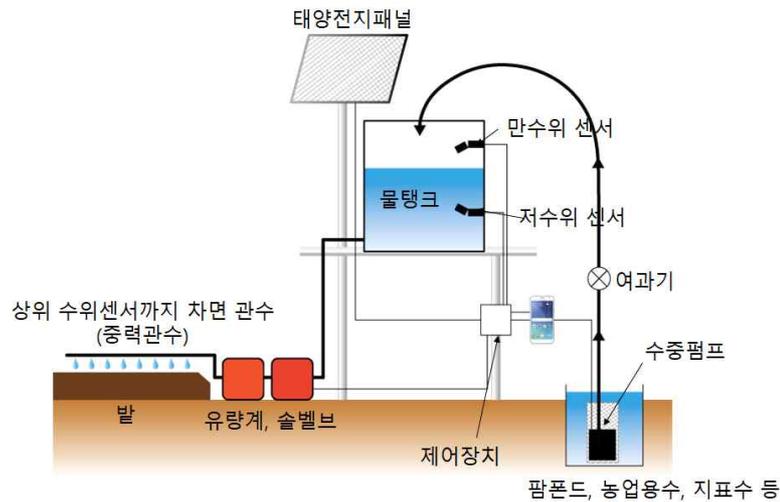
- 대상 작물인 갯방풍/향부자의 형태적 특성과 실제 야외 환경에 발생할 수 있는 기상 상황을 고려하였을 때 설계적 애로사항이 존재하고 그러한 문제를 해결해야 할 필요가 있다.
- 전자부의 구성 개념은 전자침(Electronic needle)을 이용한 작물 내부의 침습을 통해 교류 신호를 전달하고 이에 대한 미소 피드백 신호(전압)를 계측함으로써 전기적 임피던스를 추정하는 방식으로 결정하였다.
- 한편으로 작물 내부에 침습이 불가능할 시 엮은 측정센서의 형태를 응용하여 적외선 조사 후 이에 대한 피드백 신호를 계측하는 방법도 고려 가능하다.

㉡ 솔레노이드 밸브 제어

- 솔레노이드 밸브는 기계식 혹은 전자식 릴레이에 의해 스위치와 같이 ON/OFF 구동을 하므로 전자부의 구성은 매우 간단하다.

- 밸브의 종류(크기)와 ON/OFF 구동 시간에 따라 자체에서 소비되는 전력이 결정되므로 전력량이 높을 경우 센서 노드와는 달리 별도의 전원을 구성할 필요가 있다.
- 현재는 외장형 배터리를 통한 전원을 공급하는 형태가 바람직하다.

2) 센서 정보와 일사강도 분석을 통한 작물의 급액 시점 및 주기 도출

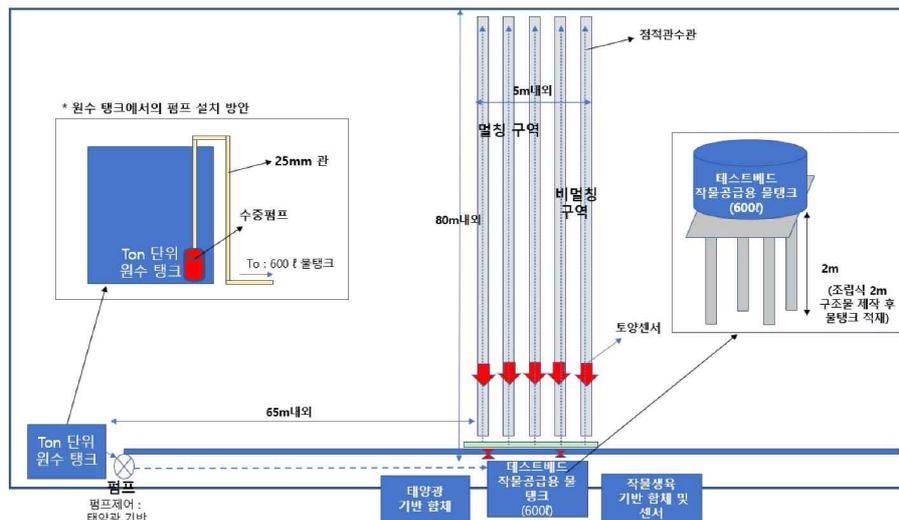


[그림 39] 일사 비례제어 노지전용 자동 관수시스템

- 시스템의 작동원리는 다음과 같다. 일사량에 따른 태양전지의 발전량을 수치화 시켜 펌프의 구동 알고리즘에 따라 배터리 전기에 의해 수중펌프가 가동된다. 수중펌프가 가동되면서 농업용수 및 저수지에서부터 물을 물탱크에 채워지게 되고 물탱크에 설치된 만수위 센서(Full water level sensor)까지 물이 채워지면 솔레노이드 밸브(Solenoid valve)가 열려 중력에 의해 관수된다.
- 노지전용 자동 관수시스템이 적용된 주요 장비의 사용은 다음과 같다.

[표 18] 자동 관수시스템 적용 주요 장비 사양

장비명	사양
수중펌프	사용전원 : 12V 출력 : 34W 토출량 : 44L/min 압상높이 : 3M
태양광 패널	100W
충전용 배터리	전압 : 12V 용량 : 100A
밸브	전압 : DC 12V 소비전력 : AC, DC 14W
저수위 체크 부력스위치	접점용량 : 250VAC 5A
만수위 체크 부력스위치	접점용량 : 250VAC 5A
게이트웨이	사용전원 : DC 12V 인터페이스 : ADC, GPIO, Ethernet, TTL, Zigbee 소비전류 : 250mA

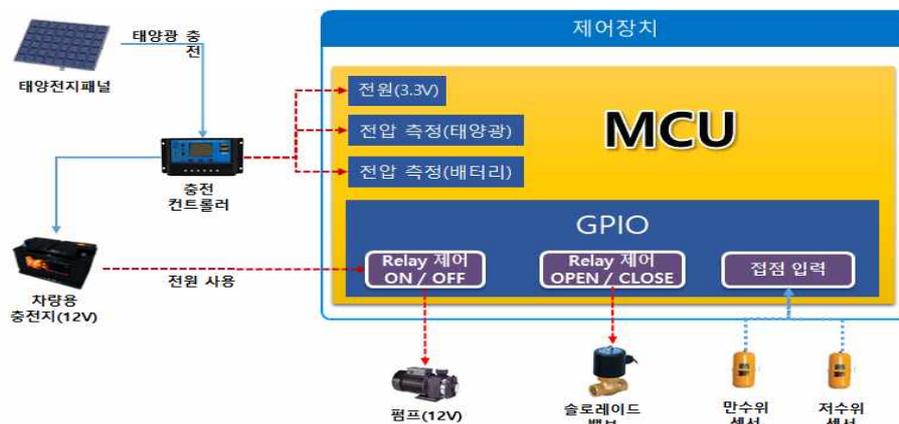


[그림 40] 석문지구 Test-Bed 관수시스템 구성 및 설계안

- 충남 당진시 석문면에 위치한 간척지 토양에서 관수시스템을 설치하였다. 농업용수에서 수중펌프를 이용하여 물을 끌어올린 뒤, 설치한 물탱크에 용수를 채우도록 했다. 또한 물탱크는 600L 용량이며, 2미터의 구조물을 세워 그 위에 물탱크를 두었다. 이는 높이 차이

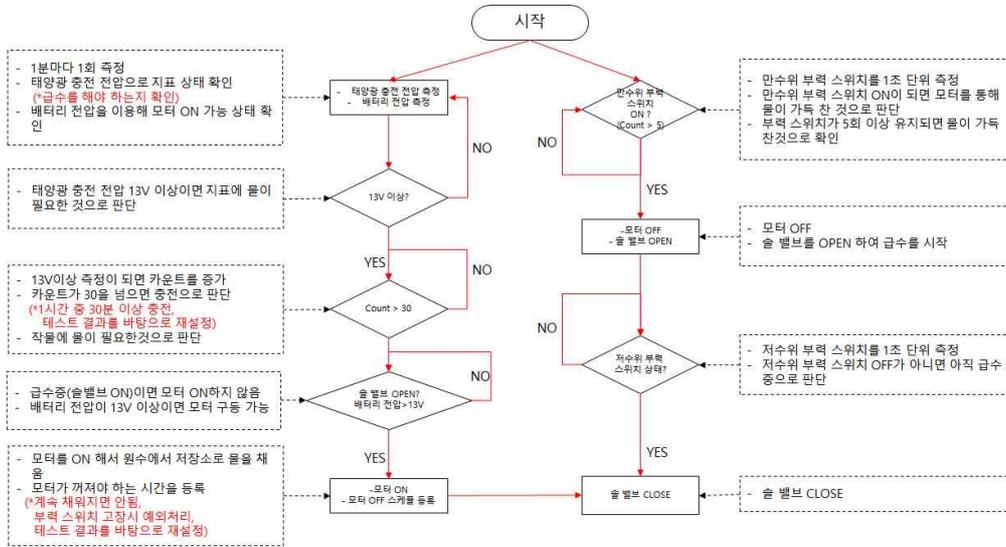
를 이용하여 중력에 의한 관수를 위한 것이었으며, 두둑은 길이 80m, 너비 0.6m 두둑으로 점적관을 깔아 점적관수가 가능하도록 구성하였다.

- 관수 로직은 태양이 뜨면 일사강도를 인식하고 1초에 한번 측정되는 데이터를 10분 확인하였다. 태양 전지의 일사 강도가 13V 이상이면 맑은 날씨로 간주하며, 13V가 넘는 수치의 개수에 따라 관수 시간을 설정할 수 있다. 600개의 데이터 중 550개가 13V 이상이면 2분, 550~550개일 때 1분 45초, 450~500일 때 1분 30초로 설정하여 일사량에 따른 펌프의 구동 시간에 차이를 두어 물탱크의 만수위까지 도달하는 시간을 달리하여 제어하였다. 만수위 센서가 인식되면 솔레노이드 밸브는 열리고 관수가 시작되며, 0%가 되었을 때 관수는 멈추고 밸브가 잠기도록 설정하였다. 이후 타이머 기능을 추가하여 관수의 시작 시간과 마치는 시간을 설정할 수 있도록 하였다.



[그림 41] 시스템 제어 하드웨어 구성도

- 하드웨어의 경우, 태양광이 태양전지를 비추면 전기를 충전하고, 충전 컨트롤러를 거쳐 차량용 충전지에 충전됨. 제어장치인 게이트웨이를 통해 수중펌프, 솔레노이드 밸브, 저수위와 만수위 센서를 각각 작동시키며, GPIO의 인터페이스 통해 제어하였다. 펌프와 솔레노이드밸브는 릴레이 제어(Relay control)을 이용하여 동작을 제어하였으며, 동작의 기준이 되는 물탱크의 수위는 불(부력스위치센서)센서를 이용하여 측정하여 저수위와 만수위의 센서값을 입력 받아 제어하였다.
- 제어하기 위한 기본 제어 알고리즘은 다음과 같은 방법으로 적용되었다. 데이터는 1초에 한번 측정이 되며, 태양광 충전 전압이 13V 이상이 출력되면 맑은 날씨라고 간주하였다. 총 10분 동안의 데이터를 수집하면 600개의 raw data를 획득할 수 있으며, 13V 이상의 전압을 나타내는 측정값이 550개 이상이면 2분, 500~550개면 1분 45초, 450~500개면 1분 30초씩, 각각 모터가 작동하여 물탱크에 물을 채우게 된다. 이렇게 구분하여 모터를 동작시키는 것은 작물은 일사강도에 비례하여 증산량이 증가하는 이론에 따라서, 일사 강도에 따른 관수 간격과 관수량을 조절하기 위함이다.

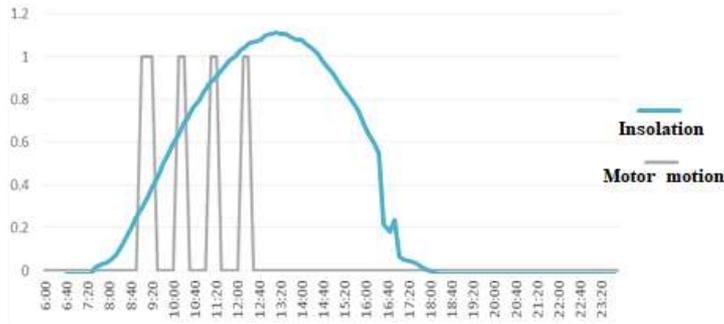


[그림 42] 시스템 제어 소프트웨어 순서도

- 원수지는 지하수, 뚝병, 개수로, 하천수 등 장치 주변에 있어야 더 유리하고, 맑은 조건과 흐린 조건에 따라서 물탱크에 물이 채워지는 속도가 달라지게 된다. 만수위 센서가 작동 되면 관수 공급밸브가 열리게 되고 공급모터는 동작을 멈추고 저수위 센서가 작동되면 공급밸브가 닫히게 된다. 이러한 동작을 반복하게 되며, 사용자는 관수공급 시작 지점과 마지막 관수 지점을 별도로 설정할 수 있으며, 이렇게 설정된 시간대에서 관수 로직이 작동 된다. 또한 사용자는 물탱크에 물이 채워지는 시간을 별도로 설정하여 관수량과 관수 간격을 조정할 수 있다.

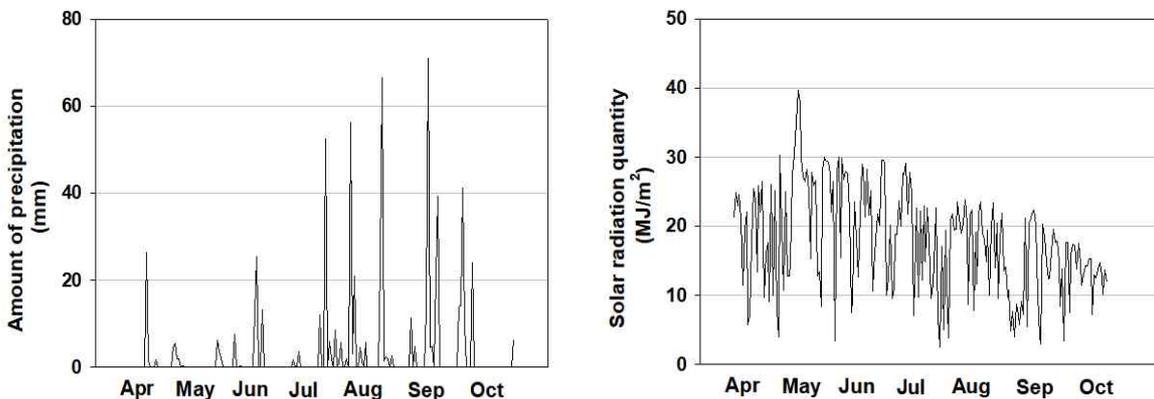
2019-10-09 08:03:12 ,valve,1	2019-10-09 17:20:48 ,valve,1
2019-10-09 08:03:13 ,sunvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:49 ,sunvolt,12.992056
2019-10-09 08:03:13 ,batvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:49 ,batvolt,13.091232
2019-10-09 08:03:13 ,motor,0	2019-10-09 17:20:49 ,motor,0
2019-10-09 08:03:13 ,valve,1	2019-10-09 17:20:49 ,valve,1
2019-10-09 08:03:14 ,sunvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:50 ,sunvolt,12.992056
2019-10-09 08:03:14 ,batvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:50 ,batvolt,13.041643
2019-10-09 08:03:14 ,motor,0	2019-10-09 17:20:50 ,motor,0
2019-10-09 08:03:14 ,valve,1	2019-10-09 17:20:50 ,valve,1
2019-10-09 08:03:15 ,sunvolt,13.041643	2019-10-09 17:20:51 ,sunvolt,13.041643
2019-10-09 08:03:15 ,batvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:51 ,batvolt,12.992056
2019-10-09 08:03:15 ,motor,0	2019-10-09 17:20:51 ,motor,0
2019-10-09 08:03:15 ,valve,1	2019-10-09 17:20:51 ,valve,1
2019-10-09 08:03:16 ,sunvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:52 ,sunvolt,13.041643
2019-10-09 08:03:16 ,batvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:52 ,batvolt,13.041643
2019-10-09 08:03:16 ,motor,0	2019-10-09 17:20:52 ,motor,0
2019-10-09 08:03:16 ,valve,1	2019-10-09 17:20:52 ,valve,1
2019-10-09 08:03:17 ,sunvolt,12.942468	2019-10-09 17:20:53 ,sunvolt,12.992056
2019-10-09 08:03:17 ,batvolt,12.992056	2019-10-09 17:20:53 ,batvolt,13.041643
2019-10-09 08:03:17 ,motor,0	2019-10-09 17:20:53 ,motor,0
2019-10-09 08:03:17 ,valve,1	2019-10-09 17:20:53 ,valve,1
	2019-10-09 17:20:54 ,sunvolt,12.992056
	2019-10-09 17:20:54 ,batvolt,13.041643
	2019-10-09 17:20:54 ,motor,0
	2019-10-09 17:20:54 ,valve,1
	2019-10-09 17:20:55 ,sunvolt,12.992056
	2019-10-09 17:20:55 ,batvolt,13.041643
	2019-10-09 17:20:55 ,motor,0
	2019-10-09 17:20:55 ,valve,1
	2019-10-09 17:20:56 ,sunvolt,12.992056
	2019-10-09 17:20:56 ,batvolt,12.992056
	2019-10-09 17:20:56 ,motor,0

[그림 43] 하루동안의 태양 패널과 배터리 전압 데이터

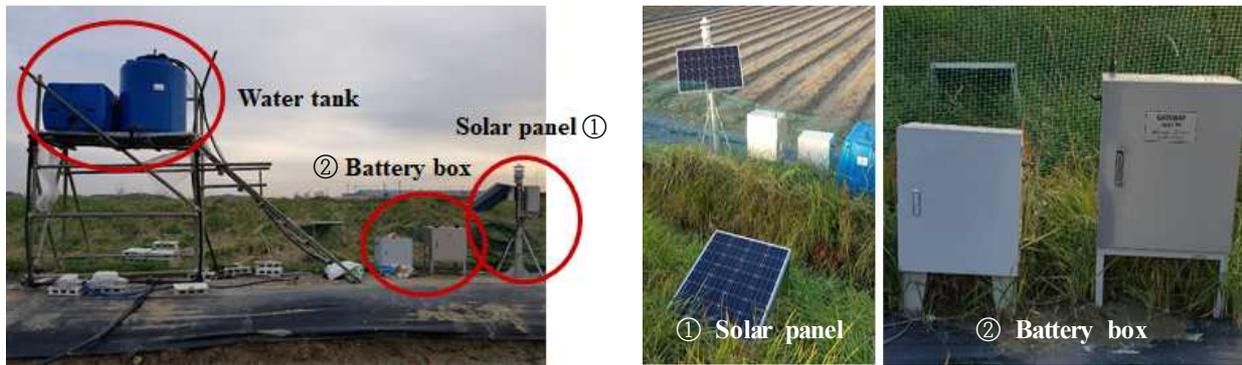


[그림 44] 일별 동작 분석

- 로직 구성에 따른 태양광 충전 전압에 따르면 하루 중 충전 전압이 13V 이상인 시간은 오전 8시 3분 15초였으며 마지막 시간은 오후 5시 20분 52초였다. 하루 동안의 일사량에 따른 모터 동작을 분석했을 때, 일사량에 비례하여 모터가 동작하여 물을 물탱크에 채우는 것을 확인할 수 있었다. 오후 12시 40분 이후로 일사량에 따라 모터가 동작하지 않는 이유는 타이머로 시간을 제어했기 때문에 더 이상 동작하지 않았다. 따라서 일사량에 따른 원수 공급 모터 동작이 가능하며 타이머 제어(관수 시점과 종점을 설정)를 통한 관수 시간 조절 또한 가능한 것으로 판단된다.
- 하루 동안의 카운트 동작에 따른 모터 동작의 분석을 확인해보면, 오전 8시 50분에 처음 충전 카운트가 동작하고 10분 동안 연속으로 충전이 계속 될 시에 모터가 동작하게 되는데 그 시간이 오전 9시 01분이었다. 따라서 알고리즘에 따라 오전 9시 02분에 모터가 동작하고 오전 9시 10분에 모터동작이 멈췄으며 모터 동작 시간은 8분이 소요되었다. 모터가 동작되어 물탱크에 물을 가득 채우고 만수위 센서가 반응해 오전 9시 10분에 밸브가 열렸고, 밸브동작은 오전 9시 51분에 멈췄으며 관수시간은 50분 소요되었다. 이는 탱크를 올려 놓은 구조물의 높이나 점적호스의 길이 등에 따라 관수 시간이 달라질 수 있는데 그 후 모터는 오전 10시 02분에 재시작 되었으며, 모터가 재동작하는 데에 60분이 소요되었다.
- 한 번 관수될 때 500L가 관수되며 전체 넓이는 2.9a였다. 이를 1ha로 계산해보면 관수량은 6ml이다. 이에 따라 앞에서 본 일별 동작 분석을 확인하면 타이머를 설정하여 4번의 관수가 이루어졌으며, 따라서 총 28ml의 물을 공급할 수 있는 것으로 판단된다.



[그림 45] 4월부터 10월까지의 석문간척지 강수량 및 일사량



[그림 46] 석문 간척지 현장에서의 실제 관수시스템 설치된 사진

- 시스템은 충남 당진의 석문지구 간척지 토양에서 적용하였으며, 2미터의 구조물 위에 물 탱크를 올려놓아 중력에 의한 압 차이로 관수를 하도록 구성하였다. 구조물 옆에 차량용 배터리와 충전 컨트롤러를 박스 안에 설치하여 강우 시에도 안전하게 작동할 수 있도록 하였으며, 태양전지 패널을 설치하여 태양광을 이용해 일사제어 관수를 할 수 있도록 조절하였다. 또한 태양전지 패널을 충전 컨트롤러를 이용하여 차량용 배터리에 전기를 저장하고, 그 전기를 이용하여 모터와 센서가 작동하도록 설계하였다.

### 3) 작물 생체센서와 환경 모니터링을 연계한 갯방풍과 향부자의 최적 급액 시나리오 개발

#### ① 연구내용

- 작물 생체 데이터와 환경 데이터를 연계하여 갯방풍, 향부자와 같은 작물별로 최적화된 급액주기를 도출하고 시나리오화하여 사업화할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

#### ② 바이오센서 및 환경 데이터를 이용한 방풍 및 향부자 재배 최적 급액 시나리오 개발

- Sap flow는 수액흐름이라고 하며, 작물의 수액이 도관을 통하여 이동하는 것을 의미한다. 이것을 이용하여 작물의 증산량을 확인하여 측정할 수 있고 적합한 관수 주기를 확인할 수 있을 것으로 판단하였고, 작물생체센서를 개발/설치하여 Lab-Test와 현장테스트 데이터를 수집하여 값을 측정하였다.
- 생체센서를 이용하여 방풍과 향부자의 sap flow 값을 확인하여 관수를 공급하기 위해 실험하였으나, 데이터가 부정확한 것으로 판단되어 작물생체센서에 대한 정확도 보완 및 테스트를 선행하였다.
- 축적된 데이터와 관련 논문 등을 검토하였을 때 sap flow를 데이터를 검출하기 위해서는 일정 크기 이상의 줄기를 가진 식물의 데이터 신뢰도가 높고 향부자와 같이 얇은 잎으로 구성된 경우 데이터 측정이 불가하거나 데이터의 신뢰도가 높지 않음을 확인하였다. 이에 방풍의 경우 줄기에 센서를 장착할 수 있으므로 방풍나물로 센서값을 측정하였다.



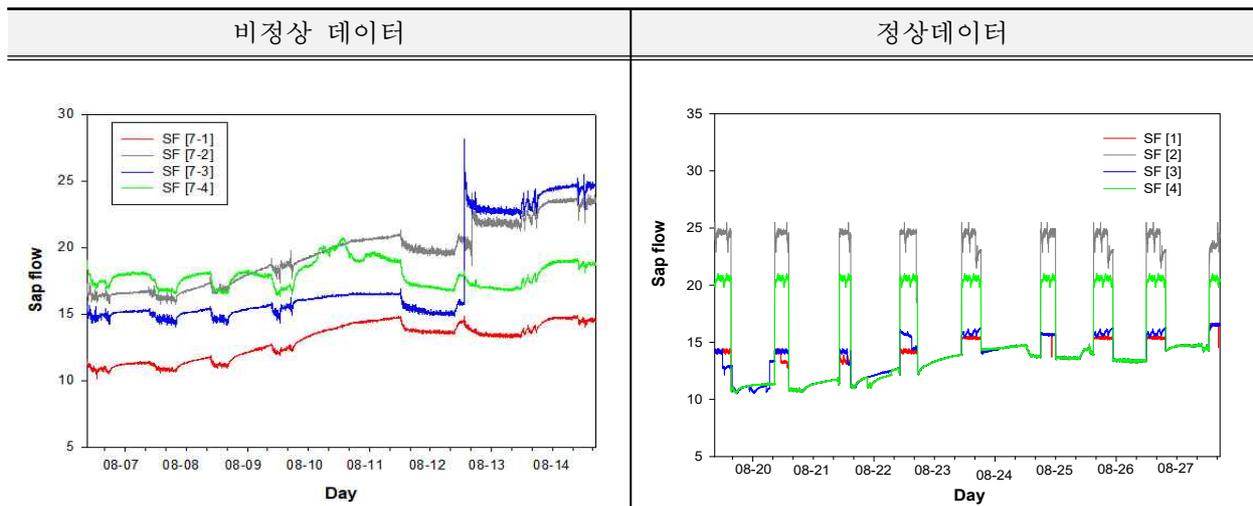
[그림 47] Lab 테스트 데이터 연계 및 관수시스템 프로토타입 적용

- 방풍과 향부자의 sap flow 데이터 수집 및 검증, 기존 데이터 정립, 관수시스템 연계 방안, 알고리즘 구현 및 동작 검증 등을 위한 프로토타입 검증 장치 및 시스템을 충남대 농대 시험소에 설치하여 운영하였다.
- 방풍과 향부자의 sap flow 데이터 수집 및 검증과 관수시스템 동작 시나리오 및 알고리즘에 대하여 2차년도부터 각각 수행한 후 2차년 후반기에 연계 테스트를 수행하였다.
- 새만금 테스트 베드에 적용한 데이터와 프로토타입에서의 적용 사례를 비교하여 3차년도 석문 테스트 베드에 적용하여 테스트 및 검증을 수행하였다.
- Lab 테스트 데이터와 연계하여 프로토타입에서는 모터/밸브 제어, 수위센서 데이터 연동을 적용하여 테스트 하였으며 테스트 데이터를 DB서버에 저장하고 프로토타입 웹화면을 통해 모니터링 수행하였다.
- 프로토타입 검증 시스템을 통해 관수 시나리오와 동작 연계 알고리즘을 검증하고 환경센서(일사량 센서)와 sap flow 데이터와의 연관성을 검증하였으며 적용된 알고리즘 등을 변경 적용하여 급수량, 모터를 통한 시간단위 취수량, 시간단위 배수량 등의 데이터를 취합하고 검증하였다.



[그림 48] 작물생체센서 테스트 및 데이터 측정 모습

- 방풍과 향부자의 sap flow 데이터 수집 및 검증, 기준 데이터 정립을 위하여 Test-Bed 현장과 식물공장에서 방풍나물의 sap flow를 측정해보았다. 식물공장의 경우 형광등을 이용하여 광을 주었으며, 광주기는 낮/밤 14h/8h로 구분하였다. 하루에 한 번 200ml의 양을 직접 관수하여, 일주일 정도 센서값을 받아보았으나 값이 제대로 측정되지 않아 sap flow 값을 확인할 수 없었다.
- sap flow 측정 시 작물에 센서를 꽂는 위치와 간격에 따라 측정값이 변하였고 작물의 상태 및 환경 변화(일사량, 온도 등)에 따라서도 데이터의 변동률이 높았다.



[그림 49] 방풍나물 sap flow 측정 데이터

- 작물 생체 특성 측정방식(생체센서) sap flow를 이용하기 위해서는 줄기가 굵은 작물 또는 나무에 적용하는 것이 일반적인 것으로 논문 및 사례에 나와 있다. 본 개발에서 적용이 가능할 것으로 검토되어 적용하였으나 향부자의 경우 적용이 불가능하였으며, 방풍의 경우에도 작물 개체별 상태에 따라 변동이 심하였다.

- 위 데이터의 경우 실내에서 전기가 공급되는 경우에는 데이터 수집주기가 10초였고 Test-Bed에 정식된 작물의 경우 배터리 전원을 이용하는 관계로 10분 주기로 데이터를 수집하였다.



[그림 50] 데이터 수집 기간 동안의 일사량 데이터

- sap flow 데이터와 일사량 데이터를 비교하였을 때 일사량에 따라 sap flow가 비례하여 증가함을 확인할 수 있음. 이는 일사량이 증가하면 작물의 증산량이 증가하여 sap flow가 증가함을 알 수 있다.
- sap flow 데이터와 일사량과의 관계를 비교검토 하였을 때 sap flow를 측정하는 작물생체센서를 설치하여 자동 급액 인프라를 개발하는 것 보다 일사량의 변화를 기반으로 자동 급액 시나리오 및 인프라를 개발하는 것이 사업화 및 확산방안으로 타당한 것으로 판단된다.
- 작물생체센서 비용, 작물별로 기준 sap flow값 정립의 어려움, 작물 개체 상태에 따라 변화가 있어서 농민들의 설치 및 관리의 어려움 등을 고려하였을 때 앞서 제시한 ‘일사 비례제어 노지전용 자동 관수시스템’의 시나리오를 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

## 2-5 간척농지 재배 작물 선정

- 전 세계적으로 인구 고령화 속도가 빨라지면서 건강기능식품에 대한 관심이 높아지고 있다. 고령화 추세에 맞춰 국내외에서의 관련 수요가 급증하면서 건강기능식품이 차지하는 비중도 꾸준히 늘어나는 모습이다. 특히 고령화 속도가 상대적으로 빠른 한국도 건강식품 열풍은 예외가 아니며, 국내 시장이 2013년 1조 7,920억원 규모까지 성장하였으며 시장은 계속 증가하고 있다.
- 점차 소비자의 건강기능식품에 대한 의식이 달라지고 있기때문에 올바른 건강기능식품의 연구개발과 제조판매를 통해 국민의 건강유지에 도움이 되는 건강기능식품 산업은 지속적으로 발전할 것으로 기대된다.
- 특히, 약용식물을 이용한 건강기능성 식품의 시장은 건강에 대한 관심과 고령인구의 증가로 꾸준히 증가하고 있는 추세이다.

### 가. 향부자

- 향부자는 사초목 사초과의 다년생 작물로서 중국, 일본, 한국 및 인도에서 잘자라며(Dassanayake and Fosberg, 1985). 따뜻한 기후와 사양토에서 생육이 좋으며 가뭄에 강하지만 장기침수에도 잘 버텨 낙동강 연안에 주산단지가 형성되어 있어(Kim et al., 1997). 염도에 비교적 높은 간척토양을 대상으로 내염성이 있는 것으로 판명되었다. 이에, 대규모 재배관리 하에서 대량생산 가능성을 검토 및 재배기술 개발을 통하여 간척농지 대상의 신작물로서의 생산 가능성을 판단할 필요가 있다.
- 덩이줄기 주요 성분에는 cyperol, flavonoids,  $\beta$ -sitosterol, ascorbic acid, polyphenols, cypene, sesquiterpenoids 등의 성분이 있다(Sonwa and Konig, 2001). 특히 향부자의 뿌리는 자궁내막증 억제작용, 진통작용 및 해열작용에 도움을 주고(Hwang et al, 2012), 염증 및 피부 발진을 완화시켜 약용으로 사용되고 있다(Pal and Dutta, 2006).

### 나. 방풍

- 방풍은 산형과의 다년생초본으로 갯기름나물이라고도 불리며, 방풍 뿌리를 식방풍이라고 한다(Lee et al., 2015). 주로 어린잎을 수확하여 무쳐먹거나 뿌리의 경우에는 약용으로 사용되기도 한다(Jin et al., 1992). 방풍의 성분은 coumarin계 물질의 주성분으로 peucedanol, umbelliferone 등의 성분이 있다(Shin et al., 1992). 방풍의 뿌리는 풍을 막아주는 효과가 있어 사지의 근육경련과 증풍으로 인한 반신불수나 마비 등에 사용되는 약용작물로서 쓰이고 있다(Song et al., 2010).
- 특히 농림축산식품부에서 실시한 ‘2017년도 특용작물 생산실적’ 자료에 따르면 17년도 향부자의 재배면적은 24 ha, 생산량은 130 M/T (Metric Ton) 이고, 서울 경동 약령시장을 기준으로 비교해본다면 98년도 1,600원/600g에서 17년도 5,700원/600g로 도매 단가 또한 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 또한 방풍나물의 경우 17년도 재배면적은 164 ha, 생산량은 1,602 M/T이며, 97년도 104 ha, 471 M/T에 비해 생산량이 약 3.5배 정도 더 증가하였다. 이러한 이유로, 가뭄 및 장기침수에 강하고 척박한 사양토에서 생육이 좋은 향부자

의 특성과 해안사구에서 자생하는 갯방풍의 특성으로 볼 때, 쌀을 대신하여 간척지 토양에서 재배하여 수익을 낼 수 있는 고부가가치 작물로서 향부자와 방풍나물을 고려해 볼만한 가치가 있었고 두 작물을 선정하게 되었다.

## 2-6 간척농지 안정적 재배기술 개발

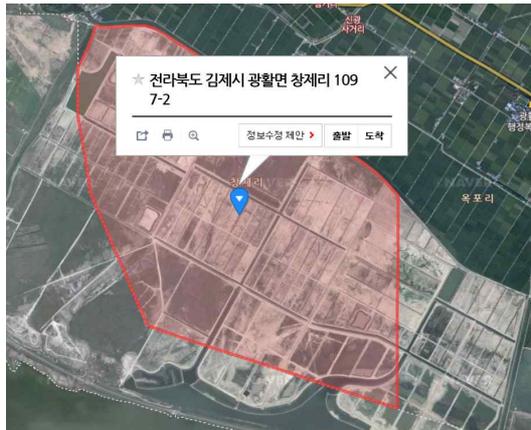
### 2-6-1 [1차년도] 온실재배를 통한 방풍, 향부자 적정 지하부 EC한계 농도 검증

#### 가. 연구내용

- 새만금 간척지는 점토질 성분이 많고, 일반 토양에 비하여 염분농도가 높기 때문에 작물 생산량이 감소하거나, 생리적 장애를 유발시킬 수 있다. 따라서 간척지 토양의 경우 배수성을 향상시키기 위해 암거배수를 설치해야 하며 암거 설치 간격 또한 토양의 물리성을 확보하는데 중요하다.
- 따라서, 1년차 연구에서는 간척지 두 곳의 토양 분석을 실시하여 실제 재배토양의 물리화학적 특성(토양 전기전도도 분석 포함)을 분석하였다.

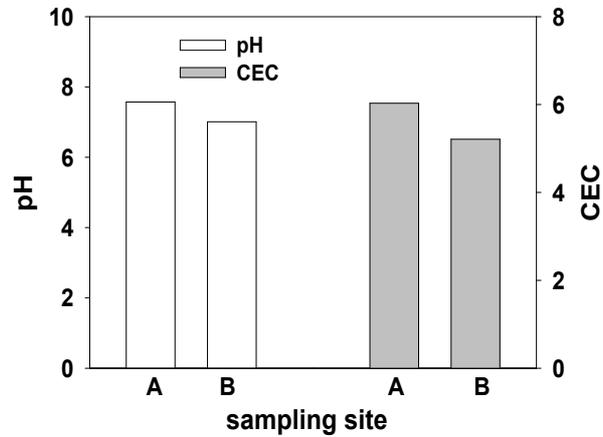
#### 나. 연구결과

##### 1) 토양분석



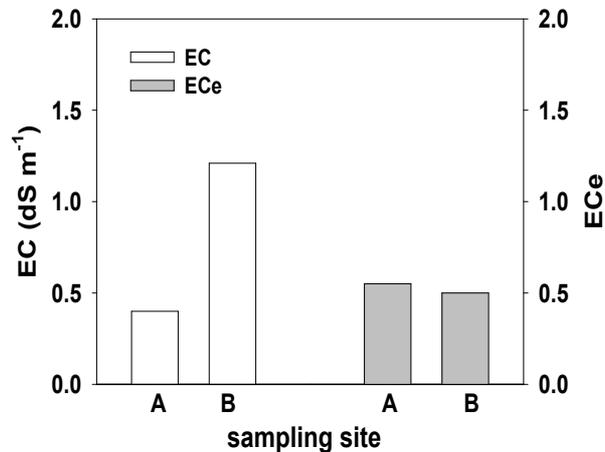
[그림 51] 새만금 시험포 (전북 김제시 광활면 창제리 1097-2)

- 토양시료는 구역별로 채취한 후 충남대학교 농업과학연구소 토양분석센터 의뢰하여 분석하였다.



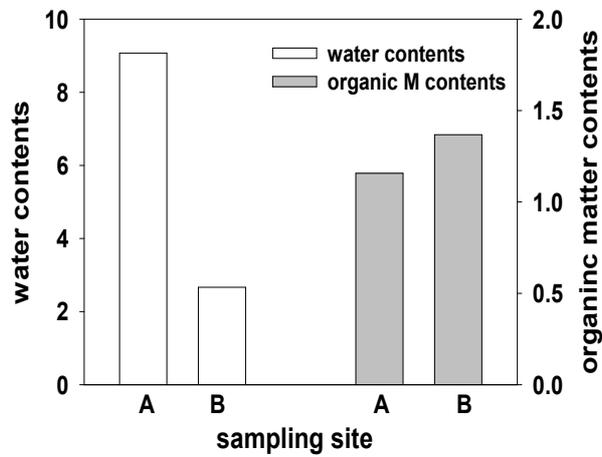
[그림 52] 간척지 토양의 위치에 따른 토양 pH와 CEC

- 토양의 pH는 작물 생육에 적절함 범위라고 할 수 있는 6.5의 약산성에서 좋은 조건을 가지고 있으나, 금회 실시한 간척지 토양 시료의 pH는 7.5와 7.0이 검출되어 약간 높은 경향을 나타내었으나, 실질적으로 6.0~7.5수준까지는 각 이온의 흡수에 큰 장애는 없다.



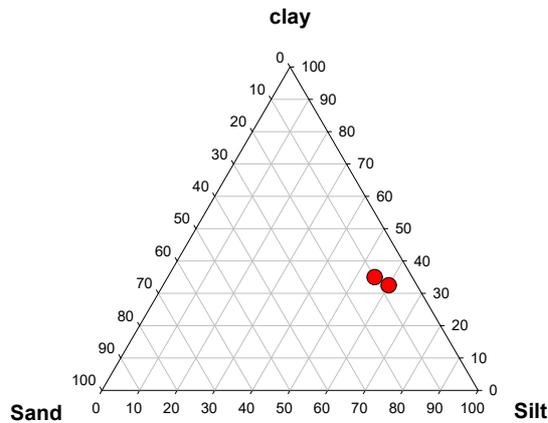
[그림 53] 간척지 토양 위치에 따른 토양 EC와 ECe

- 토양과 관개수의 EC는 작물에 대한 염류장애를 판단하는 중요한 화학적 지표이며, 토양 포화반죽의 전기전도도(ECe)가 0-1 dS m<sup>-1</sup>일 경우 작물생육에 대한 염류의 영향은 작다고 할 수 있기 때문에, 비염류토양으로 분류할 수 있다. 따라서 본 시료의 ECe가 0.5 수준이었기 때문에 특별히 염류가 높다고 할 수 없다.



[그림 54] 간척지 토양 위치에 따른 토양 함수량과 유기물 함량

- 토양 수분 함량은 두 샘플에서 차이가 컸으나, 유기물 함량의 경우 거의 유사하였으며 1.0-1.5%는 토양 1kg에 10-15g 유기물이 함유되어 있다는 뜻으로 매우 낮은 값을 나타내고 있다.



[그림 55] 간척지 토양의 위치에 따른 토성 분석 (sandy loam)

- 토양성분을 분석결과 두 토양 모두 sandy loam 토양을 분석되어 작물재배에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

2) 원예용 상토 및 간척지 토양을 이용한 방풍과 향부자의 적정 한계 EC 수준 분석 및 검증

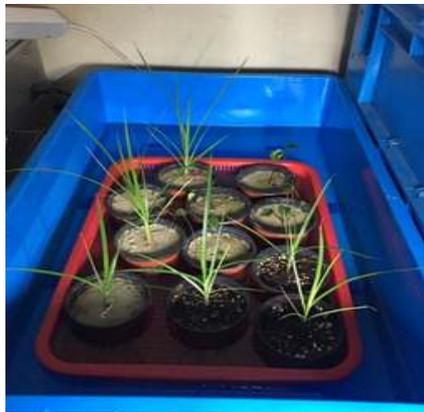
① 작물 파종 및 육묘 조건

- 대상 식물인 방풍 *Glehnia littoralis* F. Schmidt과 향부자 *Cyperus rotundus* L. 종자를 분양받아 파종 후 8주의 육묘기간을 거쳐 이식하였다.
- 종자는 3일간 침종 처리하여, 원예용 상토가 잘 충진된 플러그 트레이 직접 파종하였

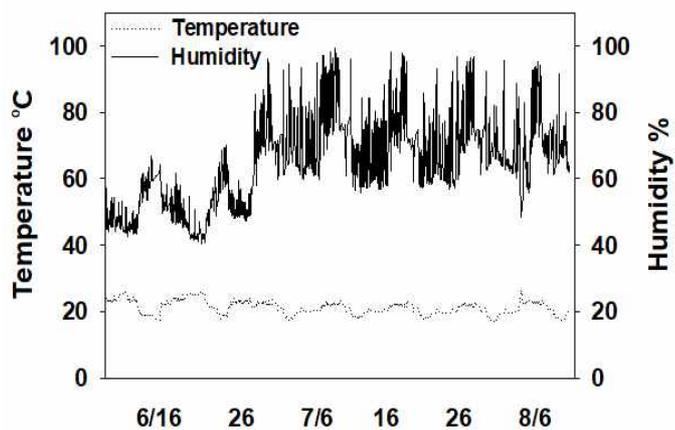
으며, 발아 조건 27°C 에서 약 3일간 발아시켰으며, 이후 22°C 도 조건으로 옮겨서 육묘를 실시했다.



[그림 56] 향부자 유묘 상태



[그림 57] EC 농도별 처리시 저면관수 모습



[그림 58] 생육기간 중 온습도의 변화

- 생육환경은 온도 20°C~23°C, 습도 50~60%, 일장은 각각 16h/8h (day/night)로 처리하였으며, 광도는 180~200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 저면관수 시 서로 위치를 바꾸어 동일한 광조건으로 처리하였다.

- 전북 김제시 광활면 창제리 부근 새만금 시험포에서 직접 채취한 간척지 토양 450g을 직경 10cm포트에 담아 Hoagland Nutrient solution EC 1, EC 2, EC 4, EC 8의 농도별 처리구와 양액 대신 수돗물을 공급한 대조구(control)로 총 5개 처리구로 실험을 진행하였다.
- 단, EC 4, EC 8는 EC 2의 배양액 농도로 맞추어 NaCl로 EC 농도를 조절하였으며, EC 처리 시기는 주 2~3회 저면관수(bottom watering)로 일정한 시간으로 처리별 같은 시간 처리하였다.

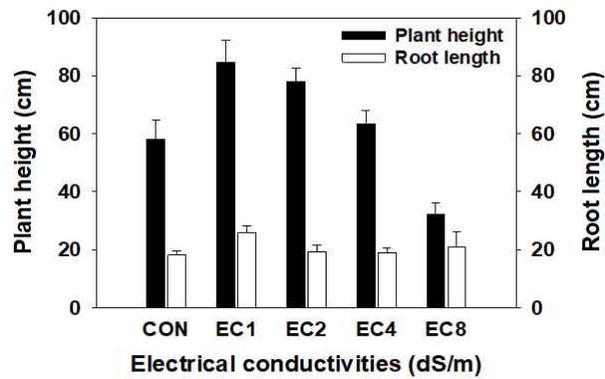


[그림 59] 이식 1주 후 향부자와 방풍 모습

- 생육데이터 분석은 정식과 함께 EC 처리 후 2주마다 3개월간 8회 실시하였으며, 생육데이터 조사항목은 초장, 엽수, SPAD, 엽면적, 생체중, 건물중 (지상부, 지하부)을 측정하였다.
- 향부자의 경우 뿌리 인편을 약용으로 이용하는 작물로서 덩이줄기수(뿌리인편수)를 추가로 조사하였고 EC 1 처리구에서 원예용상토와 간척지토양에서의 생육상태를 조사하기 위해 원예용상토 처리구를 두어 생육을 비교 분석하였다.

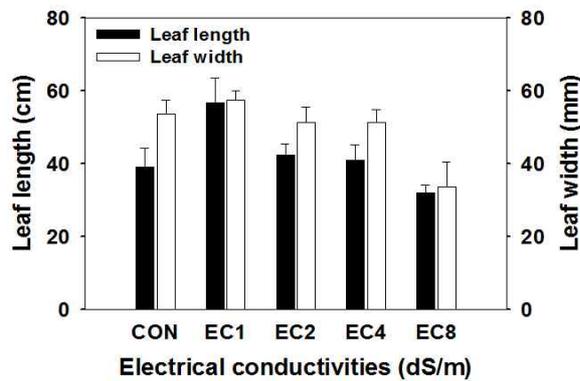
## ② 향부자의 적정한계 EC 수준 분석

- 간척지 토양에서 각각의 EC 농도 처리 후 12주 경과한 향부자의 생육조사를 실시하였다.



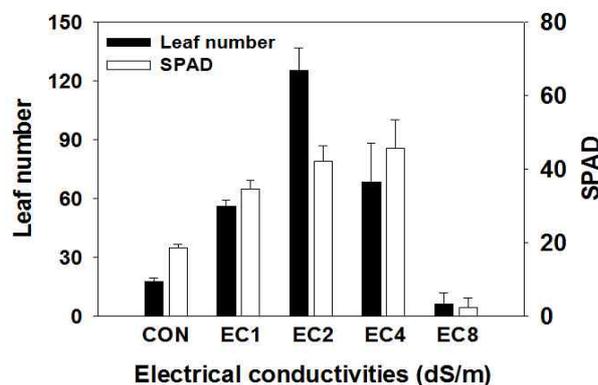
[그림 60] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자의 초장과 근장의 변화

- 향부자의 초장은 EC 1과 EC 2 처리구에서 가장 높은 경향을 보였으나 EC가 증가할수록 초장이 유의적인 차이를 보이며 감소하여 EC 8에서 현저히 감소하였다. 근장의 경우에는 EC 농도 처리구별 차이가 나타나지 않았다.



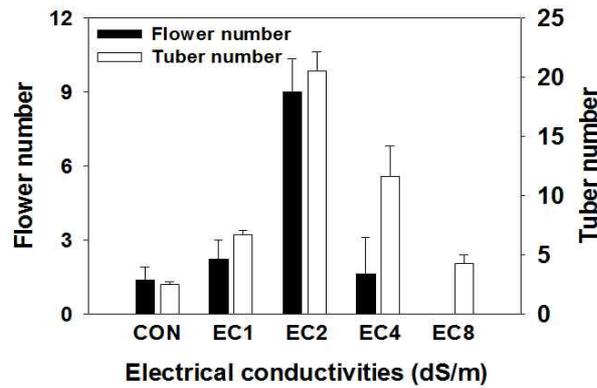
[그림 61] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자의 엽장과 엽폭의 변화

- 엽장과 엽폭은 EC 1에서 가장 높은 경향을 보였으나, 향부자의 길고 좁은 엽형의 특성상 EC 처리구별 차이가 적게 나타났다.



[그림 62] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자의 엽수와 SPAD의 변화

- 엽수는 EC 2 처리에서 유의적으로 높은 경향을 보였으며 EC 8에서 급격히 감소하는 경향을 보였다.
- 잎의 SPAD 값의 경우 EC 4, EC 2 처리구에서 비교적 높은 경향을 보인 반면, EC 8처리구에서는 현저히 낮은 경향을 보였는데 이는 EC 8처리구의 높은 염농도가 향부자 잎의 엽록소 파괴에 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

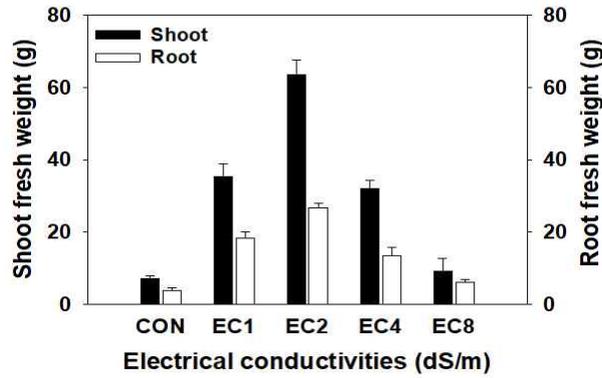


[그림 63] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자의 화방수와 덩이줄기수의 변화

- 화방수는 EC 2처리구에서 유의적으로 높았으며, EC 1, EC 4, 대조구 순으로 화방의 형성이 급격히 감소하였다. 특히 EC 8처리구에서는 전혀 화방이 형성되지 않아, 높은 염농도가 향부자의 화방 형성을 저해하는 것으로 사료된다.
- 인편수도 EC 2에서 유의적으로 높았으며 EC 8처리구와 대조구에서 가장 낮은 경향을 보인다.



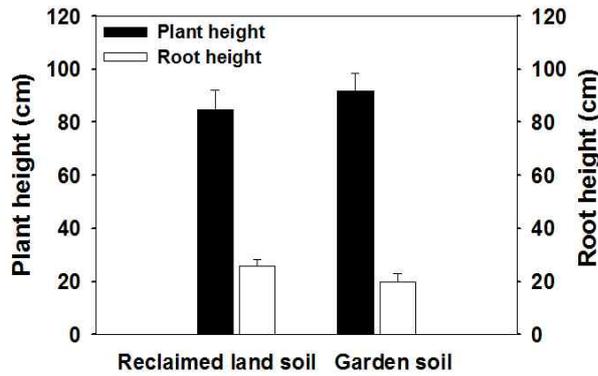
[그림 64] 동결건조 후 향부자의 뿌리인편 모습



[그림 65] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자의 지상부와 지하부의 생체중

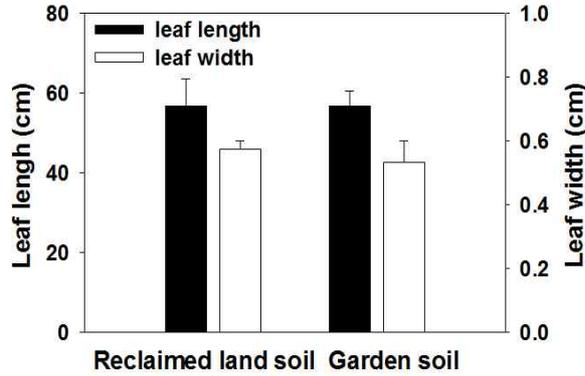
- 향부자의 생체중은 지상부와 지하부 모두에서 EC 2 처리구에서 유의적으로 가장 높은 값을 보였으며, EC 1, EC 4 순으로 생체중이 급격히 감소하였다.
- 모든 생육데이터를 비교해 보았을 때, 향부자 재배시 약용으로 쓰이는 향부자의 뿌리 인편의 활용을 감안한다면 뿌리 생체중이 가장 높은 EC 2 처리가 가장 적합하다고 판단된다.

③ 간척지토양과 원예용상토(Garden soil)에서의 향부자의 생육비교 (EC 1 농도 처리)



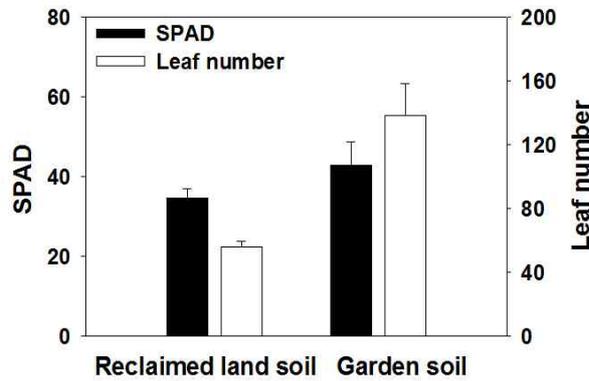
[그림 66] 간척지토양과 원예용상토에서의 향부자의 초장과 근장의 변화

- 새만금 간척지 토양과 원예용 상토에서의 향부자의 생육을 비교해본 결과, 초장과 근장에서 유의적 차이를 보이지 않았다.



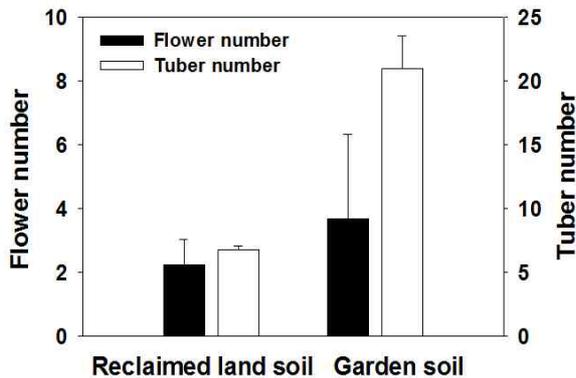
[그림 67] 간척지토양과 원예용상토에서의 향부자의 엽장과 엽폭의 변화

- 엽장과 엽폭은 유의적 차이를 보이지 않았으며, 초장과 근장도 비슷한 경향을 보였음. 이에 토양 특성이 엽장과 엽폭 변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다.



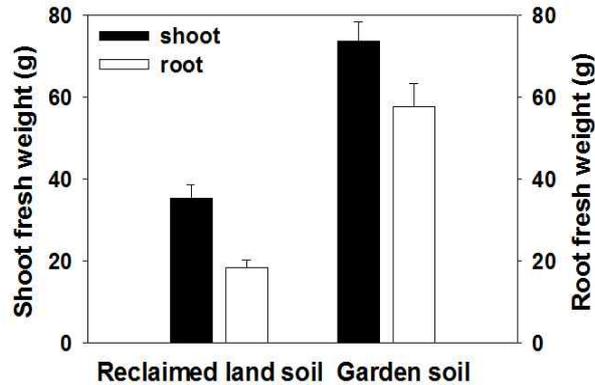
[그림 68] 간척지토양과 원예용상토에서의 향부자의 SPAD와 엽수의 변화

- SPAD값은 원예용 상토에서 재배한 향부자에서 높은 경향을 보였으나 유의적 차이는 확인 할 수 없었으며, 엽수는 원예용 상토에서 121% 많이 출현되어 토양의 특성이 향부자의 잎의 형성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.



[그림 69] 간척지토양과 원예용상토에서의 향부자의 화방수와 덩이줄기수의 변화

- 향부자의 화방수는 간척지 토양에 비해 원예용상토에서 다소 높은 경향을 보였으나 유의적 차이는 없었다.
- 인편수는 간척지 토양 보다 원예용 상토에서 유의적으로 매우 높은 경향을 보이므로 토양의 특성이 향부자의 인편 형성에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되며 향부자 인편의 생성에 토성이나 토양염도 등과 같은 조건이 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.



[그림 70] 간척지토양과 원예용상토에서의 향부자의 지상부와 지하부의 생체중의 변화

- 간척지 토양과 원예용 상토에서의 향부자의 생체중을 비교한 결과, 지상부와 지하부 모두에서 원예용 상토 처리구가 간척지 토양처리구보다 유의적으로 매우 높은 값을 보였으며, 원예용 상토 처리구는 간척지 토양과 비교하여 지상부 생체중은 104%, 지하부 생체중은 195% 증가하였다.

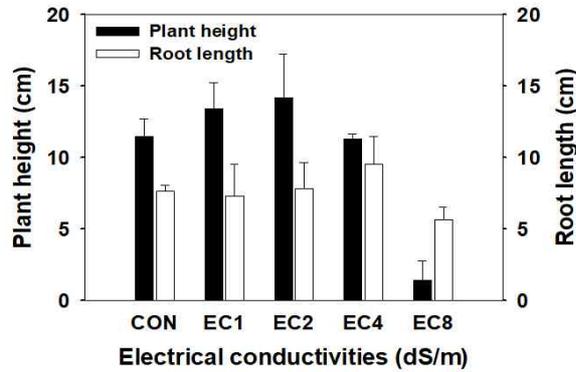
[표 19] EC 농도에 따른 간척지 토양에서 재배된 향부자

Treatments	생육상태	Treatments	생육상태
EC 0.2 (Tap water)		EC 1.0	
EC 2.0		EC 4.0	
EC 8.0			

- 본 실험 결과에 의하면 향부자의 적정한계 EC 수준은 2.0-4.0 사이라고 판단된다. 따라서 실제 토양의 염농도는 제염기술을 통하여 4.0 수준까지는 떨어뜨리는 것이 필요하다.
- 향부자의 덩이줄기의 개수가 원예용 상토와 비교하여 30-40% 수준으로 낮은 경향을 나타냈다. 덩이줄기의 기능성 분석을 통하여 실제 단위 덩이줄기 당 기능성 물질의 분석 또한 필요하다.

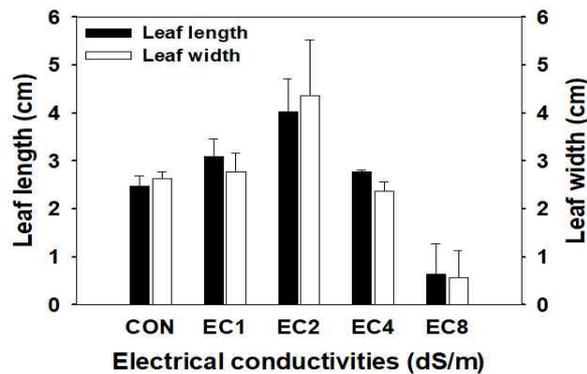
③ 방풍의 적정한계 EC 수준 분석

- 간척지 토양에서 각각의 EC 농도 처리 후 12주 경과한 방풍의 생육조사를 실시하였다.



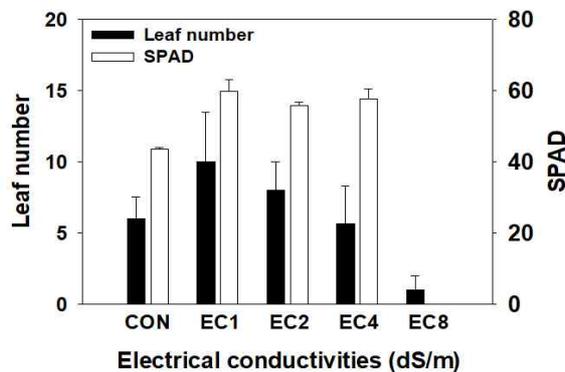
[그림 71] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍의 초장과 근장의 변화

- 간척지 토양에서 각각의 EC 농도처리별 방풍의 초장을 비교한 결과, EC 2처리에서 가장 높은 경향을 보였으나 EC 8을 제외하고 유의적인 차이는 나타나지 않았다.
- EC 1, 대조구, EC 4 순으로 감소하였으며 EC 8처리구에서는 지상부가 거의 고사하여 초장이 매우 낮은 경향을 보였다.



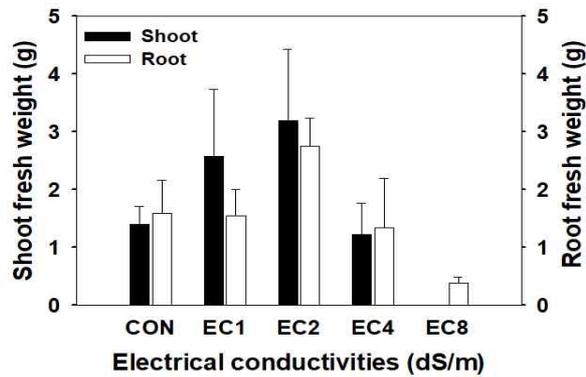
[그림 72] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍의 엽장과 엽폭의 변화

- 엽장 및 엽폭은 EC 2에서 가장 높은 경향을 보였으며, EC 1, EC 4, 대조구 순으로 감소하였고, EC 8처리구의 방풍의 지상부는 거의 고사하여 엽장이 현저히 낮게 나타났다.



[그림 73] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍의 엽수와 SPAD의 변화

- 엽수는 EC 1과 EC 2에서 높은 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 대조구와 EC 4에서 낮은 경향을 보였고, EC 8에서는 지상부가 거의 고사하여 현저히 낮은 경향을 보였다.
- SPAD 수치도 EC 2에서 가장 높은 경향을 보였으며 EC 8에서는 잎이 너무 작아 SPAD를 측정하기에 불가하였다.



[그림 74] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍의 지상부와 지하부의 생체중의 변화

- 지상부 및 지하부의 생체중은 EC 2에서 가장 높은 경향을 보였으나, EC 8을 제외하고 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

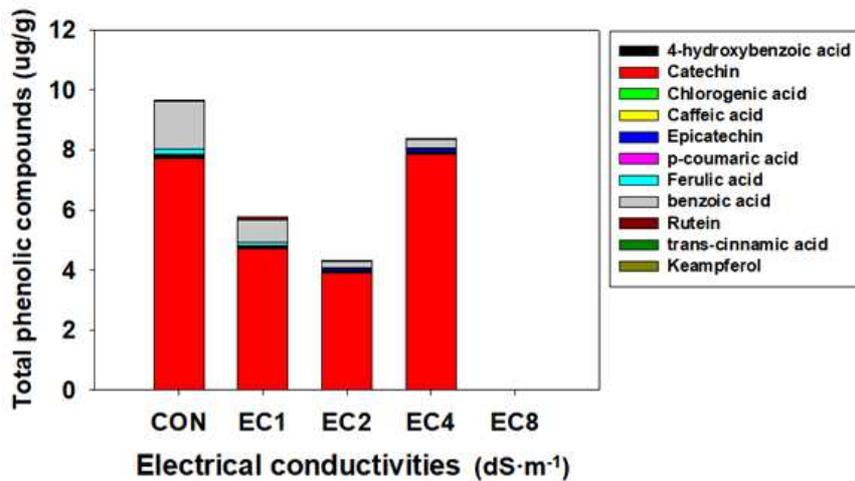
[표 20] EC 농도에 따른 간척지 토양에서 재배된 방풍

Treatments	생육상태	Treatments	생육상태
EC 0.2 (Tap water)		EC 1.0	
EC 2.0		EC 4.0	
EC 8.0			

- 방풍의 경우 간척지 토양에서 지상부 생육이 매우 느리고 근권부 생육발달도 제한적이며, 토양의 염류집적에 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.
- 결과적으로 새만금 간척지를 대상으로 고부가가치 약용작물의 선정에 있어 대상 작물을 넓혀서 생육이 정상적인 범위에서 가능한 타 작물 선정을 고려해 봐야 할 것으로 사료되었다(예: 홍화, 번행초, 갯씀바귀 등).

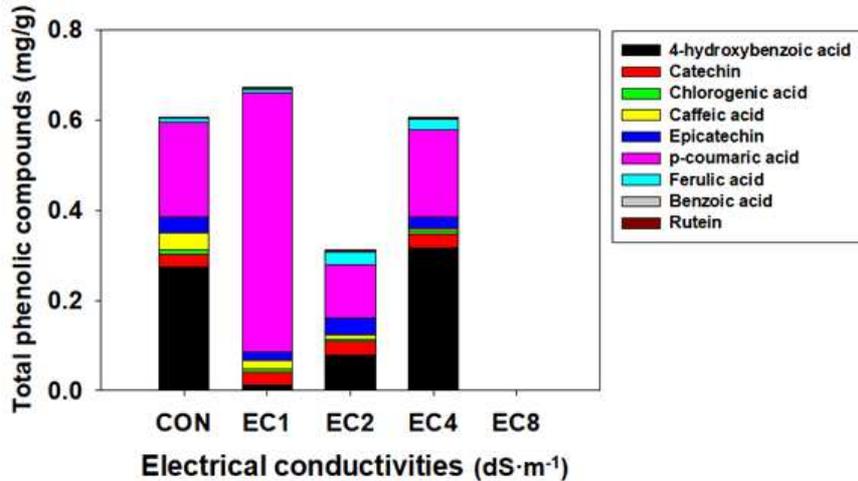
3) 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자와 방풍의 기능성 물질 분석

- HPLC를 이용하여 phenolic compounds를 정량분석하였다.



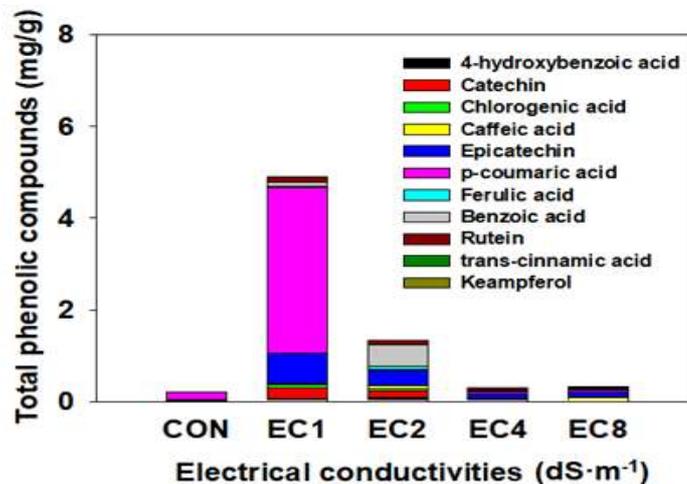
[그림 75] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍의 지상부의 phenolic compounds의 변화

- 방풍의 지상부 중 특히 어린잎과 줄기는 향기가 좋아 산채로 이용 가치가 높은 식물이며, 자연산 도라지, 산더덕, 잔대와 같이 비슷한 약리적 효과가 있으며 페놀함류량이 많은 약초류에 속함. 또한 바다의 온갖 영양분을 깨끗하게 정화 시켜 식물체 내부에 축적하여 미네랄 등의 천연 영양분도 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 주로 고혈압이나 뇌졸중으로 발생하는 중풍을 예방해 줄 수 있으며 해독 효능이 있어 해열, 진통, 신경통에 잘 이용된다. 이러한 방풍의 지상부에는 catechin 이나 caffeic acid 등의 함량이 높은 것으로 검출되었고, 특히 EC가 증가될수록 증가하는 경향이었으나, 대조구에서 보다 높게 나타났다.



[그림 76] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 방풍 지하부 phenolic compounds의 변화

- 방풍의 뿌리는 두통을 없애고 머리를 맑게하며 정기를 북돋아 주는 효능이 있는 약재로 스트레스를 받는 현대인들의 정신건강에 좋다고 알려져 있다. 갯방풍 지하부의 경우 benzoic acid와 4-hydroxybenzoic acid 함량이 높았는데, 특히 EC 1  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-2}$  처리구에서 대조구 보다 2.5배 높은 benzoic acid 함량을 보였다. 4-hydroxybenzoic acid의 경우 EC 4  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-2}$  처리구에서 가장 높은 함량을 보였으나 대조구와의 유의적 차이는 보이지 않았으며 EC1과 2  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-2}$  처리구의 경우 대조구보다 낮은 함량을 나타낸 것으로 보아 EC 농도에 따른 4-hydroxybenzoic acid 함량은 연관이 없는 것으로 사료된다. 초기에 높은 EC 수준이 물질 함량을 증대시킬 수 있지만 시간이 경과함에 따라 적절한 EC 값의 물질 함량이 더 좋은 것을 알 수 있었으며 높은 EC 값은 질소 결핍 등의 식물의 생육을 저해시킬 수 있는 것으로 사료된다. 따라서 높은 함량의 페놀을 확보하기 위해서는 더 높은 EC 조건에서 재배의 필요성도 느껴지지만, 작물의 생육 및 품질을 고려하여 적절한 EC 농도를 판단하여야 할 것으로 사료된다.



[그림 77] 간척지 토양에서 EC 농도 처리별 향부자 지하부 phenolic compounds의 변화

- 향부자의 지하부 덩이줄기 인편은 염증을 내리고 강한 살균작용이 있으며 염증 억제효과가 뛰어나며, 여성들의 스트레스성 질환과 월경 불순에 빠지지 않도록 하며 월경통을 멎게 하는 진통효과도 있어 부인병 치료에 매우 효과적이라고 알려져있다. 또한 신체뿐만 아니라, 정신 질환의 개선에도 좋다고 한다.
- 향부자는 지하부의 인편에서 많은 페놀을 함유하고 있기 때문에 지하부의 총 페놀함량을 조사했다. EC 1 dS · m<sup>-2</sup> 처리구에서 재배된 향부자에 다량 함유되어 있는 p-coumaric acid 함량이 3.6mg으로 매우 높게 나타났으며 대조구와 비교했을 때 3.5배 증가한 2차 대사산물이 축적되었고, EC 2 dS · m<sup>-2</sup>에서는 Benzoic acid가 대조구와 비교하여 매우 높게 나타났다. 이는 염 스트레스로 인해 산화적 스트레스가 유발되어 과다하게 발생하는 활성 산소를 제거하기 위한 방법으로 항산화효소 및 2차대사산물을 축적시킨다는 보고에 부합하며(Alsher and Hess, 1993), 간척지 토양의 적절한 물 관리를 통하여 근권의 염 농도를 낮출 수 있다면 향부자 생산이 가능할 것으로 판단되며, 이러한 향부자의 인편에 함유된 기능성 물질은 일반 토양에서 재배하는 것보다 증가될 수 있을 것으로 판단된다.
- 따라서 EC에 따른 향부자와 방풍의 생육 및 기능성물질 함량을 확인했을 때, 향부자와 방풍 모두 EC 2 처리구까지 생육이 증가하나 그 이후로 감소하는 경향을 보이며 특히 EC 8 처리구에서 생육이 저조한 것을 확인할 수 있었다. 또한 방풍에서는 지상부와 지하부 모두 EC 4까지 농도가 높아질수록 기능성물질의 함량이 증가하다가 EC 8에서는 함량을 분석할 수 없었고 향부자의 뿌리는 EC 1에서 가장 높은 기능성물질 함량을 보였다. 따라서 간척지 농지에서 향부자와 방풍을 재배할 때는 적어도 EC 4의 농도 수준에서 재배해야할 것으로 사료된다.

## 2-6-2 [2차년도] 간척지 내 작물 재배 및 성분분석

### 가. 연구내용

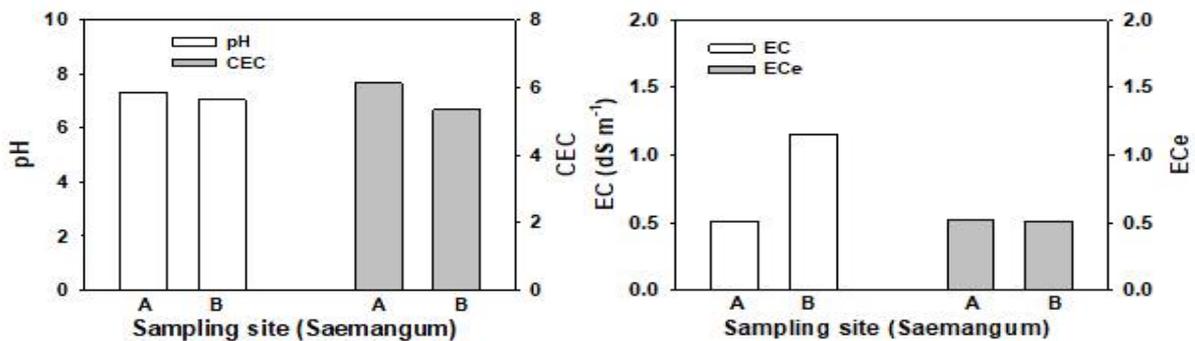
- 2년차 연구에서는 멀칭 유무에 따른 작물의 생육 재배를 비교하여야 하나, 비멀칭 구간의 잡초 제거에 어려움을 겪어 멀칭 재배 실험을 대신하여 암거배수를 5m 간격 설치한 것과 10m 간격으로 설치한 2가지 처리구를 두어서 작물재배실험을 실시하였다. 또한 새만금 간척지 대상 임차한 농지가 크지 않고 타 간척지에서의 실험도 필요하다고 판단되어, 중부지역의 대표적인 간척지인 석문지구 간척지 일부를 임차하여 암거배수를 5m 간격 설치한 것과 10m 간격으로 설치한 2가지 처리구를 두어서 배수조건에 따른 재배실험과 생육 분석을 실시하였다.
- 간척지를 중심으로 고부가가치 작물의 재배에 관심이 높아지고 있으며, 간척 토양의 특성에 맞는 약용작물 및 원예작물 선발을 위한 재배실험을 실시하였고, 향부자와 방풍의 주요 작물 이외에 엽채소 2작물, 뿌리식물 2종을 추가하여 재배실험 실시하였다.
- 2곳의 간척지 토양(새만금지구, 석문지구)에서 향부자, 방풍, 엽채류 2종(상추, 치커리), 뿌리작물 2종(강황, 감초) 의 묘종(알뿌리)을 정식하여 배수설치간격에 따른 생육분석을 실시하였다.

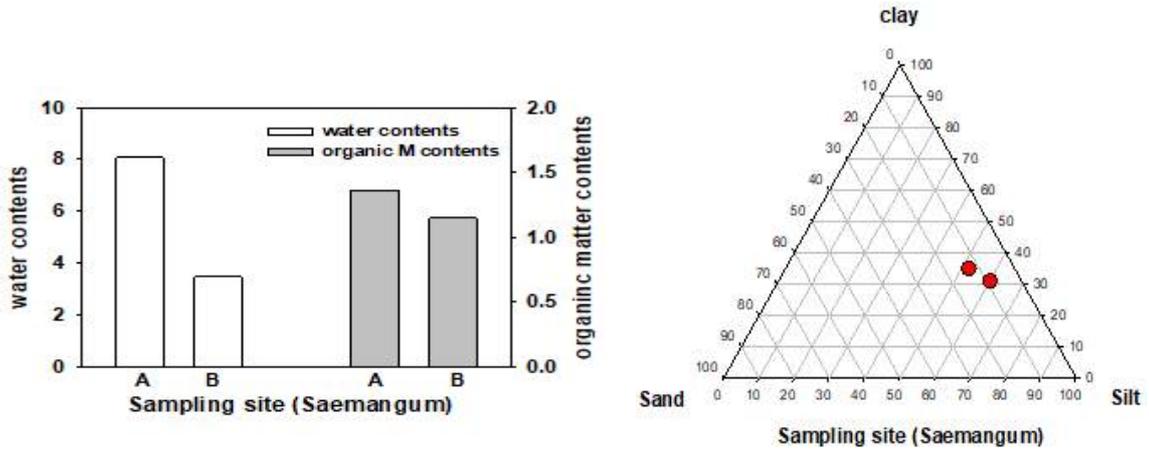
### 1) 토양분석

#### ① 새만금지구

- 주소 : 전북 김제시 광활면 창제리 1097-2 (전북대학교 시험포 일부)

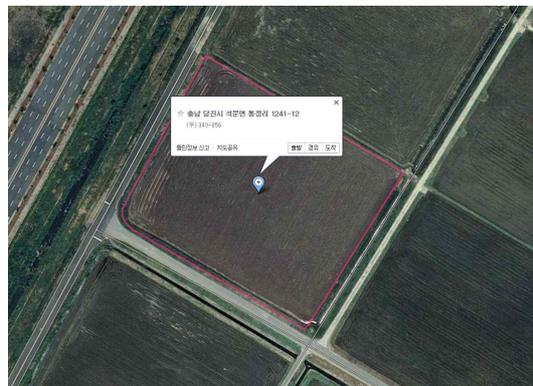
#### ② 분석결과





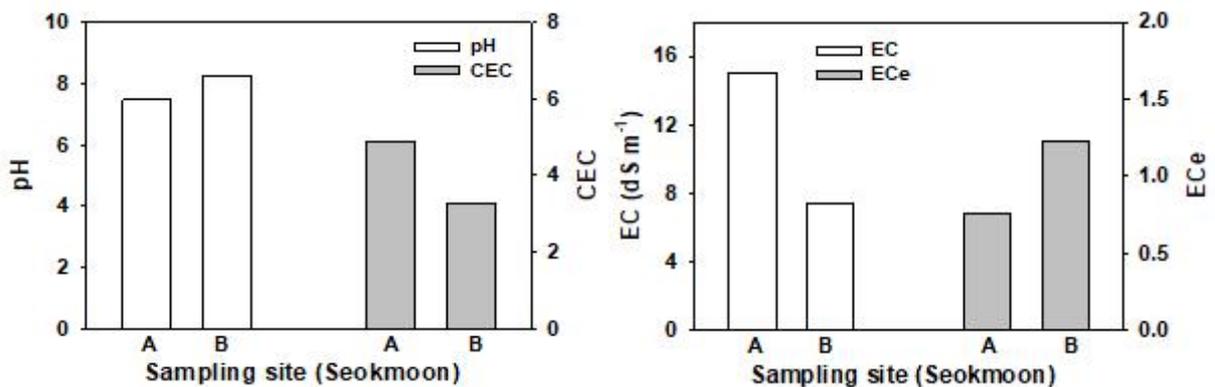
[그림 78] 새만금 2곳의 토양분석 결과

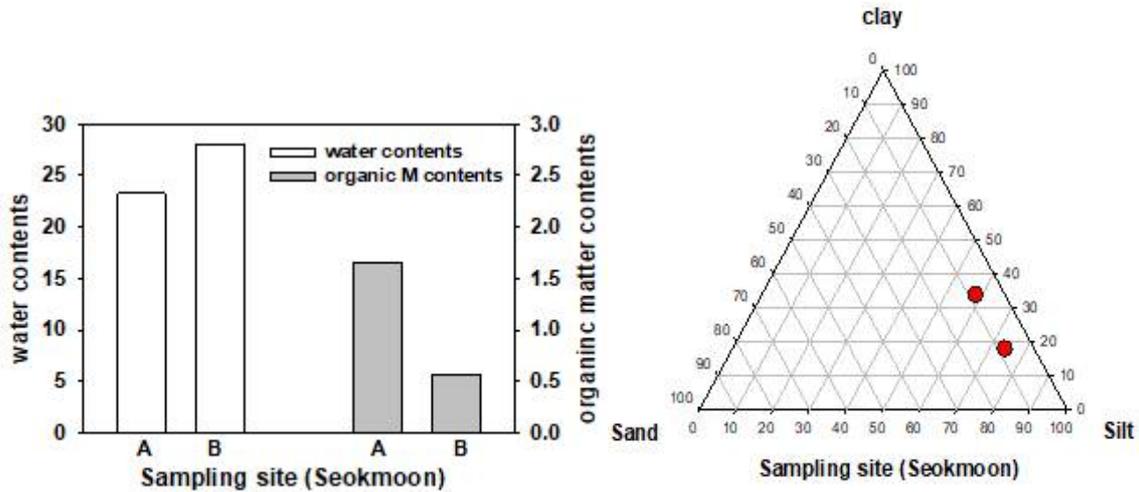
③ 석문지구



- 주소 : 충남 당진시 석문면 통정리 1241-12

④ 분석결과





[그림 79] 석문지구 2곳의 토양분석 결과

- 새만금 토양의 pH는 7.0~7.4 범위에서 관찰되었다. 근권의 pH에 따라서 토양에 용해되어 있는 양이온 또는 음이온의 흡수되거나 잘 되지 않는 조건이 형성되기 때문에 매우 중요한 인자라고 할 수 있으며, 일반적으로 5.8-6.5의 범위에서 모든 이온들이 잘 흡수되는 조건이기 때문에 그러한 범위에서 관리하는 것이 매우 바람직하나, 현재 새만금의 7.0-7.4 범위는 완벽한 범위는 아니지만, 일부 미량원소의 흡수에 문제가 발생될 수 있으므로, 향후 추비로 항산철과 같은 pH를 낮춰 줄 수 있는 시비를 고려해야 한다. 특히 석문의 1개 샘플 사이트에서 검출된 pH 8.25는 작물이 정상적으로 자랄 수 없는 범위이므로 가능한 산성비료를 기비와 추비로 관리해 주어야 한다.
- 토양과 관개수의 EC는 작물에 대한 염류장애를 판단하는 중요한 화학적 지표이며, 토양 포화반죽의 전기전도도 (ECe)가 1.0 dS m<sup>-1</sup>일 경우 작물생육에 대한 염류의 영향은 작다고 할 수 있기 때문에, 비 염류토양으로 분류할 수 있다. 새만금 샘플의 ECe가 0.5 수준이었기 때문에 특별히 염류가 높다고 할 수 없으나, 석문지구의 ECe는 1.5 수준으로 높고, ECE도 7.5와 15 dS m<sup>-1</sup> 로 매우 높았기 때문에 석문지구의 토양은 전형적인 간척농지 토양이라고 할 수 있고, 작물 재배에 있어서 매우 힘든 지역으로 분류할 수 있다.
- 새만금 샘플의 토양 수분함량은 4-8% 수준을 나타낸 반면, 석문 샘플의 경우 23-28% 수준을 나타내었다. 두 지역의 최근 강우 일수 등을 고려하면 현재 토양수분함량은 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단되고, 유기물 함량의 경우 두 지역이 거의 유사하였으며 (새만금 1.0-1.5%, 석문 0.5~1.5%) 그 함량은 매우 낮은 수준으로 나타났으며 유기물 시용의 필요성이 있다.
- 토양의 성분을 분석한 결과 두 토양 모두 sandy loam 토양을 분석되었으며 관수 문제가 해결된다면 작물재배에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 2) 통계분석

- 현장에서 작물 생육분석을 통해서 획득한 data는 SPSS (ver. 22)를 이용하여 ANOVA분

석을 수행하였다.

## 나. 연구결과

### 1) 육묘

- 향부자는 1차년도에 예비실험을 통해 수확한 작물로부터 직접 채종하여 사용하였으며, 채종한 종자를 아산셀타육묘장에서 2018년 4월 9일에 3일간 침종 처리하여, 원예용상토가 충전된 트레이에 직접 파종하였다. 발아 조건 27°C 에서 약 3일간 발아시켰으며, 이후 22°C 도 조건으로 옮겨서 육묘를 실시하였다.
- 방풍은 강원농업기술센터에서 육묘 후 충남대학교 온실에서 온도 0°C~23°C, 습도 50~60%, 일장은 각각 16h/8h (day/night), 광도 180~200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 의 조건으로 일주일간 순화기간을 거쳤다.
- 추가 원예작물로는 상추와 치커리, 약용작물로 강황과 감초를 선정하였으며, 원예작물 2종은 시중에 판매되는 종자를 구매하여 향부자와 동일한 조건으로 육묘되었고, 약용작물 2종은 재배농가로부터 알뿌리를 공급받았다.





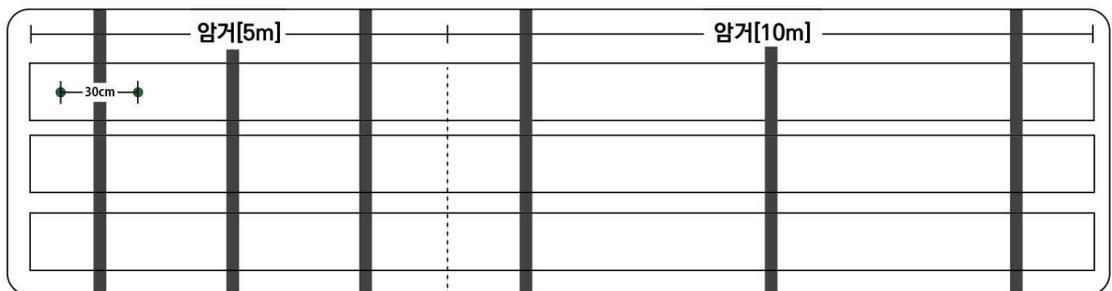
[그림 80] 향부자(상좌), 방풍(상우), 상추(중좌), 치커리(중우) 강황(하좌), 감초(하우)의 육묘중인 모습



[그림 81] 방풍 순화모습

## 2) 재배

### ① 새만금 지구



□ : 시험포 □ : 두둑 ■ : 암거관 ● : 식물

- 새만금 시험포는 암거 5m와 10m로 밑넓이 80m, 위 넓이 0.6m 의 조건으로 두둑을 형성하고 검정색 멀칭비닐을 이용하여 6줄을 구성되었다. 30cm 간격으로 6개 작물을 정식하였다.
- 계획으로 5월 초순 정식예정이었으나, 강우로 인하여 간척지 배수 불량으로 로터리 기계가 작업을 할 수 없는 상태가 지속되어 6월 8일 정식하게 되었다. 방풍의 경우 한 묘종 당 3개를 묶어서 정식하였으며, 향부자와 상추, 치커리는 1주씩 정식했다.



[그림 82] 정식 후 작물 재배 모습(새만금)

### ② 시험포 물관리

- 물탱크(5톤) 안에 공급되어있는 물을 이용하여 2일 간격으로 타이머 방식을 이용하여 아침 6시에 0.5시간동안 점적호스를 통해 작물에 관수하였다.

### ③ 작물생육조사

- 정식 후 5주차부터 향부자와 방풍의 생육 조사를 실시하였으며 향부자의 경우 초장과 SPAD, 생체중을 측정하였으며, 방풍의 경우 초장과 근장, 엽수와 SPAD 지상부와 지하부 생체중을 측정하였다 (n=5).

### ④ 작물성분분석

- 멸칭 유무에 따른 방풍의 물질 함량 차이를 확인하기 위해 정식 후 15주차, 25주차 총 두 번에 걸쳐 HPLC 분석을 실시하였다. 수확된 향부자와 방풍을 액체 질소에 동결시키고, deep freezer에 -70℃로 보관한 후, 동결 건조기를 이용하여 3일간 건조시켰다. 동결건조 한 시료 0.1 g을 분말로 만들어 80% MeOH 2ml에 넣은 뒤 진동혼합 후 1시간 동안 음파처리(sonication) 하였다. 그 후 원심 분리기를 이용하여 12000 rpm으로 10분간 원심분리 하였으며, 원심분리 된 시료의 상층액만 추출하여, 0.45  $\mu$ m syringe filter로 필터링 한 뒤, vial병에 넣어 HPLC를 이용하여 페닐프로파노이드 분석을 수행하였다.

## 3) 멸칭 · 비멸칭 비교 결과

- 연구내용으로 계획한 멸칭과 비멸칭의 처리구간 생육 비교를 위하여 비멸칭 재배를 수행하였다.



[그림 83] 치커리 멀칭과 비멀칭 재배에서 잡초의 영향

- 새만금은 작물 생육이 비교적 잘되는 곳이므로 상기 그림에서 확인할 수 있듯 비멀칭 구간은 잡초가 매우 무성하게 자란다. 연구기간동안 작물재배를 진행하기 위해선 지속적으로 제초작업이 필요했으나, 전북대학교 새만금 시험포를 담당하시는 전북대학교 지역건설공학과 송박사님께서 비멀칭구간 제초를 위하여 제초제를 사용할 경우 강풍으로 인해 타재배지 및 타작물에 많은 영향을 미칠 뿐만 아니라, 관리비로만 3,000만원/ha의 비용이 소요된다고 한다. 새만금 지역에서 밭농사를 짓는 모든 농가들은 100% 멀칭을 하고 있었다.
- 이에, 비멀칭 재배는 문제점 파악 및 해결방안 보완 후 계획을 수정하여 추후 재실험을 진행하고자한다.

#### 4) 암거간격 비교 결과

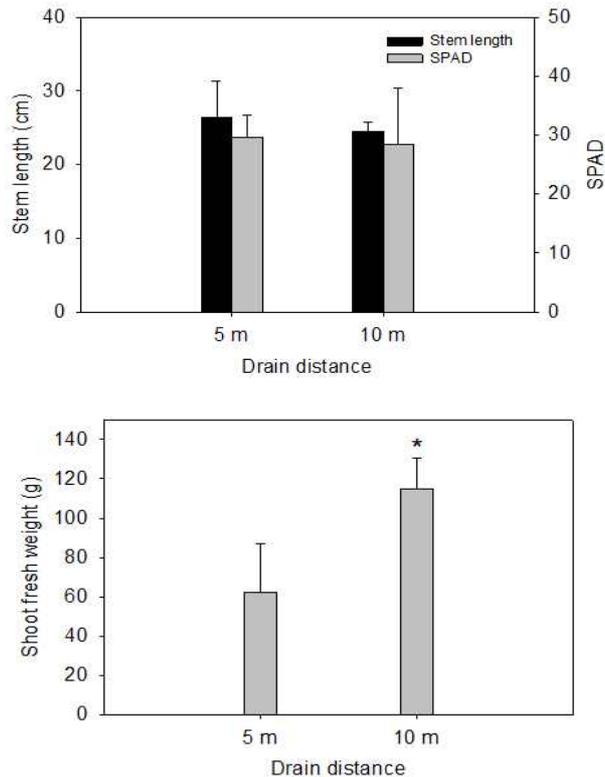
##### ① 향부자



[그림 84] 정식 후 5주차 향부자 (좌-5m 암거, 우-10m 암거)

- 향부자의 멀칭 암거 5m와 암거 10m의 생육조사 결과 5주차의 생장은 전체적으로 육안으로 문제가 없어보였으며, 암거 5m 처리에서 자란 향부자가 암거 10m에서 자란 향부자보다 화서의 형성이 늦어지는 경향으로 보였다. 이에 따라, 암거 5m에 비해 암거 10m로 처리한 토양에서 뿌리 형성과 잎의 수가 더 발달 된 결과를 관찰할 수 있었다. 상식적으로 5m 간격으로 설치된 암거에서 배수성이 더 좋기 때문에 생육에 좋은 영향

을 주어야 하지만, 10m 암거 설치 토양에서 더 좋은 결과가 나왔다는 것은 그만큼 강우가 내리지 않으면서 토양의 유효수분 함량, 토양 염도 등에서 조건 매우 좋지 않아, 배수성이 좋은 토양에서 생육이 좀 더 더딘 결과를 나타냈다고 판단된다.



[그림 85] 정식 후 5주차 향부자 초장과 SPAD(상)  
지상부 생체중(하)

- 향부자의 초장은 암거 5m 처리구에서 평균값이  $26.4 \pm 4.8$  cm이고, 암거 10m 처리구에서 생육한 향부자의 초장은  $24.5 \pm 1.2$  cm였다. 향부자의 경우 암거 새만금 간척지 토양에서 암거의 설치 간격과 상관없이 균일하게 잘 성장하는 것으로 보이며 SPAD값은 두 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다.
- 화서의 성장에서 차이를 보이는 것은 분명히 토양 수분 또는 토양염도 스트레스에 의해서 생육의 저하를 보인 것과 그렇지 않은 차이로 인식할 수 있다. 그 결과 지상부의 생체중에서 화서의 발달 유무에 따라서 10m 간격의 암거 설치구에서 향부자의 생체중이 유의적으로 높은 값을 보였다. 5m 간격으로 암거를 설치한 처리구의 생체중은  $62.3 \pm 24.2$  g 이었으며, 10m 간격으로 처리구의 생체중은  $114.8 \pm 15.4$  g으로 약 1.8배 증가하는 경향을 보였다.
- 결과적으로 육안상 생육에는 문제가 없으나, 지하부에 우리가 약용으로 사용하는 덩이 뿌리가 자라게 되는데 [그림80] 에서 나타나듯 생성되지 않았으므로 이 점은 보완이 필요하다.



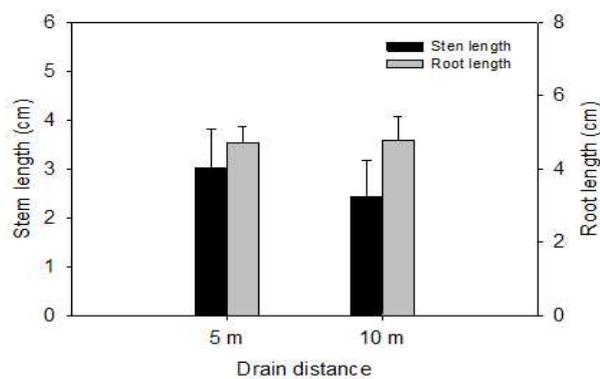
[그림 86] 향부자 지하부

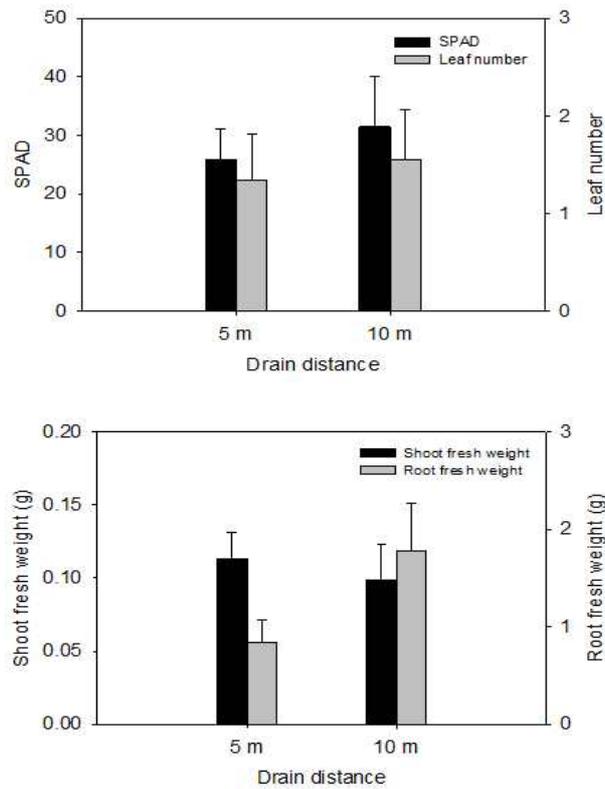
② 방풍



[그림 87] 방풍의 정식 후 5주차 생육 (좌-5m 암거, 우-10m 암거)

- 방풍은 정식 후 생육이 매우 더디게 진행되었다. 뿌리 활착이 늦어지는 경우가 많아 초기 활착을 위해서 관수를 매일 4일간 실시하였으나, 낮시간 높은 증발산으로 인하여 생육이 매우 더디게 진행되었다.





[그림 88] 정식 후 5주차 방풍의 초장, 근장(상)엽수, SPAD(중) 지상부 생체중, 지하부 생체중(하)

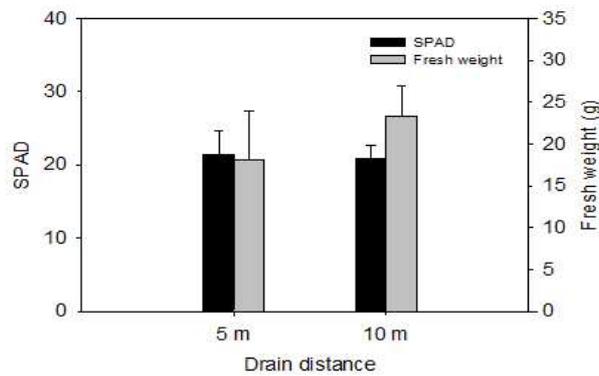
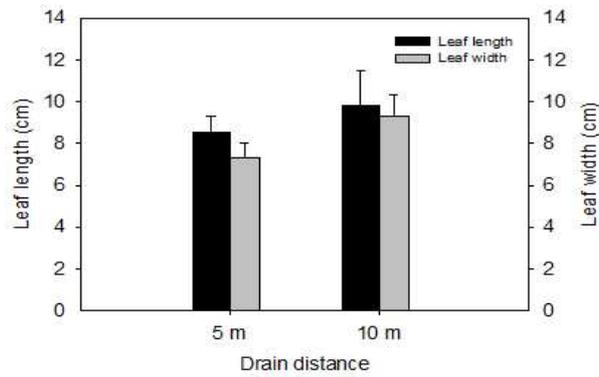
- 암거 설치 간격에 따른, 방풍의 생육은 두 처리간에 유의적인 차이는 보이고 있지 않았다. 평균값의 관점에서 암거간격 5m 처리구에서 10m 처리구와 비교하여 초장이 높았으며, 근장의 경우 두 처리구의 평균값 비교에서 차이가 나지 않았다.
- SPAD값과 엽수의 경우 평균값에서 10m 처리구에서 약간 높았으나, 유의적으로 차이를 보이지는 않았다.
- 지상부와 지하부 생체중의 비교에서 지상부는 5m 처리구에서 높았으며, 지하부의 생체중은 10m에서 높게 나타났다. 아직 시간을 두고 관찰해야 하지만, 6월부터 7월까지 무더위 속에서 작물의 생장은 매우 한계가 있으므로 정식 시기를 초기에 가져가야 할 것으로 사료된다.

### ③ 기타작물



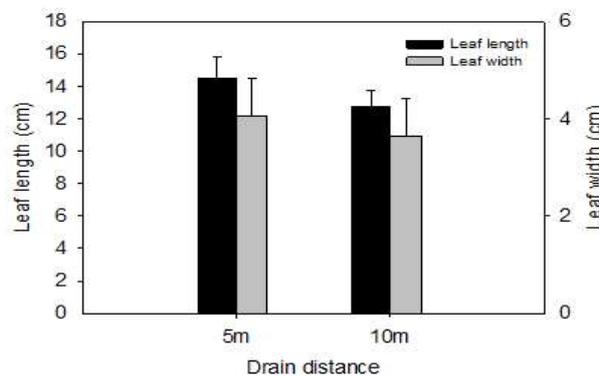
[그림 89] 정식 후 5주차 멀칭으로 재배되고 있는 상추(좌상) 치커리(우상) 감초(좌하) 강황(우하)의 모습

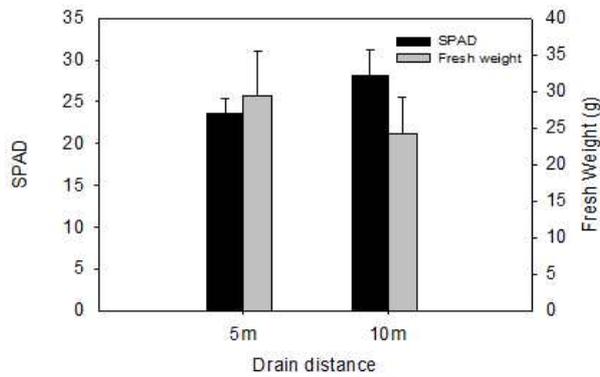
- 전체적으로 멀칭 처리구에서 기후 조건이 좋지 않았음에도 불구하고 어느 정도 생육을 했고, 각각의 생육 조사 결과를 보면 다음과 같다.
- 상추의 엽장, 엽폭 및 생체중 결과 값에서 암거간격 10m 처리구에서 평균값이 높은 경향을 나타내었으나, 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 지하부 수분 스트레스가 발생할 수 있는 조건에서 암거 간격은 10m 간격이 작물의 근권환경에 좀 더 좋은 조건을 형성했을 것으로 사료된다.



[그림 90] 정식 후 5주차 상추의 엽장, 엽폭, SPAD, 생체중

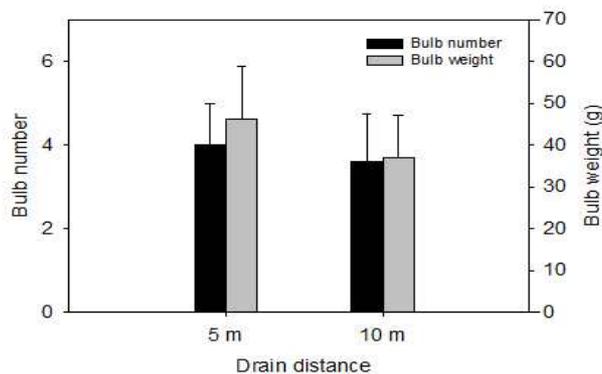
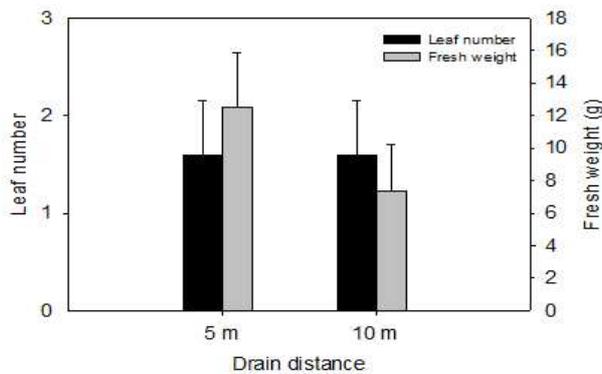
- 치커리의 엽장, 엽폭, 생체중과 같은 성장인자에서 5m 처리구에서 10m 처리구 보다 평균값이 높게 나타났으나, 유의적인 차이는 발생되지 않았다. 품질지수에서는 5m 처리구에서 2.4, 10m 처리구에서 2.2를 기록하여 약간의 차이가 발생되면서, 상품으로서의 품질에는 미치지 못하는 것으로 나타났다. 잎끝이 타는 팁변현상이 나타났으며 이는 증산이 잘 이루어지지 않은 조건에서 칼슘 결핍에서 오는 생리장해 현상이라고 판단된다.





[그림 91] 정식 후 5주차 치커리의 엽장, 엽폭, SPAD, 생체중

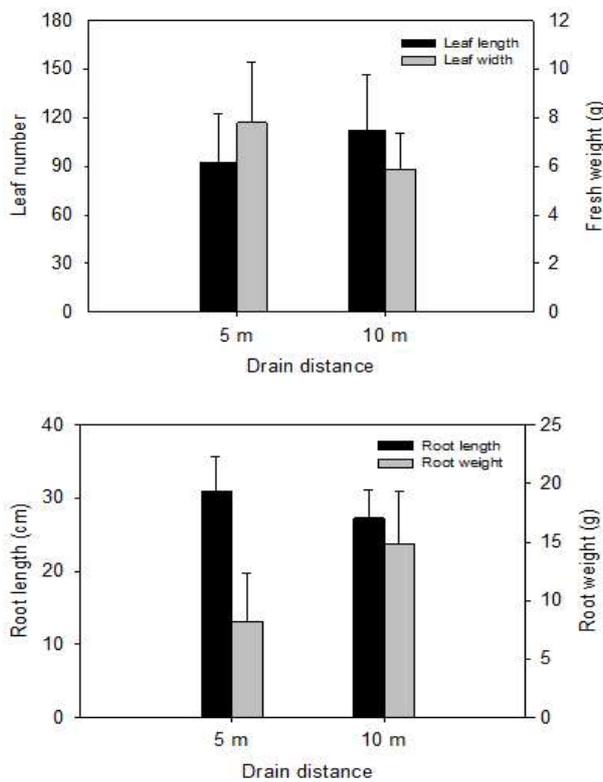
- 강황의 엽수는 두처리구에서 차이가 없었으며, 5m 간격에서 처리한 강황의 생체중이 10m 간격으로 처리한 강황보다 70%가 증가하는 결과를 나타냈다. 또한 알뿌리의 개수와 무게에서 5m 간격으로 처리한 강황에서 평균값이 높게 나타났으나, 유의적으로 차이가 발생되지는 않았다. 강황의 경우 지상부 엽을 초기에 생성하고 이러한 엽을 이용하여 광합성을 수행하여, 지하부 알뿌리를 형성시켜 카레의 원료로 이용하는 작물이기 때문에 초기 지상부의 생장은 매우 중요하다고 할 수 있다.



[그림 92] 정식 후 5주차 강황의 엽수, 생체중, 알뿌리 개수, 알뿌리 무게

- 감초의 경우 가장 많이 소비되는 한약재의 원료이며, 현재 그 수입량이 점차 증가하고

있는 실정이며, 이에 감초를 새만금 간척농지에 적용하여 재배 가능성을 보고자 하였다. 압거 간격 5m 처리구와 10m 처리구에서 유의적인 차이는 발생하지 않았으나, 엽수와 생체중은 각각 5m 처리구에서 또한 10m 처리구에서 좋았다. 이는 실제 두 처리구에서 나타나는 지하부 환경이 감초의 재배 적정 수준에 있다는 뜻이고, 실제 감초는 1년생 뿌리를 심기 때문에 토양 수분 스트레스에 버티는 힘이 강하고 타 작물과 비교하여 뿌리가 깊게 파고 들어가는 성질도 있어 거의 차이를 받지 않았다고 판단된다. 뿌리의 길이 또는 무게의 결과를 보면 길게 뻗는 것은 물을 찾아서 길이 성장을 주로 한다는 뜻이고 짧게 자란다는 것은 길게 뻗기보다, 자신의 부피 성장을 하면서 성장하기 때문에 이러한 결과가 나온 것으로 판단된다. 감초의 경우 악조건의 간척 농지에서 이정도의 활착과 생육을 보인 것은 향후, 대체 작물로의 가능성을 엿볼 수 있게 한다.



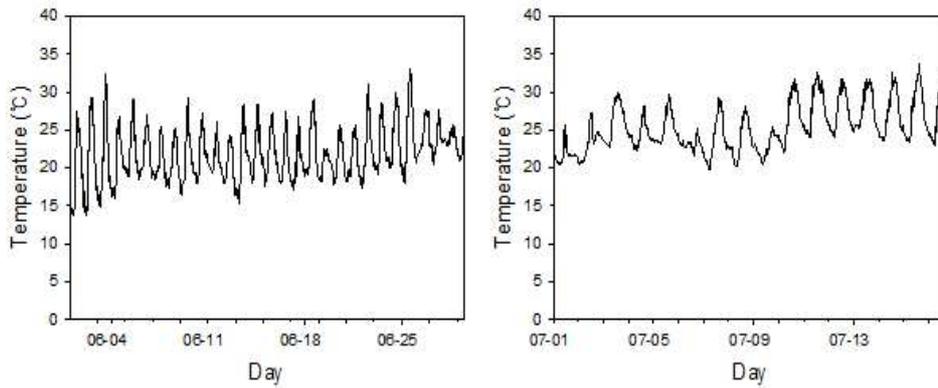
[그림 93] 정식 후 5주차 감초의 엽수, 생체중, 근장, 근중

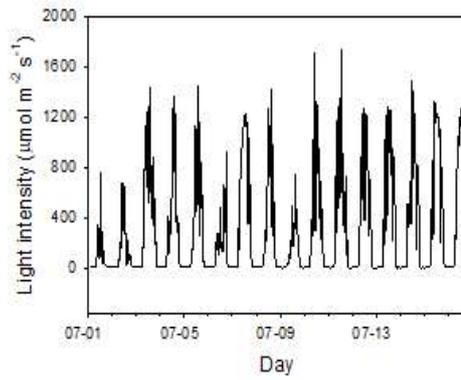
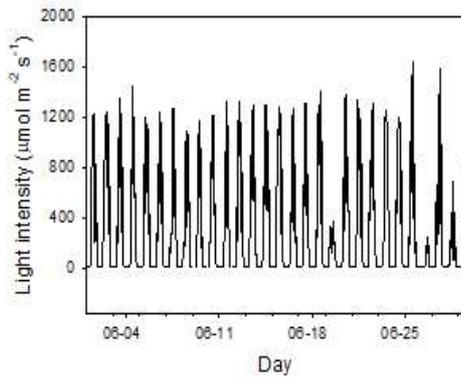
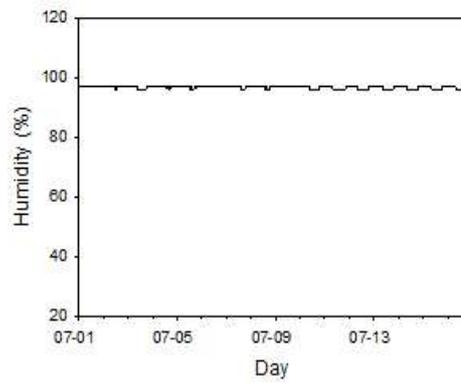
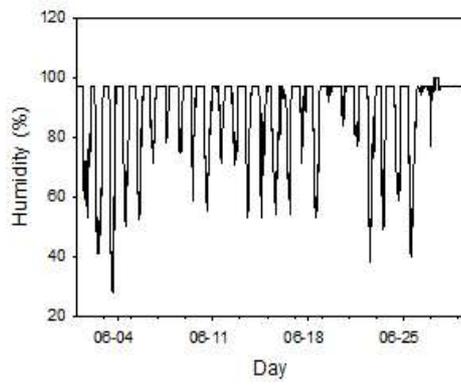
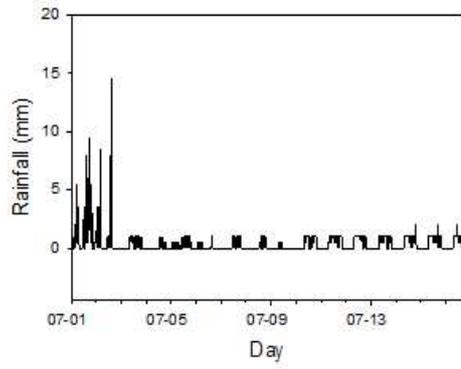
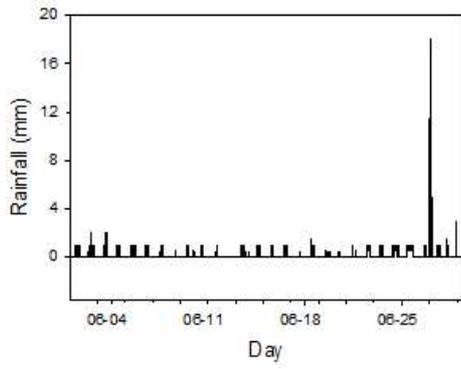
- 따라서 엽채류인 상추, 치커리와 약용작물인 강황, 감초를 새만금 간척지에서 재배했을 때, 엽채류인 상추와 치커리는 잎 끝이 타는 tipburn 현상을 일으켰고 이는 증산이 원활히 이루어지지 않는 조건에서의 칼슘 결핍에서 오는 생리장해 현상이라고 판단된다. 따라서 엽채류인 작물은 간척지 재배 작물에 적합하지 않을 것으로 사료된다. 그에 반해 약용작물인 강황과 감초는 상품으로서의 가치를 확인할 수 있었으며 특히 감초의 경우 1년생 뿌리를 심어 재배하기 때문에 수분 스트레스에 내성이 있고 엽을 사용하는 엽채류에 비해 내염성이 있는 뿌리 작물이기 때문에 간척 농지에서 이정도의 활착과 생육을 보인 것은 향후, 대체 작물로의 가능성을 엿볼 수 있게 한다. 또한 이를 통해

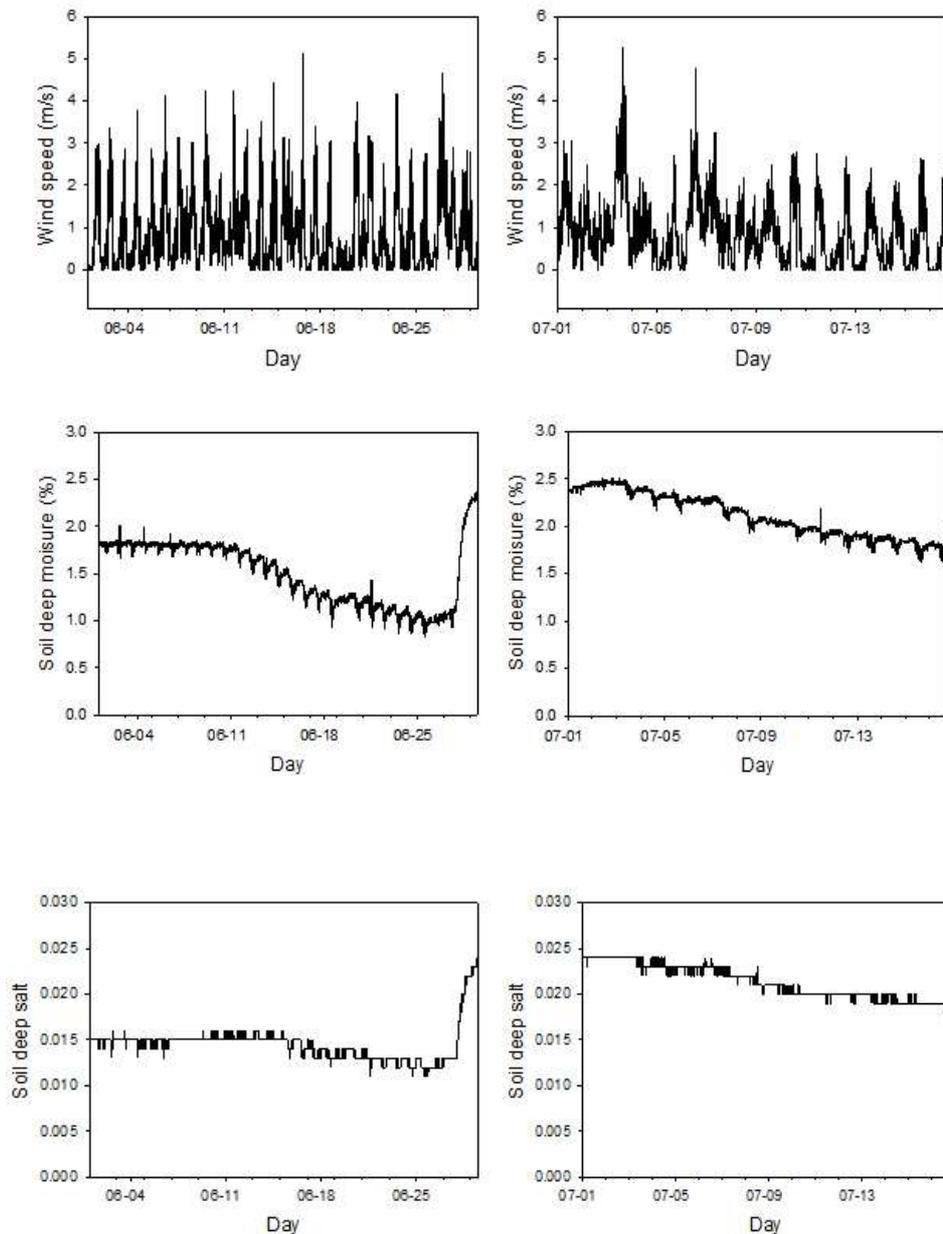
간척 농지에서는 엽채류의 작물보다는 구근류의 약용 작물을 재배하는 것이 적합할 것으로 사료되며 간척농지에서 적용할 수 있는 작물에 대한 연구를 좀 더 확장시킬 필요가 있는 것으로 판단된다.

#### 4) 기상 데이터 모니터링

- 새만금 지역의 6-7월 동안의 기상관측 시스템에서 제공하는 기상 데이터를 수집하였으며, 온도, 습도, 광량, 풍속, 토양심부 온도, 토양심부 염도, 토양표면 염도, 강우량의 값을 연속 모니터링 하였다.







[그림 94] 새만금 지역의 6~7월 기상 데이터 모니터링 값

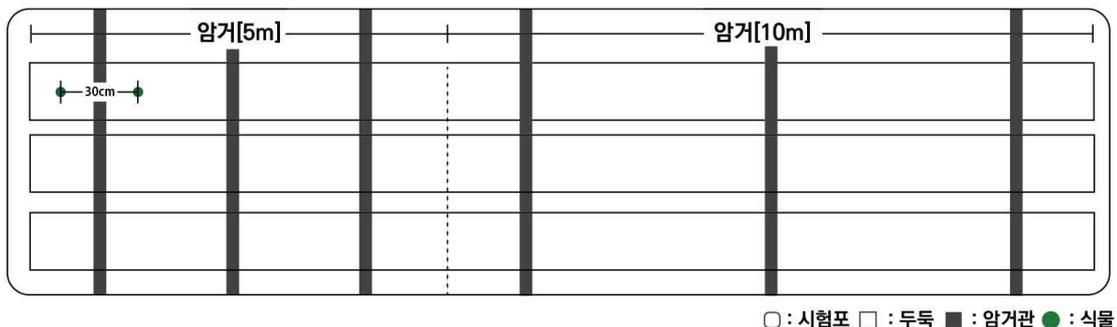
- 습도는 7월의 데이터 값이 문제가 있는 것으로 나타났다. 6월의 경우 야간에는 거의 95% 수준으로 상승하며, 주간에는 습도가 낮아져서 약 50-40% 정도의 수준을 나타내었다.
- 6월 새만금 지역의 주간 최고 광량은  $1200-1300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  로 나타났으며 7월에는 이보다 높은  $1300-1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  로 나타났다. 이러한 광강도는 식물의 광저해 (photo inhibition) 현상을 일으킬 수 있는 높은 수준의 광강도라고 판단되며, 이러한 조건에서 생육저해 현상이 나타날 수 있으므로 차광 또는 관수 등에 더 적극적이어야 한다.
- 이 지역의 6-7월 평균 풍속은  $1 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  수준이 가장 많았으며, 최대  $5 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  수준을 보였는데 간척지 개활지 수준에서는 그리 높지 않은 이유는 계절적 영향으로 판단된다.

- 토양의 심부 (30cm)에서의 토양 수분농도는 1-2% 수준을 나타냈으며, 강우가 내렸던 7월 초에 2.5%로 상승한 후 다시 하강하여 1.6% 수준까지 서서히 하강하는 양상을 나타내었다. 심부의 토양 수분값 (월간 변화) 은 강우에 영향을 받으며, 관수량은 하루 중의 토양 수분함량 변화에 영향을 주는 것으로 나타난다.
- 토양 심부 (30cm 깊이)에서 6월달 염도의 변화는 거의 일어나지 않았다. 0.015값을 거의 일정하게 유지하였으나, 7월에는 0.025로 상승하여 서서히 감소하여 0.020 수준으로 수렴하였다. 토양 심부에서 염농도 값은 크게 변하지 않았으며, 이는 강우의 횟수와 관계가 있고, 지하수위의 변화에 영향을 받기 때문에 강우량이 매우 적었던 6-7월 중에는 변화 폭이 매우 적었던 것으로 사료된다.
- 그와 달리, 토양 표면에서의 염도는 0.3-0.4 수준으로 변화하였으며, 심부 토양 염도값의 약 20배에 달하는 농도로 일사강도가 매우 높은 수준에서 표토에서의 수분 증발로 발토양 표면의 염도가 급상승한 것으로 판단된다.
- 종합적으로 6-7월의 기상 조건은 작물 재배에 매우 좋지 않은 환경이었다고 할 수 있다. 강한 일사강도와 자연 강우가 매우 적었으며 (일일 10-15mm 수준) 간척지 특성의 높은 표면염농도 등은 정상적인 작물의 생육에 많은 영향을 줄 수밖에 없었다고 판단된다.

## 5) 재배

### ① 석문 지구

- 석문 간척농지는 ‘쌀 과잉생산 등 수급조절을 위해 간척지는 국가가 소유 관리한다’는 정부 방침에 따라서 완전부양에서 임대경작으로 바뀌어 현재는 43개 영농회사법인 등에 2-3년 단위로 임대경작으로 운영되고 있다. 현재는 수도작을 중심으로 재배되고 있으나, 향후 국가는 수도작 생산 대신 고부가가치 대체 작물 선발 및 재배를 위한 다각도의 노력을 기울이고 있는 상황이다.
- 석문 간척지는 지금까지 수도작을 중심으로 재배되고 있는 간척 농지로서 새만금 지역이 염농도가 낮은 반면 석문지구는 새만금 지구와 비교하여 염농도가 높다고 할 수 있다. 간척지를 대상으로 하는 본 연구에서 염농도에 따른 간척지별 비교 또한 중요하다고 판단되어 석문 지구를 추가하여 재배실험을 실시하였다.



- 석문 시험포도 마찬가지로 암거 5m와 10m로 밀넓이 80m, 위 넓이 0.6m 의 조건으로

두둑을 형성하고 검정색 멀칭비닐을 이용하여 6줄을 구성되었다. 30cm 간격으로 6개 작물을 정식하였다.

- 계획으로 5월 중순에 정식 예정이었으나 전국적인 강우로 인하여 간척지 배수 불량으로 로터리 기계가 작업을 할 수 없는 상태가 지속되어 6월 22일 정식하게 되었다. 방풍의 경우 한 묘종 당 3개를 묶어서 정식하였으며, 향부자와 상추, 치커리는 1주씩 정식했다.

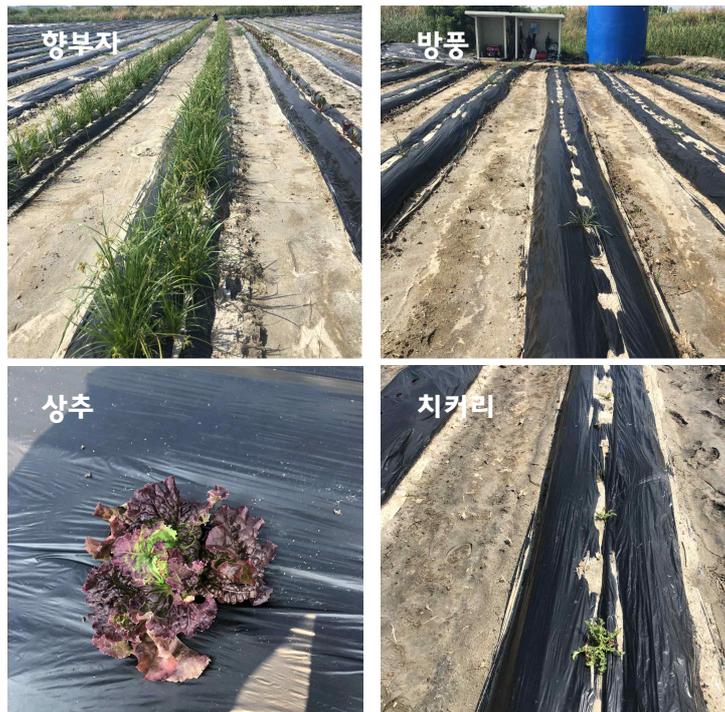
## ② 시험포 물관리

- 석문 간척지구의 시험포 물관리는 5톤짜리 물탱크를 점적관수 시스템과 연결하여 타이머 제어를 이용하여 무강우 일수 3일 후에 5톤을 공급하도록 하고 이후 물을 채워서 무강우 일수가 계속될 경우 3일 간격으로 타이머 제어하여 공급하였다

## ③ 작물생육조사

- 정식은 6월 22일 실시되었으며, 4주 후에 생육을 근거로 분석하였으며, 향부자의 경우 초장과 SPAD, 생체중을 측정하였으며, 방풍의 경우 초장과 근장, 엽수와 SPAD 지상부와 지하부 생체중을 측정하였다 (n=5).

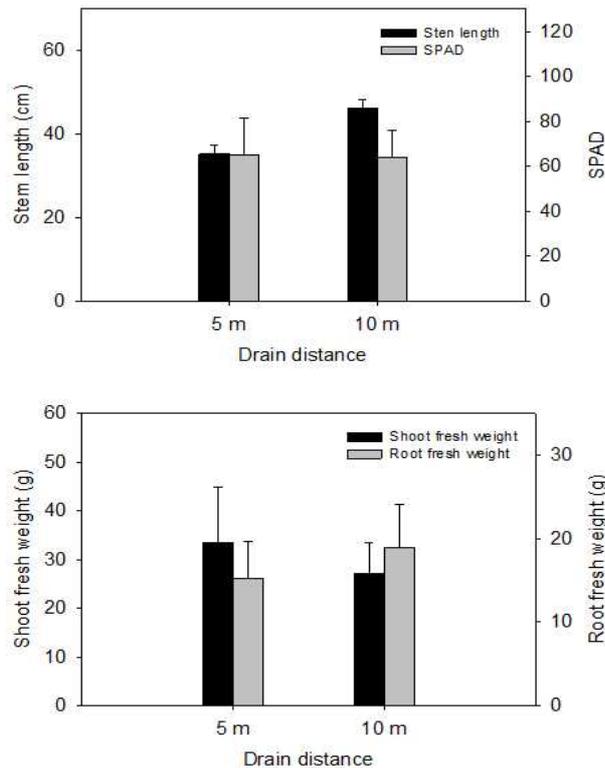
## 6) 결과





[그림 95] 정식 후 4주된 향부자(좌상) 방풍(우상) 상추(좌중) 치커리(우중) 감초(하) 모습

- 향부자를 제외하고 거의 모든 작물의 생육은 매우 저조하였다. 토양의 염 농도가 새만금과 비교하여 높고, 현지에 전기가 공급이 안 되어 관수는 발전기를 가동시켜 수동으로 2일에 0.5시간씩 관수를 실시하였다. 새만금은 타이머에 의해서 정해진 시간 6시 기준으로 관수 하였으나, 석문 지구의 경우 사람이 수행하여 관수 시점의 차이는 발생된 것으로 생각된다.



[그림 96] 석문 지구에서 정식 후 4주차 향부자의 생육분석

## 2-6-3 [3차년도] 간척지 내 작물재배 및 성분분석

## 가. 연구내용

## 1) 토양분석

[표 21] 2018년 석문 지구 토양분석 결과

NO. (dS/m)	pH (1:5) (%)	EC (%)	OM (cmolc/kg)	Iginition loss (%)	CEC (mg/kg)	T-N (g/cm <sup>2</sup> )	Avail P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (w/w, %)	Bulk density	Water content	Ex-Ca <sup>2+</sup> (cmol+/kg)	Ex-K <sup>+</sup> (cmol+/kg)	Ex-Mg <sup>2+</sup> (cmol+/kg)
1	8.07	3.87	0.86	1.56	6.55	0.05	55.20	1.66	18.77	3.77	1.25	4.84
2	7.75	4.59	1.41	2.05	6.84	0.03	49.44	1.55	19.55	4.98	1.22	5.02
3	7.90	9.64	0.93	1.99	9.11	0.07	31.17	1.76	17.81	6.39	1.28	6.33
4	7.86	4.26	0.89	1.73	6.26	0.05	34.86	1.59	17.94	5.14	1.14	4.86
5	7.79	5.98	1.06	1.91	7.11	0.08	38.56	1.71	17.51	5.45	1.18	5.06
6	7.67	5.86	1.10	2.20	7.08	0.06	40.05	1.62	18.89	5.01	1.13	5.17
AVG.	7.84	5.70	1.04	1.91	7.16	0.06	41.55	1.65	18.41	5.12	1.20	5.21

[표 22] 2019년 석문 지구 토양분석 결과

NO. (dS/m)	pH (1:5) (%)	EC (%)	OM (cmolc/kg)	Iginition loss (%)	CEC (mg/kg)	T-N (g/cm <sup>2</sup> )	Avail P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (w/w, %)	Bulk density	Water content	Ex-Ca <sup>2+</sup> (cmol+/kg)	Ex-K <sup>+</sup> (cmol+/kg)	Ex-Mg <sup>2+</sup> (cmol+/kg)
1	7.99	6.18	1.09	1.58	8.96	0.03	20.47	1.38	24.47	3.99	1.74	7.39
2	8	3.36	1.77	1.4	5.62	0.04	12.29	1.41	24.14	6.99	1.76	5.19
3	8.24	2.5	1.62	1.63	6.22	0.09	101.81	1.39	24.61	4.34	1.79	6.19
4	8.06	3.24	1.35	1.44	5.98	0.07	67.03	1.37	27.31	4.54	1.23	5.5
5	8.11	4.67	1.11	1.68	5.62	0.1	195.85	1.44	24.65	4.49	1.69	5.67
6	8.21	0.54	1.24	1.82	6.85	0.09	61.72	1.45	23.69	5.14	1.79	7.92
AVG.	8.02	1.37	1.41	1.69	8.58	0.05	8.73	1.44	23.08	4.34	1.15	3.42

- 분석 값을 비교하였을 때 2년차(2018) 토양 EC의 평균값은 5.70 dS · m<sup>-1</sup> 였으며 3년차(2019) 평균값은 2.97 dS · m<sup>-1</sup>으로 낮아진 경향을 보였다.
- 따라서 1년차 온실 내 EC농도에 따른 재배실험을 통한 향부자와 방풍은 EC 4이상의 농도에서는 적절한 생육이 어려울 것이라는 연구 결과를 토대로 석문지구 내 2.97 dS · m<sup>-1</sup>수준의 EC에서 3년차 재배 실험을 진행하였다.

## 나. 연구결과

## 1) 육묘

- 향부자는 이전 실험에서 지하부 내 덩이뿌리가 자라지 않아 종자를 대신하여 정식 전 구근의 상태로 경북 고령군에서 구입하였으며 적절한 습도 유지를 위해 묘를 바닥에 깔아 분무기로 분사하였다. 마르지 않도록 일주일에 한 번씩 분무하였으며 곰팡이가 생기지 않

도록 지속적으로 섞고 숙아주었다.

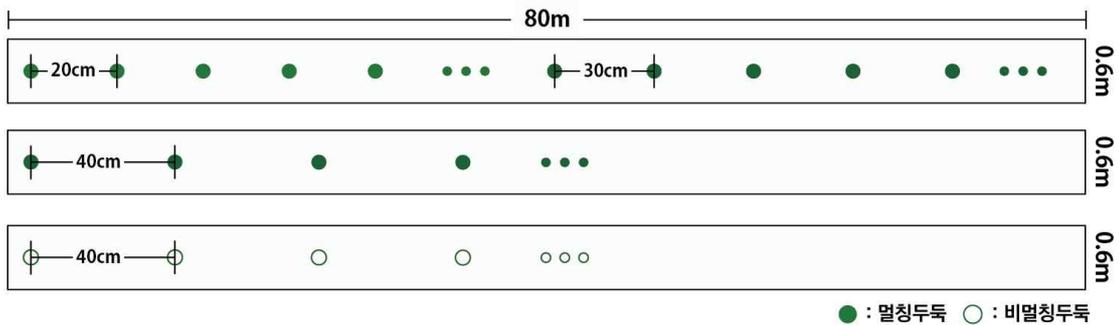
- 방풍은 식방풍과 갯방풍을 모두 구입하였는데 식방풍은 강원도 화천군에서 구입했으며 갯방풍은 전남 여수의 노지에서 키워 자란 묘를 구입하였다.



[그림 97] 향부자, 식방풍, 갯방풍 묘

## 2) 재배

### ① 석문지구



- 한 두둑 당 길이 80m, 너비 0.6m로 한 작물 당 세 두둑을 사용하였고, 첫 번째 두둑은 정식거리 20cm와 30cm로 구분하고 두 번째 두둑은 정식 거리 40cm로 두었다. 첫 번째 두둑과 두 번째 두둑은 멀칭 처리하였고 세 번째 두둑은 정식거리 40cm로 비멀칭 처리하였다. 따라서 한 작물 당 1460주를 정식하였고, 총 2.9a의 면적을 사용하였다.
- 향부자, 식방풍, 갯방풍을 4월 23일에 함께 파종 및 정식하였으나, 집중호우로 인해 토양의 배수가 되지 않아 갯방풍의 경우 뿌리가 썩어 고사하였다. 갯방풍은 배수가 잘 되는 해안사구에서 자생하는 식물이기 때문에 물이 빠지지 않는 간척지 토양에서 자라기 힘들 것으로 사료된다. 따라서 고사한 갯방풍을 처리하고 비교적 잘 자랐던 식방풍을 5월 7일에 재정식하였다.

### ② 시험포 물관리

- 3년차 시험포 물관리는 ‘2-2 자동 급액 인프라 구축’에서 설명된 태양전지를 이용한 자동급액 관수 시스템을 이용하여 관수하였으며, 일사 강도에 비례하여 일일 관수량에 차등을 두어 관수하였다. 매우 맑은 날 ( $2,500\text{J}/\text{cm}^2$ ) 은 4-5회 관수, 가끔 구름이 낄 경우 ( $1,500\text{J}/\text{cm}^2$ ) 은 2-3회 관수 되도록 급수하였다.

### ③ 작물생육조사

- 생육 분석은 정식 후 5주 간격으로 총 다섯 번에 걸쳐 진행하였으며, 향부자는 싹이 난 후부터 5주 간격으로 수확하여 작물의 생육을 조사하였다. 방풍은 초장, 근장, 엽장, 엽폭, 엽수, 상대 엽록소 값, 지상부 및 지하부 생체중을 조사하여 생육을 분석하였고, 향부자는 엽장, 엽수, 모 식물체의 지상부와 지하부 생체중, 자 식물체 개수, 자 식물체 지상부와 지하부 생체중을 분석하였다. 그리고 자 식물체는 모 식물체에서 나오는 것으로 모 식물체에 붙어 나오는 자 식물체를 조사하였다. 또한 처리구 간 유의성을 구분하기 위해 데이터의 통계분석을 SPSS(Version 22.0.0.1, SPSS Inc., Illinois, USA) 프로그램을 사용하여 일원분산분석(ANOVA)과 독립표본검정(Two Independent samples) t-test를 실시하였고, 처리구 간 평균 비교를 위해 Duncan's Multiple Range Test( $P \leq 0.05$ )를 수행하였다.

### ④ 작물성분분석

- 멸칭 유무에 따른 방풍의 물질 함량 차이를 확인하기 위해 정식 후 15주차, 25주차 총 두 번에 걸쳐 HPLC 분석을 실시하였다. 수확된 향부자와 방풍을 액체 질소에 동결시키고, deep freezer에  $-70^\circ\text{C}$ 로 보관한 후, 동결 건조기를 이용하여 3일간 건조시켰다. 동결건조 한 시료 0.1 g을 분말로 만들어 80% MeOH 2ml에 넣은 뒤 진동혼합 후 1시간 동안 음파처리(sonication) 하였다. 그 후 원심 분리기를 이용하여 12000 rpm으로 10분간 원심분리 하였으며, 원심분리 된 시료의 상층액만 추출하여,  $0.45\ \mu\text{m}$  syringe filter로 필터링 한 뒤, vial병에 넣어 HPLC를 이용하여 페닐프로파노이드 분석을 수행하였다.



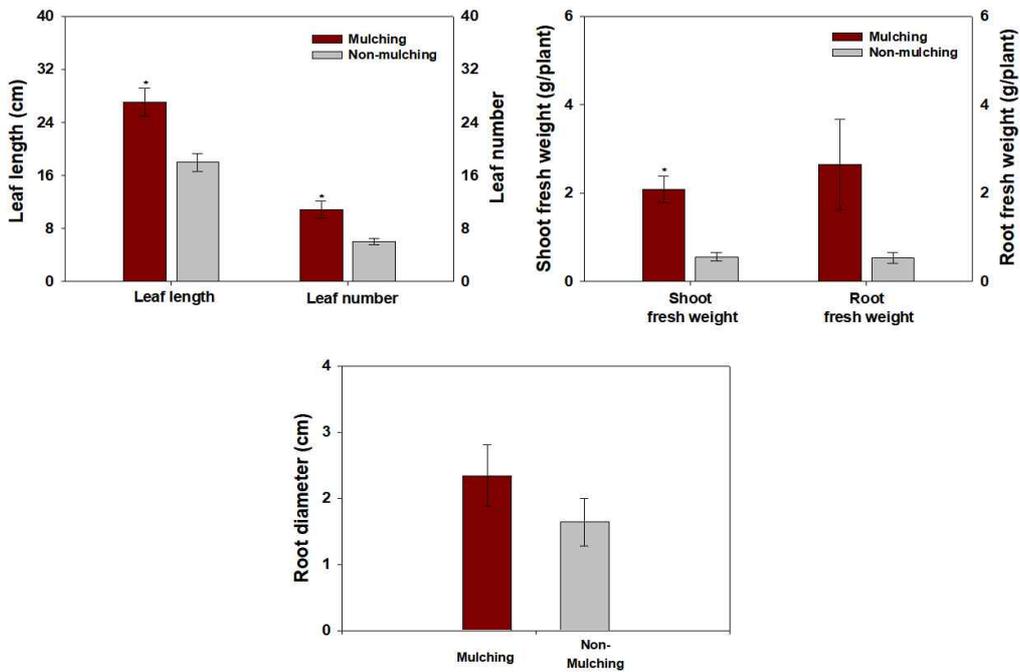
[그림 98] 정식 후 5주, 10주, 15주, 20주, 25주차의 방풍과 향부자의 재배 모습

### 3) 멀칭 · 비멀칭 비교 결과

#### ① 향부자



[그림 99] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 5주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)



[그림 100] 멀칭 유무에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 5주차)

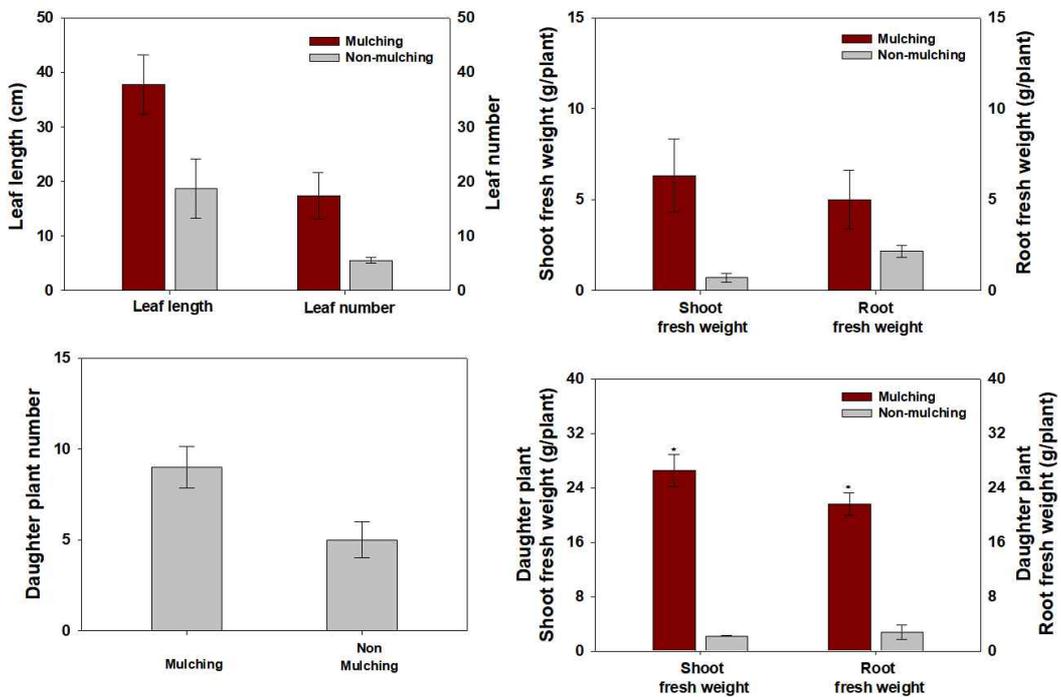
- 정식 후 5주된 향부자의 생육을 확인한 결과, 엽장, 엽수, 지상부생체중에서 멀칭 구간의 생육이 더 좋은 것을 확인할 수 있었다. 또한 이 외에 나머지 모든 조사 항목에서 유의성 차이를 보이지는 않았으나, 멀칭 구간의 값이 더 높은 경향을 보였다. 따라서 향부자의 초기 생육에 멀칭 처리가 도움이 되는 것으로 사료된다.



[그림 101] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 10주차 모 식물체 생육 비교 (좌-멀칭, 우-비멀칭)



[그림 102] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 10주차 자 식물체 생육 비교  
 [그림 103] (좌-멀칭, 우-비멀칭)



[그림 104] 멀칭 유무에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 10주차)

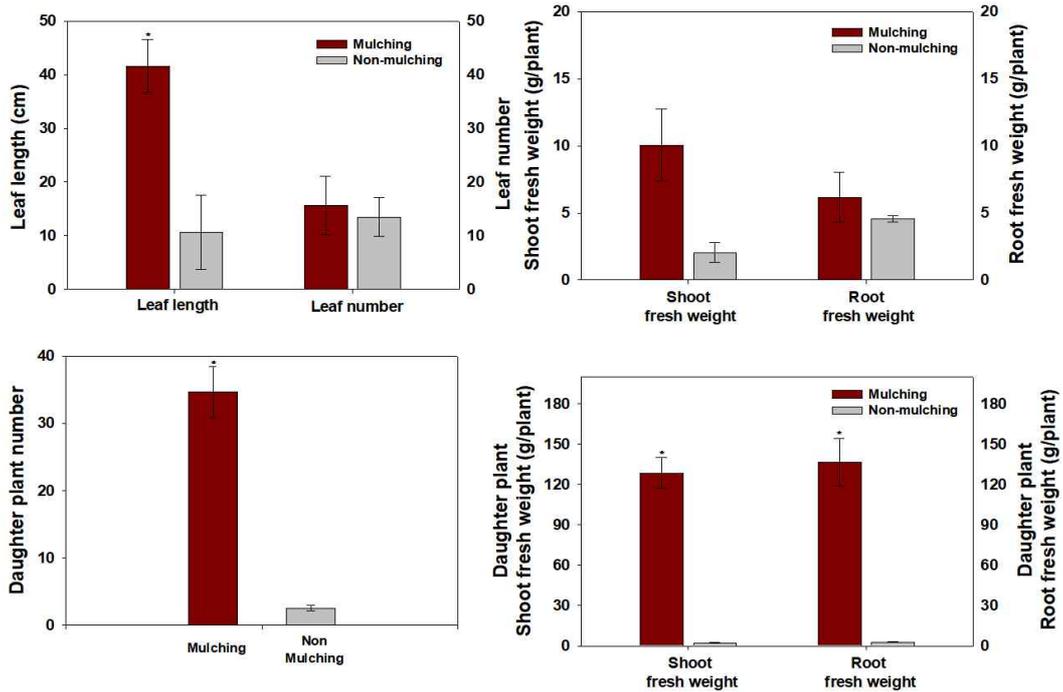
- 정식 후 10주차에서의 향부자의 생육을 살펴본 결과, 자 식물체의 지상부와 지하부 생체중에서 유의적으로 멀칭 구간이 유의적으로 높은 값을 보였다. 또한 유의성 차이를 확인할 수는 없었으나 지상부와 지하부 생체중을 제외한 모든 항목에서 멀칭 구간의 생육이 더 좋은 것을 확인할 수 있었다.



[그림 105] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 15주차 모 식물체 생육 비교 (좌-멀칭, 우-비멀칭)



[그림 106] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 15주차 자 식물체 생육 비교 (좌-멀칭, 우-비멀칭)

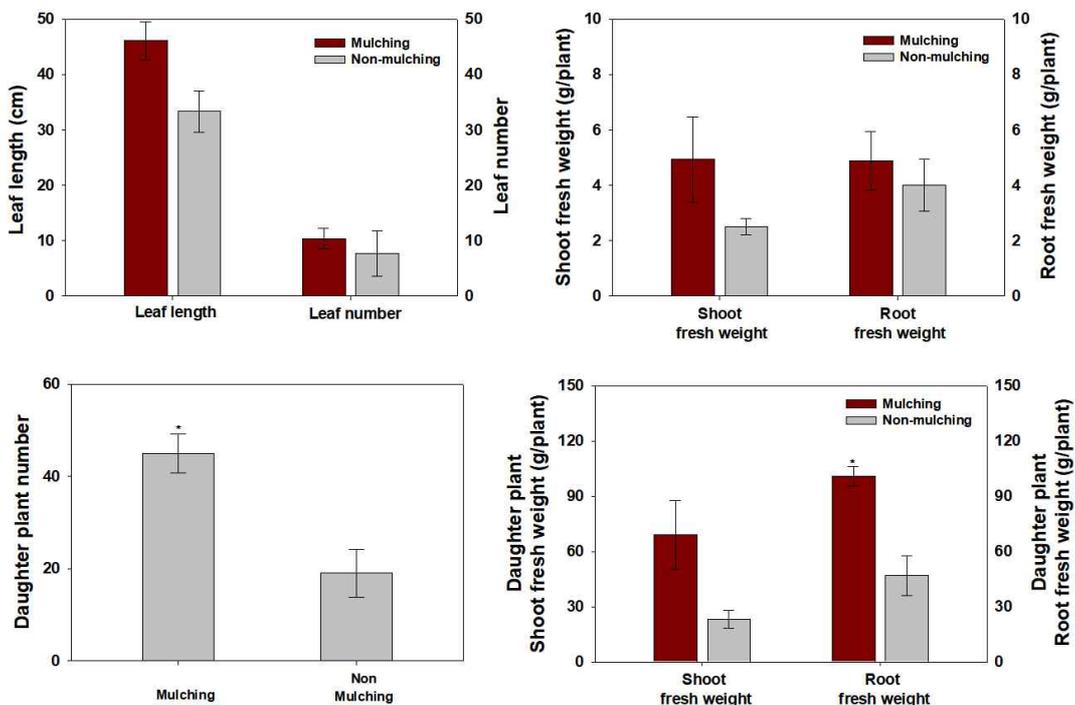


[그림 107] 멀칭 유무에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 15주차)

- 정식 후 15주차의 경우 초장, 자 식물체 개수, 지상부와 지하부 생체중에서 멀칭 구간의 생육이 유의적으로 더 좋은 것을 확인할 수 있었다. 또한 나머지 모든 조사 항목도 마찬가지로 유의성 차이를 보이지는 않았으나 멀칭 구간의 생육이 높은 경향을 보였다. 특히 자 식물체 개수, 자 식물체의 지상부 및 지하부의 생체중에서 유의적으로 높은 값을 보이는 경향이 있다.



[그림 108] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 20주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)

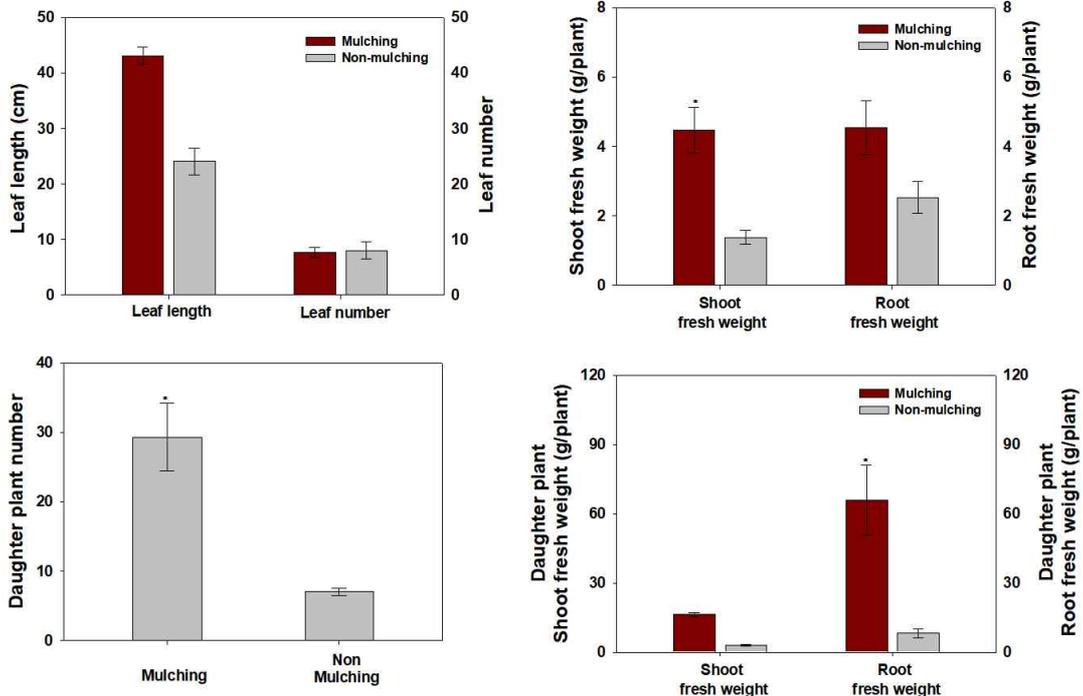


[그림 109] 멀칭 유무에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 20주차)

- 정식 후 20주차의 결과를 확인해볼 때, 자 식물체 개수와 지하부 생체중에서 멀칭 구간의 생육 값이 유의적으로 높은 경향을 보였다. 이 외에도 유의성 차이를 확인할 수는 없었으나 모든 조사 항목에서 멀칭 구간의 값이 높은 것을 확인할 수 있었다. 뿌리를 약용으로 사용하는 향부자의 경우 자 식물체의 개수와 자 식물체의 지하부 생체중이 높은 것이 향부자의 품질을 높이는 데 도움이 될 것으로 판단된다.

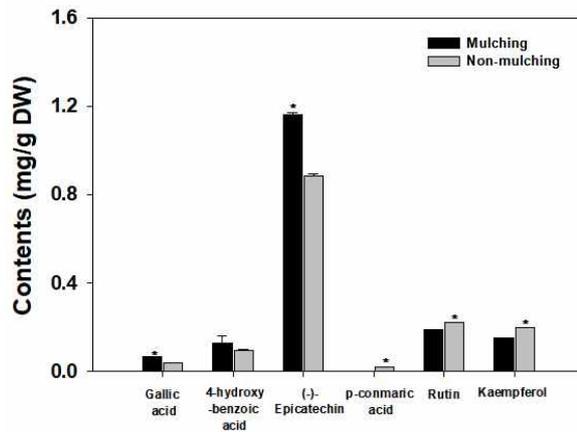


[그림 110] 멀칭 유무에 따른 향부자 정식 후 25주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)



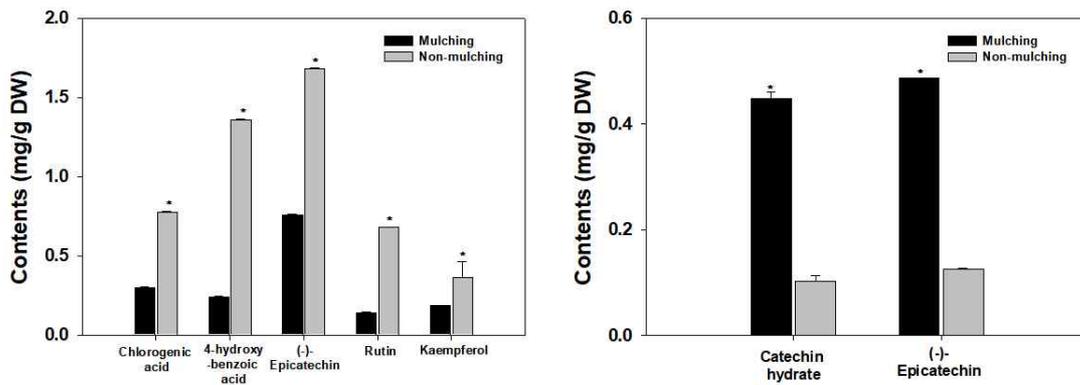
[그림 111] 멀칭 유무에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 25주차)

- 향부자의 정식 후 25주차 생육을 확인해본 결과, 모 식물체의 지상부 생체중과 자 식물체 개수, 자 식물체의 지하부 생체중에서 멀칭 조건이 더 높은 값을 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 이 외에도 유의성 차이를 볼 수는 없었으나 모든 조사 항목에서 멀칭 구간의 생육이 좋은 경향을 보였다.
- 특히 자 식물체 개수와 자 식물체의 지하부의 생체중에서 멀칭 구간의 값이 유의적으로 컸는데, 향부자의 경우, 지하부의 구근에 기능성 물질이 함유되어 있기 때문에 구근을 약용으로 사용한다. 따라서 자 식물체 개수가 많고 자 식물체의 지하부 생체중이 유의적으로 높은 값을 보이는 멀칭 조건에서 더 좋은 품질의 향부자를 재배할 수 있을 것이라 판단된다.



[그림 112] 정식 후 15주차 멀칭유무에 따른 향부자의 물질 함량 비교

- 정식 후 15주차에 멀칭 유무에 따른 향부자의 기능성 물질 함량을 확인한 결과, (-)-Epicatechin, Rutin, Kaempferol, 4-hydroxybenzoic acid, Gallic acid의 순으로 높은 함량을 보였다. 멀칭 구간의 경우, (-)-Epicatechin과 Gallic acid에서 높은 함량을 보였고, 비멀칭 구간은 p-conmaric acid, Rutin과 Kaempferol에서 높은 값을 나타냈다.



[그림 113] 정식 후 25주차 멀칭유무에 따른 향부자의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

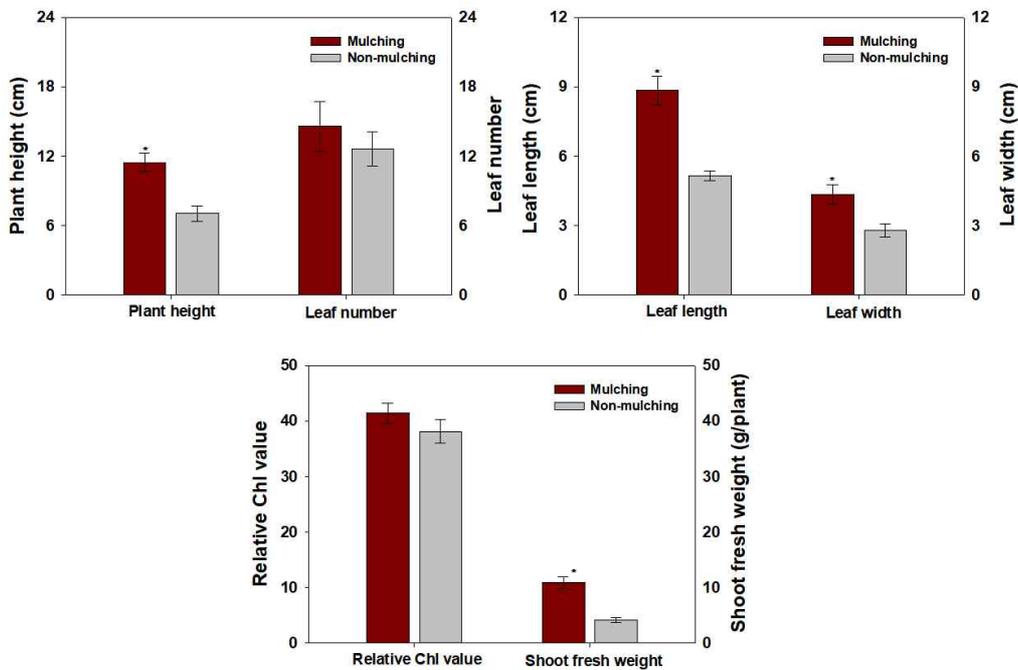
- 정식 후 25주차의 경우 지상부는 (-)-Epicatechin, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, rutin, kaempferol의 순서로 높은 함량을 나타냈으며, 지하부는 (-)-Epicatechin, catechin hydrate 순으로 확인되었다. 지상부는 모두 비멀칭 구간에서 멀칭 구간보다 더 높은 함량을 보였으며, 지하부는 멀칭 구간에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 그러나 지하부를 약용으로 사용하는 향부자의 특성 상 유의적으로 높은 함량을 보인 멀칭 구간에서 재배하는 것이 더 많은 기능성 물질을 수집할 것으로 사료된다.
- 따라서 최종적으로 약용으로 사용하기 위해서는 지하부의 기능성물질 함량이 유의적으로 높았던 멀칭조건이 필수적이며 구근 식재 후 25주차 까지 재배하는 것이 작물의 기

능성 물질의 함량을 최대한 높이면서 생산성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

② 방풍



[그림 114] 멀칭 유무에 따른 방풍 정식 후 5주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)

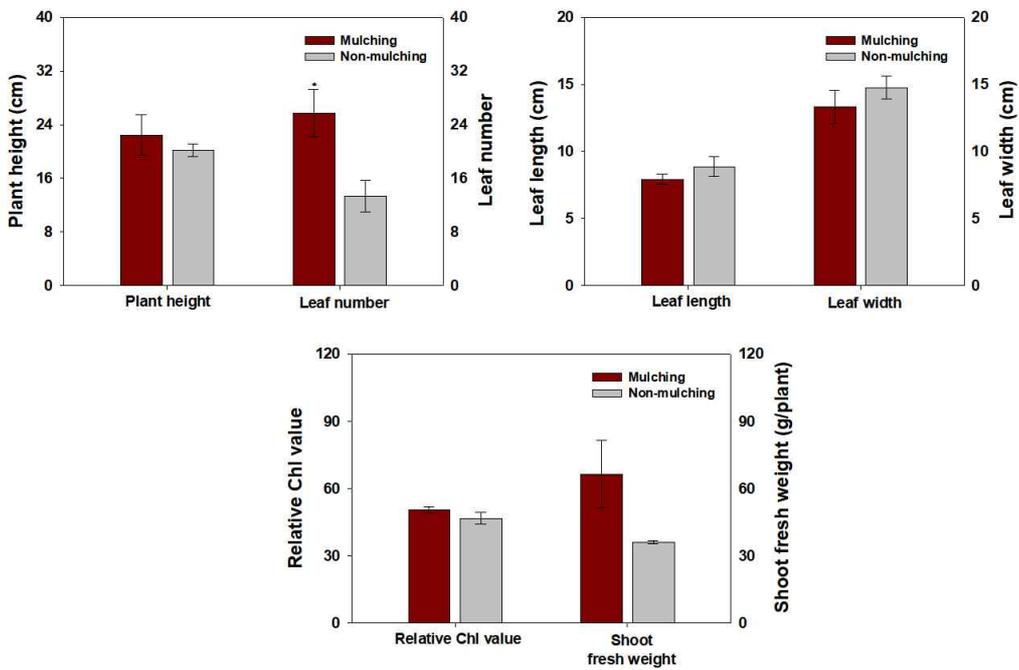


[그림 115] 멀칭 유무에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 5주차)

- 정식 후 5주차의 방풍 생육을 멀칭 유무에 따라 비교해봤을 때, 초장, 엽장, 엽폭, 지상부 생체중에서 멀칭 구간의 생육이 좋은 것을 확인할 수 있다. 엽수와 상대 엽록소 값 또한 유의성을 나타내지는 않았지만 멀칭 구간에서 생육 조사 항목의 값이 더 높은 것을 알 수 있다.
- 따라서 멀칭 처리가 방풍의 초기 생육에 도움을 주어 방풍의 품질을 높이는 데 도움을 주는 것으로 판단된다.



[그림 116] 멀칭 유무에 따른 방풍 정식 후 10주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)

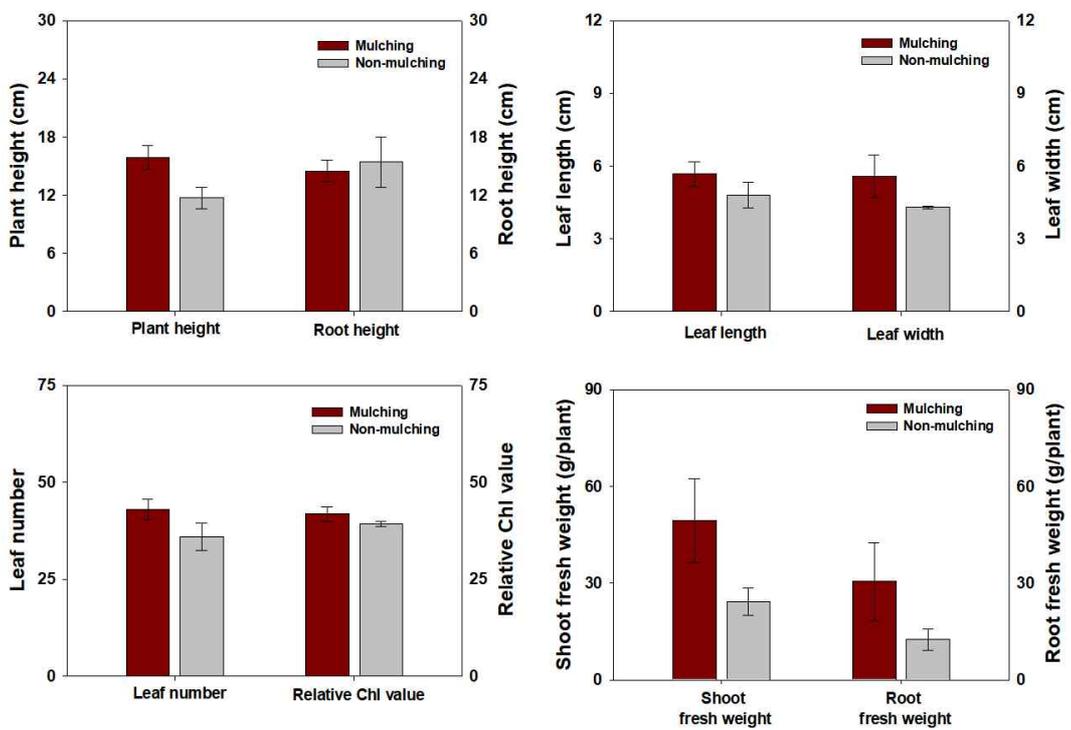


[그림 117] 멀칭 유무에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 10주차)

- 정식 후 10주차의 생육을 보면 엽수에서 멀칭 구간의 생육이 더 좋은 것으로 보였다. 유의성의 차이는 없으나 초장, 상대적 엽록소 값, 지상부 생체중의 경우 멀칭 구간에서 생육 값이 더 높은 경향을 보였다. 또한 엽장과 엽폭에 있어서는 유의성 차이는 없으나 비멀칭 구간에서의 생육이 더 좋은 경향을 나타냈다.



[그림 118] 멀칭 유무에 따른 방풍 정식 후 15주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)

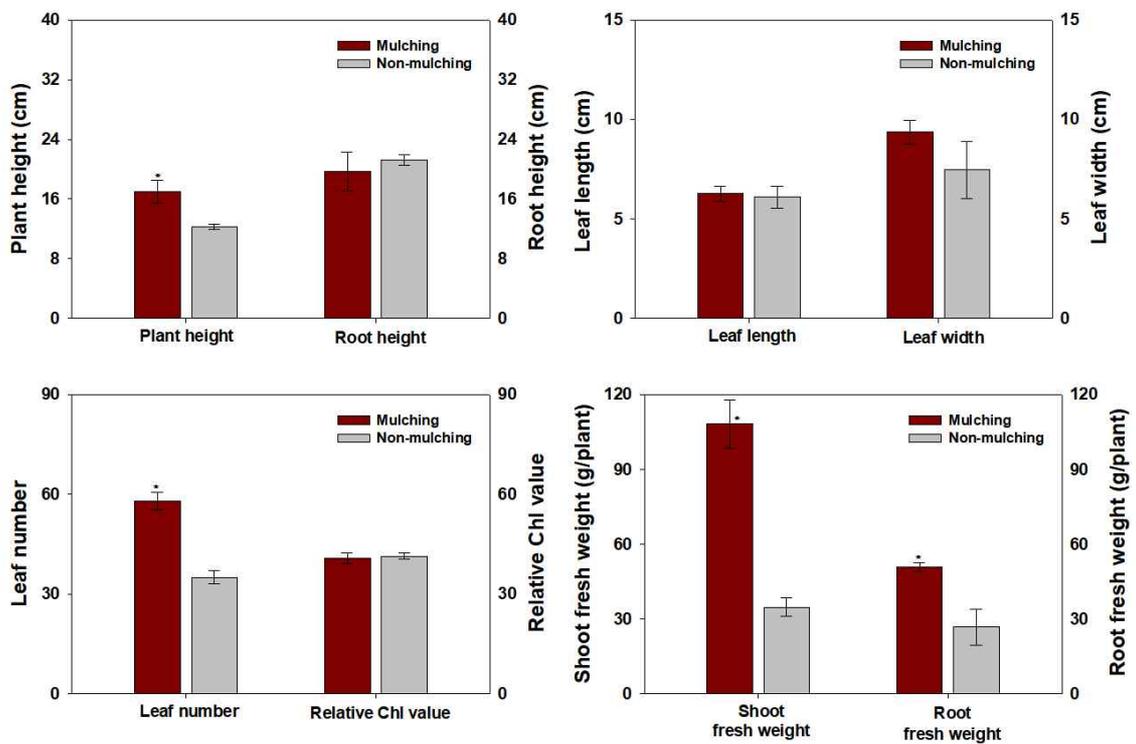


[그림 119] 멀칭 유무에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 15주차)

- 정식 후 15주차의 방풍 생육을 확인해본 결과, 모든 조사항목에서 유의성 차이를 나타내지는 않았으나, 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 상대 엽록소 값, 지상부와 지하부 생체중에서 멀칭 구간이 높은 값을 보이는 경향을 보였다. 따라서 근장을 제외한 모든 항목에서 멀칭 구간의 생육이 더 좋은 것을 확인할 수 있다.



[그림 120] 멀칭 유무에 따른 방풍 정식 후 20주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)

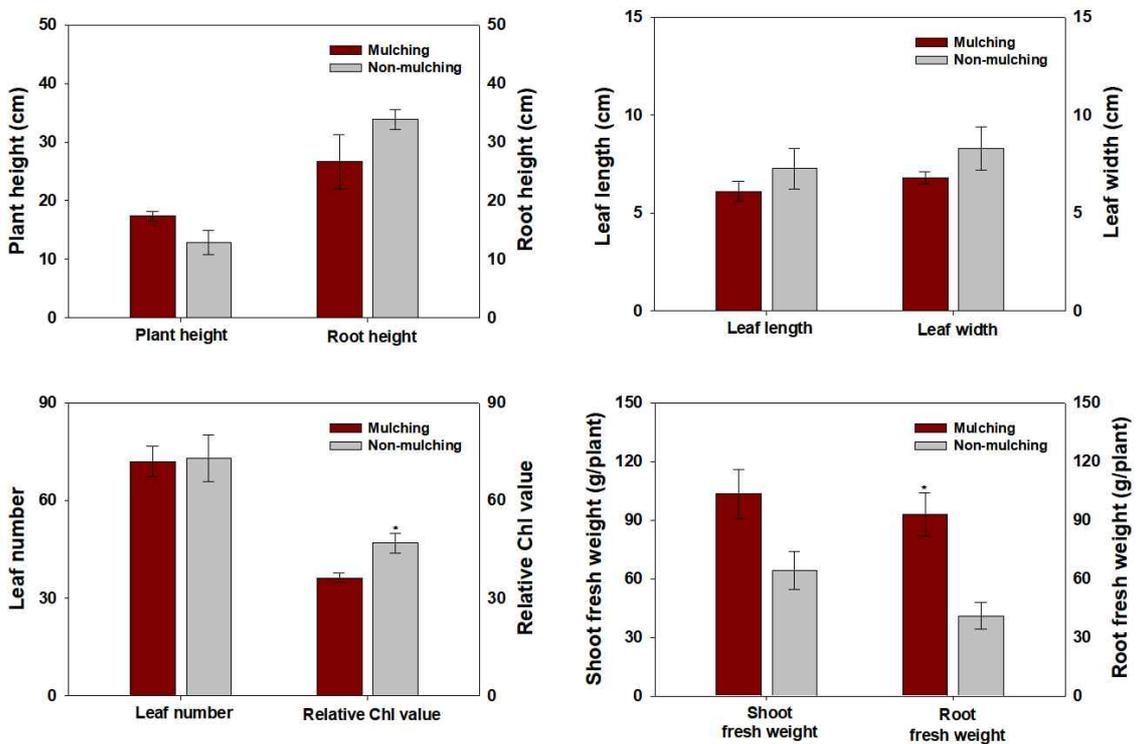


[그림 121] 멀칭 유무에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 20주차)

- 정식 후 20주차의 경우 생육 조사 항목 중 초장, 엽수, 지상부와 지하부 생체중에서 멀칭 구간이 더 높은 생육 값을 보이는 것을 확인할 수 있다. 나머지 조사 항목에서는 멀칭 유무에 따른 생육 차이를 판단할 수 없었다.

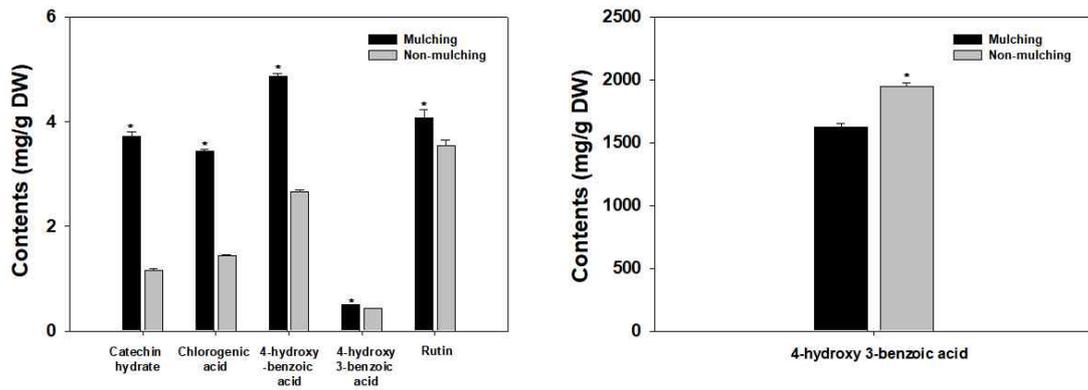


[그림 122] 멀칭 유무에 따른 방풍 정식 후 25주차 생육 비교(좌-멀칭, 우-비멀칭)



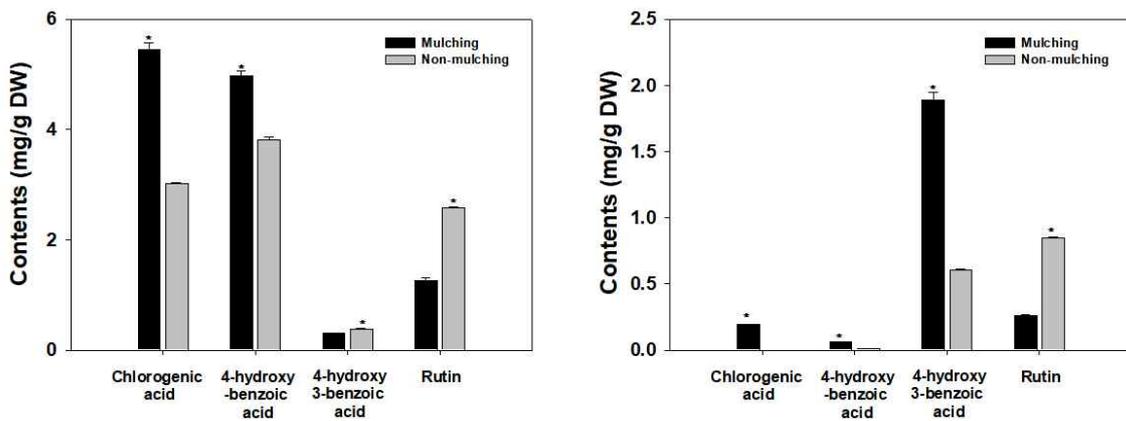
[그림 123] 멀칭 유무에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 25주차)

- 정식 후 25주차의 방풍 생육을 비교해본 결과, 지하부 생체중에서 유의적으로 멀칭 구간의 생육이 더 높은 것을 확인할 수 있었으며, 상대 엽록소 값은 비멀칭 구간에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 또한 초장, 지상부 생체중에서 멀칭 구간의 생육이 높은 경향을 보였으며, 근장, 엽장, 엽폭, 엽수에서 비멀칭 구간의 생육이 높은 경향이었던 것을 확인할 수 있었다.
- 방풍의 특성 상, 생육 초기에 어린 잎을 생으로 섭취하고 생육 후기에 지하부에서 기능성 물질이 많이 함유되어 있어, 지하부를 채취하여 약용으로 사용하기 때문에 초기에 지상부 생체중의 값이 높고 후기에 지하부 생체중의 생육이 좋았던 멀칭 조건에서 더 좋은 값을 나타낸 것으로 보인다. 따라서 방풍의 경우 멀칭을 처리한 상태에서 작물을 재배하는 것이 방풍의 품질과 재배에 더 좋은 영향을 미칠 것으로 판단된다.



[그림 124] 정식 후 15주차 멀칭유무에 따른 방풍의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

- 정식 후 15주차에 방풍의 멀칭유무에 따른 함량을 비교한 결과, 지상부에서는 4-hydroxybenzoic acid, rutin, catechin hydrate, chlorogenic acid, 4-hydroxy 3-benzoic acid 순으로 높은 함량을 나타냈고, 지하부는 4-hydroxy 3-benzoic acid이 관찰되었다. 지상부에서는 모든 물질에서 멀칭의 값이 더 높은 것을 확인할 수 있으나 지하부에서는 비 멀칭 구간이 멀칭 보다 높은 값을 보였다.

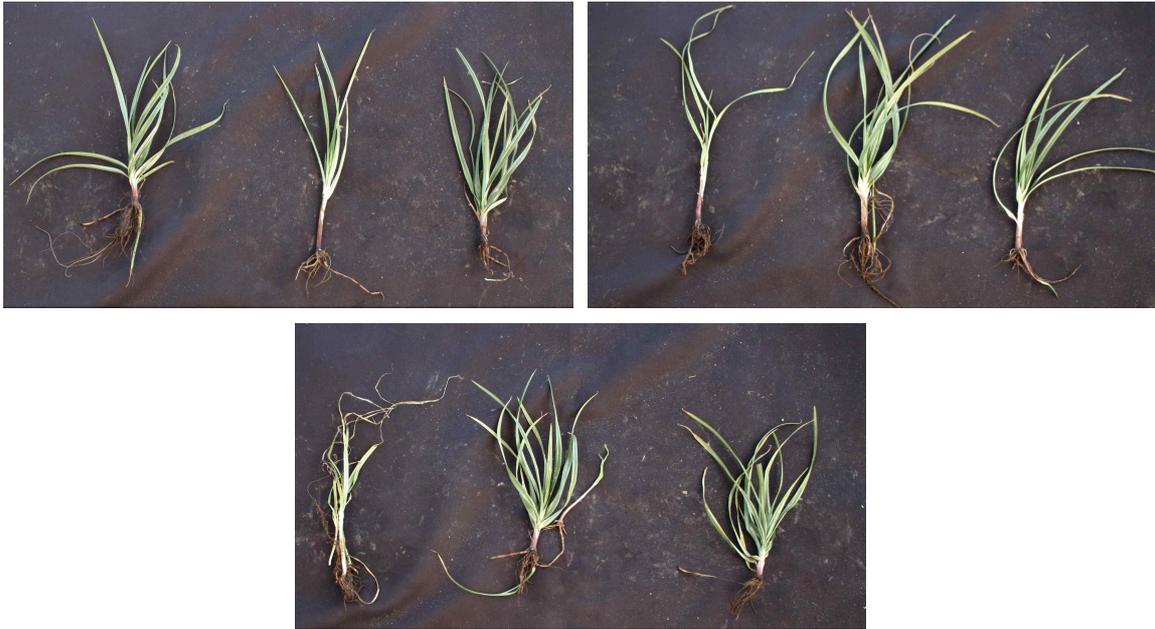


[그림 125] 정식 후 25주차 멀칭유무에 따른 방풍의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

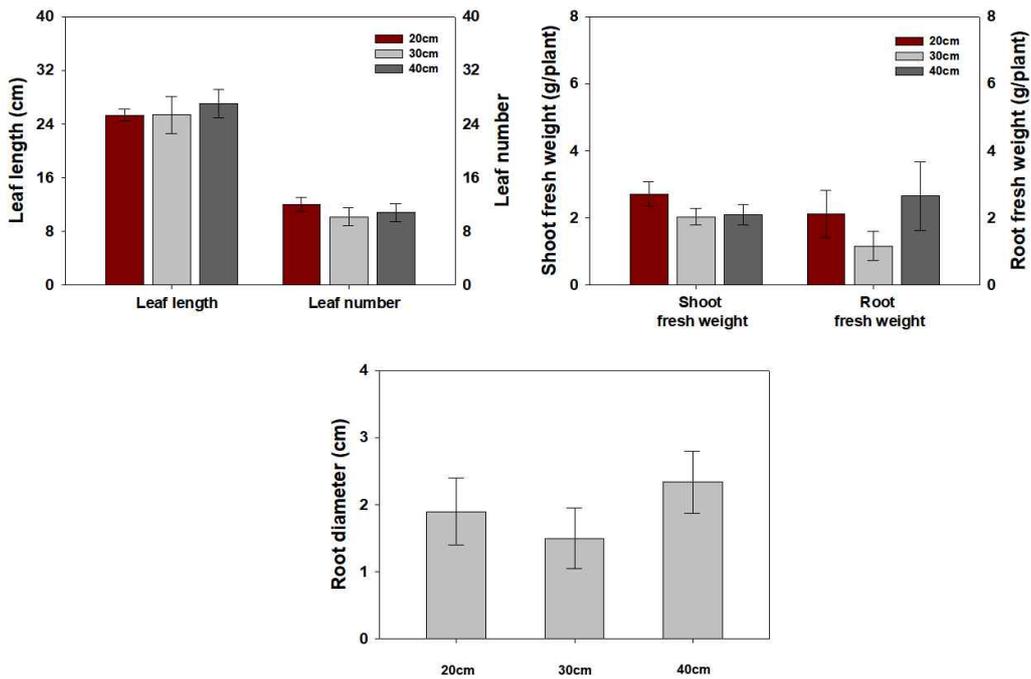
- 정식 후 25주차의 방풍 물질 함량을 비교한 결과, 지상부에서는 chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin, 4-hydroxy 3-benzoic acid 순으로 높은 함량을 나타냈고 지하부에서는 4-hydroxy 3-benzoic acid, rutin, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid의 순서로 높았다. 지상부에서는 chlorogenic acid와 4-hydroxybenzoic acid의 경우 멀칭구간에서 유의적으로 높은 값을 나타냈고, 4-hydroxy 3-benzoic acid와 rutin의 경우 비 멀칭 구간에서 높은 값을 보였다. 또한 지하부에서는 rutin을 제외한 나머지 물질에서 멀칭 구간의 값이 더 높았다.

4) 정식간격 비교 결과

① 향부자



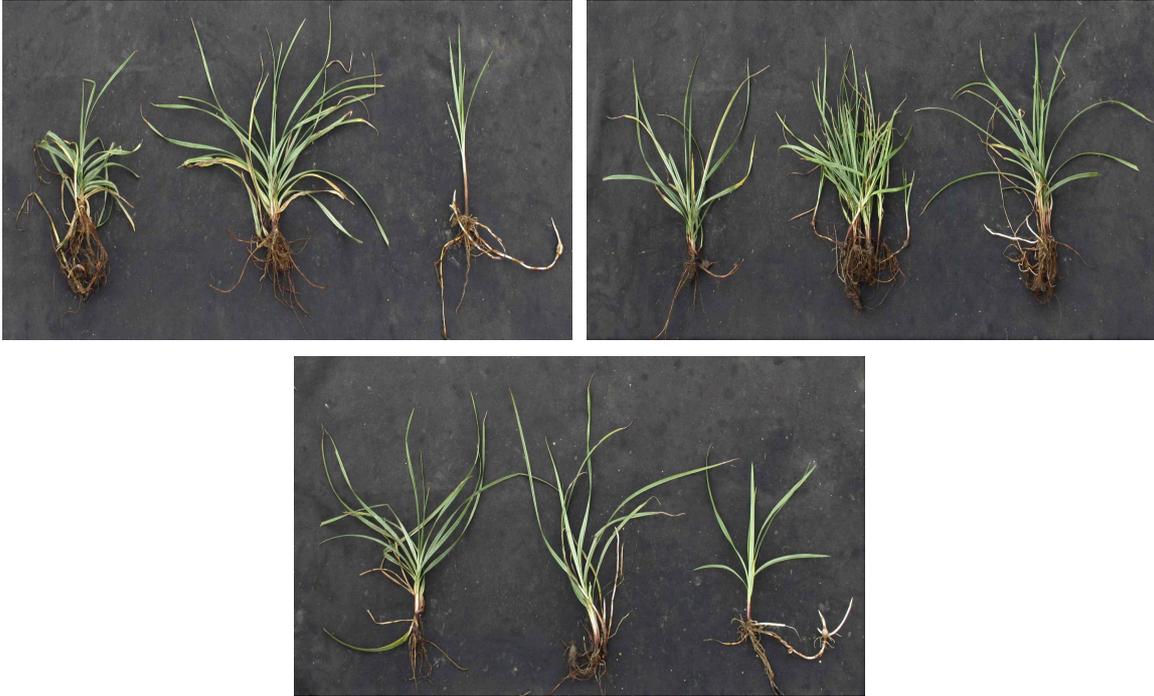
[그림 126] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 5주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



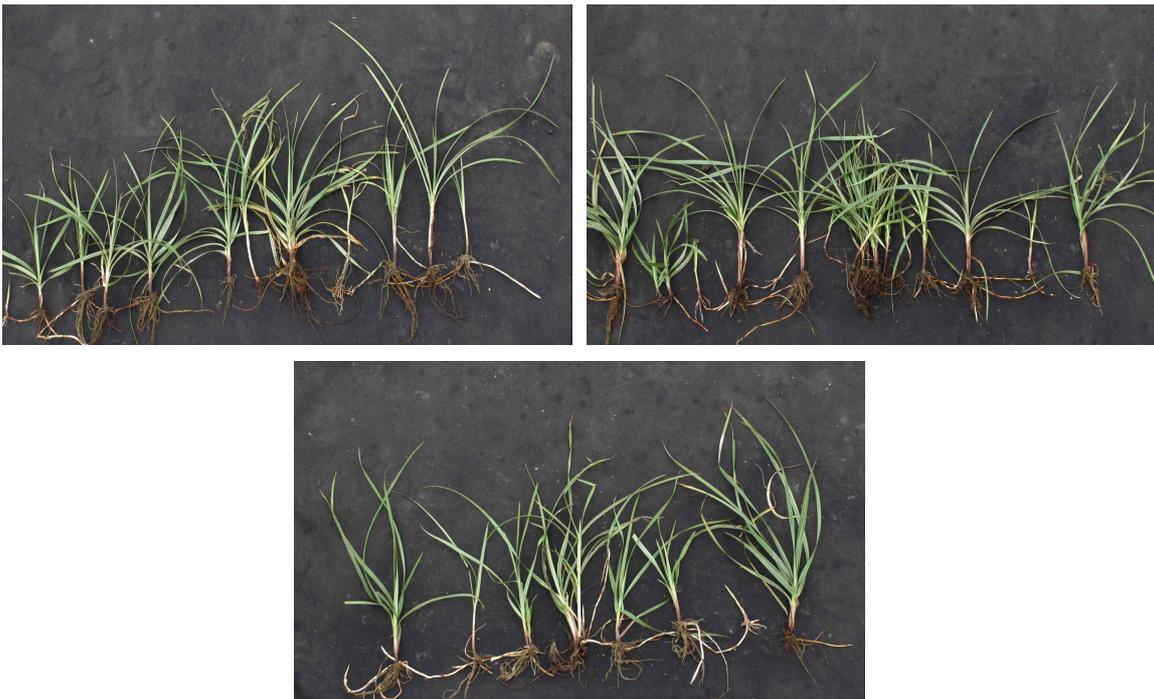
[그림 127] 정식 간격에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 5주차)

- 정식 후 5주차에 정식 간격에 따른 향부자의 생육을 비교한 결과, 모든 조사 항목에서 유의성 차이를 확인할 수 없었고 대체적으로 40cm 구간에서 높은 값을 보이는 경향을 확인할 수 있었다. 따라서 향부자의 초기 생육에는 정식 간격이 큰 영향을 미치지 않

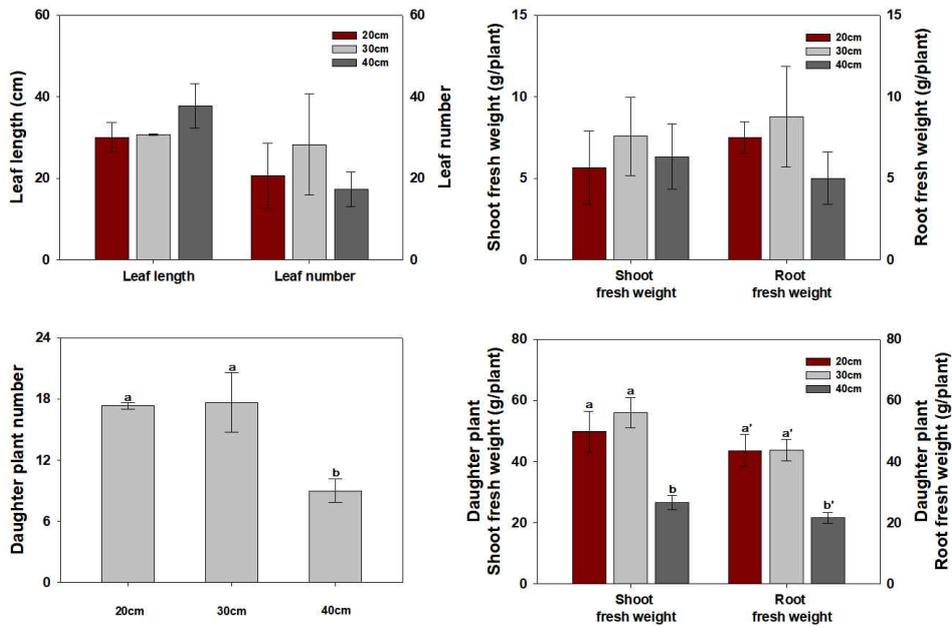
는 것으로 판단된다.



[그림 128] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 10주차 모 식물체 생육 비교  
(좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



[그림 129] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 10주차 자 식물체 생육 비교  
(좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



[그림 130] 정식 간격에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 10주차)

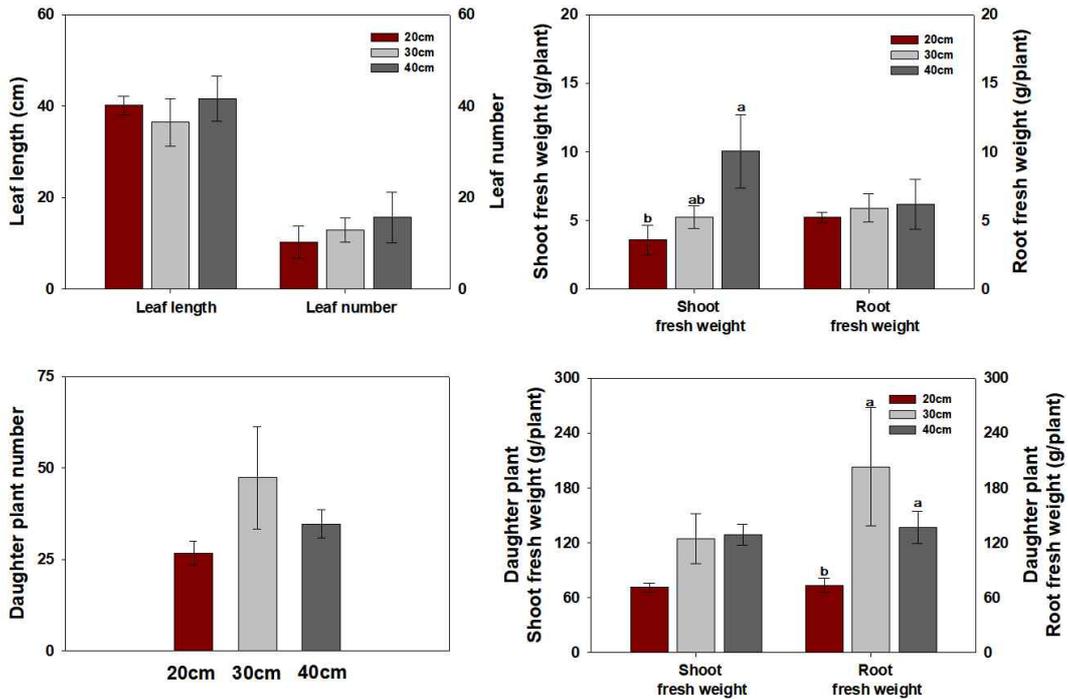
- 정식 후 10주차의 향부자 생육을 살펴본 결과, 자 식물체 개수, 자 식물체 지상부 및 지하부 생체중에서 유의적인 차이를 확인할 수 있었다. 자 식물체 개수의 경우 20cm와 30cm 구간에서 높았고 40cm에서 가장 낮았다. 자 식물체 지상부 생체중과 지하부 생체중도 마찬가지로 40cm에서 유의적으로 낮은 값을 보였다.



[그림 131] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 15주차 모 식물체 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



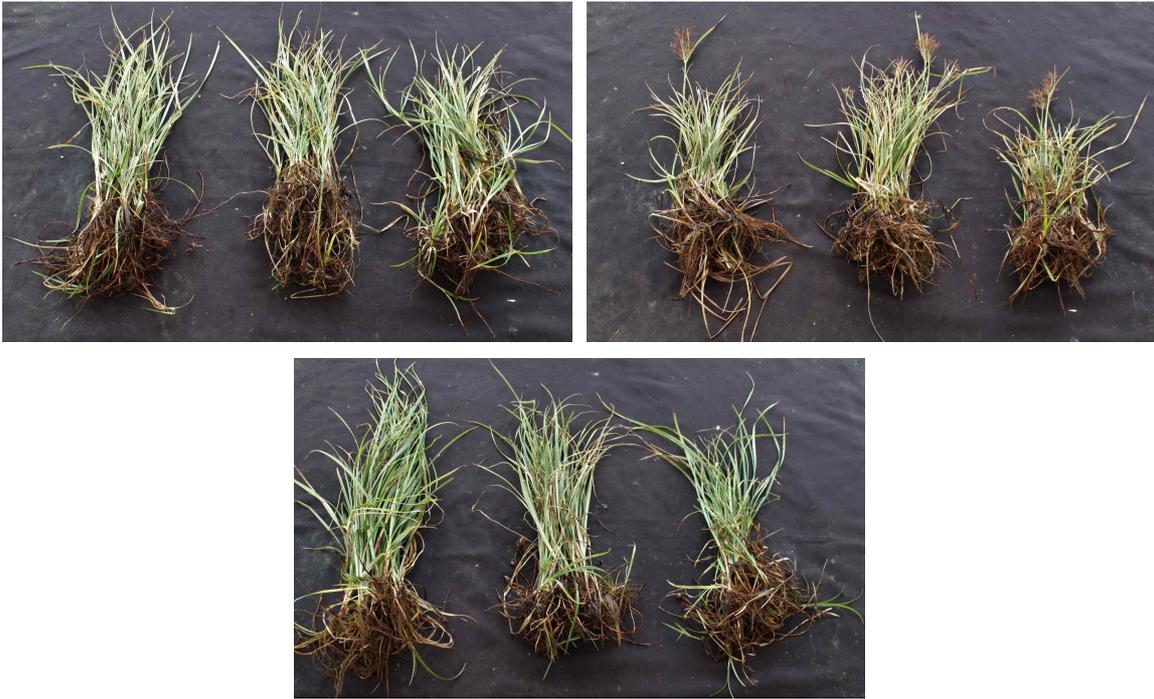
[그림 132] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 15주차 자 식물체 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



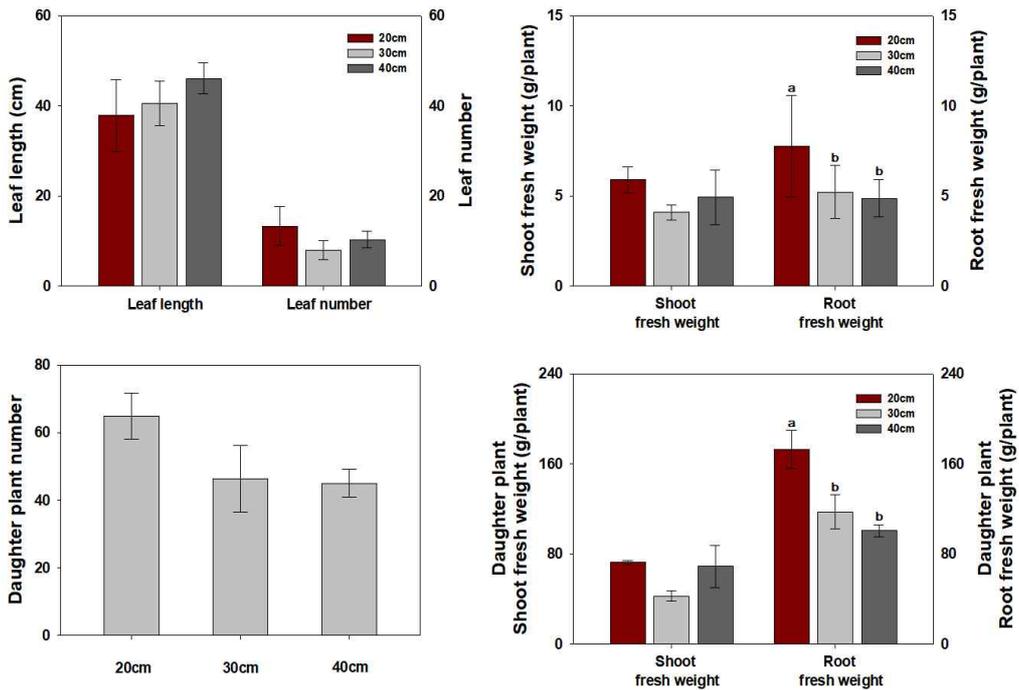
[그림 133] 정식 간격에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 15주차)

- 정식 후 15주차에서는 모 식물체의 지상부 생체중과 자 식물체의 지하부 생체중에서 정식 간격 간의 유의적인 차이를 나타냈다. 모 식물체의 지상부 생체중의 경우, 40cm에서 가장 높은 값을 보였고 간격이 좁아질수록 값 또한 함께 낮아지는 것을 확인할

수 있었다. 또한 자 식물체 지하부 생체중의 경우 30cm에서 가장 높았고 20cm에서 가장 낮은 값을 보였다.

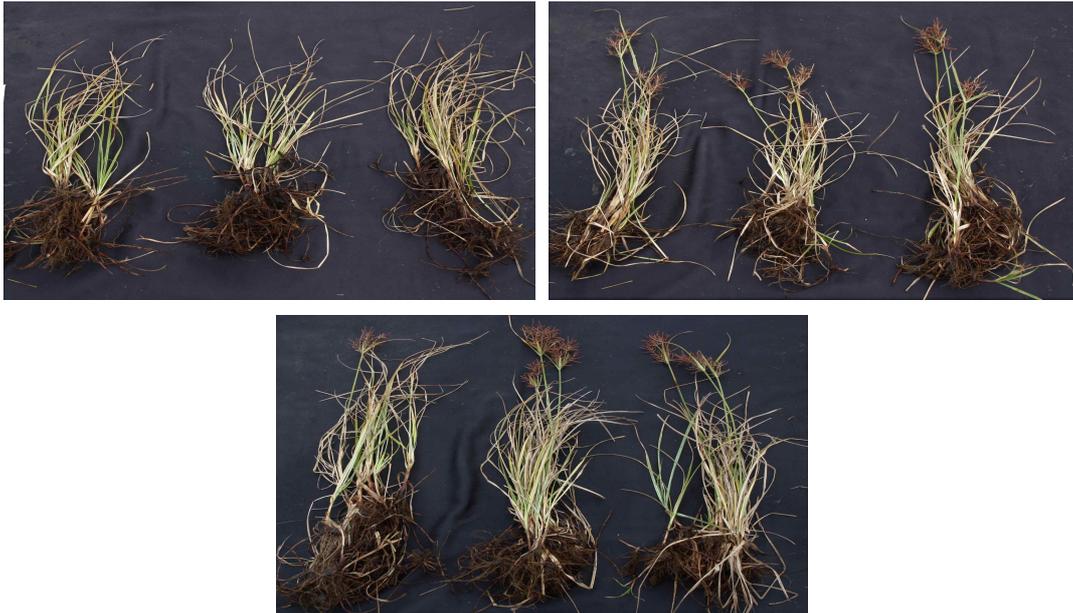


[그림 134] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 20주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)

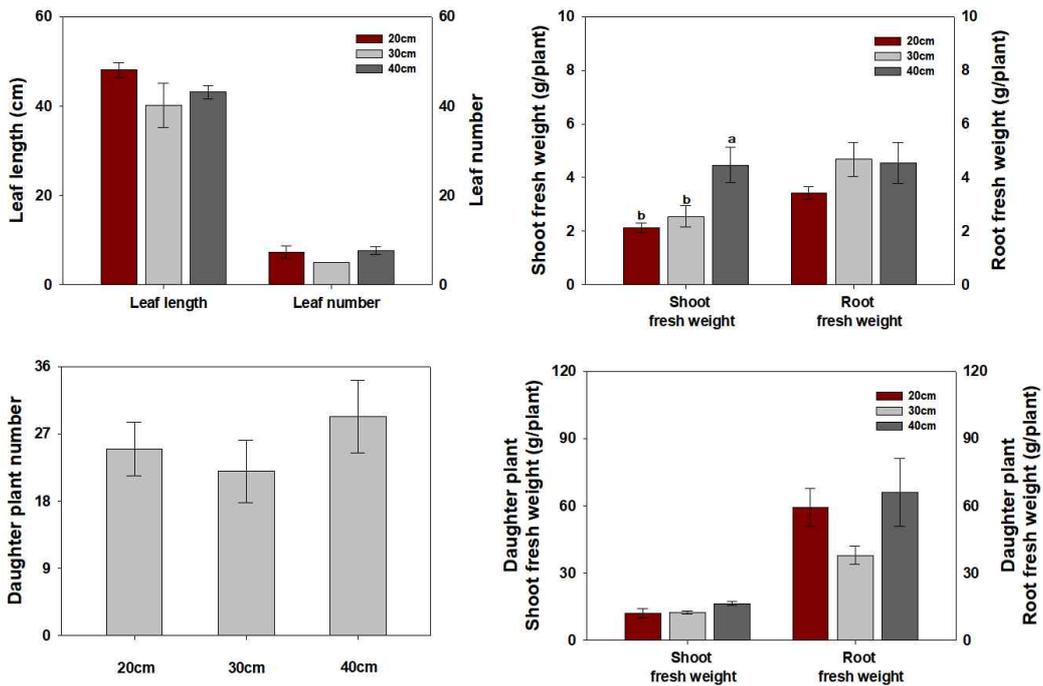


[그림 135] 정식 간격에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 20주차)

- 정식 후 20주 후 향부자의 생육을 비교했을 때, 모 식물체의 지하부 생체중과 자 식물체의 지하부 생체중에서 유의적 차이를 확인할 수 있었다. 두 항목 모두 20cm에서 가장 높은 값을 보였고 30cm와 40cm는 비슷한 값을 나타냈다. 향부자의 경우 잎이 넓게 자라지 않기 때문에 정식 간격에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

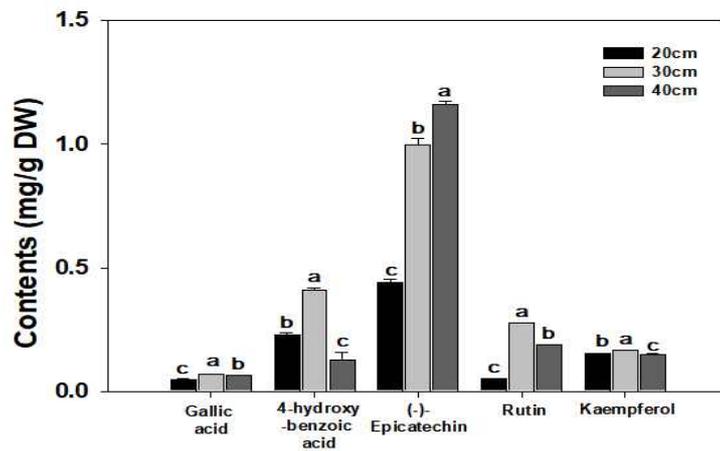


[그림 136] 정식 간격에 따른 향부자 정식 후 25주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



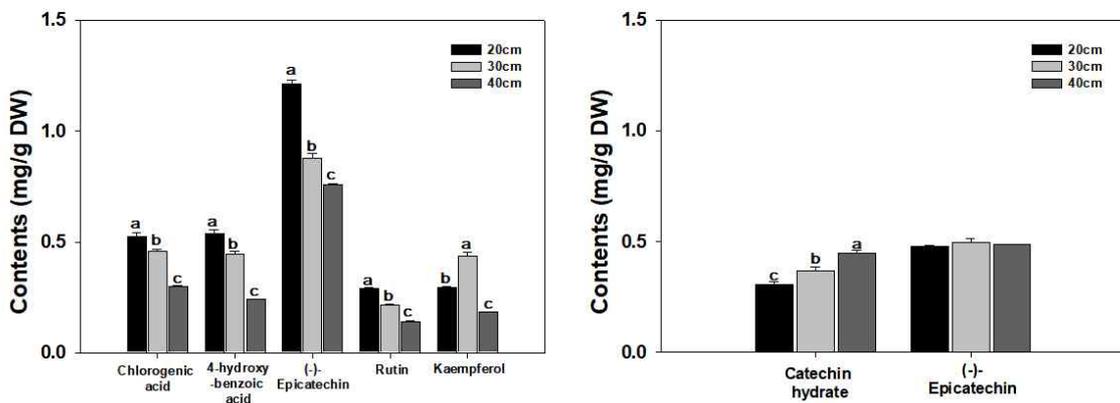
[그림 137] 정식 간격에 따른 향부자의 생육 비교(정식 후 25주차)

- 정식 후 25주차의 향부자 생육을 정식 간격에 따라 비교한 결과, 모 식물체 지상부 생체중에서 유의적인 차이를 볼 수 있다. 40cm에서 가장 높은 값을 보였고, 20cm와 30cm는 같은 값을 나타냈다. 이를 제외한 나머지 조사 항목에서는 유의성 차이를 확인할 수 없었으며, 대체적으로 20cm와 40cm에서 높은 값을 보였다.
- 따라서 향부자의 경우 정식 간격에 따른 생육의 차이는 크지 않았기 때문에 정식 간격을 결정하기 위해서는 단위면적 당 생산량을 통해 정식 간격을 정립해야할 것으로 사료되며 특히 지하부를 약용으로 사용하는 작물이기 때문에 지하부의 단위면적 당 무게를 확인하여 간격을 선정하여야 할 것으로 판단된다.



[그림 138] 정식 후 15주차 정식 간격에 따른 향부자의 물질 함량 비교

- 정식 간격에 따른 향부자의 기능성 물질 함량을 정식 후 15주차에 확인한 결과, (-)-Epicatechin, 4-hydroxybenzoic acid, kaempferol, rutin, gallic acid의 순서로 함량이 높았으며, 가장 높은 함량을 보인 (-)-Epicatechin값이 40cm 간격에서 가장 높았고 간격이 좁을수록 함량이 내려갔으나, 이를 제외하고 나머지 물질들에서는 30cm 간격에서 가장 높은 값을 보였다.



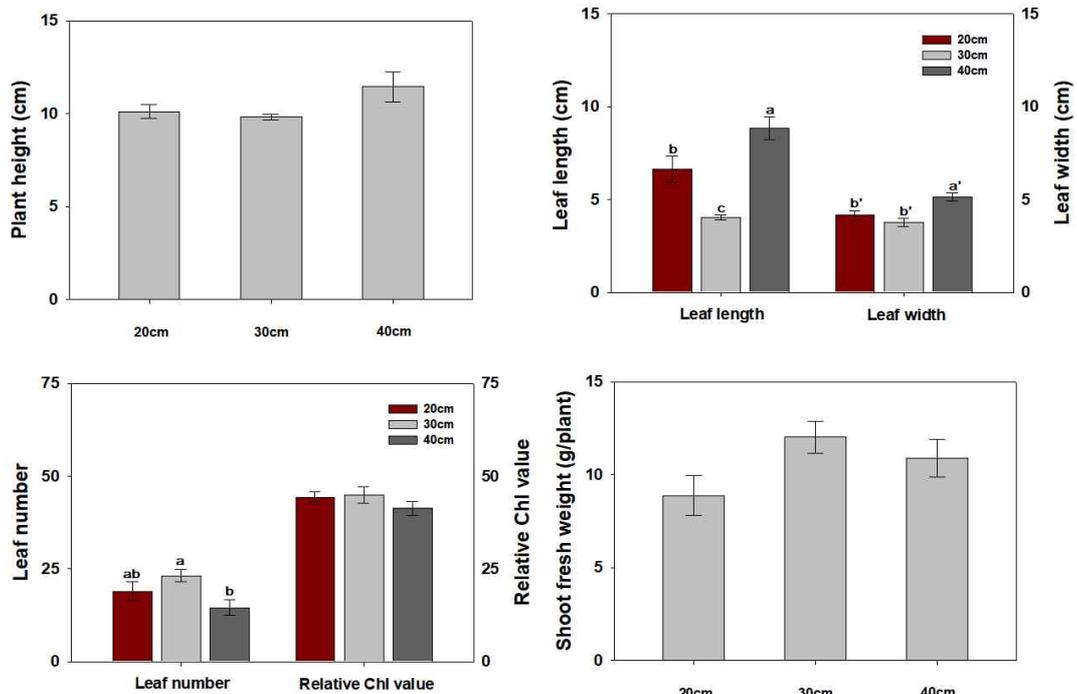
[그림 139] 정식 후 25주차 정식 간격에 따른 향부자의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

- 정식 후 25주차에서는 지상부에서 (-)-Epicatechin, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, kaempferol, rutin의 순서로 값이 떨어졌으며, 지하부는 (-)-Epicatechin, catechin hydrate의 순서였다. 지상부는 kaempferol을 제외한 모든 물질에서 20cm의 함량이 가장 높았고 간격이 넓어질수록 줄어드는 경향을 보았다. 또한 지하부 (-)-Epicatechin의 경우 정식 간격 간 차이를 보이지 않았으나, catechin hydrate는 간격이 좁아질수록 함량이 낮아지는 경향을 보였다.
- 따라서 지하부를 사용하는 향부자의 특성 상 지하부의 함량이 중요하나 정식 간격에 따른 큰 차이가 없기 때문에 정식 간격 간 품질 및 생산량을 고려하여 적합한 정식 간격을 선택할 필요가 있다.

## ② 방풍



[그림 140] 정식 간격에 따른 방풍 정식 후 5주차 생육 비교  
(좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)

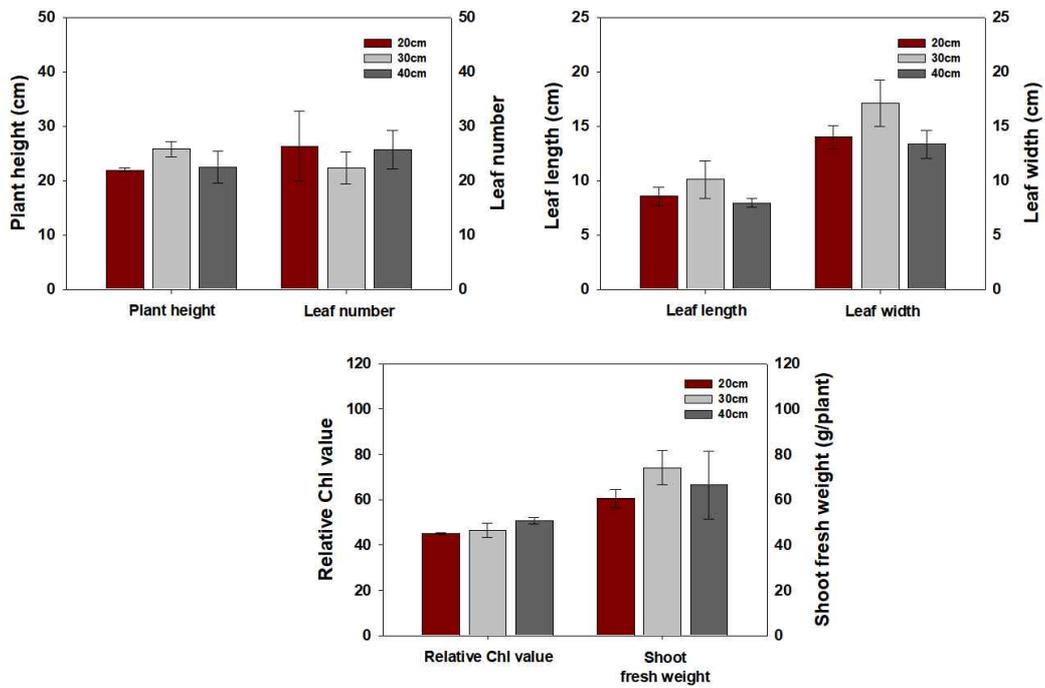


[그림 141] 정식 간격에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 5주차)

- 정식 후 5주차에서 정식 간격에 따른 방풍의 생육을 확인해 본 결과, 엽장, 엽폭, 엽수에서 유의적인 차이를 보였다. 엽장은 40cm, 20cm, 30cm의 순서로 생육이 좋았으며, 엽장은 40cm에서 유의적으로 높고 나머지 처리 구간은 같은 값을 보였음. 또한 엽수에서는 달리 30cm에서 가장 생육이 좋았고 20cm, 30cm 순이었다.



[그림 142] 정식 간격에 따른 방풍 정식 후 10주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)

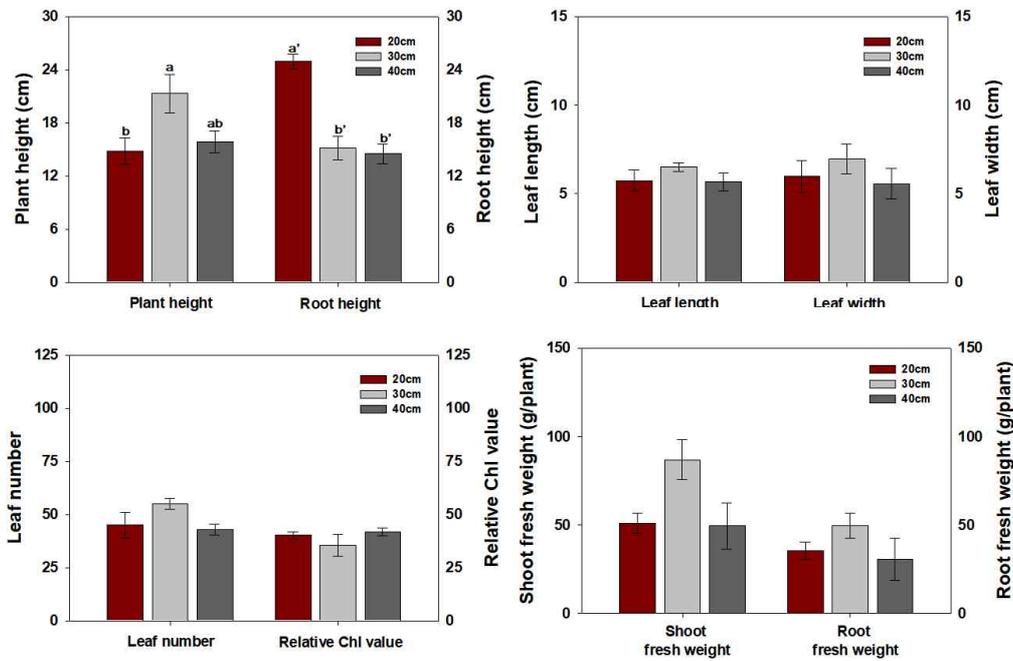


[그림 143] 정식 간격에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 10주차)

- 정식 후 10주차의 생육을 살펴본 결과 정식 간격에 따른 유의성 차이는 없었으나 엽수와 상대 엽록소 값을 제외한 나머지 항목에서 30cm 간격이 가장 높은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.



[그림 144] 정식 간격에 따른 방풍 정식 후 15주차 생육 비교  
(좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)

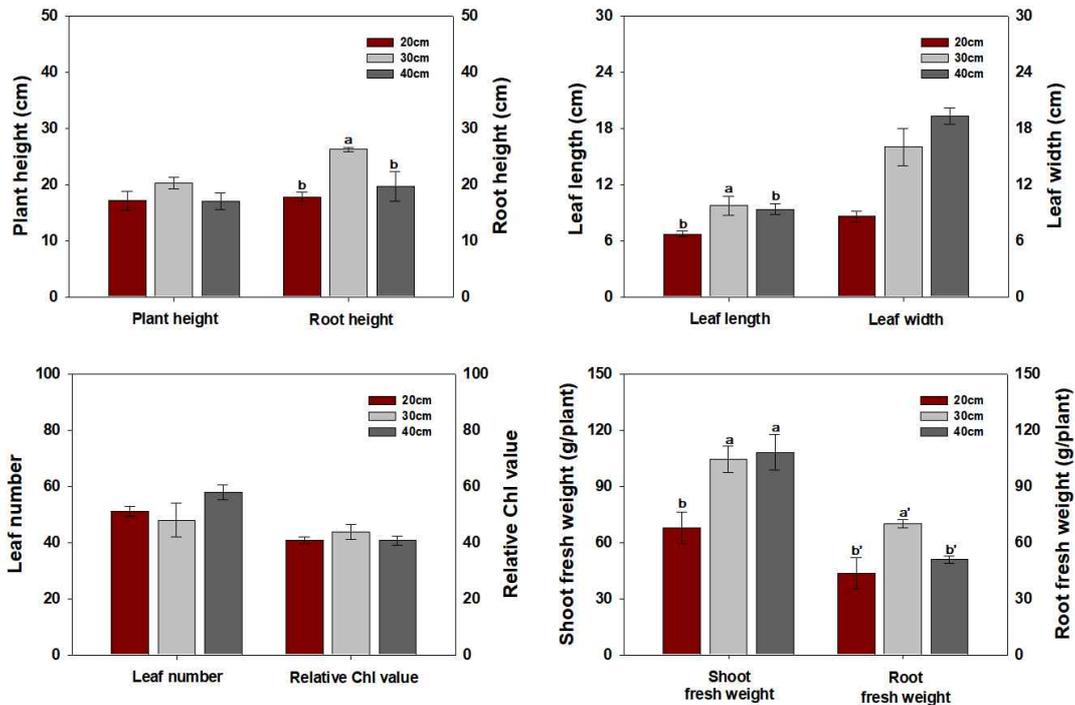


[그림 145] 정식 간격에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 15주차)

- 정식 후 15주차의 방풍 생육을 확인한 결과, 초장과 근장에서 정식 간격 간의 유의적인 차이를 확인할 수 있었다. 초장의 경우 30cm에서 가장 높은 값을 보였고, 그 뒤로 40cm, 20cm 순으로 높았으며, 근장의 경우 20cm에서 가장 높았고 30cm와 40cm는 비슷한 경향을 보였다. 20cm가 유의적으로 높은 값을 보였으나, 지하부 생체중의 경우 30cm에서 높은 경향을 보이는 것으로 보아, 근장의 길이가 지하부의 생체중에 영향을 주지는 않는다는 것을 알 수 있다.



[그림 146] 정식 간격에 따른 방풍 정식 후 20주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)

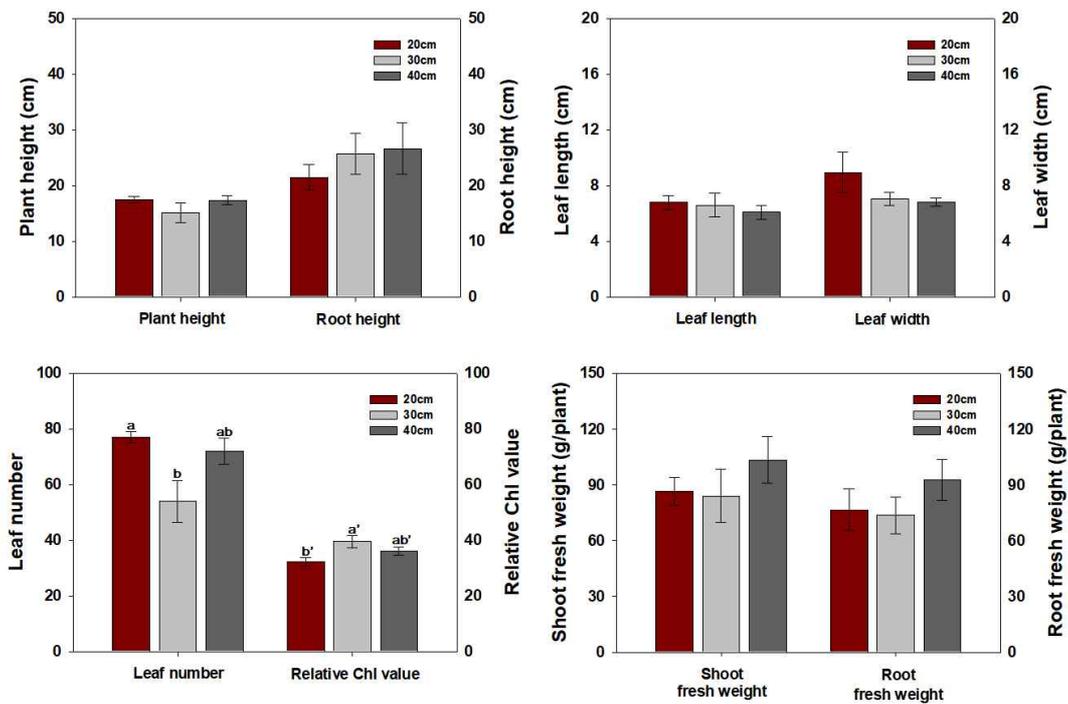


[그림 147] 정식 간격에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 20주차)

- 정식 후 20주차의 경우, 근장, 엽장, 지상부와 지하부 생체중에서 유의적인 차이를 확인할 수 있었다. 근장의 경우 30cm에서 가장 높았으며 20cm와 40cm는 같은 값을 나타냈다. 그리고 엽장의 경우도 마찬가지로 30cm에서 가장 높고 20cm와 40cm는 비슷한 값을 보였다. 또한 지상부 생체중은 30cm와 40cm가 높았고 20cm가 가장 낮은 값을 나타냈으며 지하부 생체중의 경우 30cm가 가장 높고 20cm와 40cm가 같은 값을 나타냈다.

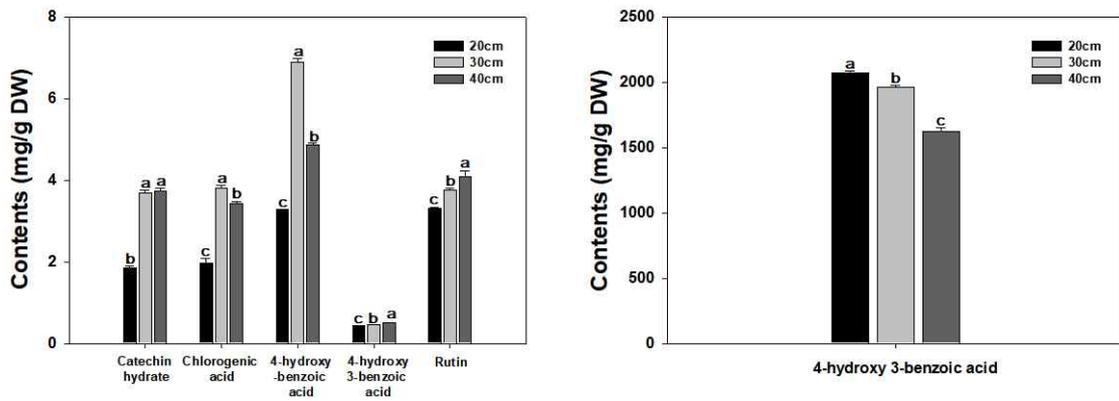


[그림 148] 정식 간격에 따른 방풍 정식 후 25주차 생육 비교 (좌-20cm, 우-30cm, 아래-40cm)



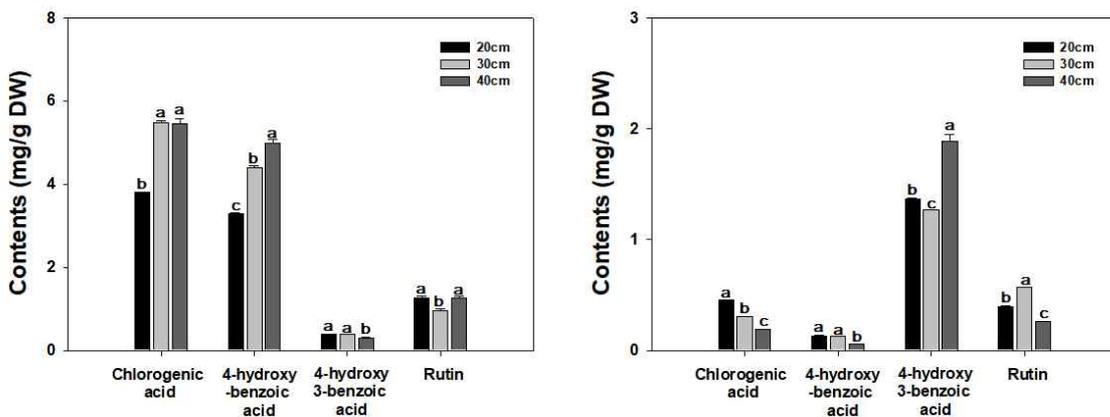
[그림 149] 정식 간격에 따른 방풍의 생육 비교(정식 후 25주차)

- 정식 후 25주차의 방풍 생육을 확인한 결과, 엽수, 상대 엽록소 값에서 유의적으로 차이를 보였다. 엽수의 경우 20cm에서 가장 높았고, 40cm, 30cm 순으로 낮은 값을 나타냈고, 상대 엽록소 값의 경우는 반대로 30cm에서 가장 높았고 40cm, 20cm 순으로 낮아졌다.
- 전체적으로 방풍의 생육을 살펴본 결과, 대체적으로 30cm에서 생육이 좋은 것으로 생각되며 방풍의 경우 생육이 커질수록 잎의 크기가 커지는데, 정식 간격이 좁아질수록 식물 간 경합이 늘어나 양분을 더 적게 받기 때문에 생육이 더 나빠지는 것으로 판단된다. 따라서 방풍의 품질을 생각했을 때 30cm 간격으로 재배하는 것이 방풍 수확에 도움을 줄 것이라고 사료된다.
- 향부자와 마찬가지로, 방풍의 정식 간격에 따른 방풍의 물질 함량 차이를 확인하기 위해 정식 후 15주차, 25주차에 HPLC 분석을 통해 기능성 물질의 함량을 분석했다.



[그림 150] 정식 후 15주차 정식 간격에 따른 방풍의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

- 정식 후 15주차의 방풍 기능성 물질 함량을 비교한 결과, 지상부는 4-hydroxybenzoic acid, rutin, catechin hydrate, chlorogenic acid, 4-hydroxy 3-benzoic acid의 순서로 함량 값이 나타났으며, 지하부는 4-hydroxy 3-benzoic acid를 확인할 수 있었다. 그리고 지상부에서는 catechin hydrate, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid에서 30cm가 가장 높았으며, 40cm, 20cm 순서로 낮아졌다. 또한 지하부에서는 간격이 넓어질수록 유의적으로 낮아지는 경향을 보였다.



[그림 151] 정식 후 25주차 정식 간격에 따른 방풍의 물질 함량 비교(좌-지상부, 우-지하부)

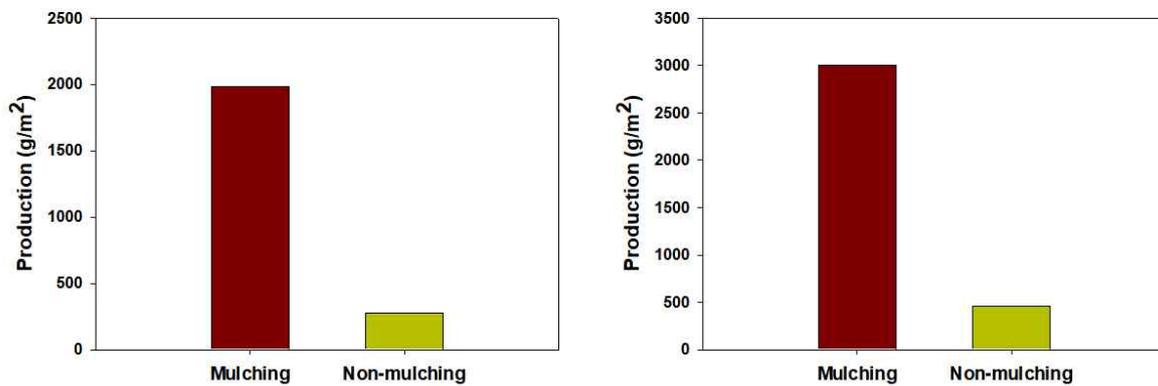
- 정식 후 25주차에서는 지상부는 chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin, 4-hydroxy 3-benzoic acid의 순서로 높은 값을 보였으며, 지하부는 4-hydroxy 3-benzoic acid, rutin, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid의 순서였다. 지상부는 함량이 높았던 chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid의 경우 간격이 좁아질수록 함량이 낮아지는 경향을 보였고, 지하부에서 함량이 높았던 4-hydroxy 3-benzoic acid는 40cm에서 가장 높았고, 30cm에서 가장 낮았으며, 두 번째로 높았던 rutin에서는 30cm에서 가장 높고 40cm에서 가장 낮았다.
- 따라서 초기에 지상부를 섭취하고 후기에 지하부를 약용으로 사용하는 방풍의 특성에 맞게

15주차 지상부에서 30cm 값이 유의적으로 높았던 것과, 25주차 지하부에서 두 번째로 함량이 높았던 rutin에서 30cm의 값이 가장 높았던 것으로 보아 방풍의 생산성과 기능성 함량을 고려할 경우 25-30cm에서 재배하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

#### 4) 수확량 비교

##### ① 멀칭 · 비멀칭

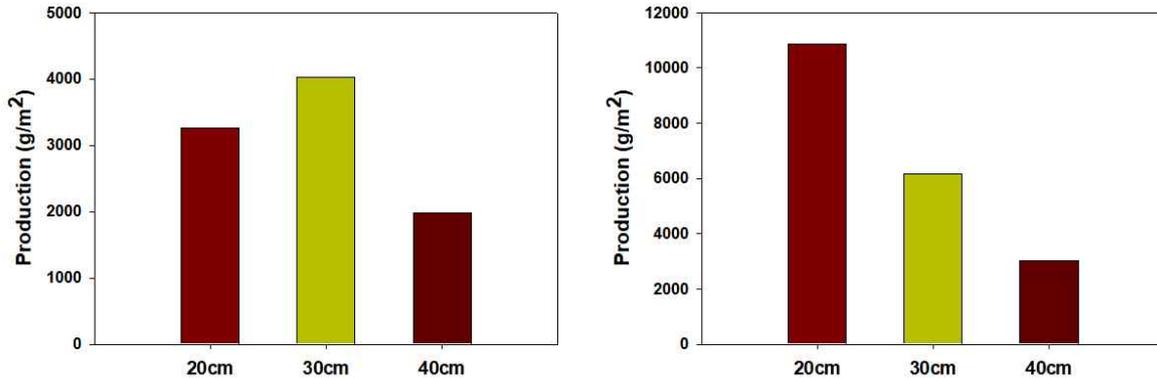
- 수확은 농촌진흥청의 품목별 재배 관리 매뉴얼에 따라 11월 22일에 방풍과 향부자를 일괄 수확하였으며 처리구 별 단위 면적 당 생산량을 산출하였다. 수확은 지하부를 약용으로 사용하는 작물들의 특성 상 지하부의 무게를 수확하여 측정했다.



[그림 152] 멀칭 유무에 따른 단위 면적 당 생산량 비교(좌-방풍, 우-향부자)

- 멀칭 유무에 따른 면적 당 생산량을 비교했을 때, 방풍과 향부자 모두 멀칭 구간에서 전체적으로 좀 더 좋은 생육을 보였다. 방풍의 경우 멀칭 구간이 1987g이고 비멀칭 구간이 275.7g으로 멀칭 구간이 약 7배 정도 높은 값을 보였다. 또한 향부자는 멀칭 구간이 3008g이고 비멀칭 구간이 459g으로 약 6배 정도 높은 값을 보였다.
- 따라서 방풍과 향부자의 생육 및 단위 면적 당 생산량을 비교했을 때 멀칭 구간에서 방풍과 향부자를 재배하는 것이 작물의 품질 및 생산량을 높이는 데 적합할 것으로 사료된다.

## ② 정식거리에 따른 생산량 비교 분석 검증



[그림 153] 정식 간격에 따른 단위 면적 당 생산량 비교(좌-방풍, 우-향부자)

- 정식 간격에 따른 단위 면적 당 생산량을 비교한 결과, 방풍의 경우 30cm, 20cm, 40cm의 순서로 생산량 값이 낮아졌다. 30cm의 경우 4023.74g, 20cm는 3258.33g, 40cm는 1977.67g로 30cm가 40cm보다 약 2배 정도 더 높은 값을 보였으며 향부자의 경우에는 간격이 넓어질수록 생산량이 줄어드는 경향을 보였다. 20cm의 경우 10871.67g, 30cm는 6155.36g, 40cm는 3008g으로 20cm가 40cm의 약 3배정도 높은 값을 나타냈다.
- 따라서 방풍의 경우에는 작물의 생육, 기능성 물질 함량, 단위 면적 당 생산량을 종합적으로 비교했을 때 30cm에서 재배하는 것이 가장 적합할 것으로 판단되며 향부자는 생육과 기능성 물질 함량에서 정식 간격에 따른 차이가 유의적으로 나타나지 않았기 때문에 단위 면적 당 생산량을 비교하여 판단했을 때 20cm 간격으로 정식하여 재배하는 것이 가장 적합할 것으로 사료된다.

## 2-7 자동 관수 시스템을 활용한 간척농지 작물 경제성 및 효율성 분석

## 가. 경제성 분석 필요성

- 간척지는 강이나 바다, 호수였던 지역에 독을 쌓고 물을 빼내는 과정을 통해 새롭게 조성한 토지이며, 본 연구의 대상 간척지는 간척지를 이용한 해면간척으로 구분된다.
  - 간척지(tidal flat)는 해저 경사가 0~2% 정도의 평탄한 지형으로 만조 때 침수되고, 간조 때는 대기에 노출되는 얇은 바다를 의미한다.
- 1950년대 이후 본격적으로 시행된 간척 사업은 주로 농경지 확보를 통한 식량문제 해결을 주요 목적으로 시행되었으며, 화옹, 시화, 석문, 이원, 남포, 삼산, 고흥 등 대부분 서해안에 조성되었다.
- 과거에는 간척지의 주 용도가 논이었으나, 우리나라 쌀 소비가 지속적으로 감소하면서 최근 들어서는 논 이외에 밭으로의 활용이나, 생태 복원, 관광 등 다목적의 용도로 쓰임새가 변화되고 있다.
  - 간척지의 용도는 농경지, 고엽단지, 도시용지 등 토지로의 활용 이외에도 간척으로 조성된 담수호의 수자원 활용, 방조제 및 담수호 주변 등의 관광 및 교통, 홍수피해 및 염해방지와 같은 환경개선 등 다양하다.

- 간척지의 농경지 이용에 있어서 쌀 소비의 지속적인 감소로 인해 벼 생산을 위한 논으로의 이용보다는 다양한 밭작목의 생산이 대안으로 고려되고 있으나 간척지의 경우 배수 불량, 높은 염분농도, 낮은 비옥도 등으로 인해 작목의 생육에 부적합한 측면이 있어 간척지 재배작목 도입에 있어서 신중한 고려가 필요하다. 또한, 토양의 염도가 높을 경우 삼투압이 높아져 작목이 수분 흡수가 안 되기 때문에 염분 제거 및 재염화 방지가 필요하며, 간척지는 농경지보다 배수가 불량하고 비옥도가 낮아 토양개량이 필요하다.
- 간척지의 토양 개량이 일정 수준 진행된 이후에는 염에 강한 보리나 밀 등의 작목을 심어 점차 농업에 적합한 토지로 바꾸는 숙전화 작업을 시행하게 되었다.
- 간척지에서는 일반적으로 염생식물, 사료·녹비작목, 일반 밭작목, 채소 및 원예작목 등의 4단계로 구분하여 단계적으로 재배하는 것이 일반적이며, 염분농도에 따른 작목의 선택은 아래 표와 같다.

[표 23] 염분농도에 따른 작목의 선택

염분농도	재배 가능 작목
1단계 0.5% 이상	갈대, 나문재, 해홍나물, 통통마디, 칠면초, 갯개미자리 등 염생식물 이탈리안라이그라스, 톨위트그라스, 버뮤다그라스
2단계 0.25~0.5%	호밀, 보리, 유채, 자운영, 밀, 헤어리베치, 세스바니아, 사탕수수, 해바라기, 솔트그라스, 벼
3단계 0.10~0.25%	시금치, 옥수수, 콩, 땅콩, 케일, 아스파라거스, 근대, 토마토, 오이, 참외
4단계 0.1% 이하	마늘, 양파, 감자, 고구마, 피망, 배추, 상추, 호박, 가지, 셀러리, 완두, 양배추, 메밀, 백합, 국화, 카네이션, 장미, 거베라, 수국

자료 : 농어촌연구원(2006), 『새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구』

- 본 연구의 분석 대상 작목인 ‘방풍’ 과 ‘향부자’ 는 모래 성분이 많은 토양에서 서식하고 있어 간척지에서 염분이 제거된다면 재배가 용이할 수 있는 작목들이다.
  - 방풍은 비교적 따뜻한 중남부지역에서 잘 자라기 때문에 우리나라 중남부의 해안가가 재배적지이며, 사질양토나 미사질토처럼 습기가 잘 유지되는 곳에서 생육이 적합하다.
  - 방풍류의 뿌리는 쿠마린(Coumarin)계 물질이 주요성분으로 알려져 있으며, 발한, 해열, 진통, 이뇨, 항바이러스 작용을 한다고 하여 한약재로 이용된다.
  - 향부자는 주로 전라남도과 제주도 등지에 생육하고 있으며, 덩기줄기를 약용으로 사용되고, 서식지는 모래땅이 적합하다.
- 막대한 자본으로 조성된 간척지를 효율적으로 활용하는 방안을 모색하는 것은 국가 자원의 효율적인 이용 측면뿐만 아니라 해당 간척지에서 농업을 영위하고자 하는 생산자 측면에서도 중요한 사안이다.
  - 농업용지로 활용되는 간척지의 여건에 가장 적합한 작목을 선택하고자 할 때 생육적인 측면뿐만 아니라 생산된 작목의 경제적 타당성도 함께 고려 필요하다.

- [표 9]에서와 같이 간척지 염도 수준에 따라 재배 가능한 다양한 품종이 존재하는 상황에서 실제 재배를 담당하게 될 생산자의 경제성 부분이 충족되지 않을 경우 효율적인 간척지 활용은 어려울 것이다.
- 간척지의 경우 지속적인 재염화 방지 노력과 토지 비옥도 향상을 위한 비용이 일반 농경지에 비해 추가적으로 소요되는 상황에서 해당 작목 생산 시 투입되는 비용보다 얻을 수 있는 수익이 더 클 것으로 기대되지 않을 경우에는 적절한 작목이라고 할 수 없을 것이다.
- 해당 간척지에서 가장 적절한 작목을 선택하기 위해서는 여러 가지 고려 가능한 작목들에 대해 경제성 분석이 요구되며, 경제성 분석 결과는 생산 농가가 새로운 작목 수용과 관련된 의사결정을 하는 데 중요한 자료로 활용될 것이다.
  - 최적의 작목 선택을 위해서는 대상 작목들의 재배비용과 수확량을 조사·분석하고, 조수입 및 순수익 등 경제성을 비교·검토할 수 있는 자료 제공 필요하다.
- 본 연구는 방풍과 향부자의 생산에 소요되는 제비용과 조수입 등의 자료를 수집·분석하고, 이 결과를 토대로 경제성을 분석함으로써 향후 생산 농가들의 의사결정에 필요한 자료를 제공하는 것에 주요 목적을 두고 있다.
- 현재까지 간척지에서 생산된 방풍과 향부자에 대한 경제성 분석을 수행한 연구가 없어 향후 방풍과 향부자의 농가 선택 시 유의한 자료를 제공할 수 있다는 점에서 본 연구의 의의가 있다고 판단된다.
  - 본 분석결과는 간척지 생산 가능 품목들의 경제성 분석 결과를 비교함에 있어서 중요한 자료로 활용 가능하다.

## 나. 경제성 분석의 의의와 범위

### 1) 경제성 분석의 의의

- 경제성은 경제적 또는 기술적 목적이 그 실현을 위한 여러 활동에 의해 얼마만큼 달성되었는가 하는 성과성을 의미하며, 경제주체의 경제활동에 대한 합리성 여부 및 목적 달성 여부를 판단하는 근거로 이용된다.
- 경제성이라는 개념은 구체적으로 매우 다양하게 사용되는데, 기술적 경제성, 원가적 경제성, 수익성적 경제성, 공동경제적 경제성, 국민경제적 경제성, 윤리적 경제성 등으로 구분된다.
- 위와 같은 경제성 개념 중 작목의 경제성 분석방법에서 주로 활용되는 개념은 수익성적 경제성이며, 이는 수익 대 비용 관계로서의 경제성을 의미한다.
- 농업 생산 활동분야에서 새로운 농업 기술이나 작목 도입 시 의사결정에 필요한 경제성 분석이 많이 다루어지고 있다.
  - 새로운 농업 기술이나 작목 도입이 생산 농가들의 수익 구조를 변화시킬 경우 이를 농가에 보급하기 이전에 사전적으로 해당 기술이나 작목의 도입에 따른 수익과 비용을 산출하여 분석·검토하는 작업이 필요하다. 또한 생산 농가들은 새로운 기술이나 작목 도입 시 수익적 경제성 분석 결과를 수용 여부의 의사결정에서 중요한 자료로 활용된다.

- 본 시범연구의 경제성 평가는 연구과제의 종료시점에서 이루어지는 최종평가 단계에 속하며, 방풍과 향부자 작목의 도입에 따른 비용과 수익의 비교를 현 상황뿐만 아니라 미래의 변화를 반영하여 검토할 필요가 있다.
  - 생산비용의 항목과 이들 항목들의 미래 여건과, 수요와 공급의 변화에 따른 농가판매가격 내지 도매시장 가격의 변화 추이에 대한 부분들이 중요한 고려 요소에 해당하며, 시범연구 작목에 대한 경제성 평가 결과는 다른 대안적 작목들에 대한 경제성 분석 자료의 이용이 가능할 경우 타 작목들과의 수익성적 경제성을 비교·분석에 활용 가능하다.

## 2) 경제성 분석의 범위

- 수익성적 경제성 분석을 위해서는 새로운 작목 도입에 따른 비용과 수익을 인식하고 구분하는 문제와 이들 항목들에 대한 측정 및 가치부여의 문제가 가장 중요하다고 할 수 있다.
- 비용과 수익을 예측하는 것은 특정 사업과 관련하여 어떠한 비용과 수익이 발생할 것인지를 예측하는 것이며, 이 경우 투입을 비용으로 산출을 수익으로 구분하는 방법과 사업의 부정적 결과를 사회적 비용으로 사업의 긍정적 결과를 사회적 편익으로 구분하는 방법이 있다.
  - 투입과 산출은 작목 생산에 소요되는 직접적 비용과 효과를 의미하는 반면, 사회적 비용과 사회적 편익은 광범위한 의미의 개념이라고 할 수 있다.
- 본 연구에서는 이미 조성된 간척지의 작목 도입 및 생산에 따른 경제성을 분석하는 것이 주요 목적이기 때문에 간척사업에 투입된 비용과 간척사업에 의한 갯벌생태계 파괴 등과 같은 사회적 비용이나 방풍 생산에 따른 경관적 가치, 지역경제 파급효과 등과 같은 사회적 편익은 논의에서 제외하는 것이 적절하다고 판단된다.
  - 간척지 조성에 기 투입된 비용은 작목 도입의 의사결정에서 고려 대상이 아닌 매몰비용으로 간주하는 것이 적절하며, 경관적 가치는 비시장적 편익에 의한 추정을 통해 분석될 수 있기 때문에 본 연구의 범위에서 제외하는 것이 적절하다고 판단했다.
- 방풍 및 향부자 도입에 따른 경제성 분석은 작목 생산과정에서 고려되어야 하는 비용과 단수 및 판매수익 등 수익성 자료에 기초하여 분석절차를 진행하도록 했다.

### 3) 조수입 및 비용 산출

- 간척지 내 방풍 도입에 따른 경제성 분석을 위해서는 기본적으로 수익성 측면에서의 조수입과 제반 생산과정에서 발생하는 비용이 산출되어야 한다.

- 본 연구에서의 경제성 분석은 신기술의 도입이 아닌 작목 도입의 경제성 분석이기 때문에 작목 도입 이전과 이후의 변화가 아닌 작목 생산과 판매에 관련된 분석에 국한되어 있다.

#### ① 조수입의 산출

- 조수입을 산출하기 위해서는 방풍의 주산물과 부산물에 대한 판단과 이들 각각에 대한 농가수취가격을 살펴보아야 한다.

- 조수입은 단위면적당 생산량에 농가수취가격을 곱한 금액으로 산출되며, 이때 농가수취가격은 농가판매가격에서 출하비용을 제한 금액이다.

- 출하비용에는 운임, 상장수수료(위탁수수료), 상·하차비 등을 포함

- 한편, 방풍과 향부자의 부산물은 생산 농가의 주요 수입원에 해당되지 않아 부산물 평가액은 고려하지 않았다.

#### ② 투입 비용

- 투입 비용은 타 작목들과의 경영비 비교나 간척지 이외의 농경지에서 생산되는 방풍 또는 향부자와의 경영비 비교 용이성을 고려하여 농촌진흥청에서 조사·발간하고 있는 『농축산물 소득자료집』의 경영비 항목을 토대로 분석하는 것이 바람직하다.

- 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목(투입 비목)들로써는 종자·종묘비, 비료비, 농약비, 수도광열비, 기타재료비, 대농구·영농시설상각비, 수리·유지비(수선비), 기타비용, 임차료, 위탁영농비, 노동비, 유동자본용역비, 고정자본용역비, 토지자본용역비, 중간재비 등이다.

- 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목들과 비용 산정 기준은 [표 10]와 같다.

[표 24] 『농축산물 소득자료집』에서 다루고 있는 경영비 항목과 비용 산정 기준

구분	비용 산정 기준
종자·종묘비	· 종자 혹은 종묘에 대한 투입 당시의 농가구입가격을 적용
비료비	· 무기질 비료는 농가구입가격을 적용 · 유기질 비료는 구입한 경우는 농가구입가격을 적용하고, 구입하지 않았을 경우에는 비용가 또는 성분가를 적용
농약비	· 작목의 병충해 예방 및 방제에 사용한 살충제, 살균제와 제초제, 기타 농업용 약제 일체를 계상하여 농가구입가격을 적용하고, 항공 및 공동 방제에 투입된 비용은 부담비용을 산정

구분	비용 산정 기준
수도광열비	• 작목의 생산과 관련하여 물사용에 소요되는 비용 및 사용한 유류(경유, 등유, 휘발유, 중유 등), 가스, 전기, 석탄 등의 비용
기타재료비	• 종묘, 비료, 농약, 수도광열비를 제외한 모든 재료의 비용으로 농가구입가격을 적용하며, 자가생산물은 비용가를 적용
대농구, 영농시설상각비	• 감가상각비 계산은 정액법을 이용하고, 이들 장비들이 여러 작목에 활용된 경우 조사 작목 비용부담비율 적용
수리·유지비	• 대농기구, 영농시설의 유지를 위하여 수선한 비용
기타비용	• 투입비용 조사 시 어느 비목에도 계상되지 않는 비목으로 협회비, 전문서적 구입비, 보험료 등이 해당
임차료	• 조사 작목의 영농을 위하여 대농기구, 영농시설, 토지 등을 실제 임차하여 지불된 금액
위탁영농비	• 조사 작목 생산과정 중 일부작업을 다른 사람에게 위탁한 경우의 비용
노동비	• 투입된 노동력을 자가노동과 고용노동으로 구분하여 계상하되 고용노동비의 노임단가는 지역별 현금, 현물 및 급식비를 합산하여 적용하고, 자가노동비는 5~29인 규모 제조업 평균임금을 적용하여 산출
유동자본용역비	• 조사 작목의 생산을 위하여 생산기간 중 투입된 유동자본채 자본액에 대한 이자비용으로 유동자본액에 연간 이자율 5%를 곱한 후 산출계수 1/2를 곱하고 재포기간(월)을 12로 나눈 재포 기간 비율을 곱하여 계상함 • 유동자본액은 경영비에서 감가상각비를 제외한 금액임
고정자본용역비	• 조사작목의 생산을 위하여 생산기간 중 투입된 고정자본채 자본액에 대한 이자비용
토지자본용역비	• 조사작목의 생산을 위하여 투입된 자기토지의 사용에 대한 기회비용으로 인근의 동질 유사 토지에 대한 임차료를 적용하여 평가
중간재비	• 조사작목의 생산을 위하여 투입한 일체의 재료 비용

자료 : 농촌진흥청(2017), 『농축산물 소득자료집』

#### 4) 경영성과 및 생산성 관련 지표 1)

- 작목 도입에 따른 경제성 유무는 경영성과 및 생산성 관련 지표들의 산출을 통해 파악할 수 있으며, 조수입 및 경영비 항목들의 자료를 토대로 ① 수입 및 비용관련 지표 ② 토지 관련 지표 ③ 노동관련 지표 ④ 자본관련 지표로 구분할 수 있다.
  - 수입 및 비용관련 지표에는 농업조수입, 중간재비, 부가가치, 가처분소득, 농업소득률, 농업순이익률 등이 있으며 각 지표별 산출방식은 [표 11]과 같다.

[표 25] 수입 및 비용관련 지표와 산출방식

1) 본 절은 농촌진흥청의 『식량작목 경제성 분석방법과 사례(2014)』를 토대로 정리하였음

구분	산출방식
농업조수입	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 당해년도 농업경영 결과로서 얻은 총수입</li> <li>• 농산물 판매액, 현물지출평가액(지대, 노임 등), 자가생산 농산물의 자가소비평가액, 대동식물 증식액 및 미처분 농산물 재고 증감액을 합계한 총액</li> </ul>
중간재비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업경영비 - (노임+농지임차료 및 기타 임차료)</li> </ul>
부가가치	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업조수입 - 중간재비</li> </ul>
가치분소득	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농가소득 - 조세공과금</li> </ul>
농업소득률	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업소득 ÷ 농업조수입 × 100</li> </ul>
농업순이익률	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 농업순이익 ÷ 농업조수입 × 100</li> </ul>

자료 : 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』

- 토지관련 지표에는 토지생산성이 있으며, 산출방식은 [표 12]과 같다.

[표 26] 토지 관련 지표와 산출방식

구분	산출방식과 활용
토지생산성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토지면적 단위당 생산량으로 정의</li> <li>• 농업부가가치/경지면적(10a)</li> <li>• 토지의 생산성을 타 토지와 비교하고, 다른 작목과 비교하는 지표로 사용</li> </ul>

자료 : 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』

- 노동관련 지표에는 노동생산성과 노동집약도가 있으며, 산출방식은 [표 13]와 같다.

[표 27] 노동 관련 지표와 산출방식

구분	산출방식과 활용
노동생산성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 투하된 노동량과 그 결과로서 얻은 생산량과의 비율로 정의</li> <li>• 농업과 타 산업간의 경제적인 능률을 비교하는 지표</li> <li>• 농업부가가치/영농시간</li> </ul>
노동집약도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단위생산물에 대한 투하노동량의 비율로 정의</li> <li>• 일정 경지면적에 대해 투하된 노동량</li> <li>• 영농시간/경지면적</li> </ul>

자료 : 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』

- 마지막으로 자본관련 지표로는 농업자본액, 자본생산성, 자본집약도, 자본구성도(자본장비율), 자본계수 등이 있으며 각 지표별 정의 및 산출방식은 [표 14]과 같다.

[표 28] 자본관련 지표와 산출방식

구분	산출방식
농업자본액	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업생산에 투하된 자본재 중에서 재생산이 가능한 자본재를 평가한 금액</li> <li>•농업고정자본액 : 개량·간척된 토지, 농업용 시설물, 대농구, 대동식물</li> <li>•농업유동자본액 : 소동물, 재고농산물, 재고생산자재, 경상적 농업지출</li> </ul>
자본생산성	<ul style="list-style-type: none"> <li>•투하된 자본에 대한 생산량으로 자본계수와 역수의 관계를 가짐</li> <li>•농업과 타 산업간의 경제적인 능률을 비교하는 지표</li> <li>•농업부가가치액/농업자본액</li> </ul>
자본집약도	<ul style="list-style-type: none"> <li>•일정 경지면적에 대하여 투하된 농업자본액</li> <li>•농업자본액/경지면적</li> </ul>
자본구성도 (자본장비율)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•노동자 1인당 자본액</li> <li>•가족노동이 많고, 노동의 계절성 때문에 ‘농업자본액/영농시간’으로 계산</li> </ul>
자본계수	<ul style="list-style-type: none"> <li>•농업자본액/농업소득</li> </ul>

자료 : 농촌진흥청(2014), 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』

### 5) 비교 대상 간척지 작목의 경제성

- 해당 간척지에서 가장 적절한 작목을 선택하기 위해서는 간척지 재배에 있어서 고려 가능한 여러 가지 작목들에 대한 경제성 분석결과를 살펴볼 필요가 있다.
  - 기존 간척지에서 재배된 작목들의 경제성 분석결과는 간척지에서 어떤 작목을 재배할 지를 고민하는 생산 농가가 새로운 작목 수용과 관련된 의사결정을 하는 데 중요한 자료로 활용되며, 본 연구의 대상작목인 방풍의 도입 의사결정에도 고려가 필요한 자료이다.
- 경제성 분석 대상인 방풍과 향부자의 재배지역은 석문간척지에 위치하고 있으며, 염분농도가 1~2단계에 해당되는 지역으로 경제성 비교·분석이 의미 있는 작목도 염분농도에 따라 재배 가능한 작목을 선택하여야 한다.
- 염분농도에 따른 재배가능 작목의 고려와 함께 재배시기도 고려하여야 할 사항이며, 분석 대상 작목의 재배시기와 유사한 작목을 경제성 비교작목으로 선택하여야 한다.
- 석문간척지 방풍재배 시험지역의 염분농도와 재배시기가 유사한 작목들은 벼, 사탕수수, 해바라기 등으로 해당 작목들 중 경제성 조사가 기존에 이루어진 작목을 최종 비교대상 작목으로 선정할 필요가 있다.

[표 29] 염분농도와 재배시기에 따른 선택 가능한 작목

단계	염분농도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1단계	8dS/m 이상	갈대, 나문재, 해홍나물, 칠면초, 통통마디(염생식물) 이탈리안라이그라스, 톨위트그라스, 버뮤다그라스(사료작목)											
2단계	8~4dS/m	보리, 호밀, 유채, 자운영, 밀				벼, 세스바니아, 사탕수수, 해바라기, 솔트그라스				보리, 호밀, 유채, 자운영			
3단계	4~2dS/m	시금치				옥수수, 콩, 땅콩, 케일, 오이, 참외, 아스파라거스, 근대, 토마토				시금치			
4단계	2dS/m 이하	마늘, 양파				감자, 고구마, 피망, 배추, 무, 당근, 상추, 호박, 가지, 양배추, 머스크멜론, 샐러리, 완두				마늘, 양파			
		백합, 국화, 카네이션, 베고니아, 장미, 수국, 거베라, 프리지아 포인세티아, 에리카, 안스리움, 프리물라, 메밀											

자료 : 농어촌연구원(2006), 『새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구』

- 간척지 내 벼 재배에 따른 경제성 분석이 농축산물 소득자료집에 포함된 세부 항목별로 조사된 최근 연구는 없는 상황이다.
  - 최근 간척지 벼 생산의 경제성 연구는 주로 작부체계에 따른 경제적 효과분석이나 염분농도 변화에 따른 경제성 분석에 국한되어 있다.
- 연구 대상 지역인 석문지구 내 쌀 생산비는 한국농어촌공사에서 2014년 실시한 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』에서 파악할 수 있다.
  - 수도생산비 산출은 통계청의 생산비 비목에 따라 조사하였으며, 구체적으로는 종묘비, 비료비, 농약비, 위탁영농비, 고용노동비, 자가노동비 등의 항목으로 구성
  - 농지임차료는 영농법인이 2013년 한국농어촌공사와 시군에 지불한 임차료를 적용
  - 영농광열비, 대농구상각비, 기타 제재료비, 자본용역비는 자료의 객관성 확보를 위해 통계청의 도별 쌀 생산비 자료를 적용

[표 30] 석문간척지 쌀 생산비(2014년 기준)

단위: 원/10a

구분	비목	금액	비고
생산비	종묘비	18,302	
	비료비	69,998	
	농약비	45,870	
	영농광열비	7,159	
	대농구상각비	45,923	
	영농시설상각비	997	
	기타 제재료비	15,932	
	농지임차료	148,429	
	위탁영농비	183,750	
	고용노동비	18,192	1.6시간
	기타요금	11,740	소농구비, 기타
	소계	566,292	
	자가노동비	141,523	10.2시간
	자본용역비	141,502	유동, 고정, 토지자본용역비
총계	849,317		

자료 : 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

- 쌀 조수입 계산에 필요한 자료로는 쌀 단위당 수확량과 판매가격이며, 쌀 수확량은 [표 16]과 같다.
  - 특정 연도의 병충해나 기상여건에 따른 수확량 변화를 적절하게 고려할 수 있도록 2010년부터 2014년까지의 5개년 수확량을 평균하여 적용하는 것이 적절하며, 조사연도별 쌀 판매가격은 해당 연도별 쌀 정부수매단가를 적용했다.

[표 31] 석문간척지 수도작 생산량(2010~2014년)

단위: kg/10a

구분	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	5개년 평균
최고	481.3	473.0	440.7	528.0	540.5	494.1
최저	371.5	360.7	317.8	381.0	394.3	371.1
평균	426.8	420.2	392.0	464.8	478.7	437.3

자료 : 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

- 2010~2013년 4개 연도의 석문간척지 단위면적 당 쌀 평균 생산량은 동 지구가 속해 있는 충청남도의 쌀 평균생산량의 81.6% 수준으로 10a당 95.8kg이 적었고, 당진시의 평균생산

량의 77.6%(122.8kg/10a) 수준이었다.

[표 32] 당진시와 석문간척지의 수도작 평균생산량 비교(2010~2013년)

단위: kg/10a

구분	2010년	2011년	2012년	2013년	4개년 평균
당진시	531	555	530	579	548.8
석문지구	426.8	420.2	392.0	464.8	426.0
차이	104.2	134.8	138.0	114.2	122.8

자료 : 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』

- 한편, 2013년 기준 일반농지 대비 석문간척지 생산비는 약 1.13배 높은 것으로 나타났는데, 충청남도의 10a당 생산비는 750,397원인 반면에 석문간척지 임대지역의 생산비는 849,320원이었다.

**6) 석문간척지의 방풍과 향부자 재배의 경영성과**

- 본 연구에서는 2019년 조사대상 지역에서 시험 재배한 방풍과 향부자의 경영성과 분석을 위해 지속적으로 생산비 관련 항목에 대한 자료를 기록·수집하였으며, 생산량과 판매액은 수확 이후의 실제 생산량과 판매단가를 적용했다.
  - 방풍과 향부자의 경영성과는 석문간척지의 수도작 경영성과와 비교함으로써 분석 대상 작목들의 간척지 재배에 따른 상대적 경영성과를 파악했다.
- 석문간척지 재배 수도작과 관련된 생산비와 생산량은 한국농어촌공사(2014)의 연구결과를 활용하되, 생산비의 경우 시간적 차이에 따른 변화정도를 반영하기 위하여 2014년과 2018년 농축산물소득자료집에 수록된 수도작 관련 자료의 변화 정도를 반영했다([표 19] 참조).
  - 석문지구 수도작 총수입 계산을 위해 2014년에는 전국 평균 단가(1,970원/kg), 2019년은 정부수매예상가(2,780원/kg)를 적용했다.

[표 33] 수도작(전국 평균, 석문지구) 생산비 및 경영성과

단위: 원/10a

주요 항목		전국 평균		석문지구	
		2014년	2018년	2014년	2019년
총수입	주산물가액	1,024,219	1,137,489	973,008	1,382,778 <sup>1)</sup>
	부산물가액 <sup>2)</sup>	33,871	40,725	33,871	40,725
	계	1,058,090	1,178,214	1,006,879	1,423,503
경영비	중간재비	-	182,202	215,921	241,485
	임차료, 위탁영농비, 고용노동비	-	313,105	350,371	391,853
	계	442,873	495,307	566,292	633,338

주요 항목	전국 평균		석문지구	
	2014년	2018년	2014년	2019년
생산비	721,478	796,823	849,317	938,012
부가가치	-	996,012	790,958	1,182,018
소득	615,217	682,907	440,587	790,165
부가가치율(%)	-	84.5	78.6	83.0
소득률(%)	58.1	58.0	43.8	55.5
순수익	336,612	381,391	157,562	485,490
순수익률(%)	31.8	32.4	15.6	34.1

주 : 1) 2019년 정부수매 예상가격(20만원/조곡80kg)을 완전립율 90%를 가정하여 산출한 단가 적용함.  
 2) 석문지구 수도작 부산물가액은 전국 평균값을 적용함.  
 3) 석문지구 2019년 경영비 및 생산비는 전국평균의 2014년과 2018년의 증감률을 적용하여 도출함.

자료 : 1) 한국농어촌공사(2014), 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』  
 2) 농촌진흥청(2018), 『2018 농축산물소득자료집』

- 방풍의 10a당 총수입은 320만원이며, 생산비는 456만원이고 이 중 경영비는 148만원이었고 생산비 중 가장 비중이 높은 항목은 자가노동비로 47.3%(216만원)를 차지하였으며, 다음으로는 위탁영농비 13.5%(62만원), 기타재료비 13.0%(59만원) 등의 순으로 조사되었다.
  - 총수입에서 중간재비를 차감한 부가가치는 172만원, 총소득에서 경영비를 차감한 소득은 94만원이었으며, 총수입에서 생산비를 차감한 순수익은 -136만원이었다.

[표 34] 방풍의 생산비 및 경영성과 (2019년)

기준: 연1기작/10a

비목별		수량	단가 (원)	금액 (원)			
총 수 입	주산물가액	534.1kg	6,000	3,204,600			
	부산물가액						
계				3,204,600			
경 영 비	중 간 재 비	종자,종묘비	1,460주	190	280,000		
		종자					
		종묘					
		보통(무기질)비료비					
		부산물(유기질)비료비			285,750		
		농약비					
		수도광열비					
		기타재료비			594,000		
		소농구비			6,000		
		대농구상각비					
영농시설상각비	316,666						
수리,유지비							
기타비용							
계				1,482,416			
생 산 비		임차료 (농기계,시설)	2.5시간	10,000			
		임차료 (토지)					
		위탁영농비			145,295		
		고용노동비			615,600		
		남			25,000		
		여					
		계				2,268,311	
		자가노동비			127.1시간	17,000	2,160,000
		남					
		여					17,000
유동자본용역비	20,652						
고정자본용역비	18,600						
토지자본용역비	95,346						
계		4,562,909					
부가가치			1,722,184				
소득			936,289				
부가가치율 (%)			53.7				
소득률 (%)			29.2				

- 향부자의 10a당 총수입은 987만원이며, 생산비는 438만원이고 이 중 경영비는 209만원이 었음. 생산비 중 가장 비중이 높은 항목은 자가노동비로 49.3%(216만원)를 차지하였으며, 다음으로는 위탁영농비 14.1%(62만원), 기타재료비 13.6%(59만원) 등의 순으로 조사되었다.

- 총수입에서 중간재비를 차감한 부가가치는 857만원, 총소득에서 경영비를 차감한 소득은 778만원이었으며, 총수입에서 생산비를 차감한 순수익은 549만원이었다.

[표 35] 향부자의 생산비 및 경영성과 (2019년)

기준: 연1기작/10a

비목별		수량	단가 (원)	금액 (원)			
총수입	주산물가액	1038.8kg	9,500	9,868,600			
	부산물가액						
	계				9,868,600		
생산비	중간재비	종자,종묘비	30kg	100,000			
		종자					
		종묘					
		보통(무기질)비료비		285,750			
		부산물(유기질)비료비					
		농약비					
		수도광열비					
		기타재료비			594,000		
		소농구비			6,000		
		대농구상각비					
		영농시설상각비			316,666		
		수리,유지비					
		기타비용					
계	1,302,416						
생산비	경영비	임차료 (농기계,시설)	2.5시간		10,000		
		임차료 (토지)					
		위탁영농비					
		고용노동비					
		남					
		여					
		계		2,088,311			
		자가노동비		127.1시간		17,000	2,160,000
		남					
		여					
		유동자본용역비					20,652
		고정자본용역비					18,600
		토지자본용역비					95,346
계	4,382,909						
부가가치			8,566,184				
소득			7,780,289				
부가가치율 (%)			86.8				
소득률 (%)			78.8				

[표 36] 석문간척지 방풍, 향부자, 수도작의 경영성과 비교

단위: 원/10a

주요 항목		방풍	향부자	수도작
총수입	주산물가액	3,204,600	9,868,600	1,382,778
	부산물가액	-	-	40,725
	계	3,204,600	9,868,600	1,423,503
경영비	중간재비	1,482,416	1,302,416	241,485
	임차료, 위탁영농비, 고용노동비	785,895	785,895	391,853
	계	2,268,311	2,088,311	633,338
생산비		4,562,909	4,382,909	938,012
부가가치		1,722,134	8,566,184	1,182,018
소득		936,289	7,780,289	790,165
부가가치율(%)		53.7	86.8	83.0
소득률(%)		29.2	78.8	55.5
순수익		-1,358,309	5,485,691	485,490
순수익률(%)		-42.4	55.6	34.1

- 석문간척지 시험대상 품목인 방풍과 향부자의 경영성과를 정리한 결과는 [표 19]와 같다.
- 방풍과 향부자는 종자(종묘)를 제외하면 동일한 투입요소가 사용되었기 때문에 경영비와 생산비에는 거의 차이가 없으나 주산물가액은 차이가 큰 것으로 나타났다.
  - 방풍의 10a당 생산량과 kg당 판매단가는 각각 534.1kg, 6,000원인 반면, 향부자는 각각 1,038.8kg, 9,500원은 두 품목 간의 차이가 두 배 정도 발생했다.
- 부가가치와 소득 측면에서 보면 방풍은 각각 10a당 172만원, 94만원인 반면, 향부자는 857만원, 778만원으로 두 품목 간 차이가 매우 큰 것으로 나타났다.
  - 방풍의 순수익은 -134만원으로 자기노동과 자기자본에 대한 기회비용을 고려하면 경제성이 없는 것으로 나타났으나, 향부자의 경우 순수익이 549만원으로 수익성 측면에서 경제성이 매우 높은 것으로 나타났다.
- 본 분석에 이용한 경영성과 자료가 실험에 기반한 것이기 때문에 일반 농가가 방풍과 향부자를 재배할 실제 상황과 차이가 발생할 수 있다는 점과, 2019년에 적용한 두 품목의 판매단가가 시장상황에 따라 변동될 가능성을 고려하더라도 향부자는 부가가치, 소득, 순수익 등과 수익성의 제반 측면에서 경영성과가 매우 높아 향후 석문간척지의 재배 적정 품목에서 적극적으로 고려될 필요가 있다.
  - 향부자의 10a당 소득은 비교 대상 품목인 수도작뿐만 아니라 2018년 기준 밭작물보다도 월등히 높은 수준이며, 특용작물과 비교할 때도 인삼을 제외한 다른 작물보다도 높아 경제성이 매우 높다고 할 수 있다.

## 2-8 간척농지에서 고부가가치 작물 재배 실용화 보급을 위한 재배 메뉴얼

### 가) 향부자

#### 1. 작물 (향부자: *Cyperus rotundus*)

향부자



- 향부자(*Cyperus rotundus*)는 사초목 사초과의 다년생 작물로 중국, 일본, 한국 및 인도에서 자라는 약용작물
- 따뜻한 기후와 사양토에서 생육이 좋으며 가뭄에 강하지만 장기 침수에도 잘 버텨 낙동강 연안에 주산단지 형성
- 향부자의 주요 성분에는 cyperol, flavonoids,  $\beta$ -sitosterol, ascorbic acid, polyphenols, cyperene, sesquiterpenoids 등의 성분이 있음
- 향부자의 뿌리는 진통작용 및 해열작용에 도움을 주고 염증 및 피부 발진을 완화시켜 약용으로 사용되고 있음.
- 시장가격은 서울 경동 약령시장을 17년도 5,700원/600g로 도매 단가 또한 꾸준히 증가하고 있음.

#### 2. 파종 준비

향부자

- 향부자는 덩이줄기(괴경)를 심어 재배하는 작물 로써, 덩이줄기를 경복 고령군에 위치한 농가에 서구입.
- 괴경을 생산하여 다음 년도에 사용할 경우, 마른 모래와 잘 섞어 땅속에 저장. 저장온도는 10도 내외가 좋음
- 땅속 저장이 불가능할 경우, 괴경 수확 후 파종 하기 전까지 마르지 않도록 적정 습도를 유지시켜야 함.
- 습도 관리를 위해 구근을 바닥에 펼쳐놓고 분무기로 분사. 분사하는 과정에서 상하거나 곰팡이 핀 것은 솥아냄.
- 과습하면 곰팡이가 발생하기 때문에 일정 주기로 한번씩 뒤집어 섞어주어야 함.



〈구근 분무하고 솥아내는 모습〉



〈향부자구근〉

### 3. 파종준비 및 파종

항부자



〈파종 전 준비 모습〉

- 정식시기: 남부지역 - 3월 하순~4월 초순, 중부지역 - 4월 20일 경
- 토양의 통기성을 증대시키고 비옥도를 증가시키기 위해 정식 전 퇴비 살포 및 로터리 작업을 실시함.
- 두둑은 폭 0.4m, 간격 0.2m로 하며 두둑을 만든 후 토양의 수분을 보존하고 잡초가 자라는 것을 방지하기 위해 멀칭 필름을 피복함. 일반적으로 검정색 필름을 사용하는 것이 이상적임. 멀칭을 하지 않을 경우, 초기 생육 시, 제초 작업을 손으로 해야함
- 간척토양에서 정식 거리는 20cm x 20(25)cm 으로 정식하는 것을 권고함 (기비량에 따라 간격조절 필요, 기비 충분 시 20x 20 cm).
- 묘를 심기 전 정식할 곳에 미리 구멍을 만들어 놓으면 빠르고 정확한 파종을 하기에 용이함.
- 정식할 때 멀칭 구멍이 보이지 않을 때 까지 복토(3-4cm)가 필요하고, 정식 후 약 20일이면 싹이 나옴.
- 작물은 한 두둑(폭 0.4m) 당 두 줄로 파종하여 수확량 증대시킴.

### 4. 거름 주기

항부자



〈파종 전 준비 모습〉

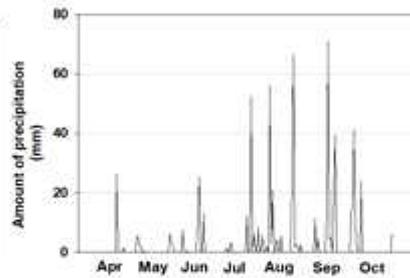
- 비옥한 땅에는 거름은 많이 주지 않아도 되지만 보통인 땅에는 10a당 퇴비 700kg, 질소 4kg, 인산 6kg, 칼륨 7kg을 포장 전면으로 고루 부리고 경운하여 전층시비가 되도록 정지한 뒤 심는다.
- 나머지 질소 4kg과 칼륨 3kg은 8월 초순경 웃거름으로 준다. 추비량은 생육상태를 보아가면서 소량씩 가감해 주는 것이 합리적이다.
- 과번무 상태일 때는 추비를 생략하고 생육이 불량할 때는 추비 횟수와 추비량을 늘려주는 것이 좋다 (초기 시비량의 20%)
- 작물은 한 두둑(폭 0.4m) 당 두 줄로 파종하여 수확량 증대시킴.

## 5. 재배 환경

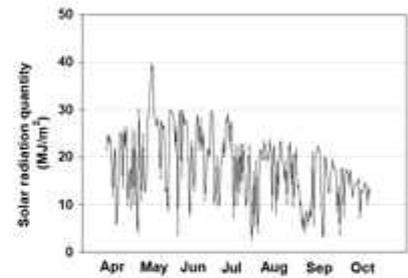
항부자



〈일 평균기온〉



〈일 강수량〉

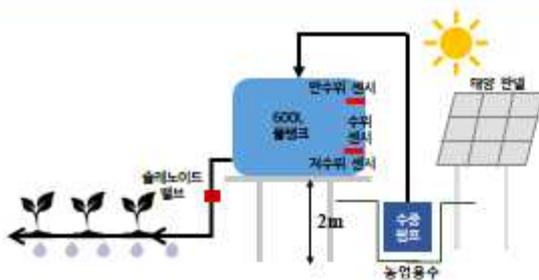


〈일사량〉

- 충남 당진시에 위치한 석문간척지 토양에서 암거배수 처리된 밭 토양을 사용.
- 4월에 파종하여 10월까지 재배하고 11월에 수확함.
- 4월부터 10월까지의 일 평균기온, 일 강수량, 일사량을 그래프로 나타냄.

## 6. 관수 관리

항부자



〈일사비례 자동관수시스템개요도 및 실제사진〉

- 일사량비례 자동 관수 시스템을 이용한 작물 물관리시스템 도입.
- 농업 용수에서 펌프를 이용하여 2m 높이의 물탱크에 용수를 채워 전기적 신호에 따른 중력 관수.
- 1ha 농지 정식 주수: 150 두둑 80m 길이  
640주/두둑 \* 150 = 96,000주 (항부자)
- 1회 관수량: 만수 시 900L (원통 1 ton) (900,000ml)/96000 주 = 9.3 ml/plant
- 모니터링 시스템의 **심각**상태 (2,500 J/cm<sup>2</sup> 이상): 4-5회/일
- 모니터링 시스템의 **경계**상태 (1,500 J/cm<sup>2</sup> 이상): 2-3회/일
- 모니터링 시스템의 **주의**상태 : 1-2회/일
- 무강우 일수 3-5일 께 부터 첫 관수를 시작하고 재배면적이 작을 경우 수위센서의 위치를 변경하여 관수량 조절 및 생육 상태에 따라서 관수량 조절 필요

## 7. 수확

향부자

- 수확 시기: 10월 하순에서 11월 초순 (가을 서리가 내린 후, 지상부가 누렇게 변하였을 때 수확)
- 경엽이 누렇게 변할 때 경엽을 낮으로 베고 밭을 경운 하듯 갈아서 뿌리를 뒤엎어야 함.
- 향부자는 모 식물체에서 자 식물체가 번져 뿌리가 엉켜 있기 때문에 수확 전 밭을 한번 갈아줘야 함.
- 수확 후 3~4일 정도 건조시킨 뒤 흙을 털어야 쉽게 수확이 가능함.
- 수확 시 사용하는 도구는 청결한 상태를 유지하는 것이 좋음.



〈향부자 경엽이 누렇게 바뀐 모습〉 〈수확 전 밭을 가는 모습〉

## 8. 수확 후 처리

향부자



〈환으로 개발한 모습〉

- 환으로 만들기 위해 수확 후 열풍건조기에 건조시킴.
- 건조하는데 소요된 시간은 약 7일.
- 물에 수확한 작물을 세척하여 흙을 제거한 후 열풍건조기에서 건조할 수 있도록 함.
- 장기간의 보관이 용이하게 만들기 위해서는 용기를 구입하여 실리카겔을 넣는 것이 좋음.

## 1년 재배 과정

향부자

주요 작업	작업 내용	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
		초 중 하											
효율적인 재배를 위한 멀칭 처리	퇴비 처리		■										
	밀거름		■										
	멀칭 도포			■									
파종	파종 준비		■	■									
	파종				■								
적절한 관수처리	관수				■	■	■	■	■	■	■		
수확 관리	향부자 수확											■	
	수확 후 처리											■	

### 나) 방풍

## 1. 작물 (방풍: *Peucedanum japonicum*)

방풍나물



- 산형과의 다년생초본으로 갯기름나물이라고도 불리며, 방풍나물의 뿌리를 식방풍이라고 함.
- 성분은 coumarin계 물질의 주성분으로 peucedanol, umbelliferone 등의 성분이 있음.
- 방풍나물의 뿌리는 풍을 막아주는 효과가 있어 사지의 근육경련과 중풍으로 인한 반신불수나 마비 등에 사용되는 약용작물로써 쓰이고 있음.
- 시장가격은 17년도 3,500원/600g로 도매단가 또한 꾸준히 증가하고 있음.

## 2. 정식 준비 (육묘재배)

방풍나물

- 방풍 종자 구매 및 플러그 트레이 묘 생산 (약 4주간, 일반 채소 육묘와 비슷한 조건).
- 108공 트레이, 원예용 상토를 이용 발아 후, 1회/일 물관리.
- 정식 하루 전 구입한 묘들을 현장에 먼저 펼쳐놓아 묘가 환경에 적응할 시간을 줌.
- 바람이 많이 부는 간척지 환경에 적응하지 못하고, 정식시, 날씨 조건에 따라, 시들 수 있는 가능성이 있음.
- 정식 날짜와 잘 맞추어 트레이 묘를 잘 구비해 놓는 것이 중요.



〈방풍나물 묘 상태〉

## 2. 정식 준비 (직파재배)

방풍나물

- 무피복 재배시, 가을파종이 좋고, 봄 파종 시 해당 즉시 파종하는 것이 좋음.
- 검정비닐 피복 시, 3월 하순, 밀파하면 수량성을 증가하나 상품화율을 고려하면 적정 재식거리유지가 중요함.
- 두둑을 0.4m로 하고 1cm 정도의 얇은 골을 치고 20cm 간격으로 4-5립씩 점뿌림. 발아 후 1분만 남김.
- 흑색비닐 피복재배시, 구멍을 뚫고 파종하고 습기 유지를 위해서 살짝 복토.
- 무피복 재배시 수분 유지를 위하여 벼집을 덮었다가 발아 및 출현 시에 걷어줌.
- 종자는 10a 당 3L 소요됨.



〈방풍나물 종자〉

## 2. 정식 준비 (현장)

방풍나물



<파종전 준비 모습>

- 토양의 통기성을 증대시키고 비옥도를 증가시키기 위해 정식 전 퇴비 살포 및 로터리 작업을 실시함.
- 두둑은 폭 0.5m, 폭 0.3m, 길이 80m로 하며 두둑을 만든 후 토양의 수분을 보존하고 잡초가 자라는 것을 방지하기 위해 멀칭 필름을 피복함. 일반적으로 검정색 필름을 사용하는 것이 이상적임.
- 육묘재배시 정식 거리는 조간 25cm x 30cm 간격이 가장 이상적이었기 때문에 25cm 간격으로 정식하는 것을 권고함(육묘재배시). 직파재배시 점뿌림 간격 20cm.
- 묘를 심기 전 정식할 곳에 미리 구멍을 만들어 놓으면 빠르고 정확한 파종을 하기에 용이함.
- 작물은 한 두둑 당 두 줄로 파종함.

## 3. 정식

방풍나물



<정식하는 모습>



<정식 후의 실험포>



- 도구를 이용하여 멀칭에 구멍을 낼 때, 묘를 심을 수 있도록 토양 깊이 5cm 정도 깊은 구멍을 낼 수 있도록 한번에 편칭함. 묘를 30cm 간격으로 정식함.
- 1줄 정식이 끝나면 충분한 수분을 공급함.
- 정식 도중 플러그 묘가 수분 스트레스를 받지 않도록 관리함.

## 4. 거름 주기

방풍나물



〈거름 준비 모습〉

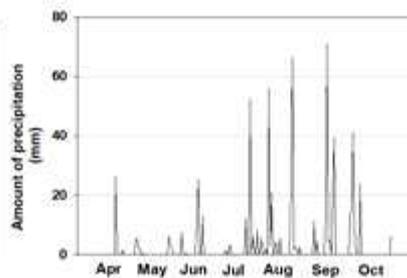
- 기비량은 토양의 비옥도 및 재배지역의 기상환경에 따라 지지만, 직파재배 시, 10a 당 퇴비 1톤, 질소 10kg, 인산 12kg, 칼륨 7kg을 포장 전면에도 고루 부리고 경운하여 전층시비가 되도록 정지한 뒤 심음.
- 나머지 질소 10kg과 칼륨 3kg은 8월 초순경 웃거름으로 준다. 추비량은 생육상태를 보아가면서 소량씩 가감해 주는 것이 합리적임.
- 과번무 상태일 때는 추비를 생략하고 생육이 불량할 때는 추비 횟수와 추비량을 늘려주는 것이 좋음.

## 5. 재배 환경

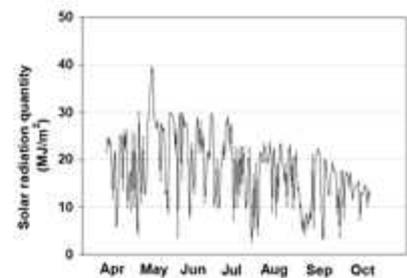
방풍나물



〈일 평균기온〉



〈일 강수량〉

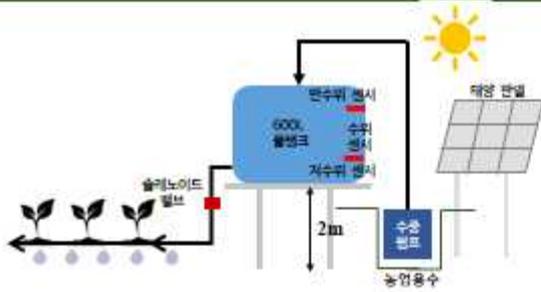


〈일사량〉

- 충남 당진시에 위치한 석문간척지 토양에서 암거배수 처리된 밭 토양을 사용.
- 4월에 파종하여 10월까지 재배하고 11월에 수확함.
- 4월부터 10월까지의 일 평균기온, 일 강수량, 일사량을 그래프로 나타냄.

## 6. 관수 관리

방풍나물



〈일사비레 자동관수시스템개요도 및 실제사진〉

- 일사량비레 자동 관수 시스템을 이용한 작물 물관리시스템 도입.
- 농업용수에서 펌프를 이용하여 2m 높이의 물탱크에 용수를 채워 전기적 신호에 따른 중력 관수.
- 1ha 농지 정식 주수: 125 두둑 80m 길이  
640주/두둑 \* 125 = 80,000주 (방풍)
- 1회 관수량: 만수시 900L (원통 1 ton) 900,000ml/80,000 주 = 11.25 ml/plant
- 모니터링 시스템의 심각상태 (2,500 J/cm<sup>2</sup> 이상): 4-5회/일
- 모니터링 시스템의 경계상태 (1,500 J/cm<sup>2</sup> 이상): 2-3회/일
- 무강우 일수 3-5일 쯤 부터 첫 관수를 시작하고 재배면적이 다를 경우 수위센서의 위치를 변경하여 관수량 조절 가능, 생육상태에 따른 관수량 조절 필요

## 7. 수확

방풍나물

- 방풍나물은 초기에 어린 잎을 수확하여 생으로 섭취하며 후기에 성장한 뿌리는 수확하여 약용으로 사용.
- 방풍나물의 뿌리는 10월 하순에서 11월 초순에 수확하면 좋은 품질의 방풍나물을 생산할 수 있을 것으로 판단 됨.
- 잎은 후기로 갈수록 누렇게 변하고 식감이 질기기 때문에 정식 후 초기단계(5월과 6월)에 수확하는 것이 좋음.
- 뿌리를 수확할 때는 삽을 이용하여 뿌리가 잘려나가지 않게 수확해야 좋으나, 노동력 비용을 고려하면 경운 뒤에 수확하는 것이 좋음.
- 수확 시 사용하는 도구는 청결한 상태를 유지하는 것이 좋음.



〈방풍나물 수확시기〉



〈수확하는 모습〉

## 8. 수확 후 처리

방풍나물



〈환으로 개발한 모습〉

- 환으로 만들기 위해 수확 후 열풍건조기에 건조시킴.
- 건조하는데 소요된 시간은 약 7일.
- 물에 수확한 작물을 세척하여 흙을 제거한 후 열풍건조기에서 건조할 수 있도록 함.
- 장기간의 보관이 용이하게 만들기 위해서는 용기를 구입하여 실리카겔을 넣는 것이 좋음.

## 1년 재배 과정

방풍나물

주요 작업	작업 내용	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
		초 중 하											
효율적인 재배를 위한 멀칭 처리	퇴비 처리		■										
	밑거름		■										
	멀칭 도포			■									
정식	정식 준비			■									
	파종				■								
적절한 관수 처리	관수				■								
수확 관리	방풍나물 수확											■	
	수확 후 처리												■

## 2-9 향부자와 방풍의 기능성 물질 분석 및 선정

### 가. 성분 분석 및 대량 분석 방법 확립

#### 1) 페닐프로파노이드 계통 물질의 성분 분석 및 대량 분석 방법 확립

- 페닐프로파노이드 추출 방법은 Li et al., 2010에 기초하여 다음과 같이 추출 방법을 확립했다. 획득한 식물시료를 196도의 액체질소를 이용하여 동결하고 동결건조기를 이용하여 건조한 후, 건조된 식물시료를 막자와 사발을 이용하여 분쇄하여, 100 mg 씩 평량한 분말 시료에 2 ml의 80 % (v/v) 메탄올을 넣고 진동혼합(vortex)하고 60 도에서 1시간 동안 음파 처리(sonication) 수행 한 후 원심분리를 통하여 상등액을 획득했다. 이 과정을 2회 더 반복하여 각각 상등액을 획득하고 합한 후 회전 감압하고 2 ml의 80 % (v/v) 메탄올을 넣고 재 희석한다. 해당 추출액을 0.45  $\mu$ m Acrodisc syringe filter (Pall Corp.; Port Washington, NY)을 통하여 여과처리 한 후 HPLC vial에 투입하고 페닐프로파노이드 HPLC 분석을 준비했다.
- HPLC 분석은 UV-Vis detector, autosampler, OptimaPak C18 column (250 mm  $\times$  4.6mm, 5  $\mu$ m; RStech; Daejeon, Korea)가 결합된 NS-4000 HPLC system을 이용하여 수행하였다. 분석조건은 아래의 표와 같음[표 37]. 총 15가지의 페닐프로파노이드 물질 (gallic acid, cat echin, 4-hydroxy-benzoic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, (-)-epicatechin, vanillin, p-coumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, benzoic acid, rutin, trans-cinnamic acid, quercetin, kaempferol)들을 5가지의 농도로 희석시킨 후 HPLC 분석을 통하여 area 값을 획득하였고 이를 이용하여 검정곡선을 작성하였다. 각각의 검정곡선의 식과 크로마토그램은 아래의 [표38], [그림150]과 같다.

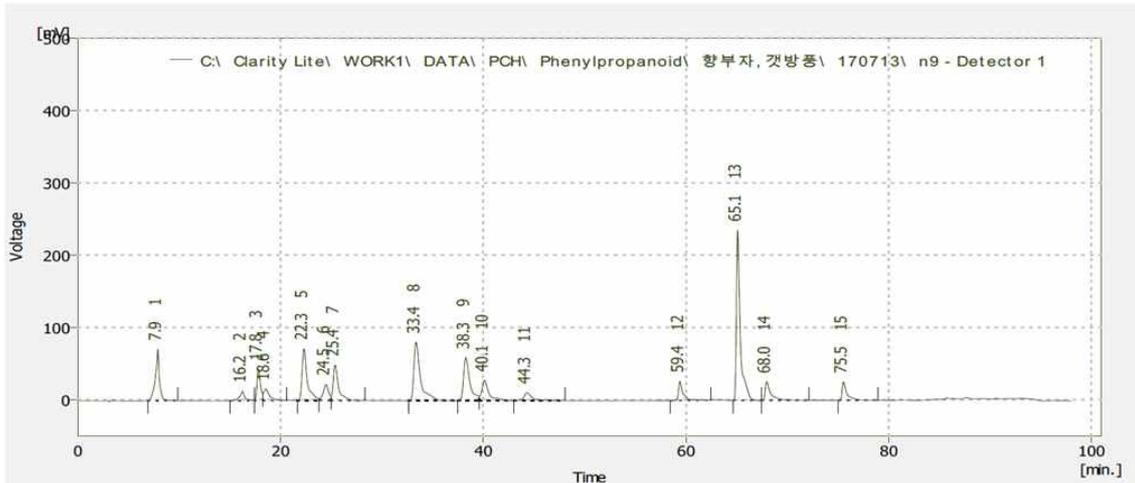
[표 37] HPLC 분석법

HPLC	Futechs Co.
Column	OptimaPak C18-51002546 (250mm $\times$ 4.6mm I.d., particle size 5 $\mu$ m)
Detector	280 nm
Column temperture	30 $^{\circ}$ C
Mobile phase	Solvent A (0.2 % Acetic acid) Solvent B (Methanol)
Fow rate	1 ml/min
Injection volume	20 ul
Time	98 min

HPLC	Futecs Co.
Gradient conditions	0-1.0 min, 95% A
	1.1-4.0 min, 95%-85% A
	4.1-9.0 min, 85% A
	9.1-14.0 min, 85%-80% A;
	14.1-24.0 min, 80% A
	24.1-54.0 min, 80%-70% A
	54.1-55.0 min, 70%-55% A
	55.1-65.0 min, 55% A
	65.1-75.0 min, 55%-44% A
	75.1-77.0 min, 44%-40% A
	77.1-79.0 min, 40% A
	79.1-80.0 min, 40%-20% A
	80.1-90.0 min, 20% A
	90.1-91.0 min, 20%-95% A
	91.1-98.0 min, 95% A.

[표 38] 페닐프로파노이드 표준품을 이용한 검정곡선

No	Compound	Retention time	Calibration curve	Coefficient of determination
1	Gallic acid	7.91	$y = 32.55772328x + 0.160117794$	$R^2 = 0.999964255$
2	Catechin	16.2	$y = 7.889742787x - 40.24235366$	$R^2 = 0.999881991$
3	4-hydroxybenzoic acid	17.8	$y = 16.42050168x + 100.7973874$	$R^2 = 0.999686017$
4	Chlorogenic acid	18.6	$y = 17.79533436x - 70.35135552$	$R^2 = 0.99992958$
5	Caffeic acid	22.3	$y = 39.98286487x - 65.70752695$	$R^2 = 0.999891287$
6	(-)-Epicatechin	24.5	$y = 8.521761941x + 4.57165651$	$R^2 = 0.999975384$
7	Vanillin	25.4	$y = 48.09526377x + 156.7032126$	$R^2 = 0.999803677$
8	<i>p</i> -coumaric acid	33.4	$y = 60.93255724x + 266.0343572$	$R^2 = 0.99988943$
9	Ferulic acid	38.3	$y = 36.30012827x + 304.8329201$	$R^2 = 0.999715343$
10	Sinapic acid	40.1	$y = 16.45250242x + 35.5884087$	$R^2 = 0.999914162$
11	benzoic acid	44.3	$y = 7.525240872x - 37.38700057$	$R^2 = 0.999702659$
12	Rutin	59.4	$y = 8.09714215x - 105.546569$	$R^2 = 0.999542863$
13	<i>Trans</i> -cinnamic acid	65.1	$y = 91.68315852x + 141.8036262$	$R^2 = 0.999944399$
14	Quercetin	68	$y = 15.39260829x - 284.3200406$	$R^2 = 0.999581652$
15	Kaempferol	75.5	$y = 16.54754485x + 16.16885977$	$R^2 = 0.999140587$



[그림 154] 페닐프로파노이드 표준품의 크로마토그램

### 2) LC-ESI-MS 분석법

- 향부자, 방풍 지상부, 방풍 지하부 시료를 앞서 설명한 페닐프로파노이드 추출방법을 이용하여 추출하였고, 이를 4000 Qtrap LC/MS/MS system (Applied Biosystems, Foster City, C A, USA)이 결합된 Agilent 1200 series HPLC (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)를 이용하여 음이온 방식([M - H]<sup>-</sup>)으로 분석을 수행하였다. LC-MS 분석 조건은 아래의 표와 같다[표 39].

[표 39] LC-MS 분석 조건

Parameters	Conditions
Scan range	100-1,300 m/z
Scan time	4.80 s
Curtain gas	20.00 psi (N2)
Heating gas temperature	550 °C
Nebulizing gas	50.00 psi
Heating gas	50.00 psi
Ion spray voltage,	5,500 V
Declustering potential	100 V
Entrance potential	10 V

### 3) 통계분석

- HPLC 분석을 통해 획득한 data는 SAS software (version 9.4, 2013; SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 Duncan 's Multiple Range Test을 수행하였으며, 알파벳 (a,b)을 이용하여 p < 0.05 수준에서 유의수준을 확인하였다.

## 나. 연구결과

### 1) 향부자

## ① 향부자 페닐프로파노이드 HPLC 분석

- 페닐프로파노이드는 주로 상위식물에서 발견되는 대표적인 식물 이차대사산물이다. 이러한 페닐프로파노이드 계통의 물질들은 외부의 생물학적, 물리적, 환경적 스트레스, 균에 의한 공격, 섭식에 의한 상처, 과도한 광의 노출, UV 노출, 저온 및 고온에 의한 식물 보호라는 점에서 중요한 역할을 하며, 과거 연구결과에 따르면 페닐프로파노이드의 소비는 항산화, 항암, 항미생물 효과 등 인간의 건강에 유익한 작용을 하는 것이 밝혀진바 있다(Bennett & Wallsgrove, 1994; Dixon & Paiva, 1995).
- 본 연구에서 페닐프로파노이드 HPLC 분석결과는 표 4와 같음. 향부자에는 총 10개의 페닐프로파노이드 물질 (4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, vanillin, p-coumaric acid, ferulic acid, sinapic acid, benzoic acid, rutin, trans-cinnamic acid)을 retention time의 비교 및 spike test를 통하여 확인하였고 개별 물질의 검량곡선을 이용하여 정량하였다. 향부자에서 rutin의 함량이 가장 높은 것으로 나타났고( $901.17 \pm 13.41 \mu\text{g/g DW}$ (Dry Weight)), 그 다음으로는 benzoic acid ( $519.43 \pm 16.38 \mu\text{g/g DW}$ ), ferulic acid ( $459.86 \pm 0.50 \mu\text{g/g DW}$ ), 4-hydroxybenzoic acid ( $352.21 \pm 2.38 \mu\text{g/g DW}$ ), chlorogenic acid ( $263.10 \pm 2.25 \mu\text{g/g DW}$ ), p-coumaric acid ( $245.06 \pm 0.48 \mu\text{g/g DW}$ ), vanillin ( $187.13 \pm 0.50 \mu\text{g/g DW}$ ), caffeic acid ( $122.84 \pm 0.64 \mu\text{g/g DW}$ ), sinapic acid ( $91.25 \pm 1.86 \mu\text{g/g DW}$ ) 순으로 나타났으며, trans-cinnamic acid의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다 ( $78.23 \pm 0.15 \mu\text{g/g DW}$ ).

[표 40] 향부자의 페닐프로파노이드 물질 분석 ( $\mu\text{g/g DW}$ )

No. <sup>a)</sup>	페닐프로파노이드	값
1	4-hydroxybenzoic acid	$117.40 \pm 2.38$
2	Chlorogenic acid	$87.70 \pm 2.25$
3	Caffeic acid	$40.95 \pm 0.64$
4	Vanillin	$62.38 \pm 0.50$
5	p-coumaric acid	$81.69 \pm 0.48$
6	Ferulic acid	$153.29 \pm 0.50$
7	Sinapic acid	$30.42 \pm 1.86$
8	Benzoic acid	$173.14 \pm 16.38$
9	Rutin	$300.39 \pm 13.41$
10	Trans-cinnamic acid	$26.08 \pm 0.15$
	Total	$1073.43 \pm 28.86$

a) 페닐프로파노이드 물질의 용출 순서

## ② 향부자 페닐프로파노이드 LC-MS 분석

- 페닐프로파노이드 분석은 ESI (electron spray ionization) 음이온 방식 (negative mode)에서 이루어졌으며 총 10개의 페닐프로파노이드 물질을 확인할 수 있었다. (4-hydroxybe

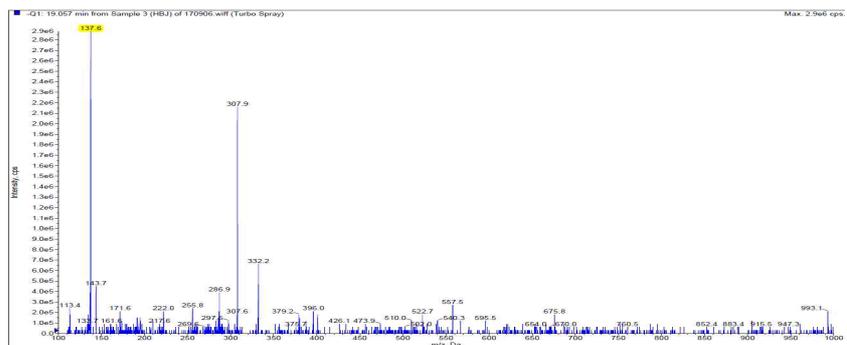
nzoic acid, m/z 137.6 [M-H]<sup>-</sup>; Chlorogenic acid, m/z 354 [M-H]<sup>-</sup>; Caffeic acid, m/z 179.4 [M-H]<sup>-</sup>; Vanillin, m/z 151.4 [M-H]<sup>-</sup>; P-coumaric acid, m/z 163.5 [M-H]<sup>-</sup>; Ferulic acid, m/z 193.3 [M-H]<sup>-</sup>; Sinapic acid, m/z 163.2 [M-H]<sup>-</sup>; Benzoic acid, m/z 120.6 [M-H]<sup>-</sup>; Rutin, m/z 610.3 [M-H]<sup>-</sup>; Trans-cinnamic acid, m/z 147.6 [M-H]<sup>-</sup>) [표 41, 그림 151].

[표 41] LC-MS를 통한 향부자에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질 목록

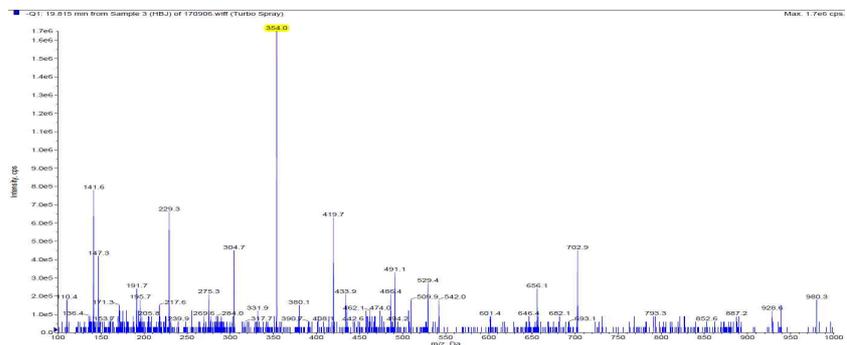
HPLC Peak No	Name	Molecular Formula	Molecular Weight	<sup>t</sup> R (min)	[M-H] <sup>-</sup>
1	4-hydroxybenzoic acid	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138.12	19.057	137.6
2	Chlorogenic acid	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.31	19.815	354
3	Caffeic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	180.16	24.635	179.4
4	Vanillin	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	152.15	25.570	151.4
5	<i>P</i> -coumaric acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	164.16	35.439	163.5
6	Ferulic acid	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194.18	40.224	193.3
7	Sinapic acid	C <sub>11</sub> H <sub>12</sub> O <sub>5</sub>	224.21	41.144	163.2
8	Benzoic acid	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	122.41	45.171	120.6
9	Rutin	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	610.52	63.094	610.3
10	<i>Trans</i> -cinnamic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	148.15	66.954	147.6

<sup>t</sup>R: retention time

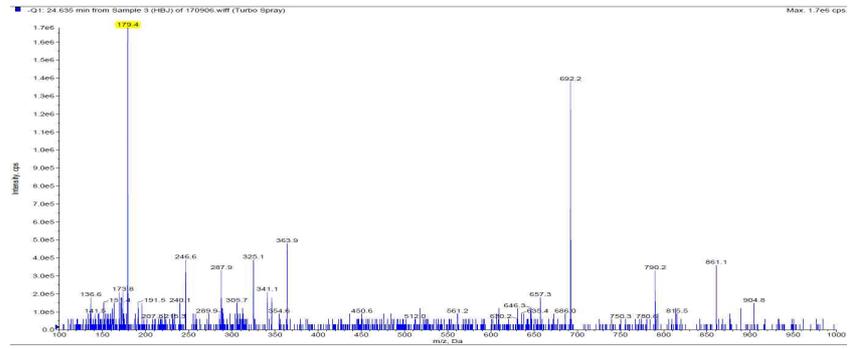
4-hydroxybenzoic acid



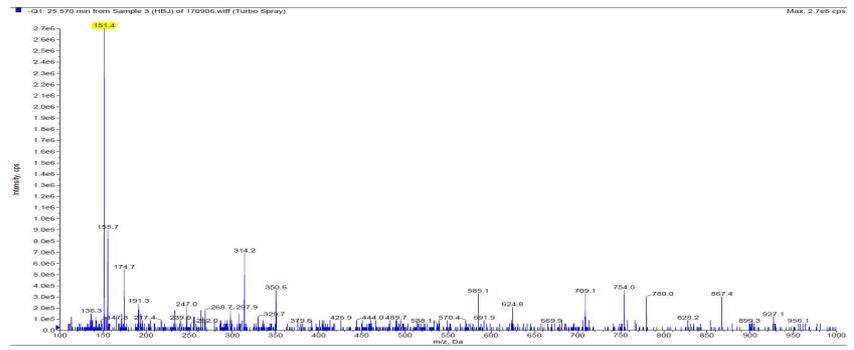
Chlorogenic acid



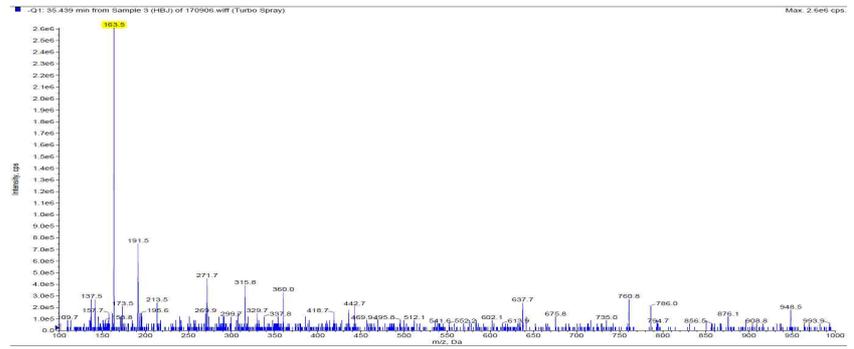
Caffeic acid



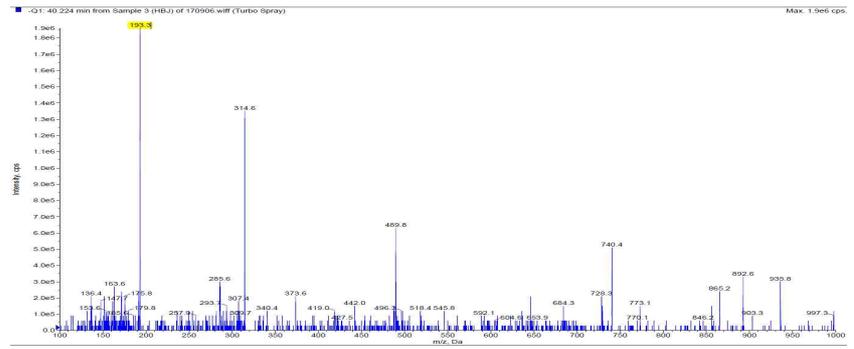
Vanillin



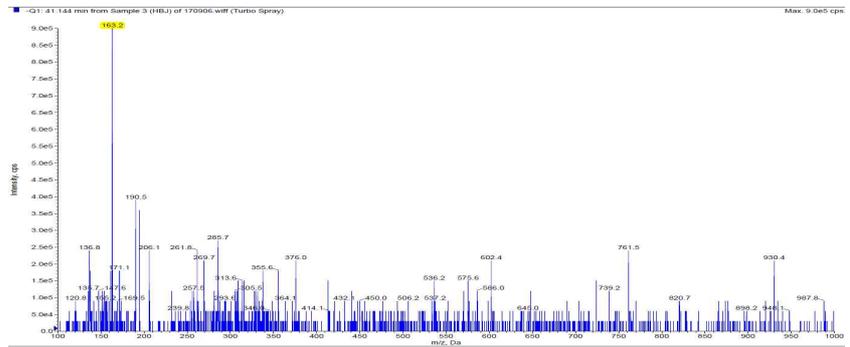
*p*-coumaric acid



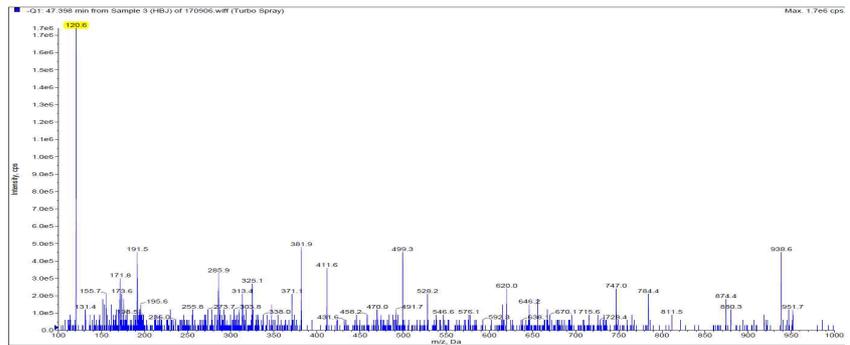
Ferulic acid



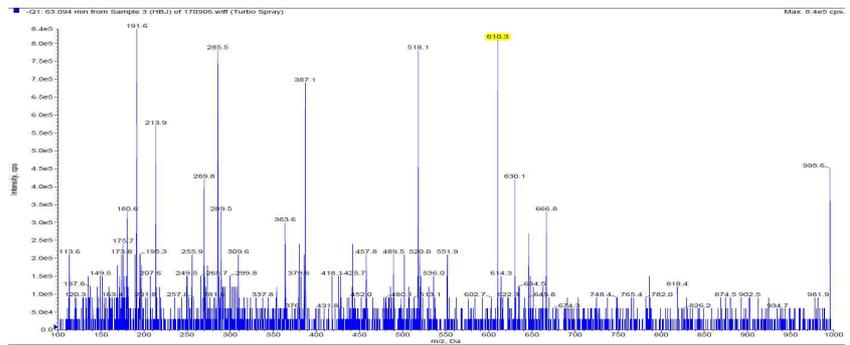
Sinapic acid



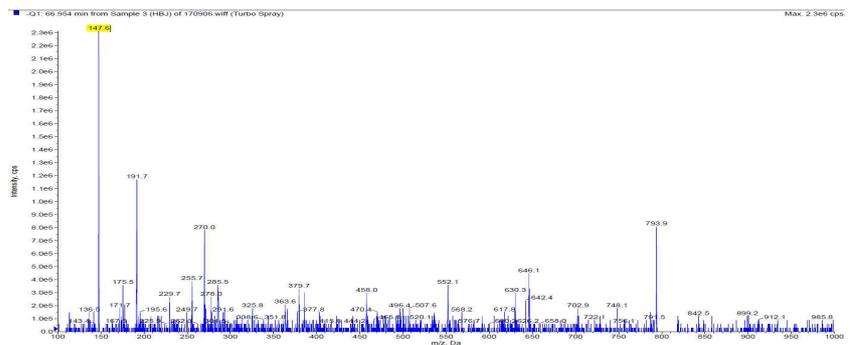
Benzoic acid



Rutin



Trans-cinnamic acid



[그림 155] 향부자에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질의 LC-MS 크로마토그램

2) 방풍

① 방풍 페닐프로파노이드 HPLC 분석

- 본 연구에서 페닐프로파노이드 HPLC 분석결과는 표4와 같다. 방풍 지상부에는 총 9개의 페닐프로파노이드 계통의 물질 (catechin, chlorogenic acid, caffeic acid, (-)-epicate

chin, vanillin, ferulic acid, rutin, trans-cinnamic acid, quercetin)이 탐지되었고, 지하부에는 총 7개의 물질(catechin, chlorogenic acid, caffeic acid, vanillin, rutin, trans-cinnamic acid, quercetin)을 retention time의 비교 및 spike test를 통하여 확인하였고 개별 물질의 검량곡선을 이용하여 정량하였다.

- 지상부에서는 rutin의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다 (4475.38 ± 62.21 µg/g DW). 그 다음으로는 chlorogenic acid (1310.78 ± 48.58 µg/g DW), quercetin (430.89 ± 26.07 µg/g DW), catechin (358.16 ± 48.58 µg/g DW), ferulic acid (111.00 ± 1.87 µg/g DW), vanillin (57.29 ± 1.78 µg/g DW), caffeic acid (48.70 ± 0.66 µg/g DW), (-)-epicatechin (43.35 ± 1.19 µg/g DW) 순으로 나타났으며 trans-cinnamic acid의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다 (26.95 ± 0.10 µg/g DW). 총 페놀프로파노이드 함량은 6862.41 ± 149.30 µg/g DW이었다. 유사하게, 지하부에서도 rutin의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다 (2337.71 ± 67.68 µg/g DW). 그 다음으로는 chlorogenic acid (493.86 ± 8.57 µg/g DW), quercetin (376.00 ± 0.28 µg/g DW), catechin (135.33 ± 1.50 µg/g DW), vanillin (57.29 ± 1.91 µg/g DW), caffeic acid (44.22 ± 0.22 µg/g DW) 순으로 나타났으며 trans-cinnamic acid의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났고 (26.72 ± 0.33 µg/g DW) 총 페놀프로파노이드 함량은 3471.13 ± 78.82 µg/g DW이었다.
- 총 페놀프로파노이드 함량은 지상부에서 지하부에 비하여 1.98배 높은 것으로 확인되었으며, 지상부에서 검출된 catechin, chlorogenic acid, caffeic acid, vanillin, rutin, quercetin 은 지하부에 비하여 각각 2.65, 2.65, 1.10, 1.91, 1.15 배 높았다. 게다가, (-)-epicatechin과 ferulic acid은 오직 지상부에서만 검출되었다. 반면에 vanillin, trans-cinnamic acid의 함량은 지상부와 지하부 사이에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다[표 42].

[표 42] 방풍 지상부와 지하부의 페닐프로파노이드 물질 분석 (µg/g DW)

No	Phenylpropanoid	지상부	지하부
1	Catechin	358.16 ± 18.83 a	135.33 ± 1.50 b
2	Chlorogenic acid	1310.78 ± 48.58 a	493.86 ± 8.57 b
3	Caffeic acid	48.70 ± 0.66 a	44.22 ± 0.22 b
4	(-)-Epicatechin	43.35 ± 1.19	ND
5	Vanillin	57.29 ± 1.78 a	57.29 ± 1.91 a
6	Ferulic acid	111.00 ± 1.87	ND
7	Rutin	4475.38 ± 62.21 a	2337.71 ± 67.68 b
8	<i>Trans</i> -cinnamic acid	26.95 ± 0.10 b	26.72 ± 0.33 a
9	Quercetin	430.80 ± 0.80 b	376.00 ± 0.28 a
	Total	6862.41 ± 149.30 a	3471.13 ± 78.82 b

ND: Not Detected

② 방풍 페닐프로파노이드 LC-MS 분석

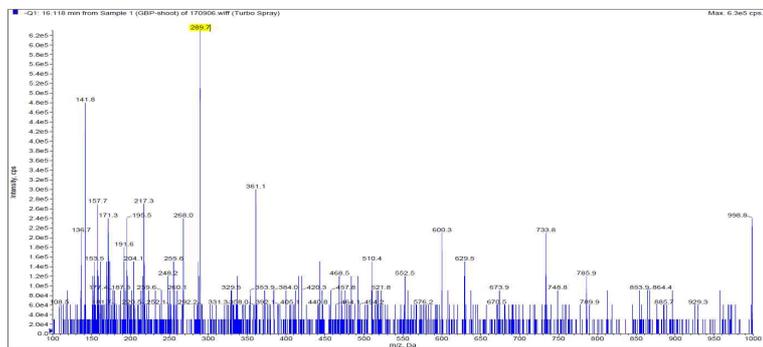
- 페닐프로파노이드 분석은 ESI (electron spray ionization) 음이온 방식 (negative mode)에서 이루어졌다. 표 7과 그림 3에 따르면 방풍 지상부에서 총 9개의 페닐프로파노이드 계통 물질을 확인하였다 (catechin, m/z 289.7 [M-H]<sup>-</sup>; chlorogenic acid, m/z 353.7 [M-H]<sup>-</sup>; caffeic acid, m/z 179.7 [M-H]<sup>-</sup>; (-)-epicatechin, m/z 289.6 [M-H]<sup>-</sup>; vanillin, m/z 151.8 [M-H]<sup>-</sup>; ferulic acid, m/z 193.8 [M-H]<sup>-</sup>; rutin, m/z 610.1 [M-H]<sup>-</sup>; trans-cinnamic acid, m/z 147.7 [M-H]<sup>-</sup>; quercetin, m/z 301.1 [M-H]<sup>-</sup>).
- 표 43과 그림 152에 따르면 방풍 지하부에서는 총 7개의 페닐프로파노이드 계통 물질을 확인할 수 있었다 (catechin, m/z 289.9 [M-H]<sup>-</sup>; chlorogenic acid, m/z 354.1 [M-H]<sup>-</sup>; caffeic acid, m/z 179.7 [M-H]<sup>-</sup>; vanillin, m/z 151.8 [M-H]<sup>-</sup>; rutin, m/z 610.3 [M-H]<sup>-</sup>; trans-cinnamic acid, m/z 147.4 [M-H]<sup>-</sup>; quercetin, m/z 301.6 [M-H]<sup>-</sup>).

[표 43] LC-MS를 통한 방풍 지상부에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질 목록

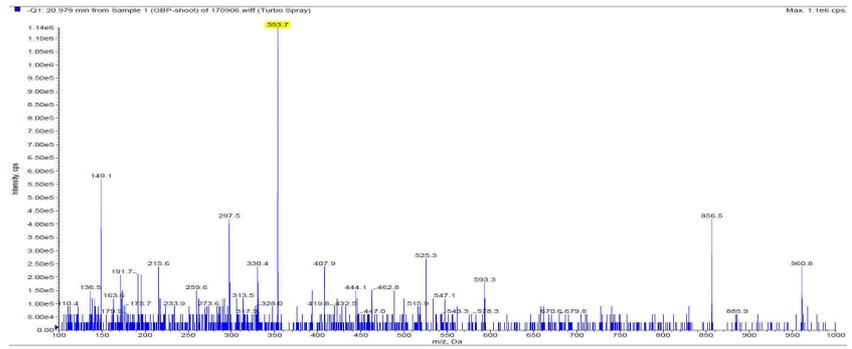
HPLC Peak No	Name	Molecular Formula	Molecular Weight	<sup>t</sup> R (min)	[M-H] <sup>-</sup>
1	Catechin	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.27	16.118	289.7
2	Chlorogenic acid	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.31	20.979	353.7
3	Caffeic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	180.16	23.242	179.7
4	(-)-epicatechin	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub>	290.27	25.260	289.6
5	Vanillin	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	152.15	27.909	151.8
6	Ferulic acid	C <sub>10</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	194.18	41.063	193.8
7	Rutin	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	610.52	63.079	610.1
8	<i>Trans</i> -cinnamic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	148.15	68.011	147.7
9	Quercetin	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	302.23	69.618	301.1

<sup>t</sup>R: retention time

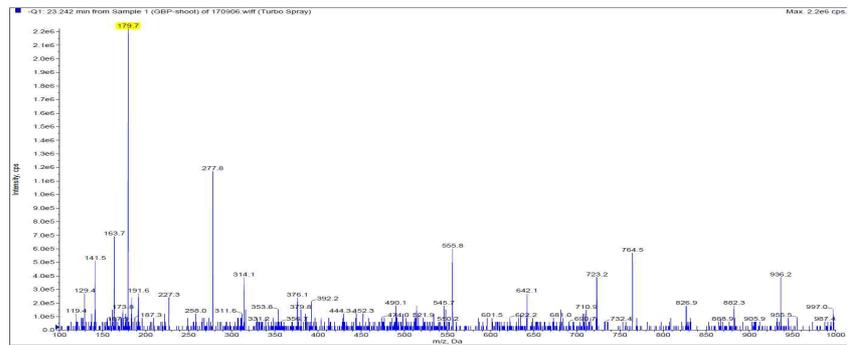
Catechin



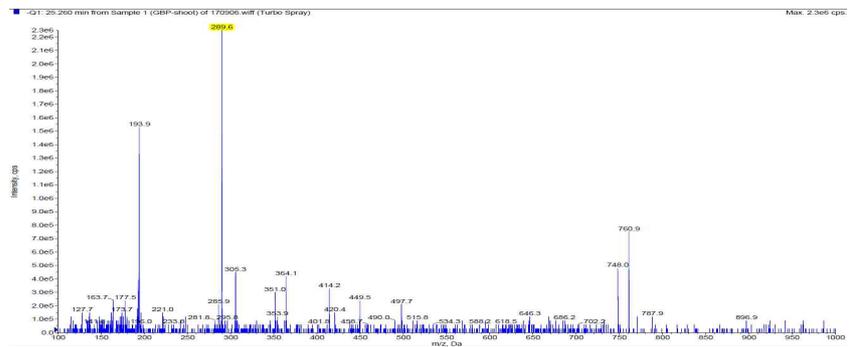
Chlorogenic acid



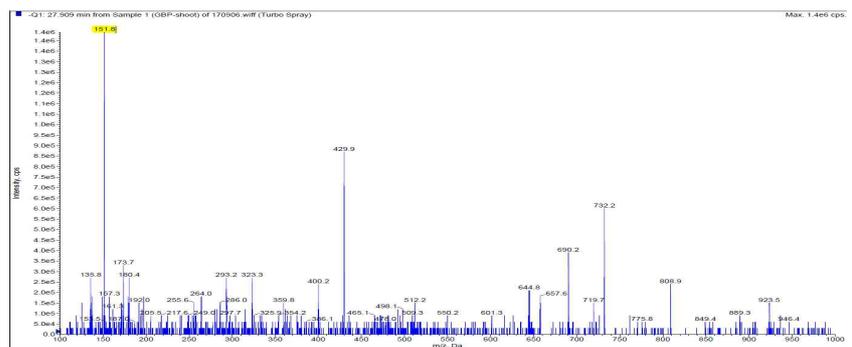
Caffeic acid



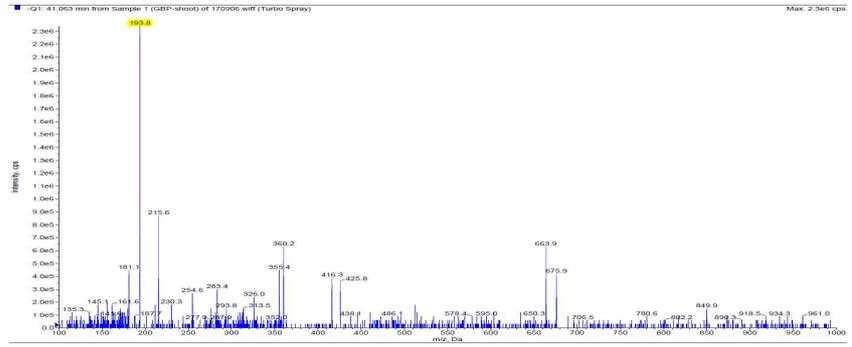
(-)-epicatechin



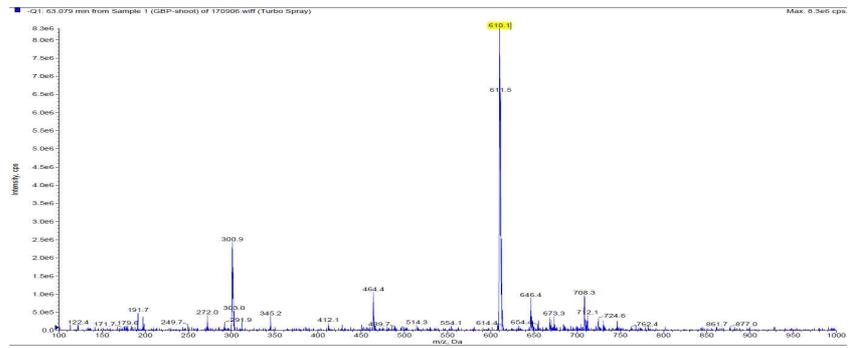
Vanillin



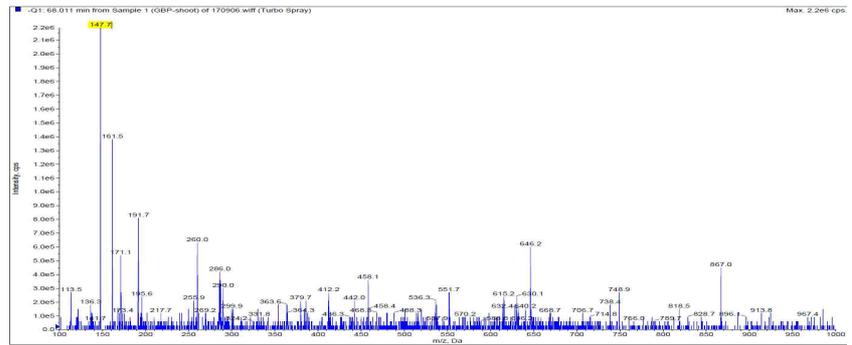
Ferulic acid



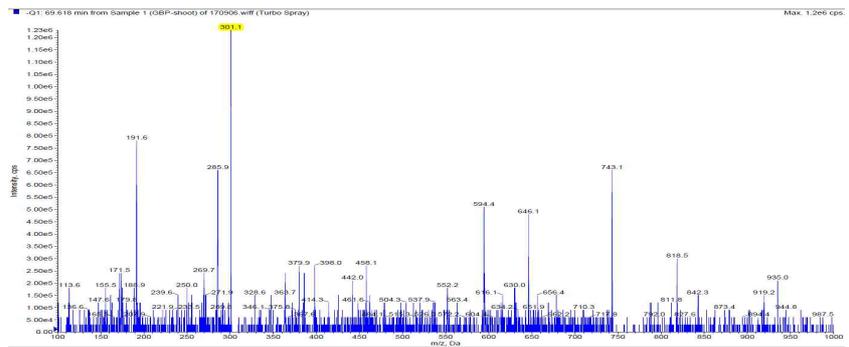
Rutin



*Trans*-cinnamic acid



Quercetin



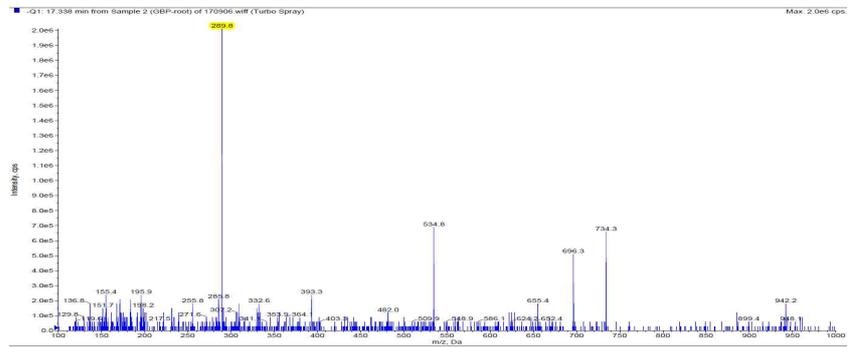
[그림 156] 방풍 지상부에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질의 LC-MS 크로마토그램

[표 44] LC-MS를 통한 방풍 지하부에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질 목록

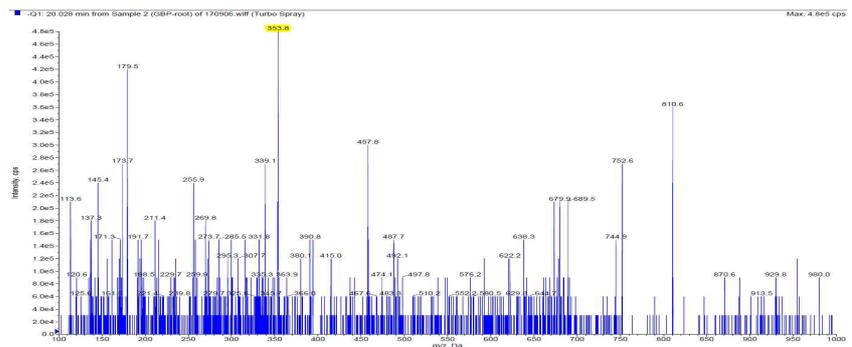
HPLC Peak No	Name	Molecular Formula	Molecular Weight	<sup>t</sup> R (min)	[M-H] <sup>-</sup>
1	Catechin	C <sub>15</sub> H <sub>14</sub> O <sub>6</sub>	290.27	17.338	289.8
2	Chlorogenic acid	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> O <sub>9</sub>	354.31	20.028	353.8
3	Caffeic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	180.16	25.067	179.7
4	Vanillin	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	152.15	26.669	151.8
5	Rutin	C <sub>27</sub> H <sub>30</sub> O <sub>16</sub>	610.52	63.338	610.3
6	<i>Trans</i> -cinnamic acid	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	148.15	67.386	147.5
7	Quercetin	C <sub>15</sub> H <sub>10</sub> O <sub>7</sub>	302.23	70.269	301.9

<sup>t</sup>R: retention time

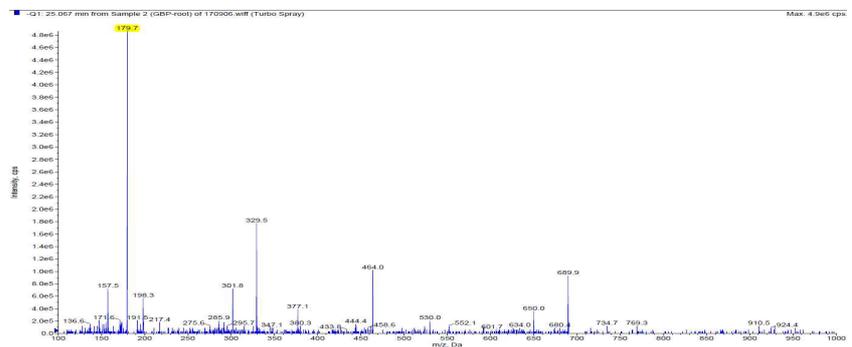
Catechin



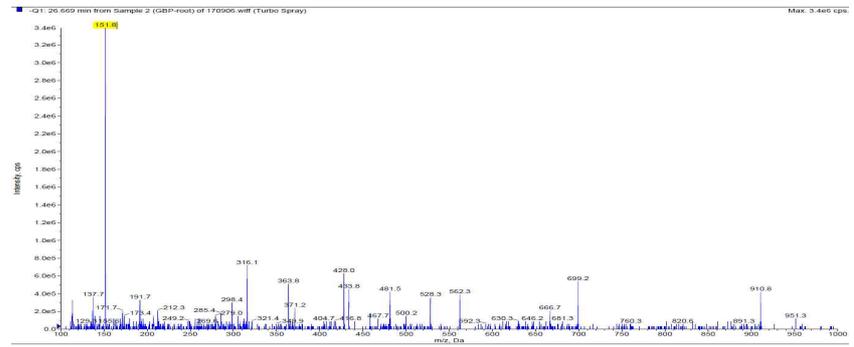
Chlorogenic acid



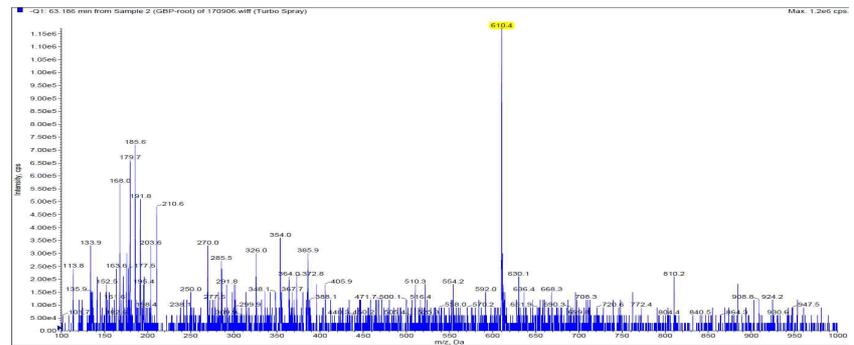
Caffeic acid



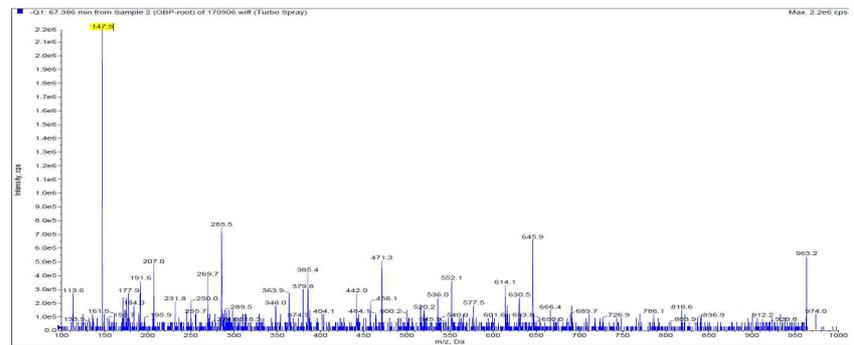
Vanillin



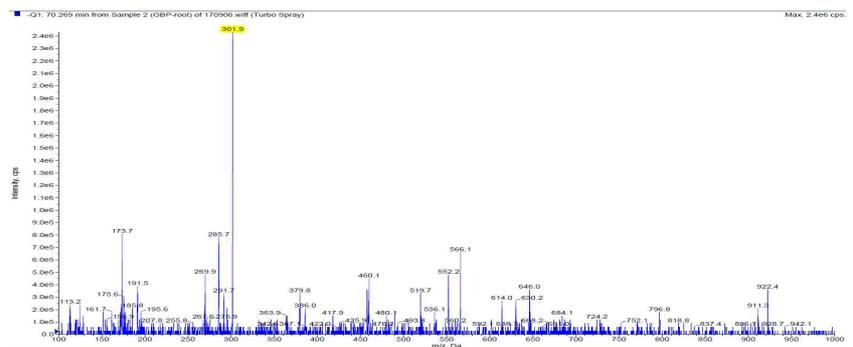
Rutin



Trans-cinnamic acid



Quercetin



[그림 157] 방풍 지하부에서 검출된 페닐프로파노이드 계통 물질의 LC-MS 크로마토그램

- 본 연구에서 확립한 향부자 및 방풍 phenylpropanoid 분석법은 방풍 및 향부자의 NaCl의 농도 별 처리 후 기능성 물질분석, 간척지농지에서 재배된 방풍 및 향부자의 기능성 물질 분석 및 재배 시기별 작물의 기능성 물질 분석에 활용 될 것이며, 더 나아가서 대상 작물을 이용한 기능성 식품(환) 개발에 크게 도움이 될 것이라 사료된다.

## 2-10 부위별 기능성 물질 함량 비교 분석

### 가. 연구내용

- 본 연구는 간척지 토양에서 재배된 1-4년생 방풍 및 생육단계 별 향부자의 성장특성 분석 및 페닐프로파노이드 계통 물질 분석을 수행함으로써 간척지 토양에서 재배된 작물이 함유하는 물질 축적의 변화 및 특성에 관한 정보를 재고하며, 차후 건강기능성 관련 산업 등에 자원으로써 활용가능성을 제시하고자 한다.

### 나. 연구결과

#### 1) 간척농지에서 재배된 향부자 생육단계 별 생육조사

- 간척농지에서 재배된 향부자를 생육단계 (stage 1, stage 2, stage 3) 별 식물재료를 액체질소를 이용하여 수확하여 꽃, 지상부, 지하부로 나뉘어 생육조사를 실시하였으며, 생육단계 별로 지상부와 지하부의 길이가 증가하는 것을 확인하였다.

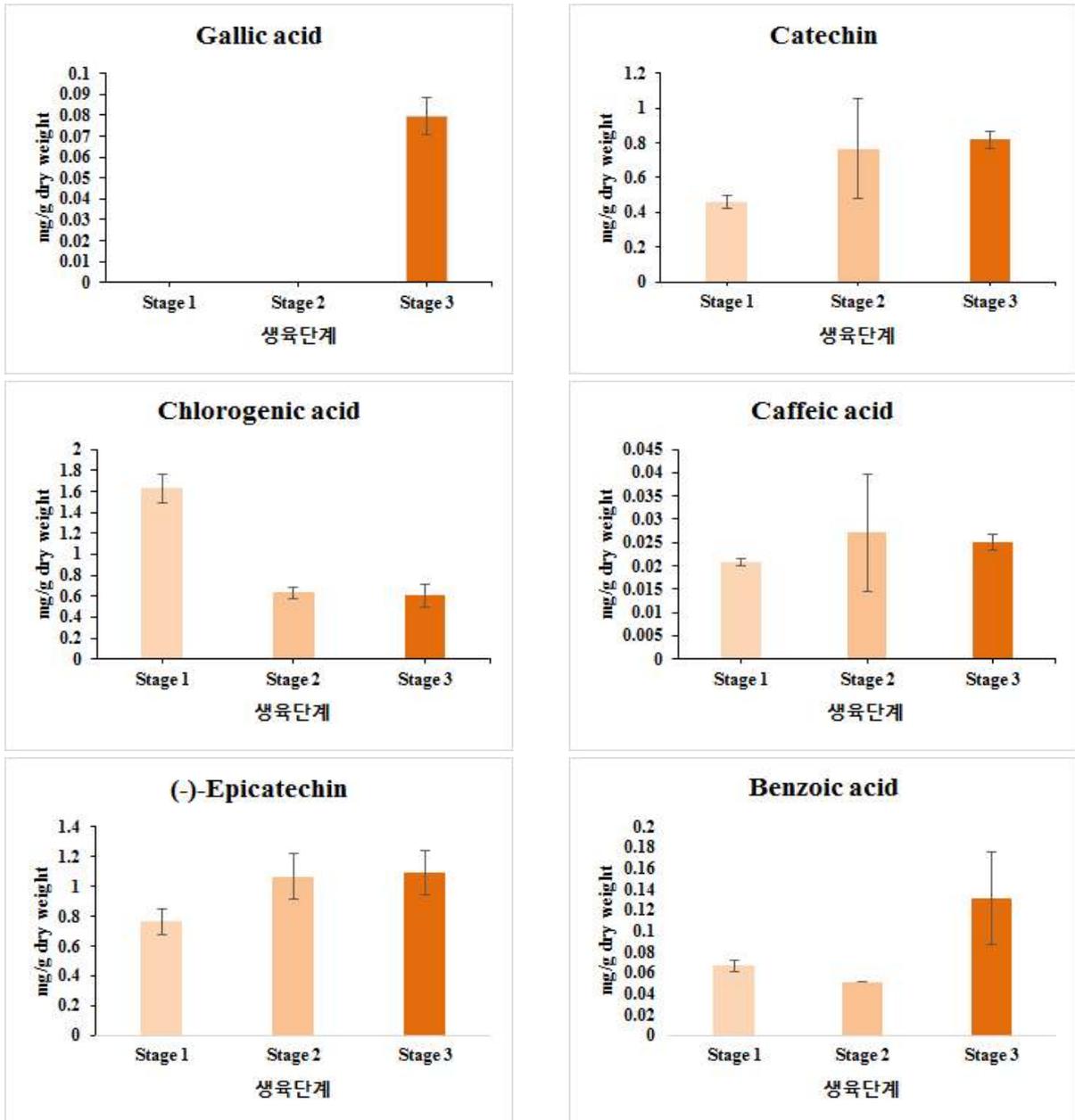
[표 45] 향부자의 생육 단계 별 생육

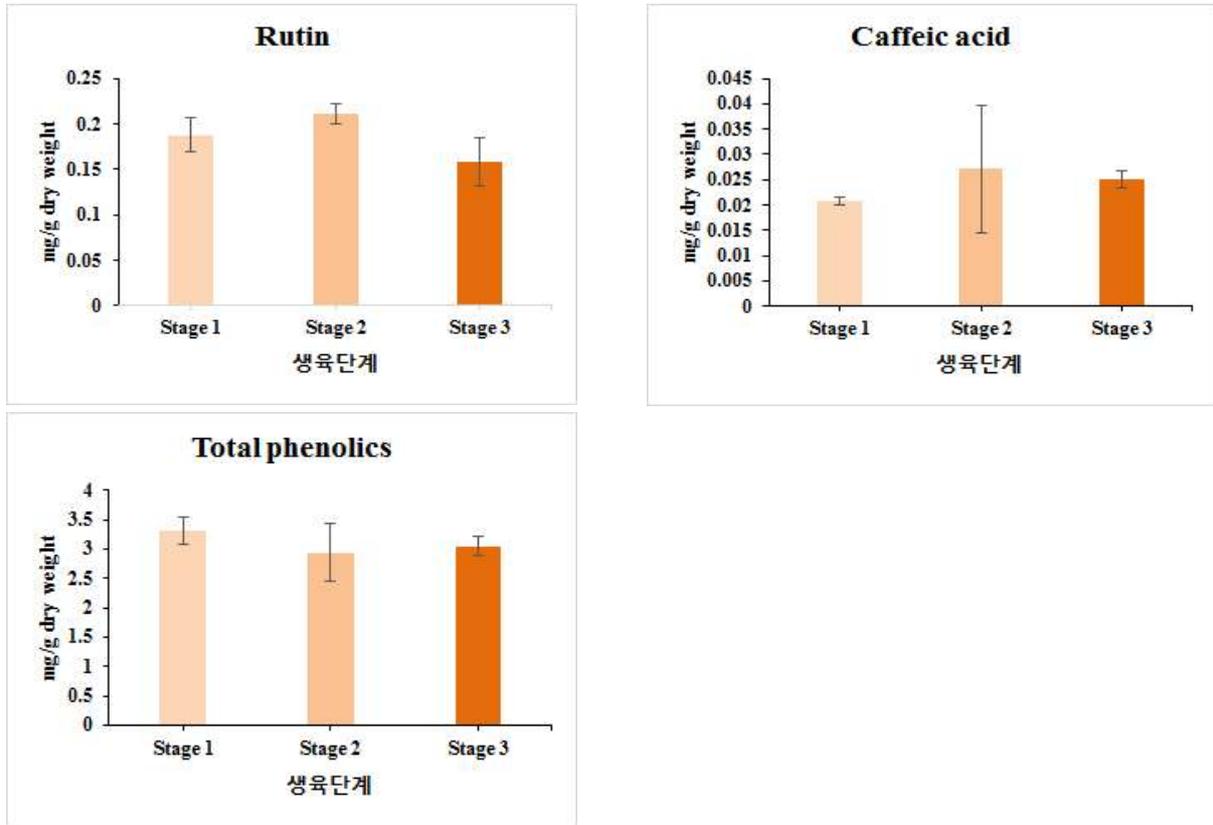
	지상부 (cm)	지하부 (Cm)
Stage 1	20.57 ± 0.72	12.20 ± 0.50
Stage 2	41.07 ± 6.09	16.83 ± 3.03
Stage 3	51.57 ± 2.15	22.33 ± 1.87

#### 2) 간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자 페닐프로파노이드 HPLC 분석

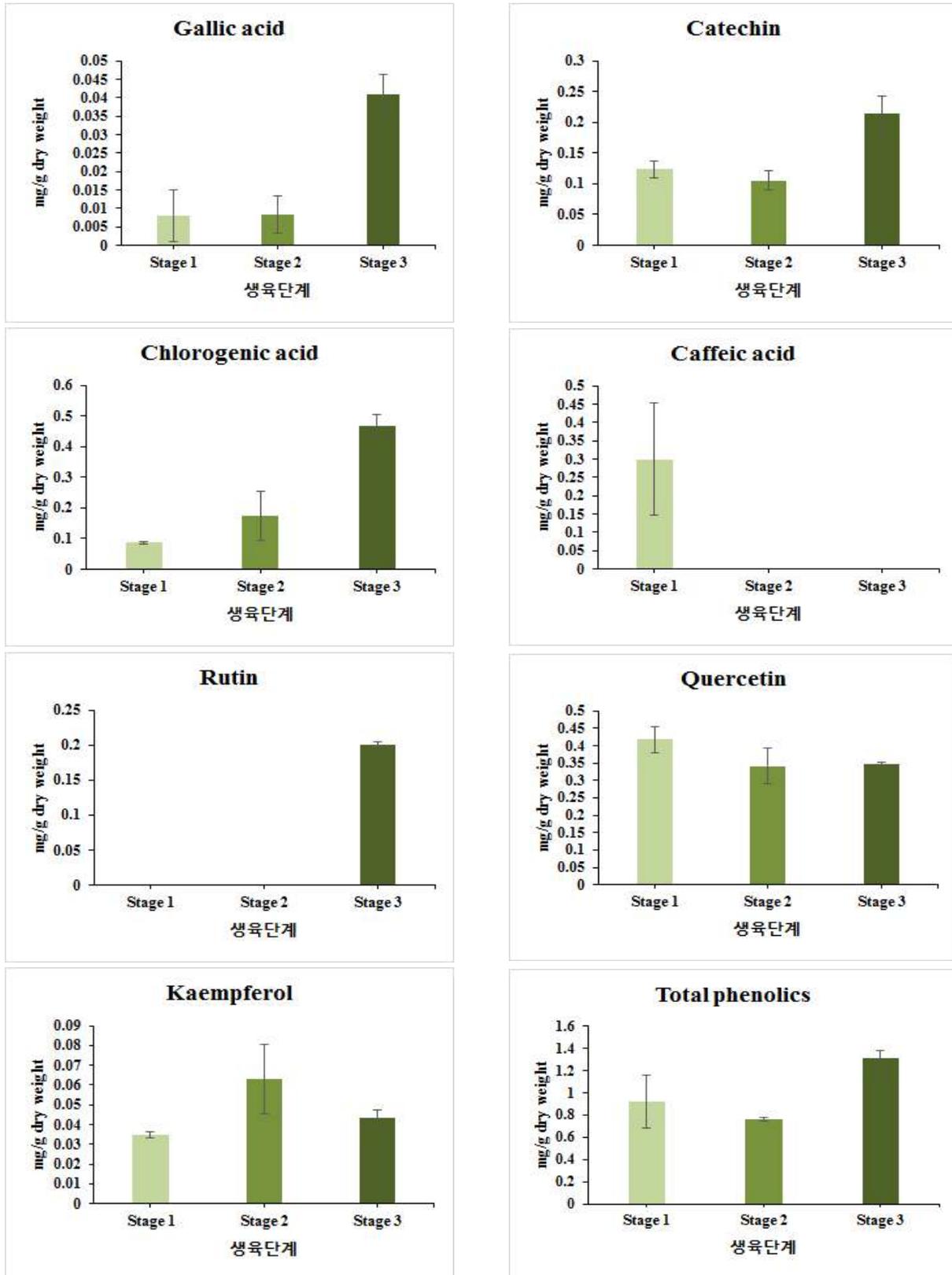
- 간척농지에서 재배된 생육단계(stage 1, stage 2, stage 3) 별 향부자를 이용하여 수확하여 지상부와 지하부로 나뉘어 동결건조시키고 분쇄한 후 HPLC를 이용하여 페닐프로파노이드 분석을 수행하였다.
- 개별 물질의 확인은 retention time의 비교 및 spike test를 통하여 확인하였고 개별 물질의 정량은 검량곡선을 이용하였다. 생육단계 별 향부자의 지상부에서는 4종의 페놀산(gallic acid, benzoic acid, chlorogenic acid, caffeic acid) 및 4종의 플라보노이드(catechin, (-)-epicatechin, rutin, quercetin)을 포함하는 총 9종의 페닐프로파노이드 계통 물질을 확인하였다. 반면에, 향부자의 지하부에서는 3종의 페놀산(chlorogenic acid, caffeic acid, gallic acid) 및 4종의 플라보노이드(catechin, rutin, quercetin, kaempferol)을 포함하는 총 7종의 페닐프로파노이드 계통 물질을 확인하였다. 간척농지에서 생육단계가 진행됨에 따라 지상부에서는 페닐프로파노이드 계통 물질의 함량이 감소하는 경향을 나타냈으나 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 지하부에서는 페닐프로파노이드 계통 물질의 함량이 증가하는 것으로 나타났다[그림 154, 155].
- 향부자의 지상부에서 개별 물질 함량의 비교에 따르면, catechin, caffeic acid, (-)-epicatechin, benzoic acid, quercetin의 함량이 생육단계가 진행됨에 따라 증가하였고, stage 1 지상부에 비하여 stage 3 지상부에서 각각 1.79, 1.20, 1.43, 1.95, 1.01배 증가하였다. gallic a

cid의 경우에는 stage 3에서만 관찰되었음. 향부자의 지하부에서 개별 물질 함량의 비교에 따르면, gallic acid, catechin, chlorogenic acid, kaempferol의 함량이 생육단계가 진행됨에 따라 증가하였고, stage 1 지하부에 비하여 stage 3 지하부에서 각각 4.05, 1.79, 5.25, 1.24 배 증가하였다. rutin의 경우에는 stage 3에서만 발견되었고, caffeic acid는 stage 1에서만 관찰되었다[그림 154, 155].





[그림 158] 간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자 지상부 페닐프로파노이드 물질 분석 (mg/g DW)



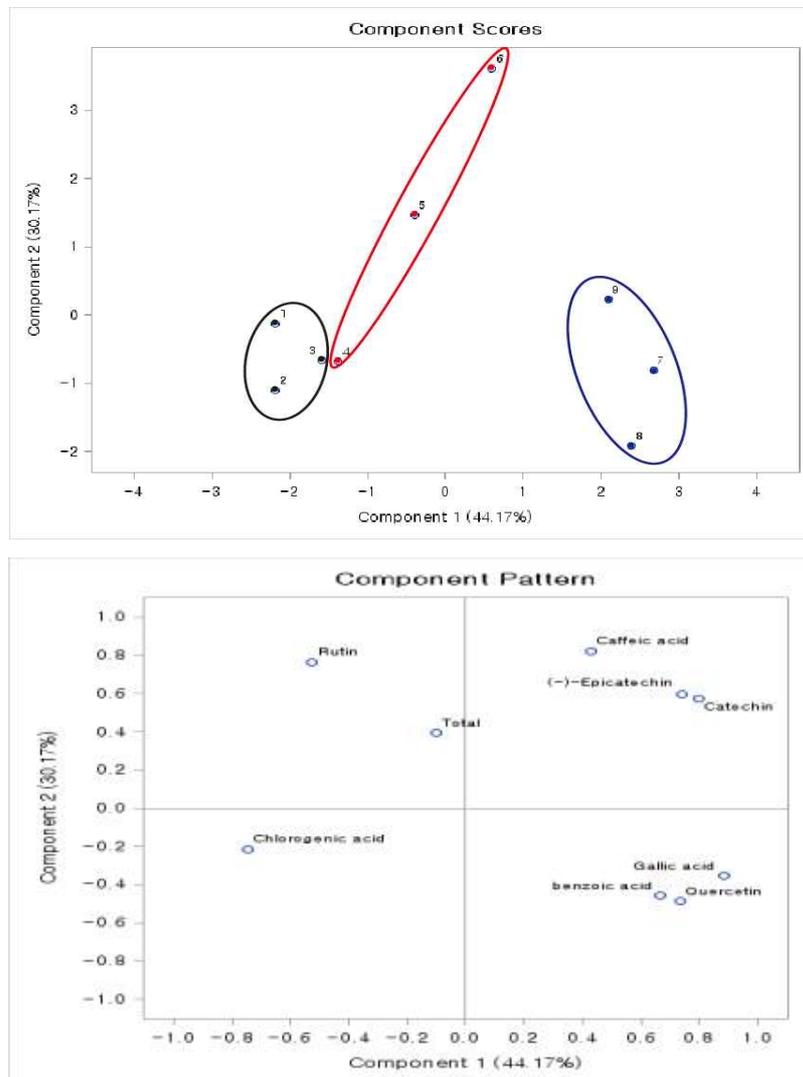
[그림 159] 간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자 지상부 페닐프로파노이드 물질 분석 (mg/g DW)

### 3) 향부자 페닐프로파노이드 계통 물질 데이터의 주성분분석

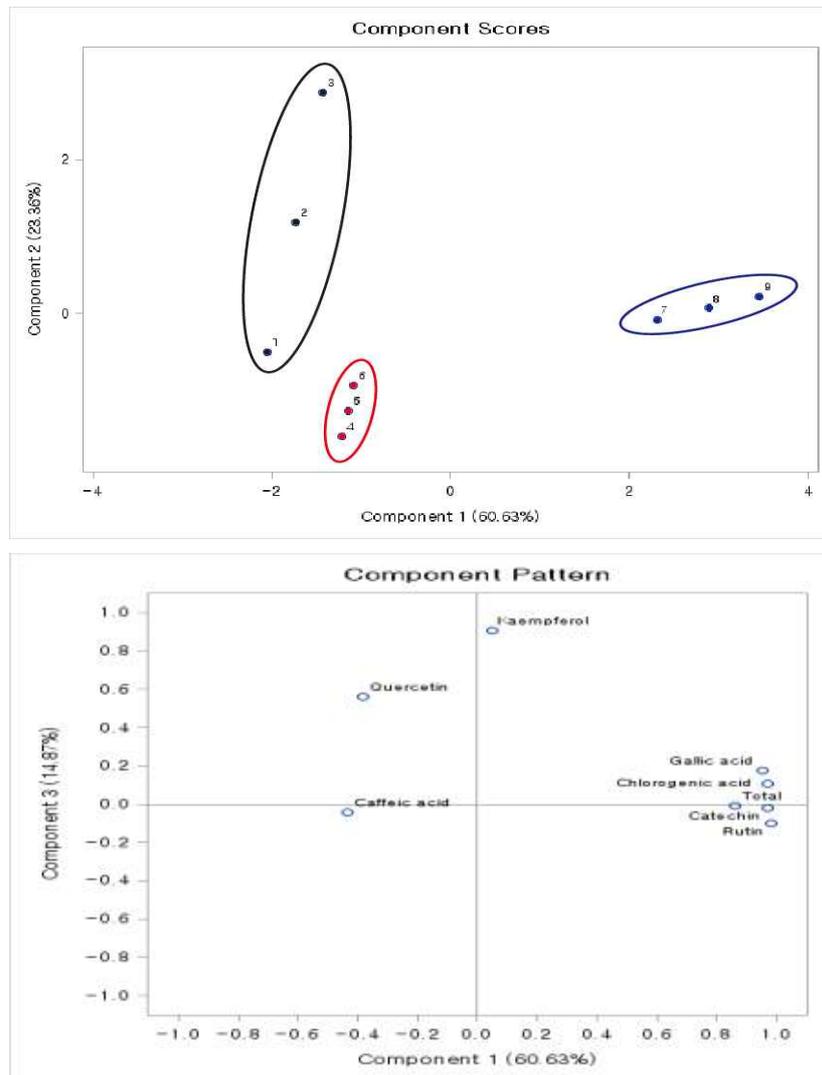
- 그림 156와 같이, 주성분분석결과는 component 1과 component 2를 이용하여 나타내었으며,

간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자의 페닐프로파노이드 계통 물질 데이터를 이용하여 주성분분석을 실시하였다. Stage 1 단계인 향부자의 지하부는 1-3으로 표시하고, stage 2를 4-6, stage 3을 7-9로 표시하였다. 그림 156에서 1-3을 포함하는 stage 1과 4-6을 포함하는 stage 2의 향부자는 서로 분리된 그룹을 나타내었으며, 특히, 7-9을 나타내는 stage 3의 향부자의 지상부와는 서로 완전히 분리된 그룹을 이루었다.

- 그림 157과 같이, stage 1 단계인 향부자의 지하부는 1-3으로 표시하고, stage 2를 4-6, stage 3을 7-9로 표시하였다. 그림 157에서 1-3을 포함하는 stage 1, 4-6을 포함하는 stage 2, 7-9를 포함하는 stage 3의 향부자 그룹은 서로 완전히 분리됨을 확인할 수 있었다.



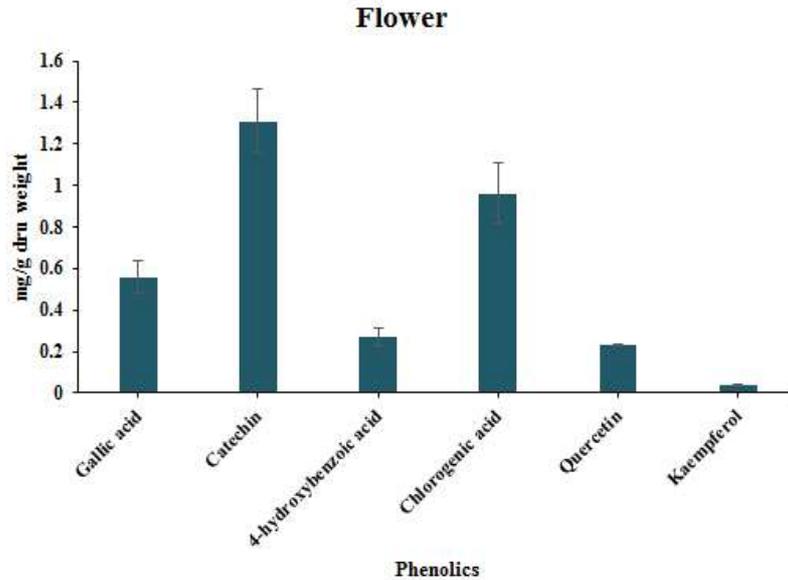
[그림 160] 간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자 지상부 페닐프로파노이드 계통물질 데이터의 주성분분석 (위-score plot 아래-loading plot)



[그림 161] 간척농지에서 재배된 생육단계 별 향부자 지하부 페닐프로파노이드 계통물질 데이터의 주성분분석 (위-score plot 아래-loading plot)

4) 간척농지에서 재배된 향부자 화기의 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

- 간척농지에서 재배된 향부자의 화기를 대상으로하여 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석을 수행하였다. 화기에서 catechin의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다 ( $1.31 \pm 0.16$  mg/g DW). 그 다음으로는 chlorogenic acid ( $0.96 \pm 0.15$  mg/g DW), gallic acid ( $0.56 \pm 0.08$  mg/g DW), 4-hydroxybenzoic acid ( $0.27 \pm 0.04$  mg/g DW), quercetin ( $0.23 \pm 0.00$  mg/g DW)순으로 나타났으며 kaempferol의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다 ( $0.04 \pm 0.01$  mg/g DW).



[그림 162] 간척농지에서 재배된 향부자 화기의 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

- 페닐프로파노이드 계통 물질들은 아미노산인 페닐알라닌(phenylalanine)으로부터 합성된다. 과거 연구결과에 따르면 염(NaCl) stress는 식물의 방어시스템을 자극하여 식물의 방어기작에 관여하는 이차대사산물의 합성을 높이는 것으로 보고된 바 있다. 일반메밀(*Fagopyrum esculentum*)에 염 처리 시 isoorientin, orientin, rutin, vitexin을 포함하는 페닐프로파노이드 계통물질의 함량이 100 mM의 염농도에서 증가되고 200 mM 이상의 염농도에서는 물질의 함량이 감소됨이 보고된바 있다 (Lim et al., 2012). 게다가, 무(*Raphanus sativus*)의 새싹에 염처리 시 4-OH-glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin을 포함하는 글루코시놀레이트 함량이 증가되고 총 페놀 함량 역시 증가하는 것으로 나타났다 (Yu an et al., 2010). 또한, 염처리에 대한 식물의 반응은 염농도 및 작물의 품종에 따라 달라지는 것으로 나타났다. Gu et al., 2014는 브로콜리 품종에 따라 안토시아닌 및 글루코시놀레이트 함량이 다르며 염처리 농도에 따라 이들 이차대사물의 축적이 다른 것으로 나타났다.
- 향부자와 방풍은 자생하는 염생성 식물로써 간척농지의 제염 및 토양 이화학성을 개선하기 위한 좋은 자원임에 틀림없다. 향부자는 페닐프로파노이드 계통 물질, 사포닌, 비타민 C, 터펜 계통 물질, 정유를 포함하는 다양한 이차대사산물을 생산하며 이러한 물질들은 항산화효과, 항염효과, 진통효과, 해열효과등 다양한 생물학적 활성을 보인다는 것이 밝혀진바 있다 (Nagulendran et al., 2007). 방풍 또한 항산화, 항균, 항암, 항염 등 다양한 생물학적 활성을 보이는 것으로 나타났다 (Yuan et al., 2002, Shin, 2005, Yoon et al., 2010, Um et al., 2010, Okuyama et al., 1998). 본 연구결과에서 방풍 지상부에서 재배시기가 길어짐에 따라 염스트레스에 반응하는 페닐프로파노이드 계통물질의 함량이 증가하는 것으로 보아 염생 식물로써 방풍의 재배는 간척지 토양의 개선뿐만 아니라 건강기능성 식품 산업에 원료자원으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2-11 건조방식에 따른 기능성 물질 함량 비교 분석

### 가. 연구내용

- 간척지 단지에서 밭작물을 재배하기 위해서는 제염 및 지하수위에 대한 고려가 필요하다. 따라서 가뭄 및 장기침수에 강하고 척박한 사양토에서 생육이 좋은 향부자와 해안 사구에서 자생하는 방풍의 특성을 이용하여 간척지에서 재배. 쌀을 대신하여 수익을 낼 수 있는 고부가가치 작물로서의 가능성을 제고하고자 한다.
- 상온 음건 건조, 열풍 건조, 동결 건조 등 건조 방법에 따른 향부자와 방풍의 기능성물질 함량을 조사하여 적합한 물질 방법을 조사했다.
- 페닐프로판노이드(Phenylpropanoid) 분석을 통해 기능성물질을 분석하고 이에 따라 향부자와 방풍을 이용해 환을 만들어 기능성식품을 개발하고 고부가가치 작물으로써 농가의 수익을 증대시킬 수 있는 방안을 강구하고자 했다.

### 1) 재료 및 방법



[그림 163] 상온 음건 건조 상태



[그림 164] 열풍건조 및 동결 건조에 사용되는 열풍건조기(좌) 동결건조기(우)

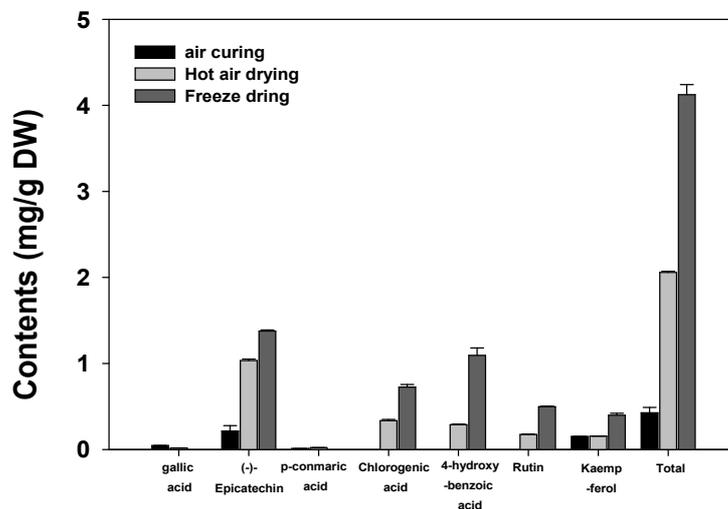
- 수확된 향부자와 방풍을 건조 방법에 따라 상온 음건 건조, 열풍 건조, 동결 건조 세 종류로 나누어 각각 건조하였다.
- 상온 음건 건조는 자연적으로 건조시키는 방법으로 음건 건조이기 때문에 빛이 들지 않도록 신문지로 덮어 빛을 차단시켰다. 자연적으로 건조시키다보니 시간이 오래 소요되어 약 60일간 자연 상태에서 건조하였다.
- 열풍 건조는 열풍 건조기에 작물을 놓고 바람에 의해 건조시키는 방법으로 약 70°C의 온도에서 일주일 간 건조시켰다.
- 동결 건조는 동결 건조기를 이용하여 급냉시켜 건조시키는 방법으로 가장 빠르고 정확한 건조 방법으로 알려져 있음. 동결 건조 방법은 다음과 같음. 먼저 액체 질소에 동결시키고, deep freezer에 -70°C로 보관한 후, 동결 건조기를 이용하여 3일간 건조시켰다.
- 향부자와 방풍의 기능성 물질을 분석하기 위해 페놀 분석을 하였으며 방법은 다음과 같다. 건조 방법에 따라 각각 건조시킨 시료 0.1 g을 분쇄기를 이용하여 분말로 만들어 80% MeOH 2ml에 넣은 뒤 진동혼합 후 1시간 동안 음파처리(sonication) 하였다. 그 후 원심분리기를 이용하여 12000 rpm으로 10분간 원심분리 하였으며, 원심분리 된 시료의 상정액만 추출하여, 0.45  $\mu$ m syringe filter로 필터링 한 뒤, vial병에 넣어 HPLC를 이용하여 페닐프로판노이드(Phenylpropanoid) 분석을 수행하였다.

## 2) 연구 결과

- 향부자는 사초목 사초과의 다년생 작물로서 중국, 일본, 한국 및 인도에서 자라는 약용작물이다(Dassanayake and Fosberg, 1985). 또한 향부자는 따뜻한 기후와 사양토에서 생육이 좋으며 가뭄에 강하지만 장기침수에도 잘 버티 낙동강 연안에 주산단지가 형성되어 있었다(Kim et al., 1997). 향부자의 주요 성분에는 cyperol, flavonoids,  $\beta$ -sitosterol, ascorbic acid, polyphenols, cyperene, sesquiterpenoids 등의 성분이 있다(Sonwa and Konig, 2001). 특히 향부자의 뿌리는 자궁내막증 억제작용, 진통작용 및 해열작용에 도움을 주고(Hwang et

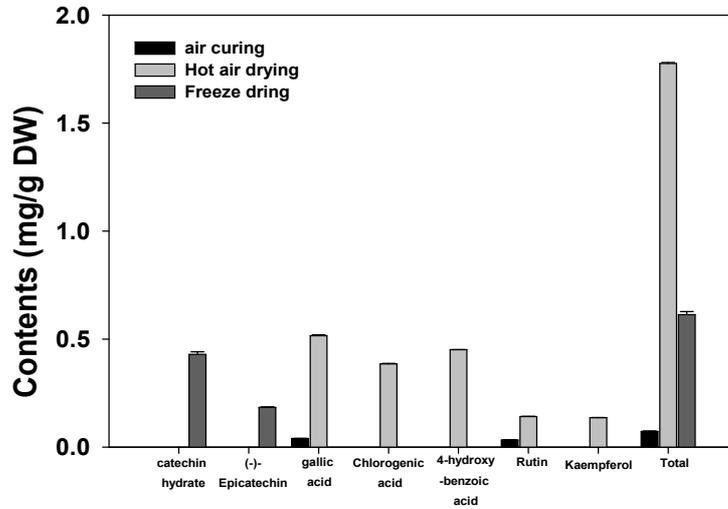
al, 2012), 염증 및 피부 발진을 완화시켜 약용으로 사용되고 있다(Pal and Dutta, 2006). 방풍은 산형과의 다년생초본으로 갯기름나물이라고도 불리며, 방풍 나물의 뿌리를 식방풍이라고 한다(Lee et al., 2015). 주로 어린잎을 수확하여 무쳐먹거나 뿌리의 경우에는 약용으로 사용되기도 한다(Jin et al., 1992). 방풍의 성분은 coumarin계 물질의 주성분으로 p-coumaric acid, umbelliferone 등의 성분이 있다(Shin et al., 1992). 방풍의 뿌리는 풍을 막아주는 효과가 있어 사지의 근육경련과 중풍으로 인한 반신불수나 마비 등에 사용되는 약용작물로써 쓰이고 있다(Song et al., 2010).

- 따라서 간척지 토양에서 쌀 대신 재배하여 수익을 낼 수 있는 고부가가치 작물로써 향부자와 방풍을 선정하고 작물들의 기능성물질을 분석하였다.



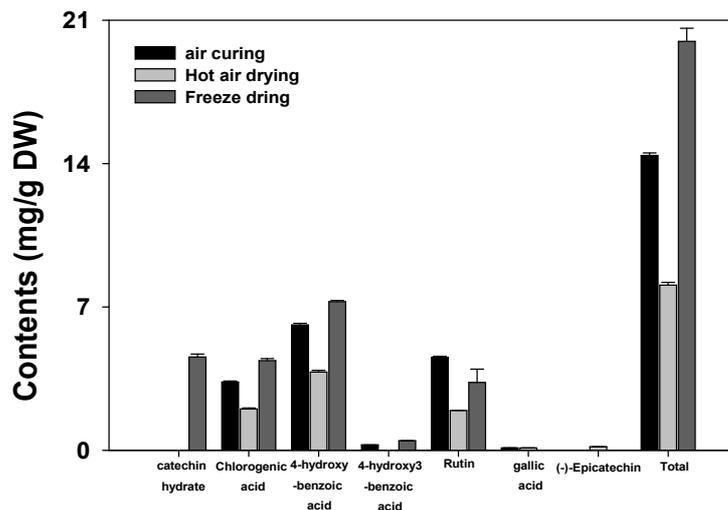
[그림 165] 건조 방법에 따른 향부자의 지상부 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

- 향부자의 지상부 기능성물질 함량의 경우 (-)-epicatechin, 4-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, rutin, kaempferol, gallic acid, p-coumaric acid 순으로 함량이 높았다. 상온 음건 건조의 경우 gallic acid, (-)-epicatechin, p-coumaric acid, kaempferol 총 4가지 물질이 분석되었고, 열풍 건조는 7가지 물질이 모두 분석되었다. 또한 동결 건조는 (-)-epicatechin, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin, kaempferol이 나타났고 총 5가지 물질이었다. 그러나 물질의 함량은 동결 건조에서 가장 높았으며 열풍 건조, 상온 음건 건조 순이었다. 따라서 total 페놀 함량을 확인했을 때 동결 건조가 다른 건조 방법에 비해 유의적으로 높았으며, 열풍 건조와 상온 음건 건조 모두 유의하게 차이를 보였다.



[그림 166] 건조 방법에 따른 향부자의 지하부 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

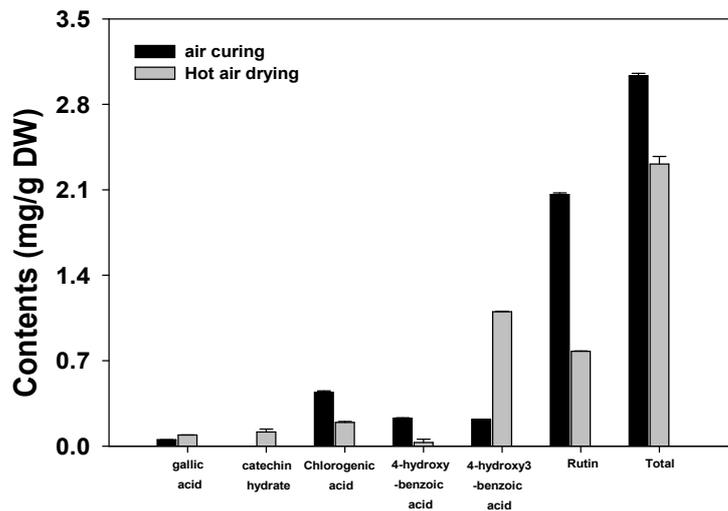
- 향부자의 지하부 기능성 물질 함량을 분석한 결과 gallic acid, 4-hydroxybenzoic acid, catechin hydrate, chlorogenic acid, rutin, (-)-epicatechin, kaempferol의 순서로 나타났으며 총 7가지 물질이 분석되었다. 상온 음건 건조의 경우 gallic acid, rutin 2가지 물질을 확인했으며, 열풍 건조의 경우 gallic acid, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin, kaempferol 총 5개의 물질이 분석되었다. 동결 건조의 경우에는 catechin hydrate, (-)-epicatechin으로 상온 음건 건조와 마찬가지로 2개 물질이 추출되었다. 따라서 총 페놀의 함량을 분석해보면 열풍 건조에서 나머지 건조 방법에 비해 유의하게 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 동결 건조, 상온 음건 건조의 순서로 낮아지는 경향을 보였다.



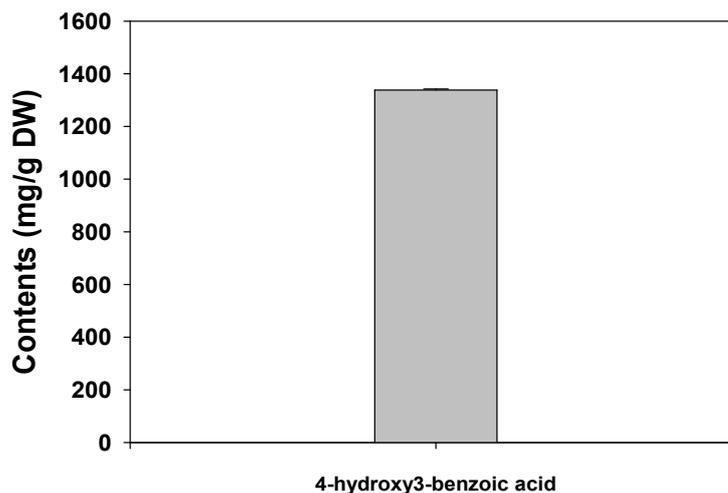
[그림 167] 건조 방법에 따른 방풍의 지상부 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

- 방풍의 지상부 기능성 물질 함량은 4-hydroxybenzoic acid, rutin, chlorogenic acid, catechi

n hydrate, 4-hydroxy3benzoic acid, gallic acid, (-)-epicatechin의 순서로 높은 함량을 보였으며 총 7개의 물질이 분석됨. 상온 음건 건조의 경우 chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, 4-hydroxy3benzoic acid, rutin, gallic acid가 확인되었으며 총 5개의 물질이었다. 열풍 건조는 chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin, gallic acid, (-)-epicatechin이 나타났으며 총 5개의 물질이 분석되었다. 동결 건조의 경우 4-hydroxybenzoic acid, rutin, chlorogenic acid, catechin hydrate, 4-hydroxy3benzoic acid로 마찬가지로 총 5개의 물질이 확인되었다. 총 페놀 함량을 보면 동결 건조 방법이 유의하게 높은 값을 보였으며 그 뒤로 자연 건조, 열풍 건조 순으로 함량이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 168] 건조 방법에 따른 방풍의 지하부 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석



[그림 169] 동결 건조 방법에 따른 방풍의 지하부 페닐프로파노이드 계통 물질 HPLC 분석

- 건조 방법에 따른 방풍 지하부의 기능성 물질 함량을 분석한 결과, 4-hydroxy3benzoic acid, rutin, chlorogenic acid, 4-hydroxybenzoic acid, gallic acid, catechin hydrate의 순서로 높은 함량을 보였으며 총 6개의 물질이 분석되었다. 상온 음건 건조의 경우 gallic acid,

chlorogenic acid, 4-hydroxy3benzoic acid, 4-hydroxybenzoic acid, rutin이 확인되었고 총 다섯 가지의 물질을 볼 수 있었다. 열풍 건조는 여섯 가지의 물질이 모두 추출되었고 동결 건조의 경우에는 4-hydroxy3benzoic acid만 확인되었다. 그러나 동결 건조 방법으로 건조했을 때 4-hydroxy3benzoic acid의 값이 유의하게 높은 값을 나타냈으며 약 500배 정도의 차이를 나타냈다. 따라서 총 페놀 함량을 확인하면 동결 건조, 열풍 건조, 상온 음건 건조의 순서로 함량 값이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

- 종합적으로 확인했을 때 향부자의 지상부는 동결 건조가 가장 높았고, 지하부는 열풍 건조의 함량이 좋았다. 방풍의 경우 지상부와 지하부 모두 동결 건조한 것이 유의하게 높은 값을 나타냈다. 기능성 물질의 종류는 열풍 건조와 동결 건조 방법에서 차이를 보이지는 않았으나 함량의 차이가 유의적으로 나타났다. 따라서 건조 방법에 따른 향부자와 방풍의 기능성 물질 함량을 분석한 결과, 나머지 두 건조 방법에 비해 동결 건조 방법이 가장 적합한 것으로 사료된다.

## 2-12 기능성식품(환) 개발

향부자와 방풍을 환으로 만들기 위해서 열풍건조기에 건조시켰으며, 건조하는 데 소요된 시간은 약 7일이었다. 건조하기 전 향부자와 방풍 모두 물에서 세척하여 흙을 제거한 후 열풍건조기에서 건조할 수 있도록 하였고, 대량의 작물을 한 번에 건조시키기 위해 열풍건조기를 사용하였다. 건조시킨 향부자와 방풍을 제분소에 의뢰하여 환으로 개발하였으며, 장기간의 보관이 용이하게 만들기 위해서 용기를 구입하여 실리카겔을 넣고 밀봉하였다. 향부자와 방풍 모두 환으로 개발에 성공했으며, 상품화 예정에 있다.



[그림 170] 건조하여 환으로 만든 모습



[그림 171] 환으로 개발하여 용기에 밀봉한 모습(향부자-좌, 방풍-우)

### 3 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1 목표

간척농지에서 기존의 수도작 재배를 대체 할 수 있는 기능성 작물을 대상으로 ICT융복합 생체정보 탐지 기술 적용 및 환경 모니터링 기술 개발을 통하여 간척지에서도 고부가 기능성 작물 재배 실용화를 이루어 농가소득 향상 및 신개념의 첨단 농업시스템 모델 제시를 이끌 수 있는 재배 기술 개발

#### 3-2 목표 달성도

##### 가. 정성적 목표

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	세부내용	달성도 (%)	관련분야 기술발전 기여도
작물 접촉식 ICT 생체 정보 센서 기술 개발	- 식물생체 정보 센서 기술개발	100	- 작물의 생체정보 획득은 Big data 의 기본이 되며 이를 이용할 Data농업 및 정밀농업의 기초가 되므로 이런 의미에서 센서개발은 원천 데이터를 제공하는데 매우 중요한 기술임
기능성 작물의 생육 모니터링 및 피드백 지원 가능한 신 개념 모니터링 시스템 개발	- 토양 센서 값과 기상데이터 값 생체센서값 등을 망라한 작물생육 모니터링 시스템 개발	100	- 종합적인 판단하에 작물재배관리가 매우 중요하기 때문에 토양환경, 기상환경, 작물환경을 한곳에서 모니터링하며 컨설팅할 수 있는 기초 데이터 확보 및 종합적 판단을 할 수 있는 솔루션 제공에 매우 중요한 플랫폼기반을 제공할 수 있음

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	세부내용	달성도 (%)	관련분야 기술발전 기여도
간척농지에서의 갯방풍 및 향부자 안정적 재배를 위한 자동 급수 인프라 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 무전력 조건에서 운전이 가능한 급수 시스템 개발</li> <li>- 일사량에 비례한 자동 급수 시스템 개발</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 무전력 자동 관수 시스템은 현재 발 관개율 15%의 현실을 생각할 때, 효율적인 발 관개율을 높일 수 있는 획기적인 기술을 제공할 수 있음</li> <li>- 시설원예의 스마트팜의 자동급액 관리의 기술에서 저가의 급수관리 시스템으로 토경재배의 토마토, 오이, 호박, 딸기에 자동 급수제어 시스템으로 활용할 수 있음</li> <li>- 모든 밭 작물에 자동관수 시스템으로 적용가능하며 밭의 크기에 맞게 급수탱크를 조절하여 대응할 수 있음</li> </ul>
Test-Bed 구축 및 현장 적용성 검증	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 간척지 대상 지하암거 공법을 적용한 TEST-BED 구축</li> <li>- 관수 시스템을 적용한 현장 재배 TEST</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 논을 밭으로 전환하는 범용화 농지에 지하암거 공법을 적용할 수 있음</li> <li>- 관수 시스템을 노지, 간척농지, 범용화 농지 등에 적용 가능함</li> </ul>
방풍 및 향부자 안정적 재배기술 및 재배 매뉴얼 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 갯방풍과 향부자의 지하부 적정 한계EC농도 검증</li> <li>- 멀칭, 비멀칭, 정식거리에 따른 생산성 검증</li> <li>- 간척지에서 향부자 갯방풍의 재배 매뉴얼개발</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 갯방풍과 향부자와 유사한 특성을 갖는 약용작물의 간척 농지 생산에 적용 할 수 있음</li> <li>- 개발된 재배 매뉴얼은 간척농지 이외의 논을 밭으로 전환한 범용화 농지에서 재배할 경우 매우 큰 도움이 됨</li> </ul>
간척농지에서 재배된 방풍 및 향부자의 기능성 물질 분석 및 환 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기능성 물질 선정 및 분석</li> <li>- 대상작물을 이용한 건강기능성 식품 (환) 개발</li> </ul>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 향부자와 갯방풍의 환제조 기술을 기반으로 다양한 약용작물에 적용하여 부가가치를 높일 수 있음</li> </ul>

나. 정량적 목표

성과목표	건수	기타
고용창출	5	윤영진 외 4인
정책활용	2	효율적 발관개를 위한 기술 제안 외 1건
인력양성	3	장지현(석사) 외 2인
특허	3	생체정보 센서노드를 구비한 스마트팜 모니터링 시스템 외 2건
논문	2	Optimizing Plant Spacing and Harvest Time for Yield and Glucosinolate Accumulation in Watercress ( <i>Nasturtium officinale</i> L.) Grown in a Hydroponic System 외 1건
	6	간척지 토양에서 EC 처리에 따른 향부자와 갯방풍의 생육 및 기능성 물질 함량 분석 외 5건
학술발표	7	Inhibition of plant growth by high electrical conductivities in reclaimed land conditions 외 6건
인증	1	방송통신기자재등의 적합등록 필증

## 4 연구결과의 활용 계획

### 1. 작물 생체 정보 센서 기술 및 토양, 기상, 작물 환경 모니터링 기술

- 다양한 작물에 적용한 후 범용성을 갖춘 생체정보 센서 기술로 확립하고 현재 과제 결과로 구축된 토양, 기상, 작물환경 모니터링 기술에 현장 농가와 직접 소통하면서 컨설팅을 할 수 있는 시스템을 구축하여 재배 기술, 자원 관리 기술, 시장가격 정보 기술 등을 탑재하여 새롭게 시스템화하고 이를 제품화 하여 농가에 공급 할 예정

### 2. 무전력 자동 급수 장치 기술

- 현재, 밭작물의 관개율이 15%인 점을 착안하여, 관개율 향상과 수자원의 효율적 이용을 통한 국가 가뭄 대책 기술로 건의함. 이후 본 시스템을 제품화 하고 간척농지의 농가 및 일반 대규모 밭 경작농가에 보급될 수 있도록 시스템을 구축 (하드웨어 전문가, 작물재배 컨설팅 전문가 등) 하고 제품화 함

### 3. 갯방풍과 향부자의 재배 매뉴얼

- 위에서 개발된 모니터링 플랫폼과 자동급수 장치에 재배 매뉴얼을 입력하여 효율적 재배 관리가 될 수 있도록 지원

### 4. 갯방풍, 향부자의 환 제조 및 판매

- 식약청에 건강기능성 식품으로 등록하여 전문 판매처를 통한 판매 계획

## 5 참고문헌

- 농림축산식품부 (2017) 『2017년도 특용작물 생산실적』.
- 농어촌연구원 (2006) 『새만금 간척지의 전작·원예단지 조성 연구』.
- 농촌진흥청 (2014) 『식량작목 경제성 분석방법과 사례』.
- 농촌진흥청 (2018) 『농축산물 소득자료집』.
- 위터매니지먼트 (2019) 『집중호우 대비 저비용 고효율 농지범용화 시스템과 이를 이용한 약용 작물재배 및 기능성 식품 제조기술 개발 최종보고서』
- 한국농어촌공사 (2014) 『간척농지 시기별 생산량 및 생산비에 대한 현장 실증 연구』
- Alsher R.G. and J.L. Hess. (1993) Antioxidants in higher plants. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p.1-174.
- Dassanayake M., Fosberg FR. (1985) A Revised Handbook of the Flora of Ceylon, part V. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. p. 181.
- Hwang EY, Kim DH, Hwang JY, and Kim HJ (2012) A Study on the Depigmenting Effect of *Carthamus tinctorius* Seed, *Cyperus rotundus* and *Schizonepeta tenuifolia* Extracts. Korean J. Food Sci. Technol. 44:76-81.
- Jin G, Li J, and Piao H (1992) Chemical constituents of *Ledebouriella seseloides* Wolff, China J. Chinese materia medica. 17:38-40.
- Kim BG, Kim JC, and Rye JK (1997) Production Status and Economic Analysis in Chief Producing Area of *Cyperus rotundus*. Korean Journal Medicinal Crop Science 5:243-248.
- Kamp PGH and Timmerman GJ (2002) Computerized environmental condition in greenhouse. IPC Plant, Dier Edw, Netherlands.
- Lee GJ, Heo JW, Jung CR, Kim HH, Yoon JB, Kim DE, and Nam SY (2015) Effects of Plant Factory Cultural Systems on Growth, Vitamin C and Amino Acid Contents, and Yield in Hydroponically Grown *Peucedanum japonicum*. Protected Horticulture and Plant Factory 4:281-286.
- Pal DK, Dutta S (2006) Evaluation of the Antioxidant activity of the roots and Rhizomes of *Cyperus rotundus* L. Indian J. Pharm.Sci. 68:256- 258
- Shin KH, Kang SS, Chi HJ (1992) Analysis of the coumarin constituents in *Peucedanii radix*. Kor J Pharmacogn. 23:20-23.
- Song HS, Kim SM, Shin DI, Han SH, Lee JH, Park CG, Park CB and Park YJ. (2010) Growth pattern and vegetation structure of *Peucedanum japonicum* Thunb. community group in Korea. Korean Journal of International Agriculture. 22:363-370
- Sonwa MM and Konig WA (2001) Chemical study of the essential oil of *Cyperus rotundus*. Phytochemistry 58:799-810.

8810-E4CE-9B6A-5C93

<b>방송통신기자재등의 적합인증서</b> <i>Certificate of Broadcasting and Communication Equipments</i>	
상호 또는 성명 <i>Trade Name or Applicant</i>	주식회사 아큐랩
기자재명칭(명칭) <i>Equipment Name</i>	특정소출력 무선기기(무선데이터통신시스템용 무선기기)
기본모델명 <i>Basic Model Number</i>	SN-100
파생모델명 <i>Series Model Number</i>	
인증번호 <i>Certification No.</i>	R-C-AqR-SN-100
제조사/제조국가 <i>Manufacturer/ Country of Origin</i>	주식회사 아큐랩 / 한국
인증연월일 <i>Date of Certification</i>	2020-01-23
기타 <i>Others</i>	
<p>위 기자재는 「전파법」 제58조의2 제2항에 따라 인증되었음을 증명합니다.</p> <p>It is verified that foregoing equipment has been certificated under the Clause 2, Article 58-2 of Radio Waves Act.</p> <p style="text-align: right;">2020년(Year) 01월(Month) 23일(Day)</p> <p style="text-align: center;">국립전파연구원장</p> <p style="text-align: center;"></p> <p style="text-align: center;"><i>Director General of National Radio Research Agency</i></p> <p style="text-align: center;">※ 인증 받은 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시" 를 부착하여 유통하여야 합니다. 위반시 과태료 처분 및 인증이 취소될 수 있습니다.</p>	





성격서 번호 : N2001R-0328

**방송통신기자재등(전자파적합성) 시험성적서**

1. 성격서 번호 : N2001R-0328
2. 접수 일 : 2019년 12월 24일
3. 접수 번호 : A2019-14195
4. 시험 기간 : 2019년 12월 30일 ~ 2020년 01월 06일
5. 신청자(상호명) : 주식회사 아규렘
6. 사업자등록번호 : 763-86-00139
7. 대표자성명 : 김태연
8. 주소 : 대전광역시 유성구 대학로 53, 402호(봉명동, 솔리안 오피스텔)
9. 기자재명칭 : 특정소출력 무선기기(무선데이터통신시스템용 무선기기)  
모델명 : SN-100
10. 제조자 : 주식회사 아규렘  
제조국 : 한국
11. 시험결과 : 적합 부적합

방송통신기자재등 시험기관의 지정 및 관리에 관한 고시 제13조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.

2020년 01월 13일

(주)엔트리연구원 대표이사



주소 : 경기도 수원시 장안구 파장동 44번길 30  
전화번호 : 031-893-1000 / 팩스번호 : 031-893-0111  
홈페이지 : http://www.ntree.or.kr

- \* 인증 받은 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시"를 부착하여 유통하여야 합니다. 위반 시 과태료 처분 및 인증이 취소될 수 있습니다.
- \* 이 성적서의 진위확인을 위해서는 위 연락처로 연락 주시기 바랍니다. 본 시험성적서의 시험결과에 신청인이 제출한 서류에 한합니다.



성격서 번호 : N2001R-0328

■ 1.0 종합 의견

1. 시험기자재	기자재 명칭	특정소출력 무선기기(무선데이터통신시스템용 무선기기)
	모델명	SN-100
	제조자	주식회사 아규렘
	제품구분	<input type="checkbox"/> 업무용(A급) <input checked="" type="checkbox"/> 가정용(B급)
2. 특이사항	해당사항 없음	
3. 시험기준	전자파 적합성 기준 고시	제 2019 - 32 호
4. 시험방법	전자파 적합성 시험방법 공고	제 2019 - 132 호
5. 기타사항	해당사항 없음	
시험원	김 대 열 주임	
기술책임자	권 재 영 차장	



발급번호 : N2001R-0555

**방송통신기자재등(무선) 시험성적서**

1. 성격서 번호 : N2001R-0555
2. 접수 일 : 2019년 12월 24일
3. 접수 번호 : A2019-14195
4. 시험 기간 : 2020년 01월 13일 ~ 2020년 01월 14일
5. 신청자(상호명) : 주식회사 아규렘  
사업자등록번호 : 763-86-00139  
대표자성명 : 김태연  
주소 : 대전광역시 유성구 대학로 53, 402호 (봉명동, 솔리안 오피스텔)
6. 기자재명칭 : 특정소출력 무선기기(무선데이터통신시스템용 무선기기)  
모델명 : SN-100
7. 제조자 : 주식회사 아규렘  
제조국 : 한국
8. 시험결과 : 적합

방송통신기자재등 시험기관의 지정 및 관리에 관한 고시 제 13조의 규정에 의하여 시험성적서를 발급합니다.

2020년 01월 20일

(주)엔트리연구원 대표이사



주소 : 경기도 수원시 장안구 파장동 44번길 30  
전화번호 : 031-893-1000 / 팩스번호 : 031-893-0111  
홈페이지 : http://www.ntree.or.kr

- \* 인증 받은 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시"를 부착하여 유통하여야 합니다. 위반 시 과태료 처분 및 인증이 취소될 수 있습니다.
- \* 이 성적서의 진위확인을 위해서는 위 연락처로 연락 주시기 바랍니다.
- \* RRA 성적서는 KOLAS 인정범위 내/외 여부를 기재하지 않습니다.
- 본 시험성적서의 결과는 신청인이 제출한 서류에 한합니다.



발급번호 : N2001R-0555

I. 종합의견

1. 시험기자재	기자재 명칭	특정소출력 무선기기(무선데이터통신시스템용 무선기기)			
	모델명	SN-100			
	출도	센서노드			
	제조자	주식회사 아규렘			
	주파수	송신	2.405 MHz	-	2.480 MHz
		수신	2.405 MHz	-	2.480 MHz
	출력	10 mW/㎐			
사용전원	AC 220 V				
2. 형식기호	LARN8-IC2A2405/2480TR0.01G1D16				
3. 특이사항	무선데이터통신시스템용 특정소출력무선기기의 평균전력이 20 mW 이하이므로 SAR 대상기기 면제됨. (III-3-3 참조)				
4. 시험기준	무선설비규칙(과학기술정보통신부령 제1호, 2017.07.26) 신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선설비의 기술기준 (과학기술정보통신부고시 제2019-105호, 2019.12.23)				
5. 시험방법	무선 설비 적합성 평가 시험방법 (KS X 3123:2019, 2019.12.27)				
6. 기타사항	신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선기기 (과학기술정보통신부고시 제2019-104호, 2019.12.32) 방송통신기자재등의 적합성평가에 관한 고시 (과학기술정보통신부고시 제2019-95호, 2019.12.5)				
7. 시험결과	적합 (세부시험결과 참조)				
실무자	(실무자)				
기술책임자	(기술책임자)				

	<h3>시험성적서</h3>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 1 of 8			
	<p>1. 의뢰자                  *기 관 명: 주식회사 아류랩                  *주 소: 대전광역시 유성구 대학로 53, 402호(봉명동, 슬리안오피스텔)                  *의뢰일자: 2019. 12. 30</p> <p>2. 제조자                  *기 관 명: 주식회사 아류랩                  *주 소: 대전광역시 유성구 대학로 53, 402호(봉명동, 슬리안오피스텔)</p> <p>3. 시험성적서의 용도: 신뢰성 평가용</p> <p>4. 시험대상품목                  *시 료 명: 센서노드                  *기본모델: SN-100                  *전원장격: 이델터(모델: TY-02013)                  용격: 입력: AC 100~240 V, 50/60 Hz, 0.5 A 출력: DC 5 V, 2 A</p> <p>5. 시험기간: 2020. 01. 02. ~ 2020. 01. 03.</p> <p>6. 시험방법: 본 시험의 기준방법 및 시료는 의뢰자가 제시한 것임.</p> <p>7. 시험환경: 2, 3 페이지 온도 습도 조건 참조</p> <p>8. 시험결과: 시험결과 (2, 3 페이지 이후 참조)</p>				
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">                 확인                  성 명: 김 동 현             </td> <td style="width: 30%;">                 기술책임자                  성 명: 이 수 준             </td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> </table>			확인 성 명: 김 동 현	기술책임자 성 명: 이 수 준	
확인 성 명: 김 동 현	기술책임자 성 명: 이 수 준				
<p>- 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.                  - 이 성적서는 ㈜스탠다드랩스의 사정권외 없이 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며 용도 이외의 사용을 금합니다.</p> <p style="text-align: right;">2020. 01. 06.</p>					
<p><b>㈜스탠다드랩스</b> 대표이사인 </p> <p>경기도 안양시 동안구 월례스루 91번길 46, 401호 (오정동)</p> <p>Tel: 070-7700-9351, Fax: 031-427-9350</p>					

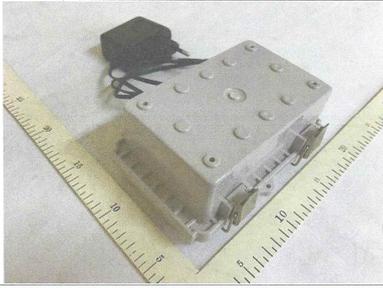
SLB-P-22-01(0)

	<h3>시험성적서</h3>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 2 of 8																																																			
	<p>1. 온도 시험</p> <p>1.1 시험방법</p> <p>1) 아래 표 1의 온도 조건에서 비 작동 상태로 제품을 시험한다.                  2) 각각의 온도 처리 후 작동 및 외관상태를 확인한다.</p> <p style="text-align: center;">표 1. 온도 시험조건</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>순번</th> <th>온도 (°C)</th> <th>습도 (%)</th> <th>시간</th> <th>비고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-20</td> <td>-</td> <td>10분</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>10분</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>30</td> <td>50</td> <td>10분</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>30</td> <td>90</td> <td>10분</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>1.2 검사기준</p> <p>1) 온도 처리 후 제품이 정상적으로 작동을 해야 한다.                  2) 온도 처리 후 외관검사에서 변형, 손상 등 이상이 없어야 한다.</p> <p>1.3 시험결과</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">순번</th> <th rowspan="2">온도 (°C)</th> <th rowspan="2">습도 (%)</th> <th colspan="2">시험결과</th> </tr> <tr> <th>작동상태</th> <th>외관검사</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>-20</td> <td>-</td> <td>정상작동</td> <td>이상없음</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>50</td> <td>50</td> <td>정상작동</td> <td>이상없음</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>30</td> <td>50</td> <td>정상작동</td> <td>이상없음</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>30</td> <td>90</td> <td>정상작동</td> <td>이상없음</td> </tr> </tbody> </table>		순번	온도 (°C)	습도 (%)	시간	비고	1	-20	-	10분		2	50	50	10분		3	30	50	10분		4	30	90	10분		순번	온도 (°C)	습도 (%)	시험결과		작동상태	외관검사	1	-20	-	정상작동	이상없음	2	50	50	정상작동	이상없음	3	30	50	정상작동	이상없음	4	30	90	정상작동
순번	온도 (°C)	습도 (%)	시간	비고																																																	
1	-20	-	10분																																																		
2	50	50	10분																																																		
3	30	50	10분																																																		
4	30	90	10분																																																		
순번	온도 (°C)	습도 (%)	시험결과																																																		
			작동상태	외관검사																																																	
1	-20	-	정상작동	이상없음																																																	
2	50	50	정상작동	이상없음																																																	
3	30	50	정상작동	이상없음																																																	
4	30	90	정상작동	이상없음																																																	

SLB-P-22-01(0)

	<h3>시험성적서</h3>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 3 of 8																			
	<p>2. 소비전류 측정</p> <p>2.1 시험방법</p> <p>1) 전원 인가 후 1분 동안 소비전류를 측정하여 평균값을 구한다.                  2) 총 5회 반복 측정한다.                  3) 5회 측정값에 대한 평균치를 구한다.</p> <p>2.2 검사기준                  측정된 소비전류는 40 mA 이하일 것</p> <p>2.3 시험결과</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>측정 횟수 (회)</th> <th>소비전류 (mA)</th> <th>기준 값 (mA)</th> <th>결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>8.26</td> <td rowspan="5" style="text-align: center;">40 이하</td> <td rowspan="5" style="text-align: center;">적합</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>8.53</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8.88</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>8.64</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>8.76</td> </tr> <tr> <td>평균값</td> <td>8.61</td> <td>40 이하</td> <td>적합</td> </tr> </tbody> </table>		측정 횟수 (회)	소비전류 (mA)	기준 값 (mA)	결과	1	8.26	40 이하	적합	2	8.53	3	8.88	4	8.64	5	8.76	평균값	8.61	40 이하
측정 횟수 (회)	소비전류 (mA)	기준 값 (mA)	결과																		
1	8.26	40 이하	적합																		
2	8.53																				
3	8.88																				
4	8.64																				
5	8.76																				
평균값	8.61	40 이하	적합																		

SLB-P-22-01(0)

	<h3>시험성적서</h3>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 4 of 8
	<p>첨부 #1. 사진</p> <p>1. 제품사진 전면</p>  <p>2. 제품사진 후면</p> 	

SLB-P-22-01(0)

		<b>시험성적서</b>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 5 of 8
3. 제품사진 내부 1			
4. 제품사진 내부 2			

SLB-P-22-01(0)



		<b>시험성적서</b>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 6 of 8
5. 시험사진 온도도 1			
6. 시험사진 온도도 2			

SLB-P-22-01(0)



		<b>시험성적서</b>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 7 of 8
7. 시험사진 소비전류			

SLB-P-22-01(0)



		<b>시험성적서</b>	Test Report No.: SR-20-0101 Page: 8 of 8
--	--	--------------	---

첨부 #2, 시험 장비 목록

관리번호	장비명	모델	일련번호	제조사	기술정보	차기교정일
1-C	AC전원공급기	DSP-1000	-	Dae Sung Eng.	In: AC 220 V, 50/60 Hz, 10 kVA Out: AC (60~300) V, 50/60 Hz, 10 kVA	-
6-C	전력측정기	WT210	91K323035	Yokogawa	AC/DC 600 V, 1 kHz, 20 A Function: Voltage(V), Current(A), Watt(W), PF, Frequency(Hz), VA	2020/07/06
23-A	스텝워치	1/100S	9594	Yamax		2021/07/22
24-C	환경상습기	SL-TH1	-	성형계기 중사	-50 ~ 125 ℃, 50 ~ 95 %	2020/12/16

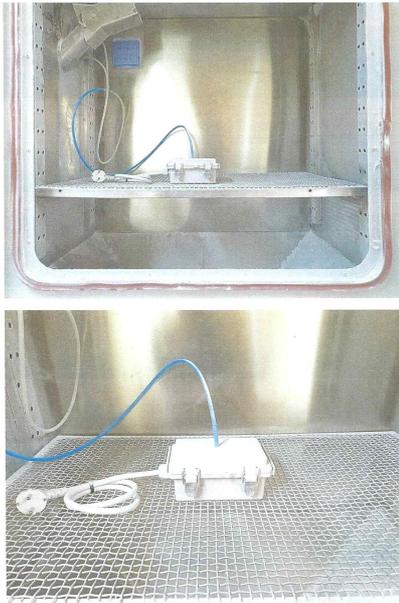
— 성적서 끝 —

SLB-P-22-01(0)





 <b>Standard Labs</b> <small>STANDARD LABORATORY SERVICE</small>	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(6)/(총 11)
--	--------------	------------------------------------



[사진2 - 방진시험 후]

SLB-P-22-02-1(0)



 <b>Standard Labs</b> <small>STANDARD LABORATORY SERVICE</small>	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(7)/(총 11)
--	--------------	------------------------------------



[사진3 - 방진시험 후 시료]

SLB-P-22-02-1(0)



 <b>Standard Labs</b> <small>STANDARD LABORATORY SERVICE</small>	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(8)/(총 11)
--	--------------	------------------------------------



[사진4 - 방수시험 준비]

SLB-P-22-02-1(0)



 <b>Standard Labs</b> <small>STANDARD LABORATORY SERVICE</small>	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(9)/(총 11)
--	--------------	------------------------------------



[사진5 - 방수시험 중]

SLB-P-22-02-1(0)



	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(10)/(총 11)
---	--------------	-------------------------------------



[사진6 - 방수시험 후 시료]

SLB-P-22-02-1(0)



	<b>시험성적서</b>	성적서번호: SR-20-2002 페이지(11)/(총 11)
--	--------------	-------------------------------------

4. 시험장비

장비명	모델명	제조사	Serial No.	차기교정일
Sand & Dust Test chamber	RH18501C	Guangzhou Sunho Electronic	RH0280817	2020-01-15
Water supply system	RH18109B	Rehoboth testing equipment limited	RH0300817	2020-01-15
Tape Measure	5M	KOMELON	1705522	2020-03-13
Water spray test device	RH18104 (12.5 mm)	-	RH5060917	2020-01-15

----- 성적서 끝 -----

SLB-P-22-02-1(0)



## 주 의

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