

# 동오 농업신기술 연구개발 보고서

“비가림 하우스에 적용할 수 있는  
배추 간이 수경 재배 기술 개발”

2024. 4. 8.

연구책임자 : 최 기 영

공동연구원 : 신 효 섭

이 현 진

김 민 경

Rabbani MD Golam

Shawon MD Rayhan Ahmed

강원대학교

# 목 차

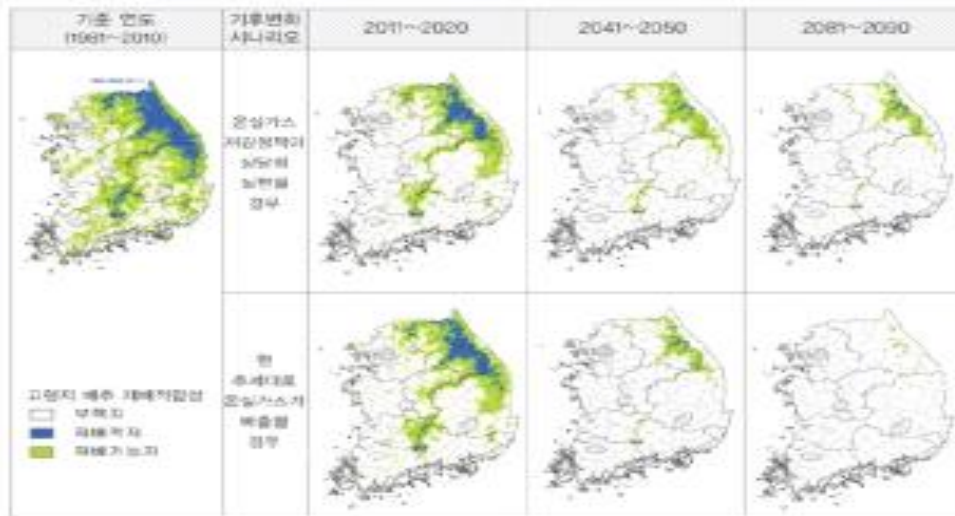
1. 연구 목적
2. 연구 필요성
3. 연구 수행 내용
  - 1) 급액 EC와 코이어 배지 조성이 봄재배 배추 생육에 미치는 영향
  - 2) 양액종류와 배지 조성이 가을재배 배추 생육에 미치는 영향
  - 3) 칼슘원과 배지조성 비율이 겨울재배 배추 생육에 미치는 영향
4. 결과 요약
5. 참고문헌

## 1 연구 목적

- 고랭지 배추 재배지에서 기후변화와 연작장애를 극복하고 여름 배추 안정 생산을 위한 대체 수단으로 비가림 시설을 활용한 간이수경재배 실용화 기술 개발

## 2 연구 필요성

- 기후변화에 따른 고랭지 배추 적지 변동과 수급 불안정
  - 온실가스 배출 등 연평균 상승, 여름 일기 변화로 현 고랭지 배추 적지의 변화 가능성을 예측하고 있음 (그림 1).
  - 고랭지는 서늘한 기후적 장점으로 여름 재배 주산지로 자리 잡고 있으나, 최근 빈번한 폭염, 가뭄, 늦장마 등 이상기후와 연작에 의한 지력 저하, 병해충 피해, 노동력 부족 등으로 생산 기반이 급속히 약화하고 수급 불안정성이 심화하였음.



[그림 1] 고랭지 배추 재배 적지 변동 예측도 (출처 : 국립원예특작과학원)

- 강원특별자치도 2022년 고랭지 배추 재배면적은 4,069ha로 전국의 92.0%를 차지함
  - 전국 노지재배 면적은 2012년 대비 2022년 14.7% 감소했지만, 강원도는 8% 증가하였으며, 엽채류의 증가가 25.4%로 매우 높았음.
  - 전국 대비 강원도 고랭지 배추 면적 비중은 92%로 매우 높으며, 전국적으로 강원 역시 면적이 2012년 대비 감소하였음.

[표 1] 주요 노지 작물 재배면적 현황

(단위 : ha, % p)

구분	2012 (A)			2022 (B)			증감률 ((B-A)/A)		증감 (B-A)
	전국	강원	비중	전국	강원	비중	전국	강원	비중
노지 채소	216,111	22,747	10.5	184,278	24,575	13.3	-14.7	8.0	2.8
근채류	22,903	3,551	15.5	18,408	3,561	19.3	-19.6	0.3	3.8
엽채류	36,697	6,973	19.0	37,790	8,746	23.1	3.0	25.4	4.1
조미채소	109,743	4,129	3.8	86,188	3,812	4.4	-21.5	-7.7	0.6

[표 2] 고랭지 배추 재배면적 현황

(단위 : ha, % p)

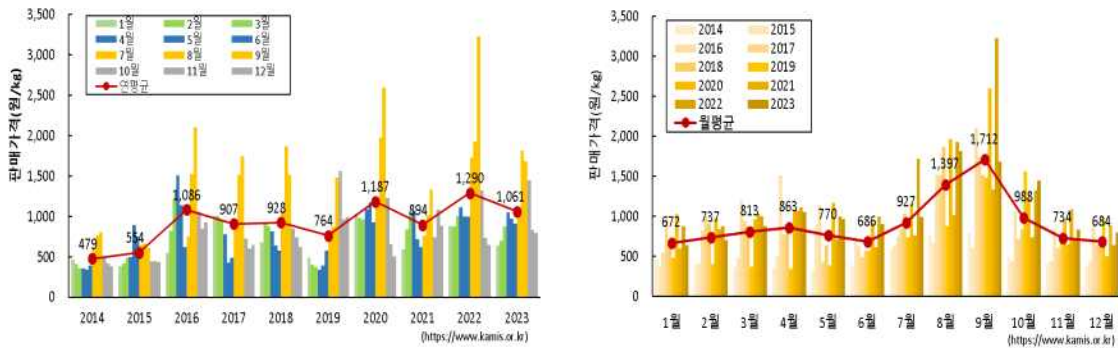
구분	2012 (A)			2022 (B)			증감률 ((B-A)/A)		증감 (B-A)
	전국	강원	비중	전국	강원	비중	전국	강원	비중
고랭지 배추	5,495	4,794	87.2	4,421	4,069	92.0	-19.5	-15.1	4.8

(출처 : KOSIS)

- 배추 재배 작형은 크게 계절에 따라 4개 작형으로 분화되어 유통되고 있으며, 7월부터 10월에 생산되는 여름 배추가격이 상대적으로 높은 가격을 형성하고 있음(그림 2)
  - 2014년부터 2022년까지의 연도별 월별 중도매인 유통가격 변화를 분석한 결과 2014년 대비 배추가격은 상승하였으며, 특히 월별 변화를 살펴보면 7월~9월 가격의 증가가 두드러짐. 이 시기는 고랭지 배추 생산 출하 시기로 강원도는 고랭지 채소의 90%를 차지하고 있어 이 기간에 고랭지의 수급 불균형은 유통 영향 인자로 작용함.
  - 9월부터 10월까지 생산 출하가 준고랭지에서 이루어지고 있으나 이 역시 태풍과 이상기상 등으로 배추 수급 불안정의 영향을 벗어나기가 쉽지 않은 상황임. 또한, 월동 배추 출하기 이후인 3~4월에 생산량 부족으로 배추가격 등락 폭이 커져 김치공장에서는 김치 수급에 많은 어려움을 안고 있음.
- 최근 고랭지 배추 재배지에서는 기상 변화와 연작에 따른 무름병, 뿌리혹병, 시들음병 등의 발생으로 생산성이 떨어질 뿐 아니라 씨스트 선충의 발생으로 휴경하는 때도 나타나고 있음
  - 토양 전염성 병을 극복할 수 있는 재배적인 방법으로는 윤작이나 고랭지 배추를 대체할 만한 마땅한 소득 작물이 없어 농가에서는 부득이 최대한 병해충 방제 노력을 기울이는 가운데 연작을 계속하고 실정이며, 추후 고랭지 배추의 안정 생산·수급에 차질을 초래할 우려가 큼.

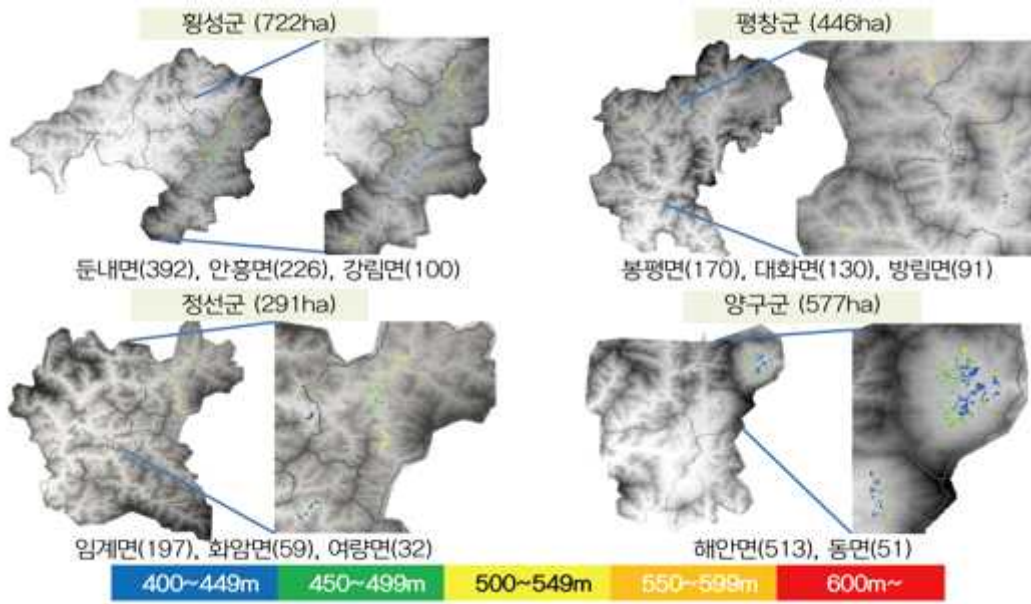


[그림 2] 배추 재배 작형과 월별 유통가격 추이 (출처: 국립원예특작과학원)

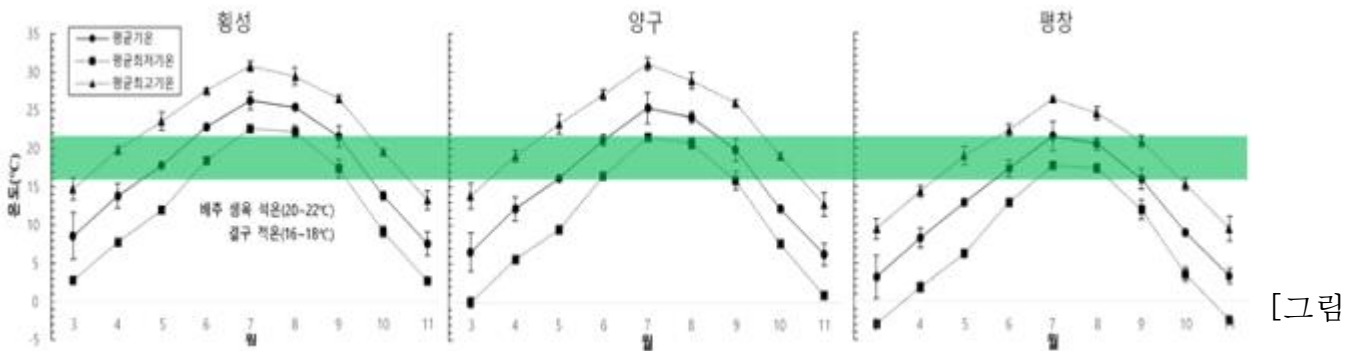


[그림 3] 연도별, 월별 중도매인 배추(상품)가격 변화 (출처: www. kamis.or.kr)

- 고랭지 여름 배추 주산지를 대체할 수 있는 준고랭지(고도 400m~600m) 신 작형 개발을 통해 강원도 내 준고랭지 생산단지로 4개 군을 선발함.
  - 강원 특별자치도 내 횡성군 722ha, 평창군 466ha, 정선군 291ha, 양구군 577ha를 선정하였고, 배추 적지 면적은 2,036ha로 추정하였음.
  - 특히 양구군은 400~500m의 밀집도가 타군에 비해 높았으며(그림 4), 기계화와 생산 단지화가 가능한 지역이 대상지로 선정됨.
  - 배추의 생육 적온 20~22℃, 결구 적온 16~18℃를 기준으로 횡성과 양구는 4월~10월, 평창은 5월~9월이 재배할 수 있는 것으로 추정됨(그림 5). 정식 시기 조절을 적용하여 고온기 배추 수확이 가능한 시나리오를 수립 중임(국립원예특작과학원, 2023).



[그림 4] 준고랭지 여름 배추 재배 적지 선발 (출처:국립원예특작과학원)



[그림 5]

5] 강원 특별자치도 내 3개년(21~23년) 평균 월별기온, 최저, 최고 온도

○ 비가림 시설을 활용한 실용적 배추 수경재배 기술 개발 필요성

- 수경재배는 토양 환경을 대신하는 배지 또는 무배지에서 작물이 요구하는 양수분 공급을 근권 환경 조절을 통한 품질과 생산성을 확보하는 재배 방법.
- 간이 비가림 재배에서 수경재배는 노지재배 과정에서 발생한 시비와 연작에 의한 토양 양분 불균형, 생리장해 발생, 병해충 발생을 줄일 방안 중 하나.
- 수경재배는 노지재배보다 초기 투자 비용이 많이 든다는 단점을 갖고 있으나 토경에서의 제초작업, 멀칭, 퇴비 시용, 경운 작업이 생략된다. 또한, 토양 전염성 병 및 씨스트 선충과 같은 해충 방제 비용의 절약, 비료와 물의 효율적 이용에 따른 비용 절감, 양수분 조절의 용이 등의 장점뿐 아니라 토양 전염성 병에 의한 고랭지 배추 불안정성을 해소함으로써 수급 안정에 기



여할 수 있을 것으로 기대됨.

- 따라서 생산성이 낮아진 고랭지 배추 재배지에서 기후변화와 연작장해를 극복하고 고랭지 배추를 안정적으로 생산하기 위한 대체 수단으로 노지와 비가림하우스에서 간이수경재배 방법에 관한 연구 개발이 필요함.
- 또한, 간이 비가림 시설에서의 근권관리 기술을 도입하여 배추 고품질 안정 생산을 도모할 수 있으리라 기대함.



[그림 6] 고랭지 배추 스프링클러 관수 [그림 7] 토양 병해에 의한 배추 피해

## 연구 동향

- 준고랭지 여름 배추 안정 생산을 위한 환경 조절 및 지역별 실증연구(국립원예특작과학원 2024~2026)는 피복 자재 활용 지온 하강 효과, 미세 살수 활용 지상부 기온 하강 효과, 고온 피해 방지 관수 시점 구멍 등 지상부 근권부 온도관리를 통한 안정 생산 매뉴얼 개발
- 준고랭지 여름 재배지 신 작형 고온 경감 기술 개발 및 지역별 적용연구(국립원예특작과학원, 2023~2026)는 준고랭지 배추 피해 평가 및 표준 작형 개발, 근권온도 상승 억제를 위한 농자재 활용 및 재배양식 개발, 고온 경감 기술 투입에 따른 생산성 평가 등을 연구 추진 중임
- 국립식량과학원(2012~2014)에서는 고랭지 안정 생산 기초자료를 위해 비가림하우스와 노지에서 유기 양액 재배 가능성을 검토한 바 있음. 유기 양액을 이용한 순수수경은 뿌리 피사로 어려웠으나 배지경 재배에서는 배추 표준 양액 재배의 60% 수준의 성장 결과를 도출하였고 유기 양액 재배의 가능성을 시사한 바 있음.
- 연작장해 극복을 위한 고랭지 배추 노지 수경재배 방법으로 연작장해로 고랭지 배추의 생산성이 크게 떨어지는 밭에 잡초 발생 방지 시트를 깔고 시판용 인공배지나 상토 포대를 일정한 간격으로 배열한 다음 점적 관수 방식으로 수경재배 전용 양액을 공급하면서 배추를 재배하는

방법이 농진청에서 제시한 바 있음(김기덕, 2021)

- 고랭지 고온기 배추는 질소 과다 시비에 의한 칼슘 흡수 감소, 무름증, 고온 피해에 관해 황 등 (2003), 손 등(2015), 저장 품질 저하(이, 2021) 등이 보고한 바 있으며, 틱번 발생과 관련한 이 등 (2018), 이 등(2016) 및 고온 극복을 위한 처리 효과(심 등, 2022)의 연구가 진행된 바 있으나 고온기 생리장해 발생 피해가 여전히 문제임.



### 3 연구 수행 내용

#### 1) 급액 EC와 코이어 배지 조성이 봄 재배 배추 생육에 미치는 영향

배양액의 EC 농도 수준과 코이어 조성에 따른 수경재배 봄배추 재배기간에 공급된 급액량 차이가 총공급량에 영향을 주어 총공급량이 많았음에도 EC 1.7  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리의 배액량은 적어 배액율이 낮았고, EC 2.4  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서 배액율은 가장 높았다. 정식 시기 30일 이후 배액율은 모든 처리에서 감소하는 경향을 보였다. EC 1.0 처리는 전 재배기간에 배액 EC가 급액 수준보다 낮았으며, 생육이 빨라지는 정식 30일 이후 배액 pH도 낮아지는 경향을 보여 양이온의 흡수가 많아질 수 있음을 시사하였다. 생육 중기 이후 급액 EC 1.7 처리는 배액의 EC가 급액 수준보다 높아졌고, 배액율의 감소 등으로 EC 1.7과 2.4 처리는 황화, 팁번, 속썩음증, 일소 피해 등의 생리장해 발생률이 높았고, 생체중은 EC 2.4 처리에서 가장 낮았다. EC 농도에서 배지 조성에 따른 배추 생육은 뚜렷한 경향을 도출하지는 못했으나, Dust 비율에 따른 배지의 물리성 영향은 배추 생육 기간에 수분 요구도가 높은 시기 영향 인자가 될 수 있으므로 생육단계, 환경을 고려한 정밀 급액 전략이 필요함을 확인하였다.

#### ■ 연구 방법

강원대학교 비닐하우스(W5×L27×H3 m)에서 배추(*Brassica campestris* L.) 품종 ‘일품 배추(KS 종묘)’를 공시하여 배양액 농도 3수준과 코이어 배지 조성 3수준 처리하여 2023년 3월 25일부터 5월 23일까지 60일간 수행하였다.

배양액의 EC( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ ) 3 수준은 EC 1.0, 1.7, 2.4  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 처리하였고, 코이어 배지는 Dust:Chip(v:v) 비율 10:0, 5:5, 3:7로 조성된 슬라브(W20×L100×H10 cm)를 EC 수준별 4 반복을 임의 배치하였다(그림 8). 코이어 배지는 조성에 따라 10:0(Dust 100, 원산지 스텔라카, 신성미네랄, 한국), 5:5(Dust 50, 바이오그로우, 프랑스), 3:7(Dust 30, 덕양, 한국)의 제품을 사용하였다. 코이어 배지 염 제거를 위해 지하수로 포수 하여 배액 EC가 0.4  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  이하가 되었을 때 관주용 양액(솔루메스트, 농우바이오, 한국 네덜란드 수입; TN-P-K-Mg =20-20-20-0.3%) EC 0.8 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 충분히 관수하였다.

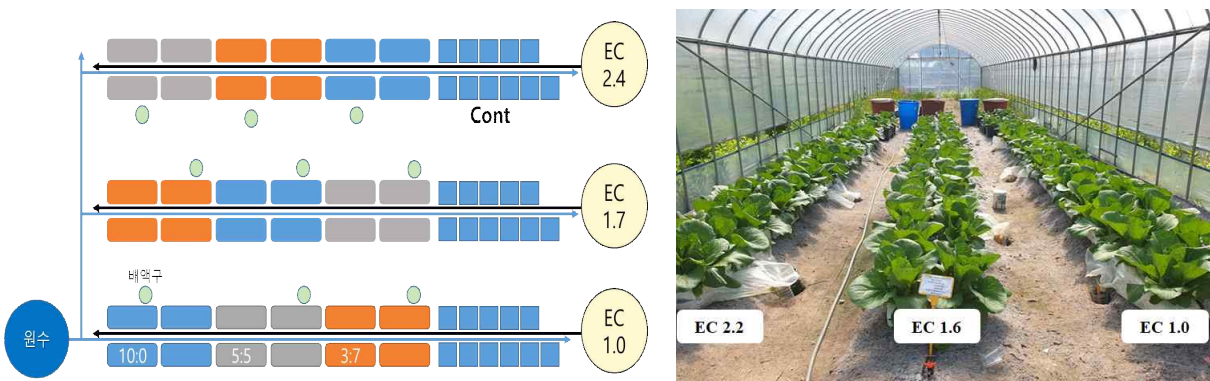
3월 25일 슬라브에 6주를 정식(평균 초장 8.2cm, 엽수 8.3개, n=10)한 후 4월 9일까지 EC 0.8  $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 관수하며 뿌리 활착을 도모한 후 4월 10일 EC 농도 3수준 처리하였다. 관수는 타이머 제어 방식으로 1회 급액량 100~150mL를 작물 생육과 환경을 고려하며 4~6회, 오전 9시 30분부터 오후 4시까지 각 EC 수준으로 pH5.5~5.8 수준으로 급액하였다.

대조구 토양재배를 위해 사각 화분(W36×D20.5×H21 cm)에 토양 10L를 충전하였다. 사용 전 토양 유기물 함량은 1% 함유하고 있었으며, 유기물 함량 3% 공급을 위해 퇴비(지생토, (주)태흥F&G, 한국) 0.3g, 완효성 코팅 비료(Ekote, Ekompany international B.V, 네덜란드) 20g과 토양 시비용 미량요소 비료(붕소 48.8% 함유, BAEYU BORAX, (주)대유, 대한민국)를 약 0.5~0.7g 토양 밑거름으로 고루 시비하였다. 대조구 관수는 정식 후 포트 배액이 나올 때까지 충분히 관수하여 배액이 배출된 후는 3~4일 간격으로 200~500mL 두상 관수하였고, 생육 후기(5월 4일부터) 관수량을 700mL로 증가시켜 매일 공급하였다.

재배기간에 온실 내 환경은 평균 온도 19.1℃(주간 평균 25℃, 야간 평균 13.9℃), 습도 58.9%를 유지하였다(표 3). 온실 환경 계측은 와치독(WatchDog, Spectrum Technologies, Inc, 미국)을 이용해 온실 내부 온도, 습도, 일사량을 10분 간격으로 계측된 데이터를 저장하여 분석하였다(그림 9). 배추 생육환경을 유지하기 위해 필름 피복을 야간에 수행하고 주간은 온도 하강을 위해 환기에 주력하여 가능하면 배추 환경을 유지하고자 했다. 그러나 온실 내 최고 온도 40℃ 이상 또는 야간온도 3.4℃의 낮은 온도에 노출되어 강원 평안지의 경우 봄 시설 재배 시 환경 관리가 필요할 수 있어 정식 시기 결정도 주요 요인으로 작용하리라 본다.

재배 기간에 급·배액량을 조사하였고, 정식 시 슬라브마다 2주를 뽑아 생육 조사 후 EC 처리하여 처리 43일째인 5월 23일에 파괴하여 생육 조사 및 생리장애 발생률 등을 측정하였다. 배지 내 수분함량은 휴대용 FDR 센서(미래센서, 한국)으로 처리 4일째(4월 17일)와 처리 25일째(5월 4일)에 측정하였고, 처리 44일째 노균병, 무름병, 일소, 틱번의 발생 여부를 조사하였다(그림 10).

데이터 유의성 검사는 SPSS(IBM, New York, NY, USA)를 이용하여 ANOVA분석과 Duncan's multiple range test(DMRT)를 하였다.



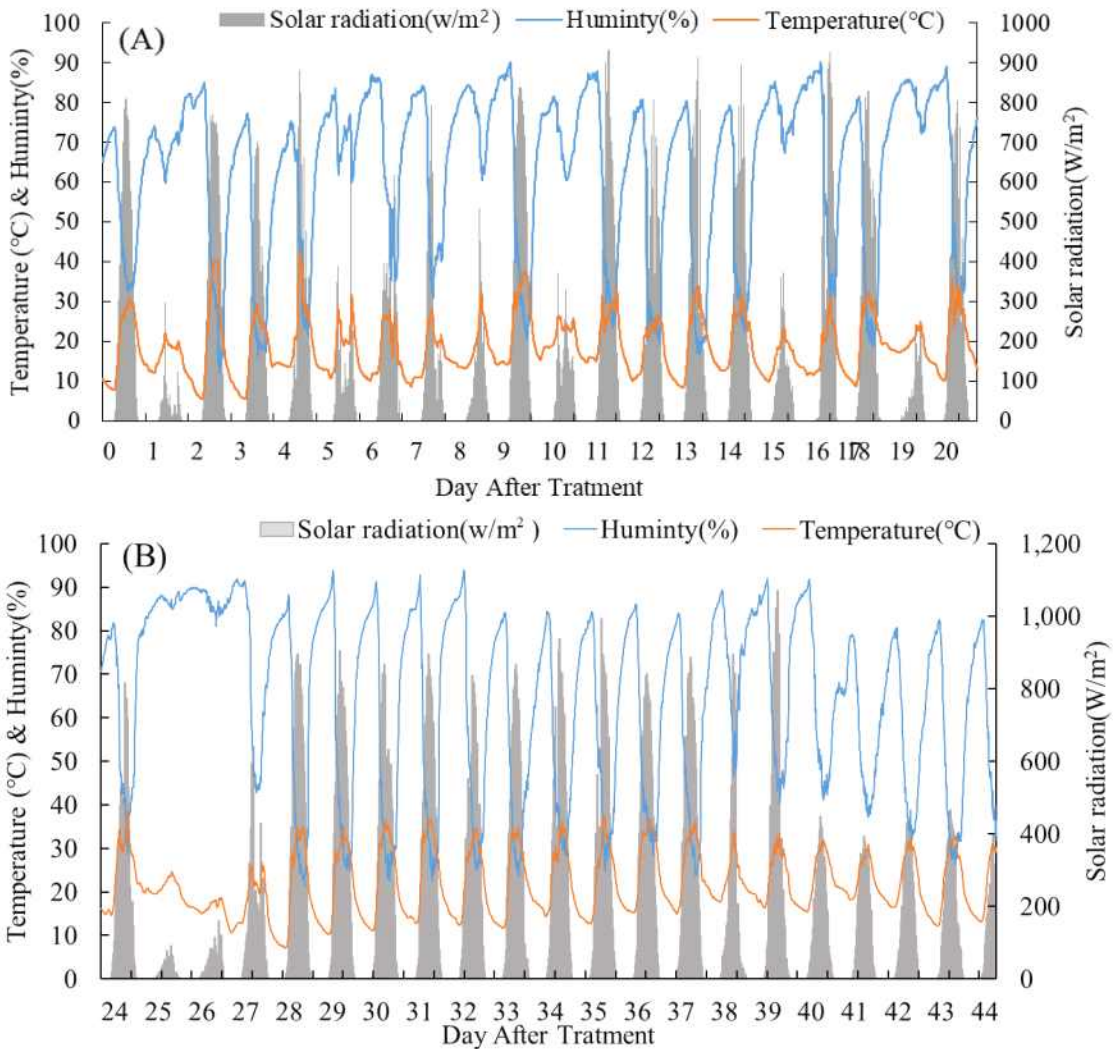
[그림 8] 실험 처리구 모식도(좌)와 처리별 배추 수경재배(우)

[표 3] 봄배추 재배 기간 중 온실 내 평균 온도, 습도 및 광량

월	온도 (°C)			평균 습도 (%)	광량 (MJ · m <sup>-2</sup> /일)
	평균	주간 (최대/최소)	야간 (최대/최소)		
3	16.9	26.1 (40.0/3.2)	12.6 (23.1/3.4)	52.2	10.2
4	18.9	23.9 (44.0/4.0)	14.8 (23.4/3.8)	60.7	12.3
5	21.5	25.1 (36.7/7.2)	14.4 (22.7/7.5)	63.8	14.0
평균	19.1	25.0 (40.2/4.8)	13.9 (23.1/4.9)	58.9	12.2

측정일: 2023년 3월 25일부터 5월 18일까지

측정기기: 와치독(WatchDog, Spectrum Technologies, Inc), 10분 간격



[그림 9] 봄배추 수경재배 처리 기간의 온실 내 환경 변화

(A:처리 0~20일(4월 10일 ~ 4월 30일), B:처리 24~44일(5월 4일 ~ 5월 23일))



[그림 10] 배추 수경재배 과정에서 발생한 생리장해와 병해, 황화(A), 노균병(B), 속썩음증(C), 일소(D), 탄번(E)

## ■ 연구 결과

배양액의 EC 농도 수준과 코이어 조성 처리에 따른 수경재배 봄배추 재배기간에 공급된 급액량 차이가 총공급량에 영향을 주었다(표 4). 총공급량이 많았음에도 EC  $1.7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리의 배액량은 적어 배액율이 낮았고, EC  $2.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  처리에서 배액율이 가장 높았다. 배액의 pH는 배지 조성에 따라 달랐으며 EC  $2.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 Dust 10:0 배지에서 높았고, 배액의 EC는 급액 EC 영향을 받았다. 재배기간에 따른 배액의 특성은 표 5~8과 같다. 정식 초기 작물 생육이 다소 낮았던 시기 배액율은 높았으며, 생육 중기에 해당하는 정식 30일 이후 배액율은 급격하게 모든 처리에서 감소하는 경향을 보였고, 이 기간 배액의 EC가 EC2.4 처리에서는 급격한 증가세를 보였다(표 7). 이러한 영향은 수확기에 해당하는 5월 12일부터의 배액 EC가 EC1.7과 2.4 처리에서 높았고 Dust 3:7 처리에서는 배액이 발생하지 않았다(표 8). 한편 EC 1.0 처리는 재배기간에 배출된 배액의 EC가 급액보다 낮은 수준이었고, 생육 중기는 배액 EC가 가장 낮은 범위에 분포하였다. 또한, 배액 pH도 정식 초기보다 생육 중기로 접어들면서 pH가 낮아지는 경향을 보여 음이온보다는 양이온의 흡수가 더 많이 이루어지고 있음을 간접적으로 확인할 수 있었다(표 5~7). EC 수준별 생육단계에 따른 배액율, 배액의 EC, pH 변화를 살펴보면 여름 재배에서 배추 정식 후 25일 내외가 되면 최대 생육을 하며 결구가 시작되는 시기로 관행 토양재배에서 하루 10a당 200g 이상의 무게 증가가 이루어지고 200L 이상의 관수 요구가 높은 시기라고 보고(농촌진흥청, 2000; 이 등, 2013)하였다.

또한, 배추는 비교적 다비성 채소로서 비료의 흡수량이 많으며 칼륨, 질소 및 칼슘 흡수량이 많다고 했다(이 등, 2013). 윤 등은 가을배추 과종 후 양분 흡수량 분석 결과 5~6주부터 흡수량이 급격히 증가하므로 밀거름을 충분히 주고, 정식 후 15~20일경에 2차 덧거름을 주는 것을 권장하였다. 이처럼 본 실험에서도 정식 30일 이후의 배액의 EC와 pH 변화가 급액 EC 1.0 처리에서 확인할 수 있었다. 한편 급액 EC 1.7 처리는 배액의 EC가 서서히 증가하는 경향을 보여 후기에는 배액 EC 2.0을 넘었다. 이는 봄 재배 작형은 낮 기온 상승이 이루어지고 있어 수경재배 봄 재배의 급액 EC는 EC  $1.0 \sim 1.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  범위에서 급액량 조절이 필요할 것으로 판단된다.



[표 4] 배양액 농도와 배지 조성 처리기간 동안 급배액량, 배액율, 배액 pH와 EC

처리	급액/주		배액/주		배액율 (%)	배액	
	총량(L)	평균(mL)	총량(L)	평균(mL)		pH	EC (dS · m <sup>-1</sup> )
EC1.0							
10:0		667	5.3	240.1(172.5)	34.1(24.9)	6.2(0.3)	0.54(0.10)
5:5	24.7	(292) <sup>2</sup>	3.1	146.8(120.2)	20.1(19.4)	6.4(0.5)	0.70(0.29)
3:7			3.2	145.0(117.5)	19.2(19.2)	6.5(0.4)	0.68(0.13)
평균	-	-	3.9	177.3	24.5	6.4	0.64
EC1.7							
10:0		856	2.8	134.6(134.1)	17.7(18.1)	6.4(1.5)	1.82(1.27)
5:5	33.4	(278)	4.4	161.1(115.1)	6.7(1.4)	6.6(1.4)	1.76(0.50)
3:7			3.3	126.4(103.9)	17.1(15.4)	6.7(0.3)	1.52(0.28)
평균	-	-	3.5	140.7	13.8	6.6	1.70
EC2.4							
10:0		713	4.4	164.4(108.5)	34.7(33.6)	7.1(0.5)	2.85(1.04)
5:5	27.8	(392)	3.8	174.5(100.2)	35.2(29.7)	6.9(0.2)	2.47(0.53)
3:7			3.8	131.5 (123.4)	26.2(32.0)	6.8 (1.3)	2.80(0.90)
평균	-	-	4.0	156.8	32.0	6.9	2.69

<sup>2</sup>표준편차 (n=1)

처리 31일째 황화현상과 엽록소 함량을 측정한 결과 황화율이 Dust 5:5 처리에서 높은 경향을 보였고, 엽록소 함량(SPAD값)도 낮았다(표 8). 휴대용 함수율 측정기를 사용하여 측정된 코이어 배지 내 수분함량은 정식 초기는 코이어 Dust 비율이 높을수록 배지 내 함수율이 높은 경향을 보였으며, 배지 내 EC는 모든 처리에서 EC 1.3 dS · m<sup>-1</sup> 이하가 계측되었다(그림 11-A). 그러나 처리 24일째 정식 40일 된 배지의 함수율은 EC 1.0 dS · m<sup>-1</sup> 가 EC 1.7과 2.4 처리보다 낮았으며, 코이어 더스트 비율에서는 Dust 10:0 처리에서 높은 경향을 나타냈다(그림 11-B). 이러한 결과는 앞서 배액율, 배액 EC와 pH 변화와 같은 경향의 결과로 수경재배 생육 관리를 위해서는 배출되는 양, 배액의 EC, pH 변화를 분석하여 급액 전략을 수립하는 것이 중요하며, 배추 수경재배에서도 생육단계, 환경 등을 고려한 급액 전략 수립이 필요함을 확인하였다.

[표 5] 수경재배 배추의 배양액 농도와 배지 조성 처리에 따른 정식 초기 3주 동안의 배액 특성

EC (dS · m <sup>-1</sup> )	코이어 (Dust:Chip, v/v)	배액			배액율 (%)
		Volume (mL/주)	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	pH	
1.0	10:0	301.7±158.9	0.5±0.1	6.2±0.2	60.5
	5:5	322.8±160.5	0.9±0.1	6.5±0.2	72.5
	3:7	278.8±165.2	0.7±0.1	6.7±0.3	60.8
1.7	10:0	220.6±140.8	1.1±0.5	6.5±0.5	43.1
	5:5	230.4±151.3	1.4±0.3	6.6±0.4	45.7
	3:7	204.3±145.6	1.1±0.4	6.5±0.3	41.8
2.4	10:0	260.4±124.0	1.4±0.8	6.5±0.4	66.6
	5:5	210.4±112.6	1.8±0.5	6.6±0.4	53.8
	3:7	263.7±159.3	1.5±0.8	6.3±1.5	61.7

조사 기간: 2023년 4월 4일 ~ 4월 24일

[표 6] 수경재배 배추의 배양액 농도와 배지 조성 처리에 따른 생육 중기 17일 동안의 배액 특성

EC (dS · m <sup>-1</sup> )	코이어 (Dust:Chip, v/v)	배액			배액율 (%)
		Volume (mL/주)	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	pH	
1.0	10:0	209.0±192.4	0.5±0.05	6.4±0.2	29.6
	5:5	65.4±46.9	0.4±0.08	6.1±0.3	9.5
	3:7	112.0±110.9	0.6±0.02	6.1±0.2	15.1
1.7	10:0	133.1±155.7	1.9±0.1	6.9±0.2	15.8
	5:5	193.4±115.6	2.0±0.3	6.5±1.9	23.0
	3:7	136.2±118.6	1.7±0.2	6.7±0.2	16.2
2.4	10:0	142.3±117.2	3.6±0.5	7.4±0.3	29.6
	5:5	197.1±68.8	2.5±0.2	6.9±0.1	42.0
	3:7	52.2±41.1	3.2±0.4	7.2±0.3	11.6

조사 기간: 2023년 4월 25일 ~ 5월 11일

[표 7] 수경재배 배추의 배양액 농도와 배지 조성 처리에 따른 수확기 10 일 동안의 배액 특성

EC (dS · m <sup>-1</sup> )	코이어 (Dust:Chip, v/v)	배액			배액율 (%)
		Volume (mL/주)	EC (dS · m <sup>-1</sup> )	pH	
1.0	10:0	290.6±180.8	0.5±0.1	6.1±0.3	30
	5:5	123.1±109.4	0.8±0.3	6.4±0.5	12.4
	3:7	141.3±114.5	0.7±0.04	6.2±0.3	13.4
1.7	10:0	190.0±160.0	2.0±0.1	6.8±0.2	19.5
	5:5	220±145.0	2.3±0.02	6.5±0.2	23
	3:7	-	-	-	-
2.4	10:0	142.5±92.8	3.5±0.5	7.2±0.3	10.4
	5:5	195.0±136.3	3.4±0.3	7.2±0.1	14
	3:7	201.3±135.0	3.6±0.4	7.3±0.2	14.7

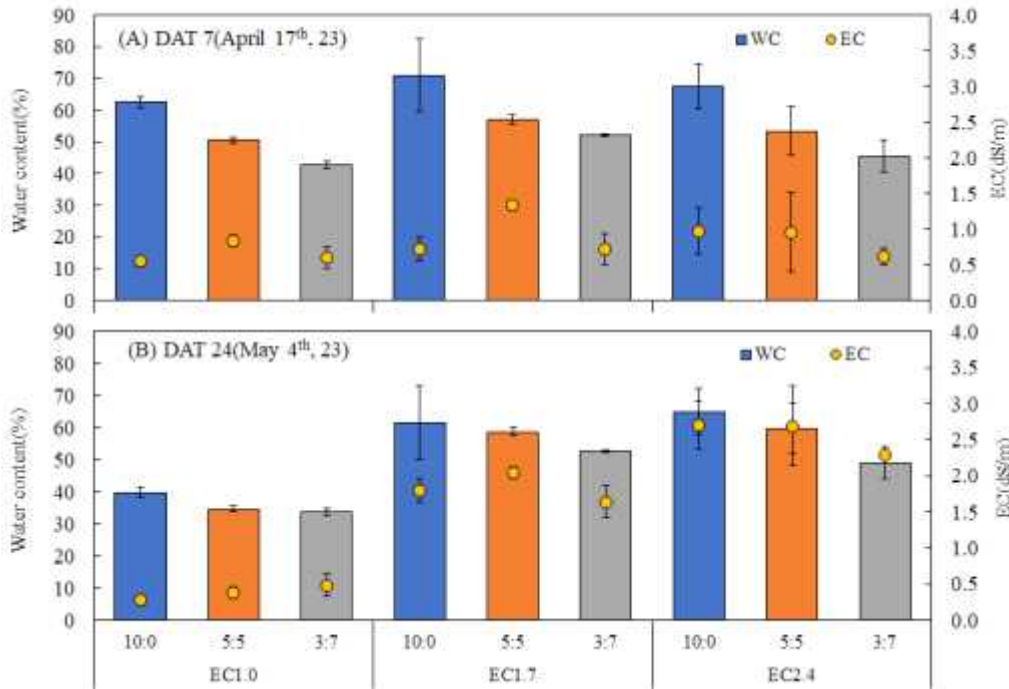
조사 기간: 2023년 5월 12일 ~ 5월 21일

[표 8] 수경재배 배추의 배양액 농도와 배지 조성 처리 31 일째 황화현상과 엽록소함량

EC (dS · m <sup>-1</sup> )	코이어 (Dust:Chip, v/v)	황화율 (%)	엽록소함량 (SPAD 값)
1.0	10:0	5.6±5.3	41.5±3.2
	5:5	33.8±26.0	36.5±7.1
	3:7	15.0±5.0	44.0±3.0
1.7	10:0	10.0±4.3	44.9±3.3
	5:5	30.0±7.1	34.9±4.7
	3:7	15.6±7.7	40.9±4.8
2.4	10:0	5.0±0.0	44.5±2.7
	5:5	18.8±12.4	38.8±6.5
	3:7	13.8±7.0	40.7±2.6

측정일: 2023년 4월 24일(n=4)





[그림 11] 배양액 농도와 배지 조성에 따른 처리 7일째(A)와 24일째(B) 배지 수분함량



[그림 12] 배양액 농도 및 배지 조성에 따라 재배된 처리 20일째 배추 생육(23.4.30).

처리 43일째 봄배추 생육은 초장은 EC 농도 처리에 영향을 받지 않았으나, 구폭은 EC 농도가 높을수록 작았다(표 9). 대조구인 토양 포트 재배된 배추 생육을 기준(100%)으로 비교하였을 때 EC 1.0 Dust 5:5 처리는 대조구 대비 30% 높았으며, EC 2.4 처리는 코이어 조성 비율 모든 처리에서 낮았다(그림 13). 재배기간의 생리장해 발생률은 급액 EC 1.7dS·m<sup>-1</sup> 이상에서 높았으며, 일소 피해, 속썩음증 등의 피해가 높은 특징을 보였다(표 10). 본 실험에서 황화현상 발생은 생육이 빨라지는 시기 정식 25일 이후 발생하였고, 특히 배액 EC가 높아지고, 배액율이 줄어들면서 팁번, 일소 및 속썩음증상으로 생리장해가 진전하였다. 이들 생리장해는 배추의 대표적인 칼슘 장애 증상(그림 10)으로 배추 생육기 생리장해 칼슘 장애 증상은 엽채류 중에서도 칼슘 요구가 높은 작물적 특성과 함께 재배 관리 기술 부족이 크

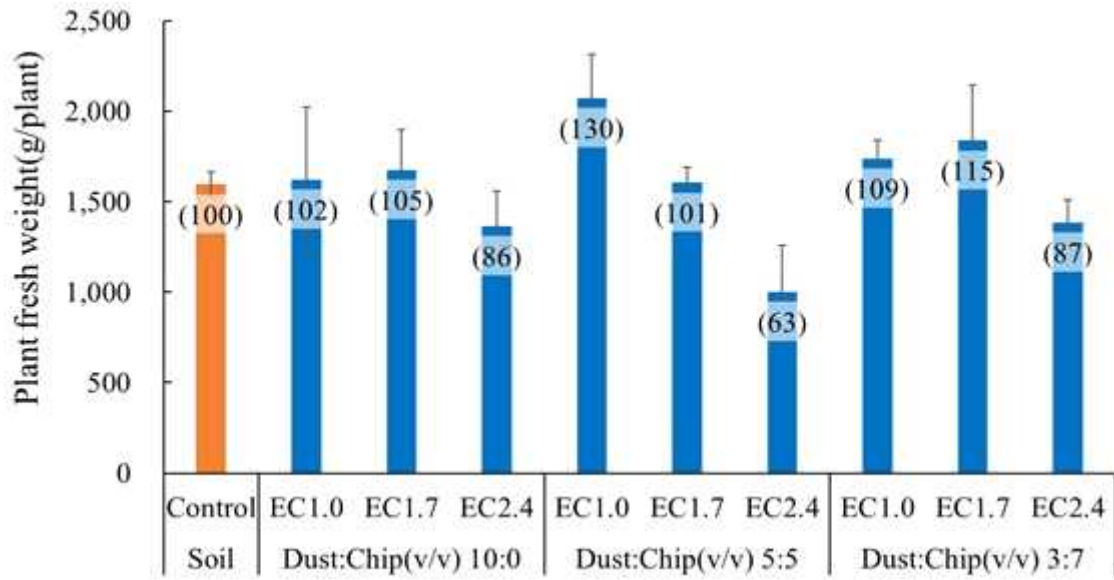
게 영향 준 것으로 보인다. 또한 수경재배용 배지로 사용한 슬라브의 용량은 20L였으며, 본 실험에서는 생육단계에 따른 급액 주기 및 1회 급액량 결정 등이 다소 미흡하여 코이어 배지 조성 비율에 따른 수경재배 배추 생육 결과를 도출하기에는 다소 무리가 따랐다. 그럼에도 생육기 배지 조성에 따른 배액율이 높았고, 배액 EC가 높았던 처리는 생리장해 발생과 함께 생육 저하가 발생하여 추후 생육단계, 환경을 고려한 양액 조성 과 급액 전략 관리, 배지 조성 비율, 배지 용량 등 배추 재배에 맞는 수경재배 시스템을 도출할 필요가 있다.

[표 9] 배양액 농도와 배지 조성 처리 43일째 봄 배추 생육 (23. 5. 23)

EC (dS · m <sup>-1</sup> , A)	코이어 (Dust:Chip, B)	초장 (cm)	구폭 (cm)	결구율 (%)
1.0	10:0	25.3 d <sup>z</sup>	16.2 a	100
	5:5	35.1 a	14.7 abc	100
	3:7	31.8 abc	14.5 abc	100
	평균	30.8	15.1	100
1.7	10:0	33.5 ab	14.7 abc	100
	5:5	33.7 ab	14.5 abc	100
	3:7	33.9 ab	14.3 abc	100
	평균	33.7	14.5	100
2.4	10:0	31.7 bc	14.0 bc	100
	5:5	31.5 bc	13.2 c	100
	3:7	30.7 c	14.0 bc	100
	평균	31.3	13.7	100
Control		33.3 ab	15.7 ab	NA
Significance <sup>y</sup>				
A		ns	**	
B		ns	ns	
AxB		***	ns	

<sup>z</sup>DMRT 5% (n=5).

<sup>y</sup>ns, \*, \*\* and \*\*\* indicates not significant or significant at the  $p \leq 0.05$  levels, respectively.



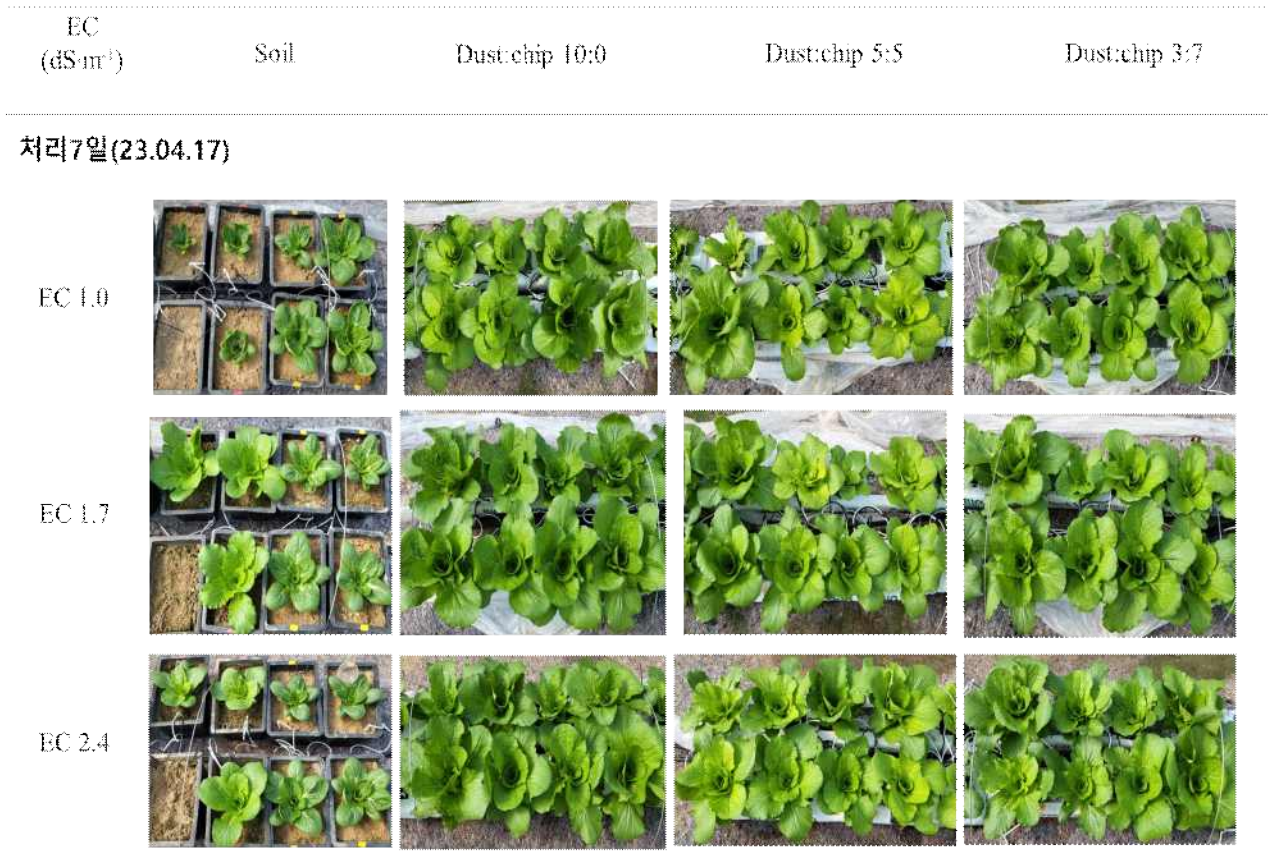
[그림 13] 배양액 농도와 배지 조성 처리와 대조구의 봄배추 생체중  
( )안은 토양재배 생체중 대비 상대적 비율

[표 10] 수경재배 배추의 배양액 농도와 배지 조성 처리기간 동안의 봄배추 생리장해 발생율(23. 5. 23, n=8).

EC (dS · m <sup>-1</sup> )	코이어 (Dust:Chip)	생리장해(%)			일소 (%)	고사 (%)	노균병 (%)
		황화	팁번	속썩음증			
1.0	10:0	5.6	-	-	-	-	5.3
	5:5	33.8	25.0	-	-	-	26.0
	3:7	15.0	-	12.5	-	-	5.0
1.7	10:0	10.0	25.0	25.0	25.0	-	4.3
	5:5	30.0	-	25.0	38.0	-	7.1
	3:7	15.6	25.0	-	100	-	7.7
2.4	10:0	5.0	-	100	80.0	25.0	33.3
	5:5	18.8	-	100	38.0	12.5	100
	3:7	13.8	38.0	100.0	38.0	-	100
Control			63.0	-	67.0		-

조사일: 2023년 5월 6일





**처리 39일 (23.05.19)**



[그림 14] EC 농도와 배지 종류에 따른 처리 7일째와 39일째 생육  
(측정일: 2023. 4월 17일과 5월 19일)

## 2) 양액 종류와 배지 조성이 가을 재배 배추 생육에 미치는 영향

양액 종류 2처리(관주용비료 S1, 수경양액 S2)와 배지 3처리(상토(M), 코이어 2종(D100, D30)하여 비닐 포트(10L 용량)에서 60일간 배추를 점적 관수하여 재배한 결과 작물 필수 원소가 함유된 수경재배 양액 S2 처리가 S1 처리보다 생육이 높았고, 상토 배지에서 생육이 좋았다. 코이어 배지는 초기 사용 시 배지 세척 과정이 필요하나 무기염 제거가 완전히 이루어지지 않은 배지에서 재배되어 생육 저하가 발생하였고, 특히 관비용 양액에서는 회복이 낮았다. 코이어 배지(D100, D30)의 높은 염 농도에도 S2 처리에서는 생육이 진행되어 배액율, EC, pH 변화에 영향을 주었다.

배지 종류와 조성 비율은 근권 물리성, 화학성에 영향을 주고, 급액시 양분의 비료 조성 차이로 배추 생육은 차이를 보였다. 배액율은 배지 조성에 따라 유사한 경향을 보였고, 배액 pH와 EC 변화는 양액 조성에 의한 생육으로 S1과 S2 처리 간 배지 종류 간 차이를 나타냈다. 배춧잎 수가 20매 내외 포기가 이루어지는 시기 생육이 빨랐던 S2 양액 처리에서 틱번 발생이 관찰되었고, 생육이 가장 좋은 M 처리에서 틱번 발생률이 가장 높았다. 그러나 틱번 발생은 생육뿐 아니라, 환경, 관수 등과도 밀접한 영향 요인으로 작용하므로 이 시기 작물 관리가 매우 중요함을 확인할 수 있었다.

### ■ 연구 방법

강원대학교 벤로형 온실(W12×L20×H6m)에서 2023년 10월 20일부터 12월 18일까지 60일간 수행하였다. 품종은 ‘불암플러스(팜한농, 한국)’이며, 상토로 충진된 128구 트레이에 종자를 파종하여 30일간 육묘한 후 10월 20일 비닐 포트(Ø30×H28 cm)에 정식(평균 초장 11.3cm, 평균 엽수 5.1매)한 후 10월 30일 양액 종류 2 처리와 배지 3 처리하였다.

처리 양액은 관주용 비료[S1, 시설관주특호(N-K-B=17-14-0.4%, 조비, 한국)]와 수경재배양액[S2, N-P-K-Ca-Mg= 13-3-7-5-2 me · L<sup>-1</sup>(초기), 15-3-6-8-4 me · L<sup>-1</sup>(후기)]이며, 배지는 상토(M, 바로커, 서울바이오, 한국)와 코이어 2종[Dust 10(D100), Dust:chip(v/v) 3:7(D30, 스텔라카산, 덕양)]을 임의 배치하여 10개 포트에 각각 드리퍼를 1개씩 설치하여 급액하였다. 처리 기간 중 1일 평균 급액량은 420ml이었으며, 1회 70~130ml 공급량을 하루 3~5회 재배기간 동안 작물 생육을 고려하여 오전 9시 30분부터 오후 3시 30분까지 관수하였다. 급액 EC 1.6dS · m<sup>-1</sup>, pH 5.5~6.0로 공급하였으며, S1 처리구는 양분 균형을 도모하기 위해 5일째마다 질산칼슘, 질산칼륨 및 철이 함유된 S2 수경 양액 A를 공급하였다.

코이어 배지는 흐르는 물에 3시간 이상 포수 하여 세척한 후 포트마다 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>) 50g, 붕산(H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) 5g을 15cm 깊이에 첨가한 후 혼합하였다. 포트에 충진한 배지 용량은 M 5.2kg, D 3.5kg이었다.

재배기간 중 온실 내 환경은 평균 온도 14.7℃(최대 24.8℃, 최저 8.7℃), 평균 습도 73.9%, 평균 광량 9.0 MJ·m<sup>-2</sup>을 유지하였다(표 11).

관수 종료 후 각 처리별 3개 포트의 배액량, 배액의 pH와 EC를 측정하였고, 처리 50일째에 생육 조사하였다. 데이터 유의성 검사는 SPSS(IBM, New York, NY, USA)를 이용하여 ANOVA와 Duncan's multiple range test (DMRT) 하였다.

[표 11] 재배 기간 중 온실 환경

일자	온도 (°C)			습도 (%)	광량 (MJ·m <sup>-2</sup> /day)
	평균	주간 (최대/최저)	야간 (최대/최저)		
10/31~11/05	18.7±1.0 <sup>2</sup>	20.7 (24.8/15.7)	16.3 (17.9/15.2)	79.5±5.6	8.0±1.6
11/06~11/12	15.4±1.7	17.8 (23.6/10.8)	12.5 (14.6/10.5)	71.7±9.7	10.5±3.6
11/13~11/19	13.1±0.6	14.8 (19.2/9.4)	11.0 (13.2/9.0)	64.8±5.9	10.3±3.7
11/20~11/28	13.1±1.3	15.1 (20.3/9.1)	10.7 (12.8/8.9)	69.6±6.1	9.2±2.6
11/29~12/04	12.9±0.5	14.6 (22.9/8.5)	10.3 (12.2/8.7)	75.5±4.6	9.3±1.8
12/05~12/08	14.8±0.8	15.9 (21.3/11.4)	13.0 (14.7/11.7)	82.5±3.8	6.9±2.5
평균	14.7±2.0	16.5 (22.0/10.8)	12.3 (14.2/10.7)	73.9±6.0	9.0±1.3

<sup>2</sup>표준편차

측정기기: Ridder Synopta, Ridder, Harderwijk, The Netherlands 10분 간격 측정



[그림 15] 실험 처리구 배치 모습과 재배 모습

## ■ 연구 결과

배지 종류에 따른 총 배액량과 일평균 배액율은 M > D00 > D30 순으로 상토에서 적었다(표 12). S1 처리 배액율은 74%로 S2처리 배액율 64.9%보다 높았다. 배지 종류별로 보면 상



토 M 처리는 양액 종류에 영향이 적었으나, 유기 배지 D100과 D30 처리에서 배액율 차이가 발생했다. 처리 동안 매일 측정된 S1과 S2 처리구의 배지 종류에 따른 배액량과 배액율의 변화는 유사한 경향을 보였다(그림 16~17), 또한 배액의 평균 pH와 EC에서 배액 pH는 S1 양액구의 D30 처리에서 pH 6.4로 높았으며, 배액 EC는 S1 처리가 S2 처리보다 높았고, D100 처리에서 높았다. 매일 측정된 배액의 pH와 EC는 양액 종류와 배지 종류에 따라 영향을 받아 차이가 있었다(그림 18). S1 양액에서 D30 처리구의 pH가 높은 경향을 보였고, EC 농도 변화가 S1 처리에서는 변화 경향이 적었으나, S2 처리는 처리 10일 이후 EC 농도 감소 경향을 나타냈다.

수경재배에서 배액의 pH와 EC 변화 및 배액율은 양분의 흡수와 밀접한 관계가 있으며, 재배자의 입장에서는 작물 생육, 환경을 고려한 관수 전략 기초자료로 활용한다. 본 실험에서 사용된 S1 처리는 토양 관비액 N-K 성분으로 조성된 양액이며, S2 처리는 수경재배용 양액으로 작물이 필요로 하는 필수성분이 균형 있게 조제된 양액으로 처리에 사용된 배지가 상토를 비롯한 수경재배용 배지를 선택한 결과 S2 처리에서 생육이 좋았으며 특히 D100과 D30 처리에서의 생육 효과는 컸다(표 13). 처리 초기부터 급액 농도  $EC\ 1.6dS \cdot m^{-1}$ 를 공급하였던 본 실험에서 배액의 EC 변화를 보면 상토를 제외한 D100과 D30 처리의 코이어 유기 배지는 초기부터 EC 농도가  $2.5dS \cdot m^{-1}$ 를 초과하였다.

코이어 배지는 원료 특성상 Na, Cl 등의 염 함량이 높아 초기 사용 시 배지의 세척을 권장하고 수경재배용 양액A에 함유된 칼슘과 철 함량으로 포수 시킨 후 사용하는 것이 관례이다. 그러나 본 실험에서 배지 세척 과정을 거쳤으나, 실제 배지의 염 세척이 완전하게 이루어지지 않았고, 이의 영향은 배액 EC가 높은 원인으로 작용하였다. 한편 원예용 상토는 작물의 생육을 고려하여 조제된 배양토로 급액 EC에 준하는 배액 EC 농도를 발생시켰다. 그러나 관비용 성분으로 공급된 S1 처리에서 배액의 EC가 처리 후기가  $EC\ 1.5dS \cdot m^{-1}$ 를 유지한 것에 비해 S2 처리에서는 13일 이후 EC 농도 감소를 확인하여 배추 근권 뿌리 확보로 인한 양분 흡수가 지상부 생육 증가로 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다(그림 18-B, D).

EC는 양분의 총량을 나타내는 지표로 양분의 적정수준은 작물 생육과 포화형 곡선을 나타내므로 작물 생육단계에 맞는 급액 EC 관리가 필요하다. 급액 EC에 비하여 배액 EC가 낮다는 것은 뿌리로부터의 양분 흡수가 원활히 이루어지는 것을 의미하며, 환경에 따라 양분보다 수분의 흡수가 많으면 근권 EC는 높아지는 원인이 되기도 한다. S1 처리에 비해 S2 처리의 배추 생육은 높았고, 이는 코이어 배지의 높은 염 농도에도 불구하고 수경재배용 양액이 사용된 S2 양액 처리에서는 처리 13일 이후 D100과 D30 처리에서도 배액 EC가 감소했다(그림 18-D). 특히 코이어의 침이 70% 함유되어 배액율이 D100보다 높았던 D30 (표 12, 그림 16~17) 처리는 급액 농도  $EC\ 1.5\ dS \cdot m^{-1}$ , pH 5.5~5.8 수준으로 공급된 급액이 코이어 100%인 D100 처리보다 많아 배액 EC 감소 변화가 크게 작용하였으리라 본다(그림 18-D).



[표 12] 실험기간 동안 양액 종류와 배지종류에 따른 급·배액량, 배액율 및 배액 pH와 EC

처리	총량(L/plant)		일평균 (mL/plant/day)		배액율 (%)	배액	
	급액	배액	급액	배액		pH	EC (dS · m <sup>-1</sup> )
[S1]							
M		10.6	424.1(121.1)	258.4(23.9)	58.3(16.1)	6.0(0.5)	1.6(1.0)
D100	17.4	13.6	421.7(123.2)	340.8(9.4)	78.9(16.2)	6.0(0.3)	2.3(0.2)
D30		14.5	426.6(133.1)	363.1(1.0)	86.0(16.5)	6.3(0.4)	2.0(0.2)
평균		12.9	424.1(125.7)	321.0(45.0)	74.4(16.2)	6.1(0.4)	2.0(0.5)
[S2]							
M		10.0	412.6(122.7)	252.0(26.2)	58.0(16.6)	6.2(0.3)	1.2(0.4)
D100	17.2	11.6	422.0(124.8)	286.7(16.3)	65.6(13.6)	5.9(0.4)	2.4(0.6)
D30		13.0	423.4(125.5)	317.4(14.3)	73.4(10.9)	5.9(0.3)	2.0(0.6)
평균		11.5	419.3(124.4)	285.3(26.7)	65.7(13.7)	6.0(0.3)	1.9(0.5)

( )±표준편차, (n=3)

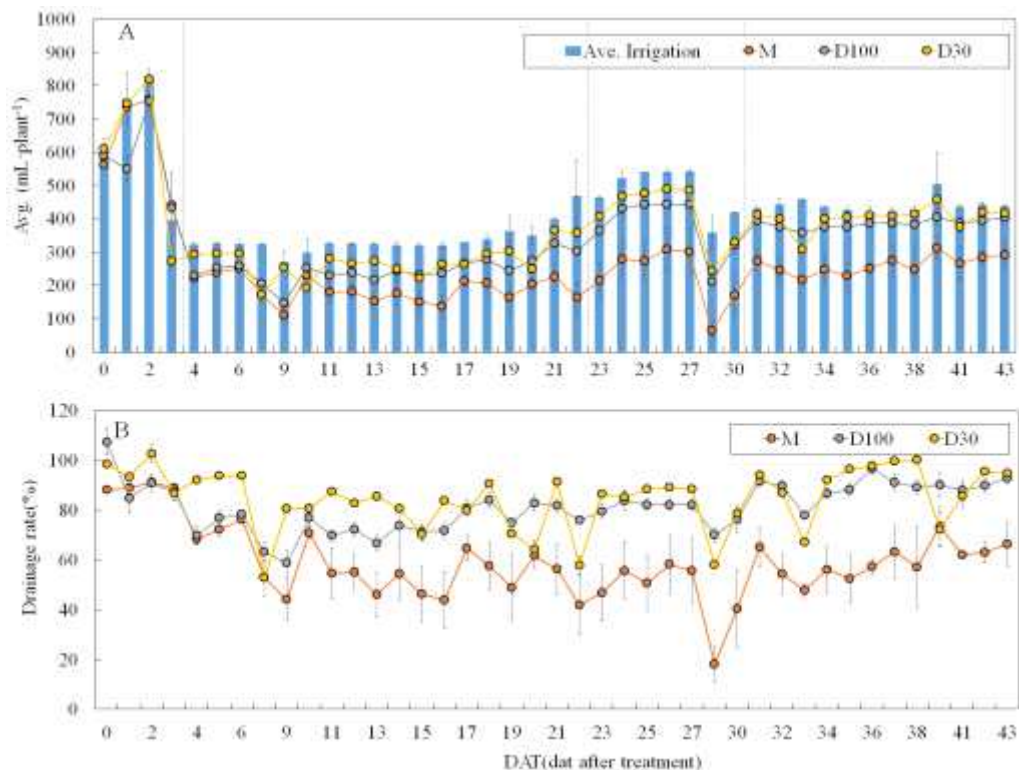


그림 16. 관주용 비료(S1) 처리에서 배지종류에 따른 일평균 급액량과 배액량 (A) 및 배액률 (B).

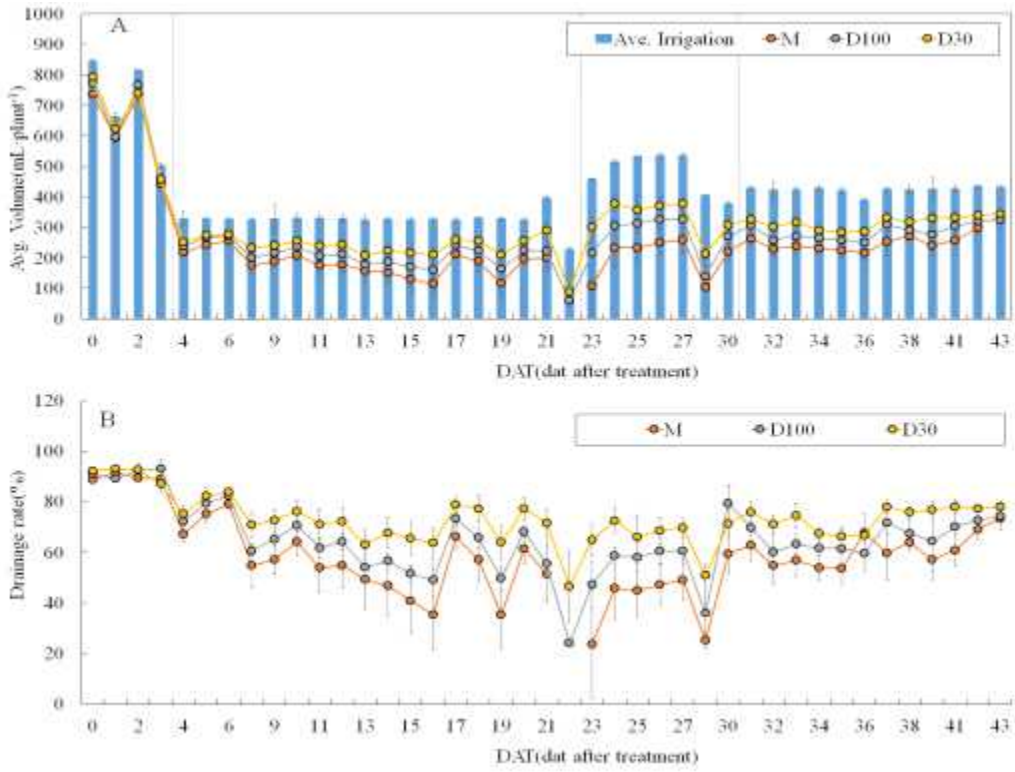


그림 17. 수경재배 양액(S2) 처리에서 배지종류에 따른 일 균 급액량과 배액량 (A) 및 배액률 (B).

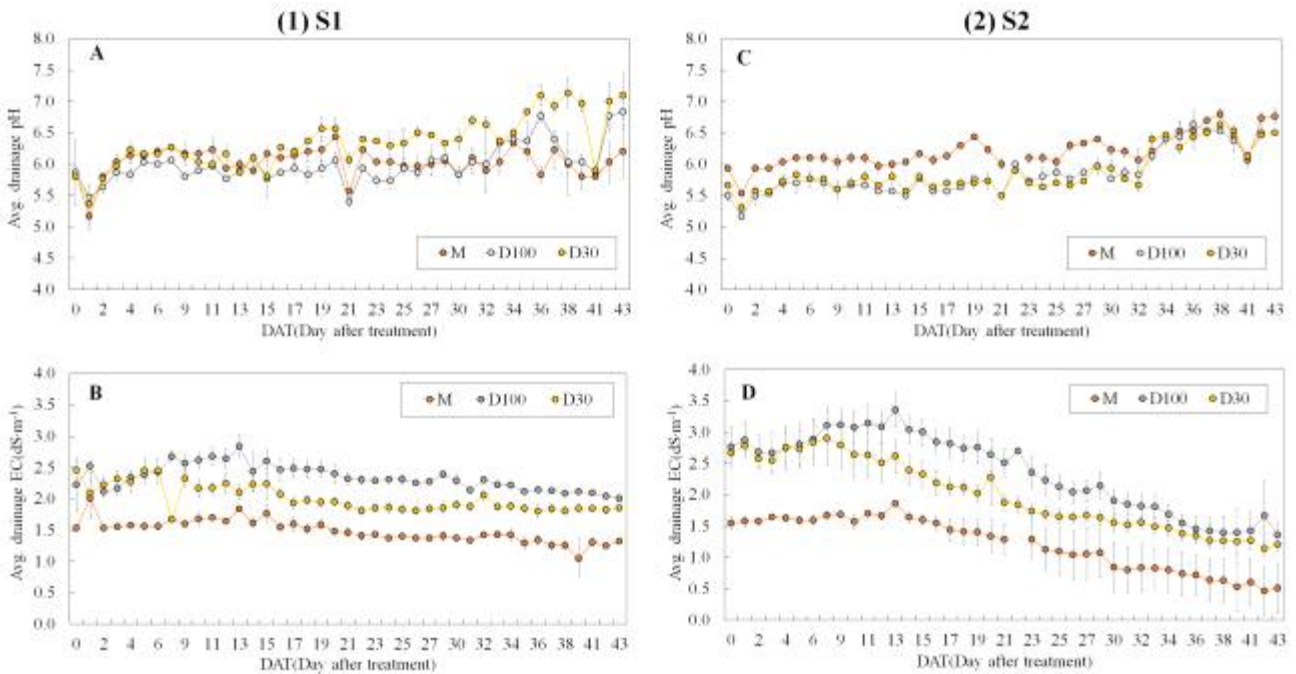


그림 18. 양액(S1, S2)과 배지종류 처리에 의한 포트재배 배추의 배액 pH (A, C)와 EC (B, D)

양액과 배지 종류에 영향을 받은 처리 50일째 배추 생육은 초장, 엽수, 생체중과 건물중 등 항목에서 S2 처리 M 배지 처리에서 높았다(표 13~14). 배추의 생육지표(초장, 엽폭, 엽수, 뿌리 길이, SPAD)는 모든 항목에서 양액과 배지 종류의 영향을 받았다. 양액의 M 처리에서 다른 처리보다 생육이 양호하였다(표 13). 배추의 생육은 S1보다 S2 양액처리에서 높았으며, S1 배지 D100과 D30 처리의 생육은 저조하였다. 이는 앞서 고찰한 코이어 배지 초기 염 농도 영향이 클 것으로 보며, 노지재배에서 연작에 따른 염류 집적이 발생한 토양에서는 생육 저하가 예측되는 결과로 보인다.

[표 13] 양액과 배지종류 처리<sup>z</sup> 50일째 배추의 생육 특성

양액 (A)	배지 (B)	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	뿌리 길이(cm)	SPAD (value)
S1	M	42.2 b <sup>y</sup>	37.4 c	40.0 c	22.6 a	47.42a
	D100	16.3 c	16.3 e	23.8 d	19.0 bc	38.56c
	D30	12.7 d	12.9 f	11.4 e	12.8 d	28.18d
	평균	23.7(13.1)	22.2(10.8)	25.1(11.7)	18.1(4.0)	38.1(7.9)
S2	M	44.4 a	42.0 a	49.2 a	20.5 ab	42.06b
	D100	43.3 a	39.1 b	44.2 b	21.9 a	37.42c
	D30	38.8 b	35.5 d	37.8 c	17.6 c	43.24b
	평균	42.2(2.4)	38.9(2.7)	43.7(4.7)	20.0(1.8)	40.9(2.5)
Significance <sup>x</sup>						
A		**	**	**	ns	ns
B		ns	**	**	**	**
A×B		**	**	**	**	**

<sup>z</sup>양액[S1(관주비료), S2(수경액)], 배지 (상토(M), 코이어(D100, chip 30%(D30))

<sup>y</sup>DMRT 5%, ( )±표준편차, (n=3)

<sup>x</sup>ns, \*, and \*\* indicates not significant or significant at the  $p \leq 0.05$ , and 0.01 level, respectively.

측정일 : 2023.12.18

본 실험에서는 실용적인 수경재배를 위해 관비 시스템을 활용할 경우를 고려하여 관비용 N-K 비료를 선별하였고, 배추 특성상 칼슘과 붕소 요구가 높은 이온 특성을 고려하여 5일 마다 칼슘이 함유된 양액 A를 시비하였다. 그럼에도 상토로 재배한 배추에서 생육은 S2 양액 처리보다 생육량이 적었다. 이는 영양생장으로 재배되는 엽채류 중에서도 수확까지의 소요 기간이 60일 이상으로 길고, 생체중이 2kg 이상의 생육량을 나타내는 배추의 시비 관리는 관행재배에서 매우 중요하다는 것을 확인하는 결과였다. 또한 배추 생육은 생장이 진행될 때 칼륨, 질소, 칼슘 요구가 높으며 관수 요구도가 높다는 특성을 고려할 때 수경재배에서 추비 관리로 이루어지는 시기 적정 양분 공급을 위한 양액 조성은 매우 중요하며, 1회

관수량, 관수 주기를 통해 생육을 도모하는 것이 필요하다. 본 실험에서도 질소와 칼륨으로 구성된 비료로 공급한 S1 영양액이었으나 S2 양액 처리보다 생육량이 적게 나타나 관비용 비료 사용에서는 추후 배추에 맞는 처방 비료액을 공급해야 할 것으로 본다.

수경재배는 작물의 특성을 고려하여 재배하는 작물 재배 기술로 생육, 환경, 근권 관리를 통해 최적의 생육량을 도출하는 기술이다. 관수 전략은 배지의 환경에 매우 중요하며 이는 근권의 뿌리 생육과 직접적인 원인이 된다. 양분 흡수는 지상부 환경과 지하부의 뿌리에 의해 이루어지는 기술이므로 수경재배에서 관수 전략은 1일 공급량, 1회 관수량, 관수 주기 등이 요인이므로 포트 재배로 점적 관수에 의한 급액시 배지에 함유된 염에 의한 높은 EC 영향이 배추 생육 초기 생육에 저해 인자로 작용할 수 있었으며, 재배 기간에 야간의 저온 노출 시간이 길어져 배추 생육에 적합한 온도 범위에 있었음에도 생육량이 많아지는 시기 S2 처리에서는 요철, 잎말림, 수화, 덩번 발생 등의 생리장애 발생이 많았다(표 15). 그러나 황화현상은 S1의 D 배지에서만 발생하였다.

[표 14] 양액과 배지 종류처리<sup>z</sup> 50일째 배추 생체중, 건물중 및 건물율

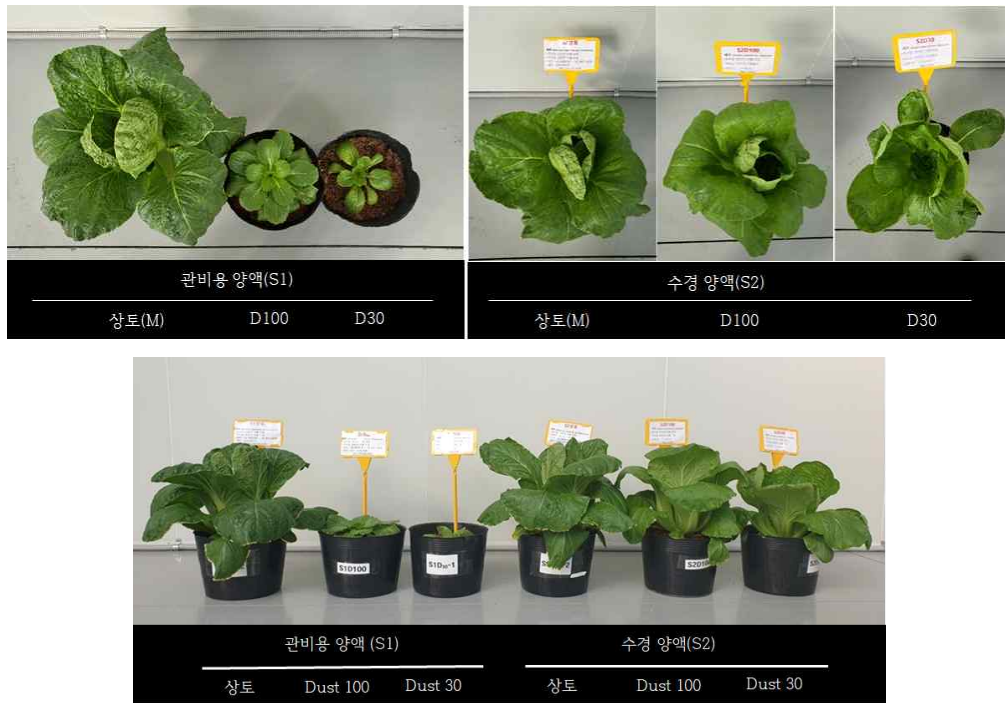
양액 (A)	배지 (B)	지상부			지하부		
		생체중 (g · plant <sup>-1</sup> )	건물중 (g · plant <sup>-1</sup> )	건물율 (%)	생체중 (g · plant <sup>-1</sup> )	건물중 (g · plant <sup>-1</sup> )	건물율 (%)
S1	M	433.0 c <sup>y</sup>	24.82 c	5.73 b	11.95 a	1.32 a	11.2 abc
	D100	55.2 d	6.00 d	11.02 a	3.85 c	0.49 d	13.4 a
	D30	12.3 d	1.37 d	11.17 a	1.32 d	0.15 e	11.3 ab
	평균	166.8(189.0)	10.7(10.1)	9.3(2.5)	5.7(4.5)	0.7(0.5)	12.0(1.0)
S2	M	736.7 a	37.39 a	5.06 b	13.18 a	1.14 b	8.7 c
	D100	563.5 b	30.52 b	5.43 b	9.02 b	0.90 c	10.0 bc
	D30	407.7 c	21.07 c	5.27 b	7.65 b	0.75 c	9.9 bc
	평균	569.3(134.4)	29.7(6.7)	5.3(0.2)	10.0(2.4)	0.9(0.2)	9.5(0.6)
Significance <sup>x</sup>							
A		**	**	**	**	ns	**
B		**	*	ns	**	**	ns
A × B		**	**	**	**	**	ns

<sup>z</sup>양액[S1(관주비료), S2(수경액), 배지 (상토(M), 코이어(D100, chip 30%(D30))]

<sup>y</sup>DMRT 5%, ( ) ± 표준편차, (n=3)

<sup>x</sup>ns, \* and \*\* indicates not significant or significant at the  $p \leq 0.05$  and  $0.01$  level, respectively.

측정일 : 2023.12.18



[그림 19] 양액과 배지 종류 처리 40일째 배추 (2023. 12. 8.)

[표 15] 양액과 배지 종류<sup>z</sup> 처리 21일째 배추 생리장해 유형별 발생률

양액	배지	생리장해 유형( %)				
		요철	상편 잎말림	수하	황화	잎끝마름
S1	M	-	100	-	-	-
	D100	-	-	-	25	12.5
	D30	-	25	12.5	62.5	37.5
S2	M	-	100	-	-	62.5
	D100	25	75	-	-	25.0
	D30	-	100	25	-	37.5

<sup>z</sup>양액[S1(관주비료), S2(수경액)], 배지 (상토(M), 코이어(D100, chip 30%(D30))

측정일: 23.11.20. (n=10)

### 3) 칼슘원과 배지조성 비율이 겨울재배 배추 생육에 미치는 영향

칼슘원과 배지 조성을 달리하여 온실에서 배추를 70일 동안 포트 수경 재배하였을 때 총 급액량은 평균 25L이었고, 배액량과 배액율은 석고 처리구에서 높았다. 일주일 간격으로 처리구의 배액율과 배액의 pH, EC 변화를 측정된 결과 모든 처리에서 정식 20일과 정식 30일쯤 급격한 배액율과 EC의 감소와 pH 증가가 관찰되었고, 틱번 발생이 유도되는 시기였다. 처리에 따른 배추 광합성은 차이가 없었으며, 석회 처리구의 생체중이 높았으며, 석회 처리구의 배지 조성 비율에 따른 생육 차이는 없었다.

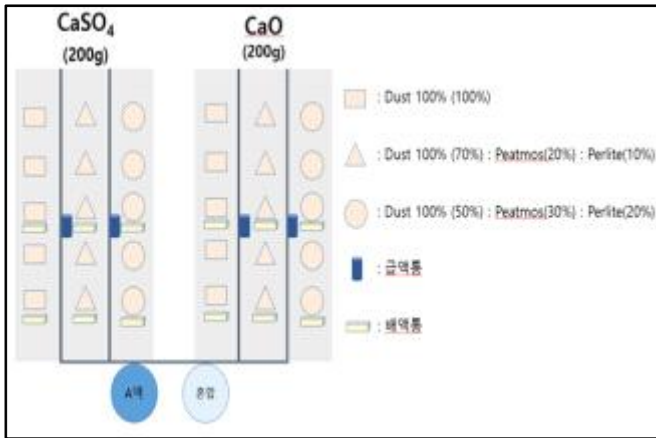
#### ■ 연구 방법

강원대학교 스마트팜 벤로형 온실에서 배추 ‘불암플러스(팜한농, 한국)’를 공시하여 2024년 1월 5일 비닐 원형 포트( $\varnothing 30 \times H28\text{cm}$ )에 정식하여 3월 14일까지 70일간 재배하였다.

배추는 28구 트레이에 셀당 1립씩 파종 후 환경조절실에서 38일간 육묘하였고, 정식 시 평균 초장은 11.8cm, 엽수는 13.8매였다. 처리는 칼슘원 2 처리와 배지 조성 비율 3처기로 각 처리별 10개씩 포트 재배하였다. 처리구는 EBB 수경재배 상에 30cm 재식 간격으로 임의 배치하여 점적 관수하였으며(그림 20) 관주용 비료(19-6-20+3MgO+micro, 크리스탈론 블루, YaraTera, YARA, Norway)를 1월 11일 공급하며 처리 시작하였다.

실험에 사용한 칼슘원은 석고( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )와 생석회(CaO, (주)태경비케이, 한국)의 2종이며, 관행 칼슘 처리량을 고려하여 10개 포트 용량 배지에 칼슘원 별 각각  $200\text{g}(\text{m}^2)$ 씩 첨가하였다. 배지는 코이어 더스트 100%, 피트모스(Peatmoss, LATAGRO, Latvia), 펄라이트(perlite 1호)이며, 코이어 더스트는 가을 재배에 사용한 배지를 재사용하였고(그림 20), 피트모스는 하루 동안 물에 흡수시켰고, 펄라이트((주)지에프씨, 한국)는 1회 세수하여 흡수된 것으로 각 용량 비율(v:v:v)에 따라 100:0:0(D100), 7:2:1, 5:3:1을 10개 포트 부피량으로 조제하였다. 각 처리별 10개 포트 용량에는 붕산 3g을 첨가하였고, 칼슘원, 배지 원이 고루 섞일 수 있도록 혼합 조제하였고, 배지를 포트에 충전하여 포트별 중량을 측정 후 중량을 고려하여 배지가 포트에 충전되었다(그림 21). 실험 전 칼슘원에 따라 배지의 pH가 달라 소석회 첨가구는 평균 pH 6.5였으나, 석고 처리구는 평균 pH 4.24(pH3.79~pH4.97)로 피트모스 비율이 높아질수록 pH는 낮았다(표 16).





[그림 20] 칼슘원과 배지 조성 처리구 모식도와 정식 후 생육



[그림 21] 실험에 사용된 재사용 코이어 배지와 칼슘원 첨가 후 배지 조제

[표 16] 실험에 사용된 처리 전 토양 pH (n=3)

칼슘원	배지 조성 (v/v/v,(Coir:PM:PL))	평균 pH
CaO	D100	6.59 ± 0.19
	7:2:1	6.75 ± 0.15
	5:3:2	6.20 ± 0.02
	평균	6.51 ± 0.23
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	D100	4.97 ± 0.12
	7:2:1	3.95 ± 0.04
	5:3:2	3.79 ± 0.01
	평균	4.24 ± 0.52



재배 기간에 양액 공급원은 관비용 양액을 사용하였고, 타이머 방식으로 하루 2~3회 공급하였다. 정식 5일까지는 EC 1.0dS · m<sup>-1</sup>로 공급한 후 정식 6일부터는 EC 1.5dS · m<sup>-1</sup>를 주 3회 격일로 공급하고, 4일간은 원예연(N-P-K-Ca-Mg=15-3-6-8-4 me · L<sup>-1</sup>) 조성 비료 중 A액 비료를 EC 1.5 수준으로 공급하였다. 정식 32일까지는 포트당 점적편을 2개 설치하였고, 이후는 3개 설치하여 일평균 급액량은 작물 생육을 고려하여 증가시켰다. 재배기간 중 온실내부 평균 온도 15℃(주/야간 16.9/12.4℃), 습도 63.6%, 광량은 4.5MJ · m<sup>-2</sup>이었다(표 17). 환경 관리는 복합환경제어 프로그램(Ridder Synopta, Ridder harderwijk, Netherlands)을 사용하였고, 야간온도 10℃ 이하에서는 난방기를 작동시켜 배추 생육환경을 유지하고자 했다.

데이터 유의성 검사는 SAS package(Statistical Analysis System, version 9.4, SAS Institute Inc.)를 이용하여 ANOVA와 Duncan's multiple range test(DMRT)를 하였다.

[표 17] 겨울 재배 배추 처리 기간 동안의 온실 내 온도, 습도 및 광량

월	온도(℃)			습도 (%)	일사량 (MJ/m <sup>2</sup> )
	평균	주간(최고/최저)	야간(최고/최저)		
1월	13.5±1.6	15.8 (23.4/9.2)	10.7 (12.7/9.0)	64.2±4.5	2.8±1.5
2월	15.6±1.1	17.0 (23.1/12.1)	13.0 (14.9/11.7)	67.8±5.7	3.6±2.2
3월	16.2±1.4	17.9 (24.4/12.1)	13.3 (15.1/11.6)	58.9±5.7	7.2±3.2
평균	15.0±1.3	16.9 (23.6/11.1)	12.4 (14.2/10.8)	63.6±5.3	4.5±2.3

측정일 : 2024.1.6. ~ 3. 14.

## ■ 연구 결과

칼슘원과 배지 조성을 달리하여 온실에서 배추를 70일 동안 포트 수경재배 하였을 때 총 급액량은 평균 25L이었고, 배액량과 배액율은 석고 처리구에서 높았다(표 18) 석고 처리구의 평균 배액 pH는 pH 6.0, 평균 배액 EC 2.9dS · m<sup>-1</sup>로 소석회 처리구의 배액 pH는 낮았고, 배액 EC는 높았다. 석고 처리구는 배지 조성 처리에 따라 Dust:PM:PL=7:2:1 처리에서 배액율이 높았으나 소석회 처리구는 배지 조성 처리에 따른 배액율 차이는 없었다. 이에 따라 급액량에서 배액량을 뺀 배지 내 수분 보유량은 소석회 처리구에서는 차이가 없었다.

한편 일주일 간격으로 처리구의 배액율과 배액의 pH, EC 변화를 측정된 결과 모든 처리에서 정식 20일 (양액 처리 15일) 이후 급격한 배액율 감소가 나타났다(그림 22~23). 또한 이 시기 배액 EC 감소와 pH 증가가 관찰되는 시기이었으며, 이 기간은 배추의 엽수가 20매 내외로 잎이 포함되는 시기이다. 이전 실험의 배액 EC 변화를 분석한 결과에서와 같이 배추의 생장이 빠르게 진행되며 양분 흡수가 많아지는 시기고, 이 기간의 양분 조성은 칼륨,

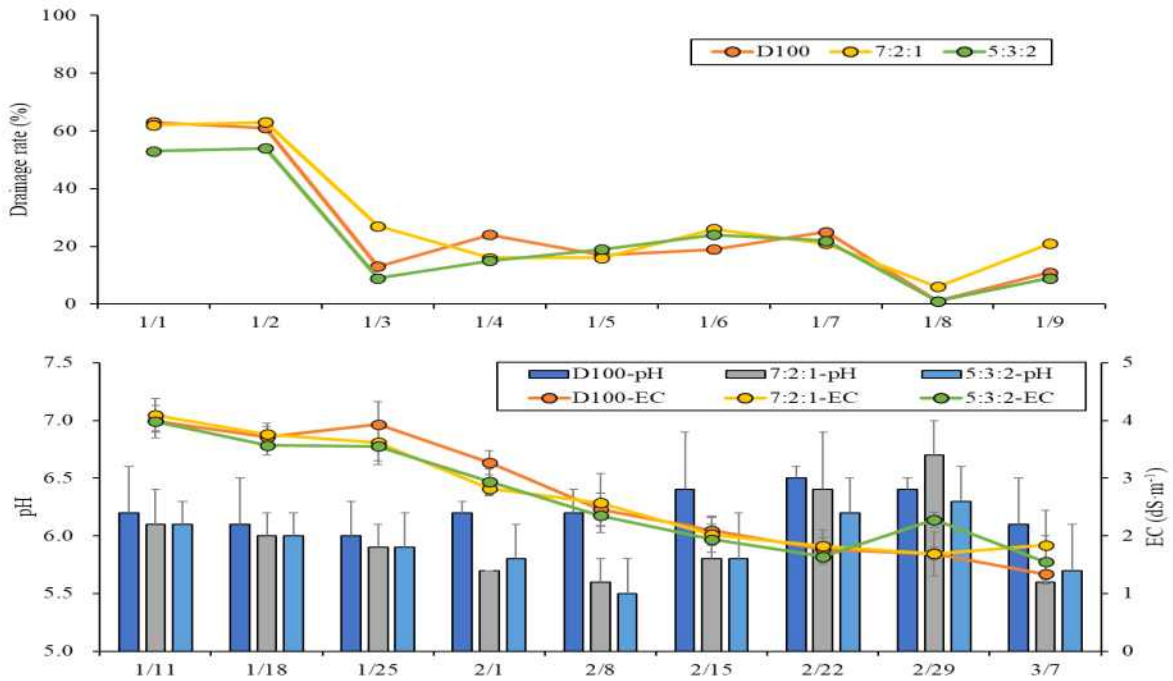
질소, 칼슘 함량이 초기보다 높게 유지되어야 할 것으로 판단되었다. 이 시기는 tipburn 발생이 처음 관찰된 시점이고, 두 번째 팁번 발생이 많아진 시점 역시 2월 5일로 정식 30일째 이며(그림 25) 배액의 EC 감소가  $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 하향되었고, pH가 증가가 눈에 띄었다. 처리별로는 석고 처리에서는 D100, 소석회 처리구에서는 모두 처리에서 배액의 EC와 pH가 변화되는 시점임을 확인하였다(그림 22~23).

[표 18] 실험기간 동안 온실에서 재배된 배추의 급·배액량, 배액 pH와 EC, 배액을

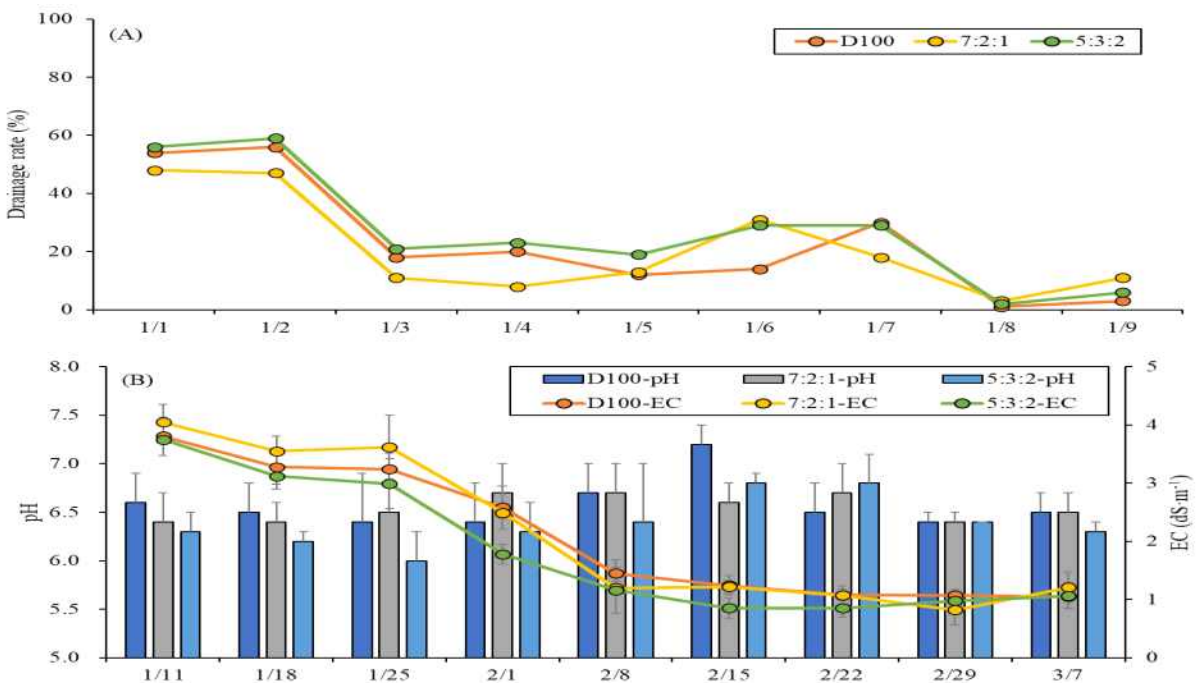
처리	총량(L/plant)		일평균(mL/plant/day)		배액율 (%)	수분보유량 (L/plant)	배액	
	급액	배액	급액	배액			pH	EC ( $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ )
[CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O]								
D100		4.55	초기 238.5	82.7(79.8)	25.7(25.8)	20.6	6.2(0.4)	2.9(1.0)
7:2:1	25.3	6.18	(72.2)	112.4(89.6)	32.4(25.9)	18.6	6.0(0.4)	2.8(1.0)
5:3:2		4.64	후기 636.6 <sup>y</sup>	85.1(82.4)	24.1(21.7)	20.5	5.9(0.4)	2.8(0.9)
평균		5.12	(153.1)	93.4(84.0)	27.4(24.4)	19.9	6.0(0.4)	2.9(1.0)
[CaO]								
D100		3.88	초기 240.4	70.5(76.9)	23.0(24.8)	20.6	6.5(0.3)	2.5(1.2)
7:2:1	24.6	4.13	(67.8)	74.4(85.2)	20.8(21.8)	20.3	6.5(0.3)	2.2(1.4)
5:3:2		4.12	후기 621.5	76.2(81.6)	24.1(23.7)	20.3	6.4(0.3)	2.2(1.2)
평균		4.04	(170.8)	73.7(81.2)	22.6(22.6)	20.4	6.4(0.3)	2.3(1.3)

<sup>z</sup>급액량-배액량, <sup>y</sup>처리 30일~65일(24.2.9~3.14), ( )±표준편차(n=5),

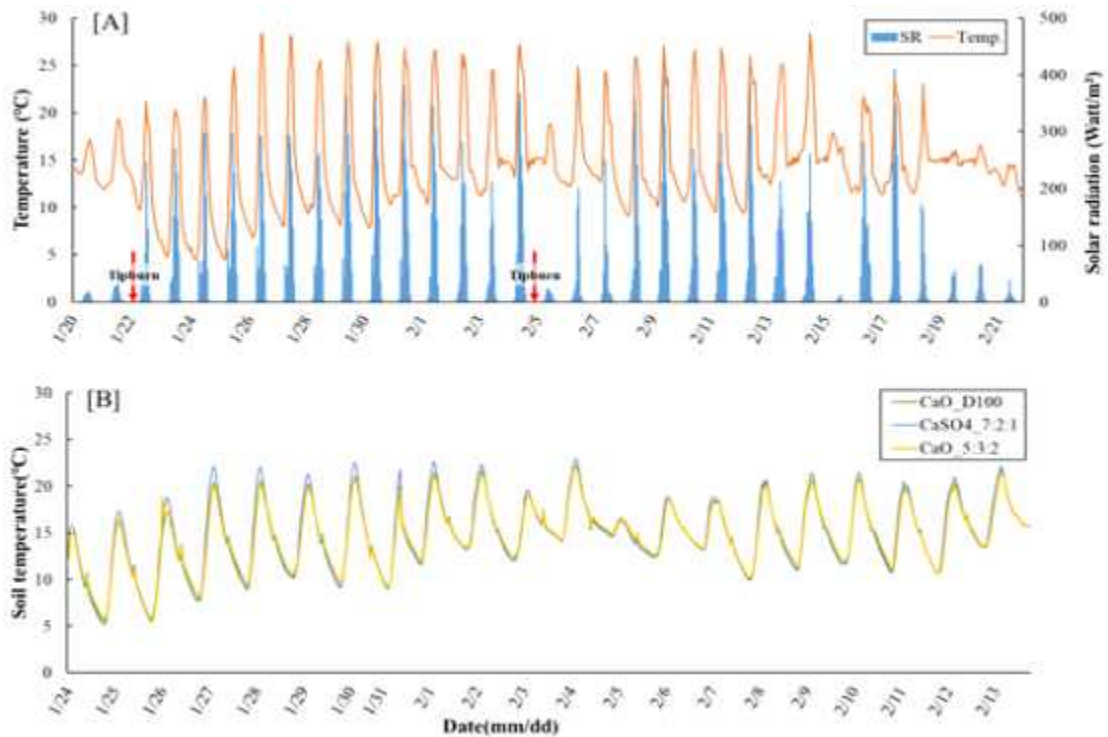
1차 팁번이 발생한 시기에 온실 내 환경에서 환경 조절이 가능한 재배실로 옮겨 배추를 재배한 결과 팁번 발생은 발생하지 않았다. 온실에서는 주간과 야간의 온도 변화를 비롯한 환경 변화가 이루어지고, 이는 팁번의 생리장애로 관찰된다. 온실 환경은 배지 내 야간온도가 5℃로 낮아졌던 시기이며(그림 24), 칼슘의 원활한 체내 이동을 위해서는 수분 흡수가 잘 될 수 있는 환경 조건을 조성하는 것이 필요하며, 배추의 생육 단계별 시비 요구도가 높은 시기에는 양분의 적정 공급이 반드시 이루어져야 함을 확인하는 결과를 얻었다.



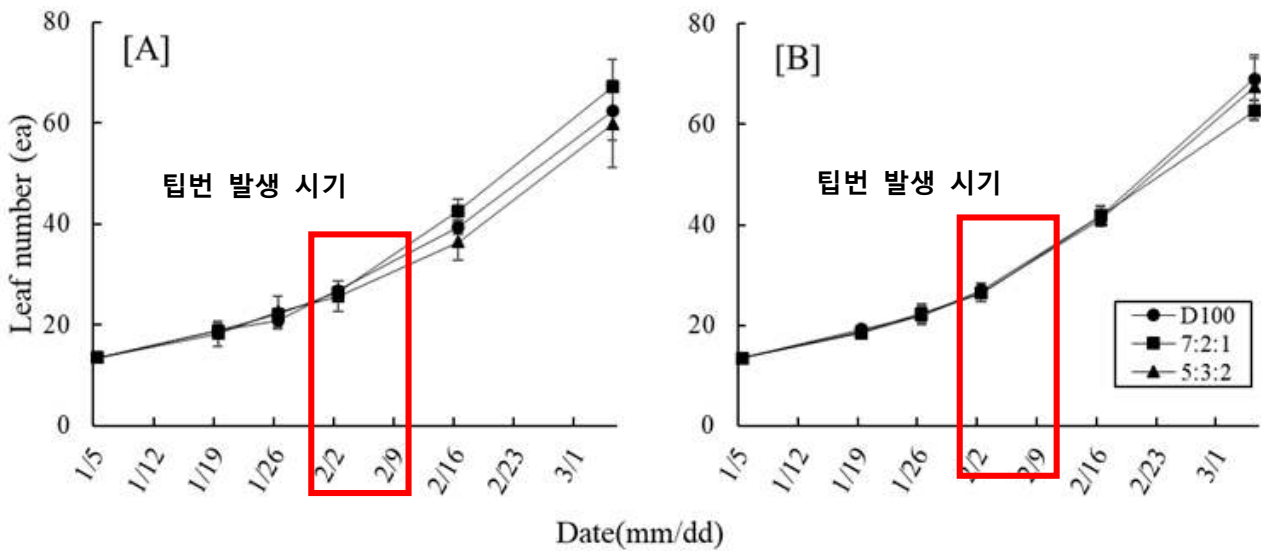
[그림 22] 석고( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )가 첨가된 배지 조성별 수경재배 겨울 배추의 주간 배액률 (A), 배액 pH와 EC (B).



[그림 23] 소석회( $\text{CaO}$ )가 첨가된 배지 조성별 수경재배 겨울 배추의 주간 배액율 (A), 배액 pH와 EC (B).



[그림 24] 칼슘원과 배지 조성별 처리에서 재배기간 중 틱번이 발생한 시기와 지상부 온도, 광(A)과 근권 배지의 온도(B)



[그림 25] 칼슘원과 배지 조성별 처리에서 재배기간 중 엽 증가

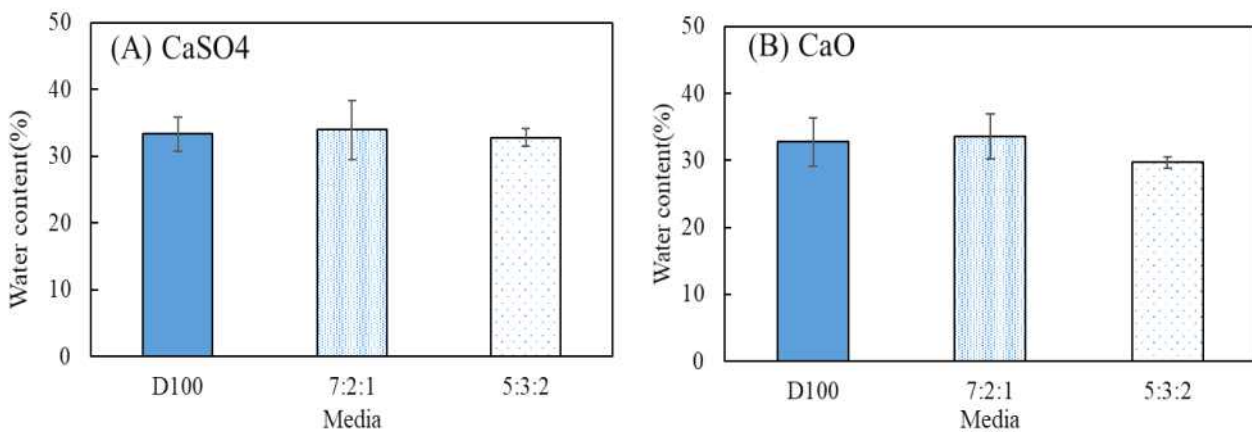
칼슘원과 배지 조성 처리 70일째 재배된 배추의 수확 전후 배지 함수량을 측정 평균한 결과 함수량은 32%(28.8~34.9%) 배지 종류 조성에 따른 차이는 없었다(그림 26).

칼슘원과 배지 조성에 따른 수경재배 배추 처리 56일째 광합성은 칼슘원에 따른 차이는

없었으며, 배지원에 따라 소석회 처리구의 Dust :PM:PL=7:2:1 처리에서 광합성은 높았으며, 기공전도도와 증산율은 차이가 없었다(표 19).

60일 재배된 배추의 생육은 엽록소 함량값(SPAD), 구 둘레, 건물중, 건물률 등이 석회와 배지 종류의 영향을 받았다(표 20). 엽수는 석고 처리에서 높았으나 구둘레는 석회 처리구에서 높았고, 배추 생체중은 석회 처리구에서 높았다(그림 27-A). 석회 처리구는 배지 종류에 상관없이 생체중이 유사하였으나, 석고처리구 D100 처리는 7:2:1과 5:3:2 처리보다 높았다. 또한 처리에 따른 배추 심지 길이를 측정된 결과 석회 처리구 7:2:1 배지 조성에서 가장 긴 것이었으나 칼슘원과 배지 조성에 따른 유의성은 없었다.

수분이용효율(생체중/수분보유량)을 산출한 결과 소석회 처리구에서 78.9g으로 석고처리구보다 높았으며, D100 또는 7:2:1 처리에서 높았다. 본 실험에서 배지 조성은 영향 인자로는 작용하였으나, 피트모스와 펄라이트 비중 차이가 본 실험에서는 크지 않은 작물 재배 적정 범위에서 처리됨에 따라 조성비를 결론 내기에는 다소 무리하다고 판단되었다. 다만 석고가 처리된 배지는 처리 전 pH가 낮았으나 배출되는 배액 pH는 영향을 주지 않았고, 생육이 진행되는 정식 후 15~30일 시기의 양수분 흡수, 환경은 생리장해 유발 원인이 되었고, 칼슘원에 따른 영향은 소석회가 석고보다 효과적이라 판단된다.



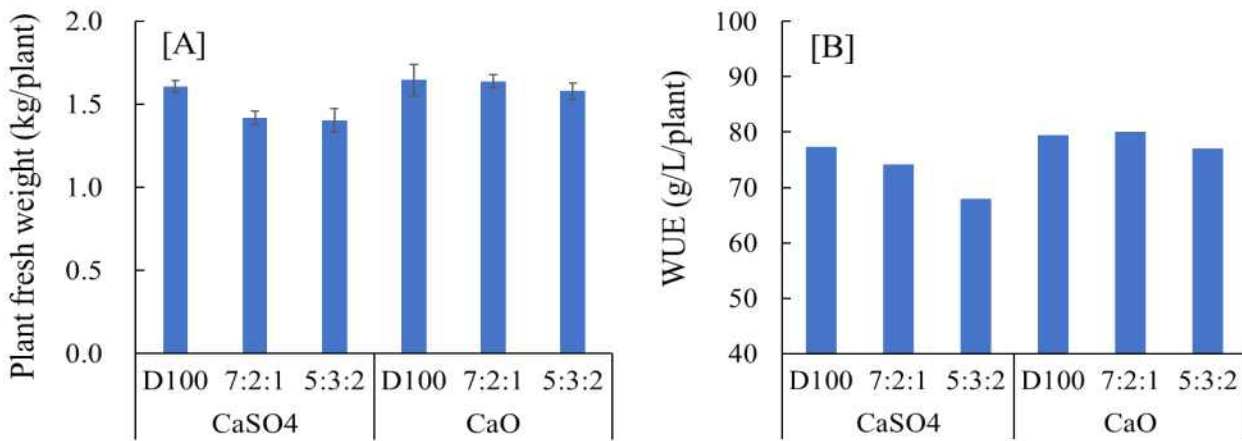
[그림 26] 칼슘원과 배지 조성별 처리에서 수경 재배한 겨울 배추 70일째 배지 함수량(n=6) 측정기기: FDR 휴대용 측정기(미래센서, 한국)

[표 19] 칼슘원과 배지조성별 처리에서 수경재배한 겨울 배추 56일째 광합성 특성

칼슘원	배지(v:v:v, Coir:PM:PL)	광합성율 ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	기공전도도 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	증산율 ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	D100	30.35 ab <sup>2</sup>	0.70 a	8.36 a
	7:2:1	28.73 b	0.75 a	9.01 a
	5:3:2	30.08 ab	0.76 a	8.18 a
	평균	29.7±0.7	0.74±0.03	8.5±0.4
CaO	D100	31.10 ab	0.64 a	7.26 a
	7:2:1	32.56 a	1.00 a	9.98 a
	5:3:2	30.36 ab	0.87 a	8.97 a
	평균	31.3±0.9	0.84±0.15	8.7±1.1
Significance <sup>y</sup>				
A		ns	ns	ns
B		ns	ns	ns
A×B		ns	ns	ns

<sup>2</sup>DMRT 5%, n=3

<sup>y</sup>ns, \*, \*\* and \*\*\* indicates not significant or significant at the  $p \leq 0.05$  level, respectively



[그림 27] 칼슘원과 배지조성별 처리에서 70일간 수경재배된 겨울 배추 생체중 (A)과 수분이용효율(B)

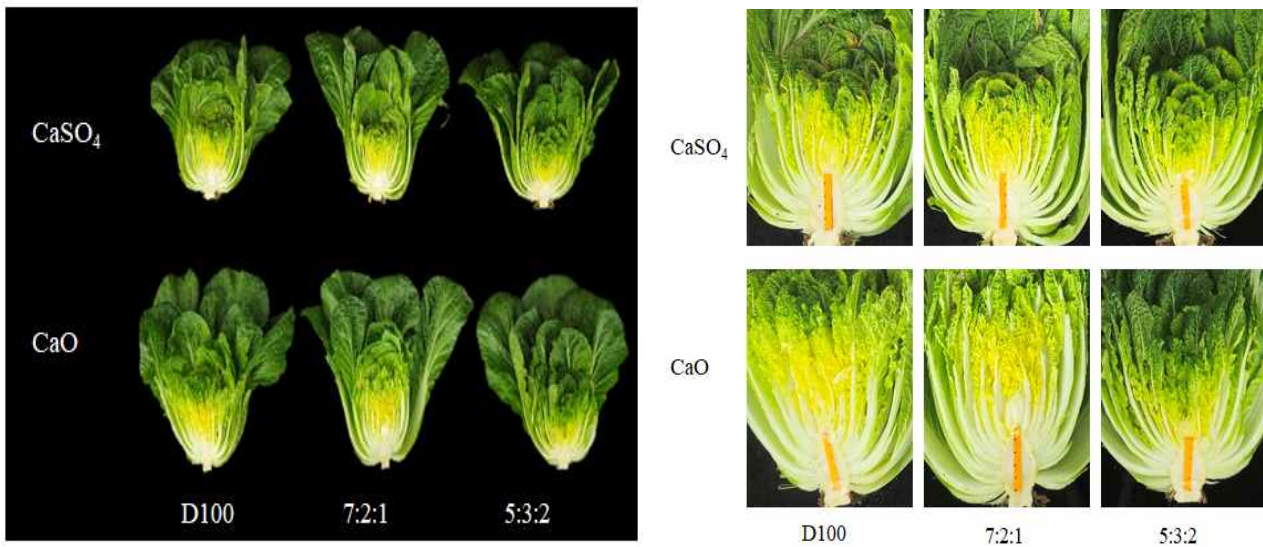


[표 20] 칼슘원과 배지조성별 수경재배된 겨울 배추 생육 특성 (측정일 :24.3.14)

칼슘원 (A)	배지 (B)	엽수 (ea)	SPAD(value)		구둘레 (cm)	심길이 (cm)	건물중 (g/plant)	건물율
			내엽	외엽				
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	D100	69.0 abc <sup>z</sup>	50.9 cd	41.2 b	55.6 cd	4.50 ab	93.9 b	6.4 abc
	7:2:1	72.7 ab	49.8 d	48.6 a	57.0 bc	4.83 a	90.0 b	6.0 bc
	5:3:2	72.7 ab	53.7 ab	48.7 a	53.7 d	4.07 b	100.9 ab	7.0 abc
	평균	71.5±1.7 <sup>y</sup>	51.5±1.6	46.2±3.5	55.4±1.4	4.5±0.3	94.9±4.5	6.5±0.4
CaO	D100	66.7 bc	52.4 bc	43.2 b	56.2 bc	4.20 b	89.7 b	5.7 c
	7:2:1	73.7 a	47.7 e	43.1 b	63.6 a	4.33 ab	113.5 a	6.8 abc
	5:3:2	63.7 c	54.5 a	43.3 b	58.2 b	4.23 ab	114.1 a	7.4 a
	평균	68.0±4.2	51.5±2.8	43.2±0.1	59.3±3.1	4.23±0.05	105.8±1.4	6.6±0.7
Significance <sup>x</sup>								
A		ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
B		ns	**	*	*	ns	ns	*
A×B		ns	**	**	**	ns	*	*

<sup>z</sup>DMRT 5%(n=3) <sup>y</sup>표준편차

<sup>x</sup>ns, \* I, and \*\* indicates not significant or significant at the  $p \leq 0.05$  and 0.01 level, respectively



[그림 28] 칼슘원과 배지조성별 처리에서 70일간 수경재배된 겨울 배추 생육

## 4 결과 요약

고랭지 배추 재배지에서 기후변화와 연작장해를 극복하고, 여름 재배 배추 안정 생산을 위한 대체 수단으로 비가림 시설을 활용한 간이수경재배 실용화 기술을 개발하기 위한 기초자료를 얻고자 본 실험을 수행하였다.

급액 농도, 배지 조성 및 양액 종류에 따른 배추 수경재배에서의 배액 변화와 생육을 분석하고자 봄 재배(비닐 온실, 2023년 3월 25일부터 5월 23일까지 60일재배), 가을 재배(벤로형 유리온실, 2023년 10월 20일부터 12월 18일까지 60일), 겨울 재배(벤로형유리온실, 2024년 1월 5일 3월 14일까지 70일) 3회에 걸쳐 실험한 결과는 다음과 같다.

배양액의 EC 농도 수준과 코이어 조성에 따른 수경재배 봄배추 재배기간에 공급된 급액량 차이가 총공급량에 영향을 주어 총공급량이 많았음에도 EC 1.7dS·m<sup>-1</sup> 처리의 배액량은 적어 배액율이 낮았고, EC 2.4 dS·m<sup>-1</sup> 처리에서 배액율은 가장 높았다. 정식 30일 이후 배액율은 모든 처리에서 감소하였고, EC 1.0 처리는 전 재배기간에 배액 EC가 급액 수준보다 낮았으며, 생육이 빨라지는 정식 30일 이후 배액 pH도 낮아지는 경향을 보였다. 생육 중기 이후 급액 EC 1.7 처리는 배액의 EC가 급액 수준보다 높아졌고, 배액율의 감소 등으로 EC 1.7과 2.4 처리는 황화, 팁번, 속썩음증, 일소 피해 등의 생리장해 발생률이 높았고, 생체중은 EC 2.4 처리에서 가장 낮았다.

양액 종류 2처리(관주용비료 S1, 수경양액 S2)와 배지 3처리(상토(M), 코이어 2종(D100, D30)하여 비닐 포트(10L 용량)에서 수경 재배하였을 때 수경재배 양액 S2 처리에서 배추 생육은 높았고, 상토 배지에서 생육이 좋았다. 코이어 배지는 초기 사용 시 배지 세척 과정이 필요하나 무기염 제거가 완전히 이루어지지 않은 배지에서 재배되어 생육 저하가 발생하였고, 특히 관비용 양액에서는 회복이 낮았다. 코이어 배지(D100, D30)의 높은 염 농도에도 S2 처리에서는 생육이 어느 정도 회복되어 배액율, EC, pH 변화에 영향을 주었다.

칼슘원과 배지조성을 달리 처리한 포트에서 배추를 겨울 재배하였을 때 총 급액량은 평균 25L이었고, 배액량과 배액율은 석회 처리구에서 높았다. 일주일 간격으로 처리구의 배액율과 배액의 pH, EC 변화를 측정된 결과 모든 처리에서 정식 20일과 정식 30일경 급격한 배액율과 EC의 감소와 pH 증가가 관찰되었고 팁번 발생이 유도되는 시기였다. 처리에 따른 배추 광합성은 차이가 없었으며, 석회 처리구의 생체중이 높았으며, 석회 처리구의 배지 조성 비율에 따른 생육 차이는 없었다.

배추는 엽채류 중에서도 재배기간이 길고, 양분요구도가 높은 다비성 작물이다. 작물 특성은 수경재배에서도 정식 20일 이후 생육량이 왕성해지면서 양수분의 흡수는 많아졌고, 이

는 배액율, 배액 EC와 pH 변화에 영향을 주었다. 배지의 물리 화학성 인자로 배지의 조성은 달라질 수 있으며, 수경재배에서는 토양재배와 달리 급액량, 관수 주기를 조절할 수 있어 안정적 생육 확보가 가능하다. 그러나 일반 엽채류와 달리 배추의 다비성, 칼륨, 질소, 칼슘 등의 요구도는 기존 양액 조성에서 가감이 필요한 작업으로 남았으며, 특히 관수 요구도가 높아지는 시기 적합한 환경 관리가 이루어지지 않았을 때 틱번이 발생하여 생육 저하가 심하였다. 그러나 생육에 적합한 환경에서는 틱번 예방이 가능할 수 있음을 확인하였고, 급액 농도는 EC 1.7 dS·m<sup>-1</sup> 내외의 수준에서 공급하는 것이 적합하리라 본다.

한편, 본 실험에서는 3회에 걸쳐 배지 조성에 따른 실험을 수행했음에도 적정 비율을 도출하기에는 다소 무리가 있었다. 또한 염류 농도가 높은 코이어 배지를 재사용하면서 칼슘원과 붕산을 첨가한 실험을 통해 작물 생육이 가능함을 확인할 수 있어 추후 실용적인 수경재배 시스템을 개발하기 위해서는 생육 단계별 양액 조성과 관수전략, 배지 선발, 적정 배지 용량 등의 정밀 실험이 이루어져야 할 것으로 본다.

## 5 참고문헌

농촌진흥청, 2000. 고령지채소재배기술.  
 이정명 등, 2013. 향문사. 채소재배각론  
 윤진영 등 5인, 1987. 배추 계절별 생산에 있어서 멀칭 재료별 효과- 건물생산 및 양분흡수, 농시논문집(원예) 29(2) 57-72.  
 김기덕 등, 2014. 고령지배추 친환경안정생산기술개발(과제번호 PJ008718). 국립식량과학원. 농촌진흥청  
 김기덕 등, 2020. 고령지 이상기후 적응 여름배추 안정생산 기술개발(과제번호 PJ013865). 농촌진흥청