

(옆면)

(앞면)

315094  
-03

보안 과제( ), 일반 과제( v ) / 공개(v), 비공개( )발간등록번호( )  
첨단생산기술개발사업 제3차 연도 최종 보고서

발간등록번호

11-1543000-002536-01

ICT기반 시설재배 양액의 재활용 및 환경제어  
복합형 양액시스템 개발  
최종보고서

# ICT기반 시설재배 양액의 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 개발 최종보고서

2019.03.14.

주관연구기관 / (주)청오엔지니어링  
협동연구기관 / 충남농업기술원 과채연구소

2019

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

<제출문>

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “ICT기반 시설재배 양액의 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템”(개발  
기간 : 2015. 12. 28. ~ 2018.12. 27)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 3 .14 .

주관연구기관명 : (주)청오엔지니어링 (대표자) 박 수 복 (인)  
협동연구기관명 : 충남농업기술원 과채연구소 (대표자) 이 은 모 (인)  
위탁연구기관명 : 충남대학교산학협력단 (대표자) 이 영 석 (인)

주관연구책임자 : 박 수 복  
협동연구책임자 : 이 은 모  
참여기관책임자 : 최 중 명

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의  
합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	315094	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.12.28- 2018.12.27	단 계 구 분	3/3
연구사업명	단 위 사 업	농림기술개발사업			
	사 업 명	첨단생산기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	ICT기반 시설재배 양액의 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템			
	세부 과제명	-			
연구책임자	박 수 복	해당단계 참여연구원 수	총: 16 명 내부: 16 명 외부: - 명	해당단계 연구개발비	정부:300,000천원 민간:100,000천원 계:400,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 21명 내부: 21명 외부: - 명	총 연구개발비	정부:900,000천원 민간:300,000천원 계:1,200,000천원
연구기관명 및 소속부서명	충남농업기술원 과채연구소			참여기업명 (주)청오엔지니어링	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 충남대학교 산학협력단			연구책임자: 최종명	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제, 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음
-------------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

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

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

<p>요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다) ICT 기술을 적극적으로 활용하여, 선진 제품과 대등한 기술력과 우리나라 농가에 편리하게 사용할 수 있도록, 주요 과채류/생육관리/비료에 적합하고, 온실 환경제어시스템과 연동되어 통합 사용될 수 있는 양액시스템의 개발</p>	<p>보고서 면수  353</p>
--	----------------------------

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<p>ICT 기술을 적극적으로 활용하여, 선진 제품과 대등한 기술력과 우리나라 농가에 편리하게 사용할 수 있도록, 주요 과채류/생육관리/비료에 적합하고, 온실 환경제어시스템과 연동되어 통합 사용될 수 있는 양액시스템 개발</p>																													
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선진제품 (SMART Fertilizer) 로직 분석                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 이스라엘의 SMART Fertilizer 제품은 농민이 원하는 작목, 수확량, 양액의 양을 선택 시, 이에 따른 양액의 조합 배율, 양을 알려주어 환경오염과 생산 비용을 효과적으로 줄일 수 있게 하는 프로그램</li> </ul> </li> <li>○ 주요 과채류 (딸기, 토마토)의 생육모델링에 따른 비료 요구량 DB화                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내·외 논문, 특허를 활용하여 주요 과채류의 품목별, 작형별, 생육단계별 최적의 비료 요구량 확인하여 DB화</li> </ul> </li> <li>○ 품목별, 작형별, 생육단계별 비료 처방 프로그램 로직 제작                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 데이터를 활용하여 비료량을 계산하는 산정식을 작성, 처방 프로그램 제작</li> </ul> </li> <li>○ 현장실증 결과데이터 확인 및 최신 데이터 추가                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 실험 데이터를 확인하고, 주관기관에서 제작한 프로그램에 데이터 값을 업데이트</li> </ul> </li> </ul>																													
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 소형 온실과 대형 온실에서 사용할 수 있는 양액공급시스템 개발을 목적으로 하지만 6,600m<sup>2</sup>(2,000평) 이하의 소규모 시설하우스용 개발에 더 큰 비중을 둘 것이며, 배액을 수집하고 이를 재활용하는 방향으로 설계 및 제작</li> <li>○ 일반적으로 배액은 공급된 양액에 비해 pH, EC, 각종 무기원소 농도가 변화됨. 그러나 배액의 변화된 pH, EC, 각종 무기원소 농도를 측정하고 그 결과를 양액 조성에 반영하기 위해서는 각종 측정센서의 도입이 필요함</li> <li>○ 공급액의 EC 및 개별 무기이온 농도는 본 연구팀에서 DB화한 성장모델 및 무기이온 흡수모델을 적용하여 생육단계별로 양액의 조성 변화가 가능하고, EC 조절을 통한 시비량 조절이 가능하도록 함</li> <li>○ 결론적으로 개발하고자 하는 양액공급시스템은 배액을 재사용하며, 재사용을 위한 여과 및 살균 장치(UV lamp) 도입, 성장 모델 및 무기이온 흡수 모델을 적용한 생육단계별 양액 조성 및 EC 변화가 가능하도록 할 것임. 아울러 배액과 새로운 양액이 혼합될 때 연구를 통해 확보된 결과를 적용하여 배액의 무기 이온 농도 보정이 가능하도록 할 것임</li> <li>○ 시비처방 소프트웨어, 양액제어시스템, 복합환경제어시스템을 서로 연동되도록 개발하고, 주요기술에 대한 산업재산권 확보, 시제품 제작 및 홍보, 기존 국내·외 판매망을 통하여 상품화 및 산업화 계획임</li> </ul> <p style="text-align: center;">&lt;사업화를 통한 기대효과 (단위: 백만원)&gt;</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">산업화 기준 항 목</th> <th>1차년도</th> <th>2차년도</th> <th>3차년도</th> <th>계</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>직접 경제효과</td> <td>2,400</td> <td>6,000</td> <td>12,000</td> <td>20,400</td> </tr> <tr> <td>경제적 파급효과</td> <td>10,000</td> <td>30,000</td> <td>50,000</td> <td>90,000</td> </tr> <tr> <td>부가가치 창출액</td> <td>30,000</td> <td>70,000</td> <td>100,000</td> <td>200,000</td> </tr> <tr> <td>합 계</td> <td>42,400</td> <td>106,000</td> <td>162,000</td> <td>310,400</td> </tr> </tbody> </table>					산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	계	직접 경제효과	2,400	6,000	12,000	20,400	경제적 파급효과	10,000	30,000	50,000	90,000	부가가치 창출액	30,000	70,000	100,000	200,000	합 계	42,400	106,000	162,000	310,400
산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	계																										
직접 경제효과	2,400	6,000	12,000	20,400																										
경제적 파급효과	10,000	30,000	50,000	90,000																										
부가가치 창출액	30,000	70,000	100,000	200,000																										
합 계	42,400	106,000	162,000	310,400																										
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>양액원격제어</p>	<p>자동관리</p>	<p>생산관리기록</p>	<p>양액처방로직</p>	<p>환경제어</p>																									
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Nutrient solution remote control</p>	<p>Automatic control</p>	<p>Production management &amp; report</p>	<p>Control system</p>	<p>Complex environment</p>																									

\* 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## < 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	7
1. 연구개발 목적 .....	7
2. 연구개발의 필요성 .....	7
3. 연구개발 범위 .....	7
제 2 장 국내외 기술 개발 현황 .....	9
1. 국내 기술 개발 현황 .....	9
가. 국내 논문 연구 현황 .....	9
나. 국내 기술 특허 현황 .....	11
2. 국외 기술개발 현황 .....	12
가. 국외 논문 연구 현황 .....	12
나. 국외 기술 특허 현황 .....	13
3. 국내 외 제품 현황 .....	14
가. 국내 제품 현황 .....	14
나. 국외 제품 현황 .....	16
제 3 장 연구수행 내용 및 결과 .....	17
제 1 절 양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작 및 현장실증 .....	17
1. 주요부 설계 제작 및 기본 성능 평가 .....	17
가. 선진사 bench marking 및 상세분석 .....	17
나. 양액시스템 기술적 차별성 .....	24
다. 국산화 제작 .....	25
2. 통합시스템현장실증 및 환경제어시스템과 통합 .....	42
가. 양액제어시스템 현장실증 .....	42
나. 양액제어시스템과 환경제어시스템의 통합 .....	51
3. 문제점 보완 및 현장실증 .....	81
가. 양액제어시스템 보완요구점 개선, 산업화 .....	81
나. 양액제어시스템과 환경제어시스템의 통합 현장 실증 .....	103
제 2 절 주요 과제류 양액처방로직 개선 .....	105
1. 주요과제류 생육모델링에 따른 비료 요구량 DB .....	105
가. 선진제품(Priva Maximizer) 분석 .....	105
나. 논문, 특허를 활용하여 주요 과제류의 품목별, 작형별, 생육단계별 최적의 비료 요구량 확인 .....	111
다. 국내·외 문헌 검색결과의 주요 재배조건 정리 .....	120
라. 국내·외 양액재배를 위한 주요 양액의 조성 .....	121
2. 비료 처방 프로그램 로직 개발 .....	122
가. 비료 산정식 개발 및 주관기관과 협력하여 산정식 입력 .....	122
나. 순환식 양액재배시 용액 재사용에 따른 작물 반응 및 관비관리 .....	139
다. 배양액 센싱값을 고려한 제어로직 개선 .....	176
3. 현장실증 결과 분석 및 처방로직 개선 .....	180
가. 순환식 양액재배장치의 기본구조 .....	180

나. 양액 조성관리	181
다. 양액의 재활용과 처리	200
제 3 절 토마토, 딸기 양액 요구량 시험 및 시작품 현장실증	206
1. 주요과채류 생육모델링에 따른 비료 요구량 DB	206
가. 토마토의 양액 요구량 및 재활용 양액처방	206
나. 딸기의 양액 요구량 및 재활용 양액처방	234
2. 통합시작품 현장 실증시험	267
가. 토마토 수경재배에서 개발 양액기계의 현장적용	267
나. 딸기 수경재배에서 개발 양액기계의 현장적용	300
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	303
제 5 장 연구결과의 활용계획	307
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	309
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	315
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	315
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	316
제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적	317
제 11 장 기타사항	349
제 12 장 참고문헌	350

# 제1장 연구개발과제의 개요

코드번호	D-03
<p>1. 연구개발 목적</p> <p>ICT 기술을 적극적으로 활용하여, 선진 제품과 대등한 기술력과 우리나라 농가에 편리하게 사용할 수 있도록, 주요 과채류/생육관리/비료에 적합하고, 온실 환경제어시스템과 연동되어 통합 사용될 수 있는 양액시스템 개발</p> <p>2. 연구개발의 필요성</p> <p>가. 외국제품보다 성능이 우수하고, 가격이 저렴하며, 농민들이 선택적으로 쉽게 활용 할 수 있는 양액제어시스템 개발이 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 배액의 성분을 실시간으로 계측하고, 살균 및 필터링</li> <li>○ 작물별, 작형별, 생육단계별, 비료종류별, 비료 요구량 설정</li> <li>○ 비료 요구량에 맞도록, 원수, 양액, 배양액을 혼합 시비</li> <li>○ 복합 환경제어시스템과 연동</li> <li>○ 스마트폰 등을 통하여 원격에서 모니터링 및 제어 기능</li> </ul> <p>나. 양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작 및 현장실증 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 품목별로 다양한 작형과 생육단계에 적용하기 위한 비료 종류별 요구량 DB화</li> <li>○ 품목별, 작형별, 생육단계별 비료 처방 로직 개발</li> <li>○ 비료 처방 로직이 탑재되고, 배액재활용이 되는 양액시스템 제작</li> <li>○ 양액시스템과 복합 환경제어 시스템 연동</li> <li>○ 딸기, 토마토 재배 연구소에 현장 실증시험</li> <li>○ 시제품 제작, 사용자 매뉴얼 작성, 전시회 출품 등을 통한 산업화</li> </ul> <p>다. 주요 과채류 작형, 생육단계별 양액 요구량 시험 및 시제품 현장실증 필요</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토마토, 딸기 주요 작형 및 생육단계별 양액 요구량 구명</li> <li>○ 토마토, 딸기 주요 작형 및 생육단계별 배액 분석을 통한 재활용 양액처방</li> <li>○ 배액 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 통합시작품 예비검증</li> <li>○ 배액 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 통합시작품 현장실증</li> <li>○ 기능 및 사용자 편의성 향상을 위한 양액시스템 보완 개선점 도출</li> </ul> <p>3. 연구개발 범위</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 품목별로 다양한 작형과 생육단계에 적용하기 위한 비료 종류별 요구량 DB화</li> <li>- 품목 : 토마토, 딸기</li> <li>- 작형 : 토마토 봄작형(2월~6월) 가을작형(8,9월~12월 중순), 딸기 9월정식~5월</li> <li>- 생육단계 : 정식 후 어린묘 → 사화방 → 칠화방 (3단계)</li> <li>- 품목별, 작형별, 생육단계별 비료 처방 로직 개발</li> </ul> </li> </ul>	



- 비료 처방 로직이 탑재되고, 배액 재활용이 되는 양액시스템 제작
- 양액시스템과 복합 환경제어 시스템 연동
- 딸기, 토마토 재배 연구소에 현장 실증시험
- 시제품 제작, 사용자 매뉴얼 작성, 전시회 출품 등을 통한 산업화
- 주요 과채류 작형, 생육단계별 양액 요구량 시험 및 시제품 현장실증
  - 토마토, 딸기 주요 작형 및 생육단계별 양액 요구량 구명
  - 토마토, 딸기 주요 작형 및 생육단계별 배액 분석을 통한 재활용 양액처방
  - 배액 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 통합시작품 예비검증
  - 배액 재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 통합시작품 현장실증
  - 기능 및 사용자 편의성 향상을 위한 양액시스템 보완 개선점 도출

## 제2장 국내외 기술 개발 현황

코드번호

D-04

### 1. 국내 기술개발현황

#### 가. 국내 논문 연구현황

- 우리나라에서 딸기 수경재배는 생산자의 노동력을 경감시키고, 딸기의 수량성을 증대시키고자 약 2010년부터 증가하기 시작하여 수경재배 면적은 2002년에 5ha, 2009년 152ha, 2015년 768ha, 2018년에는 1,752ha로 2010년 이후 급속한 증가추세에 있음.
- 우리나라의 토마토 시설 재배면적은 6,976ha, 생산량은 457천M/T이며(2016, MAFRA), 시설원에 현대화를 위한 정부의 지원으로 토마토 수경재배 면적이 매년 증가하고 있음(602.4ha, 1,350농가, 2017, RDA). 수경재배는 균형 시비, 비료의 흡수효율 증대, 토양전염성 병원균의 회피, 위생적 재배환경 관리를 통한 연작장해의 감소, 생산과정의 생력화 가능, 그리고 고품질 농산물 생산과 수량성 증대 등 다양한 장점을 갖음.
- 이러한 수경재배의 증가는 지하수와 비료의 사용량이 증가시키고, 배출되는 배액의 량이 증가하게 되며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 상토의 종류, 야간온도, 시기별 공급액의 농도, 공급액의 양액조성, 상토의 수분함량, 과채류 수경재배시 배액량을 감소하기 위한 연구, 배출되는 배액의 양과 하우스내의 온도, 광도, 습도와의 관계 등 배액을 재활용하기 위한 연구가 진행중에 있음. 이러한 배액을 재활용하고 지하수를 절감하기 위한 연구들이 현장에 적용되기 위해서는 다양한 재배 실증과 함께 연구기술이 적용되어야 함.
- 또한 배액의 배출은 물과 비료의 과다 사용으로 인해 생산비를 증가시키는 원인이 됨(Bellert et al., 1998; Benoit, 1992; Rhee et al., 2003; Rho et al., 1997; Smith, 1997; Zhang et al., 2010a). Van Os.(1994)는 토마토 수경재배 시 배액량의 20% 정도가 배출될 경우 연간 ha당 질소 147kg, 인산 71kg, 칼륨 282kg, 마그네슘 60kg의 비료가 손실된다고 보고하였고, Sonneveld(1993)은 비순환식에 비교해 순환식이 물 소비량을 64% 절감할 수 있고 질소와 칼륨을 44~50% 절감할 수 있다고 함.
- 국내 논문 분석 결과, 작물에 따른 적정 양액에 관한 논문이 존재하였으나, 생육단계별에 적정 양액에 관한 논문의 수가 매우 적었음. 따라서 본 연구에서는 작물의 생육단계별, 작형별, 비료 종류별 적정 양액 요구량에 대한 연구를 하고 논문을 기재하였음.
- 배액과 양액을 배합하여 작물에 시비하는 논문이 존재 하였으나, 작형별 배액에 관한 성분과 기존 양액 적정 배합 시스템에 관련된 논문이 없었음. 따라서 본 연구에서는 배액에 EC, pH, N, K 센서를 부착하여 잔여 함량을 파악하고, 적정 양액을 배합하는 시스템에 대한 연구를 진행 하였음

<국내논문>

학술지명	저자	게재년도	논문 제목	내용
원예과학기술지	이현행, 김계훈, 김권래	2000년	Sandfilter를 이용한 배액 정화기술 및 활용기술 개발	EC, pH 센서를 이용하여 배액의 농도를 분측정함
원예과학기술지	김완순, 노미영, 최기영, 이용범	2010년	배액 재사용을 위한 전국 수경재배농가 양액관리 실태분석	EC, pH, K 함량을 측정함
바이오시스 템공학	이기명, 이주성, 선철호, 장익주, 송재관 구건효	1990년	수경재배의 양액관리 자동화 시스템 개발	EC, pH 센서를 사용하여 양액의 농도를 조절함
원예과학기술지	이환구, 김학현, 임엄량, 이영복	2000년	배양액 N/K+Ca 비율조성이 양액 반측성 재배 방울토마토의 수량 및 품질에 미치는 영향	N, K 성분을 조절하여 양액을 제조함
한국해양정 보통신학회 논문지	정원근, 이병로, 김병철	2005년	양액 자동 공급 제어 시스템의 설계 및 구현	EC, pH 센서를 사용하여 양액을 제어함
바이오시스 템공학	황호준, 류관희, 조성인, 이규철, 김기영	1998	퍼지제어를 이용한 양액 자동공급 시스템 개발	유량 조절밸브를 사용함
농업기계학 회지	이규철, 류관희, 이정훈, 김기영, 황호준	1997년	액제 정밀계량 장치를 이용한 양액 자동조제 시스템 개발	EC, pH 센서를 사용하여 양액의 농도를 조절함
한국농공학 회지	남상운, 이남호, 전우정, 황한철, 홍성구, 허연정	1999년	양액재배 급액제어모델 개발에 관한 기초연구	생육단계에 따른 양액을 달리하여 시비함

정보통신설 비학회 논문지	손교훈, 박대현, 김세한, 김재형, 정은태	2012	온실 환경 제어시스템을 위한 액추에이터 복합 제어 방법	온도, 습도 제어를 제어하고 LAN을 통한 외부 접속
한국콘텐츠 학회	이은진, 이권익, 김홍수, 강봉수	2010	통합 센서 모듈을 이용한 농업 환경 모니터링 시스 템 개발	1) 온도, 습도, 조도, 토 양수분센서 이용 2) 여러 가지 센서들을 단일노드에 통합

나. 국내 기술 특허현황

- 국내 특허 결과, 대부분 양액을 공급하고, 일조량, pH 등의 센서를 통하여 제어하는 특허가 대부분을 차지하였으며 센서를 통하여 양액을 배합하는 특허는 없었음. 따라서 EC, pH, N, K을 측정하는 센서를 부착하여 양액을 배합하는 시스템을 개발하고, 특허를 출원 하였음.
- 또한, 배액은 망 여과기 및 살균 시스템을 거쳐 일반 양액과 섞어 나가는 특허가 존재하였으나 배액 관련 특허가 부족하였음.
- 따라서 배액을 재활용하기 위해서 필터링 시스템을 거친 후에 EC, pH, N, K 센서를 이용한 분석을 통하여 적정 양액을 배합하는 시스템 개발을 하였고 실용화 및 산업화를 추진하였음.

<국내특허>

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
한국	1020100007160	배액 처리기 및 이를 이용한 양액 재배장치	박현린
	1020130060401	배액 재처리장치	한민우
	1020150071956	살균장치를 포함한 수경재배 배양액 재순환장치	상명대학교 천안산학협력단
	1020100125270	식물 재배를 위한 양액 순환 방식의 식물 공장	(주)환경개발시스템
	1020130076733	벤츄리 설치형 양액공급시스템	구광모 구지민
	1019980009774	토마토배지재배용양액조성물및이의처리방법	주식회사 코셀 대한민국(농촌진흥 청장)
	1020120097948	양액순환공급장치	(주)창신아그맥
	1020140051260	양액 리사이클링 제어방법	주식회사 동우
	1020060035889	양액 자동공급장치 및 그 제어방법	대한민국(농촌진흥 청장) 송재순
	1020110043088	양액공급제어방법	신한에이텍 주식회사 박철수

1020120058053	양액 자동조정공급 제어시스템	(주)우성하이텍
1020070044397	순환식 수경재배용 배액제어장치 및 그 제어방법	대한민국(농촌진흥청장)
1020040086965	실내환경 제어시스템 및 그 제어방법	(주)모아기술
1007942850000	온실 환경 제어 장치	대한민국(농촌진흥청장)
1020130107054	온실의 복합환경제어시스템	구광모 구지민

## 2. 국외 기술개발현황

### 가. 국외 논문 연구현황

- 국외 논문 분석 결과, 국내 논문과 비슷한 양상으로 외국 작물에 따른 적정 양액에 관한 논문이 존재하였으며, pH 센서 등을 이용하여 양액제어 시스템에 관련한 논문이 존재하였음. 또한, 배액 재활용에 관련된 논문이 없었음.
- 따라서 본 연구에서는 국내 품종의 작물 적정 양액 배합 시스템 개발과 EC, pH, N, K 센서를 부착하여 배액의 성분을 분석하고 국내 비료와 배합하여 양액을 시비하는 시스템에 관련된 연구를 진행하고 논문을 기재하였음.

#### <국외논문>

학술지명	저자	게재년도	논문 제목	내용
Journal of the American Society for Horticultural Science	D. Schwarz, H.-P. Klaring, K.T. Ingram, Y.-C. Hung	2001년	Model-based Control of Nutrient Solution Concentration Influences Tomato Growth and Fruit Quality	pH, EC 센서를 이용하여 양액을 농도를 제어함
Computers and electronics in agriculture	Diego S. Dominguesa, Hideaki W. Takahashib, Carlos A.P. Camaraa, Suzana L. Nixdorf	2012년	Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production	작물이 요구하는 양액의 성분을 파악하여 데이터화함

나. 국외 기술 특허현황

- 국외 특허 결과, pH, EC 센서 등을 통하여 양액의 농도를 파악하고, 양액을 배합하는 특허가 대부분을 차지하였음.
- 배액 재활용은 살균 용액 등을 이용한 후에 물에 희석하여 일반 양액과 배합하는 특허가 존재하였으며 작물 별 양액 조절에 관한 특허가 없었음. 따라서 작형별, 생육 단계별에 따른 적절한 양액 시비 시스템을 개발하여 출원하였음.

<국외특허>

국가	등록번호	발명의 명칭	출원인
미국	US 08301039	Hydroponic nutrient solution control system	Kabushiki Kaisha Toshiba
일본	JP 11291730	양액재활용형(recycling) 재배 시스템 및 그 양액처리 방법	生物系特定産業技術研究推進機構 , カネコ種苗株式會社
	JP 10336433	양액의 자동 공급 장치와 양액의 자동 제어(automatic regulation) 방법	KOBAYASHI HIDEKI
	JP 12360121	양액조정 컨트롤러 및 양액조정 방법	BIO ORIENTED TECHNOL RES ADVANCEMENT INST KANEKO SHUBYO KK

### 3. 국내외 제품현황

#### 가. 국내 제품현황

- 국내 제품을 분석 결과, 양액제어 시스템은 국외 제품에 비해 시스템구축이 수준이 낮으며, 제품에 살균시스템이 거의 탑재되어 있지 않음.
- 따라서 본 연구에서는 국외 선진사 제품을 벤치마킹하여 살균시스템과 시스템 구축 수준을 높이고, 양질의 제품으로 저가형 제품과의 경쟁력을 확보하였음.

#### <국내제품>

항목	사진	제조사	모델명	사양 및 특징
살균		신한사이언텍	Opt-Basic Opt-U.V. Opt-U.F. Opt-V.F.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실험실용으로 적합한 Top-Table Type.</li> <li>· 탈이온 필터를 이용한 3차수 생산.</li> <li>· 정확한 Resistivity 모니터링.</li> <li>· Tank'Low Level Auto Stop'.</li> <li>· 온도 유지를 위한 Circulation기능.</li> <li>· Anti-particle용 '디스크형 Final Filter'</li> <li>· 세균 및 미생물 제거용 'U.V.Lamp'.(옵션)</li> <li>· Depyrogen용 'U.F Membrane'.(옵션)</li> </ul>
		신한사이언텍	R/O Water(PW) R/I Water(UPW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1차수와 3차수 생산.</li> <li>· 정확한 Resistivity모니터링.</li> <li>· Tank'Low Level Auto Stop'.</li> <li>· 온도 유지를 위한 Circulation 기능.</li> <li>· Anti-particle용 '디스크형 Final Filter'.</li> <li>· 세균 및 미생물 제거용 UV Lamp</li> <li>· Depyrogen용 UF Membrane'</li> </ul>
		신한사이언텍	R/O Water(PW) R/I Water(UPW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1차수와 3차수 생산.</li> <li>· 정확한 Resistivity모니터링.</li> <li>· Work &amp; Wetstation용 자동기압 · 이송시스템.</li> <li>· Tank'Low Level Auto Stop'.</li> <li>· 온도 유지를 위한 Circulation 기능.</li> <li>· Tank Full 시 R/O System Auto Stop.</li> <li>· Tank Low Level 시 D/I System Auto stop.</li> <li>· 공간 활용도를 높임 Top-Tank System.</li> </ul>
		신한사이언텍	R/O Water(PW) R/I Water(UPW)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1차수와 3차수 생산.</li> <li>· 정확한 Resistivity모니터링.</li> <li>· Work &amp; Wetstation용 자동기압 · 이송시스템.</li> <li>· Tank'Low Level Auto Stop'.</li> <li>· 온도 유지를 위한 Circulation 기능.</li> <li>· Tank Full 시 R/O System Auto Stop.</li> <li>· Tank Low Level 시 D/I System Auto stop.</li> <li>· 공간 활용도를 높임 Top-Tank System.</li> </ul>
		신한사이언텍	SHUV-25	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Stand Type.</li> <li>· 화학처리를 하지 않으므로 안전하다.</li> <li>· 타 살균에 비해 경제적이다.</li> <li>· 설치가 비교적 쉽다.</li> <li>· 고장이 없고 관리가 아주 쉽다.</li> <li>· 처리용량 : 2.5m<sup>2</sup>/h, IN/OUT규격 : 25A</li> <li>· 제품규격 : 980*220*220</li> </ul>
			신한사이언텍	FR6-T20

				<p>미려합니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 간편하게 설치할 수 있으며 누구나 손쉽게 조작할 수 있습니다.</li> <li>· 다양한 기종으로 선택의 폭이 넓어 가장 적당한 모델을 선택하실 수 있습니다.</li> <li>· Resin(l) : 6 In/Out : 20 Flow Rate : 0.7</li> </ul>
	<p>신한사이언텍</p>	<p>FT40-T20</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 완전한 자동으로 최대 연수 효과.</li> <li>· 혁신적인 8단계 재생 과정으로 완벽한 재생.</li> <li>· 부식이 없는 완벽한 내구성.</li> <li>· 기계공학적인 첨단 디자인으로 외양이 미려합니다.</li> <li>· 간편하게 설치할 수 있으며 누구나 손쉽게 조작할 수 있습니다.</li> <li>· 다양한 기종으로 선택의 폭이 넓어 가장 적당한 모델을 선택하실 수 있습니다.</li> <li>· Resin(l) : 40, In/Out : 20, Flow Rate : 2.0</li> </ul>



나. 국외 제품현황

- 국외 제품을 분석 결과, 양액제어 시스템을 생산하는 기업은 이스라엘에 Priva, Netafim, 대표적이며, UV, 오존 살균 등 살균시스템 기술이 뛰어나.
- 또한, EC, pH, 영양소를 이중으로 측정하며 통합 환경제어시스템이 현 세계최고 수준임. Smart Fertilizer사는 양액비율, 투입량 등 Software 수준이 세계최고 수준임.
- 따라서 본 연구에서도 이러한 선진기술과 경쟁할 수 있는 양액제어 시스템과 다양한 작물에 응용할 수 있는 시스템을 개발하여 실용화하는 방향으로 추진하여 연구하였음.

<국외제품>

	Priva (이스라엘)	Netafim (이스라엘)
모델	Priva Nutrifit	NETAJET 3G
사진		
시스템 범위	- 온실 환경제어, 에너지제어, 양액제어, 관수제어	- 온실 환경제어, 양액제어, 관수제어
가격	- 25,000,000원	- PL 모델 (믹싱탱크 없음) : 21,000,000원 - ST 모델 (믹싱탱크 있음) : 22,000,000원
살균 방식	- UV 살균 방식 - O <sup>3</sup> 살균 방식 (옵션)	- UV 살균 방식
특징	- EC, pH, 영양소(원소) : 이중 측정 - 통합 시스템을 제어가능 : 온실 온도 및 오전, 오후에 따라 양액배합 조절	- EC, pH, 영양소(원소) : 옵션에 따라 단일, 이중측정 - 정밀 펄스 방식으로 원수에 양액을 주입 - 가압라인방식

### 제3 장 연구수행 내용 및 결과

코드번호

D-05

#### 제 1절 양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작 및 현장실증 (주관기관 : (주)청오엔지니어링)

##### 1. 주요부 설계 제작 및 기본 성능 평가

###### 가. 선진사 bench marking 및 상세분석

###### ○ 국외 시스템의 특징

- 네덜란드, 일본, 이스라엘의 생육 기술 및 생산성이 뛰어나.
- 중국의 경우 국내보다 낮은 수준의 생육 기술 및 생산성을 보유함.
- 대표적인 해외 기업으로 Netafim, Priva사가 있으며, 전 세계 원예시설분야의 약 70%이상을 차지할 정도로 뛰어난 기술력과 내구성, A/S 보유함.
- Netafim, Priva사는 양액제어시스템의 핵심 기술인 최적생육 알고리즘을 사용하고 있고 이를 이용해 다양한 생육 및 환경 데이터를 제작함.

###### ○ 국내 시스템의 특징

- 양액제어시스템, 재활용시스템, 온실 복합환경제어 시스템의 수준이 국외 기업보다 떨어짐.
- 최적생육 알고리즘의 핵심기술 미흡함.
- 국내 원예 관련 기자재는 전적으로 수입에 의존하고 있음.

###### ○ 국외 선진사 양액관리시스템(Priva Nutrifit)

- 시스템의 범위는 온실 환경제어, 에너지 제어, 양액제어, 관수제어를 통제함.
- 살균은 UV살균, O3 방식을 가지고 있음.
- 양액의 재사용이 가능.
- EC, pH, 영양소(원소)등을 이중 측정을 통하여 정밀도가 높음.
- 통합시스템을 제어하여 온실의 온도 및 시간에 따른 양액배합 조절이 가능함.



Priva: Priva Nutrifit

Priva (이스라엘)	
모 델	Priva Nutrifit
시 스템 범 위	온실 환경제어, 에너지제어, 양액제어, 관수제어
가 격	25,000,000원
살 균 방 식	· UV 살균 방식 · O <sub>3</sub> 살균 방식 (옵션)
특 징	· EC, pH, 영양소(원소)이중 측정 · 통합 시스템을 제어가능 · 온실 온도 및 시간에 따라 양액배합 조절

- 국외 선진사 양액관리시스템(Netafim사의 NETAJET 3G)
  - 온실환경제어, 양액제어, 관수제어가 가능함.
  - UV살균 방식만을 가짐.
  - 정밀 펄스 방식으로 원수에 양액을 주입하며 이때 가압라인방식을 이용함.
  - Priva의 모델보다 가격대가 저렴함.



Netafim: NETAJET 3G

Netafim (이스라엘)	
모 델	NETAJET 3G
시 스템 범 위	온실 환경제어, 양액제어, 관수제어
가 격	· PL 모델 : 21,000,000원 · ST 모델 : 22,000,000원
살 균 방 식	· UV 살균 방식
특 징	· EC, pH, 영양소(원소) 단일, 이중측정 · 정밀 펄스 방식으로 원수에 양액을 주입 · 가압라인방식

- 국내 양액관리시스템 분석(신한 에이텍의 Aqua)
  - EC / pH / 영양분 등의 측정이 가능.
  - 총 6개의 그룹으로 독립적인 제어가 가능.



신한 에이텍: Aqua

신한 에이텍	
모델	Aqua
가격	11,000,000원
살균 방식	-
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양분 단일측정</li> <li>· 6개 그룹으로 독립적인 제어가 가능(6종류의 작물재배)</li> </ul>

- 국내 양액관리시스템 분석(신한 에이텍의 SH-2000)
  - 시간, 유량 별 관수를 통제함.
  - 시간, 간격, 외부, 수순, 광량제어에 따라 제어함.
  - 구역별 EC, pH설정 가능함.
  - 기본 8구역~64구역 관수구역을 나눌 수 있음.
  - 컴퓨터와 연결하여 스마트폰, 태블릿 PC로 통제 가능함.



신한에이텍: SH-2000

신한에이텍	
모델	SH-2000
살균 방식	-
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시간, 유량 별 관수를 통제</li> <li>· 시간, 간격, 외부, 수순, 광량제어에 따라 설정</li> <li>· 구역별 EC, pH설정</li> <li>· 기본 8구역~64구역 관수구역</li> <li>· 컴퓨터와 연결하여 스마트폰, 태블릿 PC로 통제</li> </ul>

- 국내 양액관리시스템 분석(동우의 D-3700)

- EC / pH / 영양분들을 측정하고 있음.
- 벤추리 독립 순환방식을 이용해 각 관별로 순환하고 있음.



동우: D-3700

	동우
모델	D-3700
가격	10,500,000원
살균 방식	-
특징	· EC, pH, 영양분 단일, 이중측정 · 벤추리 독립 순환 방식

○ 국내 양액관리시스템 분석(우성하이텍의 인젝션 마스터)

- 벤추리 독립 순환방식을 이용하고 있음.
- EC / pH / 영양분을 측정 가능함.
- 환경제어시스템과 연동하여 시설내 온습도, 오전, 오후별 양액 공급주기를 자동 제어할 수 있음.
- UV살균 방식을 가지고 있음.



우성하이텍: 인젝션 마스터

	우성하이텍
모델	인젝션 마스터
가격	12,000,000원
살균 방식	UV 살균 방식 (옵션)
특징	· EC, pH, 영양분 · 벤추리 독립 순환 방식 · 환경제어시스템과 연동하여 온·습도, 시간별 양액 공급 주기 자동 제어함

○ 국내 양액관리시스템 분석(대영GS의 Wizard)

- 최대 16구역의 제어밸브 사용함.
- 8개의 밸브 그룹제어 사용함.
- 일사, 시간에 따른 관수통제를 함.

- 입형 다단펌프를 사용함.
- 산, 알칼리 선택 사용할 수 있음.



대영GS: Wizard

대영GS	
모델	Wizard
살균 방식	-
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 최대 16구역 제어밸브 사용</li> <li>· 8개의 밸브 그룹제어</li> <li>· 일사, 시간에 따른 관수 통제</li> <li>· 입형 다단펌프 사용</li> <li>· 산, 알칼리 선택 사용</li> </ul>

○ 선진사 bench marking 및 상세분석 결과

- 국내 실정에 맞는 국산화 설계를 위하여 기술선진국들의 양액제어 시스템을 조사하였고, 각 시스템의 장단점을 파악 및 상세분석을 통해 벤치마킹하였음. 또한 국내 양액제어기를 분석하여 시스템을 설계함.
- 국내 실정에 맞게 양액공급시스템은 배액을 재사용하며, 재사용을 위한 여과 및 살균 장치(UV lamp)를 도입, 성장 모델 및 무기이온 흡수 모델을 적용한 생육 단계별 양액 조성 및 EC 변화가 가능하도록 할 것임.
- 재활용 되는 배액과 새로운 양액의 혼합 시 배액의 무기이온 농도 보정이 가능하도록 할 것임.

종류		성능 (높은 수치가 고성능)	가격 (낮은 수치가 저렴)
		선진제품	선진제품
양액 제어 시스템	제어 장치 (정밀도)	8	10 (15,000천원)
	소프트웨어 (최적시비 처방알고리즘)	8	10 (4,000천원)
	배액재활용(+ 살균, 필터)	9	10 (6,000천원)
	평균	8.3	10

<국내·외 양액 시스템의 비교>

국내	국외	차이
1회 측정	2회 측정	- 각 공급 펌프에서 양액 성분 분석
X	O	- 배액과 양액의 재활용
X (옵션이지만 거의 없음)	O	- 배액 살균
9,000 ~ 20,000천원	25,000 ~ 50,000천원	- 제품 가격

- 국외 선진사 및 국내 경쟁사 비교

<국외 선진사>

	개발품	Priva (이스라엘)	Netafim (이스라엘)
모 델	청오 양액시스템	Priva Nutrifit	NETAJET 3G
가 격	12,000,000 원 (양액기+UV살균기)	25,000,000 원	· PL 모델 : 21,000,000 원 · ST 모델 : 22,000,000 원
살 균 방 식	· UV 살균방식 (5Ton/hr, 99% 살균)	· UV 살균방식 (옵션) · O <sub>3</sub> 살균방식 (옵션)	· UV 살균방식 (옵션)
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 양액재활용 시스템</li> <li>· UV살균 시스템</li> <li>· EC,pH 및N,K 등 무기원소 양액 농도측정</li> <li>· EC,pH 및N,K 등 무기원소 배액 농도측정 및 보정</li> <li>· ICT 환경정보 (일사, 강우, 온도, 습도 등)와 연계</li> <li>· 24구역공급 및 7 액비제어</li> <li>· 모바일 원격제어</li> <li>· 경보 SMS문자 발송</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양소(원소)이중측정</li> <li>· 통합 시스템 제어가능</li> <li>· 온실 온도 및 시간에 따라 양액배합 조절</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양소(원소) 단일, 이중측정</li> <li>· 정밀 펄스 방식으로 원수에 양액을 주입</li> <li>· 가압라인방식</li> </ul>

<국내 경쟁사>

	개발품	신한 에이텍	동우	우성하이텍
모 델	청오 양액시스템	Aqua	D-3700	인젝션 마스터
가 격	12,000,000 원 (양액기+UV살균기)	11,000,000원	10,500,000원	12,000,000원
살 균 방 식	· UV 살균 방식 (5Ton/hr, 99%살균)	-	-	UV 살균 방식 (옵션)
특 징	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 양액재활용</li> <li>· UV살균</li> <li>· EC,pH,N,K 등 양액 농도측정</li> <li>· EC,pH,N,K 등 배액 농도측정 및 보정</li> <li>· ICT 정보 와 연계</li> <li>· 24구역공급 및 7개 액비제어</li> <li>· 모바일 원격제어</li> <li>· 경보문자 발송</li> <li>· 공급 및 환경정보 트렌드 확인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양분 단일측정</li> <li>· 6개 그룹으로 독립적인 제어 가능(6종류의 작물재배)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양분 단일, 이중측정</li> <li>· 벤추리 독립 순환 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· EC, pH, 영양분</li> <li>· 벤추리 독립 순환 방식</li> <li>· 환경제어시스템과 연동하여 온·습도, 시간별 양액 공급 주기 자동 제어함</li> </ul>



## 나. 양액시스템 기술적 차별성

### ○ 제어

- ① 일사/강우/온도/습도/토양함수율 등의 환경정보를 이용하여 수분부족량을 산출하고 현재 상황에 맞도록 공급스케줄에서 설정된 공급량과 공급시간을 조절하는 기능 .
- ② 일출시간에 의한 공급스케줄을 설정기능.
- ③ 배출양액을 살균하고 설정비율로 원수와 희석하여 재공급하는 기능.

### ○ 설정 편의성

- ① 하나의 스케줄로 일사량과 강우, 배지함수량 등 환경요인을 반영하여 공급량 조절함.
- ② 하나의 스케줄로 여러 구역을 공급할 수 있고 각 구역마다 다른 스케줄로 공급 가능함.
- ③ 터치스크린을 채용하여 입력이 쉽고 스크롤 휠로 설정값을 입력하여 오 입력을 방지함.
- ④ 설정된 스케줄을 저장하여 다음 재배에 호출하여 사용 가능함.
- ⑤ 사용하는 스케줄과 사용하지 않는 스케줄이 자동으로 분리되고 시간입력에 따른 정렬이 이루어짐.
- ⑥ 설정스케줄 예약기능이 있어 설정일에 EC/pH/공급시간 등 세부항목의 변경이 가능함.
- ⑦ 공급스케줄 예약기능이 있어 설정일에 공급스케줄의 변경이 가능함.
- ⑧ 제어스케줄 예약기능이 있어 설정일에 시스템의 동작제어를 사전에 입력할 수 있음.
- ⑨ 공급횟수와 공급유량, 공급시간 등 공급데이터와 센서데이터를 화면으로 확인하고 백업 가능함.
- ⑩ 환경 및 동작정보를 한 화면에 배치하여 한 눈에 상태를 파악할 수 있음.
- ⑪ 공급주기일 기능이 있어 필요에 따라 공급일 조절이 가능함.
- ⑫ 공급횟수와 공급시간, 공급유량을 제한하는 기능이 제공됨.

### ○ 확장성

- ① 액비를 여러 개로 나누어 사용할 수 있으며 액비별로 비율을 조절하여 공급할 수 있음.
- ② 최대 24구역까지 공급 가능하고 7개의 액비를 제어할 수 있음.
- ③ 주 펌프와 예비 공급펌프를 제어할 수 있고 배관압력계를 사용하여 공급구역별로 토출압력을 제어할 수 있는 인버터제어 기능이 있음.
- ④ UV살균 제어 기능으로 배출된 양액의 재활용이 가능함.
- ⑤ 모바일제어 기능으로 원격으로 동작상태를 확인하고 시스템의 설정을 변경할 수 있음.

⑥ 공급양액의 산도를 자동으로 조절할 수 있도록 알칼리용액의 공급을 선택할 수 있음.

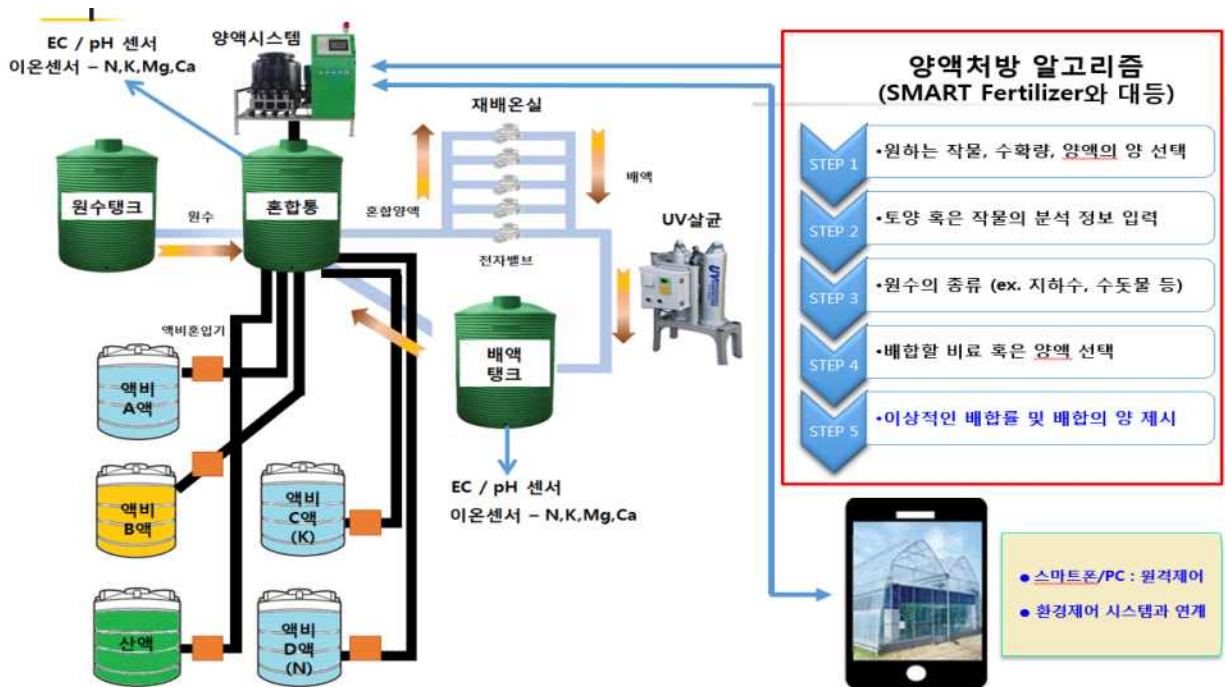
○ 연결

- ① PC와 연결하여 동작이상 시 경보 SMS 문자를 발송하는 기능이 있음.
- ② PC와 연결하여 공급정보와 환경정보의 트렌드를 지속적으로 확인할 수 있음.
- ③ 공급용 EC/pH/N//K 센서 외에 일사센서, 배관압력센서, 배출양액 EC/pH/N/K 센서, 배지함수율센서, 이온센서를 추가할 수 있음.

다. 국산화 제작

○ 국산화 제작 방향

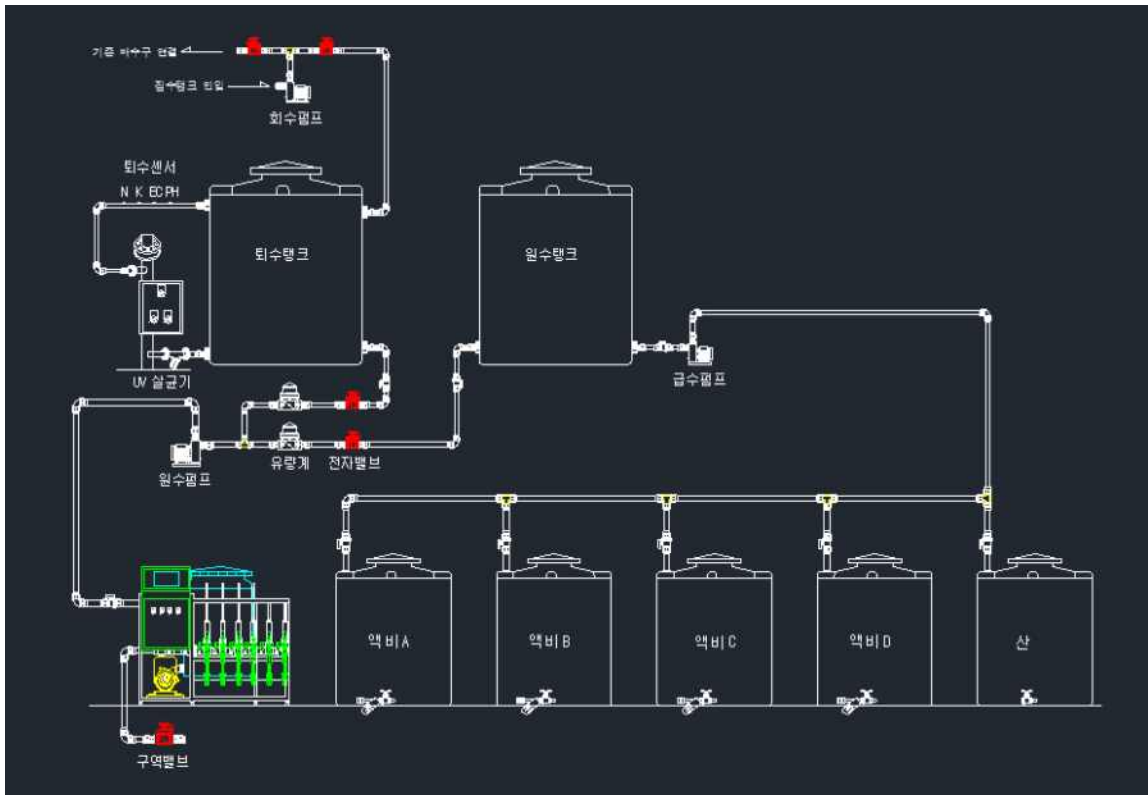
- 배액을 수집하고 이를 재활용하는 방향으로 설계되고 제작되어야 함.
- 배액의 변화된 pH, EC 및 각종 무기원소 농도를 계측하고 그 결과를 양액 조성에 반영하기 위하여 각종 계측센서의 도입이 필요함.
- 국내에서 많이 재배되는 주요 작물을 위주로 한 재배실험을 통해 공급양액과 배액의 pH, EC 및 무기이온농도의 변화를 추적하고, 변화된 결과를 배액과 새로운 양액의 혼합과정에서 반영될 수 있도록 함.
- 배액을 수집한 후 재활용하기 위해서는 배액의 이물질 제거를 위한 filtering(여과) 및 살균 과정이 포함되어야 함.



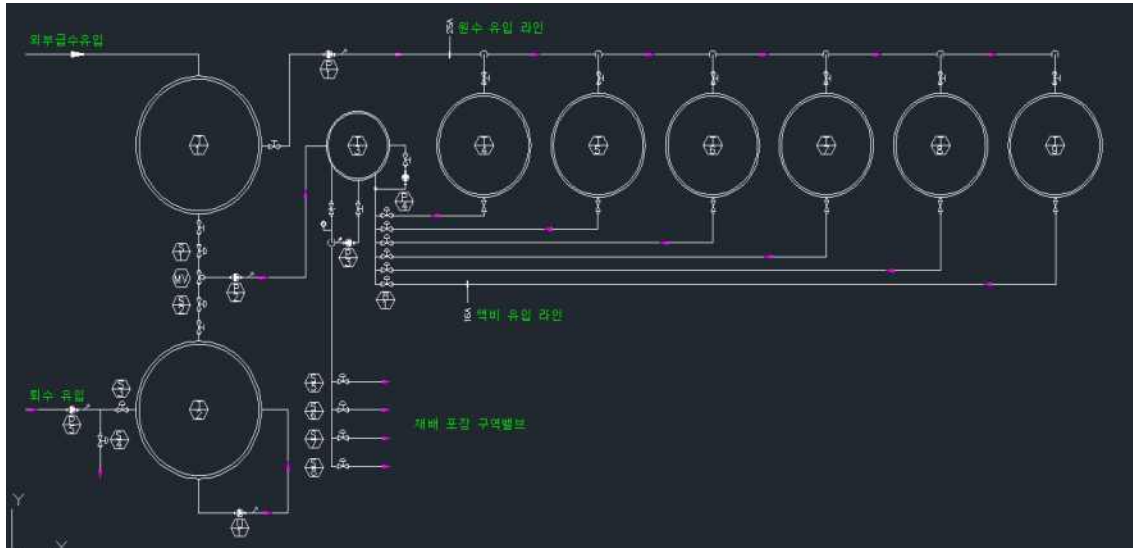
<최종 시스템 개략도>



<과채연구소 1차 시작품 >



<1차 시작품 시스템 도면>



<양액 이동로 도면>

- 메뉴체계, 입력변수, 사용자 편의성 향상
  - 기본적으로 시스템의 메인화면에 환경정보(센서값)를 표기 함.
  - 추가적인 조작법 필요 없이 공급 NO3, K, 현재 일사, EC값, 토양 온도 및 함수율을 확인 할 수 있음.
  - 당일 공급횟수, 총 공급량 등을 제공함.
  - 사용자가 변경이 되어도 지금까지의 누적량을 인지하여 통제 할 수 있음.
  - 공급중인 밸브를 표시하여 만약의 누수나 이상 발견시 빠르게 조치가 가능.



<시스템 메인화면>

\* 부여 과채연구소에서 일사량을 기준으로 ICT 양액공급시스템을 활용하고 있음.

- 추가적인 옵션 설정으로 배액의 상태를 수치화 함.
- 재활용 결정 및 살균시간을 조정하고 강우와 같은 미기상 상황에 맞추어 공급 간격을 조절 할 수 있음.

배액재활용 설정	<b>설정</b>	센서보정 (공급) (배액)	배액처리형크 살균시간	20	시간
살균원료 후 동작	<b>대기</b>	EC	0.1	0.0	ds/m
살균시작 수위	<b>중수위</b>	pH	0.0	-0.1	pH
적산일사 적용	<b>설정</b>	NO3-	-20	0	ppm
강우 적용	<b>설정</b>	K+	-50	-30	ppm
A역 사용	<b>사용</b>	일사량		-20	W/m <sup>2</sup>
B역 사용	<b>사용</b>	토양온도		-1.0	°C
C역 사용	<b>살균연개 해제</b>	토양함수율		-2	%
D역 사용	<b>살균연개 해제</b>	적산일사량에 따른 EC조정	<b>설정</b>		
E역 사용	<b>살균무관 해제</b>	공급 전	10		분간 적산일사량기준
F역 사용	<b>살균무관 해제</b>	흐린 날	50		μ/m <sup>2</sup> 이하시 적용
산용액 사용	<b>사용</b>	맑은 날	150		μ/m <sup>2</sup> 이상시 적용
알칼리용액 사용	<b>사용</b>	적용시간	10:00	~	15:00
역비교반기 사용	<b>해제</b>	적산일사	6		μ/m <sup>2</sup> (EC조정)

적용/사용 설정은 공급밸브와 스케줄 설정보다 우선하여 적용됩니다.	시스템 시간	변경	2016년 10월 10일 8시 47분 53초 1	교원
--------------------------------------	--------	----	----------------------------	----

시스템	환경설정	공급밸브	공급스케줄	공급데이터	공급정보	센서데이터
-----	------	------	-------	-------	------	-------

<추가 옵션 설정모드>

- 총 20개의 스케줄을 설정 할 수 있으며 동시에 총 10개의 스케줄을 가동 시킬 수 있음.
- 공급밸브(구역), 필요 양액성분, 시간, 횟수, 유량 등을 조절 할 수 있음.
- 각 파트별 시작시간 및 종료시간 그리고 필요 양액을 설정할 수 있어 한 개의 기기로 각 작물별 양액을 공급함.

09:32														공급밸브(구역) 설정				그리드 확대	
공급 설정	공급 밸브 지정	스케줄 지정	공급 주기 (일)	등시 밸브 #1	등시 밸브 #2	밸브 지연 (초)	C역 설정 (%)	D역 설정 (%)	E역 설정 (%)	F역 설정 (%)	Alkali 설정	공급 횟수 제한	시간 제한 (분)	유량 제한 (ton)	흐린날 EC (+)	맑은날 EC (-)			
1	<input checked="" type="checkbox"/> 밸브01	5.20	1	V.05	V.06	2	없음	없음	없음	없음	□	없음	없음	없음	+0.2	-0.2			
2	<input type="checkbox"/> 밸브02	5.01	1	없음	없음	2	없음	없음	없음	없음	□	12	30	0.7	+0.2	-0.2			
3	<input type="checkbox"/> 밸브03	5.02	1	없음	없음	2	없음	없음	없음	없음	□	12	30	0.7	+0.2	-0.2			
4	<input type="checkbox"/> 밸브04	5.03	1	없음	없음	2	없음	없음	없음	없음	□	12	30	0.7	+0.2	-0.2			

밸브(구역) 공급설정 및 할리력										공급밸브 추가		밸브설정 삭제		
밸브 21	공급	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	공급밸브 수정	밸브설정 저장		
밸브 22	공급	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	선택 수동공급			
밸브 23	공급	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지				
밸브 24	공급	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지	정지				
밸브 01	스케줄 지정	공급주기 (#1)	등시밸브 #1	등시밸브 #2	밸브지연 연영량	C역 설정	D역 설정	E역 설정	F역 설정	공급횟수 제한	공급시간 제한	공급유량 제한	흐린날 EC	맑은날 EC
밸브 02	5.18	9	V.03	V.04	60	95	95	95	95	48	115	1.9	+0.0	-0.0
밸브 03	5.19	10	V.04	V.05	연용	100	100	100	100	50	120	2.0	+0.1	-0.1
밸브 04	5.20	1	V.05	V.06	2	없음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	+0.2	-0.2
밸브 05	5.01	2	V.06	V.07	4	5	5	5	5	2	5	0.1	+0.3	-0.3
밸브 05	5.02	3	V.07	V.08	6	10	10	10	10	4	10	0.2	+0.4	-0.4

시스템	환경설정	공급밸브	공급스케줄	공급데이터	공급정보	센서데이터
-----	------	------	-------	-------	------	-------

<공급밸브별 설정 화면>

09:32		보통시 - 복합 공급스케줄 설정														그리드 축소				
사용 설정	공급 트리거 방식	작업 시작 시각	시간 유량 선택	공급 시간 분	공급 유량 (L)	공급 간격 시 분	적용 EC 설정	적용 pH 설정	적용 EC 설정	적용 pH 설정	배액 적용 설정	배액 적용 (%)	적산 일사량 (J/m <sup>2</sup> )	적산 일사량 (J/m <sup>2</sup> )	원수 유량 (%)	원수 유량 (%)	강우 적용 설정 (%)	강우 적용 (%)	최소 간격 시 분	최대 간격 시 분
<input checked="" type="checkbox"/>	시간간격	08:45	시간	2:00	150	1:00	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	20	1:00	2:00
<input checked="" type="checkbox"/>	시간간격	10:30	시간	2:00	150	1:30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1:00	2:00
<input checked="" type="checkbox"/>	시간간격	13:00	시간	2:30	150	1:30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input checked="" type="checkbox"/>	0	1:00	2:00
<input checked="" type="checkbox"/>	시간간격	16:55	시간	2:00	150	1:30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input checked="" type="checkbox"/>	30	<input checked="" type="checkbox"/>	140	<input checked="" type="checkbox"/>	30	<input checked="" type="checkbox"/>	20	1:00	2:00
<input checked="" type="checkbox"/>	공급종류	17:40	시간	2:00	000	1:30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	0:00	0:00
<input type="checkbox"/>	시간간격	11:30	시간	2:00	000	1:30	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0	<input checked="" type="checkbox"/>	5.8	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	<input type="checkbox"/>	0	0:00	0:00

<시간별 설정 화면>

09:40		센서 데이터 - 2016년 10월 10일 (Monday)											
저장 시각 (시 분)	공급 EC (ds/m)	공급 pH (pH)	공급 NO3- (ppm)	공급 K+ (ppm)	배액 EC (ds/m)	배액 pH (pH)	배액 NO3- (ppm)	배액 K+ (ppm)	배지 온도 (°C)	배지 함수율 (%)	순간 일사량 (W/m <sup>2</sup> )	적산 일사량 (J/m <sup>2</sup> )	강우
1 09:40	1.9	5.9	1105	0912	0.8	6.6	0937	0870	30.0	050	0110	0035	<input type="checkbox"/>

<10분마다 센서데이터가 저장되어 시간별 공급량을 확인>

○ 비상시 대처방안 수립

- 설정 EC/pH 이탈 공급 경보 - 경보시에도 공급 진행, 이탈시 바로 경보
- → 확인사항 : 액비, 산용액 탱크나 공급라인 파손, 액비/산용액 솔레노이드밸브 등 확인
- 원수 저수위 경보 - 30분 저수위 지속시
- → 확인사항 : 원수탱크 공급 펌프 확인
- 원수 공급 이상 경보 - 공급시 유량계 동작신호가 입력되지 않을 경우 경보

- → 확인사항 : 원수공급펌프나 원수공급라인, 판넬M/C 등
- 이온센서 설정 범위 이탈 경보



<양액제어기 정상동작 화면>

○ ICT를 활용하여 시설 내 복합환경시스템 구성

- ICT 기술 + 양액/환경제어시스템 : 스마트폰 및 PC 원격모니터링으로 최소 설정 값으로 환경제어가 가능함.

**smartmon v1.0 16:17**  
일출시각 06:45

**[환경정보]**  
 공급 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 1105 ppm  
 K<sup>+</sup> 912 ppm  
 배액 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 937 ppm  
 K<sup>+</sup> 870 ppm  
 현재일사 110 W/m<sup>2</sup>  
 적산일사 622 J/cm<sup>2</sup>  
 EC조절 6 J/cm<sup>2</sup>  
 토양온도 29.0 ℃  
 토양습수율 48 %

**[공급정보]**  
 공급횟수 15 회  
 금일관수량 0.0 ton  
 총관수횟수 19 회  
 총관수량 1 ton  
 경과일 3 일  
 시작일 2016-10-06  
 리셋버튼 [SHOW]

**[공급상태]**  
 공급구역 V.01  
 지정스케줄 S.20  
 동시밸브#1 V.05

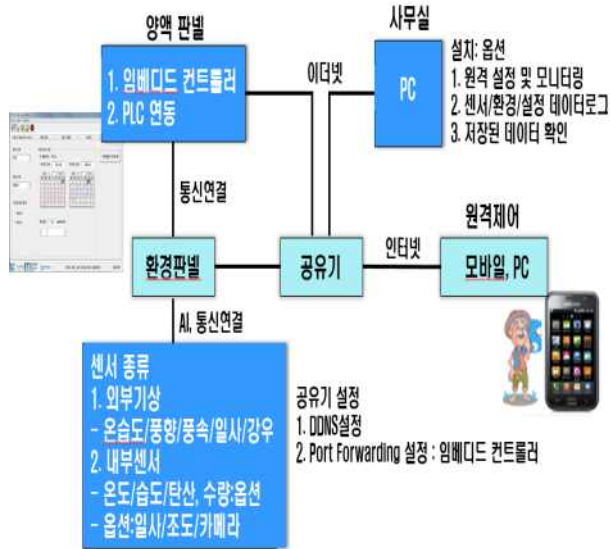
**현재 1.9 EC 5.9 현재**  
**설정 0.0 dS/m 0.0 설정**  
**공급 0.0 pH 0.0 공급**

**이상경보**  
 \* 발생일시 : 2016년 10월 08일 08시 30분 15초  
 \* 이상내용 : 설정 pH보다 0.5 초과 10초 이상 공급 상태

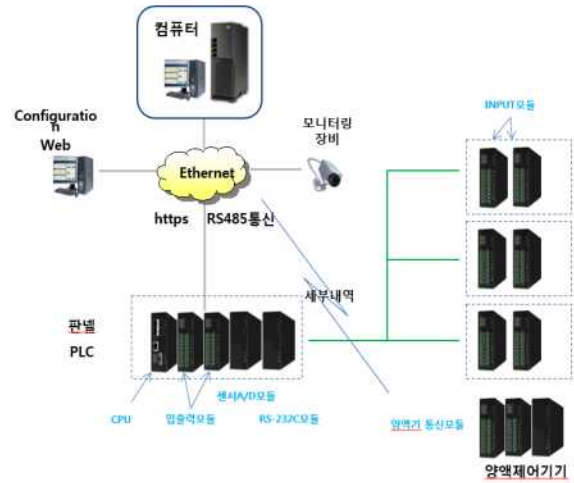
**EC / pH** (Graph showing trends from 03:05 to 03:30)

**시스템** | 환경설정 | 공급밸브 | 공급스케줄 | 공급데이터 | 공급정보 | 센서데이터

<양액제어기 비상 상황 발생시 경보메세지 발생화면>

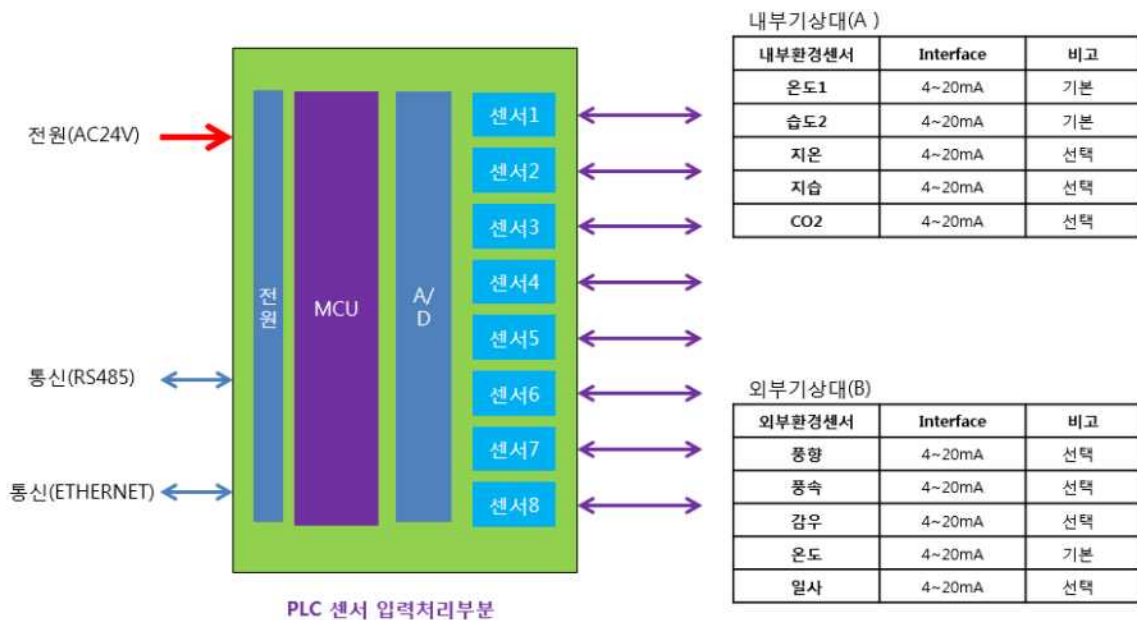


<온실 환경제어 개략도>



<복합환경제어 시스템 구성도>

- 외부기상대(온습도/풍향, 일사, 강우), 구동기, 제어기 등의 장비로 정보를 수집하고 스마트폰 또는 PC로 이상 유무를 실시간으로 파악하여 임베디드의 컨트롤러를 통해 함.
- 온실 이상 상태발생시 사용자에게 문자발송 및 유지보수(관제센터)자에게 알람을 발송하여 즉각 조치 가능함.

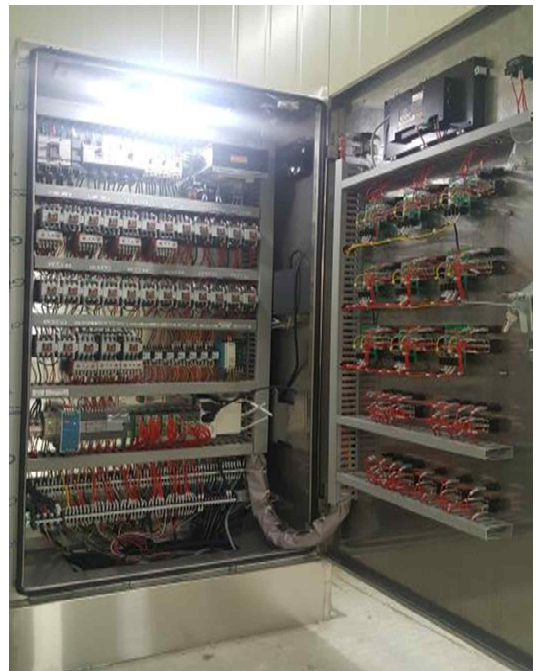


<내·외부 기상대 센서와 PLC센서 입력 처리>





<환경 제어용 외부기상대>



<환경 제어용 컨트롤러>

○ 양액 및 배양액 센싱 (EC, pH, N, K 센서)

- 작물의 생장에 필요한 양액과 배양액 성분을 파악하고 보정하기 위하여 양액라인과 배액통에 각 성분별 센서를 설치하여 각각의 성분을 실시간으로 센싱하였음.



질산센서	
제조사 (모델)	Vernier (N-BTA)
사양	· 측정 범위 : 0.1 ~ 14,000 mg/L · 오차 : ±10%
특징	· mg/L 또는 ppm 단위로 암모늄 이온의 농도를 측정



칼륨센서	
제조사 (모델)	Vernier (K-BTA)
사양	· 측정 범위 : 90 ~ 39,000 mg/L · pH 범위 : 2-12
특징	· mg/L 또는 ppm 단위로 칼륨 이온(K+)의 농도를 측정



pH센서	
제조사 (모델)	Dongdo P/T
사양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 측정 범위 : 0~14.0 pH</li> <li>· INPUT : pH전극</li> <li>· OUTPUT : 4~20 mA/DC</li> <li>· Power : AC220 V, 50/60 Hz</li> </ul>



EC센서	
제조사 (모델)	Dongdo P/T
사양	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 측정 범위 : 0~5.0 ms/cm</li> <li>· INPUT : EC전극</li> <li>· OUTPUT : 4~20 mA/DC</li> <li>· Power : AC220 V, 50/60 Hz</li> </ul>

- 센서 사양

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 센서	K <sup>+</sup> 센서	PH 센서	EC 센서
제조사	Vernier (N-BTA)	vernier (K-BTA)	Dongdo P/T	Dongdo P/T
측정 범위	0.1 ~ 14,000 mg/L	90 ~ 39,000 mg/L	0~14.0 pH	0~5.0 ms/cm
정밀도	± 10%	± 16%	± 0.5%	± 1%
입력	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 전극	K <sup>+</sup> 전극	PH 전극	EC 전극
출력	4~20 mA/DC	4~20 mA/DC	4~20 mA/DC	4~20 mA/DC
사양	mg/L 또는 ppm 단위로 암모늄 이온의 농도를 측정	mg/L 또는 ppm 단위로 칼륨이온의 농도를 측정	Power : AC220V, 50/60 Hz	Power : AC220V, 50/60 Hz

\* 양액시스템기에 장착되어 있는 EC, PH, N, K 센서에 대하여 1개월 단위로 주기적으로 센서의 세척 및 상태를 점검하여 안전성과 내구성을 확보하겠습니다.





<배합통에 각 센서를 설치하여 EC 및 각 성분조성>



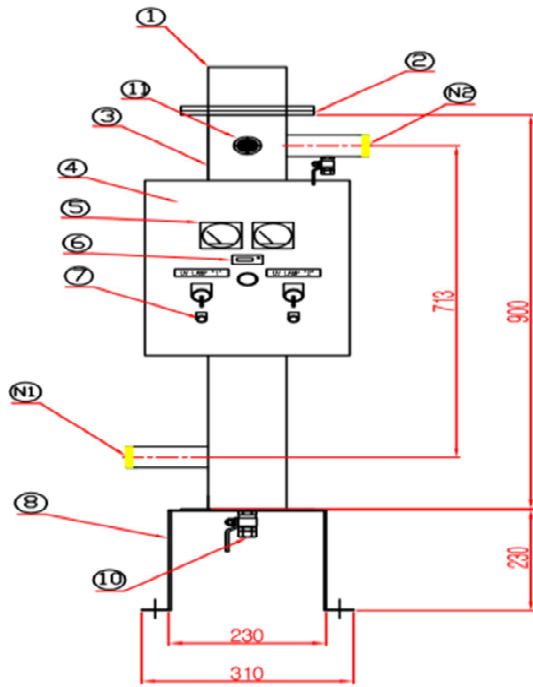
<배액측정 센서로 EC 및 각 성분측정 후 필요 성분 추가 배합>

○ 순환식 UV살균기를 이용한 양액 살균.

- 유스형(관로형)자외선 살균장치로 자외선램프를 관로에 설치.
- 사멸시 잔유물이나 2차 부유물을 남기지 않음.
- 세균과 바이러스 살균기능.
- 양액의 pH, EC에 영향을 주지 않아 양액 재활용에 가장 적합함.
- 재활용 된 배액을 1회성이 아닌 지속적으로 순환 살균함.

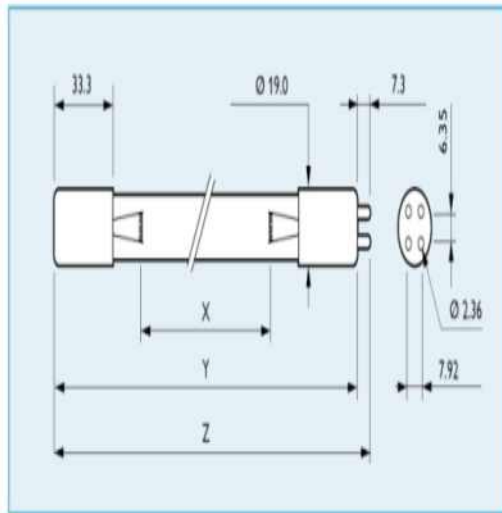


<순환식 자외선 UV 살균장치>



NO.	품명
1	CAP
2	CHAMBER CLAMP
3	CHAMBER
4	CONTROL PANER
5	HOUR METER
6	SELECTOR SWITCH
7	INDICATOR LAMP
8	STAND
9	SAMPLE VALVE
10	DRAIN VALVE
11	SIGHT GLASS
N1	WATER INLET
N2	WATER OUTLET

<순환식 자외선 UV 살균장치 설계도>



TYPE	X	Y	Z
TUV 36T5 HO 4P	762	842.4±3.0	849.5±3.5



<순환식 자외선 UV 살균램프>



<베드 관로를 통한 양액 공급>



<사용 배액 포집통>





<모터펌프 및 필터링을 통하여 배액 재활용통으로 이송>



<양액 재활용통 내부 배액을 UV 살균기로 지속적인 살균>

○ 정밀도, 응답성 평가

- 온실에 직접 시스템을 설치하여 (딸기, 토마토) 반복 실험 및 여러 조건하에서 내구성, 인위적 상황을 발생시켜 시스템 안정성 및 정밀도 등을 평가함.



<실 장비 가동을 통한 양액재배 모습 : 딸기>



<실 장비 가동을 통한 양액재배 모습 : 토마토>

## 2. 통합시스템현장실증 및 환경제어시스템과 통합

### 가. 양액제어시스템 현장실증

#### ○ 과채연구소와 협동으로 현장실증(토마토, 딸기)

- 과채연구소 1차, 2차 설치 진행하였으며 배액 30% 재활용하여 실험 진행하였음.
- 1차 양액기는 N, K 이온 농도를 조절하여 배액을 재활용하였고, 2차 양액기는 N, K 농도와 무관하게 일률적으로 배액 30%를 재활용하였음.

공급펌프	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 입형 다단(SUS)펌프(3HP,5HP,7HP 선택)</li> <li>· 신뢰할 수 있는 제품 채택으로 전국 어디서나 신속한 A/S망 이용 가능</li> </ul>
액비 혼입기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정 밸브를 이용한 유입량 제어(최대 8,000cc/분)</li> <li>· 기본: 액비A, 액비B, 산, NO<sub>3</sub>, K (예비라인)</li> <li>· 증설: 최대 20개 라인 증설가능(옵션)</li> </ul>
제어 입력부	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PLC 제어방 식물 채택하여 국내 및 국외 제어프로그램과 연동제어 및 호환이 용이함.</li> <li>· 대형 컬러 10인치 LCD화면</li> <li>· 터치스크린을 이용한 원터치 입력(각 구역별, 각 밸브별 스케줄 설정 및 액비혼입 세분화)</li> <li>· 환경정보, 공급정보, 공급상태 및 공급 데이터 상태 모니터링</li> </ul>
제어 주요기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 각 구역별, 시간대별 EC/pH 값을 설정 가능하여 작물 재배환경 최적화</li> <li>· 예비 액비나 특성이 다른 액비를 최대 4개까지 설정 가능함.</li> <li>· 유량계에 의한 정량공급 및 시간에 의한 관수가 모두 가능함.</li> <li>· 다양한 공급트리거 프로그램채택             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시간표에 의한 공급/일사량에 의한 공급/지정시간에 의한 공급, 함 수율에 의한 공급</li> </ul> </li> <li>· 설정값 보호를 위한 비밀번호 기능</li> <li>· 비상시 급수를 위한 수동 일회 공급기능</li> <li>· 화면 보호를 위한 절전모드 기능</li> <li>· 자동 압력 조절장치로 전구역 정압 공급(틸리프 밸브)</li> <li>· 퇴수 재활용(배액상태, 회수, 살균 공급)</li> </ul>
데이터 저장기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 간편한 이동식 디스크(USB)를 이용한 데이터 백업 기능</li> <li>· 각종센서(EC/pH)값 및 공급유량, 시간 등 각종 스케줄에 의한 작물재배에 관한 데이터 저장</li> <li>· 시간주기(10분), 공급(EC, pH, NO<sub>3</sub>, K, 배지온도, 순간일사량, 적산일사량, 강우)데이터 저장</li> </ul>

<개발 양액기 기능 및 사양>



<과채연구소 1차 설치 양액기>



<과채연구소 2차 설치 양액기>



<과채연구소 양액기 설치 현황>

- 1차 설치 양액기의 낙뢰나 외부 Noise에 의한 전원 차단 또는 오작동 방지를 위해 서지보호기를 추가하였음.



<양액기의 서지보호기 추가설치>

- 액량이 적은 환경 및 미세조정을 위하여 기존 유량계 단위를 10L/pulse에서 1L/pulse 감지가 가능한 유량계로 변경하였음.



<변경 전(10L/pulse)>



<변경 후(1L/pulse)>

- 순환식 살균기에서 용량 부족 및 부유물 흡착으로 인한 문제점이 발생함.
- 순환식 살균기 사용 시 배액 병원균 실험을 통하여 CAPA 부족으로 인하여 살균력이 떨어짐을 확인하였음.



<순환식 UV 살균기 살균 전 배액>



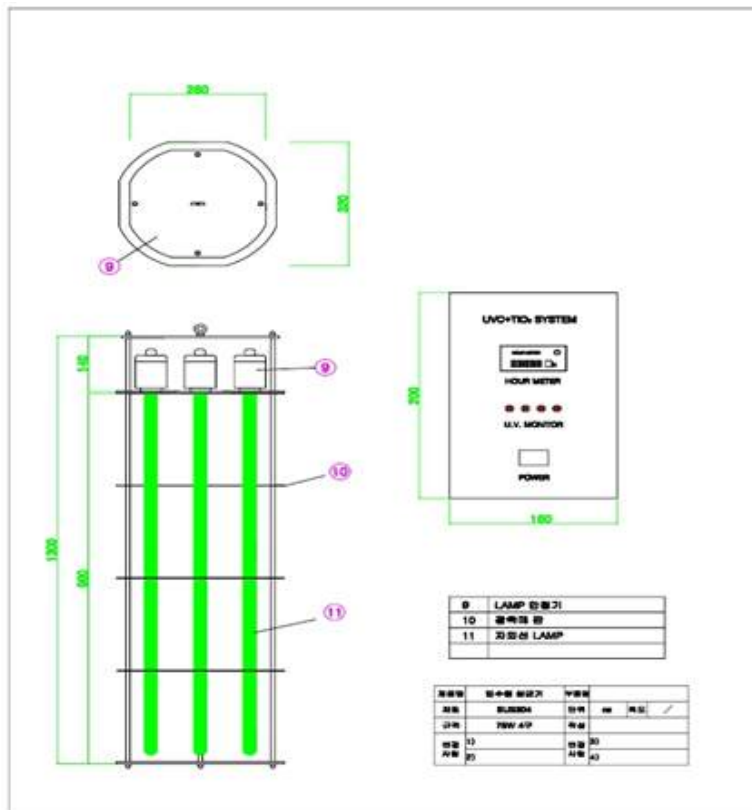
<순환식 UV 살균기 살균 후 배액>

- 순환식 UV 살균기 살균력 : 약 80%

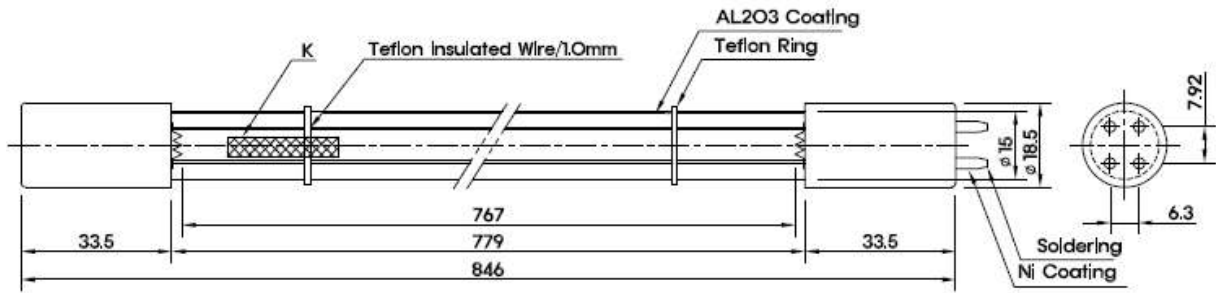


<입수식 UV 살균기>

- 입수식 UV 살균기로 용량 및 살균력을 개선.
- 기존 75W 램프 2개에서 90W용 램프 4개로 용량을 증가함.
- 입수형 UV 살균기 설치 후 실험을 통하여 살균력이 개선되었음을 확인함.
- 램프관 오염 방지 및 배액의 지속적인 살균력과 안전성을 위하여 월 1회 램프세척을 권고함



<입수식 UV 살균기 설계도>



DETAIL - K

NOTES: 1

- 1.Lamp Wattage .....90W
- 2.Lamp Current.....0.80A
- 3.Wave Length.....253.7nm
- 4.UV Output......29W
- 5.Useful Life......13,000Hrs

UVNATURE CO.,LTD  
 GPH846T5L / HO LL  
 Dangerous for skin and eyes

NOTES ; 2

- 1, Quarty purty.....2PPM)

REVISIONS			TITLE	
CODE	DESCRIPTION	DATE	SCALE	DRAWN
UVN080	QUARTZ GL. LAMP	2010.4	NONE	
			DATE	
			2010.4	
				UVNATURE

<UV 램프 사양>



<입수식 UV 살균기 배액통 내부에 설치>

	실험 1	실험 2	실험 3	평균
살균전 배액 병원균 정도	58	73	88	73
살균 후 배액 병원균 정도	2	15	3	6.7

<입수식 UV 살균기 실험 결과>

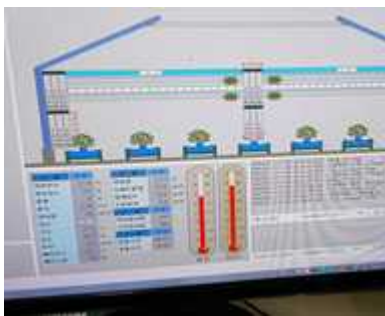


<입수식 UV 살균기 살균 전 배액>



<입수식 UV 살균기 살균 후 배액>

- 입수식 UV 살균기의 일반 세균에 대한 살균력은 순환식 UV 살균기 보다 높은 91%로 나타났으나 UV 램프의 수명을 구명하기 위하여 추가적인 연구를 지속적으로 진행함.
- 환경제어시스템의 실내 백엽상 내 내부온도가 시스템상에 표기된 온도보다 높아 이를 보정하기 위해 백엽상 내에 팬을 설치하여 온도편차를 2℃ 이내로 맞춤.



<실제 온도보다 온도가 높게 측정됨>



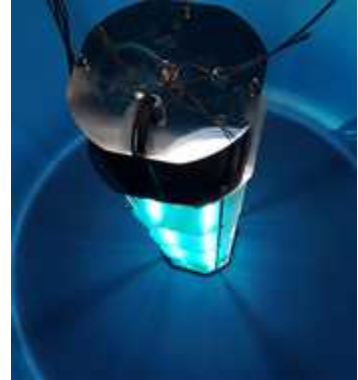
<실제 백엽상 내의 온도>



<백엽상내에 팬 설치>

- 개발품 현장 실증을 위해 추가로 농가 및 사내온실에 시작품을 설치하여 현장실증 중임.
- 양액기에 설치되어 있는 EC 및 pH 센서 정확도 정도를 비교하기 위하여 농가에 설치되어 있는 양액기와 휴대용 센서 및 딸기시험장 내 센서를 이용해 측정 후 측정값을 비교하고 있음.





<농가 양액기(논산) 설치 현황>



<사내온실 양액기 설치 현황>

날짜	온도 (°C)	습도 (%)	양액기 (컨트롤박스)				휴대용 센서				과채연구소 센서			
			혼합액		배액		혼합액		배액		혼합액		배액	
			EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH
2017.09.05	32	53.1	0.75	6.52	0.32	7.15	0.73	6.45	0.55	7.39	0.72	5.88	0.68	6.89
2017.09.12	28.9	58.2	0.77	6.66	0.30	7.13	0.76	6.76	0.35	7.43	0.76	6.40	0.37	7.10
2017.09.19	31.4	55.6	0.79	6.62	0.31	7.12	0.81	6.79	0.34	7.58	0.87	6.21	0.40	6.96
2017.09.26	31	52.1	1.00	6.50	0.32	7.16	0.99	6.43	0.56	7.38	1.03	5.86	0.68	6.91

<농가 양액기 센서 측정 비교값>

날짜	온도 (°C)	습도 (%)	양액기 (컨트롤박스)				휴대용 센서			
			혼합액		배액		혼합액		배액	
			EC	pH	EC	pH	EC	pH	EC	pH
2017.09.11	34.8	26.3	1.25	7.01	0.21	7.97	1.27	7.21	0.24	8.12
2017.09.18	35.7	26.1	1.34	7.15	0.12	8.10	1.40	7.32	0.21	8.23
2017.09.29	34.3	27.1	1.36	7.05	0.20	8.02	1.37	7.24	0.24	8.15
2017.10.06	32.1	27.7	1.32	7.12	0.18	7.98	1.34	7.32	0.20	8.11

<사내 설치 양액기 센서 측정 비교값>

○ 전문가, 농가 초청 연시 및 설문조사

- 개발품의 보완사항 및 사용자의 선호도 조사를 위하여 설문조사를 실시함.



<설문조사지>

- 설문조사 대상은 현재 양액채배를 하고 있는 농가를 위주로 하였으며, 회사 온실 내 시작품 시연을 통하여 설문조사하였음.
- 개발품의 성능, 조작법, 가격 및 배액채순환에 대한 선호도 등을 조사하였음.
- 양액기 사용법에 대해서 조사한 결과, 작동이 단순하고 편리했으면 좋겠다는 의견을 고려하여 시안성을 높인 UI/UX를 개발하였음.
- 설문조사 결과를 토대로 개발품의 사양 및 문제점 등을 보완하는데 사용할 예정임

나. 양액제어시스템과 환경제어시스템의 통합

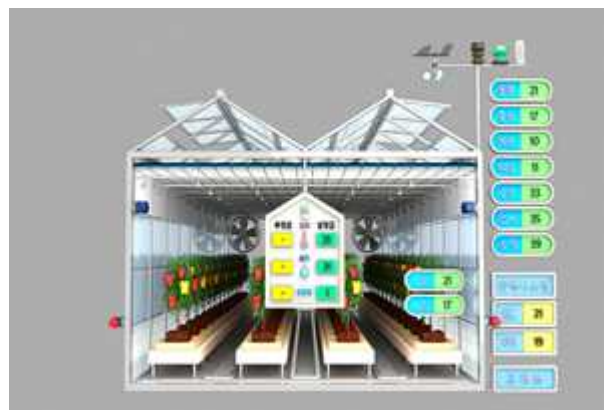
- 기존 온실 복합환경제어 시스템과 매칭: 통신, 메뉴체계 확장, 정보결합
  - 시안성 및 사용편리성을 증대하기 위해 양액 환경제어기 MAIN 화면 UI를 변경함.



<변경 전 양액 및 환경제어 통합용 UI>



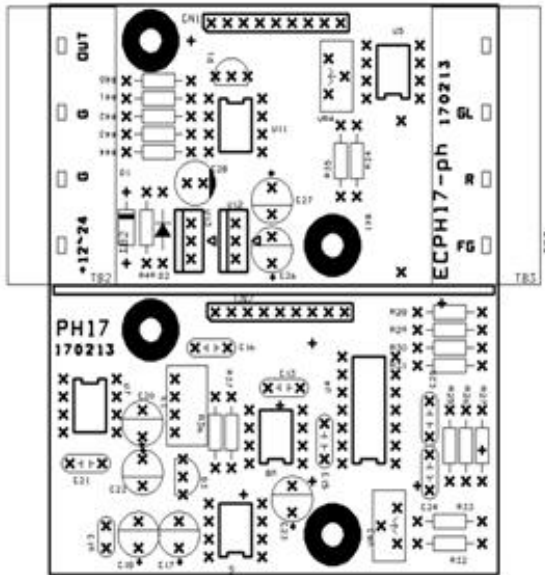
<변경 후 양액제어용 UI>



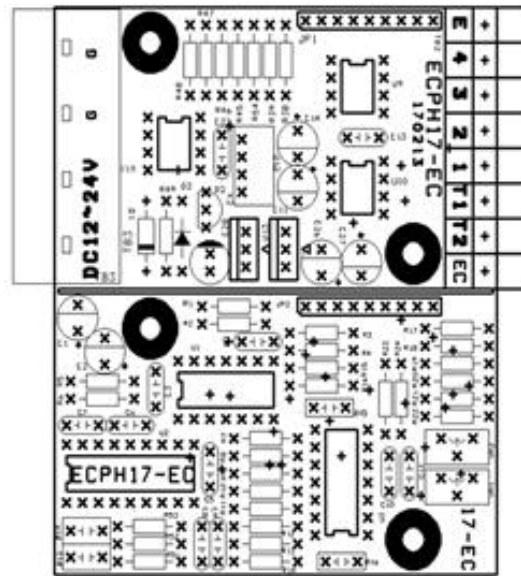
<변경 후 환경제어용 UI>

○ 양액 센서(EC, pH, N, K)용 컨버터 및 환경 제어용 컨버터 개발

- pH, EC 컨버터에서는 전원입력부, 절연전원부, 전류출력부, 센서입력부, 신호증폭부로 나누어 설계·제작하였음.

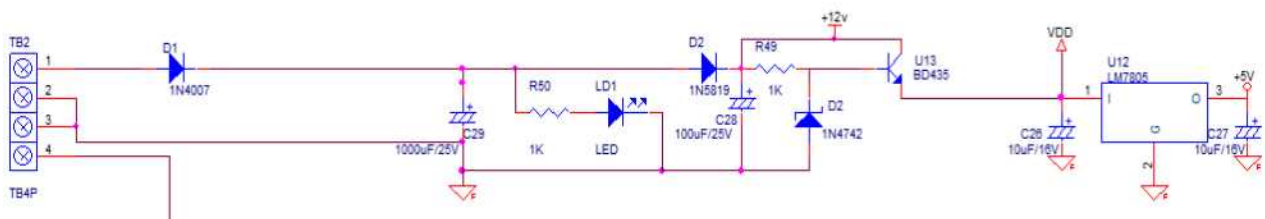


<pH 컨버터 실크스크린>



<EC 컨버터 실크스크린>

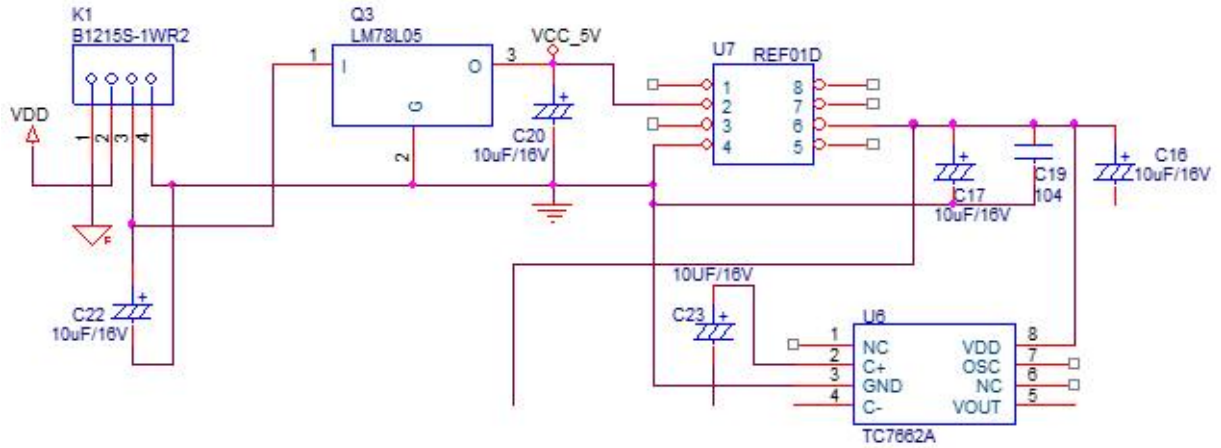
- pH컨버터



<전원입력부>

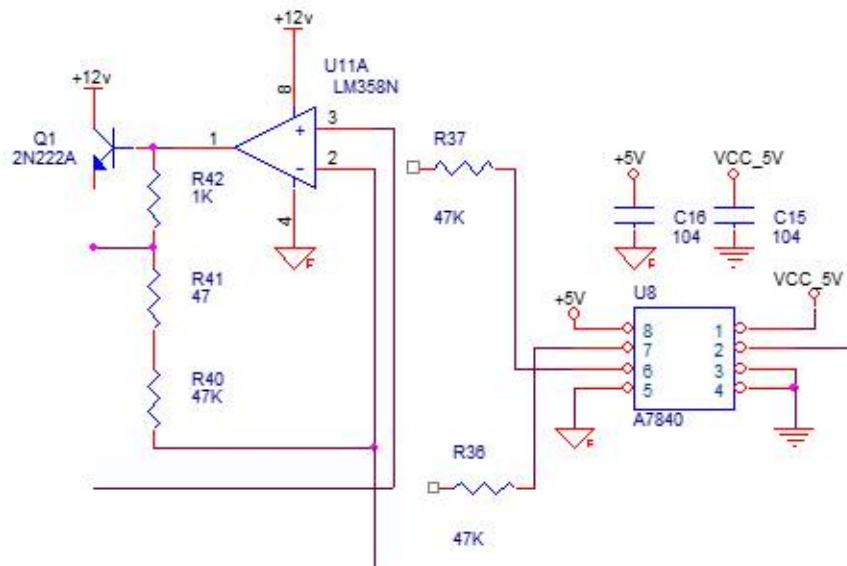
- TB2의 단자대의 1,2번으로 DC12~24V의 전압이 인가되면 역전압 방지용 다이오드 D1에 입력되고 출력전압은 평활콘덴서 C29에 유입되며 그 출력에는 전류제한 저항 R50을 거쳐 발광다이오드 LD1에 입력되어 전원이 유입됐음을 불빛으로 표시하였음. D2, C28, R49, D2, U13은 정전압 전원회로로서 U13베이스에 R49와D2

의 정전압이 인가되면 U13이미터에는 전류 증폭된 12V 출력이 나오며 C26평활 콘덴서를 거쳐 정전압IC U12에 입력되면 출력에는 안정적인 정전압DC5V가 출력 되어 아날로그 회로의 전원으로 사용됨.



<절연 전원부>

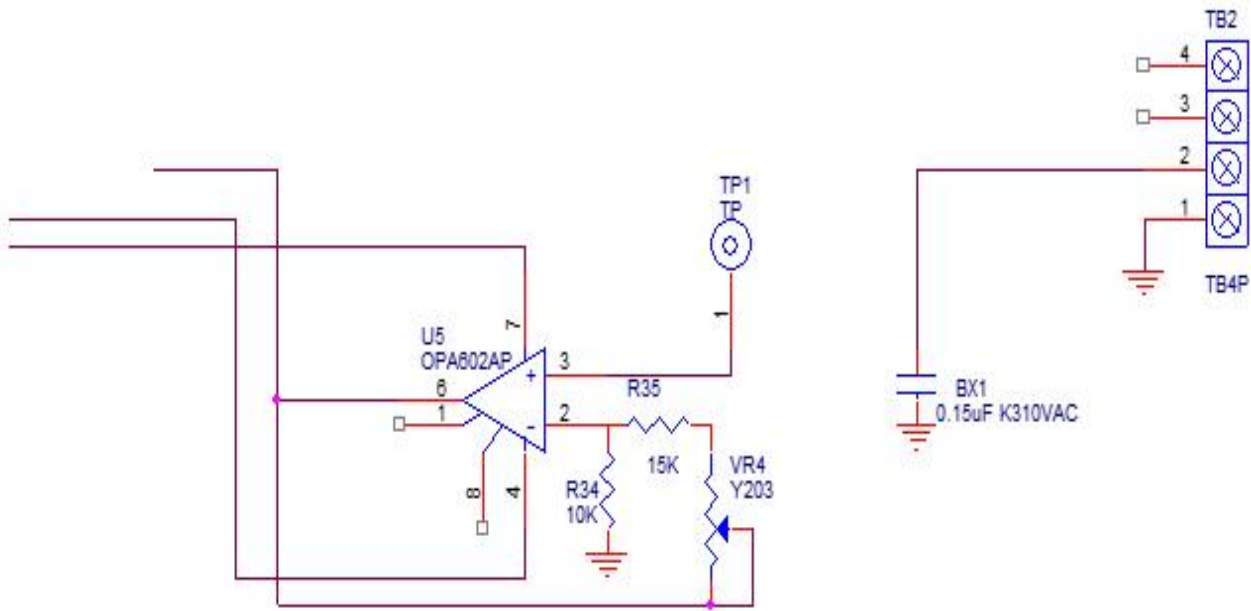
- 전원입력부의 12V가 VDD로 입력되면 1차, 2차 절연 DC-DC컨버터의 K1을 거쳐 3번으로 출력되어 평활콘덴서C22로 안정되고 그 출력이 정전압 IC Q3입력으로 인가되며 Q3출력은 정전압 DC5V가 C20에 출력 되어 고정밀도 정전압IC U7에 입력되며 U7출력에는 C17평활콘덴서 C19고주파 바이패스콘덴서로 인가됨. U6은 마이너스 전압을 만들어주는 컨버터로 V OUT에는 아날로그 AMP에서 필요한 음전원을 생성하여 출력이 이루어짐.



<전류출력부>

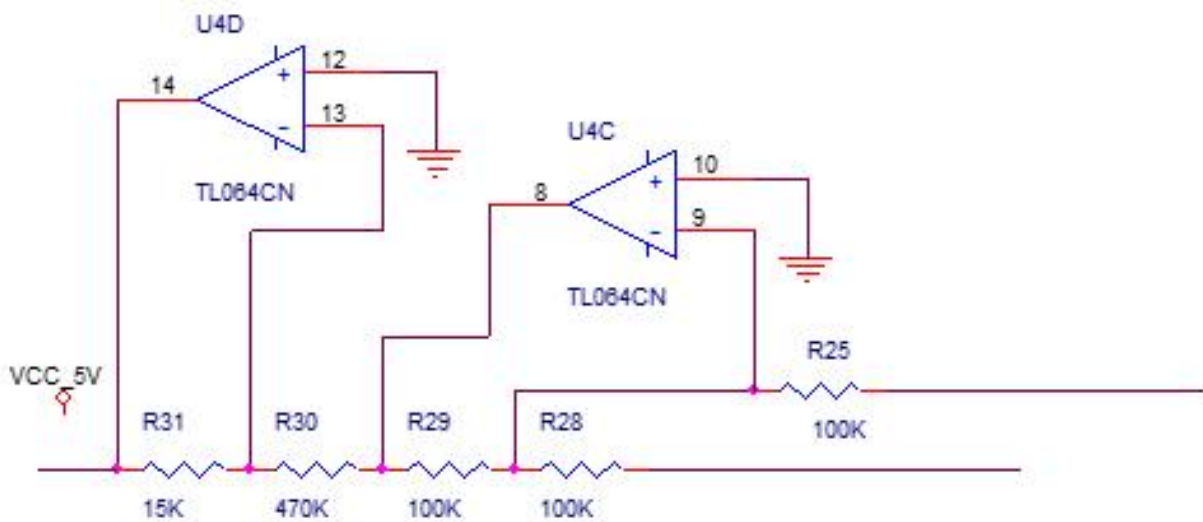
- U8은 절연전달 버퍼로 입력된 전압이 출력부에 광으로 절연되어 전달하며 광으로

출력된 전압은 R37을 거쳐 OPAMP U11A의 반전 단자에 인가되고 R36의 출력은 비반전 입력으로 인가되어 출력단에는 전류증폭소자 Q1의 베이스에 입력되고 이 미터에는 전류 증폭된 출력이 나와 되먹임 저항 R41,R40을 거쳐 U11A의 반전 입력에 되먹임 됨. C16, C15는 잡음 흡수용 바이패스 콘덴서임.



<센서 입력부>

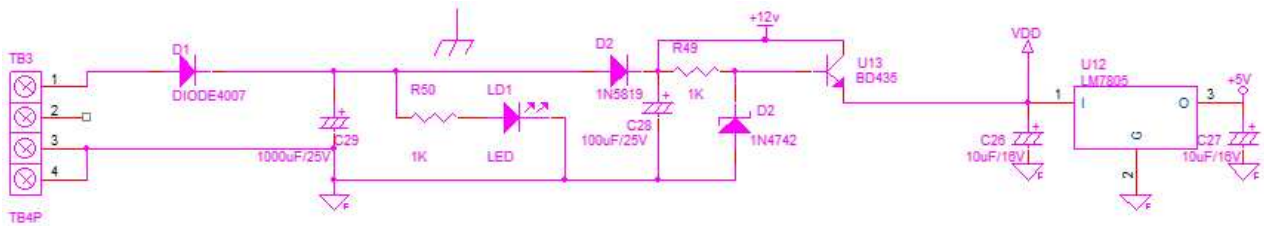
- TB2의 2번과 1번에 입력된 센서 전압은 TP1을 거쳐 저잡음 연산증폭기 U5의 비반전 단자로 입력이 이루어짐. U5의 출력에는 게환저항 VR4, R35, R34를 거쳐 반전 입력단자로 입력되어 증폭비를 결정하게 됨.



<신호 증폭부>

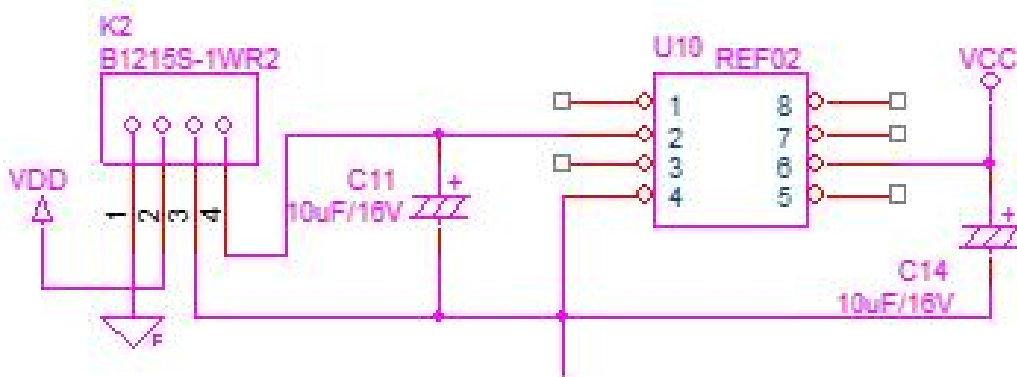
- 센서입력부에서 초단 증폭된 전압이 R25를 거쳐 U4C의 비반전 단자에 인가되면 그 출력이 궤환저항 R29, R28을 통해 되먹임 되어 2단 증폭이되고 증폭된 전압이 R30을 거쳐 U4D의 비반전 단자에 인가되면 그 출력이 궤환저항 R31, R30을 통해 되먹임 되어 3단 증폭이 되어 전류 출력부의 절연 전달 버퍼로 입력이 이루어 짐.

- EC컨버터



<전원입력부>

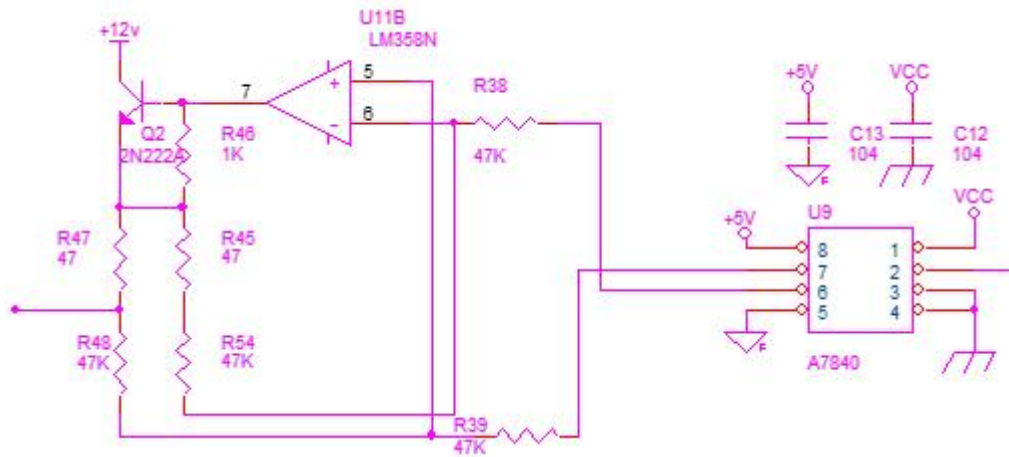
- TB3의 단자대의 1, 3, 4번으로 DC12~24V의 전압이 인가되면 역전압 방지용 다이오드 D1에 입력되고 출력전압은 평활콘덴서 C29에 유입되며 그 출력에는 전류제한저항 R50을 거쳐 발광다이오드 LD1에 입력되어 전원이 유입됐음을 불빛으로 표시하였음. D2, C28, R49, D2, U13은 정전압 전원회로로서 U13베이스에 R49와 D2의 정전압이 인가되면 U13이미터에는 전류 증폭된 12V 출력이 나옴. C26평활콘덴서를 거쳐 정전압IC U12에 입력되면 출력에는 안정적인 정전압DC5V가 출력되어 아날로그 회로의 전원으로 사용됨.



<절연 전원부>

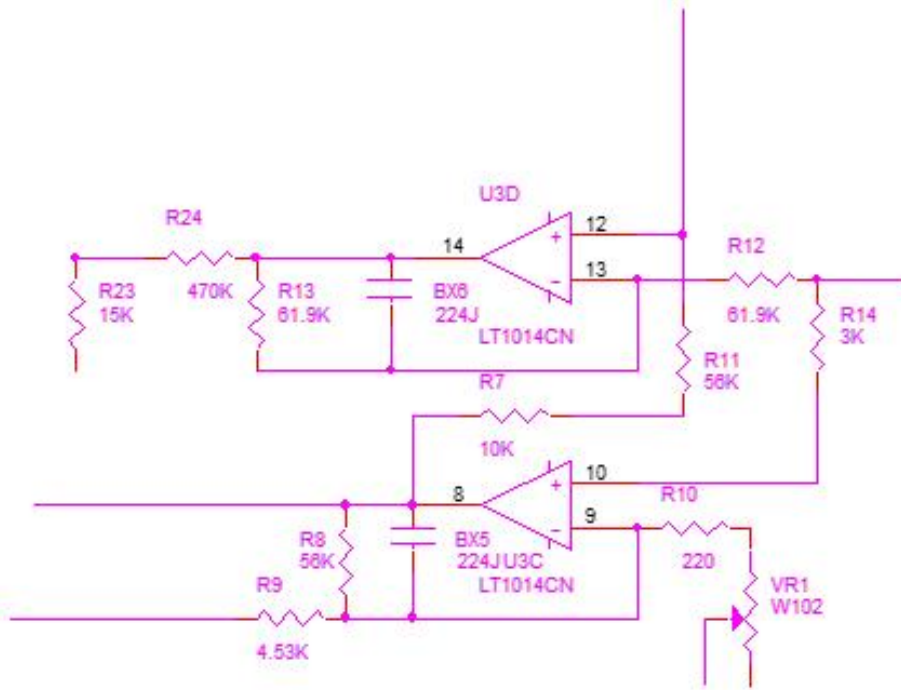
- 전원입력부의 12V가 VDD로 입력되면 1차, 2차 절연 DC-DC컨버터의 K2를 거쳐 3번으로 출력되어 평활콘덴서C11로 안정되고 그 출력이 고정밀도 정전압IC U10에 입력되며 U7출력에는 C14평활콘덴서로 병렬로 출력되어 아날로그 AMP에서 필요한 저잡음·고정밀 전원을 생성하여 출력함.





<전류출력부>

- U9는 절연전달 버퍼로 입력된 전압이 출력부에 광으로 절연되어 전달하며 광으로 출력된 전압은 R38을 거쳐 OPAMP U11B의 반전 단자에 인가되고 R39의 출력은 비반전 입력으로 인가되어 출력단에는 전류증폭소자 Q2의 베이스에 입력되고 이미터에는 전류증폭된 출력이 나와 되먹임 저항 R45, R54를 거쳐 U11B의 반전 입력에 되먹임이 이루어짐. R47, R48의 분압비로 출력되는 전류량을 검출하여 오차 증폭할 수 있게 연산증폭기의 비반전 단자에 입력되며 C13, C12는 잡음 흡수용 바이패스 콘덴서임.

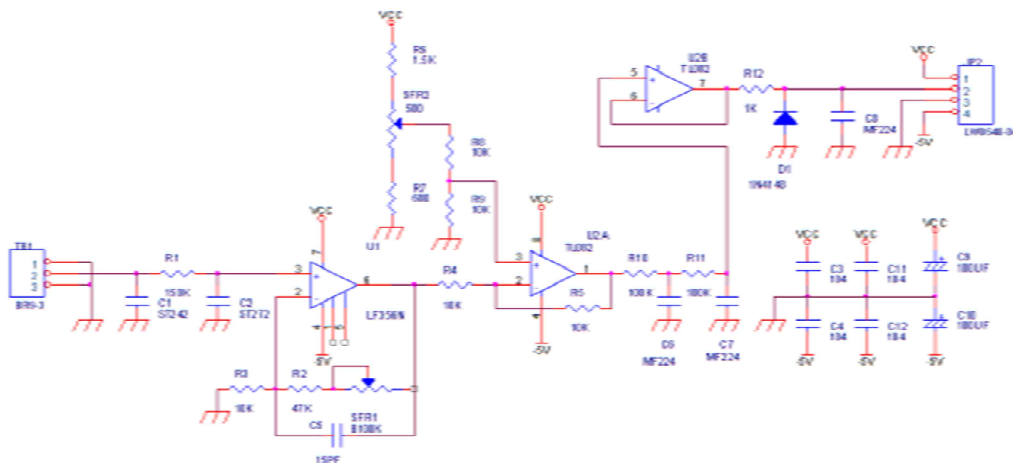


<센서 입력 및 증폭부>

- R8, R9양단에 인가된 센서 전압은 R9를 거쳐 U3C 연산증폭기 반전단자에 인가되어 출력은 다시 센서의 전극으로 출력되고 그 출력이 다시 R11을 거쳐 연산증폭기 U3D의 비반전 단자로 인가됨. U3C의 비반전 단자와 U3D의 반전단자는 각각 R14, R12를 거쳐 펄스 발생기에 펄스가 인가되며 센서에는 통상 DC전압을 인가할 경우 전극의 전기 분해로 인한 부식이 발생하므로 교류전압을 임의로 만들어서 인가하는 것이 정석임. U3D의 출력은 R13의로 궤환되어 2차 증폭하고 증폭된 출력은 R24, R23으로 분압되어 광 절연변환기 U9의 입력으로 인가가 이루어짐.

- N, K 컨버터

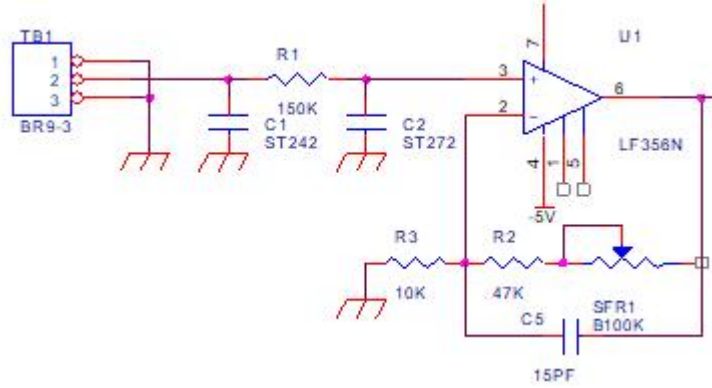
NKCONV-17.SCH



<N, K컨버터 회로도>

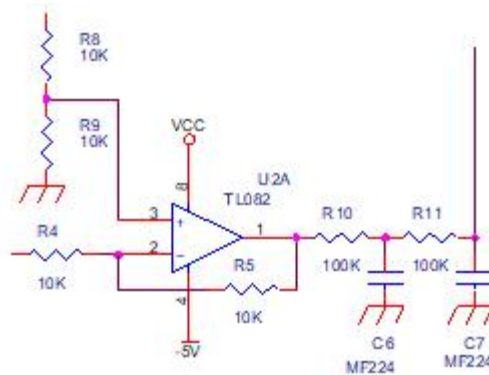
번호	수량	품명	품번	규격
1	1	스티롤콘덴서	C1	ST242
2	1	스티롤콘덴서	C2	ST272
3	4	세라믹콘덴서	C3, C4, C11, C12	104
4	1	세라믹콘덴서	C5	15PF
5	3	메탈필름콘덴서	C6, C7, C8	MF224
6	2	전해콘덴서	C9,C10	100UF
7	1	다이오드	D1	1N4148
8	1	컨넥터	JP2	LW0640-04
9	1	금속피막저항	R1	150K
10	1	금속피막저항	R2	47K
11	5	금속피막저항	R3, R4, R5, R8, R9	10K
12	1	금속피막저항	R6	1.5K
13	1	금속피막저항	R7	680
14	2	금속피막저항	R11, R10	100K
15	1	금속피막저항	R12	1K
16	1	반고정저항	SFR1	B100K
17	1	반고정저항	SFR2	500
18	1	단자대	TB1	BR9-3
19	1	IC	U1	LF356N
20	1	IC	U2	TL082

<부품 리스트>



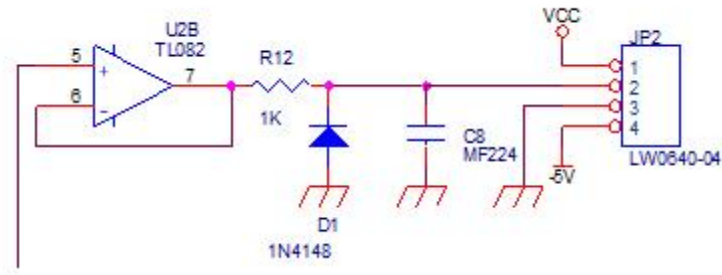
<센서 입력부>

- TB1 단자대의 1, 2번으로 N센서 및 K센서의 미소 전압이 입력되면 고 임피던스 콘덴서인 C1스티롤 콘덴서로 잡음을 흡수하고 입력저항 R1을 거쳐 2차 고입력 임피던스콘덴서 C2 스티롤 콘덴서와 RC필터 역할을 하여 잡음제거 및 흔들림을 방지하여 U1의 연산증폭기 비반전 단자에 입력됨. 연산증폭기의 출력에는 SFR1, R2, R3으로 분압하여 증폭비를 결정하고 C15로 발진을 방지하고 SFR1으로 가변을 하여 증폭비 조절함.



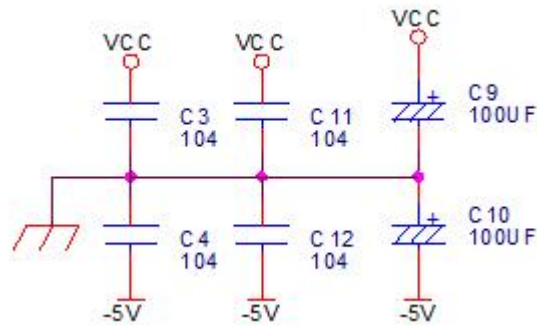
<영점 및 신호변환부>

- 센서입력부에서 증폭된 전압은 마이너스 전압이므로 R4의 입력 저항을 거쳐 U2A 연산증폭기 반전 입력단자에 인가되며 출력에는 R5가 반전입력 단자로 피드백되어 R4/R5의 비율로 반전되어 마이너스 전압이 플러스 전압으로 반전되어 출력된다. 출력된 전압은 2단 RC필터인 R10, C6, R11, C7을 거쳐 흔들림 없이 안정된 증폭 전압이 출력됨. 비반전 단자에는 R8,R9로 분압되어 인가된 전압만큼 영점 조절을 하게 됨.



<출력부>

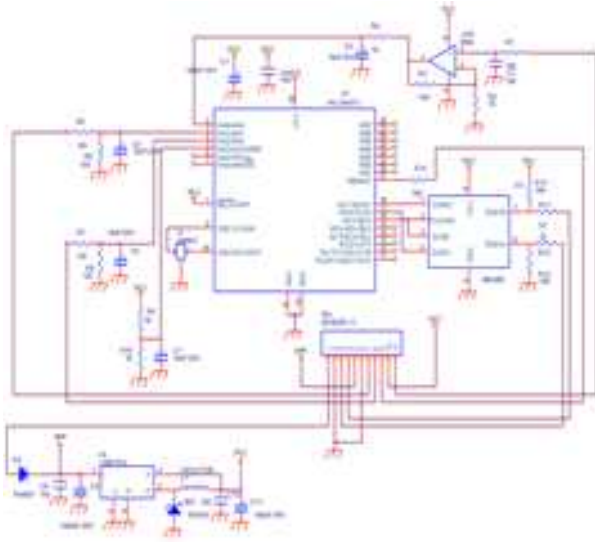
- 신호변환부에서 출력된 전압은 연산증폭기 U2B의 비반전단지에 입력되어 버퍼로 구성된 연산증폭기로 입력되며 전압이득은 1이고 전류 증폭을 하여 출력저항 R12를 거쳐 역전압 방지용 다이오드 D1을 거치고 바이패스 콘덴서 C8을 거쳐 출력됨.



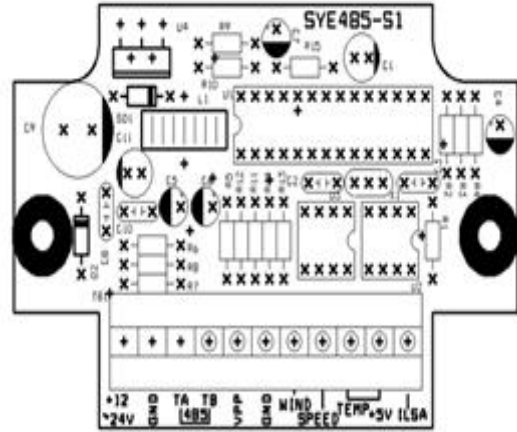
<전원부>

- 출력부의 JP2 1, 3, 4번에 입력된 전압은 양전원으로 플러스 전압과 마이너스 전압이 회로로 공급됨. 플러스에는 평활콘덴서 C9와 바이패스 콘덴서 C3, C11이 연결되고 마이너스측에는 평활콘덴서 C10과 바이패스 콘덴서 C4, C12가 연결되어 각 회로에 전원공급을 하게 됨.

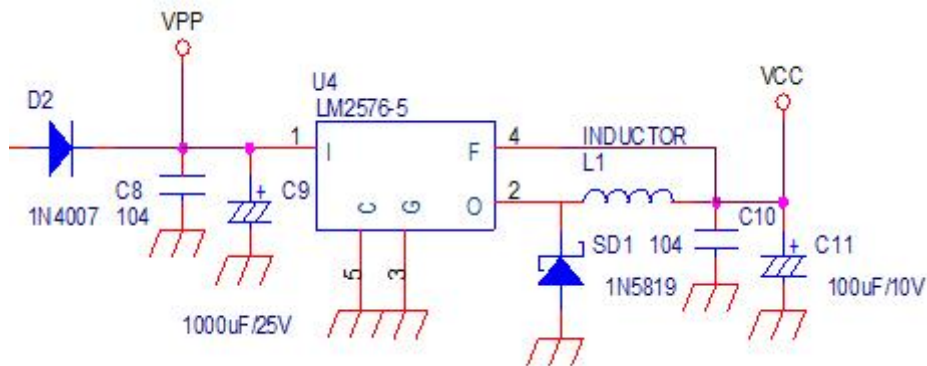
- 환경컨버터



<환경 컨버터 회로도>

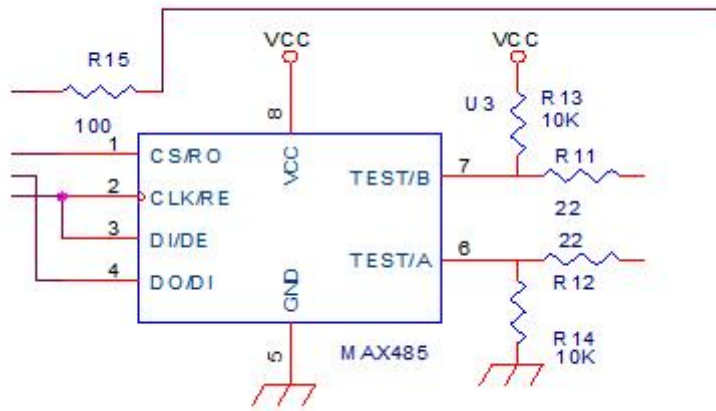


<환경 제어용 컨버터 실크스크린>



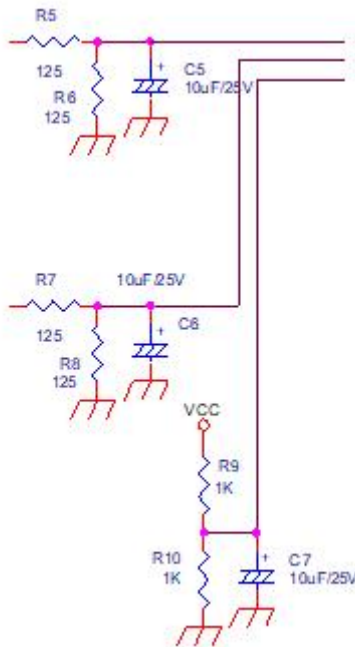
<전원 입력부>

- TB1의 단자대의 1, 2번으로 DC12~24V의 전압이 인가되면 역전압 방지용 다이오드 D2에 입력되고 출력전압은 평활콘덴서 C9와 바이패스 콘덴서 C8에 유입됨. U4의 1번에 입력된 전압은 스위칭 레귤레이터를 거쳐 2번으로 출력되어 SD1에서 역전압을 흡수하고 L1, C10, C11 LC필터를 거쳐 4번으로 피드백되며 안정적인 정전압 DC5V가 출력되어 아날로그 및 디지털 회로의 전원으로 사용됨.



<통신부>

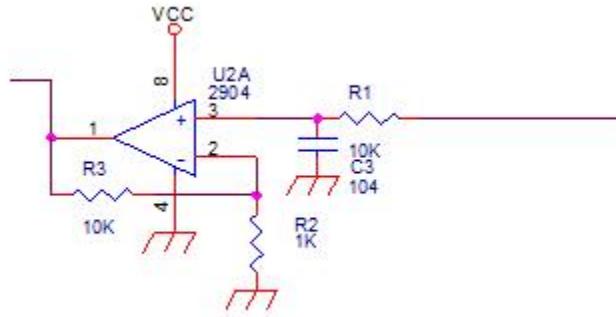
- 통신은 모드버스 RTU RS485통신을 사용하며 U3의 1번은 RX단자로 외부에서 준 신호를 U1 마이크로 프로세서 RX단자로 입력되며 U3의 4번은 TX단자로 외부에서 전송 명령이 오면 U1의 TX의 데이터가 외부로 출력됨. U3 7, 8번 단자는 R13으로 풀업되고, R14로 풀다운되며 통신라인 보호를 위해 댐핑저항 R11, R12가 직렬로 연결되어 있음.



<전류 입력부>

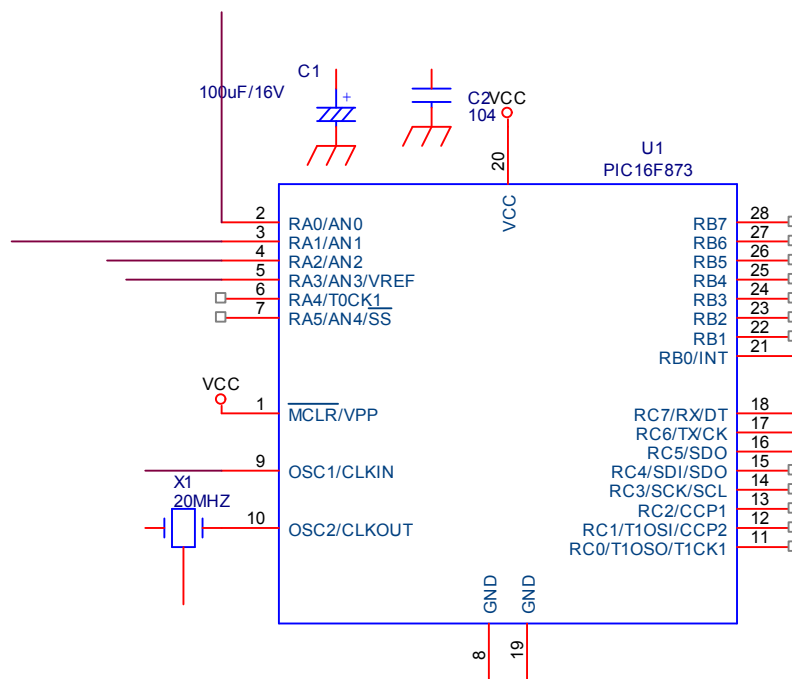
- R5에 입력된 4~20mA 아날로그 전류 입력은 R6으로 분압되어 평활콘덴서C5로 안정시켜 마이크로프로세서 U1의 아날로그 입력단자 RA1으로 입력됨.
- R7에 입력된 4~20mA 아날로그 전류 입력은 R8로 분압되어 평활콘덴서C6으로 안정시켜 마이크로프로세서 U1의 아날로그 입력단자 RA2로 입력됨.

- R9와 R10은 분압되어 C7로 평활되고 그 전압이 A/D컨버터의 리퍼런스 전압으로 RA3에 입력됨.



<전압 증폭부>

- R1에 입력된 미소 전압이 바이패스 콘덴서 C3을거쳐 연산증폭기 U2A의 비반전 단자에 입력되며 출력에는 전압 증폭비를 결정하는 R3, R2가 분압되어 연산증폭기의 반전단자로 입력됨. 전압 증폭된 출력은 마이크로프로세서 A/D컨버터의 RA0 아날로그 입력포트로 입력됨.



<마이크로 프로세서부>

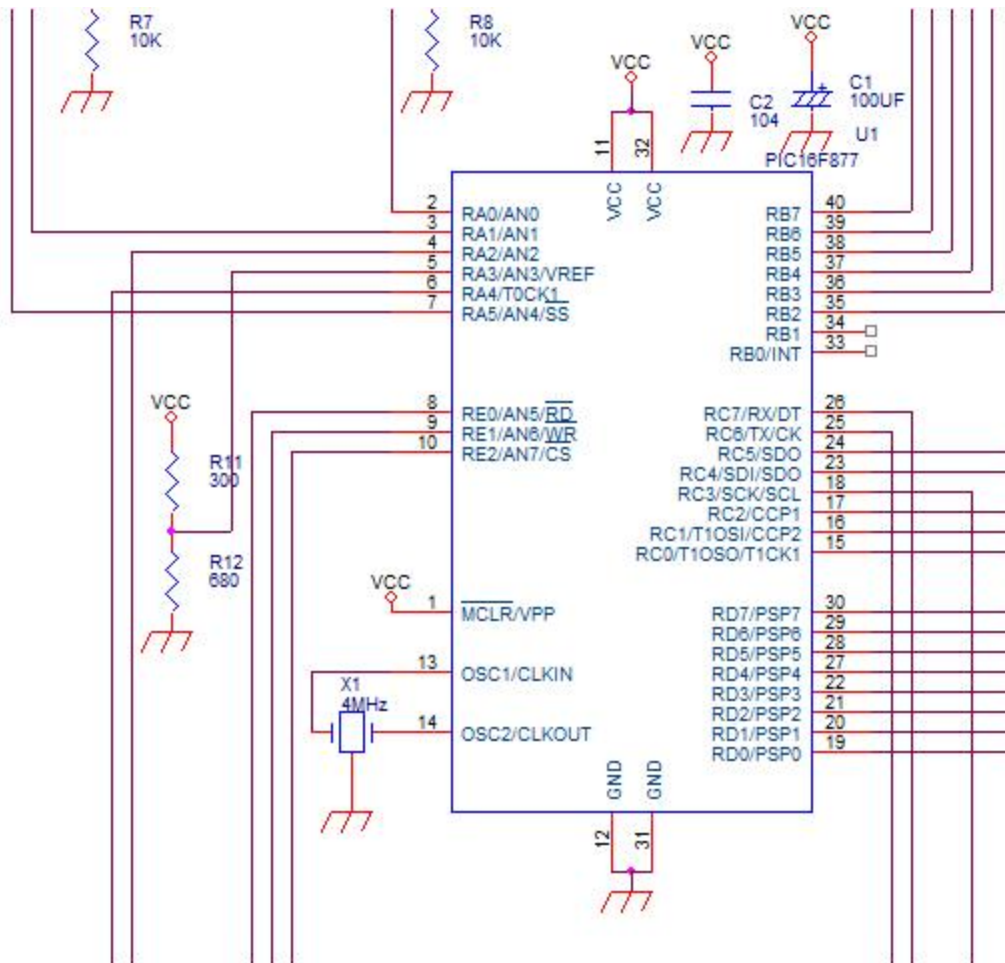
- 마이크로프로세서의 전원단자에 최단거리로 평활콘덴서C1과 바이패스 콘덴서C2가 연결되고 최단거리로 연결하지 않으면 잡음 및 임펄스 노이즈에 취약해지므로 최단거리로 부착함. OSC1, OSC2단자에는 세라믹 레조레이터가 연결되어 마이크로프로세서의 클럭으로 공급됨.

- 풍향, 풍속센서, 외·내부 온습도센서, 일사센서, CO<sub>2</sub>센서, 강우센서, 지온·지습 센서를



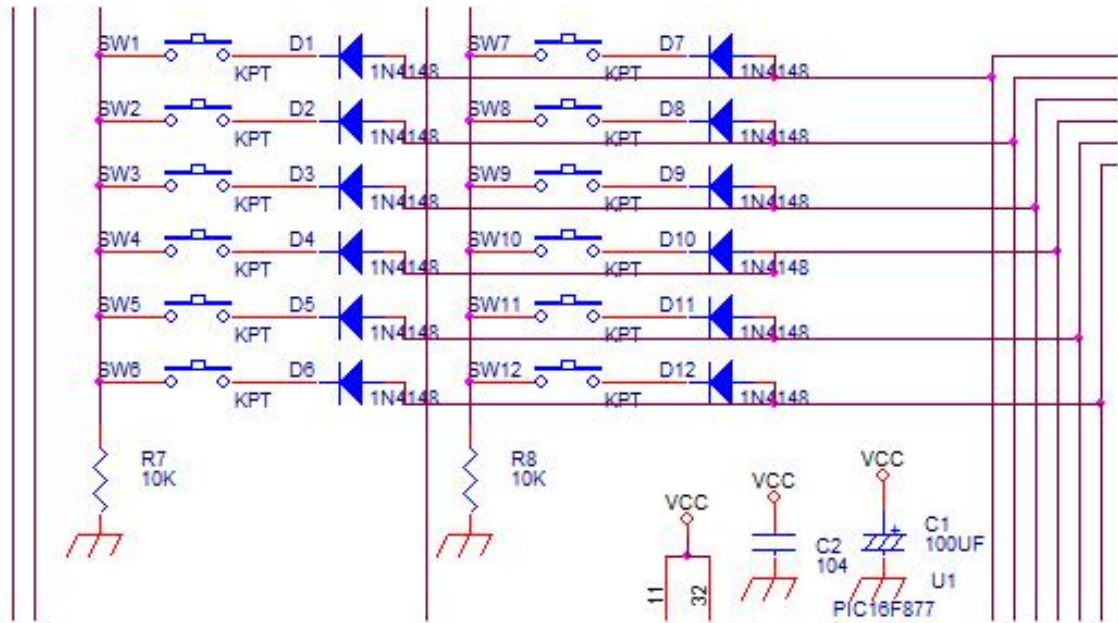
양액기 및 환경제어용 콘트롤러 사양에 최적화 되도록 전문업체와 공동으로 개발 하였음.

- pH, EC, 일사 양액복합 컨버터



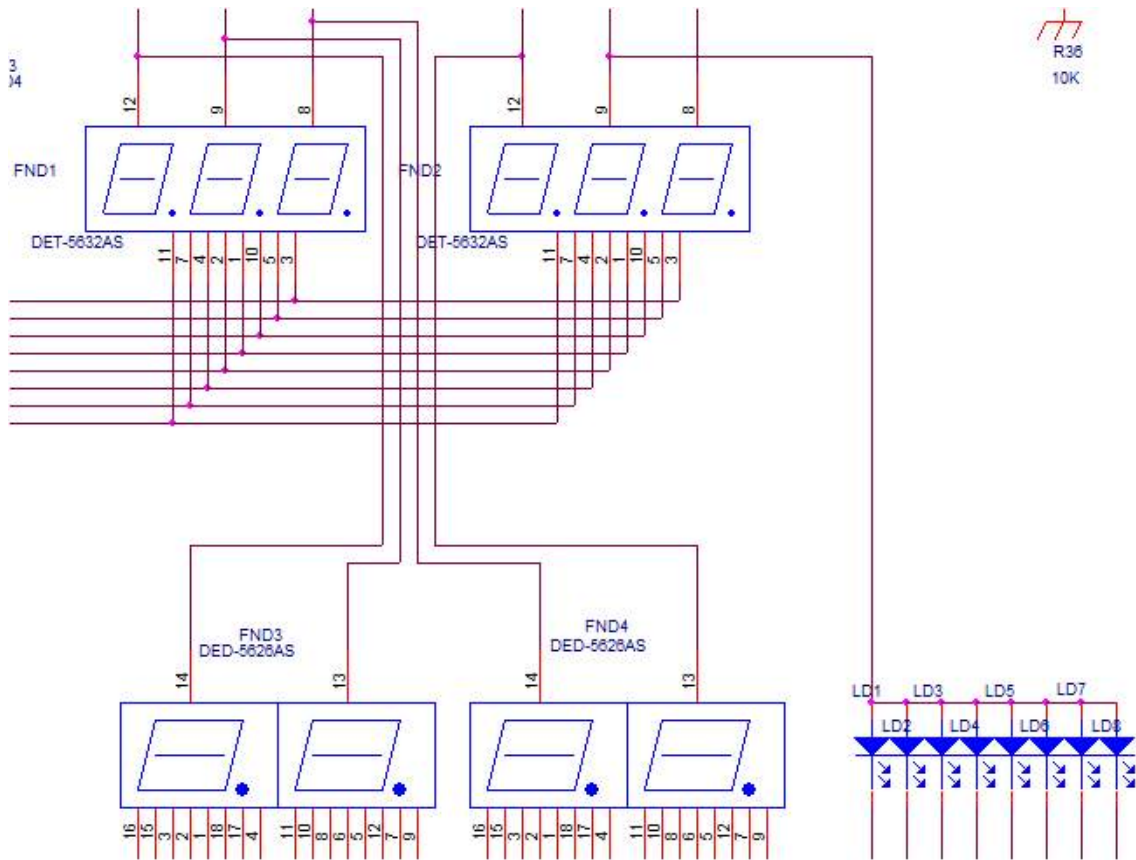
<마이크로 프로세서부>

- 프로세서의 11, 32번핀으로 C1평활콘덴서 C2고주파 바이패스 콘덴서를 연결해 구동 전압이 인가된다.
- 13,14번 핀은 클럭 입력단자로 X1세라믹 발진자를 연결해 클럭을 프로세서에 공급한다.
- RA0, RA1, RA2는 PH센서 3개 값이 입력되며 RA3, RA5, RE0는 EC센서 3개 값이 입력되고 RE1, RE2는 일사 센서 2개 값이 입력되어 아나로그 디지털 컨버팅을 하게된다.
- RC7, RC6, RC5는 통신단자로 MAX485 통신회로가 구성된다.
- RB0~RB7은 디스플레이의 공통 출력으로 사용되며 RD0~RD7은 디스플레이의 데이터 단자로 출력된다.



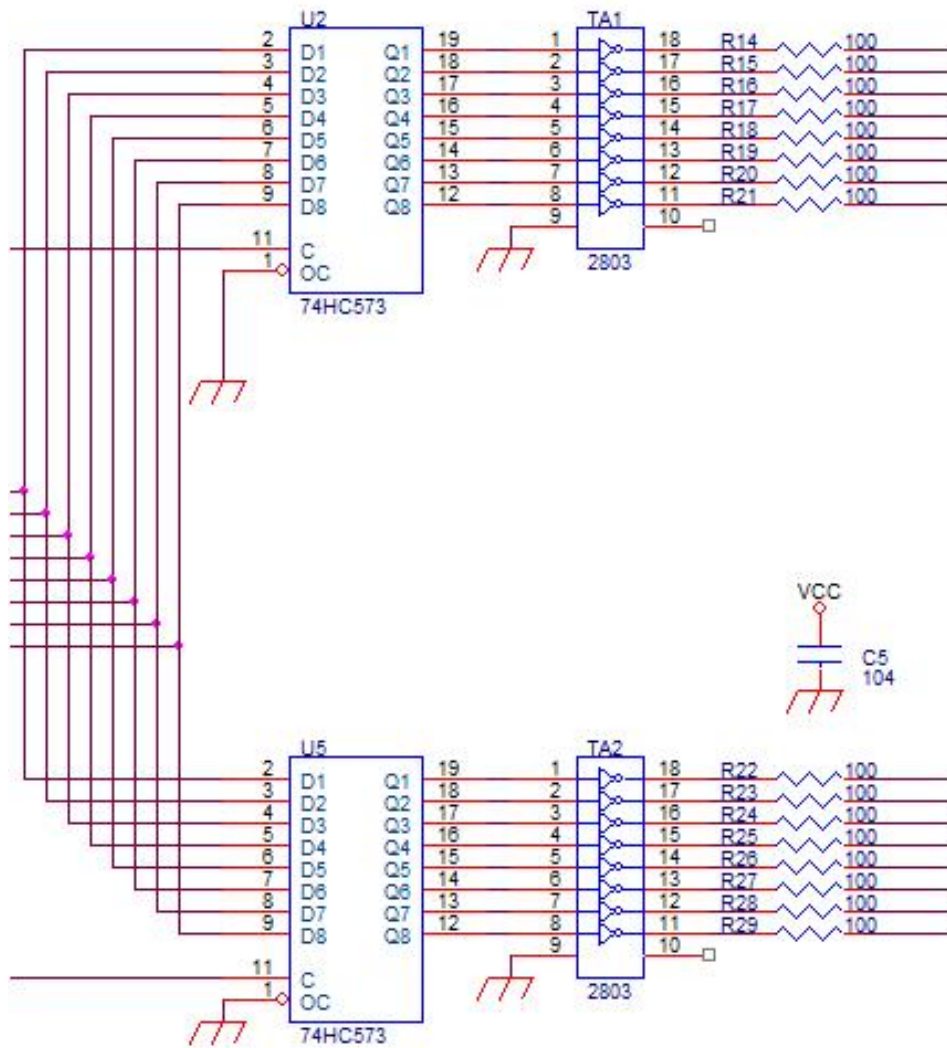
<마이크로 프로세서부>

- SW1은 PH1, SW2는 PH2, SW3는 PH3값의 디스플레이 표시를 선택하는 택트 스위치이며 SW4는 EC1, SW5는 EC2, SW6은 EC3값의 디스플레이를 선택하는 택트 스위치이고 SW7은 일사1, SW8은 일사2값의 디스플레이를 선택하는 스위치이다. SW9, SW10은 각각 센서값의 교정을 위한 내부설정 진입 택트 스위치이며 SW11, SW12는 각각 교정값의 올림, 내림으로 사용하는 택트 스위치이다.
- D1~D12의 스위칭 다이오드는 디스플레이의 COM단자에 각각 연결되며 복수개의 스위치가 눌렸을 때 역 전류를 방지하는 다이오드이다.
- R7의 저항은 SW1~SW6의 택트 스위치가 눌렸을 때 전압을 검출하여 마이크로프로세서에 입력되고 R8의 저항도 SW7~SW12의 택트 스위치가 눌렸을 때 마찬가지로 전압을 검출하여 마이크로프로세서로 입력하여 어떤 버튼이 눌렸는지를 판단한다.



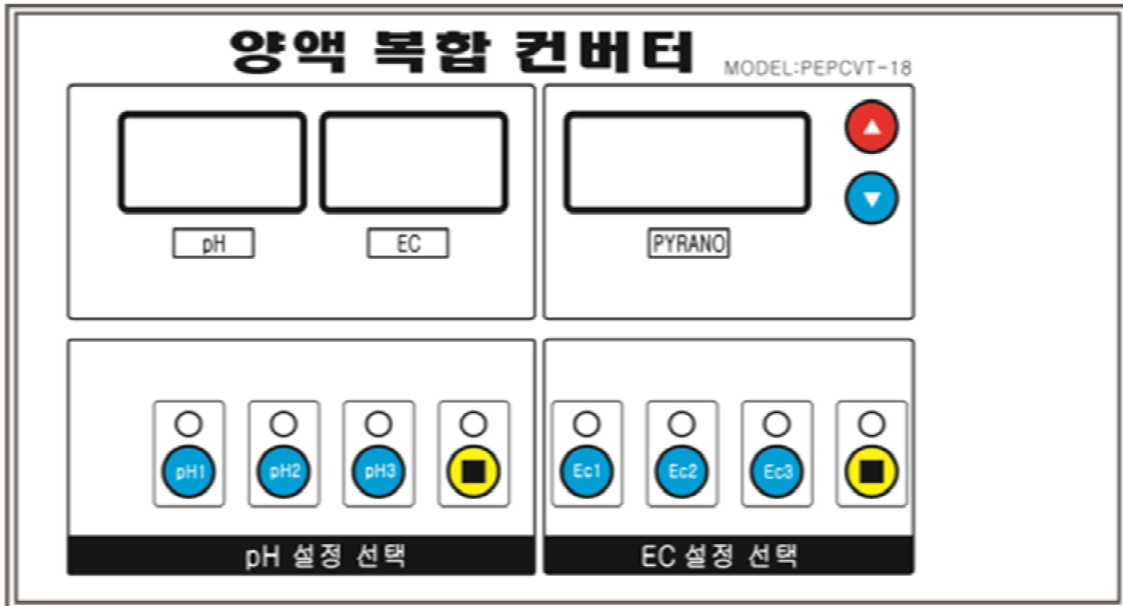
<디스플레이부>

- 숫자표시기 FND1은 PH1~3값 0~14.0범위를 숫자표시기 FND2는 EC1~3값 0~20.0 범위를 표시하며 숫자표시기 FND3, FND4는 일사1~2값 0~1500범위를 표시한다. FND1의 첫 번째 디지털과 FND3의 첫 번째 디지털이 다이내믹 드라이브 방식으로 출력하며 FND1의 두 번째 디지털과 FND3의 두 번째 디지털도 첫 번째 디지털 OFF와 동시에 출력하며 FND1 세번째 디지털과 FND4첫번째 디지털도 두 번째 디지털 OFF와 동시에 출력하고 FND2 첫번째 디지털과 FND4 두번째 디지털도 이전 디지털 OFF와 동시에 출력하고 FND2 두번째 디지털과 LD1~LD8공통점은 이전 디지털 OFF와 동시에 출력하고 FND2 세번째 디지털 하나만 이전 디지털 OFF와 동시에 출력하고 1ms후에 OFF한다. LD1은 PH1, LD2는 PH2, LD3은 PH3, LD4는 EC1, LD5는 EC2, LD6은 EC3, LD7은 일사1, LD8은 일사2가 각각 선택될 때 표시된다.



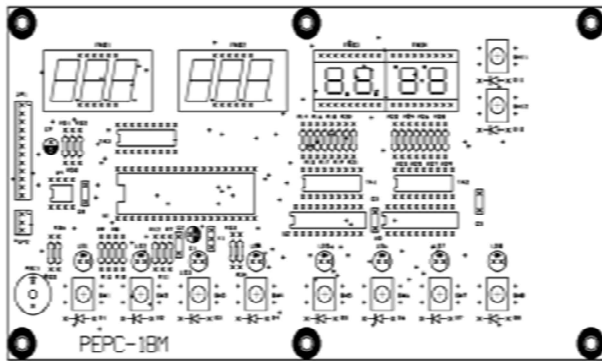
<드라이브부>

- 마이크로프로세서의 PORTD0~7번의 출력이 8비트래치 드라이브U2, U5의 입력단에 입력되면 U2의 C단자와 U5의 C단자로 입력을 각각 선택하여 U2의 출력 Q1~Q8 단자와 U5의 출력단자 Q1~Q8로 각각 출력한다.
- 출력된 디스플레이 신호는 전류증폭소자인 TA1,TA2의 입력측으로 각각 입력된다. TA1의 출력에는 전류제한저항 R14~R21이 연결되고 TA2의 출력에는 전류제한저항 R22~R29로 연결되어 각각 FND1, FND2, FND3, FND4로 입력되어 디스플레이하게 된다. C5는 고주파바이패스 콘덴서로 U2, U5의 전원라인에 근접하여 부착한다.

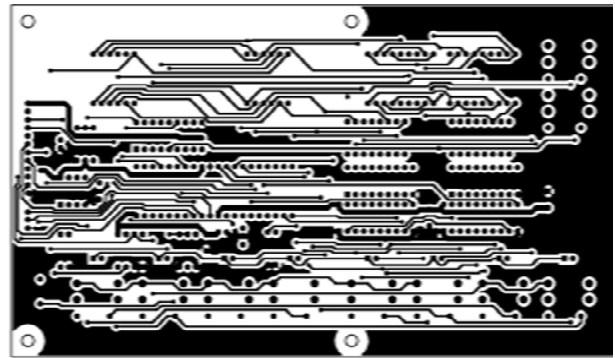


<전면 명판 디자인>

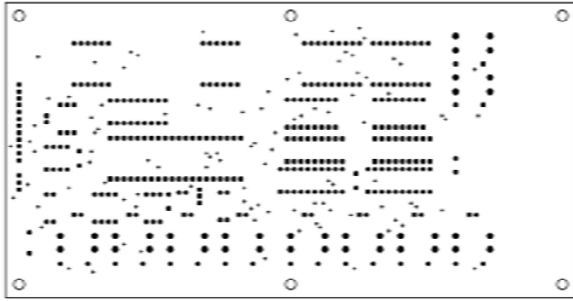
- 명판의 재질은 PC이며 디스플레이 및 LED 램프창은 적색 스모그 처리를 통하여 밝은 곳에서도 숫자가 잘 보이도록 한다.
- 각각의 스위치는 엠보 처리를 하여 누름시 촉감을 좋게 하였다.



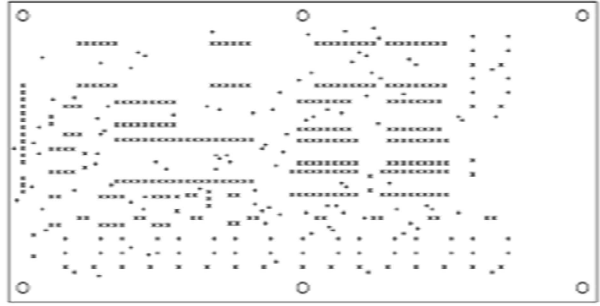
<기판부품배치도>



<기판패턴도>



기관 슬더 마스크도



기관 NC드릴도

<풍향·풍속센서>



<풍향센서>



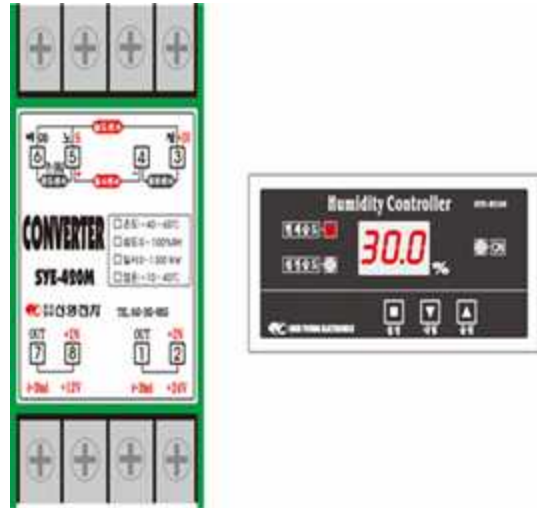
<풍속센서>

항 목	사 양
풍 향 · 풍 속 측 정 범 위	0~360°, 0~45 m/s
정 확 도	±3°, ±3+0.03V m/s
출 력	4~20mA/ 0~5V/ RS232
설 치 라 인 길 이	2.5 m

<온·습도센서>



<온습도센서>



<온습도센서 컨트롤러>

항 목	사 양
내용	건구온도와 습구온도를 이용한 온·습도측정
온도측정범위	0~99°C 오차범위 ±0.5°C
출력	4~20mA / RS485 /점점방식
습도 측정범위	10~99% 오차범위 ±5%
단자 입력	적색(건구),백색 (습구),흑색(COM)
급수통	500 mL

<일사센서>



<일사센서>



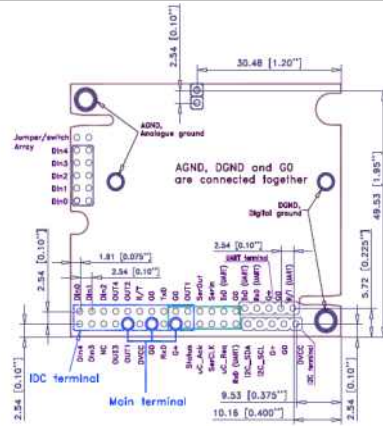
<일사센서 컨트롤러>

항 목	사 양	
사 용 전 압	DC12V/DC24V	
사 용 범 위	0 ~ 1,500 W/m <sup>2</sup>	
출력 범위	2wire output 4~20mA / RS 485통신	
오 차 범 위	FULL RANGE의 5%	
외 형 크 기	일사센서	Φ90 H x 123 mm
	컨버터	45(가로)x85(세로) x105(높이) mm

<CO<sub>2</sub>센서>



<CO<sub>2</sub>센서>



<CO<sub>2</sub> PCB>

항 목	사 양
사용 범위	0~5,000 ppm
정 확 도	±30 ppm, ±3%
출 력 범 위	1~5V
작 동 온 도	0~50°C
작 동 습 도	0~95%
외 형 크 기	51×57×14 mm(길이, 폭, 높이)



<강우센서>



<강우센서>



<강우센서 컨트롤러>

항 목	사 양	
사용전압	DC24V	
사용감도	L/M/H	
출력	RELAY 접점 2a2b	
센서길이	4P WIRE 10 m	
외형크기	강우센서	82 × 112 mm
	컨트롤러	130 × 64 mm

○ 원격 모니터링 및 제어 통합제어시스템 운영 소프트웨어: 인터넷, 스마트폰

- 양액제어시스템과 환경제어시스템의 통합

- 판넬(현장/로컬) HMI(Human Machine Interface)의 통합 - 임베디드PC에 양액 HMI와 환경HMI를 하나로 통합
- 판넬(현장/로컬) 제어프로그램의 통합 - 제어컨트롤러에 양액제어프로그램과 환경 제어프로그램을 하나로 통합
- 통신 - 판넬(현장/로컬)의 임베디드PC(양액/환경 HMI)와 제어컨트롤러 간의 RS485(모드버스RTU) 통신을 구성

• 원격모니터링시스템 구성

연결순서-현장제어컨트롤러↔PC모니터링프로그램↔모바일 폰

현장제어컨트롤러와 PC모니터링프로그램의 연결-RS485(모드버스RTU) or Ethernet(모드버스TCP/IP) 통신을 사용

PC모니터링프로그램과 모바일 폰 연결-공유기(DDNS와 Port Forwarding 설정)와 인터넷 공중망을 이용한 외부 원격제어 실현

• 임베디드 PC의 환경HMI 메뉴

운전현황-환경제어 현황 표시(센서 및 부하동작 상태(자동/수동), 경보상태 등)

환경설정-환경제어의 기본적인 공통 기상환경 설정

부하설정(천창/측창/커튼/유동팬/탄산발생기/난방기 등) - 각 부하를 제어하는데 기본이 되는 환경 설정

양액제어-양액제어화면의 호출

- 임베디드 PC의 양액HMI 메뉴

시스템(운전현황)-양액제어 현황 표시(센서상태, 동작상태(자동/수동), 경보상태 등 환경설정-양액제어에 기본이 되는 공통된 환경 설정

공급밸브-밸브별 공급설정

공급스케줄-공급밸브에서 적용할 공급스케줄 생성

공급데이터(양액공급)-당일의 양액공급내역을 시간별로 표시, 이전데이터 확인가능  
공급정보(밸브공급)-당일의 양액공급내역을 공급밸브별로 표시, 이전데이터 확인가능

센서데이터(센서정보)-당일의 센서데이터를 10분 간격으로 표시, 이전 데이터 확인가능

환경제어-양액제어화면의 호출

- PC 모니터링 프로그램의 메뉴

임베디드 PC의 양액/환경 HMI와 동일한 메뉴체계를 가짐

트렌드-센서데이터 및 각 부하의 운전상태/현재위치를 그래프로 표시

SMS-경보발생시 문자전송환경 설정

- 모바일폰의 메뉴

운전현황-양액/환경의 운전상태 표시

운전설정-각 부하의 자동/수동 설정, 수동운전 기능

- **Moble** 에서 원격제어로 농장 or 현장의 PC에 접속하는 방법

- 공유기에 접속하여 내부 설정을 변경해야 함.
- 공유기 설정을 변경하려면 공유기 제조사가 지정한 사설 IP주소를 웹브라우저 주소창에 입력하여 로그인해야 함.
- iptime공유기의 경우 192.168.0.1으로 설정함.

- 공유기에서 DDNS 설정

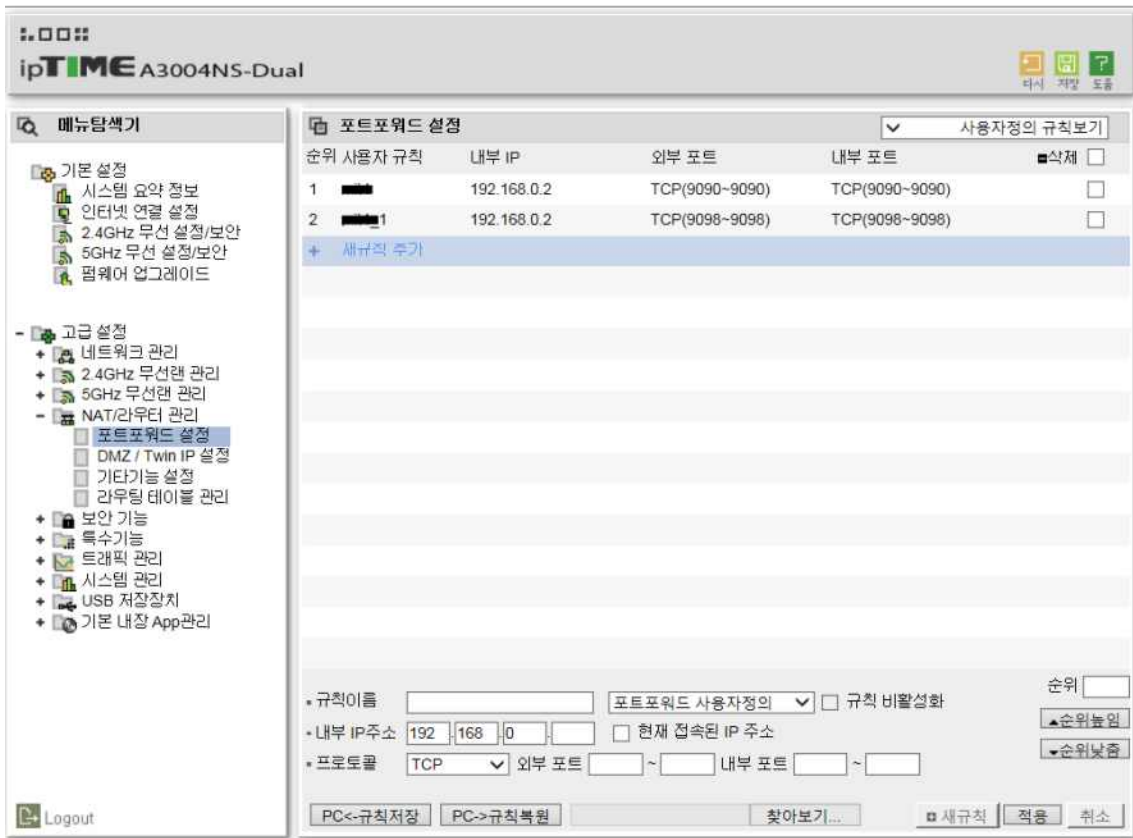
- 공유기 제조사에서 지원하는 DDNS서비스 등록.
- 농장 or 현장에서 사용하려는 호스트이름과 사용자ID(주로 이메일 주소)를 기입한 후 추가등록. 추가 시 기존에 등록된 호스트 이름이 없을 경우 등록.



\* DDNS란

DDNS 또는 Dynamic DNS(Domain Name System)(동적 DNS)는 실시간으로 DNS를 갱신하는 방식임. 주로 도메인의 IP가 유동적인 경우 사용되며 IP가 바뀌어도 DDNS로 설정한 도메인이름은 변하지 않기 때문에 접속이 가능함.

- PC 모니터링 프로그램에서 지정한 PORT를 공유기에서 포트포워딩 등록
  - 포트포워딩 등록한 포트에 들어온 TCP패킷은 내부 IP에 등록된 주소로 무조건 전송.
  - 아래 그림에서 9090포트와 9098포트에 들어온 TCP 패킷은 192.168.0.2 IP를 갖는 디바이스로 전달.
  - 외부포트와 내부포트는 달라도 무관하나 같게 설정하는 것이 관리하기 용이함.



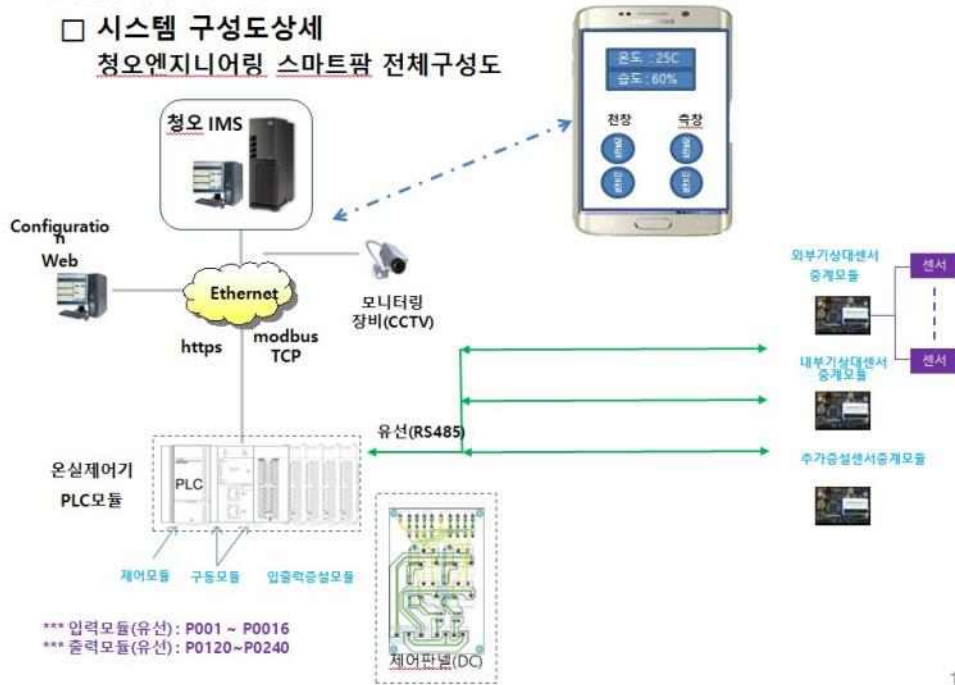
- TCP 패킷이 전달되는 방법 및 경로
  - 예를 들어 farm001.iptime.org:9090을 웹브라우저 주소창에 입력.
  - 해당 패킷은 공중망의 네임서버로 전달되고 네임서버는 iptime의 네임서버로부터 farm001로 등록된 DDNS의 실제 IP를 전달받음.
  - farm001.iptime.org를 실제 IP주소로 치환하여 여러 라우터를 거치면서 실제 IP주소로 전달됨.
  - 인터넷 공중망에서 공유기로 전달된 TCP패킷은 포트를 인식하고 포트포워딩에 등록된 내부IP를 갖는 디바이스(PC)에 TCP 패킷을 전달.
  - 최종적으로 디바이스(PC)의 OS는 해당 포트를 오픈한 프로그램에 전달하여 외부에서 전송한 TCP패킷이 목적지 PC프로그램까지 전달되도록 함.
  - TCP패킷에는 출발지IP 정보가 있으므로 PC프로그램은 패킷을 분석하여 요청사항을 처리한 후 출발지 IP에 응답 TCP 패킷을 보냄.
  
- 네임서버는 ISP(Internet Service Provider)나 웹호스팅 서비스를 제공하는 회사에서 운용함.
- ISP는 개인이나 기업에게 인터넷 접속 서비스, 웹 사이트 구축 등을 제공하는 회사를 말하며 대표적인 한국의 ISP회사는 SKT, LG U+, KT, 케이블 채널회사, 데이콤, 두루넷 등이 있음.

<청오엔지니어링 환경제어시스템 구성도>

◆ 환경제어 시스템

□ 시스템 구성도 상세

청오엔지니어링 스마트팜 전체구성도



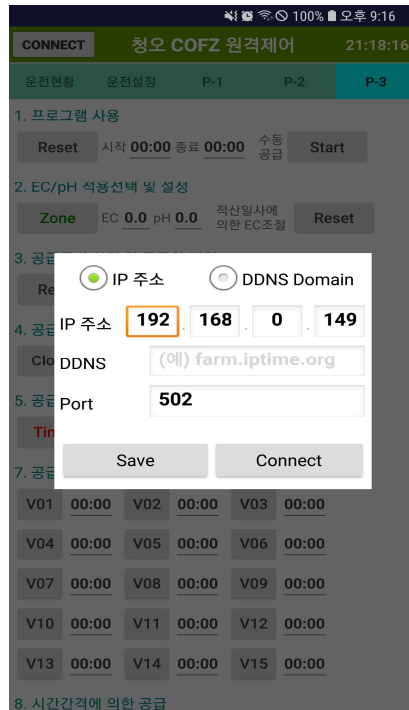
- 환경제어장치와 양액기에 들어가는 데이터를 PLC모듈(온실제어기) 데이터로 상호간에 호출을 통하여 데이터 수집 및 저장이 이루어짐.
- 서로간에 데이터 요청시 데이터 분석 및 로그작업이 이루어짐.
- 복합환경제어와 양액제어에 표시되는 센서값을 PLC 모듈을 통하여 데이터 상호간 통신이 원활하고 데이터 수집 및 저장이 가능하도록 제작함

<(주)청오 양액 및 환경제어시스템(APP) 모바일 화면>

1. 접속화면



2. 메뉴화면



청오 안드로이드 APP

접속화면

3. 운전현황-1



양액기 UI화면과

동일내용(공급상태1~5)

설정 프로그램 및 구역밸브

모니터링화면

양액기 인터페이스(TCP)를 통한

이더넷접속화면

4. 운전현황-2



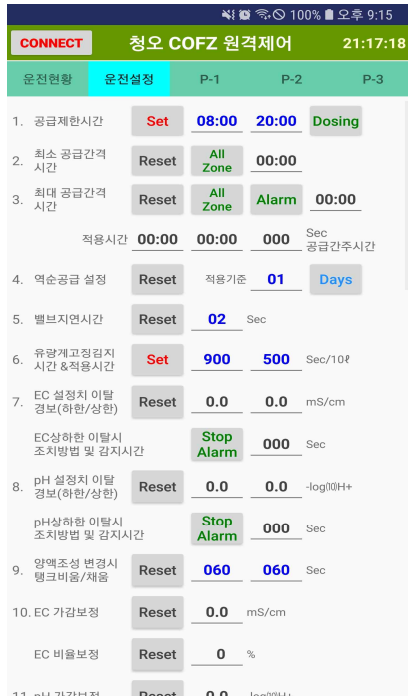
양액기 UI화면과

동일내용(공급상태7~8)

프로그램 스케줄선택 및 공급상태

모니터링

### 5. 운전설정-1



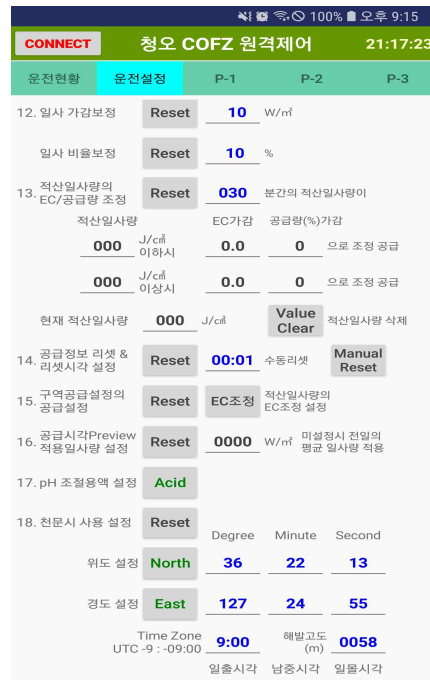
양액기 UI화면과  
동일내용(운전1~11)  
공급제한시간 및 밸브지연등의  
종합스케줄

### 7. 운전설정-3



양액기 UI화면과  
동일내용(운전19~27)  
A,B,C,D농축액 조성비 변경 및  
공급방법

### 6. 운전설정-2



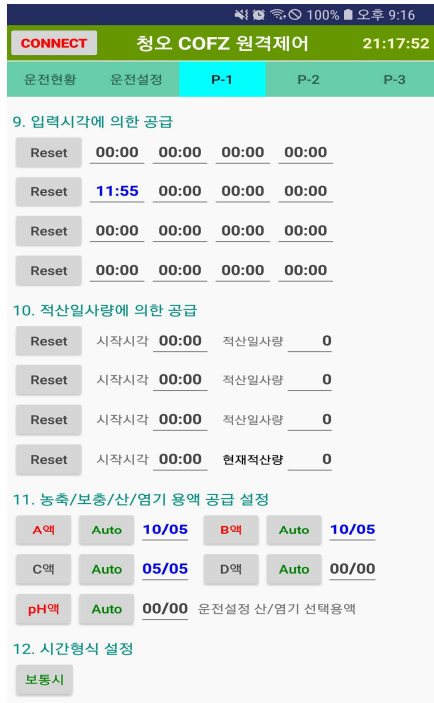
양액기 UI화면과  
동일내용(운전12~18)  
일사량(가감일사,적산일사량)  
추가공급부분

### 8. 1번프로그램 스케줄-1



양액기 UI화면과 동일내용(스케줄1~7)  
구역양액시 세부스케줄 지정 및  
유량공급설정

### 9. 1번 프로그램 스케줄-2



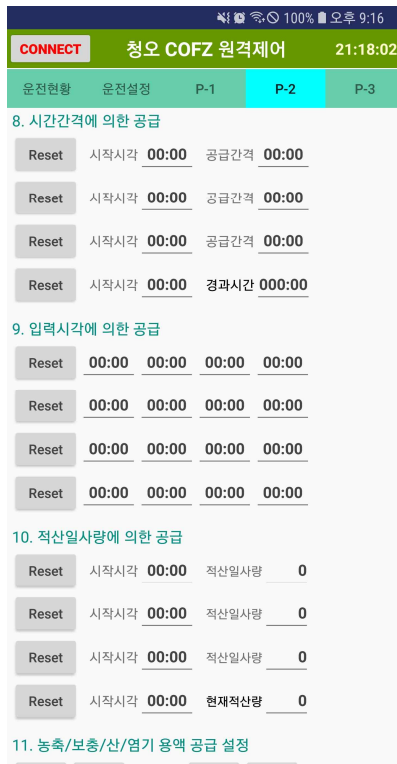
양액기 UI화면과 동일내용  
구역양액시 시간,적산,  
농축액(동작,지연)동작

### 10. 2번 프로그램 스케줄-1



양액기 UI화면과 동일내용  
구역양액시 세부스케줄 지정 및  
시간공급설정

### 11. 2번 프로그램 스케줄-2



양액기 UI화면과 동일내용(스케줄9~12)  
구역양액시 시간,적산,농축액(동작,지연)동작



- 양액기 스마트폰 APP 특징

- 네트워크 이더넷통신방식을 사용하여 통신이 이루어지므로 빠르고 정확한 동작을 구현
- 양액기 제어판넬 UI의 기능을 80%이상 세부적으로 구현하여 사용편리(로그기록 및 센서기록제외)
- 다중접속을 통한 여러 사람이 동시관리 편리 및 모니터링 기능 우수
- 별도로 서버가 필요치 않아 별도로 유지보수 비용이 발생하지 않음
- 터치UI와 연동을 통하여 1:1 REAL 제어 기능구현
- 별도의 연산 없이 데이터연동을 통한 현재시간, 천문시기능 동작활성화 및 구현
- 시간대별유량별 실시간데이터 확인
- 양액기 데이터변경 및 동작 지령 시 감시 및 리얼 모니터

### 3. 문제점 보완 및 현장실증

#### 가. 양액제어시스템 보완요구점 개선, 산업화

##### ○ 과채연구소와 협동으로 현장실증을 통한 문제점 보완

- 양액기 공급펌프의 높은 압력으로 인하여 배관 손상의 우려가 있어 압력조절 밸브를 설치하여 압력조절을 가능하게 함.



<압력조절밸브 설치 전>



<압력조절밸브 설치 후>

- 공급 후 회수되는 배액이 지면 경사로 인하여 배액통으로 유입되지 않아, 이를 개선하기 위하여 폐수로에 펌프를 설치해 배액 수집을 보완함.



<펌프 설치 전>



<배액통 설치>



<펌프 설치 및 배관연결>



<펌프 설치 완료>

- 기존 건구형 온도센서를 사용하였으나, 센서의 정확도가 낮아 이를 건습구형으로 교체하여 평균 보정값으로 운영하고 있음.



<기존 건구형 온도센서>



,건습구형 온도센서 설치>

- 순환식 UV 살균기의 UV 램프와 배액통에 설치한 입수형 UV 살균기의 UV 램프(석영관)에 많은 침전물 및 부유물이 흡착되어 있는 것을 확인함.
- 이로 인하여 살균력이 저하되는 현상 발생함.

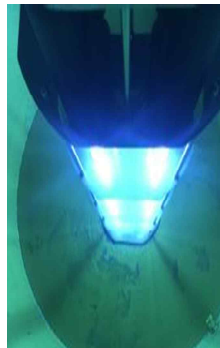
			
<순환식 석영관 6개월 사용 후>	<순환식 석영관 1년 사용 후>	<입수식 살균기 6개월 사용 후>	



<순환식 UV 살균기>



<순환식 살균 후  
배액상태>



<입수식 UV 살균기>



<입수식 살균 후  
배액상태>































- UV 램프를 이용한 살균기의 장시간 사용 후 살균력 저하 및 UV 램프의 사후관리 어려움 등으로 인하여, 배액 살균을 플라즈마 살균기로 교체함.

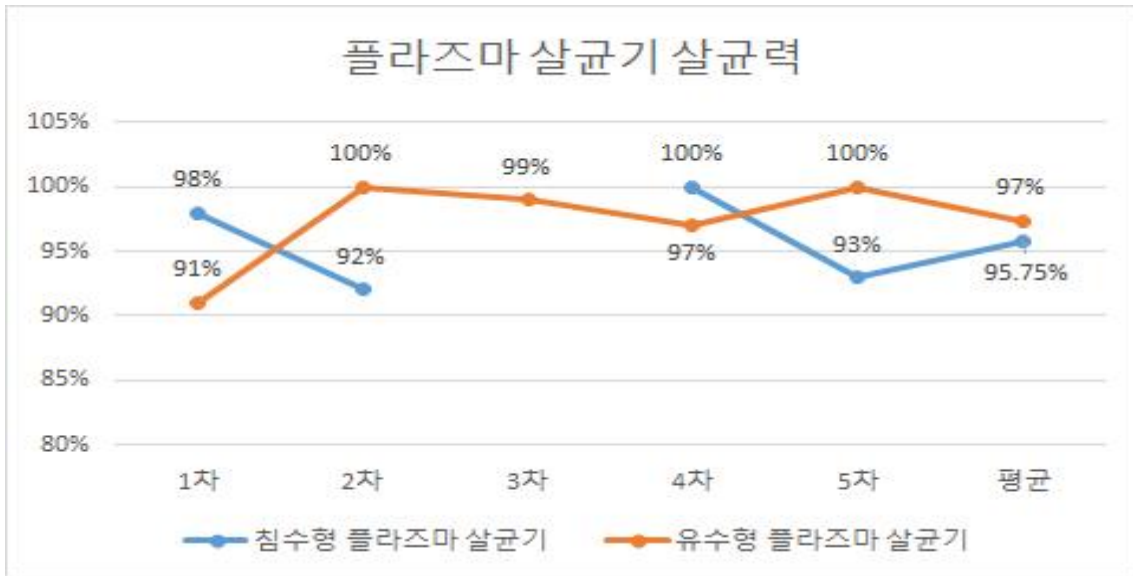


<침수식 플라즈마 살균기>





<유수식 플라즈마 살균기>

		배액	침수형 플라즈마 살균기	유수형 플라즈마 살균기
1 (4/2)	1 차	 536개	 16개	 8개
	2 차	 632개	 0개(98% 살균)	 45개(91% 살균)
2 (4/23)	1 차	 150개	 14개	 1개
	2 차	 258개	 37개(92% 살균)	 0개(100% 살균)
3 (5/2)	1 차	 39개	 31개	 10개
	2 차	 41개	 42개(전원 꺼짐 : 전극 동작안함)	 1개(99% 살균)
4 (5/25)	1 차	 210개	 0개	 9개
	2 차	 290개	 0개(100% 살균)	 8개(97% 살균)
5 (6/7)	1 차	 210개	 25개	 0개
	2 차	 280개	 2개(93% 살균)	 0개(100% 살균)



<플라즈마 살균기 살균력 테스트 결과>

		배액	침수형 플라즈마 살균기	유수형 플라즈마 살균기
1 (5/2)	1차	 0개	 0개	 0개
	2차	 0개	 0개	 0개

<곰팡이균 배양 결과>

- 곰팡이균에 관한 테스트도 실시하였으나, 배액 및 살균기 살균 후 모두 곰팡이 균은 발견되지 않았음.
- 플라즈마 살균기는 기존 UV 살균기보다 관리성이 용이하고, 장시간 (1년)을 사용하여도 살균력이 뛰어나며 살균력의 변동폭이 없는 것으로 확인되었음.
- 살균기 가격비교

(단위:천원)

종류	UV 살균기		플라즈마 살균기		비교
	순환식	입수식	입수식	유수식	
Type	순환식	입수식	입수식	유수식	
단가	2,000	2,500	2,000	5,000	200평기준
단가	5,000	6,000	4,000	9,000	1000평기준
단가	15,000	1,200	7,000	13,000	3000평기준

- 작은 평수에서는 UV 살균기 가격이 플라즈마 살균기 가격보다 저렴하지만 규모가 커질수록 플라즈마 살균기의 값이 가격경쟁력이 있음.
- UV 살균기는 램프(석영관)의 지속적인 관리 및 세척이 필요하며 자동세척 장치가 부착된 살균기는 상기의 가격보다 1,000~1500만원 더 비쌈
- 테스트 결과 플라즈마 살균이 UV 살균보다 살균력이 약 5~7% 높았으며, 장시간 사용해도 전극에 이물이나 부유물이 흡착되지 않아 일정한 살균력이 유지됨
- 기존에 사용하였던 질소(N),칼륨(K)센서는 정확도가 떨어지고, 센서 사용기간이 짧아 실시간 이온측정기로 교체하였음.
- 새로운 이온측정기는 pc로 원격제어가 가능하며, 기존 센서보다 더 다양한 이온 측정이 가능함.



<실시간이온측정기 설치 모습>



<이온측정기 화면>

Date	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	PH (PH4)	PH (PH2)	PH (PH10)	O <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup>
20/12/16, 9:04	54.51	143.11	32.08	5.59	-194.41	25.43	252.00	21.06
19/12/16, 14:41	59.34	122.36	35.91	5.59	-137.62	27.06	464.30	17.95
19/12/16, 17:40	66.82	126.39	42.78	5.59	-119.20	24.75	463.80	18.96

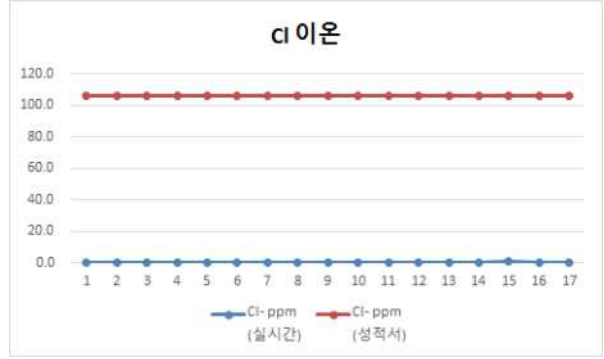
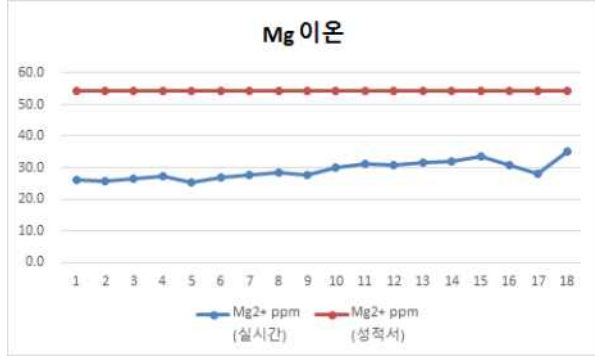
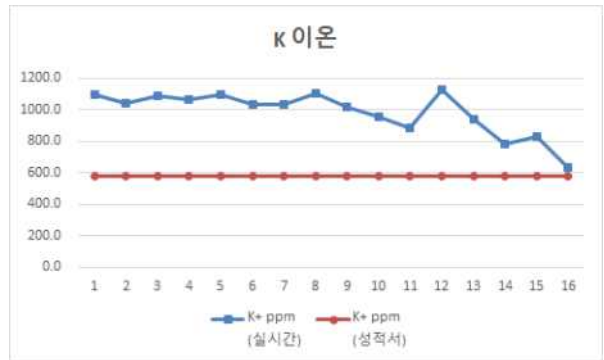
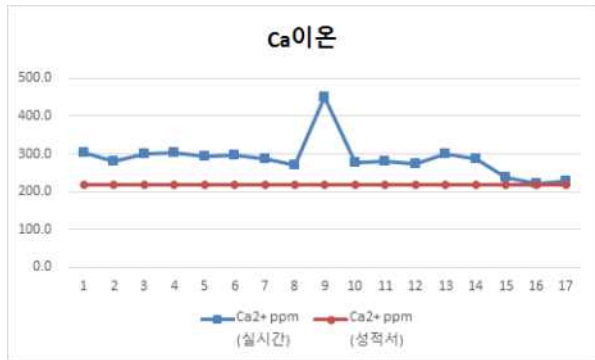
<pc와 연동된 화면>

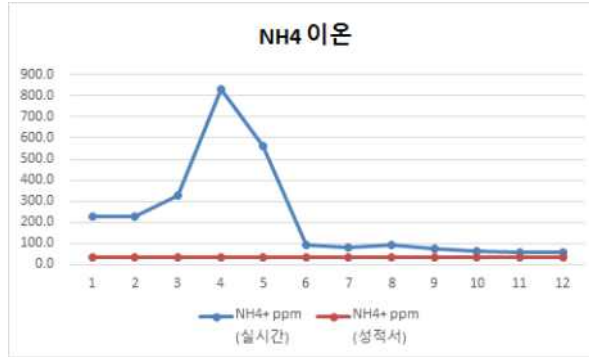
- 실시간 이온측정기 데이터와 공인기관 측정데이터간의 오차 범위는 추후 지속적인 연구를 통하여 보완할 예정임.



NO.	Ca2+ ppm (실시간)	Ca2+ ppm (성적서)	K+ ppm (실시간)	K+ ppm (성적서)	NH4+ ppm (실시간)	NH4+ ppm (성적서)	NO3- ppm (실시간)	NO3- ppm (성적서)	Mg2+ ppm (실시간)	Mg2+ ppm (성적서)	Cl- ppm (실시간)	Cl- ppm (성적서)	Na+ ppm (실시간)	Na+ ppm (성적서)
1	301.8	219.1	1095.8	583.0	227.1	34.4	1447.0	216.4	26.2	54.4	0.0	106.4	38.7	18.4
2	282.0	219.1	1038.9	583.0	226.6	34.4	1469.1	216.4	25.7	54.4	0.0	106.4	71.8	18.4
3	300.0	219.1	1086.8	583.0	326.8	34.4	1466.4	216.4	26.4	54.4	0.0	106.4	73.9	18.4
4	304.3	219.1	1064.8	583.0	832.0	34.4	1573.4	216.4	27.2	54.4	0.0	106.4	52.0	18.4
5	293.7	219.1	1097.8	583.0	560.1	34.4	1782.1	216.4	25.5	54.4	0.0	106.4	26.7	18.4
6	295.4	219.1	1034.6	583.0	90.1	34.4	1748.5	216.4	27.0	54.4	0.0	106.4	41.8	18.4
7	287.1	219.1	1029.8	583.0	79.0	34.4	1915.0	216.4	27.6	54.4	0.0	106.4	43.4	18.4
8	271.4	219.1	1103.8	583.0	92.3	34.4	1937.4	216.4	28.5	54.4	0.0	106.4	35.1	18.4
9	451.0	219.1	1021.2	583.0	72.4	34.4	1779.7	216.4	27.5	54.4	0.0	106.4	9.7	18.4
10	278.1	219.1	951.8	583.0	61.9	34.4	2788.0	216.4	29.9	54.4	0.0	106.4	23.3	18.4
11	279.0	219.1	881.1	583.0	57.5	34.4	3103.3	216.4	31.2	54.4	0.0	106.4	18.0	18.4
12	274.6	219.1	1124.3	583.0	55.9	34.4	3168.3	216.4	30.9	54.4	0.1	106.4	32.3	18.4
13	299.5	219.1	940.3	583.0			1907.0	216.4	31.4	54.4	0.1	106.4	21.0	18.4
14	285.7	219.1	784.9	583.0			1556.1	216.4	32.1	54.4	0.5	106.4	16.8	18.4
15	238.3	219.1	832.1	583.0			1421.1	216.4	33.4	54.4	0.7	106.4	28.2	18.4
16	220.7	219.1	696.5	583.0			1094.9	216.4	30.8	54.4	0.3	106.4	20.1	18.4
17	227.5	219.1							28.1	54.4	0.0	106.4	63.2	18.4
18									35.0	54.4			62.9	18.4
최소값	220.7	219.1	696.5	583.0	55.9	34.4	1094.9	216.4	25.5	54.4	0.0	106.4	9.7	18.4
최대값	451.0	219.1	1124.3	583.0	832.0	34.4	3168.3	216.4	35.0	54.4	0.7	106.4	73.9	18.4
평균	287.6	219.1	982.8	583.0	223.5	34.4	1884.8	216.4	29.1	54.4	0.1	106.4	37.6	18.4
성적서값 비교 (백분위)	131.3	100.0	168.6	100.0	648.9	100.0	870.8	100.0	53.6	100.0	0.1	100.0	205.2	100.0

<실시간 이온측정기 데이터와 공인기관 측정데이터 비교>





<실시간이온측정기 측정값과 공인성적서 결과값 비교 그래프>

- 기존에는 배액에서 N, K, EC, pH 측정 후 부족분을 보충하는 방식에서 NH<sub>4</sub>, K, Mg, Ca, Na, H, NO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl 등 다량원소와 미량원소를 보충할 수 있는 알고리즘을 택함.

<다량원소 단비 배합 프로그램>

▲ 부족 ▼ 과잉

Init / Calculation

양액 선택

원시표준액

번호	비료명	분자량(g)	용해도 (g/ 100g H <sub>2</sub> O)	필요첨가량	양이온농도(mmol/L)							음이온 농도(mmol/L)					비료명(1배액)				비료					
					NH4	K	Mg	Ca	Na	H	합계	NO3	H2PO4	SO4	Cl	합계	mM	mg/L	mg/L	g/L						
	설정농도				1.00	6	2	4	0	0			14	1.00	2	0	17									
	원수농도(또는 배액농도)				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00										
	성분추가농도				▲1.00	▲6.00	▲2.00	▲4.00	▲0.00	▲0.00			▲14.00	▲1.00	▲2.00	▲0.00										
	실시간 농도				▲1.00	▲6.00	▲2.00	▲4.00	▲0.00	▲0.00			▲14.00	▲1.00	▲2.00	▲0.00										
1	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	236.15	42.90	0.00				0					0					0	0.0			-	-			
2	KNO <sub>3</sub>	101.10	31.60	0.00			0		1				0					0	0.0			-	-			
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115.03	22.70	0.00			0							0				0.00	0.0			-	-			
4	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.48	26.90	0.00				0						1.00				0	0.0			-	-			
	계			0	0.00	0.00	0.00	0.00				0.0	0.00	0.00	0.00			0.0								

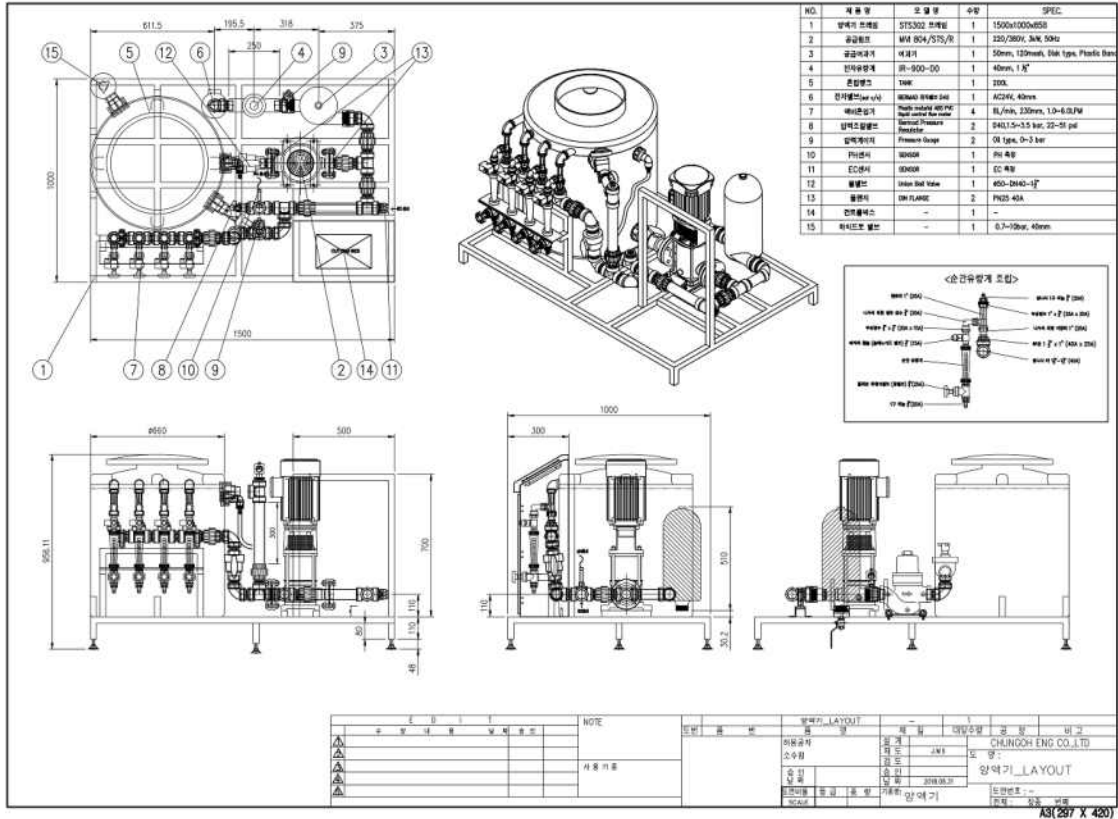
각 이온의 농도(meq/L)	1.0	6.0	4.0	8.0	0.0		14.0	3.0	4.0	0.0
각 이온의 당량 전도율(dS <sup>2</sup> m <sup>-1</sup> eq <sup>-1</sup> )	73.6	74	53	60	50		71.5	36	80	76
배양액 중 이온 전도율(dS <sup>2</sup> m <sup>-1</sup> )	0.07	0.44	0.21	0.48	0.00		1.00	0.11	0.32	0.00
계(배양액의 이온 EC)										
2.64										

mmol/L			
A통		B통	
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0
KNO <sub>3</sub>	0	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0
		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NONE
배율	0.00	배율	0.00


<새로운 양액 처방 알고리즘 예시>

○ 2차 시작품 제작 및 현장 실증

- 2차 시작품은 디스플레이방식을 기존 임베디드 타입에서 PLC타입으로 변경하여 제작하였음.
- 2차 시작품은 사내온실에 설치하여, 현장실증 하였음.



<2차시작품 설계 도면>

항 목	Embedded-Type	PLC-Type
외관	 (LS산전 DR28U)	 (미쯔비씨 FX5U)
디스플레이	10.2인치 (16:9배율)	10.1인치 TFT LCD (4:3)
해상도	800X480 해상도	800X480 해상도
화면비율	600:1	500:1
FLASH MEMORY	DRAM 512MB	DRAM 128MB
SAVE MEMORY	DDR3 512MB	DDR3 128MB
CPU	CORTEX-A9 DUAL 1000MHz	32bits RISC Cortex-a8 600MHz
USB 확장포트	USB 2PORT	USB 1PORT
사용환경(온도)	-10~70℃	0~50℃
구동운영체제	VISUAL BASIC 또는 SCADA	Easybuilder Pro (이지뷰 전용프로그램제공)
사용전압 및 소비전력량	DC9~24V 700mA	DC24V ±10% 600mA

<임베디드 타입과 PLC 타입 비교>

특징	임베디드	PLC-TYPE (이지뷰 MODEL:MT8102IE)
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전원전압 및 소비전력량이 PLC 타입에 비하여 작고 설계 활용도가 높음</li> <li>· 자체적으로 입출력포트를 가지고 있어 간단한 작업에는 PLC사용이 필요치 않음</li> <li>· VISUAL BASIC를 통한 작화 작업 시 스크롤 기능 등 공간대비 설계방법이 다양함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 임베디드 타입보다 가격이 저렴</li> <li>· 통신용 485포트가 많아 설계상 용이함</li> <li>· 별도의 작화프로그램을 사용하지 않아 호환성 및 에러를 최소화할 수 있음</li> <li>· 16:9 와이드 타입 아니고 4:3 비율의 화면 이어서 UI 배치가 편리함</li> <li>· PLC에 다이렉트 연산기능을 통한 수치표가 용이함</li> <li>· 전기적인 Noise에 강함</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· PLC 타입대비 화면이 밝지 않아 시안성이 안 좋음</li> <li>· 프로그램 호환성이 좋지 않아 업그레이드 및 수정이 어려움</li> <li>· 휴대폰 등 모바일 연동이 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 저장 메모리용량 부족 (해결방안 :메모리 부착)</li> <li>· SCADA 연결 및 HMI 연동시 프로그램 호환성 문제 (언어코드가 맞지않음,(데이터통신시 TCP MODBUS설정으로 해결)</li> </ul>



<2차 시작품>



<2차 시작품 설치 사진>

- 사용자 매뉴얼 작성, 산업화 준비, 전시회 출품 및 홍보
  - 사용자 매뉴얼은 2차 시작품은 PLC 타입을 기준으로 제작하여, 소비자들의 편의성을 높였음.

## 양액 자동공급시스템 (PLC Type 사용자 메뉴얼)

### 1. 시스템 화면



하단 상태바 표시 - 수치 및 버튼

System : On/Off 상태 표시

EC : 현재값/공급설정값 표시

pH : 현재값/공급설정값 표시

일사(SOLAR) : 현재 일사량 표시

A.S.R : Accumulated Solar Radiation, 적산일사량 표시

Program : 현재 동작하는 프로그램 표시 (구역밸브 및 생산)

Trigger : 현재 공급중인 트리거 표시. 정지/일시정지/수동/일사/시간/간격/외부신호 등 표시

Block : 현재 공급중인 구역(밸브) 표시

Status : 정지/일시정지/대기/공급/지연/세척/배출/세척후조성/예러점검 등 표시

Number : 금일 프로그램 공급횟수 및 전 구역 공급횟수 표시

Remain : 현재 공급중인 구역(밸브)의 남은 공급시간(유량) 표시

RW\_P : 원수펌프 동작상태 표시

DosingP : 공급펌프 동작상태 표시

Asoln : A액 밸브 동작상태 표시

Bsoln : B액 밸브 동작상태 표시

Csoln : C액 밸브 동작상태 표시

Dsoln : D액 밸브 동작상태 표시

Ac/Al : 산액 및 Alkali액 밸브 동작상태 표시

Drain : 배출 밸브 동작상태 표시

Alarm : 교반기 동작상태 표시

## 2. 운전현황 화면



- 1) 금일공급프로그램 : 프로그램 사용과 공급주기에 의해 금일 공급하는 프로그램 표시
- 2) 공급프로그램 및 트리거 : 현재 공급중인 프로그램 및 트리거(시간간격/지정시간/일사/외부신호 등) 표시  
대기프로그램 : 대기 중인 프로그램이 있을 경우 표시. 없을 경우 버튼이 비활성상태로 보임.
- 3) 공급구역(밸브) 및 상태 : 현재 공급중인 구역(밸브) 및 상태(정지/일시정지/대기/공급/지연/세척/배출/세척후조성/예러점검 등) 표시  
대기구역(밸브) : 대기 중인 공급구역이 있을 경우 표시. 없을 경우 버튼이 비활성상태로 보임
- 4) 설정 EC/pH : 현재 공급중인 프로그램에 설정된 EC/pH
- 5) 이상경보상태 : 동작 중 이상상태 발생시 표시됨  
예) 100% 밸브가 열려도 설정된 EC/pH를 유지하지 못할 경우 등
- 6) 프로그램 사용 설정 : 각 프로그램에서도 설정 가능하고 이 화면에서도 설정이 가능
- 7) 프로그램 수동공급 : 프로그램별로 수동 공급하는 기능. 각 프로그램에서도 설정 가능하고 이 화면에서도 설정이 가능
- 8) 공급횟수 : 프로그램별 금일 공급횟수
- 9) 금일 공급횟수 : 프로그램별 공급횟수의 합
- 10) 금일 공급시간 : 시간 설정에 의한 공급량
- 11) 금일 공급유량 : 유량 설정에 의한 공급량
- 12) 금일 배출유량 : 프로그램별 양액조성의 차이로 혼합통을 비운 경우 배출된 유량

### 3. 운전설정 화면

The image displays two screenshots of the '양액자동공급시스템' (Nutrient Solution Automatic Supply System) control interface. The top screenshot shows '운전설정 1' (Operation Setting 1) with various parameters like supply time (07:00-18:00), minimum interval (00:50), and maximum interval (01:30). The bottom screenshot shows '운전설정 2' (Operation Setting 2) with sensor calibration (EC, pH), EC adjustment (30), and various timing settings (06:00, 0300).

- 1) 공급시간 : 공급하려는 시간 범위 설정. 이 시간 범위에서는 어떠한 경우에도 공급이 되지 않음.
- 2) 공급간 최소간격 설정 : 한 구역에 공급이 중지된 최소 시간 설정. 30분 설정인 경우 설정에 의해 10분 주기가 되어도 30분이 경과 후 공급됨. 이렇게 대기된 구역이 있어도 공급시간 범위가 벗어날 경우 공급이 취소됨.
- 3) 공급간 최대간격 설정 : 공급 설정된 구역인 경우 최대간격동안 공급이 안 될 경우 하단의 기본 설정값으로 공급이 이루어지는 기능. 처리방법은 알람과 비상공급 선택. 비상공급선택시 기본설정값으로 최대간격을 초과한 구역에 자동으로 양액공급.
- 4) 직전 공급 순서의 역순 공급 : 1->15구역으로 공급된 경우 다음 공급시에는 15->1구역 공급순으로 공



급하는 기능

- 5) 공급구역 변경시 밸브열림 지연시간 : 공급구역이 변경될 때 배관 압력 채움에 필요한 시간
- 6) 유량공급시 유량계 고장발생에 따른 시간공급 자동전환 대기시간과 적용시간 :
- 7) EC/pH 상하한 초과시 처리방법. 상하한, 초과시 알람대기시간 :
- 8) 직전 공급과 농축액비의 조합 변경시 혼합탱크 비움 설정. 비움/채움 시간(초) :
- 9) 설정 수동 공급 : EC/pH와 공급시간을 직접 입력하여 전체구역이나 지정된 구역에 1회만 공급하는 기능
- 10) 센서 가감/비율 보정 : EC/pH/일사값의 보정 필요시 가감과 비율을 입력하는 보정하는 기능
- 11) 적산일사량에 의한 EC조절 : 설정한 시간동안의 일사량이 설정값과 비교하여 크거나 작을 경우 설정된 EC를 조정하여 공급하도록 하는 기능.
- 12) 공급정보 리셋시간 : 일자별 공급정보가 표시될 경우 24시에 정보가 리셋되거나 06시로 설정할 경우 06시에 리셋이 되도록 하는 기능. 06시 이전에 공급이 이루어질 경우 자동리셋됨.
- 13) 교반기 동작설정 : 동작모드와 동작방법을 설정. 전시간/공급시간/설정시간만 공급하는 모드가 있으며 동작방법은 연속동작과 On/OFF 동작을 설정함. 교반기 동작설정이 된 경우 공급시에는 항상 교반됨.
- 14) 부저설정 : 부저음을 조정하는 기능
- 15) 시스템 시각 변경 : 시스템이 시간을 변경하는 기능

#### 4. 프로그램 설정 화면 (P01~P08, 8개 프로그램 동일)



- 1) Program : 프로그램 사용 설정 및 공급 제한시간 입력. 프로그램 수동공급 기능
- 2) EC/pH : EC/pH 사용 및 설정값 입력. EC조절기능 사용 설정. 운전설정에서 적산일사량에 의한 EC조절기능이 설정되어야 프로그램에 적용이 가능함.
- 3) Cycle : 공급주기 사용 및 주기설정. 공급주기 변경기능(0입력시 금일공급). 공급주기변경일은 공급주기보다 작음. 공급주기 사용설정을 해제할 경우 매일 공급 적용됨
- 4) Trigger : 시간, 일사, 외부입력신호 중 선택. 시간 선택시 시간간격이나 지정시간에 공급할 수 있음. 일사 선택시 적산일사량이 없는 최초 시작시간의 공급여부 설정. 외부입력신호는 적용할 외부신호 단자 번호 입력(1~5)
- 5) Amount : 공급량을 시간이나 유량으로 선택하는 기능

- 6) Wash after dosing : 양액공급 완료 후 원수를 공급하여 배관을 세척하는 기능. 혼합통을 세척하는 기능과 다름.
- 7) Selection of dosing block and set of dosing amount : 공급 구역과 공급량을 설정. 시간을 설정한 경우 시간을 입력하는 버튼이 활성화되고 유량을 설정한 경우 유량을 입력하는 버튼이 활성화됨.
- 8) Dosing by time interval : 트리거로 시간을 선택한 경우 시간간격으로 공급하는 기능. 간격에서 4환을 사용하지 않을 경우 분무경과 같은 현장에서 24시간 공급이 가능하며 일반 작물일 경우 24시간 공급하지 않도록 주의가 필요함.
- 9) Dosing by designated time : 트리거로 시간을 선택한 경우 최대 16개의 지정시간을 입력하여 공급할 수 있는 기능
- 10) Dosing by solar radiation : 트리거로 일사를 선택한 경우 적용할 시간과 적산일사량을 입력함. 시간간격과 마찬가지로 4환을 사용하지 않을 경우 24시간 동작하나 일사의 경우 야간에는 누적량이 없으므로 4환을 사용하지 않아도 문제가 되지 않음.
- 11) Selection : SoIn-A/B/C/D, Acid/Alkali : 양액생산에 적용할 농축액비/보충액비, 산액/알칼리액을 설정하는 기능. A/B/C/D의 농축액비는 하나 또는 다수 선택이 가능함. Acid/Alkali는 하나만 선택이 가능함. 동작방법은 자동과 비율 중 선택할 수 있고 자동시에는 센서에 의해 계산된 시간동안 밸브가 열리고 비율 선택한 경우 밸브 동작 주기(2초)에서 산출된 시간동안 밸브가 열리도록 동작됨.  
(작물선택가능) 5-8 cd이고(2초주기)  
\* 예50%선택시 1초만 밸브열림  
(동작 및 대기시간을 타이프로 변경하게되면 10인치 터치상 위치선택이 어려움)
- 12) Copying settings : 다른 프로그램의 설정을 복사해오는 기능(사용상 기본값을 지정하여 LOAD기능)
- 13) Delete settings : 이 프로그램의 설정을 전부 삭제하는 기능

\* 프로그램을 다양하게 사용할 수 있는 방법

여러 프로그램을 이용하여 구역별로 EC/pH를 다르게 설정하여 공급할 수 있음.

여러 프로그램을 이용하여 구역별로 시간별로 공급시간(유량)을 다르게 설정하여 공급할 수 있음.

여러 프로그램을 이용하여 구역별로 시간별로 양액조성을 다르게 설정하여 공급할 수 있음.

여러 프로그램을 이용하여 구역별로 외부신호를 활용하여 특정 신호에 양액을 공급할 수 있음.

## 5. 시간공급기록 화면

Zone Program	V01	V02	V03	V04	V05	V06	V07	V08	V09	V10	V11	V12	V13	V14	V15
P 01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P 08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2018/08/22 (수) 14:23:57  
05:54 12:35 19:15

[Time] Dosed Information for Program

유량공급정보 -5 -1 2018/08/22 +1 +5 Today 상세공급정보 Close

- 최대 90일 저장(메모리 한계). 경과사 순차 삭제

## 6. 유량공급기록 화면

Zone Program	V 01	V 02	V 03	V 04	V 05	V 06	V 07	V 08	V 09	V 10	V 11	V 12	V 13	V 14	V 15
P.01	120	120	120	120	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNT	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUM	120	120	120	120	120	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- 최대 90일 저장(메모리 한계). 경과시 순차 삭제

## 7. 프로그램저장 화면

Date	Time	Object Description	Object Information	Action	Screen No.
08/22/18	14:18:10	Test Mode	bit set ON->OFF	Toggle	22
08/22/18	11:14:12	P02 Time Interval #1	write 50->30	Set word	32
08/22/18	11:14:03	P01 Time Interval #1	write 50->30	Set word	31
08/22/18	11:10:51	P05 Normal/Astronomical time	bit set ON->OFF	Toggle	35
08/22/18	11:10:49	P05 Trigger Time	bit set ON->OFF	Toggle	35
08/22/18	11:10:48	P05 Program Usage	bit set ON->OFF	Toggle	35
08/22/18	11:10:41	P05 Normal/Astronomical time	bit set OFF->ON	Toggle	35
08/22/18	11:10:37	P05 Trigger Time	bit set OFF->ON	Toggle	35
08/22/18	11:10:36	P05 Program Usage	bit set OFF->ON	Toggle	35
08/22/18	11:10:25	P04 Program Usage	bit set ON->OFF	Toggle	34
08/22/18	11:10:22	P04 Trigger Time	bit set ON->OFF	Toggle	34
08/22/18	11:10:19	P04 Normal/Astronomical time	bit set ON->OFF	Toggle	34
08/22/18	11:10:08	P04 Trigger Time	bit set OFF->ON	Toggle	34
08/22/18	11:10:07	P04 Program Usage	bit set OFF->ON	Toggle	34
08/22/18	11:09:58	P03 Trigger Time	bit set ON->OFF	Toggle	33
08/22/18	11:09:56	P03 Program Usage	bit set ON->OFF	Toggle	33
08/22/18	11:09:53	P03 Normal/Astronomical time	bit set ON->OFF	Toggle	33
08/22/18	11:09:40	P03 Trigger Time	bit set OFF->ON	Toggle	33

- 1) 프로그램 설정이 재배시기별 또는 재배작물별로 다르게 되는데 현재 설정값을 저장하고 다시 사용할 수 있도록 하는 기능. 이전에 저장된 설정을 화면에 복원할 경우 PLC에 적용된 값이므로 확인시에는 공급이 중지된 상태(시스템 정지상태)에서만 가능하도록 제한하는 것이 불가피함.
- 2) 최대 10개 저장. 프로그램당 110워드\*8개프로그램\*10개 저장 = 총 8800워드필요

## 8. 운전조작기록 화면

1) 터치 조작 시마다 조작한 데이터를 저장하고 확인할 수 있는 기능



## 9. 센서그래프 화면

1) EC, pH, 일사량의 값을 실시간 그래프로 표시하고 조회할 수 있는 기능



## 10. 수동운전 화면

- 1) 시스템에 연결된 각 부하를 수동으로 조작할 수 있는 기능
- 2) 펌프의 경우 동작상태를 확인하기 위해 탱크 저수위신호를 무시하는 기능 포함.
- 3) 수동운전 화면을 나갈 경우나 설정시간이 지날 경우 자동으로 Off하는 기능


## 11. 운전기록 화면

- 1) 시스템에 관리자가 상태변경 및 데이터 변경 기록보관 및 양액제어스케줄에 따라 동작상태 로그기록저장

<사용자 매뉴얼>

- 현재 개발된 양액시스템은 사업화가 진행중이며, 2019년도 상반기 해외수출을 위하여 계약을 마친 상태임.

## 용역 계약서

1. 용역명 : 필리핀  중 비닐하우스(육모동, 재배동) 시공 1식

2. 계약금액 : -순일억오천팔백삼십칠만팔천원정 (₩ 158,378,000 원, VAT없음)

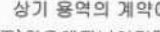
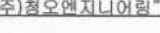
3. 계약기간 : 2018년 11월 13일 ~ 2019년 06월 30일 (계약일로부터 230일)

4. 계약보증금 : 계약금액의 10%

5. 지체보상금 : 지체일수 1일에 계약금액의 0.25%

6. 보원책임기간 : 준공후 24개월

7. 보원책임보증금 : 계약금액의 5%

상기 용역의 계약에 있어 "(주)  "를 "갑"이라 칭하고 "(주)  "를 "을"이라 칭하여 아래 조항을 합의하고 본 계약을 체결한다.

**제1조 (신의성실)**  
"갑"과 "을"은 본 계약 및 과업지시사항을 이행함에 있어 상호신의에 따라 성실히 이행한다.

**제2조 (과업의 내용)**  
별첨

**제3조 (계약에 대한 보증)**  
"을"은 본 계약의 체결과 동시에 상기에 명시된 계약보증금을 "갑"에게 현금 또는 계약이행보증서로 납부하여야 한다. 다만, "갑"이 인정하는 경우에는 지급각서로 대체할 수 있다.

**제4조 (과업의 변경)**

- ① 원 발주처와 "갑"간의 과업에 대한 설계변경 등 변경사항이 발생시 동일한 내용과 조건으로 "갑"과 "을" 간에서도 변경사항을 적용한다. 단, 최종 원발주처의 승인이 날 때까지 모든 변경 사항은 추가 비용 없이 수행하여야 하며 원발주처의 설계변경 완료 후 필요할 경우 별도로 추가 정산 한다.
- ② 노선변경, 교량터널 등 시설물의 형식 변경시 추가비용 없이 과업을 완료 하여야 한다.

<필리핀 수출 계약서>

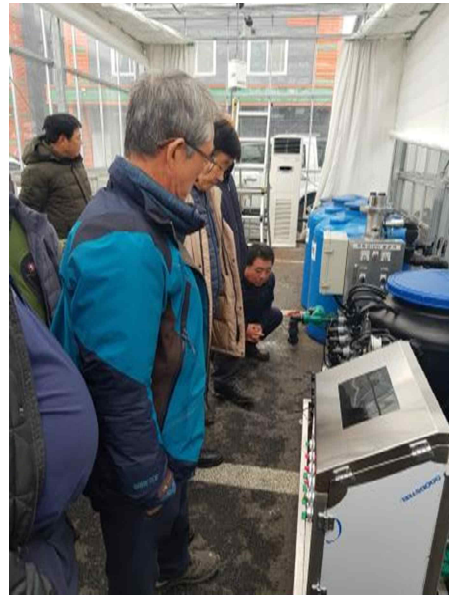
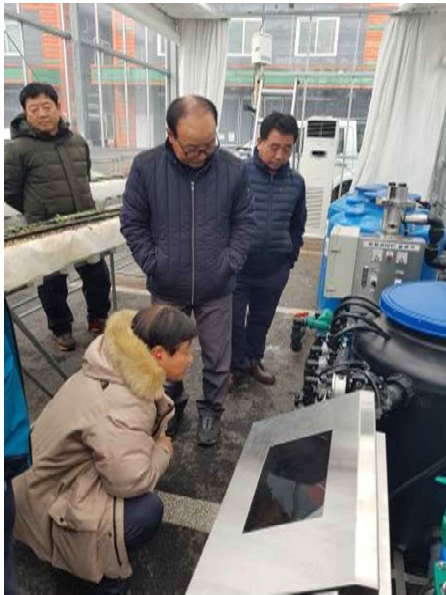
- 한국농어촌공사와 쿠웨이트에 177ha 규모의 ICT 융복합 기술을 적용한 스마트팜 온실 신축사업 추진예정.
- KT와 UAE에 장애인을 위한 스마트팜 시범구축 사업 추진 중임.
- 우즈베키스탄 사마르칸트 지역에 수출전문 스마트팜 단지 조성 사업 참여 예정.
- 사업화를 위하여 기술실시 3건을 진행 하였음.
- 복합환경제어용 컨트롤러와 내부기상대용 센서와 외부기상대용 센서 2종에 관하여 KC 인증을 받았음.
  - 내부기상대(COCB-IW(온습도/지온,지습/CO<sub>2</sub>/일사)
  - 외부기상대(COCB-OW(온습도/일사/강우/풍향,풍속

- 2차 시작품은 2018 대한민국국제농기계자재박람회에 전시하여, 많은 시설원에 업체 및 농가들에게 많은 호응을 얻었음.



<전시회 참가 모습>

- 온실재배를 하고 있는 농민들을 사내로 초청하여, 시작품 소개 및 시연을 해보는 시간을 가졌으며, 농가들의 조언 및 의견을 바탕으로 보완해 나갈 계획임.



<농가 초청 시연 모습>

나. 양액제어시스템과 환경제어시스템의 통합 현장 실증

○ 복합 환경제어시스템과 통합적용

- 복합 환경 제어시스템과 양액시스템간의 통합적용 실증을 위하여 논산에 위치한 딸기농가에서 양액기 및 환경제어시스템을 설치하여 작물 재배에 이용 중 임.



<논산 딸기농가 설치현장>



- 순창에 위치한 시설재배 농가에도 ICT 복합 환경 제어시스템 및 양액시스템을 설치하여 구동 중 임.



<순창 ICT 활용 시설재배 농가 설치 모습>

## 제 2절 주요과채류 양액처방로직 개선(1위탁 : 충남대학교)

### 1. 주요과채류 생육모델링에 따른 비료 요구량 DB

#### 가. 선진제품(Priva Maximizer) 분석

- Priva에서 개발된 Maximizer Version 9은 난방, 냉방, 제습 및 습도 조절, 엷은, 차광 및 보광과 연동된 통합 solution으로 상토 또는 토양의 비료 농도를 조절하고 있음.



#### ○ 양액제어 프로그램

- 양액 시작 프로그램에서 주기가 시작되는 시점에 누적 일사량과 수증기압차이의 누적량을 제로로 설정할 것인지 선택할 수 있도록 함. 이는 자동으로 양액을 공급할 때 누적일사량과 포화수증기압차(포차)를 근거로 설정됨을 의미함.
- 양액 공급 채널에 “Servo Close(서보 클로스)”라는 새로운 형식의 양액 공급기를 개발하여 적용하고 있으며, Servo Close는 관수가 종료된 시점에 모든 Servo가 닫힌 상태가 되도록 조절하고, 다음날 해가 뜨면서 관수가 시작될 때 먼저 Servo들이 계산된 위치로 작동하고 그 다음에 관수 펌프가 작동하도록 설계되어 있음.

○ 양액 탱크 프로그램

- 새로운 프로그램은 양액 탱크를 제어할 수 있도록 설계되어 있으며, 제어 기능에는 다음과 같은 내용이 포함됨.
  - 수위 측정: 탱크 내의 수위를 수위 센서 또는 어댑터 보드가 있는 부이(float)로 측정할 수 있다.
  - 탱크 출력 밸브: 이 밸브는 물 공급이 필요할 때 항상 열 수 있다. 탱크 수위가 낮아지면 이 탱크에서 물을 공급 받는 관수장치에 정보가 올리도록 설계됨.
  - 원수 보충 밸브: 물탱크에 물을 채워주는 밸브로서, 탱크의 수위가 설정된 밸브 위치 이하로 내려가면 탱크에 관수가 시작되도록 설정할 수 있음.
  - 오버플로우 밸브: 이 밸브는 탱크 수위가 지나치게 높을 경우 작동하여 탱크의 물이 넘치는 것을 방지하는 기능을 가짐.

○ 관수 (수동 정지)

- 보수 작업 등 관수를 중단하고자 할 때 관수장치의 작동을 수동으로 중지할 수 있도록 함. 새 프로그램에서는 수동정지를 <즉시:IMMEDIATE>(관수 즉시 중단) 또는 밸브\_CHANGE(현재 작동 중인 일체의 밸브를 정지시키고 관수를 중단한다) 등으로 설정할 수 있도록 설계됨.

○ 관수 관리 및 제어

- Priva Maximizer는 각 구역별로 관수 밸브를 제어할 수 있도록 설계되었으며, 밸브가 열리는 조건 및 열려 있는 시간을 정해주는 “시동”조건을 미리 설정하도록 설계됨.
- 각 밸브의 관수( 밸브에 공급되는 물 조절) 및 양액(밸브에 물을 공급하는 펌프에 투입되는 양액의 배합) 등을 설정할 수 있음.
- 잎 내부의 수증기양과 잎 외부(대기 중)의 수증기압의 차이(VPD)는 작물의 수분발산 정도를 나타내는 중요한 지표이며, 이 차이가 커질 때 작물의 수분 요구도가 높아지는 점을 고려하여 자동관수를 함.
- Maximizer는 일정 기간 동안의 VPD 합계를 계산하여 관수 빈도를 계산하며, 사용자가 VPD 합계량을 입력한 후 그 VPD 양에 도달할 때마다 관수 시스템이 작동되도록 컴퓨터 프로그램을 적용함(지상부 대기환경 조건을 고려한 관수 시스템임).

○ 급수 설비

- 급수는 밸브에 공급되는 수량을 제어함. 급수설비는 물탱크, 펌프, 양액혼합 장치, 또는 기타 수압장치 등이 포함됨.
- 급수설비에는 몇 종류의 양액 배합 메뉴가 포함되며 유량계를 설치할 수도 있음.

- 급수설비를 필요시에 중지시키는 장치에는 두 종류가 있음. 재순환 탱크의 수위가 낮아지면 수위가 다시 회복될 때까지 급수가 중지됨. “밸브 교체시 강제 정지”입력점 조건에 도달하게 되면 급수시스템은 정지하기 전에 현재 작동 중인 모든 밸브의 작동을 종결시킨다. 정상적인“강제정지” 입력점에 도달하게 되면 급수시스템은 작동 중에 있는 밸브라도 모두 정지시킴. 강제정지 조건이 해제되면 급수시스템과 밸브가 다시 작동됨.

○ 양액 조성표

- 배합표는 성분들 중에서 필요한 것을 선택하도록 지정해주는 것임. Maximizer에서 성분이란 관수설비와 그리고 관수에 혼합하여 작물에 공급해줄 양액들을 말함.
- 즉, 배합표란 관수에 어떤 양액을 얼마의 농도로 혼합해 줄 것인지를 지정해 놓은 표임. 서로 다른 배합표에 따라서 Maximizer 를 설정해줄 수 있으며, 사용자는 각 밸브별로 적용될 배합표를 지정해줄 수 있음.
- 배합표는 사용하고자 하는 양액공급 채널들을 결합시키는데도 이용할 수 있음(예) “배합표 1(Recipe 1)”은 질산을 사용, “배합표 2(Recipe 2)”는 인산을 사용하도록 할 수 있다. 사용자는 각 배합표 별로 어떤 양분공급 채널을 결합하여 사용할 것인지 선택 가능).

○ 각 배합표에 대하여 아래 사항을 선택해줄 수 있음.

- 원하는 EC 레벨(일사량을 기준으로 조절)
- 원하는 pH 레벨(산/탄산가스 선택과 함께)
- 원하는 EC 사전제어 레벨
- 공급 및 순환수 저장탱크 선택
- 양액 공급 선택



○ 양액 공급 채널

- 공급 채널은 관수에 투입할 각 영양 성분의 양을 제어하는데 사용됨.
- 양액공급 채널은 채널은 펄스 펌프, 주파수 드라이브, 서보 제어, 아날로그 출력 등이 될 수 있음.
- 하나의 급수설비에 여러 개의 양액 공급 채널을 설치할 수 있음.

○ 관수 및 순환수 저장 탱크

- Maximizer는 저장탱크의 물 공급을 제어하는 관수 및 순환수 밸브와 오버플로 밸브를 제어하여 탱크가 넘치는 것을 방지함.
- 탱크가 비게 될 경우 보충수 밸브를 제어하여 채워줌. 저장탱크에 물이 비게 될 경우 작물의 관수 공급이 중단됨.

Configure / Equipment / Irrigation(구성/장비/관수)

	
<p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/DRAIN VALVE</b>                      DRAIN VALVE FillState:ON StandState:ON                      [01of04] DrainState:OFF</p> <p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/EC</b>                      RECIPE EC P:3.0 I:0.5                      [01of08] MeasCycle:4 FlowInfl:YES</p> <p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/pH</b>                      RECIPE pH P:3.0 I:0.5                      [01of08] MeasCycle:4 FlowInfl:YES</p> <p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/EC PRECONTROL</b>                      RECIPE EC_PreControl P:3.0 I:0.5                      [01of08] MeasCycle:4 FlowInfl:YES</p> <p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/DOSING CHANNELS</b>                      DOSE CHAN Solution:ACID Inj:FREQ                      [01of08] MinPls:0.1 MaxPls:3.0 Time:4</p> <p><b>CONFIG/EQUIPMENT/IRRIG/RECIPE</b>                      DOSECHAN RC1 RC2 RC3 RC4 RC5 RC6 RC7 RC8                      [01of08] 100 100 100 0 0 0 0 0</p>	<p><b>196 CONFIGURE/IRRIGATION EQUIPMENT</b></p> <p>1 Drain Valve FillState StandState DrainState</p> <hr/> <p>1 ON ON OFF                      2 ON ON OFF</p> <p>2 Recipe 1 2 3 4 5</p> <hr/> <p>3 EC Pre P Factor 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0                      4 EC Pre I Factor 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0                      5 EC Pre Meas Cycle 4 4 4 4 4                      6 EC Pre Flow Influe NO NO NO NO NO                      7 EC P Factor 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0                      8 EC I Factor 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0                      9 EC Meas Cycle 4 4 4 4 4                      10 EC Flow Influe YES YES YES YES YES                      11 pH P Factor 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0                      12 pH I Factor 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0                      13 pH Meas Cycle 4 4 4 4 4                      14 pH Flow Influe YES YES YES YES YES</p> <p>15 Dosing Channel 1 2 3</p> <hr/> <p>16 Solution ACID EC EC                      17 Injector Type FREQUENCY PLS_PMP PLS_PMP                      18 Min Pulse Length 0.2 0.5 0.5                      19 Max Pulse Length 0.2 2.5 2.5                      20 Time 4 4 4</p>

PC Configure Overview(PC 구성 화면)

21 Use with Recipe 1	100	100	100
22 Use with Recipe 2	100	100	100
23 Use with Recipe 3	100	100	100
24 Use with Recipe 4	100	100	100
25 Use with Recipe 5	100	100	100
26 Use with Recipe 6	100	100	100
27 Use with Recipe 7	100	100	100
28 Use with Recipe 8	100	100	100

<PC Configure Overview>

- 이 화면에서는 급수시스템, 관수밸브, 배수밸브, 양액공급장치 등을 설정 및 제어함.
  - Ebb and Floor 밸브를 사용할 경우, 배수밸브의 구성을 여기서 해줄 수 있음.
  - FillState는 floor 또는 bench(육묘장)을 관수밸브로 채우고 있는 출력상태임. StandState는 채우기 밸브가 닫힌 후 일정 시간 후의 floor나 bench의 상태를 나타내는 출력임.
  - Drainstate는 채우기 또는 대기(stand) 상태가 아닐 때의 출력임.
  - EC, pH, EC Precontrol 등의 설정은 해당 배합표에 따라 입력해줌.
  - P-Factor는 EC(전기전도도), pH, EC Precontrol 설정에서 비례인자를 나타냄. 설정한 값과 실제 측정사이의 차이에 직접적으로 비례하여 양액공급 비율을 제어함.
  - I-Factor는 EC 제어의 적분인자이다. 설정한 값과 실제 측정값 사이에 차이가 있는 시간의 길이에 따라 양액 공급 비율을 조정함.
  - Measurement Cycle(측정 사이클)은 양액이 관수에 주입된 후 센서에 의하여 측정될 때까지 걸리는 시간이다. 이 시간은 관수 시스템의 배관길이에 따라 정해짐.
  - Flow-Influence(유량 영향)은 EC를 유량에 따라 조정할 것인지 여부를 표시함.
  - Minimum Pulse, Maximum Pulse, Cycle Time 등의 작용은 현재 사용하고 있는 제어방식에 따라 정해짐. Injector Type 설정으로 사용할 제어 방식을 설정함(4 종류 제어 방식).
- Pulse Pump Control (펄스 펌프 제어)
 

첨가할 양액의 양에 따라 펄스의 길이를 제어함. 첨가할 양액이 소량일 때는 펄스의 길이가 Minimum Pulse(최소펄스)에 설정해준 초 숫자와 같게 됨(펄스의 최소 길이는 솔레노이드나 펌프에 전압이 걸린 후 양액공급이 실제로 시작될 때까지 걸리는 시간임). Maximum Pulse(최대 펄스)는 양액 공급 비율이 100%일 때 각 제어사이클에 줄 수 있는 최대 펄스 길이임. Time은 한 제어 사이클에 걸리는 시간 설정으로서 양액 제어장치의 응답시간으로 설정해 주어야 함.
  - Frequency Control (주파수 제어)

주파수제어는 첨가할 양액의 양에 따라서 펄스의 숫자를 제어하는 방법임. 소량의 양액을 공급할 경우 펄스 사이의 간격이 길게 되고 다량을 첨가할 때는 아주 짧아짐. Minimum Pulse(최소펄스)는 각 펄스의 길이이며 Maximum Pulse와 Time은 이 제어 방법에서 적용되지 않음.

▪ Analog Control (아날로그 제어)

아날로그 출력 전압을 양액공급 비율에 따라 비례 제어하는 방법임. 아날로그 출력의 전압은 Configure/Equipment/Analog Output에서 설정해 줌.

▪ Servo Control(서보 제어)

양액의 공급량에 따라서 믹싱밸브의 열림을 제어하는 방식임. Time은 믹싱밸브가 0% 위치에서 100% 위치까지 열리는데 소요되는 시간(초)임. Minimum Pulse는 밸브가 움직이는데 허용되는 최소 시간임. 이 시간 보다 더 짧은 동작시간이 Maximizer에서 산출될 경우 밸브는 움직이지 않음.

- Solution 설정은 이 공급채널에서 관수에 주입되는 내용물이며 다음과 같이 열거할 수 있음.

- EC: 관수의 EC를 높이기 위해 양액을 주입하고 있음.
- ACID: 산도(pH)를 낮추기 위하여 산을 주입하고 있음.
- LYE: 산도(pH)를 높이기 위하여 알칼리를 주입하고 있음.
- EC\_PRE: EC Precontrol 설정과 EC Precontrol 측정값을 바탕으로 양액을 주입함.
- FLOW: 이 채널에서는 “Configure/Sensor/Irrig/Flow”에서 설정한 유량의 100% 비율로 공급하고 있다. 이것은 제초제나 다른 농약을 사용할 때에도 적용됨.

- InjectorType은 시스템에 설치된 주입기의 방식을 표시하며 아래와 같은 방식이 있음.

- Frequency Control(주파수 제어): ON/OFF 방식이며 주입량에 따라 PN 되는 횟수가 증가함. 이 방식에서는 Minimum Pulse(최소 펄스)가 각 공급 펄스의 길이와 같음.
- Pulse Pump Control(펄스 펌프 제어): ON/OFF 방식이며 주입량에 따라 펄스의 길이가 증가함. Minimum Pulse가 각 공급 펄스의 최소 길이가 된다. Maximum Pulse는 각 공급 펄스의 최대 길이임. Time 설정값은 각 사이클을 반복하는데 소요되는 시간(초)임.
- Analog(아날로그): 선택 구매품인 아날로그 출력 칩(Analog Output chip)이 필요함. 공급채널이 아날로그 출력에 설정됨. 양액 공급량이 증가하면 출력 전압도 비례하여 증가함.
- Servo\_Control(서보 제어): 출력이 두 개 있음. Open 출력이 주어지면 양액 공급량이 증가하고 Closed 출력이 주어지면 감소함. Time 설정값은 서보(밸브)가 완전히 닫힌 상태에서 완전히 열릴 때까지 걸리는 시간이 됨. Minimum Pulse는 밸브

브가 움직일 수 있는 최소 시간이며, Maximum Pulse 설정은 사용하지 않음.

- Servo\_Close Control: 출력이 두 개 있음. Open 출력이 주어지면 양액 공급량이 증가하고 Closed 출력이 주어지면 감소함. Time 설정값은 서보(밸브)가 완전히 닫힌 상태에서 완전히 열릴 때까지 걸리는 시간이 됨. Servo Close 제어 방식에서는 관수 사이클이 종료되면 모든 서보들이 닫히게 됨. 다음 관수 사이클이 시작될 때 급수시스템은 먼저 서보를 적정 위치로 움직이게 한 후 급수 펌프를 가동하여 관수 사이클을 시작함.

- 각 공급 채널에 대하여 특정한 배합표 작업을 하도록 설정해 줄 수 있음. 이 설정은 Use With Recipe(배합표 사용)에서 할 수 있으며, 이 값이 0으로 설정되면 그 공급 채널은 그 배합표에 의한 작업을 하지 않게 됨. 공급채널은 오직 그 배합표에 의한 양액공급 작업에만 사용됨. 설정값이 0과 100 사이의 값이면 그 공급채널은 그 배합표에 의한 작업을 부분적으로만 수행할 수 있게 됨.

- 단위:

- Fill State, Stand State, Drain State: OFF 또는 ON
- P-factor: 비례인자. PID 제어에서 실제 및 적정 EC 수준의 차이와 곱해짐.
- I-factor: 적분인자. PID 제어에서 실제 및 적정 EC 수준의 차이와 곱한 후 이전의 곱한 값에 더해짐.
- Measuring Cycle: 급수의 EC나 pH 농도를 재측정하는데 걸리는 시간(초)
- Flow Influence: Yes 또는 NO - 측정된 유량이 양액 공급량에 영향을 미치는지 여부를 표시.
- Cycle Time: 급수의 EC나 pH 농도를 재측정하는데 걸리는 시간(초)
- Solution: 현재 주입하고 있는 양액 종류를 표시
- Injector type: 이 공급 채널에서 사용하고 있는 주입기의 방식을 표시
- Minimum pulse length, Maximum pulse length, time: 초
- Use with Recipe: 0% 내지 100%

나. 논문, 특허를 활용하여 주요 과채류의 품목별, 작형별, 생육단계별 최적의 비료 요구량 확인

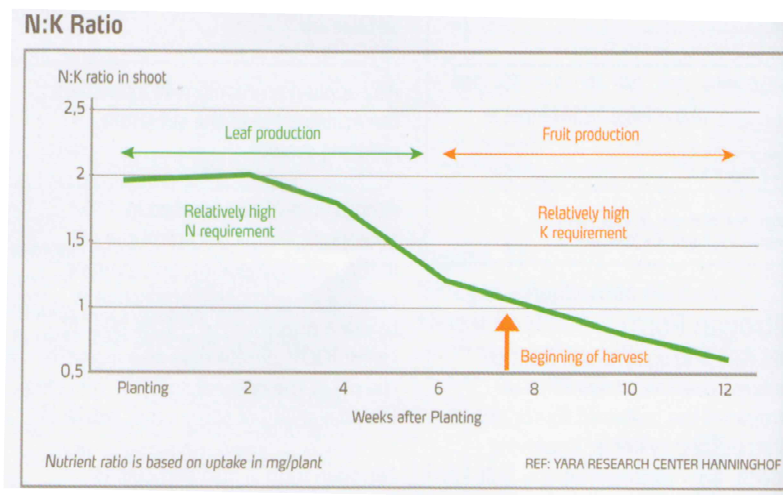
○ 작형의 생육 단계에 따른 지상부 성장량 및 원소 흡수량 변화

- 주요 채소류 재배시 파종기, 유묘기, 성숙기 등 재배시기의 환경조건(주로 온도)에 따라 축성재배, 반축성재배, 보통재배 및 억제재배 등 다양한 형태의 작형이 분화됨.
- 그러나 과채류를 비롯한 최근의 채소류 양액재배는 시설 내에서 재배가 이루어지고 냉·난방을 위한 적극적인 조치를 하는 농가수가 늘어나고 있음. 따라서 관행적으로 세분화되었던 각종 재배작형에서 작물 생육 시기의 작형 별 온·습도 차이가 현저히 줄어들고 있음.
- 작물 재배방법도 많은 변화가 일어나고 있어 딸기의 경우 전국 딸기 재배의 약 85%



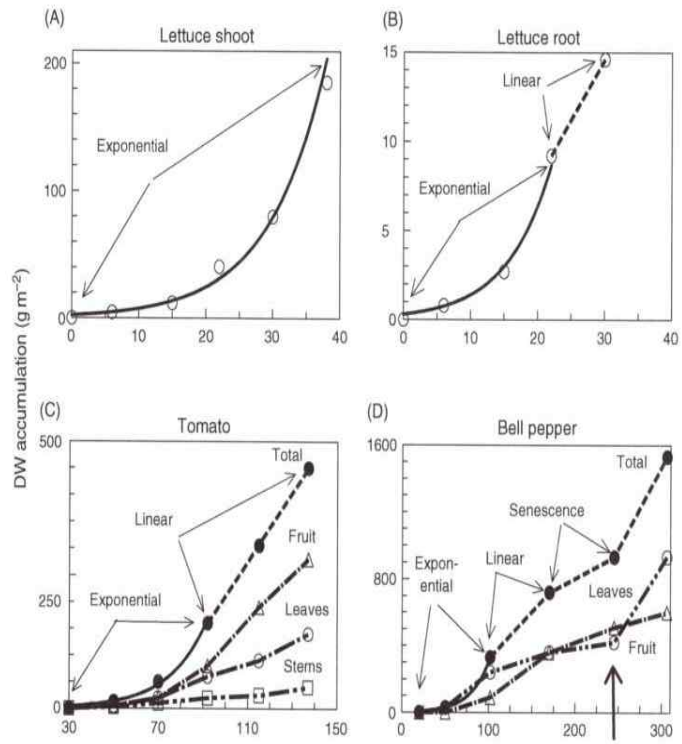
에 해당하는 면적이 축성재배를 하고, 일부가 반축성재배를 하며, 과거와 같은 노지 재배는 극히 미미한 수준으로 통계조차도 없는 실정임.

- 이와 같이 시설하우스 내에서 재배가 이루어지고 작형별 온·습도 차이도 줄어들었지만 시설내부의 온도가 상대적으로 낮은 겨울철에는 작물 성장량이 적고, 시설하우스 내부 온도가 비교적 높은 4월 이후에는 작물 성장량이 증가함.
- 작물의 무기원소 흡수량은 성장량에 비례하여 증가하며, 작물이 어린 유묘상태에서는 비료 요구량이 적고 지상부 성장량이 많은 수확기에는 비료 흡수량도 많아짐.
- 따라서 새롭게 개발되어야 하는 양액 공급 및 재순환 시스템은 작형별 차이를 고려하여 시비의 농도를 조절하는 것 보다 작물의 성장상태를 고려하여 시비의 농도를 조절할 수 있는 시스템이 되어야 함.



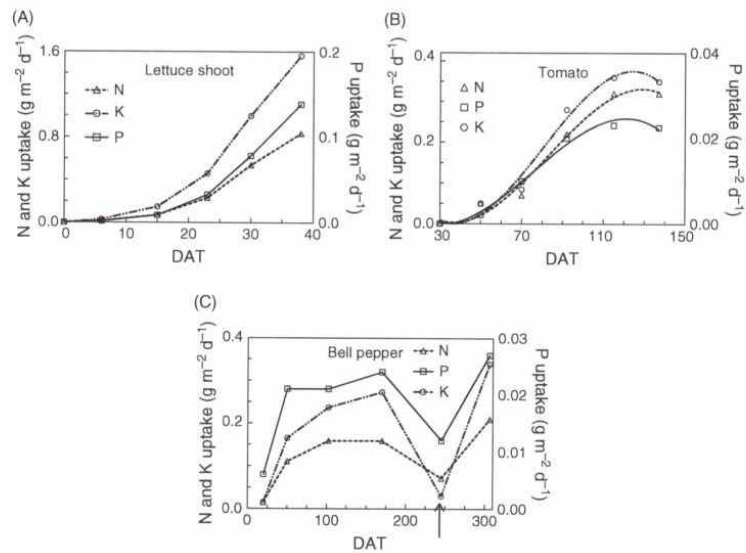
<작물의 N, K 비 변화>

- 유럽에서도 이상과 같은 접근이 이루어지고 있고, 아래의 그림은 정식 후 시간이 경과함에 따라 상추, 토마토, 파프리카(착색단고추)의 지상부 성장량(건물중) 증가를 나타낸 그림.



<상추, 토마토, 파프리카의 지상부 성장량>

아래 그림은 이 세작물의 무기원소 흡수량(건물중에 기초한 무기원소 흡수량 변화(g·m<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>))를 나타낸 것임.



<무기원소 흡수량 변화>

○ 작물별 또는 생육단계별 흡수하는 무기원소의 종류 및 양의 차이

- 작물별, 각 작물의 생육단계별로 지상부 성장량이 다르며 흡수하는 원소의 종류와 양이 다름. 새롭게 개발되는 양액공급장치는 이와 같은 내용들이 반영될 수 있도록 설계되어야 함.
- 딸기의 경우 정식 후 유묘기에는 N보다 K의 농도가 낮거나 유사한 수준이지만, 개화기이후에는 K의 농도를 높이도록 추천하고 있음.
- 착색단고추의 경우 정식 후 개화기까지 K의 농도가 N보다 30%이상 더 높은 농도를 추천하고, 유사한 수준의 N:K 농도를 수확기까지 추천하고 있음.
- 토마토의 경우 N에 비해 K농도를 월등히 높게 추천하고 있으며, 이러한 농도는 정식 후부터 수확기까지 유사하게 추천되는 내용임.

생육 단계	N	P	K	Ca	Mg
	(mg·L <sup>-1</sup> )				
시설재배 딸기					
· 정식기	55-60	20-25	45-60	60-70	35-40
· 개화기 및 1화방 수확기	70-85	20-25	70-90	100	45
· 2화방 수확기	80-85	25-30	80-90	100	45
· 3화방 수확기	80-85	25-30	80-90	100	45
· 4화방 수확기	55-60	20-25	55-60	80	35
착색단고추 여름철 시설재배 또는 비가림 재배					
· 정식기 ~ 개화기	50-60	50-60	75-80		
· 수정 ~ 과일 비대기	80-100	80-100	100-120		
· 과일 성숙 ~ 수확기	100-120	100-120	140-160		
· 과일 수확기	130-150	130-150	180-200		
토마토 가을 및 겨울 재배					
· 정식기	80-90	30-40	120-140	180-220	40-50
· 개화기 ~ 수분 및 수정기	120-150	30-40	180-220	230-250	40-50
· 과일 성숙 및 수확기	180-200	30-40	230-250	180-220	40-50
· 과일 수확기		30-40	180-220	180-220	40-50

<딸기, 착색고단고추 및 토마토의 생육 단계별 양액 조성도>

○ 양액 공급 방법

- 생육단계별 주요 무기원소의 시비농도와 비율이 변화되어야 하지만, 공급되는 총 무기원소의 양은 EC(electrical conductivity, dS·m<sup>-1</sup>)를 기준으로 조절되고 공급됨.
- 미리 생육단계에 적합하도록 양액 조성을 변화시킨 뒤 EC를 기준으로 양액을 공급하면 변화된 양액조성이 반영되어 총 공급되는 무기원소의 종류 및 양이 조절되며, 국·내외의 대부분 양액공급기를 제조하는 회사들이 이와 같은 방법을 따르고 있음.

○ 양액 조성의 data base(DB)화

- 상기한 바와 같이 작물 별로 또는 생육단계 별로 흡수하는 무기원소의 종류 및 양의

차이가 있음. 그러나 재배농가에서는 한국원시, 일본원시, 야마자키 등 일부 양액 조성을 무비판적으로 작물재배에 적용하고 있으며, 이는 DB의 부족 또는 기존의 양액 공급시스템이 DB를 활용할 수 있도록 제작되지 못한 것이 원인임.

- 이미 농촌진흥청에서도 주요 채소류 재배를 위한 양액의 조성에 관하여 “시비처방 및 양액농도조정 프로그램”을 개발하여 보급한 바 있음.
- 최근에는 양액재배를 하는 채소류의 종류가 다양해지고 있으며, 정부 주요 처, 대학교, 유관기관의 연구원들이 공동으로 인식하고 있는 바와 같이 순환식 양액재배 시스템(양액재순환; 미국식 표현, closed cultivation system)의 개발이 필요하여 본 연구과제가 성립되었다고 판단함.

○ 작물 영양상태의 판단을 위한 식물체 분석 결과 및 토양분석 결과의 활용

- 작물을 재배할 때 무기원소의 공급을 통한 작물 영양상태가 적절하지의 여부는 보편적으로 가지적인 증상을 기준으로 판단, 식물체 분석, 그리고 토양분석 결과를 기초로 판단함.
- 이중 식물체내 무기물 함량과 토양분석 결과가 DB화 된다면 새롭게 개발된 양액시스템을 사용하여 관비할 때 양액의 적정 농도와 무기원소의 상호간 비율을 조절할 수 있음.
- 따라서 작물별 DB화가 필요하며 아래의 결과는 토마토, 착색단고추, 딸기의 식물체내 무기물 함량과 상토의 무기원소 농도의 판단 기준을 나타낸 것임.
- 토마토 재배 시 식물체내 무기물 함량의 보편적인 판단 기준.

무기원소	정상 생육 범위	결핍범위
<b>다량원소</b>		<b>(%)</b>
· Nitrogen (N)	2.80-4.50	<2.00
· Phosphorus (P)	0.30-0.75	<0.20 <sup>b</sup>
· Potassium (K)	2.50-4.00	<1.50 vegetative <2.50 fruiting
· Calcium (Ca)	1.50-4.00	<1.00
· Magensium (Mg)	0.40-1.30	<0.30
· Sulfur (S)	0.30-4.00	Not known
<b>미량원소</b>		<b>(ppm)</b>
· Boron (B)	25-100	<20
· Copper (Cu)	5-20	<4
· Iron (Fe)	40-300	<40
· Manganese (Mn)	40-400	<30
· Molybdenum (Mo)	0.1-10	Not known
· Zinc (Zn)	20-100	<15

<식물체내 보편적 무기물 함량 범위>

○ 토마토 재배 시 생육단계별 식물체내 무기물 함량의 적정 영역.

무기원소	정상생육 범위	
	영양생장기	작과기
<b>다량원소</b>	<b>건물중의 %</b>	
· Nitrogen (N)	4.5-5.0	3.5-4.0
· Phosphorus (P)	0.5-0.8	0.4-0.6
· Potassium (K)	3.5-5.0	3.0-4.0
· Calcium (Ca)	0.9-2.0	1.0-2.0
· Magenesium (Mg)	0.5-1.0	0.4-1.0
· Sulfur (S)	0.3-0.8	0.3-0.8
<b>미량원소</b>	<b>건물중의 ppm</b>	
· Boron (B)	33-60	35-60
· Copper (Cu)	8-20	8-20
· Iron (Fe)	50-200	50-200
· Manganese (Mn)	50-125	50-125
· Zinc (Zn)	25-100	25-100

<토마토 무기물 적정 함량>

○ 착색단고추(파프리카) 재배 시 식물체내 무기물 함량의 보편적인 판단 기준.

무기원소	부족	적정영역	과잉
<b>다량원소</b>	<b>(건물중의 %)</b>		
· Nitrogen (N)	3.00-3.49	3.50-5.0	>5.0
· Phosphorus (P)	0.18-0.21	0.22-0.7	>0.8
· Potassium (K)	3.00-3.49	3.50-0.5	>4.5
· Calcium (Ca)	1.00-1.29	1.30-2.8	>1.0
· Magenesium (Mg)	0.26-0.29	0.30-1.0	>1.0
<b>미량원소</b>	<b>(건물중의 ppm)</b>		
· Boron (B)	23-24	25-75	>75
· Copper (Cu)	4-5	6-25	>25
· Manganese (Mn)	4-49	50-250	>250
· Zinc (Zn)	18-19	20-200	>200

<착색단고추 무기물 적정 함량>

○ 근권부 무기이온 농도

- 양액재배를 위해 비료를 원액 탱크에 용해시키고, 용해되어 이온화된 무기이온들을 작물에 공급함.
- 그러나 근권부의 무기이온 농도를 측정하고, 그 결과를 근거로 양액 조성을 변화시키거나 시비농도를 조절하는 것이 가능하도록 개발된 양액공급 장치는 국내에서 없는 상태임.
- 일반적으로 근권부의 무기이온 농도는 현재부터 미래에 전개될 결과를 예측하기 위해 활용하는 결과이며 근권부의 농도를 기준으로 시비 상태를 판단하기 위한 다양한 시도가 있었음.
- 그러나 근권부의 무기이온 농도를 실시간으로 분석하여 양액공급에 적용하기 보다는 시료를 채취한 후 실험실에서 분석하고 그 결과를 양액공급에 적용하는 형태로 적용되어 왔음. 따라서 분석결과를 적용할 시점에는 이미 근권환경의 무기물 농도가 분석시료 채취시와 다른 상태로 변해 있는 경우가 많은 문제점을 가짐.
- 그럼에도 불구하고 본 연구를 통해 새롭게 개발된 양액공급장치는 “DB화된 주요 작물의 재배를 위한 근권부 적정 무기이온 농도”를 활용할 수 있도록 설계되어야 하며, 이는 현재 보다 미래의 활용 가능성을 높이기 위해 필요한 부분이라고 생각함.
- 근권부의 무기이온 농도는 시료를 채취하는 방법, 채취 후 분석 방법에 따라 결과의 차이가 큼. 특히 추출 방법에 따른 차이가 크며 전세계적으로 자국에서 발달한 독특한 추출방법을 적용하고 있어 결과의 해석이 어려운 경우가 많이 발생함(영국 1:6 방법, 네덜란드 1:1.5 방법, 미국 포화추출법, 1:2 방법 및 Porethrough 등).
- 근권부의 무기이온 농도의 적정 기준에 관해서는 본 연구실(충남대학교 시설원예학 실험실)이 가장 많은 연구를 수행하였고, 다양한 data를 확보하고 있음.

○ 수확기 이후의 토마토 재배를 위한 비순환식 및 순환식 양액재배의 적정 무기원소 농도 및 이에 영향 받은 근권부의 적정 농도.

	비순환식 양액재배	순환식 양액재배	근권부 이온농도
EC (dS·m <sup>-1</sup> )	2.6	1.6	4.0
NH <sub>4</sub> (mmol·L <sup>-1</sup> )	1.2	1.0	< 0.5
K	9.5	6.5	8.0
Ca	5.4	2.75	10.0
Mg	2.4	1.0	4.5
NO <sub>3</sub>	16.0	10.75	23.0
SO <sub>4</sub>	4.4	1.5	6.8
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.5	1.25	1.0
Fe (μmol·L <sup>-1</sup> )	15	15	25
Mn	10	10	7
Zn	5	4	7
B	30	20	50
Cu	0.75	0.75	0.7
Mo	0.5	0.5	0.5

<토마토 양액재배의 적정 무기원소 농도 및 근권부의 적정 농도>

○ 착색단고추 재배를 위한 비순환식 및 순환식 양액재배의 적정 무기원소 농도 및 이에 영향 받은 근권부의 적정 농도.

	비순환식 양액재배	순환식 양액재배	근권부 이온농도
EC (dS m <sup>-1</sup> )	2.2	1.7	3.0
NH <sub>4</sub> (mmol L <sup>-1</sup> )	0.75	0.75	< 0.5
K	6.5	5.75	5.0
Ca	5.0	3.5	8.5
Mg	1.5	1.125	3.0
NO <sub>3</sub>	15.5	12.75	17.0
SO <sub>4</sub>	1.75	1.0	3.0
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.25	1.0	1.2
Fe (μmol L <sup>-1</sup> )	15	15	15
Mn	10	10	5
Zn	5	4	7
B	30	25	80
Cu	0.75	0.75	0.7
Mo	0.5	0.5	0.5

<착색단고추 양액재배의 적정 무기원소 농도 및 근권부의 적정 농도>

○ 딸기 재배를 위한 근권부의 적정 무기이온 농도.

무기원소	판단기준(mg/kg, ppm)				
	낮음	수용 가능	최적범위	높음	매우 높음
Nitrogen-N	0-39	40-99	100-199	200-299	300+
Phosphorus (P)	0-2	3-5	6-9	11-18	19+
Patassium (K)	0-59	60-149	150-249	250-349	350+
Magnesium (Mg)	0-29	30-69	70+		
Soluble salts (mS/cm)	<0.75	0.75-2.0	2.0-35	3.5-5.0	5.0+

<딸기 양액재배의 근권부의 적정 농도>



다. 국내·외 문헌 검색결과의 주요 재배조건 정리

○ 문헌 조사는 주요 과채류인 딸기, 토마토를 포함하여 총 14종의 재배조건을 정리하였음. 1차년도 보고서에는 826편의 문헌을 조사하여 각 작물의 재배조건 및 양액의 처리 수준을 포함시켰으나 최종보고서의 양이 과도하게 많아 조사한 내용과 인용문헌을 대배분 삭제하였음(1차년도 보고서를 참고할 수 있음). 이와 같은 방법으로 조사하였다는 의미로 1차년도에 제시되었던 내용 중 극히 일부분만 제시하며 각 작물명, 재배단계, 온도, 습도, 배지, 관비 횟수, pH, EC, 양액을 정리하였고 내용은 아래와 같음.

작물	재배 단계	온도	습도	배지	관비 횟수	pH	EC	양액
딸기 cv. 고하	생육기 전반			바이오플러그 2호(홍농종묘, 세미니스코리아)	생육초기부터 6월까지 200-350mL, 고온수확기 7-9월, 저온수확기 400-500mL, 1일당 5회		정식 후~60일(저온기): 0.6-0.8 정식후 60-120일(고온기): 0.9-1.0 120일~실험종료기(저온기): 1.1-1.2	야마자키
딸기 cv. 설향	육묘기			팽연왕겨(0.26)	2-3/일	6.2-6.5	0.4-0.65	한국원시표준
딸기 cv. 설향	영양생장	9-20도	50-70	피트모스/필라이트(7:3)+백운석계 고토석회 상토 1kg당 50g	시비시작 50일 3회/주, 50일 이후 4회, 배수율 40%	근권부 6.0-6.3	1.12-2.08	Argo and Biernbaum(1996)
딸기 cv. 설향	영양생장	16-26	65	코이어더스트/피트모스(7:3)	배수율 20-30%	6.3	0.8-1.2	Hoagland and Arnon, 1950
토마토 cv. 유니콘	45일 육묘후	주야 32.1/24.5	67.5	정식용 압면 슬래브(100 × 15 × 7.5cm, 한국유알압면, Korea)	하루에 주 당 440~520mL, 배액율 10-12.5	5.5-6.5	1.9	대조구(방울 토마토 전용 일본원시양액 N(218.3mg·L, 1N)을 기준
토마토 cv. 마스카라	53일 육묘후	16/22.5		coir, peatmoss, red clay (20%) + peatmoss (80%)	생육 초기 6회, 중기 9회, 후기 12회, 주당 100mL씩 공급	6.5	2	야마자키 토마토 양액
고추 cv. Yeontaseok (Capsicum annuum L.)	70일 고추묘 정식	16-26	60-70	원예용상토(Sinsung Mineral Co., Ltd., Jincheon, Korea)	생육초기 3일 한번 정식 30일 이후는 2일에 1회, 배액 20-30%			Hoagland and Aron, 1950
오이 cv. 백봉다다기		주야 18-28/12-20		육묘상토(튼튼이, 농우바이오), 정식용 코이어 자루배지(Chip:dust=70:30, 코코믹스, 서원양행)	1회 급액량 150mL, 11회/1일로 급액		3.0 착과후 2.0-2.3으로 낮추어 관리	야마자키 오이배양액
인삼 자경종	묘삼(0.7-1.0g)	14-23	60-70	원예용 상토(홍농, 한국)와 필라이트 3호(경동세라텍, 한국) 3 : 5 비율	1주일에 2일, 1일에 2회	6.5	1	Kim 등 (2010), NO <sub>3</sub> -N 3.5, NH <sub>4</sub> -N 0.25, PO <sub>4</sub> -P 0.75, K 2.0, Ca 2.0, Mg 1.0, SO <sub>4</sub> -S 1.0 me/L,

라. 국내·외 양액재배를 위한 주요 양액의 조성

- 개별 양액 조성별 다량원소 조절을 위해 첨가되는 비료염의 종류 및 첨가량
- 문헌 조사는 주요 과채류인 딸기, 토마토를 포함하여 다량원소의 양액조성 68종류, 미량원소 조성 68종류를 정리하였음. 1차년도 보고서에는 826편의 문헌을 조사하여 각 작물의 재배조건 및 양액의 처리 수준을 포함시켰으나 최종보고서의 양이 과도하게 많아 조사한 내용과 인용문헌을 대배분 삭제하였음(1차년도 보고서를 참고할 수 있음). 이와 같은 방법으로 조사하였다는 의미로 1차년도에 제시되었던 내용 중 극히 일부분만 제시함.

작물	배양액의 종류	KNO <sub>3</sub>		Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O		5[Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O]NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		HNO <sub>3</sub>		비료염 합계	
		me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L
오이	1 원연전용액	7.00	707.7	5.00	590.4	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	2.00	246.5	2.00	76.7	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	16.00	1,621
토마토	1 원연전용액	5.00	505.5	4.00	472.3	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	2.00	246.5	2.00	76.7	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	13.00	1,301
풋고추	1 원연전용액(릴라이트)	7.00	707.7	4.00	472.3	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	2.00	246.5	3.00	115.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	16.00	1,542
가지	1 야마자키액	7.00	707.7	3.00	354.2	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	2.00	246.5	3.00	115.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	15.00	1,423
피망	5 0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0
멜론	1 야마자키액	6.00	606.6	7.00	826.5	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	3.00	369.7	4.00	153.4	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	20.00	1,956

- 개별 양액 조성별 다량원소 조절을 위해 첨가되는 비료염의 첨가량에 따른 농도

작물	배양액의 종류	NO <sub>3</sub> -N		NH <sub>4</sub> -N		P		K		Ca		Mg		S	
		me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L	me/L	mg/L
오이	원연전용액	12.00	168.1	0.67	9.3	2.00	20.6	7.00	273.7	5.00	100.2	2.00	24.3	2.00	32.1
토마토	원연전용액	9.00	126.1	0.67	9.3	2.00	20.6	5.00	195.5	4.00	80.2	2.00	24.3	2.00	32.1
풋고추	원연전용액 <sub>2</sub>	11.00	154.1	1.00	14.0	3.00	31.0	7.00	273.7	4.00	80.2	2.00	24.3	2.00	32.1
가지	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
피망	야마자키액	9.00	126.1	0.83	11.7	2.50	25.8	6.00	234.6	3.00	60.1	1.50	18.2	1.50	24.0
엽과채류	일원시표준액	16.00	224.1	1.33	18.7	4.00	41.3	8.00	312.8	8.00	160.3	4.00	48.6	4.00	64.1
풋고추	유립(압면)	11.00	154.1	1.25	17.5	3.75	38.7	6.00	234.6	5.00	100.2	2.50	30.4	2.50	40.1
상추	야마자키액	6.00	84.0	0.50	7.0	1.50	15.5	4.00	156.4	2.00	40.1	1.00	12.2	1.00	16.0
착색단고추	유립(압면, 개방)	12.25	171.6	0.00	0.0	3.75	38.7	6.00	234.6	7.50	150.3	2.50	30.4	2.50	40.1
장미	락울(배양액)	11.00	154.1	1.25	17.5	3.75	38.7	5.00	195.5	7.00	140.3	1.50	18.2	2.50	40.1

○ 개별 양액 조성별 미량원소 조절을 위해 첨가되는 비료염의 종류, 첨가량 및 농도

작물	배양액의 종류	Fe-EDTA(mg/L)		MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O		CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O		ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>		Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	
		비료염량	성분함량	비료염량	성분함량	비료염량	성분함량	비료염량	성분함량	비료염량	성분함량	비료염량	성분함량
오 이	원연전용액	20.0	2.92	2.0	0.49	0.05	0.01	0.22	0.05	3.0	0.52	0.02	0.01
토마 토	화란(암면)	5.7	0.84	2.2	0.55	0.19	0.05	1.44	0.33	1.9	0.32	0.12	0.05
꽃고 추	원연전용액 (필라이트)	20.0	2.92	2.0	0.49	0.05	0.01	0.22	0.05	3.0	0.52	0.02	0.01
오 이	아마자키액	20.0	2.92	2.1	0.52	0.08	0.02	0.22	0.05	2.9	0.50	0.03	0.01
가 지	화란(암면)	5.7	0.84	2.2	0.55	0.19	0.05	1.44	0.33	1.9	0.32	0.12	0.05
피 망	화란(암면)	5.7	0.84	2.2	0.55	0.19	0.05	1.44	0.33	1.9	0.32	0.12	0.05

## 2. 비료 처방 프로그램 로직 개발

### 가. 비료 산정식 개발 및 주관기관과 협력하여 산정식 입력

#### ○ 순환식 배지경 수경재배의 무기영양

- 배지경 양액재배는 토양재배와 달리 배지의 양이 제한적임 ⇒ 양액조성과 영양분의 과부족에 대하여 완충력이 낮을 수밖에 없음을 의미함.
- 그러므로 무토양 배지경 재배를 위해서는 근권영역에서의 수분이용성, pH 그리고 영양분 농도를 정밀하게 관리해야 함.
- 토경재배 작물과 무토양 배지경 재배작물 간 시비/영양의 차이는 (1) 배지경 재배작물의 영양적 요구도, (2) 관비용액의 NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> 비율이 양액재배 식물의 생장과 근권부 pH 변화에 미치는 영향, (3) 관수 빈도와 영양분 이용성이 작물생장에 미치는 영향 (4) 배지경 재배에서 양액의 무기이온 조성과의 근권부 토양용액의 전기전도도 변화에 대한 작물 반응, (5) 잠재적인 영양공급원과 시비의 방법, 그리고 (6) 다양한 비료, 뿌리, 용액, 그리고 배지 사이의 상호작용으로 접근해야 함.

#### ○ 배지경 재배작물의 영양적 요구도

- 식물들이 뿌리를 통해서 흡수하는 무기원소는 50 종류 이상이지만 필수원소는 탄소, 수소, 산소, 질소, 인, 칼슘, 황, 칼륨, 마그네슘, 철, 마그네슘, 붕소, 아연, 구리, 몰리브덴, 나트륨 그리고 셀레늄 임(Epstein, 1994, 1999; Epstein and Bloom, 2005).
- 다량원소는 식물체의 구조를 이루는 원소들이며 미량원소들은 1~2 종류의 효소작용에 필요한 원소들임.
  - 탄소와 산소를 제외한 대부분의 필수원소들이 뿌리에서 흡수됨: 뿌리에서 흡수되는 원소들을 영양분으로 정의할 수 있고 아래 표에 나타냄. 필수 무기 영양분들은 양이온 또는 음이온으로 흡수됨.

Element	Chemical symbol	Form available to plants	Nutrient solution	Plant tissues	Annual consumption
<i>Macroelements</i>			mg L <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>
Calcium	Ca	Ca <sup>+2</sup>	40-200	2.0-9.4	10-200
Magnesium	Mg	Mg <sup>+2</sup>	10-50	1.0-2.1	4-50
Nitrogen	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50-200	10-56	50-300
Phosphorus	P	HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5-50	1.2-5.0	5-50
Potassium	K	K <sup>+</sup>	50-200	14-64	40-250
Sulfur	S	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	5-50	2.8-9.3	6-50
<i>Micronutrients</i>			mg L <sup>-1</sup>	μg g <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>
Boron	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , HBO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1-0.3	1.0-35	50-250
Copper	Cu	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>+2</sup>	0.001-0.01	2.3-7.0	33-230
Iron	Fe	Fe <sup>+3</sup> , Fe <sup>+2</sup>	0.5-3	53-550	100-4000
Manganese	Mn	Mn <sup>+2</sup>	0.1-1.0	50-250	100-2000
Molybdenum	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0.01-0.1	1.0-2.0	15-30
Zinc	Zn	Zn <sup>+2</sup>	0.01-0.1	10-100	50-500

<배양액과 식물조직에서의 필수원소들의 농도범위, 그리고 매년 최대생산을 위해 요구되는 원소의 양>

- 1909년에, E.A. Mitscherlich (1909)는 식물 영양분의 공급에 대한 성장 반응을 수식으로 나타냄.
  - 식물에 한 종류 원소를 제외한 모든 원소를 충분히 시비하였을 때 부족한 원소의 시량 증가와 비례하여 작물의 성장량이 증가함.
  - 일정수준을 넘어서 시비수준이 계속 증가하면 식물 생장은 증가하지만, 추가된 시비량에 비례하여 증가하지 않는다고 하였으며 다음과 같은 식으로 나타냄.

$$dy/dx = (A-y)C \quad (1)$$

이 식에서 y: 생산량, x: 영양분 양, A: 모든 성장 제한 요인들을 최적조건으로 조절하였을 때 얻게 되는 잠재수량, C: 개별적 성장요인에 따라 달라지는 비례상수임.

- 위 식은 다음과 같이 변형할 수 있음.

$$y = A(1-e^{-cx}) \quad (2)$$

이 공식에서 C 값은 원소 별로 다름: N: 0.122, P: 0.60, K: 0.4 (Mitscherlich. 1909).

- Mitscherlich 이후의 많은 연구자들에 의하면 C는 일정하지 않으며, 작물재배 시기의 기후조건들 등 다양한 요인들에 의해 변화된다고 하였음.
  - 특정원소의 C 값은 기후조건에 따라 변화되어야 하며, 이런 개념은 둘 이상의 제한인자가 존재하는 경우에도 확대 적용할 수 있음.

$$y = A(1-e^{-c_1 \times 1})(1-e^{-c_2 \times 2})(1-e^{-c_3 \times 3})\dots(1-e^{-c_n \times n}) \quad (3)$$

- 이 개념은 시간 변화에 대한 시비의 비율, 성장률, 그리고 양분의 비율을 고려하지 못함.
  - 토경재배와 배지경 양액재배에서의 시비관리상 가장 큰 차이는 제한된 배지의 용량이며, 영양분의 과부족과 양액조성에 대해 완충력이 낮음.
  - 이들 두 요인은 흡수해야 할 총양과 농도로서 정의될 수 있음.
  - 뿌리와 무기양분 농도는 상호 의존적이며 흡수율은 토양을 몇개의 단면으로 분할한 조건에서 개별토양의 용적에 대한 [용액의 농도 x 뿌리 표면적(또는 길이)]으로 계산하고, 개별용적의 양을 총합하면 됨.
- Michaelis-Menten방정식에 의해 나타낸 것처럼, 용액의 농도 F [몰 (cm 뿌리)<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>]는 뿌리표면과 접촉하는 토양용액의 양분 농도 'Cr (몰·L<sup>-1</sup>)'로 계산함.

$$F = F_{\max} \times (C_r / K_m + C_r) \quad (4)$$

이 식에서 F<sub>max</sub>는 몰(cm root)<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>이고 K<sub>m</sub>(mole·L<sup>-1</sup>)은 잘 교반된 배양액실험을 통해 얻은 계수임.

- 이상의 접근을 통해 도출된 공식은 무기양분 흡수와 식물 성장에 대한 시뮬레이션 모델 개발의 기초로 활용함.
  - 모델은 관비를 결정하는 수단으로 사용하기 위해 개발될 수 있으며, 개발과정에서 시뮬레이션 모델의 시간 경과에 따라 계산된 양과 흡수 요구비율을 비교함 ⇒ 계산된 흡수량과 실제 흡수율이 일치하지 않을 경우 교정과정이 필요함.
- 무토양 배지경 재배에서는 미량원소들을 포함한 모든 필수원소들을 주기적으로 공급해야 함(Savvas, 2001).
  - Hoagland와 Arnon (1938) 이후, 많은 연구자들이 무토양 재배에서 성장하는 다양한 작물들에 대한 양액조성을 보고함(Joiner et al., 1983; Steiner, 1984; Wright and Niemiera, 1987; Sonneveld and Straver, 1994; Schwartz, 1995; Nelson, 1996, 2003; Hanan, 1998; Resh, 1998; Adams, 2002; Sonneveld, 2002; Jones, 2005).

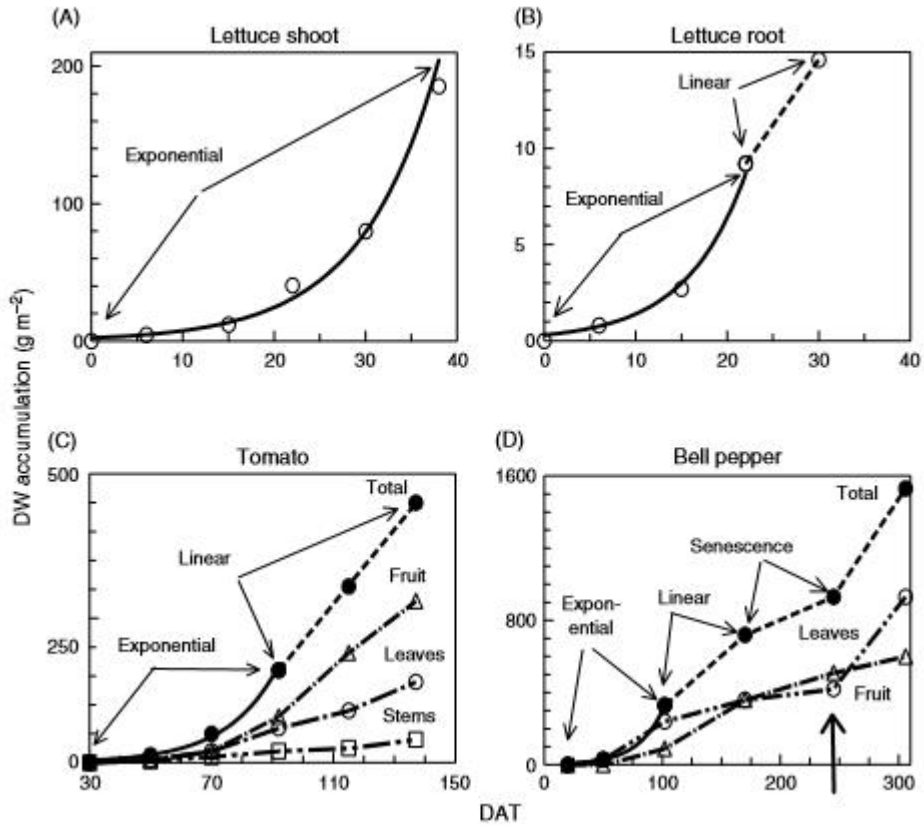
#### ○ 작물의 양분흡수 곡선

##### ■ 작물의 건물 생산 및 축적

- 작물 성장 동안 영양분에 대한 요구도는 작물별 또는 각 작물내의 품종별로 최대흡수율 또는 최대흡수가 이루어지는 시기에서 큰 차이가 있음.
- 대부분의 경우 완만한 변화를 보이기 보다는 생리적으로 급격한 변화가 발생하는 시

기에 흡수량이 급격한 변화를 나타냄.

- 각각의 성장단계에서 영양분 요구율은 두가지 주요한 과정들과 연관됨:
  - (i) 새로운 조직의 형성 (ii) 생식기관의 형성(꽃, 과일, 종자 등)임.
- 건물중이 증가하기 위해 필요한 양분 요구율은 주로 광합성율과 관련이 있으며, 광합성율은 광합성 유효 광양자속, 대기 온도와 습도, 풍속, 그리고 태양 방위각 위치와 같은 다양한 기상요인들에 영향을 받음.
- 기상적 요인들 외에 식물 성장과정에서 발생하는 여러 요인들에 의해 광합성에 의한 건물중 생산 및 축적이 영향을 받음.
  - 식물이 어린 시기: 모든 잎이 햇빛을 받고 광합성을 할 수 있어 지수함수적으로 건물중이 증가함.
  - 식물이 성장하면서 서로 잎이 중첩되면 광합성률이 낮아지고 직선적으로 건물중이 증가함.
  - 식물이 더 성장하여 뿌리, 꽃, 과일 및 종자 등 광합성을 하지 못하는 기관으로 탄수화물의 급격한 이동이 일어나면 생장이 직선적으로 증가함.
  - 그 이후의 시기에는 노화형 증가 형태로 변화됨.
- 건물중의 축적은 아래 그림에 나타냄.
  - 상추의 지상부 건물중 생산(영양성장 단계): 지수함수적으로 증가함.
  - 토마토와 피망 등 과채류: 각각 정식 92와 102일 후까지 지수함수적으로 증가⇒이 후 직선형 성장을 함. 피망의 경우에는 직선적으로 증가한 후 노화형으로 증가함.
  - 정식 후 170과 145일 사이 피망의 건물중 축적을 감소: 겨울철 저온이 원인임 (Tzipilevitz et al., 1996).
  - 봄: 영양생장에 유리한 기후 조건임.
  - 영양성장단계의 상추는 생식성장단계의 피망과 토마토 보다 DW 축적률이 높음 (각각 18.5, 8 그리고 10.5g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>).



<정식 후 일수 경과에 따른 건물중 축적량 변화 [(A) 상추 지상부 (Xu et al., 2004); (B) 상추 뿌리; (C) 토마토 과실, 잎, 줄기 그리고 총 식물체; (D) 피망 과일, 잎 + 줄기와 총 식물체]. 실선은 초기 집중성장 단계를 나타내며(지수함수적 성장), 점선은 뒤이은 성장(직선적 증가와 노화형 증가)를 나타냄. 기후가 영양생장에 대하여 유리하게 작용함을 고려하여 화살표는 봄의 시작을 나타냄>

<무토양재배에서 성장단계를 고려하여 추천한 배양액 조성>

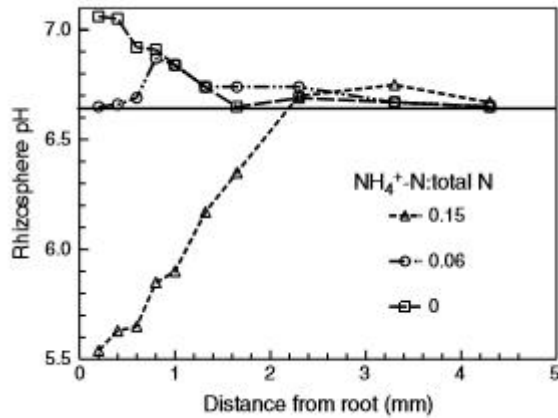
Growth phase	N	P	K (mg L <sup>-1</sup> )	Ca	Mg
<i>Strawberry in greenhouse</i>					
Transplanting	55-60	20-25	45-60	60-70	35-40
Anthesis and first fruit wave	70-85	20-25	70-90	100	45
Second fruit wave	80-85	25-30	80-90	100	45
Third fruit wave	80-85	25-30	80-90	100	45
Fourth fruit wave	55-60	20-25	55-60	80	35
<i>Summer sweet pepper in greenhouse and net-house</i>					
Transplanting to blooming	50-60	50-60	75-80		
Anthesis to fruit growth	80-100	80-100	100-120		
Fruit ripening and harvesting	100-120	100-120	140-160		
Fruit harvesting	130-150	130-150	180-200		
<i>Fall-winter tomato</i>					
Transplanting	80-90	30-40	120-140	180-220	40-50
Blooming and anthesis	120-150	30-40	180-220	230-250	40-50
Fruit ripening and harvesting	180-200	30-40	230-250	180-220	40-50
Fruit harvesting	120-150	30-40	180-220	180-220	40-50

○ 질소비료 종류의 효과

- 질소비료의 종류가 근권부 pH에 큰 영향을 미침(토경 재배에서 이용하는 N 비료: 요소, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 그리고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 임).
  - 요소는 식물에 의해 직접적으로 흡수되지 않고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>이온으로 가수분해 된 후 식물이 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>을 흡수하거나 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 산화된 후 흡수됨.
  - 가수분해를 위해 일정기간의 시간 필요 => 양액재배를 위한 질소비료로 이용되지 않는 이유임.
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 양액재배를 위한 주요 N 비료임.
  - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 양이온으로서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 변화되며, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 비율이 높은 양액을 시비하여도 근권부 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>농도가 매우 낮은 원인이 됨.
  - 양액재배는 관비를 자주하고 배지의 완충력이 낮음 => NH<sub>4</sub><sup>+</sup>농도가 근권용액 pH와 작물 생리에 큰 영향을 미침.
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>에서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로의 산화는 두 단계 과정임:
  - (5) NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(aq) + 1.5O<sub>2</sub>(g) <=> NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(aq) + 2H<sup>+</sup>(aq) + H<sub>2</sub>O (Nitrosomonas group 등 암모니아 산화균).
  - (6) NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(aq) + 0.5O<sub>2</sub>(g) <=> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(aq) (Nitrobacter group을 포함한 아질산염 산화균).
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로의 산화에 영향을 미치는 요인:

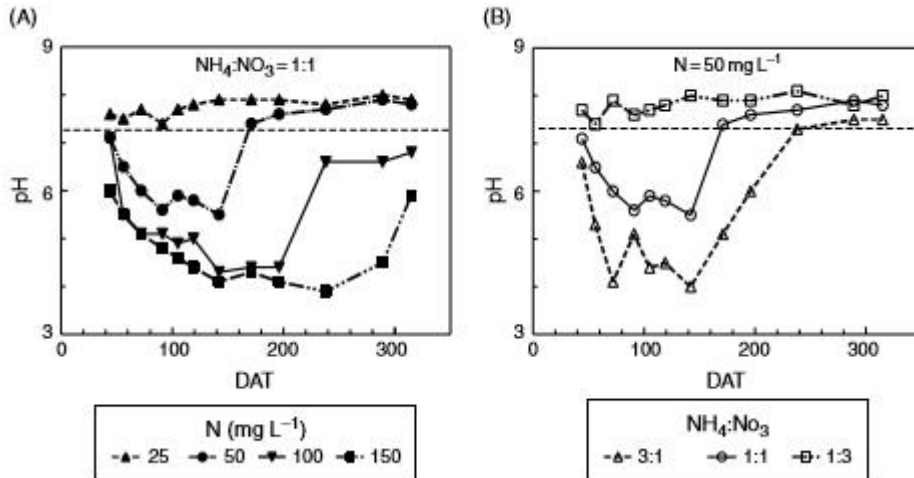


- 근권부 토양용액에  $\text{NH}_4^+$  농도가 높으면 질산화 작용이 억제됨
  - $\text{NH}_4^+$  농도가 높은 경우  $\text{NH}_4^+$  산화물보다  $\text{NO}_2^-$  산화물이 더 민감하게 반응하여 질산화 작용이 억제됨.
  - $\text{NH}_4^+$ 가 고농도로 존재하면 비료 투입과정에서  $\text{NH}_4^+$ 의 상대이온으로서 첨가된 음이온들이 삼투포텐셜을 저하시켜 질산화작용이 억제됨(질산화작용 억제에 대한 삼투압의 임계점은 3.3 기압임)
  - 5~10°C 범위에서 온도가 높아질수록 질산화작용이 증가함. 질산화 작용의 속도와 온도의 관계는 아레니우스 방정식으로 설명됨
  - 암모니움 산화균보다 아질산 산화균이 저온에서 더 민감하여 저온조건에서  $\text{NO}_2^-$ 가 집적됨( $\text{NO}_2^-$ 의 경우 식물에 유해하며, 겨울철  $\text{NH}_4^+$ 을 시비할 경우 저농도로 시비해야 함)
  - 저온조건에서 20°C까지는 질산화속도가 증가하지만, 30°C 이상에서는 질산화율이 낮아짐.
  - 배지의 pH도 질산화작용에 영향을 미침( $\text{NO}_2^-$  산화균은  $\text{NH}_4^+$  산화균보다 산성 조건에 더 민감하며, 낮은 pH에서  $\text{NO}_2^-$ 가 독성수준까지 축적이 됨)(Russell et al., 2002).
  - pH는  $\text{NH}_4^+$ 에서  $\text{NO}_2^+$ 로의 산화과정에 대한 직접적인 영향을 미치며, 이 반응  $\text{H}^+$ 가 생성되므로 생성된  $\text{H}^+$ 가 pH를 더 낮추고, 낮아진 pH에 의해  $\text{NH}_4^+$ 의 산화가 더 억제됨.
  - pH가 낮아질 때 미생물활성이 억제되는 것에 대한 정확한 기작이 불분명함(막투과성, 영양분 그리고 원소 독성 등의 변화가 발생하는 것으로 알려짐).
- 근권부 pH의 변화와 영양분 이용성
    - 질소 비료의 종류는 세 가지 기작을 통해서 근권부 pH에 영향을 미침. (i) 고품입자에 흡착된  $\text{H}^+/\text{OH}^-$ 의 치환; (ii) 질산화/탈질 작용; 그리고 (iii)  $\text{NH}_4$  또는  $\text{NO}_3$  흡수 과정에서  $\text{H}^+$ 의 방출 또는 흡수.
    - 기작 (i)과 (ii)는 식물 대사작용과 무관하지만 관비를 하는 배지에 영향을 미침. 반면에 기작 (iii)은 무기 원소들의 흡수와 직접적인 관련이 있으며, 아래 그림에서 나타난 것처럼 근권부 pH에 직접적인 영향을 미침(Moorby et al., 1984; Gahoonia and Nielsen, 1992; Gahoonia et al., 1992; Marschner and Römheld, 1996; Taylor and Bloom, 1998; Bloom et al., 2003).

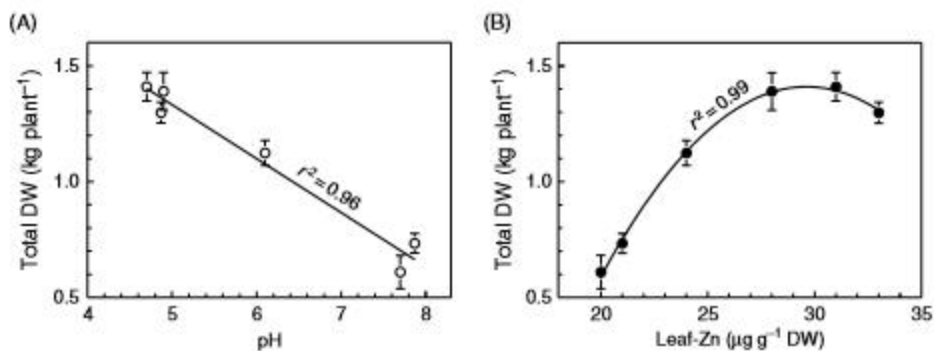


<유채(Brassica napus) 재배시 총 시비된 N 중 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 비율과 뿌리로부터 거리에 따른 pH의 변화(실선은 작물을 심지 않은 토양의 pH를 나타냄)>

- 이상의 세 가지 기작에 의해 야기된 pH 변화의 정도는 배지 특성, 배지용적, 식물활성 그리고 환경적 요인들에 따라 달라짐.
- NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 흡수과정에서 뿌리로부터 양성자의 용출 또는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 질산화 과정에서 H<sup>+</sup>가 생성됨 => pH를 산성으로 변화시킴 => 낮아진 pH가 미량원소 결핍에 의해 유기된 생리장애를 극복시킴.
- 벼꽃(Ozothamnus diosmifolius, Asteraceae)을 무토양재배하면서 N 비료의 종류와 시비농도가 근권부 pH 변화에 미치는 영향을 나타냄.
  - 근권부 상토에 고정된 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 또는 시비하는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 농도 증가 => 근권부 pH가 낮아지는 원인이 됨.
  - pH는 시비 된 N 비료의 종류와 시비 된 총양에 의해서도 큰 영향을 받음.
  - 여름철에는 증산률이 증가하고 비료용액 공급량이 증가함 => NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 공급량이 증가하는 효과를 초래하여 배액의 pH가 낮아지는 원인이 됨(4.1로 낮아짐).
  - 겨울철에는 증산량 감소와 관비용액의 감소로 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 시비량이 적어지고 배액의 pH가 상승하였음
- 낮은 N 시비 또는 낮은 R<sub>N</sub>에 노출된 벼는 식물 생장이 불량하였으며 잎끝의 괴사, 그리고 심각한 황화와 괴사 현상이 발생함.
  - 근권부의 pH가 개화 및 생산량에 영향을 미치는 가장 중요이 됨. 배액의 pH가 4.5-8.0의 범위 내에서 pH와 총 건물생산 사이에는 직선회귀관계가 성립함.
  - 벼의 생장에 직접적인 영향을 미치지 않지만, 무기양분 이용도에 영향을 미치고 간접적으로 생장에 영향을 미침.
  - 총 생체중과 건물중 생산 등 작물 성장과 pH의 상관관계가 뚜렷한 영양분은 Zn 임 => 토양의 아연 용해도는 pH에 큰 영향을 받으며(Barrow, 1993; Lindsay, 1979; Marschner, 1993) 근권부 pH가 높을 경우 일반적으로 Zn 결핍이 유발되며 건물중 생산과 잎-Zn 함량 사이에서 2차 곡선회귀관계가 성립함.



<무토양 재배 시 질소비료의 종류와 시비수준이 벼 생육기간 동안 배액의 pH에 미치는 영향[동일한  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ -N 비율 조건에서 총 시비된 N 수준을 변화시킨 경우(A); N농도를 고정시킨 조건에서  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ -N 비율을 변화시킨 경우(B)]>



<벼의 무토양 배지경 재배시 배액의 pH와 건물중 생산과의 관계(A) 및 잎의 Zn 함량과 건물중 생산과의 관계(B)>

- $\text{NH}_4^+$  독성에 의해 유도된 생장억제와 식물체내에서의 양이온-음이온 균형
  - 식물조직에서 양이온-음이온 균형은 확산성 또는 비확산성의 유기 또는 무기이온들에 의해 유지됨 => N 비료의 종류에 큰 영향을 받음(Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 2001; Epstein and Bloom, 2005).
    - $\text{NH}_4^+$  비료를 시비하면 잎과 엽병에서 다른 양이온 흡수를 감소시키고,  $\text{NO}_3^-$ 를 시비하는 경우 음이온의 흡수를 감소시킴.
    - 식물의 양이온과 음이온 과다흡수는 유기산에 의해 균형이 맞추어짐[ $\text{NH}_4^+$ 이 증가하여 다른 양이온 흡수량이 감소할 때 식물 뿌리에서 더 낮은 유기산이 용출].
    - 근권 온도가 높거나 염농도가 높을 때,  $\text{NH}_4^+$ 를 고농도로 시비하면 식물에 독성증상이 나타남(Kafkafi, 1990; Forde and Clarkson, 1999; Adams, 2002; Sonneveld, 2002; Britto and Kronzucker, 2002).
    - 그러나  $\text{NH}_4^+$  독성의 직접적인 원인은 불분명하며, 정확한 기작이 밝혀지지 않음

(Britto and Kronzucker, 2002).

<질소질 비료의 종류가 토마토 조직에서 양이온과 음이온 함량에 미치는 영향>

Tissue	N source	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
		(meq 100 g <sup>-1</sup> DW)				
Leaf	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	58	161	30	22	13
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	29	62	25	35	15
Petiole	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	176	126	38	12	15
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	90	61	17	29	20
Stem	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	162	86	35	8	13
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	54	50	18	14	15
Root	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	93	44	40	10	27
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	43	38	11	15	21

Source: Based on Kirkby and Mengel (1967).

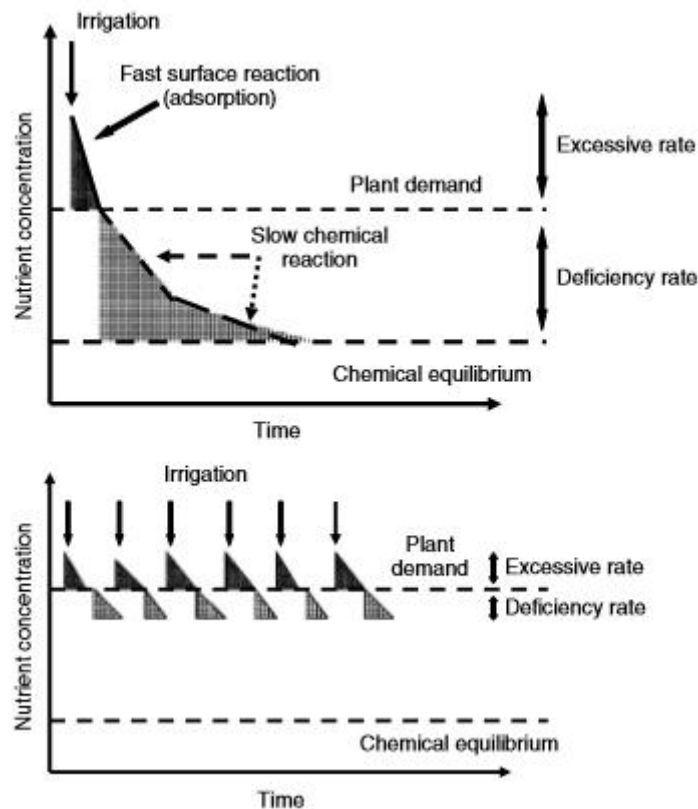
○ 관비횟수와 시비수준의 종합적인 영향

- 근권부에서 양·수분의 이동과 뿌리의 무기이온 흡수기작에 대한 검토(Barber, 1995; Tinker and Nye, 2000; Hopmans and Bristow, 2002; Jungk, 2002; Silberbush, 2002).
  - 관수빈도(횟수): 관수빈도 조절은 근권부의 무기염 농도를 조절하기 위한 수단임
  - 1970년대~1990년대: 7일 미만의 관수간격을 고빈도 관수횟수로 판단함 (Martin et al, 1990).
  - 최근: 1 또는 2시간 보다 짧은 시간에 연속적인 관수가 이루어짐을 의미하며, 0.5L·h<sup>-1</sup>로 관수하는 미세한 점적관수법이 발달함.
  - 대부분 저압의 중력 흐름에 기반을 둔 관수방법이며 무토양 배지경 재배에서 발달함.
  - 관수 후 다음 관수시기까지 흡수할 충분한 수분이 상토에 존재 ⇒ 수분 스트레스를 받지 않음.

○ 무기양분 이용성 및 식물체에 의한 흡수

- 불용성 화합물의 침전과 상토표면에서 무기양분의 흡착은 상토의 무기양분 농도 저하의 원인이 됨.
  - 관비 직후 상토의 농도가 높으나 이후 결핍수준으로 상토의 무기양분 농도가 점차 낮아짐
  - 관비 사이클을 짧게 조절할 경우(관비 후 다음 관비까지 시간이 짧음) 근권부 무기원소의 농도 변화폭을 줄임 ⇒ 흡수효율이 증가하고 용탈량이 감소함.

- 뿌리의 양·수분 흡수로 인해 뿌리 근처의 양분 농도가 낮아짐.
  - 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 양분의 이동: 집단류와 확산에 의한 이동(Barber, 1995; Tinker and Nye, 2000; Jungk, 2002).
  - 집단류와 확산의 상대적인 중요성은 상토의 특성, 작물의 양분흡수 특성 및 재배 조건에 영향을 받음(Barber, 1995; Claassen and Steingrobe, 1999; Jungk, 2002; Mmolawa and Or, 2000; Tinker and Nye, 2000).
  - NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 집단류에 의한 이동 및 흡수; P 와 K: 이동성이 낮고 확산에 의한 이동이 주요인임.



<관행적인 관비(A) 또는 고빈도관비(B) 방법을 적용할 때 시간 변화에 따른 근권부 무기이온 농도변화>

식물 요구수준을 기준으로 윗부분은 과잉 영역 그리고 아랫부분은 결핍영역을 의미함. 확산은 수용액 상태에서 발생하며, 확산계수 (De)는 공식 (8)과 같이 계산할 수 있음 (Nye, 1966):

$$(8) De = D_L \theta f (dCl/dCs)$$

위 식에서  $D_L$ : 수용액 상태에서 이온의 확산 계수

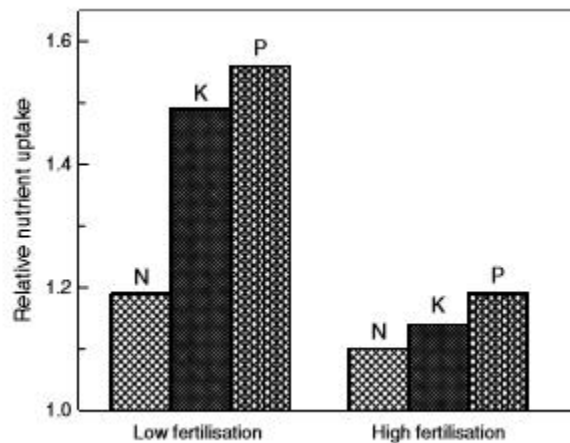
$Q$ : 용적수분 함량

$f$ :  $dCl/dCs$ : 용액상태에서 이온에 대한 배지 완충력의 역수

Cl: 용액의 이온 농도

Cs: 확산 가능한 이온의 총량

- 무기원소의 확산은 물로 채워진 공극에서 일어남  $\Rightarrow$  용적수분함량이 확산계수에 가장 큰 영향을 미침.
- 배지의 굴곡도 (f)는 배지의 함수량( $\theta$ )에 큰 영향을 받고, 함수량이( $\theta$ ) 확산계수 (De)에 미치는 영향은 2차곡선회귀적임(Claassen and Steingrobe, 1999).
  - 용적수분함량( $\theta$ )을 0.1에서 0.4로 높일 경우 K(Kuchenbuch et al., 1986b)과 P(Bhadoria et al., 1991)의 확산계수(De)는 10배 정도 증가함.
  - 용적수분함량( $\theta$ )은 뿌리를 둘러싼 수분 또는 영양결핍 부분의 형태에도 영향을 미침.
- 관수빈도와 시비농도가 무기원소흡수량에 미치는 영향.
- 동일한 양의 비료를 18번 관비 하거나 2번 관비 하였으며 관수 빈도의 영향은  $P > K > NO_3^-$ 의 순서임.
  - 직접적인 영향의 이유: 농도를 낮추어 자주 관비할 때 흡수량이 증가함(근권부의 무기원소 농도가 낮아질 때 다음 관비를 통해 빠른 시간에 보충됨).
  - 간접적인 영향의 이유: 뿌리 쪽으로 배지내 토양 용액의 이동에서 관수빈도가 높을수록 확산과 무기원소 이동이 커지고 흡수량이 증가함.

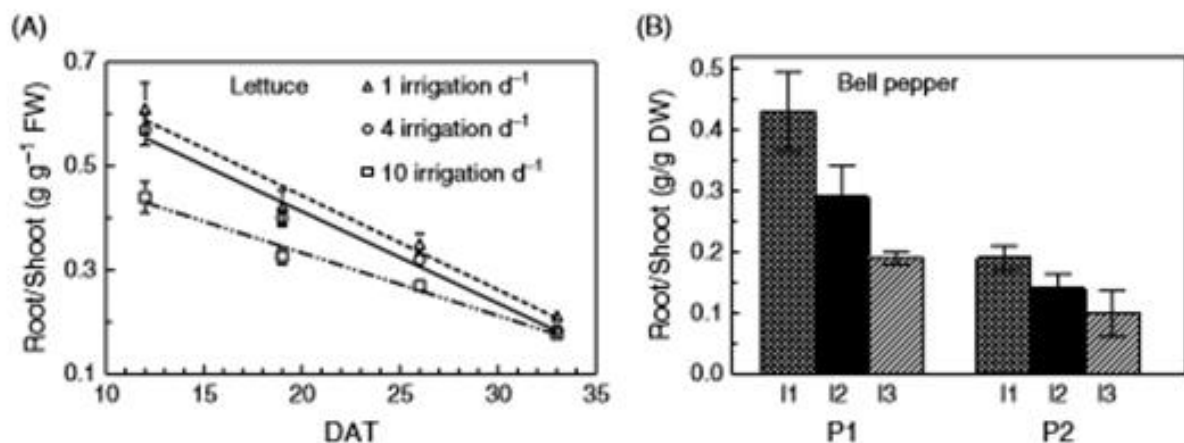


<시비수준과 관비횟수가 무기원소 흡수량에 미치는 영향. 동일한 비료 양을 낮은 농도로 자주 관비 하는 경우(low fertilization)와 고농도로 적은 횟수 관비 하는 경우(High fertilization)>

○ 관수빈도가 식물생장에 미치는 직·간접 효과

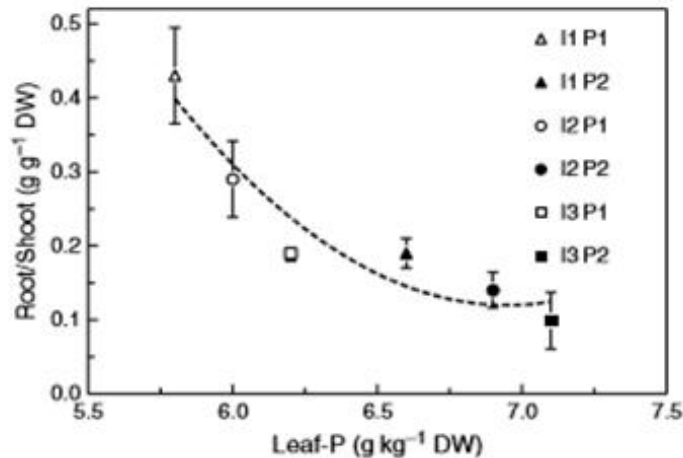
- 뿌리 성장과 지하부/지상부 비율
- 관수빈도가 뿌리 성장에 직접적 영향을 미치는 2종류 메커니즘

- 일정한 용적의 토양 또는 상토에 물을 보유하는 양상과 배지내 물 분포가 뿌리 성장에 영향을 미침(Waisel et al., 2002; Phene et al., 1991; Clothier and Green, 1994; Coelho and Or, 1996, 1999);
  - 간접적인 효과는 양분 이용성에 영향을 미침(예) P는 뿌리의 근모 밀도, 뿌리가 분포하는 형태 등에 영향을 미쳐 최종적으로 양분흡수 효율성에 영향을 미침(Lorenzo and Forde, 2001; Glass, 2002; Lynch and Ho, 2005; Bates and Lynch, 1996; Ma et al., 2001).
- 관수 빈도는 용적 수분함량의 증가를 초래하며, 지하부/지상부 비율은 관개 빈도보다 P 농도에 더 큰 영향을 받음. 또한 식물 생육단계에 따라 민감하게 달라짐(Xu et al., 2004; Silber et al., 2005a; Xu et al., 2004).



<정식 후(DAT) 관수 빈도(횟수/1일)에 따른 상추의 뿌리와 지상부 비율 (A)과 단고추를 재배하면서 인산 시비 수준(P1: 3mg·L<sup>-1</sup> P; P2: 30mg·L<sup>-1</sup> P)과 관수빈도(I1: 1일 2회; I2: 1일 4회; I3: 매 30분 간격으로 1.5분씩 관수)가 지하부/지상부 비율에 미치는 영향>

- 관수빈도가 식물 생육단계별 지하부/지상부 비율에 영향을 미치는 이유
  - 초기 성장 단계에서는 뿌리가 표토쪽에 분포함 ⇒ 성숙한 식물체보다 상토의 건조/습윤 사이클에 민감하게 반응함.
  - 모래를 포함한 배지에 인산 첨가 ⇒ 초기에는 시비 된 인산이 배지에 흡착되어 가용성 인산 농도가 결핍 수준까지 낮아짐, 그러나 재배 후기에 가용성 인산의 양이 증가함.
  - 어린 시기의 뿌리는 활력이 높으나 재배 후기의 식물은 상당수의 뿌리에서 활력이 낮아짐.
- 관수 빈도가 높아지면 식물체의 P 흡수량 증가(잎의 P 함량이 증가함) ⇒ 지하부/지상부 비율이 낮아지며, 지상부 성장량 증가가 주원인임.



<단고추 재배시 잎의 P 함량과 지하부/지상부 비율의 변화(I1: 1일 2회 관비; I2: 1일 4회 관비; I3: 30분 간격으로 1.5분씩 관비; P1: 3mg·L<sup>-1</sup> P; P2: 30mg·L<sup>-1</sup>)>

○ 작물 생산에 대한 염 농도의 영향

- 염 농도가 작물의 성장 저해를 일으키는 2종류 기작
  - 높은 염 농도가 뿌리 주변과 뿌리 내부의 삼투포텐셜을 낮추어 총 수분 포텐셜이 낮아지는 원인이 됨. \*이는 과실의 품질을 높이기 위한 수단이 될 수도 있음.
  - 특정 무기원소의 흡수량 증가로 식물체에 독성 발현(Läuchli and Epstein, 1990).
  - 염농도가 식물체 피해를 유발하는 2단계(Munns, 1993, 2002)
  - 1단계: 염농도에 의해 수분포텐셜이 낮아짐(분 또는 시간 단위) ⇒ 외부 용액의 수분포텐셜 저하로 토양 수분 부족과 동일한 현상이 발생함.
  - 2단계: 수일에서~수주에 걸쳐 완만하게 진행되며 증산작용을 하는 잎에 염이 과도하게 집적되어 피해가 발생함.
  
- 염농도에 의한 작물 피해 정도
  - 작물별로 차이가 큼(Maas and Hoffman, 1977; Maas, 1990; Shanon and Grieve, 1999; Sonneveld et al., 1999).
  - 온도, 습도, 조도, 대기, CO<sub>2</sub> 농도, 그리고 관개빈도에 따라 차이가 큼 (Hoffman and Rawlins, 1971; Feigin et al., 1988; Salim, 1989; Zeroni and Gale, 1989; Pasternak and De Malach, 1995; Sonneveld et al., 2004).
  
- 염농도에 의한 작물 피해 정도
  - 배지경 양액재배에서 총 시비하는 원소의 1/3 이 N과 K 임(Sonneveld et al., 1990; Sonneveld et al, 2004) => NO<sub>3</sub>와 K가 양액재배시 토양용액 수분포텐셜에 가장 큰 영향을 미침.
  
- EC가 토경 재배와 양액재배하는 작물 성장에 미치는 영향(Raviv et al., 2002)



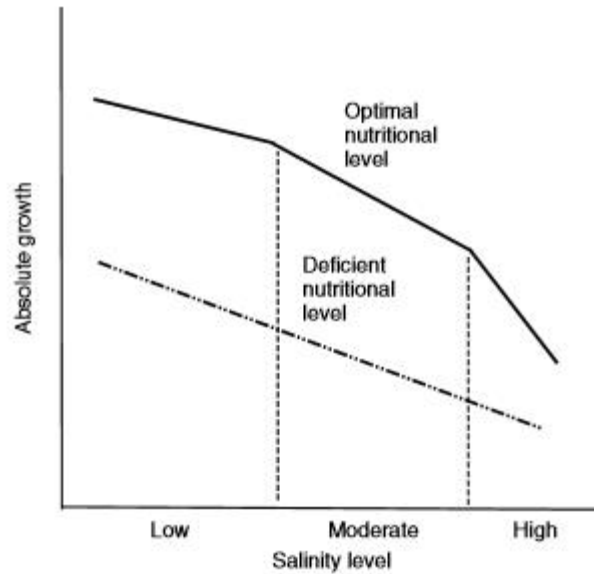
- 토양 용액의 EC가 관개수보다 높음(수분포텐셜이 더 낮음).
- 토경재배: 대부분의 공극이 모세관 공극이며 관수해도 쉽게 용탈되지 않아 피해가 더 큼.
- 배지경 재배: 총 공극중 대공극 비율이 높으며 관수시 쉽게 용탈되어 피해가 적어짐.

○ 염농도와 무기원소의 상호 관계

- 염농도는 2종류 방법으로 식물의 무기원소 인식과 흡수에 영향을 미침(Grattan and Grieve, 1992).
  - i) 무기이온의 종류와 무관하게 총 이온강도 (ionic strength)는 무기원소 흡수와 전류량을 감소시킴
  - ii) 흡수과정의 길항작용에 의해 특정 무기원소의 흡수량이 저하함
- Na: 길항작용으로 K와 Ca 또는 두 원소 모두 흡수량을 저하시킴(Volkmar et al., 1998; Navarro et al., 2002; Cerda et al., 1995).
  - Cl: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 흡수량 저하(Xu et al., 2000).
- 토양 염농도와 산소부족 상태의 관계(Drew and Dikunwin, 1985; Drew and Läuchli, 1985; Drew et al., 1988).
  - 염농도가 높고 산소부족 조건: Na 흡수량 및 지상부로의 이동량이 증가하고 K 흡수량 및 이동량이 감소함.
- 흡수과정에서 Cl<sup>-</sup>과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 길항작용(Xu et al, 2000; Wang et al., 1989; Kafkafi et al., 1982; Kafkafi, 1984; Feigin et al., 1987; Heuer and Feigin, 1993).
  - 멜론, 상추, 딸기, 토마토 등 염류피해 발생된 작물에 고농도 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 시비하면 염류 피해가 감소함.
- 염류토양에 KNO<sub>3</sub> 시비(Ben Asher와 Pacardo, 1997): 토양의 수분 포텐셜이 더 낮아지지만 그러나 염분의 독성 효과가 감소됨.
- 흡수과정에서 염화물과 인산사이의 상호작용: 염화물 농도가 낮을 때 인산 흡수량이 증가함(Champagnol, 1979; Awad et al., 1990).
- 흡수과정에서 칼슘과 나트륨의 길항작용:
  - 칼슘은 식물 세포막의 유지, 선택성 및 투과성에 영향을 미침.
  - Na은 세포막과 결합된 Ca를 대체하여 선택성을 교란시키며 Ca시비로 Na에 의한 교란을 완화시킴.
- 염 농도와 시비수준과의 상호작용
  - 염 농도가 낮으면서 무기원소 농도를 최적수준 보다 약간 낮게 관리하면 내염성이 증가함.
  - 염 농도가 중간 수준으로 상승하면 식물이 받는 스트레스는 무기원소 결핍에 의

한 스트레스와 동등한 수준임  $\Rightarrow$  내염성은 변하지 않음.

- 염 농도가 과도하게 상승하면 염농도가 수확량 감소의 주원인이며 식물체의 내염성이 감소함.



<시비수준을 최적 수준 또는 약간 부족한 조건으로 조절한 조건에서 염농도가 식물생장에 미치는 영향(Cramer et al., 1985)>

#### ○ 염 농도와 수확물의 품질

- 염 농도가 작물 품질에 미치는 영향은 잎, 과일 등 수확 대상 부분에 따라 달라짐
- 염 농도와 과일 품질
  - 멜론과 토마토 등 과채류의 착색과 식미를 향상시킴(Mizrahi, 1982; Mizrahi and Pasternak, 1985; Sonneveld and Welles, 1988; Adams, 1991; Li et al., 2000).
  - 염농도가 높으면 가용성 고형물, 당분, 그리고 방향성 물질 함량이 증가함.
  - 그러나 고추와 토마토 등 가지과 작물의 배꼽썩음과 비율이 증가함(Sonneveld, 1988; Tadesse et al., 1999; Navarro et al., 2002; Adams, 1991; Adams and Ho, 1992, 1993; Ho and White, 2005; Feigin et al., 1991; Sonneveld, 1988).
- 염농도와 엽채류의 품질
  - 염 농도가 높아지면 잎 가장자리의 변색 및 괴사유발로 품질이 저하됨.
  - 염 농도가 높을 경우 잎의 Cl 함량이 증가 하지만 당함량과 비타민 C 함량은 감소함.

#### ○ 배양액의 조성

- 관비를 위한 비료선택은 배지의 종류 및 특성과 관개수의 수질을 고려하여 결정해야 함(Steiner, 1961, 1984; Graves, 1983; Sonneveld and Straver, 1994; Schwartz, 1995;

Resh, 1998; De Kreij et al., 1999; Savvas and Adamidis, 1999; Savvas, 2001; Adams, 2002; Sonneveld, 2002; Jones, 2005).

- 배지의 양이온치환부위에서 강한 흡착 또는 용탈에 의해 P, K,  $\text{NH}_4^+$  및 미량 원소의 결핍이 유발됨.
- 관개수의 수질에 따라 비료 종류가 변해야 하며, 부적당한 선택은 배관 부식 및 노즐 구멍이 막히는 등 문제 발생의 원인이 됨.
- 바람직한 비료는 용해가 빠르고 용해도가 높은 비료(100% 용해)이며 순도가 높아 성분 함량이 높은 비료여야 함.

## ○ pH 관리

### - 근권부 pH

- 모든 필수원소의 흡착량에 큰 영향을 미치며 무토양 배지의 추천 pH 범위는 5.0~6.0임(Adams, 2002; Sonneveld, 2002), 그러나 6.0~7.0 범위도 무관(Graves, 1983)함.

### - 관개용수의 pH

- 7.0 이상은 부적절함: Ca과 Mg의 탄산염 또는 인이 관수라인에 침전될 가능성이 높음.
- 7.2 이상의 pH:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ 가  $\text{HPO}_4^-$ 로 변화되면서 다른 원소와 결합하여 침전되고 결핍의 원인이 됨.
- pH가 높아지면 각종 미량원소의 불용화가 촉진됨(Smith et al., 2004a,b)  $\Rightarrow$  미량 원소의 불용화를 막기 위해 EDTA, DTPA 또는 EDDHA와 같은 킬레이트 화합물을 이용해야 함.

### - 비료와 pH

- 관개용수에 암모니아를 주입하면 pH가 상승함.
- 관개용수에 질산( $\text{HNO}_3$ )이나 인산( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )을 주입하면 pH를 낮춤. 산을 주입하는 경우 관개수의 중탄산( $\text{HCO}_3^-$ )농도를 고려하여 처리량을 결정해야 함.

### - 질산과 인산의 이용시 발생 가능한 문제

- 인산: 중탄산을 중화시키기 위하여 과도한 인산을 처리하면 미량원소 결핍의 원인이 됨(배양액의  $\text{H}_2\text{PO}_4$  농도는 1.0mM 이상이 되어서는 안 됨).
- 질산: 양액의  $\text{NO}_3^-$  농도가 10mM 이상인 경우가 많으므로 질산이 제한 요인이 되는 경우가 적음. 그러나 단지 질산을 첨가한 산성화 보다 배지에서  $\text{NH}_4^+$ 의 질산화 과정을 통하여 생성된  $\text{H}^+$  양을 고려해야 함(Steiner, 1961, 1984; Sonneveld and Straver, 1994; De Kreij et al., 1999; Savvas and Adamidis, 1999; Graves, 1983; Schwartz, 1995; Resh, 1998; Savvas, 2001; Adams, 2002; Sonneveld, 2002; Jones, 2005).

예) 작물당 배지량이 10L, 식물당  $1\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ 의 관비량, 그리고 관비용액에 10mM의 질소가 포함되고 이 중 10%가  $\text{NH}_4^+$  인 조건일 때(1mM  $\text{NH}_4^+$ ). 1mole  $\text{NH}_4^+$ 의

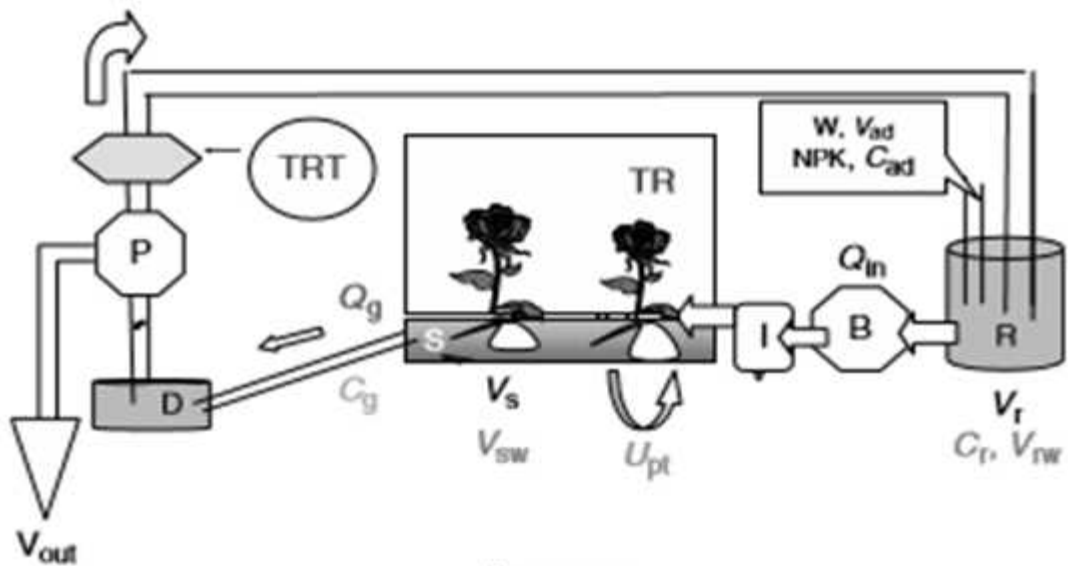
질산화 과정에서 2mol의  $H^+$ 가 생성됨  $\Rightarrow$  배지 1L 당 질산화를 통해 생성된  $H^+$  양은  $2 \times 10^{-4}$  mole이 됨.

나. 순환식 양액재배시 용액 재사용에 따른 작물 반응 및 관비관리

- 비순환식 양액재배에서 발생하는 문제점(General Electric, 2005; Stanghellini et al., 2004; Romer, 1993; Schwartz, 1995; Resh, 2001; Jones, 2005; Savvas and Passam, 2002).
  - 1년간 1ha의 재배 면적일 때 약  $20,000m^3$ 의 관비 용액이 공급되며 이중 약 50%가 배출됨.
  - 배액의 N 농도가 약  $150 \cdot m^{-1}$ 일 때 100ha 온실 면적인 경우  $10^7 m^3$ 의 물과 1500톤 N이 유실됨. 이럴 경우 비료에서 82,000\$, 물 2,000,000\$의 손실이 됨.
  - 오염도: 50m 깊이 지하수에 x 2000ha(온실 면적의 2배)에 균일하게 용해된다고 가정하면  $NO_3^-$  N 농도가  $1.5g \cdot m^{-3} \cdot y^{-1}$ 로 증가되고, 7년 이내에 EPA가 허용한 식수 기준( $10g \cdot m^{-3}$ )을 초과함.
- 현재 활용하는 비료 성분 제거 방법: 탈질화 촉진, 역삼투압방식 도입, 이온교환필터 사용, 멤브레인 필터(가격이 비쌈)를 이용하는 방법임(Voogt and Sonneveld, 1996; Baas and van der Berg, 1999; Sonneveld, 2000).

○ 순환식 양액재배를 위한 시스템

- 필수 구성요소
  - 배지(substrate)
  - 배지로부터 중력에 의해 배액이 발생함  $\Rightarrow$  발생된 배액을 배액 탱크(D)로 운반할 수 있는 시스템
  - 모아진 배액을 원수와 저수조(R) 또는 외부로 내보낼 수 있는 펌프필요
  - 양액 급수 장치의 형태나 급수 비율에 적합하도록 저수조로부터 양액공급시스템으로 가압급수가 가능한 부스터
  - 원수와 원수에 필요한 비료를 공급할 수 있는 장치
- 배액을 배액 저수조로 모으기 전 병원균을 제거할 수 있는 추가 장치 필요.
  - 샌드 필터(Sand biofilter), UV램프, 열소독, 또는 화학적 소독 장치(Ozone, HOCl 등)



Processes  
Transpiration uptake growth drainage

<순환식 양액재배시스템의 모형도. 시스템 구성요소: D, 배액탱크; P, 펌프(배수된 양액을 배액탱크로 보낼 수 있는 펌프);  $V_{out}$ , 배액을 외부로 방출하도록 처리 명령을 받을 때; S, 배지; B, 부스터; I, 관수시스템(관수비율( $Q_{in}$ )이 1시간당  $L \cdot m^{-2}$  배지에 공급되는 양); TRT, 완만한 속도로 미생물을 걸러낼 수 있는 장치(화학적 방법에 의한 소독은 I에서 수행); W, NPK, 비료가 포함되지 않은 원수 ( $V_{ad}$  하는 양)과 비료용액(농도는  $C_{ad}$ )을 추가 공급하기 위한 시설>

○ 장치별 용량 차이와 프로세스

- 시스템 변수와 기준
- 시스템 용량상 변수

- 양액 저장 탱크용량( $V_r$ ):  $L \cdot m^{-2}$ 로서 일일 최대관수용액이 필요한 시점을 기준으로 하여 1일 필요한 용량(daily-ET)

예)  $ET_{max} = 5L \cdot m^{-2}$  바닥면적  $\cdot d^{-1}$ (바닥면적이  $1000m^2$ 인 경우  $V_r = 5m^3$ 이 되어야 함)

- 배지의 용적( $L \cdot m^{-3}$  바닥면적)
- 관수시스템의 관수 용량( $Q_{in} = L \cdot m^{-3}$  바닥면적)
- 관비 시 배액률( $Q_g L \cdot m^{-3}$  바닥면적: 배지의 물리성과 용적수분함량( $\theta$ )에 영향을 받음.

- 시스템 운영상의 변수

- 재배하는 작물의 양분 요구도에 따라 배액의 한계 EC( $EC_{thr}$ )이 달라짐.
- 한계 EC는 수확량과 수확물의 품질을 물과 양분의 절약과 비교하여 유리한 쪽으로 접근해야 함.
- 일반적으로 배액의 EC가 공급액의 EC보다 높을 경우 재순환 탱크로 유입시키지

양고 온실 밖으로 배출시키는 것이 바람직함.

- 상태변수

- 상태변수  $C_{ri}$ ,  $C_{gi}$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ): 저수조와 배수용액의 개별 원소 농도, 배액 저수조 용량( $V_{rw}$ ) 과 배지용량 ( $V_{sw}$ ) ( $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  배지)에서 실제의 수분용적; 그리고 배액 발생률  $Q_g$  ( $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  지면 $\cdot\text{h}^{-1}$ ).

○ 프로세스

- 시스템에서 발생하는 주요한 프로세스는 증발산 (ET,  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  지면 $\cdot\text{h}^{-1}$ ); 물과 양분흡수 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  지면 $\cdot\text{h}^{-1}$ ); 배지의 토양용액과 고상 사이의 이온 분포; 배지내 수분과 이온 이동; 작물생장과 건물 (DM) 생산 ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$  지면 $\cdot\text{h}^{-1}$ ), 그리고 배지에서 뿌리생장임.
- 수분 보충, 관수, 배수 그리고 온실 밖으로 배출된 물의 양은 측정기에 의해서 연속해서 측정해야 함. ET는 공식 (1)로 계산할 수 있음 (W는 추가된 물의 양이고  $V_{out}$ : 배출된 물의 양(Bar-Yosef, 2003)).

$$ET = W - V_{out} \quad (1)$$

○ 물과 염류의 균형

- 시스템 관리를 위해서 재순환된 용액( $C_g$ )와 원수의 저수조( $C_r$ )의 염분농도와 두 곳의 물의 양(각각,  $V_g$ 와  $V_r$ )을 알아야 함. 관련 정보를 확인한 후 공식(2)-(5)의 방법으로 계산하여 단일이온의 변수를 계산할 수 있으며  $C_i$ 을 예로 들어 계산하면 다음과 같음.

$$dC_r/d_t = [Q_{ad}C_{ad} - Q_{in}C_r + (Q_g - Q_{out})C_g]/V_r \quad (2)$$

$$dC_g/d_t = (Q_{in}C_r - Q_gC_g - U_{pt})/V_g \quad (3)$$

$$dV_r/d_t = Q_{ad} + Q_g - Q_r \quad (4)$$

$$dV_g/d_t = Q_{in} - Q_g + ET \quad (5)$$

위 식에서  $U_{pt}$  = 식물에 의한 Cl 흡수율( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $Q_{ad}$  = 시스템에 대한 원수를 첨가하는 시간당 평균속도( $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ );  $C_{ad}$  = 물에 첨가된  $\text{Cl}^-$  농도; ET,  $Q_{in}$  그리고  $Q_g$ 는 앞에서 정의 됨;  $Q_{out} = Q_{ad} - ET$ .  $Q_{ad}$ ,  $Q_{in}$ ,  $Q_g$  그리고 ET가 일정할 때, 다양한 방법으로 계산됨(Cutlip et al., 2005).

○ 배지와 관련하여 고려할 점

- 물리성

- 배지의 물리성 중 주요 관심부분

- 용적 ( $V_s$ , 길이 x 폭 x 높이,  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  바닥면적), 물과 무기원소 농도 ( $\Theta_s$ ,  $\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ , 및  $C_{si}$ ,  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 그리고 수리전도성( $K_h$ ,  $\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ )임.

- 배지 내 물의 이동은  $K_h$ 와  $\theta$  그리고  $\theta$ 와 수분매트릭포텐셜 ( $\phi$ , m) 관계를 알아야 함.
- 두 번째로 관심을 가져야 할 부분은 밀도(비중)임.
- 배지의 공극률( $V_a$ , L·L<sup>-1</sup>)은 용적밀도( $\rho$ , kg·L<sup>-1</sup>)로부터 계산할 수 있음 ( $V_a = 1 - \rho/\rho_r$ ,  $\rho_r$ 은 입자밀도임). 주요 배지 재료의  $\rho$ 값은 아래에 요약됨.

Substrate	$K_h$	$\theta_{95\%}$	$\theta_{1/2h}$	$\theta_{12h}$	$\theta_{-1cb}$	$J(\theta_s)$	$J_{fd}$	$\rho$	$h_c$
	cm h <sup>-1</sup>	v v <sup>-1</sup>				cm h <sup>-1</sup>		kg L <sup>-1</sup>	cm
Perlite	>1000 <sup>d</sup>	0.90	0.66	0.43	0.30	450	10	0.10	6.0 <sup>e</sup>
Stone wool	276 <sup>d</sup>	0.90	0.85	—	0.42	3.5	0.75	0.12	3.5 <sup>e</sup>
Tuff	180 <sup>e</sup>	0.70	0.34	—	—	5.0	0.9	1.1	5
Pumice	—	0.38	0.21	0.19	—	360	10	0.75	—
Coir	200 <sup>e</sup>	0.92 <sup>e</sup>	—	—	0.80	—	—	0.16	4.7 <sup>e</sup>
Peat	360 <sup>h</sup>	0.89 <sup>f</sup>	—	—	—	—	—	0.10 <sup>f</sup>	3.6-5 <sup>h</sup>

<주요 배지 재료<sup>b</sup>의 물리적 특징<sup>a</sup>>

<sup>a</sup>  $K_{hs}$  = 포화수리전도도;  $\theta_{95\%}$  = 95%가 포화된 조건에서 용적수분함량;  $\theta_{1/2h}$  = 물로 포화시킨 후 30분간 배수시킨 조건에서의 용적수분함량;  $\theta_{-1cb}$  = 1 센티바 수분장력하에서 용적수분함량;  $J(\theta_s)$  = 100과 95% 포화조건 차이에서 배액 발생량 차이;  $J_{fd}$  =  $\theta_s$ 와  $\theta_{1/2h}$  사이의 평균  $J$ 값;  $\rho$  = 용적 밀도;  $h_c$  = 모세관력에 의한 수분 상승.

<sup>b</sup> 자료를 확보할 수 없을 경우 비공식 데이터를 이용함. 모든 배액 데이터는 0.5 x 0.2 x 0.2m 용기 실험을 통해 얻은 결과임.

<sup>c</sup>Caron et al., 2002.

<sup>d</sup>da Silva et al., 1995.

<sup>e</sup>Wallach와 da Silva, 1992.

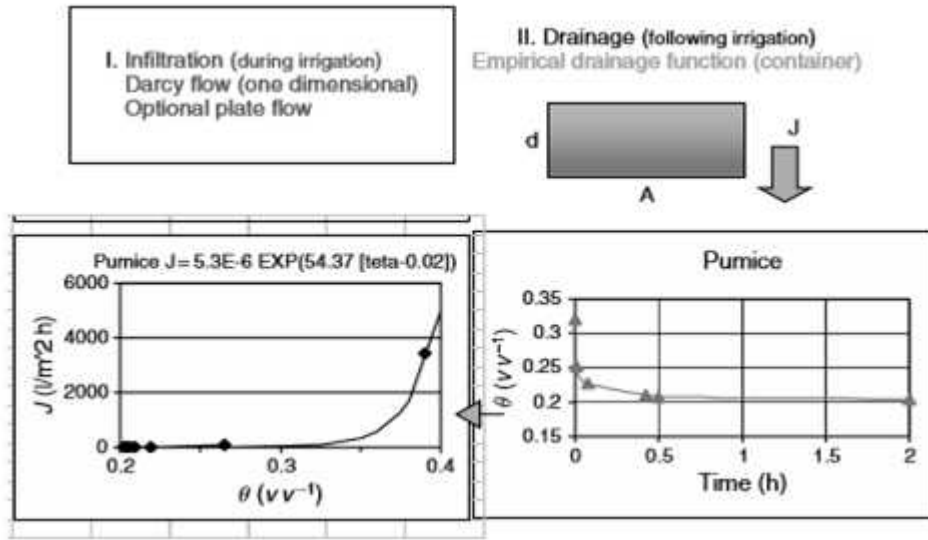
<sup>f</sup>Weiss et al., 1988

<sup>g</sup>Raviv et al., 2001.

<sup>h</sup>60% 스파그넘 모스피트, 30% 부숙된 소나무 수피, 10% 거친 모래(Caron et al., 2005).

<sup>i</sup>큰 입자 펄라이트와 작은 입자 펄라이트로부터 얻은 값을 평균한 것임 (Marfa and Orozco, 1995).

- 물리적 특성과 배액 발생을 위한 시간



<부석(pumice) 배지의 배액량을 계산하기 위한 방법(Bar-Yosef et al., 1999). 용기에 배지를 충전한 후 물로 포화시킴. 이후 용기의 무게를 측정하면서 배지 내부의 물을 배수시킴. 시관이 경과하면서 중량 측정값을 기초로 배지내의 수분(평균값)  $\theta$ 와 배액량(J)를 계산함. 시간을 X축으로 설정하고 J와  $\theta$ 값에 대한 그림을 그림>

- 배액될 수분의 대부분이 관수 후 약 30분 이내에 배출 됨. 이후 10시간 동안 배출된 양은 배액된 총 양의 2% 이내임.
- 점적 관수 시 고려 사항
  - 배지내의 염류집적을 피하기 위해 점적의 시간적인 간격과 점적 호스로부터 물이 배출되는 속도를 조절해야 함.
  - 배지 내의 수분 분포(점토: 점적 후 반구형으로 수분이 이동함, 사토: 원통형으로 수분이 이동).
  - 다음과 같이 계산할 수 있음.

$$Qt = \pi r^2 h_s (\theta_s - \theta_{1/2}) \quad (6)$$

\* 물의 배출속도 ( $Q, L \cdot h^{-1}$ ), 관수시간 ( $t, h$ ) 그리고 포화된 원통의 반경( $r, cm$ )은 방정식 (6)으로 구할 수 있음. 공식에서  $\theta_{1/2}$ 는 관수 개시 시점의 용적수분함량이  $\theta$ 이고,  $h_s$ 는 원통형 실린더의 높이임(= 배지 높이, cm).



123 days after planting				
EC <sub>thr</sub> (dS m <sup>-1</sup> )	Distance <sup>a</sup> (cm)		Depth <sup>b</sup> (cm)	
	0	10	0-2	0-10
EC (dS m <sup>-1</sup> ) in slab				
2.5	2.5	2.6	3.8	2.7
4.5	4.4	4.4	6.2	4.4

<암면슬래브를 이용한 고추를 재배하면서 임계 EC 값을 변화시킨 두 처리조건에서 실험 종료 시의 슬래브 내 EC 변화>(출처: Bar-Yosef et al. (1999).)

a점적기의 양액 분출공으로부터의 거리= 20cm임 배지 4-5cm 깊이에서 시료를 채취함 (하루 7~10회 양액처리).

b표토로부터의 깊이이며 양액 분출공으로부터 0과 10cm의 거리에서 채취한 시료값의 평균임.

Depth (cm)	Distance from emitter (cm)					
	0		10		0	
	Pumice		Perlite 2		Perlite 2 (reduced)	
Cl <sup>-</sup> concentration (mg kg <sup>-1</sup> substrate)						
5	400	690	3240	3190	3080	3690
10	250	540	2420	2640	2660	2810
20	270	440	2120	1990	1740	1970

<안개꽃을 폐쇄순환 관비시스템으로 재배할 때 실험 종료 시기의 펄라이트<sup>a</sup>와 부식에서 Cl의 분포 (EC<sub>thr</sub>은 3.3dS·m<sup>-1</sup>였음)>(출처: Bar-Yosef et al (1999)>

1일 8~10회 관수, 1회 당 6분 관비; ‘펄라이트 2 reduced’ 처리에서 1일 5-6회 관비 하였고, 매회 관비시간은 6분, 양액 분출공 사이의 거리는 20 cm였음.

※ 위 표에서 나타나는 의미

- ① 양액 분출공으로 부터 10cm의 거리에서 염분이 집적됨.
- ② 포화된 r ≥ 10를 얻기 위해서는 분출공으로 부터 분출량을 높이거나 관수주기를 짧게 조절해야 함.

③ Q 또는 관수 시간을 변경하지 않고 염분 집적을 피하기 위해서는 양액 분출공 사이의 거리가 짧아야 함.

○ 화학성 특성

- 용질의 이동과 관련된 배지의 화학적 특성은 (i) 양이온치환 그리고 음이온과 양이온 흡착 등온선; (ii) 배지가 보유하거나 추가된 유기물의 무기화율; 그리고 (iii) 질산화율임.

○ 관수시스템

- 양액은 배지의 측면, 위쪽, 또는 바닥으로부터 공급될 수 있음.
  - 저면관비: 물과 비료를 절약하고, 노동력을 절감하는 장점과 배지내에 염류가 집적되는 단점을 가짐.
  - 두상살수: 물과 비료 사용량 및 노동력이 증가함. 배지 내의 염분 관리가 비교적 용이하며 수확량이 많음. 소형 스프링클러 또는 점적관수방법이 적용됨.
- 관수시스템에서 분출공을 통한 양액의 효율적 방출량( $J_{irs}$ ,  $L \cdot m^{-2}$  배지 $\cdot h^{-1}$  또는  $J_{irg}$ ,  $L \cdot m^{-2}$  바닥면적 $\cdot h^{-1}$ )에 의해 특징지어짐. 점적관개에서  $J_{irs}$ 는  $m^{-2}$  배지( $n_{tr}$ ) 당 분출공의 수로 곱해진 분출공으로부터 방출되는 양( $J_{tr}$ ,  $L \cdot h^{-1}$ )의 곱이다. 배지 대 온실 면적 비율( $f_s$ )는  $J_{irs}$ 를  $J_{irg}$ 로 변화시키기 위해 필요함:

$$J_{irs} = n_{tr} J_{tr} \quad J_{irg} = f_s J_{irs} \quad (7)$$

○ 비료 추가

- 식물에 의해 소모된 영양분을 보충하기 위해 시스템에 비료를 추가하며 둘 중 하나의 방법을 선택할 수 있음; (i) 쉽게 혼합될 수 있는 용액 형태의 비료를 배액 저수조에 첨가 (ii) 원수를 배액 탱크에 첨가한 후 고체비료 또는 스톡 솔루션을 첨가하는 방법임 => 이 방법은 양액의 주요 원소 농도를 정확하게 조절하기가 어려움.

○ 모니터링

- 순환된 용액의 무기원소 농도, EC 그리고 pH가 적절한 범위 내에 포함되는지 주기적으로 체크해야 함.
- 시간과 생장조건에 따른 용액의 변화를 비교하기 위해서는 매일 동일한 시간에 정확하게 샘플이 확보되어야 함.
- 공급액과 배액 사이의 pH 차이는 식물 뿌리 활성화에 의해 야기됨. 양쪽 용액에서 pH를 측정하는 것은 보충용액에서  $NH_4^+ / NO_3^-$  비율을 조절하기 위해서 필요한 필수적인 정보임.
- 양액의 영양분 농도를 목표 수준으로 조절하기 위해서는 공급액에서 모니터링되어야 함. 일반적으로 약 7일 이내에 분석하고 분석결과가 반영되어야 함.
- 식물 잎의 화학성 분석을 주기적으로 수행해야 함. 재순환 시스템에서 특히 중요하며, 상승된 염분에 의해서 영양분 흡수가 잠재적으로 억제될 수 있기 때문임. 잎 조

직의 분석빈도는 생리학적 단계, 영양분 소모 속도와 평균용액 염분수준에 따라 달라짐.

- 센서를 사용하여 배지의 수분상태를 관찰해야 함(순환식 양액재배 시스템보다 비순환식 시스템에서 일반적으로 더 중요함).

#### ○ 배액 농도 조절

- 물 보충

- 물 보충은 일정한 시간대에 함

- 1일 마지막 관수 후 1시간 이내에 배액이 발생 종료됨  $\Rightarrow$  물 보충 시간을 마지막 관수 1시간 후부터 다음날 첫 번째 관수 전 사이에 함.

- 동일한 방법으로 반복하여 물 보충이 일어날 경우

\* “보충량 = ET+배액 저수조 밖으로 배출된 양”으로 함.

\* 이 시스템에서 전체의 수분량은  $V_{wt} = V_r + V_{wse}$  ( $V_{wse}$  배수 종료 후 배지 수분량)임.

- 높은 ET 조건

- 1일 1회 이상 물 보충이 필요함.

- 특히 정오경 측정된 EC가 당일 첫 번째 관수시 양액 EC보다  $1dS \cdot m^{-1}(\Delta EC_n)$  이상 초과할 경우 morning-to-noon ET( $ET_{mn}$ )의 75%를 즉시 보충해야함.

- 1회 물 보충과 2회 이상 보충의 차이: 배지의 염류 집적을 방지하고 염 피해를 막을 수 있음.

\* 배액 저수조로의 물 보충: 자동화되고 기록되어야 함.

\* 물 보충은 일정한 시간대에 이루어져야 함(물을 보충하기 위한 밸브의 개방과 잠금이 설정된 시간대에서만 작동되어야 함).

#### ○ 배액을 버려야 할 상황(저수조 밖으로 배출)

- 미리 배액을 버려야 할 상황을 설정하고, 이 기준에 도달하면 배액을 배출시킴.

- EC가 중요한 기준이 될 수 있음(EC의 변동 폭이 큰 경우  $\Rightarrow$  불필요한 용질이 배액에 집적될 수 있음).

예) N 농도가 140에서  $14mg \cdot L^{-1}$ 로 낮아짐(대략 10mM이  $1dS \cdot m^{-1}$ 이므로 약  $1dS \cdot m^{-1}$ 가 낮아짐).

- 주로  $Na^+$  또는  $Cl^-$ 이 집적됨(두 원소를 측정할 센서가 없음  $\Rightarrow$  실험실 또는 간이 분석 방법을 채택 해야할 필요가 생김).

- 배액을 버려야 할 상황 판단

- 특정 시간의 폐양액 EC 또는 이온 농도( $C_{av}$ )

- 양액을 재사용하기 위한 최고 한계 수준(이온농도 또는 EC 기준)을 넘어설 때( $\Delta C_{up}$ )

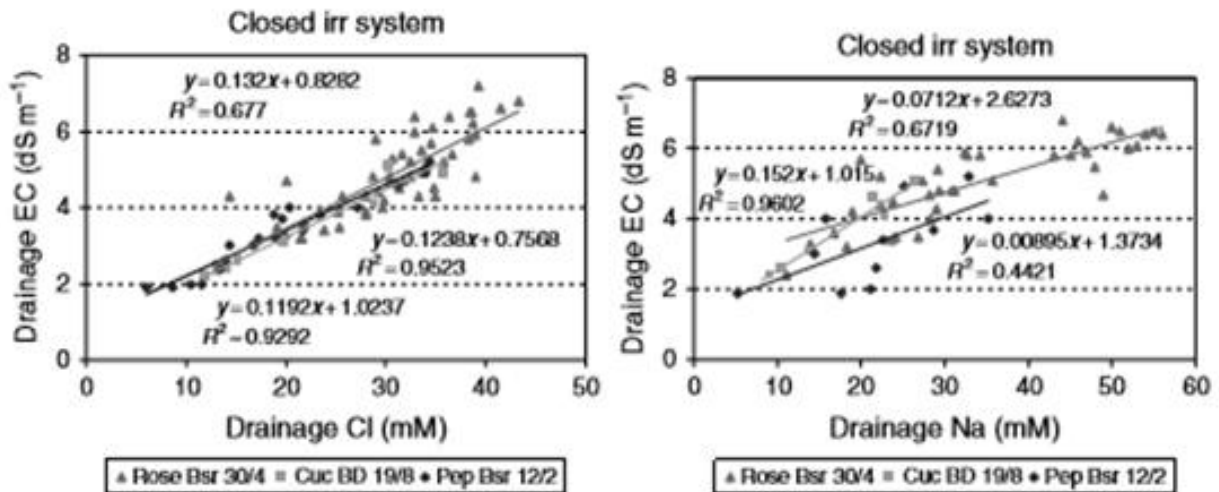
- 양액을 재사용하기 위한 최저한계수준(이온농도 또는 EC 기준)을 넘어설 때( $\Delta C_{low}$ )

- 폐기해야 할 양 계산

- 1000m<sup>2</sup> 바닥 면적 기준 C<sub>av</sub>, ΔC<sub>up</sub> 그리고 ΔC<sub>low</sub>를 각각 500, 50 및 50g Cl·m<sup>-3</sup>으로 설정하고 신선한 물의 Cl<sup>-</sup> 농도가 250g·m<sup>-3</sup>(C<sub>fw</sub>)일 때

$$V_T(\Delta C_{up} + \Delta C_{low}) = V_{dis}[(C_{av} + \Delta C_{up}) - C_{fw}]; \quad V_{dis} = VT100/300 \quad (8)$$

- 불필요하게 과도한 양액 폐기를 막기 위해
  - V<sub>dis</sub>의 75% 이내로 버리는 양을 제한해야 함.
  - 물 보충 전에 배액을 버려야 함.
  - 최저한계점 보다 더 낮은 상태로 유지될 경우 13:00~15:00 시간대(정오경)에 완전히 버림(V<sub>dis</sub>).
- 배액이 잘 관리되는 경우(Carmassi et al., 2003; Kempkes and Stanghellini, 2003; Stanghellini et al., 2004).
  - EC가 급변하는 것은 Cl<sup>-</sup>과 Cl<sup>-</sup>의 상대이온 농도에 기인함.
  - 폐양액의 Cl<sup>-</sup> 농도와 EC는 직선회귀가 성립함.



<배액의 EC와 Cl(왼쪽) 혹은 Na(오른쪽 그림) 농도의 관계. 데이터는 오이, 장미와 고추를 순환식 양액재배하면서 얻어진 결과임. 범례의 날짜는 용액 추출 날짜임>

- 직선회귀의 기울기=0.125±0.006dS·m<sup>-1</sup>/mM(c), 절편값은 장미, 고추, 오이 등 작물에 따라 다름.
- 총 이온 농도(C<sub>t</sub>, mmol(c)·L<sup>-1</sup>)와 EC의 관계(Sonneveld et al., 2009a).

$$EC = 0.095C_t + 0.19, \quad (9)$$

- 이 식에서 C<sub>t</sub>, mmol(c)·L<sup>-1</sup>임.
- 용액의 이온강도(I, mol·L<sup>-1</sup>)와 EC의 관계식

$$I = K_f EC \quad (10)$$

$$I = 0.5 \sum (|Z_i|^2 C_i) \quad (11)$$

이 식에서  $Z_i$ 는 이온원자가,  $C_i = \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  농도, 토양수분 추출물에 대한  $K_f = 0.013 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} / \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  (Griffin와 Jurinak, 1973)임.

○ 무기원소 보충

- 매일 추가된 무기원소의 양이 기록되어야 함  $\Rightarrow$  작물 소비량을 예측 가능하게 함.
- 만약 공급된 총량이 “흡수된 총량 + 버려진 총량 + 재순환된 양액 내 총량” 보다 많을 경우 양액 분출공 근처의 배지에 집적되어 있을 가능성이 높음.
- 영양분 보충의 예
  - 1000m<sup>2</sup> 온실에서 물의 양  $V_r + V_{wsb}$ (필라이트)는 43.4(= 5 + 38.4)m<sup>2</sup>임.
  - N 농도가 100g·m<sup>-3</sup>일 때 온실의 총 N은 4.34Kg임  $\Rightarrow$  1일 소비량이  $\sim 0.2 \text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$  일 때 0.2kg을 보충하면 N 농도가 140g N·m<sup>-3</sup>로 상승함.

▪ 지속적 관리

○ 식물체당 배지와 용액의 용적

▪ 배경

- 식물체 당 배지와 용액의 양은 뿌리 성장에 영향을 미침. 순환식 양액재배에서 물, 영양분 그리고 산소에 대한 완충력을 결정하고 배지의 염분 축적에 영향을 미침.
  - 뿌리 양( $R$ , g 뿌리 생체중량·m<sup>-2</sup> 배지)이 감소한 경우 물과 양분 흡수량이 감소됨(각각  $Q_w$ ,  $Q_N$ , 방정식. [16], g·m<sup>-2</sup> 배지·h<sup>-1</sup>).
  - 뿌리 시토키닌과 아브시스 산(ABA) 합성과 지상부 식물체로의 공급량이 감소됨 (Aiken and Smucker, 1996).

$$Q_N = F_N R; \quad Q_w = J_w R \quad (16)$$

용어  $F_N$ 과  $J_w$ 는 공식[17]에 나타낸 Michaelis-Menten 방정식으로 표현될 수 있음. 물 흡수는 공식[18]로 설명할 수 있음.

$$F_N = F_{\max N} C / (K_{mN} + C) \quad (17)$$

$$J_w = K_{sr} (\Phi_s - \Phi_r) \quad (18)$$

이 식에서  $F_{\max N}$ : N에 대한 최대 F 값,  $K_{mN}$ : 흡수 효율 상수(L·g N<sup>-1</sup>),  $K_{sr}$ : 뿌리로의

수분 투수성에 대한 토양-뿌리 저항력( $g \cdot H_2O \text{ bar}^{-1} \cdot h^{-1}$ ).  $\Phi_s$  와  $\Phi_r$ : 각각 토양의 뿌리 표면과 뿌리 내부에서의 토양 수분포텐셜임.

- 오옥신과 호르몬/뿌리용적 상호작용

- 오옥신: 지상부에서 합성된 후 뿌리로 이동  $\Rightarrow$  뿌리에서 proton( $H^+$ ) 생산에 관여하여 뿌리 성장을 조절함.
- 오옥신이 중간역할을 하면서 유기산이 세포벽으로 유출됨  $\Rightarrow$  세포벽의 견고성이 감소하고 팽창되면서 뿌리가 신장함.
- 양성자는 뿌리 신장대에서 뿌리가 잠긴 용액으로 유출됨.
- 오옥신은 뿌리의 정단부 쪽으로 이동함  $\Rightarrow$  식물체당 배지의 양을 줄인 조건으로 용기 재배하면 뿌리분지가 촉진되는데 이는 뿌리 정단부의 오옥신 농도가 낮아지기 때문임  $\Rightarrow$  결국 뿌리의 신장 생장이 억제됨.
- $NH_4^+$  흡수량 증가  $\rightarrow$  뿌리로부터 토양 용액으로  $H^+$  방출량이 증가함  $\Rightarrow$  분지가 많이 발생하는 환경에서 뿌리 신장에 유리하게 작용함.
- 뿌리 정단의 수가 많아짐  $\Rightarrow$  뿌리의 신장부위로 유입되는 지베렐린 농도를 감소시키고 세포 신장을 위한 자극을 감소시켜 뿌리생장을 억제함.

- 목표흡수율( $Q_{target}$ )을 알고 있을 때, 최대 흐름 조건을 유지하기 위한 최소 뿌리 질량은  $R_{min} = Q_{target}/F_{max}$ 임.

- 토마토 식물체( $F_{max} = 25 \mu g \text{ N} \cdot g^{-1} \text{ 뿌리} \cdot \text{생체중} \cdot h^{-1}$ )에  $Q_{NO_3} = 500 \text{ mg N} \cdot m^{-2} \text{ 배지} \cdot d^{-1}$ (1일 10시간 흡수할 때  $50 \text{ mg N} \cdot m^{-2} \text{ 배지} \cdot h^{-1}$ 과 동일한 조건)을 충족시키기 위해

$R_{min} = 50/0.025 = 2000 \text{ g 생체중 뿌리} \cdot m^{-2} \text{ 배지가 됨.}$

- 배지의 깊이가 20cm인 경우  $\Rightarrow$  200L 배지로 발생한 뿌리의 용적은 2L임(뿌리의 밀도를  $1 \text{ g}(mL^{-1})$ 으로 가정)

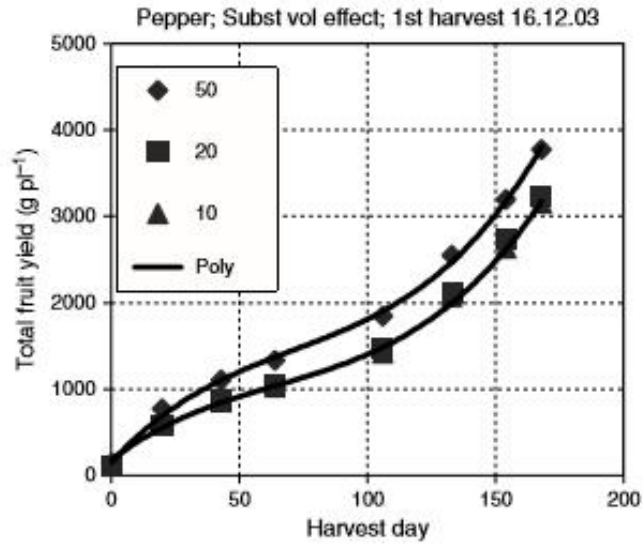
Crop	Ion	$F_{max}$	$K_m$	System
Maize	NO <sub>3</sub>	1.16	10	Well stirred
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.50	3.0	
	K	5.02	16	
Soybean	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.10	2.0	Well stirred
Tomato <sup>a</sup>	NO <sub>3</sub>	5.1	258	Well stirred
Tomato <sup>b</sup>	NO <sub>3</sub>	4.6	400	Stirred
	NH <sub>4</sub>	20.3	3000	
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2.2	350	
Tomato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub>	11.0	3000	Sand
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.8	320	Rock-wool
	K	3.0	1000	Aeropohncs
Pepper	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub>	14.0	550	Unstirred
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	17.0	25	

<교반되거나 교반되지 않은 양액 재배방법으로 재배된 작물과 일부 이온의 Michaelis-Menten 상수<sup>a</sup>.  $F_{max}$ 는 mol·cm<sup>-1</sup>·s<sup>-1</sup>,  $K_m$ 은 mM>

a단위전환: 1g fw·cm<sup>-3</sup> 뿌리의 용적 밀도와 0.025cm의 뿌리가 점유한 반경에 대해, NO<sub>3</sub>의  $F_{max}$  = 10mol N·cm<sup>-1</sup> 뿌리·s<sup>-1</sup>·10<sup>-13</sup> (0.25.8ug N·g<sup>-1</sup> fw 뿌리·h<sup>-1</sup>과 동일).  $K_m$  = 500uM NO<sub>3</sub>(7mg·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N와 동일). <sup>b</sup>Scaife와 Bar-Yosef (1995).

○ 배지 양에 대한 작물 성장 반응

- 순환식 양액재배 방법으로 고추(cv, cuby)를 재배하면서 EC<sub>thr</sub>을 2.7 혹은 4.0dS·m<sup>-1</sup>로 조절하고 배지의 폭과 높이가 작물 성장과 수량에 미치는 영향을 조사함.
  - 총 수량 및 상품과 생산량은 0.5m 폭과 0.2m 높이 펄라이트 베드(16.6L·pl<sup>-1</sup> 배지)에서 가장 많았음. 폭이 0.2m 0.1m인 베드 순으로 수량이 적어졌다(6.7과 3.3L·pl<sup>-1</sup>).
  - 폭이 0.2m과 0.1m인 처리는 차이가 뚜렷하지 않았음.



Width	Exp yld	BER	Fruit wt
cm	kg plant <sup>-1</sup>	%	g fruit <sup>-1</sup>
50	2.68 a	39	164
20	2.08 b	41	162
10	2.10 b	41	164

<필라이트 너비(10, 20 또는 50cm; 식물 당 배지양은 각각 3.3, 6.7 그리고 16.6L·plant<sup>-1</sup>임)가 고추(cv Cuby)의 총 과일 생산량, 상품과 생산량(Exp yld), 배꼽 썩음과 (BER) 발생률과 평균 과일중량(Fruit wt)에 미치는 영향. 배지 높이는 0.20m이며, EC<sub>thr</sub> = 4.0dS·m<sup>-1</sup>, 관개빈도는 1일 10-16회였고, 계절에 따라 변화시킴>

- 배지의 넓이가 넓을수록 생산량 증가(0.5m 너비가 0.2m 또는 0.1m 보다 수확량이 많음).
  - 생산량 증가 원인: 착과량이 증가하고 배꼽썩음과율을 낮춤.
  - 배지 넓이가 넓은 경우 가을철 식물체P의 함량 증가
  - 봄철: 증산량이 증가함
  - 고추 실험에서 최대 증산률: 2L·plant<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup> 였음(정오에는 0.5L·plant<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> 였음).
  - 10cm 배지에서(3.3L·plant<sup>-1</sup>) 빠른 배수량 발생 ⇒ 약 1.5L·plant<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>( $\Theta_{1/2h} = 0.45v \cdot v^{-1}$ )



<토마토의 총수량, 상품수량, 배꼽 썩음과 발생률, 그리고 대과 비율<sup>b</sup>에 대한 배지 너비<sup>a</sup>의 영향>

Substrate width (cm)	Accumulated yield (kg pl <sup>-1</sup> )		BER (kg pl <sup>-1</sup> )	Fruit size (kg pl <sup>-1</sup> )
	Total	Marketable		>67 mm
10	9.55 b	6.00 b	1.68 a	3.12 b
20	9.46 b	6.11 b	1.58 ab	3.22 b
50	10.10 a	6.74 a	1.50 b	3.63 a

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)로 처리 간 평균을 비교함.

aEC<sub>thr</sub> = 모든 처리에서 4.5dS·m<sup>-1</sup>로 조절; 관비 빈도는 10~16d<sup>-1</sup>을 기본으로 계절에 따라 변화시킴.

○ 배지 종류의 영향

- 순환식 양액재배를 위해 가장 중요한 배지의 특성은 수분 침투율, 배수율 및 미생물 여과능력임.
- 관비 방법과 시비 수준을 유사하게 조절하였을 때 암면보다 펄라이트와 석면에서 생산량이 많음.
  - 암면이 불리한 이유는 식물체량 용적이 적고 펄라이트와 부석보다 배수성이 불량함

<배지 종류가 상품과 생산량, 과일품질[고추에서 배꼽썩음과 발생률 및 머스크멜론의 총 가용성 고형물(TSS)] 그리고 물과 N 투입량<sup>a</sup>에 대한 영향. 관수 빈도, 1회 관비시 물량, 그리고 양액의 양분 농도는 모든 배지<sup>b</sup>에서 동일하게 조절함>

Substrate	EC <sub>thr</sub>	Marketable yield	Fruit quality	Water inputs	N input	
		Pepper (CV. Mazurka)				
	dS m <sup>-1</sup>	kg m <sup>-2</sup>	BER (%)	mm	g m <sup>-2</sup>	
Stone wool	4.2	6.1 b	11.5 b	347	46	
Pumice	4.4	7.6 a	17.7 a	380	52	
		Muskmelon (CV. 5093)				
	dS m <sup>-1</sup>	kg m <sup>-2</sup>	TSS (%)	mm	g m <sup>-2</sup>	
Perlite	4.5	6.06 a	10.8	325	36	
Stone wool	4.5	5.42 ab	9.2	354	38	

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)에 따라 처리간 평균을 비교함.

aBar-Yosef et al., 1999(고추)와 Bar-Yosef et al., 2000(머스크멜론)의 보고 내용임.

b배지 너비는 부석에서 100cm이고 펄라이트와 암면에서 2 x 20cm (2열 정식)였음.

관수빈도는 6~8d<sup>-1</sup>을 기본으로 계절에 따라 변화시킴.

○ 물과 무기양분 보충

- 배액 탱크에 모아진 양액의 양분 농도( $C_f$ ,  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ): 작물 영양분 소모( $U$ )와 버려진 양액( $D$ )을 고려하여 보충되어야 하며, 전체의 용액 양이 미리 목표한 농도를 유지하도록 해야 함. 추가된 물양( $V_f$ ,  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}$  지면) 양액을 농도로 곱한 값은  $U + D$  ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$  지면)와 동일해야 함.

$$C_f V_f = U + D ; C_f = U/V_f + D/V_f \quad (19)$$

- $D = 0$  일 때,  $U/V_f$ 는 증산류( $C_{ts}$ )의 영양분 농도임.
  - $U$ 와  $D$ 는 매일 측정하기 어려움( $U$ 는 작물별 양분 소모곡선으로부터 산출하고,  $D$ 는 배액의 영양분 농도와 총 배액량으로부터 구함).
  - $C_f$ 를 과다 및 과소하게 평가할 경우 각각 재순환된 양액의 영양분 감소 혹은 축적의 원인이 됨.
  - 그러므로 최소한 매 2주마다 양액의 화학적 분석이 이루어져야 함. (i)  $D = 0$  및 (ii) 실제  $C_{ts} = C_f$ 의 조건에서, 재순환된 양액의 영양분 농도는  $C_f$ 로 유지됨.
- 용액( $C_{trg}$ )의 목표 영양분 농도: 특정 성장단계에서 작물에 의한 목표영양분 소모율과 동일하도록 농도를 조절하는 것임. 목표영양분 소모곡선은 최대 생산량이 가능하도록 시간함수로서 정의됨(Bar-Yosef, 1999).
  - $C_{trg}$ 을 Michaelis-Menten 방정식에 삽입하면(공식 [17]), 기울기(공식)을 얻게 됨. 작물 뿌리질량에 이 기울기(공식)을 곱하면 성장단계에서 식물에 의한 목표흡수율과 일치시킬 수 있는 흡수율 값을 산출할 수 있음.
  - $C_f$ (수량요인에서 과생됨)가  $C_{trg}$ (양액 농도에서 과생됨)에 동일할 필요는 없지만, 이 값이 서로 더 근사값일수록, 재순환시스템은 더 균형이 맞고 안정적임.
- 목표 무기양분 농도( $C_{trg}$ )는 양액 재순환 시스템에서 무기원소의 양( $C_{trg} \times V_t$ )가 1일 요구수준을 넘어설 때  $f_c$ ( $f_c$ 의 신뢰수준  $\geq 1$ )와 곱하여 이용할 수 있음.
- 관비 빈도는  $C_{trg}$ 의 선택에 영향을 미칠 수 있음(뿌리표면에서 시간당 영양분 농도의 평균값을 결정하는 요인들 중 하나이기 때문임).
  - 관비 빈도가 높아지면 양분 농도가 낮아지는 뿌리 주변에 신선한 양액을 더 자주 보충함을 의미함.
  - 흡수의 속도가 벌크 용액에서 뿌리까지의 무기양분 이동속도 보다 빠르다면 일시적으로 뿌리주변의 양분농도가 낮아짐.
  - 양분의 이동은 확산과 대류에 의하며, 확산은 배지 내 이온 확산 계수( $\theta$ ) 및 벌크 용액에서 뿌리까지의 무기원소 이동 경로의 영양분 농도 구배로 결정된다.
  - 대류는 용액의 영양분 농도와 증산에 영향을 받으며 유사한 날씨와 배지 조건에서 농도 구배가 커질수록 무기원소의 이동량이 증가하므로 관수 빈도(IF)가 낮을수록 더 높은  $C_{trg}$ 가 요구된다.

- Michaelis-Menten 방정식(공식 [17])에서, 농도 용어 C는 뿌리표면의 농도를 의미함. 문헌으로부터 Michaelis-Menten 파라미터 추정치를 선택할 때, C는 뿌리표면의 상태를 의미하며 벌크 용액(e.g. 교반되지 않은 양액) 혹은 벌크 배지 용액이 아님.
- Olsen와 Kemper(1968)는 뿌리표면에서의 영양분 농도( $C_a$ ,  $g \cdot L^{-1}$ )를 설명하기 위해 정제된 상태의 양액에 일반 대류-확산 방정식을 적용시킴. 벌크 배지 용액( $C_b$ ,  $g \cdot L^{-1}$ ), 단위 뿌리 길이 당 수분 흡수율 ( $W$ ,  $mL \cdot h^{-1} \cdot cm^{-1}$  뿌리), 시스템의 확산 계수 ( $D_p$ ,  $cm^2 \cdot h^{-1}$ ), 뿌리 반지름( $a$ ,  $cm$ ) 그리고 배지의 용적수분함량( $\Theta$ ,  $v \cdot v^{-1}$ ) 농도의 함수로 방정식 [20]을 만들.

$$C_a = -\beta + \sqrt{\beta^2 + K_m C_b a} \quad (20)$$

$$\beta = 0.5 [K_m - (F_{max}/W)(1 - a) - C_b a]; a = a^{w/(2\pi\Theta D_p)}; D_p = D_o \exp(s\Theta),$$

여기서  $D_o$  = 용액 상태에서의 확산계수 ( $cm^2 \cdot h^{-1}$ ),  $s$  = 배지 상수 (단위  $1 \Theta^{-1}$ ) 그리고  $K_m$ 과  $F_{max}$ 는 방정식 (17)의 Michaelis-Menten 상수임.  $F_{max}$ 는 뿌리무게 중량단위보다 뿌리길이 단위로 표현됨.

- 뿌리 쪽으로의 무기원소 이동률이 뿌리에 의한 흡수율을 초과할 경우 관수 후 다음 관수 전에 뿌리표면에서 염류가 축적됨 => 이 경우 신선한 관비용액을 공급하면 뿌리표면의 염분을 제거하여 뿌리영역의 삼투포텐셜을 조절함.
- 염류 농도는  $C_{trg}$ 의 선택에 영향을 미침: 흡수 과정에서 무기이온간 길항작용이 발생하고 뿌리 쪽으로 집단류의 이동을 억제시키기 때문임(Marschner, 1995). 흡수 억제를 나타내는 함수는 변형된 Michaelis-Menten 방정식으로 구할 수 있음(Fried and Broashard, 1967):

$$F_{NO_3} = F_{maxNO_3} C_{NO_3} / (K_{mNO_3} + C_{NO_3} + C_{Cl} K_{mNO_3} / K_{mCl}) \quad (21)$$

- 함수는 흡수부위( $K_{mCl}$ ,  $mg \cdot L^{-1}$ )에 대한  $Cl^-$ 의 친화도를 고려하여  $Cl^-$  농도( $C_{Cl}$ ,  $mg \cdot L^{-1}$ )의 존재에서 질산염 흡수의 유량  $F_{NO_3}$ 를 나타냄.
  - 공식 (21)에서 다른 변수는 공식 (17)에서 정의된 내용과 동일함. 공식 (21)에서  $100mg \cdot L^{-1} NO_3^-$ 의 용액에 대한  $150mg \cdot L^{-1} Cl^-$ 를 첨가하면 “8~1.3 $ug \cdot g^{-1}$  뿌리  $NO_3-N$ ”까지 토마토 뿌리에 의한  $F_{NO_3}$  ( $K_{mNO_3} = 3.610^{-3} L \cdot g^{-1}$ 과  $K_{mCl} = 1.0 \times 10^3 L \cdot g^{-1}$ )를 줄임.

○ 작물 성장에 대한 목표 N 농도의 영향

- 70과  $140mg \cdot L^{-1}$ 의 목표 N 농도에서 하루마다 18번 관비 된 고추는 비상품과율, 총 수확량, 대과비율에 뚜렷한 차이가 없었음.
  - $140mg \cdot L^{-1}$  N 처리에서의 더 높은  $NH_4$  농도로 인해 Ca 흡수가 저해되었고, 이로 인한 비상품과 비율(주로 배꼽썩음과)이 높을 것으로 예상하였으나 차이가 뚜렷

하지 않았음.

- N 목표 농도에 대한 토마토반응이 고추 보다 더 컸음. 총수량, 상품과율 그리고 대과 비율에서 뚜렷하게 낮았으며, N 농도가 50에서 150과 250mg·L<sup>-1</sup> N으로 증가했기 때문임.

<순환식 양액재배<sup>b</sup>방법으로 고추<sup>a</sup>를 재배할 때 양액의 다량원소 농도가 수확량에 미치는 영향>

C <sub>NPK</sub> <sup>d</sup> (mg L <sup>-1</sup> N,P,K)	Yield		
	Total (kg m <sup>-2</sup> ground)	Large (kg m <sup>-2</sup> ground)	Unmarketable (%)
70,15,30	10.9	5.3 a	17.5 b
140,75,150	11.0	4.9 ab	19.1 ab

Duncan의 LSD 테스트 (0.05) 방법으로 처리 간 평균을 비교함.

aCV. Cuby; 파종, 1999년 8월 30일, 필라이트; 1999년 12월 20일 및 2000년 5월 15일 각각 첫 번째 및 마지막 수확. 모든 처리에서 관비방법이 동일하였음.

b관개체제는 모든 처리에서 동일함.

d양액의 NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub>비 = 1:4; EC<sub>thr</sub> = 3.5dS·m<sup>-1</sup>; 18관비·d<sup>-1</sup>

<설정된 양액의 목표 N농도가 순환식으로 양액재배한 토마토 잎의 Ca 및 Mg 함량에 미치는 영향>

C <sub>N</sub> <sup>d</sup> (mg L <sup>-1</sup> N)	Yield (kg m <sup>-2</sup> ground)				Content in leaves (g 100g <sup>-1</sup> )	
	Total	Marketable	Large	BER <sup>e</sup>	Ca	Mg
50	10.8 a	7.7 a	4.2 a	1.2 c	1.01 a	2.78 a
150	9.4 b	5.7 b	2.8 b	1.7 b	0.81 b	2.01 b
250	7.6 c	3.6 c	2.2 c	2.2 a	0.72 b	1.64 c

Duncan의 LSD 방법으로 처리간 평균을 비교함.

aCV. 870; 2004년 9월 7일 파종; 계절에 따라 1일 9-18 관비.

- 생산량의 감소 정도가 크지 않았지만, 잎에서 N과 P 함량은 뚜렷하게 증가하고 Cl 함량이 4.4에서 2.3과 2.0g·100g<sup>-1</sup>까지 낮아짐.
- 생산량 감소의 이유: 양액의 NH<sub>4</sub> 농도 증가로(고정된 NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub>비) 잎의 Ca과 Mg 함량이 감소함. 또한 Ca 농도의 감소는 배꼽썩음과의 발생률 증가 원인이 됨. 모든 처리에서 EC가 동일함에도 (EC<sub>thr</sub> = 4.5dS·m<sup>-1</sup>) 250mg·L<sup>-1</sup> N처리의 ET가 150mg·L<sup>-1</sup> N보다 더 낮았음 .

○ 질소 비료의 종류 (암모늄:질산의 비율)

- 암모늄 대 질산 비율: (i) N 흡수 효율성에 영향을 미침(NO<sub>3</sub>와 비교하여 NH<sub>4</sub>의 Michaelis-Menten 반응 속도가 더 빠름)(e.g. 토마토 데이터). (ii) NH<sub>4</sub> 흡수로 인해 Ca, Mg 그리고 K 흡수비가 감소함. 특히 NH<sub>4</sub> 흡착률이 낮은 비활성 배지에서 심함. (iii) NO<sub>3</sub>가 pH를 증가시키는 반면에 NH<sub>4</sub> 공급은 용액 pH를 감소시킴(Imas et al., 1997) 또한 NH<sub>4</sub> 질산화를 통해 NH<sub>4</sub> 1몰당 2몰의 H<sup>+</sup>가 발생함.

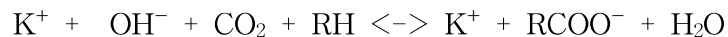
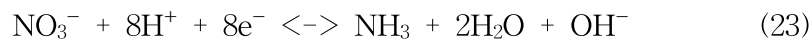


- 아질산염 산화(두 번째 단계)는 420-530mV의 산화환원전위와 pH에 따라 달라짐 (Yes, 1979). 또한 두 산화 단계를 수행할 수 있는 세균이 존재해야 함.

(b) 음이온 흡수에 비해 양이온 흡수량이 많을 때 뿌리에 의한 양성자 분비에 의해 pH가 중화됨.

- NH<sub>4</sub>는 흡수효율이 높으며 다른 양이온들보다 H<sup>+</sup> 방출에 미치는 영향이 큼.
- 식물체 내에서 NH<sub>4</sub>가 아미노산(R-NH<sub>2</sub>)으로 합성되는 과정에서도 H<sup>+</sup>을 방출하며, 이 과정은 식물체내의 pH가 과도하게 산성으로 변하는 것을 막음.
- 방출된 양성자는 뿌리를 둘러싼 필름 형태인 물 피막의 pH를 낮추는 원인이 됨.

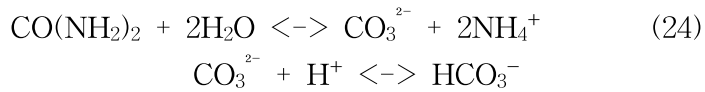
(c) 질산 흡수율이 많아지면 분비되는 양성자의 양을 감소시켜 용액의 pH를 상승시킴. 또한, 식물체내에서 질산환원은 OH<sup>-</sup>가 생성된 후 뿌리 밖으로 배출시켜 세포내의 pH를 안정적으로 유지되게 함.



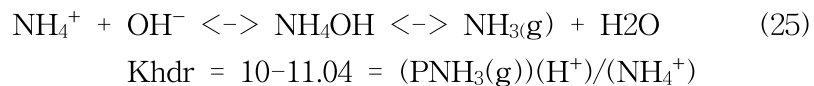
- 이 식에서 RH는 유기산임, RCOO<sup>-</sup>: 카르복시산이며 탈카르복실화를 통해서 이 과정이 종료되고 최종생산물은 카르복실산 음이온임(Mengel and Kirkby, 2001).
  - 카르복시산이 약산이기 때문에, 카르복시산염 분비는 용액의 pH를 상승시킴. (Ganmore-Neumann와 Kafkafi, 1980, 1983).
- 요소[CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]
- 요소는 전하가 0이며, 순환식 양액재배에서 집적되는 다른 이온들과 다름(상대이온이 없음).
  - 용액 EC에 영향을 미치지 않고, 용액 삼투포텐셜(OP)에 대한 영향도 모든 N 질

소 비료 사이에서 가장 약함. 예)  $\text{KNO}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{NaNO}_3$  그리고 요소의  $5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  용액의 삼투압 몰농도( $\text{Os}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 여기서  $\text{Os}$  = 결빙점의 저하/1.86)는 각각 0.093, 0.173, 0.11 그리고 0.083이며(Weast, 1977), N 1g 당 결빙점을 낮추거나 삼투포텐셜에 대한 요소의 영향이 훨씬 더 적음.

- 요소는 가수분해 되기 전의 흡수 효율성이 암모늄 또는 질산염보다 현저히 낮음 (불리한 특성임) (Kirkby와 Mengel, 1967; Herndon and Cochlan, 2007).
- 따라서 배지내 체류시간이 가수분해에 비해 너무 짧은 비순환식 양액재배에 사용될 수 없음.
- 요소의 가수분해 (공식, [24])는  $\text{H}^+$ 를 소모하고 pH를 상승시킴.



- 무토양 배지에 사용된 요소의 60%가 온실 상온에서 1일 동안에 가수분해됨 (Ikeda et al., 2001)
- 이 비율은  $\text{NH}_4$ 의 질산화와 비슷하며 1일 약50%가 산화됨(Lang and Elliot, 1991; Ikeda et al., 2001).
- 따라서 가수분해 최종산물은 암모늄 + 질산염임.
- 요소 사용에 있어서의 제약조건은 두 종류임: (i) 식물에 독성을 띄는 요산염이 순환식 양액재배의 배액탱크에 축적되지 않아야 함. (ii) 총 시비되는 질소 비료중 요소-N 농도가 일정 비율을 초과해서는 안 됨(흡수속도가 느리고 독성을 띄는 암모늄으로 전환됨).
- $\text{NH}_4^+$ 는 pH가 상승할 때 독성의 암모니아 ( $\text{NH}_3(\text{g})$ )로 방출됨 (공식 [25]).



- pH 8.04에서  $\text{PNH}_3/\text{NH}_4$ 비가 1/1000이 됨 => pH > 7.5의 조건에서는 요소를 시비하지 말아야 함.
- 재순환된 용액의 최적의 요소비율:  $15\pm 5\%$  미만이 되도록 권장되며, 총 일일 N 흡수 및 방출액이 총 N의  $15\pm 5\%$ 이면, 매일 감소된 양을 요소로 보충할 수 있음.

<순환식 양액재배시<sup>b</sup> 보충액에 대한 N 비료 종류(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 대 요소)와 용액 (C<sub>N</sub>)의 N 농도와 장미 생산에 미치는 영향>

N source and target concentration (mg L <sup>-1</sup> )		Cut flower yield (number m <sup>-2</sup> greenhouse)		
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -N	Urea-N	Total	50 cm	70 cm
28	—	1080 a	260 ab	34 a
56	—	1075 a	260 ab	32 ab
112	—	1075 a	267 a	32 ab
168	—	1000 b	231 b	29 b
—	112	1020 ab	244 ab	33 a

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)로 처리간 평균을 비교함.

a생장기간: 2002년 5월 30일 ~ 2003년 12월 31일.

b배지는 Tuff; 온실의 총 수분 양은 30L·m<sup>-2</sup>; 1일 9번의 관비, ET: 약 4-5mm·d<sup>-1</sup>; 최저 야간온도: 18℃.

#### ○ N 이외의 다량원소

- 세 가지 이용가능한 수용성 P 공급원은 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 그리고 NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>이지만 인과 결합된 상대이온이 다르고 산성도에서도 차이가 남.
- 비순환식 양액재배에서 관비용액의 P 농도는 약 30mg·L<sup>-1</sup> P이다 (Hoagland and Arnon, 1950; de Kreij et al., 1999).
  - 순환식 양액재배의 적절한 농도는 인 흡수와 염류의 상호관계(Feigin, 1985), 관비 빈도, 그리고 배지의 P 흡착 특성에 따라 달라짐.
- 칼륨
  - Cl 축적을 피하기 위해서, 질산과 P의 목표 농도를 초과하지 않으면서, K를 KNO<sub>3</sub>와 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>로서 시비해야함.
  - 순환식 양액재배에서 K 농도는 작물에 따라 150과 240mg·L<sup>-1</sup> 사이로 조절함 (Hoagland and Arnon, 1950; de Kreij et al., 1999).
  - 순환식 양액재배에서 총 N 중 NH<sub>4</sub>의 비율이 높을 경우 K 흡수율이 저해될 수 있으며, K 목표농도를 높게 설정하여 시비농도를 높여야 함.
  - 양이온 교환용량이 낮고 흡착률이 낮은 배지에서 N과 K 이동은 유사한 기작에 의하며 관비횟수를 증가시킬 경우 N과 유사하게 목표 K 농도를 낮추어 관리해야 함.

#### ○ 미량원소

- Fe, Zn 그리고 Mn이 킬레이트와 결합된 형태로 공급될 때 (일반적으로 EDTA 혹은 DTPA) 비순환식 양액재배의 목표농도는 각각 약1.0, 0.25 그리고 0.5mg·L<sup>-1</sup>임 (de Kreij et al., 1999).

- 양액의 pH가 식물에 의한 미량원소 흡수에 큰 영향을 미침(관비 빈도는 재순환된 양액 pH에 영향을 미치고 이는 미량원소 가용성에 영향을 줌).

### ○ 원수의 수질

#### - 빗물 또는 제염한 물 사용

- 해안과 근접한 지역의 원수는 일반적으로 작물 요구도를 초과하는 Ca, Mg, SO<sub>4</sub> 그리고 Cl 농도를 가짐
- 관개수의 원소 농도가 매우 낮을 경우 재순환된 용액에 N, P, K과 미량원소를 추가적으로 첨가해야 함.
- EC가 높은 원수와 제염된 원수(또는 빗물)를 모두 이용 가능할 경우 특정 이온의 독성 발현 수준 이하 혹은 미리 설정된 임계 EC 이하의 수준이 되도록 혼합하여 사용할 수 있음(Raviv et al., 1998).
- 최적의 희석 비율은 방출 양에 대한 경제적 측면과 배액에 미치는 영향을 고려하여 결정함.

### ○ 관비 빈도

#### ▪ 원리

#### - 적용 가능한 최대 관비횟수는 배지의 수분보유능력, 배지의 배수율 그리고 배지에서 식물 흡수량을 충족시키기 위해서 이용되는 물의 양과 배지내 집적된 무기염의 용탈 정도에 따라 다름.

- 배지 m<sup>2</sup> 당 1회 관비를 위해 필요한 물의 양은  $V_p \leq [\Theta_{95\%sat} - \Theta_{1/2h\ drng}] \times [m^2\ 당\ 배지의\ 양]$ 임.
- 펄라이트의 경우  $V_p$ 는 58L·m<sup>-2</sup> 이하여야 함. 실제 적용할 관수량(Virr)은  $V_p$  보다 약 30% 적게 공급해야 함(약 18L·m<sup>-2</sup>). 그 이유는 일시적으로 배지가 물로 포화되는 것을 막기 위함임.
- $V_p$ 를 넘어선 과다관비가 이루어질 경우 배지안을 침투하여 통과하는 양액보다 배지표면에 흐르는 자유수가 형성되어 배지에 대한 무기원소 및 산소공급이 손상될 수 있음.

#### - 1.6m 너비의 베드와 0.4m 너비의 펄라이트 용기

- Virr: 4.5L·m<sup>-2</sup> 바닥면적임(4.5mm와 동량)
- 관비시간(tirr): 4.5L·m<sup>-2</sup> 바닥면적에 필요한 관수량,  $t_{irr} = Virr / I_{irr}$ , 여기서  $I_{irr}$ 은 외부로 방출되는 양액의 양이며 L·m<sup>-2</sup> 배지로 나타냄.
- 관행적인 관수방법에서  $I_{irr} = 50$  일 때 매 관수시간은 (60 x 18/50)으로 계산되며 약 20분이 됨.
- 관비 후 다음 관비까지의 시간  $T_{si}$ 는  $T_{irr} + T_d$  보다 길어야 함. 여기서  $t_d$ 는 배수시간이며  $T_d = Virr / I_d$  로 계산함.



- Id: 배수율이며  $L \cdot m^{-2}$  배지·h-1로 나타냄. 필라이트의 Id는  $Jfd(cm \cdot h^{-1})$ 를 변형시켜 얻을 수 있음( $10cm \cdot h^{-1} = 100L \cdot m^{-2}$  배지·h-1)
- 그러므로  $Td = 60 \times 18/100$  으로 약 11분이며  $Tsi(=11+20)$ 는 약 30분임
- 위 공식으로부터 1시간 당 2회 관비가 필요하고 매 관비시 약 4mm를 해야 함
- $8mm \cdot h^{-1}$ 로 허용된 속도는 건조한 지역의 여름 정오 동안 ET보다 약 4~5배 더 많음. 앞서 언급된 Irr에서 필라이트에 대한 권장된  $Virr$ 은 2~4mm/관개이며,  $Vp$ 의 15-30%에 해당함. 하루 당 관개의 권장된 수 nI는 다음과 같다.

$$NI = \text{일일 관비율, } Vd / Virr$$

○ 실험적 결과

- 순환식 양액재배에서 관비횟수가 고추와 토마토의 생장에 미치는 영향은 아래 두표에 나타냄. 고추에서 1일 12회 관수( $nI = 12$ )
  - $nI = 6$  보다 생산량이 많고 품질이 우수하였으나 18회 관비와는 차이가 없었음 (토마토에서도 고추와 유사한 효과가 나타남).
  - 중간의 빈도 (1일 8~16)에서 결과가 우수하였음. 각 처리에서 관비횟수가 차이가 있는 것은 ET의 계절적 차이에 기인함.

<순환식 양액재배 시스템<sup>b</sup> 으로 고추를 재배할 때 고추<sup>a</sup> 생산량에 대한 관개빈도(동일한  $EC_{thr}$ 와 관개비율)의 효과>

Fertigation frequency (Num d <sup>-1</sup> )	Yield		
	Total (kg m <sup>-2</sup> ground)	Marketable (kg m <sup>-2</sup> ground)	Unmarketable (%)
18	11.0	4.9 a	19.1 ab
12	10.8	4.8 a	17.8 b
6	10.5	4.3 b	20.0 a

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)로 처리간 평균을 비교함.

acv. Cuby; 1999년 8월 30일에 정식, 1999년 12월 20일에 첫 수확, 2000년 5월 15일에 마지막 수확.

b모든 처리에서 임계 EC는  $3.5dS \cdot m^{-1}$  였음. 50cm 너비의 필라이트배지에 대한  $NH_4^-N$ ,  $NO_3^-N$ , P, K 농도는 각각 2, 8, 1 및 4mM였음.

<N 농도를 변화시킨 양액으로 토마토를 순환식 양액재배할 때 관비횟수가 배꼽썩음과의 발생률과 생산량에 미치는 영향(동일한  $EC_{thr}$ 와 관비 비율 적용함)>

Irrigation frequency (Num d <sup>-1</sup> )	Solution N concentration (mg NL <sup>-1</sup> )					
	50		150		50	
	150		50		150	
	Total yield (kg pl <sup>-1</sup> )		Marketable yield (kg pl <sup>-1</sup> )		B:R (num pl <sup>-1</sup> )	
4-8	—	8.06 b	—	4.35 b	—	42.5 a
8-16	10.57	9.87 a	7.11	5.94 a	24.4	23.5 b
16-32	10.10	—	7.07	—	23.0	—

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)로 처리한 평균을 비교함.

acv. 870; 2004년 9월 1에 정식, 2005년 7월 15일에 종료함.

b모든 처리에서 임계 EC는 4.5dS·m<sup>-1</sup> 였음. EC; 펄라이트 배지의 너비를 10, 20 및 50cm로 조절한 평균임; 모든 처리에서 P, K 농도는 동일하였고 각각 1과 4.5mM임).

- 관개빈도 효과는 재순환된 양액의 영양분 농도와 상호관련이 있다. 토마토의 경우에, nI = 16일 때, N 농도를 50mg·L<sup>-1</sup>로 조절한 처리가 150mg·L<sup>-1</sup>으로 조절한 처리보다 생산량이 많았음.
- 데이터가 의미하는 비율
  - 설정된 흡수율(threshold uptake rate, TUR)은 뿌리로부터 유출이 시작되기 전 높게 변화시켜야 함.
  - 높게 설정된 후 일정한 상태로 유지되다가 뿌리가 노화될수록(나이가 먹을수록) 점차 감소함.

○ pH 제어: 질산화 작용과 뿌리의 양성자와 카르복시산 분비

▪ NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> 비율에 의해 유도된 효과

- 양액의 pH는 두 가지 방법으로 조절할 수 있음: (i) 재순환된 양액의 NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> 비를 변화. (ii) NO<sub>3</sub>로 전체 N을 시용하고 산으로 pH를 낮춤(물의 Cl<sup>-</sup> 농도가 낮은 경우 HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 혹은 HCl사용).
  - 방법 (ii)보다 (i)의 장점은 산 첨가가 필요 하지 않음으로써 시스템에 염농도 부하를 줄이고 강산 취급과 관련된 위험성이 없음.
  - 불리한 점은 NH<sub>4</sub>가 Ca, Mg 그리고 K 흡수를 억제하고, 배지와 양액이 고온인 경우 뿌리 발달을 악화시킬 수 있음.
- (i)의 방법을 적용하기 위한 세가지 고려점: (a) 재배되는 작물 뿌리로부터 잠재적인 양성자 방출, (b) 재순환된 시스템의 질산화율, 그리고 (c) 질산 흡수가 용액으로의 카르복시산 방출에 대한 영향.
  - 어린 토마토(정식 후 30~44일)에서 NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> 비율의 변화로 단기간(6시간)에 pH

가 변화하고 NH<sub>4</sub>와 NO<sub>3</sub>의 흡수로 인해 뿌리에 의한 용액으로의 양성자와 구연산 방출이 일어남.

■ 양액의 pH가 영양분 농도에 미치는 영향

- 용해도가 pH에 큰 영향을 받는 원소: Ca, P, Fe, Zn, 그리고 Mn임.
- pH와 CO<sub>2</sub> 분압(PCO<sub>2</sub>)이 탄산석회(CaCO<sub>3</sub>)로 포화된 용액에서 Ca 농도(Cca, M)와의 관계는(Lindsay, 1978).

$$0.5 \log (Cca^{2+}) = 4.87 - 0.5(PCO_2) - pH \quad (24)$$

- PCO<sub>2</sub> = 3 x 10<sup>-4</sup> bar (300ppm CO<sub>2</sub>)과 pH=7 인 조건에서, Cca<sup>2+</sup> = 183mM임.
- 동일한 PCO<sub>2</sub> 조건이면서 pH가 8.0과 8.5 일 때 Cca<sup>2+</sup>는 각각 1.83과 0.183mM 로 낮아짐 => pH ≤ 7에서 석고가 Ca 농도를 결정지음.

- CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>와 CaCO<sub>3</sub>

- 총 탄산염 농도가 10mM, 총 Ca농도가 2mM, 그리고 pH=8일 때 Ca<sup>2+</sup>, CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> 그리고 CaCO<sub>3</sub><sup>0</sup>의 몰분율은 각각 0.92, 0.05 그리고 0.03임.

- Ca가 고정되었을 때 pH는 Ca-P 무기물의 평형에 따른 양액의 P 농도를 결정하며 용해도는 다음의 순서대로 감소함:

- CaHPO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O(DCPD) > Ca<sub>4</sub>H(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OCP) > Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (βTCP) > Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH (HA).
- Ca<sup>2+</sup>과 HPO<sub>4</sub><sup>-</sup>의 활성도가 DCPD 용해도를 초과하면, 수분~수시간 내에 무기물이 침전됨. 양액의 Cca<sup>2+</sup> = 4.5mM과 pH 7.0 이라면 평형점에서의 P 농도는 pH 6.4에서 농도가 14.0mg·L<sup>-1</sup> P로 상승함.
- OCP는 DCPD(몇 시간 내로) 보다 더 느리게 침전되고 평형 상태의 P 농도는 0.9와 9.0mg·L<sup>-1</sup> P임.

- 4.5mM Ca이 Ca<sup>2+</sup>, CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> 그리고 CaCO<sub>3</sub>의 상태로 존재할 때 평형상태의 전체-P 농도는 아래 표에서 나타낸 것보다 약20-50% 더 클 수 있음.

- 고빈도 관비에서, pH 대한 재순환된 용액내 P 농도의 실험결과를 나타내는 바와 같이, 배지용액은 아래 표에서 나타낸 농도와 관련하여 일반적으로 과포화됨.
- 이론과 같이 pH가 7.5 이상으로 상승함에 따라 P 농도는 뚜렷하게 감소함.
- 철, 아연 그리고 망간은 상승된 pH에서 불용성 수산화물(Fe<sup>3+</sup> + 3(OH<sup>-</sup>) <=> Fe(OH)<sub>3</sub>(S), Zn<sup>2+</sup> + 2(OH<sup>-</sup>) <=> Zn(OH)<sub>2</sub>(S) 및 Mn<sup>3+</sup> + 3(OH<sup>-</sup>) <=> MnOOH(S) + H<sub>2</sub>O) 및 산화물(MnO<sub>2</sub>)(S)을 형성함으로써 용해도가 낮아짐.
- 이런 반응은 pH > 5에서 Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> 및 Mn<sup>4+</sup> + 농도가 실질적으로 0으로 감소함을 의미함.

- Mn<sup>4+</sup>와 Fe<sup>3+</sup>가 Mn<sup>2+</sup>와 Fe<sup>2+</sup>로 환원을 시작하는 산화환원전위는 각각 225와

120mV임(산화환원전위는 무산소 조건에서 감소함).

- 질산염환원은 250mV의 산화환원전위에서 시작하기 때문에 시스템의 모든 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 환원되기 전에 Mn<sup>4+</sup>와 Fe<sup>3+</sup>의 환원작용은 일어날 수 없음.
- 용액의 Mn<sup>2+</sup>농도를 제어할 수 있는 무기물은 MnCO<sub>3</sub>(Schwab and Lindsay 1983; Luo and Millero, 2003), Mn<sub>5</sub>H<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub> 또는 Mn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>임(Boyle and Lindsay, 1986).
- 용액의 아연 농도는 pH > 6에서 불용성인 Zn(OH)<sub>2</sub>와 Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>에 의해서 조절됨(Lindsay, 1979). pH 7과 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>가 1.0mM인 조건에서 Mn<sup>2+</sup>과 Zn<sup>2+</sup> 농도의 평형점은 각각 10<sup>-3.4</sup>와 10<sup>-6.1</sup>M임(Lindsay, 1979).
- Mn<sup>2+</sup> 농도(21mg·L<sup>-1</sup>)는 양액의 목표 Mn(0.5mg·L<sup>-1</sup>) 보다 높지만 Zn<sup>2+</sup>(0.05mg·L<sup>-1</sup>)은 목표농도보다 약 5배 낮음.
- Mn<sup>2+</sup> 농도가 5mM HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 평형을 이룰 때(pH 7, P 혹은 Ca이 없는 조건에서 존재하지 않음) Mn<sup>2+</sup>의 농도는 2mg·L<sup>-1</sup>(Lindsay, 1979) 목표 농도 보다 여전히 높은 농도임.
- pH 8에서 PO<sub>4</sub> 혹은 CO<sub>3</sub>가 포함된 무기물과 평형을 이루는 Mn<sup>2+</sup> 농도는 각각 1.0과 0.2mg·L<sup>-1</sup>임. 특히 pH가 높은 상태에서 농도가 낮아 발생하는 문제는 킬레이트를 사용하여 원하는 수준으로 미량원소 농도를 유지할 수 있음.

<재순환된 양액에서 Ca, Mg, Fe, Zn 및 Mn과 결합된 다양한 킬레이트 화합물의 안정도 상수Ksc>

Reaction <sup>a</sup>	Product	EDTA <sup>4-</sup>	DTPA <sup>4-</sup>	EDDHA <sup>4-</sup>	Citrate <sup>3-</sup>	Oxalate <sup>2-</sup>
		log Ksc				
Ca <sup>2+</sup> + L	CaL	11.6	12.02	8.20	4.2	2.0
Mg <sup>2+</sup> + L	MgL	9.8	10.6	9.0	—	—
Fe <sup>2+</sup> + L	FeL	15.27	17.67	15.3	—	—
Fe <sup>3+</sup> + L	FeL	26.5	29.2	35.4	12.5	8.9
Zn <sup>2+</sup> + L	ZnL	17.44	19.6	17.8	5.5	4.6
Mn <sup>2+</sup> + L	MnL	14.5	16.7	—	4.5	3.7

출처: Lindsay (1979)와 Norvel (1972).

$$azM + L = MnL; \quad Kc = (MnL)/[(M)z(L)].$$

<상추와 고추를 재배하면서 재순환된 용액의 pH 변화에 따른 미량원소 농도 변화>

pH	Mn	Zn	Fe	Source
	L mg <sup>-1</sup>			
<i>Lettuce</i>				
5.6	0.120	0.30	1.9	Yosef-Bar et al., 2001
6.1	0.120	0.30	1.9	
6.5	0.035	0.30	2.1	
6.8	0.040	0.16	2.0	
<i>Pepper</i>				
5.0	0.460	0.24	2.5	Yosef-Bar et al., 1999
5.9	0.400	0.33	3.5	
6.7	0.030	0.16	1.5	
7.0	0.020	0.16	1.5	

- 모든 양이온 중 Fe<sup>3+</sup>는 천연 또는 합성물질과 가장 안정적인 킬레이트를 형성함. EDTA와 결합된 Fe<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup> 또는 Zn<sup>2+</sup>의 안정도 상수(Ksc)는 pH가 약 7까지 상승하여도 재순환된 양액내의 용해도가 안정적임.
  - Mn<sup>2+</sup>의 Ksc는 매우 낮으며 재순환된 양액의 pH가 6.5에 근접함에 따라 급격히 농도가 낮아짐.

○ 근권영역 온도

- 파프리카: 암면의 온도를 17~22℃로 조절한 경우 23~33℃ 보다 수량이 증가함 => 주원인은 저온에서 근권영역 산소 농도가 높아졌기 때문임(Benoit and Ceustermans, 2001).
  - 지나친 저온(20℃ ⇒ 5℃로 낮아진 경우): 1.2에서 0.02mm·h<sup>-1</sup>로 뿌리생장률 감소(Pritchard et al., 1990).
  - 지나친 고온(토마토를 재배하면서 28~30℃를 초과하는 고온): 양액의 NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub> 비율이 높은 경우 피해 발생(Ganmore-Neumann and Kafkafi, 1980,1983).
  - 온도가 약 18℃ 이하 또는 28℃일 때 흡수와 뿌리생장이 억제됨.
  - 온도: 관비용 비료의 용해도에도 영향을 미침.

<온도 차이가 관비용 비료의 용해도에 미치는 영향>

Fertilizer	Formula	Temperature range (°C)		
		1	20	50
		g fertilizer L <sup>-1</sup>		
Ammonium nitrate	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1183	1950	3440
Monoammonium phosphate	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	227	282	417
Diammonium phosphate	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	429	620	1030
Phosphoric acid	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	—	548	—
Potassium chloride	KCl	280	347	430
Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	133	316	360
Potassium sulfate	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	69	110	170
Monopotassium phosphate	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	—	330	835 <sup>a</sup>
Calcium nitrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1020	3410	3760 <sup>a</sup>
Magnesium nitrate	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	—	423	578 <sup>a</sup>

출처: Hodgman(1949)와 Weast (1977).

a90°C 온도

○ 양액 재순환과 기후의 상호관계

- 상대습도(RH): 상대습도 증가는 ET를 낮추어 원수 첨가량이 감소하는 원인이 됨 ⇒ 순환식 양액재배의 염류집적량 감소의 원인이 됨(Cohen et al., 2003).
- 장미를 대상으로 한 연구(Bar-Yosef et al., 2003b, 2004a)
  - 양액재배의 임계 EC를 2.7dS·L<sup>-1</sup>와 4.0dS·L<sup>-1</sup>로 조절함
  - 지붕환기(RV), 팬 앤드 패드 냉방장치(WP) 그리고 차광스크린(SH)로서 시설내 기후 조절
  - RH는 64, 59 및 54%였음
  - WP와 비교하여 RV가, 그리고 임계 EC 수준이 2.7dS·L<sup>-1</sup>인 처리보다 4.0dS·L<sup>-1</sup>인 처리에서 경장이 짧은 꽃수가 증가함.

<재순환 용액을 교체하기 위한 두 가지 임계 EC 값과 연계된 세 종류 온실 환경조절처리 (패 앤드 패드 냉방, WP; 지붕 환기, RV; 차광스크린 설치, SH)가 장미(cv. Mercedes) ET, 수확시 건물(DM) 생산과 배수량<sup>b</sup>에 미치는 영향(전체<sup>a</sup>와 40-50cm 길이, m<sup>2</sup> 온실 당 생산량으로 나타냄)>

Climate <sup>c</sup>	EC <sub>thr</sub> (dSm <sup>-1</sup> )	Flowering stems yield (Num m <sup>-2</sup> )			Total DM (kg m <sup>-2</sup> )	Discharged water (mm)
		Total	40-50 cm	Cum ET (mm)		
WP	2.7	256 b	54 c	877	2.85	524
	4.0	298 a	73 b	947	3.11	162
RV	2.7	274 ab	88 ab	1091	2.66	596
	4.0	268 ab	100 a	1053	2.40	241
SH	2.7	233 c	60 c	949	2.42	556
	4.0	239 c	75 b	852	2.14	213

Duncan의 LSD 테스트 (0.05)에 따라 처리간 평균 차이를 비교함.

a총 생산량은 줄기 길이를 40-50, 50-60, 60-70, >70 cm로 구별한 총 숫자임.

b배수된 양액의 N 농도는 모든 처리에서  $140 \sim 160\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  N임.

- 위 표가 의미하는 내용

(i) kg DM 당 물 사용은 WP에서  $306\pm 2\text{L}$ 과 RV처리에서  $425\pm 15\text{L}$ 였음  $\Rightarrow$  RH를 증가시키는 것이 DM 생산에 영향을 미치지 않고 ET를 감소시킨다는 가설과 양립함.

(ii) WP처리의 생산량은  $2.7\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 ECthr 보다 4.0의 ECthr에서 더 높았음  $\Rightarrow$  재순환과정에서 축적된 이온들이 장미생장에 유리하게 작용함.

• 축적된 이온은 Ca, Mg 그리고 B이며, 4개월 생장기간 동안 시간당 평균 농도(용액 방출로 EC를 제어할 때)는 각각 125, 100 그리고  $0.26\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였음.

### ○ 순환식 양액재배를 위한 모델링

#### ■ 기존 모델의 검토

- 기후환경 조건이 정밀하게 조절되는 시설 내부에서 순환식 양액재배방법을 도입하기 위해서는 다양한 모델들이 포함되어야 함.

• 시설내 기후환경과 물 및 N 소비량과 연계된 건물 생산과 식물체내 재분배에 대한 시물레이션 모델이 필요(Marcelis et al., 1998).

• 질소:  $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ 의 비율에 따른 생장과 발달, 뿌리로부터의 카르복실 및 양성자의 용출, 특정이온의 선택적 흡수에 큰 영향을 미침  $\Rightarrow$  다른 원소보다 중요도가 높음.

• 배지내 주요 양분의 농도와 분포를 고려한 물과 양분의 흡수에 대한 시물레이션 모델 필요.

• 순환식 양액재배의 염류집적으로 흡수과정의 길항작용 발생 (예) Na-K, Cl- $\text{NO}_3$ ).

• 수분포텐셜 저하로 집단류와 양분 흡수에 영향을 미침.

• 건물중 생산과 식물 조직내 무기원소 분포에 영향을 미침.

• 고상과 액상 사이의 무기이온 분포, 유기질소의 무기화 및 질산화 작용 등이 포함된 배지내 물과 무기원소의 이동에 관한 시물레이션 모델이 필요함.

- 작물 생산과 물 및 무기원소 흡수를 설계된 대표적인 모델: Greenman (Bar-Yosef et al. 2004a)과 CLOSYS(Marcelis et al., 2003, 2005)임.

• 두 모델 모두 작물의 순광합성, 건물생산 및 분배, 질소 흡수 및 식물체내 이동 및 분배를 포함함.

• 두 모델의 차이점은 근권환경의 계측 및 조절에서 차이가 있음.

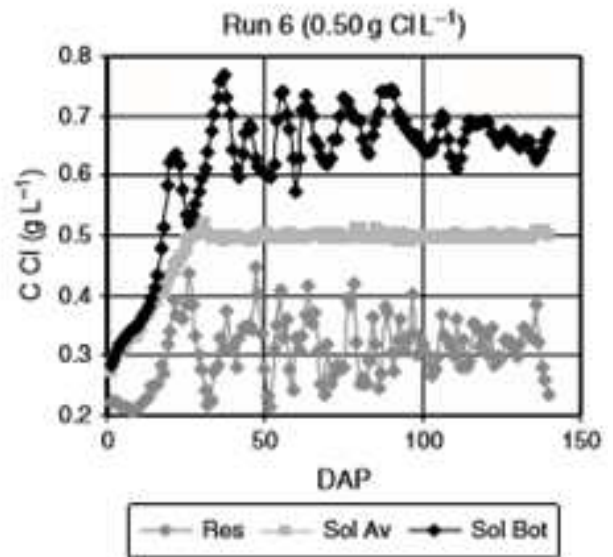
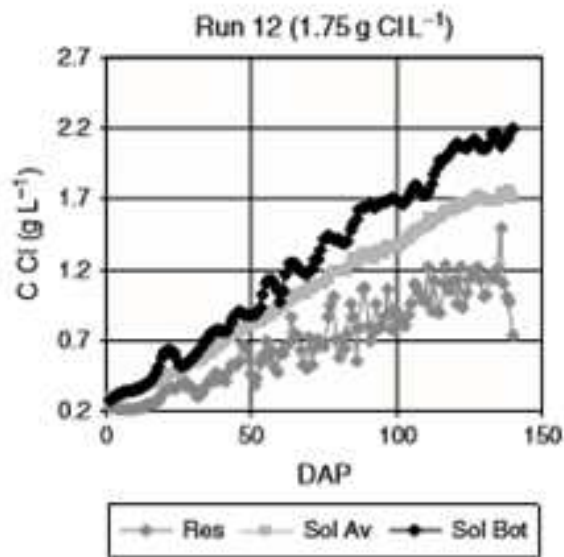
- 기타 작성된 모델: Heinen (1997), Giuffrida et al. (2003), Stanghellini et al. (2004) 및 Carmassi et al. (2003)

### ○ 순환식 양액재배의 시물레이션의 예

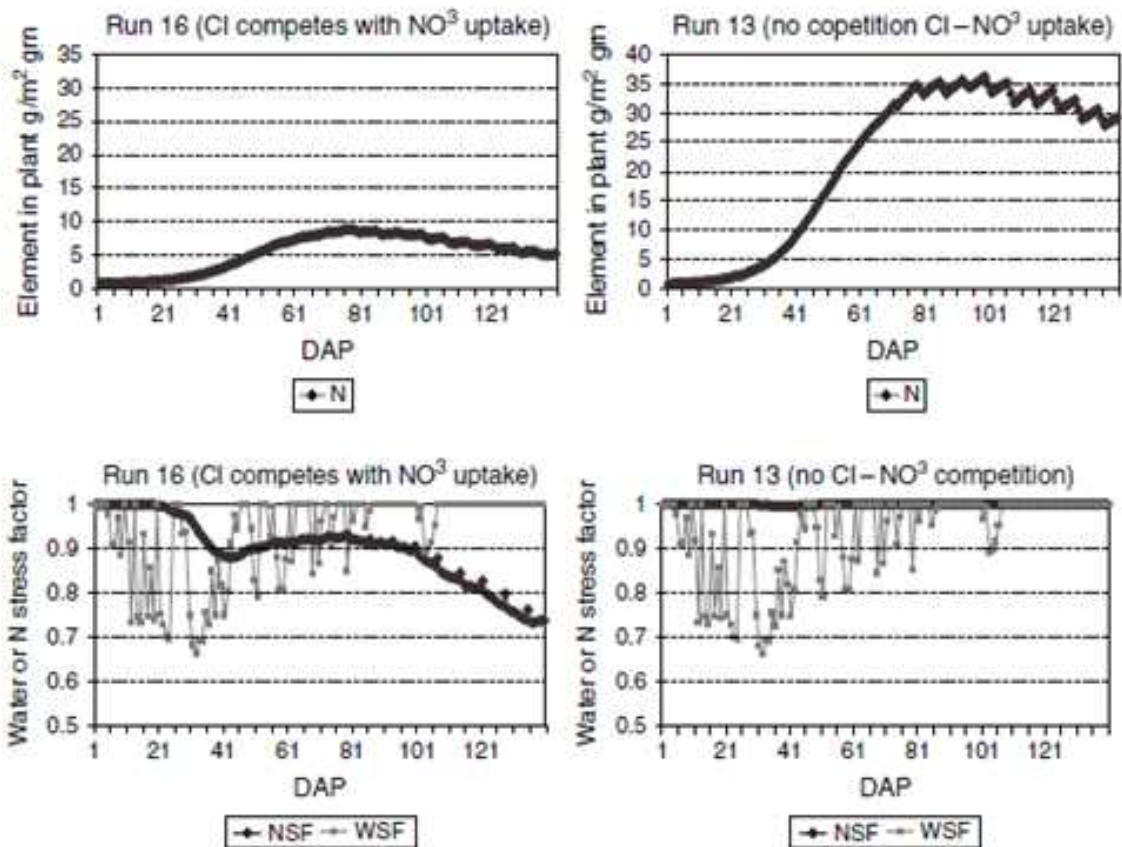
- Cl 집적이 N 및 물 흡수에 미치는 영향

- 재순환된 양액을 대체하기 위한 임계  $Cl^-$  농도: 설정된 시설환경 조건과 관비방법에서 용액을 방출해야 할 시점까지 소요되는 시간을 결정함.
  - 임계 EC를 기준으로 할 경우 측정 방법이 쉽고 모니터링하기가 쉽지만 직접 계산할 수 없음.
  - 임계 EC값은  $Cl^-$  농도와 상관을 통해 추정함.
- 토마토를 재배하면서 양액의  $Cl^-$  농도를  $500mg \cdot L^{-1}$ 로 유지하기 위한 시뮬레이션 (Bar-Yosef et al. 2004a).
  - 사용 27일 후 순환된 양액의 일부분이 버려져야 함.
  - $1750mg \cdot L^{-1}$ 까지 식물체가 견딜 수 있을 경우 126일 후부터 방출되어야 함.
- 시뮬레이션 모델은 배지 하단부의  $Cl^-$  농도가 배액 저수조(= 관개 용액) 보다 상당히 더 높았고 설정한 임계 농도의 차이가 커짐에 따라 두 부분의  $Cl^-$  농도 차이도 커짐을 예측함.
- 모의실험에서의 일일 변동 폭은 배액 저수조 보다 배지 하단부에서 더 컸고, 시스템의 일정한 수분 양을 유지하기 위해 신선한 양액으로 보충됨. 집적된  $Cl^-$ 은 몇 가지 기작을 통하여 식물생장에 영향을 미침.
  - 흡수과정의 길항작용 (공식 [21])에 의해 질산염 흡수를 저해.
  - 삼투포텐셜 저하로 인해 물 흡수와 집단류에 의한 뿌리 쪽으로의 영양분 이동을 줄임.
  - 엽면적을 감소시키고, 과실의 건물률을 높임 (Heuvelink et al., 2003).
- 토마토에 적용하기 위한 변형식에서 과실 생산량이 수분 흡수보다 N 흡수 억제에 의해 더 큰 영향을 받는 것을 예측할 수 있음. 모의실험 된 N 양은 약  $35g \cdot m^{-2}$  바닥면적(80일)이지만 임계  $Cl^-$  농도를  $500 mg \cdot L^{-1}$ 으로 설정할 때 N 흡수량이  $10g \cdot m^{-2}$  바닥면적으로 감소됨.
- 이상의 원인에 의해 유도된 N 결핍은 시간이 경과함에 따라 DM 생성율을 더 크게 감소시킴('N 스트레스 인자'로 표시). N 흡수에 대한  $Cl^-$  효과가 무시 되었을 때, N 스트레스도 무시될 수준이었음(스트레스 인자 = 1).



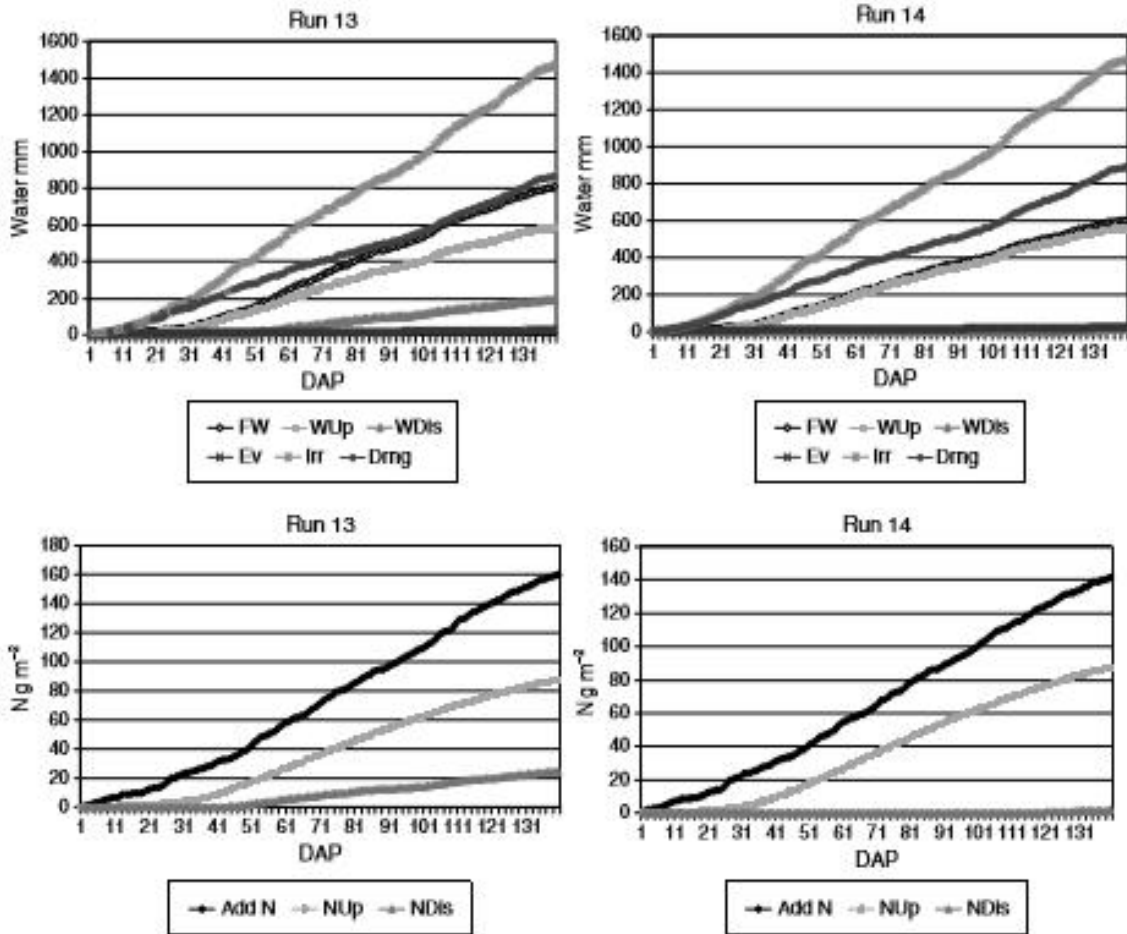


<순환식 양액재배에서 임계 Cl 농도 차이가 시간 경과에 따라 재순환 양액에 집적되는 Cl<sup>-</sup> 농도에 미치는 영향을 시뮬레이션한 결과. 실험된 작물은 토마토임; 임계 Cl<sup>-</sup> 농도= 1750mg·L<sup>-1</sup>(왼쪽) 또는 500mg·L<sup>-1</sup>(오른쪽). Res= 배액 저수조, Sol A = 전체 물 양을 기준으로 한 평균농도 및 Sol Bot= 배지 바닥에서 용액의 농도 (Bar-Yosef et al., 2004c)>



<길항적 Cl-NO<sub>3</sub> 흡수가 토마토의 N 스트레스 요소(NSF)와 N 흡수에 미치는 영향(Cl<sub>thresh</sub> = 500mg/L). 수분 스트레스 요소(WSF)는 설정된 관비 체제와 기후조건에 의해 결정됨. Greenman 모델에 의한 계산임(Bar-Yosef et al., 2004c)>

- 임계 Cl<sup>-</sup> 농도가 500 혹은 1225mg·L<sup>-1</sup>일 때 양액의 삼투포텐셜이 물과 N 흡수에 미치는 영향에 대한 시뮬레이션은 아래 그림과 같음.
  - 높은 농도일 때 삼투포텐셜이 약8MPa이며 Greenman 방법으로 토마토의 ‘수분 보유 곡선’(수분 함량  $\theta$  대 식물의 수분함량  $\Phi$ )을 시뮬레이션 하였을 때  $\Phi$  (~30 MPa, Bar-Yosef et al., 1980) 값이 매우 낮음.
  - 그러므로 수분 흡수(뿌리 내외의 총 수분포텐셜 차이에 비례함, 공식[18])는 임계 Cl 수준이 500mg·L<sup>-1</sup>인 처리보다 심하게 저하되지 않음.
  - 실험적 ET와 N 흡수 데이터는 양쪽의 값이 EC<sub>thr</sub>이 2.5 혹은 4.0dS·m<sup>-1</sup>일 때(4.0의 EC<sub>thr</sub>은 1225mg·L<sup>-1</sup> Cl 농도에 가까운 1가 전해질의 ~40mM에 해당함) 크게 다르지 않음.
  - 모델은 1250mg·L<sup>-1</sup> 대신에 500mg·L<sup>-1</sup>의 임계 Cl을 유지하기 위해서, 약 200L 수분과 20g N·m<sup>-2</sup> 바닥면적이 폐기되어야 함을 예측함.

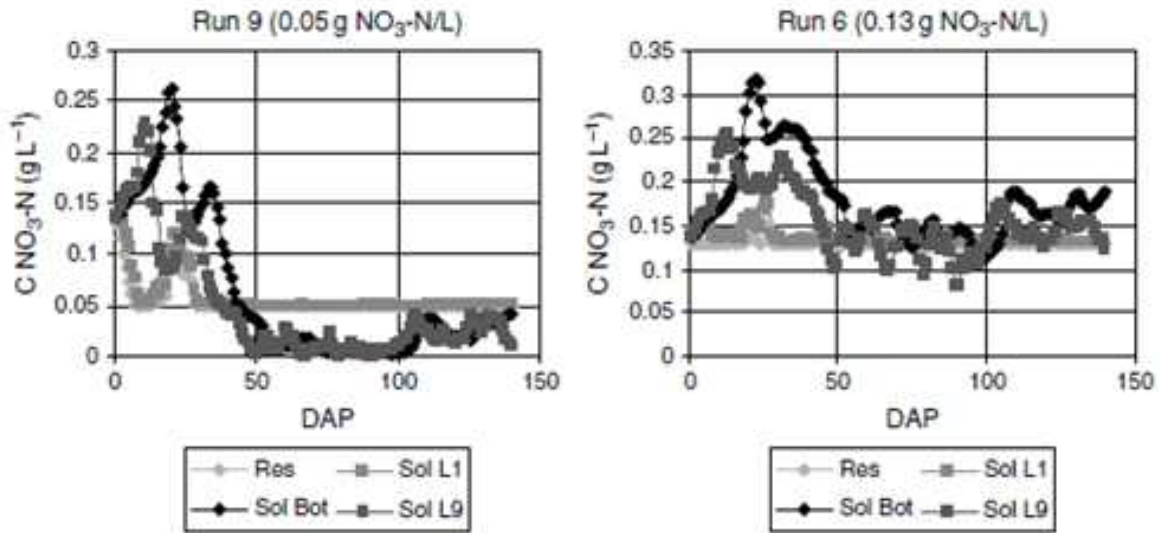


<임계 Cl 농도가(run 13 = 500, run 14 = 1225mg·L<sup>-1</sup> Cl)가 삼투포텐셜을 고려한 물과 N 흡수 (W<sub>up</sub>와 N<sub>up</sub>) 및 양액 폐기처리(W<sub>dis</sub>와 N<sub>dis</sub>)에 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션한 결과(Cl-NO<sub>3</sub>의 길항적 흡수는 고려하지 않음). 적용된 관비(Irr) 및 모의 증발(Ev)과 배수(Drng)는 상단 그림에 포함됨>

○ 목표 질산 농도의 영향

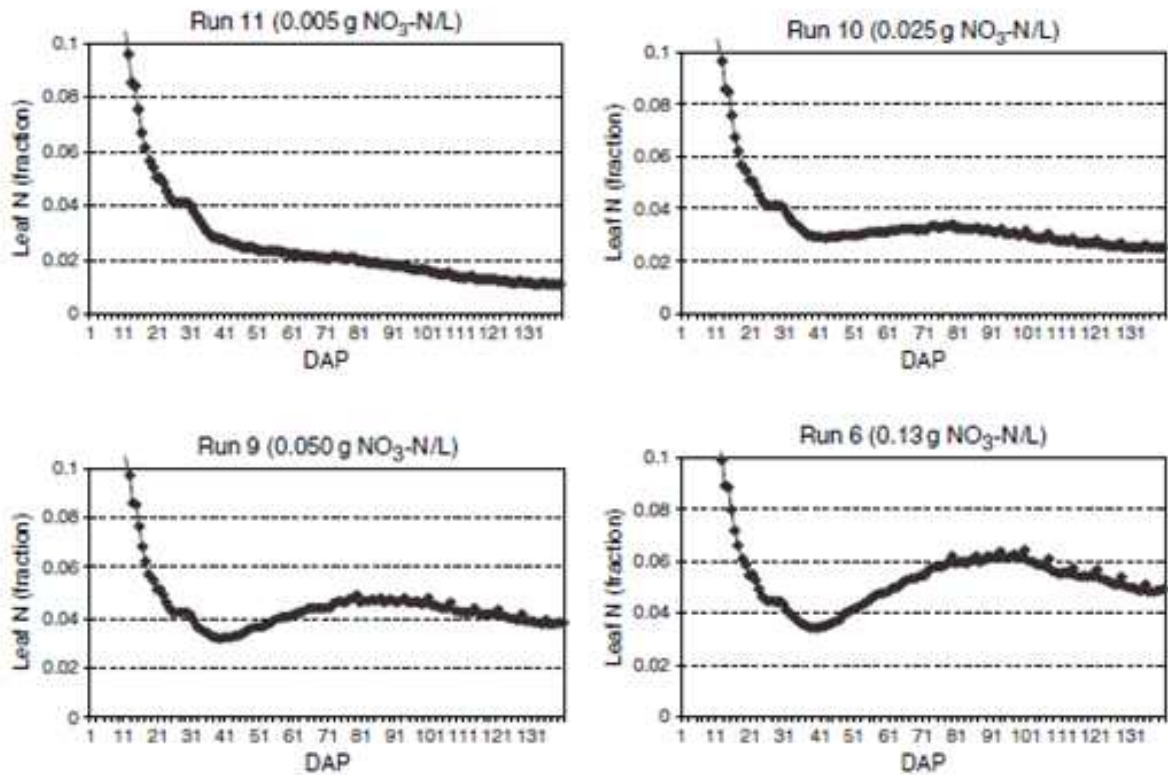
- 관비 용액에 포함된 무기원소들에 대해 목표 농도를 설정하고 설정된 농도가 적절한지의 판단은 간단하게 수행 할 수 있음.
  - 배지 상단부의 이온 농도를 더 깊은 배지 층의 이온농도와 비교하며 (대략 = 관비 용액의 농도) 두상 관비시스템에서 적용할 수 있음.
  - 130mg·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N을 함유하는 용액을 시스템에 적재하고 50mg·L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N 농도로 시비할 때(= 목표 농도), 배지 하부의 농도는 정식 후 35일 동안 목표 농도를 초과하여 상승함.
  - 그 후 식물에 의한 흡수량이 증가하여 배지 하층부의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N 농도는 목표 농도 이하로 낮아짐.
  - 그럼에도 불구하고 배액을 모아놓은 저수조의 농도는 목표 수준을 유지함. 이는 시스템 내의 목표한 양액양과 농도를 유지 위해 지속적으로 보충되기 때문임.

- 목표  $\text{NO}_3^- \text{N}$  농도가  $130\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 설정되었을 때 배지 하부 쪽의 농도는 식재 후 50과 100일 사이에 목표 값과 매우 유사하게 유지되지만, 그 후 농도가 상승하며, 이는 재배기간에 적합하도록 목표 값이 조정되어야 한다는 것을 나타냄.
- 물과 N은 지정된 값으로 시스템의 N 농도와 전체 물양을 유지하기 위해 보충되기 때문에, 물 저수조의 농도는 목표 값으로 유지됨.



<질산염 목표 농도( $50$  혹은  $130\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3^- \text{N}$ )가 잠재적인 배액 저수조의 농도, 배지의 상단 1cm, 배지 중간층 (L9) 또는 배지 하부의  $\text{NO}_3^- \text{N}$  농도 변화에 미치는 영향에 대해 시뮬레이션한 결과. 시스템 모든 부분의 초기 농도는  $130\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3^- \text{N}$  였음>

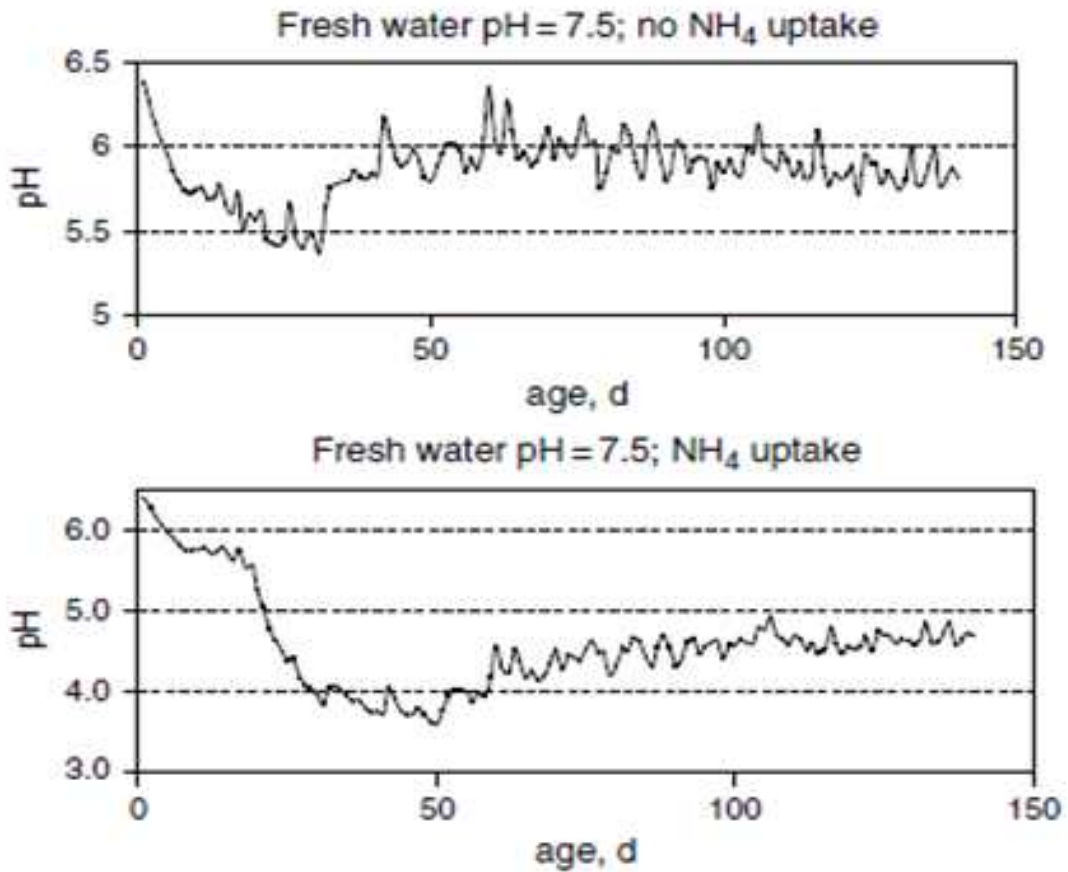
- 모델은 설정된 목표 농도( $5, 25, 50$  그리고  $130\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )를 상승시키면 식물 잎의 N 함량을 증가시키며, 그 효과는 식물의 성장단계에 따라 변함을 예측함.
  - 정식 약 80일 후에 (2차적으로 N 함량이 증가함) 물질 이동의 강력한 흡인 중심이었던 과일이 수확됨으로 인해 잎으로 전류된 N양의 증가와 식물체 N 함량 증가로 연결됨.
  - 잎의 N 함량이 예측한 모델과 부합하는지를 테스트하기 위해서는 실제 성장 조건에서 자주 엽분석을 하여 그 결과와 모델을 확인해야 함.



<재순환된 양액의 목표 질산염 농도(5, 25, 50 및 130 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{NO}_3$ )을 조절하여 순환식 양액재배할 때 시간 경과에 따른 토마토 잎(DM의 분율)의 N 함량 변화에 대한 시뮬레이션 결과. Greenman 모델에 의한 모의실험임(Bar-Yosef et al., 2004c)>

○ 양액의 pH 예측

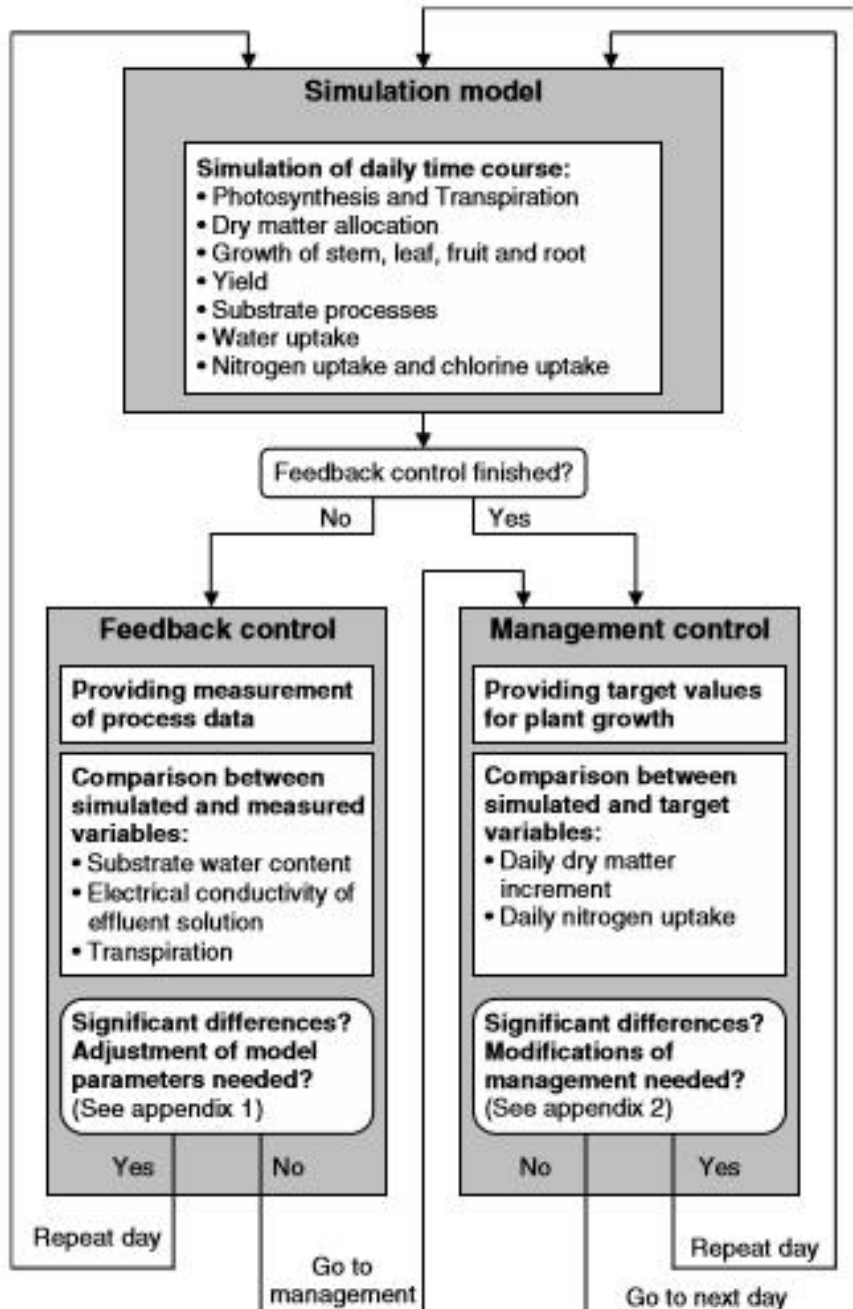
- 재순환된 양액의 pH 조절이 순환식 양액재배를 적용함에 있어 주요 문제점임. 질산화 작용 및 암모늄 흡수로 인한 재순환된 양액 pH 변화에 대하여 Greenman 모델로 시뮬레이션함.
  - $\text{NH}_4\text{:NO}_3$ 비가 1:4이고 총 질소가 140 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  N인 경우에  $\text{NH}_4$  흡수가 질산화 작용보다 양액 pH 저하에 더 큰 영향을 미침. 모델은 식재 후 약 40일부터 양액 pH가 증가하고, 이 시기에 과일 비대가 이루어지면서 광합성 산물의 이동량이 줄어들음을 예측함.
  - 계절별 pH의 예측된 변화는 실험 결과와 유사하며 모델이 정확하게 적용될 때, 목표 N 흡수율과 목표 양액 pH로 조절할 수 있는 N 농도와 암모늄과 질산염 비율이 결정될 수 있음.



<식재 후 일수가 경과함에 따라 재순환된 양액 pH의 변화에 대한 시뮬레이션 결과. 초기 pH는 6.5, 원수 pH는 7.5; NH<sub>4</sub>:NO<sub>3</sub> = 1:4. 위 그림: 뿌리로부터 H<sup>+</sup> 용출에 대한 NH<sub>4</sub> 흡수 효과를 무시하고 질산화 작용에 의한 pH 변화만 나타냄; 아래 그림: 질산화 작용의 효과를 무시하고 NH<sub>4</sub> 흡수에 의한 pH 변화만 나타냄>

○ 순환식 양액재배에서 시뮬레이션 모델에 근거한 양액관리의 가능성

- 모델은 순환식 양액재배의 양액관리를 위해 이용될 잠재성이 높으며, 모델을 자동조절시스템(DSS)으로 변환시키기 위해서는 두 요인이 모델에 통합되어야 함. (i) 예상된 생산량을 얻기 위해 작물별 건물 생산과 물 및 양분 흡수, (ii) 모델의 예측 및 목표 값과 작물 재배 중 관리 값과의 차이를 최소화할 수 있는 '전문가 주도 인터페이스'.



<Bar-Yosef et al.(2004) 의해 사용된 자동조절시스템의 흐름도>

- 2종류의 2차 전제조건은 (i) DSS에 적용이 가능하도록 EC, pH 및 날씨의 데이터를 실시간 수집할 수 있는 하드웨어-소프트웨어 패키지를 개발. (ii) 양액 pH 혹은 일일 증산량 등에서 계산된 데이터와 측정된 데이터를 실시간으로 비교하고, 모델 예측을 평가하는 피드백 메커니즘.

- 위 그림에 이러한 시스템의 예를 들음(Bar-Yosef et al., 2004).
- Marcellis et al.(2003)이 보고한 바와 같이 식물 신장량 또는 줄기 비대량과 같은 식물 관련 변수를 중심으로 DSS를 개발 할 수도 있음.

- 온실 DSS는 이상과 같이 온실의 냉방, 난방, CO<sub>2</sub> 공급, 상대습도, 수확 및 적엽의 시기 및 관수-시비 관리를 자동으로 제어하도록 설계됨.
  - DSS는 허용된 임계 염농도 및 관비의 양과 빈도 그리고 배액 저수조의 용량과 배지의 종류 등 정식 전 결정해야 할 내용도 포함함.
  
- 그러나 현재 개발된 DSS가 실제 재배환경에서 적용 될 때까지 많은 시간이 필요할 것으로 판단함.
  
- 그 이유는 자동화시킴에 있어 너무 많은 변수와 기술적문제가 존재하기 때문이며, 또한 상업적인 작물 생산에 적용하여 그 결과를 확인하고 DSS의 수정을 거친 후 재배농가에 다시 적용해야 하는 과정과 시간이 필요함.
  - 그러나 재배농가, 농민컨설턴트 그리고 연구자들로부터 피드백 된 결과가 턱없이 부족한 상황으로써 DSS를 적용하기 어려운 상황임.



다. 배양액 센싱값을 고려한 제어로직 개선

○ 개발된 알고리즘(Sonneveld et al., 1999의 내용을 변형시킴)의 장점

- 보편적인 작물에 적용할 수 있음.
- 특정 양액 조성을 근거로 양액의 무기원소 농도를 계산할 수 있음.
- 수질, pH, EC 및 근권부 양액의 화학성 분석결과를 고려한 추천에 따라 변경이 가능함.
- 마지막 단계에서 개별 음이온과 양이온 또는 양이온으로 표현되는 양액 조성의 변화가 가능함(이유: 음이온의 총합과 양이온의 총합 차이를 동일하게 유지함).

○ 알고리즘을 계산하는 과정은 아래의 단계를 따라 수행함.

- 작물, 재배방법 및 생육단계, 및 재배 환경을 고려하여 표준 양액 조성을 결정함.
- 근권부의 양액 조성 결과를 분석하고 이를 근거로 양액의 조성 변화를 하기 위한 목표를 설정(양액 조성에 대한 내용)
- 표준용액과 EC를 동일하게 유지하는 조건에서 음이온 총합과 양이온 총합의 차이를 동일하게 조절함. 이 과정에서 NH<sub>4</sub>, P 및 미량원소는 조절할 음이온과 양이온에서 배제함.
  - NH<sub>4</sub>을 배제하는 이유는 양액 조성을 위한 이온 계산이 pH 조절과 연결되기 때문임.
  - P를 제외하는 이유: P이 과다하게 공급될 경우 다른 무기원소의 흡수에 부정적으로 작용하며 과잉피해가 발생함.
- 공급양액의 EC를 원하는 수준으로 조절함. 이 때도 3에서 나타낸 원소는 제외함.
  - 미량원소를 배제하는 이유: 미량원소는 양액의 EC에 큰 영향을 미치지 않음.
- 원수의 수질을 고려하여 조절함.
- 비료 조성을 계산함.

○ 전체 과정

- 1단계: 1차적으로 적정 양액 선정 (1차년도 보고내용을 적용)
- 2단계: 양액 조성 변경은 주로 근권부 양액 조성의 분석결과를 근거로 수행
- 3단계: 양이온의 계산

$$c_{s(x)'} = \frac{\{c_{st(x)} + c_{adj(x)}\} \times \{C_{st}^+ - c_{st(NH_4)} - c_{adj(NH_4)}\}}{\{C_{st}^+ - c_{st(NH_4)} + \sum [V_x \times c_{adj(x)}]\}} \quad (3.1)$$

$$c_{s(x)'} = \frac{\{c_{st(x)} + c_{adj(x)}\} \times \{A_{st}^- - c_{st(H_2PO_4)} - c_{adj(H_2PO_4)}\}}{\{A_{st}^- - c_{st(H_2PO_4)} + \sum [V_x \times c_{adj(x)}]\}} \quad (3.2)$$

여기서 C<sub>s(x)'</sub> = 무기 다량원소 상호간의 비율을 조절한 후 공급한 양액의 무기원소

농도(mM/L)

$C_{st(x)}$  = 표준 양액 조성상의 특정 이온(x) 농도 (mM/L)

$C_{adj(x)'} = P$ 와  $NH_4$ 를 제외한 특정 이온(X)의 변경된 농도 (mM/L)

$A_{st}^-$  = 표준 용액의 전자(electron) 총합 (mM/L)

$C_{st}^+$  = 표준 용액의 양성자(proton) 총합 (mM/L)

$V_{(x)}$  = 특정 이온의 이온가

- 이상의 공식에서 제외한  $NH_4$  및 P는 다음과 같이 조절함.

$C_{s(NH_4)'} = C_{st(NH_4)} + C_{adj(NH_4)}$  그리고  $C_{s(HPO_4)'} = C_{st(HPO_4)} + C_{adj(HPO_4)}$

- 만약 공급하고자 하는 양액의 EC와 표준 양액의 EC가 다른 경우 다음과 같이 계산함.

- 양이온의 계산

$$c_{s(x)} = \frac{10EC_s - c_{s(NH_4)'}}{10EC_{st} - c_{s(NH_4)'}} \quad (3.3)$$

- 음이온의 계산

$$c_{s(x)} = \frac{10EC_s - c_{s(H_2PO_4)'}}{10EC_{st} - c_{s(H_2PO_4)'}} \quad (3.4)$$

여기서  $C_s(x)$  = 공급 양액의 EC를 조절한 후의 이온 농도

- 양액은 원수에 용해되어 존재하는 무기원소 x의 농도를 고려하여 결정하여야 하며, 5 및 6단계의 공식을 통해 계산함.

$$C_{f(x)} = C_{s(x)} - C_{w(x)}$$

여기서  $C_{f(x)}$  는 양액으로 공급하는 특정 이온 x의 농도 (mM/L)

$C_{w(x)}$  는 원수에 존재하는 특정 이온 x의 농도 (mM/L)

- 중탄산 ( $HCO_3$ )는 동일한 양의 산(황산, 질산, 인산)을 첨가하여 중화시킴
- 계산 방법은 아래 표에 나타냄

Element	Steps of the calculations					
	1( $c_{st}$ )	2( $c_{adj}$ )	3( $c_s'$ ) <sup>1</sup>	4( $c_s$ ) <sup>2</sup>	5( $c_w$ )	6( $c_f$ ) <sup>3</sup>
EC dS $m^{-1}$	1.5		1.5	1.9		
NH <sub>4</sub> mmol $l^{-1}$	10	+0.25	1.25	1.25		1.25
K	6.5		6.88	8.88		8.88
Ca	2.75	-0.5	2.38	3.07	0.6	2.47
Mg	1.0		1.06	1.37	0.3	1.07
NO <sub>3</sub>	11.75		11.54	14.96		14.96
SO <sub>4</sub>	1.0		0.98	1.27	0.4	0.87
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.25	+0.25	1.50	1.50		1.50
HCO <sub>3</sub>					1.0	
H <sub>3</sub> O						1.0
Fe $\mu$ mol $l^{-1}$	15		15	15		15
Mn	10		10	10		10
Zn	5		5	5		5
B	25		25	25	10	15
Cu	0.75		0.75	0.75		0.75
Mo	0.5		0.5	0.5		0.5

<sup>1</sup> Using formulae (3.1) and (3.2);

<sup>2</sup> using formulae (3.3) and (3.4);

<sup>3</sup> using formula (3.5)

The standard solution is derived from Sonneveld and Straver (1994).

<배액 재사용을 위한 양액 계산의 예(오이를 대상으로 한 결과임)>

$$c_f(x) = c_s(x) - c_w(x) \quad (3.5)$$

○ 비료의 조성과 관련하여 각 원소의 계산(아래 표와 같음).

- 원소를 계산함에 있어서 1mol의 비료염을 용해시켜도 비료를 용해시킨 후 1mol 이상으로 계산될 수 있음.
- 예) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 용해시킴 ⇒ K는 0.87 mmol 용해 후 1.74 mmol이 됨, 황(SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)은 그대로 0.87mmol임.
  - 5[Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O]NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> ⇒ 5 Ca + 11 NO<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub>
  - 1 mol Borax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) ⇒ 4 mol B 함유
  - 1 mol 붕산(boric acid H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) ⇒ 1 mol B 함유

Fertilizers			Elements added in mmol l <sup>-1</sup>							
	mmol l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	H <sub>3</sub> O	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
Calcium nitrate <sup>1</sup>	2.47/5	534	0.49		2.47			5.43		
Ammonium Nitrate	0.76	61	0.76					0.76		
Mono pot. phosphate	1.50	204		1.50						1.50
Magnesium nitrate	1.07	274				1.07		2.14		
Potassium sulfate	0.87	152		1.74					0.87	
Nitric acid 38%	1.00	166					1.00	1.00		
Potassium nitrate	5.64	570		5.64				5.64		
Sums			1.25	8.88	2.47	1.07	1.00	14.97	0.87	1.50

<sup>1</sup>fertilizer

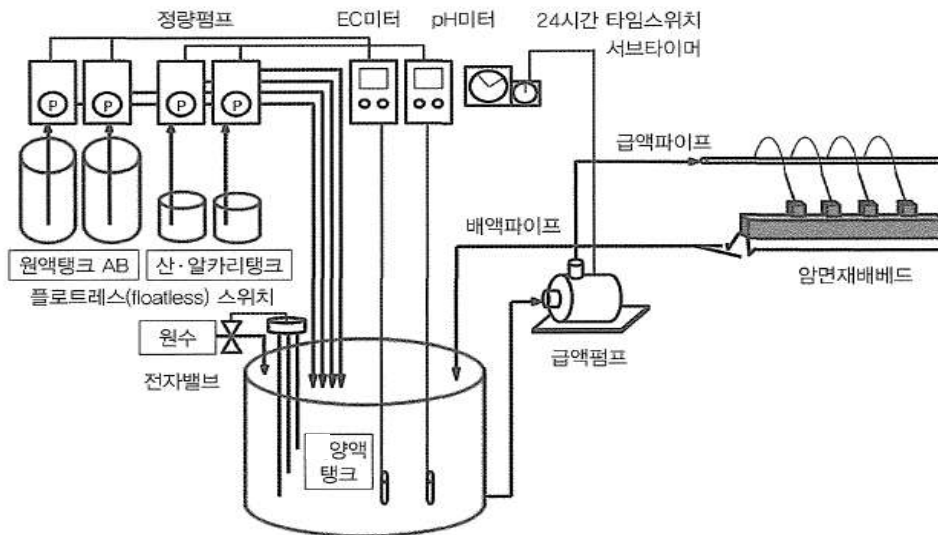
< 위 표의 마지막 컬럼에 나타낸 양액조성을 위해 필요한 비료량의 계산 >

### 3. 현장실증 결과 분석 및 처방로직 개선

#### 가. 순환식 양액재배장치의 기본구조

##### ○ 순환식 양액재배장치의 기본구조 및 작동 메카니즘

- 급액장치는 원액탱크 A, B(보통 2종류, 표준양액의 100배 농도), 양액탱크(1배액), 산과 알칼리 탱크, 원액희석조정장치 및 급액펌프로 구성
- 양액탱크 내의 액이 감소하고 일정수위 이하가 되면 수위를 계측하는 플로트레스 스위치(floatless switch)로 전자밸브가 열려 원수가 공급됨
- 배양액탱크 내의 EC가 낮아지기 때문에 설정치에 도달하기까지 정량펌프에 의해 원액이 주입
- pH가 설정범위를 초과한 경우 산 내지 알칼리가 주입됨
- 원액이나 산, 알칼 리가 주입될 때 양액탱크 내의 배양액이 교반되도록 장치가 되어 있음
- 급액은 24시간 타임스위치와 서브타이머로 급액시간을 설정하여 행하는 경우가 많음
- 재배베드에서 배출된 잉여액은 다시 양액탱크로 회수됨
- 이 배액 파이프를 이송되는 과정에 살균장치 또는 필터를 설치하는 경우도 있음



<순환식 양액재배시스템의 기본구조(암면재배시스템 예)>

나. 양액 조성과 관리

○ 원수의 질

- 양액재배에서는 지하수(우물물), 하천수, 수돗물, 빗물 등이 양액의 원수로 사용되고 있으며 주로 지하수를 많이 사용함
- 양액재배에서 사용되고 있는 원수에서 측정된 각 이온농도의 최고 및 최저농도

<대표적인 양액재배 원수에 포함되어 있는 이온농도>

원수	pH	EC (dS/m)	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cl	SO <sub>4</sub> -S	B	
지하수	최저	6.5	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	0.0	
	최고	9.0	3.7	6.9	74.0	7.0	48.8	170.9	70.8	575.7	29.6	781.0	141.8	0.6
수돗물	최저	6.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.2	2.6	0.0	8.0	2.0	0.0
	최고	8.5	0.8	0.1	2.0	1.0	3.0	110.0	14.0	68.8	0.6	21.0	20.0	0.0
빗물	최저	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	1.0	
	최고	7.2	0.1	0.1	3.0	0.0	8.0	6.0	1.5	18.0	0.4	300.0	25.0	0.0

- 원수에서 요구되는 성질

- 수질 분석을 해서 각 이온 농도가 한계값을 넘지 않을 것. 하나라도 한계농도를 상회하는 성분이 있을 경우, 수질개선 대책을 강구하고 그렇지 않을 경우에는 사용하지 않도록 할 것

<양액제조에 사용하는 용수의 각 이온들 한계농도 및 적정 EC와 pH>

이온	한계농도(ppm)	이온	한계농도(ppm)
NO <sub>3</sub> -N	60	Fe	10
P	30	Mn	1
K	80	Zn	1
Ca	80	B	0.7
Mg	40	Na	80
		Cl	200
EC : 0.3dS/m 이하 / pH : 5~8			

(주) Mn, Zn, B에 관해서는 네덜란드 날드 워크(Naaldwijk) 온실작물시험장의 수질기준 2(암면에서는 몇 회의 슬래브(slab) 세정이 필수)로 나타내고 있는 상한농도임

- 원수 중의 각 이온농도가 한계농도 이하에 있다면, 만드는 양액의 처방 농도에 대해서 부족분을 단비 배합하여 보충

- 각 이온농도가 표에 나타난 농도 이하에 있어도 나트륨(Na)이나 염소(Cl) 등의 농도가 비교적 높은 용수를 사용하는 경우는 이 이온들의 농도가 점차 높아지거나 생장을 억제하는 것이 없는지 주의해야 함  
→ 대책 : 해당하는 이온농도가 낮은 용수를 정기적으로 혼합 사용하여 농도의 추가 상승을 방지. 또는 양액을 갱신하는 것도 하나의 방법이나 그 빈도와 양이 많게 되면 경제적이지 못함
  - 철(Fe)과 망간(Mn)의 농도가 높은 지하수를 사용하는 경우에는 철과 망간을 제거하는 절차가 필요함
  - 아연(Zn), 구리(Cu), 몰리브덴(Mo) 등은 용수 중에 이미 필요농도로 포함되어 있는 것이 많은데 그러한 경우에는 시비할 필요가 없음
  - 수중 부유물이나 미생물이 많아서 생물학적 산소요구량(BOD)이 높은 물이나 철, 망간 등의 농도가 높은 화학적 산소요구량(COD)이 높은 물은 양액재배 용수로 적당하지 않음
  - 유해 중금속 등 유해화학물질을 포함하지 않을 것. 또한 병원균을 포함하지 않을 것
  - 장기적으로 질적으로나 양적으로 안정적인 확보가 가능할 것
  - 중탄산이온농도( $\text{HCO}_3^-$ )가 높은 경우나 극단적으로 낮은 경우는 농도를 조절하여 사용할 것
  - 양액의 pH를 거의 적정범위 5~6에 유지하기 위해서는 중탄산이온농도는 30 ~ 50ppm의 범위에 있는 것이 바람직함
  - 중탄산이온농도가 낮은 원수일수록 양액의 pH의 저하기 크고, 높을수록 알칼리도(alkalinity)\*가 강한 물로서 완충능이 강하고 소량의 산(acid)을 첨가해도 pH는 거의 변하지 않음
- \*알칼리도(alkalinity) : pH 4.8 ~ 4.3이 될 때까지 저하시키는 것에 필요한 산(acid)의 양

<다른 원수에서 조제한 양액의 pH와 원수의 pH>

농기	A	B	C	D
EC 1.3 설정시	6.0	5.7	5.4	4.5
EC 2.5 설정시	5.5	4.6	3.6	3.1
원수 pH	6.6	6.3	6.6	6.5
원수 EC	0.36	0.30	0.31	0.37
중탄산이온농도(ppm)	119	85	64	39

: 원수의 pH는 같아도 제조한 양액의 pH는 크게 다른 것을 알 수 있음. 이것은 중탄산이온농도의 차이에서 기인되며 중탄산이온농도가 낮은 원수일수록 양액의 pH의 저하기 크다는 것을 알 수 있음

○ 중탄산이온농도를 적정범위로 조절하는 방법

- pH조절에 사용되는 산은 질산( $\text{HNO}_3$ ), 인산( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )이 있고, 각각의 비

료성분이나 중탄산이온의 저하량은 다름

- 원수에 중탄산이온농도가 높아 질산이나 인산을 가하여 중탄산이온농도를 조정하는 경우에는 양액 조제시 그에 해당하는 질산이나 인산을 제하여 비료염을 첨가
- pH 조절에서 사용되는 산의 종류와 중탄산이온농도의 저하농도와 산에 포함되는 비료성분 농도

<산의 종류와 중탄산이온 소비량(시노하라 등, 1997)>

항목	농도(%)	산농도(N)	비중	중탄산이온농도의 저하량(ppm)	비료성분(ppm)
질산	61.0	13.3	1.37	810	186.3
	65.0	14.4	1.39	876	200.2
	67.5	15.0	1.40	916	210.0
	70.0	15.7	1.41	958	218.6
인산	37.0	13.9	1.23	282	143.9
	75.0	36.3	1.58	738	374.5
	85.0	43.9	1.69	892	454.6
	90.0	48.1	1.75	978	497.0

\* 원수 1,000ℓ(1t)에 산을 1ℓ 더했을 때의 농도저하량이며 질산은 NO<sub>3</sub>-N, 인산은 PO<sub>4</sub>-P임

예) 중탄산이온농도 100ppm의 원수를 67.5% 농도의 질산과 75% 인산을 사용하여 각각 중탄산이온농도를 35ppm씩 저하시켜 중탄산이온농도를 30 ppm으로 계산하는 경우

$$\text{산의 양(ml)} = \frac{\text{저하시키고 싶은 중탄산이온농도(ppm)}}{\text{표 4의 중탄산이온 저하농도(ppm)}} \times 1,000$$

67.5% 농도의 질산을 사용하여 35ppm 저하시키는데 필요한 산량

$$X(\text{ml}) = 35 \div 916 \times 1,000 = 38.2 \text{ ml}$$

75% 농도의 인산을 사용하여 35ppm 저하시키는데 필요한 산량

$$Y(\text{ml}) = 35 \div 738 \times 1,000 = 47.4 \text{ ml}$$

이 경우 산(질산 및 인산)의 첨가에 따라서 원수 중의 질산 및 인산농도

$$\text{질산(NO}_3\text{)}\text{농도(ppm)} = 38.2 \div 1,000 \times 210 = 8.0 \text{ ppm}$$

$$\text{인산(PO}_4\text{)}\text{농도(ppm)} = 47.4 \div 1,000 \times 374.5 = 17.8 \text{ ppm}$$



○ 품목별, 작형별, 생육단계별 비료 처방 프로그램

■ 양액의 관리

- 양액이 갖추어야 할 조건

- ① 작물의 생장에 필요한 원소가 모두 포함되어야 있어야 함
- ② 뿌리에 의해서 흡수되기 쉬운 이온의 형태로 포함되어야 함
- ③ 각 이온의 농도가 적절하고 총 이온농도도 적절해야 함
- ④ 수경[담액수경(DFT), 박막수경(NFT)] 등에서 뿌리의 호흡에 필요한 산소 공급이 충분할 것
- ⑤ 작물에 유해한 물질이 녹아있지 않아야 함
- ⑥ pH가 5.5 ~ 6.5 정도의 범위에 안정되어 있어야 함
- ⑦ 비료 값이 저렴해야 함
- ⑧ 계속 재배하여도 각 이온의 농도나 비율, pH가 크게 변동하지 않아야 함

- 재배하는 작물의 품종, 재배하는 시기(작형), 생육단계 또한 분무하는 방식인가 순환 방식인가 혹은 수경인가 고형배지경인가, 그리고 목표로 하는 수확물의 품질에 의해서 다양한 종류의 양액이 이용되고 있음

- 양액을 적절하게 관리한다는 것은 그 조성과 농도 그리고 pH 관리 뿐만 아니라 산소 농도, 온도나 미생물상 관리도 포함하여 광범위함

■ 양액의 조성

- 양액처방을 정하는 방법

- 양액의 「조성」이란 양액 중의 각각 무기성분의 농도와 균형(balance)을 의미하는 것으로 대학이나 시험장의 선구자적 연구에 의해 다양한 양액의 조성이 고안되어 있고 이러한 것들을 「처방」이라고 함
- 양액 처방을 정하는 방법은 크게 2가지로 분류

① 잎에 함유된 무기농도를 측정하여 그 함유비율대로 각 양분을 포함하는 양액을 다양한 농도로 조제하고 작물을 재배하여 가장 생육이 좋은 농도를 선택하는 방법

· 일본 원예시험장(원시) 처방이 대표적으로 균형양액으로 불리는데 생육단계나 작물에 따라 농도를 조절하여 사용. 원래 오이의 역경재배용으로 개발된 것이나 다른 과채류부터 엽채류까지 폭넓게 사용할 수 있는 범용성을 갖추어 여러 작물이나 시스템에 적용 가능함

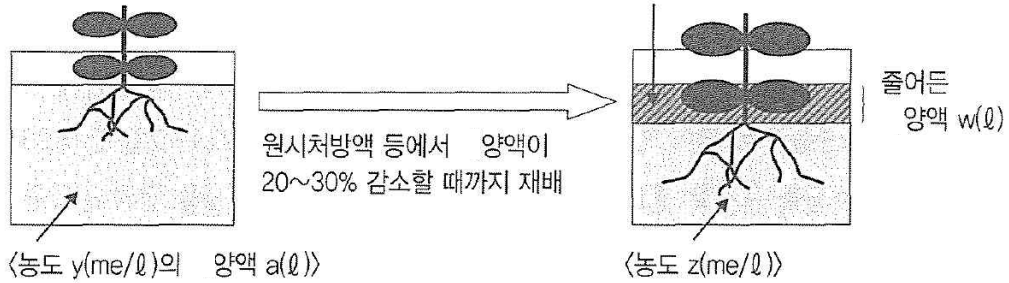
· 이러한 균형양액으로 작물을 재배할 경우 시간이 경과됨에 따라 흡수되지 않은 잔여양액의 무기양분조성이 조제시 농도와 상당히 다르게 됨

② 담액식 수경재배에서 작물의 양분흡수량을 감수량의 비율로 얻은 양분흡수농도를 양액 중의 양분농도로 정하는 것

· 작물이 양수분을 흡수하여도 남은 배양액의 조성은 변하지 않음

- 야마자키처방이 대표적으로 각 작물별로 처방을 다르게 설정

이 양액으로 장기간 재배하여도 그 조성은 변하지 않음



〈농도  $y(\text{me/l})$ 의 양액  $a(\text{l})$ 〉

$$\text{양분흡수량 } n(\text{me}) = ay - z(a-w) = ay - az + wz$$

이것을  $w(\text{l})$ 의 물에 녹이면 목적하는 양액이 됨

겉보기 흡수농도  $n/w(\text{me/l})$ 는?

$$n/w (\text{me/l}) = \frac{ay - az + wz}{w} = \frac{a}{w} (y - z) + z$$

<겉보기 양분흡수농도의 개념과 계산식>

○ 품종별 · 작형별 · 생육단계별 양액처방

- 품종별, 작형별, 생육단계 양액조성과 농도(EC)는 본 연구과제의 1차년도 연구결과를 참고하기 바람
- 3차년도에서는 추가적인 양액처방의 예를 포함하였음

<다량원소>

<양액처방 예(일본채소시험장 연구자료 21호, 1986년 11월에서 일부 개정)>

처방 예	성분농도(me/l)					생육단계 조정		대상 작물	비고
	N	P	K	Ca	Mg	전기	후기		
원예처방	16.0	4.0	8.0	8.0	4.0	-	-	각종	생육단계에서 농도를 조절하여 이용되는 것이 보통임
야마자키 처방	7.0	2.0	4.0	3.0	2.0	100	100	토마토	동계는 120~140%
	10.0	3.0	7.0	3.0	2.0	100	100	가지	상동
	9.0	2.5	6.0	3.0	1.5	100	100	피망	상동
	13.0	3.0	6.0	7.0	4.0	100	70	오이	동계는 후기도 100%
	13.0	4.0	6.0	7.0	3.0	100	150	멜론	동계는 120~140% 노지 멜론형 품종은, 70~80%
	5.0	1.5	3.0	2.0	1.0	150	150*	딸기	*개화기 이후
	6.0	1.5	4.0	2.0	1.0	100	100	상추	
	8(9)	2(5)	4(2)	4(2)	2.0	100	100	파드득나물	NH <sub>4</sub> -N 1.7, SO <sub>4</sub> -S 2me/l, EC 1.6dS/m
	12.0	4.0	8.0	4.0	4.0	100	100	썩갓	EC 2.0dS/m, 하계 70%
	12.0	4.0	8.0	4.0	4.0	100	100	시금치	
	9.0	6.0	7.0	2.0	2.0	100	100	쌈눈파	하계는 25~100% 동계는 40~150%
	4.5	3.0	3.5	1.0	1.0	100	100	물냉이	
7.0	1.5	5.0	2.0	-	50	100*	순무	*근경 2cm 이상	
카나가와원예시험장 처방	10.0	4.0	6.0	10.0	4.0	-	-	토마토	
지바농업 시험장 처방	12.0*	3.0	6.0	5.0	4.0	-	-	딸기	*NH <sub>4</sub> -N 1me/l를 함유, 축성재배
	12.0*	6.0	6.0	2.0	2.0	-	-	파	*NH <sub>4</sub> -N 4me/l를 함유, 주년재배
오사카농업 센터 처방	18.6	5.3	10.5	6.4	5.3	-	-	시금치	
지바대학교 처방	13.3*	4.0	8.0	4.0	2.0			양상추 (결구이면)	*NH <sub>4</sub> -N 1.3me/l를 함유
아이치농업 종합시험장처방	10.7	2.7	5.3	5.3	2.7	-	-	시금치	
시무라(志村) 처방	8.0	2.0	4.0	4.0	2.0	100	200	멜론	분무경

주1) 특별한 설명이 없으면 질소(N)는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N이고 인산(P)은 PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-P이다. 숫자의 \*는 오른쪽 비고에서 \*로 설명함

주2) 표시된 성분농도(me/l)인 리터당 밀리당량(me/l)을 리터당 밀리몰(mmol/l)로 변환하는 방법은 밀리당량(me)을 각 성분의 원자가(분자가) 또는 이온의 값으로 나누어 주면 됨

<미량원소>

- 수정이나 암면재배 등에서 미량원소가 배지로부터 공급된다고 기대하기 어려우므로 양액에 필요한 양이 충분히 포함되도록 하여야 함
- 어느 미량원소들이라도 다량원소의 농도에 관계없이 0.75~1.0단위로 관리하는 것이 일반적임

<미량원소 조성의 예>

처방명	성분농도						비고
	Mn	B	Fe	Cu	Zn	Mo	
일본원예시험장(원시)	0.50	0.50	3.00	0.020	0.050	0.010	
테이산 1호(분말)	0.60	0.30	3.00	0.012	0.030	0.006	물 1l에 600g을 넣은 경우
오츠카하우스 5호(분말)	0.77	0.32	2.85	0.020	0.040	0.020	물 1l에 500g을 넣은 경우
오츠카하우스 5호 L(액체)	0.62	0.51	2.80	0.040	0.080	0.040	물 1l에 400ml를 넣은 경우
오츠카(토마토 처방)	0.58	0.33	2.25	0.030	0.090	0.030	하우스S1호에 배합 표준농도사용 등
오츠카(장미처방)	0.57	0.23	2.11	0.015	0.044	0.150	EC 1.4dS/m으로 사용 등
아이치원예연구소(장미처방)	0.50	0.25	2.00	0.050	0.200	0.050	암면(RW) 과류방식
아이치원예연구소(카네이션처방)	0.50	0.30	1.50	0.050	0.200	0.050	암면(RW) 과류방식

(주) 과류(掛流, 가케나가시) 방식은 급수와 배수방법의 하나로 수조(水槽)에 물을 가득 채운 후 수조에서 흘러 넘쳐서 배수 하는 방식을 말함

○ 양액을 조제하기 위해 사용되는 비료

- 양액을 만들기 위해 사용되는 다량원소 비료의 종류는 주로 질산칼륨( $KNO_3$ ), 질산칼슘[ $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ], 황산마그네슘( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), 제1인산암모늄( $NH_4H_2PO_4$ )의 4종류
- 상세한 조정을 위해 아래 표의 비료염을 사용하면 되지만 용해도가 낮은 염은 사용할 수 없음
- 고농도의 저장액을 조제하게 되는 경우 염의 침전을 방지하기 위해 Ca를 포함하는 비료염류와 인산이나 황산을 포함하는 비료는 별도로 용해시켜 A액과 B액으로 구분하여 저장
- 양액재배에는 상당히 순도가 높은 비료염을 사용하는 것이 바람직함.

<양액 조제에 사용되는 비료염의 분자량과 용해도>

비료염	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na
NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> MW=80.04 214g/100g 25°C	KNO <sub>3</sub> MW=101.11 31.6g/100g 20°C	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O MW=236.15 42.9g/100g 25°C	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O MW=256.41 42.9g/100g 25°C	NaNO <sub>3</sub> MW=85.00 73g/100g 0°C
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> MW=115.03 22.7g/100g 0°C	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> MW=136.09 14.8g/100g 0°C	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O MW=252.08 1.80g/100g 30°C	Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O MW=272.33 (정확한 정보는 없음)	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> MW=119.98 71.0g/100 0°C
SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MW=132.15 70.6g/100 0°C	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MW=174.27 7.35g/100 0°C	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=172.17 0.257g/100 50°C	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O MW=246.48 26.9g/100 0°C	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MW=142.05 5.0g/100 0°C
Cl	NH <sub>4</sub> Cl MW=53.50 29.4g/100g 0°C	KCl MW=74.56 27.6g/100g 0°C	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=174.02 59.5g/100g 0°C	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O MW=203.30 281.0g/100g 0°C	NaCl MW=58.45 35.7g/100g 0°C
HPO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> )HPO <sub>4</sub> MW=132.06 31g/100g 15°C	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> MW=174.18 159g/100g 20°C	CaHPO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O MW=172.09 0.02g/100g 25°C	MgHPO <sub>4</sub> MW=120.30 0.025g/100g 20°C	NaHPO <sub>4</sub> MW=141.97 4.30g/100g 0°C
PO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> MW=149.10 SOLUBLE	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> MW=212.28 193.1g/100g 25°C	Ca(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MW=310.19 25mg/100g 20°C	Mg(PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> MW=262.91 0.02g/100g 20°C	NaPO <sub>4</sub> MW=163.95 4.5g/100g 0°C
CO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O MW=114.11 25g/100g 15°C	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> MW=138.21 105.5g/100g 0°C	CaCO <sub>3</sub> MW=100.09 1.5g/100g 25°C	MgCO <sub>3</sub> MW=84.33 10.6mg/100g 20°C	NaCO <sub>3</sub> MW=105.99 7.1g/100g 0°C

\* 용해도는 각 온도에서 각각의 염류의 무수물이 100g의 물에 용해되는 g수를 표시하였고 MW는 분자량을 나타냄

○ 비료 처방 프로그램 로직

- 단비로 양액을 조제할 경우 조성에 따라 용해시킬 염의 양을 계산해야 함
- 보통 다량원소는 비료 처방 프로그램 설계표(이하 설계표로 함)의 1~4번까지의 염, 즉 질산칼륨(KNO<sub>3</sub>), 질산칼슘[Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O], 황산마그네슘(MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), 제1인산암모늄(NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)의 4종류 염을 주로 사용
- 원수를 분석한 결과, 무기양분이 고농도로 포함되었을 경우 또는 원수에 중탄산이온 농도가 높아 질산이나 인산을 가하여 중탄산이온을 보정한 경우에는 첨가한 질산이나 인산의 양을 원수의 농도에 더하여 추가 성분농도를 산출하여야 함
- 앞의 4종류의 염만으로는 설정된 농도를 맞추기가 어려운 경우 설계표의 5번 이하의 염을 사용하여 조정
- 황산칼슘(CaSO<sub>4</sub>) 등과 같이 용해도가 낮은 비료염은 설계표에서 생략되어 있으며

Ca의 공급은 우선 질산칼슘[Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O]으로 가능한한 공급

※ 설계표 작성시 고려해야할 2가지 사항

① 조성하고 싶은 양분 이외의 이온은 가능하면 넣고 싶지 않은 경우

- 양이온과 음이온 어느 것이라도 가능하면 설계표의 1번~10번의 비료염으로 조성하되 그래도 조성할 수 없을 경우 11번 이하의 염으로 조성
- Na<sup>+</sup>이나 Cl<sup>-</sup>이온의 혼입을 최소한으로 억제할 수 있으나 많은 종류의 염을 준비하지 않으면 안되는 단점이 있음

② 소수의 다른 이온들이 섞여 들어가도 무방하다고 생각하고 조성하고자 하는 1종류의 이온에 대하여 하나의 염으로만 조제하는 경우

- 설계표의 11~18번의 염을 이용하는 경우로, Na<sup>+</sup>이나 Cl<sup>-</sup>의 축적이 많음

○ 양액의 재활용 측면에서의 프로그램의 활용

- 급액 후 배출되는 배액을 별도의 저장탱크에 보관한 후 필요시 살균과 소독을 실시한 후 무기이온농도를 분석하여 (원수의 무기이온 성분 분석에서와 같이)부족한 무기이온을 추가하여 재활용하면 됨. 다만, 배액이 고농도일 경우 한계농도 이하로 희석해서 사용할 것

<비료 처방 프로그램(설계표)(예시-야마자키 토마토 양액 처방)>

번호	비료명	분자량(g)	용해도(g/100g H <sub>2</sub> O)	양이온농도(mmol/L)							음이온 농도(mmol/L)				비료염(1배액)		비료염(100배)					
				NH <sub>4</sub> -N	K	Mg	Ca	Na	H	합계	NO <sub>3</sub> -N	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> -P	SO <sub>4</sub> -S	Cl <sup>-</sup>	합계	mM	mg/L	mg/L	g/L	순도(%)	순도를 고려한 비료염량(g/l)	
	설정농도			0.67	4	1	1.5	0	0		7	0.67	1	0	8.667							
	원수농도(또는 배액농도)																					
	성분추가농도																					
1	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236.15	42.90				1.5				3					1.5	354.2	35.423	35.4	98.5	35.96	
2	KNO <sub>3</sub>	101.10	31.60		4						4					4	404.4	40.440	40.4	99.0	40.85	
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115.03	22.70	0.67								0.67				0.67	76.7	7.669	7.7	98.0	7.83	
4	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.48	26.90			1							1			1	246.5	24.648	24.6	99.2	24.85	
5	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80.04	214.00																			
6	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	256.41	42.90																			
7	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.09	14.80																			
8	Mg(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·3H <sub>2</sub> O	272.33	20.00																			
9	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132.14	70.60																			
10	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174.26	7.35																			
11	NaNO <sub>3</sub>	84.99	73.00																			
12	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	119.98	71.00																			
13	NH <sub>4</sub> Cl	53.50	29.40																			
14	KCl	74.56	27.60																			
15	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	147.02	59.50																			
16	MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	203.30	281.00																			
17	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142.05	5.00																			
18	NaCl	58.45	35.70																			
계				0.67	4.0	1.0	1.5	0.0	0.0	7.2	7	0.667	1	0	0	8.7						

각 이온의 농도(meq/L)	0.7	4.0	2.0	3.0	0.0	7.0	2.0	2.0	0.0
각 이온의 당량 전도율(dS·m <sup>-1</sup> ·eq <sup>-1</sup> )	73.6	74	53	60	50	71.5	36	80	76
배양액 중 이온 전도율(dS·m <sup>-1</sup> )	0.05	0.30	0.11	0.18	0.00	0.50	0.07	0.16	0.00
계(배양액의 이온 EC)	1.36								

주) 원수에는 불필요한 이온이 포함되어 있지 않으며 중탄산의 보정도 필요없음을 가정하고 야마자키 토마토 처방을 예로 들었음

▪ 양액의 농도(EC)

○ 양액의 농도 표시방법

- 전기전도도(EC: electric conductivity) 값으로 양액 중에 용해되어 있는 이온의 총량을 추정할 수 있어 EC값을 이용하여 양액의 농도관리를 하는 것이 일반적임
- 전기전도도는 양액 중의 이온의 총량을 표시하므로 EC값으로부터 이온의 개별농도를 아는 것은 불가능함
- 재배 개시시점의 EC값은 같더라도 시간이 경과함에 따라 어떤 이온은 식물이 많이 흡수하여 농도가 낮아지는 반면 다른 이온은 식물이 거의 흡수하지 않아 농도가 역으로 상승할 수 있어 양액의 조성이 크게 변하게 됨
- 따라서 일정기간이 경과하면 양액의 성분분석을 할 필요가 있음
- 양액의 EC는 EC미터로 측정함
- EC미터로 측정하는 방법 외에 EC값을 이론적으로 계산하는 방법

·이온의 이론 전도율( $dS \cdot m^{-1}$ )  
 $= \text{당량이온 전도율}(dS \cdot m^{-1} \cdot eq^{-1}) \times \text{이온농도}(me/\ell) \div 1000$

·양액의 이론전도율( $dS \cdot m^{-1}$ )  
 $= \sum(\text{이온의 이론전도율})$

- 당량이온 전도율 : 1m 간격으로 2매의 전극판 사이에 1eq의 이온이 있을 때의 전기전도도
- 다만, 실제 양액 중 인산염의 상황을 고려하여 H<sup>+</sup>은 무시하고 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>로 계산
- 용해시킨 염이 100% 전리되지 않으므로 실제전도율은 이론값보다 약간 낮게 나옴

<각종 이온의 당량이온 전도율(단위:  $dS \cdot m^{-1} \cdot eq^{-1}$ )>

양이온의 당량전도율	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
	349.8	50.1	73.5	73.6	53.1	59.5	68.4	53.5	52.8
음이온의 당량전도율	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	198.3	69.3	76.4	71.5	71.8	69	57	36	80

\* 25℃ 용액에서 완전해리가 되었을 경우의 이론치임(무한희석 용액의 값임)

○ EC 값을 추정하는 방법

- 양액 중의 양이온과 음이온 각각의 me/ℓ 농도를 전부 더한 다음 10으로 나눈 값
- 이론전도율에 의해 표시된 값보다 간편한 방법으로 산출된 값이 실제 양액의 EC값

에 더 가까움

○ 배양액의 농도설정

- 양액 중 각각의 무기이온 농도와 전체 이온의 농도는 작물의 생육과 품질에 지대한 영향을 미치므로 양액의 농도를 어떻게 설정할지 결정하는 것은 중요함
- 작물에 따른 최적 양액 농도는 존재하지만 생육단계와 생육환경에 따라 크게 달라짐
- ※ 품종별, 작형별, 생육단계 양액 농도는 1차년도 연구결과 참고

각종 채소의 박막수경(NFT)재배에서 생육단계별 양액 농도(아오키, 1996)

(단위:dS/m)

토마토	오이	딸기
0.5 - 0.8 (제1화방 개화기까지)	1.5 - 2.0 (정식 후)	0.6 (정식 - 1화방 개화기)
↓	↓	↓
1.0 - 1.2 (제3화방 개화기까지)	2.0 - 2.5 (활착 후)	1.3 (제1화방 개화기 - 비대기)
↓	↓	↓
1.5 - 2.0 (과실비대기)	↓	↓
↓	↓	↓
2.0 - 2.5 (수확기)	2.5 - 3.0 (수확기)	1.6 (수확기)

- 생육초기에는 저농도로 재배하다가 생육이 진전됨에 따라 농도를 높여가는 관리방법이 일반적임. 또한 겨울철에 양액 농도를 높게 하고 여름철에 농도를 낮게 관리하는 것이 일반적임

재배 사례별로 조사한 각종 채소의 암면재배에서 월별 급액농도(다나카, 1996)(단위:dS/m)

작목 \ 월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
토마토	1.85	1.84	1.65	1.57	1.46	1.49	1.43	1.46	1.36	1.53	1.81	1.82
오이	2.02	2.02	4.82	1.76	1.61	1.54	1.57	1.61	1.50	1.68	1.99	2.00
멜론	1.99	1.99	1.78	1.73	1.58	1.61	1.54	1.58	1.47	1.65	1.95	1.97

- 횡축을 양액농도로, 종축을 생육정도로 정하여 그래프를 그리면 포물선과 같은 모양의 그림이 예상되지만 실제로는 이와 같이 단순하게 반응하지 않음
- 양액 농도가 낮을 경우 상추와 토마토 등 많은 작물, 예를 들면 질산태질소의 농도가 1~2 mmol/l 의 낮은 농도에서도 각 성분의 흡수농도는 저하되지 않았다는 보고가 있음

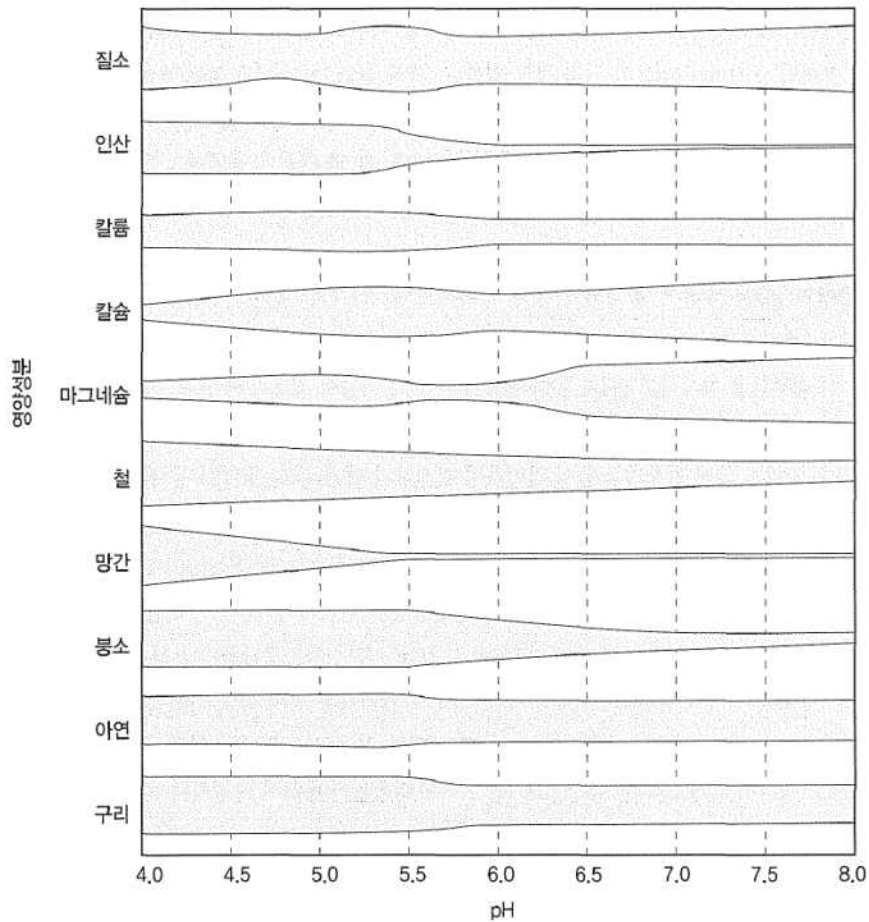


- 양분흡수가 급속하게 저하되는 한계흡수농도는 상당히 낮을 것으로 생각됨
- 양액의 농도가 낮을 경우에는 양액을 움직여 무기양분의 이온입자가 항상 뿌리 표면에 접촉할 수 있도록 해주는 것이 중요함
- 양액 농도가 높은 경우에는 생육은 억제되지만 일정범위의 농도 내에서 생육억제를 보상하는 고부가가치(예를들면, 고당도의 토마토, 균의 번식 억제)를 얻을 수 있는 경우가 있어 생육의 좋고 나쁨과는 별도의 면에서 효과를 얻을 수 있음
- 양액의 농도의 최적조건에 대해서는 생육단계, 생육환경조절 뿐만 아니라 목적을 명확히 하여 양액농도를 결정하는 것이 중요함

▪ 양액의 pH

○ 양액의 pH와 작물의 양분 흡수

- 양액의 pH는 수용액 중에서의 이온의 형태나 용해도의 변화라는 점에서 양분의 유효성에 영향을 미침
  - 수용액 중에서 인(P)은  $H_2PO_4^-$ 나  $HPO_4^{2-}$  등의 형태를 떠나 pH가 낮아지면  $H_2PO_4^-$ 가 대부분을 차지하고 pH가 높아지면  $H_2PO_4^-$ 의 비율이 감소함. 작물은 주로  $H_2PO_4^-$ 를 흡수하며 pH5~6에서는 80% 이상이되나 pH7이 되면 약 30%로 감소함
  - pH가 높아지게 되면 인산과 칼슘이 결합하여 침전하기 쉽거나 Fe - EDTA 등 킬레이트 철의 안정성도 낮아짐
  - pH5 이하에서는 흡수량의 증대 등으로 망간(Mn)의 과잉증상이 나타나고 pH7 이상에서는 불용화에 따른 철(Fe) 결핍증상이 나타나기 쉬움
- H가 무기이온의 유효성에 미치는 영향
  - 양액의 pH는 5.5 ~ 6.5로 관리하는 것이 좋음



<고형배지에서 pH가 무기이온의 유효성에 미치는 영향(Peterson, J.C., 1982)>

- 양액을 조제하는데 주로 사용하는 4종류의 염 가운데  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 만 약알칼리+강산의 염이며 그 외의 것들은 강알칼리+강산의 염. 양액은 통상 약알칼리를 나타냄
- 재배일수가 경과함에 따라 양액의 pH는 변화함
  - 식물체에 의한 양이온과 음이온의 흡수가 균형을 이루지 않기 때문
  - 대부분 양이온을 흡수하게 되면 뿌리로부터  $\text{H}^+$ 를, 음이온을 흡수하게 되면  $\text{OH}^-$  또는 중탄산이온( $\text{HCO}_3^-$ )을 방출
    - 따라서 식물이 양이온을 비교적 많이 흡수하면 양액 중  $\text{H}^+$ 농도가 높아져 pH는 낮아지며, 음이온을 비교적 많이 흡수하면  $\text{OH}^-$ 의 농도가 높아져 pH는 상승하게 됨
      - 이러한 현상의 예로는 질소의 형태에 따른 식물의 선택적 흡수에 따른 양액의 pH 변동. 식물은 질산태질소 또는 암모늄태질소 중에서 어느 한쪽을 우선적으로 흡수
      - 질산태 질소(음이온)를 우선적으로 흡수하는 식물을 재배하면 양액 pH는 상승하기 쉬우며 암모늄태질소(양이온)을 우선적으로 흡수하는 식물을 재배하는 경우에는 양액의 pH가 낮아지기 경향이 있음
      - 양액재배에서 질소원으로 대부분 질산태질소를 사용하고 있으나 암모늄태질소를 혼용하여 사용하는 것이 생육에도 양호하며 근권부의 pH 변동을 줄

이는데 도움이 됨

- 고온이나 산소의 결핍에 의한 뿌리의 장애가 발생하거나 부패하는 것에 더불어 질산이나 개미산, 프로피온산 등 유기산이 생성되어 방출됨에 따라 양액의 pH가 낮아지는 경우가 있음

○ 고품배지를 사용하는 경우, 배지의 종류에 따라 pH가 달라짐

- 암면이나 혼탄 등의 무기배지에서는 pH가 낮아지는 경향이 있음

○ 양액의 pH 조절

- 양액의 pH를 정확하게 측정한 다음 산 또는 알칼리를 직접 첨가하여 조정
  - 양액의 pH를 낮추는데에는 황산( $H_2SO_4$ ), 인산( $H_3PO_4$ ), 질산( $HNO_3$ ) 등 산을 첨가함
  - pH를 높이는 데에는 수산화나트륨( $NaOH$ )이나 수산화칼륨( $KOH$ ) 등 알칼리를 첨가

▪ 질소의 형태

○ 질소흡수의 물적 특성

- 작물에 흡수된 질산태질소는 암모늄태질소로 환원된 후 동화되는데 비해 암모늄태질소는 작물에 흡수되면 그대로 동화됨
- 양액 중  $NH_4^+$ 농도가 높거나  $NH_4^+$  흡수속도가 동화속도보다 빨라 체내에  $NH_4^+$ 가 축적되면 Ca의 흡수를 저해하여 Ca 결핍증상을 일으키기도 함
- 양액 재배에서는 피해가 적은  $NO_3^-$ 를 양액의 주된 질소원으로 사용하고 있음
- 그러나 어떤 형태의 질소라도 장단점이 있고 또 두 질소에 대한 반응이 식물의 종류, 환경조건, 생육단계 등에 따라 다르므로 재배에 적합한 질소의 형태를 잘 선정하여야 함
- 질산태질소와 암모늄질소가 같은 농도로 존재하는 경우 어느 쪽을 먼저 흡수하는지는 작물의 종류에 따라 다름
  - $NH_4^+$ 를 먼저 흡수하는 채소는  $NH_4^+$ 의 해를 입기 어려운 반면  $NH_4^+$ 의 해를 입기 쉬운 채소는  $NO_3^-$ 를 먼저 흡수하는 경향이 강함

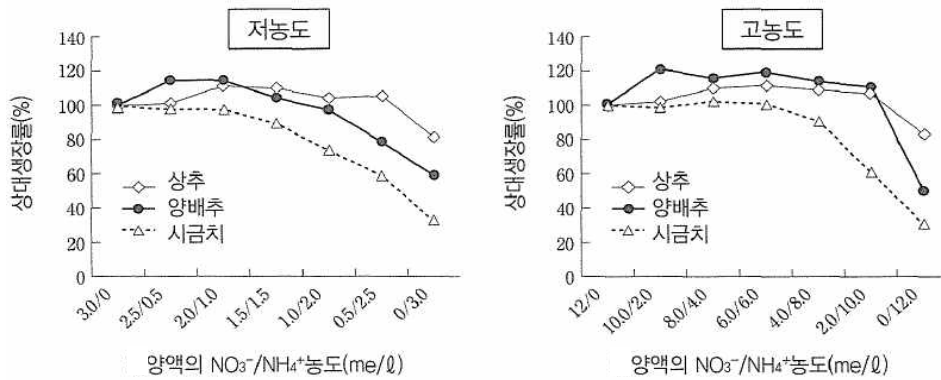
<어린 채소묘의 질소흡수특성(이케다·오사와, 1981)>

양액의 pH	암모늄태질소(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )를 먼저 흡수	질산태질소(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )를 먼저 흡수	암모늄태질소(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )와 질산태질소(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )의 흡수가 거의 동등
pH 5	옥수수, 상추, 딸기, 셀러리, 멜론, 미나리, 오이, 파드득 나물, 썩갓	완두, 강낭콩, 시금치, 수박, 토마토, 배추, 양배추, 순무, 피망	팥콩, 가지
pH 7	옥수수, 상추, 딸기, 셀러리, 멜론, 미나리, 오이, 파드득 나물, 썩갓, 팥콩, 가지, 피망	시금치, 배추, 순무	완두, 강낭콩, 수박, 토마토, 양배추

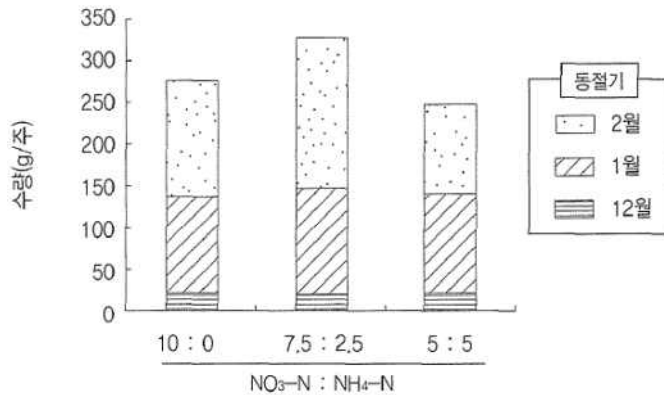
- 질소의 흡수 형태는 배양액의 pH 뿐만 아니라 온도나 생육단계에 따라 변함
  - 예) 상추의 질소흡수는 18℃ 이상에서는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>보다 많지만 13℃ 이하에서는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>보다 많음

○ 암모늄태질소와 질산태질소의 병행사용에 의한 생육 촉진

- 채소의 생육은 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 를 같이 사용하면 단독으로 사용하는 것보다 양호한 경우가 많음



<양액의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 비율과 농도가 채소의 생장에 미치는 영향>



<양액의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 비율이 딸기의 정단과방과 제1과방의 수량에 미치는 영향>

- 질산태질소와 암모늄태질소의 최적비율 범위는 계절에 따라 달라짐
  - 토마토는 5:1 이하, 오이는 3:1 이하로 나타남
  - 식물체내에 흡수된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 질산환원작용에 의하여 환원되는데 이 효소의 활성은 광의존성이 강하여 약광조건 하에는 생육이 억제됨. 따라서 겨울철 광이 약한 조건에서는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 같이 사용하면 질소동화작용 효율을 높여 생육을 촉진하는 효과를 기대할 수 있음

○ 양액에서 질소형태의 조정

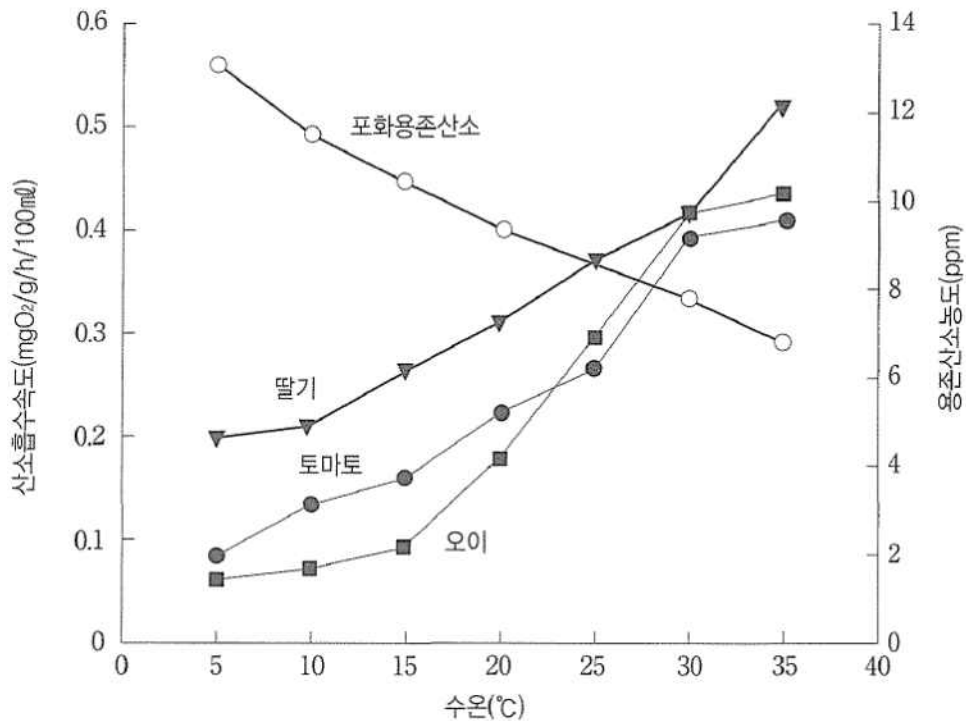
- 양액 중 질소원으로 사용되는 염
  - 질산염: 질산칼륨(KNO<sub>3</sub>), 질산칼슘[Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O]
  - 암모늄염: 인산2수소암모늄(NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 염화암모늄(NH<sub>4</sub>Cl), 황산암모늄[(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]
  - 2가지 형태의 질소를 모두 함유하고 있는 염 : 질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)
- 주된 질소원으로 질산태질소를 사용할 경우 양액 pH는 서서히 상승하는 반면 암모늄태질소가 많은 경우 양액 pH는 서서히 저하됨
  - 질소원으로 암모늄태질소와 질산태 질소를 병행사용하게 되면 양액의 pH 변화를 완화시킬 수 있음
  - 일조가 약한 겨울철에는 질소동화효율을 조금이라도 더 높이기 위해 암모늄태질소를 적극적으로 사용하는 것이 바람직함

■ 산소농도

- 뿌리가 양수분흡수 기능을 충분히 수행하기 위하여 산소를 흡수하여 호흡을 해야함
  - 특히, 담액식 수경재배에서 뿌리가 필요한 산소의 전부를 양액으로부터 얻기 때문에 양액에 산소를 공급하는 것은 아주 중요
  - 양액의 용존 산소농도가 낮아지면 뿌리의 산소가 결핍되어 호흡활성이나 양수분

흡수가 저하되며 식물호르몬 합성이 정상적으로 이루어지지 않아 뿌리의 부패가 발생하기도 하고 지상부의 생육이 억제되거나 형태의 이상이 발생하기도 함

- 양액의 용존산소농도 저하의 원인
  - 양액온도의 상승으로 용존산소가 낮아지고 뿌리의 호흡량 증가
  - 재배조 내 뿌리가 매트를 형성하여 양액의 흐름이 악화되어 양액의 체류로 인한 용존산소의 농도가 저하됨
  - 미생물의 활동도 산소농도의 저하를 유발
- 급액관리에 의한 산소를 공급하는 방법
  - 박막수경(NFT)에서 양액의 공급을 일시적으로 정지시켜 뿌리가 직접 공기와 접촉하도록 산소를 공급하는 간단급액 방법
  - 담액 수경재배에서 양액의 수위를 낮추어 뿌리가 직접 공기와 접촉하도록 하여 산소를 공급하는 액면저하 방식
  - 양액을 유동시켜 양액 내 산소의 확산을 촉진시켜 뿌리에 산소를 공급하는 양액 유동방법
  - 저장탱크의 양액에 공기를 주입하거나 양액공급관로에 공기흡입기를 부착하여 공급
- 급액식 수경재배에서 대부분의 작물은 양액의 포화용존산소농도의 50%(약 4~5ppm)를 유지하도록 함



<수온과 포화용존산소 농도 및 뿌리의 호흡속도와의 관계>

▪ 온도

- 양액재배는 토양과 격리된 공간 그것도 제한된 범위에 뿌리가 존재하므로 주위의 온도변화가 배지나 양액의 온도는 물론 작물의 생육에 커다란 영향을 미침
- 작물은 기온과 같이 각각 생육에 적합한 근권온도의 범위가 있어 근권온도가 이 범위를 벗어나면 생육이 억제됨
  - 고온에서는 뿌리가 가늘고 길게 자라고 갈변이나 부패가 되기 쉬움
  - 저온에서는 뿌리의 활성이나 신장이 억제되고 뿌리의 양이 감소되면서 지상부의 생장도 억제됨
  - 근권온도는 뿌리의 생육량에 비하여 지상부의 생육량에 상대적으로 크게 영향을 줌. 즉 지상부와 지하부의 비율(T/R률)이 감소하는 경향이 있음
  - 적합한 근권온도의 범위를 벗어나서 재배되는 작물은 생장량 저하 외에 형태형성 등도 저해됨
- 대부분 작물의 적절한 근권온도는 대략 20℃ 전후라 할 수 있음

<각종 작물의 기온과 근권온도에 대한 생육적온과 한계온도>

작물명	주간기온		야간기온		양액온도		
	최고	적온	적온	최저	최고	적온	최저
토마토	35	27~20	13~8	5	25	23~15	13
가지	35	28~23	18~13	10	25	13~18	13
피망	35	30~25	20~15	12	25	13~18	13
오이	35	28~23	15~10	8	25	22~18	13
수박	35	28~23	18~13	10	25	22~18	13
멜론	35	30~25	23~18	15	25	23~18	13
딸기	30	25~18	10~5	5	25	20~15	13
시금치	30	25~15	10~8	5	25	20~16	13
파드득나물	30	25~15	10~8	5	25	22~18	13
파	35	30~15	10~7	5	25	22~16	13
양상추	30	25~15	12~8	5	25	22~18	13
상추	30	25~15	12~8	5	25	22~18	13

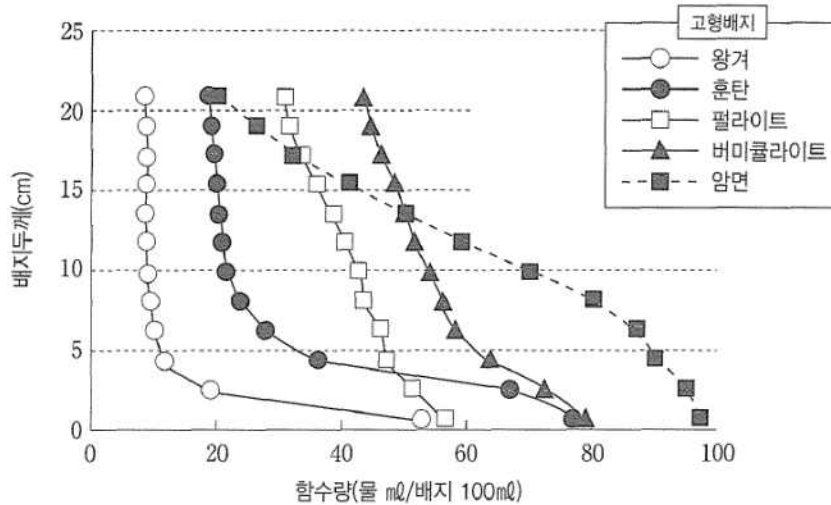
- 근권을 가온하거나 냉각하는 방법
  - ① 담액식 수경재배의 경우 탱크 내에 스테인레스관 등 열교환파이프를 부설하고 이 관에 온수나 냉수를 흐르게 하여 양액을 가온하거나 냉각시키는 것
  - ② 보일러나 냉각기에 직접 양액을 통과시켜 가온이나 냉각하는 방법
  - ③ 박막수경(NFT) 또는 고휘배지 재배에서 재배베드나 배지를 가온하거나 냉각하는 방법으로 베드의 바닥이나 고휘배지의 하부 13~20mm의 PE 파이프를 만든 냉난방관

을 부설하고 이 파이프에 온수나 냉수를 통과시켜 근권을 가온하거나 냉각

○ 급액관리

- 배지의 수분특성과 급액관리

- 급액방법은 배지의 수분특성을 고려해야 할 필요가 있음
- 같은 배지라 하더라도 배지높이(두께)에 따라 수분함량의 차이가 크게 나는 경우가 있음
- 건조된 경우 재흡수가 어려운지, 급액이 많을 경우 기상비율이 현저하게 감소되는지 등도 중요하므로 어느 경우라도 소량을 자주 급액할 필요가 있음
- 배지의 양도 중요한데 아주 적은 양의 배지에서 재배할 경우 보수량 자체가 적기 때문에 소량을 자주 급액(소량다빈도 급액)을 할 필요가 있음



<고형배지의 깊이별 함수량>

- 효율적인 급액관리

- 효율적인 급액관리를 위해서는 작물의 양수분요구도에 부합한 급액시점과 급액량 결정이 무엇보다 중요함
- 급액 제어법에는 타이머를 활용한 방법, 수분센서를 이용하는 방법, 일사량에 의한 급액제어 및 배액전극법 등이 이용되고 있음
- 급액량
  - 비순환식의 경우, 배액률을 20~30% 정도로 하는 것이 바람직하며 날씨에 따라서 그 날의 급액량을 조절
  - 순환식의 경우는 그것보다 더 많은 양액을 급액한 쪽이 생육이 더 안정적임



다. 양액의 재활용과 처리

○ 양액재배 비료의 이용효율

- 시설재배에서 토경재배한 경우 비료공급량에 대한 흡수량의 비율은 질소가 24~78%, 인산이 6~20%, 칼륨이 25~99%로 이용효율이 높지 않음
- 이용되지 않는 질소량을 조사해 보면 양액재배에서는  $4 \sim 33 \text{ kg} \cdot 10\text{a}^{-1} \cdot \text{년}^{-1}$

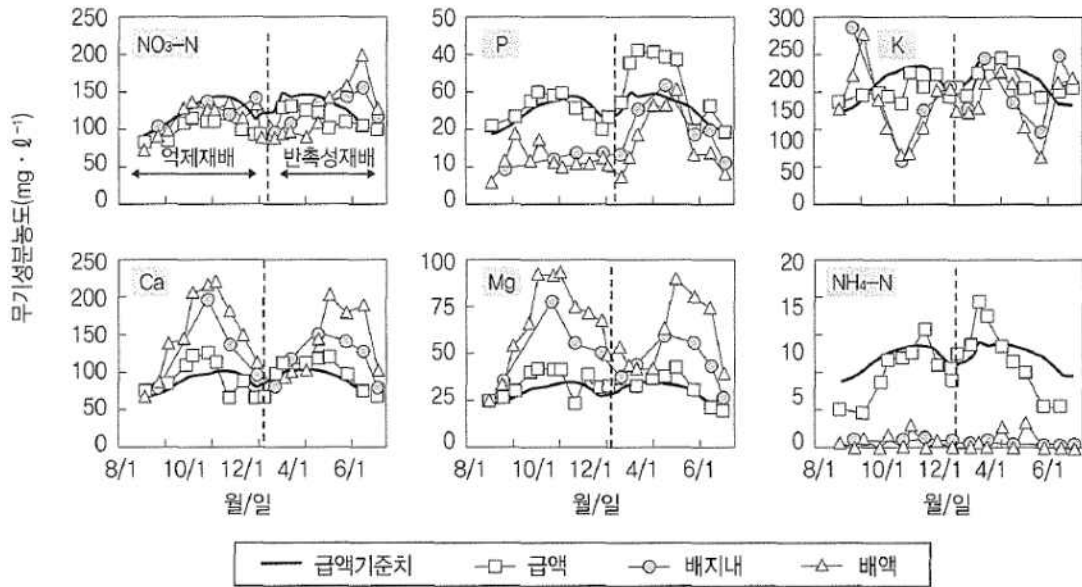
<작물과 재배방식별 배액량 및 농도>

작물명	재배방식	양액농도 (ds/m)	배액량 <sup>1)</sup> (t/10a/년)	배액 NO <sub>3</sub> -N량 <sup>2)</sup> (kg/10a/년)
딸기	박막수경(NFT)	1.0~1.4	40~60	4~8
	암면	1.0~1.4	60~80	5~10
토마토	박막수경(NFT)	1.5~2.4	40~60	6~13
	담액수경(DFT)	1.5~2.4	60~80	8~18
	암면	1.5~1.8	120~150	17~26
파프리카	담액수경(DFT)	2.2~3.2	50~60	11~18
양상추	박막수경(NFT)	2.2~2.8	50~60	11~16
	담액수경(DFT)	2.2~3.0	50~60	11~17
파	박막수경(NFT)	2.2~2.8	50~60	11~16
	담액수경(DFT)	2.4~3.3	50~60	13~19
청경채	박막수경(NFT)	1.8~2.2	50~60	9~13
	담액수경(DFT)	1.8~2.2	50~60	9~13
시금치	박막수경(NFT)	2.0~2.4	40~80	11~18
	담액수경(DFT)	2.0~2.4	120~150	23~33

\* 주) : 1), 2) 즉 양액과 배액 NO<sub>3</sub>-N량은 추정치를 나타내었음

○ 양액의 재활용

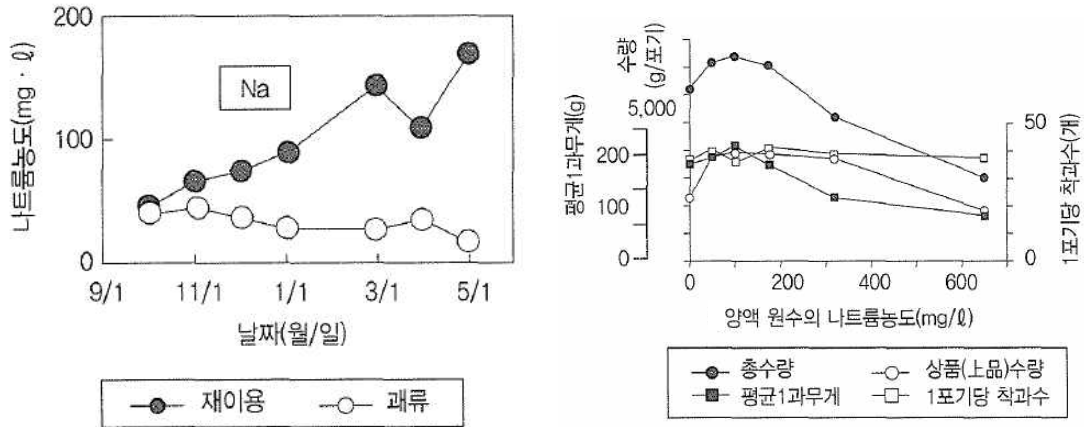
- 양액을 연속적으로 안정되기 사용하기 위해서는 ① 양액조성의 보정, ② 양액 중에 축적되는 불필요한 물질의 제거, ③ 지하부 병해대책 등 적절하게 실시할 필요가 있음
- 양액조성과 보정
  - 양액은 식물체의 흡수로 인하여 특정 비료성분이 감소 또는 증가하는 일이 많음
  - 장기간, 정기적으로 양액(또는 배액)을 분석하고, 원액비료를 조성할 때 등에 보정할 필요가 있음
  - 원수의 수질을 고려한 양액조제 프로그램을 활용하면 원수의 무기이온 성분 대신에 배액의 무기이온 농도를 입력함으로써 비교적 간단하게 행할 수 있음



<토마토 암면재배에서 1회 비료보정을 한 후 양액을 재이용하였을 경우 양액의 조성변화>

- 양액 중에 축적되는 불필요한 물질의 제거

- 작물이 필요로 하지 않아 배액에 축적되는 물질로는 유기물과 나트륨 등을 있음
  - 원수에 나트륨이 있다면 거의 작물이 이용하지 않기 때문에 배액을 재이용하면 서서히 나트륨이 축적됨
  - 토마토의 경우 급액의 나트륨농도가 80~100mg/ℓ 이상이면 수량에 영향이 인정되고 재이용을 중지하는 것이 필요
  - 배액의 폐기가 금지되고 있는 네덜란드에서도 폐액의 나트륨농도가 183 mg/ℓ를 넘으면 양액을 시설 외에 폐기해도 좋다는 것이 법률로 정해져 있음
  - 뿌리에서는 당, 아미노산, 유기산 등 유기물이 분비되고 있지만 근권미생물의 서식밀도가 비교적 낮은 양액재배에서는 고농도로 축적되는 일이 있음
- 이것을 회피하는 방법으로서 활성탄을 양액 중에 첨가, 흡착시키는 방법이 있음



<과류방식과 배액재이용시스템의 나트륨 추이> <토마토의 양액에서 나트륨 허용 한계농도>

- 지하부 병해대책

- 지하부 병해가 발생하면 순환식 또는 재이용식에서는 병원균을 포장 전체에 확산시키는 것이 되기 때문에 살균방법을 검토하는 것이 바람직함
- 소량씩 흘리면서 살균하는 방법, 탱크에 저장하여 일정시간 살균하는 방법 등 시스템별 특징이 있기 때문에 사용하고 있는 양액재배시스템에 적합한 살균장치 선택

○ 폐기양액(폐액)의 이용과 처리방법

- 양액을 폐기할 때에는 토경재배되고 있는 다른 작물에 액비로 이용하는 방법, 미나리 등 재배시스템을 만들어 잉여성분을 흡수시키는 방법, 폐액처리장치를 이용한 정화방법 등이 이용되고 있음

라. 데이터 업데이트(1~3차별로 실험결과기반)

○ 가. 양액 부족분 계산 알고리즘(양액통)

- 현행 농가에서 가장 많이 사용하고있는 양액통 A,B통을 기준으로 배액과 현재 양액의 농도에 따른 양액부족분을 계산함.
- 총 4종류의 양액을 기준으로 알고리즘을 정립함.
- 양액 A통 :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$
- 양액 B통 :  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

<양액의 종류에 따른 양이온과 음이온의 농도>

	양이온농도(mmol/L)				음이온 농도(mmol/L)		
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
<b>원시표준액</b>	<b>1.00</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	1.00	<b>2</b>
<b>야마자키액</b>	<b>0.67</b>	4	1	1.5	<b>7</b>	<b>0.67</b>	1
<b>플로리다액</b>	<b>0.00</b>	3.51	2.05	3.75	<b>9.4</b>	<b>1.61</b>	2.05
<b>화란PTG</b>	<b>0.00</b>	5.41	1.5	3.07	<b>9.55</b>	<b>2.00</b>	1.5

○ 프로그램 시행 순서도

- 양액종류 선택(원시표준액, 야마자키액, 플로리다액, 화란PTG)
- 선택한 양액에 해당하는 양이온 및 음이온 농도 표기
- 원수농도(또는 배액농도)에 현재 양액농도를 기입
- Init/ Calculation 버튼 클릭
- 하단 A통 B통의 배율에 맞춰서 양액 투입

<다량원소 대비 배합 프로그램>				▲ 부족 ▼ 과잉	Init / Calculation	양액 선택	원시표준액																
번호	비표액	분자량(g)	농도도 (g/100g H <sub>2</sub> O)	필요점가량	양이온농도(mmol/L)							음이온 농도(mmol/L)				비표액(1배액)		비표액(100배)					
					NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Na	H	합계	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	합계	mM	mg/L	mg/L	g/L	순도(%)	순도를 고려한 비표액량(g/l)	
	설정농도				1.00	6	2	4	0	0			14	1.00	2	0	17						
	원수농도(또는 배액농도)				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00							
	상분주가능도				▲1.00	▲6.00	▲2.00	▲4.00	▲0.00	▲0.00			▲14.00	▲1.00	▲2.00	▲0.00							
	실시간 농도				▲1.00	▲6.00	▲2.00	▲4.00	▲0.00	▲0.00			▲14.00	▲1.00	▲2.00	▲0.00							
1	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236.15	42.90	0.00				0					0				0	0.0	-	-	98.5	0.00	
2	KNO <sub>3</sub>	101.10	31.60	0.00		0							0				0	0.0	-	-	99.0	0.00	
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115.03	22.70	0.00	0								0				0.00	0.0	-	-	98.0	0.00	
4	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.48	26.90	0.00			0								0		0	0.0	-	-	99.2	0.00	
	계				0	0.00	0.00	0.00	0.00				0.0	0.00	0.00	0.00		0.0					

각 이온의 농도(meq/L)		1.0	6.0	4.0	8.0	0.0
각 이온의 당량 전도율(dS·m <sup>-1</sup> ·eq <sup>-1</sup> )		73.6	7.4	33	60	50
배양액 중 이온 전도율(dS·m <sup>-1</sup> )		0.07	0.44	0.21	0.48	0.00
		1.00	0.11	0.32	0.90	

mmol/L			
A통	B통		
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0
KNO <sub>3</sub>	0	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0
		KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	NONE
배율	0.00	배율	0.00

<양액통을 기준으로한 다량원소 배합 프로그램>

○ 알고리즘

- 양액종류 선택
  - 선택한 양액의 양이온 음이온 배합에 맞는 값을 Source() 배열에 입력 후 Stock() 배열 초기화.
  - 디스플레이를 초기화하고 해당하는 양액에 맞는 값을 재 출력함.
- 원수농도(또는 배액농도)에 현재 양액농도를 기입
  - 설정농도와 입력농도를 비교하여 입력농도가 낮은 종류의 원소를 Source() 배열에 입력함.

- Init/ Calculation 버튼 클릭
  - 반복문을 이용하여 Source()배열에서 각 단비의 값이 0이 되도록 해당하는 Stock()배열의 값을 올려줌
  - 각 Source()배열의 값이 0이거나 음수가 될 경우 반복문을 종료함
- 하단 A통 B통의 배율에 맞춰서 양액 투입
  - Stock()배열의 각 복합비료투입량에서 최대값을 추출하여 배율에 맞춰서 출력함.

○ 양액 부족분 계산 알고리즘(단비통)

- 현행 농가에서 사용되고있는 양액통을 사용한 양액농도 조절은 양액통 전체의 배율을 조절함.
- 이로 인해 부족하지않은 이온임에 불구하고 같은통에 있는 다른원소의 부족으로 추가로 첨가되는 단점을 보완하고자 7종류의 단비를 각자 다른 양액통을 사용하여 부족한 양액만 첨가함.
- 총 4종류의 양액을 기준으로 알고리즘을 정립함.
- 단비 종류 :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

○ 프로그램 시행 순서도

- 양액종류 선택(원시표준액, 야마자키액, 플로리다액, 화란PTG)
  - 선택한 양액에 해당하는 양이온 및 음이온 농도 표기
- 원수농도(또는 배액농도)에 현재 양액농도를 기입
- Init/ Calculation 버튼 클릭
- 필요첨가량 만큼 단비를 투입.

<다량원소 단비 배합 프로그램>				▲ 부족 ▼ 과잉		Init / Calculation		양액 선택		원시표준액												
번호	비료명	분자량(g)	농도(g/100g H <sub>2</sub> O)	필요첨가량	양이온농도(mmol/L)							음이온 농도(mmol/L)				비료율(1배액)		비료율(100배)				
					NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Na	H	합계	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	합계	mM	mg/L	mg/L	g/L	순도(%)	순도를 고려한 비료첨량(g/l)
원수농도					1.00	6	2	4	0	0		14	1.00	2	0	17						
원수농도(또는 배액농도)					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00							
성분추가농도					▲1.00	▲6.00	▲2.00	▲4.00	▲0.00	▲0.00		▲14.00	▲1.00	▲2.00	▲0.00							
실시간 농도					NONE	NONE	NONE	NONE	NONE	NONE		NONE	NONE	NONE	NONE							
1	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	236.15	42.90	0.00				0				0					0	0.0	-	-	98.3	0.00
2	KNO <sub>3</sub>	101.10	31.60	0.00			0					2					0	0.0	-	-	99.0	0.00
3	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	115.03	22.70	0.00		0						1					0.00	0.0	-	-	98.0	0.00
4	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	246.48	26.90	0.00		1.00							1.00				0	0.0	-	-	99.2	0.00
5	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	80.04	214.00	0.00								0					1					
6	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	256.41	42.90	0.00				0				1					0					
7	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	136.09	14.80	0.00			0							0			2					
	계				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0					

<단비를 기준으로 한 다량원소 배합 프로그램>

○ 알고리즘

- 양액종류 선택

- 선택한 양액의 양이온 음이온 배합에 맞는 값을 Source() 배열에 입력 후 Stock() 배열 초기화.
  - 디스플레이를 초기화하고 해당하는 양액에 맞는 값을 재 출력함.
- 원수농도(또는 배액농도)에 현재 양액농도를 기입
- 설정농도와 입력농도를 비교하여 입력농도가 낮은 종류의 원소를 Source() 배열에 입력함.
- Init/ Calculation 버튼 클릭
- 반복문을 이용하여 Source()배열에서 각 단비의 값이 0이 되도록 해당하는 Stock()배열의 값을 늘려줌
  - 각 Source()배열의 값이 0이거나 음수가 될 경우 반복문을 종료함
- 필요첨가량 만큼 단비를 투입
- Stock()배열의 각 단비별 투입량을 필요첨가량 부분에 표시함.을 미침.

## 제 3절 토마토, 딸기 양액 요구량 시험 및 시작품 현장실증

(1협동 : 과채연구소)

### 1. 토마토, 딸기 양액 요구량 및 재활용 양액처방

#### 가. 토마토의 양액 요구량 및 재활용 양액처방

■ 방울토마토 반축성 수경재배 시 착과절위 증가에 따른 공급액, 배액 및 식물체의 무기성분 농도 변화

#### ○ 실험장소 및 재료

- 충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서 40일간 육묘한 방울토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Minichal, Nongwoobio Co., Suwon, Korea) 묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다.

#### ○ 재배관리

- 2016년 3월 10일 펄라이트 배지가 충전된 베드에 재식거리 160×25cm로 토마토 묘를 1주씩 정식하였고, 정식 직후부터 양액을 공급하였다. 본 연구를 위한 양액은 야마자키 토마토 전용액을 사용하였으며 다량원소의 조성은 NO<sub>3</sub>-N 7, PO<sub>4</sub>-P 2, K 4, Ca 3, Mg 2meq·L<sup>-1</sup>, 미량원소는 Fe 2, B 0.2, Mn 0.14, Zn 0.02mg·L<sup>-1</sup>였다. 양액은 누적 일사량이 600W·m<sup>-2</sup>에 도달할 때 1회 공급하였고, 관수 시간은 생육초기에는 2분으로, 그리고 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다. 배양액 EC의 경우 정식 후 활착기는 1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였으며, pH는 5.5~6.0으로 질산을 이용하여 조절하였다.

- 실험 기간 중 시설 내의 최저 온도가 15℃ 이하로 낮아지면 온풍기가 자동으로 작동되도록 설정하였다. 측지는 발생할 때마다 제거하였고, 10화방이 완전 개화한 후 상위 2엽을 남기고 적심하였으며 착과 유도를 위하여 화방당 2~3개 꽃이 개화하였을 때 4-CPA(동부토마토톤, Farmhannong, Seoul, Korea)을 150배로 희석하여 분무기로 살포하였다. 시험구 배치는 완전임의배치 3반복으로 하였으며, 재배 중 기타 관리는 충남농업기술원 과채연구소 토마토의 재배방법에 준하였다.

#### ○ 생육조사

- 초장, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭 등의 생육은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2003)에 따라 착과 절위별 화방의 2~3개 꽃이 50% 개화된 시기에 반복당 10주씩 조사하였다. 또한 생육조사 시 식물체를 채취하여 잎과 줄기로 나눈 후 생체중을 측정하였고, 채취한 시료를 80℃ 건조기에 48시간 건조시킨 후 건물중을 측정

하였고 잎은 분쇄기로 분쇄하여 무기성분 분석에 사용하였다.

○ 무기성분 분석

- 착과절위에 따른 잎의 질소분석은 Kjeldahl(1030 analyzer, Kjeltex Auto, Jung-il Science, Hwaseong, Korea)법을 이용하였다. 시료 1g을 켈달플라스크에 평량하여 황산염 혼합분말과 진한 황산을 넣고 전기로에서 380℃, 80분간 분해하였다. 분해액은 증류수로 희석시킨 후 40% 수산화나트륨을 가하여 산성을 알칼리화하여 증류한다음 수기는 2% 붕산을 사용하여 75~100mL 증류되면 0.05N 황산을 이용하여 종말점을 잡아 계산하였다. P, K, Ca 및 Mg의 분석은 시료 약 2g을 평량하여 삼각플라스크에 취해, 질산 20mL과 과염소산 10mL를 넣고 혼합하여 10시간 이상 정치 후 습식 분해하여 식힌 다음 다시 질산을 소량씩 가하면서 가열하여 미색이 되었을 때 분해를 완료하였다. 분해가 끝난 시료는 질산을 이용하여 100mL로 정량하였고, 이 시료를 취하여 ICP(Integra XM2, GBC Scientific Equipment, Australia)를 이용하여 분석하였다(NIAST, 2000). 공급액과 배액의 무기원소 농도를 분석하기 위하여 생육조사 시기에 공급액과 배액을 채취하였고, No. 2 여과지로 여과한 후 냉장 보관하면서 분석에 이용하였다. 양액의 NO<sub>3</sub>-N는 Merck RQ flex(Eijkkelkamp, Giesbeek, The Netherland)로, P, K, Ca, Mg 및 미량원소는 상기 분석방법과 동일한 ICP로 수행하였다.

○ 통계처리

- 착과 절위별 식물생육간 평균은 LSD 검정과 회귀분석으로 처리구간 차이를 비교하였다. 통계분석은 CoStat 프로그램(ver. 6.3, CoHort Software, CA, USA)으로 수행하였다.

○ 실험기간 중 기상현황

- 시설 내 실험기간의 평균기온은 3월~4월까지 19.9~21.6℃, 5월은 22.2~23.7℃, 6월은 24.5~26.1℃, 7월 상순은 27.7℃로 하절기로 갈수록 높아졌으며. 최저기온은 3월~5월 중순까지는 14.1~15.0℃내외였고 이후 16℃이상으로 지속되다가 7월 상순에는 23.2℃이었다. 시설내의 최고기온은 29.7~34.4℃였으며. 습도는 정식 후 생육초기인 3월은 30.8~31.3%였으며 이후는 50%이상 지속되었으며 생육 후기인 7월 상순에는 79.3%였다. 일사량은 3월 중순에는 920J/cm<sup>2</sup>로 적었으며 중순부터 많아지기 시작하여 5월 중순에는 1,622J/cm<sup>2</sup>로 가장 많았으며 생육 후기인 6월 중순부터 7월 상순까지 적었는데 이는 장마로 흐린 날이 많고 또 잦은 강우로 일사량이 적었다.



<시험기간 중 시설내 기상>

구 분	3월			4월			5월			6월		7월
	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순	중순	하순	상순
평균 (°C)	19.9	21.5	19.9	20.6	21.1	22.2	22.7	23.7	24.5	25.6	26.1	27.7
최 고 (°C)	33.2	34.4	29.7	31.5	30.3	30.7	32.0	33.5	32.8	32.7	33.3	31.2
최 저 (°C)	14.2	15.0	15.0	14.8	14.4	15.0	14.1	16.1	18.4	20.3	20.5	23.2
습 도 (%)	31.3	30.8	53.1	63.0	63.0	65.1	60.8	59.2	64.2	70.6	71.5	79.3
일사량 (J/cm <sup>2</sup> )	920	1,184	1,046	1,110	1,120	1,143	1,622	1,381	1,159	811	789	963

○ 정식기 묘의 생육사항

- 시험을 위한 정식묘의 초장은 16.6cm, 경경 4.2mm, 엽장 10.4, 엽폭 7.9cm 였으며 엽수는 7.1매/주, 엽면적 83.4cm<sup>2</sup>/주, 건물중 0.47g/주 이었다.

<정식기의 묘의 생육>

초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> /주)	건물중 (g/주)	건물비율 (%)
16.4	4.2	7.1	10.4	7.9	83.4	0.47	7.9

○ 방울토마토 착과 절위별 식물체 생육 및 무기성분 변화

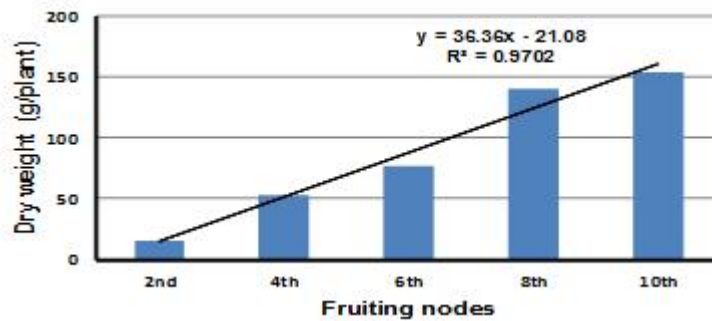
- 시험기간 중 각 착과 절위별로 화방의 꽃 중 2~3개가 약 50%정도 개화되었을 때 조사한 식물체 생육은 표와 같다. 2번째 착과 절위의 화방이 개화하는 시기에 초장이 약 60cm이었으며 착과 절위가 초장이 커져 10번째 착과 절위의 화방이 개화하는 시기에는 205cm까지 신장하였다. 10번째 화방이 개화하는 시기에는 엽수 39.3매, 엽장 54.3cm, 엽폭 45.5cm로 2번째 화방 개화시기와 비교하여 엽수는 2.5배, 엽장은 1.7배, 엽폭은 2.1배 각각 증가하였다. 엽면적의 경우 2화방 개화시기에 1,635cm<sup>2</sup>였지만 10화방 개화시기에는 6.6배가 증가된 10,272cm<sup>2</sup>였다. 각 착과 절위의 화방이 개회시기 토마토 지상부의 무게 변화를 나타낸 것으로 2번째 화방 개화시기에 식물체당 건물중이 약 16g였으며 4화방 개화시기에는 3.3배 증가한 53g, 8화방 개화시기에는 8.8배 증가한 140g, 10화방 개화시기에는 9.8배 증가한 156g으로 무거워졌다.

<착과절위에 따른 방울토마토의 생육사항>

착과절위	초 장 (cm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> /주)
2화방	59.7	16.0	30.4	21.0	1,635
4화방	96.3	24.3	47.0	36.2	4,651
6화방	135.7	28.3	49.6	38.1	7,521
8화방	178.0	32.9	50.7	40.1	9,828
10화방	205.0	39.3	54.3	45.5	10,272
LSD <sup>z</sup>	9.9	1.0	2.2	4.3	574.8
Linear	***	***	***	***	***
Quadratic	***	***	***	***	***

<sup>z</sup>LSD: Least significant difference,  $p \leq 0.05$ .

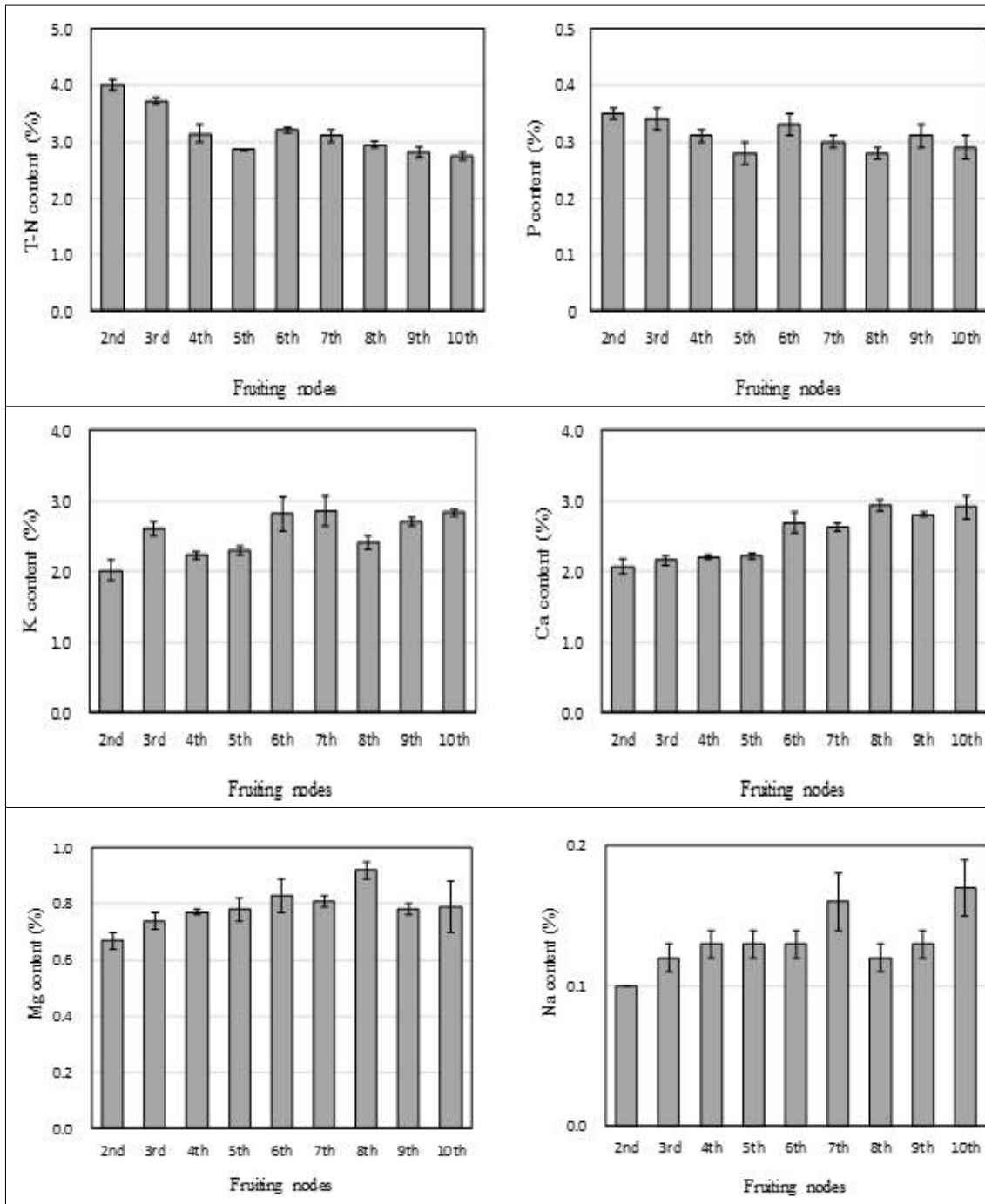
\*\*\*Significant at  $p \leq 0.001$ .



<착과절위에 따른 방울토마토 건물중 변화>

- 착과 절위의 화방이 개화하는 시기에 식물체 잎을 수확하여 다량원소 함량을 분석한 결과는 위와 같다. T-N 함량은 생육 초기인 2화방 개화기에 4.01%로 높았으나, 5화방 개화기까지 점차 낮아졌고, 6화방 개화기에는 3.21%로 5화방 개화기보다 소폭 증가하였다가 다시 10화방 개화기까지 감소하여 2.75%까지 낮아졌다. P함량은 생육 초기인 2화방 개화기부터 5화방 개화기까지 점차 낮아졌다가 6화방 개화기부터 재배 종료기까지 점차 증가하였고, 전 생육단계에서 0.28~0.35% 범위로 분석되었다. K 함량은 T-N 함량과 반대의 경향을 보였다. 생육 초기인 2화방 개화기에는 2.01% 함량이 적었으나, 3화방부터 5화방 개화기까지 점차 낮아졌다가 이후부터 높아져 10화방 개화기에는 2.83%였다. Ca 함량은 2화방 개화기에 2.07%로 가장 낮았지만, 생육 후기로 갈수록 함량이 높아졌으며, 특히 8화방 개화기에는 2.93%로 2화방 개화기보다 1.5배 높았다. Mg 함량은 전 생육기간 0.67~0.92%의 범위로 분석되었다.

<착과절위에 따른 방울토마토 지상부 엽의 무기성분>



- Sonneveld와 Voogt(2009)는 토마토와 오이를 재배하면서 신엽과 노엽의 무기원소 함량을 분석하여 보고하였다. 그들은 노엽보다 신엽의 N 및 K 함량이 높고, Ca과 Mg은 신엽보다 노엽의 함량이 월등히 높으며, P의 경우 노엽보다 신엽의 함량이 높지만 큰 차이를 보이지 않았다고 하였다. 이들은 각각의 작물 재배시기에 따라 노엽과 신엽을 분리하여 채취하였고, 본 연구에서는 각 착과 절위에서 지상부의 잎 전체를 분석대상으로 삼은 차이가 있었다. 그러나 본 연구에서 착과 절위가 높아질 경우 총 수확한 잎이 많아질 뿐만 아니라 노엽의 비율이 증가하였는데, 이러한 결과는

Sonneveld와 Voogt(2009)의 보고 내용 중 신엽에서보다 노엽과 더 유사한 무기물 함량을 보이며, 착과 절위가 낮고 식물체가 어린 상태에서 채취한 잎은 신엽과 유사한 무기물 함량을 보이는 것으로 나타났다. 또한 Wilcox(1993)는 토마토를 정식한 후 105일까지 지상부 건물중 변화와 다량원소의 무기물 함량을 보고하였는데, 시간이 경과함에 따라 잎의 N, P, K, Ca 및 Mg 함량이 점차 감소하는 특징을 보였다고 하였다. Wilcox(1993)가 보고한 내용은 토경재배하면서 분석한 결과로써 고품배지경수경재배를 한 본 연구와는 방법상의 차이가 있었다.

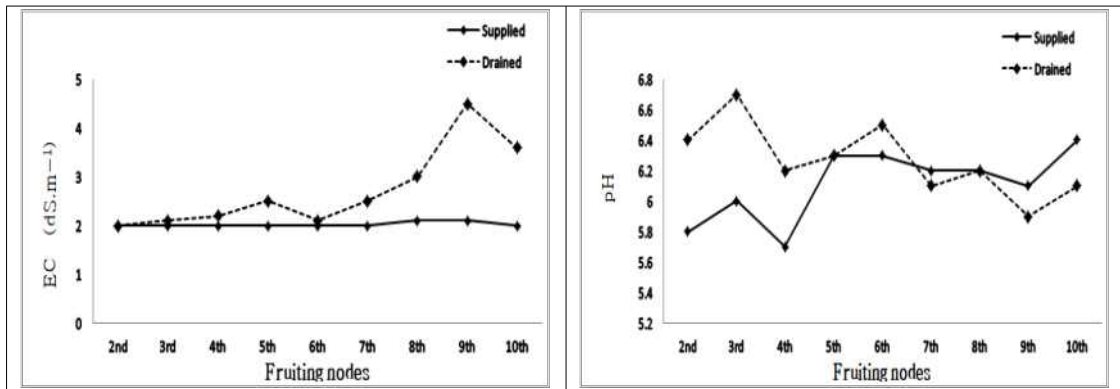
- Sonneveld와 Voogt(2009)이 보고한 내용과 본 연구결과를 비교할 때 질소를 제외한 P, K, Ca 및 Mg 함량이 상반된 결과를 보였고, Wilcox(1993)의 보고 내용과 비교할 때는 N를 제외한 모든 무기원소에서 상반된 결과를 보였다. 이와 같은 차이는 재배방법과 양액조성에서 원인을 찾을 수 있다.

- 본 연구를 위한 공급 양액은  $\text{NO}_3\text{-N}$  7,  $\text{PO}_4\text{-P}$  2, K 4, Ca 3, Mg 2  $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ 였고, 이를  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 환산하면 N 98, P 62, K 156, Ca 120 그리고 Mg는 48이다. 식물체 분석결과가 건물중에 기초한 % 함량으로 나타내고 있으며,  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도를 기준으로 K 및 Ca이 N보다 더 많은 양이 시비되었고, 이러한 이유로 양액의 EC에 더 큰 영향을 준 것으로 유추할 수 있다. 아울러 배액의 전기전도도(EC)와 그림에서 나타낸 배액의 각종 무기원소 농도 변화를 고려할 때 재배기간이 길어질수록 배지에 존재하는 K, Ca 및 Mg 등 양이온 농도가 대체적으로 높아졌는데 이는 결국 식물체의 흡수량 증가의 원인이 되었다고 판단된다. 그러나 음이온인  $\text{NO}_3\text{-N}$  및  $\text{PO}_4\text{-P}$ 의 경우 매 관비시 쉽게 용탈되므로(Bar-Yosef, 2008) 배액의 농도가 증가하였음에도 불구하고 배지 내 농도가 높아지지 않았고 결국 흡수량에 큰 영향을 미치지 않았다고 판단하였다.

○ 공급액 및 배액의 EC, pH 변화

- 방울토마토 반축성 수경재배 시 공급 양액 및 배출액의 EC 및 pH 변화는 아래 그림과 같다. 본 실험에서 활착기 이후부터 생육 후기까지 양액의 EC를  $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 조절하여 공급하였음에도 정식부터 4화방 개화기까지는 배액의 EC가 큰 차이를 보이지 않았으며, 5화방 개화기부터 높아지기 시작하여 9화방 개화기에는 배액의 EC가  $4.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에 도달하였다. 5화방 개화기부터 EC가 높아진 것은 여러 연구된 보고와 유사하게(Seo et al., 2003; Zhang et al., 2010b) 재배시기가 여름철에 접어들면서 작물의 수분 흡수량이 증가하기 때문인 것으로 생각된다.

<착과절위에 따른 방울토마토의 공급과 배액 및 pH 변화>

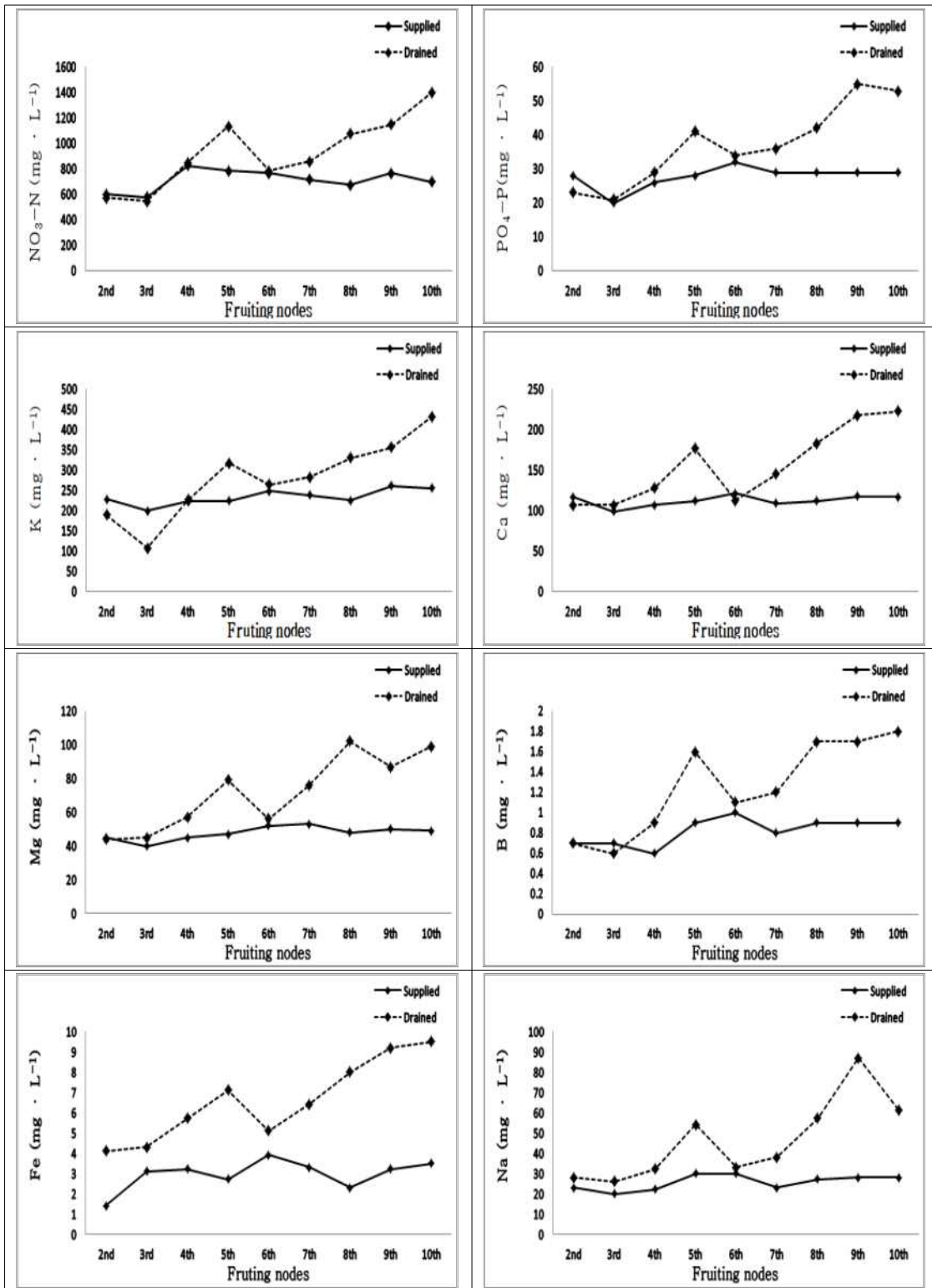


- Sonneveld와 Voogt(2009)에 의하면 물과 무기양분이 별도의 기작 하에 흡수되며, 각종 무기원소의 흡수 기작 또한 원소별로 다르다. 본 연구에서 동일하게 EC를 조절하여 양액을 공급하였음에도 대기온도가 높아지는 시기에 상대적으로 수분흡수량이 증가하였고, 이는 배지에 잔존하는 무기원소의 양이 증가하는 원인이 되어 배액의 EC가 점차 높아졌다고 판단된다. 아울러 배지에 양액을 공급하면 양액 속의 무기원소가 빠른 속도로 배지의 양이온 치환 부위에 흡착되며, 양이온의 흡착량이 일정 수준에 도달된 후에야 식물이 흡수할 수 있는 양으로 증대된다(Bar-Yosef, 2008). 이 시기에 도달하면 배액의 무기원소 농도도 높아지므로 본 연구의 재배 후기에 수거한 배액의 EC가 높아진 또 다른 원인이 되었다고 생각한다.
- pH는 작물 생육에 있어 양분 흡수와 밀접한 관계가 있으며 대부분 원예작물의 경우 pH 5.5~6.8의 약산성을 좋아한다(Lunt and Clark, 1959; Yun et al., 2000). 본 실험에서 공급 양액의 pH를 5.6~6.4 범위로 조절하였음에도 생육 초기에는 배액의 pH가 6.2~6.7로 공급액보다 높은 경향이었고, 7화방 개화기부터는 공급액보다 낮아지는 경향이였다. 이는 Park과 Kim(1998)의 연구 보고처럼 영양생장이 완성할 때는 NO<sub>3</sub>-N 등 음이온의 흡수량이 많고, 생식생장기에 K<sup>+</sup> 등 양이온의 흡수가 증가하여 뿌리로부터 수소이온(H<sup>+</sup>)을 방출하기 때문인 것으로 생각된다.

○ 공급액 및 배액의 무기성분 변화

- 공급액 및 배액을 채취하여 NO<sub>3</sub>-N, P, K, Ca, Mg 등을 분석한 결과는 아래 그래프와 같다. NO<sub>3</sub>-N과 PO<sub>4</sub>-P는 생육초기인 4화방 개화기까지 공급액 및 배액의 농도가 유사하였으나, 5화방 개화기 이후에는 공급액보다 배액에서 높은 농도로 분석되었고, 특히 9화방 개화기에는 공급액보다 2.0~2.3배 높았다. K는 3화방 개화기에는 배액의 농도가 낮았으나 5화방 개화기 이후에는 NO<sub>3</sub>-N 및 P와 유사하게 높아지는 경향이였다. Ca 및 Mg는 2, 3 및 6화방 개화기에는 공급액과 배액의 농도 차이가 크지 않았으나 각각 5화방 및 7화방 개화기 이후에는 높아지는 경향을 보였다. B와 Fe 역시 착과 절위별로 공급액보다 배액에서 농도가 높았으며, 특히 5, 8, 9, 10 화방 착과 절위에서 채취한 시료액은 1.5~3.5배 가량 높았다.

<착과절위에 따른 방울토마토 공급과 배액의 무기성분 변화>

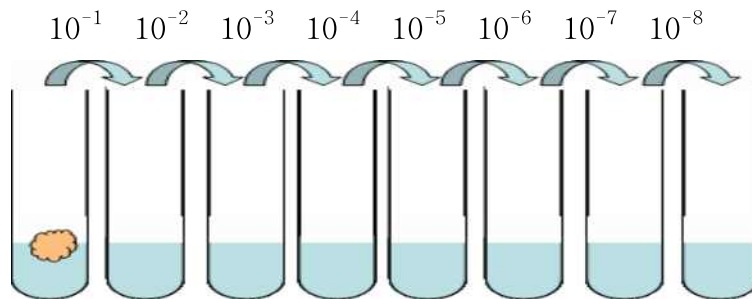


- 전반적으로 본 실험의 연구 결과로 미루어 보아 공급액 보다 배액에서 무기성분 농도가 높은 경향을 나타내었고, 특히 5화방 및 9화방 착과 절위에서 채취한 시료의 농도가 높았다. 이는 고온기로 변화되면서 작물체의 수분 흡수량이 증가하여 배출되는 물량이 적어지고 배지 내에 집적된 무기원소의 양이 증가한 주요 원인과 함께 앞에

서 설명한 요인들이 작용하였기 때문인 것으로 판단된다. Zhang et al.(2010a)도 파프리카의 생육시기별로 배액의 무기원소 농도를 분석하였을 때, 생육 후기에 무기성분 농도가 급격히 높아졌다고 하였다. Kim et al.(2001)도 작물이 고온기에 수분을 많이 흡수하기 때문에 배지의 무기이온 농도가 높아지며 무기이온 농도 변화는 일사량과 상관관계가 높다고 보고한 바 있다.

○ 양액 공급액과 배액의 미생물 조사

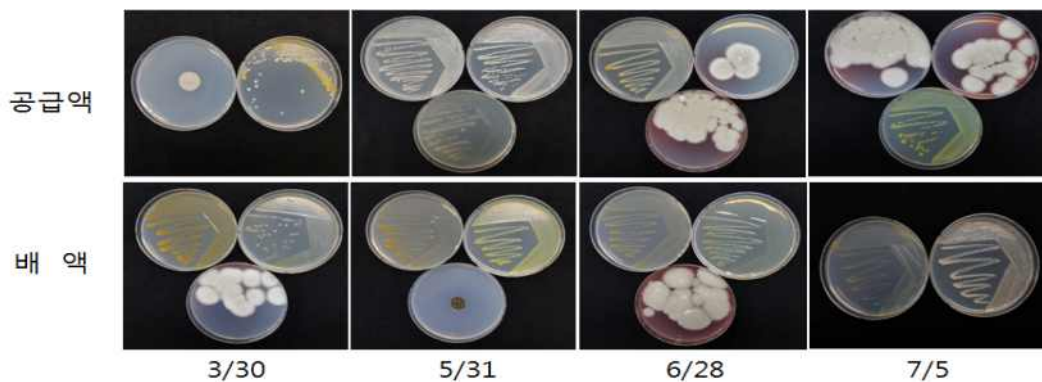
- 토마토의 배액 재활용을 위한 일환으로 양액 요구량을 구명하기 위한 연구로 실험기간 동안의 공급과 배액의 미생물을 조사하였는데 배지제조는 PDA 배지(PDA19.5g, 증류수500ml)를 만들어 멸균하여 50℃ 정도로 냉각시킨 후 분주 직전(세균 분리 : Cycloheximide 50mg/l, 곰팡이 분리 : Streptomycin 0.5g/l) 항생제 첨가하여 충분히 교반 후 Petri-dish에 분주하였다. 희석은 토양 1g (또는 1ml)을 9ml 멸균증류수에 혼합하여 vortexing으로 원하는 희석배수 만큼 희석하였다. 희석액 1ml을 배지위에 뿌리고 도말봉으로 마를때 까지 도말하고 25℃~30℃에서 배양하여 형성된 colony 계수하였으며 계수는 ml당 미생물수 계산은 미생물수 = colony 개수 ×1/희석배수로 하였다.



- 생육기간 중 양액의 공급액과 배액의 미생물을 분리 동정한 결과 공급액과 배액에 분포하는 미생물의 수는 2.3~9.4×10<sup>6</sup> cfu/ml로 큰 차이가 없으며 종류도 2~3종으로 매우 단순하였다. 미생물 중 병원균으로 의심할 수 있는 미생물도 2종(Pseudomonas sp. Penicillium sp.)이 분리되었지만 재배 중 문제없을 것으로 판단 된다

<공급액과 배액의 미생물 분리 동정>

구 분	총미생물 (cnu/ml)	미생물 종류 (종)	대표 미생물	병원균 여부*	
3월	공급액	$8.5 \times 10^6$	2	<i>Trichoderma</i> sp.	×
	배 액	$9.4 \times 10^6$	3	<i>Penicillium</i> sp.	△
5월	공급액	$6.7 \times 10^6$	3	<i>Pseudomonas</i> sp.	△
	배 액	$3.5 \times 10^6$	3	<i>Trichoderma</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	△
6월	공급액	$9.4 \times 10^6$	3	<i>Penicillium</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	△
	배 액	$4.3 \times 10^6$	3	<i>Penicillium</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	△
7월	공급액	$2.3 \times 10^6$	3	<i>Penicillium</i> sp. <i>Pseudomonas</i> sp.	△
	배 액	$5.2 \times 10^6$	2	<i>Pseudomonas</i> sp.	△



<시기별 배액과 공급액의 미생물 분리 동정>

○ 배액의 부유물과 무기성분

- 토마토 수경재배 시 양액을 공급하면 식물체가 생장에 필요한 수분 및 양분을 흡수 하며 나머지는 배지 밖으로 배출하는데 배출한 배액을 재활용하기 위하여 배액의 부유물을 조사한 결과 부유물은  $21.6 \cdot m^{-1}$  이었으며, EC는  $2.56dS \cdot m^{-1}$ , pH는 5.8, Ca는  $220.7 \cdot m^{-1}$ , Mg  $118.3 \cdot m^{-1}$ , K  $148.6 \cdot m^{-1}$ , Na  $60.4 \cdot m^{-1}$  이었다.

<배액의 부유물과 무기성분>

부유물 ( $\cdot m^{-1}$ )	EC ( $dS \cdot m^{-1}$ )	pH	Ca	Mg	K	Na
			( $\cdot m^{-1}$ )			
21.6	2.56	5.8	220.7	118.3	148.6	60.4



○ 토마토 과의 특성과 수량성

양액요구량에 따른 방울토마토의 과 특성은 과의 길이는 3.2cm, 과의 폭은 2.5cm 였고 1개 과 무게는 12.7g 이었으며 10a당 수량은 4,491kg이었다.

<방울토마토의 과의 특성>

구 분	과 장 (cm)	과 폭 (cm)	과 중 (g)	수 량 (kg/10a)
방울토마토	3.2	2.5	12.7	4,491

■ 일반토마토 반축성 수경재배 시 착과절위에 따른 식물체, 공급액 및 배액의 무기성분 농도 변화

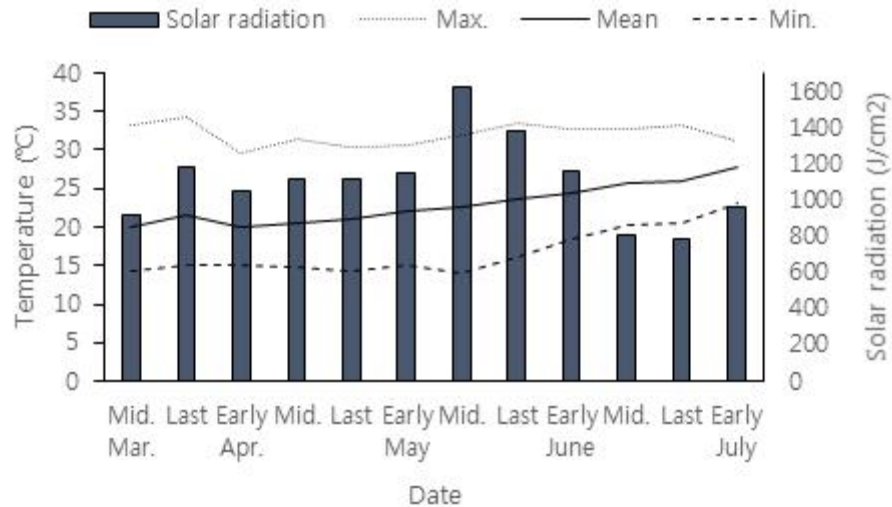
○ 실험 장소 및 재료

- 충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서, 40일간 육묘한 일반토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Bonus, DeogyangGreen, Korea) 묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다.

○ 재배관리

- 40일간 육묘한 토마토 묘를 2016년 3월 10일 펄라이트 배지가 충전된 재배 베드에 재식거리 160×20cm로 1주씩 정식하였고 6월 28일까지 재배하였다. 본 연구를 위한 양액은 야마자키 토마토 전용액으로, 다량원소의 조성은 NO<sub>3</sub>-N7, PO<sub>4</sub>-P2, K4, Ca3, Mg2meq·L<sup>-1</sup>, 미량원소는 Fe 2, B 0.2, Mn 0.14, Zn 0.02mg·L<sup>-1</sup>였고 질산을 이용하여 pH를 5.5-6.0 범위에서 조절하였다. 정식기부터 양액을 공급하였는데 누적 일사량이 600W·m<sup>-2</sup>에 도달할 때 1회 공급되며 관수 시간은 생육초기에는 2분으로, 그리고 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다. 배양액 EC의 경우 정식 후 활착기는 1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였다.

- 실험기간 중 시설 내의 최저 온도가 13℃ 이하로 낮아지면 온풍기가 자동으로 작동 되도록 설정하였으며, 생육기간 중 3-4월 평균기온은 19.9-21.1℃, 5월은 22.2-23.7℃, 6월은 24.5-26.1℃였다. 일사량은 3월 중하순에는 920-1,184J/cm<sup>2</sup>, 4월상순에서 5월 상순까지는 1,046-1,143J/cm<sup>2</sup>으로 비슷하였고, 5월 중순 1,622 J/cm<sup>2</sup>로 가장 높았다가 이후 감소하여 6월하순에는 789J/cm<sup>2</sup>였다. 측지는 약 10cm가 되었을 때 제거하였고, 착과 유도를 위하여 4-CPA(팜한농 토마토톤, Farmhannong, Seoul, Korea)를 150배로 희석하여 1주일에 2회 분무기로 살포하였다. 시험구는 완전임의배치 3반복으로 배치하였으며, 재배 중 기타 관리는 Lee 등(2017)에 준하였다.



<반축성 수경재배 시 시설내 온도 및 일사량 변화>

○ 생육조사

- 초장, 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭 등을 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 따라 착과절위별 화방의 2-3개 꽃이 50% 개화된 시기에 반복당 10 주씩 조사하였다. 또한 반복당 3주씩 식물체를 채취하여 건조기에 80℃로 48시간 건조시킨 후 건물중을 측정하였으며 건조된 잎은 20 mesh screen을 통과하도록 분쇄하여 무기성분 분석에 사용하였다.

○ 무기성분 분석 및 통계처리

- 식물체 잎, 양액의 공급액과 배액의 무기성분 분석방법은 Lee 등(2017)과 동일하였다. 착과절위별 식물생육을 조사한 결과는 LSD 검정을 통해 처리간 평균을 비교하고 회귀분석을 하여 생육조사 시기별 각 생장 조사항목의 변화하는 경향을 파악하고자 하였다. 또한 식물체, 공급양액 및 배액의 무기성분 농도 변화를 분석하여 비교하였으며 CoStat 프로그램(ver. 6.3, CoHort Software, CA, USA)으로 통계분석을 하였다.

○ 일반토마토 착과절위에 따른 식물체 생육 상황

- 실험기간 중 각 착과절위 별로 화방의 꽃 중 2-3개가 약 50% 정도 개화되었을 때 조사한 토마토의 생육은 아래 표와 같다. 2화방이 개화하는 시기의 초장은 약 54cm였고, 착과절위가 높아질수록 초장 신장량이 많았으며, 8화방 개화기에는 181cm까지 신장하였다. 8화방 개화기의 엽수는 30.0매, 엽장 51.8cm, 엽폭 50.9cm로 2번째 화방 개화기와 비교하여 엽수는 2.4배, 엽장은 1.6배, 엽폭은 1.9배 각각 증가하였고, 4화방 개화기 이후 8화방 개화기까지 엽장 및 엽폭의 신장량은 적은 편이었다. 엽면적은 2화방 개화기 1,795cm<sup>2</sup>였으며, 8화방 개화기에는 6.9배가 증가된 12,434 cm<sup>2</sup>였다. 다른

연구자의 실험과(Kim 등, 2001; Rhee 등, 2003a, 2003b; Seo 등, 2003; Zhang 등, 2010) 비교하여 볼 때, 초장은 작았으나 화방수, 엽폭, 엽장 및 엽면적이 비슷하여 본 실험에서는 절간이 짧은 품종을 사용하였다.

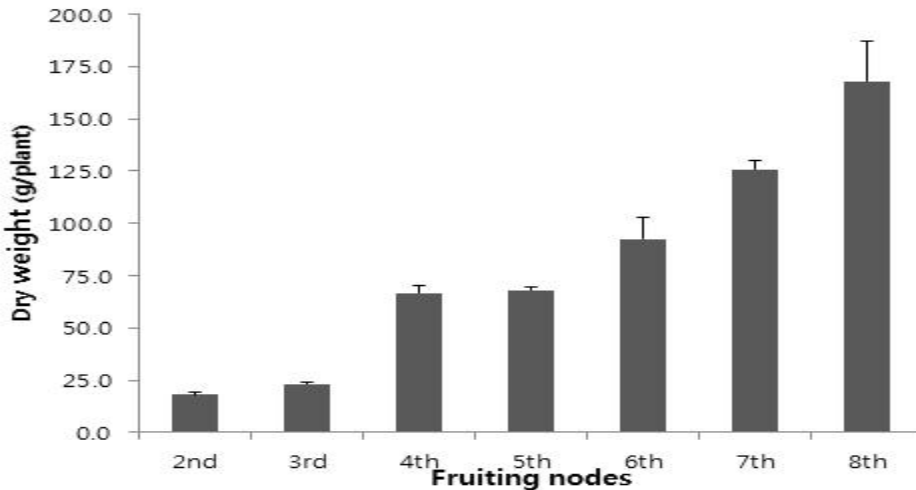
<일반토마토 반축성재배시 착과절위에 따른 생육사항>

착과절위	초 장 (cm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> /주)
2화방	54	12.7	31.9	26.2	1,795
4화방	91	17.8	48.7	44.0	6,656
6화방	125	22.9	50.6	48.3	9,692
8화방	181	30.0	51.8	50.9	12,434
LSD <sup>z</sup>	4.55	1.15	2.28	5.50	2,493
Linear	***	***	***	***	***
Quadratic	***	***	***	***	***

<sup>z</sup> Least significant difference test at 5% probability.

\*\*\*Significant at  $p \leq 0.001$ .

- 아래 그림은 각 착과절위 화방이 개화하는 시기에 조사한 토마토 식물체 지상부의 건물중 변화를 나타낸 것으로, 2-3번째 화방 개화기에 토마토 주당 건물중은 18-23g이었으며 4-5화방 개화기에는 3.7배 증가한 67-68g으로 조사되었다. 6화방 개화기 이후에는 건물중이 꾸준히 증가하여 8화방 개화기에는 168g으로 9.3배 증가하였다. 본 실험 결과는 순환식 펄라이트 양액재배시 생육 초기에는 건물중이 높으나(Rhee 등, 2003a, 2003b) 생육 후기에는 낮다는 보고와(Kim 등, 2001) 'Trust' 품종을 10개월 장기재배하면 최대 800g까지 증가한다는 보고와(Bellert 등, 1998) 다른 결과를 보였으며 방울토마토반축성양액재배시 건물중변화와의 유사한 경향이었다(Lee 등, 2017).

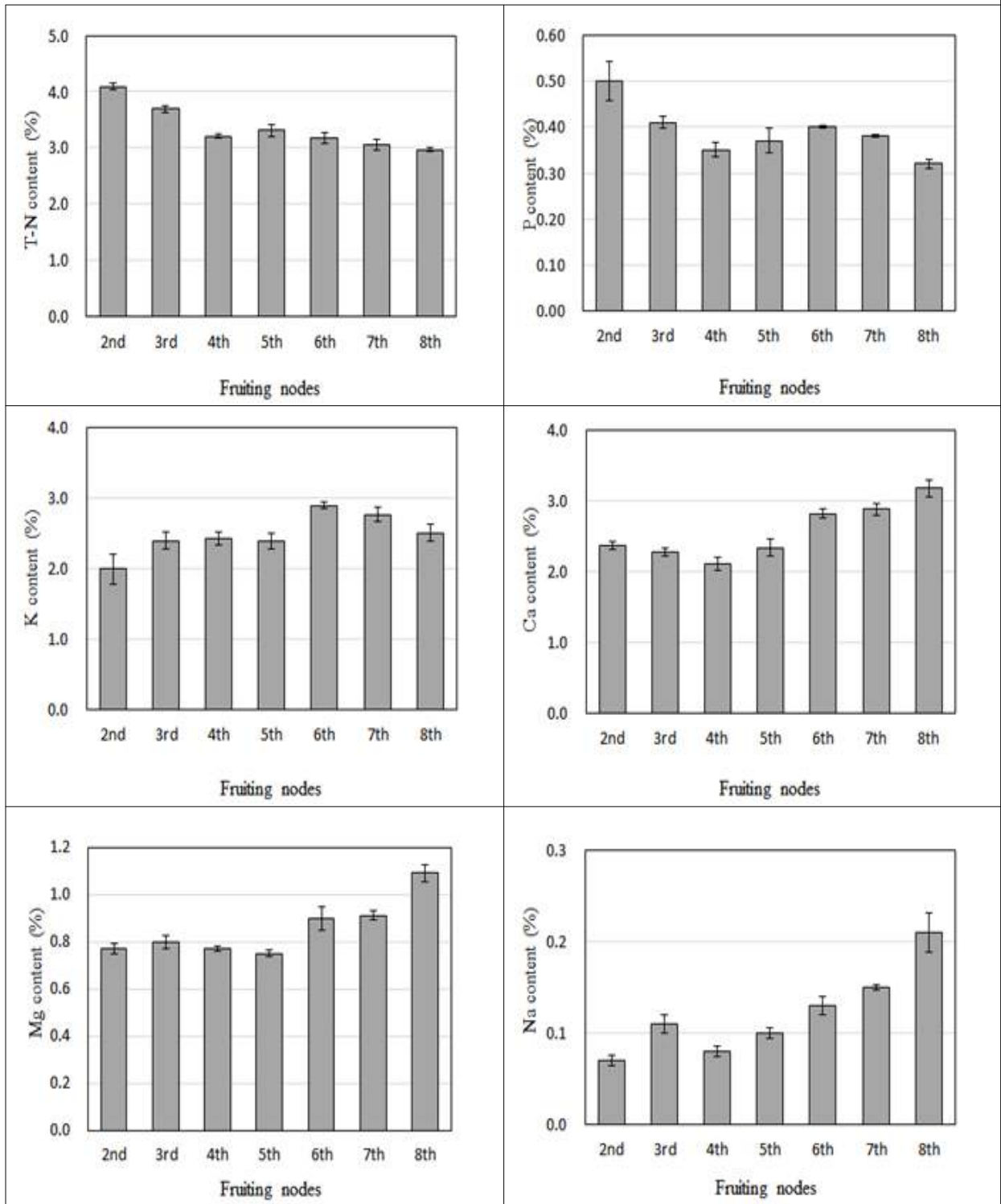


<반축성 재배시 착과절위에 따른 일반토마토의 건물중 변화>

○ 일반토마토 무기성분 변화

- 착과절위별 화방이 개화하는 시기에 식물체 잎을 채취하여 다량원소 함량을 분석한 결과는 위와 같다. T-N은 생육 초기인 2화방 개화기에 4.09%로 함량이 가장 높았으나, 이후 3화방부터 점차 낮아져 4화방 개화기 3.21%, 6화방 개화기 3.18% 그리고 8화방 개화기엔 2.97%로 낮아져, 원예연구소 토마토 배양액을 사용할 경우 N 3.0-3.3%와 비슷하였으나(Seo 등, 2003), 엽병의 사관 추출액 보다 높았다(Kinoshita 와 Masuda, 2012). 식물체의 P 함량 역시 생육 초기인 2화방 개화기에 0.5%로 가장 높았고, 이후 점차 낮아져 4-8화방 개화기에 0.32-0.4%로 분석되어, 원예연구소 토마토 배양액과 비교할 때 다소 높은 경향이였다. K 함량은 T-N 함량과 반대로 생육 초기인 2화방 개화기에는 2.0%로 함량이 적었으나, 3-5화방 개화기까지 2.24-2.43%로 약간 높아지고, 6-8화방 개화기에는 2.51-2.90%로 함량이 증가되어, 원예연구소 토마토 배양액 3.9-5.3%보다는 낮은 양상을 보였다.
- Ca 함량은 2화방 개화기에 2.38%였으나, 3화방 및 4화방 개화기에는 약간 감소하다가 5화방 개화기부터 다시 증가하기 시작하였고, 특히 8화방 개화기에는 3.32%로 분석되었다. 8화방 개화기에 Ca 함량은 2화방 개화기 보다 1.4배 증가하여 생육 후기로 갈수록 함량이 높아지는 경향이였다. 이는 원예연구소 토마토 배양액을 사용할 경우 (0.6-0.9%) 보다 높은 경향이였다. Mg 함량도 전 생육기간 0.77-1.09%의 범위로 분석되었는데 6-8화방 개화기의 함량이 약간 높은 경향으로 원예연구소 토마토 배양액을 사용한 경우(0.3-0.4%) 보다 높았다. Na은 2화방 개화기에 0.07%로 가장 낮았으나, 3화방 개화기부터 꾸준히 증가하여 8화방 개화기에는 0.21%까지 증가하였다. 그 외 Cu는 2화방 개화기에 11mg·kg<sup>-1</sup>에서 화방이 증가할수록 꾸준히 감소하여 8화방 개화기에는 3mg·kg<sup>-1</sup>이었으며, Zn은 15-26mg·kg<sup>-1</sup>이었다 (data not shown)

<일반토마토의 착과 절위에 따른 엽의 무기성분>



- 토마토의 반축성 재배시 식물체의 T-N와 P 함량은 착과절위가 증가함에 따라 감소되는 경향이였으나, Ca 함량은 증가하는 경향으로 방울토마토(Lee 등, 2017)의 결과와 유사하였다. 그러나 일반토마토는 K, Mg 및 Na 함량이 생육이 진전될수록 증가하였으나, 방울토마토는 착과절위별 차이가 적은 편이었다. Wilcox(1993)는 토마토 토경재배 시 재배기간이 경과함에 따라 잎의 질소 및 인산 함량뿐만 아니라, K, Ca

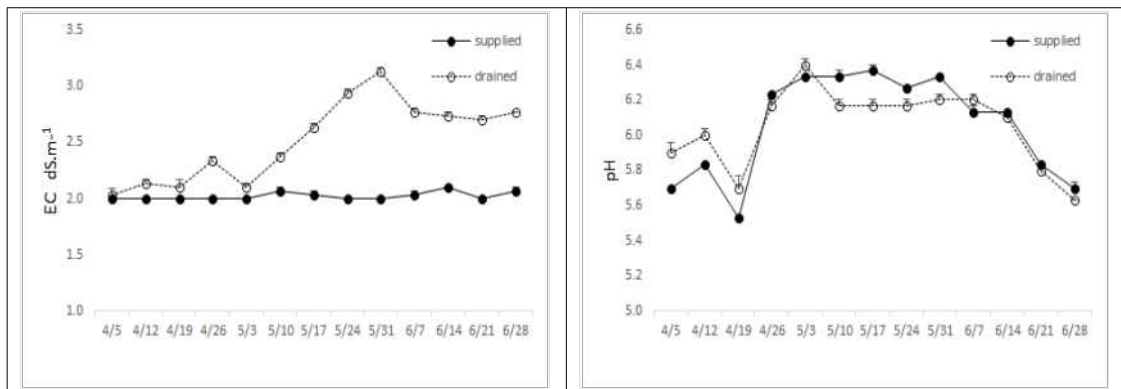
및 Mg 함량이 점차 감소한다고 하였으나, 본 실험에서는 K, Ca, Mg 및 Na 함량이 증가하는 경향을 보여 다른 특성을 보였다. 이는 사용하는 배양액 중 다량원소의 함량 차이에 기인한다(Seo 등, 2003).

- 또한 Sonneveld와 Voogt(2009)는 토마토와 오이 재배시 노엽보다 신엽의 N 및 K 함량이 높고 Ca과 Mg은 신엽보다 노엽에서 함량이 월등히 높으며 P은 큰 차이가 없다고 보고하였다. 그러나 본 실험에서 K 함량이 높아지는 경향을 보였으며 이는 재배 조건 및 시기, 품종 차이에 기인한 결과로 생각된다. 아울러 공급되는 양액 중 N보다 K과 Ca이 더 많이 시비되고, 수경재배 기간이 길어질수록 배지에 존재하는 K, Ca 및 Mg 등 양이온 농도가 높아져 식물체의 흡수량이 증가된 반면 음이온인 NO<sub>3</sub>-N 및 PO<sub>4</sub>-P는 수경재배 시 쉽게 용탈되어 재배기간이 경과됨에 따라 감소하는 것으로 생각된다(Lee 등, 2017).

○ 반축성 재배시 일반토마토의 공급액과 배액의 EC, pH 변화

- 일반토마토의 생육단계별 공급하는 양액과 배액의 EC와 pH를 조사한 결과는 아래와 같다. 공급액의 EC는 정식 후부터 활착기까지 1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였다. 정식 후 생육 초기인 4월 5일까지는 공급액보다 배액의 EC가 약간 낮거나 비슷하였다. 이후 5월 10일까지 배액의 EC는 2.5dS·m<sup>-1</sup>까지 서서히 증가하였으며, 5월 17일부터 수확 종료까지 최고 3.0dS·m<sup>-1</sup>까지 증가하였다 이후 다소 농도가 감소하였다.

<작과절위에 따른 공급과 배액의 EC와 pH의 변화>



- 정식 25일 이후 EC가 높아진 것은 여러 연구 보고와 유사하게(Lee 등, 2017; Seo 등, 2003; Zhang 등, 2010b) 재배시기가 여름철이고 대기온도가 높아지면서 작물의 수분 흡수량이 증가한 것이 원인이라고 생각한다. Sonneveld와 Voogt(2009)에 의하면 물과 무기양분의 흡수 기작이 다르고, 각종 무기원소 또한 원소별로 흡수기작이 다르다. 본 연구에서는 생육 초기와 후기로 구분하여 일정하게 EC를 조절한 양액을 공급하였지만 대기온도 상승이 원인이 된 수분 흡수량 증가가 배지에 무기원소가 집적되는 원인이 되어 배액의 EC가 점차 높아졌다고 판단한다. 아울러 본 실험의 봄 작형

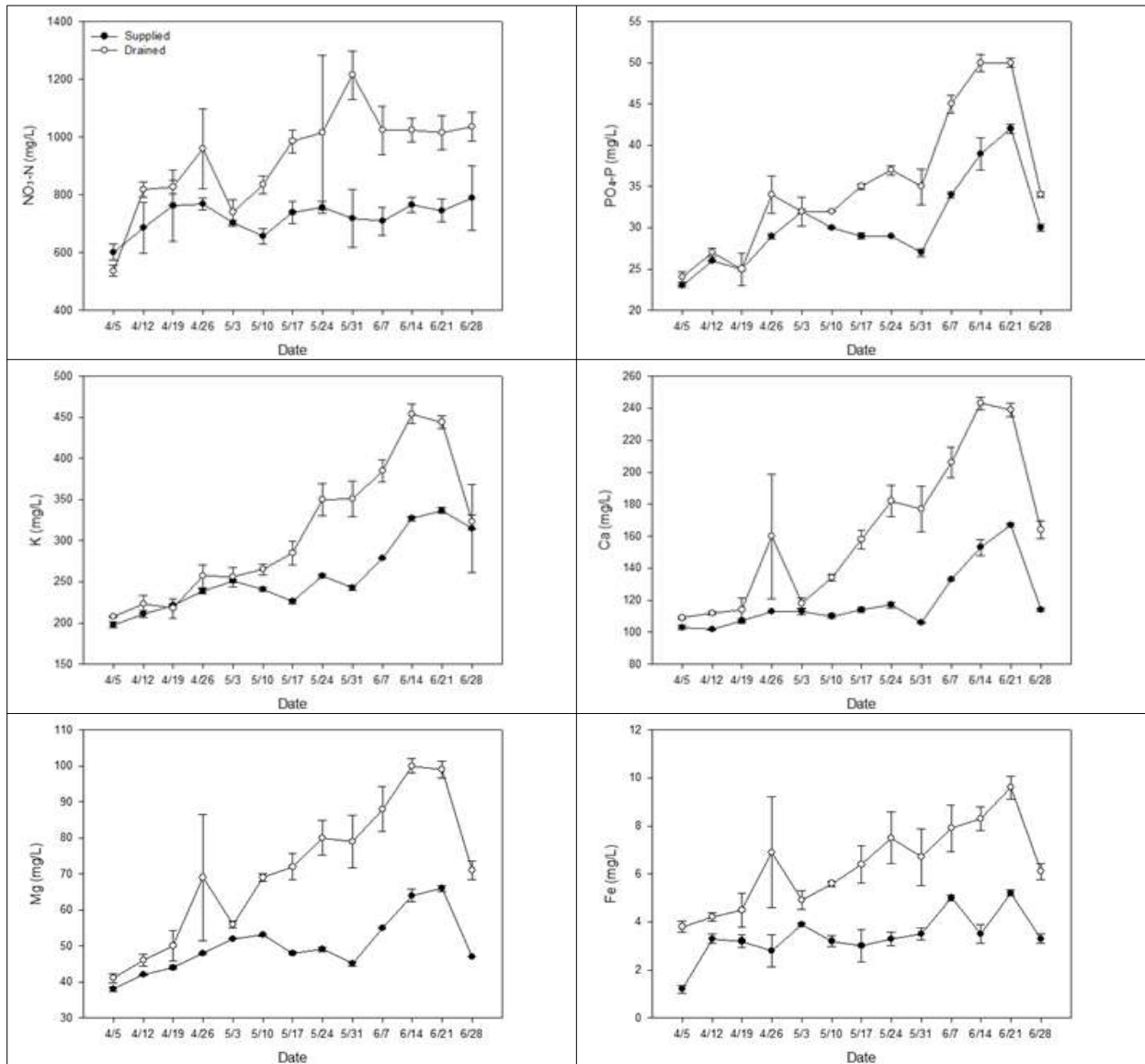
일반토마토에서 배액의 최고 EC는  $3.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 동일 작형 방울토마토  $4.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 보다 낮았는데(Lee 등, 2017), 이는 토마토 품종 및 생육 상태에 따라 수분 및 무기성분 흡수에 차이가 발생하였기 때문으로 생각한다.

- 작물의 원소별 양분 흡수에 큰 영향을 미치는 pH는 대부분 원예작물의 재배를 위해 양액의 pH를 5.5-6.5의 범위로 조절할 것을 추천하고 있다(Nelson, 2012; Yun 등, 2000). 본 실험에서 2주까지는 공급액의 pH를 조절하지 않아 배액의 pH가 높았다. 그 이후 공급액의 pH를 5.6-6.4 범위로 낮추어 공급한 결과, 3-8주까지는 배액의 pH가 약간 상승하는 경향을 보였고, 9주 이후부터는 공급액보다 배액의 pH가 낮아지는 경향이였다. Seo 등(2003)은 반축성 완숙 토마토 펄라이트 재배 시 적정 급액량과 급여 농도에서 배액의 EC는 생육 중후기로 갈수록 높아지고 pH는 정식 후 75일까지는 높아졌다가 낮아진다고 보고한 바 있다. Zhang 등(2010b)은 폐양액과 기존 비료를 이용한 토마토 관비재배 시 생육 후기로 갈수록 EC가 높아지고 pH가 낮아졌다고 보고하였다. Lee 등(2017)도 방울토마토 반축성 수경재배에서 유사한 결과를 보고한 바 있다. 이는 생장이 왕성한 생육초기에  $\text{NO}_3\text{-N}$  등 음이온의 흡수량이 많아 pH가 높은 반면에, 과실이 발달하는 생식생장기에  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  등 염기성 양이온의 흡수가 증가하고 뿌리로부터 수소이온( $\text{H}^+$ ) 및 유기산 등이 방출하기 때문인 것으로 생각된다(Jun 등, 2005; Park과 Kim, 1998).

○ 공급액과 배액의 무기성분 함량 변화

- 생육기간 동안 공급액과 배액의 무기원소 농도를 분석한 결과는 아래그림과 같다. 생육초기에는 공급액과 배액의  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도 차이가 크지 않았지만, 정식 5주 후부터 생육 말기까지 배액의 농도가 높았고, 특히 정식 12주에는 공급액( $718\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )보다 배액( $1,215\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )에서 1.7배 가량 높았다.  $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 생육 초기인 정식 6주 후까지는 공급액과 배액의 농도가 비슷하였으며, 이후 생육이 진전됨에 따라 배액의 농도가 높아졌고, 정식 후 13주-15주에는  $45\text{-}50\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 높은 농도로 분석되었다. K은  $\text{PO}_4\text{-P}$ 과 같은 경향으로 공급액과 배액의 농도가 유사하다가 배액의 농도가 점차 높아져, 6월 7일 이후에는 공급액보다 배액 농도가 1.4배 높았으며 생육 종료 시점에는 공급액과 배액이 비슷하였다. Ca 및 Mg은 정식 25일경인 4월 5일까지는 공급액과 배액 농도가 비슷하였고 생육 후기로 갈수록 배액에서 높아졌다. 또한 미량원소인 Fe, B 및 Na도 생육초기부터 배액에서 함량이 높았으며 생육 후기에는 더 높은 경향이였다(data not shown).

<일반토마토의 생육 진전에 따른 공급과 배액의 무기성분 변화>



- 딸기 순환식 수경재배시 생육기간 동안 무기원소의 성분 변화가 거의 없다고 하였는데(Jun 등, 2005), 본 실험의 연구 결과에서 5월 10일 이후에는 공급액보다 배액에서 무기원소 농도가 높은 경향이었는데, 이는 토마토(Kim 등, 2001), 방울토마토(Lee 등, 2017), 파프리카(Zhang 등, 2010a)처럼 고온기에는 식물체의 수분 흡수량이 증가하고, 배출되는 배액량이 감소함에 따라 배지 내에 집적된 무기원소의 양이 증가한 요인으로 판단되며 이러한 무기이온 농도 변화는 위 그래프에서 보는 바와 같이 기온 및 일사량과 상관관계가 높은 것으로 생각된다. 아울러 금후에는 효율적인 양액 관리를 위한 무기원소 교정 방법에 대한 추가 연구가 필요한 것으로 생각된다.



○ 토마토 과의 특성과 수량성

- 양액요구량에 따른 일반 토마토의 과 특성은 과의 길이는 4.3cm, 과의 폭은 5.5cm 였으며 1개 과 무게는 115.2g 이었으며 10a당 수량은 5,972kg이었다.

<양액요구량에 따른 과 특성 및 수량>

구 분	과 장 (cm)	과 폭 (cm)	과 중 (g)	수량 (kg/10a)
일반토마토	4.3	5.5	115.2	5,972

■ 일반토마토 및 방울토마토 억제 수경재배 시 식물체 및 배액의 무기성분 변화

○ 실험장소 및 재료

- 충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서, 묘는 40일 간 육묘한 일반토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Dafnis, Syngenta, Korea) 방울토마토 (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. TY Tiny, Nongwoobio Co., Suwon, Korea) 묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다.

○ 재배관리

- 2016년 8월 18일 펄라이트 배지가 충전된 베드에 재식거리 160×25cm로 토마토 묘를 1주씩 정식하여 2017년 2월 10일까지 실험하였다. 양액은 야마자키 토마토 전용액을 사용하였으며, 다량 원소의 조성은 NO<sub>3</sub>-N 7, PO<sub>4</sub>-P 2, K 4, Ca 3, Mg 2meq·L<sup>-1</sup>, 미량 원소는 Fe 2, B 0.2, Mn 0.14, Zn 0.02mg·L<sup>-1</sup>였다. 양액은 누적일사량이 600W·m<sup>-2</sup>에 도달할 때 1회 공급하였고, 관수 시간은 생육초기에는 2분으로 (125ml/주), 그리고 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 20~30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다. 공급 양액의 EC는 정식 후 활착기까지는 1.5~1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0±0.3dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였으며, pH는 작물 생육 범위로 조절하지 않고 사용하였다. 실험 기간 중 시설 내의 최저 온도가 15℃이하로 낮아지면 온풍기가 자동으로 작동되도록 설정하였다. 측지는 10cm내외 되었을 때 제거하였고, 착과 유도를 위하여 4-CPA(동부 토마토톤, FarmHannong, Seoul, Korea)을 150배로 희석하여 1주일에 2회를 분무기로 살포 하였다. 시험구는 완전임의배치 3반복으로 배치하였으며, 재배 중 기타 관리는 충남농업기술원 과채연구소 토마토의 재배방법에 준하였다.

○ 생육조사, 무기원소 분석 및 통계분석

- 앞의 반측성작형 실험과 동일하게 수행하였다.

○ 실험기간의 기상 현황 및 정식기 묘 소질

- 시험기간의 시설내 기상의 평균기온은 정식 후 생육 초기인 2016년 9월 까지 23.1~27.9℃였으며 그 이후는 낮아져 19.0~20.7℃내외였다. 최고기온은 24.2~36.0℃, 최저

기온은 14.3~22.1℃, 습도는 정식 후 11월까지는 생육에 양호한 49.9~74.1% 내외였으며 이 후 동절기로 접어들면서 시설 내 18.℃ 유지를 위하여 난방을 가동 하므로 시설내 습도가 34.1 ~42.5%로 낮은 편이었다.

<시험기간의 기상>

구 분	평 균 (℃)	최 고 (℃)	최 저 (℃)	습 도 (%)	근권온도 (℃)
2016. 8	하 순 25.5	34.1	20.4	62.5	25.8
	상 순 27.9	36.0	22.1	68.9	28.6
1016. 9	중 순 24.5	31.6	19.5	74.1	25.3
	하 순 23.1	30.1	17.6	74.1	23.7
	상 순 20.7	28.2	15.4	72.9	21.4
2016. 10	중 순 18.9	25.6	14.3	69.6	19.1
	하 순 20.6	25.2	18.5	70.3	20.6
	상 순 20.9	26.3	18.4	55.6	21.2
2016. 11	중 순 20.6	25.1	18.2	57.3	20.9
	하 순 20.4	24.2	18.4	49.9	20.5
	상 순 19.9	24.4	16.8	45.1	19.7
2016. 12	중 순 20.7	25.4	18.7	45.2	20.3
	하 순 20.2	24.7	17.9	45.1	20.3
	상 순 20.3	24.3	18.1	42.9	20.4
2017. 1	중 순 20.3	25.2	17.5	34.2	20.5
	하 순 19.0	25.7	16.4	34.1	19.2

정식기의 묘의 소질로 초장은 일반토마토는 28cm, 방울토마토 19cm, 엽수는 5.0~5.7매이며 1주당 건물중은 일반토마토 0.53g, 방울토마토 0.34g으로 일반토마토가 무거웠으며 정식 하기에 양호 하였다.

<정식 묘의 생육사항>

구 분	초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	건물중(g/주)		
							생 중	건 중	비율 (%)
일반토마토	28	5.4	5.0	15.8	10.6	117	6.7	0.53	7.9
방울토마토	19	4.0	5.7	10.4	6.7	529	3.7	0.34	9.2

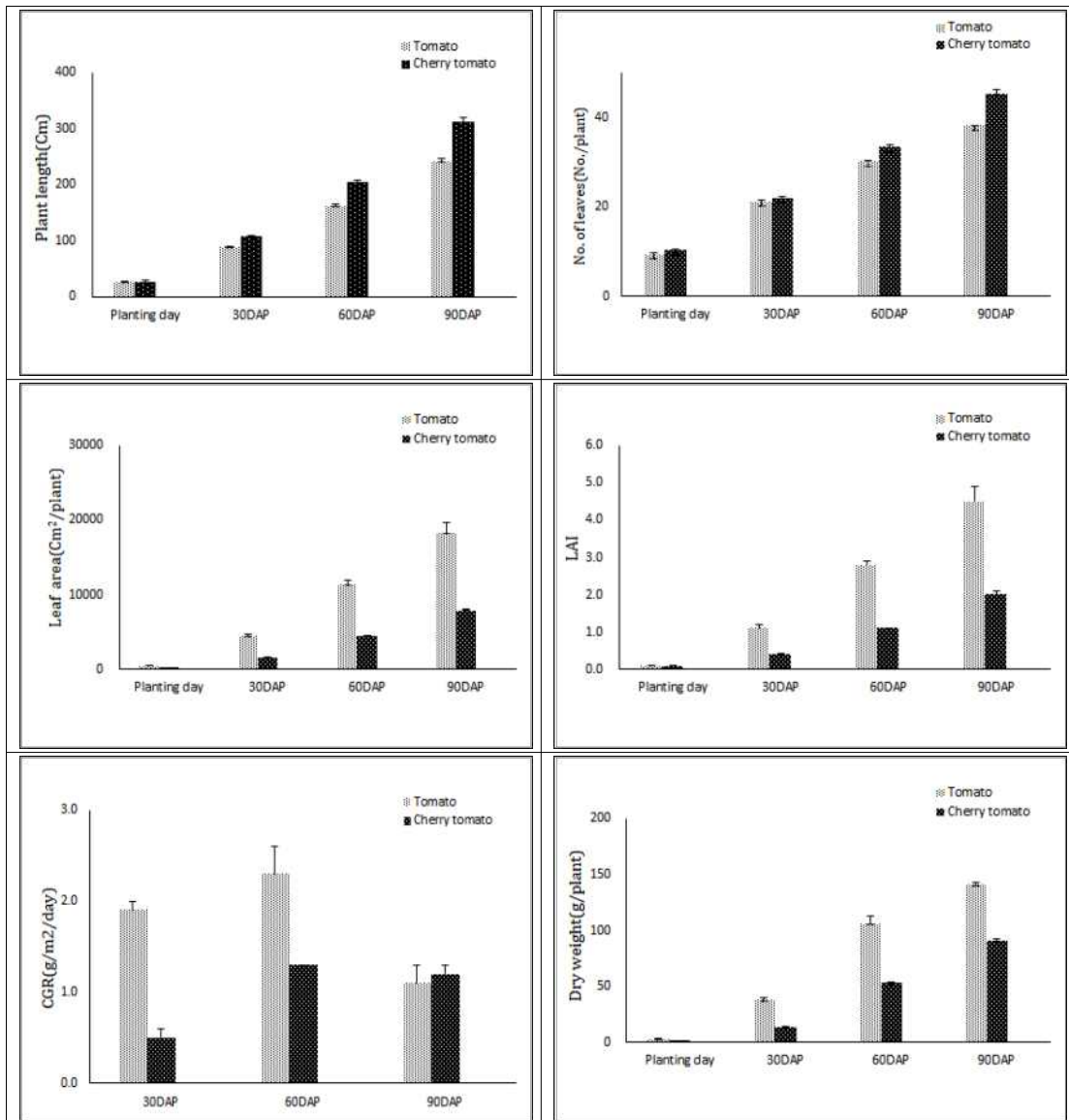
○ 생육 진전에 따른 일반·방울토마토의 생육상황

- 생육 진전에 따른 생육 상황은 아래 그림에서 보는 바와 같이 초장은 일반토마토 보다 방울토마토가 긴 편으로이었으며, 정식 후 90일에는 일반토마토는 292cm, 방울토

마토는 313cm였다. 엽수도 초장과 유사한 경향으로 방울토마토 45.2매/주로 일반토마토 38.1매/주 보다 많았다. 생장 속도(CGR)는 방울토마토 보다 일반토마토가 빠른 편으로 정식 30일에서 60일까지 일반토마토는 2.27g/m<sup>2</sup>/day으로 방울토마토 1.3g/m<sup>2</sup>/day 보다 급격히 증가한 반면에, 정식 60일에서 90일까지는 각각 1.05g/m<sup>2</sup>/day로 생육 초기와 비슷하였다. 반면 방울토마토는 60일, 90일 모두 1.25~1.30g/m<sup>2</sup>/day으로 비슷하였다.

- 건물중은 일반토마토가 방울토마토 보다 무거워 일반토마토는 활착기에 3.1g/주, 정식 30일에 38.0g/주, 60일에는 30일보다 2.6배가 증가한 99.2g/주, 90일에는 3.4배가 증가한 130.7g/주로 급격히 성장한 반면에, 방울토마토는 정식 30일에는 13.7g/주, 60일에는 52.8g/주로 3.9배가 증가하였고, 90일에는 6.6배가 증가한 90.3g/주로 일반토마토 보다 낮았다.

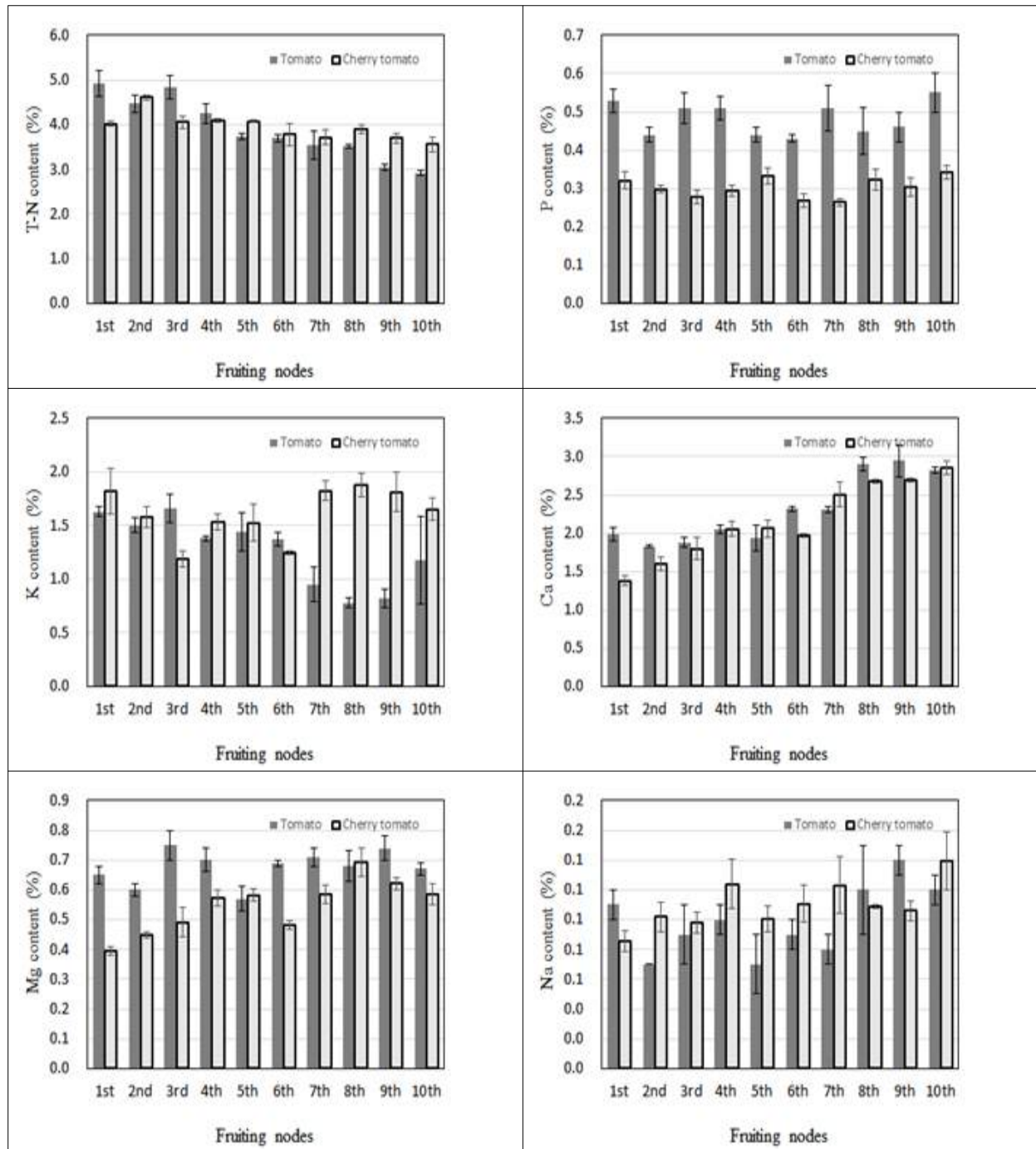
<생육진전에 따른 일반토마토와 방울토마토의 생육사항>



○ 착과 절위에 따른 엽의 무기성분 함량

- 각 착과 절위 별 화방이 개화하는 시기에 토마토 잎을 채취하여 무기성분 함량을 분석한 결과는 위 그림과 같다. 일반토마토의 T-N 함량은 생육 초기에 1화방(4.92%)에서 4화방(4.25%)에서는 높았으나, 이후 화방에서는 점차 감소하여 10화방에서는 2.9%까지 낮아졌다. 반면 방울토마토는 2화방 개화기에 4.61%로 다소 높았으나, 다른 착과 절위는 3.56~4%로 큰 변화가 없었다. 일반토마토의 P의 함량은 0.43~0.55% 범위로 화방 별 큰 차이는 없었고, 방울토마토는 0.26~0.34%로 다소 낮았으나 생육 초기 1화방 부터 후기 10화방까지 착과 절위 별로 큰 차이를 보이지 않았다. 일반토마토의 K 함량은 1화방~3화방 개화기까지는 1.66~1.50%로 함량이 높았으나, 7화방~10화방까지는 0.78~1.17%로 생육 후기에는 낮아졌다. 방울토마토는 3화방 및 6화방에서 1.0~1.2%로 낮았으나, 그 외는 1.53~1.87%로 높아 일반토마토와 반대 경향이였다.
- Ca는 일반토마토나 방울토마토 모두 생육초기에는 함량이 낮았으며 생육 후기로 갈수록 함량이 높아지는 경향이였다. 일반토마토는 6화방부터 함량이 높아져 9화방에는 1화방보다 1.5배가 많은 2.94%, 방울토마토는 7화방(2.51%)부터 함량이 높아져 생육 후기인 10화방에는 2.85%로 1화방보다 2.1배가 많았다. 일반 토마토 Mg 함량은 화방 간에 0.57~0.74%로 방울토마토 0.39~0.69% 보다 다소 높게 분석되었다. 일반 토마토 Na 함량은 0.07~0.14%로 생육 단계별 개체 차이가 심하였으나, 방울토마토는 0.09~0.14%로 분석되었다.
- 반축성 작형과 비교하여 볼 때 일반토마토와 방울토마토 모두 생육 후기에는 T-N 함량은 감소하는 경향이였으나, 방울토마토 억제 작형에서는 생육 단계별 차이가 적은 편이였다. 일반 토마토 P의 함량은 반축성 작형 보다 억제 작형에서 높은 편이였으나, 방울토마토는 두 작형 모두 큰 차이가 없었다. K 함량은 반축성 작형에서는 일반 및 방울 토마토 모두 2~3% 범위였으나, 억제 작형에서 2% 이하로 특히 방울토마토는 더 낮은 경향이였다. Ca 함량은 두 작형 모두 일반 토마토 및 방울 토마토 모두 생육 후기로 갈수록 높아지는 경향이였다. Mg 함량은 반축성 작형 보다 억제 작형에서 낮았고, 일반 토마토 보다 방울토마토에서 더 낮았다. Na 함량은 2개 작형 모두 0.1~0.2% 범위로 큰 차이가 없었다. 이상의 결과로 보면 식물체의 다량 원소 함량은 작형 별 생육 단계 뿐만 아니라 토마토 품종 간에 차이가 있음을 볼 때, 토마토 수경 재배시 영양관리에 고려하여야 할 것으로 생각된다(Lee et al., 2017).

<착과 절위에 따른 일반토마토와 방울토마토의 잎의 무기성분 함량>



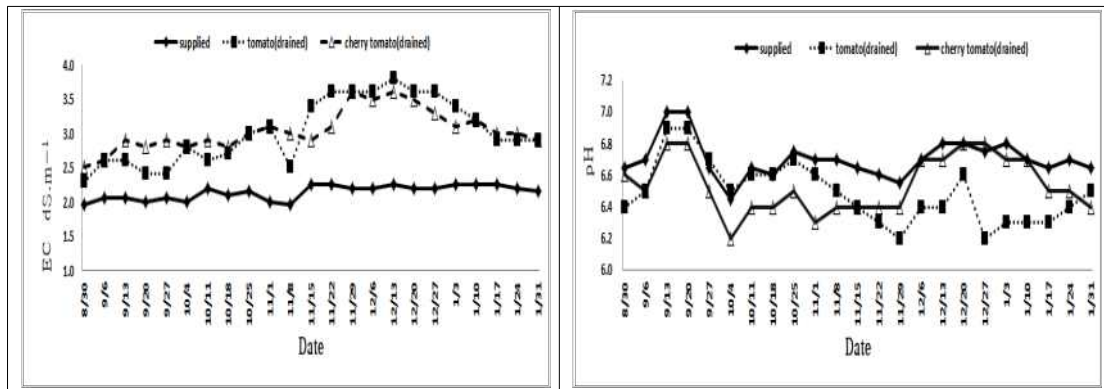
○ 억제작형시 공급액과 배액의 EC, pH 및 무기 원소 변화

- 토마토 수경 억제작형 수경재배의 공급 양액과 배액의 EC와 pH를 조사한 결과는 아래 그림과 같다. 공급액의 EC는 정식 후 10일간은 1.5~1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 11월 중순까지는 2.0±0.3S·m<sup>-1</sup>로, 이후 수확 말기까지는 2.3dS·m<sup>-1</sup>범위에서 관리하였다. 일반 토마토 배액의 EC는 생육 전반기인 9~10월에는 2.5~3.0dS·m<sup>-1</sup>,동절기인 11~1월에는 3.0~3.7dS·m<sup>-1</sup>정도로 높게 배출되었다. 방울토마토의 EC는 9월중순부터 11월 중순까지는 3.0dS·m<sup>-1</sup>내외로 배출되었고, 그 이후에는 일반토마토 보다 낮은

3.0~3.5dS·m<sup>-1</sup>범위에서 배출되어 방울토마토가 좀 더 안정되게 관리되었다.

- 재배 중의 EC관리는 배액의 EC 농도에서 공급액의 EC 농도를 뺀 델타 EC을 생육 초기에는 1 이하, 중후기에는 1.0~1.5로 관리 하는데 본 시험도 적절하게 관리된 것으로 생각된다. 반촉성작형과 유사하게 배액의 EC 농도가 높은 것은 작물이 성장하면서 수분 흡수량이 증가하거나(Seo et al., 2003; Zhang et al., 2010b), 배지에 잔존하는 무기 원소의 양이 증가하는 원인이 되어 배액의 EC가 점차 높아졌다고 생각된다(Sonneveld와 Voogt, 2009). 아울러 배지에 양액을 공급하면 양액 속의 무기 원소가 빠른 속도로 배지의 양이온치환 부위에 흡착되며, 양이온의 흡착량이 일정 수준에 도달된 후에야 식물이 흡수할 수 있는 양이 증대된다(Bar-Yosef, 2008). 이 시기에 도달하면 배액의 무기 원소 농도도 높아지며 본 연구의 재배 후기에 배액의 EC가 높아진 또 다른 원인이 되었다고 생각한다.

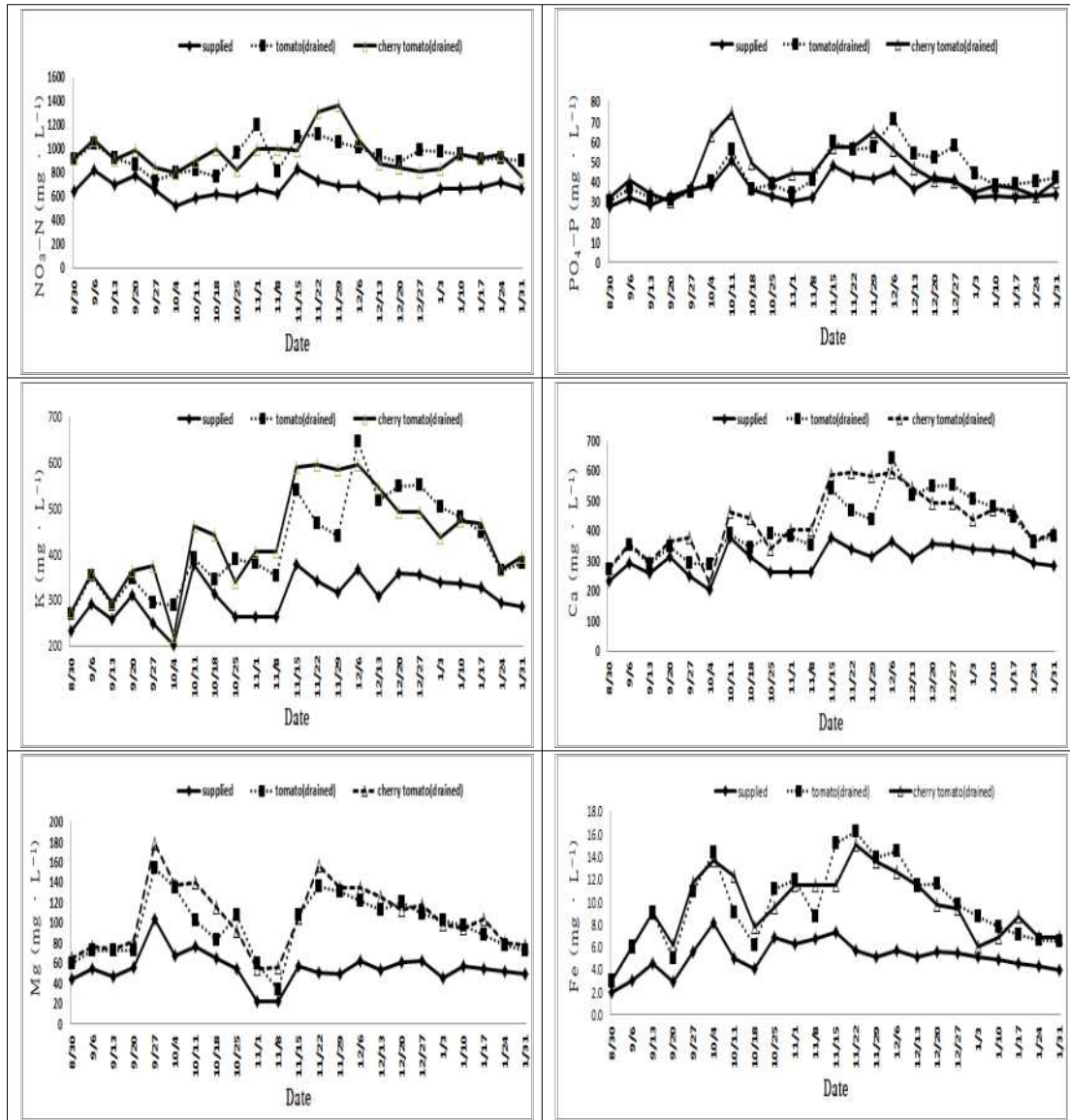
<생육진전에 따른 일반토마토와 방울토마토의 공급과 배액의 EC와 pH 변화>



- 본 실험에서는 원수의 pH가 작물생육에 적합한 범위에 있어 pH를 조절하지 않고 사용한 결과, 9월 중순 경에는 공급액 및 배액의 pH가 6.8~7.0으로 다소 높았으나 그 외 시기에는 pH 6.2~6.8 범위에서 관리되었다. 또한 전반적으로 공급액 보다 배액에서 pH가 낮게 유지되었다. 일반토마토는 10월 하순까지 공급액 및 배액의 pH는 비슷하게 변화되었으나, 그 이후에는 배액의 pH가 더 낮았다. 반면 방울토마토는 생육 초기부터 11월 하순 까지는 배액의 pH는 낮게 유지되었다가 12상순~1월상순까지는 공급액 및 배액 모두 비슷하게 유지되어 일반토마토와 반대의 경향을 보였다.
- 일반적으로 토마토 수경재배시 적정 pH 범위는 5.5~6.5으로 알려져 있는데, 고풍도 고온인 봄 작형에서는 이온의 흡수가 많아져 pH가 높아지기 쉬운 반면에, 본 실험처럼 저온 및 저광도의 억제 작형에서는 이온 흡수가 적어 pH가 낮아진 것으로 생각된다(Amon and Johnson, 1942). 또한 방울토마토는 생육초기, 일반토마토는 생육 후기에 배액의 pH가 낮았는데 이는 생장이 진전됨에 따라 양이온의 흡수가 많아 뿌리에서 수소이온, 유기산, 아미노산 등이 많이 나온 결과로 생각된다.

- 생육 진전에 따른 무기성분인 NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, K, Ca, Mg 등의 농도 변화를 보기 위하여 활착기 이후 EC를 2.0dS±0.3·m<sup>-1</sup>로 공급하면서 1주일 간격으로 공급과 배액을 채취 ICP로 분석한 결과는 아래 그림과 같다. 음이온인 NO<sub>3</sub>-N의 공급액 농도를 600~800mg·L<sup>-1</sup> 범위에서 공급할 경우 일반토마토 및 방울토마토 모두 생육 초기부터 후기까지 공급액 보다 배액에서 함량이 높았다. 방울토마토는 재배 전 기간을 통하여 공급액 보다 배액에서 200~400mg·L<sup>-1</sup> 정도 높았으나, 11월 하순 경에는 약 600 mg·L<sup>-1</sup>으로 더 높았다. 일반토마토 배액도 11월 상순경 다소 진폭이 있었으나, 전기간 배액에서 100~400mg·L<sup>-1</sup>으로 더 높은 경향이였으며, 대부분 반축성 작형와 유사한 경향을 보였다. PO<sub>4</sub>-P의 공급액 농도는 약 30~50mg·L<sup>-1</sup>로 봄 작형보다 다소 높게 공급하였을 때 일반토마토의 배액은 11월 상순까지는 공급액과 큰 차이가 없었으나, 그 이후에는 1.3~1.5배 높았다. 방울토마토는 공급액 및 배액의 차이는 같거나 1.5배까지 높았다. 또한 생육기 전반을 통하여 11월 상순과 11월 중순에서 12월 중순까지 공급액 및 배액에서 반축성 작형 보다 농도가 높은 경향이였다.
- K는 200~400mg·L<sup>-1</sup>정도 공급하였을 때, 일반토마토의 배액은 11월 상순까지 300~400mg·L<sup>-1</sup>으로 큰 차이가 없었으나, 11월 중순부터 1월 중순까지 400~650mg·L<sup>-1</sup>로 높게 배출되었다. 방울토마토도 배액에서 농도가 계속 높아져, 11월 하순부터 12월 상순까지는 600mg·L<sup>-1</sup>로 정점에 도달한 후, 이후 400mg·L<sup>-1</sup>까지 감소되는 경향을 보였다. 또한 봄 작형 보다 공급액 및 배액에서 농도도 높았고 생육 단계별로도 진폭이 심한 경향이였다. Ca의 농도 변화는 공급액을 200~400mg·L<sup>-1</sup>으로 하였을 때 K이온과 유사하게 일반토마토 및 방울토마토 모두 배액에서 농도가 높았으며, 특히 11월 중순부터 1월 중순까지 배액에서 더 높게 배출되었다. Mg와 Fe도 일반 및 방울토마토 모두 생육 초기부터 후기까지 공급액보다 배액에서 농도가 높았으며, Mg은 9월 하순 및 11월 중순에 배액에서 농도가 더 높은 경향이였다. Fe는 배액에서 높고 시기별 변동도 심한 경향이였다.

<생육진전에 따른 일반토마토와 방울토마토의 공급과 배액의 무기성분 함량>



전반적으로 본 억제 작형에서는 공급액 및 배액의 무기원소 농도는 반축성 작형보다 높은 경향이였다. 일반적으로 토마토 재배는 활착기까지는 EC를 1.7로 낮게 관리 하다가 활착이 완료되면 EC를 높여 재배한다. 또한 반축성 작형에서 생육후기에는 EC를 낮추고 공급액을 늘려 재배한다, 반면 가을 및 겨울철 억제 작형은 반축성 작형보다 EC를 높여 관리하는데, 본 실험에서도 EC 및 무기 원소 농도가 공급액 및 배액 모두에서 높았던 이유로 생각된다. 아울러 작물이 생육이 진전됨에 따라 생육 후기에는 배출되는 배액량이 적어 배지 내에 집적된 무기 원소 양이 증가하였기 때문이라고 생각한다.



○ 억제작용에서 공급액과 배액의 미생물 조사

토마토의 배액 재활용을 위한 일환으로 배액 요구량을 구명하기 위한 연구로 시험기간 동안의 공급과 배액의 미생물을 조사하였는데 배지제조는 PDA 배지(PDA 19.5g 증류수 500 ml)를 만들어 멸균하여 50℃ 정도로 냉각시킨 후 분주 직전(세균 분리 : Cycloheximide 50mg / ℓ, 곰팡이 분리 : Streptomycin 0.5g/ℓ) 항생제 첨가하여 충분히 교반 후 Petri-dish에 분주하였다. 희석은 토양 1g (또는 1ml)을 9ml 멸균증류수에 혼합하여 vortexing. 원하는 희석배수 만큼 희석하였다. 희석액 1ml을 배지위에 뿌리고 도말봉으로 마를때 까지 도말하고 25℃~30℃에서 배양하여 형성된 colony 계수하였으며 계수는 ml당 미생물수 계산은 미생물 수 = colony 개수 ×1/희석배수로 하였다.

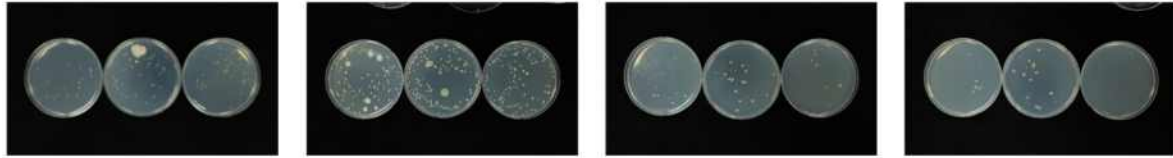
양액의 공급과 배액에 분포하는 미생물의 수는  $2.3 \times 10^4 \sim 3.4 \times 10^5$  cfu/ml로 공급과 배액 및 조사 시기에 따라 크게 10배 이상의 차이가 있으며, 분리 미생물의 종류는 2~4종으로 매우 단순하였다. 분리된 세균들은 통상적인 식물병원세균의 colony와 차이를 보이기 때문에, 각 균주별 16S rDNA 염기서열을 이용한 동정으로 병원균 여부를 판단해야 할 것으로 사료된다.

<시기별 공급과 배액의 미생물 수와 종류>

조사시기	공급·배액	총 미생물 수 (cfu/ml)	미생물 종류 (종)
8월	공급액	$2.9 \times 10^4$	2
	배액	$1.8 \times 10^5$	3
9월	공급액	$8.5 \times 10^4$	2
	배액	$3.4 \times 10^5$	2
10월	공급액	$5.3 \times 10^4$	3
	배액	$2.1 \times 10^5$	4
11월	공급액	$2.3 \times 10^4$	3
	배액	$1.3 \times 10^5$	4

\*병원균 여부 관련(토마토 등재 병원세균)

- *Pseudomonas* sp.: *Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis* (무름병)
- Pseudomonas corrugata* (줄기속썩음병)
- Pseudomonas viridiflava* (세균검은무늬병)

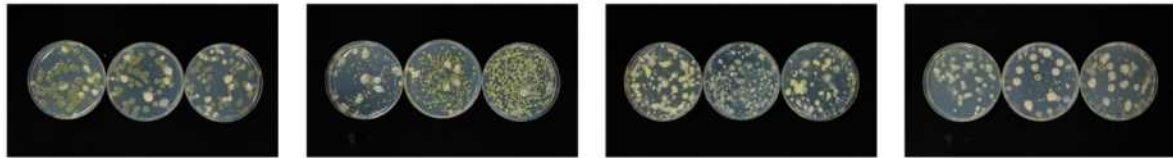


<8월 공급>

<9월 공급>

<10월 공급>

<11월 공급>



<8월 배액>

<9월배액>

<10월배액>

<11월 배액>

<시기별 미생물 발생 상황>

○ 억제작형 재배에서 토마토 과실 특성 및 수량성

- 일반토마토 및 방울토마토 억제작형 재배시 따른 수확 과실특성 및 특성은 다음과 같다. 일반토마토는 과장 6.4cm, 과경은 2.8cm, 과중은 21.8g 이었으며, 과중에 따른 수량성은 101~150g이 전체수량의 31.1%인 2,079kg/10a 이었고, 151~200g은 34.2%인 2,284kg/10a으로 가장 많았으며, 201~250g 이상은 전체수량의 18.6%였다.
- 방울토마토는 과장이 3.5cm, 과경은 2.8cm, 과중은 15.5g 이었으며, 상품성에 따른 수량은 20g이상은 23.5%인 759kg/10a이었고, 11~20g은 45.7%인 1,475kg/10a으로 가장 많았다. 10a당 수량은 일반토마토는 6,683kg/10a, 방울토마토는 3,228kg/10a 이었다.

<일반토마토 과실 특성 및 과중에 따른 수량성>

과장 (cm)	과경 (cm)	과중 (g)	과중 별 수량성(kg/10a)					합계
			100g 이하	101~ 150g	151~ 200g	201~ 250g	250g 이상	
6.4	7.7	21.8	1,075 (16.1)	2,079 (31.1)	2,284 (34.2)	1,018 (15.2)	227 (3.4)	6,683 (100%)

<방울토마토 과실 특성 및 상품 별 수량성>

과장 (cm)	과경 (cm)	과중 (g)	상품에 따른 수량(kg/10a)			합계
			20g이상	11~20g	10g이하	
3.5	2.8	15.5	759 (23.5)	1,475 (45.7)	994 (30.8)	3,228 (100%)

## 나. 딸기의 양액 요구량 및 재활용 양액처방

### ○ 상토 종류에 따른 배액의 무기성분 변화

#### - 실험장소 및 재료

충남농업기술원 논산딸기시험장의 수경재배 시설하우스에서 딸기 설향 품종을 정식하고 생육시키면서 본 과제를 수행하였다. 상토는 코코피트와 펄라이트 비율을 9:1, 6:4, 3:7로 제조한 혼합상토로 하였고 양액공급과 관주량은 동일하게 처리하였다.

#### - 재배관리

딸기 설향 품종을 코코피트와 펄라이트 비율이 9:1, 6:4, 3:7인 상토에 2015년 3월부터 8월까지 육묘한 자묘를 이용하여 2015년 9월 스티로폼 베드에 정식하였다. 양액공급을 위한 양액조성은  $N(NO_3-N): P: K: Ca: Mg = 12(11):1.8:7:2.8:1$ 로 하였으며, 양액의 농도는 생육시기에 따라 EC 1.0~1.5로 하였다. 시기별 관주량은 주당 9월에서 11월은 200ml, 12월에서 1월은 250ml, 2월에서 4월은 300ml로 하였고 관주횟수는 9월에서 1월은 4회, 2월에서 4월은 6회로 하였다.

#### - 식물체 무기성분 함량

시료는 12월부터 4월까지 5회에 걸쳐 채취하였다. 채취한 시료를 75℃에서 24시간 건조하고 분쇄한 후, 질소 및 인산과 칼륨 및 마그네슘을 분석하였다. 질소는 켈달법으로 분석하였고, 인산과 칼륨 및 마그네슘은 질산, 과염소산, 염산으로 산분해 하여 100배 희석액으로 제조한 후, 유도결합플라즈마분광계(ICP)를 이용하여 분석하였다.

#### - 배액의 이화학성

pH와 EC는 채취한 시료를 NO.2 여과지로 여과한 후, pH는 IQ-150로 측정하고, EC는 ECtestr11로 측정하여 dS/m로 표기였다. 질산태 질소는 RQflex 10(Merck, Germany)로 분석하였고, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 ICP(Integra XL, GBC Scientific Equipment, Australia)로 분석였다.

#### - 상토의 종류에 따른 생육

상토의 종류에 따른 생육은 코코피트의 비율이 높고 펄라이트 비율이 낮을수록 엽병장, 엽장, 엽폭의 생육이 우수하게 조사되었다. 이러한 이유는 코코피트의 경우 양분을 보유하는 능력이 우수하여 생육에 필요한 양분을 충분히 공급하였기 때문으로 판단되었다.

<상토의 종류에 따른 생육>

코코피트 : 펠라이트	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)
9 : 1	17.8±2.3	9.7±1.9	7.8±1.7
6 : 4	17.0±2.6	9.5±1.7	7.7±1.3
7 : 3	16.4±2.6	9.3±1.9	7.6±1.2

- 상토의 종류에 따른 딸기 잎의 무기성분 함량

딸기 잎의 무기성분 함량은 상토의 종류에 따라 코코피트의 비율이 높고, 펠라이트 비율이 낮은 코코피트와 펠라이트 비율 9:1에서 가장 높았으나 처리별 큰 변화는 보이지 않았다.

<상토의 종류에 따른 생육>

코코피트 : 펠라이트	무기성분 함량(%)			
	P	K	Ca	Mg
9 : 1	0.48±0.07	1.99±0.14	1.03±0.26	0.38±0.05
6 : 4	0.47±0.07	1.90±0.30	0.90±0.14	0.35±0.04
7 : 3	0.43±0.06	1.94±0.18	0.93±0.16	0.36±0.02

- 상토의 종류에 따른 생육시기별 배액의 pH와 EC 및 무기성분 함량

상토의 종류에 따른 배액의 pH는 생육시기에 따라 6.7에서 5.6으로 낮아지는 경향을 보였고, 상토의 펠라이트 비율이 높을 경우 생육이 진행됨에 따라 pH가 낮아지는 결과를 보였다. 배액의 EC는 0.5에서 2.0으로 생육이 진행됨에 따라 높아지는 경향을 보였는데, 이는 생육이 진행됨에 따라 공급액의 EC를 높여 관리했기 때문이며, 상토의 펠라이트 비율이 낮을 경우 생육후기에 EC가 높아지는 경향을 보였다.

배액의 무기성분 함량은 모든 상토에서 NO<sub>3</sub>-N, K, P, Ca, Mg 순이었으며, 펠라이트 비율이 높을수록 Fe와 Mn의 함량이 높아지는 경향을 보였다.

<코코피트와 펄라이트 비율 9:1에서의 배액의 무기성분 변화>

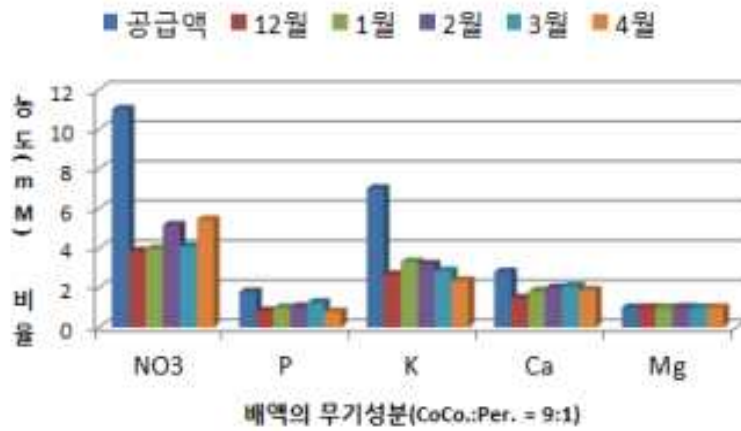
구 분	배액의 무기성분 합량(단위 : mg/L)									
	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu
12월 07일	300	29	113	66	29	0.10	0.10	0.71	0.54	0.05
12월 15일	405	40	168	100	40	0.10	0.14	0.72	0.50	0.05
12월 29일	276	36	147	77	30	0.26	0.09	0.68	1.06	0.06
01월 11일	174	15	98	24	9	0.13	0.01	0.33	0.22	0.03
01월 13일	78	14	79	29	11	0.16	0.00	0.28	0.49	0.05
01월 19일	108	29	81	77	24	0.08	0.03	0.30	0.24	0.03
01월 28일	438	42	160	108	34	0.24	0.06	0.21	0.54	0.06
02월 06일	540	48	192	119	37	0.17	0.03	0.31	0.32	0.05
02월 10일	567	59	227	143	43	0.15	0.10	0.37	0.39	0.06
02월 17일	519	56	215	144	43	0.22	0.06	0.43	0.43	0.04
03월 14일	210	39	110	71	21	0.44	0.01	0.28	0.32	0.02
03월 18일	309	50	131	107	30	0.21	0.02	0.25	0.52	0.04
03월 23일	444	64	171	140	39	0.20	0.04	0.25	0.37	0.03
03월 30일	525	77	241	169	50	0.18	0.08	0.35	0.40	0.01
04월 07일	636	57	220	155	48	0.20	0.07	0.37	0.39	0.04
04월 14일	985	61	224	209	67	0.61	0.10	0.54	0.95	0.14

<코코피트와 펄라이트 비율 3:7에서의 배액의 무기성분 변화>

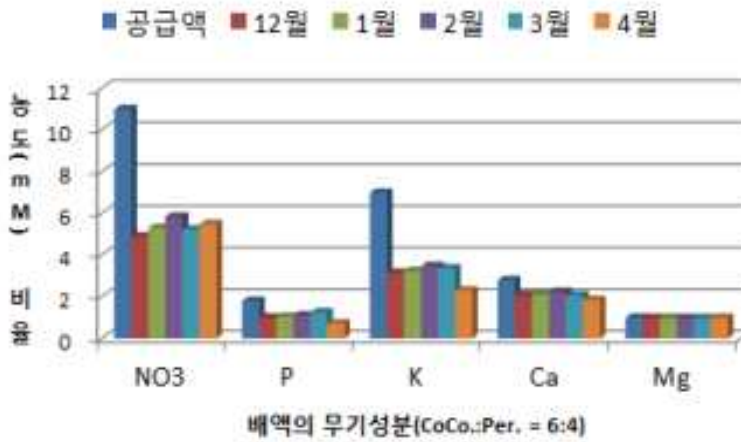
구 분	배액의 무기성분 합량(단위 : mg/L)									
	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu
12월 07일	348	38	151	103	29	1.20	1.20	0.51	0.92	0.18
12월 15일	429	41	176	118	29	1.59	1.36	0.82	1.00	0.18
12월 29일	309	37	141	99	23	1.48	0.86	0.41	0.70	0.09
01월 11일	111	14	53	35	11	0.46	0.11	0.15	0.32	0.03
01월 13일	186	19	78	55	16	0.74	0.28	0.14	0.51	0.04
01월 19일	363	35	134	98	25	0.93	0.44	0.19	0.75	0.07
01월 28일	483	49	183	126	32	1.71	0.69	0.23	0.80	0.07
02월 06일	555	56	210	138	35	1.60	0.95	0.26	1.03	0.07
02월 10일	573	66	244	159	41	1.77	1.40	0.32	1.42	0.08
02월 17일	507	59	217	142	38	2.35	1.77	0.38	1.57	0.07
03월 14일	360	44	155	85	25	1.31	0.85	0.12	0.84	0.03
03월 18일	429	57	189	117	34	1.34	1.13	0.18	1.29	0.06
03월 23일	462	68	211	134	38	1.62	1.25	0.21	1.33	0.05
03월 30일	549	63	258	131	40	1.62	1.26	0.27	1.46	0.06
04월 07일	684	47	185	147	53	1.59	0.91	0.68	1.35	0.08
04월 14일	845	57	218	185	55	4.22	1.63	0.46	2.10	0.12

- 상토의 종류에 따른 공급액에 대한 배액의 성분 비율

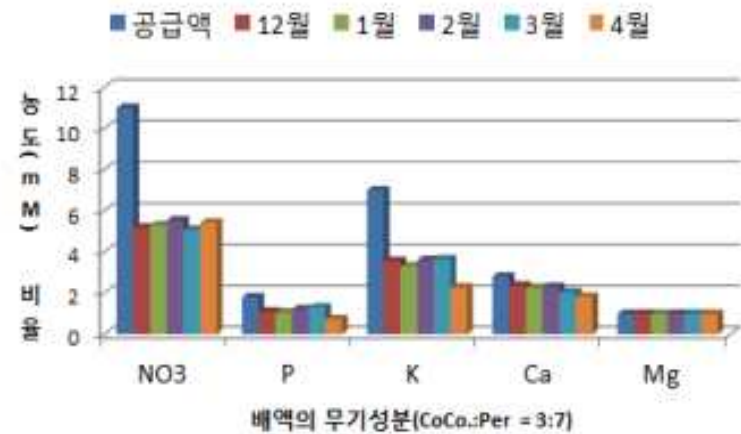
공급액에 대한 배액의 무기성분의 몰 농도 비율은 NO<sub>3</sub>-N에서 가장 차이가 컸고, K 순이었으며, P와 Ca순이었다. 또한 공급액의 양액조성으로 배액을 재활용하기 위해서는 NO<sub>3</sub>-N는 5.6mM, K는 3.9mM, P는 0.8mM, Ca는 0.7mM 추가해야 할 것으로 분석되었다.



<코코피트와 펄라이트 9:1에서의 공급액과 배액의 양분 농도 비율>



<코코피트와 펄라이트 6:4에서의 공급액과 배액의 양분 농도 비율>



<코코피트와 펄라이트 3:7에서의 공급액과 배액의 양분 농도 비율>

○ 딸기 수경재배시 배액 재활용에 따른 생육과 품질 및 배액 분석

- 실험방법

배액의 재활용은 배액 30%와 지하수 70%를 혼합한 순환식 수경재배로 하였고, 비재활용은 지하수 100%인 관행으로 하였다. 양액의 조성은 N(NO<sub>3</sub>-N): P: K: Ca: Mg = 12(11): 1.8: 7: 2.8: 1로 처리하였고, 양액공급은 EC 0.7에서 1.3으로 하였으며 pH는 6.4~6.6으로 조절하였다. 본 시험에 사용된 배지는 코코피트와 피트모스 및 펄라이트가 각각 6:2:2인 혼합상토를 사용하였다. 시기별 관주량은 9월에서 11월은 200ml/주/일, 12월에서 1월은 150ml/주/일, 2월에서 4월은 300ml/주/일로, 하루에 5회에 나누어 관주하였다. 시험에 사용된 품종은 설향으로 2016년 9월 10에 정식하여 2017년 4월까지 본 연구를 수행하였다.

- 조사 및 분석방법

생육은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준에 따라 생육이 가장 왕성한 3번째 잎에 대하여 조사하였고, 출퇴와 개화시기는 처리별 120주에 대하여 출퇴와 개화가 40% 진행된 시기로 하였다. 식물체 무기성분 분석은 채취한 시료를 75℃에서 24시간 건조하고 분쇄한 후, 질소는 켈달법으로 분석하였고, 인산과 칼륨 및 마그네슘은 질산, 과염소산, 염산으로 산분해하여 100배 희석액으로 제조한 후, 유도결합플라즈마분광계(ICP)를 이용하여 분석하였다. 배액조사는 처리별 스티로폼 배드 12M에 정식된 120주에 대하여 배출되는 배액을 일주일 간격으로 하루 동안의 시료를 채취하였다. 배액의 pH와 EC는 채취한 시료를 NO.2 여과지로 여과한 후, pH는 IQ-150로 측정하고, EC는 ECtestr11로 측정하여 dS/m로 표기하였으며, 질산태 질소는 RQflex 10(Merck, Germany)로 분석하였고, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 ICP (Intergra XL, GBC Scientific Equipment, Australia)로 분석하였다. 수량성은 30주씩 3반복으로 조사하여 10a 면적 당 kg으로 환산하였고, 경도는 Rheotex로 측정하여 g/mm<sup>2</sup>으로 표기하였으며, 당도와 산도는 과실 전체를 으깨어 SAM-7300로 측정하여 각각 °Brix와 %로 표기하였다.

- 딸기 수경재배시 배액의 재활용에 따른 생육

배액 재활용에 따른 엽병장과 엽장 및 엽폭의 생육은 생육단계별로 큰 차이가 없어, 배액의 재활용에 따른 생육차이는 발생하지 않았다. 생육단계별로 엽병장이 클 경우 엽장은 작아지는 경향을 보였다.

<딸기 수경재배시 배액의 재활용에 따른 딸기의 생육>

처 리	11월 (cm)			2월 (cm)		
	엽병장	엽장	엽폭	엽병장	엽장	엽폭
배액 비재활용	17.7 a <sup>2</sup>	12.2 a	9.9 a	16.3 a	9.4 a	7.5 a
배액 재활용	17.6 a	12.5 a	10.2 a	16.8 a	9.2 a	7.5 a



<배액 재활용 시험포장>

<배액 재활용 생육상황>

<딸기 수경재배 배액의 재활용 연구 시험포장 전경>

- 딸기 배액 재활용시 식물체 무기성분 함량

2016년 11월에서 2017년 4월까지 4회에 걸친 딸기 잎의 무기성분 함량은 배액 재활용에서 인산과 칼슘 및 마그네슘 함량이 높았고, 배액 비 재활용에서 질소와 칼륨 함량이 높았다. 배액 재활용시의 딸기 잎 무기성분 함량은 처리별 차이가 크지 않아, 배액의 재활용에 따른 식물체의 무기성분 함량은 차이가 없는 것으로 사료되었다.

<딸기 배액 재활용시 딸기잎의 무기성분 함량>

처 리	T-N	P	K	Ca	Mg
배액 비재활용	3.14±0.03 <sup>2</sup>	0.51±0.11	2.21±0.52	0.83±0.11	0.30±0.05
배액 재활용	3.05±0.02	0.54±0.17	2.00±0.59	0.93±0.22	0.35±0.07

- 딸기 수경재배 배액 재활용시 공급액과 배액의 무기성분 변화

배액의 질산태 질소와 칼륨의 함량은 공급액의 함량보다 낮았고, 질소는 생육단계별로 공급액과의 함량 차이는 일정한 수준을 유지하였으며 칼륨은 생육초기보다는 후기에 배액의 함량이 낮게 분석되었다. 배액의 인산 함량은 공급액보다 낮았고, 생육단계별로 생육중기인 11월에서 12월에 공급액과의 함량 차이가 생육초기와 후기보다 크게 분석되었다. 배액의 칼슘함량도 공급액의 함량보다 낮았는데, 특히 질소와 인산 및 칼륨에 비해 차이가 컸고, 생육단계별로 생육초기에 공급액의 함량과 차이가 크고, 중후기에 공급액과의 함량 차이가 작아지는 경향을 보였다. 이러한 이유는 코코피트를 상토로 이용할 경우, 칼륨 함량이 높고, 칼슘함량이 낮아 칼슘을 포ष해야 한다는 연구로 볼 때, 본 시험에 사용된 상토가 코코피트가 함유된 1년차 상토로 상토내 칼슘함량이 적었기 때문으로 판단되었다. 이러한 결과는 배액의 재활용에 있어, 상토의 사용연차에 따라 배액의 무기성분 변화에 대한 기초자료가 연구되어야 함을 알 수 있었다.





<생육단계별 배액의 NO<sub>3</sub> 변화>



<생육단계별 배액의 P 변화>



<생육단계별 배액의 K 변화>

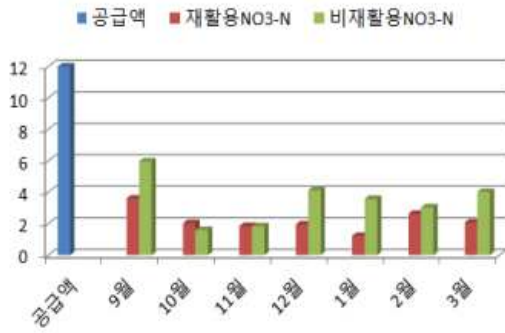


<생육단계별 배액의 Ca 변화>

<딸기 수경재배 배액 재활용시 공급액과 배액의 무기성분 변화>

- 딸기 배액 재활용과 비재활의 시기별 배액의 무기성분 비율

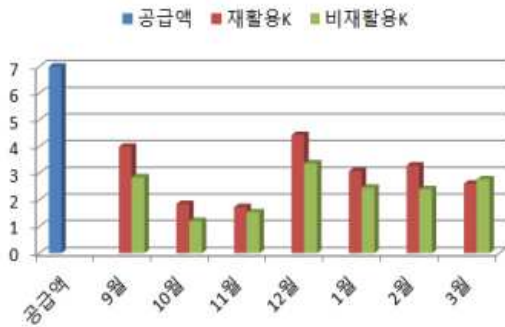
생육 시기별 배액의 무기성분 함량변화는 질소, 인산, 칼륨, 칼슘 모든 공급액보다 낮았는데, 특히 질소의 함량이 공급액 보다 낮아, 딸기 생육에 질소의 영향이 가장 큼을 알 수 있었다. 배액의 재활용에 따른 비재활용과의 배액의 무기성분 함량은 질소와 칼슘은 비재활용에서 높았고, 인산과 칼륨은 재활용에서 높게 분석되어, 재활용과 비재활용의 각 무기성분에 따른 비율이 다름을 알 수 있었다. 배액의 무기성분 함량은 양분의 흡수 자체뿐만 아니라, 상토의 종류와 사용연차에 따라 달라질 수 있는 결과로, 배액의 재활용을 위한 배액 사용 시 양액조성은 공급액과 배액의 무기성분과 함께 상토의 종류 및 상토의 사용연차 등 다양한 환경조건을 고려해야 한다고 판단되었다. 시기별 배액의 무기성분 변화는 질소와 칼슘은 10월과 11월에 낮게 분석된 후, 시간경과에 따라 높아지는 경향을 보였고, 칼륨은 10월과 11월에 낮고, 12월에 높게 분석된 후, 2월과 3월에 다시 낮아지는 경향을 보였다. 인산의 시기에 따른 배액의 함량은 질소, 칼륨, 칼슘과 반대경향으로 10월과 11월에 가장 높게 분석되어, 양분별 생육시기에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다.



<배액 재활용시 배액의 NO<sub>3</sub> 변화>



<배액 재활용시 배액의 P 변화>



<배액 재활용시 배액의 K 변화>



<배액 재활용시 배액의 Ca 변화>

<딸기 배액 재활용과 비재활용의 시기별 배액의 무기성분 비율>

- 딸기 배액의 재활용에 따른 수량성과 과실품질

배액의 재활용에 따른 수량성은 관행의 비재활용 차이가 크지 않았다. 월별 수량성에서 처리별 차이가 있었고, 전체 수량성에서도 비재활용에서 44kg/10a로 높긴 했지만, 통계적 유의성은 없었다. 본 실험에서의 배액 재활용에 따른 관행과의 수량성 차이는 보이지 않았다. 과실품질은 조사 시기에 따라 경도와 당도에서 차이가 있었지만, 차이가 크지 않았고, 일정한 경향은 없었다. 본 실험에서의 배액 재활용에 따른 과실품질의 차이는 발생하지 않았다.

<딸기 수경재배 배액 재활용에 따른 수량성>

처 리	~12월	1월	2월	3월	4월	전체
배액 비재활용	994	387	1,097	2,329	1,128	5,935 a <sup>z</sup>
배액 재활용	940	442	1,101	2,382	1,026	5,891 a

\*<sup>z</sup>t-test 0.05, 수량조사 : 2016년 11월 18일 ~ 2017년 4월 10일

<딸기 수정재배 배액 재활용에 따른 과실품질>

처 리	경도 (g/mm <sup>2</sup> )			당도 (° Brix)			산도 (%)		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회	1회	2회	3회
배액 비재활용	11.1	10.9	10.2	11.6	11.5	11.1	0.66	0.67	0.71
배액 재활용	10.2	10.7	10.4	11.3	11.8	11.0	0.64	0.67	0.74

\*조사시기 2월 14일(1회), 2월 17일(2회), 2월 21일(3회)

○ 딸기 수정재배시 상토의 사용연차에 따른 배액의 무기성분 변화

- 실험방법

상토의 연차는 1년차, 2년차, 3년차로 양액의 조성은 N(NO<sub>3</sub>-N): P: K: Ca: Mg = 12(11): 1.8: 7: 2.8: 1로 처리하였으며, 양액공급은 EC 0.7에서 1.5으로 하였으며 pH는 6.0으로 조절하였다. 본 시험에 사용된 배지는 코코피트와 피트모스 및 펄라이트가 각각 6:2:2인 혼합상토를 사용하였다. 시기별 관주량은 9월에서 11월은 200ml/주/일, 12월에서 1월은 150ml/주/일, 2월에서 4월은 300ml/주/일로, 하루에 5회에 나누어 관주하였다. 시험에 사용된 품종은 '설향'으로 2016년 9월 10에 정식하여 2017년 4월까지 본 연구를 수행하였다.

- 조사 및 분석방법

생육은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준에 따라 생육이 가장 왕성한 3번째 잎에 대하여 조사하였고, 출퇴와 개화시기는 처리별 90주에 대하여 출퇴와 개화가 40% 진행된 시기로 하였다. 식물체 무기성분 분석은 채취한 시료를 75℃에서 24시간 건조하고 분쇄한 후, 질소는 켈달법으로 분석하였고, 인산과 칼륨 및 마그네슘은 질산, 과염소산, 염산으로 산분해하여 100배 희석액으로 제조한 후, 유도결합플라즈마분광계(ICP)를 이용하여 분석하였다. 배액조사는 처리별 스킨로폼 배드 12M에 정식된 120주에 대하여 배출되는 배액을 일주일 간격으로 하루 동안의 시료를 채취하였다. 배액의 pH와 EC는 채취한 시료를 NO.2 여과지로 여과한 후, pH는 IQ-150로 측정하고, EC는 ECtestr11로 측정하여 dS/m로 표기하였으며, 질산태 질소는 RQflex 10(Merck, Germany)로 분석하였고, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 ICP(Integra XL, GBC Scientific Equipment, Australia)로 분석하였다. 수량성은 30주씩 3반복으로 조사하여 10a 면적 당 kg으로 환산하였고, 경도는 Rheotex로 측정하여 g/mm<sup>2</sup>으로 표기하였으며, 당도와 산도는 과실 전체를 으깨어 SAM-7300로 측정하여 각각 °Brix와 %로 표기하였다.

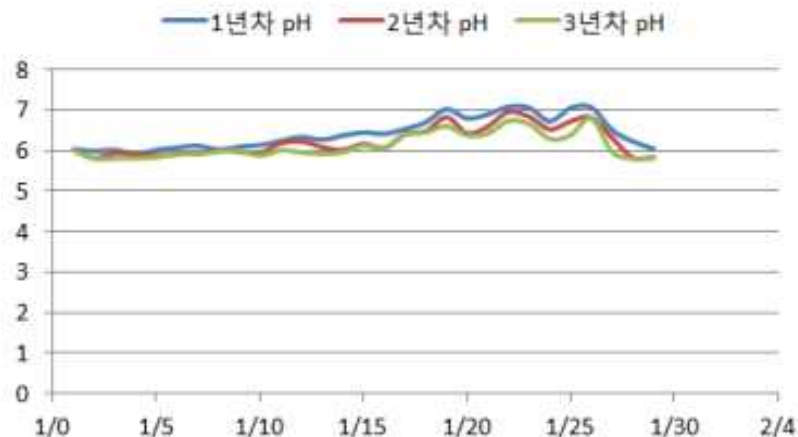


<상토의 사용연차에 따른 배액의 무기성분 시험연구 전경>

- 딸기 수경재배 상토연차에 따른 배액의 pH와 EC

공급액의 pH가 6.0일 경우, 상토의 pH는 모든 상토에서 전 생육기간 5.81에서 7.09사이로 조사되었는데, 생육초기에는 6.0에서 시작하여 생육 중기에는 7.0까지 높아졌다가 6.0정도로 낮아지는 경향이였다. 이러한 결과는 영양생장이 왕성한 생육초기에는  $\text{NO}_3\text{-N}$  등 음의온의 흡수량이 높아져 pH가 높아졌고, 생식생장이 왕성한 생육중기에 양이온의 흡수량이 높아져 pH가 낮아진 것으로 판단되었다. 생육초기 pH가 공급액의 6.0보다 낮았던 이유는 딸기 배액의 pH는 공급액의 EC가 높을 경우 낮아진다는 연구 결과로 볼 때, 생육초기의 EC가 생육에 비해 높았기 때문으로 판단되었다.

상토의 사용연차에 따라서는 1년차 상토의 pH가 평균 6.43으로 가장 높았고, 3년차 상토에서 평균 6.13으로 가장 낮았으며, 2년차 상토에서는 평균 pH가 6.23으로 조사되어, 상토의 사용 연차에 따라 pH가 낮아지는 경향을 보였다. 이러한 이유는 상토내 양이온의 축적에 의한 것을 생각할 수 있는데, 상토연차에 따른 배액의 칼슘 함량이 증가하는 것을 볼 때 본 실험에서는 상토내 칼슘의 축적이 많아, 상토의 사용연차에 따라 pH가 낮아진 것으로 판단되었다.

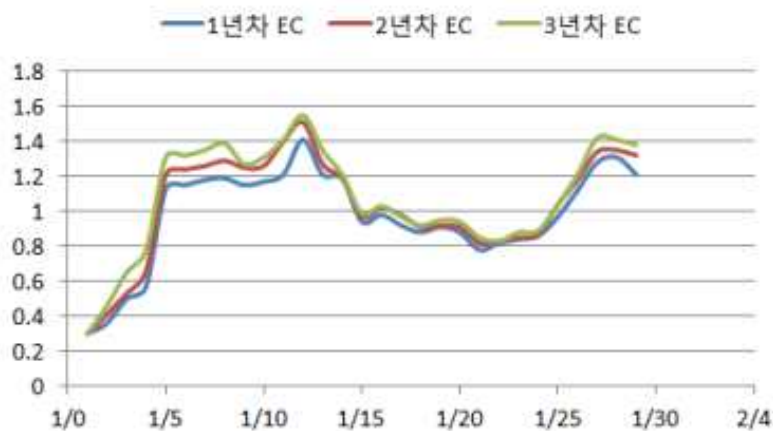


<상토 연차에 따른 배액의 pH 변화>

생육기간 중 배액의 EC는 모든 상토에서 EC 0.8~1.5수준으로 조사되었는데, 10월과 11월의 배액의 EC는 평균 1.27로 높았고, 1월과 2월의 EC는 평균 0.91로 낮게 조사되었다. 이러한 이유는 양분공급 측면에서 10월과 11월에 공급양액의 EC를 1.2~1.5로 관리했고, 1월과 2월의 양액 EC는 1.0~1.2로 관리했기 때문으로 판단되며, 이러한 결과는 공급액의 EC가 높을 경우, 배액의 EC는 공급액의 EC보다 높고, 공급액의 EC가 낮을 경우는 배액의 EC가 공급액보다 낮은 결과와 같았다.

상토의 사용연차에 따른 EC는 1년차 상토에서 낮고, 3년차 상토에서 높아 상토의 사용 연차에 따라서 EC가 높아지는 경향을 보였는데, 이러한 이유는 배액의 질산태질소와 칼슘함량이 상토의 사용연차에 따라 높았던 결과로 볼 때 양분의 축적 때문인 것으로 판단되었다.

배액의 EC가 높았던 10월과 11월의 배액 EC가 상토에 따라 차이가 크게 조사되었다. 이러한 이유는 생육 초기에는 상토내의 양분함량 차이가 컸으나, 지속적으로 양분이 공급되어지면서 상토내의 양분함량 차이가 작아지기 때문으로 판단되었다.



상토연차에 따른 배액의 EC 변화

- 딸기 수경재배 상토연차에 따른 배액의 무기성분 변화

상토에 따른 배액의 무기성분 함량 중 질산태 질소는 평균 341mg/kg으로, 11월 중순까지는 계속 높아지다가 12월 부터는 다소 낮아지는 경향을 보였는데 이러한 이유는 EC와 같은 경향으로 10월과 11월에 공급양액의 EC를 1.5로 관리했고, 1월과 2월의 양액 EC는 1.2으로 관리했기 때문으로 판단되었으며, 인산, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘도 같은 경향을 보였다.

상토의 사용연차에 따른 질산태 질소 함량은 EC와 같은 경향으로 1년차 상토 평균 함량 309mg/kg으로 가장 낮고, 3년차 상토 평균함량 370mg/kg으로 가장 높아 사용연차에 따라 질산태질소의 함량이 높아지는 결과를 보였다.

생육기간 중의 배액의 인산 평균 함량은 1년차 상토에서 31mg/kg, 2년차 상토에서 30mg/kg, 3년차 상토에서 29mg/kg으로 상토의 사용연차에 따른 인산의 함량차이는

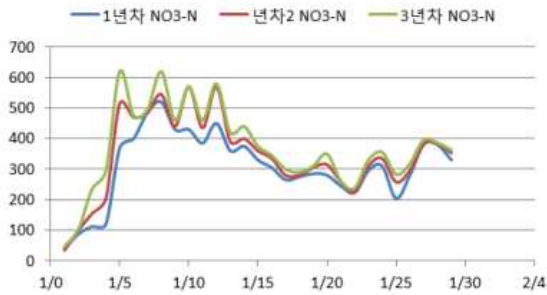
크지 않았고, 10월 이후의 생육기간에 대한 함량변화는 15~60mg/kg이었다. 상토연차에 따라 인산의 함량차이가 크지 않았던 이유는 음이온인 PO<sub>4</sub>-P의 경우 관비시 쉽게 용탈된다는 연구결과로 볼 때 사용연차에 따른 상토내 인산의 축적이 많지 않았기 때문으로 판단되었다.

배액의 칼륨 함량은 104~221mg/kg로, EC와 유사한 경향으로 변화하였다. 상토의 사용연차에 따른 칼륨함량이 1년차 상토에서 평균 149mg/kg으로 가장 높았고, 2년차와 3년차 상토에서는 각각 131mg/kg과 134mg/kg으로 차이가 크지 않아, 1년차 상토에서 칼륨함량이 높게 분석되었다. 이러한 결과는 코코피트의 배지는 칼륨 함량이 높다는 연구결과로 볼 때 상토내의 칼륨함량이 높았기 때문으로 판단되었다.

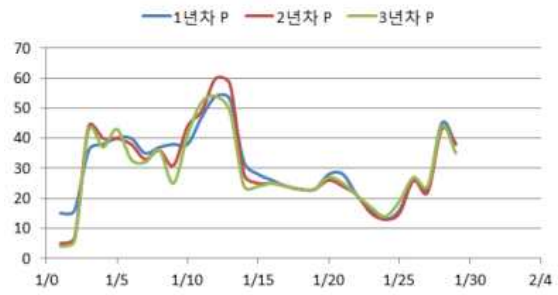
배액의 칼슘 함량은 52~176mg/kg로 분석되었다. 상토의 사용연차에 따른 배액의 칼슘함량은 3년차 상토에서 평균 90mg/kg으로 가장 높았고, 2년차는 83mg/kg이었으며, 1년차 상토는 59mg/kg으로 상토의 사용연차에 따라 칼륨함량이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 코코피트의 배지는 칼슘 함량이 낮다는 연구 결과로 볼 때, 상토내 칼슘 함량이 적었기 때문으로 판단되었다.

배액의 마그네슘 함량은 18~48mg/kg사이로 분석되었다. 상토의 사용연차에 따른 배액의 마그네슘 함량은 1년차 상토에서 평균 26mg/kg, 2년차 22mg/kg, 3년차 상토에서 20mg/kg로 사용연차에 따라 배액의 마그네슘 함량은 감소하는 경향으로 1년차 상토에서 높게 분석되었으나, 차이는 크지 않았다.

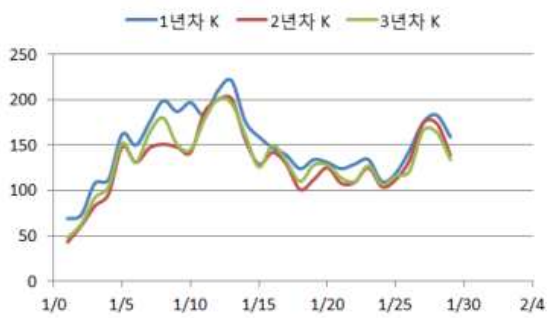
<상토의 사용연차에 따른 배액의 무기성분 변화>



시기별 배액의 NO<sub>3</sub> 변화



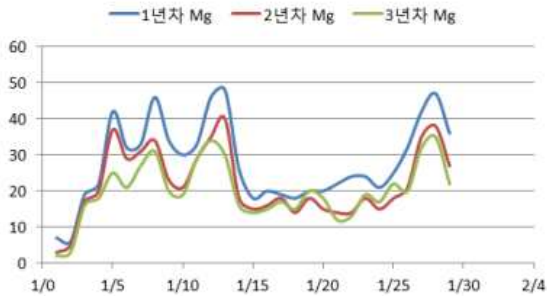
시기별 배액의 P 변화



시기별 배액의 K 변화



시기별 배액의 Ca 변화



시기별 배액의 Mg 변화

- 딸기 수경재배 상토연차에 따른 딸기잎의 무기성분 함량
- 생육기간 중의 딸기 잎의 무기성분 함량은 질소 함량이 가장 높고, 칼륨, 칼슘, 인산, 마그네슘 순으로, '설향'딸기 토경재배 생육기간 중 잎의 양분함량과 같은 결과였다.
- 상토의 사용연차에 따른 딸기 잎의 무기성분 함량 중 질소와 칼슘은 배액에서의 질소와 칼슘함량과 같이 상토연차에 따라 증가하는 경향보였다.
- 칼륨은 질소와 칼슘과 반대경향으로 1년차 상토에서 2.66%로 가장 높고, 3년차 상토에서 2.46%로 가장 낮아 배액과 같은 결과를 보였고 인산과 마그네슘 함량은 상토의 사용연차에 따른 일정한 경향을 보이지 않다.
- 상토연차에 따른 딸기 잎의 무기성분 함량은 마그네슘을 제외하고는 상토연차에 따른 배액과 같은 경향을 보였다. 배액의 마그네슘 함량이 1년차 상토에서 가장 높

았는데, 딸기 잎의 무기성분 함량이 차이가 없었던 이유는 딸기에 황산마그네슘을 처리했을 경우 잎의 마그네슘 함량 보다는 뿌리의 마그네슘 함량이 높아졌다는 연구결과로부터 상토 연차에 따른 마그네슘의 함량차이가 딸기 잎의 마그네슘 함량에 차이를 줄 만큼 크지 않았기 때문으로 판단되었다.

<상토연차에 따른 딸기잎의 무기성분 함량>

처 리	T-N	P	K	Ca	Mg
1년차 상토	3.32±0.03 <sup>z</sup>	0.60±0.19	2.66±0.97	1.04±0.19	0.38±0.08
2년차 상토	3.37±0.02	0.60±0.27	2.52±0.96	1.21±0.15	0.37±0.10
3년차 상토	3.41±0.03	0.60±0.36	2.46±0.98	1.25±0.17	0.38±0.11

\*<sup>z</sup>평균(n=4±표준편차, 2016년 11월~2017년 4월)

- 딸기 수경재배 상토연차에 따른 식물체 생육 특성

생육 중 엽병장과 엽장은 11월과 2월 모두 3년차 상토에서 가장 우수하고, 1년차 상토에서 가장 작게 조사되어, 상토연차에 따라 엽병장과 엽장의 생육이 우수하였다. 딸기에서 가장 많은 함량을 차지하는 무기성분이 질소인데, 이와 같이 딸기의 생육이 상토의 사용연차에 따라 우수했던 이유는 배액과 딸기 잎의 질소함량이 높았던 결과로부터 질소흡수가 높았기 때문으로 판단되었다.

<상토연차에 따른 식물체 생육>

처 리	2016년 11월 17일 (cm)			2017년 2월 27일 (cm)		
	엽병장	엽장	엽폭	엽병장	엽장	엽폭
1년차 상토	18.4 a <sup>z</sup>	12.6 a	10.0 a	15.5 a	8.2 b	6.9 a
2년차 상토	18.7 a	12.6 a	10.3 a	15.7 a	8.6 ab	7.0 a
3년차 상토	19.1 a	12.7 a	10.2 a	15.9 a	8.7 a	7.2 a

\*<sup>z</sup>DMRT 0.05

상토에 따른 출퇴와 개화시기는 1년차 상토와 2년차 및 3년차 상토에서 각각 10월 14일과 10월 27일로 차이가 없었다. 이러한 결과는 상토 연차에 따른 상토내 양분의 차이는 출퇴와 개화시기에 영향을 미칠 만큼 큰 차이가 아님을 알 수 있었다.

<상토연차에 따른 출퇴와 개화시기>

처 리	출퇴시기	개화시기
1년차 상토	10월 14일	10월 27일
2년차 상토	10월 14일	10월 27일
3년차 상토	10월 14일	10월 27일



- 딸기 수경재배 상토연차에 따른 수량성과 과실품질

상토의 사용연차에 따른 수량성은 큰 차이를 보이지 않았다. 수확초기인 12월까지의 수량성은 1년차와 2년차 상토에서 높았고, 수확중기인 1월에는 3년차 상토에서 높았으며, 3월까지의 전체 수량성은 2년차 상토에서 가장 높았으나 통계적 유의성은 없었다.

<상토의 사용연차에 따른 수량성>

처 리	~12월	1월	2월	3월	전체
1년차 상토	1,039	117	893	176	2,225 a <sup>z</sup>
2년차 상토	1,072	120	1,104	101	2,397 a
3년차 상토	914	150	973	169	2,206 a

\*<sup>z</sup>DMRT 0.05, 수량성 : 2016년 11월 ~ 2017년 3월 10일

상토의 사용연차에 따른 2월의 과실의 품질은 경도와 당도에서 사용연차에 따른 일정한 경향을 보였다. 경도는 3년차 상토에서 가장 높아 상토의 사용연차에 따라 증가하는 경향을 보였는데, 당도는 경도와 반대로 1년차 상토에서 가장 높아 상토의 사용연차에 따라 감소하는 경향을 보였지만 통계적 유의성은 없었다. 딸기의 상토 종류에 따른 과실품질 연구에서도 상토 종류별 당도의 차이는 크지 않아, 상토연차에 따른 과실품질은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다. 산도는 상토연차에 따른 일정한 경향을 보이지 않았다.

<상토의 사용연차에 따른 과실품질>

처 리	경도 (g/mm <sup>2</sup> )			당도 (° Brix)			산도 (%)		
	1회	2회	3회	1회	2회	3회	1회	2회	3회
1년차 상토	10.5	8.6	7.1	11.6	10.0	10.0	0.69	0.65	0.77
2년차 상토	10.6	9.4	7.9	11.4	9.7	9.4	0.72	0.72	0.62
3년차 상토	10.8	9.8	8.4	10.0	9.2	9.2	0.71	0.69	0.74

\*조사시기 2월 21일(1회), 2월 24일(2회), 2월 28일(3회)

○ 딸기 양액 EC에 대한 배액의 무기성분 변화

- 실험방법

딸기 재배시 양액의 EC에 대한 배액의 무기성분 변화를 알아보기 위하여 화분에 3L의 상토를 충전하고 정식하여 생육 시킨 후 양액의 EC를 0.4, 0.7, 1.0, 1.3, 1.6, 1.6으로 관주하면서 생육과 배액의 이화학성을 분석하였다. 양액의 조성은 N(NO<sub>3</sub>-N): P: K: Ca: Mg = 12(11): 1.8: 7: 2.8: 1로 하여 하루에 주당 400ml씩 처리하였고, 배지는 코코 피트와 피트모스 및 펄라이트가 각각 6:2:2인 혼합상토를 사용하였다.

- 딸기 공급액의 EC에 따른 생육과 엽록소 함량

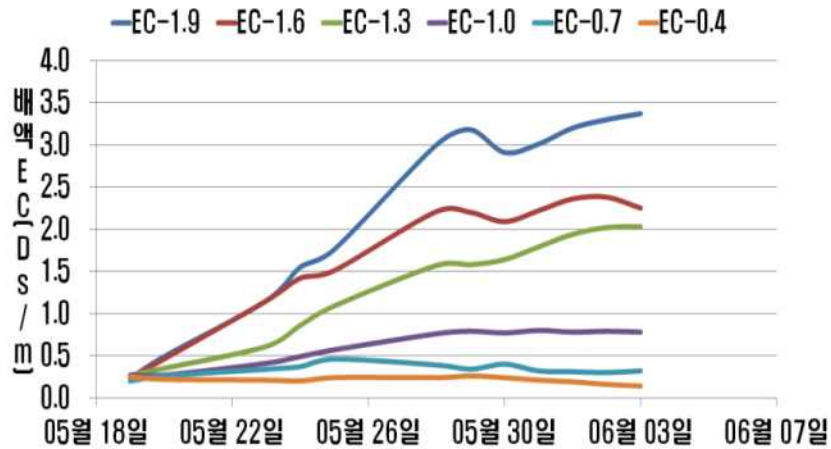
공급액의 EC에 따른 생육과 엽록소 함량은 EC가 높을수록 우수한 경향을 보였다.

<공급액의 EC에 따른 생육과 엽록소 함량>

양액 EC	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽록소함량 (SPAD)
1.9	34.4	15.7	11.5	48.2
1.6	34.2	15.6	11.5	44.1
1.3	33.7	15.5	11.3	43.7
1.0	33.3	15.5	11.5	41.4
0.7	33.0	14.7	11.0	40.5
0.4	32.5	14.5	10.2	39.1

- 공급액의 EC에 대한 배액의 EC변화

배액의 EC는 공급된 양액의 EC가 높을수록 높게 조사되었는데, 양액의 EC 1.9, 1.6, 1.3에서의 10일 후의 배액의 EC는 각각 3.0, 2.2, 1.6으로 공급된 양액 EC보다 높게 조사되었고, 양액 EC 1.0, 0.7, 0.4에서의 배액 EC는 각각 0.8, 0.4, 0.3으로 공급 EC보다 낮게 분석되었다. 또한 시간경과에 따라 배액의 EC가 일정하게 유지되는 시간은 약 10일 정도의 기간이 소요되었다.



<공급액의 EC에 따른 배액의 EC 변화>

- 공급액과 배액의 무기성분 함량

양액 EC 1.0으로 공급한 후 일정한 배액을 유지할 때의 배액과 공급액에 대한 무기성분 함량 차이는 칼슘의 경우 가장 크게 조사되었다. 이러한 결과는 새 상토의 경우 칼슘이 부족하다는 연구결과로부터, 칼슘이 상토에 많이 집적되었기 때문으로 판단되었다.

<배액의 시간경과에 따른 무기성분 함량 변화>

무기성분 함량 (mg/kg)		P	K	Ca	Mg
배액	5/29	29	112	8	6
	5/30	25	112	9	7
	5/31	25	116	9	7
	6/1	22	116	9	6
	6/2	22	107	9	6
	6/3	19	107	9	6
배액 평균		24	112	9	6
양액 평균		25	135	59	12

- 공급액 EC에 따른 딸기잎 무기성분 함량

양액 EC가 높을수록 식물체 지상부의 무기성분함량이 높게 분석되었다. 다만 양액 EC 1.0 이상에서의 무기성분 함량 변화는 크지 않았고, EC 0.4에서 현저한 차이를 보였는데, 이는 16일의 짧은 처리기간 때문으로 판단되었다.

<공급액 EC에 따른 딸기잎 무기성분 함량(%)>

양액 EC	P	K	Ca	Mg
1.9	0.50	3.19	1.09	0.52
1.6	0.52	3.00	1.07	0.49
1.3	0.51	3.14	1.07	0.51
1.0	0.50	3.16	1.05	0.50
0.7	0.44	3.19	1.01	0.50
0.4	0.33	2.62	0.95	0.45

○ 딸기 관주량에 따른 배액과 상토의 무기성분 함량 변화

- 실험방법

딸기 재배시 공급되는 관주량에 따른 배액의 무기성분을 알아보기 위하여 하루의 관주량을 주당 300ml, 420ml, 540ml, 660ml, 780ml씩 하루에 3회에 나누어 관주하면서, 배액과 상토의 무기성분 함량을 분석하였다. 양액의 조성은 N(NO<sub>3</sub>-N): P: K: Ca: Mg = 12(11): 1.8: 7: 2.8: 1로 하였고 배지는 코코피트와 피트모스 및 펄라이트가 각각 6:2:2인 혼합상토를 사용하였다.

- 딸기 관주량에 따른 생육과 배액율

관주량이 높아짐에 따라 생육은 우수하고 배액율이 증가하였다. 공급량에 대한 배액량의 차이(소모량)는 186~266ml/주/일로 관주량이 많을수록 증가( $y = -0.003x^2 + 0.4724x + 71.893$ ,  $r^2 = 0.99$ )하였다. 이러한 결과는 추후 관주량에 따른 식물체의 수분함량과 증발량도 같이 연구되어야 할 것으로 판단되었다.

<딸기 관주량에 따른 배액의 생육과 배액율>

공급량(A) (ml/주/일)	초장 (cm)	배액량(B) (ml)	소모량 (A-B)ml	배액율 (%)
300	33.4	114	186	38.0
420	33.6	196	224	46.7
540	36.2	300	240	55.6
660	36.5	402	258	60.9
780	36.8	514	266	65.9

- 딸기 관주량에 대한 배액의 무기성분 함량

배액의 무기성분 함량은 300ml 관주시 가장 낮았고, 관주량이 증가함에 따라 증가하

는 경향을 보다. 공급액과 비교할 경우, 배액의 칼슘함량이 가장 낮게 조사되었고, 마그네슘이 가장 높게 조사되어, 양분별 차이를 보였다. 이러한 결과는 1년차 상토에서의 결과로 상토의 사용연차에 따른 연구도 진행되어야 할 것이다.

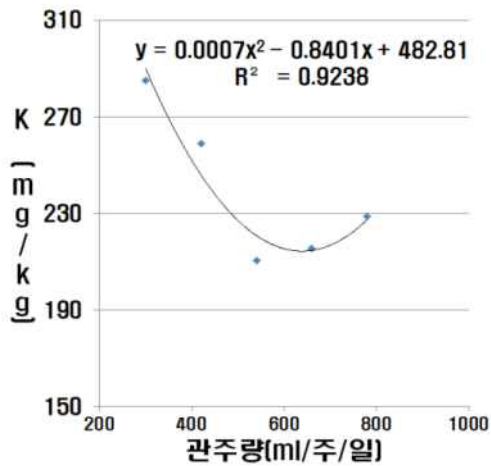
<딸기 관주량에 대한 배액의 무기성분 함량>

공급량(A) (ml/주/일)	NO <sub>3</sub>	P	K	Ca	Mg
300	215	19	124	16	8
420	360	29	122	28	16
540	364	27	147	27	20
660	394	33	173	35	21
780	364	34	165	32	22
공급액	465	42	193	92	23

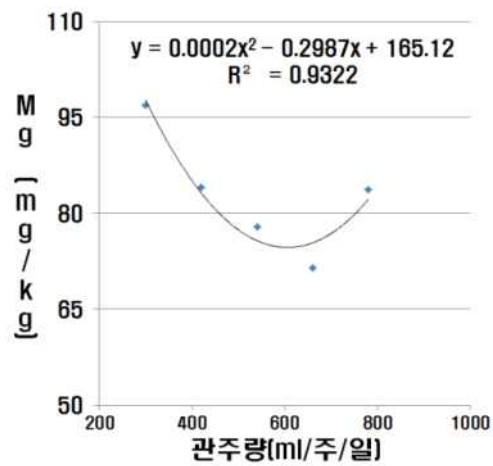
- 관주량에 대한 상토의 무기성분 변화

상토의 무기성분 함량은 관주량이 300ml에서 가장 높게 조사되었고, 점차 낮아지다가 관주량이 780ml에서는 다시 높아지는 경향이였다. 상토의 칼륨과 마그네슘의 함량이 가장 낮을 때의 관주량은 각각 600ml 와 746ml 로 분석되었다.

<관주량에 대한 상토의 칼륨과 마그네슘과의 회귀그래프>



<관주량에 따른 칼륨의 함량>



<관주량에 따른 마그네슘의 함량>

- 딸기 관주량에 대한 식물체 무기성분 함량

관주량에 따른 식물체 무기성분 함량은 K > Ca > P > Mg 순으로 처리별 큰 차이는 보이지 않았는데, Ca은 관주량이 증가함에 따라 감소하였고, P, K는 감소 후 증가하

는 경향을 보여, 상토와 유사한 경향을 보였다.

<딸기 관주량에 대한 식물체 무기성분 함량>

공급량(A) (ml/주/일)	P	K	Ca	Mg
300	0.40	2.20	0.99	0.31
420	0.37	2.20	0.86	0.33
540	0.39	2.01	0.76	0.30
660	0.47	2.45	0.84	0.33
780	0.44	2.21	0.72	0.31

○ 딸기 수확기 품종별 배액의 무기성분 분석을 통한 양액재활용 연구

- 실험재료 및 방법

딸기의 품종은 설향, 매행 및 킹스베리을 이용하여, 논산딸기시험장의 비닐하우스 단동 수경재배 포장에서 2017년 9월에 정식하고 생육시키면서 본 시험을 수행하였다. 배지는 코코피트: 피트모스: 펄라이트= 6: 2: 2인 혼합상토를 사용하였고, 생육기간 중의 관주량은 생육시기별로, 9월~11월은 하루에 주당 250ml, 12월~1월은 150ml, 2월 이후에는 300ml로 4~6회씩 나누어 관주하였다. 양분공급에 사용된 양액은 논산딸기시험장에서 개발한 N(NO<sub>3</sub>-N): P: K: Ca: Mg = 15(12): 5: 7: 6: 2로 조성하여 공급하였다. 배액의 발생한 이후에는 조성한 양액 3분의 2와 배액 3분의 1을 혼합하여 관주하면서 품종별 생육상황을 관찰하였다. 생육시기별 양액공급의 EC는 0.7~1.5로 관리하였고, 식물체 생육과 배액의 무기성분, 식물체 무기성분함량 및 수량성을 분석하였다.

- 조사 및 분석 방법

생육의 엽병장과 엽장 및 엽폭은 생육이 가장 왕성한 3번째 잎에 대하여 조사하였고, 출퇴 및 개화시기는 처리별 120주에 대하여 출퇴와 개화가 40% 진행된 시기로 하였다.

식물체 무기성분 함량은 채취한 시료를 75℃에서 24시간 건조하고 분쇄한 후, 질소 및 인산과 칼륨, 마그네슘 및 미량원소를 분석하였다. 질소는 켈달법으로 분석하였고, 인산과 칼륨, 마그네슘 및 미량원소는 질산, 과염소산, 염산으로 산분해 하여 100배 희석액으로 제조한 후, 유도결합플라즈마분광계(ICP)를 이용하여 분석하였다.

분석에 사용된 배액은 처리별 스킨로폼 배드 12M에 정식된 120주에 대하여 배출되는 배액을 일주일 간격으로 하루 동안의 시료를 채취하였다.

배액의 이화학성 분석은 pH와 EC는 채취한 시료를 NO.2 여과지로 여과한 후, pH는 IQ-150로 측정하고, EC는 ECtestr11로 측정하여 dS/m로 표기하였고, 질산태 질소는 RQflex 10(Merck, Germany)로 분석하였고, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 ICP(Intergra XL, GBC Scientific Equipment, Australia)로 분석하였다.

수량성과 과실품질: 수량성은 30주씩 3반복으로 조사하여 10a 면적 당 kg으로 환산하였고, 경도는 Rheotex로 측정하여 g/mm2으로 표기하고 당도와 산도는 과실 전체를 으깨어 SAM-7300로 측정한 후 각각 °Brix와 %로 표기하였다.

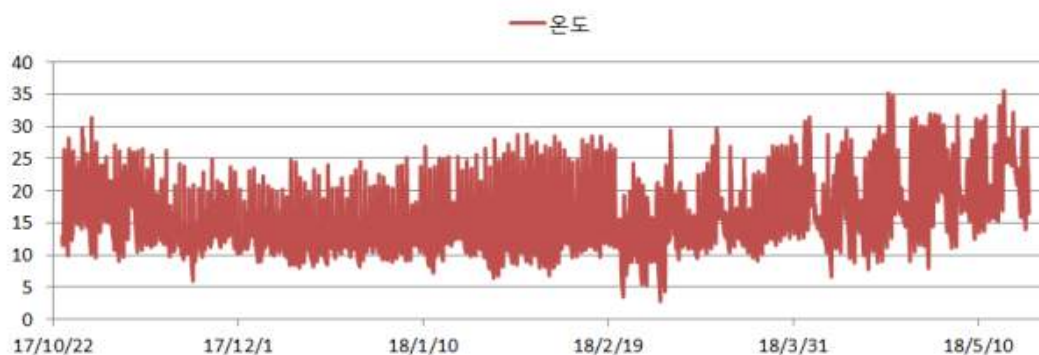
재배기간 중의 하우스내 온도와 습도는 WatchDog 1000 Series 데이터로거를 이용하여 1시간 간격으로 조사하였다.

- 딸기 생육기간 중 시설하우스 내 온도와 습도

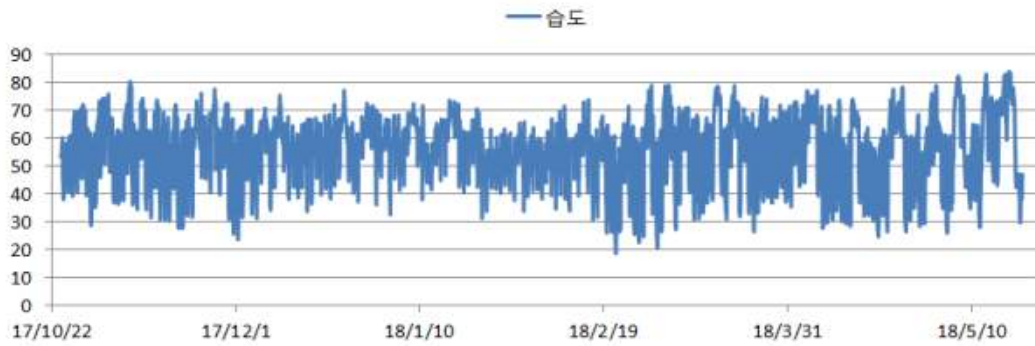
생육기간 중 평균온도는 10월에 17.9℃에서 낮아져 12월과 1월이 가장 낮았고, 2월이 후 높아지는 경향이였다. 12월과 2월의 최저온도는 8℃와 6℃로 조사되었는데, 2월과 3월의 최저 온도가 3.5℃와 2.5℃로 조사된 것은 하우스 난방을 하지 않았기 때문이었고, 기온이 급격한 변화가 있었기 때문이였다. 습도는 평균 53~60%로 10월부터 5월까지의 생육기간 중 유사하게 조사되었다.

<딸기 생육중 하우스 내부의 월별 온도와 습도 >

월별	온도(℃)			습도(%)		
	평균	최대	최소	평균	최대	최소
10월	17.9	31.4	9.6	55.8	72.1	28.7
11월	15.0	27.1	6.0	58.4	80.4	25.7
12월	12.8	24.8	8.0	58.1	77.2	23.7
1월	13.6	28.6	6.4	57.1	73.7	31.3
2월	14.3	28.8	3.5	53.6	77.1	18.7
3월	15.5	29.8	2.8	58.1	79.1	20.7
4월	18.4	35.2	6.6	55.2	78.4	24.7
5월	21.4	35.6	11.1	60.3	84.0	26.1



<딸기 생육기간 중 하우스 내부의 온도 변화>



<딸기 생육기간 중 하우스 내부의 습도 변화>

- 배액을 이용한 양액 재활용에서의 품종별 생육

설향, 킹스베리, 매향의 생육은 엽병장의 경우 킹스베리가 가장 우수하고 설향, 매향 순이었고, 생육기간 중의 엽병장은 모든 품종에서 1월에 생육이 가장 저조하였고, 2월에서 3월에 생육이 우수해지는 경향이였다.



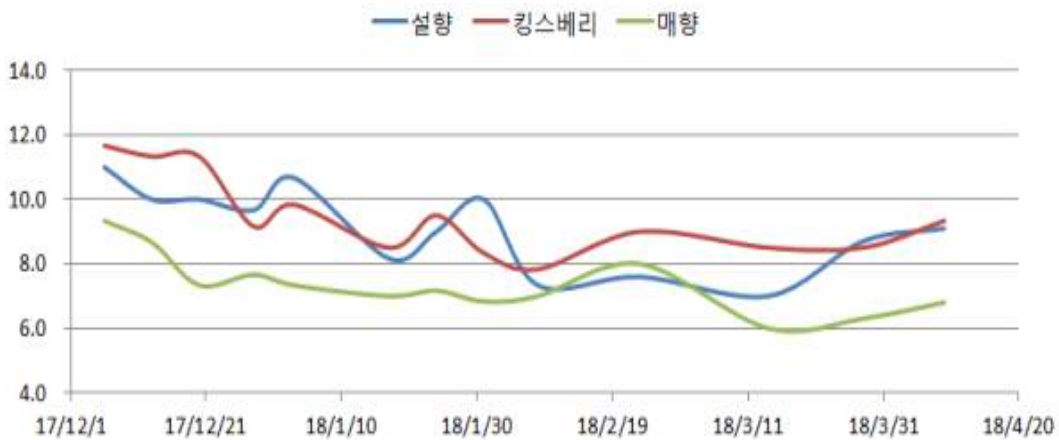
<생육기간 중 품종별 엽병장의 변화>

엽장의 생육은 설향, 매향, 킹스베리 순이었고, 생육기간 중 모든 품종에서 2월 중순까지 생육이 저조해지다가 회복되는 경향을 보였다. 엽폭은 킹스베리와 설향에 비해 작은 경향을 보였고, 생육기간 중 3월 이후에 회복되는 경향을 보였다.





<생육기간 중 품종별 엽장의 변화>



<생육기간 중 품종별 엽폭의 변화>

이러한 결과는 딸기 수경재배시 비순환식으로 재배할 경우와 같은 결과로서, 딸기의 설향, 킹스베리, 매향 품종에 양액재활용을 활용할 경우 생육이 정상적임을 확인할 수 있었고, 품종별 생육차이에 대한 경향도 비순환식에서와 같음을 확인할 수 있었다.

딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 생육상황



<품종별 양액재활용 시험포장>



<설향\_양액재활용 생육상황>



<킹스베리\_양액재활용 생육상황>



<매향\_양액재활용 생육상황>

- 배액을 이용한 양액 재활용에서의 품종별 출퇴 및 개화시기

품종별 출퇴시기는 킹스베리가 가장 빠른 10월 2일로 조사되었고, 설향과 매향은 10월 5일로 조사되었다. 개화시기는 출퇴가 가장 빨랐던 킹스베리가 10월 11일로 가장 빨랐고, 개화는 10월 16일로 조사되었다. 킹스베리 품종에서 출퇴와 개화시기가 빨랐던 것은 품종의 고유의 특성과 비료의 양분관리에 따른 품종별 차이가 있었기 때문이다.

<딸기 수경재배 배액 재활용시 품종별 출퇴 및 개화시기>

품종	시기별 출퇴율(%)		출퇴시기	시기별 개화율(%)			개화시기
	10월 2일	10월 6일		10월 11일	10월 13일	10월 16일	
설향	22.8	49.6	10월 5일	15.0	26.8	43.3	10월 16일
킹스베리	42.7	76.1	10월 2일	44.3	84.3	96.9	10월 11일
매향	10.6	46.6	10월 5일	11.5	20.6	45.0	10월 16일

킹스베리의 출퇴시기가 설향과 매향에 비해 3일 빨랐는데, 개화시기는 설향과 매향에 비해 5일이 빠랐던 결과를 보인 것은 딸기 재배에서 10월은 생육이 빠르게 진행되는 시기로 출퇴가 빠를 경우, 개화의 속도가 더 빨라짐을 알 수 있었다. 또한 이러한 출퇴와 개화의 정상적인 출현은 배액을 이용하여 양액을 재활용함에 있어 정상적인 생육 특성이 나타남을 확인할 수 있었다.

<딸기 수경재배 배액재활용시 출퇴와 개화 모습>



<출퇴>



<개화>

- 양액재활용에서의 품종별 배액의 EC와 pH

조성된 양액과 배액을 혼합하여 양액의 EC를 1.0~1.2, pH는 6.3으로 관리하면서 품종별 배액의 EC와 pH를 분석하였다. 배액의 pH는 설향이 6.3으로 가장 높고, 킹스베리 (pH 5.8), 매향(pH 5.7)순이었고, EC는 매향이 가장 높고, 킹스베리, 설향 순으로 pH와 EC는 반대의 경향을 보였다. 동일한 양액으로 동일한 비료량이 관주되었는데도, 품종에 따라 배액의 pH와 EC가 서로 다른 것은 품종의 특성이기 때문이며, 양액의 재활용에서의 양액조성은 품종별 차이가 있어야 더욱 정확한 양액관리가 가능함을 보여주는 결과였다.

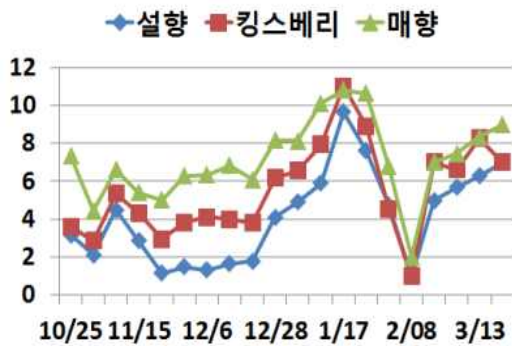
<딸기 수경재배 배액 재활용시 품종별 배액의 pH와 EC>

품 종	pH	EC(dS/m)
설향	6.3	0.31
킹스베리	5.8	0.33
매향	5.7	0.42

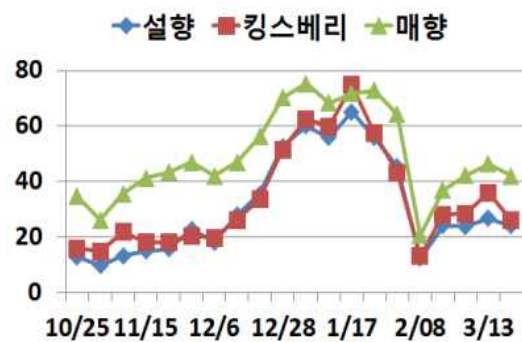
- 딸기 수경재배 배액 재활용시 품종별 배액의 무기성분 함량

품종별 배액의 암모니아태 질소 함량은 매향이 평균 117mg/kg으로 가장 높고, 킹스베리(93mg/kg), 설향(84mg/kg)순이었고, 인산함량은 매향이 평균 7mg/kg으로 가장 높고, 킹스베리(5mg/kg), 설향(4mg/kg)순이었다. 칼륨도 암모니아태질소와 인산과 같은 경향으로 매향이 평균 49mg/kg으로 가장 높고, 킹스베리(34mg/kg), 설향(31mg/kg)순이었으며, 칼슘과 마그네슘도 같은 경향을 보였다.

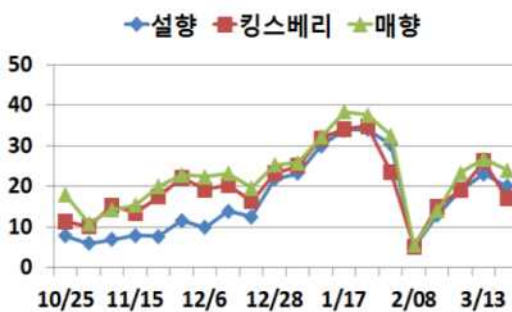
딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 무기성분 함량 변화



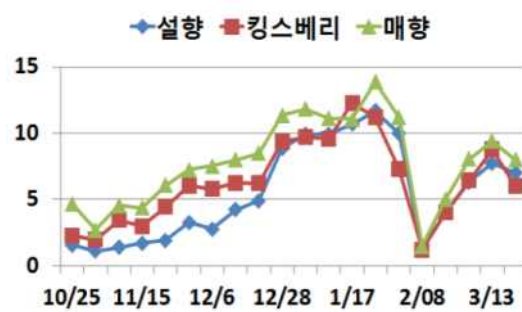
<생육시기별 품종별 배액의 P 함량>



<생육시기별 품종별 배액의 K 함량>



<생육시기별 품종별 배액의 Ca 함량>



<생육시기별 품종별 배액의 Mg 함량>

배액의 무기성분별 양분함량은 모든 품종에서 암모니아태 질소가 가장 높고 칼륨,

칼슘, 인산, 마그네슘 순이었다. 이러한 결과는 품종별 양분을 흡수하는 차이 때문으로, 설향 품종이 양분을 흡수하는 능력이 가장 크고, 킹스베리, 매향 순임을 알 수 있었다. 시기별 양분함량의 변화는 모든 품종에서 1월 중순까지 무기성분의 함량이 높아지다가 2월초에 급격히 낮아지는 결과를 보였는데, 이러한 이유는 딸기의 생육관리 측면에서 저온이 지속되고, 광량이 부족한 시기에 공급양액의 무기성분 함량을 낮추어 관리하였기 때문이었다.



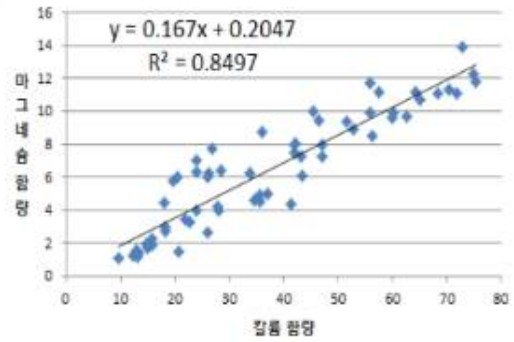
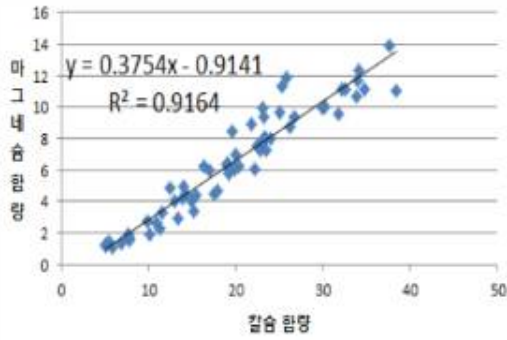
<배액 시료채취 장면>

품종별 배액의 무기성분에 대한 관계를 알아보고자, 설향, 킹스베리, 매향 품종의 배액 무기성분에 대한 상관관계를 분석한 결과, 칼슘과 마그네슘의 함량이 가장 높은 상관( $r=0.96$ )을 보였고, 다음으로 칼륨과 마그네슘의 상관이 높게( $r=0.92$ ) 분석되었으며, 칼륨과 칼슘( $r=0.86$ )순 이었다. 또한 상관계수가 높았던 무기성분에 대한 1차 회귀선과 회귀식을 도출하여, 배액의 무기성분에 대한 관계를 구명하였다.

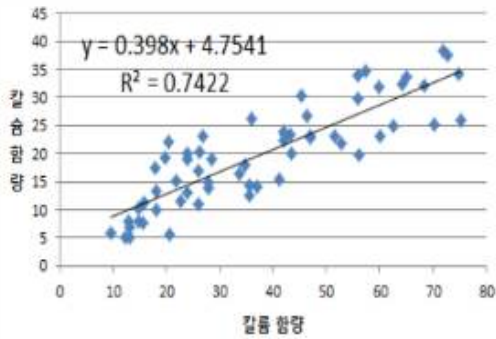
<딸기 수경재배 배액재활용 시 배액 무기성분과의 상관관계>

상관계수(r)	P	K	Ca	Mg
P	1.00			
K	0.76	1.00		
Ca	0.82	0.86	1.00	
Mg	0.80	0.92	0.96	1.00

<딸기 수경재배 배액재활용시 배액의 무기성분 회귀관계>



<배액의 Ca와 Mg의 회귀선>



<배액의 K와 Mg의 회귀선>

<배액의 K와 Ca의 회귀선>

철, 망간, 구리의 미량원소에 대한 품종별 배액의 무기성분 함량은 철과 망간의 경우 매향에서 가장 높고, 킹스베리, 설향 순으로 다량원소인 질산태질소, 인산, 칼륨 및 칼슘과 같은 결과를 보였다.

<딸기 수경재배 배액 재활용시 품종별 배액의 미량원소 함량 변화>

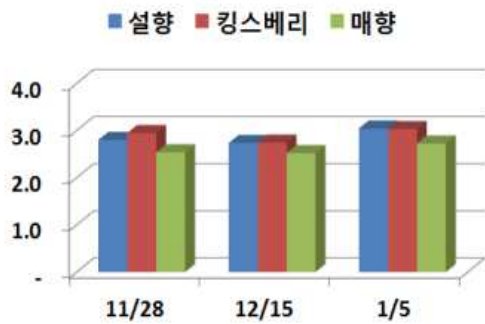
시기 (월/일)	Fe ( $\mu\text{g/kg}$ )			Mn ( $\mu\text{g/kg}$ )			Cu ( $\mu\text{g/kg}$ )		
	설향	킹스베리	매향	설향	킹스베리	매향	설향	킹스베리	매향
10/25	1,243	1,336	1,404	10	16	38	10	9	12
11/01	965	1,232	1,054	4	18	30	13	5	8
11/08	1,166	1,447	759	17	28	10	12	10	12
11/15	1,465	1,792	1,173	12	27	47	10	7	3
11/23	989	1,407	942	16	31	57	10	6	14
11/29	724	1,066	750	8	27	48	6	9	9
12/06	665	932	588	11	23	52	10	3	6
12/13	540	801	551	16	26	47	6	3	4
12/20	481	723	480	12	20	39	11	8	10
12/28	580	839	575	23	25	41	8	7	10
01/03	579	780	618	21	27	37	11	7	7
01/10	696	975	764	18	21	23	5	7	7
01/17	1,102	890	1,253	37	41	142	7	7	19
01/24	1,015	1,240	1,051	43	30	35	10	6	7
01/31	1,126	1,186	1,054	9	12	24	11	8	8
02/08	321	363	285	14	10	6	8	4	6
02/13	700	800	6,000	21	19	7	7	6	4
03/09	739	756	578	22	12	9	9	8	9
03/13	814	884	669	33	13	6	14	7	6
03/20	800	700	600	42	37	24	12	9	4
평균	835	1,007	1,057	19	23	35	9	6	8

- 딸기 수경재배 배액 재활용시 품종별 식물체 무기성분 함량

배액을 재활용했을 경우의 딸기 잎의 질소함량은 품종별로 큰 차이는 없었으나 킹스베리에서 약간 높게 분석되었다. 질소와 함께 식물체에 많은 함량을 차지하는 탄소는 킹스베리에서 가장 높았고, 매향, 설향 순이었는데, 모든 품종에서 생육기간이 길어지면서 탄소 함량이 높아지는 경향을 보였다.

인산함량은 설향에서 높게 분석되었고 킹스베리 매향 순이었는데, 설향에서 특히 높게 분석되었다. 칼륨함량은 품종별 인산과 같은 경향으로 설향, 킹스베리, 매향 순이었으나 그 차이는 인산보다는 크지 않았으며, 칼슘과 마그네슘함량은 설향과 킹스베리에 비해 매향이 낮은 경향을 보였다.

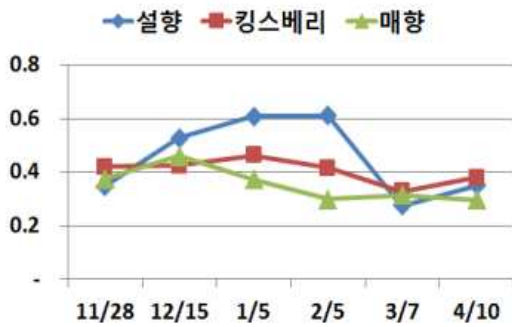
<딸기 수정재배 배액재활용시 품종별 잎의 무기성분 함량>



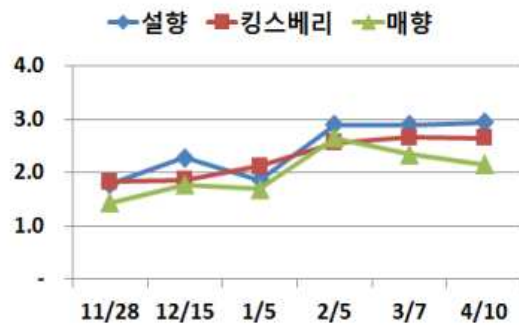
<생육시기별 품종별 잎의 N 함량>



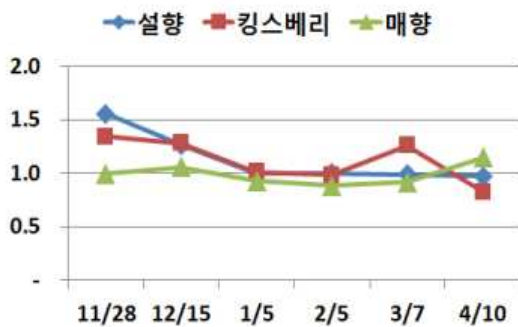
<생육시기별 품종잎의 C 함량>



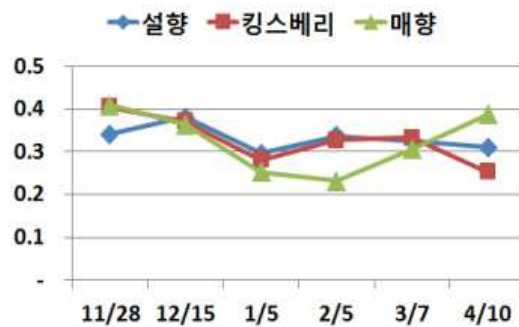
<생육시기별 품종별 잎의 P 함량>



<생육시기별 품종잎의 K 함량>



<생육시기별 품종별 잎의 Ca 함량>



<생육시기별 품종별 잎의 Mg 함량>

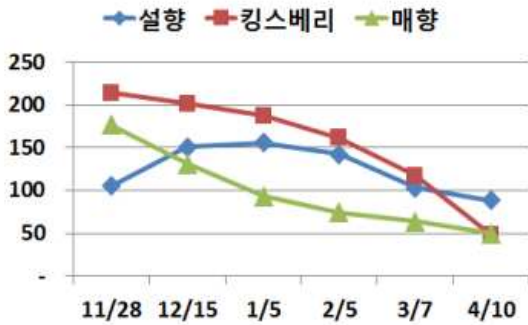
품종별 식물체의 미량원소에 대한 생육시기별 함량변화는 망간의 경우 킹스베리, 설향, 매향 순으로 생육이 진행됨에 따라 낮아지는 결과를 보였고, 설향과 킹스베리에 비해 매향 함량이 낮았다. 붕소와 철 및 아연의 함량은 품종별 큰 차이를 보이지 않았는데, 붕소와 철은 생육이 진행됨에 따라 망간과 같은 경향으로 낮은 경향을 보였는데, 아연은 전 생육기간 유사함 함량을 유지하는 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 품종별 식물체의 무기성분 함량은 배액의 무기성분 함량과 반대의 경향을 보였는데, 품종별 무기성분에 대한 흡비력의 차이로 뿌리에서 무기성분의 흡수차에 따라 배액의 무기성분에도 차이를 보인 것으로 사료되었다. 이러한 결과로부터 품

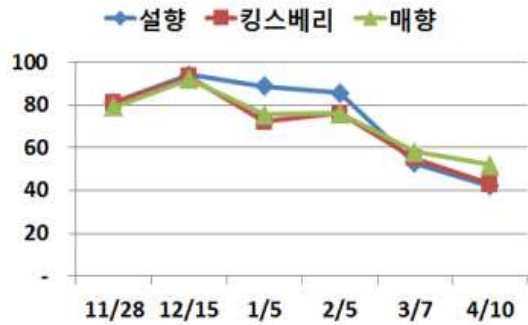


종별 식물체 무기성분의 함량이 차이가 있음을 알 수 있었고, 양액조성시 양액처방이 서로 다르게 조합되어야 할 것으로 판단되었다.

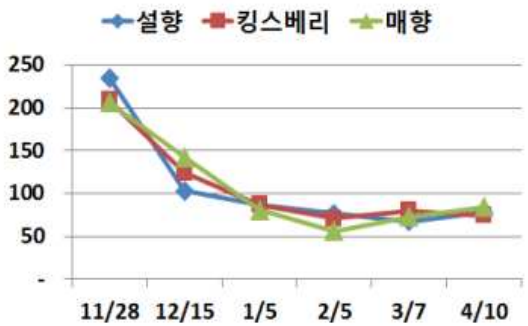
<딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 잎의 미량원소 함량>



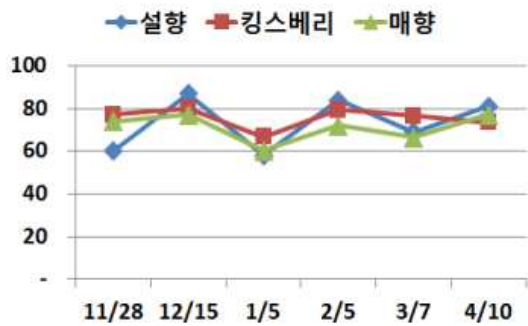
<생육시기별 품종별 잎의 Mn 함량>



<생육시기별 품종별 잎의 B 함량>



<생육시기별 품종별 잎의 Fe 함량>

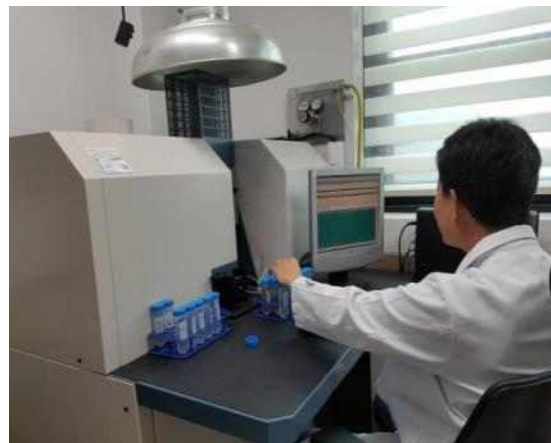


<생육시기별 품종별 잎의 Zn 함량>

<딸기 식물체의 무기성분 분석과정>



<분석 전처리과정>



<무기성분 분석>

- 딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 수량성  
 설향, 킹스베리, 매향의 4월까지의 수량성은 설향이 6,437kg/10a로 가장 높고, 킹스베리, 매향 순이었다.

딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 수량성

품 종	수량성 (kg/10a)	과일수 (천개/10a)	평균 과중 (g)
설 향	6,437	274	23.1
킹스베리	4,898	147	33.3
매 향	3,534	236	14.9

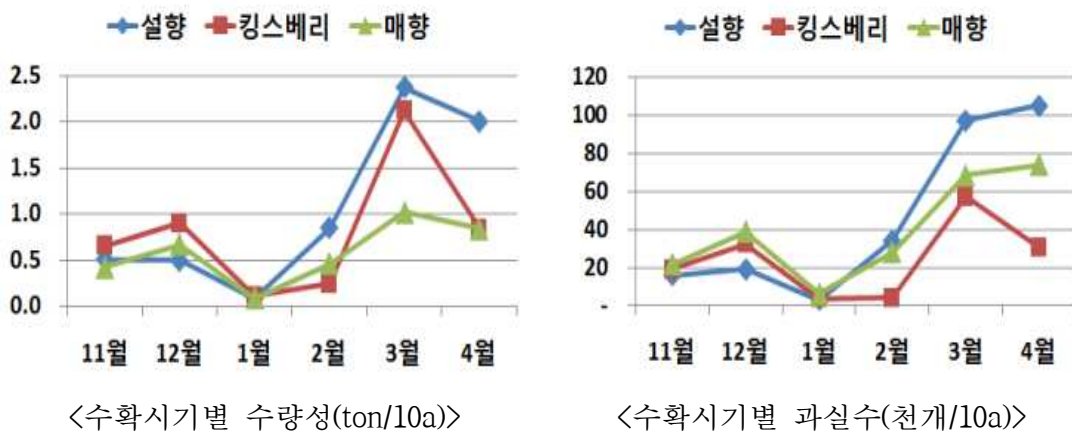
수확시기에 따른 월별 수량성은 3월과 4월에 가장 높게 조사되었고, 1월에 가장 낮게 조사되었는데 이러한 이유는 1월은 온도가 낮아 딸기의 생육에 불리하고, 화방이 교체되는 시기로 딸기의 피로현상이 발생하는 시기이기 때문이었다.

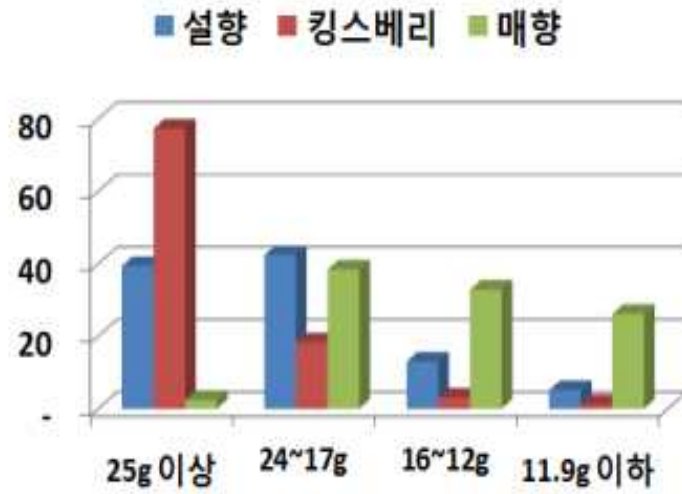
과일의 개체수는 설향이 가장 많고, 매향, 킹스베리 순이었는데, 킹스베리의 경우 생산 무게는 매향보다 높았으나, 개체수가 적은 것은 과실의 크기가 컷기 때문이었다.

품종별 과일 크기에 대한 비율은 킹스베리의 경우 17g이상의 대과가 95%을 차지하였고, 설향의 경우는 81%를 차지하였으며, 매향은 39%로 과실의 상품성에 대한 차이를 보였다.

설향, 킹스베리 및 매향의 과실 특성은 서로 다른 특성을 가지고 있다. 설향은 다수성, 킹스베리는 대과성, 매향은 고당도의 특징을 가지는데, 양액 재활용을 이용한 본 연구에서도 같은 결과를 보여, 딸기 수경재배시 양액의 재활용이 품종의 특성에는 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

딸기 수경재배 배액재활용시 생육시기별 품종별 수량성





<딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 과일 상품성>

<딸기 수경재배 배액재활용시 품종별 수확기 생육상황>



<설향 수확기>



<킹스베리 수확기>



<매향 수확기>

## 2. 통합시작품 현장 실증시험

### 가. 토마토 수경재배에서 개발 양액기계의 현장적용

#### ■ 반축성 수경재배 시 배액 재활용 방법에 따른 토마토 생육 및 무기성분의 변화

#### ○ 연구 배경 및 실험 목적

- 한국의 수경재배 면적 및 생산량은 크게 증가하고 있으나 농가의 대부분은 비순환식 수경재배를 하고 있고, 약 5% 만이 순환식 수경재배를 실시하고 있는 것으로 나타났다. 수경재배에서 발생하는 배액과 폐배지의 방출을 규제하는 것이 국제적 흐름이다. 비순환식 수경재배는 토양 및 수질에 대한 환경 부담이 클 뿐만 아니라, 낭비되는 수 자원과 비용을 순환식으로 재활용할 경우 약 30% 이상 경영비 절감이 가능하다 (Lee, 2014).
- 그러나 배액을 순환시켜 재사용할 때 무기이온 간의 불균형으로 작물 생육이 불량하기 때문에 이를 해결하기 위한 기술 개발이 필요하다. 또한 배액 내 무기이온을 각각 직접 제어하는 것이 가장 이상적이지만(Yang et al., 2008), 현실적으로는 배액의 전체 이온농도(EC)를 측정하여 목표로 하는 농도 수준으로 희석하는 방법이 주로 이용되고 있다.
- 그러나 작물의 무기이온 흡수는 기상조건이나 작물의 성장단계 등 식물체의 여러 변수 의해 이온간 흡수비율이 달라지므로(Choi et al., 2008), EC 기준 제어로는 양액내 이온의 균형이 유지되지 않는 문제가 있다(Savvas and Manos, 1999). 또한 개별 센서의 정확성과 재현성이 낮고 보정 주기가 짧아 실용적인 적용은 어려운 것이 실정이다(Morard, 1997; Gieling et al., 2005). 그럼에도 이에 대한 연구는 꾸준히 이루어지고 있어 NO<sub>3</sub>-N, K, Ca 이온 센서는 최근에 상당히 안정적으로 사용할 수 있는 것으로 보고되고 있으나(Morard, 1996; Feng et al., 2011), SO<sub>4</sub>와 PO<sub>4</sub>는 이온선택성 센서로 측정할 수 없고, Mg는 안정된 결과치를 얻을 수 없었다고 하였다(Kim et al., 2006).
- 미량요소 센서는 현재까지 순환식 수경 재배가 다량요소 제어를 전제로 하고 있으므로 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 비교적 안정적인 NO<sub>3</sub>-N, K, Ca는 센서를 이용하여 제어하고 Mg, P이온을 제어하는 방법을 개발한다면 순환식 수경재배에서 배액내 이온 불균형을 해소할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 NO<sub>3</sub>-N, K이온을 센서로 자동 측정된 배액 30%와 배양액 70% 혼합하고 부족한 원소는 새로운 배양액으로 자동 공급하는 양액공급기를 개발하고자 이 연구를 수행하였다.

○ 실험식물 재배관리

- 충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서 40일간 육묘한 ‘대프니스’(일반토마토, 신젠타)묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다. 2017년 3월 10일 펠라이트 배지가 충진된 베드에 재식거리 160×25cm로 하여 토마토 묘를 1주씩 정식하였고, 정식 직후부터 양액을 공급하였다. 본 연구를 위한 양액은 야마자키 토마토 전용액을 사용하였으며 다량원소의 조성은  $\text{NO}_3\text{-N}$  7,  $\text{PO}_4\text{-P}$  2, K 4, Ca 3, Mg  $2\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ , 미량원소는 Fe 2, B 0.2, Mn 0.14, Zn  $0.02\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 였다. 양액은 누적 일사량이  $600\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 에 도달할 때 1회 공급하였고, 관수 시간은 생육초기에는 2분으로, 그리고 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다. 배양액 EC의 경우 정식 후 활착기는  $1.7\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로, 이후 생육 후기까지  $2.0\text{dS}\pm 0.3\cdot\text{m}^{-1}$ 로 관리하였으며, 시설 내 최저 온도는  $18^\circ\text{C}$ 로 설정하여 보일러 온수난방을 하였다.

○ 배양액 재활용 처리방법

- 1) 대조구는 야마자키액을 비순환식인 배출식으로 공급하였고(YNST), 2) 배액 재활용 처리구는 N K 성분 조절 없이 배액 30%에 야마자키 배양액 70%를 혼합한 배양액으로 공급하였으며(DNS), 3) 배액 재활용 N K 조절 처리구는 2주 간격으로 배액의 무기성분을 분석하여 배액의 N K를 조절한 배액 30%에 야마자키 배양액 70%를 혼합(DNSC)하여 배양액으로 공급하였다. 배액 분석을 통해 N K함량을 조절할 경우 배액의 pH가 높을 때는 10수염 질산칼슘을 사용하였고, pH가 낮을 때는 4수염 질산칼슘을 사용하여 양액을 조성하였다.

○ 생육조사 및 무기성분 분석

- 생육 상황의 초장, 엽수, 엽면적, 성장속도 등은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2003)에 따라 반복당 10주씩 2017년 7월 20일 까지 조사하였다. 공급액과 배액의 무기원소농도 분석은 활착기 이후 배액 공급을 혼합 공급하면서 2주에 공급액과 배액을 채취하여 No. 2 여과지로 여과한 후 냉장 보관하면서 분석에 이용하였다. 양액의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 Merck RQflex(Eijkkelkamp, Giesbeek, The Netherland)로, P, K, Ca, Mg 및 Fe는 ICP(Integra XM2, GBC Scientific Equipment, Australia)를 이용하여 분석하였다.

야마가키코비료												
입질	NO3-N	NH4-N	PO4-P	K	Ca	Mg	SO4-S	HCO3-	pH	EO(mg/m)	농축비율	검사항목요청
야마가키코비료	7.00	0.87	2.00	4.00	3.00	2.00	2.00	50.00	8.78	9.00	100배	88
수질분석치(mg/L)	2.80	0.00	0.40	2.10	0.00	0.00	0.00	0.00	7.12	6.00		
계량농도(mg/L)	< 1.0	0.87	1.60	1.90	3.00	1.40	1.40	0.00				
비료명(다량원소)	NO3-N	NH4-N	PO4-P	K	Ca	Mg	SO4-S	농도(mg/L)	소요량(kg/L/T)	검사항목(kg/L/T)	비료명(다량원소)	
(1) Ca(NO3)2·4H2O	3.00				3.00			3.00	0.364	118.0	36.400	(1) Ca(NO3)2·4H2O
(1) 6[Ca(NO3)2]x[CaH2O]NH4NO3	0.00	0.00			0.00			0.00		169.0		(1) 6[Ca(NO3)2]x[CaH2O]NH4NO3
(2) MgSO4·7H2O						1.40	1.40	1.40	0.172	122.0	17.266	(2) MgSO4·7H2O
(2) Mg(NO3)2·6H2O	0.00					0.00		0.00		119.2		(2) Mg(NO3)2·6H2O
(3) NH4H2PO4		0.87	0.01					0.01	0.077	35.3	7.721	(3) NH4H2PO4
(3-1) KH2PO4			0.00	0.00				0.00		48.0		(3-1) KH2PO4
(4) KNO3	1.10			1.10				1.10	0.111	101.0	11.111	(4) KNO3
(6) NH4NO3	0.00	0.00						0.00		80.0		(6) NH4NO3
(8) K2SO4				0.80			0.80	0.80	0.07	87.0	8.980	(8) K2SO4
(7) KOH								0.00		74.9		(7) KOH
(8) HNO3(62%)	0.000							0.00	#REF!	83.1		(8) HNO3(62%)
(8) H3PO4(85%)			0.000					0.00	#REF!	82.7		(8) H3PO4(85%)
합 계	4.10	0.87	0.00	1.90	3.00	1.40	2.00		0.78		78.44	
검 상	검 상	검 상	계량	검 상	검 상	검 상	계량					
입질	Fe	B	Mn	Zn	Ca	Mg						
야마가키코비료	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
수질분석치(ppm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
계량농도(ppm)	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00						
비료명(미량원소)	원소비율	Fe	B	Mn	Zn	Ca	Mg	농도(mg/L)	소요량(g/T)	검상	농축비율(g/T)	비료명(미량원소)
(1) Fe-EDTA(1%)	14.0%	2.000						2.00	18.00	검상	1888.0	(1) Fe-EDTA(1%)
(2) H3BO3	17.6%		0.200					0.20	1.76	검상	114.4	(2) H3BO3
(2) Na2B2O7·10H2O	11.3%		0.000					0.00		시용안함		(2) Na2B2O7·10H2O
(3) MnSO4·4H2O	24.0%			####				0.14	0.98	검상	86.8	(3) MnSO4·4H2O
(3) MnSO4·6H2O	22.8%			####				0.00		시용안함		(3) MnSO4·6H2O
(4) ZnSO4·7H2O	22.7%				0.018			0.02	0.08	검상	8.2	(4) ZnSO4·7H2O
(6) CuSO4·5H2O	26.4%							0.01	0.08	검상	8.8	(6) CuSO4·5H2O
(8) (NH4)6Mo7O24·4H2O	64.5%							####	####	#VALUE!		(8) (NH4)6Mo7O24·4H2O
(6) Na2MoO4·2H2O	29.7%							0.000	0.00	시용안함		(6) Na2MoO4·2H2O
합 계		2.000	0.200	####	0.018	####	####					
검 상		검 상	검 상	검 상	검 상	검 상	검 상					

\* 비료값은 '비료'에서 검색하여 보실것  
 \* 시용비가 검상일 경우 '검상' 표시를 '농축비율'로 표시  
 \* 미량원소는 검상 비료값을 총 100%로 사용해야 함  
 \* 검상표는 총 100% 표시를 사용하여 계량(100%)

<배액의 N K 이온 분석후 배액의 무기성분 교정 산출식(3월 26일)>

배액과 배액조제액												
검사항목	NO3-N	NH4-N	PO4-P	K	Ca	Mg	BO4-B	HCO3-	pH	EO(m/m)	농축배수	검사항목
배액과 배액조제액	11.00	0.87	1.07	7.60	3.35	2.60	2.60	60.00	8.70	2.00	100%	배액과 배액조제액
수질분석지(mg/L)	0.88	0.00	0.10	0.71	0.89	0.39	0.39	0.00	7.12	0.00		
비발농도(mg/L)	10.12	0.87	0.97	8.79	3.45	2.11	2.11	0.00				
비료명(다량원소)	NO3-N	NH4-N	PO4-P	K	Ca	Mg	BO4-B	농도(mg/L)	소요량(kg/L/T)	1g당량	농축액(kg,L/T)	비료명(다량원소)
(1) Ca(NO3)2·4H2O	2.60				2.60			2.60	0.202	118.0	90.208	(1) Ca(NO3)2·4H2O
(1) 6[Ca(NO3)2·8H2O]NH4NO3	0.00	0.00		0.00				0.00		108.0		(1) 6[Ca(NO3)2·8H2O]NH4NO3
(2) MgBO4·7H2O						2.11	2.11	2.11	0.260	129.2	90.00	(2) MgBO4·7H2O
(2) Mg(NO3)2·6H2O	0.00					0.00		0.00		119.2		(2) Mg(NO3)2·6H2O
(3) NH4H2PO4		0.87	2.01					2.01	0.077	38.3	7.721	(3) NH4H2PO4
(3-1) KH2PO4			0.00	0.00				0.00		45.3		(3-1) KH2PO4
(4) KNO3	7.67			7.67				7.67	0.294	101.0	76.41	(4) KNO3
(6) NH4NO3	0.00	0.00						0.00		80.0		(6) NH4NO3
(8) K2B04				0.00		0.00		0.00		87.0		(8) K2B04
(7) KOH								0.00		74.6		(7) KOH
(8) HNO3(62%)	0.000							0.00	#REF!	85.1		(8) HNO3(62%)
(9) H3PO4(86%)			0.000					0.00	#REF!	92.7		(9) H3PO4(86%)
합 계	10.12	0.87	2.01	7.67	3.35	2.11	2.11		1.40		140.32	
검 상	정상	정상	과량	과량	정상	정상	정상					
검사항목	Fe	B	Mn	Zn	Ca	Mg						
배액과 배액조제액	2.00	0.20	0.20	0.01	0.01	0.01						
수질분석지(ppm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01						
비발농도(ppm)	2.00	0.20	0.14	0.02	0.01	###						
비료명 복합(미량원소)	원소비율	Fe	B	Mn	Zn	Ca	Mg	농도(mg/L)	소요량(g/T)	검 상	농축액(g/T)	비료명 복합(미량원소)
(1) Fe-EDTA(13%)	14.6%	2.000						2.00	13.00	정상	1568.8	(1) Fe-EDTA(13%)
(2) H2B04	17.6%		0.200					0.20	1.14	정상	114.4	(2) H2B04
(2) Na2B04·10H2O	11.3%		0.000					0.00		사용안함		(2) Na2B04·10H2O
(3) MnSO4·4H2O	24.8%			###				0.14	0.60	정상	86.8	(3) MnSO4·4H2O
(3) MnSO4·6H2O	22.8%			###				0.00		사용안함		(3) MnSO4·6H2O
(4) ZnSO4·7H2O	22.7%				0.018			0.02	0.08	정상	8.2	(4) ZnSO4·7H2O
(6) CuSO4·6H2O	25.4%					###		0.01	0.03	정상	2.8	(6) CuSO4·6H2O
(6) (NH4)6Mo7O24·4H2O	64.5%						###	#####		#VALUE!		(6) (NH4)6Mo7O24·4H2O
(8) Na2MoO4·2H2O	39.7%						0.000	0.00		사용안함		(8) Na2MoO4·2H2O
합 계		2.000	0.200	###	0.018	###	###					
검 상		정상	정상	정상	정상	정상	정상					

\* 비료명은 '비료'에서 선택하여 변경함  
 \* 사용지가 변경할 수 있는 항목은 '농축배수'항목  
 \* 미량원소용 검출률과 비료명용 합계값을 사용하여 함  
 \* 산출공식은 산 100배 농축액을 사용하여 계산함(100%)

<배액의 N K 이온 분석후 배액의 무기성분 교정 산출식(4월 26일)>

영양소	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub> -S	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	EC(dS/m)	농축배수	검사항목
시험용 3	16.00	1.34	4.20	9.50	3.42	2.50	2.50	0.00	0.00	0.00	100배	58
수질분석치(mg/L)	4.05	0.00	0.04	3.00	0.75	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00		
최발농도(mg/L)	11.95	1.34	4.16	0.50	2.67	2.12	2.50	0.00				
비료명(다량영양소)	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	K	Ca	Mg	SO <sub>4</sub> -S	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	EC(dS/m)	농축배수	검사항목
(1) Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.00				0.00			0.00		118.0		(1) Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O
(1) 5[C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O]NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2.94	0.27			2.67			2.67	0.208	108.0	28.04	(1) 5[C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O]NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
(2) MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O						2.12	2.12	2.12	0.261	123.2	26.12	(2) MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
(2) Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.00					0.00		0.00		116.2		(2) Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
(3) NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		1.07	3.22					3.22	0.123	38.3	12.340	(3) NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
(3-1) KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>			0.94	0.31				0.94	0.043	45.3	4.266	(3-1) KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
(4) KNO <sub>3</sub>	0.01			0.01				0.01	0.910	101.0	91.03	(4) KNO <sub>3</sub>
(5) NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.00	0.00						0.00		80.0		(5) NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
(6) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>				0.00		0.00		0.00		87.0		(6) K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
(7) KCl								0.00		74.6		(7) KCl
(8) HNO <sub>3</sub> (62%)	0.000							0.00	REF!	63.1		(8) HNO <sub>3</sub> (62%)
(9) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%)			0.000					0.00	REF!	32.7		(9) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (85%)
합 계	11.95	1.34	4.16	0.50	2.67	2.12	2.12		1.63		162.59	
검 실험	진실	진실	진실	거짓	진실	진실	거짓					
영양소	Fe							B	Mn	Zn	Cu	Mo
시험용 3	0.00							0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
수질분석치(ppm)	0.00							0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
최발농도(ppm)	0.00							0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
비료명 종류(다량영양소)	원소비율	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo	농도 (mg/L)	소요량 (g/T)	검 실험	농축액 (g/T)	비료명 종류(다량영양소)
(1) Fe-EDTA(13%)	14.6%	0.000						0.00		사용면함		(1) Fe-EDTA(13%)
(2) H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	17.5%		0.000					0.00		사용면함		(2) H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
(2) Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O	11.3%		0.000					0.00		사용면함		(2) Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O
(3) MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	24.6%			-0.063				-0.00		VALUE!		(3) MnSO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O
(3) MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	22.0%			0.000				0.00		사용면함		(3) MnSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
(4) ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	22.7%				-0.001			0.00		VALUE!		(4) ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O
(5) CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	25.4%					0.000		0.00		VALUE!		(5) CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O
(6) (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	54.3%						0.000	-0.000		VALUE!		(6) (NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O
(6) Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	39.7%						0.000	0.00		사용면함		(6) Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
합 계		0.000	0.000	-0.063	-0.001	0.000	0.000					
검 실험		진실	진실	진실	진실	진실	진실					

<배액의 N K 이온 분석후 배액의 무기성분 교정 산출식(5월 26일)>

○ 시험기간의 시설 내 기상상황 및 정식기 묘의 소질

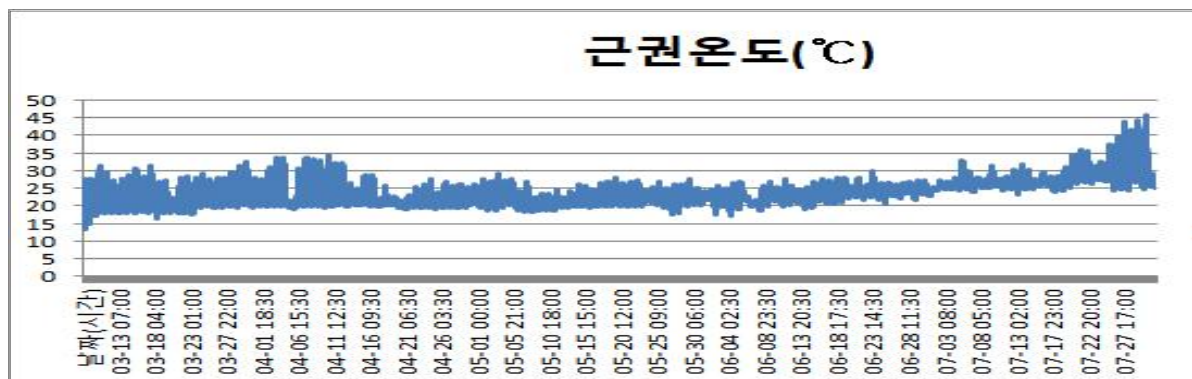
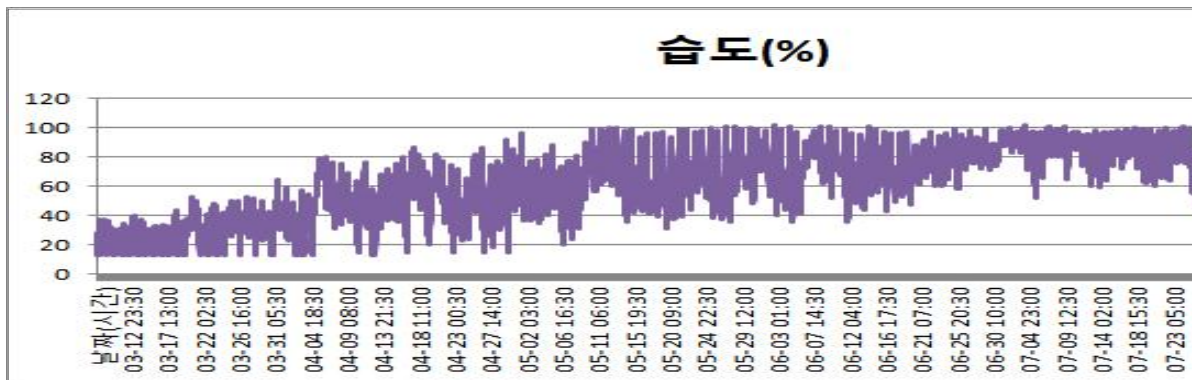
- 시험기간의 시설내 기상의 평균기온은 정식 후 생육 초기인 2017년 4월 까지 19.6~21.9℃ 이었으며, 그 이후는 높아져 7월 중순에는 27.9℃내외였고, 최고기온은 29.6~38.8℃내외, 최저기온은 14.6~22.0℃, 습도는 25.8~84.9%였다. 근권 부위 온도는 20.3~27.0℃이었던

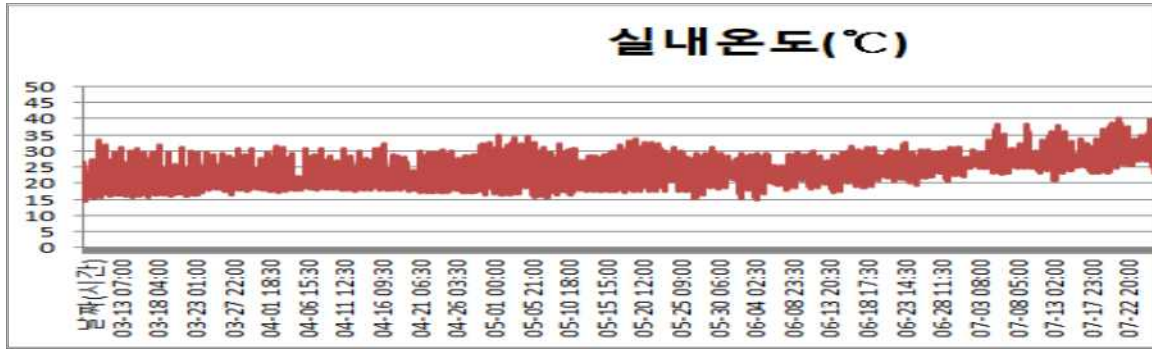


다.

<실험기간 중 시설 내 기상 현황>

구 분		평균 (°C)	최 고 (°C)	최 저 (°C)	습 도 (%)	근 권 (°C)
2017. 3	상 순	19.6	33.3	14.6	25.8	20.3
	중 순	20.0	31.8	15.7	26.7	21.4
	하 순	20.9	31.0	15.9	34.2	22.3
2017. 4	상 순	21.6	31.5	17.2	45.1	23.5
	중 순	21.6	32.2	17.4	51.4	22.3
	하 순	21.9	32.7	16.2	49.8	21.8
2017. 5	상 순	22.3	34.9	15.6	60.5	21.8
	중 순	22.7	33.9	16.9	64.1	22.1
	하 순	23.2	32.5	15.3	66.9	22.7
2017. 6	상 순	22.7	29.6	14.8	73.1	22.2
	중 순	24.2	31.4	17.3	69.0	23.7
	하 순	25.0	32.5	19.2	81.0	24.4
2017. 7	상 순	27.1	38.4	22.0	89.0	26.2
	중 순	27.9	38.8	20.8	84.9	27.0





<시설 내 습도, 근권온도 및 실내온도의 변화>

- 토마토 순환식 수경재배 기술을 개발하기 위한 실험용 정식묘의 소질은 초장은 22cm, 엽수는 9.7매/주, 엽장은 13.8cm, 엽폭은 9.2cm, 엽면적은 154cm<sup>2</sup> 이었으며 주당 건물중은 1.2g이었다.

<정식기의 묘 생육상황>

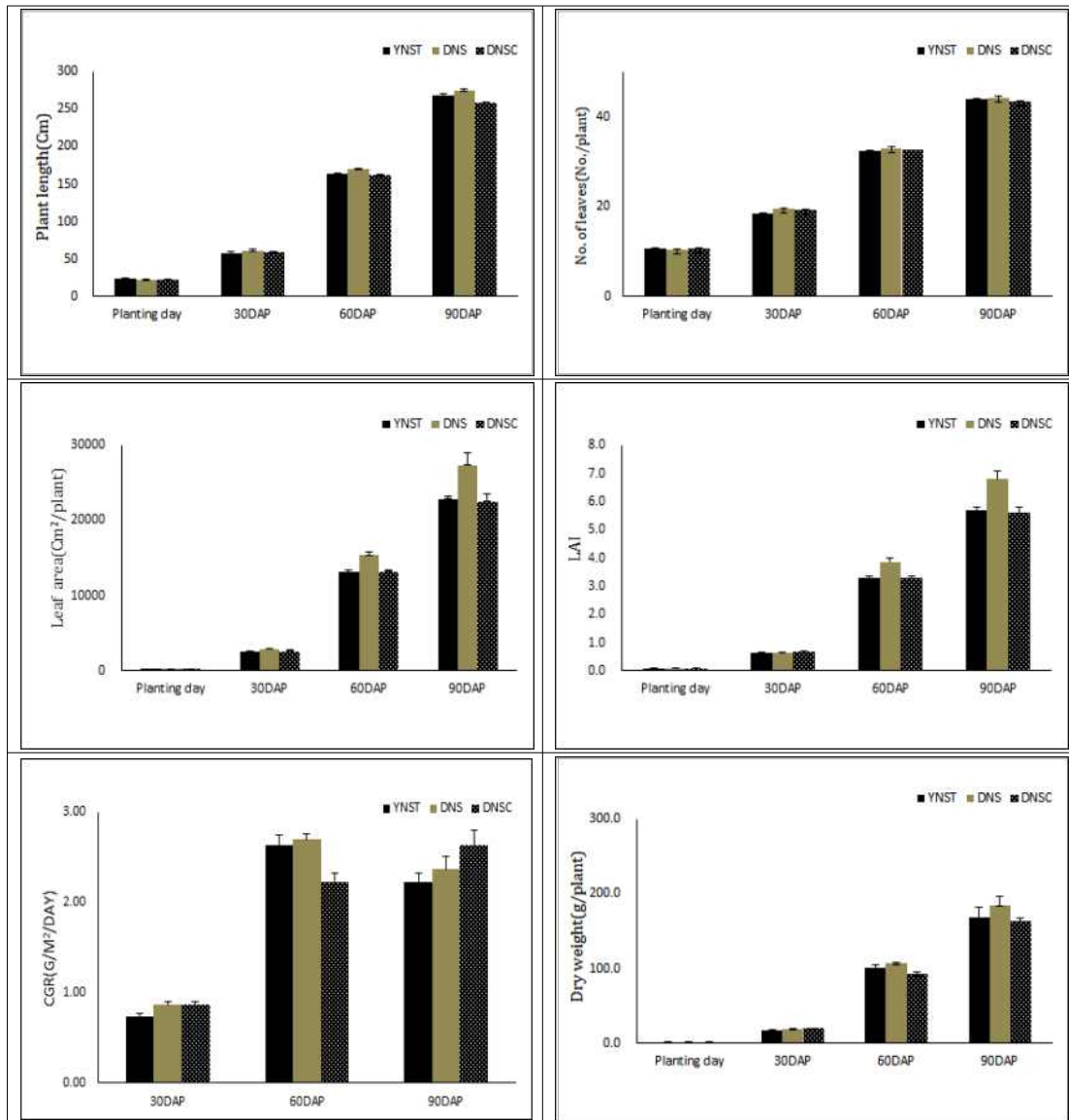
초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> )	건물중(g/주)		
						지상부	뿌리	건물중 비율 (%)
22	6.1	9.7	13.8	9.2	154.0	1.2	0.15	7.9

○ 반축성 작형에서 배액 재순환 방법에 따른 토마토 생육 상황

- 배액재순환에 따른 생육을 조사한 결과 초장은 활착기는 22.0~23.3cm 이었으며, 정식 30일은 58.0~61.3cm, 정식 60일은 162~170cm, 정식 90일은 258~275cm 로 배액 30% 공급구에서(DNS) 약간 큰 편이었으나 생육시기 별 큰 차이가 없었다. 엽수도 활착기 10.4~10.8매/주로 배양액 공급 방법 별 큰 차이가 없으며, 생육이 증가할수록 꾸준히 증가하여 정식 90일에는 43.3~44.2매/주 이었다.
- 엽면적은 활착기 및 정식 30일에는 처리간 큰 차이가 없으나, 정식 60일 및 90일에는 대조구 및 N K보정구(DNSC) 보다 배액 30% 공급구가(DNS) 넓었다. 엽면적 지수는 정식 30일까지는 처리 간 비슷하였으나, 정식 60일부터 급격히 증가하였고 대조구에 비하여 배액 30%구(DNS)에서 높았다. 정식 90일 후에는 대조구 5.7, 배액 30% N K 조정구(DNSC) 5.6로 비슷하였으나, 배액 30% 공급구(DNSC) 6.2로 약간 높았다.
- 생장속도(CGR)는 생육초기는 대조구에 비하여 배액 30% 공급구 및 N K 보정구에서 다소 빨랐으며, 정식 30일에서 60일까지는 대조구 및 배액 30% 공급구가 빠른 편이었다. 반면 정식 60일에서 90일 사이에는 생장속도는 다시 늦어졌으며, 대조구

2.2g/일, 배액 30% 공급구 2.4g/일, 배액 30% N K 조정구(DNSC) 2.6g/일순으로 높았다. 건물중은 정식기 및 정식 30일에는 양액 공급 방법에 따른 차이는 거의 없었다. 정식 60일에는 대조구 및 배액 30% 첨가구가 N K 보정구 보다 약간 높았고, 정식 90일에도 배액30% 공급구가(185.2g/주) N K 보정구(163.6g/주) 보다 무거웠다. 따라서 배액을 30% 혼합하여 공급하여도 생육에는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

<반축성 순환식 수경재배에 의한 토마토 생육상황>



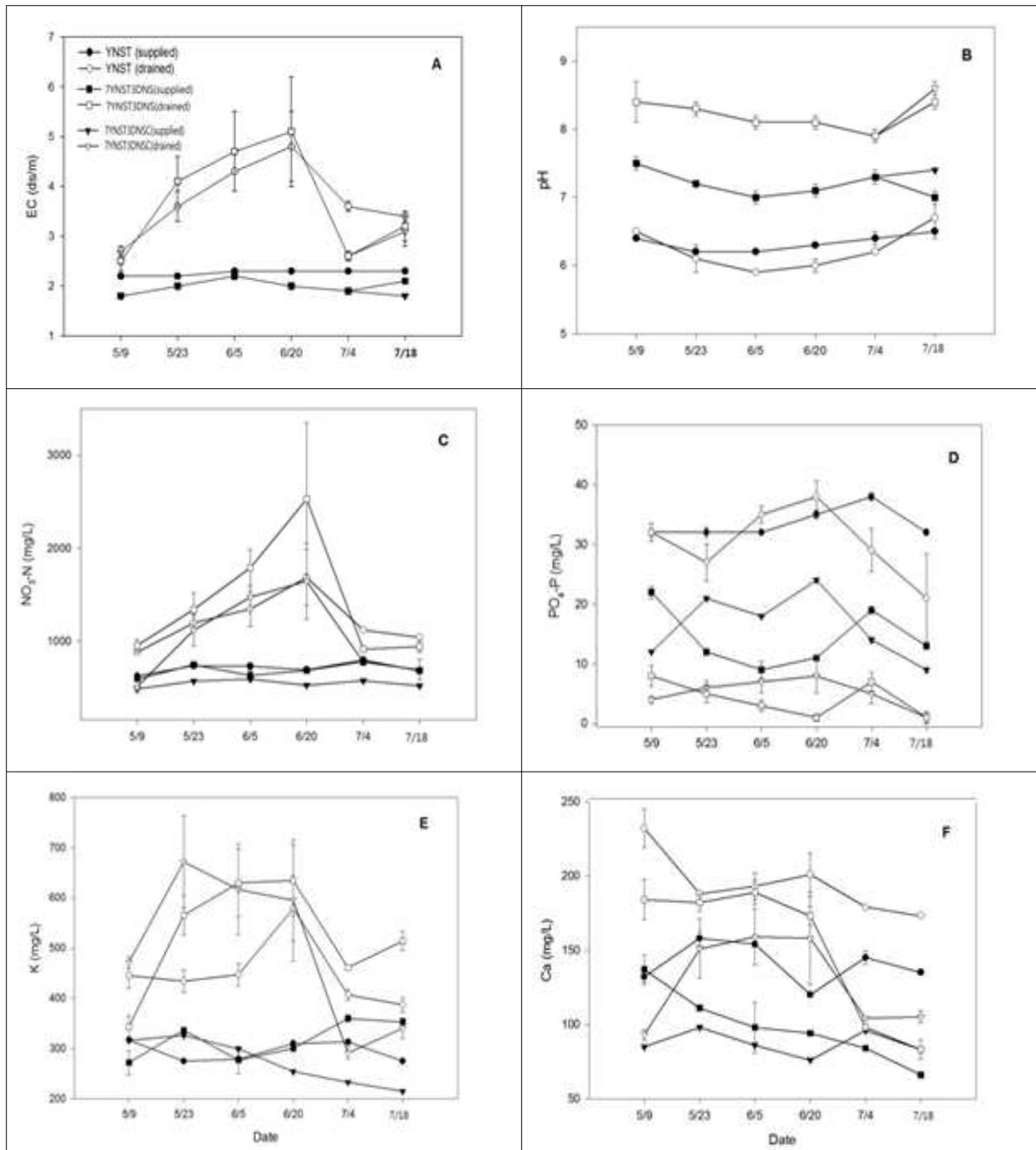
○ 배액 재순환 방법 별 EC, pH 및 무기원소 변화

- 공급되는 배양액과 배액의 EC는 공급액 보다 배액이 높았는데 이것은 물의 흡수율 보다 양이온 및 음이온의 흡수율이 낮아 배액의 이온이 농축되어 EC가 높아진 것

로 판단된다. pH는 토마토의 생육이 진전됨에 따라 대조구(YNST)에서는 공급되는 배양액(pH 6.2~6.4)보다 배액에서 다소 낮아지는 경향이였다. 이것은 생육초기 과일이 착과 되지 않아 양이온보다 상대적으로 음이온의 흡수가 높았기 때문으로 생각된다. 배액 30% 공급구(DNS)에서는 반대로 배액의 pH가 점차 높아지는 경향이었는데 양이온의 배출이 없어 계속적으로 양이온이 누적된 결과로 생각된다. 이와 같은 결과는 Ca와 Mg가 다른 이온에 비하여 상대적으로 적게 흡수되기 때문에 이들 이온이 축적된다는 보고(Sonneveld, 2002)와 일치하였다. 따라서 양이온의 교정 없이 계속하여 재배가 이루어진다면 이온의 불균형에 의한 생리장애가 발생할 것으로 생각된다.

- 공급되는 배양액 중 음이온 NO<sub>3</sub>-N는 처리 간 큰 차이 없이 재배 중 큰 변화가 없으나, 배출되는 배양액은 공급액 보다 높은 경향이였으며, 특히 30% N K 보정구(DNSC)에서 기간 중 변화가 심하였다. 음이온 PO<sub>4</sub>-P는 대조구(YNST)에서는 공급되는 배양액 및 배출액이 재배기간 중 큰 차이가 없으나, 배출액 30% 공급구(DNS) 및 N K 보정구(DNSC)에서 반대로 배출액에서 함량이 낮았는데 이로 인하여 배출액의 pH가 높아진 것으로 생각된다. pH가 높아질 경우 미량원소 및 Fe 결핍이 우려되기 때문에 적절한 산도 관리 방안이 강구되어야 할 것으로 사료된다. 다른 양이온 K<sup>+</sup> 각 처리구 공히 공급되는 배양액보다 배액에서 이온농도가 높았으며 생육 후기에는 다소 감소하였다. Ca<sup>2+</sup>은 공급되는 배양액에서는 45~154mg/L, 배출액에서는 90~233mg/L로 높게 유지되었다. Mg<sup>2+</sup> 및 Fe<sup>2+</sup>도 비슷한 경향이였다(no data).

<토마토 반축성 수경재배시 배액 공급 방법에 따른 공급액과 배액의 EC, pH 및 무기성분 변화>



※YNST, Yamazaki 토마토 배양액; DNS, 70% YNST + 30% DNS (배액); DNSC, 70% YNST + 30% DNS(N K 보정구)

○ 순환식 반축성 수경재배시 일반토마토 과실 특성과 수량성

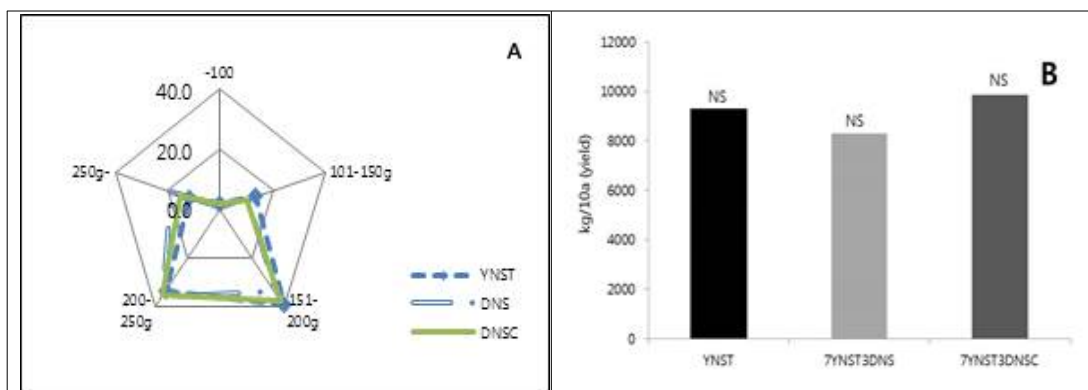
- 순환식 수경재배의 배액 재순환에 따른 과장, 과경, 과중, 과실경도 및 당도는 각 처리구 간에 큰 차이는 없었다. 반면 N K 보정 30% 혼합구(DNSC)에서 200g 이상 대과 수확량이 약간 많은 반면, 대조구에서는 200g 이하 중·소과가 많은 편이었다. 10a 당 수량도 대조구(9,277kg/10a, YNST)에 비하여 배액 30%(N K 보정) + 양액 70%(DNSC)가 9,875kg/10a으로 6% 증수 되었으나 유의성은 없었다. 따라서 토마토 양액재배 시 배출되는 배액의 무기이온을 조절하여 재활용한다면 생산성을 떨어뜨리지 않고 재배가 가능할 것으로 사료되며, 아울러 비료값도 30% 절감하고 물의 사용량도 줄이고 환경부하 물질인 N, P의 배출을 줄여 환경보호에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 생각 된다.

<배액 재순환 방법에 따른 수확 과실 특성>

처 리	과 장 (cm)	과 경 (cm)	과 중 (g/개)	경 도 (kg/cm <sup>3</sup> )	당 도 (°Brix)
대 조 구	6.2 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	229 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>
배액30% (N,K 조정)	6.2 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	232 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>
배액 30%	6.2 <sup>a</sup>	7.8 <sup>a</sup>	232 <sup>a</sup>	0.75 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>

● \*DMRT 5% 수준

<일반토마토 반축성 수경재배 시 배액 공급 방법 별 과실 등급 비율(A)과 수량성(B)>



※ YNST, Yamazaki 토마토 배양액; DNS, 70% YNST + 30% DNS (배액); DNSC, 70% YNST + 30% DNS(N K 보정구)

■ 억제작형 수경재배 시 배액 재활용에 따른 방울토마토 생육 및 무기성분 변화

○ 실험식물 재배관리

- 충남농업기술원 과채연구소의 시설하우스 내에서 40일간 육묘한 방울토마토 'TY티니' 묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다. 2017년 8월 16일 펠라이트 배지가 충전된 재배 베드에 재식거리 160×25cm로 하여 토마토 묘를 1주씩 정식하였고, 2018년 1월 4일 까지 재배하였다. 본 연구를 위한 양액은 야마자키 토마토 전용액(YNST)을 사용하였으며, 양액은 누적 일사량(600W·m<sup>-2</sup>에 도달할 때 1회)에 따라 공급하였고, 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 20~30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다.
- 배양액 EC의 경우 정식 후 활착기는 1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0±0.3dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였으며, 시설내 최저 온도는 18 °C로 설정하여 보일러 온수 난방을 하였다.

○ 배양액 재활용 처리방법

- 양액 재활용 처리방법은 반축성 작형과 동일하게 처리하였다. 1) 대조구는 야마자키액(YNST)을 비순환식인 배출식으로 공급하였고, 2) 순환식인 배액 재활용 처리구는 N K 성분 조절 없이 배액 30%에 토마토 야마자키액 70%를 혼합한 배양액으로 공급하였으며(DNS), 3) 순환식인 배액 재활용 N K 조정구는 2주 간격으로 배액의 무기성분을 분석하여 배액의 N K를 조정한 배액 30%에 토마토 야마자키액 70%를 혼합하여 배양액으로 사용하였다(DNSC).

○ 생육조사 및 무기성분 분석

- 방울토마토 생육 중 초장, 엽면적, 성장속도 등은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준(RDA, 2003)에 따라 반복당 10주씩 조사하였다. 공급액과 배액의 무기원소 농도를 분석하기 위하여 생육조사 시기에 공급액과 배액을 채취하여, No. 2 여과지로 여과한 후 냉장 보관하면서 분석에 이용하였다.
- 공급액과 배액의 NO<sub>3</sub>-N는 Merck RQflex(Eijkelkamp, Giesbeek, The Netherland)로, P, K, Ca, Mg 및 Fe는 ICP(Integra XM2, GBC Scientific Equipment, Australia)를 이용하여 분석하였다.

○ 실험기간 중 기상 현황 및 정식기 묘 소질

- 실험기간 중 시설 내 평균 기온은 정식 후 생육 초기인 2017년 8월~9월 까지 23.0~28.9℃ 이었으며, 이후 동절기 12월에는 19.3~21.1℃ 이었다. 최고기온도 평균기온과 같은 경향으로 7월 하순 38.8℃ 이었으며, 12월 하순은 26.5℃를 보였다. 최저기온은 11월 중순 8.8℃까지 낮았으나 순간 하강으로 생육에는 지장이 없었다. 습도도 동절기로 갈수록 낮아 졌는데 이는 기온 저하로 난방을 하였기 때문에 습도가 낮아졌다. 생육 초기의 근권 온도는 28~29℃로 상당히 높았으나, 이후 생육기간 중에는 점점 낮아졌으며, 생육 말기인 12월에는 18~21℃ 범위에서 관리되었다.

<실험기간 중 시설 내 기상현황>

구 분	평 균 (°C)	최 고 (°C)	최 저 (°C)	습 도 (%)	근권온도 (°C)	
2017. 8	상 순	28.9	35.4	24.7	76.5	29.3
	중 순	27.4	38.4	21.8	78.2	27.6
	하 순	27.5	38.5	18.7	67.2	28.1
2017. 9	상 순	24.4	32.7	18.7	68.6	25.0
	중 순	23.5	36.2	13.6	65.7	24.8
	하 순	23.0	34.1	11.1	67.5	23.4
2017. 10	상 순	21.6	33.2	13.9	76.0	21.2
	중 순	22.7	33.9	17.9	65.5	22.5
	하 순	23.3	32.7	17.8	55.0	23.1
2017. 11	상 순	23.3	32.4	18.4	57.1	22.9
	중 순	21.1	27.0	8.8	47.5	21.3
	하 순	21.4	26.8	14.1	47.3	21.4
2017. 12	상 순	21.1	24.5	14.8	47.0	21.2
	중 순	19.3	24.3	14.4	38.4	19.8
	하 순	19.5	26.5	12.4	44.7	18.9

- 정식기 묘의 소질을 조사한 결과 초장은 23.4cm, 엽수는 10.4매/주, 엽장은 11.5cm, 엽폭은 7.8cm, 엽면적은 139cm<sup>2</sup>/주 이었으며 주당 건물중은 1.01g/주이었다.

<정식기 묘의 생육사항>

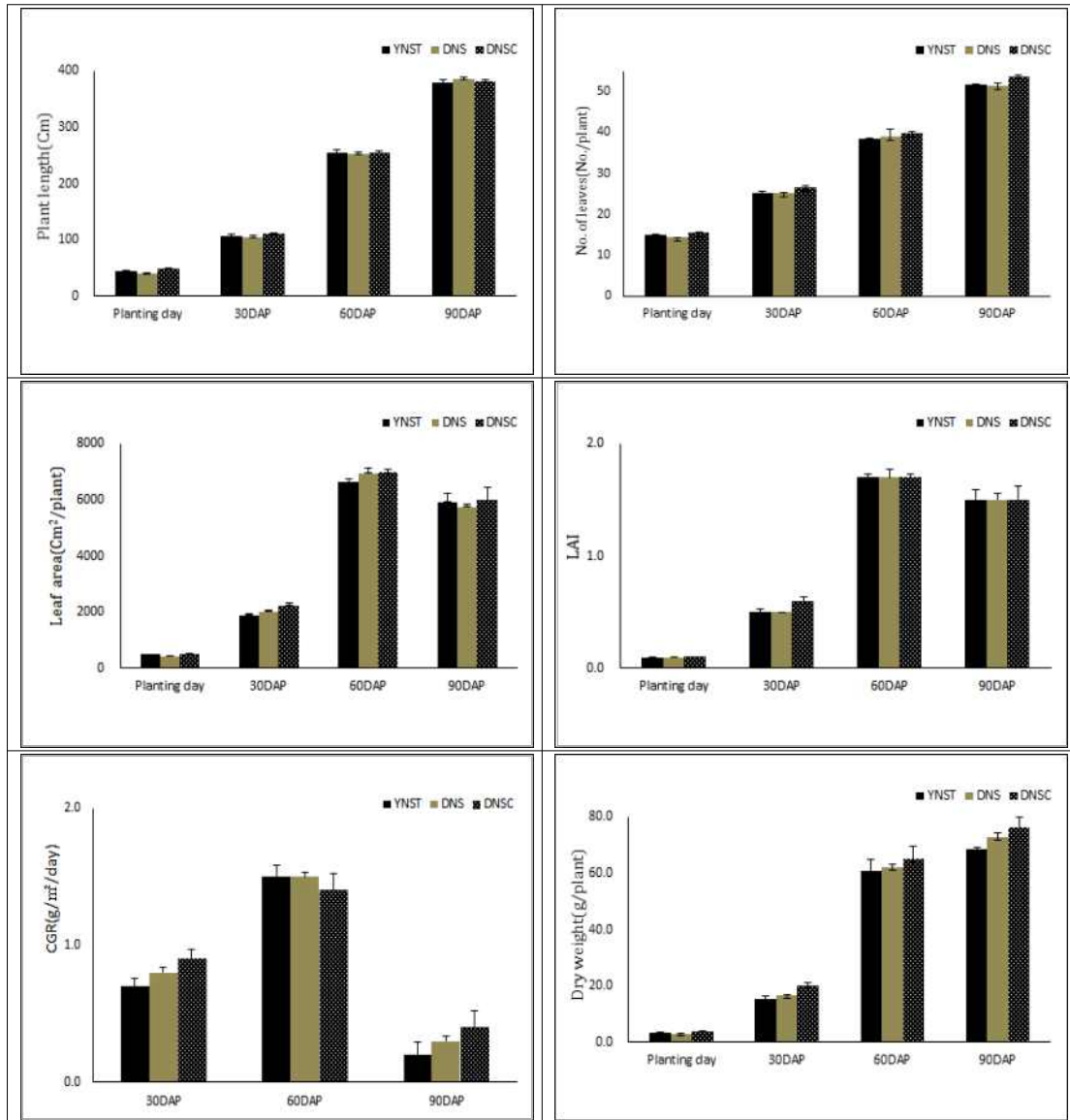
초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> /주)	건물중(g/주)		
						지상부	뿌리	건물중비율 (%)
23.4	4.8	10.4	11.5	7.8	139	1.01	0.28	11.6



○ 억제작형 재배시 배액 재활용 방법에 따른 방울토마토 생육상황

- 가을철 억제작형에서 방울토마토 생육을 조사한 결과는 아래 그림과 같다. 활착기 초장은 모든 처리에서 40~49cm 내외로 N K 조정구가 가장 크고, 정식 30일에도 활착기와 비슷한 경향으로 N K 조정구(DNSC)가 111cm로 대조구(YNST) 106cm 보다 약간 큰 편이었으나 통계적 차이는 없었다. 60일에는 처리 간에 비슷하였으며 정식 90일에도 대조구(378cm), 배액 30% 첨가구(386cm) 및 N K 조정구(381cm)는 차이가 없었다. 엽수는 활착기에는 15.0~15.5매/주로 처리 간에 비슷하였고, 정식 30일, 60일, 90일 후에도 처리 간 엽수는 차이가 없었으나 N K 조정구(DNSC)가 다소 많았다. 엽면적은 활착기에 각 처리 공히 443~496cm<sup>2</sup> 범위 이었으며, 30일에는 정식기 보다 약 3.8~4.5배 증가하였으며 N K 조정구에서 더 넓은 경향이였다. 특히 정식 60일 후에는 엽면적이 급격히 증가하여, 대조구 6,634cm<sup>2</sup>, 배액 30% 공급구 6,939cm<sup>2</sup>, N K 조정구가 6,974cm<sup>2</sup>로 가장 넓었다. 그러나 정식 90일의 엽면적은 정식 60일에 비하여 감소하는 경향이였다. 이는 재배온도가 낮아지고 일장이 짧아 생육이 저조한 원인으로 생각된다. 엽면적 지수는 정식 30일후 N K 조정구에서 다소 높았으나, 거의 모든 시기 및 처리구가 비슷하였으며, 정식 60일후에 1.7로 가장 높았다.
- 일일 성장속도(CGR)는 정식 30일까지는 0.7~0.9g/m<sup>2</sup>/일 이었으며, N K 조정구가 가장 빨랐다. 특히 정식 30일에서 60일 사이가 빨랐고, 60일에서 90일 사이는 가장 속도가 낮았다. 즉 동절기로 접어 들수록 성장양이 급격히 감소된 원인으로 생각된다. 건물중은 활착기 3.1~3.4g/주 이었으며, 정식 30일에는 활착기에 비해 4.6~5.6배, 정식 60일에는 17.8~20배, 정식 90일에는 20.6~23.5배가 증가 하였으며, 정식 90일에는 배액 30%(DNS) 처리구가 활착기보다 23.5배가 증가하여 배액 30%을 혼합 공급하여도 생장에 큰 지장이 없어 재활용이 가능하였다.

<방울토마토 억제작형 재배시 배양액 공급 방법에 따른 생육상황>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 N K 보정구.

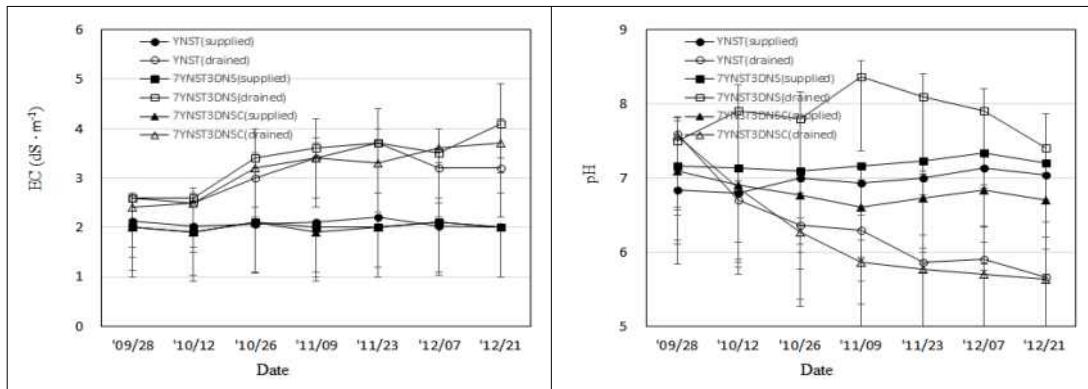
○ 억제작형 재배시 공급액과 배액의 EC 및 pH 변화

- 토마토 순환식 수경재배 기술을 확립하기 위하여 수행하였다. 활착기 이후 양액의 EC를  $2.0 \pm 0.3 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 공급할 경우 생육이 경과함에 따라 모든 처리구에서 공급액 보다 배액에서 생육 중기부터 후기까지 높아지는 경향이였다. 생육 초간인 9월 하순 및 10월 상순의 배액의 EC는  $2.4 \sim 2.6 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$  다소 높았으나, 10월하순에서 12월 상순

까지는  $3.0\sim 3.7\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 까지 더 높았으며, 특히 12월 하순 N K 조정구는  $4.1\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 가장 높았다.

- pH는 작물 생육에 있어 양분 흡수와 밀접한 관계가 있으며 대부분 원예작물의 경우 pH 5.5~6.8의 약산성을 좋아하는데 대조구는 생육초기는 공급액(6.8~7.1)과 배액(7.5~7.6)이 약간 높았다. 그러나 10월 중순부터 대조구 및 N K 조정구는 공급액 보다 배액의 pH가 지속적으로 낮아지는 경향이었으며, 반대로 배액 30% 혼합 공급 시 pH가 높아지는 경향이였다. 특히 11월 19일 조사에서는 pH 8.4로 높았다. 배액 30% 혼합 공급구에서 pH가 높았던 원인은 배액을 무기성분 교정하지 않고 지속적으로 혼합한 결과 특정 원소의 집적에 의한 원인으로 pH가 높았진 것으로 생각된다. 따라서 토마토 장기 재배 시 배액을 혼합 공급할 경우 미량요소 등의 결핍 우려가 있으므로 pH를 조절 할 수 있는 방안이 있어야 할 것으로 생각된다.

<생육진전에 따른 EC와 pH 변화>



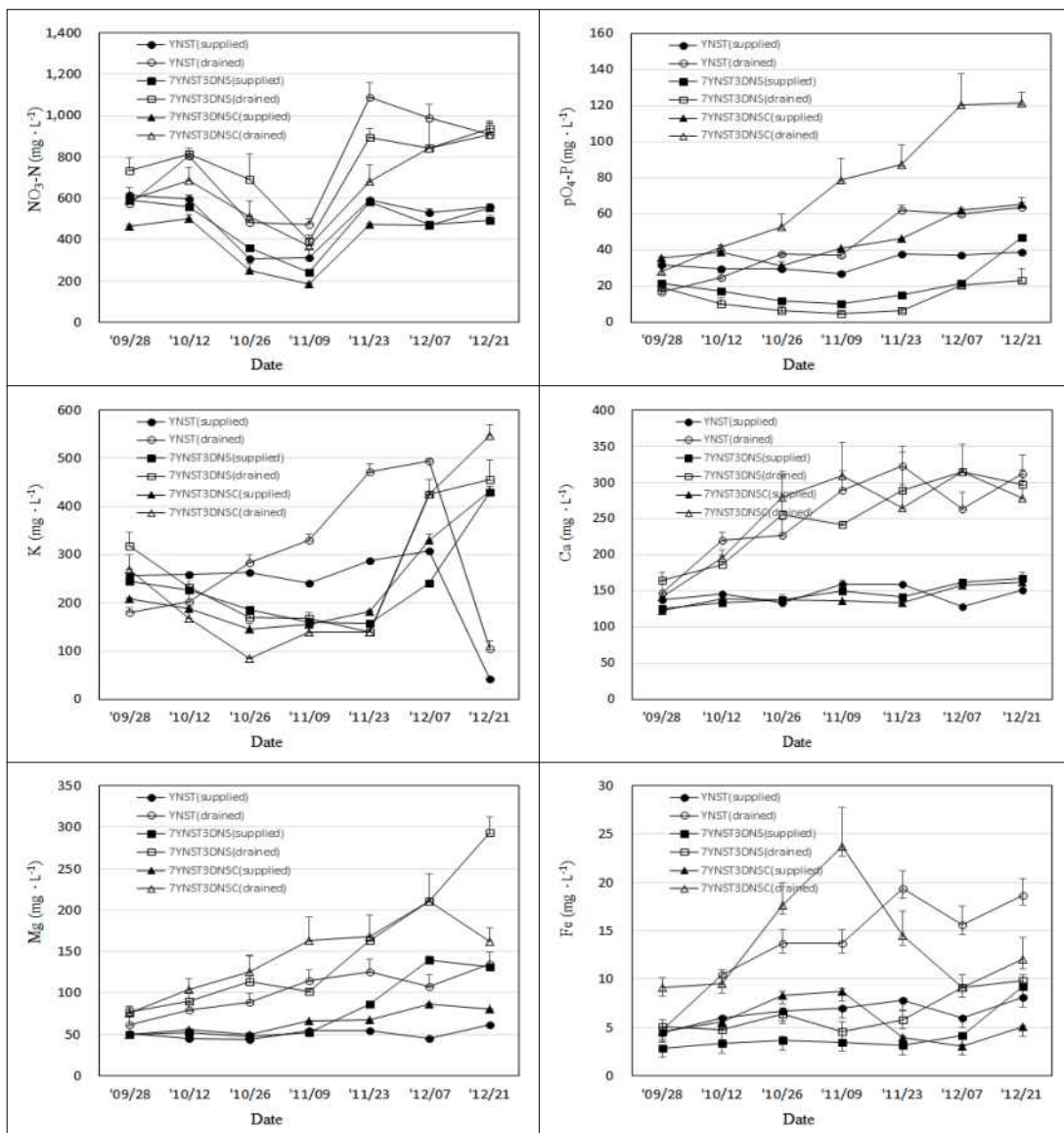
※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 억제작형 생육기간 중 무기원소 변화

- 가을철 생육 단계 별 무기원소의 변화를 보기 위하여 공급 양액과 배액을 2주 간격으로 분석 결과, 음이온인  $\text{NO}_3\text{-N}$  는 공급보다 배액의 성분 함량이 처리 모두 높아지는 경향이였으며 특히 11월 하순 대조구(YNST) 에서는 공급액 보다 배액이 1.6배가 높은  $482\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 배액 30% + 양액 70%(DNS)구는 12월 7일 분석에서 대조구( $987\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )보다 1.2배가 높은  $1,200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  이었다. 한편 양이온인  $\text{PO}_4\text{-P}$ 는 대조구와 양액 70% + 배액 30% N K 조정구(DNSC)는 생육초기 9월 28일, 10월 12일 분석에서는 공급액 보다 배액이 낮았으나, 생육 후기에는 공급액 보다 배액이 높아져 대조구는 1.6배, 배양액 70% + 배액 30% N K 조정구(DNSC)에서는 1.9~2.0배가 높았다, 한편 배액 30% + 배양액 70%(DNS) 처리구에서 생육 초기부터 후기까지 공급액( $10\sim 47\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 보다 배액( $5\sim 23\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )에서 함량이 낮았는데 이는 배액 30% 혼합 시 배액의 pH가 높아 공급액의 pH에 영향을 준 것으로 생각된다.

- K+는 NO<sub>3</sub>-N와 같은 경향으로 대조구 등 모든 처리에서 공급보다 배액의 성분함량이 높았으며, Ca, Mg도 공급액보다 배액의 함량이 높은 편으로 Ca는 공급액과 배액의 함량 차이가 크지 않았으며, 반대로 Mg는 공급과 배액의 농도 차이가 큰 편이고, Fe도 공급액 보다 배액의 성분 함량이 높았는데 특히 배액에서 대조구보다 배액 30% 혼합 공급 시 함량이 낮았는데 이는 공급의 pH가 높은 관계로 흡수에 영향을 주어 함량이 낮은 것으로 생각된다.
- 전반적으로 본 실험의 연구 결과로 미루어 보아 공급액 보다 배액에서 무기성분 농도가 높은 경향이었는데, 이는 생육이 진전됨에 따라 수분 흡수량이 증가하여 배출되는 물량이 적어지고 배지 내에 집적된 무기원소의 양이 증가한 것으로 생각된다.

<배액 재활용에 따른 공급액과 배액의 무기성분 함량>

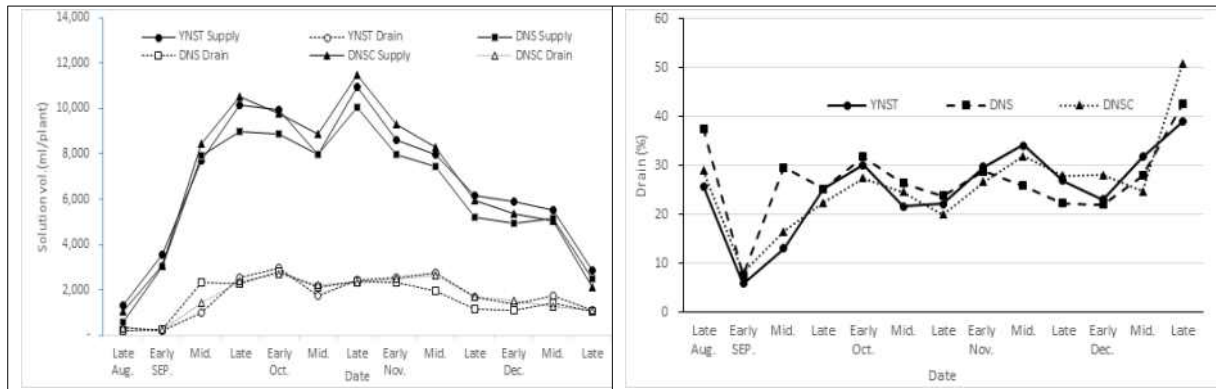


※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 배액 재활용 방법 별 배양액 공급량 및 배액량의 변화

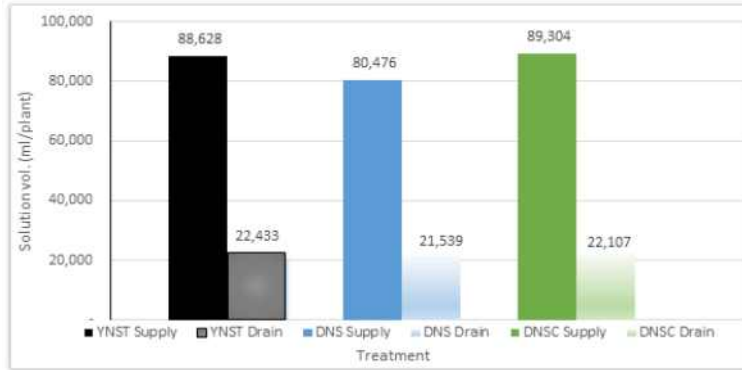
- 방울토마토 배양액 재활용 방법에 따른 재배기간 중 공급량과 배액량은 아래 그림에서 보는 바와 같다. 8월 28일부터 양액을 조사한 결과 8월 하순에는 각 처리별공급량은 550~1330ml/주, 배액량은 206~343ml/주로 아주 적었다. 묘가 활착된 이후에는 공급량이 증가하여 9월상순에는 2,990~3,570ml/주 이었으나 배액량도 8월하순에 비하여 증가하지 않았다. 그러나 9월중순 경부터 토마토 식물체의 생육이 왕성해지면서 양액 공급량은 7,719~8,444ml/주로 급격히 증가하여 11월 중순까지 공급량이 많았고 특히 10월 하순에 가장 많았다. 11월 하순부터는 기온도 떨어지고, 일조량이 감소함에 따라 공급량은 지속적으로 감소하였다. 재배기간 중 배액량은 1000~3000ml/주 비교적 일정량이 배출되었다. 또한 정식 초기에는 배액율이 6~37%로 진폭이 큰 편이었으나, 9월 하순부터 12월 중순 까지 22~34% 범위는 비교적 안정되게 배출되었다.

<배액 재활용에 따른 양액 공급량, 배액량(A) 및 배액율(B)>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

- 아울러 재배기간 중 양액 총 공급량은 대조구는 88,628ml/주, 배액 30% 첨가구 (DNS)는 가장 적은 80,476ml/주, 배액 30% NK 조정구(DNSC)는 89,304ml/주로 가장 많았다. 총배액량은 각각 22,433ml/주, 21,539ml/주, 22,107ml/주로, 배액율 25~27%로 안정적으로 관리되었다.



<배액 재활용에 따른 양액 총공급량 및 총배액량>

○ 배액 재활용에 따른 과실 특성 및 수량

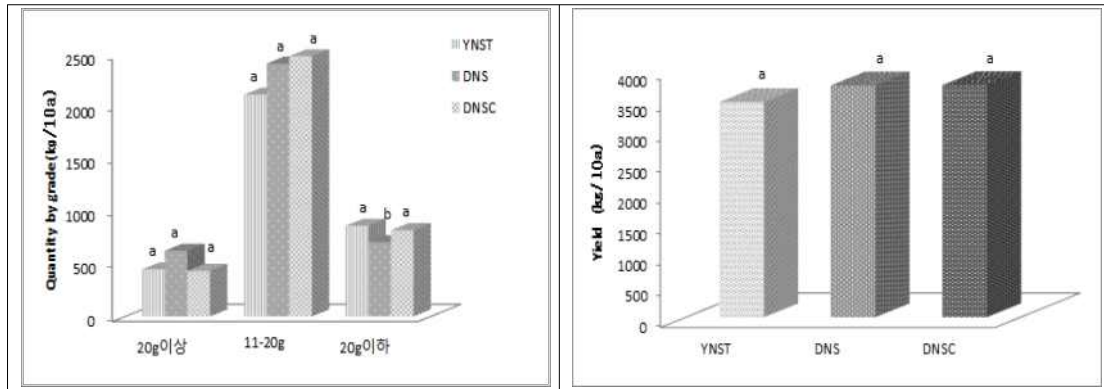
- 배액 재활용에 따른 처리별로 수확한 과의 특성을 조사한 결과, 과장은 대조구 32.5mm 비하여 N K 조정구 33.3mm로 길었으며, 과경 및 과중도 N K 조정구에서 크고 무거웠다. 경도는 처리 간 차이가 없었고, 당도는 대조구가 8.3°Brix인 반면에 배액 30% 첨가구는 8.6°Brix로 0.3°Brix 높았다. 주당 과중은 배액 30% 공급구 및 배액 30% N K 조정구에서(15.2~15.6g) 대조구(14.6g) 보다 약간 무거웠다.

<배액혼합 공급에 따른 과실의 특성>

처 리	과 장 (mm)	과 경 (mm)	과 중 (g/개)	경 도 (kg/cm <sup>3</sup> )	당 도 (° Brix)
대 조 구	32.5 <sup>b</sup>	28.3 <sup>b</sup>	14.8 <sup>c</sup>	0.72 <sup>a</sup>	8.3 <sup>b</sup>
배 액 30%	32.9 <sup>ab</sup>	28.5 <sup>ab</sup>	15.2 <sup>b</sup>	0.74 <sup>a</sup>	8.6 <sup>a</sup>
N K 조 정	33.3 <sup>a</sup>	28.6 <sup>a</sup>	15.5 <sup>a</sup>	0.74 <sup>a</sup>	8.4 <sup>ab</sup>

- 과실의 등급별 수량은 20g 이상 과실은 배액 30% N K 조정구가 627kg/10a로 가장 많았고, 11~20g 과실은 배액 30% 공급구 및 배액 30% N K 조정구에서 2,413~2,484 kg/10a로 많았으나, 20g 이상 과실은 배액 30% NK 조정구(DNSC)에서 709kg/10a로 다른 처리보다 적었다. 10a당 수량은 대조구(3,437kg/10a, YNST)에 비하여 배액 30% NK 조정구(DNSC, 3,748kg/10a), 배액 30% 공급구(DNS, 3,742kg/10a)으로 9% 증수되었다. 즉 수량성으로 볼때 배액 30%을 재활용함으로써 비료와 물 사용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

<배액 재활용 방법에 따른 과실의 등급별 및 수량성>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 전문가 초청 연시 및 토마토 재배농가 안내

- 실험기간 동안 토마토 전문가를 초청하며 중간 진도관리 및 결과 평가를 실시하였다. 아울러 연구소를 방문하는 토마토 재배 농가를 대상으로 연구과제의 중요성을 알리고, 실험 진행상황 및 양액조성 방법 등을 설명하였다.

<전문가 활동 및 토마토 재배농가 현장 견학 안내>

구 분	일 시	인원(명)	주 요 내 용	비 고
세 미 나	'17. 1. 6	7	연구원별 연구동향, 추진방향 협의	
	3. 31	4	양액과제 추진협의회	
	5. 12	5	과제 중간 점검 및 추진협의회	
	12. 20	20	토마토 현장 재배시 유의사항 등	
연구과제심의	2. 20	10	5과제 8세부과제	
중간진도관리	7. 26	10	9과제 12세부과제	
결 과 평 가	11. 29	10	8과제 11세부과제, 결과 활용 21건	
현 장 안 내	2. 21	35	익산 봉동읍 농업인 경영인	
	3. 14	34	토마토 체험교육 교육생	
	4. 24	12	유전자원관리 국제훈련 연수자	
	5. 26	20	원예상록 수상자 및 국제학생	
	6. 14	30	가지과 채소 문제 해결	
	6. 28	20	농협대학 교육생	
	7. 7	18	아프리카 농업개발 과정 연수생	
	8. 8	400	충남 토마토인의 날 행사 참가자	
	8. 9	15	충남 농업계 고등학교 교사 직무교육	
	9. 21	10	한국 삼공 영업직원	
	11. 3	5	일본 양액기, 온실 관련 업체	
	11. 16	60	청양 청남 작목반 농가	
	12. 12	45	충북 품목별 연구회 임원	





<토마토 재배 농민 배액재활용 실험포장 견학 안내>

■ 배액 재활용 시비 시스템 보완 및 통합 시작품 농가 실증

○ 실험식물 재배관리

- 배액 재활용 시비 시스템 보완 및 실증을 위하여 방울토마토 반축성 수경재배를 실시하였다. 시험 장소는 부여군 규암면 노화리 시설하우스 1,500㎡ 규모 내에서 실시하였다. 품종은 40일간 육묘한 방울토마토 ‘TY티니’ 묘를 정식한 후 본 연구를 수행하였다. 2018년 2월 7일 펠라이트 배지가 충전된 재배 베드에 재식거리 160×25cm로 하여 토마토 묘를 1주씩 정식하여 2018년 7월 15일 까지 재배하였다. 본 연구를 위한 양액은 야마자키 토마토 전용액(YNST)을 사용하였으며, 양액은 누적 일사량(600W·m<sup>-2</sup>에 도달할 때 1회)에 따라 공급하였고, 생육이 진전됨에 따라 총 공급된 양액의 약 20~30%가 배출되도록 공급량을 조절하였다. 배양액 EC의 경우 정식 후 활착기는 1.7dS·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0±0.3dS·m<sup>-1</sup>로 관리하였으며, 시설내 최저 온도는 18 ℃로 설정하여 보일러 온수난방을 하였다.

○ 배양액 재활용 처리방법

- 양액 재활용 처리방법은 2017년 봄재배 반축성 작형과 동일하게 처리하였다. 1) 대조구는 야마자키액(YNST)을 비순환식인 배출식으로 공급하였고, 2) 순환식인 배액 재활용 처리구는 N, K 성분 조절 없이 배액 30%에 배양액 YNST 70%를 혼합한 배양액으로 공급하였으며(DNS), 3) 순환식인 배액 재활용 N, K 조절 처리구는 2주 간격으로 배액의 무기성분을 분석하여 배액의 N, K를 조정한 배액 30%, 배양액 YNST 70%를 혼합하여 배양액으로 사용하였다(DNSC).

○ 순환식 양액재배의 효과(원예연구소,2006)

- 물과 비료 사용량의 30~37% 절감 가능
- 풋마름병균, 시들음병균, 역병균 살균율 100%
- 작물의 생산성 및 상품성 차이 없음
- 수경재배방식에 따른 토마토 수량 및 품질('05. 11. 30~'06. 2. 21)

수경재배방식	과수 (개/주)	수량 (kg/10a)	비상품과율 (%)
비순환식	16.8	7,078	14.6
순환식	16.8	7,085	14.4

- 토마토 및 장미의 순환식 수경재배 시스템 적용효과('05)

작물	재배시스템	총급액량 (톤/10a)	원수사용량 (톤/10a)	폐양액량 (톤/10a)
토마토	비순환식	17.4	17.4 (100)	7.1 (100)
	순환식	17.6	11.3 (65)	0 (0)

- 토마토 비료 사용량(1ha 기준-전주지역 기준, 출처 : 씨브스트라투스 코리아(주))

- 연간 총 광량 : 약 452,800 J / cm<sup>2</sup> 기준 (1981~2010년 평균)
  - 재배기간 총 48주 기준 광량 : 408,400 J / cm<sup>2</sup> (9월1일 정식 ~7월 말 종료)
  - 1J 당 평균 관수량 : 3.0cc/J/m<sup>2</sup> (배액 약 30% 포함)
  - 연간 총 관수량 : 408,400J \* 3.0cc \* 10,000 m<sup>2</sup> = 12,252 ton / ha
  - 1회 100ton (EC 2.5 dS/m 기준)용 양액제조 비용 : 약 230,000원
  - 원수에 함유된 미네랄 함량 미 고려
  - 연간 ha 당 총 비료비용 : 약 230,000 \* 122 회 = 약 28,060 천원
- 배액 재활용을 통한 비료 절감 효과 (1ha 기준-전주지역 기준, 출처 : 씨브스트라투스 코리아(주))
- 1J 당 평균 관수량 : 3.0cc/J/m<sup>2</sup> (배액 약 30% 포함)
  - 연간 총 관수량 : 408,400J \* 3.0cc \* 10,000 m<sup>2</sup> = 12,252 ton / ha
  - 30% 배액후 25% 재활용시 : 3,063 ton / ha
  - 배액의 EC = 약 4.0dS/m 가정
  - 공급 양액 EC 2.5dS/m=배액 1.0dS/m+새로운 양액 1.5dS/m
  - 1회 100ton (EC 1.5 dS/m 기준)용 양액제조 비용 : 약 140천원
  - 연간 ha 당 총 비료비용 : 약 140천원 \* 122 회 = 약 17,080천원
  - 배액 재활용을 통한 연간 비료 절감액 = 28,060천원 - 17,080천원 = 10,980천원 (약 39% 절감)

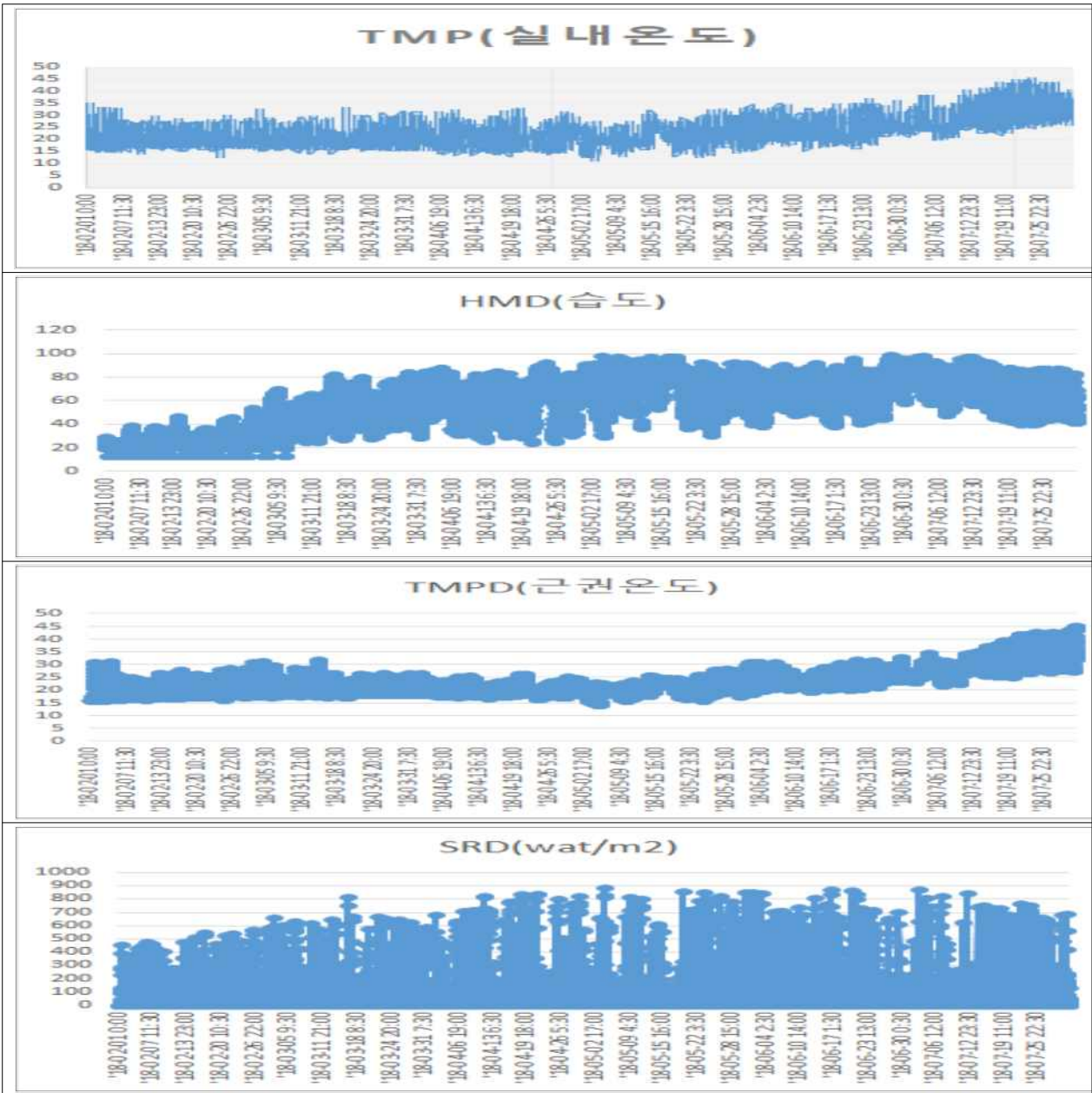
○ 시험기간의 기상 및 정식기 묘의 생육사항

- 시험기간의 시설 내 평균기온은 생육 초기인 2018년 2월 상순에는 19.3℃이었으며 이후는 하절기로 접어들면서 높아져 6월 하순에는 26.5℃였다. 최고 기온도 평균 기온과 같은 경향으로 2월 상순 29.6℃, 6월 하순은 33.2℃이었다. 최저기온은 2월 상순 15.5℃, 이후 온도가 상승하여 6월 하순에는 19.8℃ 이었다. 동절기 시설 내 최저온도 15℃이하로 하강 하면 보일러가 작동하여 생육에는 지장이 없도록 하였다. 습도는 2월에는 19.0~26.7%로 낮았는데 이는 보일러 가동으로 실내 습도가 낮아진 것으로 생각된다. 4월 이후에는 65.4~74.0%로 비교적 토마토 생육에 적합한 습도를 유지하였다. 근권온도는 실험기간 중 19.5~25.7℃ 범위로 관리하였다. 일사량은 2~3월은 2,909~4,772W/m<sup>2</sup>로 적었는데 동절기 일조시간이 짧았던 원인이며 이후 증가하다가 5월 상, 중순에 적었는데 잦은 강우가 원인으로 생각된다.

<실험기간 중 시설 내 기상>

구 분	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)	습 도 (%)	근권온도 (℃)	일사량 (W/m <sup>2</sup> )	
2018. 2	상 순	19.3	29.6	15.5	19.0	19.5	2,909
	중 순	19.8	27.2	16.3	26.0	20.2	3,024
	하 순	19.9	26.6	16.3	26.7	20.6	3,177
2018. 3	상 순	20.3	28.0	16.1	40.5	21.4	3,924
	중 순	19.7	27.2	15.8	54.8	20.5	3,189
	하 순	20.3	28.9	15.7	54.3	21.0	4,772
2018. 4	상 순	20.3	28.6	15.3	65.6	25.5	4,379
	중 순	20.3	28.3	14.8	59.2	20.2	5,877
	하 순	20.0	27.2	15.0	65.5	20.0	4,575
2018. 5	상 순	19.7	25.5	15.0	71.3	19.8	3,370
	중 순	21.4	27.1	17.7	78.1	21.3	3,218
	하 순	23.0	29.7	16.6	68.4	22.9	5,269
2018. 6	상 순	24.2	32.6	17.3	65.4	24.3	5,328
	중 순	24.3	30.9	18.1	66.9	24.1	5,033
	하 순	25.6	33.2	19.8	74.0	25.7	4,537
2018. 7	상 순	24.2	32.6	17.3	65.4	24.3	5,328

<시설내의 일별 온도 습도 일사 근권온도 변화>



- 방울토마토 배액을 재활용한 순환식 수경재배를 실증하기 위하여 정식 시 묘 소질을 조사한 결과 초장 19.8cm, 엽수 9.6매/주, 엽장 10.9cm, 엽폭 8.7cm, 엽면적 109cm<sup>2</sup>/주 이었으며, 주당 지상부 건물중은 1.01g, 뿌리 건물중은 0.22g이었다.

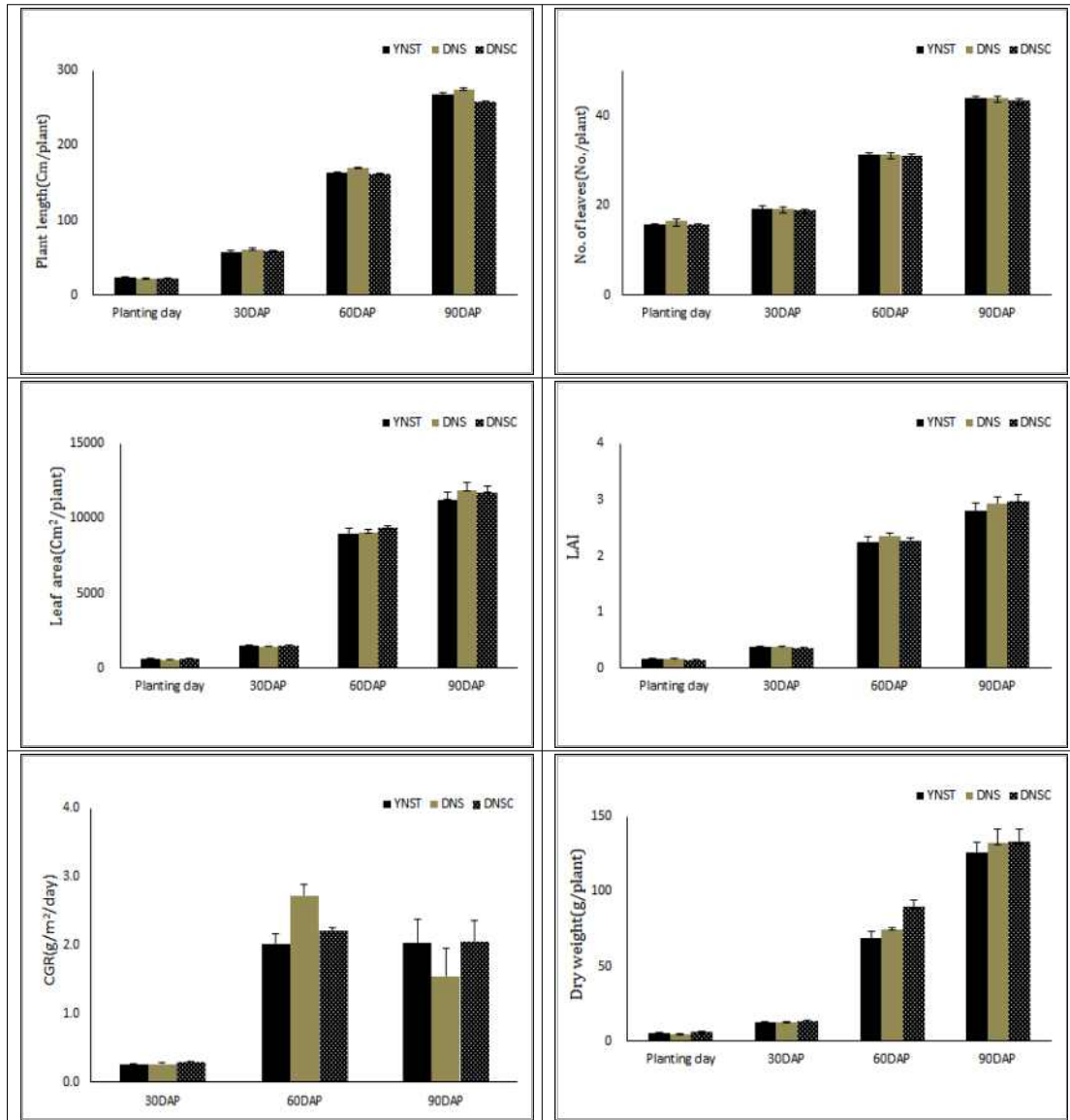
<정식묘 소질>

초 장 (cm)	경 경 (mm)	엽 수 (매/주)	엽 장 (cm)	엽 폭 (cm)	엽면적 (cm <sup>2</sup> /주)	건물중(g/주)		
						지상부	뿌리	건물율 (%)
19.8	4.5	9.6	10.9	8.7	109	1.01	0.22	11.4

○ 순환식 수경재배의 배액 재활용 따른 생육사항

- 순환식 수경재배의 배액 재활용에 따른 생육을 조사한 결과 활착기 초장은 처리 간 40~41cm로 비슷하였고, 정식 30일에도 활착기와 비슷한 경향으로 61~65cm 이었으며, 정식 60일에는 150~153cm, 정식 90일에는 268~273cm 처리간 차이가 없었다. 또한 각 배액 재활용 방법 별 정식 60일 및 90일에 급격히 신장하는 경향이였다. 엽수는 활착기에는 15.7~16.5매/주 내외로 배액 30% 처리에서 약간 많았으며 생육이 진전됨에 따라 비슷하여 정식 30일은 18.9~19.4매/주, 60일에는 30.9~31.4매/주, 90일에는 43.3~43.9매/주 이였다. 엽면적은 정식 30일까지는 크게 증가하지 않았으나, 정식 60일부터 급격히 증가하여 8,956~9,361cm<sup>2</sup> 이었으며, 정식 90일에는 11,259~11,863cm<sup>2</sup>로 배액 재활용 방법에 따라 큰 차이가 없었다. 엽면적 지수는 활착기는 0.2로 처리 간에는 차이가 없었고 생육이 진전됨에 따라서 엽면적과 비슷한 경향이였다.
- 생장속도(CGR)는 정식 30일까지는 0.2로 저조하였지만, 정식 30일에서 60일까지 대조구 2.0g/cm<sup>2</sup>/일, 배액 30% 공급구 2.7g/cm<sup>2</sup>/일, 배액 30% NK조정구 2.0g/cm<sup>2</sup>/일 급격히 증가하였으나, 정식 90일에서는 배액 30% NK 조정구에서 1.5g/cm<sup>2</sup>/일로 대조구보다 0.5g/cm<sup>2</sup>/일 늦었다.
- 건물중은 활착기 5.0~6.0g/주 이었으며, 정식 30일에는 활착기에 비해 2.3~2.6배 증가하였으나, 정식 60일에는 13~16.3배로 급격히 증가하였고, 특히 배액 30% NK 조정구에서는 89.7g/cm<sup>2</sup>/일로 가장 무거웠다. 정식90일은 활착기 보다 23.6~26.4배가 증가 하였으며, 배액 30% 공급구와 배액 30% NK 조정구에서 대조구(125g/주)보다 1.1배가 무거운 132.3~133.0g/주이였다.

<방울토마토 반축성 재배시 배액 재활용 방법에 따른 생육상황>



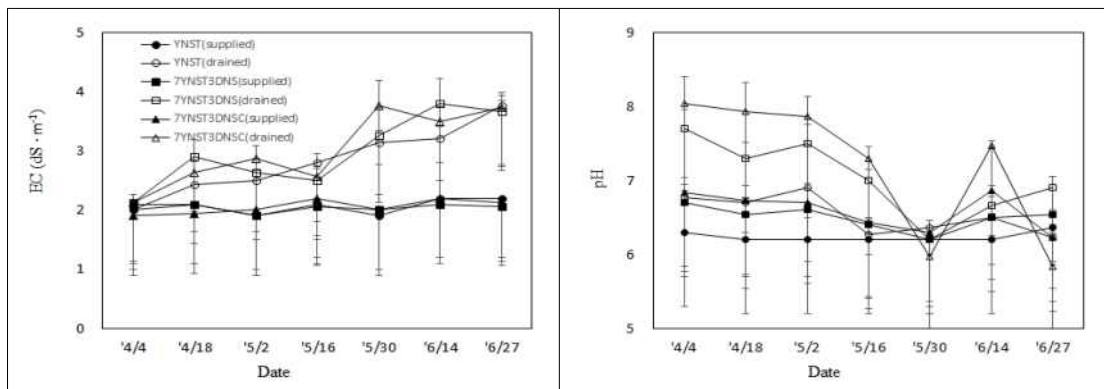
※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 배액재활용에 따른 공급액과 배액의 EC와 pH의 변화

- 방울토마토 순환식 수경재배시 배액을 재활용하기 위하여 활착기 이후 양액의 EC를  $2.0 \pm 0.3 \text{dS/m}$ 으로 공급하였다. 배액 재활용 방법 별 공급액 EC는  $1.9 \sim 2.2 \text{dS/m}$ 로 재배기간 중 큰 변화가 없었다. 그러나 배액은 재배기간이 경과하면서 꾸준히 증가하여 4월 18일부터 5월 16일까지는  $2.4 \sim 2.9 \text{dS/m}$ , 생육후기인 5월 30일부터 6월 27일까지는  $3.1 \sim 3.9 \text{dS/m}$ 로 생육 후기로 갈수록 공급액과 배액의  $\Delta \text{EC}$ 의 폭이 큰 편이었다. 이는 물의 흡수율보다 양이온과 음이온의 흡수율이 낮아 배액의 이온이 농축되어 EC가 높아진 것으로 생각된다.

- pH는 작물 생육에 있어 양분 흡수와 밀접한 관계가 있으며 대부분 원예작물의 경우 pH 5.5~6.8의 약산성을 좋아하는데 생육 초기부터 말기까지 대조구의 공급액은 6.2~6.4로 안정적으로 유지되었으며, 대조구의 배액도 공급액 보다 높은 6.2~6.9로 비교적 안정적으로 유지되었다. 그러나 배액 30%를 첨가하거나 배액 30% NK보정구의 공급액은 6.2~6.9로 대조구 보다 높았고, 특히 같은 처리구의 배액의 pH는 6.2~8.0으로 높기도 하고 시기별로 변동 폭이 컸다. 이는 배액을 재활용할 경우 양이온의 배출 없이 지속적으로 양이온이 누적되거나 식물체가 무기성분을 선택적으로 흡수하여 pH가 변동이 심한 것으로 생각된다. 따라서 양이온 교정없이 계속하여 재배가 이루어 진다면 이온의 불균형으로 생리 장애가 발생이 우려됨으로 적정 pH를 유지할 수 있는 방안이 강구되어야 할 것으로 생각 된다.

<방울토마토 반축성 재배시 배액 재활용에 따른 EC와 pH의 변화>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 배액 재활용 따른 공급액과 배액의 무기성분 함량 변화

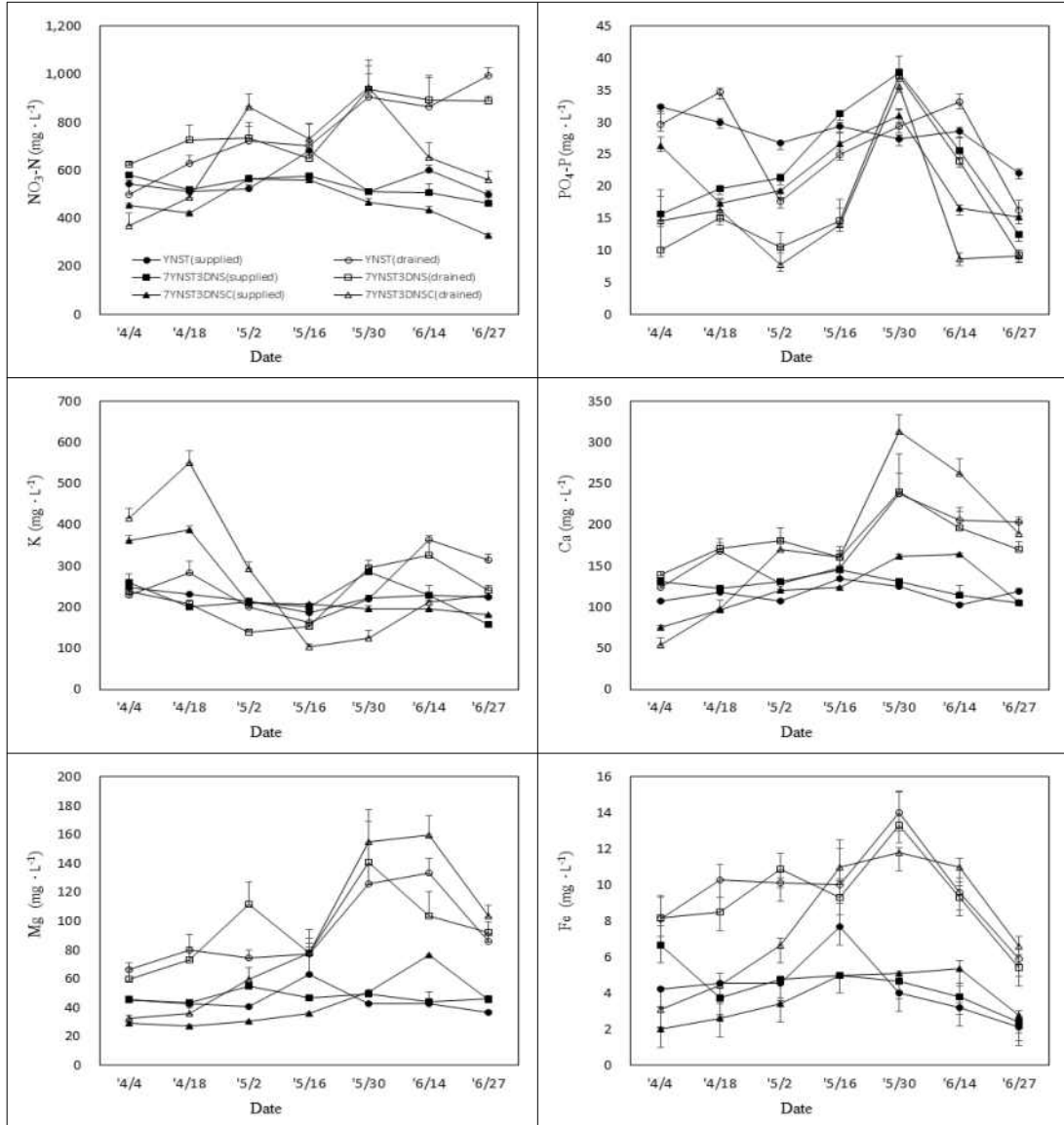
- 배액 재활용 방법에 따른 공급액 및 배액의 무기성분의 변화를 조사하였다. 분석 결과 음이온인 NO<sub>3</sub>-N는 모든 처리구에서 공급액보다 배액의 농도가 높은 경향이였다. 대조구의 공급액은 500~602mg·L<sup>-1</sup>, 배액은 500~995mg·L<sup>-1</sup> 이였고, 배액 30% 공급구(DNS)의 공급액은 518~575mg·L<sup>-1</sup>, 배액은 623~938mg·L<sup>-1</sup>으로 높았다. 배액 30% NK 조정구(DNSC)의 공급액은 327~565mg·L<sup>-1</sup>, 배액은 370~943mg·L<sup>-1</sup>로 역시 높았다. 또한 시기별 농도 변이는 공급액 보다 배액에서 변이가 심하였다.
- 양이온인 PO<sub>4</sub>-P는 대조구의 공급액(22~32mg·L<sup>-1</sup>)과 배액(16~35mg·L<sup>-1</sup>)이 비슷하였으나, 배액 30% 공급구(DNS)의 공급액(12~38mg·L<sup>-1</sup>)보다 배액(9~24mg·L<sup>-1</sup>)의 함량이 낮았으며, 배액 30% NK 조정구도 공급액(17~40mg·L<sup>-1</sup>)보다 배액(8~36mg·L<sup>-1</sup>)에서 함량이 낮았는데 이는 배액의 pH가 높아 재활용 공급액의 pH에 영향준 것으로 생각된다. 따라서 pH가 높아질 경우 PO<sub>4</sub>-P 및 미량요소의 결핍이 우려되기

때문에 적절한 산도 유지 방안이 강구되어야 할 것으로 생각된다. K<sup>+</sup>는 NO<sub>3</sub>-N와 같은 경향으로 대조구 등 모든 처리구에서 공급액보다 배액에서 성분함량이 비슷하거나 높았지만, 5월 중하순경은 배액에서 낮은 경향이었다.

- Ca도 대조구의 공급액보다 배액에서 함량이 높은 편이었으며, 배액 30% 첨가구(DNS) 및 배액 30% NK 조정구(DNSC)는 5월달에는 배액에서 함량이 낮았고, 그 외 기간에는 배액에서 함량이 높았고 함량 차이도 생육 후기로 갈수록 큰 편이었다. Mg는 생육 초기부터 후기 까지 공급액 보다 배액에서 함량이 높아 Ca과 비슷하였다. Fe도 모든 처리구에서 공급액 보다 배액에서 높았다. 미량원소 중 Na과 B도 모든 처리구에서 공급액 보다는 배액에서 함량이 높았고, 기타 Mn, Zn, Cu는 공급액 및 배액에서 거의 함량 차이가 없었다(데이터 미제시)
- 전반적으로 본 실험에서 공급액 보다 배액에서 시기별로 반복간의 표준편차가 크고 함량도 높은 경향이었는데, 이는 생육량이 증가하고, 하절기로 갈수록 기온이 올라가 수분 흡수량이 증가하여 배출되는 물량이 적어지고 배지 내에 집적된 무기원소의 양이 증가한 것으로 생각된다. 다만 5월중순경에 편차이 범위가 적은 것은 5월 상중순에 비가 많이 내려 일조 부족에 의한 일시적인 현상으로 생각된다.



<배액 재활용에 따른 공급과 배액의 무기성분 변화>



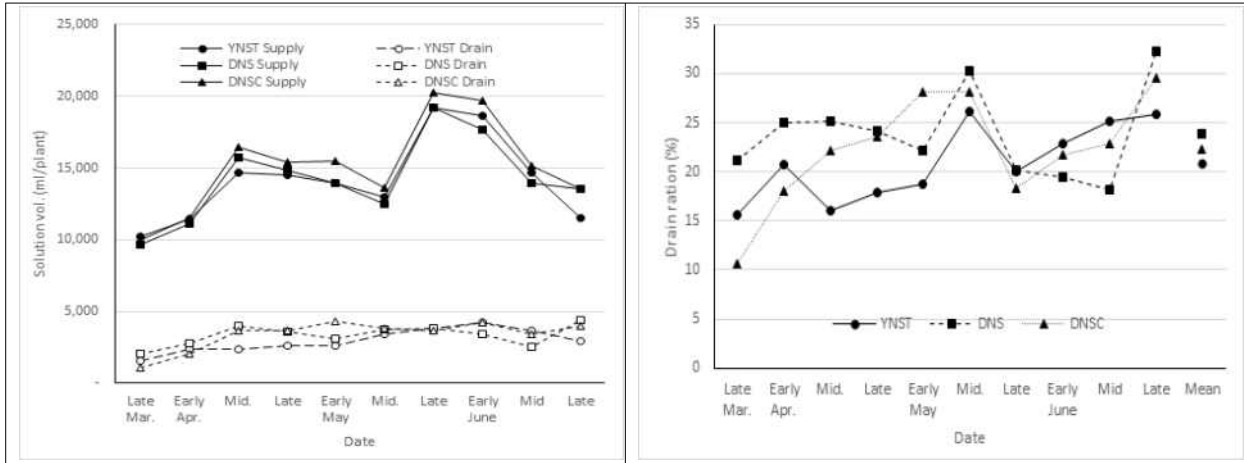
※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DN5C : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 배액 재활용 방법 별 배양액 공급량 및 배액량의 변화

- 방울토마토 배양액 재활용 방법에 따른 봄작형 재배기간 중 공급량과 배액량은 아래 그림에서 보는 바와 같다. 3월 23일부터 양액을 조사한 결과 3월 하순에는 각 처리별 공급량은 9,693~10,243ml/주, 배액량은 1,066~2,043ml/주로 적었다. 묘가 활착된 이후에는 공급량이 증가하여 4월상순에는 11,103~11,550ml/주로 다소 증가하였다. 이후 기온이 상승하고 작물이 생육이 왕성해짐에 따라 공급량이 4월 중순부터 15,000ml 전후에서 공급 되었고, 5월하순에서 6월상순에는 거의 20L 까지 공급되었다. 재배기

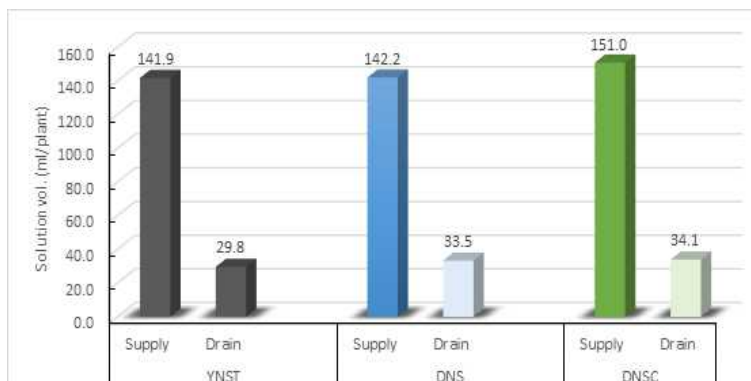
간 중 배액량은 3월하순 1,066~2,043ml/주, 4월상순 2,081~2,776ml/주, 이후에 약 2,000~4,000ml/주 범위에서 비슷한 수준으로 배출 되었다. 또한 정식 초기에는 배액율이 10.7~21.1%로 진폭이 가을 작형보다는 작은 편이었으나, 4월 상순부터 6월 하순 까지 15~30% 범위는 비교적 안정되게 배출되었고 억제 작형보다 배액율도 감소하였다. 이는 억제 작형보다 봄 작형이 작물 생육이 왕성한 이유로 생각된다.

<반축성 작형에서 배액 재활용에 따른 양액 공급량, 배액량(A) 및 배액율(B)>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

- 아울러 재배기간 중 양액 총 공급량은 대조구와 배액 30% 첨가구(DNS)는 142L/주, 배액 30% NK 조정구(DNSC)는 151L/주로 대조구에 비해 6.4% 많았다. 총배액량은 각각 29.8L/주, 33.5L/주, 34.1L/주로 재배기간 중 배액율 20.9~23.8%로 안정적으로 관리되었다(그림 6). 또한 억제 작형과 비교해 볼 때 봄작형에서 양액 공급량과 배액량도 많았고 배액율도 안정되게 관리된 편이었다.



<배액 재활용에 따른 양액 총공급량 및 총배액량>

○ 배액 재활용에 따른 과실 특성 및 수량

- 반축성 농가 실증재배시 배액 재활용 방법에 따른 수확 과실의 특성과 수량성을 조사하였다. 과장은 대조구에 비하여 배액 30% 공급구(DNS) 및 배액 30% NK 보정구(DNSC)에서 다소 길었으나, 과경, 과중, 경도, 당도는 차이가 없었다.

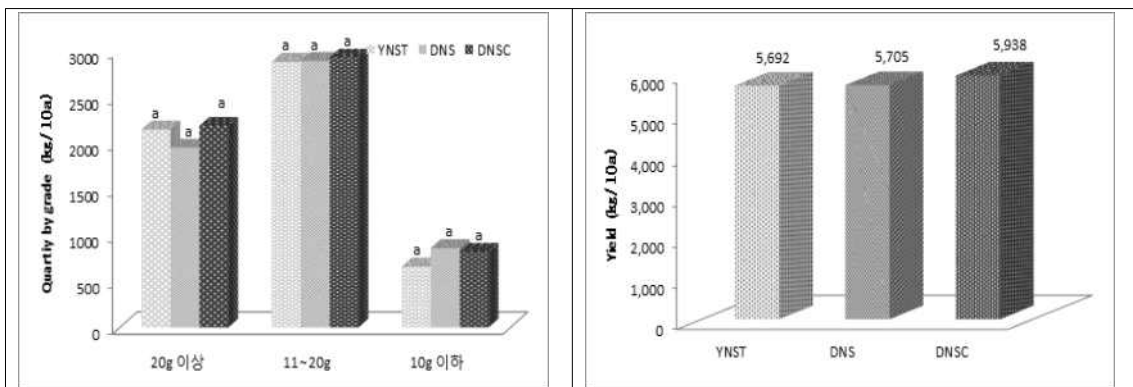
<배액 재활용에 따른 과의 특성>

처 리	과 장 (mm)	과 경 (mm)	과 중 (g/개)	경 도 (kg/cm <sup>2</sup> )	당 도 (° Brix)
대 조 구	35.7 <sup>b</sup>	29.2 <sup>a</sup>	17.9 <sup>a</sup>	0.77 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>
배 액 30%	35.9 <sup>a</sup>	29.5 <sup>a</sup>	18.4 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	10.3 <sup>a</sup>
N K 조 정	36.0 <sup>a</sup>	29.2 <sup>a</sup>	18.4 <sup>a</sup>	0.76 <sup>a</sup>	10.5 <sup>a</sup>

\* DMRT 5% 수준

- 배액 재활용 방법에 따른 과실 등급별 10a당 수량은 모든 처리구에서 차이가 없었으며, 처리 별 중품은(11~20g) 2,883~2,928kg/10a로 가장 많았고, 상품(20g 이상)은 1,951~2,187kg/10a, 하품(10g이하)는 662~861kg/10a이었다. 총수량도 대조구(5,692 kg/10a, YNST), 배액 30% 공급구(DNS, 5,705kg/10a) 보다 배액 30% NK 조정구(DNSC, 5,938kg/10a)으로 4% 증수되었으나 통계적 유의성은 없었다.
- 이상 농가 실증재배에서도 토마토 수경 재배시 배출되는 배액을 일부 재활용하거나 배액의 무기이온을 조절하여 재활용해도 생산성에 큰 영향이 없고, 배액으로 인한 환경오염을 줄이고 물과 비료 사용량도 절감하여 농가의 소득증대에도 기여 할 것으로 생각되나, 금후 배양액 오염 등 보다 정밀한 순환식 수경재배의 연구가 수행되어야 할 것으로 생각 된다.

<배액재활용에 따른 과실의 등급 별 수량 및 총수량>



※ YNST : Yamazaki 토마토 배양액, DNS : 70% YNST + 30% 배액, DNSC : 70% YNST + 30% 배액 NK 보정구.

○ 전문가 토론 및 토마토 재배농가 참여 연시

실험기간 동안 토마토 전문가를 초청하여 자문을 받았으며, 아울러 실증포를 방문하는 토마토 재배 농가를 대상으로 양액 재활용 방법에 대하여 3회 교육 하였다.

<전문가 활동 및 토마토 재배농가 현장 견학 안내>

구 분	일 시	인원(명)	주 요 내 용	비 고
협 의 회	'18. 1. 9	7	연구과제 협의회	충남대
	2. 28	4	양액과제 추진협의회	충남대
	7. 5	5	양액과제 중간 점검 및 추진협의회	
	12. 11	8	양액과제 종합 보고서 작성 협의	
연구과제심의	2. 20	10	8과제 13세부과제	
중간진도관리	7. 26	10	8과제 13세부과제	
결 과 평 가	12. 2	10	8과제 131세부과제	
현 장 안 내	3. 22	30	토마토 전문반	
	4. 3	20	시흥시 생활개선회 연합회 회원 교육	
	5. 3	20	예산 토마토 연구 회원 교육	

나. 딸기 수경재배에서 개발 양액기계의 현장적용

○ 질산태질소와 칼륨센서의 성능 테스트

- 부여과채연구소와 논산딸기시험장의 질산태질소와 칼슘센서의 성능 테스트
  - 질산태질소 표준 용액 농도 : 153, 204, 307, 409, 614, 818, 1228 mg/kg
  - 칼륨 표준 용액 농도 : 96, 128, 193, 257, 386, 514, 772 mg/kg
  - 테스트 방법 : 질산태질소와 칼륨센서를 표준 용액의 농도에서 값을 측정하여, 양액공급장치에 나타나는 값과 표준 용액의 값을 비교하였음



<설치된 질산태질소 센서>



<설치된 칼륨 센서>

○ 분석 결과

- 질산태질소 센서의 측정값은 과채연구소와 논산딸기시험장 모두, 표준용액의 농도가 높아짐에 따라 낮아지는 경향을 보여, 센서의 측정값에 오류가 큼을 알 수 있었음.
- 칼륨센서는 표준용액의 농도가 높아짐에 따라 측정값이 높아지기는 했으나, 표준용액의 낮은 농도에서 높은 농도로 측정됨에 따라 센서의 측정값에 오류가 있음을 알 수 있었음.

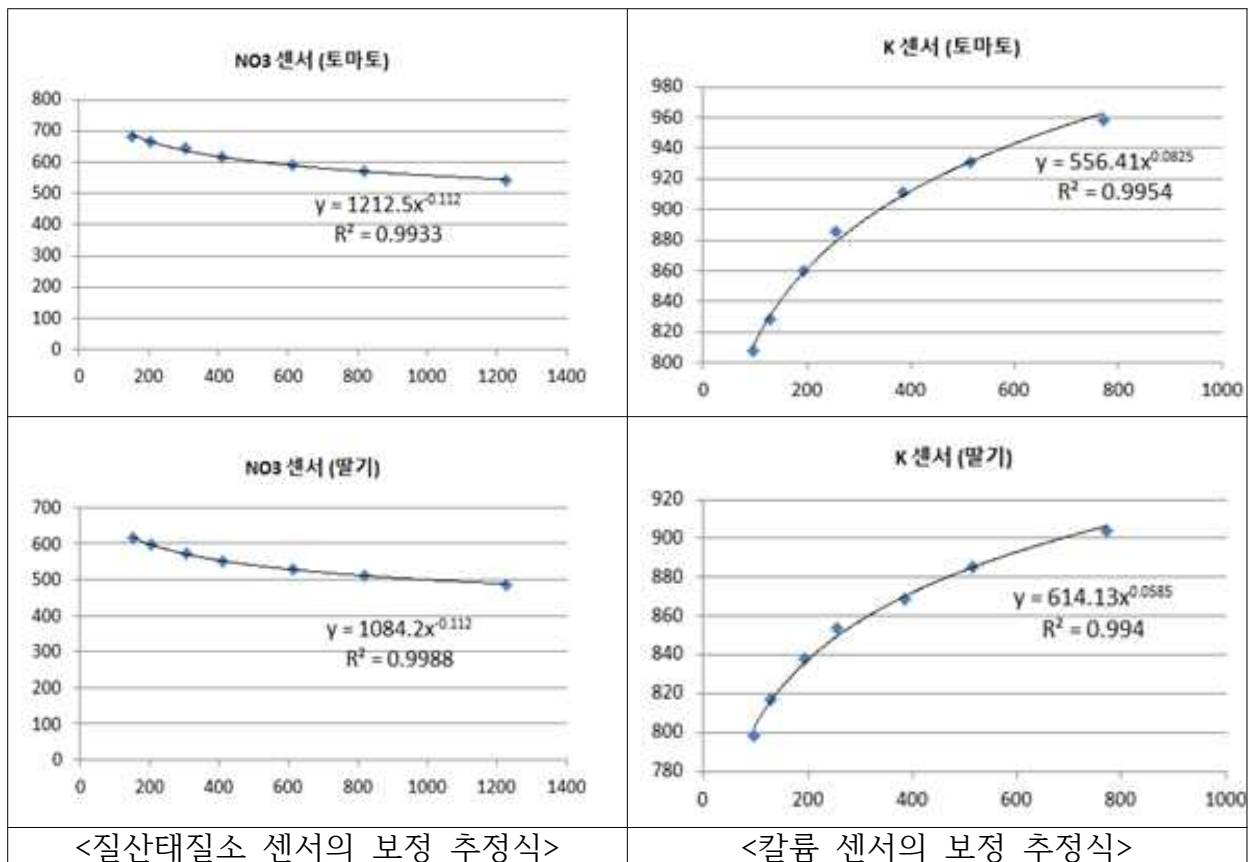
<질산태 질소 센서의 표준용액 농도에 따른 측정값>

NO <sub>3</sub> 센서	표준농도	153	204	307	409	614	818	1228
측정값	과채연구소	682	668	645	615	590	569	543
	딸기시험장	615	596	571	551	530	510	486

<질산태 질소 센서의 표준용액 농도에 따른 측정값>

K 센서	표준농도	96	128	193	257	386	514	772
측정값	과채연구소	808	828	860	886	911	931	958
	딸기시험장	798	817	838	854	869	885	904

- 질산태질소와 칼슘센서의 측정값과 표준용액의 농도에 대한 추정식을 도출한 결과 과채연구소와 논산딸기시험장 모두 높은 유의성(r2)을 보여, 각 센서를 이용할 경우에는 도출된 추정식을 이용할 수 있는 프로그램을 추가한다면, 각 센서를 농가현장에 이용할 수 있을 것으로 판단되었음.



○ EC 센서 오류에 대한 해결방안

- 화면에 표시되는 EC가 실제 측정값보다 높아 EC센서를 세척 후, 측정한 결과 정상적인 측정값이 표시되었음.

- 재배중 pH와 EC센서는 수시로 세척하여 사용해야 하는데, 본 실험에서는 지속적인 사용 중에서 보다는 재배가 끝나고, 다시 시작할 경우, 즉 사용이 중단되었다가 다시 사용할 경우, EC센서의 오류가 발생하였음. 이러한 이유는 EC센서 부위의 측정 시료가 고여 있게 되어 쉽게 부패하거나 이물질 등이 발생하기 때문으로 판단되었음.

## 제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

		코드번호	D-06	
1. 목표달성도				
구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2016)	[제1세부] ICT기 반 양액 재활용, 환경제어 복합형 양액시스템 통합 시작품 개발 및 성능시험	주요부 설계, 제작 및 기본 성 능평가	100	- 선진사 bench marking 및 상 세분석 - 국산화 제작 · 메뉴체계, 입력변수, 사용자 편 이성 · 한글메뉴, 선진사보다 편리한 기능, 비상 시 대처기능, ICT적극 활용 · 본체, 배양액 성분 센싱(EC, pH, N, K 센서 등), 살균, 필터 등으로 구성 · 배양액 센싱부 안정성 및 내구 성 시험 성능: 정밀도, 응답성 등
		주요 과채류 (딸기, 토마토)의 생육모델링에 따른 비료 요구 량 DB화 (위탁)	100	- 선진제품 (SMART Fertilizer) 로직 및 메뉴체계 분석 - 논문, 특허를 활용하여 주요 과 채류의 품목별, 작형별, 생육단계 별 최적의 비료 요구량 확인
	[제1협동] 주요 과채류 작형, 생 육단계별 양액 요 구량 시험 및 시 작품 현장실증	토마토 주요 작형 및 생육단계 별 양액 요구량 구명 연구  딸기 수경재배시 배액 분석을 통한 재활용 양액처방 연구	100	- 생육 전 기간 동안 투입양액 양 액사용량, 배액성분 추적 분석 - 기온, 일사량, 습도 병행 조사  - 배액 성분 센싱값 (EC, pH, N, K 센서 등)과 실측치와 상관분석 - 투입양액과 배액성분량을 기준 으로 양액 재사용(비료요구량) 방 법 산출 - 식물체 엽분석 - 배액의 미생물 및 부유물 조사 - 식물체 생육 및 수량조사



구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2017)	[제1세부] ICT기 반 양액 재활용, 환경제어 복합형 양액시스템 통합 시작품 개발 및 성능시험	양액제어시스템 현장실증	100	- 과채연구소와 협동으로 현장실 증(토마토, 딸기) - 전문가, 농가 초청 연시 및 설 문조사 → 보완점 도출 및 개선
		양액제어시스템과 환경제어시 스템의 통합	100	- 기존 온실 복합환경제어시스템 과 매칭: 통신, 메뉴체계 확장, 정 보결합 - 원격 모니터링 및 제어 통합제 어시스템 운영 소프트웨어: 인터 넷, 스마트폰
		품목별, 작형별, 생육단계별 비 료 처방 프로그램 로직 제작 (위탁)	100	비료 산정식 개발 및 주관기관과 협력하여 산정식 입력 배양액 센싱값을 고려한 제어로직 개선
	[제1협동] 주요 과채류 작형, 생 육단계별 양액 요 구량 시험 및 시 작품 현장실증	배액 재활용 시비시스템 개발 및 통합시작품 예비검증	100	- 기존 배액관리 방식(관행, 배액 재활용 안함) - 배액 정밀분석 및 양액성분 보 정 후 재활용
		양액 재활용 개발 장치에 대한 토마토, 딸기 현장 실증 시험	100	- 기본배양액(2/3) + 재활용 양 액(1/3) 혼합 공급 - 조사항목은 1년차와 유사 배액보정 양액처방 방법 제시

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2018)	[제1세부] ICT기 반 양액 재활용, 환경제어 복합형 양액시스템 통합 시작품 개발 및 성능시험	양액제어시스템 보완요구점 개 선, 산업화	100	- 2년차 현장실증 문제점 보완 - 2차 시작품 제작 및 현장실증 - 사용자 매뉴얼 작성, 산업화 준 비, 전시회 출품 등 홍보
		양액제어시스템과 환경제어시 스템의 통합 현장실증	100	- 토마토, 딸기 재배 현장에 복합 환경제어 시스템과 통합 적용 - 전문가, 농가 초청 연시 및 설 문조사
		현장실증 결과데이터 확인 및 최신 데이터 추가(위탁)	100	- 협동기관 (충남농업기술원 과채 연구소)로부터 결과 분석을 받아 데이터 업데이트
	[제1협동] 주요 과채류 작형, 생 육단계별 양액 요 구량 시험 및 시 작품 현장실증	배액 재활용 시비시스템 보완 및 통합시작품 현장 실증	100	- 기존 배액관리 방식(관행 대조, 배액 재활용 안함) - 2년차 시험에서 가장 효율적인 배액 활용 시비 제어시스템 적용 - 온실환경제어시스템과 양액제어 시스템과 통합된 시작품 농가현장 병행 실증 - 조사항목은 1, 2년차와 유사 향상된 배액보정 양액처방 방법 제시 - 전문가, 농가 등 초청 연시 및 개선점 도출

## 2. 관련분야 기여도

- 주요 과채 (토마토, 딸기) 품목별, 작형별, 생육 단계별 최적의 비료 요구량 확인 및 DB화 하여 비료 처방 로직 개발
- 선진제품 (SMART Fertilizer) 로직 분석
  - 이스라엘의 SMART Fertilizer 제품은 농민이 원하는 작목, 수확량, 양액의 양을 선택 시, 이에 따른 양액의 조합 배율, 양을 알려주어 환경오염과 생산비용을 효과적으로 줄일 수 있게 하는 프로그램 개발
- 주요 과채류 (딸기, 토마토)의 생육모델링에 따른 비료 요구량 DB화
  - 국내·외 논문, 특허를 활용하여 주요 과채류의 품목별, 작형별, 생육단계별 최적의 비료 요구량 확인하여 DB화
- 품목별, 작형별, 생육단계별 비료 처방 프로그램 로직 제작
  - 데이터를 활용하여 비료량을 계산하는 산정식을 작성하고, 처방 프로그램 제작
- 현장실증 결과데이터 확인 및 최신 데이터 추가
  - 실험 데이터를 확인하고, 주관기관에서 제작한 프로그램에 데이터 값을 업데이트

## 제5장 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

### 1. 기대성과

#### 가. 기술적 측면

- 국내에서 거의 전무한 양액재배 시비처방 전용 로직 및 소프트웨어 확보
- 시비처방 로직이 탑재된 양액제어시스템 개발로 수입제품과 경쟁
- 온실복합환경제어시스템과 연동으로 센서, 제어장비 등 호환성 향상
- 스마트폰 어플리케이션 등 개발로 사용자 편의성 향상

#### 나. 경제 · 산업적 측면

- 배액 재활용으로 투입되는 양액 및 폐양액 최소화로 비용 및 환경오염 저감
- 최근 부각되고 있는 양분관리용 양액제어시스템 국산화로 외국산과 경쟁
- 시설기자재 국내 산업 경쟁력 향상
- 최적 양액제어 및 환경제어로 농자재 투입비용 절감, 소득 증대

### 2. 실용화 · 산업화 계획

- 소형 온실과 대형 온실에서 사용할 수 있는 양액공급시스템 개발을 목적으로 하지만 6,600 m<sup>2</sup>(2,000평) 이하의 소규모 시설하우스용 개발에 더 큰 비중을 둘 것이며, 배액을 수집하고 이를 재활용하는 방향으로 설계 및 제작
- 일반적으로 배액은 공급된 양액에 비해 pH, EC, 각종 무기원소 농도가 변화됨. 그러나 배액의 변화된 pH, EC, 각종 무기원소 농도를 계측하고 그 결과를 양액 조성에 반영하기 위해서는 각종 계측센서의 도입이 필요함
- 공급액의 EC 및 개별 무기이온 농도는 본 연구팀에서 DB화한 성장모델 및 무기이온 흡수모델을 적용하여 생육단계별로 양액의 조성 변화가 가능하고, EC 조절을 통한 시비량 조절이 가능하도록 함
- 배액재사용을 위한 여과 및 살균 장치(UV lamp) 도입, 성장 모델 및 무기이온 흡수 모델을 적용한 생육단계별 양액 조성 및 EC 변화가 가능하도록 할 것임. 아울러 배액과 새로운 양액이 혼합될 때 연구를 통해 확보된 결과를 적용하여 배액의 무기이온 농도 보정이 가능하도록 할 것임
- 시비처방 소프트웨어, 양액제어시스템, 복합환경제어시스템을 서로 연동되도록 개발하고, 주요기술에 대한 산업재산권 확보, 시제품 제작 및 홍보, 기존 국내/외 판매망을 통하여 상품화 및 산업화 계획임 (주관기관은 양액제어시스템, 복합환경제어시스템 전문회사로 약 15년 동안 매출액 25배 성장하였으며, 향후 지속적인 성장을 목표로 하고 있음)

종류		성능 (높은 수치가 고성능)		가격 (낮은 수치가 저렴)	
		외국제품	연구목표	외국제품	연구목표
양액 제어 시스템	제어 장치	8	8	10	7
	소프트웨어 (최적시비 처방 알고리즘)	8	9	10	7
	배액재활용(+살균, 필터)	9	8	10	7
	평균	8.3	8.3	10	7



<대리점을 보유하고 있으며, 수출실적이 있는 국가>

○ 사업화를 통한 기대효과

(단위: 백만원)

산업화 기준 항 목	1차년도	2차년도	3차년도	계
직접 경제효과	2,400	6,000	12,000	20,400
경제적 파급효과	10,000	30,000	50,000	90,000
부가가치 창출액	30,000	70,000	100,000	200,000
합 계	42,400	106,000	162,000	310,400

※ 산출 근거 : 경제적 파급효과는 경제효과 2배, 부가가치 창출액은 경제적 파급효과의 2배로 계산함. 각 년차별 산출액은 전년대비 10%의 성장을 가정하여 계산함

## 제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호	D-08
<p>1. 1차년도 해외과학기술정보 수집</p> <p>가. 출장 장소 및 기간</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 출장 장소 : 일본</li> <li>○ 출장 기간 : 2016년 7월 25일 ~ 29일</li> </ul> <p>나. 출장 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 일본의 수경재배 배액 재활용 및 살균 시스템 정보 수집</li> <li>○ 일본 시설원예 관련 연구소, 대학의 시설 견학 및 배액 재활용 관련 연구동향 조사</li> <li>○ 야채다업연구소 방문: 야채다업연구소 식물공장은 선도적인 재배기술 연구에 의한 일농 농업 활성화를 목표로 하고 있으며 생산성 향상 및 환경부담 경감 시설채소 생산기술 체계화 및 원예 작물의 고수익 안정생산 시스템 개발, 일본형 고수익 시설원예 생산시스템 구축</li> <li>○ 지배대학 환경건강필드과학센터 방문: 차세대 시설원예 관련정보를 제공하며 고도 환경제어 시설에서 생산된 농산물의 판로 확대 및 재배 기술자, 지도자 양성 연수 프로그램실시, 전문가 파견에 의한 재배 및 경영지도</li> <li>○ 일본 시설원예·식물공장 전시회 및 세미나(GPEC) 참석: 인공광형 식물공장 최신동향, 환경제어에 의한 광합성증가와 수량 증대, 농업을 변화시킨 ProFarm, 통합환경제어와 ICT 이용 NEC 실증사례, 중국의 시설원예와 식물공장 현황, 명확한 경영에 의한 식물공장사업 운영, 고품질 시금치 주년 안정 재배 시스템의 실용화 도전</li> <li>○ 수경재배 배액처리 시설 장비 정보 수집</li> </ul> <p>다. 출장 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 배출액 재활용 가능한 기자재 정보 수집으로 효율적 과제 진행</li> <li>○ 차기 연구과제 아이템 도입 : 유비쿼터스 환경관리 시스템 등</li> <li>○ 시설원예 관련 새로운 기자재 도입 홍보</li> </ul>	

<사진자료>



<GPEC 전시회>



<이화학연구소 방문>



<GPEC 세미나>



<NARO 식물공장 내부>

## 2. 2차년도 해외과학기술정보

### 가. 출장 장소 및 기간

- 출장 장소 : 미국(하와이, 와이콜로아)
- 출장 기간 : 2017년 9월 17일 ~ 9월 24일

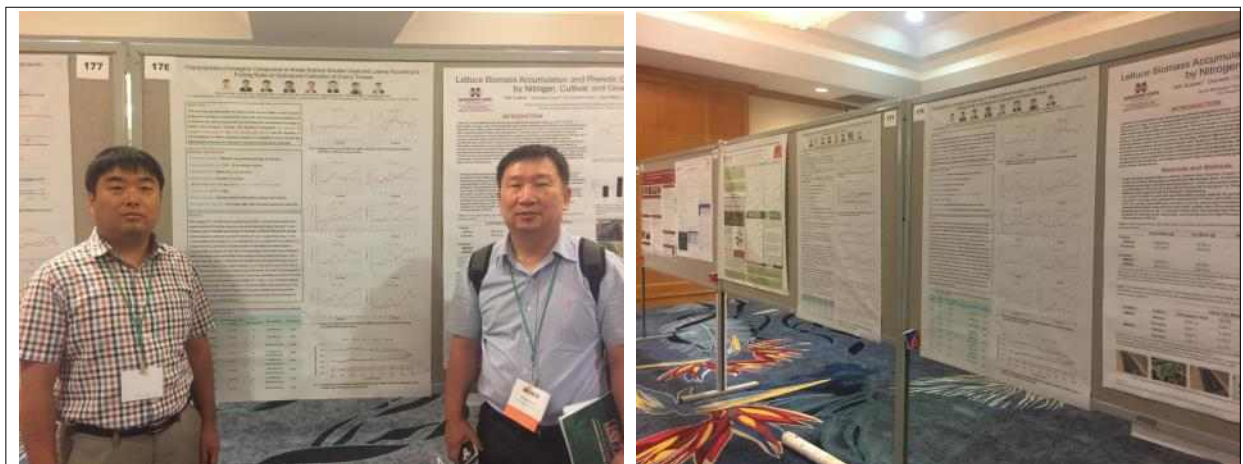
### 나. 출장 목적

- 미국원예학회 참석 및 수경재배 관련 정보수집

### 다. 출장 결과

- 채소, 과수, 화훼 등 각 부분의 육종, 생명공학, 유전자원, 수확 후 관리, 양액 관리 등 총 40여 개 분야에 약 900명이 참가하여 비즈니스 미팅, 워크샵, 구두 및 포스터 발표로 개최
- 원예작물의 연구방향은 육종, 재배 및 수확 후 관리 등 전반에 걸쳐 고품질을 요구하는 소비자 위주의 연구로 전환되고 있음
- 도시민의 생활원예, 원예를 활용한 활동 등 도시농업과 인간의 스트레스 감소를 위한 원예치료, 원예복지 분야의 연구가 지속적으로 확대되고 있음
- 환경적인 문제와 더불어 양액에 대한 연구는 폐양액에 대한 재활용 분야로 확대되고 있으며, 지구 온난화의 기후 변화에 대비하기 위한 아열대 작물에 대한 관심과 연구가 계속 증가할 것임
- 양액재배와 관련하여 비료 성분 조절에 대한 식물 생장 연구도 꾸준히 진행되지만, 환경적인 문제와 더불어 버려지는 폐양액에 대한 연구도 지속적으로 증가하고 있음. 이를 위해서는 농업뿐 아니라 폐양액 성분 측정 관련 기기의 발전도 동반되어야 함.
- 양액 관련 연구는 도시 농업, 원예 치료분야와 연계하여야 함. 최근 도시농업과 원예치료에 대한 관심 증가로 손쉽게 일반인들이 재배할 수 있는 작물에 대한 선발과 맞춤형 양액에 대한 연구도 진행 필요함.

### <사진자료>



<학술발표>





<하와이 대학교 방문>



<하와이 열대 식물원 방문>



<파머스 마켓 방문>



<코나 커피 농장 방문>

### 3. 3차년도 해외과학기술정보

#### 가. 출장 장소 및 기간

- 출장 장소 : 그리스 아테네
- 출장 기간 : 2018. 6. 10. ~ 6. 17(7박8일)

#### 나. 출장 목적

- 국제원예학회 논문발표 및 배액 관련 정보 수집

#### 다. 출장 결과

- 심포지움 : 농업적 도전 등 7섹션(구두 28, 포스터 30편 발표)
- Congress : 토마토 가공산업의 오늘과 내일 등 3섹션
- 특별행사 : 개회식, 환영만찬, 행사만찬, 송별만찬
- Post Congress Tour : Kyknos 가공공장, 생물다양성 토마토농장, 올림피아드
- 농장 규모 및 가공회사의 규모도 큰 관계로 전세계의 가공 토마토의 생산량, 가공량, 가격 등을 비교적 정확히 예측하는 시스템을 갖추고 있음. 국내 신선토마토 생산전망도 본 시스템을 활용 필요
- 유럽의 농업은 친환경 농업을 모토로 하여, 생산, 가공, 유통 등 모든 분야에 친환경을 강조하고 있음. 수경재배시 환경오염 방지위한 배액 재활용 기술은 지속적으로 발전 필요함.

<사진자료>



1. <Congress 개회식 및 참여업체 부스>



<포스터 발표 및 Kala Dinner 쇼>



<Kyknos 가공공장 및 생물다양성 농가포장>

## 제7장 연구개발결과의 보안등급

		코드번호	D-09
보안등급분류	일반과제		
결정사유	“ 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」 제24조의4에 해당하지 않음”		

## 제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10		
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호

## 제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호	D-11
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 「(주)청오엔지니어링 연구실 안전관리 규정지침」에 의거함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함</li> <li>- “연구실안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행</li> <li>- 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리</li> <li>- 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시</li> <li>- 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치</li> <li>- 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시</li> </ul> </li>   <li>○ 「충남대학교 연구실 안전관리 규정지침」에 의거함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함</li> <li>- “연구실안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행</li> <li>- 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리</li> <li>- 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시</li> <li>- 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치</li> <li>- 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시</li> </ul> </li>   <li>○ 「과채연구소 연구실 안전관리 규정지침」에 의거함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연구참여인원의 보험가입을 대학차원에서 의무적으로 적용함</li> <li>- “연구실안전관리책임자”를 지정하여 안전 관리 및 지도 수행</li> <li>- 연구실안전관리책임자는 연구실 안전 책임 관리</li> <li>- 통제상황과 사고발생시 대처요령 등 교육 훈련 실시</li> <li>- 연구실 자체 안전점검 실시 및 결과 비치</li> <li>- 일정 기간 이상 종사자 건강검진 실시</li> </ul> </li> </ul>	

## 제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	특허	ICT를 활용한 시설 재배의 양액재활용 공급시스템	주식회사 청오엔지니어링		한국		2017.02.27		
2	특허	다동재배시설의 환기시설 개폐장치용 상태신호검출 및 제어장치	주식회사 청오엔지니어링		한국		2018.01.08		
3	출원	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액 공급시스템 제어용 복합컨트롤러	주식회사 청오엔지니어링		한국		2018.06.19		
4	논문	방울토마토 수경재배 시 작과 절위 증가에 따른 공급액, 배액 및 식물체의 무기성분 농도 변화	충남농업 기술원 과채연구소	주저자	시설원예·식물공장(Protected horticulture and plant factory)		2017.10.01	단독사사	비SCI
5	논문	토마토 잎마름역병 발생 예측 및 방제 시기 연구	충남농업 기술원 과채연구소	주저자	韓國國際農業開發學會誌(The journal of the Korean Society of International Agriculture)		2017.12		비SCI
6	논문	Circulation of Drained Solution in Tomato Hydroponic Culture and Its Influence on Crop Growth and Solution Composition	충남농업 기술원 과채연구소	주저자	XV International Symposium on Processing Tomato - XIII World Processing Tomato Congress		2018.12(예정)	단독사사	비SCI

7	논문	"Bonus" 토마토 반축성 수경재배 시 착과절위에 따른 식물체, 공급액 및 배액의 무기성분 농도 변화	충남농업기술원 과채연구소	주저자	시설원예·식물공장		2019.01.31	단독사사	비SCI
8	기타	일반토마토 '보너스' 반축성 수경재배 시 배액성분 특성(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국 원예학회 105차 추계 학술 발표회		2016.10.26	단독사사	
9	기타	방울토마토 반축성 수경재배 시 착과절위 별 배액성분 특성(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국 원예학회 105차 추계 학술 발표회		2016.10.26	단독사사	
10	기타	Analysis of nutrient contents and change rate of the drainage solution in hydroponics of strawberries(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	국제 원예학회		2016.08.13		
11	기타	일반토마토 역제 수경재배 착과 절위 별 생육 및 배액성분 특성(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국원예학회 춘계학술발표회		2017.05.24	단독사사	
12	기타	방울토마토 수경 역제재배시 생육 및 배액성분 특성(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국원예학회 춘계학술발표회		2017.05.24	단독사사	
13	기타	Drainage Analysis about Irrigation Amount of Strawberry(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국원예학회 춘계학술발표회		2017.05.24		
14	기타	Physicochemical Change of Drainage About Nutrient(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국원예학회 춘계학술발표회		2017.05.24		
15	기타	방울토마토 반축성 순환식 수경재배에서 배액 재활용(학술 발표)	충남농업기술원 과채연구소	주저자	한국원예학회 춘계학술발표회		2018.10.17	단독사사	

16	기타	방울토마토 가을철 순환식 수경재배 시 배액 재활용(학술 발표)	충남농업 기술원 과채연구소	주저자	2018 한국원예학회 추계 학술대회		2018.5.23	단독사사	
17	기타	양액재활용을 위한 딸기 품종별 배액의 무기성분 함량(학술 발표)	충남농업 기술원 과채연구소	주저자	2018 한국원예학회 춘계 학술대회		2018.05.23		



○ 연구개발과제의 대표적 연구실적 증빙 및 기타 실적

가. 특허 출원 및 등록

- 등록일자 : 2017년 2월 27일(제 10-1712582호)
- 특허권자 : 주식회사 청오엔지니어링
- 발명자 성명 : 박 수 복
- 발명 명칭 : ICT를 활용한 시설재배의 양액재활용 공급시스템



- 등록일자 : 2018년 1월 08일(제 10-1818165호)
- 특허권자 : 주식회사 청오엔지니어링ICT
- 발명자 성명 : 박 수 복
- 발명 명칭 : 다동재배시설의 환기시설 개폐장치용 상태신호검출 및 제어장치



- 출원일자 : 2018년 06월 19일
- 출원인 명칭 : 주식회사 청오엔지니어링
- 발명자 성명 : 박 수 복
- 발명 명칭 : 양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러

관 인 생 략

## 출원번호통지서

출 원 일 자 2018.06.19  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출 원 번 호 10-2018-0070100 (접수번호 1-1-2018-0599004-99)  
 출원인 명칭 주식회사 청오엔지니어링(1-2006-028807-1)  
 대리인 성명 천광신(9-2011-000512-0)  
 발명자 성명 박수복  
 발명의 명칭 양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러

## 특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.  
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정 신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.  
 ※ 제도 안내 : <http://www.kipo.go.kr>-특허마당-PCT/마드리드  
 ※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내  
 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.  
 ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000
7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

나. 논문 게재

- 게재연도 : 2017년 10월 01일
- 논문명 : 방울토마토 수경재배 시 착과 절위 증가에 따른 공급액, 배액 및 식물체의 무기성분 농도 변화
- 저자명 : 이은모, 박상규, 김경제, 이봉춘, 이희철, 윤여옥, 박수복, 최종명
- 학술지명 : 시설원예·식물공장 = Protected horticulture and plant factory

*Protected Horticulture and Plant Factory*, Vol.26, No.4:361-367, October (2017)  
 DOI <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2017.26.4.361>

pISSN 2288-0992  
 eISSN 2288-100X

**방울토마토 수경재배 시 착과 절위 증가에 따른 공급액,  
 배액 및 식물체의 무기성분 농도 변화**

이은모<sup>1</sup> · 박상규<sup>1</sup> · 김경제<sup>1</sup> · 이봉춘<sup>1</sup> · 이희철<sup>1</sup> · 윤여옥<sup>2</sup> · 박수복<sup>3</sup> · 최종명<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>충남농업기술원 과채연구소, <sup>2</sup>충남농업기술원 농업환경과, <sup>3</sup>청원오렌지너이링, <sup>4</sup>충남대학교 원예학과

**Changes in Inorganic Element Concentrations of Drained Nutrient Solution  
 and Leaves in Compliance with Numerical Increment  
 of Fruiting Node during Hydroponic Cultivation of Cherry Tomato**

Eun Mo Lee<sup>1</sup>, Sang Kyu Park<sup>1</sup>, Gyoung Je Kim<sup>1</sup>, Bong Chun Lee<sup>1</sup>, Hee Chul Lee<sup>1</sup>, Yeo Uk Yun<sup>2</sup>,  
 Soo Bok Park<sup>3</sup>, and Jong Myoung Choi<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, Buiyeo 33119, Korea

<sup>2</sup>Division of Agricultural Environment, Chungcheongnam-do ARES

<sup>3</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd, Yesan 32418, Korea

<sup>4</sup>Dept. of Horticultural Sciences, Chungnam Nat'l. Univ., Daejeon 34134, Korea

**Abstract.** Production cost as well as environmental contamination can be reduced by reuse of drained nutrient solution in hydroponic. This research was conducted to obtain the information in changes in inorganic elements concentration of supplied and drained nutrient solution as well as of plant leaves. To achieve the objective, the samples of supplied and drained solution and cherry tomato leaf tissues were periodically collected and analyzed during the hydroponic cultivation. The electrical conductivity (EC) of supplied and drained nutrient solution in early growth stage of cherry tomato were measured as around 2.0 dS·m<sup>-1</sup>, but those values move up with the passage of time reaching to 2.0 dS·m<sup>-1</sup> at flowering stage of 9th fruiting node. The pHs of drained solution in early growth stage were 6.4 to 6.7, however those showed a tendency to get lowered to 5.9 to 6.1 as time passed during the crop cultivation. The concentration differences of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N, P, K, Ca, and Mg between supplied and drained solution were not distinctive until flowering stages of 4th fruiting nodes, while those in drained solution moved up after the stage. The tissue N contents of leaves decrease gradually and those of K and Ca increased as crops grew. However, Tissue P and Mg contents were maintained similarly from transplant to end-crop. The above results would be used in correction of drained nutrient solution when element compositions are varied compared to supplied solution in hydroponic cultivation of tomatoes.

**Additional key words :** dry weight, EC, nutrient concentration, pH

**서론**

우리나라의 토마토 시설재배면적은 6,976ha이고, 생산량은 457천톤이며(2016, MAFRA), 시설원예 현대화를 위한 정부의 지원으로 토마토 수경재배 면적은 매년 증가하고 있다(602.4ha, 1,350농가, 2017, RDA). 수경재배는 균형 시비, 비료의 흡수효율 증대, 토양전염성 병원균의 회피, 위생적 재배환경 관리를 통한 연작장해의 감

소, 생산과정의 생략화, 그리고 고품질 농산물 생산과 생산량 증대 등의 다양한 장점을 갖는다.

그러나 대부분의 수경재배 농가에서는 비순환식 수경재배 방법으로 토마토를 생산하고 있으며, 이 과정에서 공급되는 총 양액 중 20~30%가 배액으로 토양이나 하천으로 배출되어 지하수와 하천의 오염을 가중시킨다(RDA, 1999). 또한 배출되는 배액은 물과 비료의 과다 사용을 유발하여 생산비를 증가시키는 원인으로 보고되고 있다(Bellert et al., 1998; Benoit, 1992; Rhee et al., 2003; Roh et al., 1997; Smith, 1997; Zhang et al., 2010a). van Oot(1994)는 토마토 수경재배 시 배액량의 20% 정도가 배출될 경우 ha당 연간 질소 147kg, 인산

\*Corresponding author: [choi1324@cnu.ac.kr](mailto:choi1324@cnu.ac.kr)  
 Received September 08, 2017; Revised September 20, 2017;  
 Accepted September 26, 2017

- 게재연도 : 2017년 12월
- 논문명 : 토마토 잎마름역병 발생 예측 및 방제 시기 연구
- 저자명 : 이문행, 조숙경, 김영식, 이동진
- 학술지명 : 韓國國際農業開發學會誌 = The journal of the Korean Society of International Agriculture

韓國國際農誌(J. Korean Soc. Int. Agric.), 29(4):454-458(2017)  
 https://doi.org/10.12719/KSIA.2017.29.4.454  
 ISSN 1225-8504 (Print)  
 ISSN 2287-8165 (Online)



한국국제농업개발학잡지  
 The Journal of the Korean Society  
 of International Agriculture

## 토마토 잎마름역병 발생 예측 및 방제 시기 연구

이문행\* · 조숙경\*\* · 김영식\*\* · 이동진\*\*\*

\*충청남도농업기술원  
 \*\*삼명대학교 식물식물공학과  
 \*\*\*단국대 식량생명공학과

### Study of Forecasting and Scheduling for Fungicide Sprays to Control of Late Blight in Tomato

Mun Haeng Lee\*, Suk Kyung Cho\*\*, Young Shik Kim\*\* and Dong Jin Lee\*\*\*

\*Chungnam-do agricultural Research & Extension Service, Gongju 323-814, Korea

\*\*Department of Plant and Food Sciences, Sangmyong University, 300 Anseo-dong, Cheonan, Chungnam 330-720, Korea

\*\*\*Department of Crop Science and Biotechnology, Dankook University, 119 Dandero, Cheonan, Chungnam 330-714, Korea

**ABSTRACT:** Tomato leaves were inoculated with  $1 \times 10^4$  spores  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> and placed in an acryl box at 10, 15, 20, 25, and 30°C for 24 h. Ten days after inoculation, the incidence of late blight appeared as a typical symptom in 6 hrs treatment of leaf wet duration when the temperature is between 15 and 20°C at that time. The incidence of disease was 26% and 41% at 10°C and 25°C treatment although the disease did not occur even after treatment at 30°C for 16 h, respectively. The most important factors in the incidence of Late blight were leaf wet duration and temperature. Optimum growth temperature of tomato is from 15 to 25°C, thus the management of leaf wet duration is better than control by temperature to prevent the incidence of Late blight. After inoculation, the symptoms of Late blight occurred in 5 days, therefore the latency period was estimated to be 5 days. The incidence rate of Late blight was the highest at 15 and 20°C. At the time of chemicals application, when Fluopicolide 5%+Propamocarb hydrochloride 25% was applied at 12 h of leaf wet duration, the control effect was the highest as 95% at 36 h but decreased by 70% when treated after 48 h. On the other hand Cymoxanil 12% + Famoxadone 9% was applied at 18 h of leaf wet duration, the control effect was the highest as 95% at 36 h but decreased by 70% after 48 h as similar as Fluopicolide 5% + Propamocarb hydrochloride 50% treatments. In the application of Dimethomorph 15% + Dithianon 30%, the control effect was more or less low as 80% at 20 h of leaf wet duration and was decreased to 60% at 48 h.

**Key words:** late blight, control effect, forecasting, leaf wetness, chemical

## 서 언

건강에 관심이 많아지면서 신선채소에 관한 수요가 증가하고 있으며(USDA, 1992), 이러한 수요 요구에 맞추기 위하여 폴리에틸렌 멀칭, 화학비료, 합성농약의 사용이 무임이 증가되고 있다(National Research Council Board on Agricultural,

1989). 미국의 중부 매들랜드 지역에서는 신선토마토 생산을 위하여 지상부에서 발생하는 병의 방제를 위한 방제력을 사용하고 있으며(Sikora *et al.*, 1994) 이러한 방제 모델은 남동지역의 일반적인 모델로 확산되고 있다(Bauske *et al.*, 1998). 방제력에 의존한 방제법은 일군계 살포를 정식시기부터 7일에서 10일 간격으로 수확기까지 살포하는 것인데 효과적이기는 하나 기장관절이나 발생의 여부에 관계없는 약제 살포로 낭비요인이 발생한다. 특히 우리나라와 같이 시설재배가 일반적인 곳에서는 비효율적이라 할 수 있겠다.

또 다른 방법은 병발생 예측모델을 이용한 방법이다. EAST

\*Corresponding author

(Phone) +82-41-550-5292

(E-mail) yskim@smu.ac.kr

Received Sep. 4, 2017 / Revised Nov. 7, 2017 / Accepted Dec. 22, 2017

- 게재연도 : 2018년 12월 예정
- 논문명 : Circulation of Drained Solution in Tomato Hydroponic Culture and Its Influence on Crop Growth and Solution Composition
- 저자명 : 이은모 외 8명
- 학술지명 : XV International Symposium on Processing Tomato - XIII World Processing Tomato Congress

## Circulation of Drained Solution in Tomato Hydroponic Culture and Its Influence on Crop Growth and Solution Composition

E.M. Lee<sup>1a</sup>, M.H. Lee<sup>1</sup>, G.J. Kim<sup>1</sup>, B.C. Lee<sup>1</sup>, H.C Lee<sup>1</sup>, H.H. Kim<sup>1</sup>, S.B. Park<sup>2</sup>, S.O. Chung<sup>3</sup> and J.M. Choi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, Buyeo, Republic of Korea ; <sup>2</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd, Daejeon, Republic of Korea; <sup>3</sup>Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea; <sup>4</sup>Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon, Republic of Korea.

### Abstract

The objective of this research was to obtain information on the changes in composition of drained nutrient solution (DNS), and the influence of reused drained solution on the growth and productivity of tomatoes. To achieve this, three treatments were prepared for hydroponic cultivation: 1) the Yamazaki nutrient solution for tomato (YNST), 2) 70% YNST with 30% DNS, 3) 70% YNST with 30% DNS with calibrated N and K ion concentrations (DNSC). Perlite was used as the root substrate and the frequency and amount of solutions supplied were equal for all treatments. Plant leaf area was not significantly different until 30 days after planting for treatments, but those treated with 70% YNST containing 30% DNS increased more rapidly than just YNST. The CGR was similar for all plants in the early growth stage, and faster 60 to 90 days, but the difference was not significant at 90 days after planting. The electrical conductivity (EC) of the DNS was higher than that of the supplied nutrient solution (SNS) during the entire tomato growing period. However, the pH of the DNS was lower than the SNS in the YNST treatment, but showed a rising tendency in the treatment with 30% DNS and DNSC as time went by. The concentrations of NO<sub>3</sub>-N, K, Ca, and Mg in the DNS were higher than those in SNS. The concentration of PO<sub>4</sub>-P was lower in the 70% YNST with 30% DNS and 30% DNSC than in the other treatments. The fruit yield after treatment with 70% YNST with 30% DNSC was higher than YNST alone, but statistically significant differences were not observed. The above results indicate that the reuse of DNS is better than an open system for the hydroponic cultivation of tomatoes.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mil., EC, ion, nutrient concentration, pH

### INTRODUCTION

The application of hydroponic cultivation, as well as production from hydroponic cultivation, has greatly increased in Korea. Most of the hydroponic cultivation farms employ non-circulatory hydroponic cultivation, while only 5% of the farms carry out circulatory hydroponic cultivation (Lee, 2014). Regulating the discharge of the drained nutrient

<sup>a</sup>E-mail : emlee@korea.kr

solution (DNS) and the spented cultivation medium from hydroponic farming is a growing

- 게재일자 : 2019년 1월 31일
- 논문명 : "Bonus" 토마토 반축성 수경재배 시 착과절위에 따른 식물체, 공급액 및 배액의 무기성분 농도 변화
- 저자명 : 최중명
- 학술지명 : 한국생물환경조절학회

Home | logout | Contact us | Sitemap

(사)한국생물환경조절학회  
The Korean Society for Bio-Environment Control

학회소개   회원정보   간행물   학술발표회   정보광장   학회소식

The Korean Society for Bio-Environment Control

**간행물**

- 투고 규정
- 심사 규정
- 편집위원회
- 학회지감색
- 논문투고
  - 신규 논문 투고
  - 수정 논문 투고
  - 최종 논문 투고

**논문투고 및 심사**

**수정 논문 투고** 도움말 열기

▶ Total 1  
(J2\_201800068) "Bonus" 토마토 반축성 수경재배 시 착과절위에 따른 식물체, 공급액 및 배액의 무기성분 농도 변화  
최중명 / 차수 : 1 / 다음 차수 투고 대기 중 / 시설팀에, 식물공장 / 분야 : 생육재배관리 수정

Home | logout | Contact us | Sitemap

(사)한국생물환경조절학회  
The Korean Society for Bio-Environment Control

학회소개   회원정보   간행물   학술발표회   정보광장   학회소식

The Korean Society for Bio-Environment Control

**간행물**

- 투고 규정
- 심사 규정
- 편집위원회
- 학회지감색
- 논문투고
  - 신규 논문 투고
  - 수정 논문 투고
  - 최종 논문 투고
  - 신형 현황 조회
- 논문심사
  - 논문 접수
  - 편집위원 선정
  - 심사위원 선정
  - 심사위원 심사
  - 최종판정

Untitled Document - Internet Explorer

http://scorns.ait.co.kr:9090/ksbec/journal/popup\_article\_history.jsp

**심사기록보기**

투고한 논문의 심사기록을 볼수있도록한다.

**논문정보**

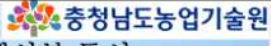
- 논문번호 J2\_201800068
- 논문제목 "Bonus" 토마토 반축성 수경재배 시 착과절위에 따른 식물체, 공급액 및 배액의 무기성분 농도 변화 (Changes in Inorganic Element Concentrations in Leaves, Supplied and Drained Nutrient Solution According to Fruiting Node during Semi-forcing Hydroponic Cultivation of 'Bonus' Tomato)

**심사기록**

차수	제출일	접수일	편집위원 선정 일	심사위원 선정 일	심사일	심사결과	송행일	송행결과
1	2018-11-20	2018-11-20	2018-11-20	2018-11-20	2018-12-05	수정 후 게재	2018-12-20	수정 후 게재

다. 학술대회 발표

- 학술대회명 : 한국 원예학회 105차 추계 학술 발표회
- 일자 및 장소 : 2016년 10월 26일, 김대중 컨벤션센터
- 발표명 : 일반토마토 '보너스' 반축성 수경재배 시 배액성분 특성



### 일반토마토 『보너스』 반축성 수경재배 시 배액성분 특성

Characteristic of Waste Nutrient Solution on Semi-forcing Hydroponic Culture of Tomato cv, Bonus

이은모\*, 김경제<sup>1</sup>, 박상규<sup>1</sup>, 이봉춘<sup>1</sup>, 이희철<sup>1</sup>, 박수복<sup>2</sup>, 권오진<sup>2</sup>, 정선옥<sup>3</sup>, 최종명<sup>4</sup>

Eun Mo Lee, Gyoung Je Kim, Sang Kyu Park, Bong Chun Lee, Hee Chul Lee, Soo Bok Park, Oh Jin Kwon, Sun-Ok Chang, Jong-Myoung Choi

<sup>1</sup>충남농업기술원 과채연구소, <sup>2</sup>㈜ 청오엔지니어링, <sup>3</sup>충남대학교 바이오시스템 기계공학과, <sup>4</sup>충남대학교 원예학과

<sup>1</sup>Chungcheongnam-do ARES Fruit Vegetable Research Institute, <sup>2</sup>Chang-oh Engineering Co Ltd, <sup>3</sup>Department of Biosystem Machinery Engineering, Chungnam Nat'l Univ., <sup>4</sup>Department of Horticulture, Chungnam Nat'l Univ.

#### 서 언

최근 수출농업 및 국내 소비 증가로 수경재배면적이 급격히 증가하는 추세로 전국적으로 3,925ha 재배되고 있다 (2015). 현재 국내 수경재배면적의 약 75% 이상이 고품배지경 재배이며 대부분 비순환식으로 급액 후 나오는 배액의 20-30%는 그대로 방출되고 있어, 자원 낭비 뿐만 아니라 토양과 하천 및 지하수를 오염시키고 있다. 따라서 본 시험은 일반토마토 수경재배 시, 생육 단계 별 급액 및 배액의 성분분석을 통한 양분 요구량을 구명하여 순환식 수경재배 기술체계를 확립하기 위하여 수행하였다.

#### 재료 및 방법

일반토마토 품종은 '보너스'로 40일간 육묘하여, 2016년 3월 10일, 체적거리 160×20cm로 필라이트 배지에 정식하였으며, 6월 30일까지 재배하였다. 배양액은 야마자키액 토마토 전용액을 사용하였다. 생육 초기 양액 공급은 수동으로 조절 공급하였고, 중기 이후부터 누적 일사량(600w/m<sup>2</sup>)에 따라 공급하였다. 활착기 양액 EC는 1.7ds/m로, 이후 생육 후기까지 2.0ds/m로 관리하였다. pH는 5.5-6.0으로 조절하였으며 급액과 배액은 1주일 간격으로 채취하여 ICP로 무기성분을 분석하였다.

#### 결과 및 고찰

급액과 배액의 EC는 정식 후 4월 12일까지 1.7-2.1 ds/m로 비슷하였으며, 4월 26일 부터 생육후기까지는 급액 보다 배액 EC농도가 높아지는 경향이였다. 또한 정식 후 30일까지는 급액과 배액의 NO<sub>3</sub>-N은 차이가 없었으며, 이후 급액보다 배액의 NO<sub>3</sub>-N 함량이 평균 1.3배 높았다. 인산도 NO<sub>3</sub>-N와 마찬가지로 생육초기에는 비슷하다가 중기 부터 높아지는 경향이였다. K<sup>+</sup>는 NO<sub>3</sub>-N와는 달리 정식 후 45일까지는 급액과 배액의 함량이 비슷하였으며, 생육이 진전됨에 따라 급액보다 배액의 함량이 약 1.2배 높아지는 경향이였다. Ca<sup>2+</sup>는 정식 후 25일까지는 급액과 배액의 성분 함량이 비슷하였고, 이후 생육 후기까지 급액 122mg/L보다 배액 157mg/L로 1.3배 높았다. 결론적으로 EC와 용이온, 양이온 모두 생육 초기에는 급액과 배액의 성분함량이 비슷하였으나, 생육이 진전됨에 따라 급액 보다 배액의 성분함량이 높아지는 경향으로 이는 작물이 생장함에 따라 수분 흡수량이 많아 성분함량이 높아진 것으로 사료된다.

사사 : 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의( 첨단생산기술개발사업) 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03)

Figure 1. Change of EC in fertigation nutrient solution and waste nutrient solution on semi-forcing hydroponic culture.


Figure 2. Change of inorganic nutrient in fertigation nutrient solution and waste nutrient solution on semi-forcing hydroponic culture.

<추계원예학회 초록(일반토마토)>

- 327 -



- 학술대회명 : 한국 원예학회 105차 추계 학술 발표회
- 일자 및 장소 : 2016년 10월 26일, 김대중 컨벤션센터
- 발표명 : 방울토마토 반축성 수경재배 시 착과 절위 별 배액성분 특성



### 방울토마토 반 축성 수경재배 시 착과 절위 별 배액성분 특성

Characteristic of Waste Nutrient Solution According to Fruiting Node on Semi-forcing Hydroponic Culture of Cherry Tomato

이은모<sup>1\*</sup>, 김경제<sup>1</sup>, 박상규<sup>1</sup>, 이봉춘<sup>1</sup>, 이희철<sup>1</sup>, 박수복<sup>2</sup>, 권오진<sup>2</sup>, 정선옥<sup>3</sup>, 최종명<sup>4</sup>

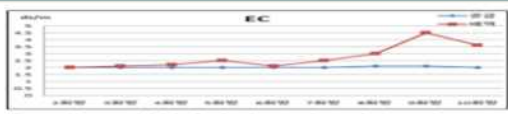
Eun Mo Lee, Gyoung Je Kim, Sang Kyu Park, Bong Chun Lee, Hee Chul Lee, Soo Bok Park, Oh Jin Kwon, Sun-Ok Chung, Jong-Myoung Choi

<sup>1</sup>충남농업기술원 과채연구소, <sup>2</sup>㈜ 청오엔지니어링, <sup>3</sup>충남대학교 바이오시스템 기계공학과, <sup>4</sup>충남대학교 원예학과

<sup>1</sup>Chungcheongnam-do ARES Fruit Vegetable Research Institute, <sup>2</sup>Chang-oh Engineering Co Ltd, <sup>3</sup>Dept of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam Nat'l Univ, <sup>4</sup>Dept of Horticulture Chungnam Nat'l Univ.

#### 시험 목적

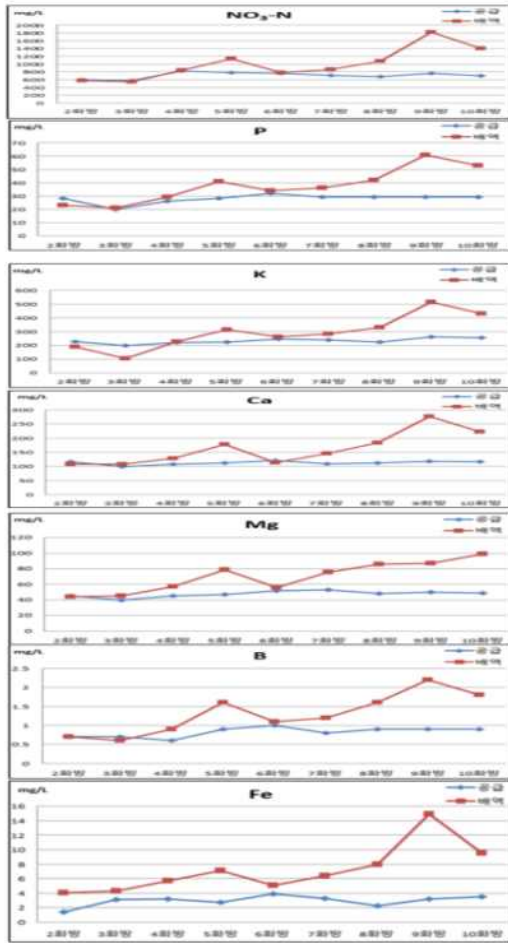
본 실험은 방울토마토 수경재배 시 착과 절위 별 급액과 배액의 성분분석을 통한 양분 요구량을 구명하여 순환식 수경재배 체계를 확립하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다.



**Fig. 1. Change of EC in fertigation nutrient solution and waste nutrient solution on semi-forcing hydroponic culture in cherry tomato.**

#### 재료 및 방법

품종은 방울토마토 '미니칼'로 40일간 육묘하여, 2016년 3월10일, 재식거리 160×20cm로 필라이트 배지에 정식하여 6월 30일까지 재배하였다. 배양액은 아다자키액 토마토 전용액을 사용하였다. 생육 초기 양액 공급은 수동으로 조절 공급하였고, 중기 이후부터 누적 일사량(600w/m<sup>2</sup>)에 따라 공급하였다. 활착기 양액 EC는 1.7ds/m로, 이후 생육 후기까지 2.0ds/m로 관리하였다. pH는 5.5~6.0으로 조절하였으며 급액과 배액은 1주일 간격으로 채취하여 ICP로 무기성분을 분석하였다.



**Fig. 2. Change of inorganic nutrient in fertigation nutrient solution and waste nutrient solution on semi-forcing hydroponic culture of cherry tomato.**

#### 결과 및 고찰

착과 절위 별 급액과 배액의 EC는 3화방까지는 급액과 배액이 1.7~2.1ds/m로 비슷하였으며, 이후 배액 EC가 다소 증가하다가 7화방 이후부터 3.0ds/m 이상으로 높아졌다. 3화방까지 급액의 NO<sub>3</sub>-N는 521~602mg/L이었으며, 배액은 457~632mg/L로 비슷하였고, 4화방부터 생육후기까지 급액의 평균 713mg/L보다 배액 1,006mg/L로 1.4배 높았다. 인산함량도 생육초기인 3화방까지 급액(24~34mg/L) 및 배액(23~34mg/L)이 비슷하였으며, 4화방부터는 급액(26~32mg/L) 보다 배액(29~53mg/L)이 높았다. K<sup>+</sup>는 3화방까지는 급액이나 배액의 성분 함량이 비슷한 경향이었으나, 4화방 이후 배액(227~518mg/L)이 급액(223~255mg/L)보다 높았다. Ca<sup>2+</sup> 함량도 3화방까지는 비슷하다가 4화방부터 급액 보다 배액이 높아지는 경향이었으며, Fe는 음이온이나 양이온과는 달리 생육초기부터 급액(1.4~3.9mg/L)보다 배액(4.1~14.9mg/L)이 높은 경향이 었다.

사사 : 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획위원회의(첨단생산기술개발사업) 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03).

<추계원예학회 초록(방울토마토)>

- 학술대회명 : 국제 원예학회
- 일자 및 장소 : 2016년 08월 13일, 퀘백시 컨벤션센터
- 발표명 : Analysis of nutrient contents and change rate of the drainage solution in hydroponics of strawberries.

# Analysis of nutrient contents and change rate of the drainage solution in hydroponics of strawberries

Hee Chul Lee\*, Myeong Hyeon Nam, Hyun Sook Kim, Won Suk Jang, Tae il Kim, Eun Mo Lee  
 \*Nonsan Strawberry Experiment Station, Fruit Vegetable Research Institute, Chungnam ARES, Nonsan, Republic of Korea

## Introduction

1. Hydroponic strawberry culture system is increasing annually : ( '11) 243.5 → ( '15) 768.3ha.
2. That means increase underground water, fertilizer and amount of drainage solution.

## Objective

1. Analyzes the relationship between the drainage rate and environmental factors within the plastic house.
2. Analyzes the nutrient content inside the drainage solution in order to nutrient recycling.

## Materials and Methods

1. Strawberries 'Seolhyang' were planted on substrates (coco peat:perlite=6:4) on September.
2. During the cultivation in the plastic house, the amount of water supplied from December through February was 150 ml (50 ml, 3times) per day ( $\text{NO}_3^-$ -N:P:K:Ca:Mg=11.4:1.8:6.8:3.5:1.5 mM, EC 1.2 dS/m).
3. The measurement of the volume of drainage solution was taken 10 times in total from January 19th to February 3rd, while the temperature, the relative humidity, and the intensity of radiation was taken hourly.
4. The pH and EC of the drainage was measured through the use of IQ Scientific and Spectrum Technology, and the amount of  $\text{NO}_3^-$ -N was measured by Merck RQflex. Finally, the amount of P, K, Ca, and Mg present in the solution was analyzed by ICP (GBC, Integra).

## Result

### 1. Analysis on relative humidity, intensity of solar radiation and air temperature with relation to drainage rate.

It showed that the environmental factors with the biggest impact on drainage percentage was relative humidity with the most effect followed by intensity of radiation and temperature, respectively (Figure 1).

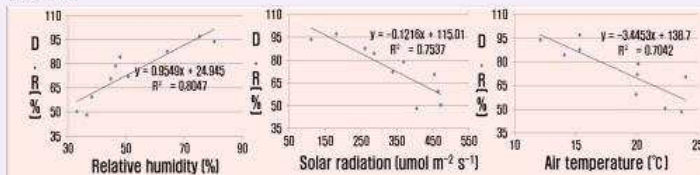


Fig. 1. Regression analysis on relative humidity, intensity of solar radiation and air temperature with relation to drainage rate. (D.R.)

### 2. Analysis on pH and EC with relation to drainage rate.

It was observed that when drainage percentage increased, EC decreased ( $r^2=0.65$ ). The pH also increased when drainage percentage increased ( $r^2=0.40$ ). However, the statistical significance was low which meant that drainage percentage affects EC more than it affects the pH (Figure 2).

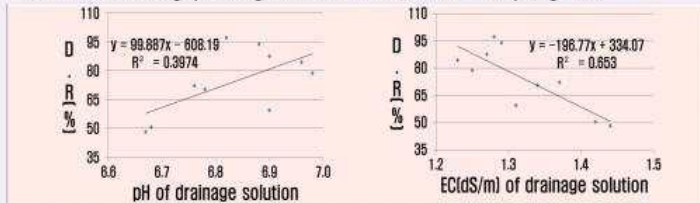


Fig. 2. Regression analysis on pH and EC with relation to drainage solution rate (D.R.).

### 3. Comparison of mole concentration rate between nutrient and drainage solution.

Difference between the mole concentration rate of nutrient solution and drainage solution was the biggest with  $\text{NO}_3^-$ -N (4.3 mM), followed by K (2.2 mM) and P (0.2 mM), respectively.

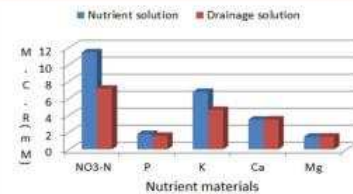


Fig. 3. Comparison of mole concentration rate (M.C.R.) between nutrient solution and drainage solution.

<국제딸기심포지엄 학술발표 포스터>

- 학술대회명 : 한국원예학회 춘계학술발표회
- 일자 및 장소 : 2017년 5월 24일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : 일반토마토 수경 억제재배 착과 절위 별 생육 및 배액성분 특성

leafy vegetable under artificial light. The productivity of pak choi and basil cultivated by two-way plant cultivation system (1,000 m<sup>2</sup>, 5-layer bed system) were and 2,032 kg and 1,130 kg, respectively. In the third experiment to examine the economic analysis of two-way plant cultivation system. As compared with paprika nursed, the profitability of tomato nursed was increased as much as 15 times. If high quality fruit vegetable seedlings such as tomatoes are produced from June to September and herbs such as basil which was a high market price are produced in the rest of the year, the profitability of plant factories could be improved.

T. 031-229-5809, jnjworld@jg.go.kr

91

P-1-2

### Growth of Strawberry Plantlet Affected by Irrigation Time and Depth in an Ebb-and-Flood System

Hyeon Min Kim<sup>1</sup>, Hye Min Kim<sup>1</sup>, Hye Ri Lee<sup>2</sup>, and Seung Jae Hwang<sup>1,2,3\*</sup>  
<sup>1</sup>Department of Horticulture, Division of Applied Life Science, Graduate School of Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, <sup>2</sup>Department of Horticulture, College of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea, <sup>3</sup>Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

This study was conducted to investigate the optimum irrigation time and depth in an ebb-and-flood system for growing plug seedlings of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. cv. Maehyang) plantlet. Plantlets of strawberry were transplanted in 24-cell trays (50 × 9 cm) filled with 80% cocopeat + 20% peatmoss (v/v) on 1, 3 or 5 min, 2016. The controls were treated with drip irrigation for 1, 3 or 5 min, respectively. The treatment for the ebb-and-flood system were carried out in a combination of irrigation time (1, 3 or 5 min) and depth (2, 4 or 6 cm). Irrigation on the strawberry plantlet was supplied once a day at 13:00. The growth parameters of strawberry plantlet were measured at 4th week of the treatment. Numbers of leaves were the greatest in the treatment of combination of 3 min and 2 cm depth. However, the fresh and dry weights of shoots were significantly higher in the treatment of combination of 3 min and 6 cm depth than the others. In addition, the leaf area was the largest in the treatment of combination of 3 min and 6 cm depth. Leaf length, leaf width, and SPAD value of strawberry plantlets showed no significant difference. Regardless of the irrigation time, moisture content of the medium in irrigation depth was high in the order by 6 cm, control, 4 cm, and 2 cm. The results indicate that seedling quality and water retention capacity of strawberry plantlet were best achieved by 6 cm irrigation depth during 3 min irrigation time in an ebb-and-flood system.

This research was supported by Technology Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Republic of Korea (Project No. 315004-5).

T. 055-772-1916, s75364@daum.net

90

Hortic. Sci. Technol. 35 (Suppl II) May 2017

92

P-1-2

### 일반토마토 수경 억제재배시 착과 절위 별 생육 및 배액성분 특성

#### Inorganic Compound Characteristics of Waste Nutrient Solution Used and Growth on Eath of Fruiting Node Order in Retarding Culture of Hydroponic on Tomato

Eun Mo Lee<sup>1\*</sup>, Gyoung Je Kim<sup>1</sup>, Sang Kyu Park<sup>1</sup>, Hee Chul Lee<sup>1</sup>, Bong Chun Lee<sup>1</sup>, Soo Bok Park<sup>2</sup>, Oh Jin Kwon<sup>2</sup>, Sun Ok Jung<sup>2</sup>, and Jong Myoung Chio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chungcheongnam-do ARES, Fruit Vegetable Research Institute, <sup>2</sup>Chungcheong Engineering Co. Ltd., <sup>3</sup>Chungnam Nat'l. University

본 시험은 일반토마토 억제재배 시 착과 절위 별 급 배액의 분석을 통한 양분 요구량을 구명하여 순환식 수경재배 배양액 조성을 위한 기초 자료로 활용하기 위하여 수행하였다. 품종은 '대프니스'로 40일간 육묘하여 2016년 8월 18일, 재식거리 160×25cm로 펠라이트 자루배지에 정식하였으며, 배양액은 아마자키 토마토 전용액을 주적 일사(120-150J·cm<sup>2</sup>)에 따라 공급하였다. 활착기 양액의 EC는 1.7ds·m<sup>-1</sup>로 이후 생육 후기까지 2.0ds·m<sup>-1</sup>로 관리하였다. pH는 6.0으로 하였으며 시설내의 최저 온도는 18°C로 설정하여 온도가 하강하면 온풍기 가동으로 작동되도록 설정 하였다. 측지는 발생 할 때마다 제거하였고, 시설은 10화방이 완전 개화한 후 생장점을 적심하였으며 착과를 위하여 토마토본 150배로 희석하여 화방이 2-3개 개화가 되었을 때 분무기 사용 살포하였으며, 아울러 생육조사와 공급액과 배액을 채취하여 K<sup>+</sup>로 분석하였다. 착과절위 별 엽면적 지수는 1화방때 0.6, 5화방은 2.6, 10화방은 5.2이었고, 건물중은 1화방 15.6g/주이었고, 5화방은 87.7g/주으로 5.6배 증가하였고, 10화방은 활착기에 비하여 14.3배 증가한 223.7g/주 이었다. 공급액의 EC는 1.9-2.2ds·m<sup>-1</sup>이었고 배액은 2.4-3.4ds·m<sup>-1</sup>으로 배액 EC가 1.3배 높았다. NO<sub>3</sub>-N은 공급액이 507.780mg·L<sup>-1</sup>이었는데, 배액은 590-1,390mg·L<sup>-1</sup>로 8화방(1,390mg·L<sup>-1</sup>)에 함량이 제일 높았으며, 공급액 평균 633mg·L<sup>-1</sup> 비해 배액에서 908mg·L<sup>-1</sup>로 1.4배 높았다. P은 착과절위별로 공급액보다 배액이 1.1-1.6배 높았으며, K도 생육초기인 3화방까지는 공급액보다 배액의 성분 함량이 약간 높은 경향이었으나, 8화방때는 공급액 316mg·L<sup>-1</sup>보다 배액이 1.9배 높은 606mg·L<sup>-1</sup>이었다. Ca 함량도 착과절위에 따라 공급액에 비해 배액이 1.3-1.7배 높았으며 공급액 평균 160mg·L<sup>-1</sup>보다 배액 236mg·L<sup>-1</sup>이 1.5배 높았다. Mg, Fe, B도 같은 경향으로 배액이 공급액 보다 함량이 높았다. 생육의 초장, 엽수, 엽장, 엽폭, 엽면적, LAI, 건물중과 배액의 EC, P, K는 정적 상관이었다.

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원(첨단생산기술개발사업) 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03).

T. 041-635-6360, emlee@korea.kr

93

P-1-2

### 딸기 단동비닐하우스 패키지가 기술 이용 에너지 절감 효과

- 학술대회명 : 한국원예학회 춘계학술발표회
- 일자 및 장소 : 2017년 5월 24일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : 방울토마토 수경 억제재배시 생육 및 배액성분 특성

**Change in Red / Far-red Ratio and Its Subsequent Effect on the Growth of Lettuce and Kale under Green-Converting and Far-red-Absorbing Films in Greenhouse**

Yoon Yoon, Seung Jun Lee, June Woo Lee, and Jung Eek Son\*  
Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

The red and far-red ratio of light affects photosynthesis and photomorphogenesis of plants, efficient functional covering materials have been developed world-wide and introduced to greenhouse crop production. The objectives of this study were to measure optical properties of green-converting (GR) and FR-absorbing (FR) films and analyze their effects on the growth of kale (*Brassica oleracea* var. Mambooh) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in greenhouse. The GR and FR films have functions of converting green light (400-600 nm) into red light (600-700 nm) and reducing the transmission of far-red light (700-800 nm), respectively. Both plants were grown under these films and PE film (control) for three weeks after transplanting. The optical properties of all the films and the leaf photosynthesis of the plants were measured. The transmittance of GR film decreased by 15% in green light and increased by 2% in red light compared to the control. And those of FR film decreased by 18% in red light and 74% in far-red light. The red and far-red ratio of the GR and FR films changed into 1.16 and 3.39, respectively. As results, the leaf photosynthesis and dry weight under the GR film were better than those under other films, but the stem length of kale under the FR film was shorter than those under other films.

\* 02-880-4574, yoonhi@snu.ac.kr

**방울토마토 수경 억제재배시 생육 및 배액성분 특성**

**Inorganic Compound Characteristic of Waste Nutrient Solution Used and Growth of retarding Culture On Hydroponic of Cherry Tomato**

김희재<sup>1</sup>, 이은모<sup>1</sup>, 박상규<sup>1</sup>, 이희철<sup>1</sup>, 이봉준<sup>1</sup>, 박수복<sup>1</sup>, 권오진<sup>2</sup>, 정선욱<sup>3</sup>, 최종영<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>충청남도농업기술원 과채연구소, <sup>2</sup>(주)청오엔지니어링, <sup>3</sup>충남대학교

Yoonjung Je Kim<sup>1</sup>\*, Eun-Mo Lee<sup>1</sup>, Sang-Kyu Park<sup>1</sup>, Hee-Chul Lee<sup>1</sup>, Sang-Chun Lee<sup>1</sup>, Soo-Bok Park<sup>2</sup>, Oh-Jin Kwon<sup>2</sup>, Sun-Ok Jung<sup>2</sup>, and Jong Myoung Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chungcheongnam-do A.R.E.S, Buyeo 31119, Korea, <sup>2</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd., <sup>3</sup>Dept. of Horticulture, Chungnam National University

본 실험은 방울토마토 수경 억제재배시 생육 단계별 급배액의 성분분포 특성에 따른 양분 요구량을 구명하여 순환식 배양액 조성을 위한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다. 토마토 품종은 'TY티나'로 40일간 재배하여, 2016년 8월 18일, 재식거리 160×25cm로 펠라이트 자루배식기를 이용하여, 양액은 야마자키 토마토 전용액을 사용하였다. 급

액은 누적 일사량(120-150J·cm<sup>-2</sup>)에 따라 공급하였고 활착기 양액의 EC는 1.7ds·m<sup>-1</sup>로, 이후 생육 후기까지 2.0ds·m<sup>-1</sup>로 관리하였다. pH는 6.0으로 하였으며 시설내의 최저 온도는 18°C로 설정하여 온도가 하강하면 온풍기가 자동으로 작동되도록 설정하였다. 측지는 발생할 때마다 제거하였고, 적심은 10화방이 완전 개화한 후 생장점을 적심하였으며, 착과 유도를 위하여 토마토본을 150배로 희석하여 화방이 2-3개 개화가 되었을 때 분부기를 이용 심포하였으며 배액은 1주일 간격으로 채취하여 분석하였다. 방울토마토의 CGR은 정식 후 30일에는 0.39g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 60일에는 3.3배가 증가된 1.3g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>, 90일에는 1.25g·m<sup>-2</sup>·d<sup>-1</sup>이었다. 건물중도 활착기 1.7g/주이었으며 정식 후 90일에는 90.3g/주로 증가하였다. 배액의 EC는 생육 초기부터 후기까지는 공급액 보다 배액 EC가 높아지는 경향이였다. NO<sub>3</sub>-N도 공급액보다 배액의 함량이 높았으며 생육 초기 공급액과 배액의 편차는 중기에 더 높았으나 후기는 초기와 비슷하였다. P은 NO<sub>3</sub>-N와 유사하게 생육초기부터 배액의 함량이 공급액보다 많은 경향으로 평균 1.2배 높았다. K<sup>+</sup>는 생육 초기 공급액보다 배액에서 약간 높았으나, 생육 중기부터는 배액의 성분 함량이 공급액(154mg·L<sup>-1</sup>)보다 높은 면으로 평균 1.4배 높았다. Ca는 생육 중기부터 공급액보다 배액의 성분함량이 생육 초기나 후기보다 많은 경향으로 평균 1.5배가 높았고, Mg과 B도 공급액보다 배액의 성분함량이 높았다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N, P, K, Ca 등의 성분함량이 생육 초기보다 중기에 배액에서 성분 함량이 높았는데 이는 작물이 생장하면서 수분 흡수가 많아 배액의 성분함량이 높았다고 생각된다.

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의(첨단생산기술개발사업) 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03).

T. 041-635-6363, kgj@korea.kr

**Development of Two-way Plant Factory System for Seedling and Cultivation**

Ju-hyun Park\*, Sang-Woo Lee, Tai Moon Ha, Kyu Hyon Hwang, Junghye Lee, Hae Kil Lee, and Myeong-Whoon Seo  
<sup>1</sup>Horticultural Research Division, Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong 18333, Korea

This experiment was carried out to develop automatic two-way plant cultivation system in order to commercialize plant factory. The plant cultivation system are consist of multi-layer cultivation bed, planting plate, planting plate-moving conveyer system and fluorescent lamp for plant cultivation. Three experiments were conducted for this thesis as follows : In the first experiment to analyze the seedling quality of fruit vegetable (paprika and tomato) and the growth after transplanting of tomato nursed under artificial light and natural light. Plant height, number of leaf and flower bud of paprika and tomato were significantly affected by light treatment. As compared with natural light treatments, plant height was decreased by 10-40% in artificial light treatment. The number of leaves and flower buds were 1.5-3 times promoted in artificial light treatment, respectively. On 14 days after transplanting, tomato nursed under white fluorescent lamps had relatively short plant height. This result might be caused that the elongation of its internodes was suppressed by artificial light source. In the second experiment to examine the productivity of

포  
스  
터  
발  
표

- 학술대회명 : 한국원예학회 춘계학술발표회
- 일자 및 장소 : 2017년 5월 24일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : Drainage Analysis about Irrigation Amount of Strawberry

## Drainage Analysis about Irrigation Amount of Strawberry

Hee Chul Lee<sup>1</sup>, Hyun Sook Kim<sup>1</sup>, Won Suk Jang<sup>1</sup>, Ih Ha Lee<sup>1</sup>, Tae Il Kim<sup>1</sup>, Eun Mo Lee<sup>1</sup>, Soo Bok Park<sup>2</sup>, Jong Myoung Choi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES,  
<sup>2</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd, <sup>3</sup>Dept. of Horticulture, Chungnam Nat' s1. Univ.

### Introduction

Irrigation amount of hydroponics is managed variously from 150 to 600ml a day in strawberry. Studies on hydroponics are mainly proceeding with composition and concentration of nutrient solution. In addition, studies on drainage should be conducted to efficiently manage nutrients and recycle the drainage solution. In this study, we analyze the physicochemical of drainage and substrate according to irrigation amount.

### Materials and Methods

We planted a seolhyang species in a flowerpot in March 2016 and this experiment was carried out in August. Irrigation amount was 300, 420, 540, 660, 780ml a day. At this time, the ratio of coco feat and perlite in the substrate was 80 and 20%, respectively.

### Results

#### 1. Drainage rate and growth of irrigation amount

The growth was better and the drainage rate increased as the irrigation amount increased. The consumption of irrigation (irrigation amount - drainage amount) was 186 to 236ml and increased as the amount of irrigation was increased ( $y = -0.003x^2 + 0.4724x + 71.893$ ,  $r^2 = 0.99$ ). These results were considered to be due to the water content and the evaporation amount of the plant.

Table 1. Drainage rate and growth of irrigation amount

Irrigation Amount (ml)	Plant height (A) (cm)	Drainage amount (B) (ml)	Consumption Irrigation (A-B) (ml)	Drainage rate (%)
300	33.4	114	186	38.0
420	33.8	188	234	48.7
540	38.2	300	240	55.8
660	38.5	402	258	60.9
780	38.8	514	266	65.9

#### 2. Mineral content of drainage about irrigation amount

The mineral content of drainage was the lowest at 300ml, and between 420 and 780, it increased with increasing the amount of irrigation.

Table 2. Mineral content of drainage solution (mg/kg)

Irrigation Amount (ml)	NO3	P	K	Ca	Mg
300	215	18	124	16	8
420	360	28	122	28	16
540	384	27	147	27	20
660	384	33	173	33	21
780	384	34	185	32	22
Nutrient solution	485	42	193	82	23

#### 3. Mineral content changes of substrates

The mineral content of the substrate was lowest at 300ml, gradually decreased, and then increased at 780ml. The lowest potassium and magnesium contents were analyzed as 600 and 746ml, respectively.

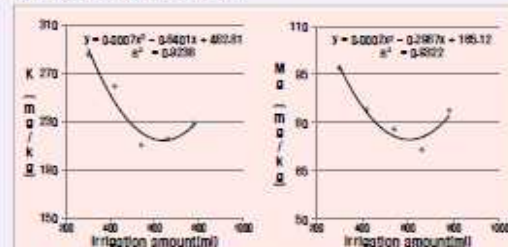


Figure 1. Mineral content changes of substrates

#### 4. Mineral content of plant about irrigation amount

The Mineral content of plant according to the irrigation amount was  $K > Ca > P > Mg$ . The calcium content decreased as the irrigation amount increased, unlike phosphate and magnesium.

Table 4. Mineral content of plant(%)

Irrigation Amount (ml)	P	K	Ca	Mg
300	0.40	2.20	0.88	0.31
420	0.37	2.20	0.88	0.33
540	0.38	2.04	0.78	0.30
660	0.47	2.45	0.84	0.33
780	0.44	2.21	0.72	0.31

- 학술대회명 : 한국원예학회 춘계학술발표회

- 일자 및 장소 : 2017년 5월 24일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : Physicochemical Change of Drainage About Nutrient Solution EC in Strawberry

# Physicochemical Change of Drainage about Nutrient Solution EC in Strawberry

Hee Chul Lee<sup>1</sup>, Hyun Sook Kim<sup>1</sup>, Won Suk Jang<sup>1</sup>, Myeong Hyeon Nam<sup>1</sup>, Mun Haeng Lee<sup>1</sup>, Tae Il Kim<sup>1</sup>, Eun Mo Lee<sup>1</sup>, Soo Bok Park<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, <sup>2</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd.

## Introduction

It is increasing hydroponics of strawberry using substrate to reduce labor and improve productivity. The nutrient management of hydroponics is regulated by EC (Electrical conductivity). Studies on hydroponics are mainly proceeding with composition and concentration of nutrient solution. In addition, studies on drainage should be conducted to efficiently manage nutrients and recycle the drainage solution. In this study, we analyze the physicochemical of drainage and substrate according to EC of nutrient solution.

## Materials and Methods

We planted a seolhyang species in a flowerpot in March 2016 and this experiment was carried out in May. EC of Nutrient solution was 1.9, 1.3, 1.0, 0.7, 0.4ds/m. At this time, the ratio of coco feat and perlite in the substrate was 80 and 20% and irrigation amount was 400ml a day. The experiment was carried out for 16 days to minimize the difference in growth to EC of nutrient solution.

## Results

### 1. Growth and chlorophyll content of nutrient EC

The growth and chlorophyll content were higher as EC of nutrient solution increased.

Table 1. Growth and chlorophyll content of nutrient EC

Nutrient EC	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Chlorophyll content (SPAD)
1.9	34.4	13.7	11.5	48.2
1.8	34.2	13.8	11.5	44.1
1.3	33.7	13.5	11.3	43.7
1.0	33.3	13.5	11.3	41.4
0.7	33.0	14.7	11.0	40.5
0.4	32.5	14.5	10.2	38.1

### 2. Change of drainage EC about nutrient EC

The EC of drainage was higher as the EC of nutrient solution was higher. The EC of the drainage was maintained constant after 10 days. At that time, the EC of drainage for nutrient EC 1.9, 1.6, 1.3, 1.0, 0.7 and 0.4 was 3.0, 2.2, 1.6, 0.8, 0.4 and 0.3, respectively.



Figure 1. Change of drainage EC about nutrient EC

### 3. Comparison of mineral about nutrient and drainage

When the nutrient solution EC was 1.0, the difference between EC of drainage and nutrient was the largest in calcium.

Table 2. Comparison of mineral about nutrient and drainage

Mineral content (mg/kg)	P	K	Ca	Mg	
Drainage Solution	5/29	29.2	112.2	8.7	5.8
	5/30	25.2	112.7	8.1	7.0
	5/31	25.8	118.4	8.8	7.0
	6/1	22.7	118.0	9.3	6.3
	6/2	22.0	107.2	8.8	6.5
6/3	18.2	107.2	8.8	6.4	
Drainage _ Average	24.0	112.0	9.3	6.5	
Nutrient Solution	23.7	133.5	39.3	12.8	

### 4. Mineral content of plant about nutrient solution EC

The higher nutrient solution EC, the higher the mineral content of plant. The difference in mineral content by nutrient EC was not significant, but it was significantly lower at EC 0.4.

Table 3. Mineral content of plant about nutrient EC(%)

Nutrient EC	P	K	Ca	Mg
1.9	0.50	3.19	1.08	0.52
1.8	0.52	3.00	1.07	0.49
1.3	0.51	3.14	1.07	0.51
1.0	0.50	3.18	1.05	0.50
0.7	0.44	3.19	1.01	0.50
0.4	0.35	2.82	0.85	0.45

- 학술대회명 : 2018 한국원예학회 추계학술발표회
- 일자 및 장소 : 2018년 10월 17일, 여수엑스포컨벤션센터
- 발표명 : 방울토마토 반축성 순환식 수경재배에서 배액 재활용

weeks after transplanting. In RGB group where green light was add to RB group, the presence of green light had the pronounced effects on shoot biomass accumulation than the red light ratio. S/R ratios of G and R9G1B0 were significantly 2.1 and 1.6 times higher than the control, respectively. Absorbance rate of the RGB group except for R9G1B0 was significantly higher than other two groups. R7G1B2 recorded the highest absorbance rate of 72.1%. The light use efficiency of red and blue spectra in RGB group was higher than that in RB group. Photosynthetic rate of R and R9B1 in each group was significantly higher than the others. Photosynthetic rate of RGB group was significantly higher than other two groups and the control and increased with increasing the red ratio. Total phenolic content and antioxidant capacity per shoot were increased with increasing red ratio under RB group; R8G1B1 had the highest values. Our results suggest that green light was effective to enhance the light use efficiency of red and blue spectra and improve the biomass as well as the nutritional quality of *Cryptanthus denticulatus* grown under combination of red, green, and blue LEDs.

T. 043-261-2530, songyp0519@chungbuk.ac.kr

중신모델은 토마토생산에 있어서 다양한 시설환경을 고려한 관수제어에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

T. 054-820-7750, cyb1357@naver.com

393

P-5

### 방울토마토 반축성 순환식 수경재배에서 배액 재활용 Circulation of Drained Solution During Semi-forcing Hydroponic Cultivation in Cherry Tomato

김경재, 이은모\*, 김학현, 이희철, 박수복\*, 다누코코자\*, 장선옥\*, 최종영\*

\*충청남도농업기술원, \*원오앤지(주), \*부천대학교, 관성식품조경학과, \*충남대학교 바이오스텔기공학과, \*충남대학교 한방학과

Gyoung Je Kim, EunMo Lee\*, Hakheon Kim, Heechul Lee\*, Soobok Park\*, Danuta Kozak\*, Sunok Jung\*, and Jongmyoung Choi\*

Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, \*Engineering Co. Ltd, \*Dept. of Ornamental Plant and Landscape Architecture, Univ. of Life Science in Lublin, \*Dept. of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam Nat'l Univ, \*Dept. of Horticultural Sciences, Chungnam Nat'l Univ

본 실험은 순환형 수경재배 시스템을 개발하기 위하여 대수형 방울토마토 '미니찰'를 40일간 육묘하여, 2018년 2월 7일, 재식거리 160 × 25cm로 필라이트 자루재배에 정식하였다. 시험처리구는 1) 비순환식 아마자키 토마토 양액공급구(YNST), 2) 순환식 아마자키 토마토 양액 70% + 배액 30% 혼합 공급구(YNST3DNS), 3) 순환식 아마자키 토마토 양액 70% + N, K를 보충한 배액 30% 혼합 공급구(YNST3DNSC)로 하였다. 누적 일사량에 따라 양액을 공급하였고, EC는 생육초기는 1.7dS·m<sup>-2</sup> 활착기 이후는 2.0dS·m<sup>-2</sup> ± 0.3로 공급하였다. 착과 유도를 위하여 토마토본을 150도로 희석하여 화방이 2-3개 개화가 이루어졌을 때 분무기로 살포하였으며 배액은 2주 간격으로 채취하여 분석하였다. 일면적은 생육이 진전에 따라 처리간 차이가 없었다. 생장속도(CGR)는 정식 30일에서 60일에 가장 빨랐고, 정식 60일에 YNST3DNSC구(2.7g/cm<sup>2</sup>/일)는 공급구YNST구(2.0g/cm<sup>2</sup>/일)보다 빨랐으나, 정식 90일에는 YNST3DNSC구가 YNST구 보다 늦었다. 건물중은 활착기부터 정식 90일까지 처리간 비슷하였다. 양액의 EC는 생육기간 동안 배액이 공급액 보다 높은 편이었다. pH는 생육이 진전함에 따라 YNST구 및 YNST3DNSC구는 낮아지는 반면, YNST3DNS구는 반대로 높아지는 경향이었다. 양이온(K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>)과 음이온(NO<sub>3</sub>-N)은 공급액보다 배액에서 성분함량이 높은 편이었으나, PO<sub>4</sub>-P는 반대로 YNST3DNS구에서 낮아졌는데 이는 공급액 pH의 영향으로 생각된다. 수확량은 YNST구(5.692kg/10a)와 YNST3DNS구(5.705kg/10a)는 비슷하고 YNST3DNSC구(5.388kg/10a)는 4% 감소되었다. 따라서 방울토마토 양액재배시 배출되는 배액의 무기이온을 조절하여 재활용한다면, 생산성을 유지하면서 배액으로 인한 환경오염을 줄이고, 물과 비료 사용을 절감할 것으로 기대된다. (본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03).)

T. 041-635-6363, kjj@korea.kr

392

P-6

### 시설 내 VPD 조건에 따른 토마토 증산율 비교와 적정 모델 개발

#### Comparison of a Transpiration Rate According to VPD Condition and a Transpiration Model Development in Greenhouse Tomato Cultivation

최연재, 신동화\*

안동대학교 원예학과

Young Bae Choi, and Jong Hwa Shin\*

Department of Horticulture and Breeding, Andong National University

토마토(*Solanum lycopersicum*)는 가짓과 작물의 일종으로 시설재배에 의해 주로 생산된다. 생산량 증대 및 고품질 과실생산에 수분관리가 주요한 기술로 작용하고 있으며, 수분관리는 작물의 증산작용으로 이루어진다. 작물의 증산은 모델링기법으로 추정되어 이용되고 있으나 모델링에 적용되는 요인은 광도가 주를 이루고 있다. 하지만 시설 내 환경 중 온습도는 광에 의한 영향을 받고 작물의 증산량에 따라 서로 변화한다. 그러므로 증산모델의 적용에 있어서 다양한 시설 환경에 따른 VPD 요인의 고려가 필요하다. 따라서 본 연구는 토마토 재배에서 다양한 VPD조건에 의한 증산모델을 발전시키기 위해 수행되었다. Koregon 품종의 '도태량 솔라' 품종이 본 실험에 사용되었다. 실제 증산 속도는 정밀 관수 모니터링 및 제어 장치를 통해 연속적으로 측정되었다. 가슴장치(MH-601A, Mtechwin, Korea)를 이용하여 시설 내 다양한 VPD 조건을 조성하였다. 또한 증산모델의 주요 변수인 광도, 건구온도, 습구온도는 데이터로거(CR1000, Campbell sci., USA)를 이용하여 3초간격으로 로깅하였고 일면적은 정식 이후 3주간격으로 파괴조사하였다. 실험 결과 이전 실험의 결과와 비교하였을 때 작물 증산을 위한 적정 VPD 조건이 구성되었고 이에 따라 증산율도 증가되는 경향을 보였다. 광도조건은 이전 실험과 마찬가지로 일정 광도 이상에서는 선형적으로 증가하지 않았으며, 이를 통해 기존의 증산모델을 개발하였다. 개발된

- 학술대회명 : 2018 한국원예학회 춘계학술대회
- 일자 및 장소 : 2018년 5월 23일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : 방울토마토 가을철 순환식 수경재배 시 배액 재활용

fresh weight, and shoot dry weight of quinoa.

T. 064-754-3325, yycho@jeju.ac.kr

78

P-1-2

### 오존 가스 처리에 의한 새싹삼(*Panax ginseng*) 진세노사이드 함량 증대

Increasing Ginsenoside Contents of Sprout Ginseng (*Panax ginseng*) by Ozone Gas Fumigation

홍준성, 이현주, 박종석\*

충남대학교

Gwonjeong Bok, Hyunju Lee, and Jongseok Park\*

Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

인삼(*Panax ginseng* Meyer)에 함유된 진세노사이드는 당뇨병, 동맥 경화, 항암, 항염, 항기생충 등에 효능이 있으며 인삼의 지상부에 함유된 진세노사이드 함량이 뿌리에 함유된 진세노사이드함량보다 높다는 연구 결과가 발표되면서 인삼의 지상부를 산선재배로서 이용하는 새싹삼 사상이 점차 커지고 있다. 본 연구는 직물공장에서 새싹삼 생산시 진세노사이드 함량을 증대시키기 위하여 abiotic stress의 일원으로 다양한 농도와 시간의 오존가스를 처리하여 새싹삼의 지상부, 지하부의 총 진세노사이드 함량 변화를 조사하였다. 실험에는 무농약 인증을 받은 1년 근 묘를 이용하였으며, 각 처리별 4뿌리의 묘를 인삼 전용 상토를 담은 직경 15cm, 높이 20cm의 포트에 정식하여 온도 23±2°C, 습도 75±10%, 광도 80±10 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 조건에서 4주간 재배하였다. 수확 직전 포드를 생장상으로 옮긴 후, UV-C 램프와, 오존가스 센서, 자동 제어 시스템을 이용하여 생장상상의 오존가스 농도를 조절하였다. 오존 가스 처리 시간에 따른 영향을 알아보기 위하여 1ppm 농도에서 0 (대조구), 1.5, 3, 6, 12, 24시간을 처리 하였다. 이 실험 결과 지상부, 지하부 모두 오존 가스 농도 1ppm, 3시간 처리구에서 가장 높은 진세노사이드 함량을 나타내었다. 실험 실험 결과물 토대로 누적 오존 가스 처리량을 동일하게 하여 0.5ppm 6시간, 1ppm 3시간, 2ppm 1.5시간, 3ppm 2시간으로 처리 한 결과 0.5ppm 6시간에서 지상부, 지하부 모두 유의적으로 가장 높은 진세노사이드 함량을 나타내었다. 본 실험결과 새싹삼 수확 직전 상기 조건의 오존 가스 처리를 한다면 진세노 사이드 함량이 높은 새싹삼을 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

T. 042-821-5737, jongseok@cnu.ac.kr

79

P-1-2

### Differential Effect of UV-A LED Lights on Growth and Phenolic Antioxidants in Kale with Different Leaf Thickness

Jin-Hui Lee<sup>1,2</sup> and Myung-Min Oh<sup>1,3\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Animal, Horticultural and Food Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea, <sup>2</sup>Brain Korea Center for Bio-Resource Development, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

This study aimed to examine the effect of UV-A LEDs with various

peak wavelengths on growth and contents of total phenolics and antioxidants in kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) with different leaf thickness. We hypothesized that UV-A LEDs with different peak wavelengths but the same energy level have differential effects on growth and antioxidant phenolic compounds depending on leaf thickness. Two weeks-old kale seedlings were transplanted to a closed-type plant production system with two levels of light intensity, 125 (low PPFD) and 250 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> (high PPFD), and cultivated for 3 weeks (20°C air temperature, 60% relative humidity, a 12-hour light period). Subsequently, four UV-A LEDs with peak wavelengths at 365, 375, 385 and 395 nm, which had all 30 W m<sup>-2</sup>, were irradiated to kale plants for 7 days. As a result, high PPFD led to higher specific leaf weight. The value of image chlorophyll fluorescence was lower as the peak wavelength was shorter. Fresh and dry weights of shoots and roots showed a significant increase in the UV-A LED treatments compared with the control. Especially, as the peak wavelength was longer, the growth rate was significantly higher regardless of leaf thickness. Chlorophyll content of plant grown under low PPFD was 14% higher in UV-A LED<sub>365 nm</sub> than the control at 3 days of treatment. Under high PPFD, however, UV-A LED<sub>365 nm</sub> was an effective treatment to increase chlorophyll content of kale leaves, which was 16% higher than the control. In low PPFD, UV-A LED<sub>365 nm</sub> treatment significantly increased total phenolic content and antioxidant capacity compared with the others under low PPFD, while UV-A LED<sub>365 nm</sub> treatment was more effective to increase total phenolic content and antioxidant capacity under high PPFD at 6 and 7 days of treatment. Similarly, phenylalanine ammonia-lyase activities of UV-A LED<sub>365 nm</sub> were significantly 11 and 8% higher than that of the control at 5 and 6 days of treatment, respectively, but no significant difference was observed under high PPFD. Our findings suggested that UV-A LED irradiation has a positive effect on the accumulation of bioactive compound as well as biomass and that the type of UV-A LEDs would be changed to have the effect depending on leaf thickness even in the same crops.

T. 043-261-2530, moh@chungbuk.ac.kr

80

P-1-2

### 방울토마토 가을철 순환식 수경재배 시 배액 재활용 Circulation of Drained Solution in Cherry Tomato Hydroponic Culture During Autumn Season

이문열, 김학현, 이화철, 박수복, 최중영, 이은모\*

<sup>1</sup>충청남도농업기술원 과채연구소, <sup>2</sup>(주)청오엔지니어링, <sup>3</sup>충남대학교 원예학과

Munhaeng Lee<sup>1</sup>, Hakheon Kim<sup>1</sup>, Heechul Lee<sup>2</sup>, Soobok Park<sup>2</sup>,

Jongmyoung Choi<sup>3</sup>, and Eunmo Lee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Fruit Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do ARES, Yesan 32425, Korea, <sup>2</sup>Chung-oh Engineering Co. Ltd, Daejeon 34367, Korea, <sup>3</sup>Department of Horticultural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

본 실험은 순환형 수경재배를 시스템을 개발하기 위하여 수행하였으며, 시험 품종으로 방울토마토 'TY미니'를 40일간 육묘하여, 2017년 8월 16일, 정식거리 160×25cm로 멀티리드 자루배지에 정식하였다. 시험 처리는 1) 관행인 비순환식, 2) 배액을 2주 간격으로 영분 분리 후 N,



- 학술대회명 : 2018 한국원예학회 춘계학술발표회
- 일자 및 장소 : 2018년 5월 23일, 대전컨벤션센터
- 발표명 : 양액재활용을 위한 딸기 품종별 배액의 무기성분 함량

내 betacyanin을 분석하였다. 순무와 비트는 EC 농도 2.0에서 생체중이 가장 높았고, EC 4.0, EC 8.0으로 염 농도가 높아질수록 생체중이 감소하였다. 특히, 비트는 생체중의 급격한 감소를 보였지만, 순무는 EC 4.0과 EC 8.0에서 비교적 완만한 감소를 보여 내염성을 나타냈다. 순무 뿌리 내 GSL 함량은 EC 2.0에서 가장 높았으며 염 농도가 높아질수록 감소하였고, 순무 잎에서는 대조구와 EC 1.0에서 높았고, 염 농도가 높아질수록 감소하였다. 비트 뿌리 내 betacyanin 함량은 대조구에서 가장 높았으며, 염 농도가 높아질수록 감소하였다. 척문 치구의 간척지 토양을 이용한 재배 실험에서 작물의 내염 정도를 살펴보았으나, 현재 EC로는 지금까지 보고된 3.0-4.0dS m<sup>-1</sup> 수준으로 예상 된다. 실제 간척지에서 토양 개량 및 관수시스템을 이용하면, 공급되는 급액의 EC가 낮고, 토양의 재배체력을 하여 근권의 토양조건과 작물의 재배환경은 포트 실험 조건보다는 양호해 질 것으로 사료된다. 따라서 토양의 염도, 함수량, 지하수의 깊을 모니터링 하게 되면 근권의 환경이 예측되고 이에 따른 급액관리를 설정하여 공급하면 정상에 가까운 작물재배 결과가 예상된다.

T. 042-821-7142, slaldin@nate.com

51 P-1-10  
**양액 재활용을 위한 딸기 품종별 배액의 무기성분 함량**

**Inorganic Content of Drainage by Strawberry Cultivars for Nutrient Recycling**

이원철\*, 김현숙, 이문철, 이봉준, 김태일, 이은모  
 충남농업기술원 과채연구소 논산딸기시험장

Hee Chul Lee\*, Hyun Sook Kim, Mun Haeng Lee, Bong Chun Lee, Tae Il Kim, and Eun Mo Lee

Nonsan Strawberry Experiment Station, Fruit vegetable Research Institute, Chungnam ARES, Nonsan 32914, Korea

딸기 수경재배에서의 양액관리는 공급되는 양액의 EC와 pH에 의해 관리되고 있다. 공급 양액의 EC에 의해 관리하게 되면 일반적인 상황에서는 정상적인 생육이 이루어지나, 상도의 양분함량이나 관수량 등에 따라 초기 생육속도가 달라질 수 있다. 이러한 발생은 상도의 종류와 관수량에 따라 배지내의 양분함량이 달라질 수 있는데, 이러한 이유로 배액의 이화학적 차이가 발생하게 된다. 따라서 딸기 수경재배에서의 양액관리는 공급되는 양분뿐만 아니라 배액의 양분함량도 중요시 되는데, 본 연구에서는 딸기의 품종에 대한 배액의 무기성분 함량을 비교하고 품종별 무기양분 흡수 특성을 확인하여, 품종별 배액을 활용한 양액 재활용의 기초자료를 마련하고자 하였다. 2017년 9월에 논산 딸기시험장 수경재배포장에 실험, 킹스메리, 대향 품종을 17cm 간격, 2조식으로 정식한 후 10월부터 3월까지 배액의 무기성분 함량과 생육 및 과실품질을 조사하였다. 배지는 코코피트: 피트모스: 펄라이트 = 60:20:20인 혼합 상토를 이용하였고, 양액은 배액을 30% 혼합하여 공급하였으며, 관수량은 품종별 동일하게 처리하였다. 품종별 배액의 pH는 실험 품종이 가장 높고, 킹스메리, 대향 순이었고, 배액의 EC는 pH와 반대 경향으로 대향이 가장 높고 실험 품종이 가장 낮았다. 배액의 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량도 EC와 마찬가지로 대향 > 킹스메리 > 실험향 순으로 실험 품종에서 가장 낮게 조사되었다. 품종별 잎의 무

기성분 함량은 갈순만이 실험 품종에서 함량이 높게 분석되었고 다른 무기성분은 차이는 크지 않았다. 품종별 생육은 입병장과 입육의 경우에 킹스메리가 가장 우수하여 킹스메리 > 실험 > 대향 순으로 조사되었고, 품종별 과실의 경도와 당도는 대향이 가장 우수하여 대향 > 킹스메리 > 실험으로 분석되었다. (본 결과는 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품 기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업) 지원을 받아 연구되었음(No. 315094-03).)

T. 041-635-6344, ichu27@korea.kr

52 P-1-11  
**고추 묘를 적심한 후 육묘일수가 생육 및 수량에 미치는 영향**

**Effect of the Different Seedling Days of Pruning During Seedling on Growth and Yield of Red Pepper Cultivated in Plastic House**

이윤환, 최현구, 주정일\*, 남윤규  
 충청남도농업기술원 일남채소연구소

Jong-Won Lee, Hyun-Goo Choi, Jung-il Ju\*, and Yun-Gyu Nam  
 Seasoning Vegetable Research Institute, Chungcheongnam-do Agricultural Research Extension Services, Taean, Korea

농가 구입가격지수(종자수)는 2010년 대비 2016년은 9.3% 증가되었고, 농업노동임금(40.2%) > 종자(33.6) > 농약(23.3) 순으로 상승폭이 컸으며, 비료(△36.5), 영농광열비(△29.0), 영농차량(△3.8) 등은 감소하였다(2016. 농업과학소득분석기준자료집). 이 중 종자비를 절약하기 위한 방안으로 고추의 주경적심으로 분자수와 착과수를 증가시켜 단위 수량을 향상시키는 방안을 모색하고자 하였다. 주경 적심 고추 묘는 분얼이 2-4배 전개되었을 때(파종 후 30일경) 막잎이 있는 마디 바로 위에서 주경을 2mm 정도 남기고 카위로 잘라내면 뿌리가 부착된 마디에서 새순이 2가지로 재분화되면서 주경이 2줄기인 고추 묘가 만들어진다. 육묘 중 주경을 적심한 고추 묘는 마디에서 새순이 재분화되는 관재로 무치리에 비하여 약 15일 정도 생육이 지연되었다. 주경적심 고추 묘는 주경이 2줄기로 균등하게 분화하는 비율은 약 70%이었고, 품종에 따른 차이가 있었다. 착과수를 보면 주경적심 재배는 무치리에 비하여 19.25% 증가되었고, 1월 5일 파종이 1월 20일 파종에 비하여 5% 증가되었다. 주경을 적심하여 육묘한 2분지 고추묘는 무치리에 비하여 과실의 크기가 다소 작아지고, 건과중 11.6-16.8%, 건과율 1.2-3.7% 낮았다. 건고추 수량은 주경적심 80-90일묘가 무치리에 비하여 약 11% 증수되었고, 1월 5일 파종이 1월 20일 파종에 비하여 6% 증수되었다. 주경 적심묘는 착과수와 수량은 증가하나 과실의 크기가 작아지는 부의 영향이 있었으며, 육묘 중 관리노력을 고려할 때 경제적인 이득은 크지 않을 것으로 판단되었다.

T. 041-635-6452, jwis9798@korea.kr

53 P-1-12  
**딸기 설형의 관주량에 따른 수분 증산량**

**Amount of Transpiration About the Irrigation of 'Seoulhyang' Strawberry**


라. 기술실시

- 기술실시 계약명 : 양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러
- 실시기술 유형 : 특허 출원



<b>기술실시보고서</b>						
(단위 : 원)						
연구개발과제 현황	사업명	원단공전 기술개발사업		연구과제번호	315094-1	
	연구과제명	양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제어 및 원장실증				
	연구기관명	(주)형오엔지니어링	연구책임자	박수복	실용기업명 (주)형오엔지니어링	
	연구협약일	연구기간 2015-12-28 ~ 2018-12-27				
	연구개발비	정부출연금	기업부담금	기타( )	계	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19.-2018.06.18.	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러			
		번호	10-2018-0070100		일 자	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19.-2018.06.18.	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템			
		번호	10-1712582		일 자 2016.12.30	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	다중 재배시설의 환기시설, 배액장치를 상대선호검출 및 제어장치				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2017.01.18.-2017.01.17.	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	다중 재배시설의 환기시설, 배액장치를 상대선호검출 및 제어장치			
		번호	10-1818165		일 자 2018.01.08.	
	실시(활용)기관	기관명	(주)형오엔지니어링		기관유형	중소기업
		주 소			대 표 자	
사업자번호				전화번호		
부세담당자				e-mail		
기술료산정내역	정부출연금 600,000,000 * 10%(중소기업) * 20%(참여 중소기업 김면) * 70%(원서남부 김면) = 8,400,000(원)					
기 술 료	정액기술료		경상기술료		기타 조건	
	청구(납부)예정일	청수(납부)금액	청수기본료	청수(납부)예정일		청수(납부)금액
	2018.12.27		매출에 따른 기술료	청수(납부)시작일		경산일
				청수(납부)종료일		청수율
	계					매출액의 1%
기타특기사항						
<p>국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.</p> <p>붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시)                  2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시).                  3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).</p>						
2018년 12월 27일 주관연구기관 (주)형오엔지니어링 의 대표 <b>농림식품기술기획평가원장 귀하</b>						



- 기술실시 계약명 : 다동재배시설의 환기시설 개폐장치용 상태신호 검출 및 제어장치
- 실시기술 유형 : 특허 등록

<b>기술실시보고서</b>						
(단위 : 원)						
연구개발과제 현황	사업명	원단종전 기술개발사업		연구과제번호	313054-X	
	연구과제명	양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작 및 현장실증				
	연구기관명	(주)청오엔지니어링	연구책임자	박수복	협력기업명 (주)청오엔지니어링	
	연구협약일	연구기간		2015-12-28 ~ 2018-12-27		
	연구개발비	정부출연금	기업부담금	기타( )	계	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19~2018.06.18	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러			
		번호	10-2018-0070100		일 자	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19~2018.06.18	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템			
		번호	10-1712582		일 자 2016.12.20	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	다동 재배시설의 환기시설 개폐장치용 상태신호검출 및 제어장치				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2017.01.18~2017.01.17	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	• 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	다동 재배시설의 환기시설 개폐장치용 상태신호검출 및 제어장치			
		번호	10-1818165		일 자 2018.01.08	
	실시(활용)기관	기관명	(주)청오엔지니어링		기관유형	중소기업
		주 소			대 표 자	
사업자번호				전화번호		
부세담당자				e-mail		
기술료산정내역	정부출연금 600,000,000 * 10%(중소기업) * 20%(참여 중소기업 지원) * 70%(일시납부 차면) = 8,400,000(원)					
기술료	정액기술료		강상기술료		기타 조건	
	청구(납부)예정일	징수(납부)금액	착수기분료	징수(납부)예정일		
	2018.12.27		매출에 따른 기술료	징수(납부)시작일		결산일
				징수(납부)종료일		징수율
	계					매출액의 1%
기타특기사항						
<p>국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.</p> <p>붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시)          2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시).          3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).</p>						
2018년 12월 27일 주관연구기관 (주)청오엔지니어링 의 대표  <b>농림식품기술기획평가원장 귀하</b>						

- 기술실시 계약명 : ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급 시스템
- 실시기술 유형 : 특허 등록

기술실시보고서						
(단위 : 원)						
연구개발과제 현황	사업명	친단생선 기술개발사업		연구과제번호	313064-X	
	연구과제명	양액재활용 및 환경제어 복합형 양액시스템 제작 및 원장실증				
	연구기관명	(주)형오엔지니어링	연구책임자	박수복	협력기업명 (주)형오엔지니어링	
	연구협약일	연구기간 2015-12-28 ~ 2018-12-27				
	연구개발비	정부출연금	기업부담금	기타 ( )	계	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19 ~ 2018.06.18	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	* 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	양액 재활용 및 환경제어 복합형 양액공급시스템 제어용 복합컨트롤러			
	번호	10-2018-0070100		일 자		
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2018.06.19 ~ 2018.06.18	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	* 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	ICT를 활용한 시설재배의 양액 재활용 공급시스템			
	번호	10-1712582		일 자	2016.12.30	
기술실시계약 및 성과활용 현황	계약(활용)명	다중-제어식산과 분기식산, 개채장치를 상대전호검출 및 제어장치				
	계약(활용)일			실시(활용)기간	2017.01.18 ~ 2017.01.17	
	지재권 종류	특허		실시권 유형	직접 실시	
	* 지재권이 특허(출원, 등록)인 경우	명 칭	다중-제어식산과 분기식산, 개채장치를 상대전호검출 및 제어장치			
		번호	10-1818165		일 자	2018.03.08
	실시(활용)기관	기관명	(주)형오엔지니어링		기관유형	중소기업
		주 소			대 표 자	
	사업자번호			전화번호		
	부세담당자			e-mail		
기술요산청내역	정부출연금 600,000,000 * 10%(중소기업) * 20%(참여 중소기업 감면) * 70%(일시납부 감면) = 8,400,000(원)					
기술료	정액기술료		경상기술료		기타 조건	
	청구(납부)예정일	청수(납부)금액	청수기본료	청수(납부)예정일		
	2018.12.27		매출에 따른 기술료	청수(납부)시작일		
				계산월		
				청수(납부)종료일		청수율
계			매출액의 1%			
기타특기사항	<p>국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제22조 제2항에 따라 위와 같이 기술실시계약이 체결되었음을 보고합니다.</p> <p>붙임 1. 기술실시계약서 사본 1부(타기관으로 기술이전시)          2. 지식재산권을 포함하는 기술이전인 경우 해당 증빙자료(특허 등록증, 출원증 등) 1부(타기관으로 기술이전시).          3. 연구개발과제협약서 사본 1부(직접실시시).</p>					
2018년 12월 27일						
주관연구기관 (주)형오엔지니어링 의 대표						
<b>농림식품기술기획평가원장 귀하</b>						

마. 인증

- KC인증 : COCB-CE10

139E-21C6-3556-2686

### 방송통신기자재등의 적합등록 필증

#### Registration of Broadcasting and Communication Equipments

상호 또는 성명 Trade Name or Registrant	(주) 정오엔지니어링
기자재 명칭 Equipment Name	복합환경제어용 콘트롤러
기본모델명 Basic Model Number	COCB-CE10
파생모델명 Series Model Number	
등록번호 Registration No.	MSIP-REM-CO0-COCB-CE10
제조사/제조(조립)국가 Manufacturer/Country of Origin	(주) 정오엔지니어링 / 한국
등록연월일 Date of Registration	2017-06-01
기타 Others	

위 기자재는 「전파법」 제58조의2 제3항에 따라 등록되었음을 증명합니다.  
It is verified that foregoing equipment has been registered under the Clause 3, Article 58-2 of Radio Waves Act.

2017년(Year) 06월(Month) 05일(Date)


국립전파연구원장



Director General of National Radio Research Agency

※ 적합등록 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시" 을 부착하여 유통하여야 합니다.  
위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.

0ED7-5998-729E-837B

<b>방송통신기자재등의 적합등록 필증</b> <i>Registration of Broadcasting and Communication Equipments</i>	
상호 또는 성명 <i>Trade Name or Registrant</i>	(주) 청오엔지니어링
기자재명칭(제품명칭) <i>Equipment Name</i>	ICT 복합환경제어 실내용 기상대
기본모델명 <i>Basic Model Number</i>	COCB-IW
파생모델명 <i>Series Model Number</i>	COCB-IW-A, COCB-IW-G, COCB-IW-F, COCB-IW-E, COCB-IW-D, COCB-IW-C, COCB-IW-B
등록번호 <i>Registration No.</i>	R-REM-CO0-COCB-IW
제조사/제조(조립)국가 <i>Manufacturer/Country of Origin</i>	(주) 청오엔지니어링 / 한국
등록연월일 <i>Date of Registration</i>	2018-07-13
기타 <i>Others</i>	
<p>위 기자재는 「전파법」 제58조의2 제3항에 따라 등록되었음을 증명합니다.                      It is verified that foregoing equipment has been registered under the Clause 3, Article 58-2 of Radio Waves Act.</p> <p style="text-align: right;">2018년(Year) 07월(Month) 13일(Day)</p> <p style="text-align: center;">국립전파연구원장 </p> <p style="text-align: center;"><i>Director General of National Radio Research Agency</i></p> <p style="text-align: center; color: red; font-size: small;">* 적합등록 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표시" 를 부착하여 표명하여야 합니다.                      위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.</p>	



- KC인증 : COCB-OW

366F-64A8-ADC8-7C24

<b>방송통신기자재등의 적합등록 필증</b> <i>Registration of Broadcasting and Communication Equipments</i>	
상호 또는 성명 <i>Trade Name or Register</i>	(주) 청오엔지니어링
기자재명칭(제품명칭) <i>Equipment Name</i>	ICT 복합환경제어 실외용 기상대
기본모델명 <i>Basic Model Number</i>	COCB-OW
파생모델명 <i>Series Model Number</i>	COCB-OW-A, COCB-OW-G, COCB-OW-F, COCB-OW-E, COCB-OW-B, COCB-OW-D, COCB-OW-C
등록번호 <i>Registration No.</i>	R-REM-CO0-COCB-OW
제조사/제조(조립)국가 <i>Manufacturers/Country of Origin</i>	(주) 청오엔지니어링 / 한국
등록연월일 <i>Date of Registration</i>	2018-07-13
기타 <i>Others</i>	
<p>위 기자재는 「전파법」 제58조의2 제3항에 따라 등록되었음을 증명합니다.                      It is verified that foregoing equipment has been registered under the Clause 3, Article 58-2 of Radio Waves Act.</p> <p style="text-align: right;">2018년(Year) 07월(Month) 13일(Day)</p> <p style="text-align: center;">국립전파연구원장 </p> <p style="text-align: center;"><i>Director General of National Radio Research Agency</i></p> <p style="text-align: center; color: red; font-size: small;">※ 적합등록 방송통신기자재는 반드시 "적합성평가표지" 를 부착하여 유통하여야 합니다.                      위반시 과태료 처분 및 등록이 취소될 수 있습니다.</p>	



바. 전시 및 홍보

- 전시회명 : KIEMSTA2016
- 장소 : 천안삼거리공원
- 일자 : 2016년 11월 02일
- 전시 품목 : 배액 재순환형 양액공급기



- 전시회명 : TAMAS2017
- 장소 : 대전무역전시관
- 일자 : 2017년 11월 01일
- 전시 품목 : 배액 재순환형 양액공급기









- 전시회명 : KIEMSTA 2018
- 장소 : 천안삼거리공원
- 일자 : 2018년 10월 31일
- 전시 품목 : 배액 재순환형 양액공급기 및 ICT 환경제어시스템



사. 교육 지도

<p><b>- 교육지도</b></p> <p style="text-align: center;"><b>컨설팅 결과</b></p> <p><b>□ 발생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 컨설팅일자 : 2017년 3월 24일</li> <li>○ 지 역 : 논산시</li> <li>○ 연락처 : .....</li> <li>○ 이 름 : .....</li> </ul> <p><b>□ 특이사항 및 문제점</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 7화방 재배 중이 있으며 중간에 Intercropping 실시 예정</li> <li>○ 출기에 풂빛곰팡이 발생</li> </ul> <p><b>□ 기술지도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 정식전에 먼저 재배된 토마토이 밀을 충분히 적엽할 것</li> <li>○ 풂빛곰팡이병을 막기 위해 적엽이나 굵순제거 시 깨끗이 제거할 것</li> </ul>  <p style="text-align: center;">풂빛곰팡이병</p>	<p style="text-align: center;"><b>컨설팅 결과</b></p> <p><b>□ 발생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 컨설팅일자 : 2017년 6월 29일</li> <li>○ 지 역 : 부여군</li> <li>○ 연 락 처 : .....</li> <li>○ 이 름 : .....</li> </ul> <p><b>□ 문의사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 밀에 반점이 생기고 생장점이 약해지며 타버림</li> </ul> <p><b>□ 원인분석</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토마토반점위조바이러스(TSWV) 진단</li> <li>○ 전작기에 재배하였던 고추에서 이병된 것으로 추정됨</li> <li>○ 연동문살로 한쪽에만 재배 중 재배하지 않은 쪽에서 병이 시작됨</li> </ul> <p><b>□ 기술지도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발생주수가 많지 않으므로 즉시 제거할것</li> <li>○ 총제벌레 적용약제 살포</li> </ul>  <p style="text-align: center;">이상증상</p>
<p style="text-align: center;"><b>컨설팅 결과</b></p> <p><b>□ 발생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 컨설팅일자 : 2017년 4월 26일</li> <li>○ 지 역 : 충청남도 홍성군</li> <li>○ 연락처 : 010-9900-9911</li> <li>○ 이 름 : 홍성군</li> </ul> <p><b>□ 이상증상</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 밀이 최고 시들어 죽음</li> <li>○ 주변으로 병이 확산되고 있음</li> </ul> <p><b>□ 원인분석</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해당병으로 추정됨</li> <li>→ 정확한 진단을 위해 해당검사 실시</li> </ul> <p><b>□ 기술지도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 습해전염이 많으므로 직접 시 후파할 것</li> <li>○ 이병주를 제거하여 주변 고기까지 제거할 것</li> <li>○ 스프레이로 미생 병만 살포할 것</li> <li>○ 가위, 장갑 등 기구를 소독할 것</li> </ul>  <p style="text-align: center;">개방병 증상</p>	<p style="text-align: center;"><b>컨설팅 결과</b></p> <p><b>□ 발생</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 컨설팅일자 : 2017년 4월 26일</li> <li>○ 지 역 : 충청남도 홍성군</li> <li>○ 연락처 : 010-9900-9911</li> <li>○ 이 름 : 홍성군</li> </ul> <p><b>□ 이상증상</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 밀에 반점이 생기고 생장이 멈춤</li> <li>○ 생장점이 타는 증상 발생</li> </ul> <p><b>□ 원인분석</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 토마토반점위조바이러스(TSWV)로 진단됨</li> <li>○ 전작기 재배했던 상추에서 토마토로 전이된 것으로 판단됨</li> </ul> <p><b>□ 기술지도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 이병주 즉시제거하고 모식할 것</li> <li>○ 총제벌레 적용약제로 방제할 것</li> </ul>  <p style="text-align: center;">TSWV 진단키트 반응      TSWV 증상</p>

### 컨설팅 결과

- 발생
  - 컨설팅일자 : 2017년 4월 28일
  - 지 역 : 부여군
  - 연락처 : 010-8583-1967
  - 이 름 : 김진우
- 이상증상
  - 토마토가 시들고 죽는 증상
  - 일곱잎이병 심하게 발생
- 원인분석
  - 물리침이 좋지 않은 토양으로 급액에 의해 줄기가 썩어 시들음
  - 일교차에 의해 물방울 맺힘이 심해 일곱잎이병 발생
- 기술지도
  - 물리침 시 줄기가 토양에 닿지 않게 할 것
  - 물리침이 좋지 않으므로 소형 다회 급수할 것
  - 해뜨기 전 난방을 실시해서 결로가 생기지 않게 관리 할 것



### 토마토 재배기술 컨설팅

1. 일 시 : 2018년 11월 20일
2. 농가명 : 김철민
3. 면 적 : 6,000평
4. 주 소 : 충청남도 부여군 부여읍 신성리 11-1
5. 연락처 : 010-8583-1967
6. 재배품종 : 레벨업(홍농)
7. 기 타
  - 양액재배, 양면, 온실이 여러동으로 단계별론 나누어 재배
8. 이상증상
  - 식물체가 시들고 있음
  - 뿌리가 썩고 도관부가 변색됨



### 재배기술 컨설팅

1. 일 시 : 2018년 11월 26일
2. 면 적 : 11ha
3. 재배품종 : 데이로스(일반토마토, 온산토)
4. 기 타
  - 수경재배, 코이어 재배
  - 특이점 : 초린날 주간 16°C, 야간 16°C 관리
  - 난방비용이 증가하더라도 가격이 좋은 지금 출하 하려는 의도
  - \* 일반적으로 초려서 땅이 부족한 경우 주간 16-18°C 야간 12°C 관리
  - 탄산가스 시비 : 600ppm
5. 이상증상
  - 잎이 타는 증상
  - 시들고 죽는 증상



잎끝이 타는 증상      괘양병 진단키트 양성반응



시드는 식물체의 갈변된 뿌리

### 토마토 재배기술 컨설팅

1. 일 시 : 2018년 11월 21일
2. 농가명 : 장성구
3. 면 적 : 2,000평
4. 주 소 : 논산시 가야곡면 함적리 414-5
5. 연락처 : 010-8583-1967
6. 재배품종 : TY요요
7. 기 타
  - 육묘장 : 켈달육묘장, 10월25일 정식
  - 수경재배, 코코피트(새 배지)
8. 문제점
  - 성장이 느림(2화방 개화 중)
  - 생장점이 자색으로 변하고 잎이 거칠음



표장전경      자색으로 변한 생장점

9. 원인 및 조치사항
  - 성장이 느림
  - 1화방 과일이 작고 화방이 나오다 중단된 것으로 보아 역제체 영향으로 15일 정도 성장이 멈추었던 것으로 판단됨
  - 저온의 영향으로 화방이 늦게 전개 됨
  - 농장주는 최저기온 13°C이상으로 보일러 온도를 설정하였다고 주장
  - 확인결과 온도센서 이상으로 온도가 낮게 관리됨
  - 시판 일반온도계 구입하여 온도 설정하도록 지도

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 11월 21일
2. 농가명 : 김모 씨
3. 면 적 : 2,000평
4. 주 소 : 충청남도 홍성군 홍성읍 홍성리 500-1
5. 연락처 : 010-5512-8900
6. 재배품종 : TY요요
7. 기 타
  - 육묘장 : 웰담육묘장, 10월25일 정식
  - 수경재배, 코르티드(5년 사용)
8. 문제점
  - 세력이 강하고, 1화방 전개가 잘 안됨



강한초세                      화방이 짧게 출현

9. 원인 및 조치사항
  - 세력이 강한 것은 양액의 EC가 낮고 배지 습도가 높음
  - EC를 단계적으로 2.5까지 올리고 세력이 강하면 배액률을 낮추고 세력이 약하면 배액률을 높일것
  - 화방이 짧게 나오는 것은 억제제의 영향 2화방부터는 정상적으로 화방이 출현

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 11월 21일
2. 농가명 : 김모 씨
3. 면 적 : 5,000평
4. 주 소 : 충청남도 홍성군 홍성읍 홍성리 500-1
5. 연락처 : 010-5512-8900
6. 재배품종 : 하이큐
7. 문제점
  - 전체적으로 문제점은 없으나 세력이 강함



8. 재배상황 및 컨설팅
  - 토양을 분석한 결과 수분이 많음
  - 세력이 약해질 때까지 관수를 중지할 것
  - 1화방 밑 잎을 조기에 적엽할 것

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 농가명 : 김모 씨
2. 면 적 : 1,200평
3. 주 소 : 충청남도 홍성군 홍성읍 홍성리 500-1
4. 연락처 : 010-5512-8900
5. 재배품종 : 하이큐(대추방울토마토)
7. 기 타
  - 수경재배, 배지온수난방, 클라우드 참여농가
  - 2018년 2월 경 온실 구조 상 통로의 보온이 떨어져 천장과 측면을 PE필름으로 보완하도록 지도
  - \* 통로를 막은 후 농가평가
  - 온실의 보온성이 전체적으로 향상되어 난방비가 절약됨
  - 측면에서 찬바람을 직접 맞지 않아 곰팡이병이 줄어들었음



통로 측면 및 천장을 필름으로 막은 전경

8. 이상증상
  - 초세가 매우 강함
  - 광장애 피해 잎이 많음

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 12월 05일
2. 농가명 : 김모 씨
3. 면 적 : 1,200평
4. 주 소 : 충청남도 홍성군 홍성읍 홍성리 500-1
5. 연락처 : 010-5512-8900
6. 재배품종 : TY시스편
7. 기 타
  - 귀농 5년차
  - 요소 0.05%로 염면시비 하고 있음
8. 이상증상
  - 생장점이 과사하고 과일에 열목무늬 반점이 생기는 증상
  - 온실 측면의 잎이 타는 증상



생장점 과사                      과일의 열목무늬 반점



잎끝이 타는 증상

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 11월 23일
2. 농가명 : [농가명]
3. 면 적 : 5,000평
4. 주 소 : [주소]
5. 연락처 : [연락처]
6. 재배품종 : 대프니스, 꼬꼬
7. 기 타
8. 이상증상
  - 수경재배, 배지온수난방
  - 하엽부터 잎 끝이 노랗게 변하고 생육이 부진해짐(대프니스)
  - 잎이 위축되고 노랗게 변함(꼬꼬)→황화잎말림바이러스(TYLVCV)



하엽부터 잎끝이 노랗게 변하는 증상

황화잎말림바이러스병(TYLVCV)

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 11월 26일
2. 농가명 : 닥종양
3. 면 적 : 8,000평
4. 주 소 : [주소]
5. 연락처 : [연락처]
6. 재배품종 : TY부비찰
7. 기 타
  - 팜팜농업회사법인
  - 1-2W연동온실, 축고 5m 스마트팜, 단동온실
8. 이상증상
  - 단동온실 2등에서 잎이 타고 꺾이증상 발생
  - 잎이 시들고 서서히 시드는 증상



잎이 타는 증상

씩은 뿌리

시드는 증상

**토마토 재배기술 컨설팅**

1. 일 시 : 2018년 11월 26일
2. 농가명 : [농가명]
3. 면 적 : 2,500평
4. 주 소 : [주소]
5. 연락처 : [연락처]
6. 재배품종 : 하이큐
7. 기 타
  - 정식일 : 10월 25일
8. 이상증상
  - 생장점이 괴사하는 증상



생장점이 시들고 괴사하는 증상

**현장 컨설팅 및 교육 결과**

- 일자/장소 : 2017. 3. 3.(금)/ 계룡, 경안, 신봉면 일원
- 공주시농업기술센터 협조
  - 농촌지도사
- 내 용 : 토마토 병해충, 바이러스 예방, 생리장애, 온실환경 관리
- 토마토 재배현황
  - 작형(반축식) : 1월 정식 → 3 ~ 6월 수확
  - 재배면적 : 계룡(13호/70동), 경안(20호/100동), 신봉(30호/120동)
  - 계룡, 경안 관속토마토, 신봉 방울토마토를 재배
- 현장교육
  - 장소 : 공주시 계룡면
  - 교육내용
    - 약관기 적엽관리 및 고온기 커튼사용 방법
    - 진습구온도계를 활용한 환경 관리
  - 대상농가 : 계룡면 토마토 재배농가 12명
- 현장진행일 : 7농가



계룡면 현장 교육

## 제11장 기타사항

코드번호	D-13
○	

## 제12장 참고문헌

	코드번호	D-14
○ Choi JM, Jang HH, Lee HS, Lee CW (2014) Influence of the composition and concentration of fertilizer solution on growth and nutrient uptake of 'Maehyang' strawberry during vegetative growth. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 32(4):484-492		
○ Jang WS, Kim HS, Lee HC, Lee HD (2012) Analysis of nutrient contents of 'seolhyang' strawberry leaves in the soil culture. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:68		
○ Jeong BR (2000) Current status and perspective of horticultural medium reuse. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 18(6):876-883		
○ Jun HJ, Byun MS, Liu SS, Jeon EH, Lee YB (2013) Effect of nutrient solution on growth, fruit quality and yield of strawberry 'Maehyang' in hydroponics. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 31(2):173-178		
○ Jun HJ, Byun MS, Liu SS, Jang MS (2011) Effect of nutrient solution strength on pH of drainage solution and root activity of strawberry 'Seolhyang' in hydroponics. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29(1):23-28		
○ Jun HJ, Hwang JG, Liu SS, Jang MS (2011) Characteristics of inorganic ion absorption of strawberries cultivated in closed hydroponic system with different substrates. Journal of bio-Environment Control. 20(1):33-39		
○ Jong HJ, Cheong JW, Rho IR, Cho YS (2010) Investigation of house and bench structure, media and nutrient solution on high-bench type hydroponics of strawberry farms. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:57-57		
○ Jun HJ, Hwang JG, Son MJ, Choi MH, Cho MS (2006) Effect of substrates on the growth, yield and fruit quality of strawberry in elevated hydroponic system. Journal of bio-Environment Control. 15(4):317-321		
○ Lee HC, Nam MH, Kim HS, Jang WS, Kim TI, Lee EM (2017) Analysis of nutrient contents and change rate of the drainage solution in hydroponics of strawberries. Acta Hort. 1156:283-287. doi:10.17660/2017.1156.43		
○ Lee HC, Kim HS, Jang WS, Nam MH, Lee MH, Kim TI, Lee EM, Park SB (2017) Physicochemical change of drainage about nutrient solution EC in strawberry. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 35:60-61		
○ Lee HC, Kim HS, Jang WS, Nam MH, Yun YU, Lee HD (2012) Nutrient uptake of 'seolhyang' strawberry with fertilizer application. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:67		
○ National Institute of Agricultural Science and Technology (2000) Methods of soil chemical analysis. RDA, Suwon, Korea.		
○ Yoon HS, An JU, Hwang YH, An CG, Chang YH, Shon GM, Rho CW (2012) Effects of washing out salts and Ca additions of cocopeat substrate on growth and yield of strawberry. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 30:65		
○ Yoon HS (2010) Current situation and perspectives of strawberry soilless culture in Korea. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:30-30		
○ Lee, E.M., S.K. Park, G.Y. Kim, B.C. Lee, H.C. Lee, Y.U. Yun, S.B. Park, and J.M. Choi. 2017. Changes in inorganic element concentrations of drained nutrient solution and leaves compliance with numerical increment of fruiting node during hydroponic cultivation of		

cherry tomato. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 26:361–367.

- Lunt, O.R. and B. Clark. 1959. Bark and wood fragments. *Forest Products J.* April p. 39–42.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2016. 2015 Statistics of vegetable production under protected cultivation. p. 11
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2017. 2016 Statistics of vegetable production under protected cultivation. Sejong. p. 155
- Morard, P. (1997) Possible use of ion selective electrodes for nutrient solutions in recirculated systems. *Proc. 9th Internat. Congr. Soilless culture*, Jersey, 1996. ISOSC, Wageningen, The Netherlands. 291–298.
- National Institute of Agricultural Science and Technology (NIAST). 2000. *Methods of soil chemical analysis*. RDA, Suwon, Korea.
- Nelson, P.V. 2012. *Greenhouse operation and management (7th ed.)*. Prentice Hall, New York. USA.
- Ohtani, T., A. Kaneko, N. Fukuda, S. Hagiwara, and S. Sase, 2000. Development of a membrane disinfection system for closed hydroponics in a greenhouse. *J. Agric. Engng. Res.* 77:227–232.
- Park, J.S. and Y.S. Kim. 2015. Smart technology development and production innovation business for tomato industry of Chungnam province. MAFRA. Sejong. p. 58.
- Park, K.W. and Y.S. Kim. 1998. *Hydroponics in horticulture*, 1st ed. Academy Books, Seoul. p. 76–90.
- Rhee, H.C., K.H. Kang, G.B. Kwon, and Y.H. Choi, 2003a. Effect of the particle size of perlite and irrigation amount on the growth, root activity and mineral contents of tomato in a recycling system. *Journal Bio-Environment Control* 12:77–82.
- Rhee, H.C., K.H. Kang, G.B. Kwon, Y.H. Choi, and H.T. Kim. 2003b. Supplement method of drained solution in tomato cultivation using recycling systems. *Journal Bio-Environment Control* 12:89–94.
- Rho, M.Y., Y.B. Lee, H.S. Kim, K.B. Lee, and J.H. Bae. 1997. Development of nutrient solution suitable for closed system in substrate culture of cucumber. *Journal Bio-Environment Control*. 6:1–14.
- Rural Development Administration (RDA). 1999. Statistical data of soilless culture area in Korea.
- RDA. 2003. *Manual for agriculture investigation*. Suwon. p. 439–479.
- RDA. 2017. 2016 Statistical data of soilless culture area in Korea.
- Savvas, D. and Manos, G. (1999) Automated control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J. Agric. Engng Res.* 73, 29–33. doi:10.1006/jaer.1998.0389.
- Schwarz, M. 1995. *Soilless culture management*. Springer Verlag. p. 117–121.
- Seo T.C., Y.C. Kim, J.W. Lee, H.K. Yun, and S.G. Lee. 2003. Optimal supply amount and strength of nutrient solution for ripe-harvesting tomatoes grown under perlite culture system of semi-forcing cropping. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:79–85.
- Smith, D.L. 1997. *Rockwool in horticulture*. Grower Books. London. p. 35–27.
- Sonneveld, C. 1997. Hydroponic growing in closed system to safeguard the environment. *Australia Conference Hydroponics*, Melbourne. p. 21–36.



- Sonneveld, C. (2002) Composition of nutrient solutions, pp. 179–210. In: Sawas, D., and Passam, H. (eds.) Hydroponic production of vegetable and ornamentals. Embryo publications, Athens, Greece
- Sonneveld, C. and W. Voogt. 2009. Plant nutrition of greenhouse crops. Springer. New York. p. 83–102.
- Uo, J.K. Jeon, J.G., Back, Y., Noh, M.Y. and Shon, J.I. 2011. Develop of the management model of agricultural water and nutrients for sustainable farming in protected horticulture. Suwon, RDA.
- Van Os, E.A. 1994. Closed growing systems for more efficient and environmental friendly production. *Acta Hort.* 361:194–200.
- Van Os., E.A. 1995. Engineering and environmental aspects of soilless growing systems. *Acta Hort.* 396:25–32.
- Vincent, P.G. and L.E. Kay. 1990. Nonrecirculation hydroponic system suitable for uptake studies at very low nutrient concentration. *Plant Physiol.* 95:1125–1130.
- Wilcox, G.E. 1993. Tomato. p. 137–147. In: F.B. Bennett (eds.). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press. St. Paul. MN. USA.
- Yun, H.K., X.R. Li, I.S. Kim, and K.C. Yoo. 2000. Physicochemical properties in the sand-based media. *Inst. of Agr. Sci, Kangwon Nat'l. Univ. J. Agri. Sci.* 11:12–19.
- Zhang, C.H., S.Y. Lim, H.M. Kang, and I.S. Kim. 2010a. Effect of nutrient solution concentration on the growth and quality of paprika grown by fertigation using waste nutrient solution. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:46–50.
- Zhang, C.H., Z.H. Xu, H.M. Kang, and I.S. Kim. 2010b. Effect of waste nutrient solution and fertigation nutrient solution on the growth and qualities of tomato grown by fertigation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:574–579.
- Bar-Yosef, B. 2008. Fertigation management and crops response to solution recycling in semi-closed greenhouse. p. 341–424. In: M. Raviv and J.H. Lieth (eds.). *Soilless culture: theory and practice*. Elsevier VB. Sandiego, CA. USA.
- Bellert, C., J. Le Bot. M. Dorais, J. Lopez, and A. Gosselin. 1998. Nitrogen accumulation and growth of fruiting tomato plants in hydroponics. *Acta Hort.* 458: 293–301.
- Benoit, F. 1992. Practical guide for simple soilless culture techniques. p.33. European Vegetable R&D center, Belgium.
- Bernard, J. 1991. Water treatment handbook. Lavoisier Publishing, Paris. p. 208–217.
- Choi, G.L., Cho, M.W., Seo, T.C., Roh, M.Y., Rhee, H.C., and Lee, S.Y. (2008) Change in uptake and tissue contents of N, P, and K at different growth stages in hydroponically-grown cut roses. *Journal. of Bio-Environment Control.* 17, 247–251
- Choi G.L., Yeo, K.H., Rhee H.C., Lee S.C., Lee J.S., Kang N.J., Kim H.J., and Jung D. H. 2016. Control of Mg and P ion concentration as a precondition to use N, K and Ca ion sensors in closed hydroponics. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 34:871–877.
- Feng, C., Cali, W., and Yonging, T. (2011) Virtual ion selective electrode for online measurement of nutrient solution components. *Sensors Journal, IEEE* 11, 462–468. doi:10.1109/JSEN.2010.2060479.
- Gieling, T.H., Straten, G.V., Janssen, H.J., and Wouters, H. (2005) ISE and chemfet sensors in greenhouse cultivation. *Sensors and Actuators Bio.* 105, 74–80.

- Gutierrez, M., Alegret, S., Cacerres, R., Casadesus, J., Marfa, O., and Valle, M.D. (2008) Nutrient solution monitoring in greenhouse cultivation employing a potentiometric electronic tongue. *J. Agr. Food Chem.* 56, 1810-1817.
- Jun, H.J., D.H. Kim, J.K. Hwang, M.H. Choi, I.G. Kim, M.J. Son, H.S. Kwon, D.H. Heo, B.W. Moon, D.S. Han, J.J. Lee, and S.W. Min. 2005. Development of an elevated-bench hydroponic system and its media for ergonomic and environment friendly strawberry cultivation. Ministry of Agriculture and Forestry. p. 236.
- Kim, H.J., Hummel, J.W., and Birrell, S.J. (2006) Evaluation of nitrate and potassium ion-selective membranes for soil macronutrient sensing. *ASABE* 49, 597-606. doi:10.13031/2013.20476.
- Kim, H.J., J.H. Kim, Y.H. Woo, W.S. Kim, and Y.I. Nam. 2001. Nutrient and water uptake of tomato plants by growth stage in closed perlite culture. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 42:254-258.
- Kinoshita, T. and M. Masuda. 2011. Differential nutrient uptake and its transport in tomato plants on different fertilizer regimens. *HortScience* 47:1529-1535.
- Lee, H.C. (2014) Necessity and challenge project of closed system in the hydroponics. *Hortic. Sci. Technol.* 32 (Supple II), 31-32.
- Lee, J.S., K.S. Han, J.H. Park, S.R. Cheong, and H.I. Jang. 2006. Disinfection of *Phytophthora* spp. in recycling nursery irrigation water by ozone treatment. *Res. Plant Dis.* 12:272-277.
- Lee, M.H., S.E. Kim, S.D. Lee, J.E. Lee, H.S. Kim, S.K. Cho, S.Y. Sim, and Y.S. Kim. 2016. Development of drainage water disinfection system by electric shock in recirculating soilless culture. *Protected Horticulture and Plant Factory.* 25:49-56.