

첨단생산기술개발사업 **R&D Report**

발간등록번호

11-1543000-001728-01

시설원에 배양액의 작물 (버섯, 약용 및 원예작물) 재배 재활용 모델 개발 최종보고서

2017. 4. 7.

주관연구기관 / 전북대학교
협동연구기관 / 뜰봄생명농조합법인

농림축산식품부

발 간 등 록 번 호

11-1543000-001728-01

시설원에 배양액의 작물 재배 재활용 모델 개발
(Development of Application Technology for Reuse of
Hydroponic Waste Solution)

2017. 04. 07

주관연구기관 / 전북대학교
협동연구기관 / 뜰봄생영농조합법인

농 립 축 산 식 품 부

2. 제출문

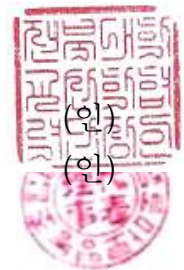
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “시설원예 배양액의 작물(버섯, 약용 및 원예작물) 재배 재활용 모델 개발”(개발
기간 : 2014. 12. 19 ~ 2016. 12. 18)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 04. 07.

주관연구기관명 : 전북대학교 산학협력단 이 철 로 (인)
협동연구기관명 : 뜰봉샘토마토영농조합 조 봉 대 (인)



주관연구책임자 : 조 재 영
세부과제책임자 : 백 승 우
김 명 곤
협동연구책임자 : 조 봉 대

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

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	314087-2	해당단계 연구기간	2015.12.19. ~2016.12.18.	단계구분	2015.12.19.~2016.12.18./ 2014.12.19.~2016.12.18.
연구사업명	중사업명	첨단생산기술개발			
	세부 사업명	첨단생산기술개발			
연구과제명	대과제명	시설원예 배양액의 작물(버섯, 약용 및 원예작물) 재배 재활용 모델 개발			
	세부 과제명	시설원예 배양액 최적관리기법 요소기술 개발 및 환경영향평가 시설원예 배양액 지역단위 순환 및 유통모델 개발 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배기술 개발			
연구책임자	조재영	해당단계 참여 연구원 수	총: 16명 내부: 2명 외부: 14명	해당단계 연구개발비	정부: 300,000천원 민간: 14,000천원 계: 314,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 33명 내부: 4명 외부: 29명	총연구개발비	정부: 600,000천원 민간: 28,000천원 계: 628,000천원
연구기관명 및 소속부서명	전북대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과			참여기업명: 뜰봉샘영농조합법인	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
<p>1. 시설원예 배양액중 총질소의 농도는 우리나라 ‘수질 및 생태계 보전에 관한 법률’의 산업체 폐수배출기준의 총질소 40mg/L를 10배 이상 초과하는 고농도로 하천으로 배출될 시 농업비점오염원으로 작용할 수 있는 수준으로 평가되었다.</p> <p>2. 시설원예 배양액을 처리한 토양중 중금속의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타나 안정성이 확보된 것으로 나타났다.</p> <p>3. 지하수의 품질에 가장 큰 영향을 끼치는 질산태질소의 지하로의 이동을 조사한 결과, 화학비료 처리구와 시설원예 배양액 처리구간에 차이가 없는 것으로 나타났다.</p> <p>4. 시설원예 배양액의 재활용 유통센터를 통한 재활용 방식의 비용/편익 분석결과는 할인율 5.5%, 운영기간 20년을 기준으로 산정했다. 총 편익 174,188만원, 총 비용 289,472만원, 순편익 -115,284만원으로 산출되었으며, 비용/편익 비율(B/C Ratio)는 0.60으로 분석되었다.</p> <p>5. 양송이와 느타리 버섯균의 생육에는 배양액의 처리가 영향을 끼치지 않았으나, 영지버섯균은 생육이 아주 저조하여 배양액처리 발효퇴비에서는 양송이와 느타리버섯 재배가 적당함을 알 수 있었다.</p>				<p>보고서 면수: 145</p>	

4. 국문 요약문

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설원에 배양액의 재활용을 위한 최적관리 요소 개발 ○ 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가 ○ 시설원에 배양액 재활용 경제성 평가지표 개발 ○ 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발 					
연구개발성과	<ol style="list-style-type: none"> 1. 시설원에 배양액의 재활용을 위한 최적관리 요소 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 양액재배가 가장 높은 지역은 경상남도이며 569ha로 가장 높은 것으로 조사되었고, 다음으로 전라남도 399ha, 충청남도 336ha, 전라북도 281ha 순으로 나타났다. ○ 시설원예농업에서 공급된 배양액의 20~30% 정도가 비순환적 방법으로 인근 하천으로 무단 방류처리되고 있었다. 2. 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가 <ul style="list-style-type: none"> ○ 배양액중 총질소의 농도는 우리나라 ‘수질 및 생태계 보전에 관한 법률’의 산업체 폐수배출기준의 총질소 40mg/L를 10배 이상 초과하는 고농도로 하천으로 배출될 시 농업비점오염원으로 작용할 수 있는 수준으로 평가되었다. ○ 배양액을 처리한 토양중 중금속의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타나 안정성이 확보된 것으로 나타났다. ○ 지하수의 품질에 가장 큰 영향을 끼치는 질산태질소의 지하로의 이동을 조사한 결과, 화학비료 처리구와 배양액 처리구간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 3. 시설원에 배양액 재활용 경제성 평가지표 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 배양액의 재활용 유통센터를 통한 재활용 방식의 비용/편익 분석결과는 할인율 5.5%, 운영기간 20년을 기준으로 산정했다. 총 편익 174,188만원, 총 비용 289,472만원, 순편익 -115,284만원으로 산출되었으며, 비용/편익 비율(B/C Ratio)는 0.60으로 분석되었다. 4. 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> ○ 양송이와 느타리 버섯균의 생육에는 배양액의 처리가 영향을 끼치지 않았으나, 영지버섯균은 생육이 아주 저조하여 배양액처리 발효퇴비에서는 양송이와 느타리버섯 재배가 적당함을 알 수 있었다. 					
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시설원에 배양액 합목적적인 대체 처리를 위한 실용화 기술 ○ 시설원에 배양액 처리 가이드라인 설정 및 표준사용 지침서 ○ 시설원에 배양액 최적관리기법(BMPs) 정책 수립에 활용 ○ 시설원에 배양액 사용이 인근 생태계 환경에 미치는 영향 평가 ○ 시설원에 배양액 작물 시용효과 및 적정 시용기술 활용 ○ 시설원에 배양액 지역단위 순환 및 유통모델 활용 					
중심어 (5개 이내)	폐양액	양액재배	수질오염	토양오염	농업비점오염원	

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02		
Purpose& Contents	1. Development of best management practices technology for recycling of hydroponic wastewater 2. Environmental impact assessment of plant, water, and soil system by treatment of hydroponic wastewater 3. Development of evaluation index for recycling of hydroponic wastewater 4. Development of optimal technology for mushroom cultivation using hydroponic wastewater				
Results	1. Development of best management practices technology for recycling of hydroponic wastewater ○ About 20 to 30% of culture nutrient solution have been discharged to nearby rivers. Environmental impact assessment of plant, water, and soil system by treatment of hydroponic wastewater ○ The concentrations of heavy metals in crops were lower than the recommended tolerable levels proposed by Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. ○ The concentrations of nitrate-N in infiltration water were not different between the chemical fertilizer treatment and hydroponic wastewater treatment 2. Development of evaluation index for recycling of hydroponic wastewater ○ The cost/benefit ratio (B/C ratio) was analyzed to be 0.60. 3. Development of optimal technology for mushroom cultivation using hydroponic wastewater ○ Reuse of hydroponic waste solution in compost were possible in <i>Agaricus bisporus</i> and <i>Pleurotus ostreatus</i> cultures.				
Expected Contribution	1. Development of practical technology for the alternative treatment of hydroponic wastewater 2. Establishment the optimal management techniques (BMPs) of hydroponic wastewater 3. Evaluation of environmental impact according to use hydroponic wastewater				
Keywords	Hydroponic wastewater	Hydroponic culture	Water pollution	Soil pollution	Agricultural non-point source pollution

6. 영문목차

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
1. Purpose of research	1
2. Necessity of research	2
3. Contents of research	6
Chapter 2. Present state of the technical development	8
1. International stage of the technical development	8
2. Technical level of the research team	10
Chapter 3. Contents of research and result	12
1. Annual plan of research development	12
2. Methods and result of research development	13
Chapter 4. Contribution to related research field	113
1. Achievement of research target	113
2. Contribution of research field	116
Chapter 5. Plan to use research results	117
Chapter 6. Scientific information obtained	131
Chapter 7. Status of research facilities and equipment	132
Chapter 8. Status of research facilities and equipment enrolled in national science and technology information system	133
Chapter 9. Lab safety management implementation performance	134
Chapter 10. Representative research results of research development	135
Chapter 11. The others	136
Chapter 12. References	142

7. 본문목차

< 목 차 >

제1장. 연구개발과제의 개요	1
제1절 연구개발 목적	1
제2절 연구개발의 필요성	2
제3절 연구개발 범위	6
제2장. 국내외 기술개발 현황	8
제1절 국내외 기술개발 현황	8
제2절 본 연구팀의 선행기술 수준	10
제3장. 연구수행 내용 및 결과	12
제1절 연차별 세부과제별 연구개발의 목표 및 내용	12
제2절 연구개발 수행방법 및 결과	13
제4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도	113
제1절 목표달성도	113
제2절 관련분야 기여도	116
제5장. 연구결과의 활용계획 등	117
제1절 연구개발결과의 활용방안	117
제2절 추가 후속연구의 필요성	117
제3절 시설원에 배양액 농경지 대체처리를 위한 운영 매뉴얼	117
제6장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	131
제7장. 연구개발결과의 보안등급	132
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	133
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	134
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구실적	135
제11장. 기타사항	136
제12장. 참고문헌	142

<별첨> 자체평가의견서

제1장 연구개발과제의 개요

코드번호

D-03

제1절 연구개발 목적

- 주요 시설원예작물은 농업분야 수출전략 품목이다. 정부 차원의 시설원예작물 재배면적 확대에 인하여 시설원예 배양액 배출량이 증가하고 있다. 농림축산식품부 “2013~2017 농업·농촌 및 식품산업 발전계획”에서 농업분야 수출전략품목 육성과 안전한 농식품의 안정적 공급 차원에서 원예시설(1,980ha) 현대화 지원 및 첨단 유리온실 신축 확대(5,000ha) 계획을 수립하였다.
- 금후 원예시설 면적과 양액재배 시설은 꾸준히 증가하여 2020년에는 시설원예 면적 72,000ha, 양액재배 시설면적 3,800ha로 증가가 예상된다. 원예산업 가운데 양액재배 면적 비중은 지금의 1%에서 5.3% 정도로 증가할 것으로 전망되고 있다. 시설원예 양액재배 면적의 증가는 불가피하게 배양액의 발생량을 증대시키고 이에 따른 비료자원의 추가적인 손실과 수질오염물질의 발생량 증대를 초래할 수 있다.
- 현재 우리나라는 양액재배와 관련한 직접적인 규제는 없지만 “수질 및 생태계 보전에 관한 법률”에 따르면, 산업체 폐수 배출기준을 총질소 40ppm이하, 총인 0.2-0.5ppm이하로 규정하고 있다. 현재 우리나라의 시설원예 양액 재배면적은 수질환경에 영향을 줄 정도로 많은 면적이 아니므로 아직은 문제가 되지 않고 있으나, 양액재배 면적이 급속히 확대되고 배출하는 배양액의 양이 증가될 경우 허용기준을 넘을 우려가 있기 때문에 조만간 우리나라에서도 배양액의 외부유출에 대한 규제가 시행될 것으로 예상된다.
- 양액재배 배양액으로 인한 토양과 지하수 오염 그리고 용수와 비료자원의 재이용을 위해서는 ‘순환식 양액재배 시스템’을 이용하는 것이 바람직하지만, 순환식 양액재배 시스템 설치 비용 고가, 재사용시 수확량 저감, 품질저하 및 병원균 확산으로 인한 경제적 손실 발생에 대한 우려 때문에 널리 확산되지 못하고 있는 것이 현실이다.
- 시설원예 양액재배 농가의 배양액 처리시설 및 비용의 증가로 인한 경영수지 악화 및 재이용 처리기술의 부족 그리고 병원균 오염으로 인한 수출 유망 농산물의 품질저하 및 국제간 농산물 교역 문제 발생의 소지가 있으므로 시설원예 양액재배 농가에서 발생하는 배양액의 합목적적인 처리기술 개발이 필요한 시점이다.
- 시설원예 배양액의 순환식 재이용 시스템 확대에 대한 현실적인 문제점을 직시할 필요가 있으며, 배양액 이용 대상을 순환식 시스템으로만 국한하지 말고, 처리범위를 다각화하여 지속가능한 시설원예 작물 재배시스템 구축에 대한 연구가 필요할 것이다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 우리나라 시설원예 재배면적의 변화 추이 및 배양액 배출량

- 우리나라 시설원예 양액재배 면적은 2013년 기준 약 3,801ha로 조사되었는데, 이 가운데 채소류 면적은 2,832ha(74.5%), 화훼류는 969ha(25.5%)로 집계되었다. 과채류와 화훼류를 중심으로 양액재배 면적 급증 추세임을 알 수 있다. 품목별로는 파프리카, 장미, 토마토, 상추, 그리고 딸기 등으로 엄격한 품질을 요구하는 수출용 농산물이 주를 이루고 있다. 연간 소요되는 비료 소요량만 해도 단순계산으로 55,343톤이며, 소요금액은 약 1,660억원으로 추산 할 수 있다. 우리나라 시설원예 양액재배의 95% 이상이 한번 공급된 양액이 재사용되지 않고 외부로 배출되는 ‘비순환식 양액재배 시스템’으로 남은 배양액을 주변 하천이나 토양으로 흘려버리고 있어 비료자원의 낭비, 용수 낭비, 토양 및 하천 등 주변 생태계의 오염원으로 지적되고 있다. 시설원예 양액재배 과정에서 발생하는 배양액은 공급량의 30%인 연간 약 3,000,000m³이며 이렇게 버려지는 비료염이 약 7,000톤에 달하고 있다 (농촌진흥청, 2013).

2. 시설원예 작물재배 시스템

- 시설원예작물은 토경(土耕)재배와 양액(養液)재배로 구분된다. 양액재배는 배출되는 배양액을 버리느냐(비순환식) 또는 재순환하여 사용하느냐(순환식)에 따라 구분하고 있다.
- 순환식 양액재배: 양액을 순환시키는 시스템이 추가되어 복잡하고 시설비 과다 투입. 재사용에 따른 양액 중 무기성분의 불균형으로 작물의 생육 불량, 근권 병원균이 확산 우려가 있지만 환경보전적인 차원과 비료의 손실 방지차원에서 유용하다.
- 비순환식 양액재배: 시스템 구조가 간단하여 시설비가 저렴하고 근권에서 발생하는 병원균의 전염을 막을 수 있어 병해 대책을 확실히 하지 않고도 재배가 가능한 양액재배 시스템. 그러나 양액의 비순환으로 인한 비료의 손실량이 많고 수질오염을 초래하고 있다.

3. 시설원예 작물재배시 순환식 양액재배 시스템 도입 한계에 봉착

- 양액재배 배양액으로 인한 토양과 지하수 오염 그리고 용수와 비료자원의 재이용을 위해서는 ‘순환식 양액재배 시스템’을 이용하는 것이 바람직하나(물 30%, 비료 30~50% 절감), 배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비 그리고 양분의 농도와 산도 등을 조절하는 보정장치 설치비용이 10a당 2,000만원에 달하는 고가인 점과, 재사용시 수확량 저감, 품질저하 및 병원균 확산으로 인한 경제적 손실 발생에 대한 우려 때문에 범용화되지 못하고 있다.
- 특히 시설원예 작물재배시 배양액을 재사용하는 순환식 양액재배 시스템에서는 양액 속

에 병원균이 발생하면 토경재배에 비하여 뿌리와 접촉기회가 많아 병원균(청고병, 역병)의 확산이 빠르고, 양액 탱크를 경유하여 재배조 전체에 확산될 뿐만 아니라 뿌리 병원균 확산에 의한 품질저하, 작물수량 감소, 작물 피해 가능성과 경제적 손실에 대한 부담감이 높아 농가에서 활용도가 낮다(농촌진흥청, 2006).

○ 또한, 재배기간이 경과함에 따라 양액내 양분간 균형에 변화가 생기는데 이를 쉽게 분석할 수 있는 시스템이 갖추어져 있지 않고, 분석과정이 복잡하고, 비용이 많이 소요되고 있음. 그러다 보니 국내 분석센터에서 양액분석을 하지 않고 네덜란드에 양액분석을 의뢰하여 데이터를 받고 있는 실정이다.

표 1. 비순환식, 순환식 양액재배 시스템 비교

구분	비순환식 양액재배	순환식 양액재배
시설비	기본시설	기본시설 (배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비, 배양액의 농도와 산도 조절 등 추가 설비 필요)
양분관리	간단	양액 농도조절설비 필요
병원균 위험률	식물병해 피해 낮음	식물병해 피해 높음(청고병, 역병)
양분/수분 소비량	비료 및 원수 사용량 증가	비료 및 원수 사용량 감소(비료: 30-50%, 용수 30% 절감)
배양액 배출량	토양 및 수질오염	자원순환 시스템

4. 시설원에 배양액 새로운 농업비점오염원으로 대두

- 시설원에 양액재배에 사용하는 양액은 다양한 무기물은 물론 고농도의 질소와 인 성분을 함유하고 있어 수권 생태계로 방류될 경우 심각한 부영양화를 초래할 수 있다.
- 시설원에 작물 재배지 배양액에서 방출되는 질소, 인, 필수미량원소(Cu, Zn 등)는 환경부 “수질 및 생태계 보전에 관한 법률 시행규칙” 기준시 수질오염물질로 분류된다. 따라서 이들 물질로 인한 수질오염방지를 위해서는 물리적 처리시설, 화학적 처리시설, 생물화학적 처리시설을 설치하여 관리하여야 하나, 현재 시설원에 농가에서는 수질오염 방지시설을 확보하지 않은 채 무단 방류를 하고 있는 실정이다.
- 우리나라 “수질 및 생태계 보전에 관한 법률”에 따르면, 산업체 폐수 배출기준을 총질소 40ppm이하, 총인 0.2-0.5ppm이하로 관리하고 있다. 실례로, 전라북도 시설원에 재배지에서 배출되는 배양액중 총질소(평균 150ppm)와 총인(18ppm)의 농도는 환경부 배출기준을 총질소는 약 4배, 총인은 약 30배 이상 초과하고 있는 상태이다(충청북도: 총질소: 100ppm, 총인: 12ppm, 이경자 등, 2007).

- 전라북도 시설원에 재배지로부터 배양액 배출량은 약 675,000톤/년으로 평가되고 있다. 질소성분 기준 연간 약 100톤(상업용 요소비료 11,000포대에 해당)의 질소성분이 동부산악권의 금강, 섬진강 상류권역, 용담호 상수원 유역 그리고 서부평야지의 새만금 유역권인 만경강과 동진강 하천으로 유입되어 주요 수질오염원으로 작용하고 있다. 질소 뿐만 아니라 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘을 비롯한 식물영양물질의 양을 감안하면 최소 300톤 이상의 수질오염물질이 전라북도 하천으로 유입되는 것으로 잠정 평가된다.

표 2. 시설원에 양액재배 방식별 비료 및 원수 사용량 (Gemert et al., 1994)

작물	재배방식	비료사용량(kg/ha/yr)					원수 사용량 (ton/ha/yr)
		N	P	K	Ca	Mg	
파프리카	비순환식	2,02	355	2,601	1,503	365	10,115
	순환식	1,125	217	1,476	676	187	7,229
장미	비순환식	1,603	376	2,038	1,079	262	15,391
	순환식	981	239	1,073	734	116	10,769

5. 시설원에 배양액 방류로 인한 경제적 손실 막대

- 우리나라 시설원에 양액재배 과정에서 발생하는 배양액은 공급량의 30%인 연간 약 3,000,000m³이며 이렇게 버려지는 비료염이 약 7,000톤에 달하고 있다(농촌진흥청, 2013). 배양액 함유 비료자원 손실액만 산술적으로 계산해도 약 100억 수준이며, 버려지는 용수의 경제적 손실 가치(수돗물 기준) 약 30억, 거기에다가 수처리 비용을 감안하면 최소 200억~300억 이상의 경제적 손실이 발생되고 있는 것으로 추정된다.
- 실례로, 전라북도 시설원에 작물재배지로부터 배양액 배출량 675,000톤/년을 기준으로 비료자원의 경제적 손실액을 평가시 최소 10억~15억원/년으로 평가되었다. 배양액 배출량 675,000톤/년을 통해 버려지는 수자원의 경제적 손실가치를 평가시 약 5억원으로 평가되었다. 배양액 배출량 675,000톤에 함유된 고농도의 수질오염물질을 정화하는데 소요되는 환경정화비용은 최소 30억원 이상으로 평가되었다. 결론적으로 전라북도 시설원에 작물재배지 배양액 방류로 인한 용담호 상수원수 오염, 금강/섬진강 상류권역 수질오염, 새만금 담수호 수질오염문제까지 감안한다면 경제적 손실액을 산술적으로 평가하기 어려울만큼 막대한 것이다. 단순 산술에 의한 경제적 손실은 최소 50억원/년으로 산정되었다.

6. 시설원에 배양액 대체처리를 위한 신규 수요처 개발 필요

- 시설원에 양액재배 농가의 배양액 처리시설 및 비용의 증가로 인한 경영수지 악화 및 재이용 처리기술의 부족 그리고 병원균 오염으로 인한 수출 유망 농산물의 품질저하 및 국제간 농산물 교역 문제 발생의 소지가 있으므로 시설원에 양액재배 농가에서 발생하는 배

양액의 합목적적인 처리기술 개발이 필요하다. 더욱이 시설원에 배양액 방류로 인한 상수원수 오염 및 주요 하천 상류권역 수질오염문제를 선제적으로 해결하기 위해서도 새로운 처리기술의 개발이 필요한 시점이다.

- 지금까지 농촌진흥청을 비롯한 농업관련 국가기관에서는 시설원에 배양액의 순환식 처리에 방점을 두고 연구개발 및 사업을 진행해 왔다. 그럼에도 불구하고 현재 우리나라의 시설원에 배양액 순환식 재배시스템 5% 정도만이 농가 현장에 적용되고 있는 실태이다. 나머지 95%에 해당하는 시설원에 배양액이 비순환적으로 처리되면서 많은 문제점을 야기하고 있다. 따라서, 시설원에 배양액의 자원순환 목표를 순환식 양액재배로만 국한하지 않고 처리범위를 다각화 할 필요가 있다. 선진 외국에서는 양액재배 배양액을 *Chlorella vulgaris*의 재배지 활용, 유채, 해바라기, 갈대 및 억새와 같은 바이오매스 작물 재배지 활용, 그리고 망고와 메론과 같은 작물 재배지에 활용한 사례가 보고되고 있다.
- 결론적으로, 시설원에 배양액의 순환처리가 가능한 부분은 순환처리 시스템의 영역에서 적용하고, 순환처리가 불가능하거나 어려운 부분은 지역단위 순환 및 유통모델을 만들어 합목적적으로 운영하면, 현재 논란이 되고 있는 시설원에 배양액 무단방류로 인한 환경생태계 문제를 해결할 수 있는 단초를 제공할 수 있을 것이다. 단, 비순환처리를 하되 환경생태계와 작물안전성에 문제를 야기하지 않고, 원예농가에 경영부담을 주지 않으면서, 작물병해 전염의 위험성이 낮고, 양분요구도가 높은 원예작물과 약용작물을 대상으로 시설원에 배양액의 수요처 확대 전략을 수립할 경우, 국내에서 발생하는 시설원에 배양액의 안전한 재이용과 Zero emission system을 수립할 수 있을 것이다.



양액공급 컨트롤



토마토 양액공급



배양액 집수



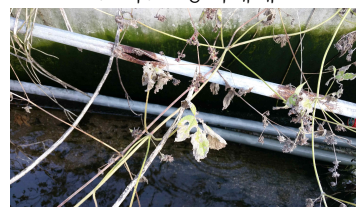
토마토 양액재배



배양액 무단 방류



배양액 5일 방치



배양액 방류(하천)



하천 녹조현상



용담호 녹조현상

그림 1. 시설원에 배양액 배출실태

제3절 연구개발 범위

1. 제1세부과제: 시설원에 배양액 최적관리기법 요소기술 개발 및 환경영향평가

가. 연구개발의 목표

- (1) 시설원에 배양액의 재활용을 위한 최적관리(BMPs) 요소기술 개발
- (2) 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가

나. 연구개발의 내용

- (1) 시설원에 배양액의 재활용을 위한 최적관리(BMPs) 요소기술 개발
 - 전국 단위 시설원에 배양액 성분 조사
 - 도별로 10-20지점 총 100-150여점 시료채취 및 분석
 - 배양액 이화학적 성상 분석
 - 우리나라 시설원에 배양액 관련자료 DB 구축 및 GIS mapping
 - 시설원에 배양액 BMPs 핵심요소 개발 및 최적화
- (2) 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가
 - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 토양 특성 변화 조사
 - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 수계 환경에 끼치는 영향 조사
 - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 작물 안전성 및 수량구성요소에 끼치는 영향 조사

2. 제2세부과제: 시설원에 배양액 지역단위 순환 및 유통 모델 개발

가. 연구개발의 목표

- (1) 시설원에 배양액 재활용 경제성 평가지표 개발
- (2) 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 및 지역단위 유통모델 개발

나. 연구개발의 내용

- (1) 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 지표 개발
 - 시설원에 양액재배 면적, 발생량 및 재처리현황 조사
- (2) 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 및 지역단위 유통모델 개발
 - 배양액의 하천방류, 순환식 재이용, 비순환식 재이용 등 시나리오별 경제성 비교 분석
 - 처리 기술별(순환식 재이용, 비순환식 재이용) 비용·편익 지표 분석과 효과 비교 분석
 - 경제성 분석을 기초로 한 시설원에 배양액의 효율적 유통 전략 수립
 - 시설원에 배양액 재활용 유통센터 설치 및 운영 매뉴얼 개발

3. 제3세부과제: 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배기술 개발

가. 연구개발의 목표

- (1) 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발
- (2) 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배기술 개발 및 최적화 요소 개발

나. 연구개발의 내용

- 양송이버섯 재배사에서 사용할 시설원예 배양액 공급망 구축
- 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발
- 양송이 버섯 재배실험
- 시설원예 배양액 활용 양송이버섯 재배기술 확립 및 최적화

제2장 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

제1절 국내외 기술개발 현황

1. 국내 연구 현황

- 우리나라의 시설원예 양액재배 면적이 1991년 6.5ha, 1995년 34ha, 2000년 700ha, 2012년 1,200ha로 점차 증가하고 있으며, 이에 따른 연구개발도 꾸준히 이뤄지고 있으나, 주로 작물의 표준 배양액 조성방법이나 순환식 공급방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다.
- 국내에서는 시설원예 양액재배 배양액의 자연정화 처리기술 개발을 중심으로 연구가 진행되었고, 부분적으로 양액재배 배양액을 이용한 파프리카, 배추, 토마토, 고추 등의 재배에 부분적으로 활용한 사례가 있으나 버섯, 약용작물, 목본형 원예작물, 바이오매스 작물에 양액재배 배양액을 활용한 사례는 전무하다.
- 국립원예특작과학원을 중심으로 시설원예 배양액 재활용을 위한 순환식 양액재배 관련 연구 다수 수행되었음에도 불구하고, 농가 활용도가 매우 낮고, 순환식 양액재배 시스템 도입 한계에 직면해 있다.
- 경상북도 농업기술원에서는 상추 등 양액 시설 재배에서 발생하는 배양액 재활용 기술을 개발하였다. 시설원예 재배에서 발생하는 배양액을 고추 노지재배 포장에 추비로 활용하는 기술이다. 상품성이 높고, 생산량도 일반 고추 재배 보다 약 6% 정도의 수량이 증가하였다. 시설원예 배양액을 50배 정도 농축시키는 기술을 이용하여 사용하기에도 편리하고 환경오염을 방지할 수 있으며 비료값 30% 절감효과가 나타났다.
- 개별 농가 시설원예 배양액 재활용 기술 개발로 친환경농업에 도전한 사례도 보고되고 있다. 2천여㎡의 비닐하우스에 오이를 재배하는 허창익(50. 보은군 탄부면)씨 사례이다. 양액으로 오이를 재배시 하루 평균 2톤의 시설원예 배양액 발생하는데 오이를 재배한 뒤 버려지는 양액을 6백60㎡의 마늘밭에 비료로 사용한 결과 수량성이 우수하고 품질이 양호한 '슈퍼 마늘' 생산해 농가소득 증대효과가 나타났다.

2. 국외 연구 현황

- 독일은 1989년 비순환 양액재배 과정에서 배출된 양액을 줄이기 위해 '농업구조각서'(Agricultural Structure Memorandum)를 만들어 시설원예 배양액의 환경 친화적인 처리를 의무화하고 있다.
- 네덜란드는 1994년 양액재배에서 사용되는 물과 비료의 양을 줄이고 배양액의 재사용을 촉진하기 위해 '버려지는 물 처리 규정'(Waste Water Disposal Decree)이라는 법령을 제정하여 운용하고 있다.

- 시설원예농업이 활발하게 이루어지고 있는 독일과 네덜란드에서는 국가적인 차원에서 100% 순환식 양액재배시스템을 법률적으로 강제하고 있음에도 불구하고, 병원균 오염, 양액중 식물양분의 불균일, 고가의 살균장치 등 제반 문제 때문에 현재 40~60% 정도 양액 재이용시스템을 이용하고 있다.
- 외국에서는 시설원예 배양액을 *Chlorella vulgaris*의 재배지 활용, 유채, 해바라기, 갈대 및 억새와 같은 바이오매스 작물 재배지 활용, 그리고 망고와 메론과 같은 작물 재배지에 활용한 사례가 있다.

3. 국내의 연구현황 비교 및 필요연구 분야

표 3. 시설원예 배양액 재활용과 관련된 필요 연구분야

구분	국내	국외	필요 연구분야
관련 법률	없음	배양액 처리 법률 규정 (버려지는 물 처리 규정)	본 연구사업을 성공적으로 수행한 후 농림축산식품부/환경부 정책제안을 통해 법률 제정 필요
순환식 시스템 활용도	5%	40-60%	순환식과 비순환식 절충 처리방안
비순환식 배양액 처리	무단방류	대체처리(목본성 원예작물, 바이오매스작물재배지)	시설원예 배양액 신규 처리지 확대 필요(원예작물, 약용작물, 바이오작물)
시설원예 배양액 재이용에 따른 환경영향평가	일부 수행	시설원예 배양액 재활용시 토양권, 수권, 작물의 안전성 평가에 대한 다수 연구 수행	시설원예 배양액 비순환처리시 토양권, 수권, 작물의 안전성 평가 및 지역단위 유통순환모델 개발 필요

제2절 본 연구팀의 선행기술 수준

1. 전라북도 시설원예 배양액 성분평가

- 전라북도 시설원예 재배지에서 배출되는 배양액중 총질소(평균 150ppm)와 총인(18ppm)의 농도는 환경부 배출기준을 총질소는 약 4배, 총인은 약 30배 이상 초과하고 있는 상태이다.

표 4. 전라북도 시설원예 작물재배지 배양액 화학성분 분석결과(단위: mg/L)

작물	시료수	전기전도도	총질소	총인
토마토	23	1.33±0.22	148.6±16.5	16.9±0.5
파프리카	7	1.05±0.15	159.2±24.4	16.4±1.1
장미	2	1.41±0.48	152.4±30.1	15.8±1.6

- 전라북도 시설원예 양액(養液) 재배면적 250~300ha 추정(전국 대비 25%). 파프리카, 멜론, 토마토, 딸기, 장미 등 엄격한 품질을 요구하는 수출용 농산물을 중심으로 양액재배 면적 급증하는 추세이다.
- 전라북도 시설하우스 재배면적 4,700ha(전국 대비 9%, 2012년 기준). 전라북도 시설원예 양액(養液) 재배면적 250~300ha 추정되었다(전국 대비 25%).
- 새만금지구 첨단시설원예단지 조성. 전라북도 수출원예 클러스터 조성. 전라북도 신소득 작물로 아열대작물 재배면적 증가 추세 등에 힘입어 향후 전라북도 시설원예작물 재배면적 급증할 것으로 추정된다.

표 5. 전라북도 지역별 주요 시설원예작물 양액재배 면적 추정(ha)

작물	전라북도 지역										
	남원	장수	무주	임실	순창	김제	완주	고창	부안	정읍	군산
딸기	12.3	-	0.1	0.3	2.4	0.6	15.4	0.3	0.3	1.0	0.1
멜론	24.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
파프리카	22.0	-	-	-	-	44.0	-	-	-	-	-
상추	17.1	2.5	0.3	0.1	2.9	3.2	12.9	0.2	0.5	-	1.2
토마토	9.0	20.0	2.0	10.0	2.5	16.0	10.7	22.5	2.5	9.6	1.5
계	84.4	22.5	2.4	10.4	7.8	63.8	39.0	23.0	3.3	10.6	2.8

2. 전라북도 시설원예 배양액 재활용 실태 조사

- 전라북도 서부평야지(김제, 익산, 정읍)와 동부산악권(장수, 남원, 임실, 순창) 시설원예농가를 방문하여 양액공급 시스템을 조사한 결과, 전라북도 시설원예작물 재배농가는 그 규모가 영세하여(0.1~0.5ha) 대부분 순환식 양액공급시스템이 설치되어 있지 않았다.
- 일부 대형 유리온실에는 네덜란드산 순환식 양액공급시스템이 갖춰져 있다. 순환식 양액재배시스템의 구성은 먼저 우수 저장고와 원수로 사용하는 지하수 여과장치, 원액조제장치, 양액과 원수의 혼합 및 공급장치, 배액 회수장치 및 저장탱크, 회수된 배액 여과장치, 살균장치 및 여과 살균된 배액 저장탱크 등으로 구성되어 있다.
- 토마토, 착색단고추 등 과채류의 경우 90%이상, 장미 등 절화류의 경우 80% 정도가 비순환식 양액공급시스템으로 재배하고 있었으나, 향후에는 순환식 양액재배의 비중이 증가할 것으로 전망된다.
- 뜯봉샘토마토영농조합법인(토마토 양액재배)의 경우, 양액공급량 20톤/일, 시설원예 배양액 발생량은 양액 공급량의 30% 수준으로 6~7톤/일 정도 발생하고 있다. 전북 장수군의 경우 뜯봉샘토마토영농조합법인 규모의 토마토 양액재배 농가가 30여개 정도 분포하고 있어 장수군에서만 200톤/일의 시설원예 배양액이 발생하는 것으로 추정된다. 장수군 토마토 재배농가의 경우 100% 비순환식 양액재배시스템으로 작물을 재배하고 있었다.

제3장 연구수행 내용 및 결과

코드번호 D-05

제1절 연차별 세부과제별 연구개발의 목표 및 내용

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차년도	2015	- 시설원에 배양액의 재활용을 위한 최적관리 요소 개발	- 전국 단위 시설원에 배양액 성분 조사 - 국외 배양액 관리처리 시스템 조사 및 재활용 현황 분석
		- 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가	- 시설원에 배양액 농경지 재처리시 토양 특성 변화 조사 (약용작물) - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 수계 환경에 끼치는 영향 조사 - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 작물 안전성 및 수량구성요소에 끼치는 영향 조사
		- 시설원에 배양액 재활용 경제성 평가지표 개발	- 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 지표 개발 - 시설원에 양액재배 면적, 발생량 및 재처리현황 조사
		- 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발	- 양송이버섯 재배사에서 사용할 배양액 공급망 구축 - 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발 - 양송이 버섯 재배실험(1주기)
		- 시설원에 배양액 활용 약용작물 재배기술 개발	- 시설원에 배양액 재활용 현장 실증모델 개발(약용작물) - 시설원에 배양액 재활용시 농업현장에서 발생할 수 있는 제반 문제점 검토 및 해결방안 제시(약용작물)
2차년도	2016	- 우리나라 시설원에 배양액 최적관리기법 요소 개발	- 우리나라 시설원에 배양액 자료 DB 구축 및 GIS mapping - 시설원에 배양액 BMPs 핵심요소 개발 및 최적화
		- 시설원에 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가	- 시설원에 배양액 농경지 재처리시 토양 특성 변화 조사 (원예작물) - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 수계 환경에 끼치는 영향 조사 - 시설원에 배양액 농경지 재처리시 작물 안전성 및 수량구성요소에 끼치는 영향 조사 - 시설원에 배양액 농경지 재처리 Guide book 제작 및 교육 홍보활동
		- 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 및 지역단위 유통모델 개발	- 배양액의 하천방류, 순환식 재이용, 비순환식 재이용 등 시나리오별 경제성 비교 분석 - 처리 기술별(순환식 재이용, 비순환식 재이용) 비용·편익 지표 분석과 효과 비교 분석 - 경제성 분석을 기초로 한 시설원에 배양액의 효율적 유통 전략 수립 - 시설원에 배양액 재활용 유통센터 설치 및 운영 매뉴얼 개발
		- 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배기술 개발 및 최적화 요소 개발	- 양송이 버섯 재배실험(2주기, 3주기) - 시설원에 배양액 활용 양송이버섯 재배기술 및 최적화
		- 시설원에 배양액 활용 원예작물 재배기술 개발	- 시설원에 배양액 재활용 현장 실증모델 개발(원예작물) - 시설원에 배양액 재활용시 농업현장에서 발생할 수 있는 제반 문제점 검토 및 해결방안 제시(원예작물)

제2절 연구개발 수행방법 및 결과

1. 세부과제 1 : 시설원에 배양액 최적관리기법 요소기술 개발 및 환경영향평가

가. 시설원에 배양액 관리실태 현장조사

(1) 조사방법

- 각 도별(경기, 강원, 경남, 경북, 전남, 전북, 충남, 충북 등) 지역별 시설원에 재배농가 주소, 재배작물, 시설원에 배양액 배출량, 시설원에 배양액 전처리 방법, 배양액 처리 현황에 대한 사전 조사를 실시하였다.
- 시설원에 재배농가 주소 확보를 위해 농촌진흥청, 각시군 농업기술센터, 인터넷 홈페이지 조사, 농어촌공사, GAP 등록 인증 농가 자료를 확보하여 주소록을 작성하였다.
- 현장에서 배출되는 시설원에 배양액 시료는 각 농가별로 4리터씩 채취하였으며, 관련 작물, 시설, 전경, 배양액 배출구 등의 관련 사진을 확보하였다. 시료 채취는 2015년 4월 1개월 동안 이루어졌다. 일반적으로 양액재배농가의 작물생육단계에 따라 배양액의 조성에 약간씩 차이가 있는 것으로 알려져 있으나, 선행연구결과에 대한 고찰결과, 표준오차 범위내에서 데이터가 분포하는 것으로 판단되어 1개월 동안 집중적으로 시료채취를 수행하였다.
- 현장 방문시 배양액 시료채취와 병행하여 시설원예농가의 배양액 관리실태에 대한 설문조사를 실시하였으며, 설문조사 내용은 시설원에 배양액처리와 관련된 현장 문제점 파악을 중심으로 구성하였다.

(2) 현장방문조사

- 주소록 확보 전체농가는 전국 229개 농가였으며, 이중 사전전화조사 과정에서 현장방문을 협조해 준 농가는 100여개 농가를 대상으로 조사활동을 진행하였다.



그림 2. 시설원에 배양액 관리실태

(3) 시설원예 배양액 이화학적 정상 분석

○ pH, EC, 총질소, 질산태질소, 암모니아태질소, 유기태질소, 총인, 유기태인, 가용성인, 이온, 음이온, 유해중금속(Pb, Cd, Cu, Zn, Ni 등), 필수미량원소(Mn, Fe 등), 병원균 분포실태(청고병, 역병 등 5종)에 대해 100여점의 시료를 대상으로 조사분석을 실시하였다.

표 6. 우리나라 도별, 작물별 양액재배 면적(ha) (농림통계연보, 2015)

구분	시설채소							시설화훼				총계
	딸기	토마토	파프리카	오이	멜론	기타	소계	장미	국화	기타	소계	
서울특별시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
대구광역시	3	12	0	0	0	3	17	0	0	2	3	20
대전광역시	3	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
부산광역시	0	17	0	0	0	0	17	0	0	2	2	19
울산광역시	0	0	2	0	0	47	49	0	0	27	27	76
인천광역시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
세종시	19	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	19
경기도	21	37	13	5	0	23	99	26	21	90	138	236
강원도	23	61	58	1	0	34	178	2	6	10	18	196
경상남도	302	64	187	1	0	16	569	0	0	0	0	569
경상북도	88	47	39	3	0	3	180	4	0	0	4	184
전라남도	95	157	53	29	1	41	376	16	4	4	24	399
전라북도	70	89	72	3	1	1	235	29	9	8	46	281
충청남도	36	95	90	2	0	52	275	7	19	36	62	336
충청북도	9	25	23	1	0	14	72	1	2	4	7	79
제주도	2	5	5	0	0	3	15	0	0	0	0	15
계	671	609	542	45	2	236	2,105	85	61	182	328	2,432



그림 3. 시설원예 배양액 병원균 분포실태 조사

나. 작목별 시설원에 재배농가 배양액 관리실태 현장조사 결과

(1) 딸기

(가) 충남 논산 딸기삼촌

- 충남 논산에 위치한 딸기삼촌농가는 비닐하우스내에 딸기를 고설재배방식으로 재배하고 있었으며, 양액재배를 통해 양분을 공급하고 있었다.
- 전체 재배면적은 4,000평으로 수확체험, 잼 만들기 체험시설을 함께 운영하고 현장에서 소비자 직거래 등을 실시하고 있었다.
- 작물에 공급하고 난 배양액은 소 배수로를 통해 폐기하고 있었으며, 초기시설비가 과다하다는 이유로 순환식시설을 설치하지 못하고 있었다.



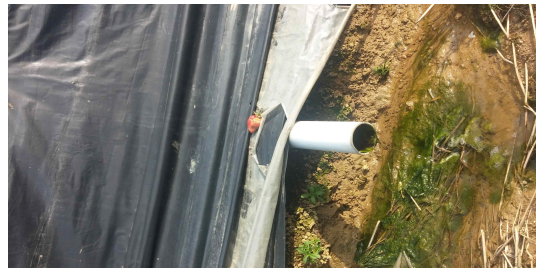
재배작목전경



하우스 전경



시설하우스



외부 배출구

그림 4. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(논산 딸기삼촌)

(나) 전북 완주 완연한 딸기

- 전북 완주군에 위치한 완연한 딸기는 비닐하우스 내에 딸기를 고설재배방식으로 재배하고 있었으며, 양액재배를 통해 양분을 공급하고 있었다.
- 전체 재배면적은 1,000평이며, 로컬푸드점, 소비자 직거래 등을 판매가 이루어지고 있으며, 양액공급량은 여름철 7.5ton/일, 겨울철에는 5.0ton/일을 공급하고 있었다. 배출량은 양액공급량의 20%를 배출하고 있었다.
- 작물에 공급하고 난 배양액은 배출조로 모이게 하고 인근 소하천으로 배출을 실시하고 있는 상황이었다. 순환식 시설을 설치할 경우 시설보조가 없는 상황에서 농가에 부담이 되는 상황이라고 하였다.



그림 5. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 완주 완연한 딸기)

(다) 전북 김제 주근깨딸기

- 전북 김제에 위치한 주근깨딸기 농장은 대형 비닐하우스를 설치하여 재배하고 있다.
- 전체 재배면적은 2,000평이며, 인근 공판장, 도매시장으로 출하하고 있으며, 양액공급량은 1일 15ton이며, 배출량은 양액공급량의 30%인 4.5ton을 배출하고 있었다.
- 작물에 공급하고 난 배양액은 배출조로 모이게 하고 인근 소하천으로 배출을 실시하고 있다. 순환식 시설을 설치할 경우 시설보조가 없는 상황에서 농가에 부담이 되는 상황이라고 하였다.



그림 6. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 김제 주근깨 딸기)

(라) 경남 산청

- 경남 산청에 위치한 하○○씨 딸기 농장은 대형 비닐하우스에 딸기를 재배하고 있으며, 전체 재배면적은 2,500평이며, 공판장 50%, 대형 유통업체에 50%로 판매가 이루어지고 있었다.
- 농장운영 경력은 20년 이상이며, 2~3인 고용인을 채용하여 운영하고 있었다.
- 1일 양액공급량은 4.0ton을 공급하고 있으며, 배출량은 양액공급량의 25%인 1.0ton을 배출하고 있었고, 딸기에 공급하고 난 배양액은 인근 농업용 배수로에 연결된 배출구를 통해 방류되고 있었고, 배수로는 하천으로 직접 유입되고 있었다.



그림 7. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(경남 산청 딸기농장)

(2) 토마토

(가) 경남 사천 봄춘농장

- 경남 사천에 위치한 봄춘농장은 비닐하우스 내 시설 토마토를 재배하고 있었으며, 암면을 통해 양액재배를 실시하고 있었다.
- 전체 재배면적은 1,800평으로 소비자 직거래 등을 통해 판매를 하고 있었다.
- 토마토에 양액을 공급하고 난 배양액은 매설된 저류조에 저장하였다가 수중모터를 통해 인근 농업용 배수로에 폐기하는 방식으로 배양액을 처리하고 있다.



그림 8. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(경남 사천 봄춘농장)

(나) 경남 사천 토마토 누리

- 경남 사천에 위치한 토마토누리는 시설 토마토를 비닐하우스에 재배하고 있으며, 암면을 통해 양액재배를 실시하고 있었다.
- 전체 재배면적은 2,000평으로 소비자 직거래 등을 통해 유통하고 있다.
- 토마토에 양액을 공급하고 배양액은 매설된 대형 저류조에 저장하였다가 수중모터를 통해 인근 농업용 배수로에 폐기하는 방식으로 처리하고 있다.



그림 9. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(경남 사천 토마토 누리)

(다) 전북 전주 농협공선출하회

- 전북 전북농협 공선출하회는 시설 토마토를 비닐하우스에서 양액재배를 하고 있었다.
- 재배면적은 1,000평으로 주로 공판장, 도매시장에서 출하를 실시하고 있는 상황이며, 양액 공급량은 10~12톤 가량이며, 배양액량은 2~3톤으로 약 20~25%의 비율이었다.
- 배양액 처리는 매설된 저류조에 저장하였다가 수중모터를 통해 인근 소하천에 폐기하고 있다.



그림 10. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 전주 전주농협공선 출하회)

(라) 전북 부안 아그리파크

- 전북 부안 아그리파크는 초기에 화훼용 장미를 생산하기 위해 유리온실을 설치하였으나, 최근 화훼에서 토마토로 작목을 변환하였다.
- 재배면적은 전체 9,000평이나 실제재배면적은 6,000평만을 활용하고 있었다.
- 양액공급량은 114톤이며, 배양액 양은 34톤으로 약 30%의 비율이 배출되고 있는 상황이었다.



그림 11. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 부안 아그리파크)

(3) 파프리카

(가) 전북 익산 하늘채 영농조합법인

- 전북 익산 하늘채 영농조합법인은 대형 파프리카 유리온실로 양액재배가 실시되고 있었다.
- 전체 재배면적은 8,000평으로 주요 판매는 공판장이나 도매시장으로 유통되고 있으며, 일부는 해외로 수출까지 하고 있다.
- 양액 공급량은 여름철에 100~120ton, 겨울철에는 25~30ton을 공급하고 있었으며, 배양액은 전체 공급량의 30%이 발생하고 있음. 온실내부에 누수된 배양액이 관측되기도 하였다.

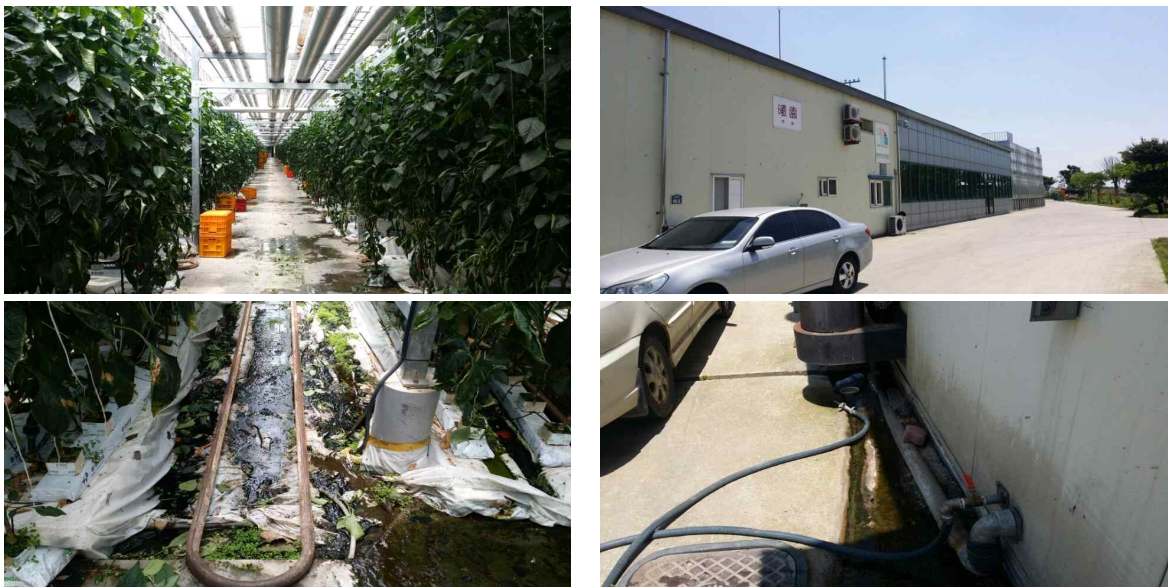


그림 12. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 익산 하늘채 파프리카 농장)

(4) 화훼

(가) 충남 서천 하늘화훼종묘 영농조합법인

- 충남 서천 하늘화훼종묘 영농조합법인은 대형 화훼(장미, 프리지아) 유리온실로 양액재배가 실시되고 있다.
- 전체 재배면적은 3,000평으로 장미의 경우 1,200평 면적에 수출이 90%, 공판장 10%로 유통되고 있고, 프리지아는 1,800평으로 수출이 10%, 공판장이 90%으로 출하하고 있다.
- 양액의 일 공급량은 4ton 가량을 공급하고 있었으며, 배양액은 전체 공급량의 30% 수준이 발생하고 있다. 온실내부에 저장조를 설치하여 모으고, 하천으로 방류하고 있었다.



그림 13. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(충남 서천 하늘화훼종묘)

(나) 전북 임실 청정원에

- 전북 임실 청정원에 영농조합법인은 대형 화훼(장미) 유리온실로 양액재배가 실시되고 있었으며, 공판장 도매시장에 출하하고 있다.
- 전체 재배면적은 8,000평으로 영농조합법인이 공동운영하고 있으며, 화훼수출 저조로 시설 및 경영에 어려움을 겪고 있는 상황이었다.
- 양액의 일 공급량은 50 ton가량을 공급하고 있었으며, 배양액은 전체 공급량의 30%수준인 15ton이 발생하고 있다. 순환식 장비가 있으나, 효율성이 떨어져 사용하지 않고 있다.



그림 14. 시설원예작물 재배전경과 배양액 관리실태(전북 임실 청정원에)

다. 작목별 시설원에 재배농가 배양액 관리실태 설문지 조사 결과

- 설문조사서에는 인적사항, 소재지, 종사기간, 시설재배면적, 양액공급량, 양액 배출량, 재배작목, 배양액 처리방식(순환식, 비순환식), 매출 및 소득, 출하방식, 경영형태(자가경영, 위탁경영), 기타 등으로 조사하였다.

농가번호

전국 시설원예농가 현황 조사서

언녕하세요?

본 조사는 시설원에 배양액의 재사용을 위한 연구개발을 실시하고 있습니다. 시설원예농가의 의견을 수렴하여 시설원에 경제수입·추진 및 시설원에 산업 발전에 귀중한 자료로 활용될 것입니다.

특히 조제 등의 타목적으로 사용되지 않으므로 정확한 답변을 부탁드립니다. 소중한 정보는 법령에 의해 보호됩니다.

I. 응답자(농가) 일반 현황에 대한 조사입니다.

1. 성명 및 연락처 : 성명 _____ 전화번호(- -) _____

2. 농장소재지 : _____ 도 _____ 시·군 _____ 읍·면·동 _____ 리(반) _____ 번지

3. 귀하의 성별은? ① 남자 ② 여자

4. 귀하의 생년월일은? 19____년 ____월 ____일

5. 귀하가 시설원예업에 종사하신 기간은 얼마나 되십니까?
 ① 1년 미만 ② 1년 이상 - 2년 이내 ③ 2년 이상 - 3년 이내
 ④ 3년 이상 -5년 이내 ⑤ 5년이상 -10년 이내 ⑥ 10년이상 -20년 이내 ⑦ 20년 이상

II. 다음은 시설원에 배양액 현황에 대한 조사입니다

1. 귀하의 시설원에 배양액은 몇 평입니까? (단위:평) 약 _____ 평

2. 수경재배를 재배하고 있는 대상작물은 무엇입니까? ① 전업식물 ② 채소 ③ 화훼

3. 귀 농장 수경재배시 하루 배양액 공급량은 얼마정도입니까? 약 _____ 문

4. 귀 농장에서 하루 배양액 배출량은 얼마정도입니까? 약 _____ 문

※ 상기는 배양액의 재사용을 위한 배출량 정보만 파악하기 위해 실시하고 있습니다. 대략의 수치를 기입해 주시기 바랍니다.

5. 수경재배 배양액의 처리방식은 무엇입니까?
 ① 순환식 ② 비순환식 ③ 살균처리 ④ 기타

- 1 -

6. 다음은 2014년(작년기준) 한 배의 수입과 지출에 관한 질문입니다.

작물재배 경영 (단위:백만원)	
㉠ 인 총수입	백만원
㉡ 연 총지출	백만원
㉢ 연 소 득(㉠-㉡) (+ 또는 - 반드시 표기)	백만원
㉣ 금융 부채액	백만원
㉤ 외상 부채액	백만원

7. 수경재배 이외의 수입이 있습니까? ※ 귀하의 전체 수입을 %로 기입하여 주세요.
 ① 수경재배(%) ② 축산업(%) ③ 농업(수경재배이외)(%)
 ④ 식용가공업(%) ⑤ 가공식품판매업(%) ⑥ 기타 (%)

8. 귀하의 시설내 재배중인 작물의 종류는 무엇이며 시설내 차지하는 비중은 각각 얼마나 됩니까? (예: 파프리카 30%, 토마토 20%)
 ㉠ _____ % ㉡ _____ % ㉢ _____ % ㉣ _____ %

9. 귀하께서 생산한 작물은 주로 어디로 출하를 하십니까? (단위:%)
 ㉠ 식용가공공장(%) ㉡ 공판장·도매시장 (%)
 ㉢ 대형유통업체(%) ㉣ 식소비자적거래(%) ㉤ 기타: (%)

10. 농장의 경영은 주로 어떤 형태로 이루어지고 있습니까?
 ① 자가경영 ② 위탁경영

11. 귀하의 농장운영은 어떤 형태로 이루어져 있습니까?
 ① 자기(부부) ② 가족(부부의 자녀 등) ③ 공동운영(영농조합법인 등)
 ④ 1인고용 ⑤ 2~3인고용 ⑥ 4인 이상고용

12. 귀하께서 수경재배사업과 관련하여 정부에 바라는 사항이 있으면 말씀하여 주십시오.
 ※ 경영자금 지원, 시설자금 지원, 경영 컨설팅, 법제도 간소화 등

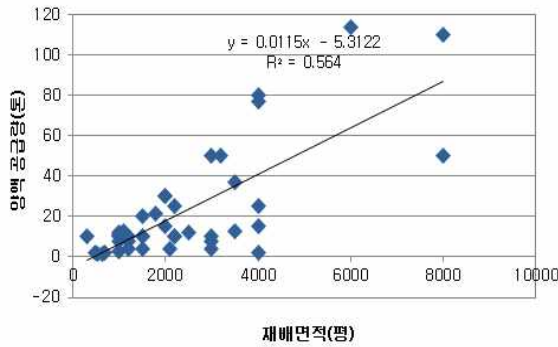
< 설문에 응해 주셔서 대단히 감사합니다. >

- 2 -

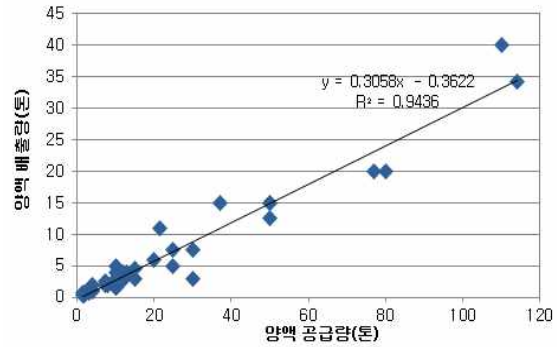
그림 15. 전국 양액재배농가 현황 조사 설문지 사본

- 최종 설문결과 설문협조 농가는 44개소이며, 현장 방문시 설문을 실시하였으며, 설문조사 결과 주요 재배작물은 시설채소의 경우 딸기, 토마토가 39개 농가였으며, 파프리카 2개 농가, 장미 3개 농가였다.
- 설문지 조사 내용을 통해 재배작물은 토마토와 딸기가 주로 재배되었으며, 파프리카, 장미, 프리지아 등이 재배 되고 있었다.
- 운영형태는 자가운영 또는 조합법인으로 운영되고 있었으며, 1일 고용인은 대체로 1명~3명 등 고용으로 운영하고 있었다.
- 농민들의 연령대는 50대가 17명으로 가장 많았으며, 다음으로 40대 11명, 60대 9명 순으로 종사하고 있었다.
- 농민들의 평균종사 기간은 3년~5년 15명, 5년~10년 13명, 2년~3년 9명으로 종사하고 있었다.

- 전체 시설재배농가의 재배면적당 양액 공급량은 다양하게 분포되고 있으나 재배면적이 클수록 공급량은 증가하는 경향을 보이고 있었다.
- 전체 시설재배농가의 양액 공급에 대한 배출량 비는 일정한 비율을 유지하면서 증가하고 있는 경향을 보이고 있었다.



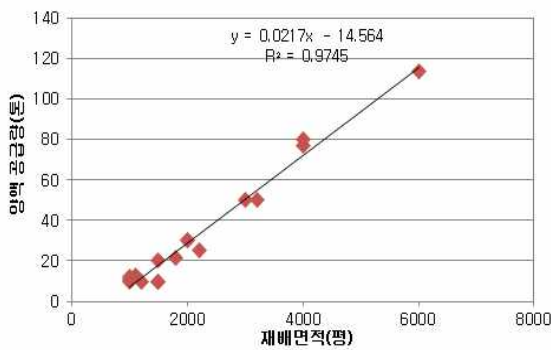
재배면적에 따른 양액 공급량



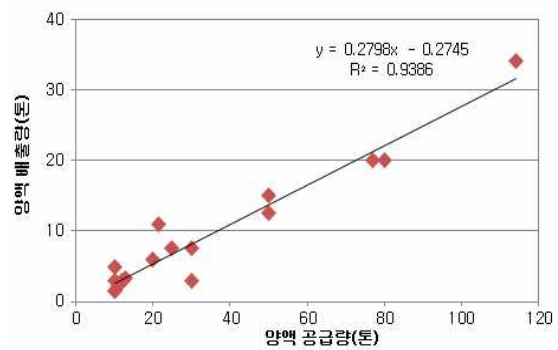
양액 공급량에 따른 양액 배출량

그림 16. 설문조사 농가 양액 공급량 및 배출량 현황

- 토마토 재배시설은 면적이 증가할수록 공급하는 양액의 양은 증가하는 경향을 보이고 있다.
- 토마토 재배시설의 양액 공급량에 대한 배출량의 비는 15~30%의 수준이며, 공급하는 양액의 양이 증가할수록 일정한 비율을 유지하면서 배출량이 증가하는 경향을 보이고 있다.



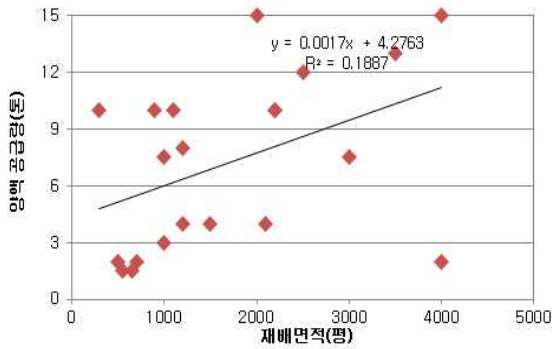
토마토 재배면적에 따른 양액 공급량



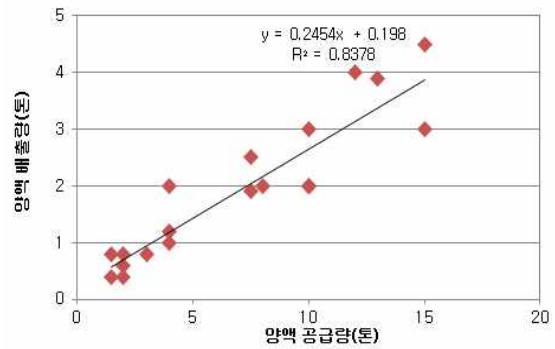
토마토 양액 공급량에 따른 양액 배출량

그림 17. 토마토 양액 공급량 및 양액 배출량 현황

- 딸기 시설재배농가는 재배면적과 양액 공급량은 재배농가별로 차이를 보이고 있었으며, 토마토와는 달리 일정한 비율을 보이지는 않았다.
- 여러 형태의 농가가 존재하지만 딸기 재배농가의 양액 공급량에 대한 배출량의 비는 20~30% 사이의 경향을 보이고 있었다.



딸기 재배면적에 따른 양액 공급량



딸기 양액 공급량에 따른 양액 배출량

그림 18. 딸기 양액 공급량 및 양액 배출량 현황

라. 작목별 시설원예 재배면적 조사 및 분석

(1) 조사방법

- 지역별 시·군의 재배작목별 면적을 구하기 위해 농식품부, 시도시설원예담당에 자료협조 요청을 실시하였고, 시군별 구체적인 자료 확보가 불가능한 지역은 직접 전국 252개 시군에 직접 자료요청을 실시하였다.
- 정보 요청을 통해 받은 지역별 재배작목별 면적은 행정코드별로 분리하여 분할하였고, 도별 시·군 재배 면적을 분할하였다.
- 시·군 재배 면적 GIS 맵핑 작업, 도별, 시·군별 면적을 GIS 지도화, 재배작물 별 GIS 지도화 작업을 실시하였다.

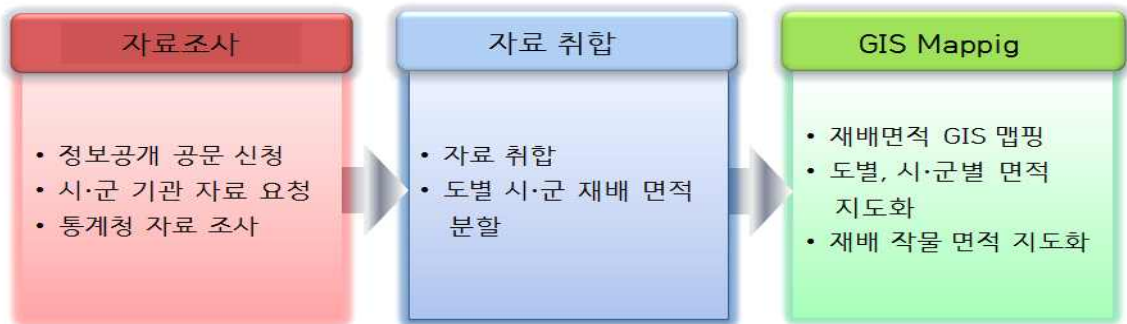


그림 19. 전국 양액재배농가 면적 GIS자료 구축

군구명	면적	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배	양액재배
경주시	25	0.4	0.5	7.7	0.1	0.0	0.0	0.0	5.5	9.3
중령시	8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
태백시	2	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
속초시	1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
삼척시	8	6.6	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
홍천군	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
횡성군	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
영월군	1	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
평창군	39	10.0	5.0	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
정선군	3	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
철원군	34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.5	0.0	0.0
화천군	14	0.0	12.3	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
양구군	15	4.0	3.1	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
인제군	13	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
고성군	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
양양군	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
수원시 장안구	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
수원시 영통구	1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6
수원시 팔달구	1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6
수원시 영통구	1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6
성남시 수원구	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
성남시 용문구	2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6
성남시 분당구	2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	0.6
의정부시	1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3
안양시 만안구	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
안양시 동안구	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2
부천시 원미구	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.1	1.1
부천시 소사구	1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.5

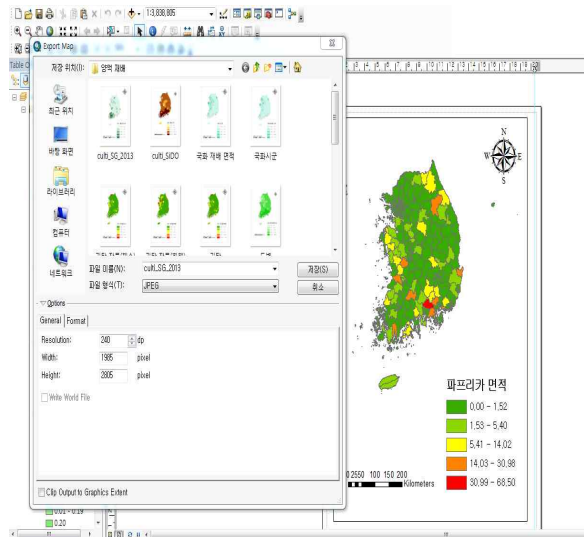


그림 20. 시군별 양액재배 현황 DB화 및 GIS맵핑

(2) 지역별 양액재배면적 현황 분석

(가) 시도별 양액재배현황

- 양액재배가 가장 높은 지역은 경상남도이며 569ha로 가장 높은 것으로 조사되었고, 다음으로 전라남도가 399ha, 충청남도 336ha, 전라북도 281ha 순으로 나타났다.
- 시도별 양액재배 현황 자료조사 결과, 시설채소의 경우 전체면적은 2,105ha로 조사되었으며, 시설화훼 양액재배면적은 328ha로 조사되었다.
- 시도별로 시설채소의 경우 경상남도(509ha), 전라남도(376ha), 충청남도(275ha), 전라북도 (235ha) 순으로 재배면적이 많은 것으로 분석되었고, 시설화훼의 경우 경기도(138ha), 충청남도(62ha), 전라북도(46ha), 울산광역시(27ha) 순으로 재배면적 비율이 높게 나타났다.
- 시설채소의 재배작목별로 딸기의 경우 경상남도(302ha), 토마토는 전라남도(157ha), 파프리카는 경상남도(187ha)에서 높은 것으로 분석되었다.
- 시설화훼 양액재배의 경우 재배작목별로 장미의 비중이 가장 높은 것으로 분석되었고, 최대 생산지역은 전라북도로 29ha에서 재배되었고, 국화는 경기도에서 21ha로 높은 비율을 차지하고 있었다.
- 시·군 재배 면적 GIS맵핑 작업, 도별, 시·군별 면적을 GIS 지도화, 재배 작물별 GIS 지도화 작업을 실시하였다.

표 7. 시군별 양액재배 면적(ha)

구분	시설채소							시설화훼				총계
	딸기	토마토	파프리카	오이	멜론	기타	소계	장미	국화	기타	소계	
서울특별시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
대구광역시	3	12	0	0	0	3	17	0	0	2	3	20
대전광역시	3	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
부산광역시	0	17	0	0	0	0	17	0	0	2	2	19
울산광역시	0	0	2	0	0	47	49	0	0	27	27	76
인천광역시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
세종시	19	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	19
경기도	21	37	13	5	0	23	99	26	21	90	138	236
강원도	23	61	58	1	0	34	178	2	6	10	18	196
경상남도	302	64	187	1	0	16	569	0	0	0	0	569
경상북도	88	47	39	3	0	3	180	4	0	0	4	184
전라남도	95	157	53	29	1	41	376	16	4	4	24	399
전라북도	70	89	72	3	1	1	235	29	9	8	46	281
충청남도	36	95	90	2	0	52	275	7	19	36	62	336
충청북도	9	25	23	1	0	14	72	1	2	4	7	79
제주도	2	5	5	0	0	3	15	0	0	0	0	15
계	671	609	542	45	2	236	2,105	85	61	182	328	2,432

자료: 농림통계연보(2015), 각 시군 지자체 통계자료 인용

(나) 시군별 양액재배 면적 분석

- 양액재배가 가장 높은 지역은 경상남도 진주시였으며, 다음으로 전라남도 보성군, 경상남도 산청군 순으로 분석되었다.
- 재배작목별 시설채소에서 딸기는 경상남도 산청군이 109ha로 가장 높았고, 토마토는 전라남도 보성군이 68ha, 파프리카는 경상남도 진주시가 69ha, 오이는 전라남도 보성군이 28ha, 멜론은 전라북도 순창군이 0.8ha로 나타났다.
- 시설화훼 작물 가운데 장미는 전라북도 임실군이 13ha로 가장 높은 지역으로 나타났고, 다음으로 전라남도 강진군이 12ha, 경기도 평택시가 11.7ha로 나타났다. 또한, 시설화훼 중 국화는 충청남도 서산시가 7.2ha로 가장 높게 나타났고, 강원도 강릉시가 5.5ha, 다음으로 전라북도 완주군이 4.0ha으로 나타났다.

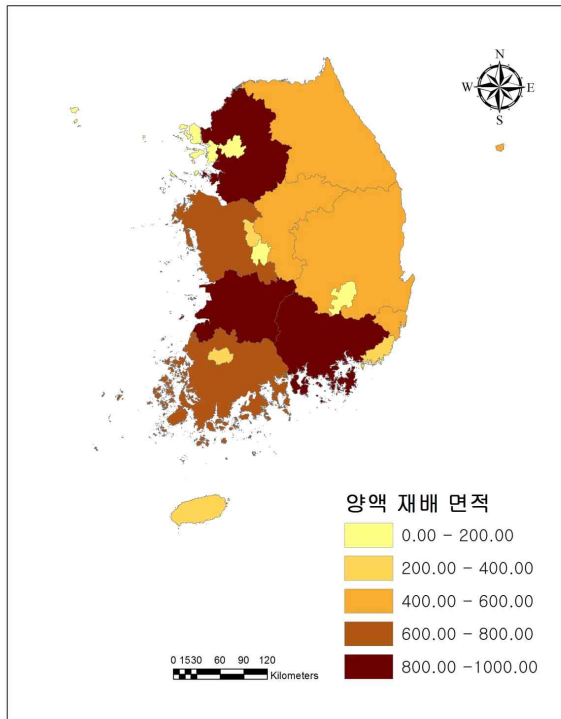


그림 21. 시도별 양액재배 면적(ha)분포 현황

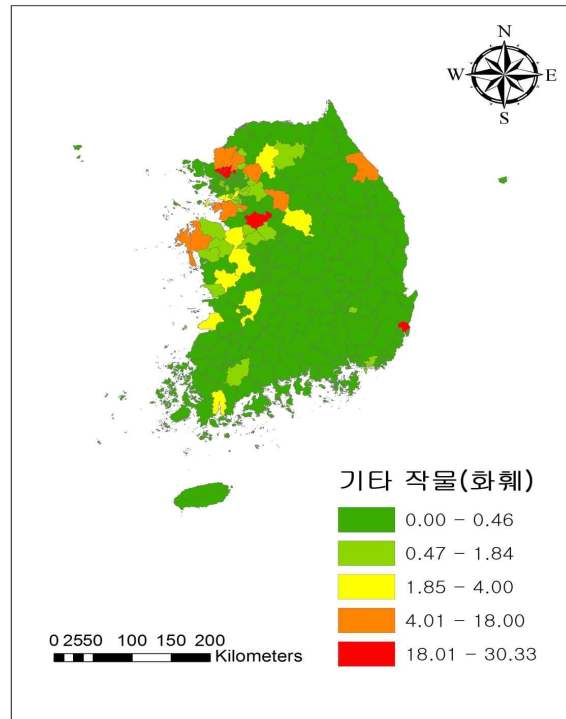


그림 22. 시군별 작물(화훼) 양액재배 면적(ha)분포

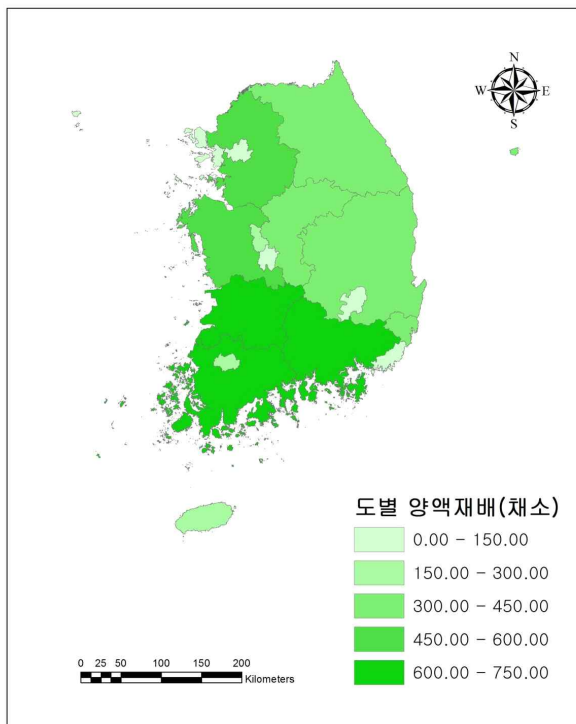
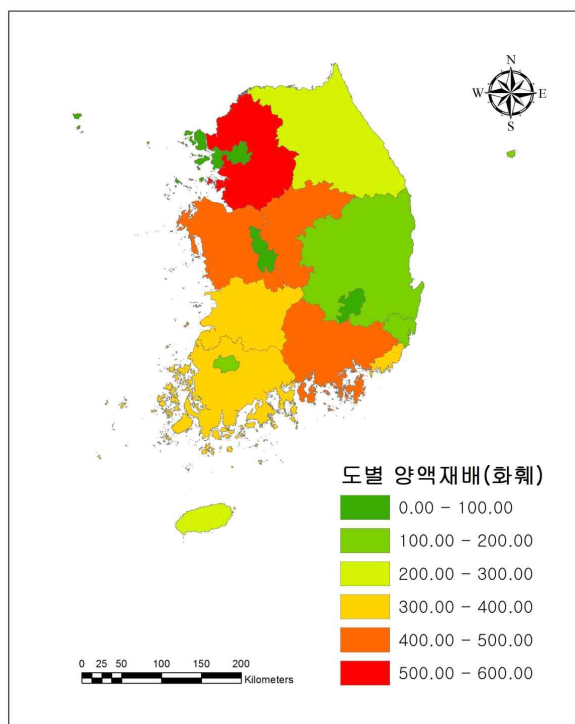


그림 23. 시도별 채소 및 화훼 양액재배 면적(ha)분포 현황



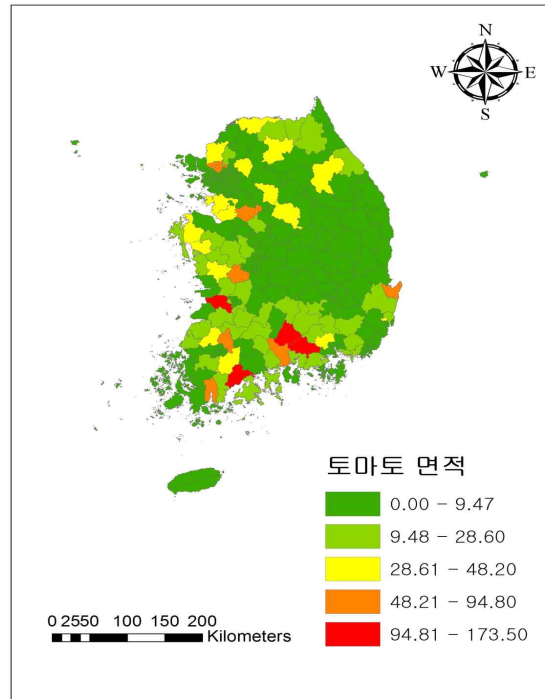
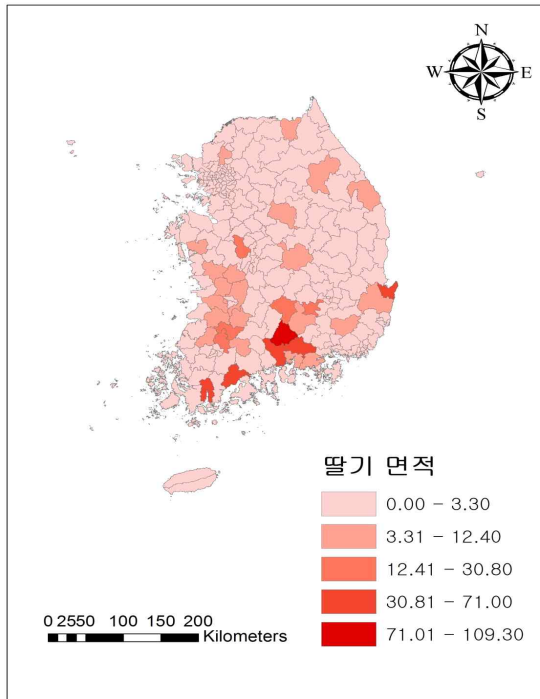


그림 24. 시군별 딸기 및 토마토 양액재배 면적(ha)분포 현황

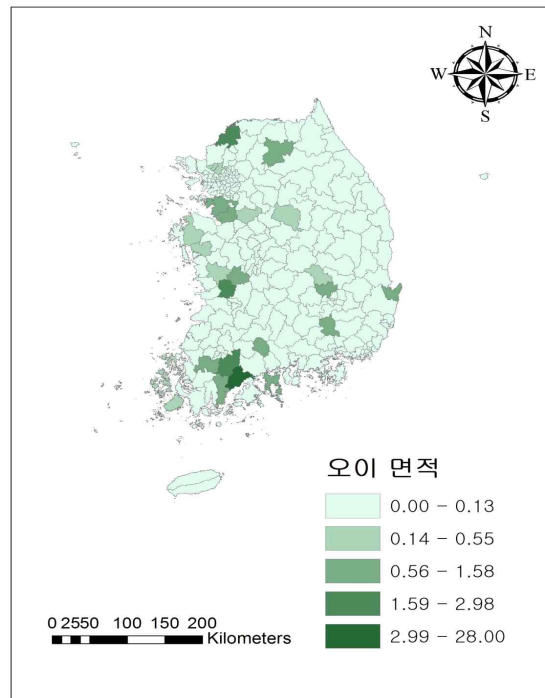
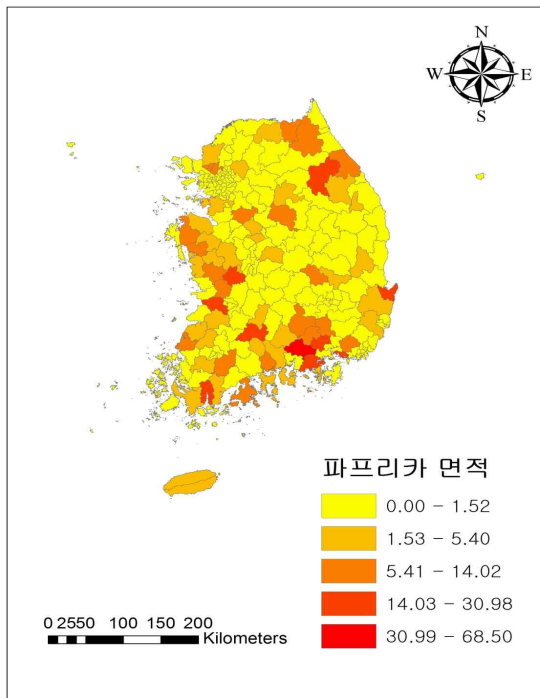


그림 25. 시군별 파프리카 및 오이 양액재배 면적(ha)분포 현황

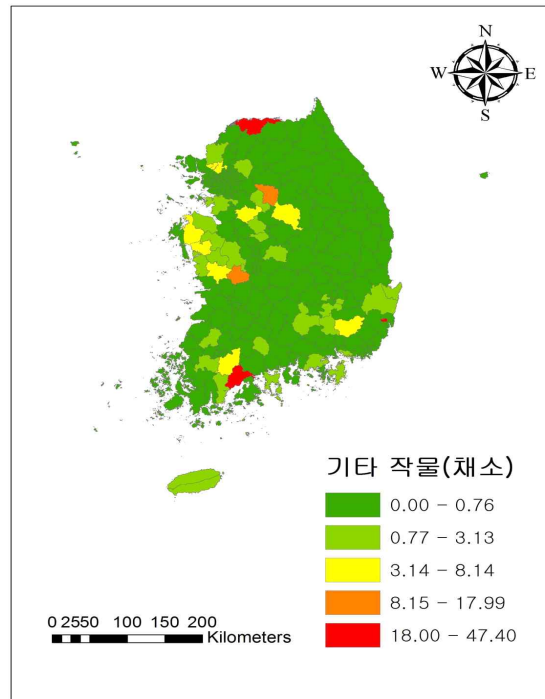
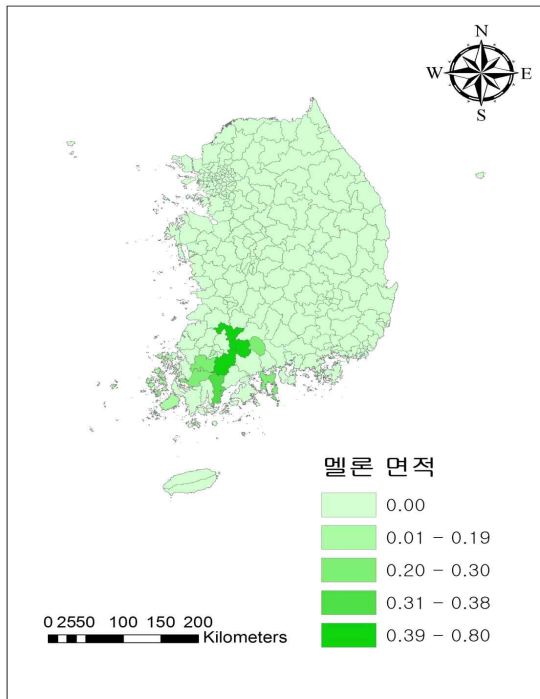


그림 26. 시군별 멜론 및 기타채소작물 양액재배 면적(ha)분포

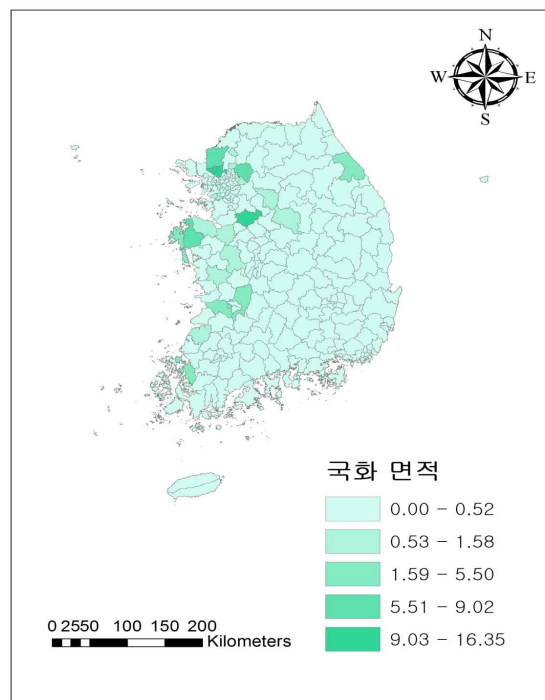
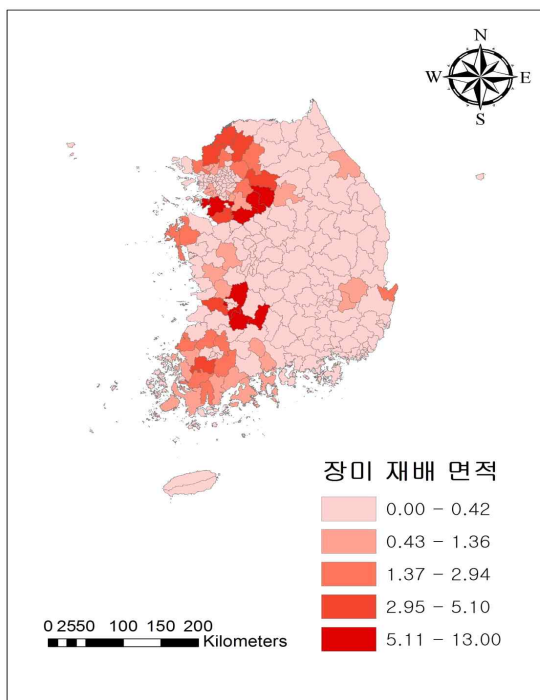


그림 27. 시군별 장미 및 국화 양액재배 면적(ha)분포

마. 시설원예 배양액 화학성분 분석결과

(1) 배양액 수질분석

○ 수질분석은 환경부의 수질오염공정시험법(2012)에 기준하였다. 수질시료중 pH와 EC는 각각 pH-meter(TOA-20S, JAPAN)와 전기전도도계(ES-METER, GERMANY)를 사용하였으며, 총질소는 켈달중류법, 암모니아태질소와 질산태질소는 환원중류법과 이온크로마토그래피를 사용하였으며, 총인은 Brucine법, 양이온, 중금속과 미량원소는 유도결합플라즈마분광광도계법으로 그리고 음이온 성분은 이온크로마토그래피(DX-120, DIONEX, Sunnyvale, CANADA)를 이용하여 분석하였다.

(2) 배양액 수질분석결과

○ 배양액중 pH는 작물별로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 보통 pH 6.3-6.7의 범위를 나타내었다. 전기전도도는 각 작물별로 큰 차이를 나타내었는데, 화훼류가 3dS/m 수준으로 가장 높게 나타났고, 파프리카는 1.5dS/m 수준을 나타내었다. 총질소의 농도는 화훼류가 약 4,900mg/L, 파프리카가 2,400mg/L, 토마토가 4,480mg/L, 그리고 딸기가 3,350mg/L를 나타내어 재배작물별로 큰 차이를 나타내었다. 시설원예 배양액중 총질소의 농도는 우리나라 ‘수질 및 생태계 보전에 관한 법률’의 산업체 폐수배출기준의 총질소 40mg/L를 10배 이상 초과하는 고농도로 하천으로 배출될 시 농업비점오염원으로 작용할 수 있는 수준으로 평가되었다. 암모니아태질소와 질산*-태질소 역시 200mg/L을 상회하여 배양액중 농도가 매우 높은 것으로 평가되었다.

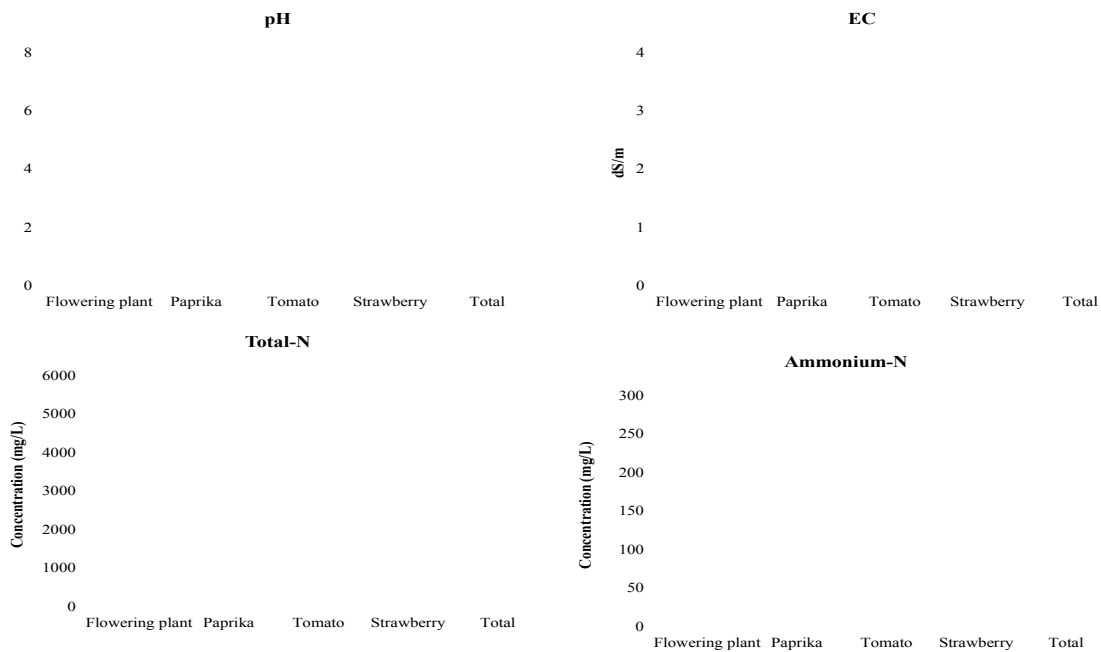


그림 28. 시설원예 배양액의 pH, EC, Tota-N과 Ammonia-N 농도

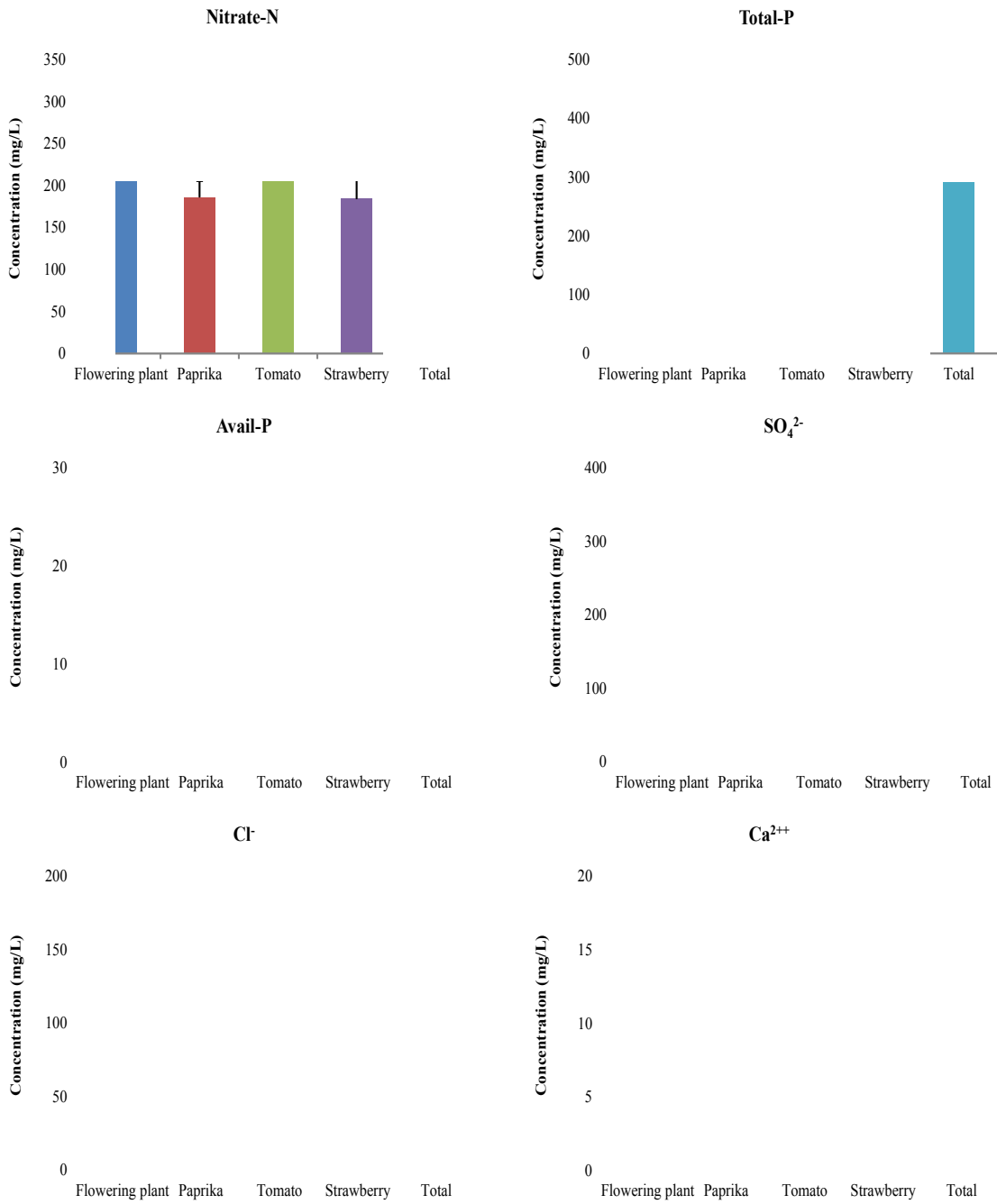


그림 29. 시설원에 배양액의 Avail-P, Sulfate, chloride 및 calcium 이온 농도

○ 배양액중 음이온인 황산이온과 염소이온의 농도는 재배작물별로 큰 차이를 나타내었으며, 기본적으로 화훼작물 재배 배양액중 음이온의 농도가 높게 나타났다. 대표적인 양이온인 칼슘 이온의 경우에도 화훼작물 재배 배양액에서 가장 높게 나타났다.

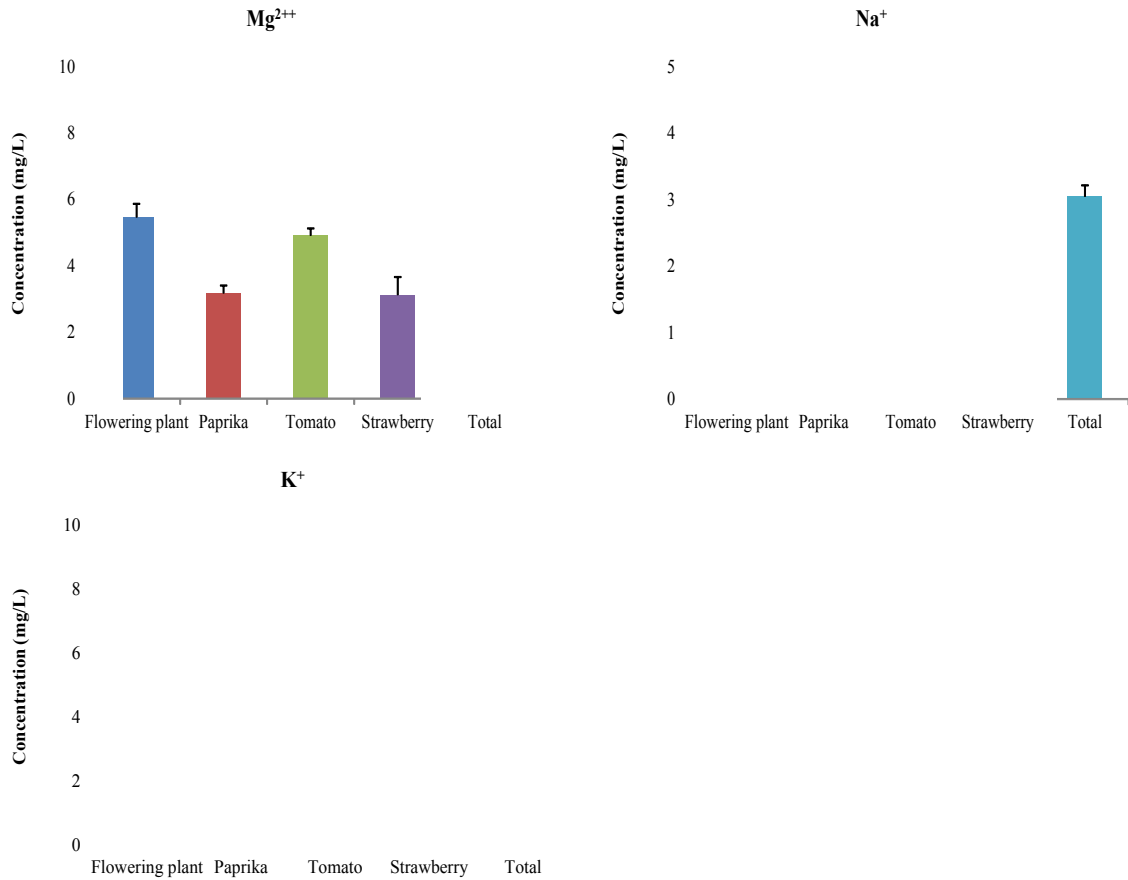


그림 30. 시설원예 배양액의 magnesium, sodium 및 potassium 농도

- 배양액중 마그네슘, 나트륨, 칼리의 농도는 재배작물별로 큰 차이를 나타내지 않았으나, 배출농도는 작물의 생장에 만성적인 독성을 유발할 수 있는 수준으로 평가되었다.
- 배양액중 중금속(Pb, Cd, Cu, Zn)과 필수미량원소(Co, Mo, Fe, Mn, Ni, Se)은 극미량 또는 불검출로 나타났다.

표 8. 시설원예 배양액중 중금속(Cd, Cu, Zn, Pb)의 농도

구분	Cd				Cu				Pb				Zn			
	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기
평균	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.16	0.05	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.26	0.17	0.26	0.31
중앙값	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.14	0.05	0.06	0.05	0.03	0.03	0.03	0.25	0.18	0.25	0.28
표준편차	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.07	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.23	0.22
최소값	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.11	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.23	0.05	0.02	0.07
최대값	0.01	0.02	0.01	0.01	0.09	0.32	0.08	0.21	0.06	0.03	0.03	0.03	0.33	0.25	0.56	0.69
시료수	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

표 9. 시설원예 배양액중 식물미량원소(Fe, Mn, Mo, Ni)의 농도

구분	Fe				Mn				Mo				Ni			
	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기	화훼류	파프리카	토마토	딸기
평균	1.06	0.82	0.84	0.46	0.77	0.09	0.05	0.10	0.08	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
표준오차	0.11	0.05	0.11	0.03	0.06	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
중앙값	1.08	0.84	0.80	0.45	0.71	0.08	0.05	0.11	0.08	0.08	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
표준편차	0.28	0.13	0.32	0.08	0.30	0.02	0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03
최소값	0.67	0.67	0.48	0.34	0.34	0.06	0.03	0.04	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
최대값	1.44	1.05	1.33	0.60	1.44	0.12	0.07	0.15	0.11	0.15	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.09
시료수	25	25	25	25	100	25	25	25	25	100	25	25	25	25	100	25

○ 결론적으로, 시설원예농가에서 무단 방류처리 되고있는 배양액중 잠재적인 수질오염원이 될 수 있는 질소, 인산, 칼슘 그리고 칼륨의 함량은 매우 높은 수준으로 나타났다. 현재와 같이 수권 생태계에 무단방류될 경우 농업비점오염원으로 작용할 가능성이 높아 방류전 수질정화처리 또는 농경지로의 재활용이 필요한 수준으로 나타났다. 반면, Cu, Zn과 같은 식물필수미량원소 그리고 Pb, Cd와 같은 중금속 오염물질의 농도는 극미량 수준으로 무단 방류된다고 하더라도 수권 생태계에 영향을 끼치지 않는 수준으로 나타났다.

바. 시설원예 배양액 처리에 따른 식물권, 수권, 토양권 환경영향 평가

(1) 시설원예 배양액 농경지 재처리시 토양 특성 변화 조사

- 우리나라 약용작물 가운데 수요/공급이 가장 많은 길경(도라지), 산약(마) 그리고 원예작물 가운데 재배면적이 넓고 시험포장(장수군) 지역 특화작목인 사과를 선정하였다.
- 시험처리구는 아래 표 10과 같고, 처리량은 농업과학원 작물별 시비량 기준표에 준하여 처리하였다. 기비는 작물 파종 10일전에 처리함으로써 식물영양물질이 평형에 도달하도록 하였으며, 추비는 각 작물별 생육단계에 맞춰 처리하였다.
- 도라지의 표준시비량은 10a 기준으로 기비 4.5kg N, 18kg P, 15kg K, 1차 추비 2.3kg N, 2차 추비 2.2kg N이며, 기비는 4월 3일 - 4월 7일 사이에, 1차 추비는 6월 20일 - 25일 사이에, 그리고 2차 추비는 7월 30일 - 8월 5일 사이에 처리하였다. 산약의 표준시비량은 10a 기준으로 기비 19kg N, 17kg P, 20kg K, 1차 추비 13kg N, 2차 추비 11kg N이며, 분시 시기는 도라지와 거의 유사하게 처리하였다. 사과의 표준시비량은 10a 기준으로 기비 3.0kg N, 2.0kg P, 1.8kg K, 1차 추비 2.0kg N, 1.2kg K 그리고 2차 추비 5.0kg N 2.0kg P, 3.0kg K이며, 분시 시기는 도라지와 거의 유사하게 처리하였다.
- 각 작물별, 처리구별 배양액 처리량은 도라지의 경우 기비 처리시 75ton/10a, 추비 처리시 37ton/10a 수준이었고, 산약의 경우 기비 처리시 320톤/10a, 추비 처리시 283ton/10a 수준이었으며, 사과의 경우 기비 처리시 80톤/10a, 추비 처리시 40ton/10a 수준이었다.

표 10. 시험구 처리내용

처리구	분시비율	비고
A	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	전체 화학비료 처리구
B	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	기비(배양액), 1차+2차 추비(화학비료처리구)
C	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	전체 배양액 처리구
D	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	기비(화학비료), 1차+2차 추비(배양액 처리구)



그림 31. 시설원예 배양액 작물 재활용 연구시험포장 전경

○ 토양특성 변화조사

- 토양 pH : 사과, 산약, 도라지 3개 작물 재배지의 작물종류별, 시설배양액 처리에 따른 토양 pH의 변화가 유의성있게 나타나지 않았다.

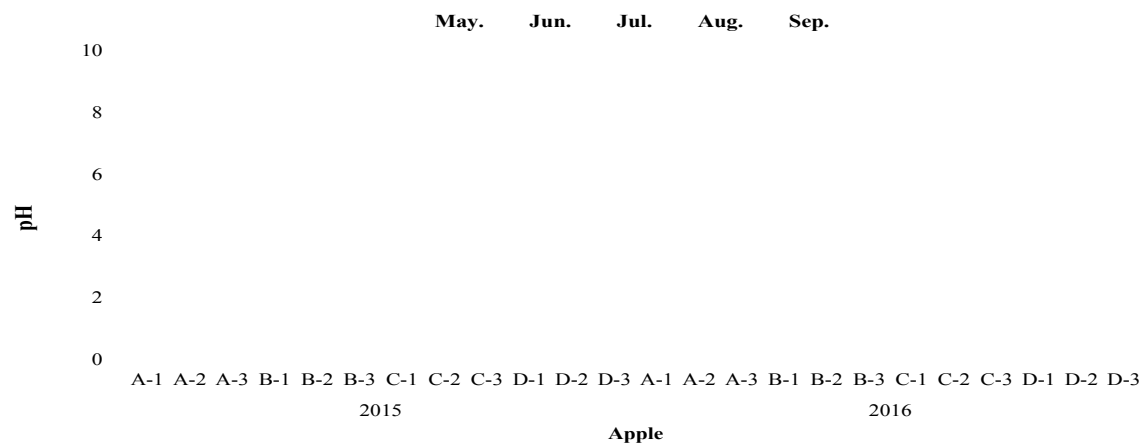
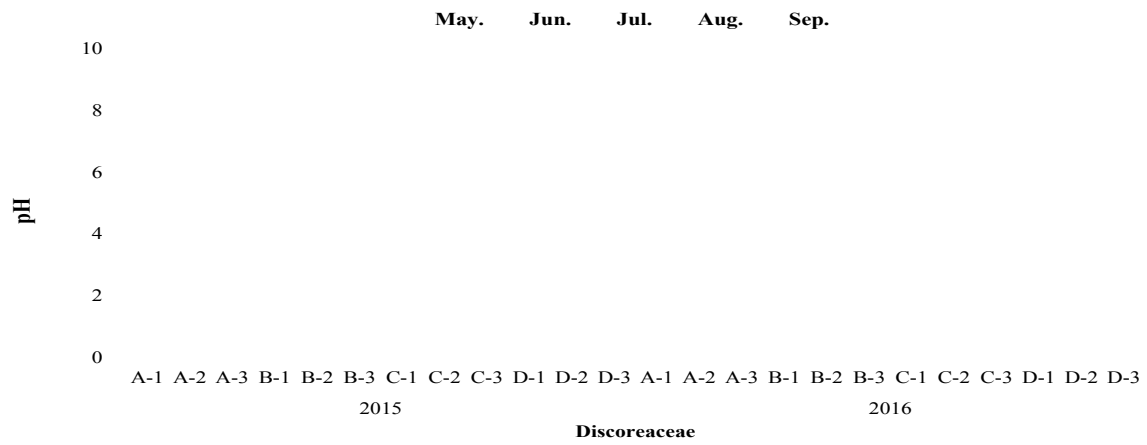
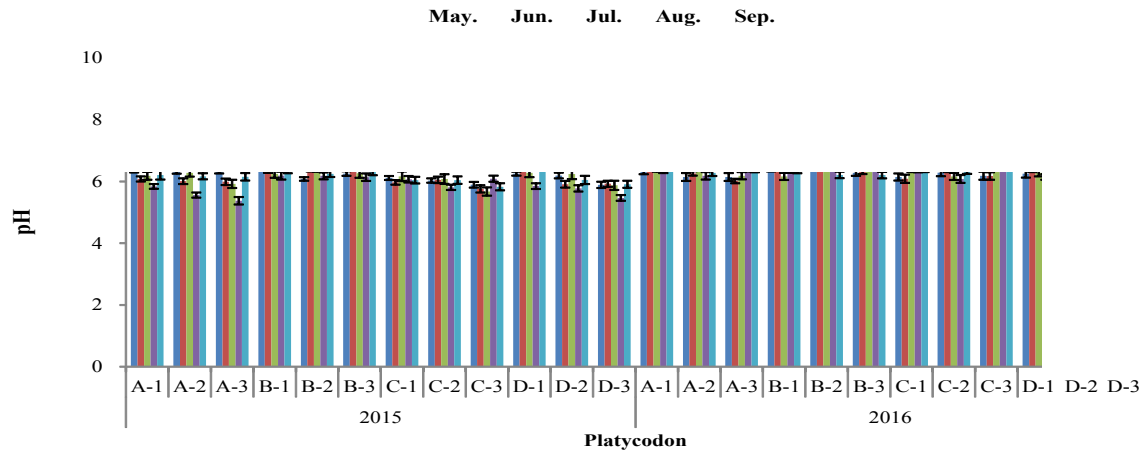


그림 32. 처리구별 토양 pH의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 토양 전기전도도 : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 2015년도에는 EC의 변화가 크게 나타났지만, 2016년도에는 비교적 변화가 나타나지 않았다. 작물별로는 산약 재배지에서 전기전도도가 가장 높게 나타났고, 도라지 재배지에서 가장 낮게 나타났다. 산약재배지는 흑색비닐필름으로 피복되어 있어 자연강우에 의한 세척효과가 거의 나타나지 않은 반면, 도라지 재배지는 흑색비닐필름 피복이 되어 있지 않아 자연강우에 의한 세척효과가 크게 나타나 이같은 결과를 나타낸 것으로 추정된다.

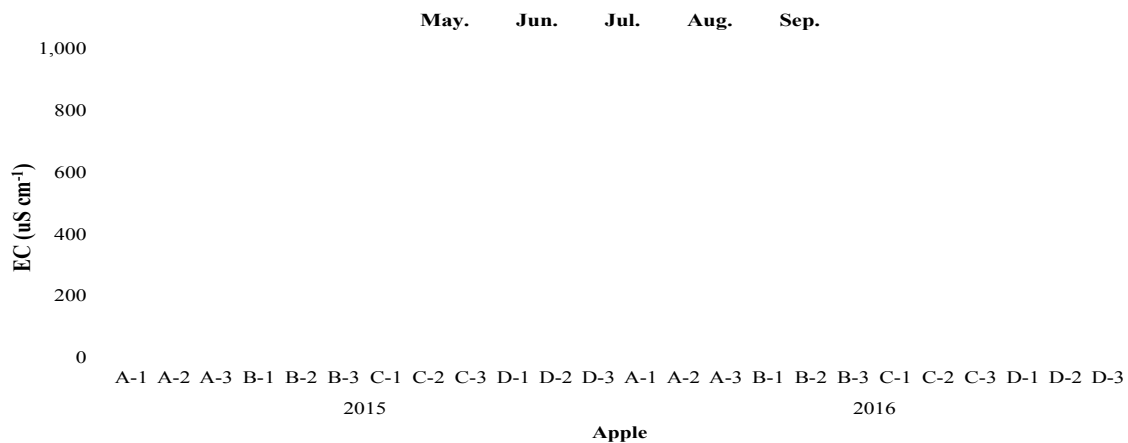
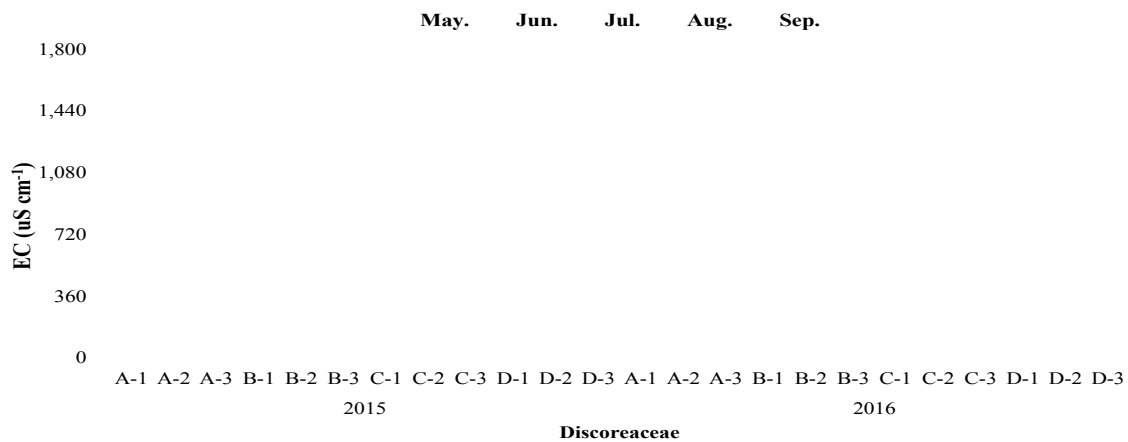
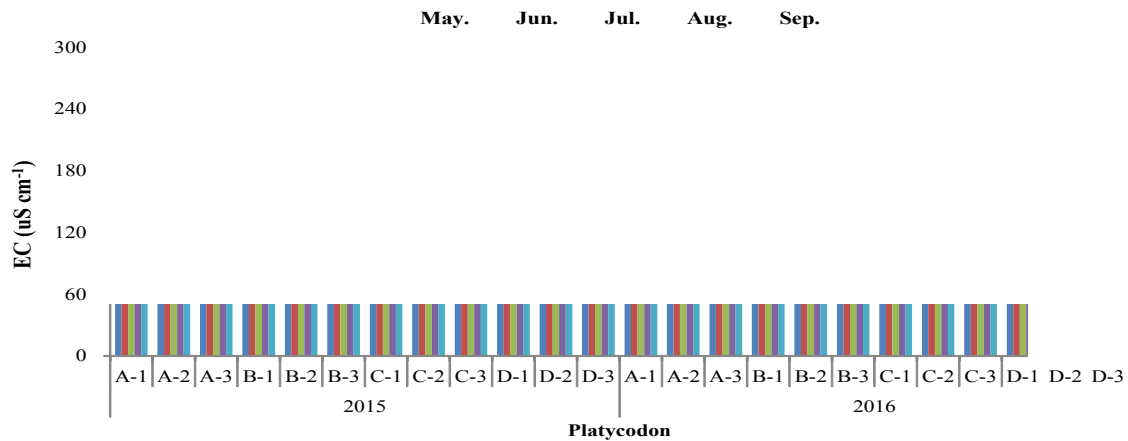


그림 33. 처리구별 토양 EC의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 총질소 : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 2015년도에는 총질소의 변화가 크게 나타났지만, 2016년도에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 작물별로는 사과재배지에서 총질소의 농도가 가장 높게 나타났고, 도라지와 산약은 거의 유사한 수준이었다. 사과재배지에서 총질소의 농도가 높게 나타난 것은 사과의 경우 다년생작물로 시비된 식물영양성분이 다년간 축적되었기 때문인 것으로 판단된다.

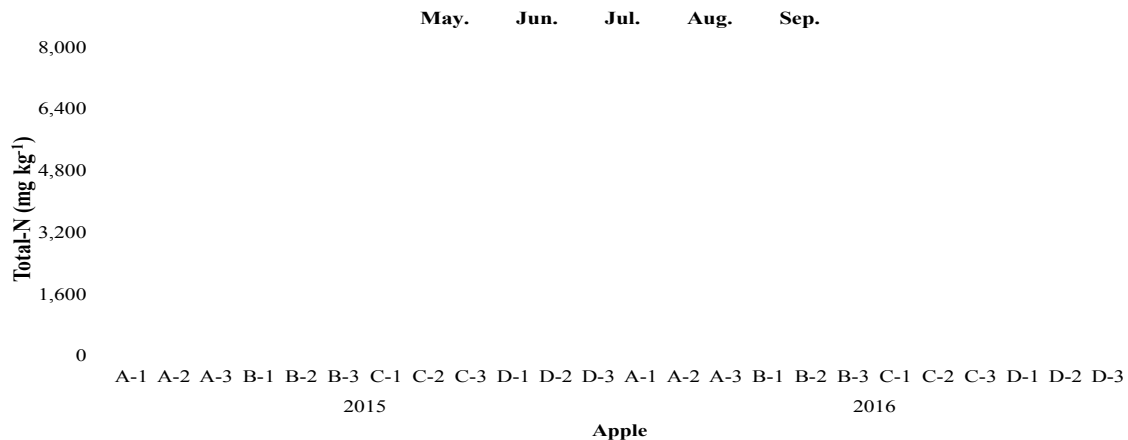
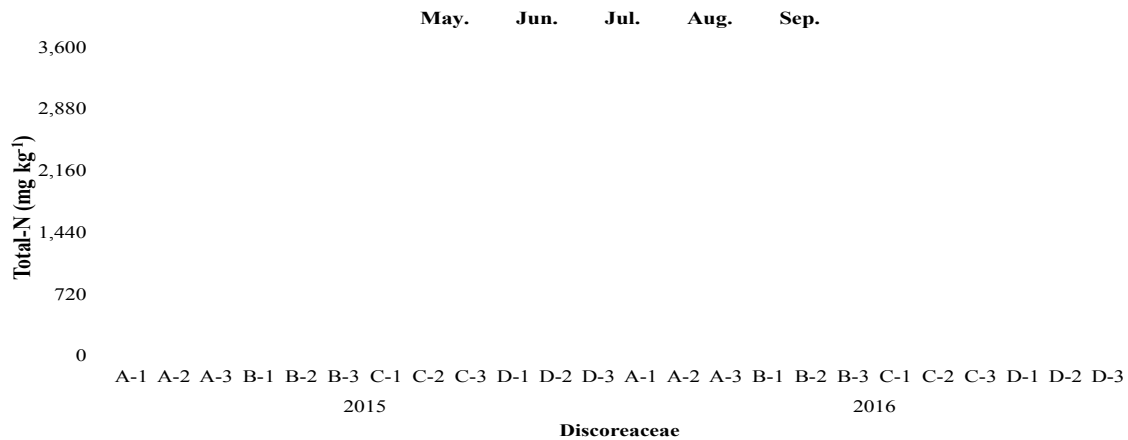
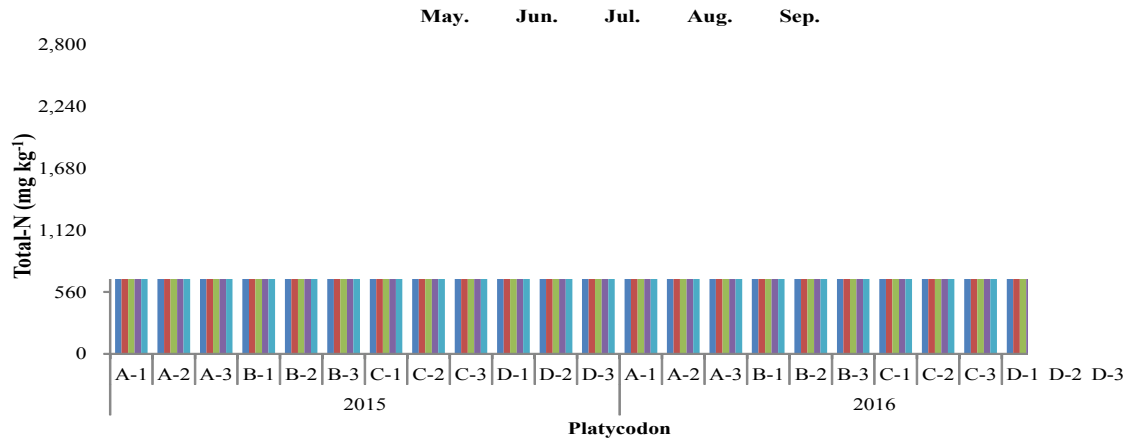


그림 34. 처리구별 토양 총질소의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 유효인산 : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 2015년도에는 유효인산의 변화가 크게 나타났지만, 2016년도에는 큰 변화가 나타나지 않았다. 산약의 경우, 2016년도에 높게 나타난 반면, 사과는 2016년도에 낮게 나타났다. 도라지의 경우 연차별로 큰 차이가 나타나지 않았다. 토양중 분포하는 유효인산의 함량은 시설원예 배양액 처리에 따라 크게 증가하지 않은 것으로 판단된다.

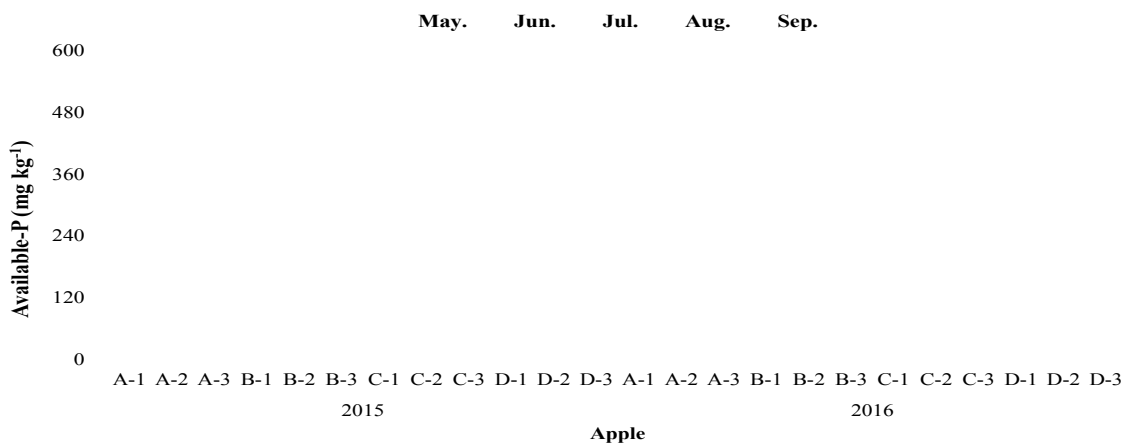
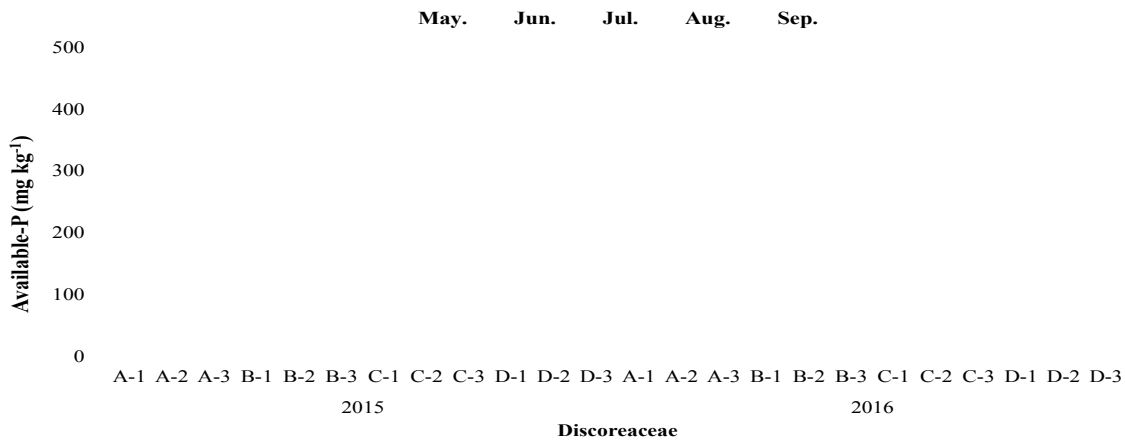
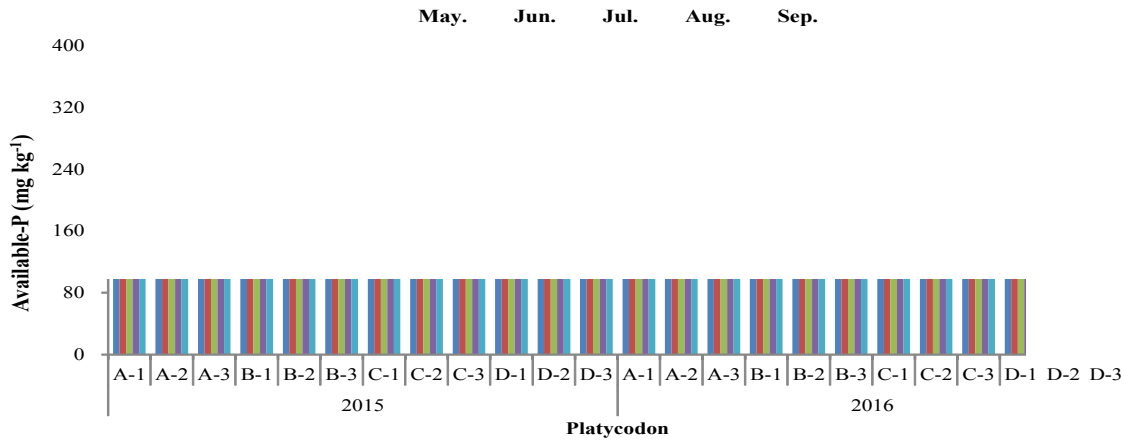


그림 35. 처리구별 토양 유효인산의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 유기물 : 도라지, 산약, 사과 등 재배작물 종류별로 유기물 함량이 큰 차이를 나타내지 않았다.

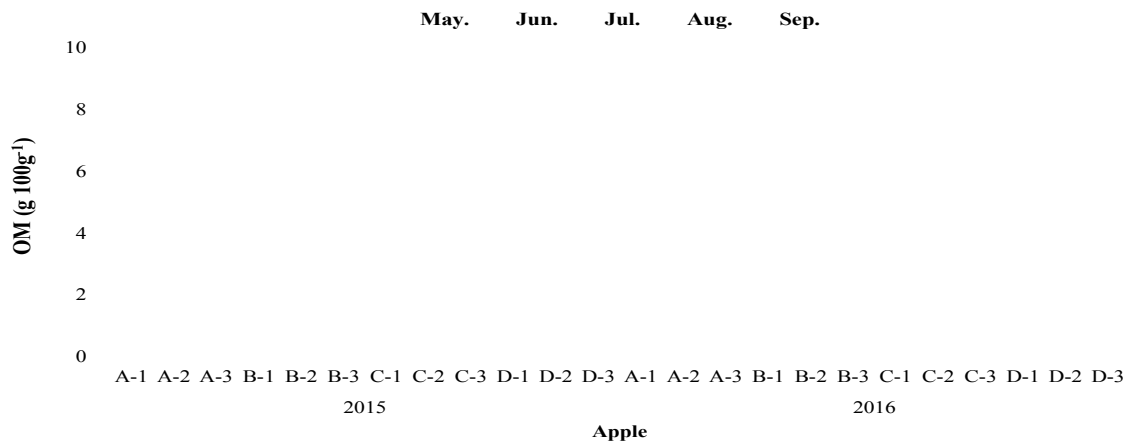
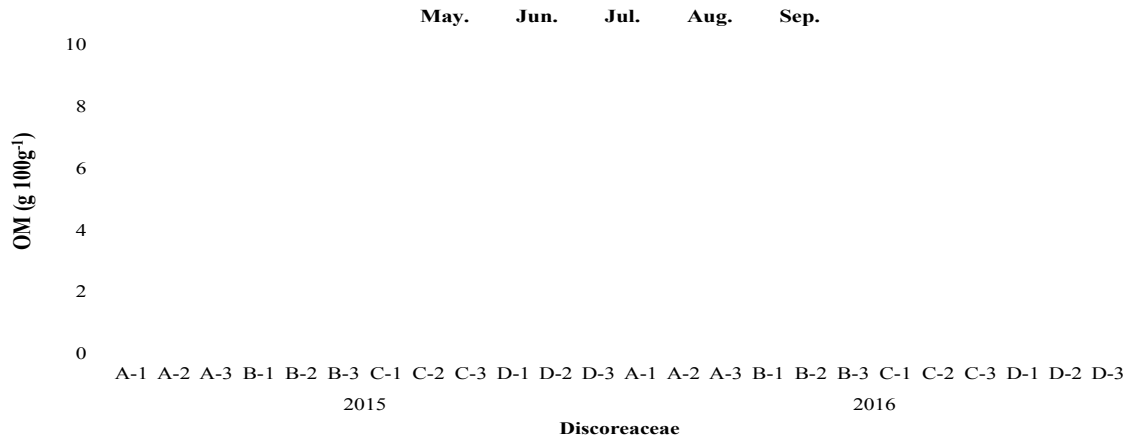
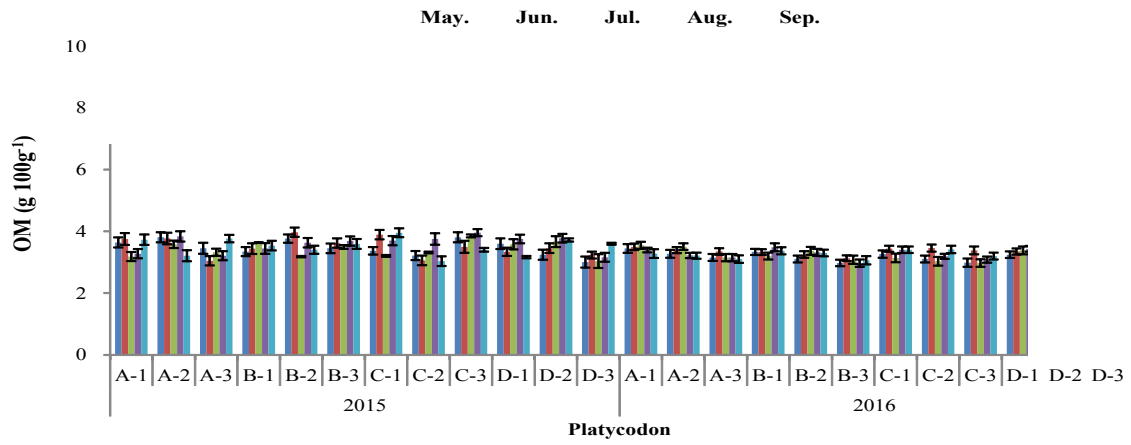


그림 36. 처리구별 토양 유기물의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 중금속(카드뮴, 구리) : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 2015년도에는 중금속 카드뮴의 농도가 높게 나타난 반면, 2016년도에는 현저히 농도가 감소하였다. 토양중 카드뮴의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타나 안정성이 확보된 것으로 나타났다. 중금속 구리는 도라지 재배지에서 2015년에 비해 2016년도에 높게 나타난 반면에 산약과 사과 재배지에서는 연차별로 차이가 나타나지 않았다. 토양중 구리의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타나 안정성이 확보된 것으로 나타났다.

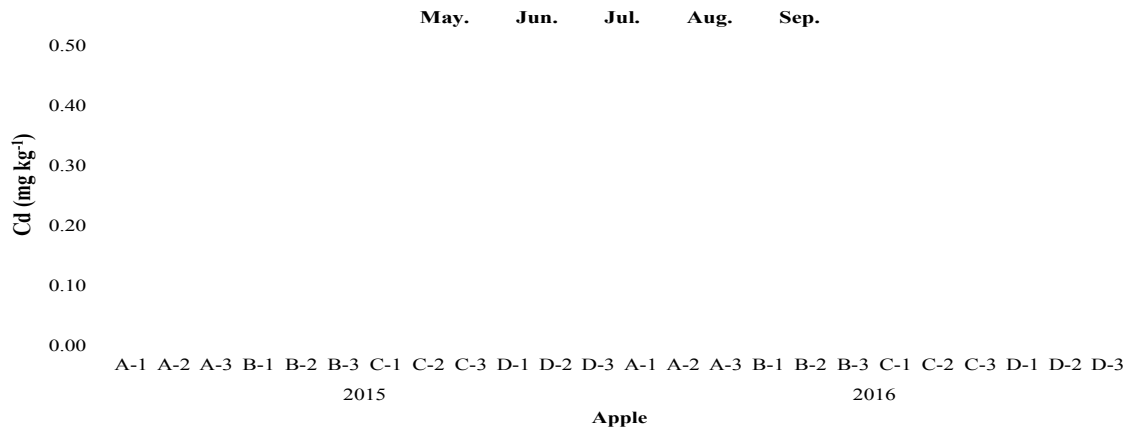
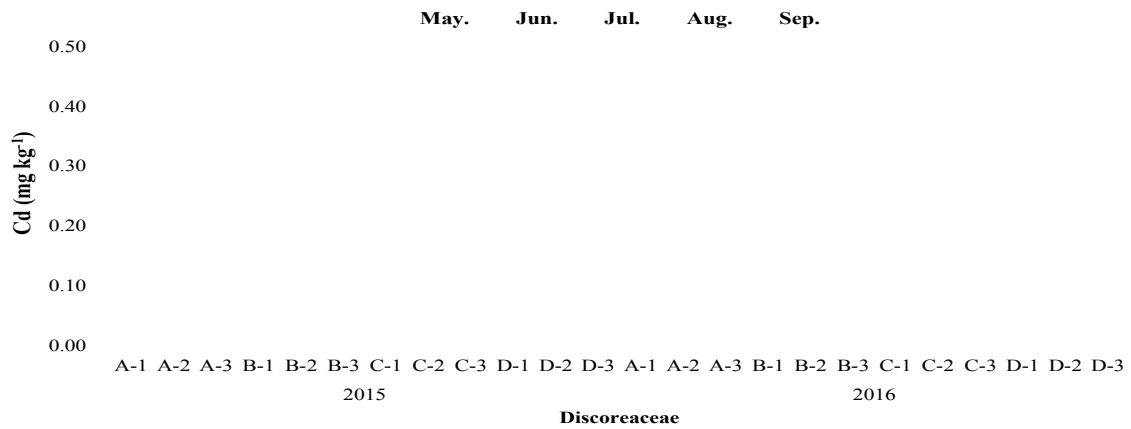
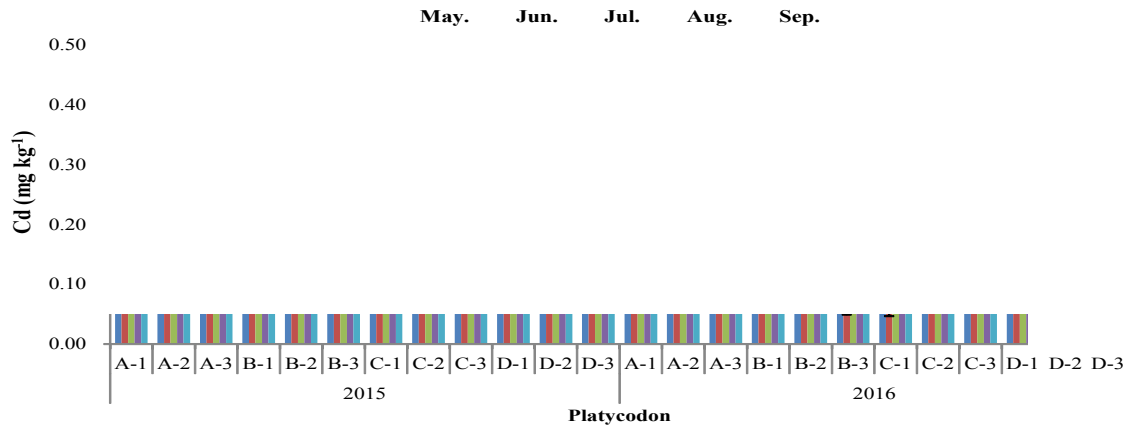


그림 37. 처리구별 토양 카드뮴의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

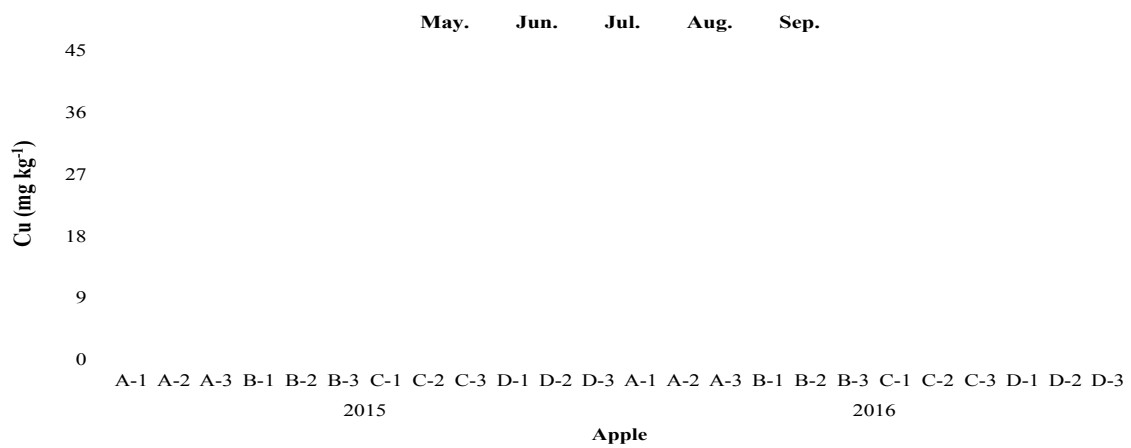
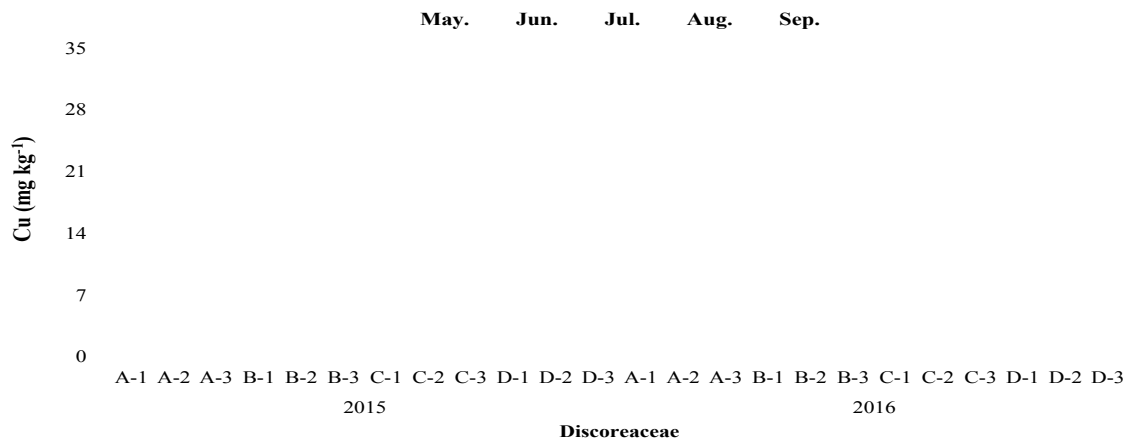
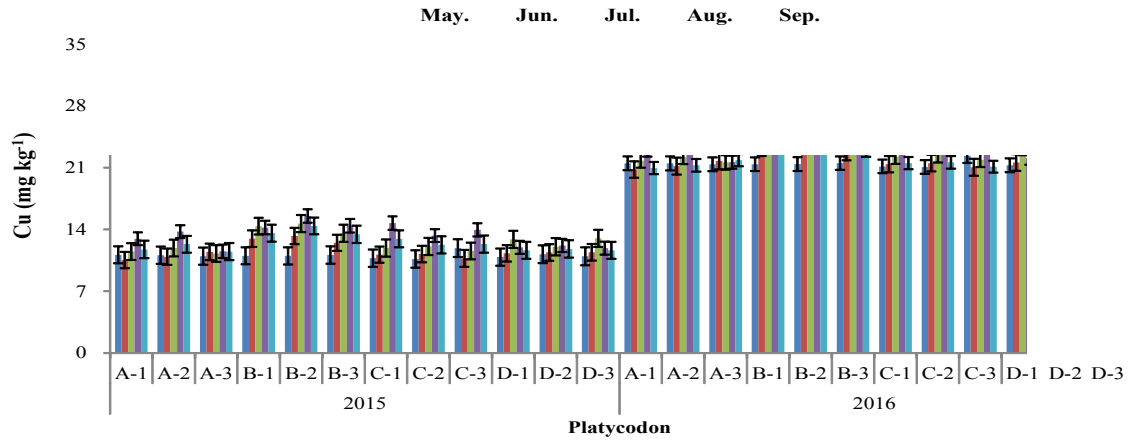


그림 38. 처리구별 토양 구리의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 중금속(납, 아연) : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 2015년도에는 중금속 납의 농도가 낮게 나타난 반면, 2016년도에는 현저히 농도가 증가하였다. 토양중 납의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타나 안정성이 확보된 것으로 나타났다. 중금속 아연은 연차별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 토양중 아연의 농도는 농경지 토양오염 우려기준 이하로 나타났으나, 거의 100mg/kg 수준으로 나타나 원천적인 아연의 유입을 관리할 필요가 있을 것으로 나타났다.

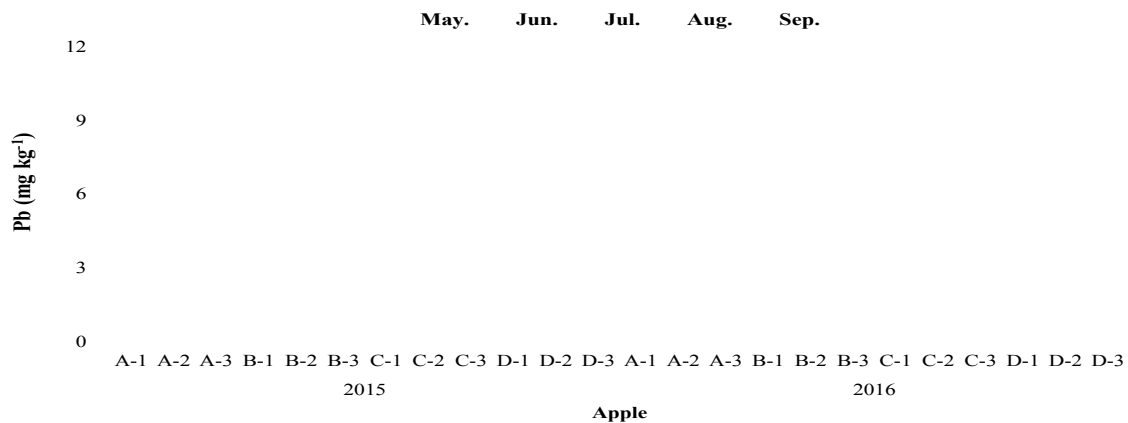
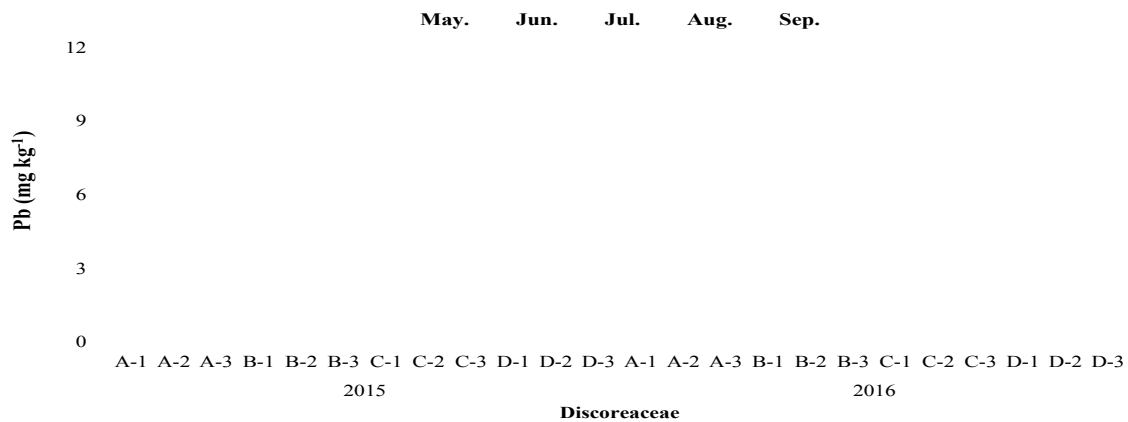
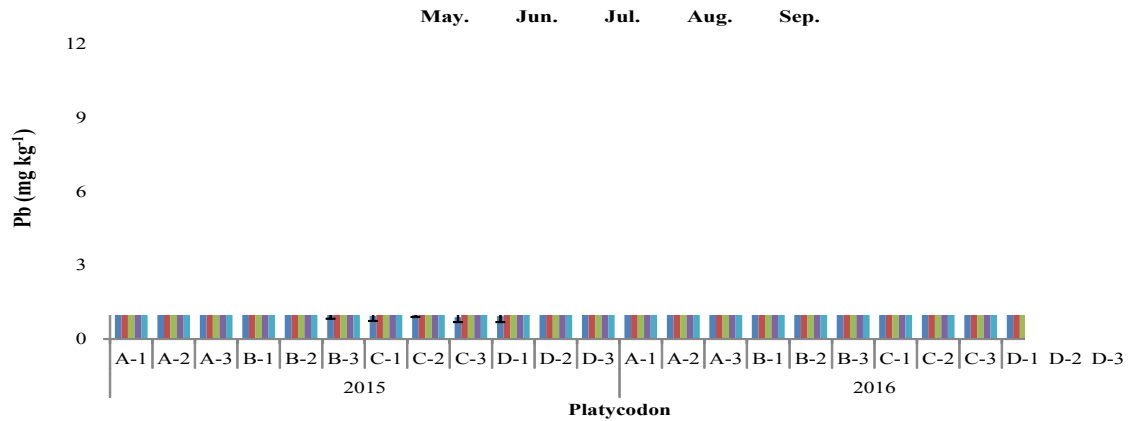


그림 39. 처리구별 토양 납의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

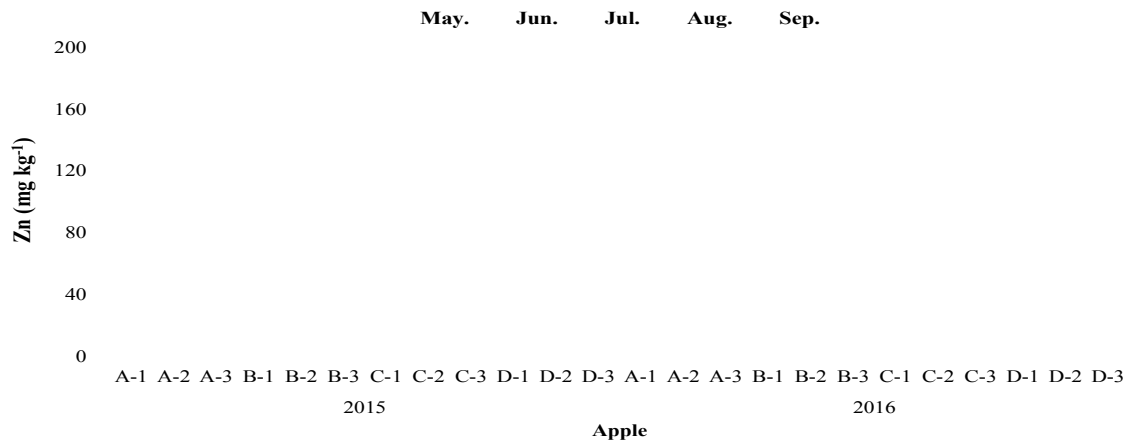
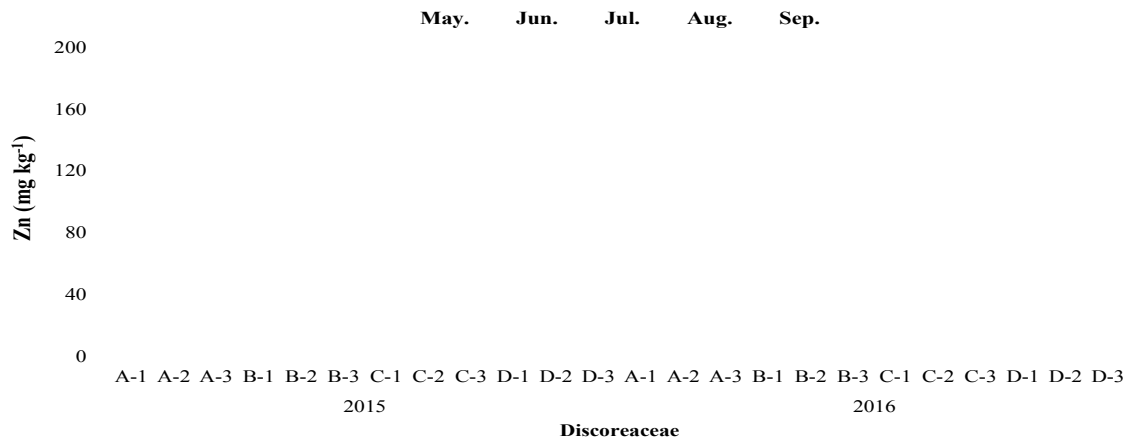
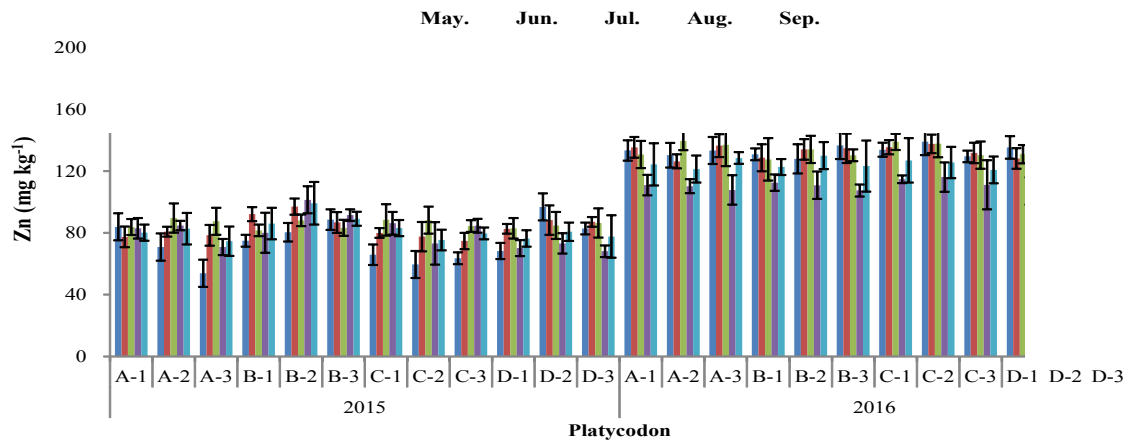


그림 40. 처리구별 토양 아연의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

- 양이온(칼슘, 마그네슘, 나트륨) : 도라지, 산약, 사과 재배지에서 양이온 칼슘, 마그네슘, 나트륨의 농도는 연차별로, 작물재배 종류별로 큰 차이를 나타내지 않았다.

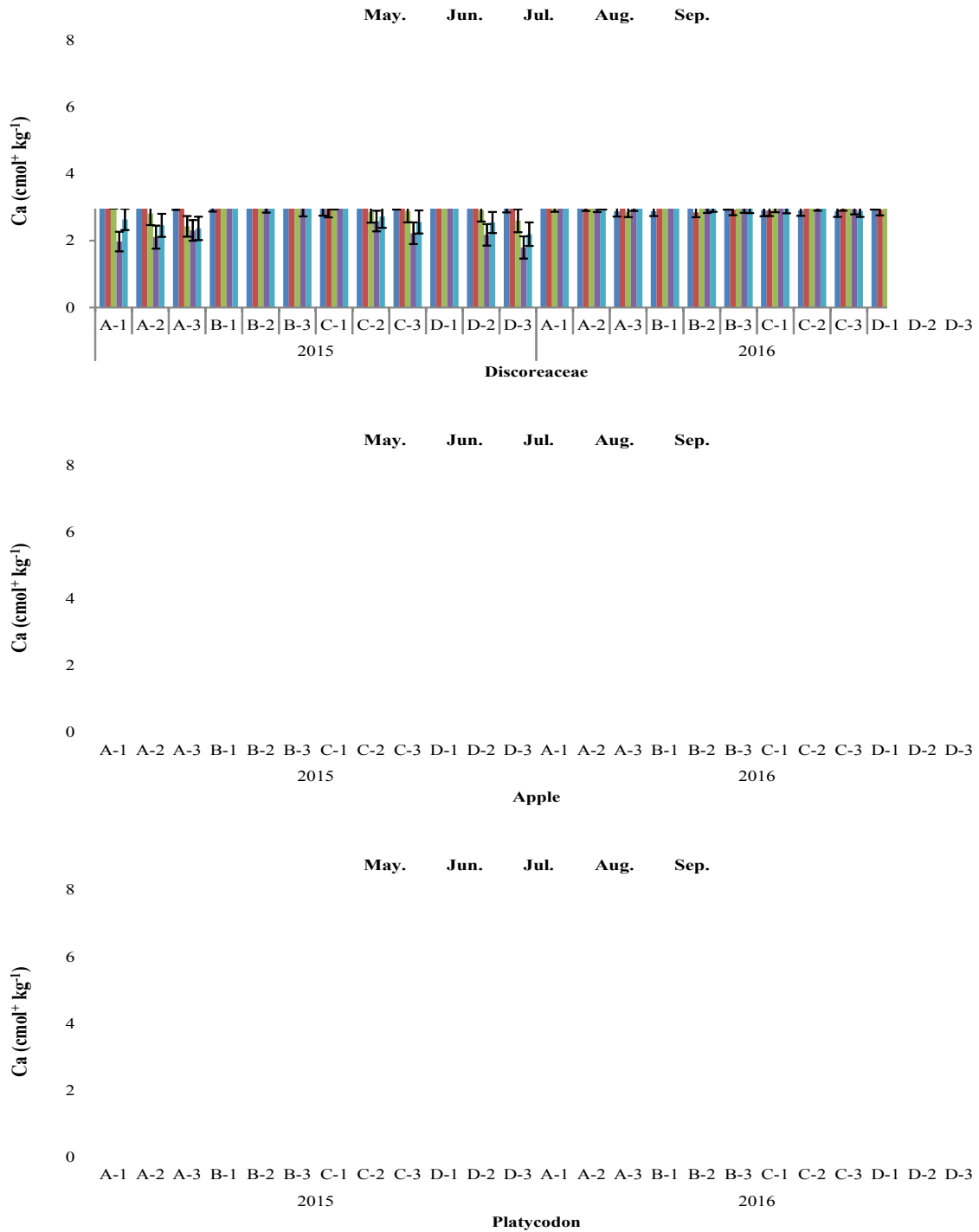


그림 41. 처리구별 토양중 칼슘의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

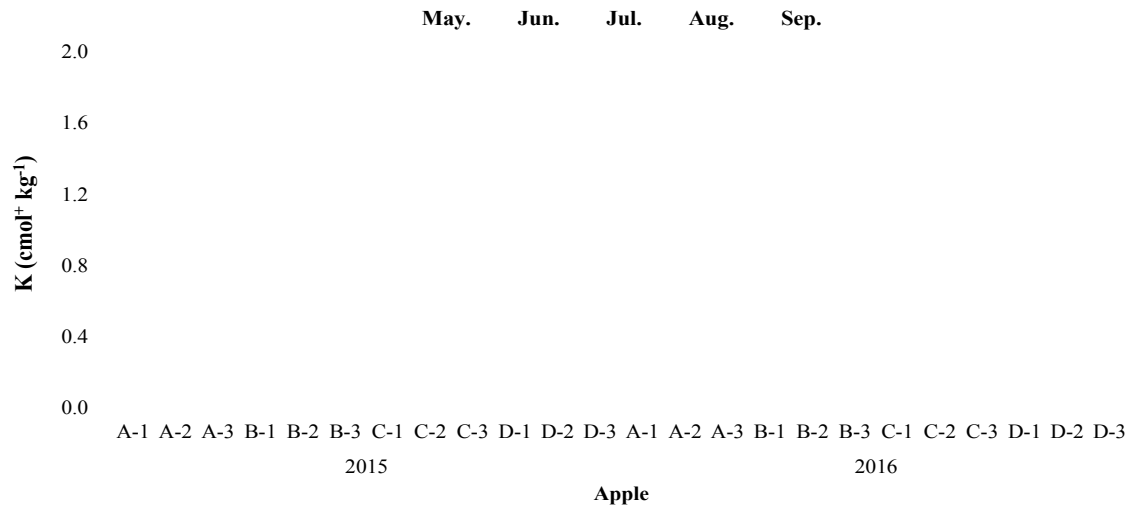
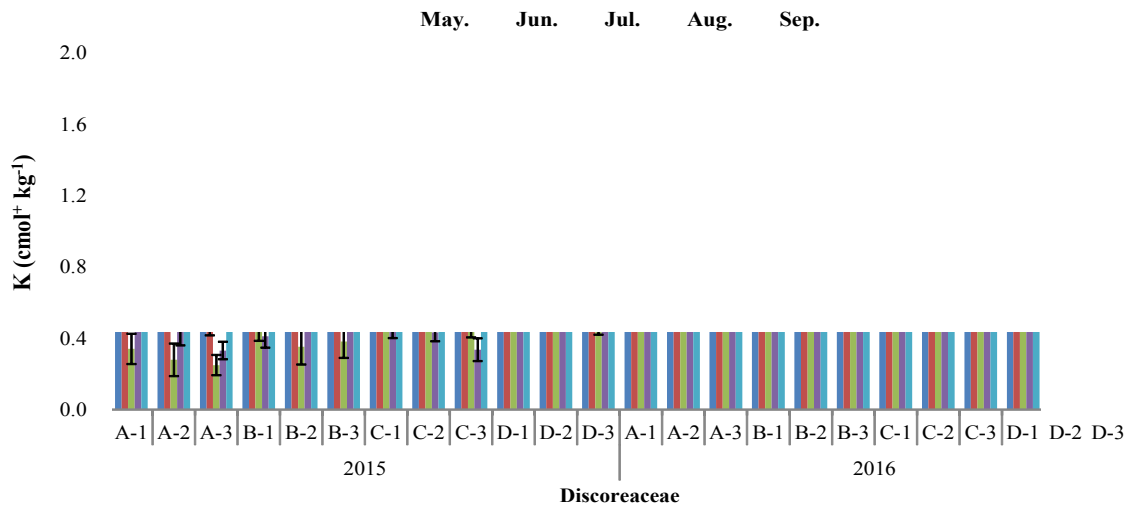


그림 42. 처리구별 토양중 칼리의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

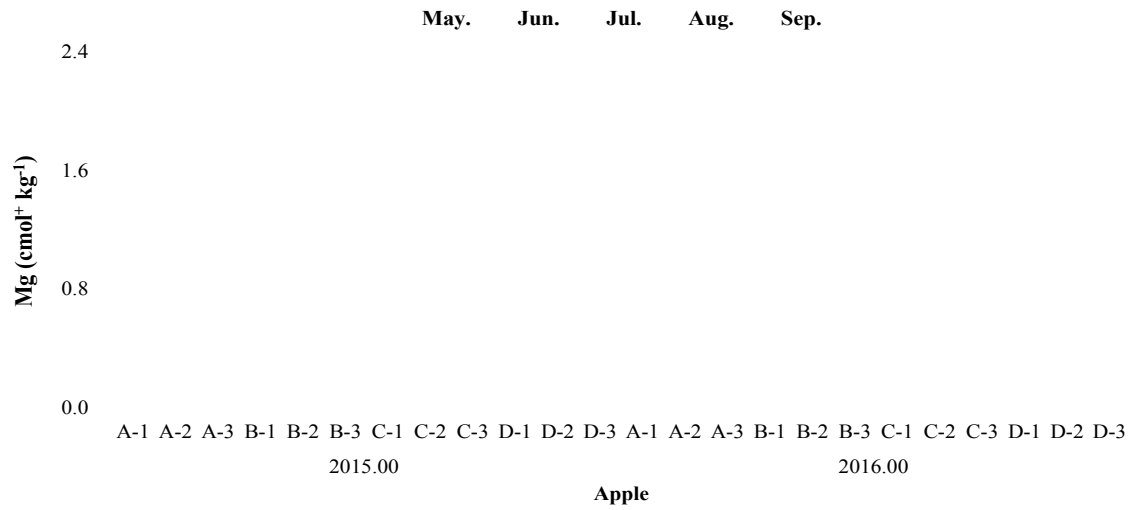
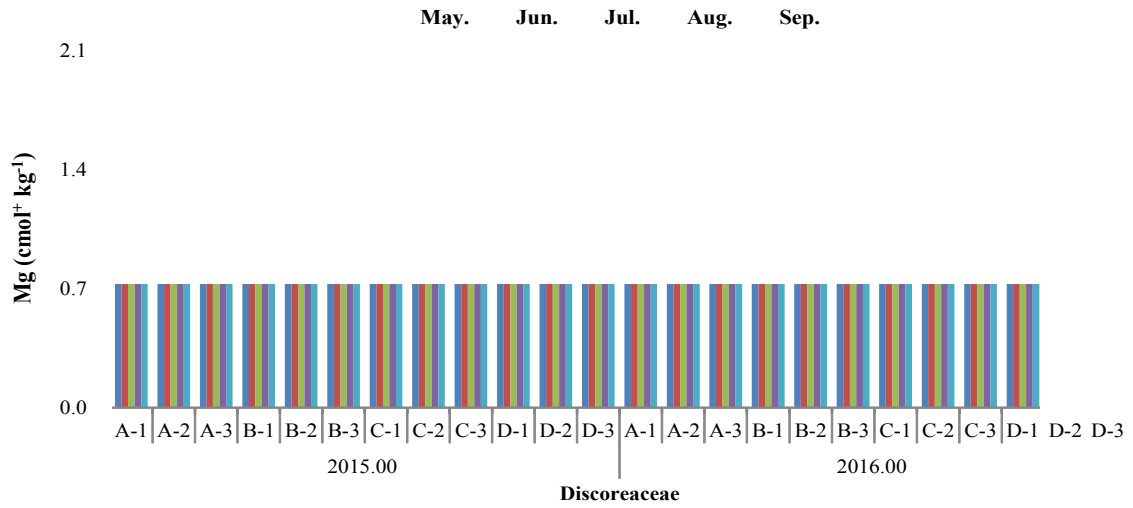


그림 43. 처리구별 토양중 마그네슘의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

(2) 시설원에 배양액 농경지 재처리시 NO₃-N의 지하이동 조사

- 지하수의 품질에 가장 큰 영향을 끼치는 질산태질소의 지하로의 이동을 조사한 결과, 도라지 재배구에서는 화학비료 처리구와 배양액 처리구간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 산약과 사과 재배지에서는 2015년에 비해 2016년도에 대폭 감소하였다. 지하 50cm에서 검출되는 지하침출수중 질산태질소의 농도는 3mg/L 이하 수준으로 시설원에 배양액 처리에 따른 지하수 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

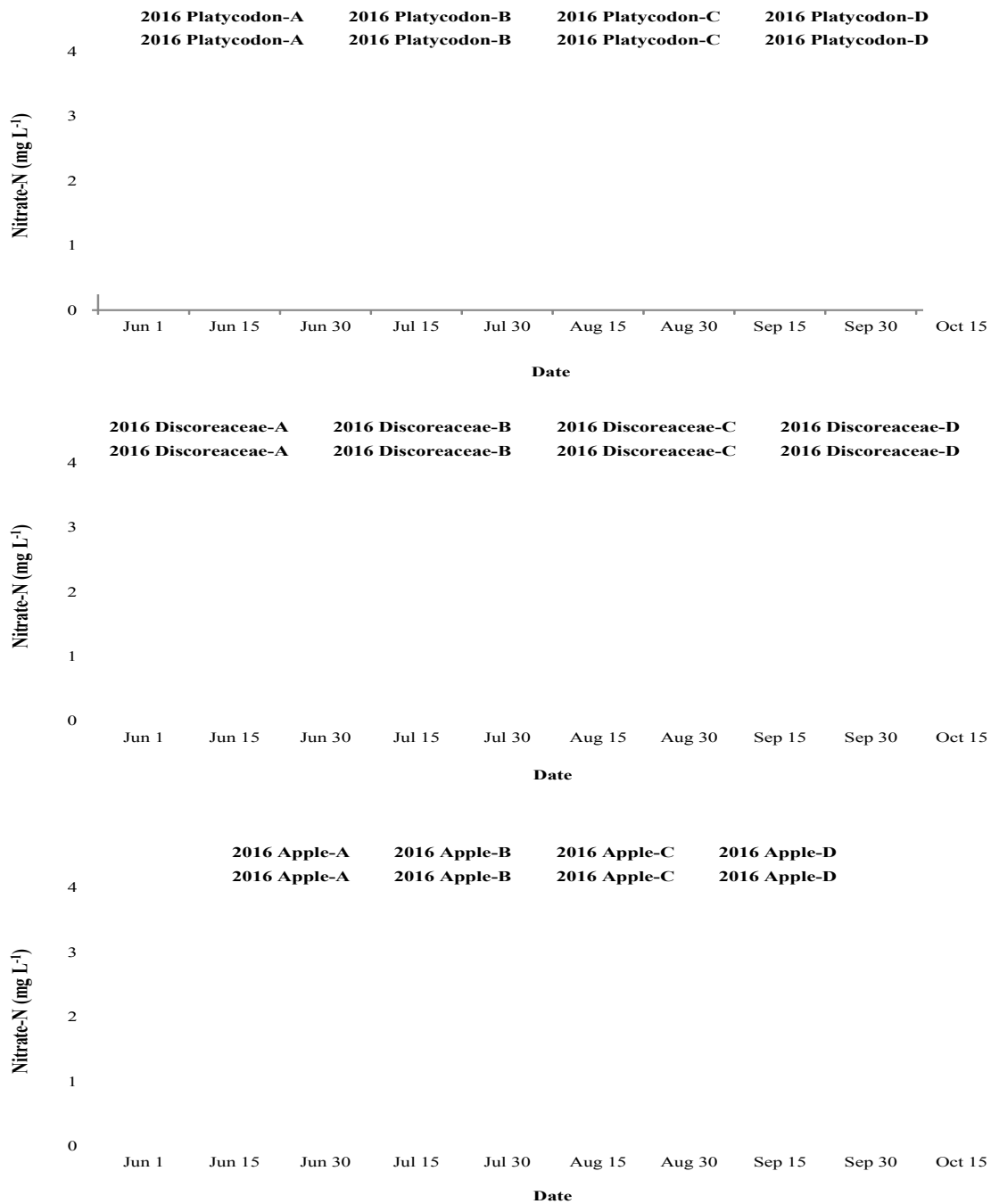


그림 44. 처리구별 지하침출수중 질산태질소의 농도

(3) 시설원예 배양액 농경지 재 처리시 작물 안전성 및 수량구성요소에 끼치는 영향 조사

○ 시설원예 배양액 유래 질산태질소의 식물체 흡수

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수 이행된 질산태질소의 함량을 조사한 결과, 도라지와 산약은 5,000mg/kg 수준을 나타냈으나, 사과는 1,600mg/kg 이하 수준을 나타내었다. 그밖에 연차별로는 큰 차이를 나타내지 않았다. 일년생 도라지와 산약중 질산태질소의 함량은 높았으나, 다년생작물인 사과중 질산태질소의 함량이 낮게 나타났다. 작물중 질산태질소는 청색유아증 유발 및 2급 아민류와 반응하여 발암성물질인 nitrosoamine을 형성할 수 있기에 식품위해요소로 집중관리하고 있는 실태이다. 본 조사에서 나타난 도라지와 산약중 질산태질소의 함량은 약간 높은 수준으로 집중관리가 필요한 부분으로 판단된다.

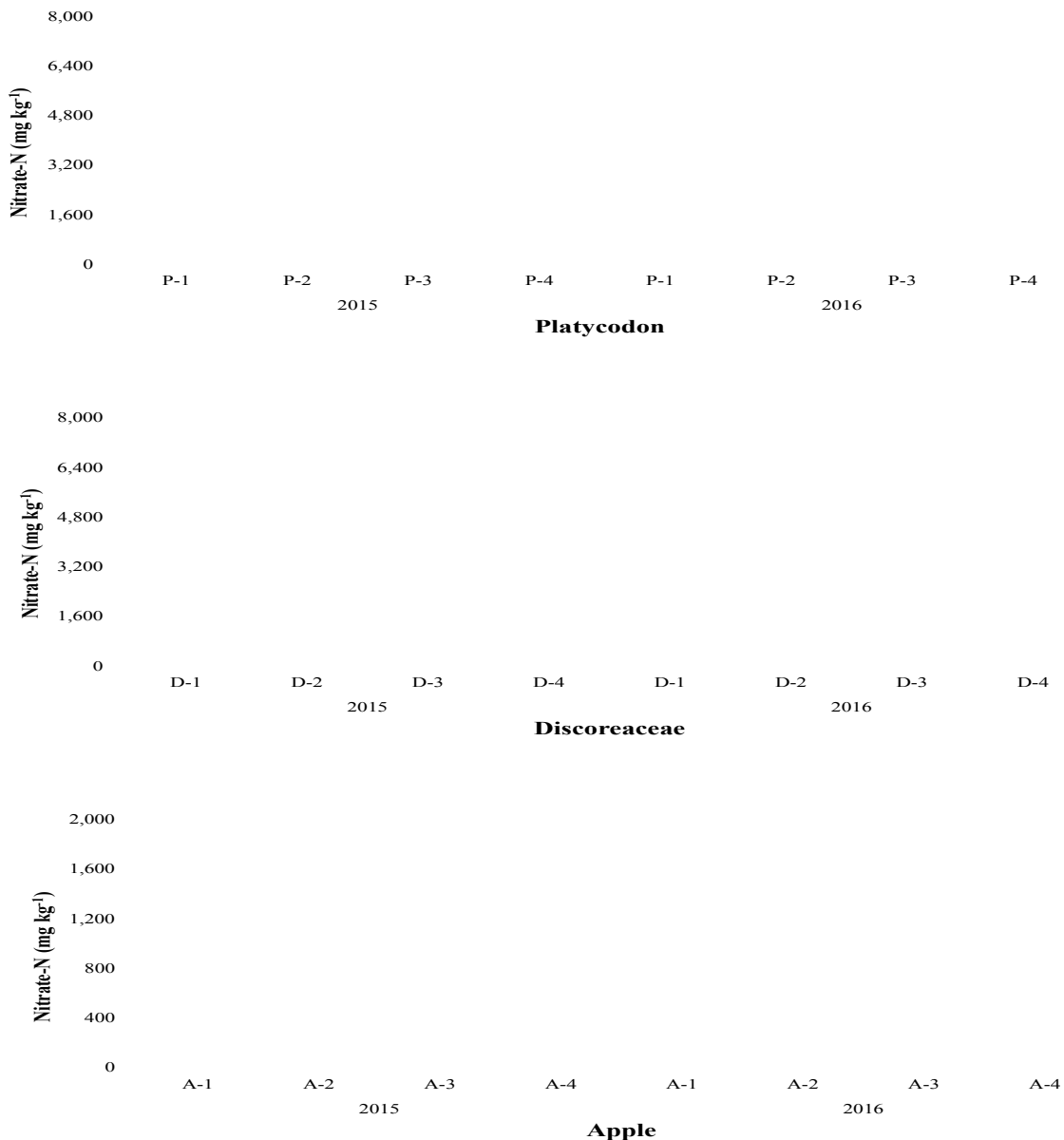


그림 45. 작물체로의 질산태질소 이행흡수량

○ 시설원에 배양액 유래 식물필수 다량원소(질소, 인산, 칼리)의 작물체 흡수량 평가

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 총질소의 함량을 조사한 결과, 도라지와 산약은 10,000mg/kg 이상을 나타냈으나, 사과는 3,000mg/kg 이하 수준을 나타내었다. 그밖에 연차별로는 큰 차이를 나타내지 않았다. 일년생 도라지와 산약중 총질소의 함량은 높았으나, 다년생작물인 사과 중 총질소의 함량이 낮게 나타났다.

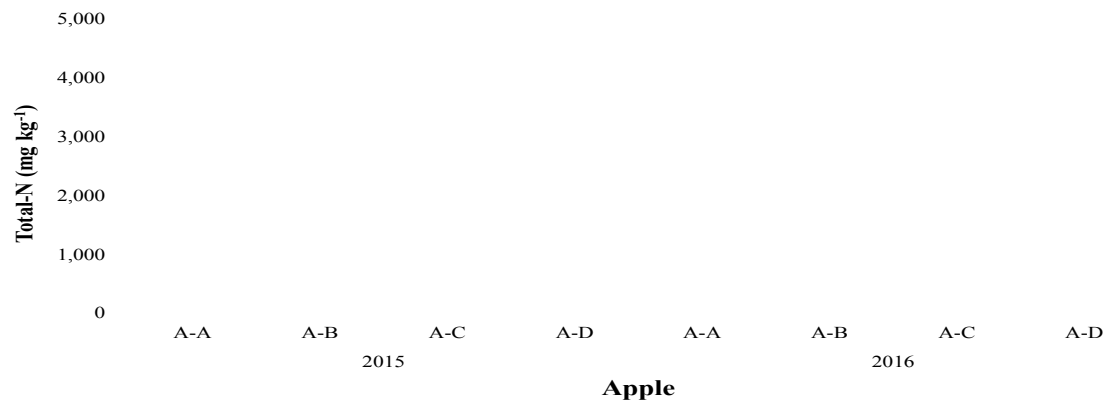
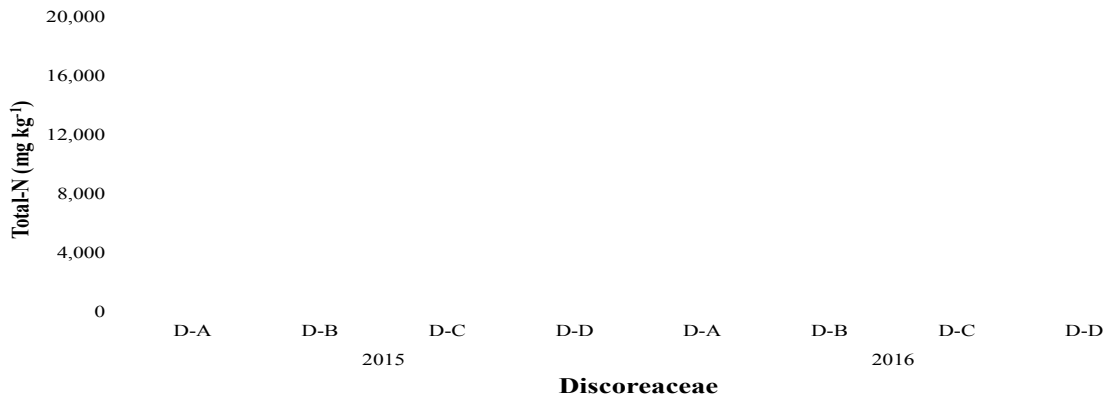
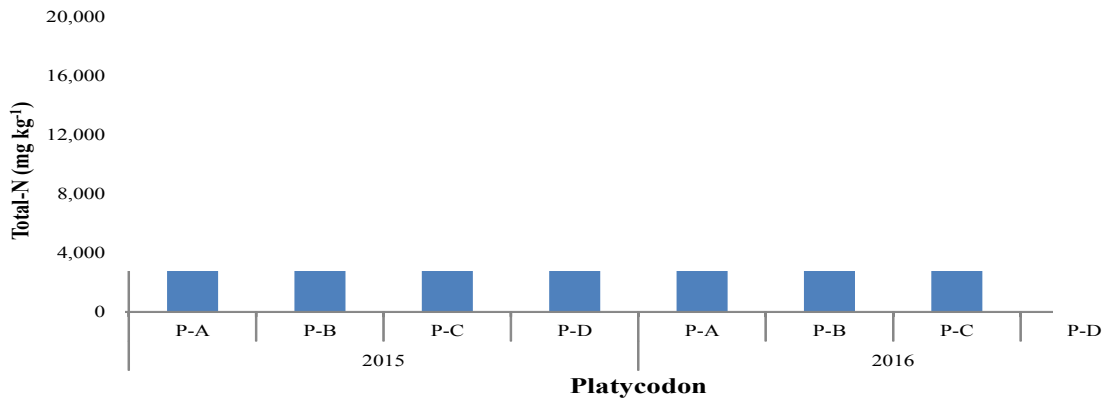


그림 46. 작물체중 총질소 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 총인산의 함량을 조사한 결과, 도라지와 산약은 2,000mg/kg 이상을 나타냈으나, 사과는 1,000mg/kg 이하 수준을 나타내었다. 그밖에 연차별로는 큰 차이를 나타내지 않았다. 일년생 도라지와 산약중 총인산의 함량은 높았으나, 다년생작물인 사과중 총인산의 함량이 낮게 나타났다.

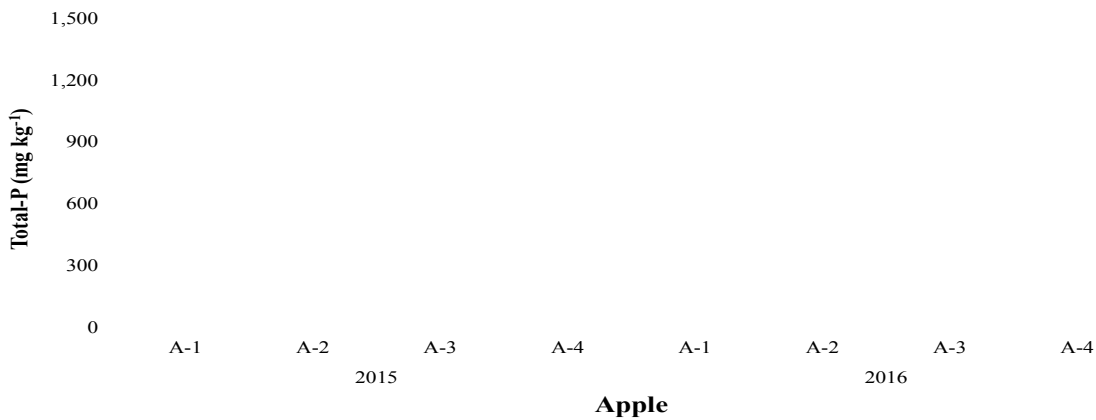
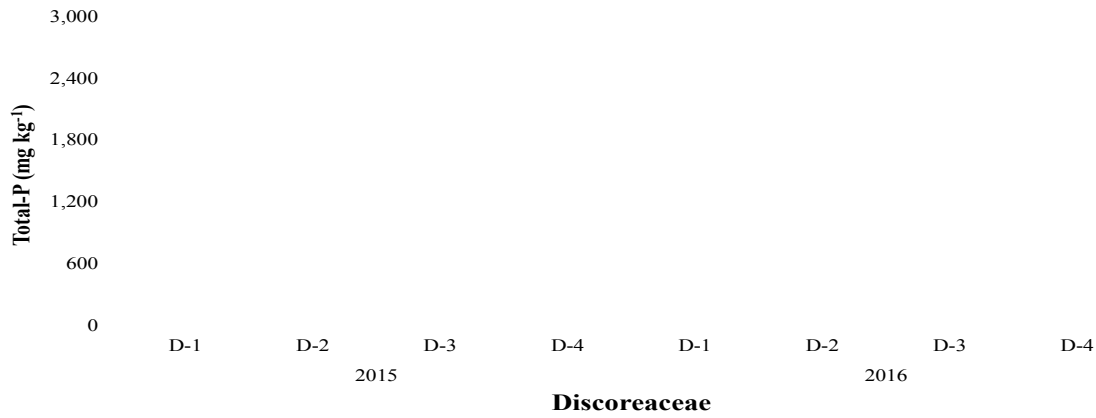
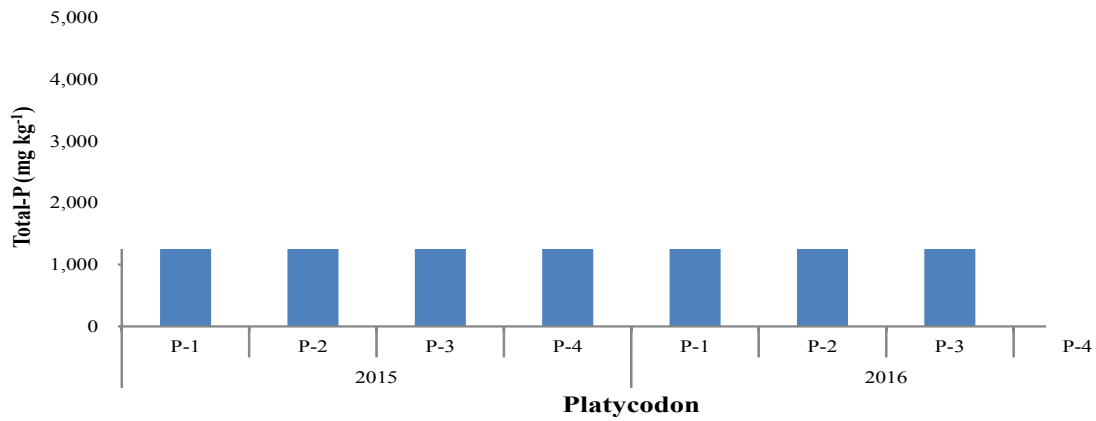


그림 47. 작물체중 총인산 함량

- 시설원예 배양액 유래 중금속(구리, 아연, 카드뮴, 납)의 작물체 흡수량 평가
 - 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 중금속 카드뮴의 함량을 조사한 결과, 세 작물 모두 0.2mg/kg 이하의 수준을 나타내어 작물의 안전성은 확보된 것으로 나타났다.

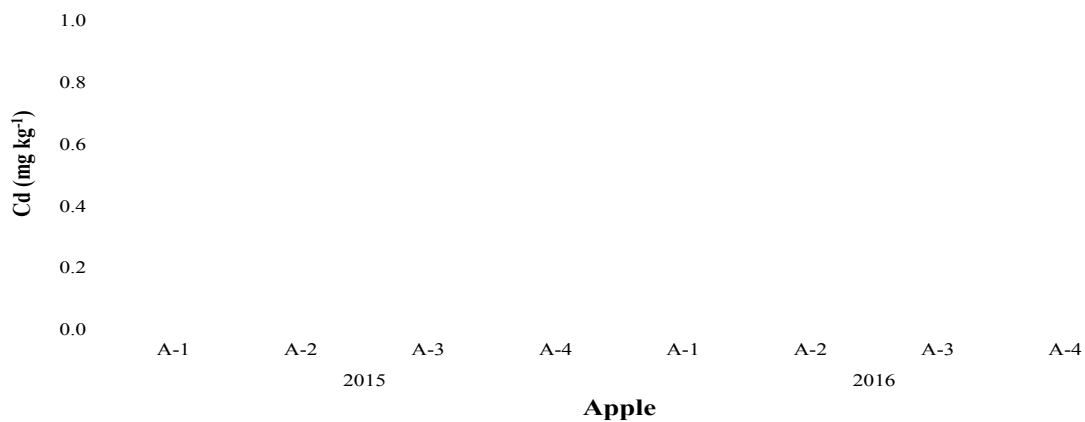
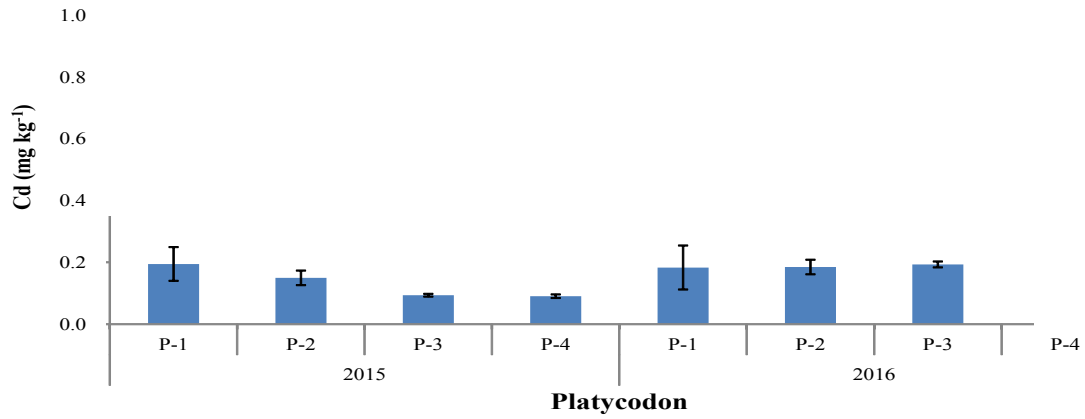


그림 48. 작물체중 중금속 카드뮴 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 중금속 구리의 함량을 조사한 결과, 세 작물 모두 6mg/kg 이하의 수준을 나타내어 작물의 안전성은 확보된 것으로 나타났다.

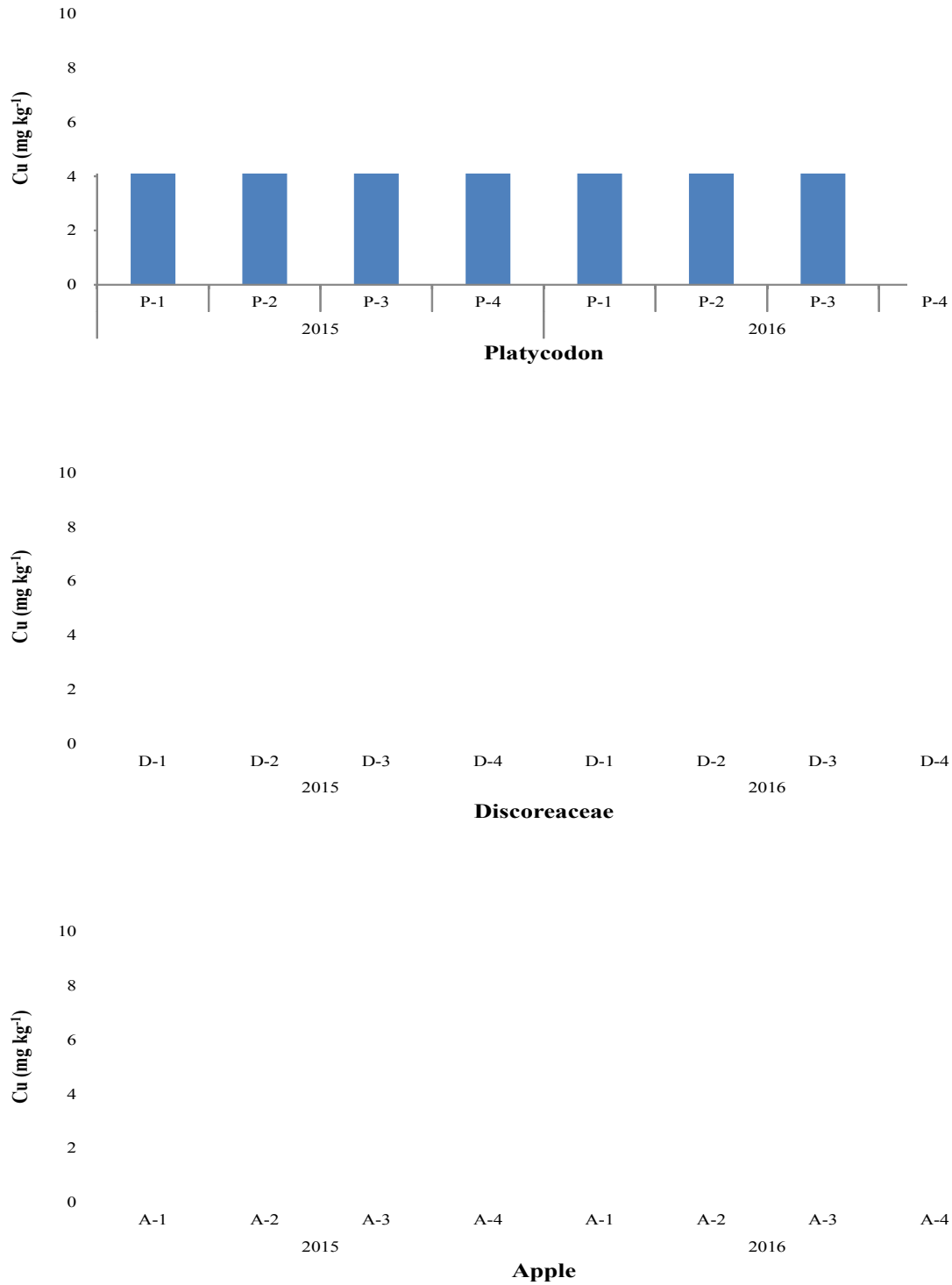


그림 49. 작물체중 중금속 구리 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체중 흡수이행된 중금속 납의 함량을 조사한 결과, 세 작물 모두 2mg/kg 이하의 수준을 나타내어 작물의 안전성은 확보된 것으로 나타났다.

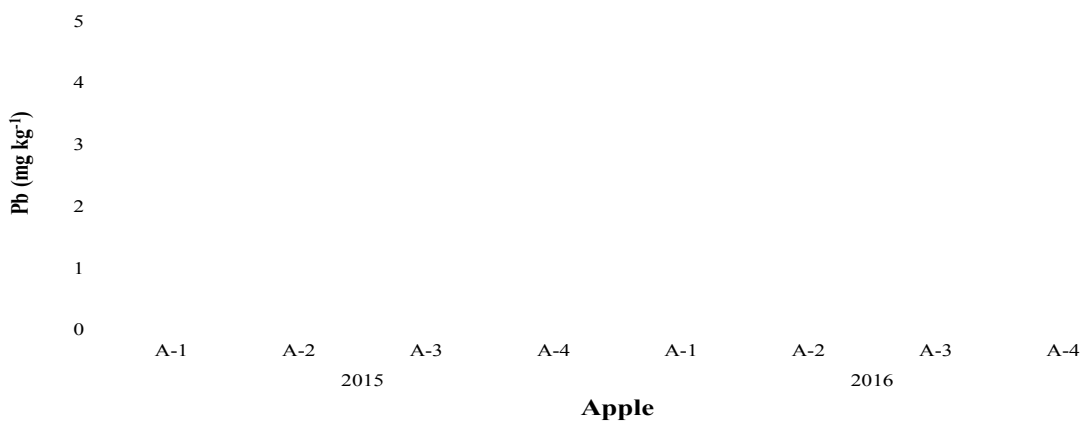
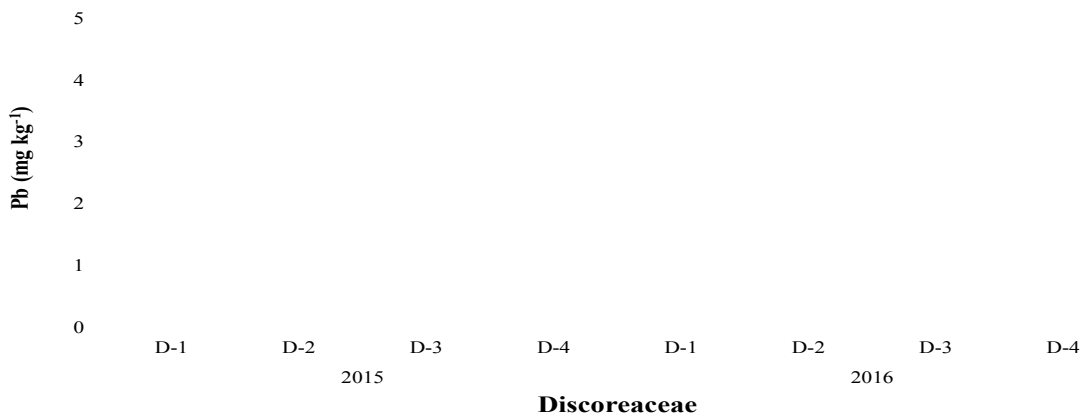
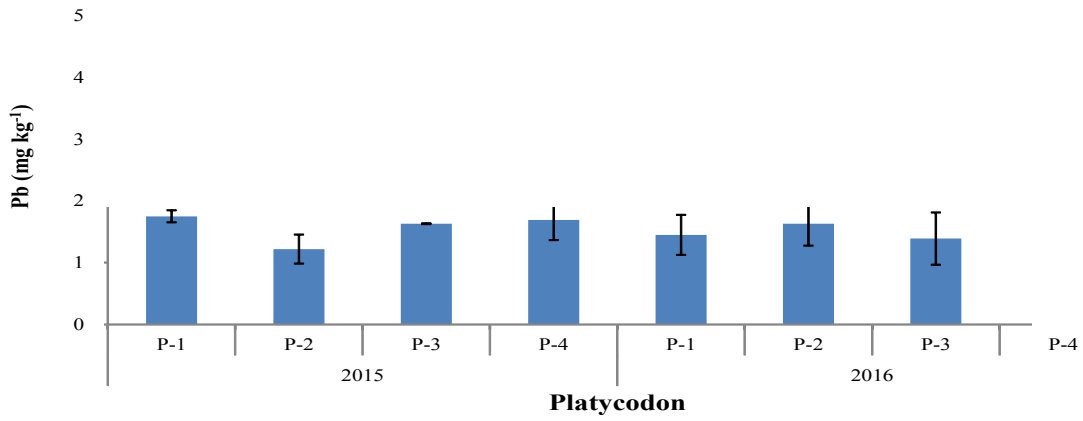


그림 50. 작물체중 중금속 납 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체중 흡수이행된 중금속 아연의 함량을 조사한 결과, 도라지는 45mg/kg 수준, 산약은 30mg/kg 수준 그리고 사과는 10mg/kg 이하의 수준을 나타내어 작물의 안전성은 확보된 것으로 나타났다.

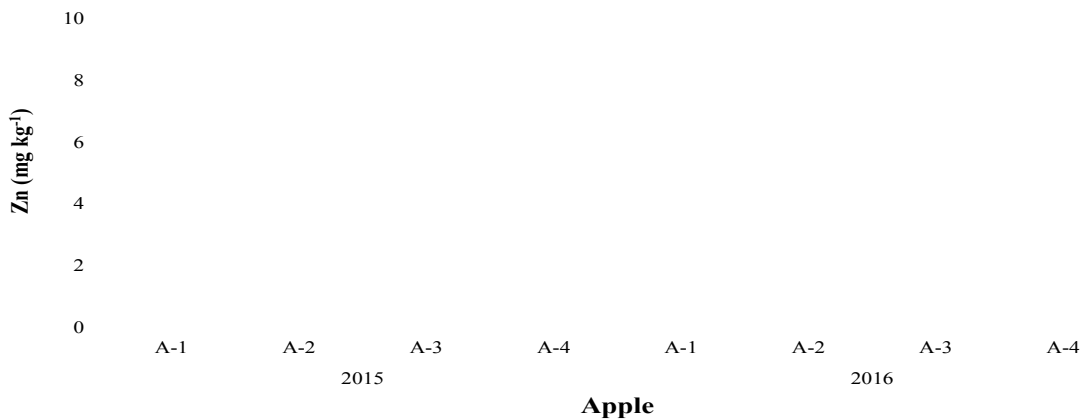
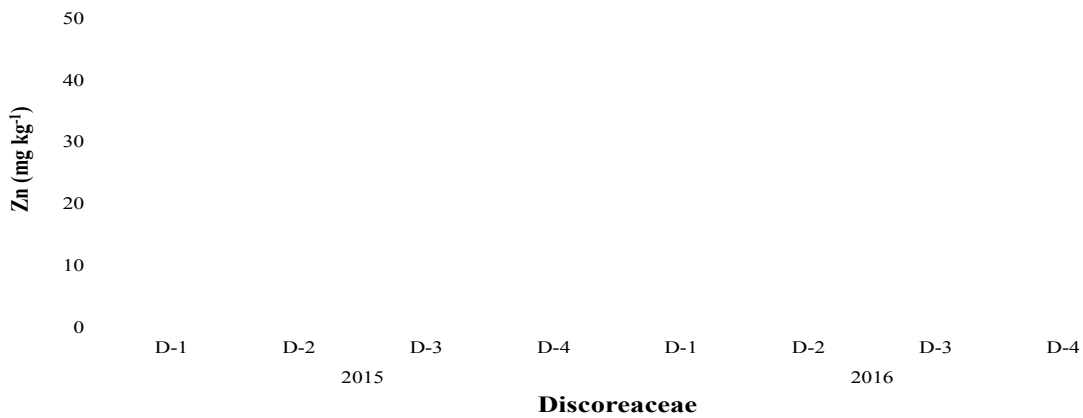
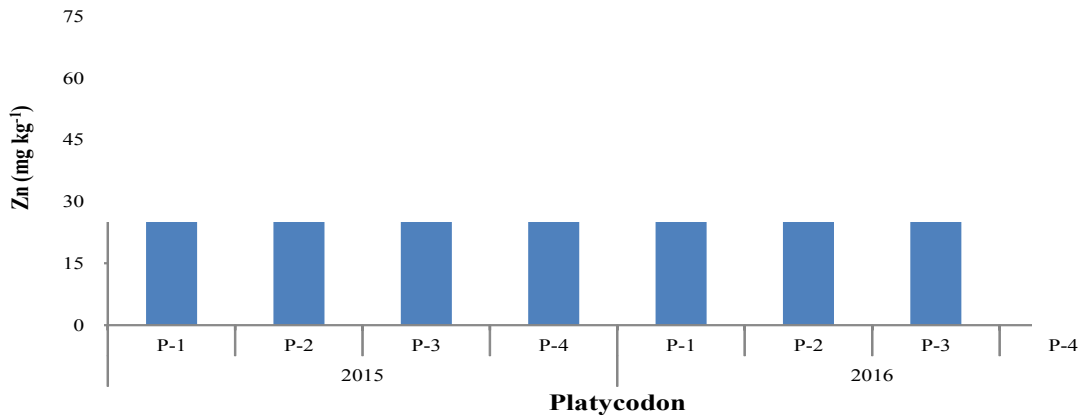


그림 51. 작물체중 중금속 아연 함량

- 시설원예 배양액 유래 양이온(칼슘, 마그네슘, 나트륨)의 작물체 흡수량 평가
 - 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 양이온 칼슘의 함량을 조사한 결과, 0.05% 이하를 나타내었으며, 작물별로 큰 차이를 나타내지 않았다.

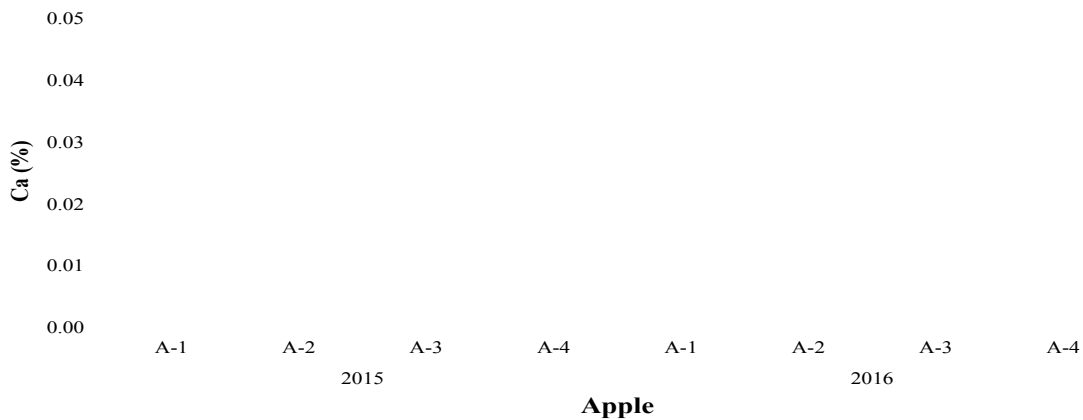
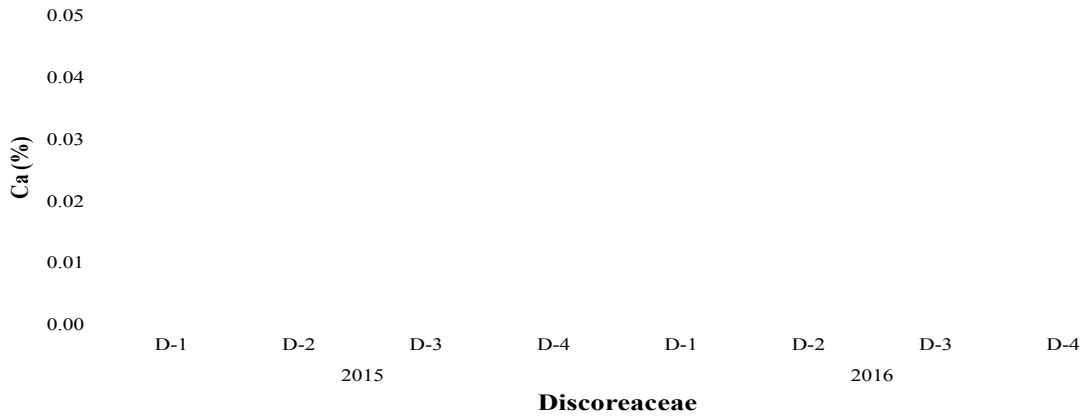
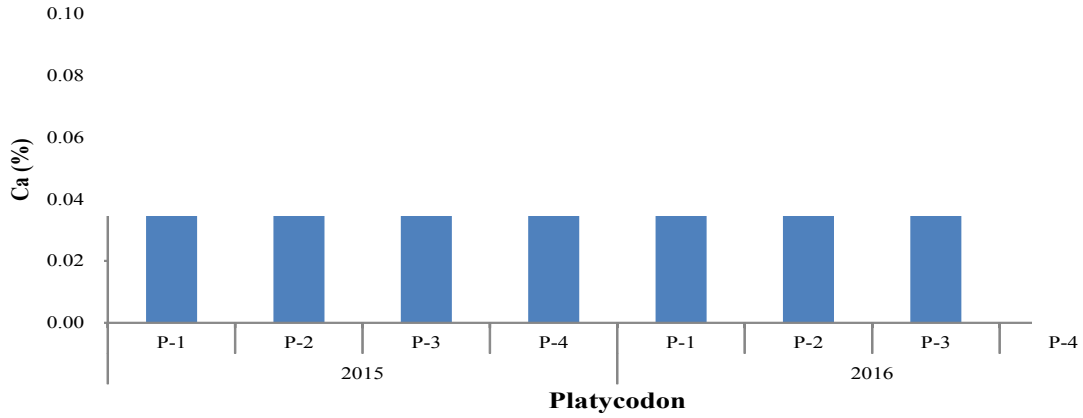


그림 52. 작물체중 양이온 칼슘 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수이행된 양이온 칼리의 함량을 조사한 결과, 일년생작물인 도라지와 산약에서 약간 높았고, 다년생작물인 사과에서는 소폭 낮게 나타났다.

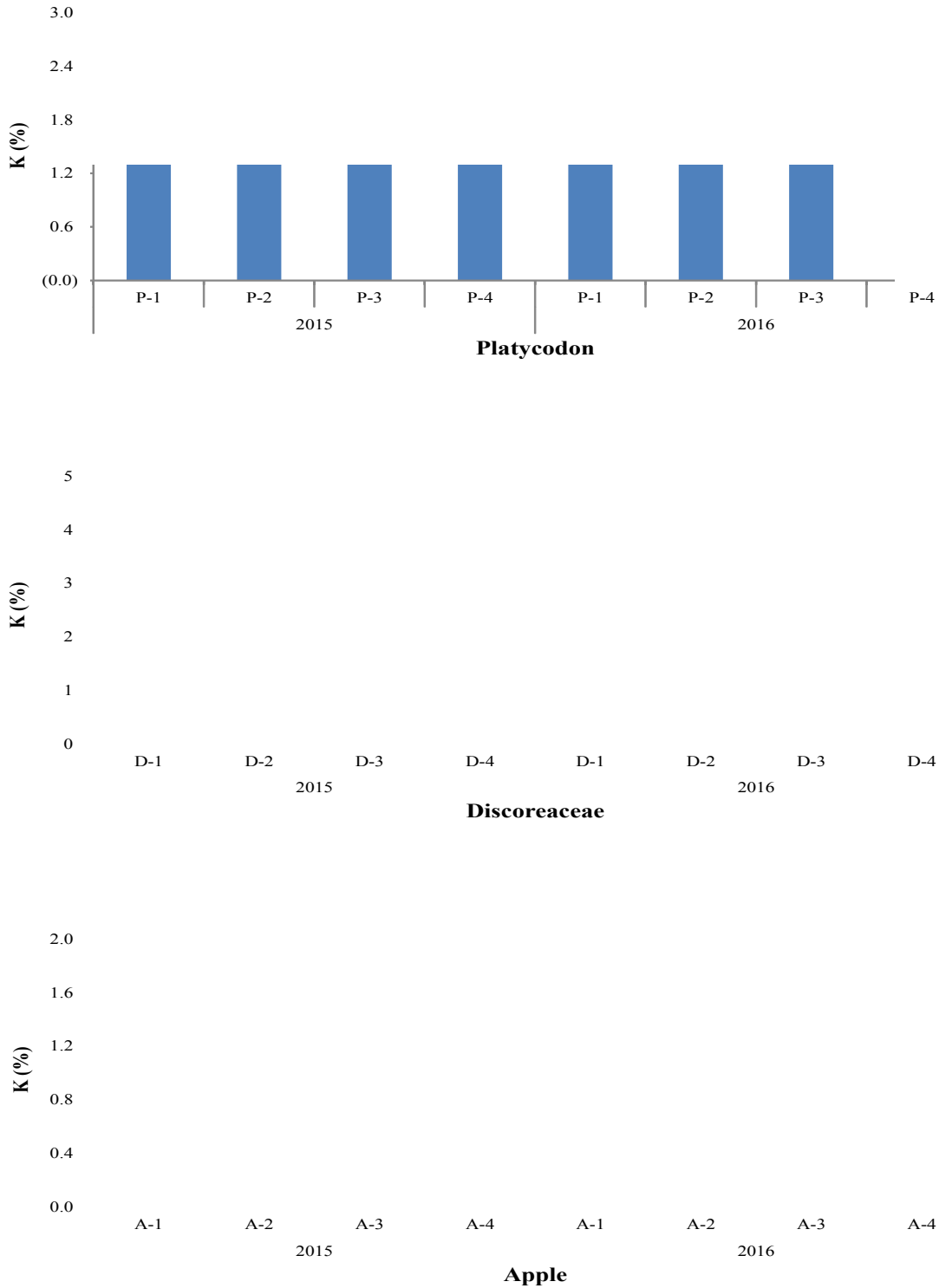


그림 53. 작물체중 양이온 칼리 함량

- 도라지, 산약 그리고 사과 작물체로 흡수 이행된 양이온 마그네슘의 함량을 조사한 결과, 일년생작물인 도라지와 산약에서 약간 높았고, 다년생작물인 사과에서는 소폭 낮게 나타났다.

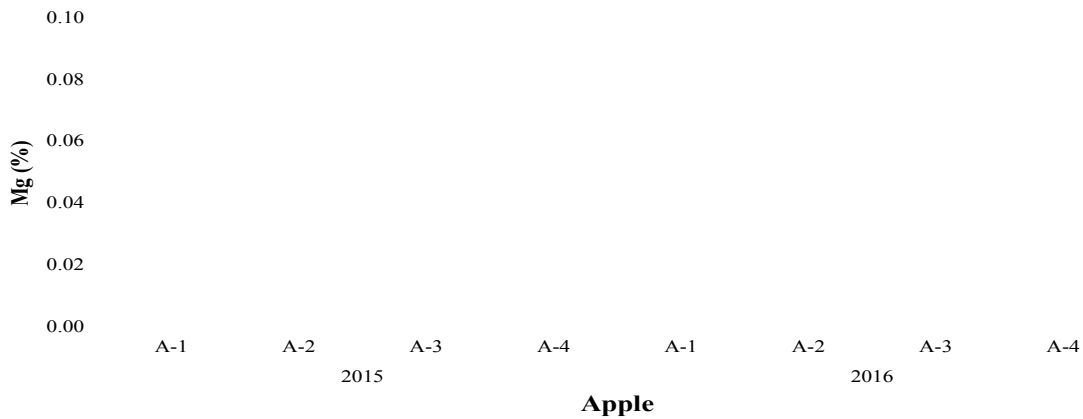
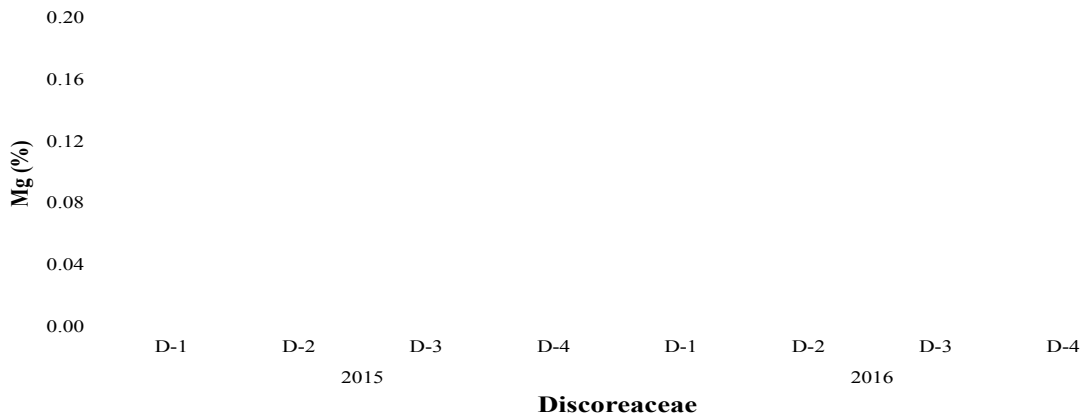
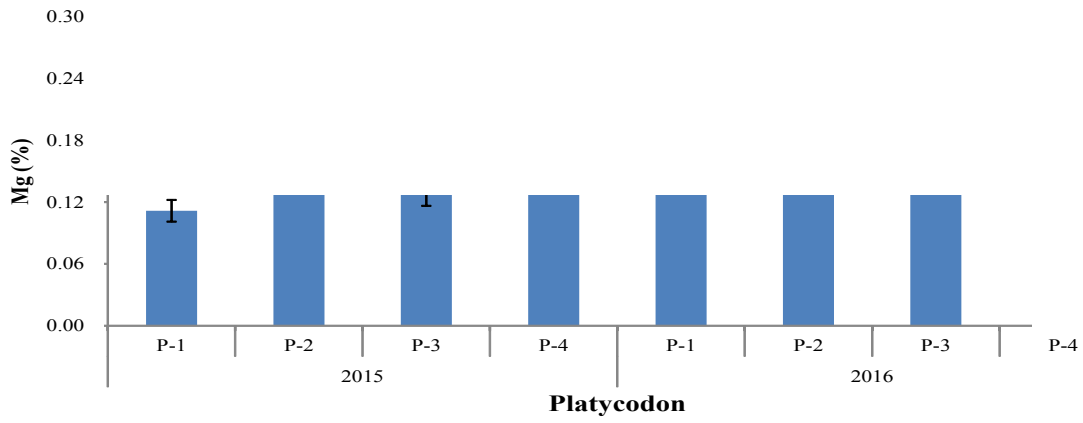


그림 54. 작물체중 양이온 칼슘 함량

○ 작물 수확량 비교



그림 55. 시설원에 배양액 처리 재배지에서 수확된 작물

- 재배대상 3개 작물 모두 전체 화학비료 처리구와 전체 배양액 처리구 그리고 기비를 화학비료로 처리하고 추비를 배양액으로 처리한 시험구간에 작물 수확량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 기비를 배양액으로 처리후 추비를 화학비료로 처리한 경우 가장 수확량이 낮게 나타났다. 이같은 결과는 추비는 화학비료나 배양액이나 수확량에 큰 차이를 나타내지 않으나, 작물의 양분요구도가 높은 초기에는 가급적 화학비료를 처리하는 것이 수확량 측면에서는 더 바람직할 것이라는 것을 보여주는 지표이다. 2016년도 작물의 수확량이 2015년보다 낮게 나타난 것은 2016년도가 기록적인 폭염을 기록한 기상재해의 영향으로 평가된다. 도라지의 경우 2년생으로 재배하였기에 2015년도 수확량 데이터가 제시되지 않았다.

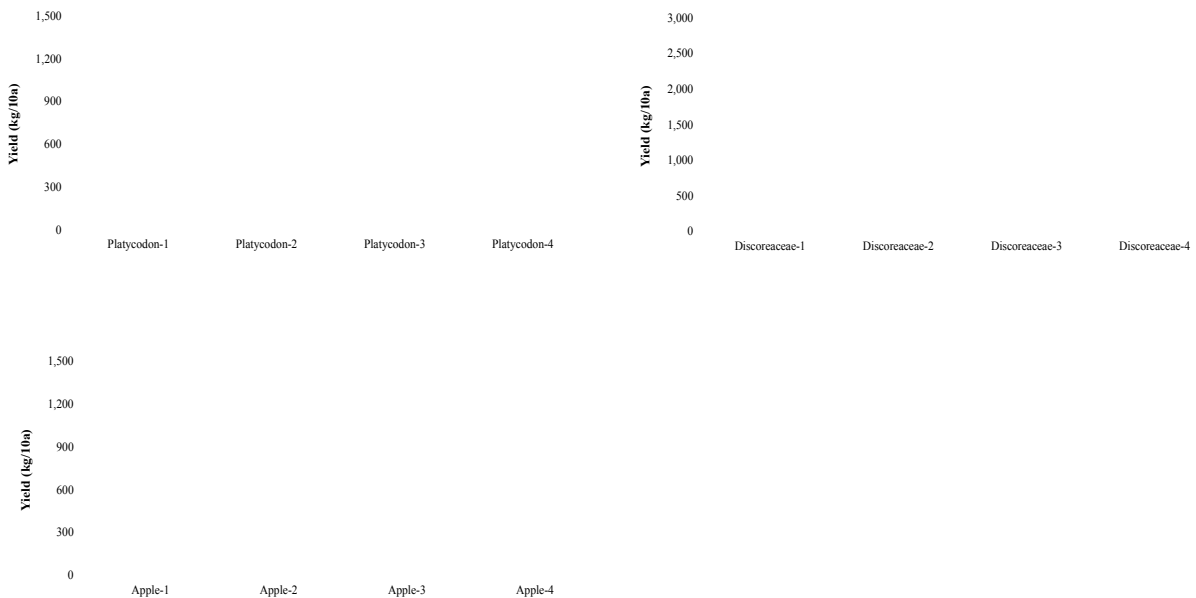


그림 56. 작물의 수확량 비교

2. 세부과제 2 : 시설원에 배양액 지역단위 순환 및 유통 모델 개발

가. 시설원에 배양액 재활용 경제성 분석 지표 개발

(1) 연구 진행 방법

- 연구는 크게 관련 현장조사, 문헌 자료 조사, 전문가 자문으로 구분하여 진행하였다. 첫째로 배양액의 순환식 재활용 처리와 하천방류 등 비순환식처리, 재활용 유통센터 등 시나리오별 경제성을 비교 분석하기 위하여 문헌연구를 실시하였다. 또한 시나리오별 비교분석을 기초로 지역별, 작목별 효율적 유통전략을 수립하기 위해 배양액 처리 현황을 파악하고 관련업체 및 전문가들의 의견을 수렴하여 사업의 타당성을 검토하였다. 둘째로 주요 연구자료, 전문가, 농촌진흥청 또는 환경부 등 기존 자원공공처리시설의 운영과 관련한 자료를 파악하여 시설원에 배양액 재활용 유통센터 실행 모델을 수립하고자 하였다. 특히 시나리오별 경제성 분석을 기초로 시설원에 배양액 재활용 유통센터 운영주체, 운영방안, 산업화 방안 등을 실행 모델을 수립하여 장기적으로 전국적인 배양액 재활용 유통센터조성을 위한 기본구상을 마련하였다.

(2) 시나리오별 경제성 비교분석

(가) 배양액 배출과 경제성 분석의 개요

① 시설원에 배양액 처리 방법

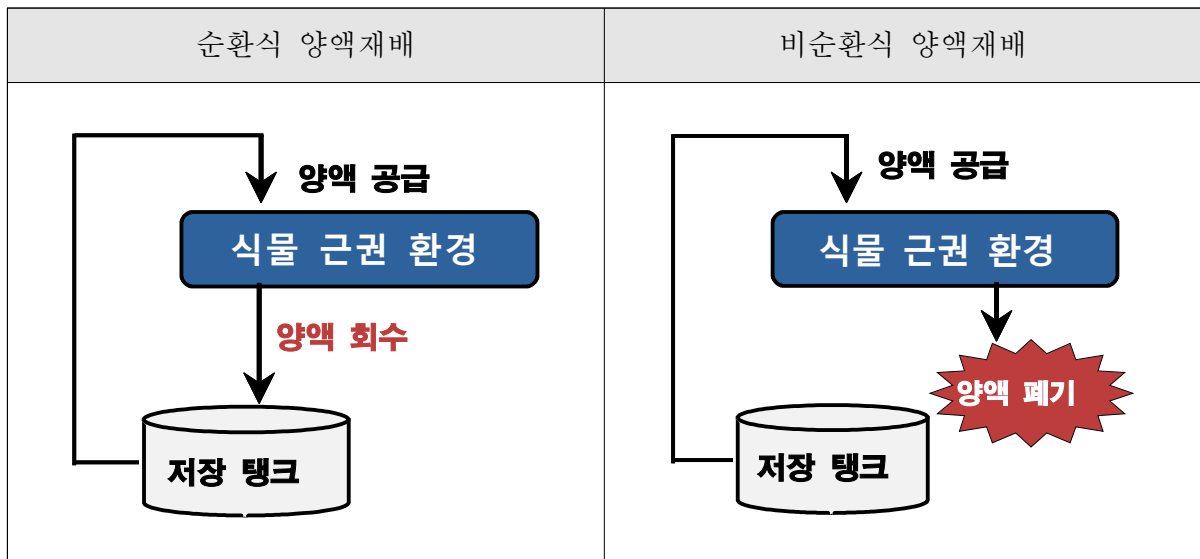
- 순환식 양액재배는 양액을 순환시키는 시스템이 추가되어 복잡하고 시설비가 과다 투입되며 재사용에 따른 양액 중 무기성분의 불균형으로 작물의 생육 불량, 근권 병원균이 확산 우려가 있어 다수의 생산농가들이 사용을 기피하는 상황이다. 하지만 중장기적으로 수질환경보전법의 적용을 받을 경우 허용기준을 초과할 경우 환경보전적인 차원과 비료의 손실 방지차원에서 접근해야 한다.
- 비순환식 양액재배 시스템은 시스템 구조가 간단하여 시설비가 저렴하고 근권에서 발생하는 병원균의 전염을 막을 수 있어 병해 대책을 확실히 하지 않고도 재배가 가능한 양액재배 시스템이다. 그러나 양액의 비순환으로 인한 비료의 손실량이 많고 수질오염을 초래하고 있다. 따라서 비순환식의 경우 타 작물에의 재활용이나 시, 군 등 지역단위 혹은 광역시 등 광역단위 유통시설을 통한 재활용 처리방법 등을 고려할 수 있을 것이다.

② 시설원에 배양액 처리방법과 종류

- 양액재배에서 사용한 폐 배양액의 처리방법은 우선 순환식 처리방법과 비순환식 처리방법으로 구분할 수 있다. 각각 그 비중은 순환식 처리방법 약 5%, 비순환식 처리방법 약 95% 수준으로 대부분 한 번 사용되는 비순환식이다. 비순환식 처리방법은 일반적으로 정화처리하지 않고 하천에 방류하는 방법이 가장 손쉽게 사용되고 있는 방법이다. 이러한 방법은 현행 법규로도 폐수 배출기준 허용 범위를 넘을 수 있으므로 다른 처리방법으로 전환이 시급하다. 향후 하천 방류하더라도 정화처리설비를 고려해야 한다. 정화처리방법에는 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법 등이 요구되나 대개는 전·후 처리방법으로 물리적, 화학적 방법이 병행된 생물학적 처리방법이 요구된다.

표 11. 비순환식, 순환식 양액재배 시스템 비교

구분	비순환식 양액재배	순환식 양액재배
시설비	기본시설	기본시설 (배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비, 배양액의 농도와 산도 조절 등 추가 설비 필요)
양분관리	간단	양액 농도조절설비 필요
병원균 위험률	식물병해 피해 낮음	식물병해 피해 높음(청고병, 역병)
양분/수분 소비량	비료 및 원수 사용량 증가	비료 및 원수 사용량 감소 (비료: 30-50%, 용수 30% 절감)
배양액 배출량	토양 및 수질오염	자원순환 시스템



자료 : 이한철(2014)

그림 57. 순환식 및 비순환식 양액재배

- 현재 일부 지역에서 사용하고 있는 비순환식 처리 방법은 농가 저장후 간단한 살균 등 처리 한 이후 타 작물에 비료 또는 퇴비화 하여 토양에 활용하는 방법이다. 예를 들면 파프리카 양액재배 후 발생한 배양액을 저장하여 노지 고추재배 포장에 추비로 활용하는 방법이다. 이러한 처리 방법은 동일 수경작물에 활용할 때 발생할 수 있는 병원균 감염을 방지할 수 있고, 타 작물의 생육에 도움이 되어 생산성 향상이 가능하다. 또한 폐 배양액의 이동이 편리한 장점도 있다. 하지만 양액재배 배양액 성분이 타 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있어 농가들이 기피하고 있다. 무엇보다 배양액의 성분은 고농도의 비료이므로 이를 토양에 살포하고 위해서는 작물에 정확한 비료성분 분석이 필요하다. 비료 성분을 검사한 후 정확한 사용을 해야 하지만 현재는 이에 대한 적정 시비방법이 마련되어 있지 않다. 이러한 정

확하지 않은 방법으로 토양에 장기 시비할 경우 염류집적, 영양성분 과다로 인한 작물의 피해가 발생할 우려가 있다. 게다가 현재 0.43ha 수준으로 영세한 양액재배 농가에 배양액 저장조를 설치하고 관리하는 불편함, 적절한 작물 토양 작물 면적의 확보, 배양액의 품질 문제, 배양액의 운송문제 등이 제기되고 있다.

- 순환식 처리방법은 양액재배 농가단위에서 활용하고 있으며, 현재 가장 기술개발과 보급이 많이 되어 있는 시설이다. 현행 친환경농업육성법 및 시행규칙(농림축산식품부령 제73호)에도 양액재배 농산물의 친환경농산물 인증시 ‘양액재배 및 양액재배의 방식은 순환식 등으로 하여 양액으로 인한 환경 오염이 없어야 함(제9조 인증기준)’으로 규정하고 있다. 농가단위에서 바로 처리하므로 자원의 이동이 불필요하고, 가장 손쉽게 자원을 재활용하는 방법이다.

표 12. 배양액 재활용 처리방법 시나리오

구분	형식	처리방법	현재사용
비순환식	단순 방류처리	양액사용 후 하천 방류로 처리	가장많음
	농가저장후 타작물시비	배양액 농가 저장, 수거후 타작물에 시비	소수
순환식	농가 단위 순환식 재배	양액재배농가에서 양액 자체 순환처리	약간
	지역단위 수거 후 액비화 처리	지역단위 유통시설로 수거한 이후 통합 처리	-

- 다음으로 가축분뇨 처리에서 사용하고 있는 지역단위 혹은 자원공동처리 방법을 고려해 볼 수 있다. 현재 가축분뇨의 경우 환경부의 관리 감독 하에 지방자치단체가 설치와 운영의 주체가 되어 소규모 농가(돼지 100두 미만)를 대상으로 가축분뇨를 직접 수거하여 정화 처리하는 가축분뇨공공처리시설과 농림수산식품부가 주관하여 시행하는 공동자원화사업으로 주로 퇴비 및 액비화 사업이 있다. 공공처리시설은 가축분뇨로 인한 수질오염을 효과적으로 방지하기 위하여 정화처리 위주의 공공처리시설 설치사업을 주로 실시하였다. 하지만 기존의 정화처리 방식에서 경제성 제고와 가축분뇨 적정관리 및 자원화를 통한 축산기반의 조성과 수질오염 방지를 동시에 추구하고자 지역특성을 고려한 자원화시설로 전환하여 ‘지역단위 퇴·액비 유통센터’ 등 공동자원화 사업을 2007년부터 시행하고 있다. 공동자원화 시설은 전국에 약 60개소가 있으며 시설규모는 약 100m³/일(자돈 20,000두 규모, 모돈 1천두 규모 약 20호 내외) 정도를 대상으로 하며, 대부분의 사업은 돈분뇨를 자원화하기 위한 퇴비 또는 액비화 사업이다.

- 따라서 시설원에 배양액의 재활용을 위해서 지역단위별로 약 100톤/일 수준의 사용된 배양액 수거 및 자원화 유통시설을 설립하여 활용하는 방안이다. 국내 양액재배 농가들이 평균 0.43ha 수준으로 매우 영세한 상황에서 농가별로 정화 처리시설을 설치하거나 순환시설을 설치하기 보다는 배양액이 발생하면 농가 저장탱크에 보관 후 순회차량에 의해 수거하여 공동 처리시설에서 자원화 하여 처리하는 방법이다. 따라서 본 연구에서는 각각의 시설원에 배양액

재활용 처리방법에 대해서 경제성 분석을 실시하여, 향후 효과적인 배양액 재활용처리모델을 수립하는 것이다.

③ 경제성 분석방법

㉞ 경제성 분석 개요

- 경제성 분석은 공공의 목표와 사업의 목표를 달성하기 위하여 여러 대안들의 예상되는 비용과 편익을 각각 추정하고 이를 비교 평가하여 사업의 가치를 평가하는 방법이다. 경제성 분석은 사업기간에 따른 할인율이 적용된 총비용과 총편익의 차인 순현재가치(NPV, Net Present Value), 할인된 총편익과 총비용의 비율인 편익비용비(B/C, Benefit/Cost Ratio), 할인된 총비용과 총편익이 같아지는 내부수익율(IRR, Internal Rate of Return)등이 사용된다. B/C ratio와 IRR을 병행 적용할 예정이며, 편익-비용 분석은 사업을 현명 하게 선정하는데 이용되는 절차와 방법을 다루고 있고 의사결정자에게 중요한 의사결정 수단으로 제공할 수 있어 투자사업의 타당성분석에 많이 적용된다. 편익-비용비의 기준은 비율이 높은 사업일수록 경제적 타당성이 높은 것으로 평가하는 기준이며, 적절한 사회적 할인율을 적용하여 비율을 계산하게 된다.

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\text{총 편익의 현재가치}}{\text{총 비용의 현재가치}} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

여기서, i 는 할인율, $B_t = t$ 년도의 편익, $C_t = t$ 년도의 비용, $n =$ 사업내용연도를 나타낸다.

- 경제적 내부수익률은 투자 사업이 원만히 진행된다는 전제하에 기대되는 예상수익률로서 투자 사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 순현재 가치(NPV, Net Present Value)가 0이 되게 하는 할인율로 계산하는데 내부수익률을 r 이라고 하면 r 은

$$NPV = \frac{(B-C)_0}{(1+r)^0} + \frac{(B-C)_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(B-C)_n}{(1+r)^n}$$

$$= \sum_{t=0}^n \frac{(B-C)_t}{(1+r)^t}, t=0, 1, 2, \dots, n$$

- 비용편익분석을 요하는 대부분 투자사업의 비용과 편익은 예외 없이 수년에 걸쳐 분산되어 있기 때문에 그 평가 측정 시 시간에 대한 흐름을 모두 반영시켜야 하고, 투자사업에 대한 타당성 여부는 현재시점에서 평가되어야 하므로 미래에 발생하는 편익과 비용은 모두 현재가치로 환산시켜 비교할 필요가 있으며 미래의 소비는 현재 소비보다 그 가치가 낮다. 따라서 미래의 모든 편익과 비용을 현재가치로 환산한다는 말은 현재가치로 할인한

다는 뜻이며, 이 때 적용되는 이자율을 할인율(discount rate)이라고 하며 할인율은 시간에 대한 선호를 반영하는 이자율이라 할 수 있다. 투자사업의 내구기간이 n 년 이라 하고 할인율 r 을 선택했을 때 비용·편익분석에서 순편익($B-C$)의 할인된 현재가치는 다음과 같이 표시되며

$$NPV = \frac{(B-C)_0}{(1+r)^0} + \frac{(B-C)_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{(B-C)_n}{(1+r)^n}$$

$$= \sum_{t=0}^n \frac{(B-C)_t}{(1+r)^t}, \quad t=0, 1, 2, \dots, n$$

- 위 식에서 NPV 는 편익과 비용의 순현재가치(net present value)이며, NPV 가 정(正)이면 사업은 채택될 것이고, 부(負)이면 기각될 것이다. 계획기간내의 각 사업대안들과 관련된 편익과 비용들은 가능하다면 화폐가치로 계량화되는 것이 바람직하다. 편익이나 적극적인 효과는 어떤 한 주체에 대해서가 아니라 국민경제에 바람직한 결과를 말하고 부작용 역시 어떤 한 주체에 대해서가 아니라 국민경제에 대하여 바람직하지 못한 효과를 말한다. 이 때 다양한 사회구성원들이 받는 편익과 부작용들을 화폐가치로 전환하는 것이 그리 용이한 일은 아니고 모든 투자사업의 편익을 추정하는데 적용할 공통적인 방법이 개발되어 있는 경우가 그리 많지 않다. 편익과 비용의 추정은 이론적이나 실제적으로도 가장 어려운 과제의 하나지만 비용·편익분석의 질은 바로 편익과 비용이 얼마나 타당성(validity)이 있고 신뢰성(reliability)이 있는 방법에 의하여 이루어졌는가에 따라 달라지기 때문에 비용과 편익의 분석과정에서 가장 역점을 두어야 할 작업과정이라고 할 수 있다.

㉔ 효과성 측정방법의 선택

- 비용과 편익이 추정되고 대안의 평가에 적용될 할인율이 결정되고 나면 그 다음에는 각 대안들의 효과성을 측정할 적절한 방법을 선택해야 한다. 이는 비용·편익분석의 의사결정에 관한 기본원칙은 어떠한 상황에서도 가장 큰 편익을 제공해주는 대안을 선택해야 하기 때문에 의사결정에 도움을 주는 기준(criterion) 또는 지표들을 선택해야 한다. 투자사업의 효과성을 측정하는 데 널리 쓰이는 일반적인 방법으로는 순현재가치(NPV , net present value), 편익비용비(BCR , benefit cost ratio), 내부수익률(IRR , internal rate of return), 원금회수기간(PVP , pay back period), 한계편익비용비 등이 있다. 순현재가치(NPV)는 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 순편익의 합계를 현재가치로 환산한 값을 의미하며, 이 순현재가치가 정(正)으로 나타나면 그 사업은 경제적으로 타당성이 있는 것으로 평가된다. 순현재가치 기준은 비용·편익분석에서 가장 널리 사용되는 기준이지만 어떤 수준의 할인율을 적용하느냐가 중요한 관건이 된다. 편익비용비율(BCR)은 사업의 비용 1단위당 편익이 얼마인가를 보여주는 것이므로 자연히 BCR 이 높은 사업일수록 경제적 타당성이 높은 것으로 평가되며 여기에서도 할인율을 적용하여 계산한다. 내부수익률(IRR)은 투자 사업이 원만히 진행된다는 가정 하에서 기대되는 예상수익률로서 투자사업의 전 기간에 걸쳐 발생하는 편익의 현재가치와 비용의 현재가치를 일치시켜 사업의 순현재가치(NPV)를 0이 되게 하는 할인율을 계산함. 내부수익률(R)이 통상적으로 사용되는

사회적 할인율(r)보다 크다면 그 투자사업은 타당성이 있다는 뜻이며, 것으로 평가한다. 하지만 편익과 비용의 구분을 명확하게 구분하는 것이 난해하여 산정에 많은 어려움이 존재하며, 상호배타적 대안선택의 오류발생의 가능성이 존재한다. 사회적 할인율을 산정하는 것에 있어 연구자에 의하여 서로 다른 결과가 나타날 수 있으며 할인율에 의해 사업의 타당성이 좌우될 수 있다.

㊤ LCC(Life Cycle Cost)분석

- 생애주기 비용 LCC(Life Cycle Cost)란 초기 투자비용, 유지관리비용, 해체-폐기비용, 잔존가치 등 시설물의 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 말한다. 시설원에 배양액 재활용 시나리오별 경제성 분석에서 시설물에 사용한 LCC 분석 조건은 표 12와 같으며 분석조건에 대한 세부내용은 아래와 같다.

표 13. LCC 분석 조건

LCC 분석 조건	적용 내용
구성 항목	초기 투자비, 유지관리비용
분석 기간	농가단위시설(10년), 재활용유통센터(20년)
분석 방법	확정적 분석방법
비용 집계	현재가치 환산법
할인율	5.5%

- 본 연구에서 LCC 평가에 사용한 LCC 구성항목은 표 13과 같이 초기투자비용과 유지관리비용을 고려하여 산정하였다. 초기 투자비는 순환시설 및 처리시설을 설치하는 사업비를 총칭하며, 설계 감리비 및 공사비를 포함한다. 유지관리비는 운영비, 유지비용으로 나눌 수 있다. 먼저 운영비는 시설을 운영하는데 사용되는 전력, 용수, 약품, 시료분석비용 등을 의미한다. 유지비는 적외선 램프 교체 보수비용 및 인건비, 관리비 등과 기타비용으로 구성된다.

표 14. LCC 구성 항목

LCC 비용	항 목	세부항목
초기투자비용	공사비	토목, 건축, 기계, 전기 등
유지관리비용	운영비	전력비, 용수, 비료비, 시료분석비 등
	유지비	램프교체 보수비, 인건비, 기타비용

- LCC 분석 기간은 시설물의 공용수명을 고려하여야 한다. 여기서 말하는 공용수명이란 시설물의 노후화로 인하여 시설물을 구성하는 재료나 부재 등이 필요한 성능을 유지할 수 없게 되거나, 안전에 문제가 발생하거나, 기대되는 서비스를 더 이상 제공할 수 없게 되는 수명을 말한다. 농가단위 순환식 재활용 설비는 시설수명을 고려하여 10년으로 계산하였으며, 지역

단위재활용 유통센터 시설의 공용수명, 즉 LCC 분석기간은 지방공기업법 시행규칙 별표 2 건축물 등의 내용연수 표를 참고하여 20년으로 적용하였다.

- LCC 분석 방법에는 확정적 분석방법과 확률적 분석방법 등이 있다. 확정적 분석방법은 유지보수 주기나 비용 등 분석의 기초자료의 변동성이나 불확실성을 고려하지 않고 특정한 값을 확정하여 적용하는 방법이다. 특정한 값을 확정하여 적용할 경우 적용이 간편하고 분석결과를 직관적으로 인식하기가 용이하다는 장점이 있는 반면, 기초자료를 특정함에 따라 불확실성을 처리하지 못한다는 단점이 있다. 확률적 접근방법은 LCC 분석 기초자료에 대해 특정한 값이 아닌 일정한 분포를 따르는 확률 특성값을 적용하고 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여, LCC 분석결과도 확률 특성값으로 제시하여 각각의 값이 될 수 있는 확률을 함께 제시하는 분석방법이다. LCC에 영향을 미치는 변수의 불확실성을 고려할 수 있으므로 확정적 분석방법보다 진보된 방법론이지만, 분석 기초자료의 확률적 특성에 관한 신뢰할 수 있는 자료의 확보가 전제되어야 한다. 본 배양액 재활용 시나리오별 경제성분석에서는 확정적 분석방법으로 LCC 평가를 실시하였다.
- LCC는 장기간에 걸쳐 발생하는 비용들을 다루므로 이들 비용을 동일한 시점의 가치로 환산할 필요가 있다. 대표적인 방법으로는 모든 비용을 현재가치로 환산하는 방법과 연간 평균투자비용으로 환산하는 방법이 있다. 현재가치 환산방법이 가장 보편적이며, 본 경제성평가에서도 현재가치 환산법을 사용하여 비용을 집계하였다.
- 할인율은 사업의 수익성에 지대한 영향을 미치는 요소로서 분석의 목적에 따라 적절히 선택되어야 한다. 재정사업의 경제성을 분석하는 경우 국민경제 전체의 입장에서 사업의 수익성 분석이 주목적이므로 사회적 시간선호를 나타내는 사회적 할인율을 사용한다. 사회적 할인율 값은 최근의 실질기준이자율, 사회적 시간선호 등을 고려하여 ‘실질 사회적 할인율 5.5%’를 적용하였다.

(나) 배양액 재활용 시나리오별 경제성 분석

① 재활용 시나리오별 경제성 분석 지표

- 시설원에 배양액 시나리오별 사업비 및 운영관리비 등 비용에 대한 분석과 각각의 재활용방법에 따른 편익은 실제 설치된 시설이 없어서 각각의 경제성을 비교하기가 불가능하다. 현재 대부분의 시설 원예에서 처리하고 있는 단순 방류처리는 법규측면에서도 고려하기에는 어려움이 있다. 비순환식 처리방식은 기존의 생산 농가 입장에서 수질오염방지 비용을 고려하지 않을 경우 경제성 분석에 의미가 없다. 또한 단순 방류처리는 현행 법규로도 위반의 소지가 있으므로 이러한 방식을 고려할 수 없다. 만약 단순 방류처리도 수질정화처리 비용을 추정하여 경제성분석을 실시하는 경우 어떠한 경제적 편익 없이 비용만 발생하므로 경제적으로 타당성이 없게 된다. 그러므로 순환식 재배와 비순환식 재배방식 모두 수질오염방지에 대한 비용 혹은 편익은 모두 직접비용과 직접편익으로 산정해야 한다. 즉 비순환식에서 현재와 같은 하천방류는 수질정화비용을 직접비용으로 추정하지만,

순환식 재활용 방식에서는 수질오염방지 편익으로 추정해야 한다. 따라서 경제성 분석은 현행 분석이 가능한 농가단위 순환식 방법과 지역단위 재활용 유통센터를 설치하는 경우의 경제성을 비교 분석하고자 한다. 순환식 경제성 방법이 타당할 경우 비순환식은 당연히 경제성이 떨어지는 것으로 분석될 것이기 때문이다. 경제성분석을 위한 지표로는 편익(Benefit)지표와 비용(Cost)지표로 구분이 된다(표 14). 편익과 비용지표는 각각 직접편익지표와 간접편익지표, 직접비용지표와 간접비용지표로 구분된다.

○ 본 연구에서 경제성 분석은 ① 배양액의 하천 방류(비순환), ② 농가단위 배양액 순환, ③ 지역단위 재활용유통센터를 통한 비료화 등 세 가지 시나리오를 분석하였다(그림 58). 농가단위 순환식 재배의 경우 발생하는 편익은 원수절감, 비료 사용량 절감 등의 직접적인 편익과 수질오염 절감과 같은 간접편익이 있다. 수질오염 절감 이외에도 토양보전, 지역 사회에 미치는 간접적인 편익은 모든 항목의 편익을 계량화하여 화폐가치화 하는 것이 어렵다. 따라서 본 조사에서는 사업의 직접적인 편익과 간접편익 가운데 수질오염 절감 편익 등 화폐가치화 할 수 있는 항목들 위주로 경제성을 평가하였다. 비용항목으로는 순환설비 설치비와 운영비, 비순환식의 경우 수질정화 처리비 등이 있다. 수질정화처리 비용에 대한 추정도 기존 시설원에 배양액에 대한 정화처리기준 값이 없어서 환경부에서 기준으로 사용하는 가축분뇨 공공처리시설에 적용되는 법적 방류 수질을 기준으로 하였다. 따라서 재활용 시나리오별 경제성 분석은 순환식 방법에 대한 경제성분석을 기준으로 ha당 시설규모를 설정하여 상대적인 비교분석을 실시할 계획이다. 재활용 유통센터의 시설비, 운영비, 처리방법 등에 대한 경제성 분석도 분석 가능한 사례가 없으므로 ‘가축분뇨 공공처리시설 중 액비화 시설’의 시설비와 운영관리 기준을 토대로 추정하였다.

② 농가단위 순환식 재활용 시설의 경제성 분석

㉞ LCC 분석

○ 시설원에 배양액 재활용의 경제성 분석은 순환식 방법과 비순환식방법 모두 시설원에 생산이 이루어진 이후에 발생한 배양액의 처리방법을 결정하고자 하는 분석이다. 따라서 시설원에 생산이라는 수익의 발생과 별도로 배양액의 처리는 공공수역 및 환경오염을 줄이고 수질오염을 방지하기 위한 공공의 목적을 고려해야 한다. 순환식 배양액 시설비는 일반 비순환식 시설비 이외에 저장시설, 여과시설 및 살균시설 등에 평균 3만원/3.3㎡이 소요되는 것으로 추정하면, 1ha에 약 9,000만원이 소요되었다.



그림 58. 배양액 재활용 시나리오별 경제성 분석 도식

표 15. 시나리오별 경제성 분석 지표

형식	편익(Benefit)지표		비용(Cost)지표	
① 단순 방류처리	직접편익		직접비	- 원수사용 증가 - 비료사용 증가
	간접편익		간접비	- 정화처리비용
② 농가단위 순환식 시설	직접편익	- 원수절감 - 비료절감	직접비	- 순환설비 시설비 - 순환설비 운영비
	간접편익	- 수질오염방지	간접비	- 작물피해
③ 지역 단위 재활용유통센터	직접편익	- 비료 절감	직접비	- 유통센터 시설비 - 운영비
	간접편익	- 수질오염방지	간접비	

표 16. 순환식 설비 초기 투자비(1ha 기준)

구분	추가설비내역	3.3㎡사업비(원)	ha 당 사업비(만원)
농가단위	배양액 회수배관, 저장설비, 여과장치, 살균장치 등	30,000	9,000

주 : 시설비는 농가단위 설문조사를 기초로 추정함

㉔ 유지관리비

- 순환식 설비를 설치할 경우 유지관리비용은 양액 시료분석을 위한 운영비 회당 8 만원과 연간 1회 교체되는 램프교체 보수비가 필요한 것으로 조사되었다(표 17).

표 17. 순환식 설비 운영비 및 유지비

구분	회당(만원)	연간/ha(만원)
시료분석비(월 2회 분석)	8	192
램프교체비(연 1회)	500	500
합계	508	692

주 : 분석 주기 및 비용은 전라북도 산하 기관의 운영자료 사용

㉕ 수질오염방지 기여율

- 우리나라는 ‘수질 및 생태계 보전에 관한 법률’에 의해 산업 폐수 배출기준은 총 질소 40 mg/l 이하, 총 인 0.2~0.5mg/l 이하로 규제하고 있다. 그러나 본 과제에서 시설원에 배양액의 수질을 분석한 결과 총 질소의 농도는 화훼류가 약 4,900mg/l, 파프리카가 2,400mg/l,

토마토가 4,480mg/ℓ로 조사되어 기준치의 10배 이상을 초과하고 있다. 배양액의 환경오염 부하량 기준을 가축분뇨 공공처리 시설의 방류수질의 경우를 가정하여 수계유출 부하량을 산정하여도 크게 다르지 않다. 따라서 시설원에 순환식 재배방식의 경우 수계로 유출되는 부하량은 다음과 같이 추정하였다(표 18).

표 18. 폐 배양액 정화처리시 환경오염 부하량(예)

구분	용량(m ³ /일)	유입수		방류수		수계유출 부하량(kg/일)	비고
		수질 (mg/ℓ)	부하량 (kg/ℓ)	수질 (mg/ℓ)	부하량 (kg/ℓ)		
처리량	100.0						
BOD		28,000	2,800	30.0	3.0	3.0	
T-N		5,200	520	60.0	6.0	6.0	
T-P		780	78	8.0	0.8	0.8	

주 : 방류수질은 가축분뇨공공처리시설의 법적 방류수질기준을 적용

표 19. 순환식 처리 방식의 환경오염저감 기여율 산정

구분	계산방식
부하량 절감	유입수 부하량 - 방류수 부하량
환경오염저감 기여율	부하량 절감 / 유입수 부하량

(다) 비용 편익 분석

① 총 사업비

○ 경제적 타당성 분석을 위한 총 사업비는 시설원에 배양액재배에서 순환식 재배를 위한 설비를 갖추는 것을 기준으로 조사하였다. 시설원에 순환식 시설은 설비의 가격 편차가 크게 발생하여 ha 당 3,000만원에서 1억 5,000만원까지 다르게 조사되었는데 이는 배양액 순환재배 설비의 종류와 기술수준이 다르기 때문으로 판단된다. 따라서 본 자료에서는 개인농가의 자료가 아닌 지방자치단체 산하 기관에서 운영 중인 시설의 설비를 기준으로 전문가 등의 자문을 거쳐 ha 당 사업비를 추정하였다.

표 20. 타당성 분석 사업비

(단위 : 만원, 불변가, 사용기한 10년)

구분	추가설비내역	3.3m ² 사업비(원)	ha 당 사업비
순환식 설비	배양액 회수배관, 저장설비 여과장치, 살균장치 등	30,000	9,000

② 운영비 산정

○ 운영비는 시설물의 정상적인 운영과 유지보수에 지출되는 비용으로, ha당 연간 비용을 추정하였으며, 순환식 재배시설은 10년을 사용기한으로 산정하였다.

표 21. 타당성 분석 운영비

(단위 : 만원, 불변가, 사용기한 10년)

구 분	회당(만원)	연간/ha (만원)
시료 분석비(월 2회 분석)	8	192
램프 교체비(연 1회)	500	500
합계	508	692

③ 편익추정

○ 시설원에 배양액의 재활용 편익을 계산하기 위해서는 시설원에 배양액 재배를 하고 있는 시설 채소와 화훼 작물별 원수 사용량과 비료사용량을 알아야 한다. 하지만 표 22과 같이 재배방식별로 또는 작물별로 원수사용량과 비료사용량이 모두 다르게 조사되고 있다. 게다가 모든 작물의 정확한 데이터를 가지고 있다 해도 작물의 생육기간별, 계절별, 기후변화 등으로 외부적인 요인에 의해 많은 편차가 발생하므로 외부 변화에 따른 편익의 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 경제성 분석에서는 농촌진흥청에서 추정해서 발표한 시설원에 배양액 원수사용량과 비료 사용량 평균자료를 기준으로 경제성 분석을 실시하였다.

표 22. 선행연구의 시설원에 양액재배 방식별 비료 및 원수 사용량

(단위 : kg/ha/yr)

작물	재배방식	비료사용량(kg/ha/yr)					원수 사용량 (ton/ha/yr)
		N	P	K	Ca	Mg	
파프리카	비순환식	2,002	355	2,601	1,503	365	10,115
	순환식	1,125	217	1,476	676	187	7,229
장미	비순환식	1,603	376	2,038	1,079	262	15,391
	순환식	981	239	1,073	734	116	10,769

자료 : Gemert et al., 1994

표 23. 타당성 분석에 사용한 비료사용량 및 원수사용량

(단위 : kg/ha/yr)

재배방식	비료사용량(kg/ha/yr)					원수 사용량 (ton/ha/yr)
	인산칼륨	질산칼륨	질산칼슘	황산마그네슘	소계	
순환식	1,200	5,600	5,600	2,240	14,560	13,680

비고 : 원수사용량 추정은 30,000주*1.5 ℓ (ha/일)를 기준으로 함

○ 원수절감 편익

- 시설원예 배양액 재배는 연간 13,680톤/ha 의 원수를 사용하게 된다. 그 중 순환식 시설을 통해 재활용하게 되면 생육시기에 따라 약 20%~ 40%의 원수를 절감하게 되는데 본 연구에서는 평균 30%의 원수 절감효과가 있는 것으로 추정하였다.

표 24. 순환식 재배로 인한 원수 절감편익

구분	하루발생량 (ton/ha)	절감효과	연간발생일	상수도요금 (원)	연간절감액 (만원)
원수절감	45	30%	304	800	328

비고 : 원수사용량은 일 45톤, 연 304일 사용을 기준으로 함

○ 비료절감 편익

- 시설원예 배양액을 순환식 시설로 재활용하면 연간 30%의 비료 절감 편익을 얻을 수 있는 것으로 조사되었다.

표 25. 순환식 재배로 인한 비료 절감편익

구분	연간사용량 (ton/ha)	절감효과	비료가격 (톤/만원)	연간절감액 (만원)
비료절감	14.56	30%	300	1,310

○ 수질오염 절감 편익

- 순환식 시설을 통해 무단 방류되는 배양액의 발생을 줄이게 되면, 폐 배양액의 방류로 인한 공공수역의 수질오염을 줄이는 편익을 얻을 수 있게 된다. 오염총량 배출이 감소하면 그것은 환경개선 편익이지만, 그 환경개선편익의 가치평가는 최적 의사결정하에서 교환될 수 있는 경제재의 가치인데 이를 배출총량이 감소함으로써 수질총량제하에서 그 만큼의 개발이익을 취할 수 있으므로 이를 평가하여 수질 개선의 경제적 가치로 보는 것이 타당하다. 이러한 계산은 가상 배출권가격을 추정함으로써 가능한데, 가상배출권 가격은 16,490원/kg BOD/year이며, 정화처리시설로 인한 BOD 저감 총량을 곱해주면 그것이 바로 편익이라고 할 수 있다.

- 순환식 시설 설치로 인하여 공공수역 수질오염 절감편익을 계산하면

$$\begin{aligned} \text{수질오염 절감편익} &= \text{일 단위 BOD 저감총량}(\text{ton당}) \times \text{BOD 평균 감축비용단가} \\ &= (28-1) \times (16,490/365) \\ &= 1,220\text{원/일} \end{aligned}$$

④ 경제성 분석결과

- 시설원에 배양액을 기존과 같이 하천 방류로 처리할 경우 원수사용이 증가하고, 비료사용이 증가하므로 이는 모두 직접비용으로 처리하는 것이 타당하다. 비록 현재는 농가단위에서 정화 시설을 거치지 않으므로 농가단위에서 비용이 발생하지는 않으나, 사회 전체적으로는 부담해야 할 비용이므로 간접비용으로 추정하였다. 하지만 하천 방류로 농가단위에서 발생하는 편익은 계산할 수 없다. 따라서 총 비용 13,747만원, 순현재가치는 -13,747만원이다.

표 26. 단순 방류처리의 경제성-타당성 분석 결과

(단위 : 만원, %)

구 분	편익(Benefit)		비용(Cost)		B/C Ratio	순현재가치(NPV)
	불변가	현재가	불변가	현재가		
운영기간 10년			15,920	13,747	0	-13,747

- 농가단위에서 시설원에 배양액의 순환식 설비를 통한 재활용 방식의 비용/편익 분석결과는 할인율 5.5%, 운영기간 10년을 기준으로 산정했다. 총 편익 14,098만원, 총 비용 13,747만원, 순편익 351만원으로 산출되었으며, 비용/편익 비율(B/C Ratio)는 1.03으로 분석되었다.

표 27. 농가단위 순환식 시설의 경제성-타당성 분석 결과

(단위 : 만원, %)

구 분	편익(Benefit)		비용(Cost)		B/C Ratio	순현재가치(NPV)
	불변가	현재가	불변가	현재가		
운영기간 10년	21,394	14,098	15,920	13,747	1.03	351

- 만약, 순환식 재활용을 통한 편익계산에서 지금과 같이 수질오염 절감편익을 포함하지 않을 경우에는 경제성은 낮은 것으로 추정되었다. 간접편익을 제외한 경우 총비용은 동일하지만 총 편익이 10,799 만원으로 낮아지며 B/C Ratio 역시 0.79로 경제성이 낮아지며, 순편익은 -2,948만원으로 산출되었다. 이러한 결과를 통해서 수질오염 절감 편익은 단순 방류처리와 마찬가지로 농가단위에서 고려할 수 없는 편익이다. 즉, 농가 입장에서 순환식 재배를 하더라도 현실적인 경제적 이익을 계산하기 어렵다. 따라서 단순 방류하는 농가에 대한 제재나 순환식 설비를 통해 시설원에 배양액을 재활용하도록 보급하기 위해서는 다양한 방법이 요구된다. 우선 하천 방류에 대한 수질정화 비용을 생산농가에 부담하도록 하는 규제나 제재가 있을 것이다. 하지만 이는 영세한 시설원에 생산 농가에 또 다른 부담을 지우는 것으로 반발을 가져올 수 있다. 다음으로 순환식 시설에 대한 정책적 지원방안을 마련하는 것이다. 순환식 시설 사업비를 지원하거나 운영비 등을 지원하는 방안이 있을 것이다.

표 28. 경제성 타당성 분석 결과(수질오염 절감 편익 제외)

(단위 : 만원, %)

구 분	편익(Benefit)		비용(Cost)		B/C Ratio	순현재가치 (NPV)
	불변가	현재가	불변가	현재가		
수질오염 절감편익 제외	16,387	10,799	15,920	13,747	0.79	-2,948

나. 지역단위 배양액 재활용 유통센터 경제성 분석

(1) LCC 분석

○ 시설원에 배양액의 재활용을 위한 방법의 하나로 구상할 수 있는 사업이 재활용 유통센터를 통한 지역단위 재활용시스템을 구축하는 것이다. 이와 유사한 사업으로 국내에서는 가축분뇨 처리시설이 있는데, 가축분뇨처리시설은 크게 정화시설과 자원화로 구분된다. 정화처리시설은 반입되는 가축분뇨를 생물학적, 물리화학적 처리를 거쳐 방류수 수질기준 이하까지 처리한 후 방류하는 단독처리와 이를 다시 인근의 환경기초시설, 주로 하수종말처리장시설로 연계하여 오염부하량을 최대한 낮추어 수계로 방류하는 연계시스템으로 구분된다. 자원화시설은 환경부에서 지원하는 가축분뇨공공처리장과 농림부에서 지원하는 공동자원화시설로 구분할 수 있는데, 가축분뇨를 처리하여 퇴비화시설과 액비화 시설로 구분할 수 있다. 공공처리장(환경부)은 가축분뇨의 전처리 설비, 생산퇴비 선별기, 포장설비, 충분한 적치공간 확보를 위한 건축물, 퇴비이송 등을 위한 차량 등이 모두 포함되어 있다. 따라서 전문 설계사에 의해 설계가 이루어지고 퇴비화에 필요한 대부분의 설비가 적용되며 운영관리를 위한 별도의 관리동까지 설치되며 전액 국비로 이루어진다. 하지만 농림부의 공동자원화시설은 일정한 금액의 기준액이 정해져 있으며 국비 50%, 지방비 30%, 국비융자 20%로서 공공의 성격보다는 민간의 성격이 일부 포함되어 있어 퇴비화에 필요한 모든 설비나 구조물 등이 설계에 포함되기 어려운 실정이고 설계비가 적은 관계로 전문 설계사에서 설계가 어려운 실정이다.

(가) 시설비

○ 시설원에 배양액의 재활용을 위한 설비가 존재하지 않는 상황에서 사업비를 추정하는 것이 한계가 있어, 본 조사에서는 환경부의 축산분뇨 액비화 시설의 사업비를 기준으로 배양액 시설비 참고 자료로 활용하였다. 가축분뇨 액비화 시설의 사업비는 실제 화성시는 설비에 2,084백만원(70톤/일), 여주군 2,381백만원(80톤/일)이 소요되었다. 두 시설을 기준으로 평균사업비는 2,980백만원(100톤/일)이다. 즉, 가축분뇨 자원화시설의 경우 환경부에서 적용하는 액비화 시설의 평균 사업비는 톤당 약 29백만원으로 조사되었다. 하지만 지역단위 배양액 재활용 유통센터의 기능은 농가단위에서 발생하는 배양액을 회수하여 간단한 살균처리과정을 거쳐 사용하면 되므로 액비화 시설보다 정화 및 살균 등에서 간소한 시설이 필요하므로 설치비도 적게 소요될 것이다. 2015년 가축분뇨 공동자원화 사업의 경우 액비화 시설은 톤당 40백만원이 기준 사업비로 세워져있다. 따라서 시설원에 배양액 재활용 유통센터의 시설비는 자원화시설의 평균사업비를 기준으로 톤당 29백만원으로 적용하는 것이 타당할 것이다.

표 29. 재활용 유통센터 설치비 추정(가축분뇨 액비화 시설기준 적용)

(단위 : 백만원)

규모별	위치	공사비					설계비	감리비	부대비	계	톤당 사업비
		토목	건축	기계	전기	기타					
70톤/일	화성시	158	611	866	48	283	17	13	87	2,084	29.8
80톤/일	여주군	181	698	991	55	324	19	14	100	2,381	29.8
평균사업비 (100톤기준)		226	873	1,240	69	405	24	18	125	2,980	29.8

자료 : 가축분뇨공공처리시설 운영현황, 환경부, 2012

(나) 유지관리비

- 국내에 운영 중인 시설원에 배양액 재활용 유통센터가 존재하지 않으므로 유지 관리비의 추정이 불가능하다. 따라서 가축분뇨 액비화 시설인 가축분뇨 공공처리장의 유지관리비를 기준으로 시설별, 규모별 유지관리비를 추정하고자 한다. 환경부에서 지원하는 가축분뇨공공처리장 중 액비화 시설에 대한 운영관리비는 톤당 유지관리비 19,545원으로 조사되었다. 여기에서 시설원에 배양액 재활용유통센터에서는 위탁처리비와 약품비가 소요되지 않으나 살균을 위한 설비의 유지관리가 필요하므로 약품비를 살균관리로 대체하여 사용하고, 위탁처리비는 비료 살포 비용으로 대체하여 사용하는 것으로 추정하였다. 시설원에 재활용 유통센터의 유지관리비는 톤당 19,545원으로 추정하였다.

표 30. 재활용유통센터 운영관리비 추정(자원화시설기준 적용)

위치	유지관리비 (만원/100톤/일)	세부항목별 유지관리비(원/톤)						
		위탁처리비 (비료살포)	인건비	전기비	약품비 (살균관리)	기타	시설보수	소계
화성시	192	4,460	5,946	2,194	2,053	71	4,460	19,183
여주군	200	-	10,942	1,305	505	3,998	3,157	19,907
자원화시설평 균(100톤기준)	195	2,230	8,444	1,750	1,279	2,035	3,808	19,545

자료 : 가축분뇨공공처리시설 운영현황, 환경부, 2012

(2) 비용 편익 분석

(가) 총 사업비

- 경제적 타당성 분석을 위한 총 사업비는 먼저 시설규모를 결정해야 한다. 국내에서 운영 중인 가축분뇨 공공처리장 액비화 시설에 대한 조사결과 100톤이 기준이므로 시설원에 배양액 재활용 유통센터의 경우도 100톤을 기준으로 사업비를 산정하였다. 시설원에 배양액 재활용 유통센터의 목적은 배양액을 다시 자원화 하는 것으로, 액비화 시설을 기준으로 톤당 초기투자비는 약 2,980 백만원이며, 시설용량은 100톤으로 적용하였다.

표 31. 타당성 분석을 위한 배양액 재활용 유통센터 초기 투자비

(단위 : 백만원, 불변가, 운영기한 20년)

구 분	금 액	비 고
설계비	24.0	100톤/일 용량기준
감리, 기타	143.0	100톤/일 용량기준
공사비	2,813.0	100톤/일 용량기준
합계	2,980.0	100톤/일 용량기준

(나) 운영비 산정

- 배양액 재활용 유통센터의 유지관리비를 톤당으로 환산할 경우 연간 유지 운영비용은 액비 화시설의 유지 운영비를 기준으로 톤당 약 19,545원으로 연간 58,500만원으로 산출하였다.

표 32. 배양액 재활용 유통센터의 운영 및 유지비

(단위: 원, 운영기한 20년)

구 분	금 액(원/톤)	비 고	
운영비	전력비	1,750	100톤/일 용량기준
	살균처리	1,279	"
	비료살포	2,230	
유지비	보수비	3,808	"
	인건비	8,444	"
	기타	2,035	"
톤당 운영 및 유지비 합계		19,545	
연간 운영유지비(만원)		58,500	연간 300일 가동

(다) 편익추정

- 현재 국내에서 운영중인 가축분뇨 액비화 시설에서 생산된 최종 액비는 희망하는 농가에 대해 전량 무상으로 공급하고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 시설원에 배양액 재활용을 통해 생산된 액비는 과수 등 희망하는 생산농가에 무상 공급하는 것으로 추정하였다. 다만 시설원에 농가에서 수거된 배양액을 재활용유통센터로 회수되어 살균 처리하여 공급되므로 과수 등 생산농가에서는 비료를 절감할 수 있으므로 이러한 비료 절감비용을 편익으로 추정하는 것이 타당할 것이다.

① 비료 절감 편익

- 시설원에 배양액 재활용 유통센터에서 살균 처리된 배양액을 타 작물에 시비하였을 경우 편익을 산정하기 위해 본 제1연구과제에서 시험구에 시비한 결과를 기준으로 사과생산 농가에 공급할 경우의 편익을 추정하였다. 사과의 생산비에서 무기질비료가 차지하는 비용은 10a 당 연간 약 116,417원으로 조사되었다. 이를 근거로 재활용 유통센터에서 처리하지 않으면 폐기되는 배양액을 살균 처리하여 사과 생산농가에 공급하고, 살포되는 배양액 이외에 다른 무기질비료를 살포하지 않을 경우 사과농가는 연간 1,164,170원(연/ha)의 무기질비료의 절감 편익을 얻게 된다.
- 무기질 비료를 대체할 수 있는 시설원에 배양액 살포량을 추정하기 위해 제1연구과제의 시험구에 살포한 배양액을 기준으로 계산하였다. 먼저 B와D 처리구는 무기질비료 살포 50%, 배양액 50%로 사용한 경우 10a당 약30톤의 배양액이 사용되고, C 처리구는 무기질비료는 전혀 사용하지 않고, 배양액만 사용한 경우로 10a 당 약 60톤이 사용된다(표 33). 따라서 무기질비료를 전량 배양액으로 대체할 경우, 재활용 유통센터의 규모가 일 100톤 규모일 경우 약 50ha, 200톤 일 경우는 100ha의 면적에 살포가 가능하다(표 34).

표 33. 배양액 소요량 추정(무기질 비료 대체)

처리구	시험구 분시비율(톤/10a)	배양액 소요량(톤/ha)
B	기비(배양액 30), 1차 + 2차 추비(화학비료)	300
C	기비(배양액 30), 1차 + 2차 추비(배양액 30)	600
D	기비(화학비료), 1차 + 2차 추비(배양액 30)	300

비고 : 각 시험구는 기비(50%) + 1차 추비(25%) + 2차 추비(25%) 동일

표 34. 비료비 절감편익 추정

구분	품목	비료비(연/10a)	연간(원/ha)	총 절감이익 (만원/50ha)	비고
비료 절감액	사과	116,417원	1,164,170	85,840	전량 배양액으로 재배시 600톤/ha, 총50ha살포

비고 : 관행농법의 무기질비료 살포량(N:21.6, P:7.2, K7.5, 복합비료:65.6kg)

② 수질오염 절감 편익

- 시설원에 배양액 재활용 시설을 통해 무단 방류되는 배양액의 발생을 줄이게 되면, 폐 배양액의 방류로 인한 공공수역의 수질오염을 줄이는 편익을 얻을 수 있게 된다. 오염총량 배출이 감소하면 그것은 환경개선 편익이지만, 그 환경개선편익의 가치평가는 최적 의사 결정하에서 교환될 수 있는 경제재의 가치인데 이를 배출총량이 감소함으로서 수질총량제 하에서 그 만큼의 개발이익을 취할 수 있으므로 이를 평가하여 수질 개선의 경제적 가치

로 보는 것이 타당하다. 이러한 계산은 가상 배출권가격을 추정함으로써 가능한데, 가상배출권 가격은 16,490원/kg BOD/year이며, 정화처리시설로 인한 BOD 저감 총량을 곱해주면 그것이 바로 편익이라고 할 수 있다. 재활용 유통센터 설치로 인하여 공공수역 수질오염 절감편익을 계산하면

$$\begin{aligned} \text{수질오염 절감편익} &= \text{일 단위 BOD 저감총량} \times \text{BOD 평균 감축비용단가} \\ &= (2800-1) \times (16,490/365) \\ &= 126,499\text{원/일} \end{aligned}$$

③ 경제성 분석결과

- 시설원에 배양액의 재활용 유통센터를 통한 재활용 방식의 비용/편익 분석결과는 할인율 5.5%, 운영기간 20년을 기준으로 산정했다. 총 편익 1,025,987만원, 총 비용 981,562만원, 순편익 44,425만원으로 산출되었으며, 비용/편익 비율(B/C Ratio)는 1.05로 분석되었다.

표 35. 지역단위 재활용 유통센터 경제성-타당성 분석 결과

(단위 : 만원, %)

구 분	편익(Benefit)		비용(Cost)		B/C Ratio	순현재가치 (NPV)
	불변가	현재가	불변가	현재가		
100톤/일 처리시	1,865,004	1,025,987	1,468,000	981,562	1.05	44,425

- 여기에서 유의해야 할 부분은 시설원에 배양액의 재활용 시설은 단순히 경제성 분석으로 평가할 수 없다는 것이다. 예를 들면, 환경부의 가축분뇨 액비화처리 시설의 경제성 분석을 보면 B/C Ratio는 0.05, 순현재가치(NPV)는 -7,910백만원으로 경제적 타당성이 전혀 없는 것으로 조사되지만, 공공투자의 목적으로 사업을 진행하고 있기 때문이다. 따라서 가축분뇨 시설과 비교하더라도 시설원에 배양액 재활용 유통센터의 경우는 경제적 타당성도 확보할 수 있으며, 자원의 순환, 환경오염 방지 등의 공공적 목적을 충분히 만족시키고 있다고 판단된다.

다. 배양액 유통전략 및 재활용 유통센터 설립 방안

(1) 시설원에 배양액 재활용 유통전략

(가) 배양액 자원화의 필요성

- 우리나라는 부존 자원이 부족한 국가로서 자원의 재활용에 대한 관심이 많다. 자원 재활용 상황은 1990년대 이후 양적으로 성장하였으나, 대부분 영세한 업체들로 구성되어 경쟁력이 부족하다. 자원 재활용에 대한 인프라 부족, 영세성 등 근본적인 영세성을 극복하기 어려운 상황이다. 유한한 자원의 효율적 운영과 자원순환의 활성화를 위하여 재활용 산업의 중요성을 인식하고 체계적인 산업의 질적·양적 성장을 위하여 직접적인 지원 확대는 물론 자원순환분야 인프라 확충, 자원순환분야 법·제도 개선 등의 추진이 이루어지고 있다(그림 59).

시설원예 배양액 분야도 이러한 국가적 자원순환 비전과 목표에 따라 시설원예 세부 전략 수립이 전환되어야 할 것이다. 자연자원을 공급하고 폐기물을 정화하는 환경의 본원적 기능을 최대한 활용하는 자원순환형 농업은 농업환경자원의 지속가능한 이용과 보전 및 건전한 농업생태계 유지를 위해 필수적이라 할 수 있다. 지금까지는 생산성을 증대시키기 위해 새로운 재배기술과 품종개량, 비료와 농약 등 화학적 투입재 사용, 농후사료 및 사료 첨가제 등 외부로부터 화학적 농자재와 에너지 투입량을 증가시켜왔다. 시설원예에서 배양액을 이용한 양액재배가 증가하는 이유도 동일하다. 하지만 농업은 물질수지 측면에서 농업환경자원을 관리하지 않으면 환경부하가 증가될 수밖에 없다. 이러한 맥락에서 경종·축산 부문의 유기적인 연계를 기초로 한 자원순환형 농업시스템 구축이 도입되는 것처럼 시설원예에서도 자원의 순환 측면에서 지속가능한 농업발전은 물론 생태계 유지와 환경보전 등을 적극적으로 고려해야 한다.

- 자원순환형 농업(resource cycling agriculture)은 농축산물의 생산과정에서 발생하는 부산물(또는 폐기물)을 최대한 재활용하고 환경용량에서 수용할 수 있는 만큼의 폐기물을 농업계 외부로 배출함으로써 농업생태계에서 물질의 선순환이 이루어지는 농축산물의 생산 활동을 의미한다. 자연생태계(natural ecosystem)의 물질순환은 ‘식물흡수 → 유기물 분해 → 토양 → 식물흡수’의 과정이 반복되면서 선순환적인 자연순환 시스템이 지속적으로 이루어지기 때문에 시간적·공간적 범위에서 물질의 투입과 산출이 균형을 이루는 정상상태(steady state)가 유지된다. 이론적으로 물질수지가 균형상태가 되면 환경부하를 최소화 할 수 있어 환경문제는 거의 발생하지 않는다. 반면 시설원예 양액재배는 생산자원의 일부가 농업외부로 직접 유출되고, 자연생태계에 불필요한 양분을 공급하여 환경오염과 자원의 낭비를 초래하게 된다.
- 자원순환형 농업의 핵심은 경종과 축산부문의 유기적인 연계에 따라 시너지 효과를 발생시킨다는 점이다(표 36). 화학비료와 농약을 투입하지 않거나(유기재배) 상당히 감축하는(무농약 또는 저투입 재배) 친환경농업은 안전한 농산물 물론 생태계 보호와 환경보전에도 큰 기여를 하게 된다. 이러한 관점에서 시설원예 양액재배 배양액을 재활용하는 것은 작물생산과 생태계 보호를 위해 반드시 수행되어야 할 사업이다. 시설원예 배양액 재활용을 통한 자원의 선순환체계가 지속되는 경우 안전한 농산물생산은 물론 토양개량, 화학비료 및 농약 사용량 감축에 따른 경제적인 효과 외에도 환경보전 등 농업의 다원적 기능을 극대화 할 수 있다.

비전	저탄소 자원순환형(Zero-Waste) 사회 정착	
목표 [2015]	- 폐자원 업사이클링(Upcycling) 기반 조성 - 자원순환률 20.3% 달성	
중점전략· 추진과제	① 자원순환형 사회구조로 진환	- 국가 자원순환지표 관리 등 기반 조성 - 개발사업의 자원순환성 강화 - 제품 전 과정의 자원순환성 확산 - 자원절약형 구매·소비문화 조성
	② 가치상향형 자원순환(4R) 실현	- 유용자원 매립 최소화 - 질적 재이용·재활용 제고 - 폐자원의 에너지원으로의 사용 확대
	③ 통합형 처리 인프라 구축	- 폐기물처리 최적화 추진 - 최적화 촉진을 위한 기반 조성 - 유해폐기물 관리체계 선진화
	④ 기술개발 및 산업육성	- 고부가가치 기술개발 촉진 - 자원순환산업 육성을 위한 지원 강화
	⑤ 실행기반 마련	- 국가 자원순환성 시행평가 및 공표

자료: 제1차 자원순환기본계획(2011). 환경부

그림 59. 자원순환정책 비전 및 목표

표 36. 자원순환형 농업의 유형과 농법

	순환의 유형	환경친화적 자원순환농법	농업형태
	서브 시스템		
농가내 순환	경지내 순환	벼짚, 왕겨 등 농산부산물의 경지환원	개별복합농업, 유기농업, 유축농업
	작목간 순환	윤작 · 혼작 · 녹비작물의 이용	
	농가구내 순환	생활쓰레기의 사료 또는 퇴비 이용	
지역내 순환	경지-지목간 순환	농산부산물 · 산야초의 이용 방목 · 휴경지(사료작물 재배)의 운환 톱밥, 폐목재 등의 축분퇴비재료 활용	지역복합농업, 유기농업, 유축농업
	농가간 순환	경종-양축농가간 축분퇴비 · 벼짚교환 경종-양축농가간 액비화	

자료 : 김창길외, 2009

(나) 시설원예 배양액 유통 전략

① 시설원예 배양액 유통모델 수립

○ 배양액의 재활용을 통한 자원순환형 농업 정착을 위한 목표수립과 추진으로 농업환경자원의 환경 친화적인 관리를 통한 자원의 효율적관리, 생태계 보전, 농산물의 안전성 확보, 농가의 수익성 유지 등으로 설정할 수 있다. 하지만 시설원예 배양액의 유통 모델이 수립되지 않은 상황에서 재활용을 위한 방향수립이 무엇보다 시급한 실정이다. 시설원예 배양액을 처리할 수 있는 다양한 방법이 있으나, 아직까지 경제성이 명확하게 검증되지 못한 상황이므로 농가단위 순환을 할 것인지 유통센터 등을 통한 지역내 순환을 할 것인지 결정해야 한다. 시설원예 배양액의 농가단위 순환식 재배로서 경지내 순환을 통한 활용이므로 자원의 이동이 최소화되고, 시설의 사용도 최소화 할 수 있는 방법이다. 하지만 농가단위에서 배양액을 재활용하기 위한 기술과 시설이 부족하고, 배양액의 하천 방류로 인한 수질오염 정화비용에 대한 비용부담에 대한 전이가 불가능한 상황이다. 지역단위 재활용 유통센터를 통한 배양액의 재활용은 아직 시도되지 않았으나, 축산분뇨 등에서 활발하게 시행하고 있는 사업으로 도입이 어렵지는 않을 것으로 사료된다. 따라서 각각의 방법에 대한 생산농가, 전문가, 공무원, 업계 등의 광범위한 토론과 논의가 추가 되어야 할 것이며, 각각의 방법에 대한 문제점을 제기하고자 한다.

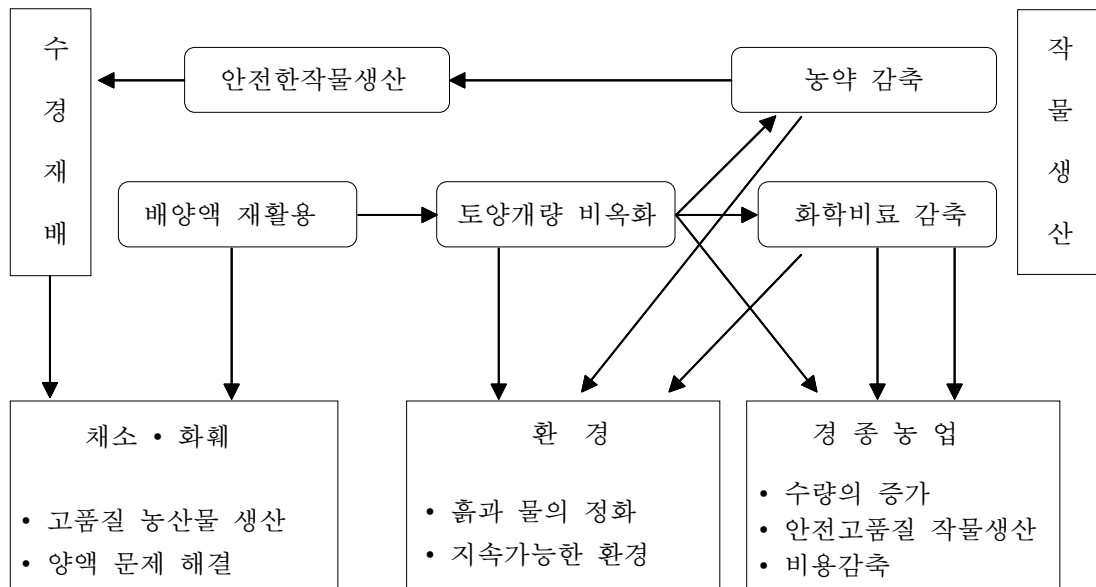


그림 60. 배양액 재활용 유통모델과 농업연계 상승효과

② 농가단위 배양액 순환식 재활용의 한계

○ 현재 사용하고 있는 순환식 재배방식은 농가단위에서 순환식 시설을 설치하고, 살균과 비료성분 검사를 실시하여 부족한 성분 보충 후 다시 사용하는 방식이다. 하지만 이러한 방식은 오염원에 대한 차단이 어렵다는 한계를 가지고 있다. 작물 재배 기간 중 단 한 번의 오염원으로도 막대한 피해가 발생 할 수 있기 때문에 농가들이 순환식을 꺼리는 가장 큰

이유이기도 한다. 따라서 오염원을 완벽하게 차단할 수 있도록 완벽한 순환식 설비를 갖추는 것이 무엇보다 필요하다. 시설 설치비를 절감하기 위해 간이식 순환 설비를 설치하여 발생하는 피해를 막는 것이 중요하다. 또한 순환식 설비 사용을 조언할 전문 컨설턴트가 부족한 상황이다. 설비에 대한 기술을 완벽하게 습득하고, 배양액의 성분을 검사하여 전문적으로 조언할 수 있는 컨설턴트 양성이 뒷받침 되어야 한다. 현재 일부 농가에서 사용하고 있는 농가단위 재활용 방식으로 다른 작물의 추비로 활용하는 방식이 있다. 시설원예에서 한 번 사용한 배양액을 저장하여 토양 작물에 시비함으로써 하천 방류를 줄이고, 다른 작물의 생산성을 높일 수 있는 장점이 있다. 하지만 이러한 방법을 사용하기 위해서는 작물별, 토양별 또는 지대별 적정시비량과 실제시비량을 분석해야 한다. 자칫 과잉시비로 인한 추가 오염이 발생할 수 있기 때문이다. 단위면적당 작물의 양분요구량 (nutrient requirement or plant uptake level)은 토양의 종류, 지역특성, 시비량 및 품종 등에 따라 달라질 수 있다. 적정시비량의 산정은 양분의 균형공급과 양분축적 경감에 의한 환경오염을 방지하기 위한 기준으로 표준시비량은 작물별, 지대별 적량시험을 통하여 결정되며, 성분별 추천량에 관한 자료는 「작물별 시비처방 기준」(농업과학기술원, 1999)에서 제시되고 있다. 하지만 양액재배를 위한 배양액은 고농축 된 비료성분으로 이를 활용하기 위해서는 추가적인 성분검사 및 희석이 필요한데, 본 과제에서 분석한 결과 배양액 중 마그네슘, 나트륨, 칼리의 농도는 재배작물별로 큰 차이를 나타내지 않았으나, 배출농도는 작물의 생장에 만성적인 독성을 유발할 수 있는 수준으로 평가되었다. 배양액 중 중금속(Pb, Cd, Cu, Zn)과 필수미량원소(Co, Mo, Fe, Mn, Ni, Se)은 극미량 또는 불검출로 나타났다. 따라서 배양액을 토양에 사용하기 위해서는 살균처리 과정이 필요한 것으로 판단할 수 있다.

③ 배양액 재활용 유통전략 수립 방안

㉞ 기본방향

- 시설원예 배양액 재활용 유통전략 수립 기본방향은 크게 세 가지로 설정해야 한다. 첫째, 시설원예 양액재배 순환식 시스템의 필요성에 대한 농업계의 인식확산이 필요하다. 둘째, 시설원예 양액재배 재활용을 위해서 정책적 지원, 환경규제와 규제에 대한 보상 수단 간에 적절한 결합이 이루어지도록 해야 한다. 셋째, 시설원예 순환식 양액재배 추진과 관련 주체인「농업인-소비자-연구자-정책담당자」간의 적절한 역할을 분담하여 추진해야 한다.

㉟ 인식 확산노력

- 시설원예 양액재배가 확대되고, 순환식 배양액 시설과 기술이 확산되고 있음에도 현재 순환식 양액재배 비율이 다른 국가에 비해 매우 낮은 상황이다. 이러한 이유는 시설농가만의 문제도 아니고, 정부의 문제만도 아니다. 지금까지 시설원예 배양액에 재활용의 문제를 경제적인 문제로 보고 시설농가에 자율로 맡겨둔 측면이 있다. 따라서 시설농가, 연구기관, 지자체, 중앙정부가 시설원예 배양액을 하천 방류하는 것에 대해 문제 의식을 가지고 농업계 전반에 걸친 인식전환을 위해 노력해야 한다.

㊱ 교육·훈련 및 기술개발·보급

- 시설원예 배양액 재활용에 대한 가장 시급한 개선과제는 시설원예 농가에서 이루어져야 한다. 생산농가에서 하천방류에 대한 문제점을 파악하고 순환식 사용에 대한 필요성에 공

감해야 한다. 또한 중장기적으로 순환식 방식을 도입해야 경제적으로 이익이 커진다는 것을 교육해야 한다. 시설원에 농가에서 기술 사용에 대한 애로사항을 제기하고 있으므로 다양한 교육과 훈련을 통해 순환식 설비가 확대될 수 있도록 해야 할 것이다. 효과적인 교육과 훈련이 이루어지려면 지자체와 농업 기관들이 순환식 설비 사용을 위한 실천 매뉴얼과 같은 교육교재 개발은 물론 교육 담당 전문 컨설턴트 육성 등을 통한 교육·훈련 인프라 구축에 과감한 투자 확대가 필요하다.

㉔ 주체별 역할분담 및 협력체계 구축

- 농업인은 생명산업의 핵심주체로 식량공급은 물론 농촌지역의 환경관리자라는 사명감을 가진 경영체라는 중요한 역할을 수행하고 있다. 연구자는 최신기술을 개발하고 보급하여 시설원에 순환식 방법이 정착될 수 있도록 현장연구 및 연구결과의 정책연계 노력을 강화해야 할 것이다. 중앙정부는 시설원에 순환식 재배방법이 정착될 수 있도록 중장기 계획의 수립·집행, 관련제도의 정비, 환경 친화적 기술 및 청정기술 등 새로운 기술개발 및 예산 등을 지원해야 한다. 지방자치단체는 지역주민이 공감할 수 있는 농가단위 및 지역단위 순환식 재배방법에 대한 계획 수립 및 추진, 개발된 기술을 생산자 등에게 보급하는 등 농업인 교육·홍보 및 지도 등을 담당해야 할 것이다. 우선 시설원에 배양액의 재활용을 위해서는 지역단위의 농업환경을 종합적으로 파악하여 진단하고 평가하기 위해 농가 내 순환식 사용, 재활용 유통센터 등을 통한 지역 내 순환 및 지역 간 순환 등 물질순환을 기초로 한 체계적인 시설원에 배양액 재활용모델이 개발되어야 한다. 특히 농가단위 순환식 재활용방법과 지역단위 재활용 방법에 대한 정확한 경제성분석 및 지역 내 시설원예 품목과 작목간 연계성 검토를 위한 자료의 수집이 선행되어야 한다. 이와 아울러 관련주체의 의식개혁과 자발적 참여 유도를 위한 교육·훈련 프로그램 추진을 위한 과감한 투자 확대가 필요하고 기술개발 및 보급 등 인프라 구축이 선행되어야 한다.

(2) 재활용 유통센터 설치 및 모델 개발

(가) 지역단위 재활용 유통센터 모델 개발

① 필요성

- 지역단위 시설원에 배양액 유통센터는 농가에서 한 번 사용한 배양액을 농가에서 처리하지 않고 임시 저장한다. 이를 수거차량이 농가를 순회하면서 사용된 배양액을 수거하여 유통센터로 가져와서 살균처리 및 배양액 성분검사를 실시하여 부족한 성분을 보충한 후 사용 가능한 배양액으로 만든다. 성분보충과 살균처리한 배양액을 원예나 과수 농가에 다시 공급하여 사용하는 순환시스템이다(그림 61, 62). 지역단위 재활용 유통센터 모형을 구축하기 위해서는 우선 해당지역의 시설원예 품목과 농가구조를 파악하고 지역단위 농업환경의 전체적인 특성과 지역단위 환경을 고려해야 한다. 이처럼 시설원에 배양액의 지역단위 재활용 시스템을 구축하는 이유는 농가단위에서 순환식 사용이 확대되지 않기 때문이다. 우리나라 시설원예 농가의 특성상 농가단위 재배면적이 영세하기 때문에 시설원예 순환식 설비에 대한 필요성이 떨어진다. 따라서 지역별 시설원예농가·지자체·자원순환시설업

체 등이 협의체를 구성하여 시설원에 배양액을 효과적으로 재활용 될 수 있도록 ‘배양액 재활용 유통센터’의 설치가 필요하다. 현행 지역별 축분퇴비 유통센터 및 ‘지역순환농업 지원센터’ 등이 모델이 될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 모델 개발을 위해 시범사업 지역을 선정하였다. 현재 지역단위에서 시설원에 양액재배 품목당 15ha 이상인 곳 중에서 장수군 지역의 토마토를 시범지역으로 하여 모델을 설정 및 적용가능성을 확대하였다.



그림 61. 배양액 재활용 유통센터 개요도

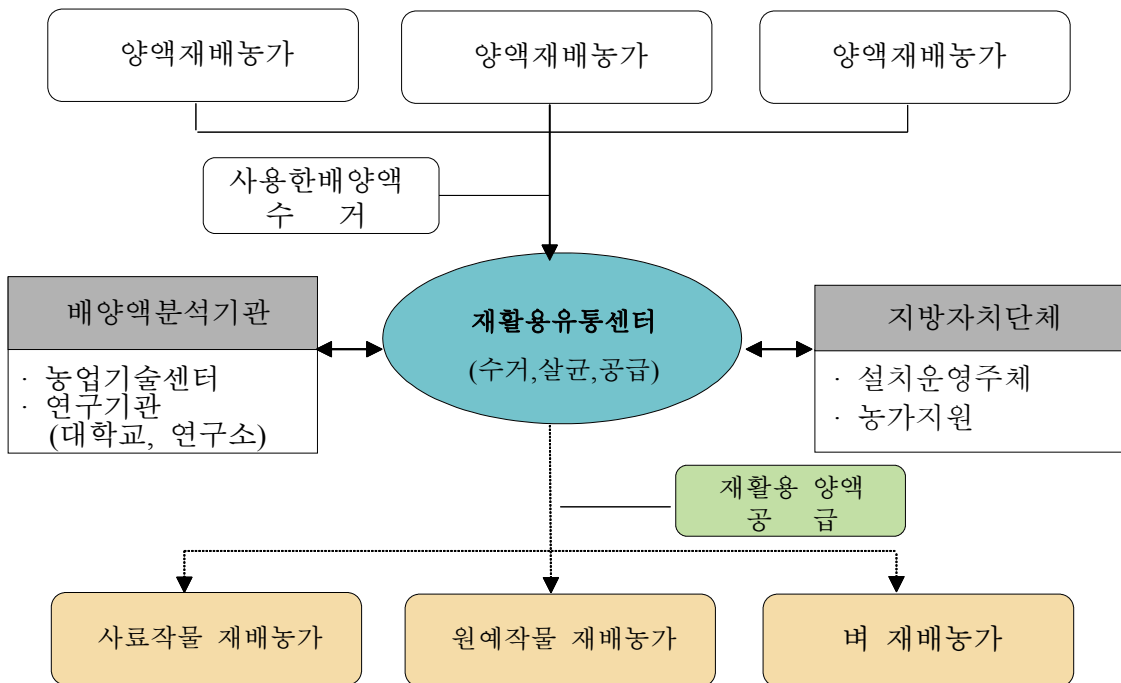


그림 62. 배양액 재활용 유통센터 업무 체계도

② 설치 시 고려해야 할 사항

- 배양액 재활용 유통센터의 투자비 산정 근거 자료 부족 및 기술적인 보완이 요구된다. 현재 배양액관련 재활용 시설이 없어서 사례 분석이 제한적이다. 향후 정확한 사업비를 근거로 사업 타당성 분석이 이루어져야 한다.
- 초기에는 유지관리비가 많이 소요될 것으로 시범사업을 통해 정확한 계산이 필요하다.
- 처리 효율이 나올 수 있도록 해야 한다. 일일 처리용량, 수거용량, 공급용량에 따라서 경제성이 달라지므로 시나리오별로 정확한 분석이 필요하다.
- 전문인력의 육성이 필요하다. 시설을 관리하고 배양액을 수거하고, 성분분석 및 작물별 배양액을 만들기 위한 전문인력을 양성해야 한다.
- 생산농가의 참여유도가 필요하다. 생산농가의 참여를 유도하고, 확대하기 위해서는 소규모 시설원에 농가에 대해 배양액 저장시설 지원 및 설치를 의무화해야 한다.

(3) 배양액 재활용 유통센터 운영매뉴얼 및 활용 방안

(가) 재활용 유통센터 개념 및 추진절차

① 재활용 유통센터의 개념

- 배양액 재활용 유통센터는 버려지는 배양액 재활용을 통한 시설원에 농가의 경제적 이익향상을 목적으로 하는 시설이다.
- 자원의 순환과 재활용은 농가의 이익을 향상시킨다는 것을 전제로 재활용 유통센터를 추진
- 따라서 이러한 개념을 지역농업 주체들이 공감하고 있어야 하는데 배양액 재활용 유통센터가 효율적으로 운영되기 위해 시설농가의 적극적인 참여가 필요하다.
- 배양액 재활용 유통센터는 자원의 순환과 재활용을 통해 환경보전에 중요한 편익을 제공
- 관련 법령에 따른 수질오염 방지 등을 위해 정부 및 지자체의 적극적인 참여 필요하다.

② 배양액 재활용 유통센터 설치 절차

- 배양액 재활용 유통센터는 자칫 가축분뇨처리시설과 같은 주민 혐오시설이라는 이미지가 생길 경우 설치하는 과정에서 주민들의 반발이 발생할 수 있다. 따라서 설치계획을 추진하기 전에 충분한 사전협의를 거쳐야 한다.
- 의견 청취 → 실시계획 승인 → 시설 조성 및 준공 등의 단계를 거쳐 진행한다.
- 의견청취 단계에서는 지역주민 및 생산농가의 의견을 청취하고, 관련 기관과의 협의를 통하여 의견을 수렴한다. 배양액 재활용 유통센터 시설은 공공 목적을 지니는 시설이며 특정 지역 주민에게

피해가 발생하지 않는다는 사전 설명을 충분히 거쳐야 한다. 의견청취 후 부지를 매입한다.

- 실시계획 승인단계에서 환경영향평가 등 관계기관 협의를 거쳐야 한다.

③ 배양액 재활용 유통센터 시범 설치 지역의 선정

- 시설원에 배양액 재활용 유통시설이 전혀 없으므로 시설원에 배양액 재활용 시나리오별 경제성 분석을 바탕으로 시범 지역을 선정하였다. 설치 대상지역은 단일 품목 중심으로 하는 것이 바람직하다. 앞장에서 경제성 분석을 통해 최소 단일 품목 재배면적인 15ha일 때 배양액 배출량은 일일 200ton으로 계산되었다. 경제적 타당성을 위해서는 이동 거리가 최소화 할 수 있도록 단일 시군에서 시설원에 배양액 품목이 15ha 이상인 지역 중에서 2차 시범지역으로 선정한다.
- 전라북도의 예를 들면 ‘13년 품목별 면적을 살펴보면 단일 품목 중에서 시군에서 15ha 이상인 품목은 딸기의 경우 순창군(15.9ha), 토마토는 장수군(21.6ha)와 고창군(18.0ha), 파프리카는 남원시(24.0ha)와 김제시(20.0ha) 등으로 조사되었다. 선행 연구에서 조사된 바와 같이 장수군 토마토 양액재배 면적은 21.6ha이며 생산 농가는 30여 농가로 조사되었다. 또한 하루 토마토 생산에 사용되는 배양액은 972톤이며, 이 중 30%인 291톤이 버려지는 것으로 추정할 수 있다. 생산농가의 면적과 분포 등을 고려하여 최적의 대상지역이라 할 수 있다. 따라서 장수군 토마토 양액재배 지역을 시범사업 지로 선정하여 재활용 유통 모델을 구성하였다.

표 37. 전라북도 시설채소 양액재배 시군별·품목별 면적(‘13년)

	계	딸기	토마토	파프리카	기타
전주시완산구	4.7	0.2	1.8	2.8	0.0
전주시덕진구	4.7	0.2	1.8	2.8	0.0
군산시	0.8	0.0	0.5	0.3	0.0
익산시	23.3	7.1	3.3	10.6	2.3
정읍시	18.9	6.1	8.2	4.6	0.0
남원시	36.7	12.0	0.2	24.0	0.5
김제시	41.7	11.1	10.6	20.0	0.0
완주군	11.3	5.0	5.0	1.0	0.3
진안군	1.8	0.7	0.8	0.0	0.3
무주군	4.8	2.8	2.0	0.0	0.0
장수군	24.3	0.0	21.6	2.5	0.3
임실군	17.3	7.8	9.2	0.0	0.3
순창군	18.1	15.9	1.4	0.0	0.8
고창군	21.9	0.7	18.0	3.2	0.0
부안군	4.6	0.0	4.6	0.0	0.0
계	235.0	69.7	88.8	71.7	4.8

표 38. 장수군 토마토 배양액 발생현황

품목	면적(ha)	농가수(호)	배양액 사용량(톤/일)	배양액 발생량(톤/일)	비고
토마토	21.6	30	972	291	ha당 45톤 사용, 30% 방류

(나) 구성 및 공정개요

① 재활용 유통센터 구성

- 장수군 배양액 재활용 유통센터는 하루 200톤의 배양액을 처리할 수 있는 규모로서 설치비는 약 5,960백만원이며, 하루 운영비는 약 390만원으로 연간 300일을 가동하는 것으로 예상하였다. 하루 처리용량을 200톤으로 예상한 것은 장수군 토마토 배양액 사용 후 발생하는 배양액 양이 약 291톤이다(표 38).
- 시설원에 배양액 재활용 유통센터의 시설 및 공정 등은 표준화된 모델이 없으며, 기존 농가에서 사용하는 시설처럼 규모와 설비의 종류에 따라서 건설비 등은 상이할 것이다. 하지만 기본 공정은 ‘수거’, ‘살균’, ‘저장’의 과정을 거치는 자원 재활용 센터의 개념으로 기본 설비는 집수시설, 운송차량, 살균시설, 저장 시설로 구성된다(표 40).

표 39. 장수군 배양액 재활용 유통센터 개요

	비용	세부내역	비고
설치비(백만원)	5,960	톤당 29.8백만원×200톤	
운영비(백만원/연)	1,170	톤당 19.5천원×200톤×300일	
처리용량(톤/연)	60,000	일 200톤×300일	
연간 살포가능면적(ha)	100	ha 당 600톤 소요	
장수군 사과재배면적(ha)	1,057	장수군 내부자료	

비고 : 설치비 등의 추정은 경제성분석에서 계산한 자료를 사용

표 40. 장수군 배양액 재활용 유통센터 주요 구성품목

품 명	내 용
집수시설	농가에서 수거한 배양액을 용량을 측정 후 저장하는 시설
운송차량	시설원에 농가를 순회하면서 농가에 임시 저장되어 있는 배양액의 수거 및 살균처리된 배양액의 운송.
살균시설	농가에서 회수된 배양액을 자외선 램프를 이용하여 살균처리하는 공정
저장시설	살균처리 공정을 거친 비료화된 배양액을 저장하는 시설

② 재활용 유통센터 공정

- 장수군 재활용유통센터의 배양액 처리공정은 (그림 63)과 같다.
- 농가에서 사용후 저장된 배양액은 재활용유통센터의 차량으로 수거한 후 유통센터의 집수시설로 이송되며 간단한 여과장치를 거친다.
- 여과장치를 거친 배양액은 살균처리장으로 이송되어 자외선살균처리 과정을 거친다. 살균 처리된 재활용배양액은 저장시설로 이송된다.
- 저장탱크에 저장되는 과정에서 시료를 채취하여 배양액의 비료성분 및 중금속 농도 등의 분석과정을 거쳐 농가에 사용할 수 있도록 저장한다.



그림 63. 재활용 유통센터 공정도

(다) 운영유형 구분 및 주체별 역할

① 운영유형 방식

㉠ 제 1 운영방식(지자체 주도의 운영방식)

- 지자체가 직접 재활용 유통센터를 설치하고 관리 운영하는 방식이다. 유통센터의 설치 계획 및 부지확보, 사업 투자 등을 지자체에서 담당하므로 국비확보 및 지방비 확보가 유리

하다. 또한 배양액 재활용 유통센터를 신속하게 착공할 수 있으며, 투자를 효율적으로 할 수 있다. 초기 재활용 유통센터에 대한 이해가 부족한 상황에서 시설 농가들이 참여를 꺼릴 경우 재활용 유통센터의 가동률이 저조할 수 있다. 지자체가 운영할 경우 참여 농가에 대한 인센티브 지원과 여타 다른 시범사업과의 연계를 통해 시설 농가의 참여 및 관심이 확대될 수 있다. 하지만, 지자체가 운영할 경우 운영비가 많이 소요될 수 있다는 단점이 발생할 수 있다. 운영비, 인건비, 유지관리비 등이 민간 위탁보다 많이 소요될 경우 재활용된 배양액의 판매가격이 인상될 수 있으며 농가에서 사용을 기피할 수 있을 것이다.

㉔ 제 2 운영방식(지자체+민간 운영방식)

- 기존 가축분뇨 공공처리시설의 경우 설치는 지자체에서 하고, 운영은 민간업체에 위탁하는 경우가 많다. 민간업체에 위탁할 경우 유지관리비가 저렴하다는 장점이 있기 때문이다. 하지만 초기 운영의 경우 참여농가의 확대 및 가동률 향상, 지자체와의 협력을 위해서는 민간업체와 지자체가 공동출자를 통한 운영이 가장 바람직하다. 재활용 유통센터의 핵심은 지역의 시설원예 농가들이 참여할 수 있도록 적절한 인센티브를 제공하고 독려하는 것이 필요하다. 단기적으로 참여농가가 확보될 경우 운영비 등의 절감을 위해 민간업체가 인수하여 운영할 수 있도록 한다.

㉕ 운영주체와 역할

㉕ 장수군의 역할

- 장수군은 ‘지역단위 배양액 재활용유통센터’ 지정에 앞서 ‘배양액 재활용유통센터 지역협의체’를 구성하여 적정한 배양액 시설농가의 참여, 수거·운반 살포계획 등을 협의한 후 도지사에게 지역단위 배양액 재활용유통센터 설치자금 지원을 요청하도록 함.
- ‘배양액 재활용유통센터 지역협의체’에는 배양액 시설농가, 과수농가, 농업기술센터, 관련 행정기관, 환경단체대표, 주민대표, 사업대상자 등으로 구성.
- 배양액 재활용 유통센터 설치·운영세부지침 작성 및 시행을 지원.
- 장수군은 배양액 재활용 유통센터 설치·운영에 관한 자체 세부지침을 배양액 재활용유통센터 지역협의체와 협의하여 작성.
- 협의체구성, 사용된 배양액의 수거·운반·재활용 양액의 운반·살포수수료 결정 등
- 재활용 양액의 품질관리·토양분석·시비량 결정방법 등
- 재활용 양액을 통하여 이물질이 농경지로 이전되지 않는 방법 등 구상
- 개소당 지원범위 내에서 지역 내 보유중인 장비 활용계획 등을 포함하여 유통센터에 지원하는 장비의 성능, 구매가격의 적정성을 판단하여 지원

㉔ 배양액 재활용 유통센터의 역할

- 재활용 유통센터는 매년 사과농가의 수요를 파악 재활용 양액 공급계획을 수립
- 공급농가(배양액시설농가) 및 수요농가(사과농가) 명부를 작성하고 재활용 양액 성분·토양 분석 실시 후 재활용 양액 살포
- 확보된 장비에 대해 유지·관리계획을 수립
- 배양액 시설농가 수 및 면적 등 현황 확보
- 배양액 수거, 운반, 살균처리, 살포대행
- 화학비료 대체와 우수농산물 생산에 기여
- 소비자인 사과농가에게 재활용 양액의 우수성에 대한 지도

㉕ 장수군 농업기술센터

- 군농업기술센터는 재활용 액비 이용농가에게 작물별 액비사용기준 등에 대한 기술교육을 실시하고, 액비살포 농산물의 우수성을 비교 평가하여 농가에 홍보
- 재활용 양액 시비처방서 발급, 액비살포 연사회 실시 등
- 사과 농가는 기존 화학비료 대신 액비를 사용토록 적극지도
- 지역협의체에서 발효액비에 대한 성분검사, 환경개선제 사용 등에 대한 유의사항을 농가에 지도

(라) 운영방안

① 운영을 위한 기본사항

㉖ 기본사항

- 기본사항은 크게 기본적인 유지관리를 위한 사항, 재활용 유통센터시설에 관한 사항, 업무 및 유의사항 등으로 구분할 수 있다.

㉗ 운영지침

- 첫째, 보수, 점검, 정비에 관한 운영에 대한 지침이 필요하다. 재활용 유통센터 시설은 적절한 유지관리를 위하여 전문가에 의하여 안전하고 바른 방법에 의하여 운전되어야 한다. 또한 시설의 기능이 손실되지 않도록 정기적으로 보수, 점검해야 한다.
- 둘째, 재활용 관리업무를 효율적으로 운영하기 위하여 시설의 변동 및 정기적인 운전관리, 보수관리 및 점검이 이루어져야 한다.

- 셋째, 재활용 유통센터 시설의 경우 배양액의 반입, 처리, 반출 등 각과정은 유기적으로 연결되므로 배양액 반입량의 시간대별, 계절별 변동 등을 고려하여 운전되도록 해야 한다. 배양액 재활용 유통센터는 반입된 배양액이 센터내에서 처리되어 다시 생산농가에 공급되어야 하므로 반입량과 처리량을 고려하여 적절히 운영함으로써 유지관리비의 절감과 효과적인 재활용 배양액 공급이 이루어질 수 있다.
- 운전관리요원 업무의 경우에는 재활용 유통센터의 시설에 관한 충분한 기술지식을 가질 수 있도록 교육하여 전문기술을 습득한 이후에 운전해야 한다.

② 수거방법

㉞ 농가단위

- 우선, 사용된 배양액을 농가 저장조에 임시 저장하도록 한다. 하루에 발생하는 양에 따라 10톤에서 20톤 규모의 저장조를 설치하되, 저장조의 크기는 개별 농가의 시설면적에 따라 하루 배출되는 양은 저장이 가능하도록 한다.

㉟ 유통센터 수거관리

- 배양액 재활용 유통센터의 차량이 농가를 순회하면서 사용후 저장된 배양액을 수거한다.
- 장수군내 30여 농가를 사업대상으로 하므로 수거 시간이나 횟수 등은 운영과정에서 크게 문제가 되지 않을 것이나, 효율적인 수거를 위하여 사전에 농가와 협의하여 주 3회, 혹은 주 2회의 수거 횟수를 협의하여 농가의 운영에 차질이 없도록 한다.
- 가축분뇨 공공처리장의 경우에도 소규모의 농가들의 참여율 저조 및 수거율이 저조한 것으로 나타났다. 이는 농가의 반입의지가 낮고, 수거업체도 소규모 농가에 대한 수거를 기피하고 있기 때문이다. 따라서 초기 운영단계에서 시설의 지원을 통한 시설원예 농가의 참여를 독려해야 한다. 또한 정확한 수거시간을 준수하여 농가들이 참여하는데 불편이 없도록 해야 한다.
- 수거를 위해 참여농가에 대한 교육과 홍보, 관리 감독이 강화되어야 하며, 영세한 농가들이 밀집한 지역의 경우 개별단위보다는 마을단위 공동 저장조를 설치하는 방안도 고려할 수 있다.

③ 재활용 처리방법

- 가축분뇨공공처리장의 경우 수거된 분뇨에 대해서 정화처리, 액비화처리, 퇴비처리 등 세 가지의 형태로 처리하고 있다. 배양액 재활용 유통센터의 배양액 재활용 처리방식은 반입된 배양액을 단순 정화 처리한 이후 살균처리장으로 이송하여 자외선 살균처리 과정을 거친다. 이후 살균된 배양액은 정확한 성분검사를 실시하여 토양 살포에 적합여부를 판정한다.

④ 재활용된 배양액 공급방법

㉠ 배양액 공급가능량

- 재활용 액비 발생량 : 평균 일일 약 200톤,
- 재활용 양액 수요량 조사 : 매년초 각 읍면 동사무소를 통해 공문 발송, 사과생산농가 대상
- 재활용 양액 사용시기 조사 : 4월~9월(약 6개월)에 사용
- 재활용 양액 수요량 추정 : 무기질비료 전량 배양액 대체시 10a당 60톤, 약 100ha 살포가능
- 재활용 양액 공급 가능량 및 면적 : 연 300일 가동시, 약 60,000톤

㉡ 재활용 양액 공급방법

- 양액 공급 위치 : 재활용 유통센터 내 저장탱크
- 공급방법 : 배양액 수거차량으로 흡입-이송 후 농가에 전달
- 이송에 따른 비용 부담 : 지자체 조례 등 제정 후 농가에서 부담(가축 축산분뇨 액비 살포비를 20만원/ha 이내에서 지원하고 있음.

⑤ 재활용 배양액 공급과 관련하여 발생 가능한 문제

㉠ 발생 가능한 문제

- 시설원에 농가의 배양액 처리 등록 및 협조문제
- 배양액의 발생은 연중 발생되나 재활용 양액 수요는 제한적임(약 6개월)
- 재활용 양액의 이송비 농가 부담 문제(기존 축산분뇨 액비는 농가 부담이 원칙)
- 과수 농가 이송된 재활용 액비의 저장 및 살포 문제

㉡ 대책

- 시설 원에 배양액 농가의 재활용 유통센터 사업 참여와 관련하여 무단 방류에 대한 과태료 부과 등 통제와 감시업무, 환경관리 업무 등에 대한 논의가 필요함.
- 배양액의 수거와 살균 등 재활용유통센터의 상시 관리직원과 재활용 양액의 농가 살포시 상시 인원을 구분하여 운영
- 재활용 양액의 이송은 농가에서 직접 차량을 이용하거나 축산분뇨수거업체와 계약을 유도
- 과수 농가에 간이 저장조를 설치하거나 군에서 액비 살포기를 구입하여 사과 농가에 일괄 살포하는 방법 또는 액비살포기를 갖춘 업자와 계약하여 대행

3. 세부과제 3 : 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배기술 개발

가. 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 최적화 기술 개발

(1) 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 부원료 함량 최적화

○ 양송이 버섯 재배용 합성퇴비는 일반적으로 볏짚에 계분, 유기질비료와 석고를 혼합·발효하여 제조하고 있다. 시설원에 배양액을 처리할 경우, 볏짚은 수분 흡수력이 저조하여 현장적용하는데 어려움이 있어, 양액흡수제로서 보수력이 뛰어난 발효우분퇴비를 사용하였다. 발효우분퇴비에 일반 수돗물 대신 시설원에 배양액을 퇴비 무게 당 50% 중량비의 배양액을 처리 후 혼합하여 버섯 재배용 발효퇴비로서의 활용 가능성을 검토하였다(표 41, 그림 64).

표 41. 우분퇴비 혼합배지 재료 사용량

구 분	관행(볏짚)	우분퇴비
볏 짚	100kg	50kg
우 분	-	발효우분 50kg
계 분	8kg	4kg
유비명품	1.5kg	0.7kg
폐 양 액	-	25L
석 고	2.5kg	2.5kg

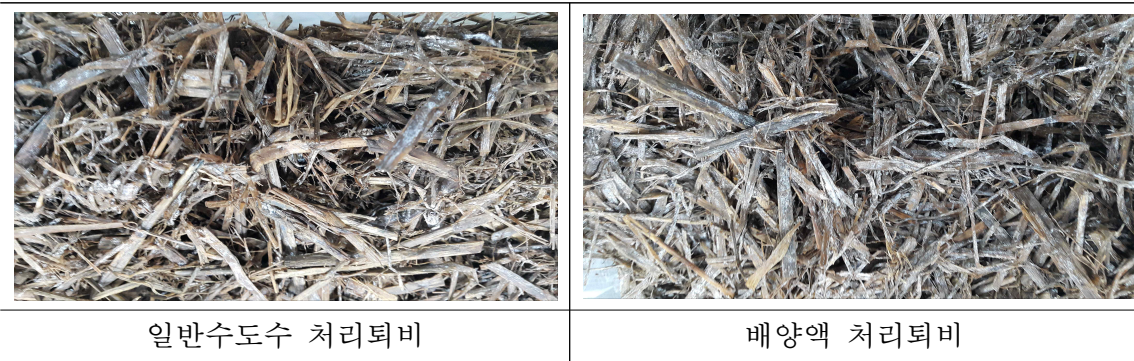


그림 64. 발효퇴비의 수분함량이 양송이 버섯균 성장에서 미치는 영향

○ 표 66과 같이 발효우분퇴비와 볏짚을 동량으로 혼합하여 통기발효기 내에서 버섯 재배용 퇴비 제조를 수행하였다. 질소 함량 증대를 위한 다량의 계분 사용은 환경문제 유발이나 부재료 수급 및 수송 등에서 어려움이 따르게 되며, 요소의 사용은 퇴비 발효시 암모니아가스 과잉발생으로 인한 가스피해 등이 발생할 수 있기 때문에 배양액 사용은 계분 사용량 50% 이상 절감 및 요소 사용량의 30%를 절감시킬 수 있을 것으로 생각되어 시설원에 배양액을 보수력이 우수한 우분발효퇴비에 중량의 50%를 처리하였으며, 가퇴적한 볏짚퇴비와 골고루 혼합한 것을 이용하였다. 고온발효 후 퇴비 100kg 당 석고 2.5kg을 혼합하여 버섯 배양용 배지로 사용하였다.

○ 토양 및 식물체 분석법(농업과학기술원, 2000)과 비료 분석 방법(농업기술실용화재단 분석검정본부, 2010), 전문비료의 품질검사방법 및 시료채취기준(농촌진흥청 제2010-9호)에 따라 채취한 샘플시료를 이용하여 각각 pH, 수분함량, 총질소(T-N), 총인산(P₂O₅), 총칼리(K₂O), 암모니아태질소(NH₄⁺-N), 질산태질소(NO₃⁻-N), 중금속, 총탄소(T-C), 탄질비(C/N Ratio), 유기물 함량을 분석하였다. 본 실험에서 사용한 배양액은 전북 장수 토마토용 시설배양 배양액으로 분석결과는 표 42에 나타나 있다. pH 5.62, EC 2.9dS/m, Tot-N 7,505.8mg/L, NH₄-N 147.3mg/L, NO₃-N 211.7mg/L, Tot-P 613.5mg/L이었으며, 중금속 중 Cd 불검출(검출한계 미만), Cu 0.04mg/L, Pb 0.04mg/L, Zn 0.79mg/L, 음이온으로 SO₄²⁻ 452.2mg/L, Cl⁻ 88.0mg/L, 양이온으로 Ca⁺⁺ 17.1cmol/L, K⁺ 11.6cmol/L, Mg⁺⁺ 5.5cmol/L, Na⁺ 2.2cmol/L, 미량원소로는 Co 불검출, Fe 2.1mg/L, Mn 0.2 mg/L, Mo 0.01 mg/L, Ni과 Se이 불검출로 나타났다.

표 42. 시설원에 배양액의 이화학적 특성

항목	분석 데이터
pH	5.62
EC(uS/cm)	2,900.0
Tot-N(mg/L)	7,505.9
NH ₄ -N(mg/L)	147.4
NO ₃ -N(mg/L)	211.7
Tot-P(mg/L)	613.5
Avail-P(mg/L)	26.4
Cd(mg/L)	검출한계미만
Cu(mg/L)	0.04
Pb(mg/L)	0.04
Zn(mg/L)	0.79
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	452.2
Cl(mg/L)	88.0
Ca ⁺⁺ (mg/L)	17.1
K ⁺ (mg/L)	11.6
Mg ⁺⁺ (mg/L)	5.58
Na ⁺ (mg/L)	2.24
Co(mg/L)	검출한계미만
Fe(mg/L)	2.08
Mn(mg/L)	0.23
Mo(mg/L)	0.01
Ni(mg/L)	검출한계미만
Se(mg/L)	검출한계미만

○ 배양액을 표 43와 같은 배합으로 발효한 결과, 발효우분퇴비와 볏짚 혼합배지의 냄새는 볏짚만을 활용한 배지와 비슷하였으며, 방선균의 발생이 양호하여 버섯재배용 퇴비로서 손색이 없는 것으로 판단되었다.

표 43. 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 이화학적 특성

처리구	pH(1:5)	Tot-N(%)	OM(%)	T-C(%)	C/N ratio	수분(%)
벗짚퇴비	7.5	2.0	61.8	35.8	17.9	63.9
벗짚+우분퇴비	7.2	2.2	63.3	36.7	16.3	67.0

○ C/N율은 양송이균의 생장 및 자실체 형성에 큰 영향을 끼친다. 일반적으로 퇴비 발효에 관여하는 미생물들은 질소 1에 대하여 탄소 10~15의 비율로 탄소를 소모하므로, 퇴적 당시에 C/N율은 10~15 정도로 조절하는 것이 이론상 적당하다고 생각할 수 있다. 그러나 이같이 많은 양의 질소를 첨가하면 양송이균의 생장 및 자실체 형성에 알맞은 C/N율 보다 훨씬 낮아지므로 양송이 퇴비로서 부적당하며, 퇴비의 암모니아태질소 잔류량 과다로 양송이균이 자랄 수 없고 잡균의 발생이 증가하게 된다. 양송이 퇴비의 알맞은 C/N율은 퇴적시 25 내외, 종균 접종시 17 정도인 것으로 알려져 있다. 또한 산도는 퇴비 배지가 산성이거나 알칼리성일 때에는 양송이 균사 생장이 부진하고 잡균의 발생이 증가하는데, pH 7 이하와 8 이상에서는 수량이 다소 감소하는 경향을 보인다. 따라서 퇴비는 일정 범위의 산도를 유지하도록 하여야 한다. 양송이 퇴비는 계분 등을 첨가함으로써 퇴적 초기에는 산도가 8.5~9.0 정도 알칼리성을 나타내며, 발효가 진전됨에 따라 퇴비 중의 암모니아가 휘산됨으로서 pH가 떨어져 종균을 접종할 때에는 7.5 내외가 된다. 양송이 재배에 사용한 퇴비의 성분을 분석한 결과, 양액 처리 배지의 pH는 7.2로 대조구인 벗짚퇴비의 7.5 보다 약간 낮았으며, 총질소 함량은 2.2%로 대조구의 2.0% 보다 높은 것으로 조사되었다. C/N율은 양액 처리 효과로 질소함량 증가로 인하여 상대적으로 낮아져 16.3%로 양호한 것으로 조사되었다. 수분 함량은 67.0%로 양호한 것으로 나타났다.

(2) 시설원예 배양액 재활용 양송이버섯 재배배지 발효퇴비의 미생물상

○ 발효퇴비의 미생물상을 조사하기 위하여 세균분리용 배지로는 Nutrient agar배지에 NA 배지 23g 당 cycloheximide 50mg 처리한 배지에서, 곰팡이 분리용 배지로는 PDA배지에 PDA배지 44g 당 streptomycin 30mg 처리한 배지에서, 그리고 방선균 분리용 배지로는 PDA배지에 PDA 44g 당 cycloheximide 75mg 처리한 배지에서 각각의 미생물들을 순수분리 하였다. 순수분리된 미생물은 서울 소재 유전체 분석기관인 Macrogen에 의뢰하여 분리균주의 16S rRNA 유전자 염기서열 분석을 통한 균주동정을 행하였다. 표 44은 그림 65에서와 같이 16S rRNA 유전자 염기서열 분석을 통한 결과를 정리한 것으로 분리동정된 균류로 세균류에서는 Gram 음성균 3종과 Gram 양성균 1종이 동정되었고, 사상균류(Fungi)에서는 담자균류 (Basidiomycota) 1종, 자낭균류 (Ascomycota) 5종이, 방선균류에서는 8종으로 총 18종을 확인하였다. 동정된 균류 중에서는 방선균류의 빈도가 가장 높았으며, 주요 속은 *Corynebacterium*속, *Rhodococcus*속, *Microbacterium*속, *Arthrobacter*속, *Gordonia*속, *Actinomadura*속 등으로 방선균류가 주요 퇴비 발효 균주임이 확인되었다.

○ 퇴비 발효에서는 퇴적초기 세균과 원생동물이 우세하고 발열이 시작되기 전 곰팡이가 나타나서 일시적으로 우점하게 되면 방선균은 거의 보이지 않게 된다. 그러다 발열이 시작되면서 고온 및 중고온성 미생물이 증가하는데 먼저 세균이 증가하고 그 다음 방선균, 중고온성 사상균이 증가하게 된

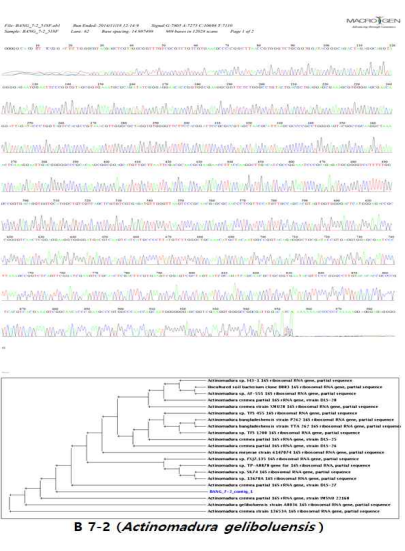
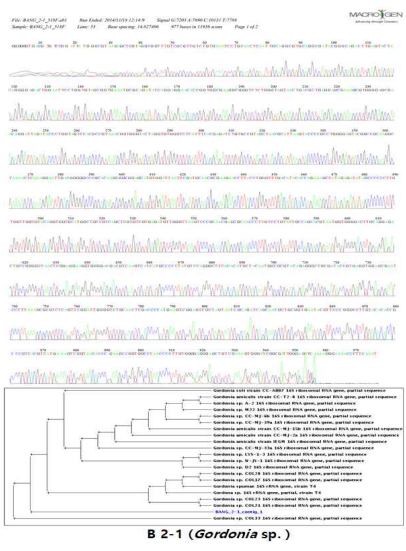
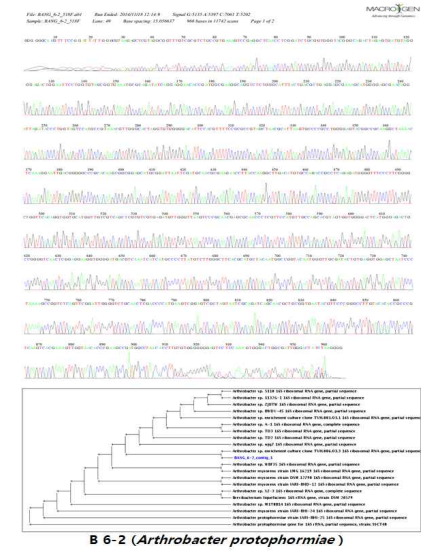
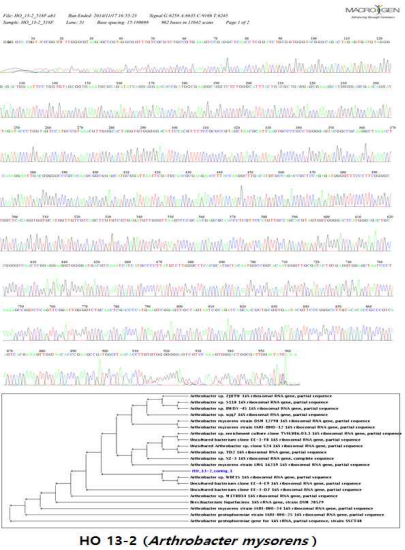
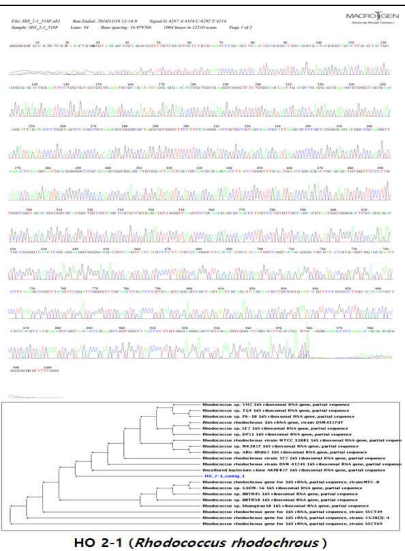
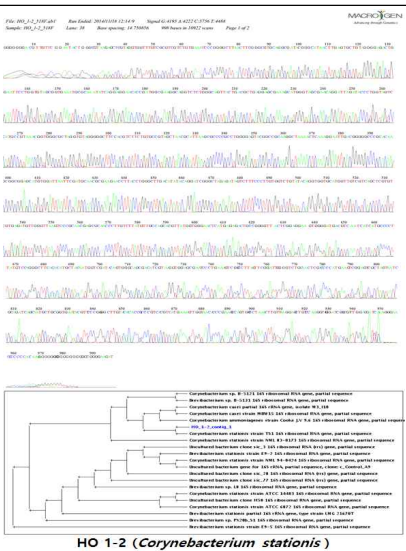
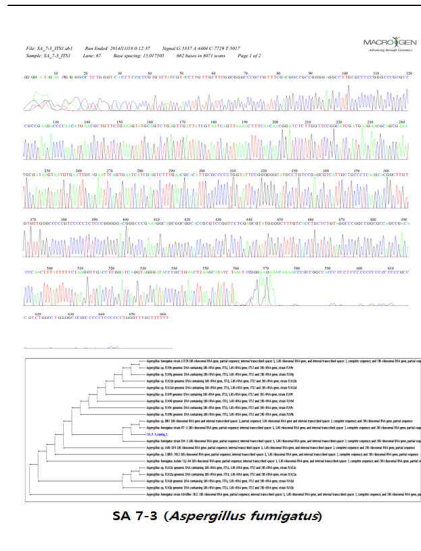
다. 발열 최성기에는 방선균과 중고온성 사상균이 우점하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서도 동정된 총 18균주 중 사상균류와 방선균류가 주류를 형성하고 있어 미생물학적으로도 시설원에 양액 처리 발효되비는 양액처리에도 불구하고 아주 정상적인 미생물상을 보이는 것으로 판단된다.

표 44. 발효퇴비에서 동정된 미생물군

Strain Name	Phylum	Nearest type strain	Accession no.	Similarity	Identification
H 7-2	Proteobacteria	<i>Escherichia coli</i> strain ST2747	CP007394.1	99	<i>Escherichia coli</i>
H 12-3	Proteobacteria	<i>Escherichia coli</i> strain 131	JN180964.1	100	<i>Escherichia coli</i>
H 10-3	Proteobacteria	<i>Comamonas testosteroni</i> strain NBRC 12047	AB680219.1	99	<i>Comamonas testosteroni</i>
H 11-3	Firmicutes	<i>Bacillus stratosphericus</i> strain JQZST-2	AJ831841.1	99	<i>Bacillus stratosphericus</i>
S 2-3	Basidiomycota	<i>Cryptococcus laurentii</i> strain CL33	JN627014.2	100	<i>Cryptococcus laurentii</i>
S 8-2	Ascomycota	<i>Galactomyces candidum</i> strain CBS 180.33	JN974289.1	98	<i>Galactomyces candidum</i>
S 11-2	Ascomycota	<i>Cladosporium sphaerospermum</i> strain A2-05	AB572900.1	96	<i>Cladosporium sphaerospermum</i>
S 3-2	Ascomycota	<i>Aspergillus flavus</i> strain PTN-25	KF589305.1	100	<i>Aspergillus flavus</i>
S 6-1	Ascomycota	<i>Aspergillus fumigatus</i>	JX231005.1	100	<i>Aspergillus fumigatus</i>
S 7-3	Ascomycota	<i>Aspergillus fumigatus</i> strain RT-1	GQ458017.1	99	<i>Aspergillus fumigatus</i>
H 1-2	Actinobacteria	<i>Corynebacterium stationis</i> strain NML 94-0424	FJ172668.1	99	<i>Corynebacterium stationis</i>
H 2-1	Actinobacteria	<i>Rhodococcus rhodochrous</i> strain 372	NR037023.1	99	<i>Rhodococcus rhodochrous</i>
H 8-2	Actinobacteria	<i>Microbacterium</i> sp BK-15	JN974289.1	97	<i>Microbacterium</i> sp
H 9-2	Actinobacteria	<i>Microbacterium thalassium</i> strain DSM 12511	JN695039.1	97	<i>Microbacterium thalassium</i>
H 13-2	Actinobacteria	<i>Arthrobacter mysorens</i> strain LMG 16219	NR114924.1	99	<i>Arthrobacter mysorens</i>
B 6-2	Actinobacteria	<i>Arthrobacter protophormiae</i> strain IARI-BHI-25	KF054860.1	99	<i>Arthrobacter protophormiae</i>
B 2-1	Actinobacteria	<i>Gordonia</i> sp. COL33	JN695039.1	98	<i>Gordonia</i> sp.
B 7-2	Actinobacteria	<i>Actinomadura geliboluensis</i> strain A8036	NR109059.1	99	<i>Actinomadura geliboluensis</i>

그림 65. 발효퇴비에서 동정된 미생물군의 염기서열 분석





(3) 양송이 버섯 재배실험

(가) 시설원에 배양액 재활용 양송이버섯 영양생장과정 중 균사 생육도 조사

- 양송이 퇴비 배양을 위해서는 곡립 종균을 이용하기 때문에 버섯배양용 곡립 종균 제조를 위하여 하룻밤 수침한 통밀을 약 15분 정도로 삶아서 물 빼기를 한 후 영양원으로써 쌀겨10%(v/v)를 혼합한 다음 Ø21 × 200mm 시험관에 15cm 높이로 충전하고, 121°C에서 1시간 동안 고압 살균하였다. 살균된 배지 상면에 1cm 두께로 곡립 종균을 접종하고, 25°C 항온기에서 정치배양하면서 균사체를 25일 동안 증식시켜 성장 길이를 측정하였다. 이때 양송이균 이외에도 타 버섯균의 적용 가능성을 확인하기 위하여 느타리와 영지버섯균도 비교구로 배양실험을 행하였다. 균사체 증식정도를 확인하고자 배양기간 동안 균체의 평균성장 길이(mm/25day)를 측정한 결과는 표 45와 같다.

표 45. 통밀 곡립배지에서의 버섯균 생육도 조사



곡립종균

균 주	Growth rate(mm/25day)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (느타리)	75.6±0.00 ^a
<i>Agaricus bisporus</i> (양송이)	72.4±0.01 ^b
<i>Ganoderma lucidum</i> (영지)	74.7±0.02 ^{ab}

- 통밀배지에서 버섯균의 성장 정도는 표 45에서와 같이 양송이, 느타리, 영지버섯 모두 72~ 76mm/25day 범위로 곡립종균 제조에 문제가 없음을 확인할 수 있었다

(나) 배양액 처리 발효퇴비에서의 버섯균 성장 조사

- 우분발효퇴비를 Ø21 × 200mm 시험관에 15cm 높이로 충전하고 121°C에서 1시간 동안 고압 살균하였다. 살균된 배지 상면에 1cm 두께로 곡립종균을 접종하고, 25°C 항온기에서 정치배양하면서 균사체를 25일 동안 증식시켜 정도를 조사하였다.



그림 66. 발효퇴비에서의 버섯균 성장

- 양송이, 느타리, 영지버섯 곡립종균을 발효퇴비 상단에 접종하고 버섯균의 생육 여부를 조사한 결과 양송이와 느타리 버섯균의 생육에는 배양액의 처리가 전혀 저해적이지 않은 반면 영지버섯균은 생육이 아주 저조하여 배양액처리 발효퇴비에서는 양송이와 느타리버섯 재배가 적당함을 알 수 있었다.

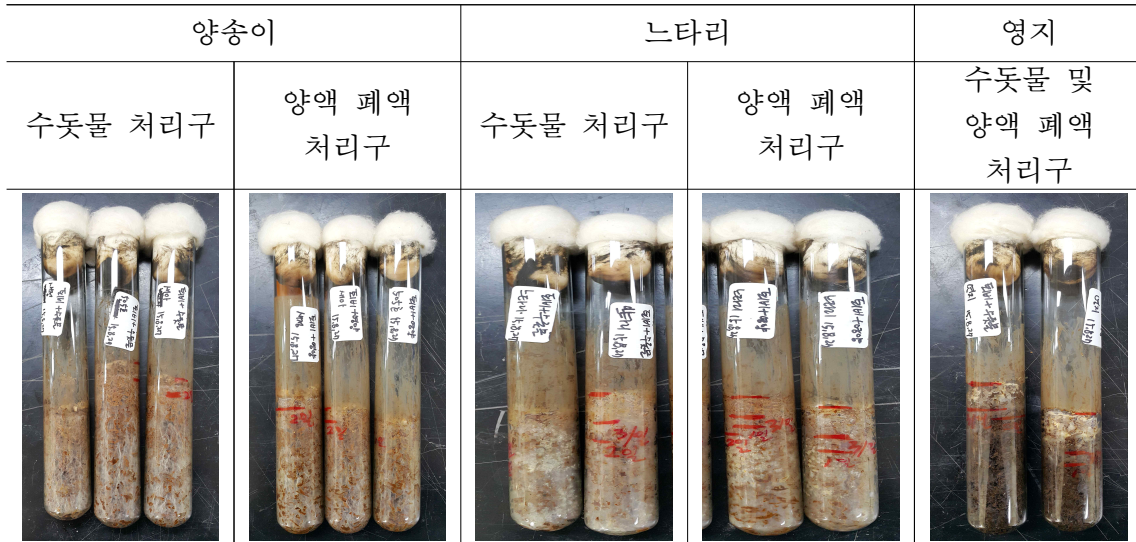


그림 67. 양액 처리에 따른 버섯균 성장 비교

- 배양액 처리 유무에 따른 버섯균의 생육상태도 군사확차 정도에서도 큰 차이를 보이지 않아 시설원에 배양액의 버섯재배 적용은 오히려 영양분의 보강으로 인한 생산성 향상에도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

(다) 양송이 발효퇴비의 이화학적 특성 조사

- 발효우분 퇴비와 볏짚을 동량으로 혼합하여 통기발효기 내에서 버섯 재배용 퇴비 제조를 행하였다. 가퇴적한 볏짚퇴비와 골고루 혼합한 것을 고온발효 후 퇴비 100kg 당 석고 25kg을 혼합하여 제조한 퇴비배지의 이화학적 특성을 조사한 결과는 표 46 및 47과 같다. 본 실험에 사용한 배양액은 표 42에서와 같이 총질소의 함량이 약 7.5g/L으로 질소성분을 함유하고 있어 양송이 퇴비 제조시 첨가하는 경우 첨가 비율이 증가할수록 퇴비 중의 총질소 함량도 약간 증가하여 C/N율이 낮아지는 경향을 보였다. 시설원에 배양액 유래 중금속 Cd은 검출되지 않았다.

표 46. 배양액 처리에 따른 양송이퇴비의 이화학적 특성

시료	Tot-N (g/100g)	유기물 (g/100g)	유기물대 질소비	C/N율
수도수 100	2.088	62.31	29.83	17.35
수도수 50+배양액 50	2.220	63.27	28.49	16.57
배양액 100	2.258	64.52	28.57	16.61

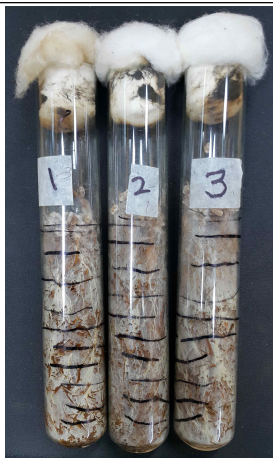
표 47. 배양액 처리에 따른 양송이퇴비의 무기물 특성

시료	중금속(mg/kg)				양이온(mg/kg)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Ca	K	Mg	Na
수도수 100	ND	46.23	10.92	164.56	10334.0	13560.0	3584.7	1782.4
수도수 50+배양액 50	ND	24.76	9.77	158.06	10174.9	10760.0	3544.3	1724.0
배양액 100	ND	23.58	9.77	172.12	11949.5	10980.0	3554.4	1583.2

○ 배양액 처리 발효퇴비를 Ø21 × 200mm 시험관에 15cm 높이로 충전하고 121℃에서 1시간 동안 고압살균하고 배지 상면에 1cm 두께로 양송이 505호 곡립종균을 접종하여 25℃ 항온기에서 정치배양하면서 균사체를 27일 동안 증식시켜 정도를 조사하였다.

표 48. 배양액 처리에 따른 양송이퇴비에서의 양송이 균사 생육도(cm/27day)

배양일	수도수 100	수도수 50 + 배양액 50	배양액 100
	2일	0.43±0.12	0.43±0.06
4일	1.23±0.15	1.20±0.10	1.17±0.29
7일	2.60±0.26	2.57±0.06	2.77±0.25
10일	4.10±0.26	4.10±0.17	4.07±0.57
12일	5.00±0.17	5.10±0.17	5.17±0.55
15일	5.93±0.15	6.27±0.32	6.37±0.31
17일	6.80±0.17	7.10±0.26	7.40±0.30
22일	7.63±0.23	8.07±0.25	8.50±0.35
25일	8.73±0.51	9.23±0.45	9.50±0.36
27일	9.63±0.38	10.27±0.25	10.63±0.40



○ 27일간 배양한 양송이 균의 누적 평균 성장길이(cm)는 9.63~10.80cm/27day로 배양액의 처리량이 증가할수록 균사생육도도 약간 증가하는 경향으로 나타났는데 이같은 결과는 표 48에서와 같이 질소량의 증가와 방선균류와 같은 유용 미생물에 의한 유기질소의 증가에 의한 결과로 판단된다.



수도수 100



수도수 50 + 배양액 50



배양액 100

그림 68. 발효퇴비의 수분함량이 양송이 버섯균 성장에서 미치는 영향

○ 보통 볏짚 100kg당 물 소요량은 손실량을 포함하여 370L 내외인데, 최소한 전 공급량의 70% 이상은 가퇴적 때 사용되고 나머지 100L는 본퇴적 때 사용된다. 퇴비제조시 배양액의 처리는 수분 유실이 과량 발생하는 가퇴적 용수로는 부적합하고 본퇴적시에만 한정적으로 배양액 사용이 가능하다. 그러나 본퇴적시에도 상당량의 수분 유실이 발생하기 때문에 본 실험에서와 같이 50kg의 볏짚과 50kg의 발효우분을 혼합하여 수분보지력이 우수한 발효우분 사용시 유실량을 줄일 수 있다. 배양액 중의 총질소의 함량은 약 7.5g/L로 질소성분을 함유하고 있어 양송이 퇴비 제조시 첨가하는 경우 첨가 비율이 증가할수록 퇴비 중의 총질소 함량도 약간 증가하여 C/N율이 낮아지는 긍정적인 효과를 보여 볏짚과 우분퇴비 제조시 25L의 배양액 처리시 190g 내외의 질소 공급원으로 사용이 가능하기는 하였지만 양송이 재배시 관행적으로 처리하는 요소량으로 환산하면 $190g \times 100/45 = 420g$ 에 해당하는 량이다. 요소 가격은 20kg 1포 가격을 20,000원 선으로 가정하면 420원의 아주 적은 요소 사용량 절감효과 밖에 기대할 수밖에 없고, 배양액 수집 및 보관의 문제와 양송이 퇴비 제조시 미세 입자로 구성이 되어있는 우분퇴비를 골고루 혼합하기 위한 특수 혼합기 등이 필요하기 때문에 현장 적용시험은 큰 의의를 찾을 수 없었으며, 선뜻 시험에 동참하고자 하는 재배농가도 선정하기 어려웠다. 따라서 양송이 퇴비제조보다 배양액의 처리량이 더 많고 배지제조에서 더 용이한 버섯으로 느타리버섯과 같은 타 버섯재배에 응용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 느타리 재배용 톱밥 배지를 물 대신 배양액으로 혼합하여 봉지재배 예비실험을 행한 결과 그림 69에서와 같이 정상적인 생장과 자실체 형성이 이루어져 버섯 재배에서의 배양액 재활용은 느타리 재배에서 찾고자 하였다.



그림 69. 봉지재배에 의한 느타리 재배

나. 시설원에 배양액 재활용 느타리버섯 재배배지 최적화 기술 개발

(1) 시설원에 배양액 재활용 느타리버섯 배지 부원료 최적화

○ 느타리버섯 병재배용 배지로 톱밥과 미강을 80:20(v/v)으로 혼합하고 물 또는 배양액을 첨가하여 배지수분함량을 65%로 조정하고 60~65℃ 범위로 조절되는 발효기에서 1개월간 발효시킴으로서 배양액 중 무기질소원을 유기질소로 전환시켜 느타리 재배용 배지로 활용하고자 하였다. 그림 70은 일반적으로 행하는 느타리 재배용 톱밥제조 과정을 나타낸 것이며, 그림 71은 배양액 처리 발효톱밥 제조과정을 제시하고 있다.

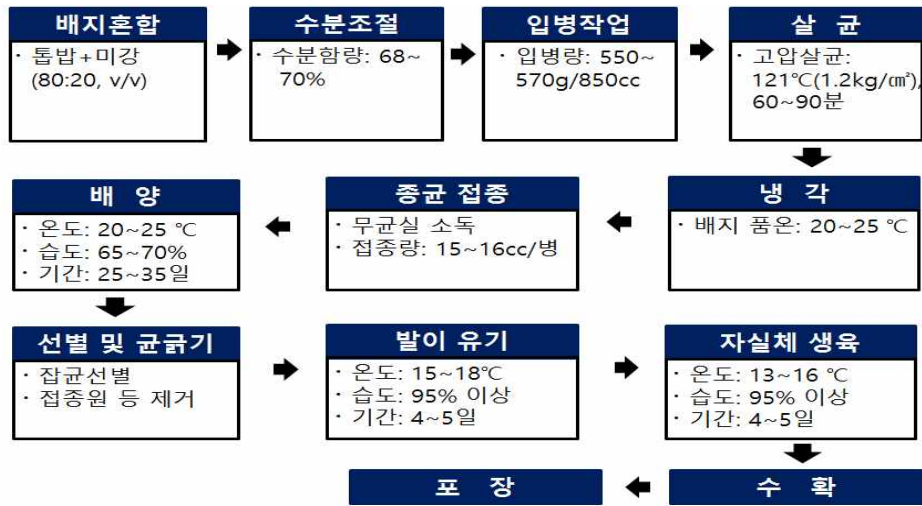


그림 70. 느타리버섯 병재배의 개요

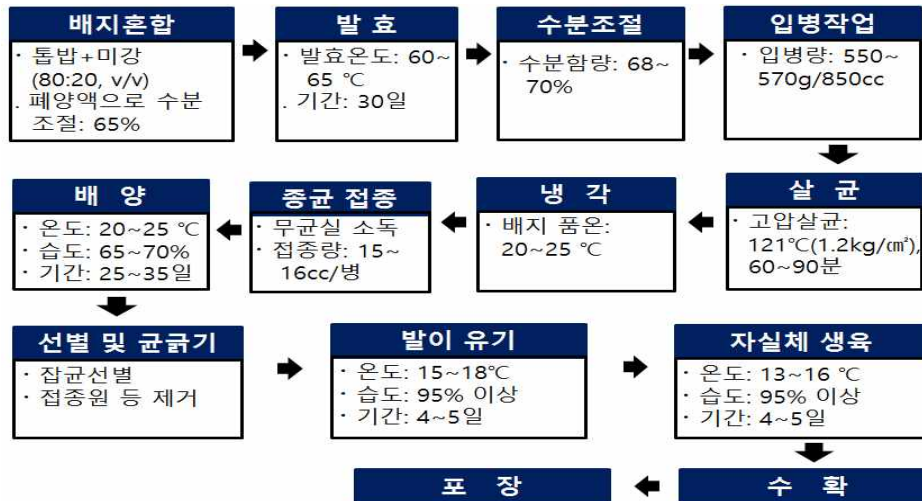


그림 71. 배양액처리 발효재지를 이용한 느타리버섯 병재배의 개요

- 배양액 처리에 따른 느타리 발효톱밥배지의 이화학적 특성을 조사한 결과는 표 49 및 50과 같다. 본 실험에 사용한 배양액은 표 49에서와 같이 총질소의 함량이 약 7.5g/L으로 질소성분을 함유하고 있어 느타리 발효톱밥 제조시 첨가하는 경우 첨가 비율이 증가할수록 배지 중의 총질소 함량도 약간 증가하여 C/N율이 68.54에서 59.18로 낮아지는 경향을 보였다. 양송이의 C/N비는 17/1로 높은 질소함량이 요구되나 느타리나 표고버섯의 C/N비는 350~500/1, 신령버섯 25~30/1, 노루궁뎅이버섯 200/1, 풀버섯은 80/1이다. 버섯의 재배에 사용되는 기질에서 총 탄소원과 총 질소원의 비율을 총 C:N 비율이라 할 수 있다. 그런데 사실은 기질에 존재하는 모든 탄소원과 질소원을 이용하는 것은 아니기 때문에 이용가능한 탄소원과 질소원의 비율을 고려하기도 한다. 배지 발효를 통해 기질을 마련하는 경우에는 다양한 미생물들이 발효와 후숙에 관여하기 때문에 C/N 비율을 고려하여 배지 성분을 조성하는 것도 중요하지만 발효를 어떤 조건에서 어떻게 진행하느냐 하는 것도 중요하다. 왜냐하면 발효상태에 따라 발효에 관여하는 미생물들이 배지의 기질을 달리 변화시켜 놓기 때문에 버섯균이 대사적으로 이용할 수 있는 영양에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

표 49. 배양액 처리에 따른 느타리 톱밥배지의 이화학적 특성

시료	T-N (g/100g)	유기물 (g/100g)	유기물대질소비	C/N율
수도수 100	0.8032	94.70	117.89	68.54
수도수 75+배양액 25	0.8270	94.61	114.39	66.51
수도수 50+배양액 50	0.8519	94.84	111.33	64.73
수도수 25+배양액 75	0.8648	94.45	109.21	63.49
배양액 100	0.9268	94.34	101.79	59.18
Control	0.6538	96.73	147.95	86.02

표 50. 배양액 처리에 따른 느타리 톱밥배지의 무기물 특성

시료	중금속(mg/kg)				양이온(mg/kg)			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Ca	K	Mg	Na
수도수 100	ND	12.97	8.05	55.04	2083.3	7350.0	3395.0	250.0
수도수 75+배양액 25	ND	12.50	7.47	65.90	2057.4	7090.0	3557.9	265.4
수도수 50+배양액 50	ND	16.98	8.05	81.13	2683.7	8510.0	3577.0	265.1
수도수 25+배양액 75	ND	14.15	8.62	73.46	2593.6	7400.0	3576.3	331.3
배양액 100	ND	13.44	9.20	72.56	2748.6	8160.0	3638.4	267.7
Control	ND	10.85	8.62	60.41	1260.7	4210.0	2966.8	77.9

○ 배양액 처리 발효톱밥 배지를 $\varnothing 21 \times 200\text{mm}$ 시험관에 15cm 높이로 충전하고 121°C에서 1시간동안 고압살균하고 배지 상면에 1cm 두께로 곤지1호 톱밥종균을 접종하여 25°C 항온기에서 정치배양하면서 균사체를 21일 동안 증식시켜 정도를 조사하였다(그림 71, 표 51). 15일간 배양한 느타리 균의 누적 평균 성장길이(cm)는 관행의 경우 8.20cm/21day의 성장을 보인 반면 발효톱밥 배지에서는 11.37~11.93cm/15day로 발효톱밥에서 40% 이상 생육도가 증가하는 경향이었고, 배양액의 처리량이 증가할수록 균사생육도도 약간 증가하는 경향으로 나타났는데 이는 표 50에서와 같이 질소량의 증가와 방선균류와 같은 유용 미생물에 의한 유기질소의 증가와 톱밥의 연화에 의한 결과로 판단된다.



- 1: 수도수 100
- 2: 수도수 75 + 배양액 25
- 3: 수도수 50 + 배양액 50
- 4: 수도수 25 + 배양액 75
- 5: 배양액 100
- 6: Control

그림 72. 배양액 처리에 따른 발효톱밥에서의 느타리 균사 생육

표 51. 배양액 처리 톱밥배지에서 느타리 균사 생육도

배양일	Control	수도수 100	수도수 75 + 배양액 25	수도수 50 + 배양액 50	수도수 25 + 배양액 75	배양액 100
3일	1.03±0.15	1.63±0.15	1.70±0.26	1.63±0.06	1.73±0.12	1.87±0.12
6일	1.97±0.12	3.10±0.20	3.27±0.21	3.27±0.15	3.23±0.12	3.37±0.21
8일	3.90±0.00	5.60±0.10	5.90±0.26	6.00±0.17	5.70±0.20	6.03±0.06
11일	5.67±0.06	7.97±0.23	8.33±0.31	8.40±0.20	8.13±0.32	8.37±0.12
13일	6.67±0.06	9.60±0.20	9.97±0.31	10.03±0.23	9.77±0.21	9.93±0.23
15일	8.20±0.17	11.37±0.32	11.87±0.31	12.10±0.00	11.67±0.21	11.93±0.15
17일	9.57±0.25	-	-	-	-	-
19일	10.87±0.21	-	-	-	-	-
21일	11.93±0.15	-	-	-	-	-

다. 시설원에 배양액 재활용 느타리버섯 재배 배지 실증실험

(1) 850cc 병재배

○ 액체종균제조 실험에 사용된 품종은 느타리버섯(장안 8호 품종) 균주를 사용하였다. 종균계대에서 petri dish에 PDA(potato dextrose agar) 42g/1 l의 비율로 조제하여 고압 살균 후에 사면이나 평면 배지를 만들었다. 대용량 배양은 140 l에 2.5% 설탕 3.45kg, 대두박 0.98kg, MgSO₄ 70g, K₂HPO₄ 70g, 목초액(상품명; 유기칼) 100ml(1/1500X), antiform 5ml를 첨가하고, 121℃, 90분간 고압살균 하였으며, 살균이 끝난 후 냉각수를 흘려보내면서 배지의 온도를 상온까지 낮추었다. 접종원량(1/400비율)은 액용량 350ml를 고속 균질기로 12,000rpm에서 40~60초 동안 파쇄하여 접종하였다. 배양실 온도는 20~22℃, 폭기 압력 2.0kg.f/cm²의 공기압, 직경 50mm×0.2μm의 필터를 3개 직렬로 연결하여 공기를 여과하면서 폭기배양을 실시하였다. 병재배용 배지조성은 배양액 처리 발효 포플러 톱밥 24.4%, 비트펠프 30.5%, 면실박(호주산, 총 N 함량 = 42%) 6.1%, 면실피 39.0%이고 배지수분은 63%이었다. 위의 배지를 혼합한 후 배지수분은 66.5%가 되었고 이를 입병기로 입병하였다. 평균 487-502g/850cc의 습중량 배지를 조제하고 배지 가운데에 타공을 실시하여 1바구니에 16병을 담아 뚜껑을 닫은 후 이를 적재하여 즉시 고압살균을 실시하였다. 고압살균 후 하룻밤 동안 청결한 방랭실에서 하룻밤 동안 유지하여 접종시에 느타리버섯 병 내부의 배지 품온이 15℃ 이하가 되도록 방랭하였으며, 다음날 폭기 배양된 액체 종균으로 각각 15ml 정도를 접종하여 배양하였다. 배양실의 상대습도는 75~55%RH로 유지하였으며, 배양 중의 배지내부에서의 최고 온도는 32~34℃를 나타내었다. 배양은 통상 재배사에서 행해지는 방법에 따라 배양실의 온도는 21~22℃, 배양실의 이산화탄소 농도는 1,000~1,700ppm 범위이고 별도의 가습은 하지 않았다. 느타리버섯 850ml병은 접종일부터 17일째까지 배양을 실시하며 접종 후 수확까지는 평균 25일째부터 28일째 까지 4일간 자실체를 수확하여 누적량으로 표시하였다.



그림 73. 수도수 처리구와 배양액 처리 배지에서에서 생산된 느타리 자실체 생산(850cc 병재배)

표 52. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯의 수량 및 표준편차(1주기+2주기)

배양액 처리	수도수	배양액
1차평균 및 편차	188±74	83±0
2차평균 및 편차	195±26	161±20
3차 평균 및 편차	156±24	165±10
4차평균 및 편차	92±25	143±21
총합 평균 및 편차	147±20	154±10

○ 느타리 850cc병의 첫 수확에서 기존의 농가에서 사용하고 있는 관행방법의 평균 수량이 100%(147g)/병, 배양액 처리구에서 105%(154g)/병으로 약간 증수됨을 확인하였으며 누적 수확량에서도 비슷한 경향을 나타내었다. 질소원은 세포 내 단백질 공급의 주재료로서, 세포의 골격 구조 및 생물학적인 요구를 충족시키는 데 있어 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 배양액 처리와 발효에 의하여 배양이 빨리 진행되어 수량이 약간 증가하고 수확일도 빨라지는 것으로 나타났다.

표 53. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯 수확비율

분류	1일째	2일째	3일째	4일째	계
수도수	12.2%	30.6%	38.8%	18.4%	100%
배양액	17.3%	29.8%	33.4%	19.5%	100%

(2) 1kg 봉지

○ 병재배법이나 봉지재배법은 내열성 플라스틱으로 만든 850~1400cc의 병이나 봉지에 톱밥 등의 주재료와 면실박, 쌀겨 등 영양원을 적당한 비율로 혼합하여 입병, 살균, 접종, 배양, 생육 등 여러 단계를 자동화 기계 작업으로 수행하고 공조 시설이 구비된 실내에서 인위적으로 환경을 조절하여 고품질의 버섯을 양산하는 집약적인 재배 방법이다. 느타리 용기 재배 기술은 1990년도 초기에 시도되어 느타리 병재배용 전용 배지 조성인 “톱밥+비트펄프+면실박(50:30:20, v/v/v)” 이 개발(박 등, 1996) 되면서부터 본격적으로 보급되기 시작하였다. 병재배나 봉지재배법의 장점은 수확 작업 등 일부 과정을 제외하고 전 과정을 기계화할 수 있으며, 자동 환경 제어 장치와 더불어 연간 생산 물량의 예측과 계획 생산이 가능하고, 연중 안정 생산을 할 수 있다는 점이다. 또한 기계화 작업으로 품질이 균일하며 시장 시세에 신속한 대처가 가능하고 자본 회전이 빠르다. 반면 시설 투자 비용이 많이 들고 버섯 재배 기술뿐만 아니라 공조 시설, 설비 및 장비 등에 대한 지식을 필요로 한다.



그림 74. 수도수 처리구와 배양액 처리 배지에서 생산된 느타리 자실체 생산(1kg 봉지재배)

표 54. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯의 누적된 평균 수량(g)/봉지

접종 후 소요 일수 (일)	26일째	27일째	28일째	29일째	수확량 백분율(%)
수확 일수(일)	1일째 누적 수확 중량	2일째 누적 수확 중량	3일째 누적 수확 중량	4일째 누적 수확 중량	
수도수 처리구 평균 수량(g)	188	193	182	147	100.0
배양액 처리 발효배지 평균수량(g)	195	192	172	155	112.6

○ 표 52은 관행 수도수 처리구에서 누적 수량은 첫 수확일에 대하여 점진적으로 감소하는 경향이였다. 각각의 실험에 사용된 봉지 수량은 수도수 처리구 수량이 49개 봉지, 배양액 처리구의 수량이 467개 봉지에서 평가하였다. 표 55에서와 같이 수도수 처리 배양은 배양 중의 세포내 영양원의 축적이 약하므로 생육이 늦어져 격일로 자실체를 수확해야하는 양상으로 자실체의 생육이 느린 반면, 배양액 처리에 의한 배양은 배양 중의 세포내 영양원의 축적이 원활하였으므로 매일매일 자실체를 수확하고 정(正)의 정규분포곡선 양상으로 수확이 이루어졌다.

표 55. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯의 수확 일별 수확 비율(%)

처리구	1일째 수확	2일째 수확	3일째 수확	4일째 수확
수도수 처리구의 평균 수량(g)의 일별 수확봉지 비율(%)	12.2 %	30.6 %	18.4 %	38.8 %
배양액 처리구의 평균 수량(g)의 일별 수확봉지 비율(%)	17.3 %	29.8 %	33.4 %	19.5 %

표 56. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯의 일별 누적된 수확 봉지 비율(%)

처리구	1일째 수확 비율	2일째 수확 비율	3일째 수확 비율	4일째 수확 비율
수도수 처리구의 누적 수확 비율(%)	30.6 %	42.9 %	61.2 %	100.0 %
배양액 처리구의 누적 수확 비율(%)	29.8 %	47.1 %	80.5 %	100.0 %

표 57. 배양액처리 배지에서 생산한 느타리버섯의 수확일수와 총 참여 봉지 수에 대한 총 출하 박스의 생산량에 대한 평균 수량(g)/봉지 요약

봉지배지에 종근 접종 후 소요일수(일)	23 일 째	24 일 째	25 일 째	26 일 째	27 일 째	28 일 째	29 일 째	30 일 째	31 일 째	32 일 째	33 일 째	34 일 째	35 일 째	평균수량 (g)/봉지
대조구 수확 일수(일)									1 일 째	2 일 째	3 일 째	4 일 째	5 일 째	대조구 평균 수량(g)/봉지 (비율%)
수도수 처리구 의 평균수량 (g)/1봉지	발효에 의한 배지 중 느타리버섯균 생장 활성화로 배양기간을 길게 유지해야 자실체 수확이 가능													249.5g (100.0%)
1단위 접종된 실험구 수확 일수(일)	1 일 째	2 일 째	3 일 째	4 일 째	5 일 째	6 일 째	7 일 째	8 일 째	600봉지/실험구					실험구 평균 수량(g)/봉 지(비율%)
배양액 처리구 의 평균 수량 (g)/1 봉지									85박스/2kg					288.2g (115.5%)

- 표 55에서 대규모 농가 실험에서는 개별적인 봉지의 평균 수량을 구할 수 없었으므로 총 매출된 박스를 기준으로 작성하였다. 표 57에서와 같이 농가 실증 대규모 실험구에서 소규모의 실험과 크게 다르지 않았으나 수확 기간은 다소 늘어난 경향이였다. 수도수 처리구의 평균수량이 252.6g(100%)/봉지였으며, 배양액 처리구의 평균 수량이 292.4g(115.7%)/봉지로 자실체 증수효과는 15.7%를 보였다. 5일 동안 수확된 전체 평균 수량은 수도수 처리구와 배양액 처리구에서의 평균수량은 봉지당 각각 평균 252.6g와 292.4g의 증량을 나타내었다. 수도수 처리구 및 배양액 처리구 모두에서 처음에 수확되는 봉지의 평균 수량이 높았으며 늦게 수확이 이루어지는 봉지는 전반적으로 평균 수량이 저하되었다.

라. 배양액처리 느타리버섯 중의 아미노산

- 아미노산 분석을 위한 버섯 시료는 버섯 자실체를 갖과 자루부위로 나누어 동결건조시킨 것을 사용하였다. 구성아미노산은 테프론이 부착된 마개달린 시험관에 각 시료 0.5g을 6N-HCl용액 15mL을 가한 다음 질소로 치환한 후 110℃에서 24시간 가수분해하였다. 가수분해물은 50mL의 둥근바닥 플라스크에 옮겨 감압 농축하였다. 여기에 다시 증류수를 가하여 농축하는 과정을 2회 반복하였다. 감압 농축 건고액에 sample dilution buffer(pH 2.2)를 가하여 25mL로 정용 후 membrane filter(0.25um)로 여과하여 아미노산 분석기로 분석하였다. 유리아미노산은 시료 약 1g을 50mL 용량의 cornical tube에 취하고 여기에 80% ethanol 30mL(약 30배)을 가한 다음 회전식 진탕기에서 150rpm으로 20시간 추출한 후 20분간 초음파처리하고 3,000rpm에서 20분간 원심분리하였다. 위의 과정을 2회 반복하고 각 시료는 10mL씩을 취해 감압농축 후 아미노산용 sample dilution buffer(pH 2.2) 2.0mL에 용해 후 membrane filter(0.25um)로 여과하여 아미노산 분석기로 분석하였다. 아미노산은 자동아미노산분석기는 Sycam(Germany)사의 S7130 autosampler와 S2100 solvent delivery system을 사용하였으며, column은 cation separation column LCA K06/NA(4.6×250 mm)을 이용하여 분석하였다. 이동상의 유속은 0.45mL/min, ninhydrin은 0.4mL/min의 조건으로 분석하였다. 느타리버섯 중의 아미노산 분석을 위해 아미노산자동분석기 (Sycam S2100, Germany)를 이용하여 분석한 표준품의 chromatogram은 그림 73와 같으며, 느타리버섯 중에 함유되어 맛에서 중요한 역할을 하는 유리 아미노산의 조성을 아미노산 자동분석기(Sycam S2100, Germany)를 이용하여 분석한 결과는 그림 74와 같으며 그 결과를 표 59에 나타내었다. 또한 느타리버섯 중의 단백질을 구성하고 있는 아미노산의 조성을 확인하기 위하여 분석을 위해 6N-HCl 용액으로 110℃에서 24시간 가수분해한 후 산 가수분해물을 아미노산자동분석기(Sycam S2100, Germany)를 이용하여 분석한 결과는 그림 75와 같으며, 그 결과를 표 59에 나타내었다.

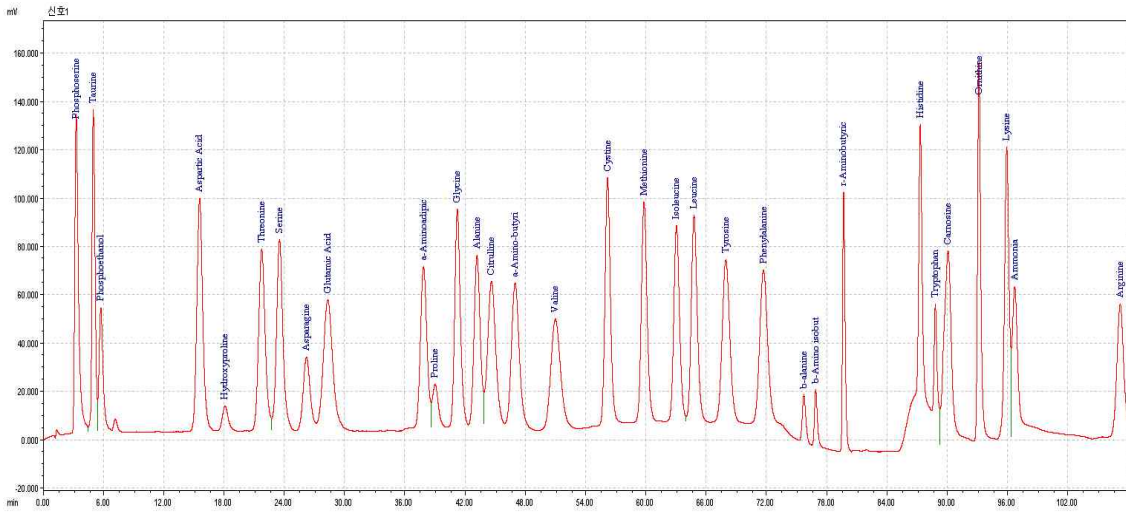


그림 75. 아미노산 표준품의 chromatogram

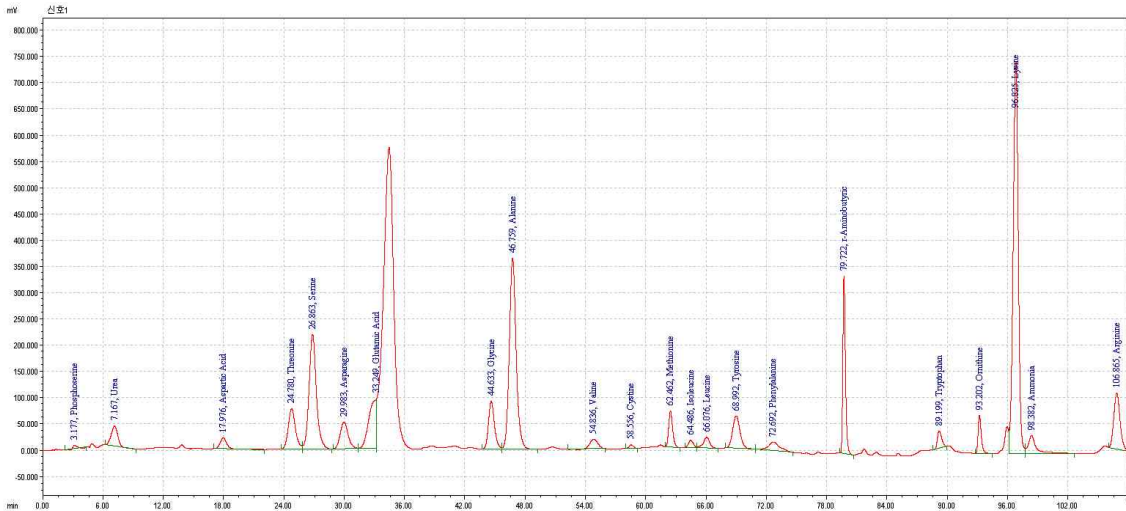


그림 76. 배양액처리 느타리버섯 갖 중의 유리 아미노산 chromatogram

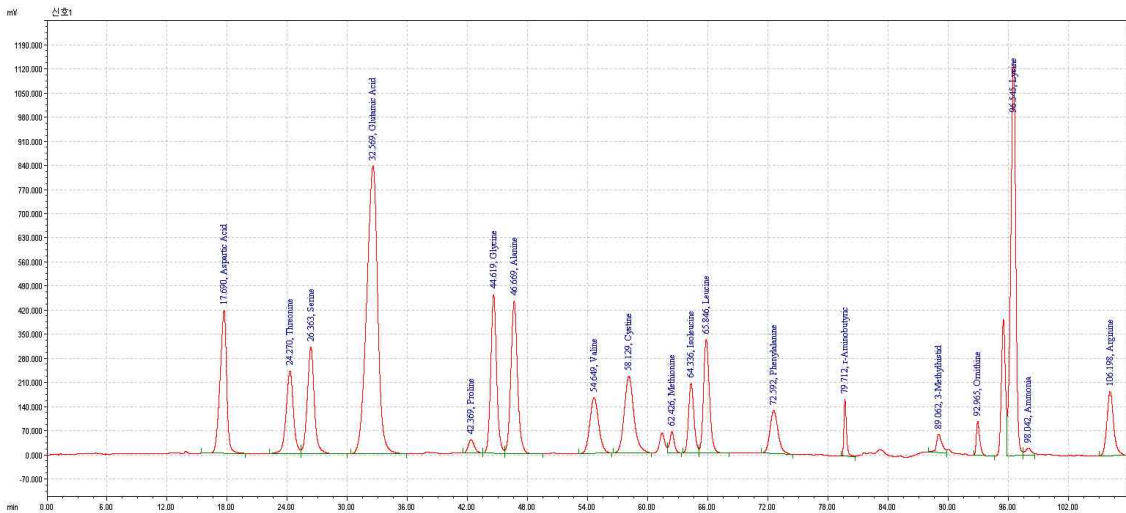


그림 77. 배양액처리 느타리버섯 갖 중의 구성 아미노산 chromatogram

표 58. 배양액처리 느타리버섯 자실체 중의 유리 아미노산 함량(단위 : mg/g)

Amino acid	느타리 갓		느타리 줄기	
	배양액 처리	수도수 처리	배양액 처리	수도수 처리
Phosphoserine	0.2	0.4	0.4	0.2
Urea	3.2	-	1.2	-
Aspartic Acid	1.2	10.6	1.4	6.4
Threonine	5.6	4	4.2	2
Serine	12.2	4	6.2	2
Asparagine	3.8	1.2	2.4	0.4
Glutamic Acid	8.2	19.8	9	8.6
a-Aminoadipic acid	-	2.6	-	0.6
Glycine	2.4	1.8	1.4	1.4
Alanine	11.8	9.2	8.4	6.2
Valine	0.8	2	0.4	1
Cystine	0.2	0.2	0.2	0.2
Methionine	2.4	0.6	1.4	0.2
Isoleucine	1	2.6	0.6	1.4
Leucine	1	2.4	0.4	2
Tyrosine	5	5	4.4	2.4
Phenylalanine	2	4.6	1	2.8
b-Amino isobutyric	-	7.2	-	6.4
γ -Aminobutyric acid	51.2	1.6	41.8	1.4
Tryptophan	4.8	1.8	3.8	0.6
Ornithine	2.6	3.6	3.4	4.8
Lysine	71.4	7.6	55.8	3
ammonia	0.4	-	0.4	-
Arginine	16.2	8	22.2	2.4
합계	207.600	100.800	170.400	56.400

표 59. 배양액처리 느타리버섯 자실체 중의 구성 아미노산 함량(단위 : mg/g)

Amino acid	느타리 갓		느타리 줄기	
	배양액 처리	수도수 처리	배양액 처리	수도수 처리
Aspartic Acid	37.5	55.2	29.7	26.7
Threonine	26.4	36.9	21.3	17.4
Serine	24.9	29.4	18.3	14.1
Glutamic Acid	156.9	84.3	118.2	37.2
Proline	3.6	5.7	3	2.7
Glycine	18	24.3	14.1	11.4
Alanine	21	27	16.5	13.5
Valine	12.3	20.4	9.9	9.3
Cystine	18	9	20.7	9.6
Methionine	3.6	1.2	1.5	-
Isoleucine	22.8	36.6	18	16.2
Leucine	24.9	39.3	20.4	18.3
Tyrosine	0	11.1	7.5	3.3
Phenylalanine	16.2	26.1	13.5	12.6
γ -Aminobutyric acid	36.6	-	24	-
3-Methyl histidine	8.7	5.7	6.3	3.6
Ornithine	6	7.8	6.9	8.1
Lysine	160.8	100.2	116.7	45.6
ammonia	0.3	0.3	-	-
Arginine	45.9	56.7	44.1	23.4
합계	644.400	577.200	510.600	273.000

○ 생느타리버섯 중에는 단백질 2.7%, 당질 4.6%, 지질 0.2%, 식이섬유 3.88%, 칼륨 270mg%, 칼슘 3mg%, 비타민 B1 0.38mg%, 비타민 C 2mg% 등 다양한 영양성분을 고루 함유하고 있다. 생버섯 중의 수분함량이 약 90%이기 때문에 건물당 함량의 약 10배 정도 상승할 것으로 여겨지기 때문에 영양성분의 품질은 아주 우수한 것으로 평가된다. 단백질 구성 아미노산 중 필수 아미노산의 함량이 높으며, 특히 채소·과수류에 부족하기 쉬운 라이신(Lysine)이 생버섯 중에도 66mg%로 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 또한 글루타민산, 알라닌 등 조미성분 함량이 높아 풍부한 맛을 제공하고 생식부터 볶음, 찜 등 모든 요리에 많이 사용되기도 한다.

- 식품 중의 유리아미노산은 다양한 맛을 띠고 있어 식품의 맛에 많은 기여를 하는데 유리아미노산 중 aspartic acid와 glutamic acid는 감칠맛(MSG-like)을, alanine, glycine, serine, threonine 등은 단맛(Sweet)을, arginine, histidine, isoleucine, leucine, methionine, phenylalanine, tryptophan, valine 등은 쓴맛(Bitter)을, lysine과 tyrosine은 무미(Tasteless)를 나타낸다. 이중 감칠맛과 단맛을 나타내는 아미노산은 느타리버섯의 기호성과 밀접한 관계를 보이게 된다.
- 느타리버섯의 총 아미노산의 함량은 부위에 따라 차이는 있지만 27,300~64,440mg% 범위로 나타났다. 이중 유리아미노산은 5,640~20,760mg%, 구성아미노산은 27,300~64,440mg%의 조성을 보여 부위와 양액처리에 따라 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 유리아미노산의 경우 줄기보다 갓의 함량이 높았고, 일반 수도수 처리구보다 양액 처리구에서 높아 양액 중의 질소성분은 총 아미노산의 함량 증대에 영향을 주는 것으로 나타났다. 양액 처리에 따른 유리아미노산 총 함량을 갓의 경우 무처리구와 처리구에서 각각 20,760mg%와 10,080mg%를 보여 양액처리시 약 2배 증가효과를 보였으며, 줄기의 경우도 각각 5,640mg%와 17,040mg%를 보여 2배 이상의 증가효과를 보였다. 증가의 주원인은 γ -Aminobutyric acid의 큰 상승에 기인하는 것으로 나타났다. γ -Aminobutyric acid(GABA)은 식물이 외부환경요인에 의해 영향을 받으면 식물체가 여러 환경적 스트레스에 대항하기 위한 수단으로 GABA를 생성하는 것으로 추정되며, 생체 내에서도 생성되지만 스트레스 및 노화로 농도가 저하되기 때문에 음식이나 건강식품 등을 통해 섭취할 필요가 있는 기능성 아미노산으로 뇌세포 대사촉진 및 뇌 혈류개선, 산소공급 증가, 간기능 개선, 중성지방억제(다이어트효과), 변비해소, 혈압강하, 신경안정, 신장 및 간장 활성화, 빈혈 및 대장암 예방, 스트레스 해소, 불면해소, 기억력 증가, 우울증 완화, 중풍치매예방, 알코올대사 촉진, 갱년기 장애 및 초기노화 정신장애 개선, 불안해소, 항경련 및 항우울 해소 등에 역할을 하는 것으로 알려져 있다.
- 양액 처리 느타리의 구성아미노산 총 함량을 분석한 결과 구성아미노산은 27,300~ 64,440mg%의 조성을 보여 유리아미노산의 경우와 같이 부위와 양액처리에 따라 영향을 크게 받는 것으로 나타났다. 구성 아미노산의 경우도 줄기보다 갓의 함량이 높았고, 일반 수도수 처리구보다 양액 처리구에서 높아 양액 중의 질소성분은 총 아미노산의 함량 증대에 영향을 주는 것으로 나타났다. 양액 처리에 따른 유리아미노산 총 함량을 갓의 경우 무처리구와 처리구에서 각각 57,720mg%와 64,440mg%를 보여 양액처리시 약 12% 증가효과를 보였으며, 줄기의 경우도 각각 27,300mg%와 51,060mg%를 보여 2배의 증가효과를 보였다. 증가의 주원인은 glutamic acid와 γ -aminobutyric acid의 큰 상승에 기인하는 것으로 나타났다. 양액처리 느타리에서의 주요 아미노산은 glutamic acid, lysine, γ -aminobutyric acid, arginine, aspartic acid, threonine, serine, leucine, iso-leucine, alanine, valine 등이었다.
- 22종의 주요 아미노산 중 체내에서 합성이 안 되고 음식을 통해서 섭취해야 하는 필수아미노산은, 어른의 경우 valine, leucine, isoleucine, methionine, threonine, lysine, phenylalanine, tryptophan 등이고, 유아는 여기에다 histidine, arginine이 필수이며, 기타는 비필수아미노산이다. 비필수아미노산은 아미노기전이효소(transaminase)에 의해서 체내에서 필수아미노산으로부터 합성할 수 있으나, glutamine, asparagine, alanine, proline 등의 비필수아미노산은 훨씬 용이하게 아미노기전이반응이 일어나서 다른 비필수아미노산을 합성할 수 있다.

제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호

D-06

제1절 목표달성도

1. 연구계획서에 제시된 정량적 성과목표

구분	지식재산권		논문		학술 발표	기술 거래	교육 지도	사업화	기술 인증	인력 양성	정책 활용	홍보 전시
	출원	등록	SCI	비SCI								
최종목표	1	1	4	4	16	-	4	-	-	2	1	3
1차년도	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	1
2차년도	1	-	2	2	4	-	2	-	-	2	1	2
소계	1	-	2	2	8	-	2	-	-	2	1	3
종료1차년도	-	1	2	2	8	-	2	-	-	-	-	-
소계	-	1	2	2	8	-	2	-	-	-	-	-
합계	1	1	4	4	16	-	4	-	-	2	1	3

2. 연구(1-2차년도) 수행 기간중 달성된 정량적 성과목표

성과지표	계획(A)	실적(B)	목표달성(C=B/A)	가중치(%) (D)	달성	점수(총 40점)
지식재산권 출원	1	0	0	5	0	33
논문(SCI)	2	2	100	30	30	
논문(비SCI)	2	2	100	25	25	
학술발표	8	9	100	15	15	
교육지도	4	4	100	10	10	
인력양성	2	1	1	5	2.5	
정책활용	1	0	0	5	0	
홍보전시	3	0	0	5	0	

가. 논문(SCI)

- (1) Reep Pandi Tasho, **Jae Yong Cho**. 2016. Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review. Science of the Total Environment Science. 563-564. 366-376.
- (2) **Myung-Gon Kim**. 2016. Purification and characterization of a novel ginsenoside Rc-hydrolyzing β -glucosidase from *Armillaria mellea* mycelia. AMB Express 6: 112-118.

나. 논문(비SCI)

- (1) **김명곤**. 2015. Screening on the phenolic acids and flavonoids compositions and skin care cosmetic physiological activities of *Dioscorea japonica* yam tuber and aerial bulbil extracts. J. Kor. Soc. Cosm.
- (2) **김명곤**. 2015. 버섯균 곡물배양 Koji를 이용한 약주 제조특성. Journal of Agriculture & Life Sciences.

다. 학술발표

순번	학술대회/제목	저자	일자	장소	국내/국제
1	2015 International Symposiumn and Annual Meeting of the KSABC (제목: Reuse of hydroponic waste solution)	Jae-Young Cho Jae-Gwon Son Jae-Do Song Won-Tae Shin	2015. 8. 17- 2015. 8. 19	서울대학교 평창캠퍼스	대한민국 (국제)
2	2015 International Symposiumn and Annual Meeting of the KSABC (제목: Compost characteristics of cow dung treated with composting beneficial microorganism)	Jae-Young Cho Won-Tae Shin	2015. 8. 17- 2015. 8. 19	서울대학교 평창캠퍼스	대한민국 (국제)
3	2015 International Symposiumn and Annual Meeting of the KSABC (제목: Chemical composition of hydroponic waste solution)	Jae-Young Cho Won-Tae Shin	2015. 8. 17- 2015. 8. 19	서울대학교 평창캠퍼스	대한민국 (국제)
4	2016 KFN International Symposium and Annual Meeting (제목: Changes in biological functions composition during fermentation of <i>Rhus verniciflua</i> Stocks by <i>Fomitella fraxinea</i>)	Min Ji Kim, Myung Kon Kim	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)
5	2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (제목: Hydroponic wastewater and environmental problems)	Won-Tae Shin Jae-Young Cho	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)
6	2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (제목: Hydroponic waste solution treatment and reuse)	Won-Tae Shin Jae-Young Cho	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)
7	2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (제목: Soil quality by hydroponic wastewater irrigation in rice paddy field)	Won-Tae Shin Jae-Young Cho	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)
8	2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (제목: Water management for preventing resalinization after hydroponic wastewater treatment)	Won-Tae Shin Jae-Young Cho	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)
9	2016 International Symposium and Annual Meeting of the KSABC (제목: Heavy metals in brown rice (<i>Oryza sativa</i> L.) and soil after long-term irrigation of hydroponic wastewater)	Won-Tae Shin Jae-Young Cho	2016. 10. 31- 2016. 11. 2	ICC Jeju	대한민국 (국제)

라. 교육지도 내용

일자 및 교육내용	장소	농가/영농조합명
<p>2016년 4월 8일 (양액재배 순환식과 비순환식)</p>		<p>전북 완주 딸기재배농가(송창훈)</p>
<p>2016년 5월 3일 (배양액의 재순환 필요성)</p>		<p>전라북도 부안군 상서면 감자 양액재배농가(문병진)</p>
<p>2016년 6월 9일 (배양액의 재순환 필요성)</p>		<p>전북 남원 딸기재배농가(신천식)</p>
<p>2016년 7월 22일 (양액재배 최적의 양분관리)</p>		<p>전북 장수 토마토영농조합법인(백규인)</p>

마. 인력양성

- (1) 김승룡. 전북대학교 박사학위논문 작성중. 2017년 8월 논문제출 예정. 논문제목: 시설재배 배양액 재활용 실용모델 개발.

제2절 관련분야 기여도

1. 기술적 측면

- 시설원예 배양액 합목적적인 대체 처리를 위한 실용화 기술 개발
- 시설원예 배양액 최적관리기법(BMPs) 개발
- 시설원예 배양액 자원화 및 이용과 관련된 문제 해결에 기여
- 시설원예 배양액 시용에 의한 화학비료 저감으로 인한 화석연료 및 이산화탄소 저감
- 전라북도 시설원예 배양액 재순환에 따른 용담호 상수원수, 금강/섬진강 상류권역, 새만금 담수호 비점오염원 저감으로 수질개선 효과

2. 경제적·산업적 측면

- 우리나라 시설원예 배양액 재활용시 비료자원 100억 + 버려지는 용수의 경제적 손실 가치 30억 + 수처리 비용 = 최소 200억-300억/년 이상의 경제적 손실 방지
- 수출 유망 농산물의 품질향상 및 국제간 농산물 교역문제 해결에 기여

제5장 연구결과의 활용계획

코드번호	D-07
------	------

제1절 연구개발결과의 활용방안

- 시설원예 배양액 합목적적인 대체 처리를 위한 실용화 기술
- 시설원예 배양액 처리 가이드라인 설정 및 표준사용 지침서
- 시설원예 배양액 최적관리기법(BMPs) 정책 수립에 활용
- 시설원예 배양액 사용이 인근 생태계 환경에 미치는 영향 평가
- 시설원예 배양액 작물 시용효과 및 적정 시용기술 활용
- 시설원예 배양액 지역단위 순환 및 유통모델 활용

제2절 추가 후속연구의 필요성

- 본 연구에서는 시설원예 배양액의 원예작물 및 버섯재배지 활용에 목표를 두고 진행하였으나, 보다 현실적있는 처리방안은 수도작 재배지대, 사료작물, 잔디재배지, 조경수 재배지 등으로 평가되었음. 따라서, 합목적적인 대체 처리를 위한 실용화 기술 개발을 위해서는 원예작물 이외에 대체처리 방안에 대한 후속 연구가 필요할 것임.
- 지역단위 시설원예 배양액 순환모델에 대한 살균처리 공정, 농도보정방법, pH, EC 보정기법의 표준화 및 이를 자동적으로 컨트롤 할 수 있는 종합적인 전처리 공정의 개발이 필요할 것임.
- 정책제안에 제시한 바와 같이 시설원예 배양액의 농경지 대체처리를 위한 법률의 제정이 필요함.
- 본 연구에서 개발된 시설원예 배양액 지역단위 순환모델을 현장에 적용하기 위해 농림축산식품부, 지자체와 협조체계가 구축되어 실용적으로 적용하기 위한 후속연구가 필요함.

제3절 시설원예 배양액 농경지 대체처리를 위한 운영 메뉴얼

1. 시설원예 배양액 재활용 필요성

- 시설원예작물은 토경(土耕)재배와 양액(養液)재배로 구분된다. 양액재배는 배출되는 배양액을 버리느냐(비순환식) 또는 재순환하여 사용하느냐(순환식)에 따라 구분하고 있다.

- 순환식 양액재배: 양액을 순환시키는 시스템이 추가되어 복잡하고 시설비 과다 투입. 재사용에 따른 양액 중 무기성분의 불균형으로 작물의 생육 불량, 근권 병원균이 확산 우려가 있지만 환경보전적인 차원과 비료의 손실 방지차원에서 유용하다.
- 비순환식 양액재배: 시스템 구조가 간단하여 시설비가 저렴하고 근권에서 발생하는 병원균의 전염을 막을 수 있어 병해 대책을 확실히 하지 않고도 재배가 가능한 양액재배 시스템. 그러나 양액의 비순환으로 인한 비료의 손실량이 많고 수질오염을 초래하고 있다.

표 1. 비순환식, 순환식 양액재배 시스템 비교

구분	비순환식 양액재배	순환식 양액재배
시설비	기본시설	기본시설 (배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비, 배양액의 농도와 산도 조절 등 추가 설비 필요)
양분관리	간단	양액 농도조절설비 필요
병원균 위험률	식물병해 피해 낮음	식물병해 피해 높음(청고병, 역병)
양분/수분 소비량	비료 및 원수 사용량 증가	비료 및 원수 사용량 감소(비료: 30-50%, 용수 30% 절감)
배양액 배출량	토양 및 수질오염	자원순환 시스템

- 양액재배 배양액으로 인한 토양과 지하수 오염 그리고 용수와 비료자원의 재이용을 위해서는 ‘순환식 양액재배 시스템’을 이용하는 것이 바람직하나(물 30%, 비료 30~50% 절감), 배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비 그리고 양분의 농도와 산도 등을 조절하는 보정장치 설치비용이 10a당 2,000만원에 달하는 고가인 점과, 재사용시 수확량 저감, 품질저하 및 병원균 확산으로 인한 경제적 손실 발생에 대한 우려 때문에 범용화되지 못하고 있다.
- 특히 시설원예 작물재배시 배양액을 재사용하는 순환식 양액재배 시스템에서는 양액 속에 병원균이 발생하면 토경재배에 비하여 뿌리와 접촉기회가 많아 병원균(청고병, 역병)의 확산이 빠르고, 양액 탱크를 경유하여 재배조 전체에 확산될 뿐만 아니라 뿌리 병원균 확산에 의한 품질저하, 작물수량 감소, 작물 피해 가능성과 경제적 손실에 대한 부담감이 높아 농가에서 활용도가 낮다(농촌진흥청, 2006).
- 또한, 재배기간이 경과함에 따라 양액내 양분간 균형에 변화가 생기는데 이를 쉽게 분석할 수 있는 시스템이 갖추어져 있지 않고, 분석과정이 복잡하고, 비용이 많이 소요되고 있음. 그러다 보니 국내 분석센터에서 양액분석을 하지 않고 네덜란드에 양액분석을 의뢰하여 데이터를 받고 있는 실정이다.

2. 시설원예 작물별 배양액 배출량

○ 우리나라 시설원예 양액재배 면적은 2013년 기준 약 3,801ha로 조사되었는데, 이 가운데 채소류 면적은 2,832ha(74.5%), 화훼류는 969ha(25.5%)로 집계되었다. 과채류와 화훼류를 중심으로 양액재배 면적 급증 추세임을 알 수 있다. 품목별로는 파프리카, 장미, 토마토, 상추, 그리고 딸기 등으로 엄격한 품질을 요구하는 수출용 농산물이 주를 이루고 있다. 연간 소요되는 비료 소요량만 해도 단순계산으로 55,343톤이며, 소요금액은 약 1,660억원으로 추산 할 수 있다. 우리나라 시설원예 양액재배의 95% 이상이 한번 공급된 양액이 재사용되지 않고 외부로 배출되는 ‘비순환식 양액재배 시스템’으로 남은 배양액을 주변 하천이나 토양으로 흘려버리고 있어 비료자원의 낭비, 용수 낭비, 토양 및 하천 등 주변 생태계의 오염원으로 지적되고 있다. 시설원예 양액재배 과정에서 발생하는 배양액은 공급량의 30%인 연간 약 3,000,000m³이며 이렇게 버려지는 비료염이 약 7,000톤에 달하고 있다 (농촌진흥청, 2013).



토마토 양액재배



배양액 무단 방류



배양액 5일 방치



배양액 방류(하천)



하천 녹조현상



호소 녹조현상

그림 1. 시설원예 배양액 배출실태

표 2. 우리나라 도별, 작물별 양액재배 면적(ha) (농림통계연보, 2015)

구분	시설채소							시설화훼				총계
	딸기	토마토	파프리카	오이	멜론	기타	소계	장미	국화	기타	소계	
서울특별시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
대구광역시	3	12	0	0	0	3	17	0	0	2	3	20
대전광역시	3	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4
부산광역시	0	17	0	0	0	0	17	0	0	2	2	19
울산광역시	0	0	2	0	0	47	49	0	0	27	27	76
인천광역시	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
세종시	19	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	19
경기도	21	37	13	5	0	23	99	26	21	90	138	236
강원도	23	61	58	1	0	34	178	2	6	10	18	196
경상남도	302	64	187	1	0	16	569	0	0	0	0	569
경상북도	88	47	39	3	0	3	180	4	0	0	4	184
전라남도	95	157	53	29	1	41	376	16	4	4	24	399
전라북도	70	89	72	3	1	1	235	29	9	8	46	281
충청남도	36	95	90	2	0	52	275	7	19	36	62	336
충청북도	9	25	23	1	0	14	72	1	2	4	7	79
제주도	2	5	5	0	0	3	15	0	0	0	0	15
계	671	609	542	45	2	236	2,105	85	61	182	328	2,432

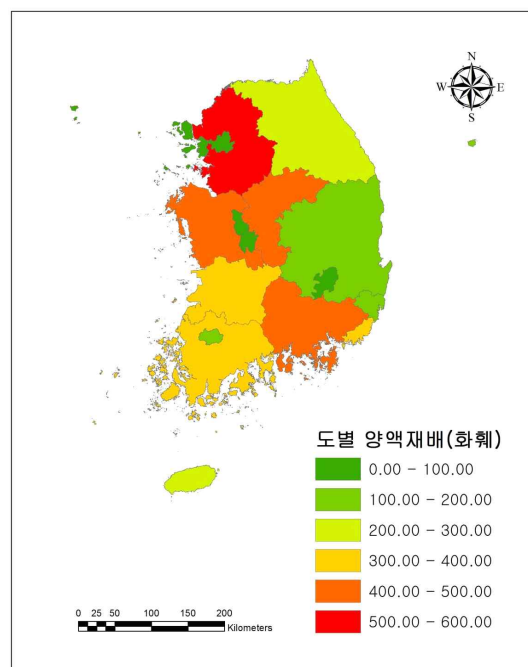
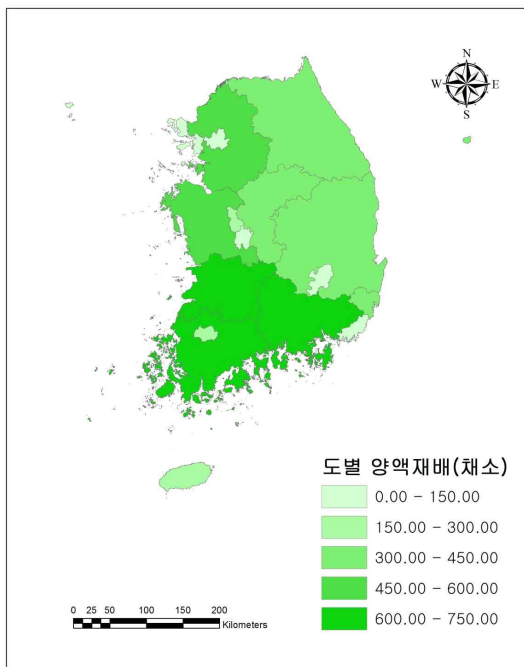


그림 2. 시도별 채소 및 화훼 양액재배 면적 현황(ha)

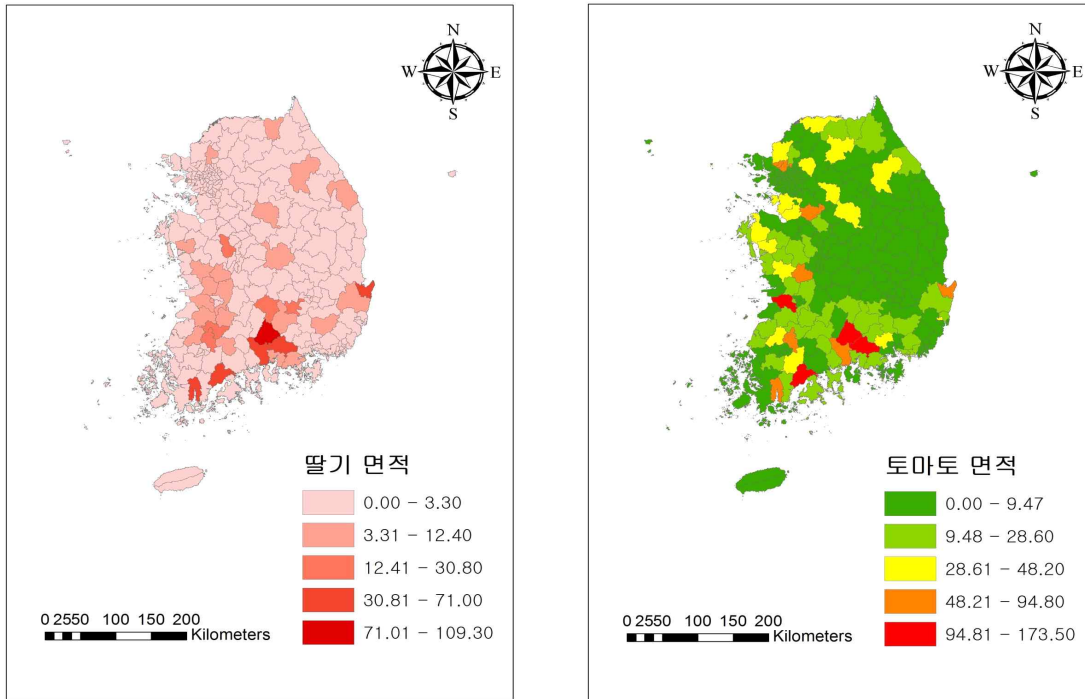


그림 3. 시군별 멜기 및 토마토 양액재배 면적 현황(ha)

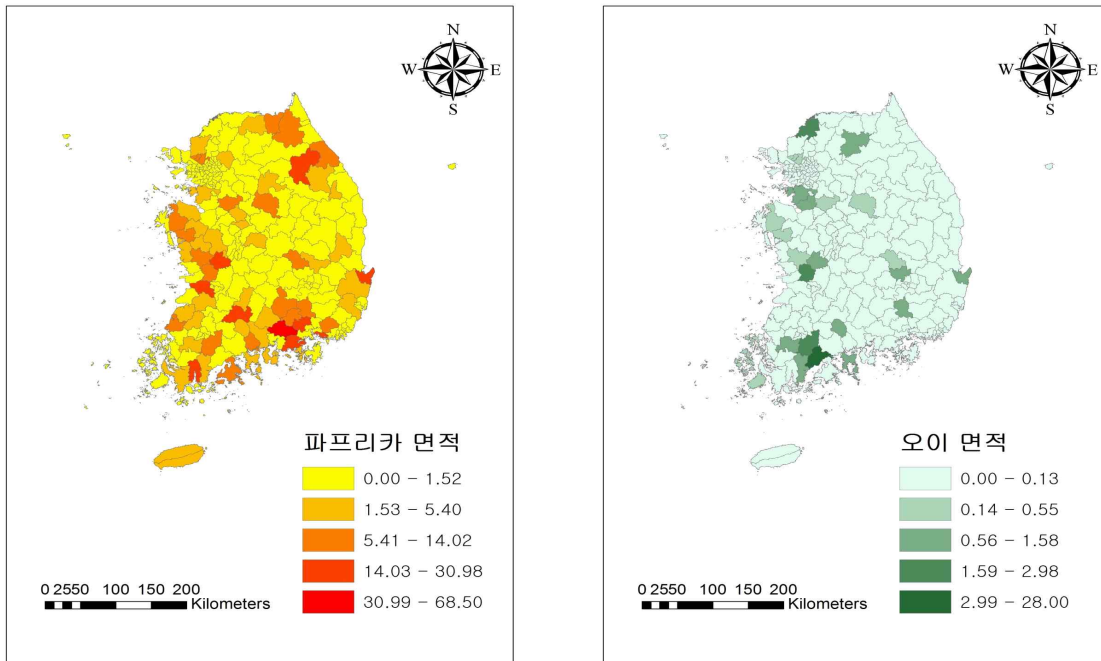


그림 4. 시군별 파프리카 및 오이 양액재배 면적 현황(ha)

3. 시설원예 배양액 화학적 성분 조성

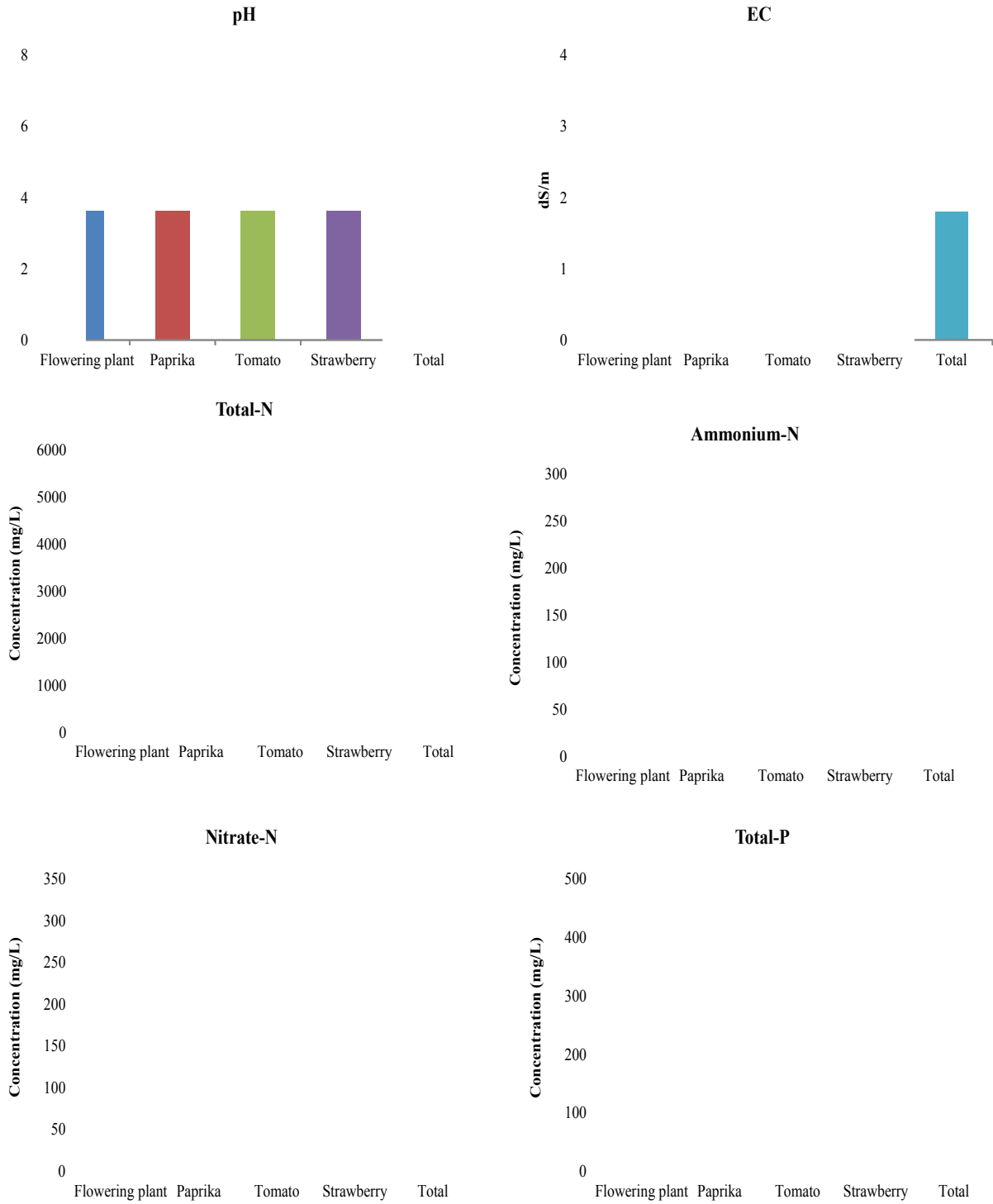


그림 5. 시설원예 배양액의 화학적 성분 조성

4. 시설원예 배양액 재처리 공정도

- 시설원예 배양액이 농경지에서 재활용되기 위해서는 ① 식물양분의 균일성 ② 병원성 미생물에 대한 살균처리 ③ 적정 수준의 수소이온농도와 전기전도도 ④ 처리대상 농경지 재배 작물별 양분요구량에 부합될 수 있어야 한다.

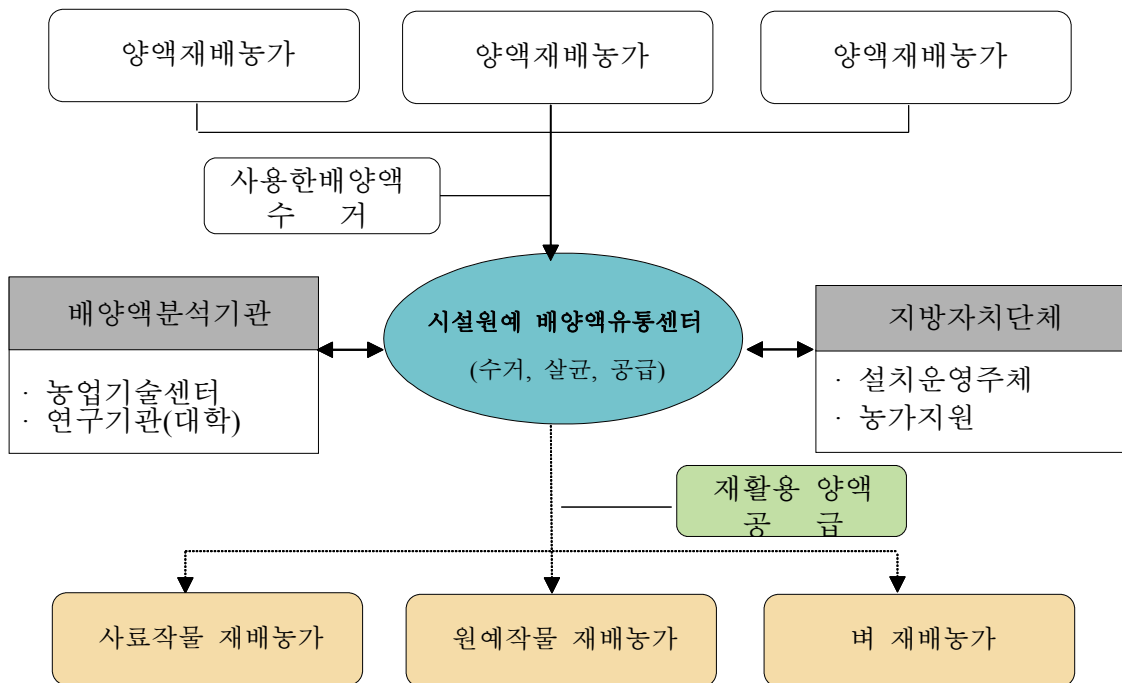


그림 6. 시설원예 배양액 유통센터 흐름도

5. 시설원예 배양액 농경지 재활용 매뉴얼

- 시설원예 배양액은 질소, 인산, 칼리 이외에도 칼슘, 마그네슘, 식물필수미량원소 등이 고농도로 함유되어 있기 때문에 유출시 수질 및 토양오염의 영향이 큰 반면에, 작물생육에 필요한 식물양분이 다량 함유되어 있어 적절하게 처리하면 자원으로서 가치가 매우 높다. 우리나라 시설원예농가에서 연간 배출되는 배양액을 비료자원으로 활용할 경우 우리나라 무기질비료 소요량의 상당부분을 대체할 수 있다.

가. 시설원예 배양액 시용량 결정

- 시설원예 배양액 살포량은 시비처방서에서 추천된 시비량과 배양액 중 비료성분 함량을 고려하여 3요소 중 최소 시용량을 기준으로 결정하는 것을 원칙으로 한다.
- 작물별로 시용량 결정에 고려할 점은 토양의 비옥도와 배양액 중의 비료성분 함량 분석 결과이다. 토양의 특성을 고려하여 시용량은 차별화 될 수 있다. 이를 위해서는 토양과 배양액에 대한 사전분석이 필요하다.

- 시설원에 배양액은 질소성분이 높고, 질소무기화율이 무기질비료와 비슷하기 때문에 배양액 중 질소성분을 기준으로 시용량을 결정한다. 인산 기준으로 배양액 시용량을 결정할 경우 배양액 시용량에 따른 질소비료 과다 투입으로 작물의 병해충 발생 및 도복, 등숙률 저하가 우려되며, 질산염 등이 지하수로 침투되어 환경을 오염시킬 수 있으므로 항상 사용시에는 배양액 중 비료성분함량을 분석하여 작물별로 적정량을 산출하여 시용적량 내에서 사용한다.

(1) 토양검정에 의한 방법(시비처방서 방법)

- 재배하고자 하는 작물포장의 토양시료와 사용하려는 배양액 시료를 채취하여 분석한다.
- 토양검정은 발급받은 시비처방서 또는 토양검정 이력이 있는 필지의 경우 “흙토람 (<http://asis.rda.go.kr/>)”에서 검색하며, 재배하려는 작물의 시비처방서를 발급받아 질소시비량을 확인한다.
- 아래 식은 질소전량에 대한 배양액 시용량 산출식이므로 기비량이 질소전량의 50%이면 배양액 시용량에 0.5를 곱하여 기비량에 대한 배양액 시용량을 계산한다.
- 토양검정에 의한 질소전량과 질소기비량 기준 배양액 시용량 계산식은 다음과 같다.

$$\text{배양액시용량(톤/10a)} = \text{토양검정 질소전량(kg/10a)} \times \left[\frac{100}{\text{배양액중 질소(TN)함량(\%)}} \right] \div 1,000$$

나. 작물별 표준시비량에 의한 방법

- 재배하려는 작물의 표준시비량은 작물별 시비처방기준('99. 농업과학기술원) 책자를 활용하여 질소시비량을 확인한다.
- 작물에 따른 배양액 시용량이 질소전량인지 기비량(밑거름) 인지를 잘 구분하여 배양액시용량을 산출한다.
- 아래 식은 질소전량에 대한 배양액 시용량 산출식이므로 기비량이 질소전량의 50%이면 배양액 시용량에 0.5를 곱하여 기비량에 대한 시용량을 계산한다.
- 작물별 표준시비량에 의한 질소전량과 기비질소시비량 기준 배양액 시용량 계산식은 다음과 같다.

$$\text{배양액시용량(톤/10a)} = \text{표준시비 질소전량(kg/10a)} \times \left[\frac{100}{\text{배양액중 질소(TN)함량(\%)}} \right] \div 1,000$$

다. 시설원에 배양액 살포 방법

- 배양액은 일단 뿌리고 나면 옆으로 이동이 잘 안되므로 살포기를 이용하여 농경지 전 면 적에 고루 살포하여야 한다.
- 배양액 살포 후 경운이나 로터리 작업을 하여 강우에 의한 유거가 일어나지 않도록 하여야 한다.
- 배양액 시용기술의 핵심은 살포량과 살포방법이며, 살포량은 배양액 중의 비료성분 함량 특히 질소성분량과 토양비옥도에 따라 결정된다.
- 배양액 살포는 토양표면 살포와 주입식 살포기가 활용되고 있다. 현재 국내에서는 분무식 과 토양표면 살포기가 이용되고 있으나, 관주처리 방식도 활용할 만 하다.

라. 시설원에 배양액 살포시 주의 사항**(1) 사용량**

- 1회 사용량 : 본 지침서에서 설정한 사용량을 넘지 않도록 하며 시용한 배양액이 흘러내려 환경오염이 발생하지 않도록 적정 사용량 내에서 사용한다.
- 작물별 최대사용량 : 배양액 중의 비료성분은 무기질비료와 같은 개념으로 취급하여 사용총량에 배양액에 함유된 질소비료 성분을 기준으로 하여 작물별 시용적량 범위 내에서 사용한다.

(2) 살포시기

- 토양이 얼거나 비가 오는 경우 및 배양액이 흘러내리는 경사지에서는 배양액을 살포하여서는 아니된다.
- 사료포장과 초지에는 예취 후에 살포할 수 있으나 식용작물은 개량제의 경우와 같이 이식이 나 파종 15일 전까지 밀거름으로 살포하고 작물 생육기간 중에는 배양액 사용을 지양한다.

(3) 살포농도

- 작물재배 전 밀거름으로 사용하고 원액상태로 살포한다.
- 사료포장과 초지에서 예취 후 웃거름의 형태로 사용할 때는 원액을 2~4배로 희석(수분 98% 정도)하여 살포한다.

(4) 살포시 유의사항

- 배양액 시용 후 작기 중에 비절현상이 발생할 경우 화학비료로 추비한다.
- 토양이 경운되지 않은 상태에서는 적은 양의 배양액 살포로서도 배양액이 흘러내릴 수

있으니 살포량이 많을 경우에는 미리 경운하여 배양액이 토양에 잘 스며들도록 한다.

- 배양액 살포와 더불어 흙을 갈거나 로터리작업을 하여 배양액이 흘러내리지 아니하고 토양 속으로 잘 스며들 수 있도록 하여야 한다.
- 배양액은 화학비료와 같이 속효성 비효를 나타내므로 성분량을 기준하여 질소시비 추천량을 초과하지 않도록 사용한다.
- 배양액 살포 추천량은 질소를 기준으로 하였으므로 질소 이외의 성분은 배양액 중의 함유량을 근거로 가감 사용한다.
- 경사지 토양은 배양액 살포시 배양액이 흘러내려 환경오염을 유발하므로 가급적 사용을 지양한다.
- 시용 대상은 초지나 사료작물 등 비식용작물 포장과 과수 등 영년생 작물재배 포장의 사용을 원칙으로 하고 양분집적 등의 우려가 있는 시설재배나 채소류 등에는 사용시기, 사용량 등에 특별히 유의하면서 사용한다.
- 시용기준은 각 작물별로 작성하되 각 배양액 종류별로 함유된 총 질소량을 환산하여 작물별 질소 시비적량 수준을 최대 살포 허용량으로 하고 작기 중에 거름기가 떨어질 경우 추비는 화학비료 사용을 원칙으로 한다.
- 경사지 경사 부위별 유기물 유효인산, 치환성염기, 양분보유능을 보면 상부의 토양양분이 빗물이나 관개수에 의하여 이동되어 하부지점에서 더 높은 것으로 나타나므로, 배양액 시용시 하부로 흘러내리지 않도록 살포에 유의하여야 한다. 경사지 밭을 대상으로 화학비료나 유기질비료 시용시는 평탄지보다 더 많은 유거수중 양분이 유실됨은 잘 알려져 있으며, 배양액 살포시는 더 많은 양분이 유실되므로 경사 7~10% 이내의 밭을 살포 대상지로 하여야 한다.
- 따라서 경사가 심한 밭에 다량의 배양액 시용은 작물에 대한 생육장해는 물론 유실 양분의 증가 및 환경부하에도 크게 우려되므로 유의하여야 한다.

표 3. 경사도별 액비 살포 후 유거수에 의한 비료 유실량

경사도 (%)	물유출량 (톤/10a)	강우량대비 유출율 (%)	질산태질소(NO ₃ -N)		인(PO ₄ -P)	
			함량 (mg/L)	총유실량 (g/10a)	함량 (mg/L)	총유실량 (g/10a)
5	432	29.6	1.14	492.5	0.07	30.2
20	593	40.6	1.06	628.6	0.06	35.6
35	674	46.2	1.18	795.3	0.08	53.9

* 재배작물: 고랭지 감자(대관령), 경사장: 10m, 강우량 (7월26일~10월7일, 83일간): 1,460mm, 자료 : 가축분뇨(액비) 이용기술 개발(농촌진흥청, 2004)

6. 시설원에 배양액 작물별 활용 지침서

가. 사과

(1) 시설원에 배양액 살포량

- 시설원에 배양액 살포량은 배양액중의 질소 함량을 기준으로 설정한다.
- 사과원의 배양액 시비량은 가을에 20~30%을 시비하고 이른 봄에 나머지를 시용한다.
- 배양액 살포량은 토양검정 시비량에 배양액 중 질소함량을 고려하여 살포량을 결정하며 부족량은 화학비료로 보충한다.
- 시비처방서가 없는 경우는 표준시비량 또는 농업기술센터 추천량을 기준으로 살포한다.

(2) 살포 방법

- 배양액은 일단 뿌리고 나면 옆으로 이동이 잘 안되므로 액비 살포기를 이용하여 수관 하부에 고루 살포하여야 한다.
- 밑거름(기비)의 배양액 시용은 늦은 가을과 이른 봄 2회 나누어 살포한다. 살포량 비율은 토성에 따라 다르게 살포하며 모래가 많이 섞인 토양일수록 가을 시비량 비율을 줄여 가을 : 봄 시비량은 2 : 8 또는 3 : 7로 살포한다.
- 비교적 균질한 저농도 배양액은 생육기간동안 관비가 가능하여 토양검정 후 질소시비량을 기준으로 4월 상순부터 6월 중순까지 8월 상순부터 9월 하순 까지 나누어 준다.
- 배양액은 시설원에 작물 생육시기별로 비료성분이 다르므로 분석하여 질소를 기준으로 시용량을 산출하여야 한다.

(3) 재배시 유의사항

- 배양액 과다시용은 생육초기 영양생장이 촉진되어 도장하면 꽃눈 발달이 부진하여 익년도 착과량이 적을 수 있으며 질소 과다는 후지 품종에서 착색이 불량하고 당도가 떨어질 수 있다.
- 배양액 시용은 관비로 화학비료 시용보다 효과가 높을 수 있으므로 과용하지 말고 경사지 과원에서는 하부로 흘러가면 위쪽보다 아래쪽이 비료 효과가 클 수 있으므로 경사지 과원에서 사용시 주의하여야 한다.
- 경사가 15% 이상 지역이나 사질토양 및 환경규제(상수원보호, 특별대책, 자연공원)지역에서는 수질오염원이 될 수 있기 때문에 환경 보전 차원에서 사용을 자제한다.

나. 사료작물**(1) 시용량**

- 초지에서는 연 4회에 걸쳐 소량씩 나누어 시용하여야 하며, 적정시용량은 질소 시용량의 200% 수준이다.

(2) 시용시기 및 방법

- 연간 4회에 걸쳐 나누어 시용할 경우 목초의 계절 생산성을 고려하여 이른 봄 40%, 1번 초 예취 후 30%, 3번초 예취 후 15%, 4번초 예취 후 15%로 설정되어 있다.

(3) 작물특성 및 유의사항

- 초지는 답압에 강하여 대형기계를 이용한 배양액 시용이 가능하다.
- 연중 4회 예취하므로 이른 봄 시비를 포함하여 5회로 나누어 배양액을 시용할 수 있다.
- 방목 이용시 배양액 시용에 따른 가축 기호성에 변화가 있을 수 있다.
- 초지는 경사지에 많이 조성됨으로 일시에 배양액을 많이 뿌리면 하천으로 흘러들어가 수질오염원이 될 수 있으므로, 경사도와 토양의 흡수 정도를 고려하여 시용하여야 한다.
- 배양액을 골고루 뿌리지 못하면 식생이 불균일해져 단위면적당 생산성에 차이가 발생하여 목구간 채목일수가 달라질 수 있다.

다. 수목류**(1) 포플러****(가) 시용량**

- 배양액 시용량은 배양액중의 질소 함량을 기준으로 설정한다. 바이오매스 생산용 포플러 단벌기 멩아림 재배에 적당한 질소 시비량은 1년생 기준으로 100~150kg/년/ha가 적합하며 수령과 바이오매스 생산능력이 증가함에 따라 질소 시비량도 높여 줄 수 있다.
- 포플러 단벌기 멩아림 재배지역에서 배양액 시용량은 1년생일 경우 3L/일/본, 2년생일 경우 5L/일/본, 3년생 이상으로 수령이 증가하고 안정적인 바이오매스 생산이 유지된 후부터는 10L/일/본까지도 가능하다.
- 배양액 시용량은 토양검정 시비량에 배양액 중 질소함량을 고려하여 시용량을 결정하며 부족량은 화학비료로 보충한다.
- 시비처방서가 없는 경우는 표준시비량 또는 농업기술센터 추천량을 기준으로 살포한다.

(나) 살포 방법

- 묘목 주위 토양을 직경 50cm, 깊이 10cm 정도로 둥글게 파고 배양액을 시비하면 유실되지 않고 묘목의 뿌리 주위로 골고루 살포된다.
- 배양액 시용 기간은 묘목의 잎이 나기 시작하는 4월 하순이나 5월 초순에 관수를 시작하여 잎이 지면서 휴면에 들어가는 9월 하순까지 관수할 수 있다.
- 배양액의 시비 시기는 묘목 주위의 표토가 건조해 졌을 때마다 수시로 처리하는 것이 적합하며, 처리한 배양액이 중력에 의해 지하수로 직접 유입되어 지하수 오염이 발생하는 것을 방지하기 위하여 한꺼번에 많은 양을 처리하거나 우천 등으로 인해 토양이 과습할 경우에는 시비를 하지 않는 것이 좋다.
- 배양액은 작물생육 시기별로 화학적 성분이 다를 수 있으므로 수시로 시용전 성분 분석을 통해 질소를 기준으로한 시용량을 산출해야 한다.

(다) 재배시 유의사항

- 배양액은 관비의 형태로 공급되기 때문에 시용하였을 때 경사로 인해 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 포플러 맹아림은 가급적 평지에 조성되어야 한다.
- 포플러 맹아림 조성지의 토양이 과습할 경우 묘목의 생존 및 성장에 많은 피해가 우려되므로 맹아림 외곽과 맹아림 내부에 폭 1m, 깊이 50cm 이상의 배수로를 설치하여야 한다.
- 경사가 15% 이상 지역이나 사질토양 및 환경규제(상수원보호, 특별대책, 자연공원) 지역에서는 수질오염원이 될 수 있기 때문에 환경 보전 차원에서 사용을 자제한다.
- 배양액 살포에 따른 지하수 오염을 줄이기 위하여 지하수위가 지표로부터 5m 이내로 높을 경우 수시로 지하수질 분석을 실시하여 지하수 오염현상이 나타나면 살포량을 줄여야한다.

(2) 밤나무**(가) 시용량**

- 배양액 시용량은 배양액중의 질소 함량을 기준으로 설정한다.
- 일반적으로 밤나무는 시비 기준량에 준하여 수령(수목 년생)에 따라 적정 시비량을 조절한다.
- 밤나무 재배지역에서 배양액 시용량(L/주(week)/본)은 질소 성분의 시비량에 기준으로 산정한다.
- 일반적인 밤나무 재배시, 시비는 연중 평균 2회 실시하며 ha당 400본을 식재하는 것을 기준으로 한다.

- 배양액 시용량은 토양검정 시비량에 배양액 중 질소함량을 고려하여 살포량을 결정하며 부족량은 화학비료로 보충하며 과실의 결실 및 품질을 고려하여 미량의 영양성분이 함유된 비료를 추가로 실시할 수 있다.
- 시비처방서가 없는 경우는 표준시비량 또는 농업기술센터 추천량을 기준으로 살포한다.

(나) 살포 방법

- 밤나무 재배지의 배양액 살포는 환상시비방법에 준하여 실시하며 대부분의 재배지가 경사지에 위치하여 배양액 살포시 흘러내리는 경우가 있으므로 반원 형태의 경사상방에 시비구를 만든다.
- 본당 배양액의 총 시비량(기비, 추비 등 2회/년 기준)이 많으므로 밤나무 생육에 지장을 주지 않는 범위 내에서 작업량을 고려한 후, 몇 회에 걸쳐 나누어 살포한다.
- 생육기간동안 관비가 가능하여 토양검정 후 질소시비량을 기준으로 5월 하순부터 8월 하순까지 비가 오지 않는 날 나누어 준다.
- 배양액은 작물생육시기별로 비료성분이 다르므로 분석하여 질소를 기준으로 시비량을 산출하며, 특히 밤나무는 수령에 따라 시비량이 다르므로 적정 시비량을 산출하여 시용한다.

다. 재배시 유의사항

- 기상, 토성 및 비옥도에 따라 밤나무의 생육 및 결실과 과실의 품질 차이가 있을 수 있으므로 생육 상태 및 결실상태에 따라 화학비료를 가감한다.
- 배양액 과다시용은 밤나무의 뿌리 생장과 생육 초기의 생장 및 결실 등에 장애가 되거나 배수불량 문제로 인해 심하면 고사할 수 있다.
- 배양액 시용은 관비로 화학비료 시용보다 효과가 높을 수 있으므로 과용을 피해야 하며 경사지 재배지역에서는 흘러내려 위쪽보다 아래쪽이 비료 효과가 클 수 있으므로 사용시 주의하여야 한다.
- 사가 15% 이상 지역이나 사질토양 및 환경규제(상수원보호, 특별 대책, 자연공원)지역에서는 수질오염원이 될 수 있기 때문에 환경 보전 차원에서 사용을 자제한다.

제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호	D-08
<p>○ P Adams 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. <i>Journal of Horticultural Science</i>, 201-207</p> <p>○ EG Bradfield, CG Guttridge (1984). Effects of night-time humidity and nutrient solution concentration on the calcium content of tomato fruit. <i>Scientia Horticulturae</i>. 22, 207-217.</p> <p>○ DL EHRET, LIMC HO (1986). Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit, <i>Journal of Experimental Botany</i>. 37(9), 1294-1302.</p> <p>○ SJ Chung, BS Lee, JH Lee, BS Seo (1996). Development of a nutriculture system for fruit vegetables using perlite and its mixtures with other substrates 2. Effects of substrates on the growth and fruit quality of hydroponically grown tomato. <i>Journal of Biological Production</i></p> <p>○ G Lee, B Kang, T Kim, T Kim (2007). Tomato Hydroponics in Korea. <i>fruit, vegetable and cereal science and biotechnology</i> 1(2). 104-109.</p>	

제7장 연구개발결과의 보안등급

코드번호

D-09

○ 해당사항 없음

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

코드번호

D-10

○ 해당사항 없음

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

		코드번호	D-11
구분	세부내용		
일일안전점검	<ul style="list-style-type: none"> · 점검횟수: 매일 1회 · 점검내용: 시약 및 실험폐기물 관리상태 및 정리정돈 상태 등 · 점검대상: 연구개발실, 분석실 등 실험실 전체 · 점 검 자: 해당 연구원 및 연구실 책임자 / 주관: 연구실 책임자 		
정기점검	<ul style="list-style-type: none"> · 점검횟수: 연 1회 이상 · 점검내용: 시약보관 상태, 가스용기 관리상태, 보호구 착용 및 관리 상태 외 · 점검대상: 연구개발실, 분석실 등 실험실 전체 · 점 검 자: 정기점검 부서 및 연구실 안전 환경 관리자 / 주관: 시설관리팀 		
정밀안전진단	<ul style="list-style-type: none"> · 점검횟수: 2년 1회 · 점검내용: 가스누출여부, 전기과부하, 접지 상태, 화학약품 반응위험도 점검 등 · 점검대상: 정기점검 결과에 따른 정밀한 진단이 필요한 실험실 · 점 검 자: 정밀안전진단 전문기관 위탁 / 주관: 시설관리팀 		
안전순찰	<ul style="list-style-type: none"> · 점검횟수: 2년 1회 · 점검내용: 연구실 관리 상태 및 일일점검일지 작성 여부 확인을 통한 관리, 감독 강화 · 점검대상: 연구개발실, 분석실 등 실험실 전체 · 점 검 자: 연구실 안전 환경 관리자 		

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/인용 횟수 등)
1	논문	Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review	전북대학교	교신 저자	Science of the Total Environment Science	3.976	2016. 06. 01	단독사사	SCI
2	논문	Purification and characterization of a novel ginsenoside Rc-hydrolyzing β -glucosidase from <i>Armillaria mellea</i> mycelia	전북대학교	교신 저자	AMB (Applied and Industrial Microbiology and Biotechnology) Express	2.167	2016. 10.01	단독사사	SCI
3		Screening on the phenolic acids and flavonoids compositions and skin care cosmetic physiological activities of <i>Dioscorea japonica</i> yam tuber and aerial bulbil extracts	전북대학교	교신 저자	J. Kor. Soc. Cosm.	-	2016. 03.01	중복사사	비 SCI
4		버섯균 곡물배양 Koji를 이용한 약주 제조특성	전북대학교	교신 저자	Journal of Agriculture & Life Sciences	-	2015. 12.01	중복사사	비 SCI

제11장 기타사항(정책제안)

코드번호	D-13
------	------

(정책제안)

시설원에 배양액 농경지 재활용 시스템

1. 건의부서

- 농림축산식품부 농촌정책국 원예경영과 조혜윤/박혜민/나재범 044-201-2256/2259

2. 현황 및 문제점

<농가 및 농촌>

○ 우리나라 시설원에 배양액 발생량 및 처리현황

- ▶ 우리나라 시설원에 양액재배 과정에서 발생하는 배양액은 공급량의 30%인 연간 약 3,000,000m³이며 이렇게 버려지는 비료염이 약 7,000톤에 달하고 있음(농촌진흥청, 2013). 배양액 함유 비료자원 손실액만 산술적으로 계산해도 약 100억 수준, 버려지는 용수의 경제적 손실 가치(수돗물 기준) 약 30억, 거기에다가 수처리 비용을 감안하면 최소 200억~300억 이상의 경제적 손실이 발생.
- ▶ 양액재배 배양액으로 인한 토양과 지하수 오염 그리고 용수와 비료자원의 재이용을 위해서는 ‘순환식 양액재배 시스템’을 이용하는 것이 바람직하나(물 30%, 비료 30~50% 절감), 배양액 여과장치, 살균장치, 배양액 회수 및 저장설비 그리고 양분의 농도와 산도 등을 조절하는 보정장치 설치비용이 10a당 2,000만원에 달하는 고가인 점과, 재사용시 수확량 저감, 품질저하 및 병원균 확산으로 인한 경제적 손실 발생에 대한 우려 때문에 범용화되지 못하고 있음.
- ▶ 지금까지 농촌진흥청을 비롯한 농업관련 국가기관에서는 시설원에 배양액의 순환처리에 방점을 두고 연구개발 및 사업을 진행해 왔음. 그럼에도 불구하고 현재 우리나라의 시설원에 배양액 순환식 재배시스템 5% 정도만이 농가 현장에 적용되고 있는 실태. 나머지 95%에 해당하는 시설원에 배양액이 비순환적으로 처리되면서 많은 문제점을 야기하고 있음. 따라서, 시설원에 배양액의 자원순환 목표를 순환식 양액재배로만 국한하지 않고 처리범위를 다각화 할 필요가 있음.

○ 시설원에 배양액 재활용과 관련된 국외 연구현황

- ▶ 독일은 1989년 비순환 양액재배 과정에서 배출된 양액을 줄이기 위해 ‘농업구조각서’(Agricultural Structure Memorandum)를 만들어 시설원에 배양액의 환경 친화적인 처리를 의무화하고 있음.
- ▶ 네덜란드는 1994년 양액재배에서 사용되는 물과 비료의 양을 줄이고 배양액의 재사용을 촉진하기 위해 ‘버려지는 물 처리 규정’(Waste Water Disposal Decree)이라는 법령을 제정하여 운용하고 있음.
- ▶ 시설원예농업이 활발하게 이루어지고 있는 독일과 네덜란드에서는 국가적인 차원에서 100% 순환식 양액재배시스템을 법률적으로 강제하고 있음에도 불구하고, 병원

균 오염, 양액중 식물양분의 불균일, 고가의 살균장치 등 제반 문제 때문에 현재 40~60% 정도 양액 재이용시스템을 이용하고 있음.

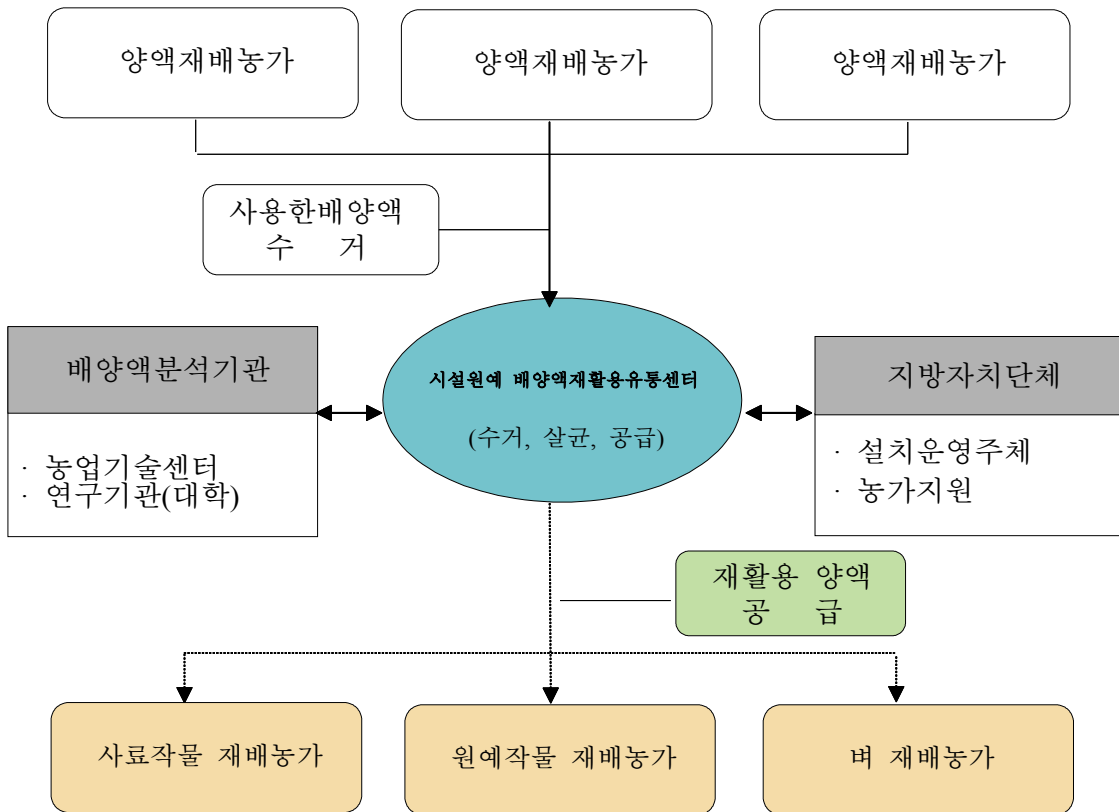
- ▶ 외국에서는 시설원에 배양액을 *Chlorella vulgaris*의 재배지 활용, 유채, 해바라기, 갈대 및 억새와 같은 바이오매스 작물 재배지 활용, 그리고 망고와 메론과 같은 작물 재배지에 활용한 사례가 있음.

<농업제도·정책>

○ “시설원에 배양액의 관리 및 이용에 관한 법률” 제정 필요

3. 정책제안 내용

- ▶ 기존 국외 선행연구결과, 국내 선행연구결과 및 본 연구결과를 종합해 볼 때 시설원에 배양액의 농경지 재활용(과수작물, 사료작물)은 농업환경적으로 문제가 없을 뿐만 아니라 작물 생산량 증대, 버려지는 배양액의 농경지 재활용 효과가 높게 나타났으므로 빠른 시일내에 “시설원에 배양액의 관리 및 이용에 관한 법률” 제정을 통해 시설원에 배양액의 농경지 재처리가 허용되어야 할 것임.
- ▶ 소요예산규모 : 광역(도 단위) 시설원에 배양액 유통자원화센터 설립(20억원/개소, 총 소요예산 약 200억원)



4. 정책제안 반영 기대효과

- ▶ 우리나라 시설원예 배양액 재활용시 비료자원 100억 + 버려지는 용수의 경제적 손실 가치 30억 + 수처리 비용 = 최소 200억-300억/년 이상의 경제적 손실 방지
- ▶ 수출 유망 농산물의 품질향상 및 국제간 농산물 교역문제 해결에 기여
- ▶ 시설원예 배양액 시용에 의한 무기질비료 저감으로 인한 화석연료 및 이산화탄소 저감
- ▶ 농업비점오염원 저감으로 수질개선 효과

5. 제안자

- ▶ 전북대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과 교수 조재영
(063-270-2547, soilcosmos@jbnu.ac.kr)

6. 근거과제(첨단생산기술개발사업 2015-2016년)

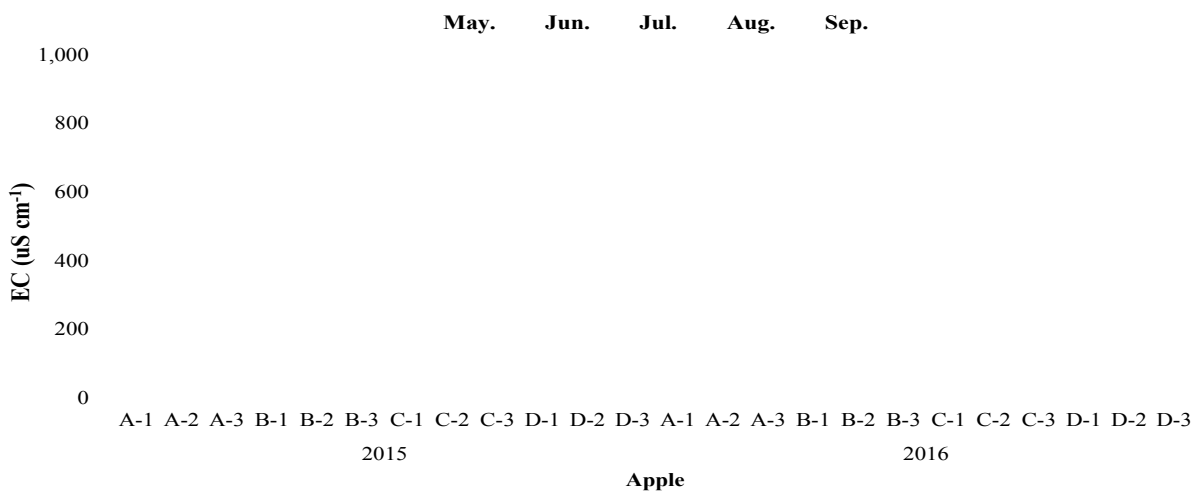
- ▶ 시설원예 배양액의 작물재배 재활용 모델 개발

< 세부연구결과 >

건의제목	시설원에 배양액 농경지 대체처리 확대			
건의부서	○ 농림축산식품부 농촌정책국 원예경영과 조혜윤/박혜민/나재범 044-201-2256/2259			
건의분야	○ 원예산업			
건의내용 요약	기존 국외 선행연구결과, 국내 선행연구결과 및 본 연구결과를 종합해 볼 때 시설원에 배양액의 농경지 재활용(과수작물, 사료작물)은 농업환경적으로 문제가 없을 뿐만 아니라 작물 생산량 증대, 버려지는 배양액의 농경지 재활용 효과가 높게 나타났으므로 빠른 시일내에 “시설원에 배양액의 관리 및 이용에 관한 법률” 제정을 통해 시설원에 배양액의 농경지 재처리가 허용되어야 할 것임.			
주관과제명	시설원에 배양액의 작물재배 재활용 모델 개발 (첨단생산기술개발사업 2015-2016년)			
연구개발자	소속기관	성명	전화번호	E-mail
	전북대학교	조재영	063-270-2547	soilcosmos@jbnu.ac.kr

▶ 시설원에 배양액 처리구와 무처리구 토양 특성 변화 조사(2015-2016년)

- 약용작물(길경/산약)/원예작물(사과)를 대상으로 시설원에 배양액 처리지와 무처리지에서 토양의 물리화학적 특성과 염류집적에 끼치는 영향을 조사한 결과, 시설원에 배양액 처리에 따른 토양특성변화는 나타나지 않았음.



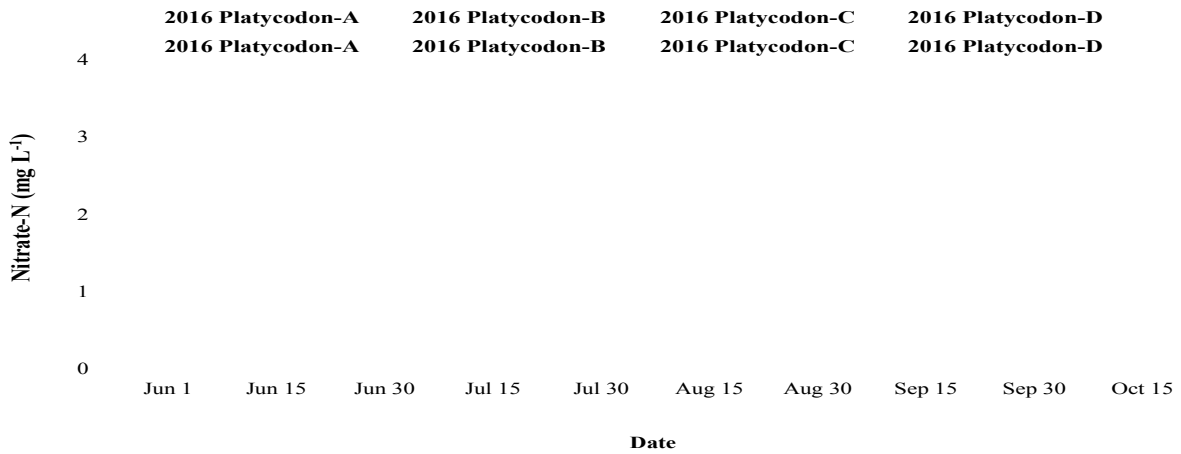
처리구별 토양 EC의 변화(토양깊이 1 : 0-10cm, 2 : 10-20cm, 3 : 20-30cm)

표 1. 시험구 처리내용

처리구	분시비율	비고
A	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	전체 화학비료 처리구
B	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	기비(배양액), 1차+2차 추비(화학비료 처리구)
C	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	전체 배양액 처리구
D	기비(50%)+1차 추비(25%)+2차 추비(25%)	기비(화학비료), 1차+2차 추비(배양액 처리구)

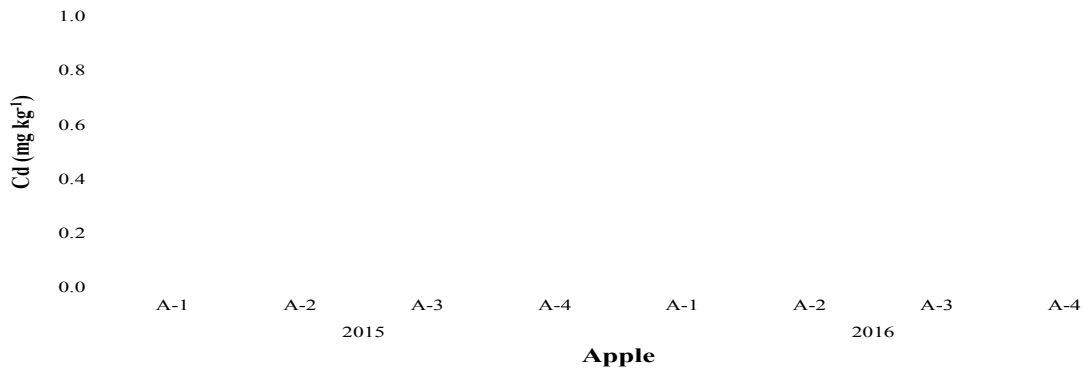
▶ 시설원에 배양액 처리지 지하 침투수 수질 특성 변화 조사(2015-2016)

○ 질산태질소로 인한 지하수 오염 영향 평가 : 시설원에 배양액 처리에 따른 영향 없음



▶ 시설원에 배양액 처리구와 무처리구 작물생육 및 안전성 평가

○ 시설원에 배양액 처리구와 일반 화학비료 처리구간에 작물의 수확량 차이는 나타나지 않았으며, 시설배양액 유래 필수미량원소 및 금속 원소의 흡수이행량은 자연함유량 수준으로 작물의 안전성이 확보되었음.



사과중 중금속 카드뮴 함량

4. 정책제안 기대효과

- ▶ 우리나라 시설원예 배양액 재활용시 비료자원 100억 + 버려지는 용수의 경제적 손실 가치 30억 + 수처리 비용 = 최소 200억-300억/년 이상의 경제적 손실 방지
- ▶ 수출 유망 농산물의 품질향상 및 국제간 농산물 교역문제 해결에 기여
- ▶ 시설원예 배양액 사용에 의한 무기질비료 저감으로 인한 화석연료 및 이산화탄소 저감
- ▶ 농업비점오염원 저감으로 수질개선 효과

5. 적요

- ▶ 기존 국외 선행연구결과, 국내 선행연구결과 및 본 연구결과를 종합해 볼 때 시설원예 배양액의 농경지 재활용(과수작물, 사료작물)은 농업환경적으로 문제가 없을 뿐만 아니라 작물 생산량 증대, 버려지는 배양액의 농경지 재활용 효과가 높게 나타났으므로 빠른 시일내에 “시설원예 배양액의 관리 및 이용에 관한 법률” 제정을 통해 시설원예 배양액의 농경지 재처리가 허용되어야 할 것임.

제12장 참고문헌

코드번호	D-14
<ul style="list-style-type: none"> ○ A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis, 16th, Association of official analytical chemists. ○ Alison WH, Kneebone LR. 1962. Influence of compost pH and casing soil pH on mushroom production. <i>Mushroom Science</i> 5:81-90. ○ Atkinsn FC. 1951. Synthetic compost. MRA formula a commercial production. <i>Mushroom Res. Sta. Rep.</i> 1951:51-54. ○ Block SS, Tsao G, Han, L. 1958. Production of mushroom from sawdust. <i>J. Agric. Food. Chem.</i> 6(12):923-927. ○ Burrows S. 1949. Chemistry department Ann. <i>Reptr. Mush. Res. Sta.</i> 16-39. ○ Cabib E, Roh DH, Schmidt M, Crotti LB and Varma A. 2001. The yeast cell wall and septum as paradigms of cell growth and morphogenesis. <i>J Biol Chem</i> 276:19679-19682. ○ Chang HY, Choi HK. 2004. Development for manufacture of <i>Agaricus bisporus</i> compost by cotton wastes media. <i>Journal of Mushroom Science and Production</i> 2(1):28-32. ○ Chang ST, Miles PG. 1989. Edible Mushrooms and Their Cultivation. CRC press. pp 27-30, pp 189-223. ○ Donk MA. 1971. Progress in the study of classificant of the higher Basidiomycetes. An international Symposium:3-25. ○ Edwards RL. 1949. M.R.A. Report on synthetic compost. <i>MGA Bull.</i> 15:84-88. ○ Gerrits JPG, Bels-Koning HC, Muller FM. 1967. Change in compost constituents during composting, pasteurization and cropping. <i>Mushroom Science</i> 6:225-243. ○ Han HS, Lee KD. 2012. Changes of biological and chemical properties during composting of livestock manure with isolated native microbe. <i>Korean J. Soil Sci. Fert.</i> 45(6):1126-1135. ○ Hayes WA, Randle PE. 1972. Nutritional factors in relation to mushroom production. <i>Mushroom Science.</i> 8:663-674. ○ Heltay I. 1958. Rice straw compost. <i>Mushroom Science.</i> 4:393-399. ○ Kent KT, Kelman A. 1965. Lignin degradation as related to the phenoloxidases of selected wood-decaying Basidiomycetes. <i>Phytopath.</i> 55:739-744. ○ Lambert EB, Ayers TT. 1950. Yield response from supplementing mushroom culture. <i>Mushroom Science.</i> 1:61-62. ○ Lambert EB, Humfeld H. 1939. Mushroom casing soil in relation to yield. <i>USDA Circ.</i> 507:1-11. ○ Matcham SE, Jordan BR, Wood DA. 1985. Method for assessment of fungal growth on solid substrates. p5-19. 	

- Mullerm FM. 1967. Some thoughts about composting. *Mushroom Science*. 6:213-224.
- O'Donoghue DC. 1967. Relationship between some compost factors and their effects on the yield of *Agaricus*. *Mushroom Science*. 6:245-254.
- Rasmussen CR. 1960. Pig manure compost as a culture medium for mushroom growing. *MGA Bull*. 121:12-13.
- Shin GC, Oh BY, Kim DS. 1973. The effects of total nitrogen and residual ammonia content on the yield of cultivated mushroom, *Agaricus bisporus*, *Kor. J. Mycol*. 1(2):1-7.
- Sinden JW, Hauser E. 1950. The short method of composting. *Mushroom Science*. 1:52-59.
- Sivaprakassam K, Kundaswamy TK. 1981. Waste materials for the cultivation of *Pleurotus sajaoor caju*. *The Mushroom J*. 101:178-179.
- Smith JF, Hayes WA. 1972. Use of autoclaved substrates in nutritional investigations on the cultivated mushroom. *Mushroom Science*. 8:355-361.
- Smmits GJ, Kapteyn JC. van den Ende H, Klis FM. 1999. Cell wall dynamics in yeast. *Curr Opin Microbiol* 2:348-352.
- Stamets P. 1993. Growing gourmet and medicinal mushrooms, Ten speed press, pp146-150.
- Sung JM, Moon HW, Park DS. 1999. Growth condition of liquid culture by *Pleurotus ostreatus*. *Kor. J. Mycol*. 27(1):1-9.
- Treschow C. 1944. Nutrition of the cultivated mushroom. *Dansk. Bot. Arkiv*. 11(6): 1-180.
- Van Gemert. 1994. Niet recirculatie met druppelaars zelfde als recirculatie. *Vakblad Bloemisterij* 50: 30-31.
- Wu KW. 1967. Studies on the preparation of synthetic compost for mushroom growing in Taiwan. *Mushroom Science*. 6:303-305.
- Zadrazil F. 1974. The Ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae*, and *Pleurotus eryngii*. *Mush. Sci*. IX(Part I):621-652.
- Zadrazil F. 1975. Influence of CO₂ concentration on the mycelium growth of three *Pleurotus* species. *European J. Appl. Microbiol*. 1:327-335.
- 김창길, “지역단위 자원순환형 농업시스템 구축방향”, 「친환경농업연구」, 제7권 제2호, 2005.
- 김창길, “한반도의 자원순환형 친환경농업 발전 방향과 과제”, 「농촌경제」, 제31권 제1호, 2009.
- 김홍규, 이병주, 김용균, 윤여욱, 양의석, 김홍기. 2010. 밀짚을 이용한 양송이 퇴비제조방법에 관한 연구, *Journal of Mushroom Science and Production* 8(1):33-36.
- 농림부. 1997. 양송이 편람, 한국의 양송이 재배역사.
- 농림수산부. 1984~2006. 특용작물 생산실적, 버섯류 생산 실적.

- 농림축산식품부, “중장기 가축분뇨 자원화 대책”, 2013.
- 농림축산식품부. 2015. 농림통계연보.
- 농업과학기술원. 1968~2002. 농사시험연구보고서, 식용버섯자원개발연구.
- 농업기술실용화재단. 2010. 비료 분석 방법.
- 농촌진흥청. 2006. 가축분뇨 액비시용 매뉴얼.
- 농촌진흥청. 2006. 한국형 순환식 수경재배기술 및 시스템 개발.
- 농촌진흥청. 1970~2001. 농촌진흥시험연구사업연보, 균이편.
- 농촌진흥청. 1989. 표준영농교본-9, 양송이재배.
- 농촌진흥청. 1993. 농촌진흥 30년사(상록사), 버섯편.
- 농촌진흥청. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 농업과학기술원.
- 농촌진흥청. 2000. 토양화학 분석법. 20-70.
- 농촌진흥청. 2003. 농업과학기술 연구조사분석 기준. 52-58.
- 농촌진흥청. 2013. 자원순환형 친환경유기농업 기술 개발.
- 농촌진흥청. 농촌지도사업 활용자료. 1972~2001. 버섯편.
- 류영현, 윤영석, 조우식, 박선도, 최부술, 김종국. 1998. 팽이버섯 재배시 액체종균 사용 효과, 한국균학회지, 26(1):20-24.
- 박용환. 1997. 최신버섯학. 한국버섯원균영농조합. p. 301.
- 박원목, 김동수, 박용환, 광병화. 1971. 복토의 pH 및 칼슘이 양송이의 균사생장 및 수량에 미치는 영향, 한국식물보호학회지 10(1):59-66.
- 시흥시, “자원순환특화단지 조성사업 타당성조사”, 「연구보고서」, 2012.
- 신관철, 김광포, 오병렬, 김동수. 1971. 양송이 퇴비재료 배합에 관한 연구. 농사시험연구보고 14:107-118.
- 신관철, 김광포, 오병렬, 김동수. 1971. 퇴비의 야외퇴적 기간이 양송이 수량 및 퇴비성분 변화에 미치는 영향. 농사 시험연구보고 14:119-126.
- 유영복, 구창덕, 김성환, 서건식, 신현동, 이준우, 이창수, 장현유. 2010. 버섯학. 자연과 사람. p. 131.
- 이경자, 강보구, 이기열, 윤태, 박성규, 이철희. 2007. 충북지역 양액 재배용 지하수 및 폐양액의 화학적 특징. 한국환경농학회지 26: 42-48.
- 이대범, 박종배, 김대환, 김영해, 김용균. 2013. 우분 퇴비를 활용한 양송이 배지 실용화 연구, 농촌진흥청연구보고서.

- 이대진, 김광포, 이병의. 2003. 큰느타리(*Pleurotus eryngii*)의 인공재배에 관한 연구. 한국균학회지 31(3):192-199.
- 이병우, 이명섭, 박기문, 김창한, 안창욱, 최춘언. 1992. 운지버섯 균사체 추출물의 항암효과에 관한 연구. 한국산업미생물학회지 20:311-315.
- 이윤희, 조운정, 김희동. 2002. 느타리버섯 봉지재배시 봉지직경 및 배지량에 따른 생육특성비교, 한국균학회지 30(1):18-22.
- 이지원. 2015. 네덜란드 시설원예산업 동향. 세계농업.
- 이한철. 2014. 순환식 양액재배의 필요성 및 당면과제, 한국시설원예 심포지엄 자료집.
- 장명준, 이윤희, 주영철. 2008. pH지시약을 이용한 느타리버섯 액체종균 오염 간이진단법 개발. 한국균학회지 36(1):9-15.
- 장학길. 1976. 톱밥 培地에 對한 營養添加가 팽이버섯의 生長 및 培地의 化學的 成分 變化에 미치는 影響. 한국균학회지 4(1):31-44.
- 전창성, 장갑열, 정종천, 이찬중, 공원식, 유영복. 2010. 양송이 안정생산을 위한 생산기술 현장 연구, Journal of Mushroom Science and Production, 8(3):122-130.
- 지용근 외. 2006. 농업용수관리 자동화사업에 대한 경제효과 분석 및 발전방안 연구, 한국수자원학회발표 논문.
- 차동렬, 유창현, 김광포. 1989. 최신버섯재배 기술. 농진회. 188-267.
- 차동열 유창현 김광포, 1998. 최신버섯재배기술(상록사), 버섯재배역사 1-9.
- 채영철, 이준화, 이창우, 장영석, 김영동. 2013. 팜박을 이용한 양송이버섯(*Agaricus bisporus*)배지 개발. 농촌진흥청 연구보고서.
- 환경관리공단. 2010. 하수처리수의 공업용수 재이용사업 비용편익 분석기준 연구.
- 환경부. 2013. 가축분뇨 처리시설 종류별 평가를 통한 경제성분석과 설치운영개선방안 등에 관한 연구.
- 환경부. 2013. 수질오염물질의 배출허용기준.
- 환경부. 2011. 제1차 자원순환기본계획.
- 환경부. 2012. 수질오염공정시험법.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.