

발 간 등 록 번 호

11-1543000-000588-01

양액재배용 친환경 유기고형배지 적용을 통한
작물생산 실용화 시스템 개발

Development of Environmental Friendly Hydroponics
System by Applying Novel Organic Solid Medium

동국대학교 산학협력단

농 립 축 산 식 품 부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “양액재배용 친환경 유기고형배지 적용을 통한 작물생산 실용화 시스템 개발에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014 년 10 월 15 일

주관연구기관명 : 동국대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 김 대 영(바이오환경과학과 교수)

세부연구책임자 : 윤 화 영(바이오환경과학과 교수)

성 정 석(생명과학과 교수)

조 준 형(바이오환경과학과 교수)

연 구 원 : 권 구 중

연 구 원 : 김 동 석

연 구 원 : 김 은 지

연 구 원 : 장 현 진

연 구 원 : 김 민

연 구 원 : 변 지 희

연 구 원 : 김 명 수

연 구 원 : 임 종 민

연 구 원 : 박 효 섭

연 구 원 : 김 미 선

연 구 원 : 정 길 화

요 약 문

I. 양액재배용 친환경 유기고형배지 적용을 통한 작물생산 실용화 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 환경친화적이면서 지속가능한 목재자원을 이용하여 기존의 양액재배용 고형배지의 문제점을 극복할 수 있는 친환경적 배지를 개발
- 개발된 고형배지에 적합한 양액재배 시스템 개발
- 국내·외 시장성 조사 및 적용 가능성 조사를 통한 활용방안을 모색함으로써 양액재배 시설자재의 국산화를 통해 비용을 절감시키고, 국내 양액 원예농가의 소득향상을 위한 기틀을 마련

III. 연구개발 내용 및 범위

- 경제성과 환경을 고려한 친환경 목재고형배지 개발
- 목재고형배지의 실용성 및 안정성 평가
- 목재고형배지의 시장성 및 폐기시 처리방안 평가
- LED광을 활용한 목재고형배지 실용화
- 목재고형배지의 유용성 검증
- 친환경 양액재배 시스템 모델 개발

IV. 연구개발결과

- 본 연구 결과 양액재배용으로 사용된 목재 유기고형배지는 양액성분이 존재하고 있지 않고, 원료의 주요 성분만이 존재하는 것으로 나타났으며, X선 회절 실험결과, 양액 주입에 따른 원료의 셀룰로오스의 변화가 거의 없는 것으로 나타나 폐기 후 다른 소재로 이용 또는 퇴비화의 수분조절제, 팽화제와 같은 보조재료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.
- 개발된 목재 유기고형배지에서 장기간 생육된 작물의 향산화능이 기존의 고형배지보다 뛰어남을 확인하였다. 또한 고형배지 일부는 탄저병균인 *C. gloeosporioides*를 포함한 일부 세균 및 진균에 대한 항미생물성을 획득함을 검증하였다. 기존의 고형배지와 개발된 유기 고형배지에서 생육된 작물의 독성 평가를 비교해보았을 때 장기간 생육시 개발 고형배지에서의 작물의 세포 안전성이 기존의 고형배지에 비해 크게 확보되는 것으로 확인되었다.
- 연구결과 목재 유기고형배지가 암면·코코피트배지에 비하여 확연히 드러나는 경제적 우수성은 적지만 코코피트 수요 증가와 더불어 무기질 배지(암면, 펄라이트)를 대체할 수 있는 상품으로서 충분한 가치가 있는 것으로 분석되었다.
- 개발된 목재 유기고형배지의 작물 생장률을 비교하였을 때 대조구였던 암면슬라브와 코코피트슬라브와 동일 또는 비슷하였으며, 작물 생육환경 또한 고르게 진행되었다. 따라서 목재 유기고형배지의 실용화가 가능하다고 판단되며, 작물의 생육정도와 생산성에서 두드러지게 결과를 보였던 부숙수피슬라브와 혼합칩슬라브가 양액재배용 배지로 적합하다고 판단된다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 친환경적인 목재 유기고형배지를 활용한 기존과 차별화된 양액재배시스템의 개발 및 특허출원
- 목재 유기고형배지에 대한 독성평가에 관한 논문을 투고. 이와 관련된 목재 유기고형배지 및 양액재배시스템에 관한 추가논문 투고예정
- 해당 참여기업에 목재 유기고형배지 및 양액재배시스템에 관련된 기술이전 예정

SUMMARY (영문요약문)

I. Development of Eco-Friendly hydroponic system by applying novel organic solid medium

II. Purpose & Necessity of Research and Development

- Development of eco-friendly medium which can overcome the problem of established hydroponic solid medium by using eco-friendly and sustainable wood resource
- Development of hydroponic system available for developed solid medium
- Application research by market test and applicability test for localization by cost down and vitalization of domestic hydroponic farm facility

III. Details & Scope of Research and Development

- Development of eco-friendly wood solid medium considering economic feasibility and environmental element
- Evaluation of practicality and safety of wood solid medium
- Marketability evaluation of wood solid medium and remedy evaluation after it falls into disuses
- Commercialization of wood solid medium using LED light
- Verifying usefulness of wood solid medium
- Development of eco-friendly hydroponic system model

IV. Progress of research and Development

- The result of the research display the medium after use for hydroponic cultivation did not show residue of nutrient solution. Also the X-ray diffraction showed injection of nutrient solution did not make any degeneration of cellulose in raw material, which suggests used wood solid medium can be reused as materials for other purpose or auxiliary materials like bulking agent, moisture controller
- Experiment showed long-term cultivated crops in organic wood solid medium has higher antioxidant capacity than general solid medium. Also antimicrobial capacity to certain germs and fungus including anthracnose germ (*C. gloeosporioides*) was verified in some of the solid medium. Comparing toxicity result of general solid medium with developed organic solid medium, the developed organic solid medium showed higher cell stability than general solid medium
- The result suggests although wood organic solid medium dose not have significant economic benefits than inorganic medium, the wood organic solid medium showed enough commercial value, expected to replace inorganic medium (rock wool, perlite) with increased demand of coco peat medium
- Comparing crop growth rate and cultivation environment, developed wood organic solid medium was same or similar with the control group which is rock wool slab and coco peat slab. Therefore, it is possible to put wood organic solid medium to practical use and also decomposed bark slab and mixed wood chip slab is considered to be appropriate to application for hydroponic medium

V. Research Outcome & Utilization Plan

- Patent application and development of differentiated hydroponic cultivation system using eco-friendly wood organic solid medium
- Expect submitting additional paper about wood organic solid medium and hydroponic cultivation system related to toxic evaluation of the wood organic solid medium which already had been submitted
- Technology transfer about wood organic solid medium and hydroponic cultivation system to participant of project is due

CONTENTS
(영 문 목 차)

Chapter 1. Overview of research and development9

Chapter 2. The current status of national and international research
and development 11

Chapter 3. Contents and results of research and development 12

Chapter 4. Achievement and devotion 125

Chapter 5. Application plans of research results 127

Chapter 6. Foreign information collected 130

Chapter 7. The current status of research installation and equipment 130

Chapter 8. References 131

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	9
제 2 장	국내외 기술개발 현황	11
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	12
제 1 절	양액재배용 목재 유기 고품배지 개발 연구	12
1.	목재 특성에 따른 유기 고품배지 개발	
2.	부숙된 원료를 이용한 목재고형배지 제조 및 퇴비화 가능성 검토	
제 2 절	목재 고품배지를 이용한 친환경 작물생산 시스템 실용화 및 농업현장 적용성	37
1.	유기 고품배지 원재료의 제조조건에 대한 안전성평가	
2.	개발된 유기고형배지에서 생육된 작물에 대한 안전성 평가	
3.	개발된 유기고형배지에서 생육된 작물에 대한 향산화능 평가	
4.	개발된 유기고형배지의 생물학적 유용성 평가	
제 3 절	목재고형배지를 이용한 양액재배시스템의 경제성 및 시장성 분석	50
1.	목재고형배지 및 LED 작물생산시스템의 경제성 분석	
2.	작물생산 실용화 시스템에 대한 전과정평가 및 시장성 분석	

제 4 절 목재고형배지 및 LED를 이용한 친환경양액재배시스템 모델 개발 86

1. 목재고형배지 실용화를 위한 작물생육 반응구명 및 적정 양액조성 개발
2. 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물생장발달 및 품질 특성
3. 목재고형배지 및 LED를 이용한 친환경 작물생산성 연구
4. 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물생장발달 및 품질 특성
5. 목재고형배지 및 LED광원, 광량 이용 시 작물 생육, 수량성, 품질구명
6. 목재 유기고형배지 사용에 의한 고추의 작물생장발달 및 품질 특성

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 125

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획 127

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 130

제 7 장 연구시설·장비 현황 130

제 8 장 참고문헌 131

제 1 장 연구개발과제의 개요

최근, FTA협약 체결과 소비자의 안전농산물 선호 등 농산물 시장여건 변화에 따라 품목별 경쟁력을 높이기 위한 대응기술로 양액재배를 활용한 시설재배가 주목을 받고 있다. 시설원예 재배는 유리온실, 비닐하우스 등과 같이 외부환경과 격리된 공간에서 식물생육에 필요한 환경을 인공적으로 조절하여 작물을 재배 생산하는 방법으로 작물의 생산 및 출하시기를 조절할 수 있고, 고품질 친환경 농산물을 다수확 가능하며, 토양전염성 병충해 문제의 최소화, 노동력을 경감시킬 수 있는 효율적인 시스템이며, 경제성이 매우 높은 장점이 있다.

농업에서 시설원예재배가 차지하는 비중은 1970년대부터 급증하기 시작하여 1980년 25%에서 1990년 28%, 1995년 36%까지 증가하다 IMF이후 안정적으로 증가하여 2006년 31% 수준으로 증가하였다(농림부, 1980·1990·1995·2006 농림통계연보). 또한 재배면적은 1992년이전에는 17.5ha, 1995년에는 106.5ha, 1997년에는 점진적인 면적증가가 이루어졌지만, 2007년 이후 농촌 인구 감소에 따른 악성노동회피, 관리의 간소화 등으로 생육환경 제어, 4계절 연속 재배 가능으로 단위면적당 수확량 향상으로 급격하게 증가하였다(조자용 등, 2000; 농수산식품부, 2000~2010년 고시).

시설원예재배에서 사용되는 양액재배방식은 고행배지경과 비고행배지경을 이용하고 있는데, '92년 이전에는 NFT(박막양액법), DFT(담액양액법) 및 분무양액 등의 비고행배지경이 대부분을 차지하였으나, 점차적으로 가격이 저렴하고, 취급이 용이하며, 작물생육이 우수한 물리·화학적 특성을 가지고 있어 고행배지경을 이용한 재배면적이 확대되고 있다. 고행배지경에는 암면, 펄라이트 등 무기배지와 왕겨, 훈탄, 코코넛 피트 등 유기물로 만들어진 유기배지가 있다.

배지 소재별 이용은 2005년에는 무기고행배지가 86.9%에서 2008년 74.1%로 감소한 반면, 유기고행배지는 증가하는 경향을 보여주었다. 이러한 이유는 무기고행배지는 배양액 오염 및 조성변화에 의한 작물의 피해가 직접적으로 빠르게 나타날 수 있고, 폐기시 심각한 환경오염을 유발시키기 때문인 것으로 알려지고 있다. 이러한 무기고행배지에 나타나는 환경문제로 인해 친환경소재이면서 사용 후 퇴비화로 재활용이 가능한 장점을 가지고 있는 유기물과 혼합 또는 단독으로 사용하는 배지의 이용이 확대되고 있는 것이다. 그러나 유기질 배지에 많이 이용되는 코코피트 배지는 전량 외국에서 수입되고 있어 수입지속가능 여부와 안정적인 가격보장이 문제점으로 대두되고 있다. 이에 국내 자원을 이용하여 안정적인 공급과 가격경쟁력을 갖춘 유기질 배지의 개발 필요성이 제시되고 있다. 이를 위한 해결책으로 숲가꾸기 사업을 통해 발생하는 임산부산물과 폐목재자원을 활용하는 것이다. 목재자원은 다른 유기고행배지의 소재와 마찬가지로 배지의 완충능력과 이화학적 특성이 뛰어나며, 성형이 쉽고 가격이 저렴하며 재배적 측면에서 작물생장발달촉진, 수량 및 품질 증진효과가 있다. 현재 임산부산물은 10%만 활용되고, 나머지는 장기간 방치되고 있는 실정이다. 이렇게 버려지는 폐목재자원의 활용은 자원의 수입 대체와 CO₂저감효과 등 연간 2천억이상의 경제성 효과를 거둘 수 있을 것으로 예상하고 있다.

또한, 시설양액재배와 더불어 고효율 LED 인공조명을 이용한 식물공장이 미래형 농업으로 주목을 받고 있다. LED 광원은 파장의 조절이 쉽고, 수명이 길며, 소비전력, 발열량이 적어 작물에 근접조사가 가능하기 때문에 작물재배를 위한 실용화에 다각적으로 이용되고 있다. 이에 농가소득 증대를 위한 친환경, 고품질, 다수확 작물생산시스템의 실용화를 위해서는 LED 광원의 특정 단색광을 이용한 광원에 따른 작물별 생육반응, 품질변화 등에 관한 연구가 선행되어야

하기 때문에 유기배지의 작물생장에 미치는 영향 및 LED 광원에 따른 작물의 수량성, 품질성에 관한 시스템적 연구수행이 필요하다.

본 연구는 기존의 유기질 고품배지의 문제점을 해결하고자 숲가꾸기 사업을 통해 산림에 대규모로 장기간 방치되고 있는 임산부산물과 용도폐기후 버려지고 있는 폐목재자원에 대한 특성, 작물의 생육특성, 배지의 안전성평가, 작물생산 실용화시스템의 경제성분석, LED 인공광원을 이용한 작물의 특성 등을 검토하여 친환경 유기질 고품배지를 개발하고자 한다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

유기질 배지에 대한 이화학적 해명은 90년대에 많이 진행되었다. Cresswell(1992)은 피트모스류(sedge and sphagnum peat)에 비해서 코코넛 코이어의 우수한 물리적 안정성, 흡·배수성, 양분공급능을 보고하였고, 화학성에서는 다른 유기질 배지에 비해서 염소함량이 높고(Cresswell, 1992; Handreck, 1993), 나트륨은 관수시에 쉽게 제거되는 것을 지적하였다(Handreck, 1993). Meerow(1994)는 사용전에 수세한 것에 의해 염소 및 나트륨함량이 작물에 영향이 없는 것으로 보고하였고, 코이어의 칼륨함량은 채취지에 관계없이 거의 일정하지만, 염소함량은 채취지, 가공방법에 따라 변이가 크다는 것을 보고 하였다(Evans and stamps, 1996; Konduru et al., 1999). 그러나 질소에 관해서는 물리적 흡착 또는 분해시 고정(Handreck, 1993; Meerow, 1994; Arenas et al., 2002)가 보고하였지만, 아직 정확하게 밝혀지지 않았다.

최근, 일본에서는 삼나무수피를 유기질배지로 하여 이용하는 연구가 진행되고 있다. 細川 등(2001)은 유기배지의 물리성, 수분보습성을 해명하여, 암면배지와 비교해서 삼나무수피배지, 코코넛껍질과 수피퇴비의 혼합배지의 실용성을 확인하였고, 植木 등(1999)은 삼나무수피를 배지로 한 딸기 양액재배시스템을 개발하였다. 石原 등(2006)은 배지로 삼나무수피를 이용하여 배양액을 모관현상을 이용해서 공급하는 폐쇄형양액시스템을 개발하여 토마토 외관 성분흡수농도로부터 급액관리법을 밝혔다. 糠谷(2001)은 배지소재에 따른 양수분관리의 검토와 물리적인 관점에서 배지 특성을 해명할 필요성을 서술하였고, 細川, 池田 등(2001)은 삼나무수피배지로 가지를 2작 운영해서도 수량은 변하지 않는다고 발표했다.

프랑스에서는 1991년부터 목재자원을 이용한 유지배지경으로 “Hortifibre” 등의 상품이 시판되고 있다. 그러나 목재자원을 이용한 배지는 재배도중 토양염류의 주원인이 되는 질소의 고정이 높아져 pH가 상승되는 경향이 크다는 문제점을 갖고 있어서 이를 개선하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내에서는 1990년초부터 폐암면의 환경문제와 원료 수입에 따른 생산비 증가로 인해 농업경영비 증가로 인한 어려움을 해결하고자 농가에서 손쉽게 구할 수 있고, 값이 싼 부존자원의 활용과 유·무기질을 혼용한 배지의 연구가 활발히 이루어지기 시작되었다. 임재하 등(1995)은 암면대체 저단가 배지 개발의 필요성을 인식하고 왕겨를 고품배지로 개발하고자 왕겨배지량이 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향을 검토하였고, 이용호 등(1996)은 피트모스, 톱밥, 훈탄, 왕겨와 무기질을 혼용하여 제조한 배지 자루재배로 이용하여 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향을 검토하였다.

김경제 등(1997)은 단고추 자루식 장기 양액배지에 있어서 암면 대체 배지를 개발하고자 훈탄, 펄라이트, 출탄을 혼용한 배지를 이용하여 단고추의 생육 및 수량에 미치는 영향을 확인했다. 황인택 등(2003)등은 고품배지경으로 많이 이용되고 있는 펄라이트, 코이어 및 피트모스의 단용 및 왕겨와의 혼용배지가 국화의 생장과 발육에 미치는 영향을 검토하였다. 전하준 등(2011)은 순환식 딸기 수경재배에서 펄라이트배지, 암면배지, 버섯재배 후 폐기한 톱밥배지, 코코피트배지를 이용하여 배지 종류별 무기이온 흡수 특성을 검토하였다.

이렇듯 국내·외 연구자들은 고품배지의 환경적·경제적 문제를 해결하기 위해 친환경적 양액재배용 배지를 개발하기 위한 연구가 지속적으로 되고 있지만, 목재를 이용한 경우는 미비한 실정이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 양액재배용 목재 유기 고형배지 개발 연구

1. 목재의 특성에 따른 유기 고형배지 개발

가. 연구목적

폐목재자원은 유효수분함량이 높고, 수분보수력과 높은 공극률에 의한 통기성이 좋은 천연유기물로 성형이 쉽고 가격이 저렴하다. 이것을 국내 일반농가에 보급되어 있는 기존 양액재배 환경에 적용할 경우 친환경 양액배지 대체효과가 있어 배지교체비용을 절감할 수 있고, 경제적 측면과 환경적 측면에서 매우 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 현재까지 폐목재자원이 양액재배를 위한 고형배지로 활용된 예가 없어, 경제적 측면, 농업적 측면, 환경적 측면을 모두 고려한 친환경 유기고형배지개발이 시급한 실정이다. 따라서 국내에서 버려지는 폐목재자원을 유기물 유래의 고형배지를 제조하여 이화학적 연구뿐만 아니라 목재고형배지가 작물생장발달에 미치는 영향, 목재고형배지 실용화를 위한 양액조성 최적화에 대한 연구를 수행하여 기존의 양액재배용 배지를 대체 할 수 있는 친환경 고형배지로 개발하고자 하며, 또한 목재고형배지에 적합한 양액재배시스템 모델을 제시하고자 한다.

나. 실험재료

(1) 공시시료

일반적으로 숲가꾸기 사업으로 간벌되는 수종은 지역에 따라 차이는 있지만, 낙엽송, 잣나무, 소경 활엽수를 간벌하는 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는 경기도 가평군 산림조합에서 제공한 자료를 바탕으로 간벌 후 3년, 5년 방치된 잣나무(*pinus koraiensis*, 그림 1A)와 화천군 사내면 광덕리에서 간벌 후 5년간 방치된 신갈나무(*Quercus mongolica*, 그림 1B)를 채취하였다.



(A) 간벌 후 5년간 방치된 잣나무 (B) 간벌 후 5년간 방치된 신갈나무



(C) 5년간 방치한 잣나무단면 (D) 부후부분 제외한 잣나무단면 (E) 5년 방치한 신갈나무 단면
그림 1. 간벌 후 방치된 시료 채취

분석을 위해 잣나무는 부후된 부분과 부후되지 않은 심재부(그림 1D)로 구분하여 실시하였으며, 신갈나무(그림 1E)는 부후정도가 심하지 않아 구분하지 않고 실시하였다. 폐목재칩은 제재부산물로서 잡목들과 수피가 20%정도 혼합된 폐목재칩(그림 2A)과 파렛트로 이용된 후 버려지는 라디에타파인으로 제조된 폐목재칩(그림 2B)을 구분하여 특성을 평가하였다.



(A) 혼합 목재칩

(B) 단일 목재칩

그림 2. 사용된 폐목재칩

(2) 식생매트 제조

또한 본 연구실에 보유하고 있는 특허기술을 바탕으로 시중에서 쉽게 구할 수 있는 폐목재칩을 이용하여 펄프슬러지와 혼합비율을 달리하여 식생매트(그림 3)를 제조하여 물리·화학적 특성을 분석하였다.



그림 3. 제조된 식생매트

다. 실험방법

원료에 대한 물리적 특성으로 가비중을 분석하였고, 화학적 특성은 농촌진흥청 퇴비분석법에 의해, pH, 전기전도도, 유기물함량, 총질소함량, K₂O, CaO, MgO 등의 성분 분석을 통해 비교하였다. 제조된 식생매트는 pH, 수분증발량, 박리강도, 함수율을 측정하였다.

(1) 가비중

가비중은 자연상태의 토양을 파괴하지 않고 시료를 채취하여 토양의 건조중량을 측정하여 그 중량을 토양전체 용적으로 나눈 것이다. 삼상은 토양의 건조중량을 진밀도로 나누어 고체상태의 부피로 계산하고 그 토양의 수분을 정량하여 물의 밀도로 나눈 값을 액상의 부피로, 전체 부피에서 액상과 고상의 부피를 빼준 값을 기상의 부피로 하여 백분율로 산출하였다.

$$Wc(\%) = ((St-Sd)/St), \quad dP = (St/V) \times (Sd/Sw)$$

Wc : 토양수분함량(%), dP : 가비중, St : 시료 전중량, Sd: 건조토양의 중량,
Sw : 건조토양 + 수분중량, V : Core 용적

(2) pH측정

pH는 시료 10g을 100ml 비이커에 취하여 증류수 50ml를 가하고 때때로 유리봉으로 저어 주면서 1시간 방치후 pH완충용액으로 보정한 pH미터와 전극을 사용하여 pH를 측정하여 그 값을 이용하여 분석하였다.

(3) 전기전도도 측정

전기전도도(EC)는 시료 10g을 100~200ml 삼각플라스크에 취하여 증류수 50ml를 가하고 진탕기에서 30분간 진탕하였다. 여과 후 EC meter로 측정하였다.

(4) 유기물 함량분석

유기물 함량분석은 550°C의 전기로에서 시료를 완전히 회화시켜 원료시료무게에 대한 건조시료무게에서 회분의 무게를 뺀 값의 백분율로 계산하였다.

$$\text{유기물 함량}(\%) = (1 - (\text{회화시료무게} / \text{건조시료무게})) \times 100$$

$$\text{전탄소 함량}(\%) = \text{유기물 함량} \div 1.724$$

(5) 총질소분석

총질소는 단백질 자동분석기를 이용한 Kjeldal법으로 분석하였다. 시료1~2g을 킬달플라스크에 평량하고 황산염혼합분말 1~5g과 진한 황산 15ml를 넣은 다음 혼합하였다. 킬달플라스크를 분해용 전기로에서 처음에는 낮은 온도로 10~30분 가열하고 탄화가 완료된 후 고온으로 가열하였다. Blank 3~5개도 황산염혼합분말 1~5g과 H₂SO₄ 15ml를 킬달플라스크에 넣고 동일하게 분해, 증류, 적정하였다. 킬달증류장치에 있는 냉각관에 수돗물을 틀어 흐르게 하고 2% 붕산용액 20ml~30ml를 100ml~200ml 삼각플라스크에 담아 킬달증류장치 수기관 호스에 2% 붕산용액이 잠기도록 놓았다. 분해한 킬달분해관을 킬달장치에 고정시키고 증류수 50ml~

60ml를 킬달분해관에 넣어 강산을 희석시킨 후 40%~45% NaOH 용액 60ml를 가하여 산성을 alkali화 하였다. 2% 붕산용액 수기가 삼각플라스크에 약 75ml~100ml쯤 증류되면 적정하였다. 분해한 시료에 따라 2% 붕산용액, 증류수, 40%~45% NaOH 시약을 각각 다르게 킬달증류장치에 입력 혹은 수동으로 작동을 해서 주입하였다. 수기의 내용물을 질소 적정용액 0.5N H₂SO₄ 혹은 0.1N H₂SO₄용액을 디지털 뷰렛으로 적정하여 청색으로부터 Pink색이 나타나는 점을 종말점으로 하였다. Blank 3~5개도 동일하게 분해, 증류, 적정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$\text{총질소함량(\%)} = (T-B) \times N \times f \times 14 \times 1/1000(\text{ml}) \times 1/W \times 100$$

T : 황산표준용액 적정에 소요된 ml수, B : Blank 의 황산표준용액 적정에 소요된ml수

f : 황산표준용액의 보정치(factor), 14 : N (질소분자), N : 황산표준용액의 Normality

W : 토양시료의 무게(g)

(6) K, Ca, Mg, Na 분석

시료 0.5~2g을 100~200ml 삼각플라스크에 넣어 평량하였다. 분해액 10ml~20ml를 넣고 하루 저녁 방치 후 전열판에 올려놓고, 낮은 온도로 가열한 후 온도를 단계적으로 높였다. 분해 과정에서 시료가 검고 혼탁하면 살며시 흔들어서 주었다. 냉각 후 분해된 시료를 100~200ml 메스플라스크에 pp여두를 덮고 여과지로 여과하였다. 증류수로 여과지를 충분히 적신 후 여과하였다. 이때 증류수는 60℃정도 데워서 사용하였다. 메스플라스크 안의 여과된 여액이 완전 냉각되면 정확히 100~200ml 메스플라스크에 취하였다. Perchloric acid + Sulfuric acid로 분해한 방법에 따라 이 용액으로 K, Ca, Mg, Na, P 등의 정량분석에 사용하였다. 분해 여과된 시료액을 ICP분석장치를 이용하여 측정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$\text{K}_2\text{O}(\%) = 100 \times 1.205 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$\text{CaO}(\%) = 100 \times 1.40 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$\text{MgO}(\%) = 100 \times 1.66 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$\text{Na}_2\text{O}(\%) = 100 \times 1.35 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

(7) 식생매트의 습윤시 두께팽창과 중량변화 측정

습윤지력증강제 처리비율을 달리하여 각 조건 당 5개씩 식생기반재를 제작하여, 각 식생기반재로부터 시편을 3개씩 제작하였다. 시편의 크기는 50 mm (W) × 50 mm (L) × 30 mm (H)로 하였다. 제작된 시편을 물에 완전히 침수시켜 항온상습실에서 24시간이 지난 후에 다시 무게와 두께를 측정하여 평균을 구하였다

(8) 식생매트의 성장특성 분석

혼합비율별로 제작된 식생기반재에 보리와 잔디를 과중하여 항온항습기내에서 28℃, 60%의 습도에 맞추어 명조건으로 배양하여 일별성장상태를 관찰하여 전체적인 줄기성장률로 성장특성을 분석하였다.

(9) 양액재배용 배지의 수분변화율

양액재배에 사용 후 배지에 대한 수분 보유량을 검토하기 위해 점적공급을 중단한 후 5일간 각 배지에 대한 수분변화율을 분석하였다.

라. 결과 및 고찰

(1) 원료의 가비중

표 1은 각 시료에 대한 가비중을 나타낸 것이다. 가비중은 배지용 원료에 대한 흡수성, 보수성, 통기성, 투수성을 판단할 수 있는 기준이 된다. 본 연구에서 사용된 시료들의 가비중은 0.12~0.24g/cm²의 범위였으며 신갈나무를 5년간 방치한 것이 가장 높게 나타났다. 폐목재칩은 가비중이 0.20g/cm²로 다소 높게 나타났다. 이것은 폐목재칩에는 목재이외 무기물 함량이 높은 수피가 20%정도 함유되어 있어 높게 나타난 것으로 생각된다. 또한 Abad 등(2005)이 조사한 나라별 코코피트의 가비중에 비해 다소 높은 결과 값을 보여주었다.

표 1. 원료들에 대한 가비중

	잣나무 5년부후	잣나무 5년심재	잣나무 3년부후	잣나무 3년심재	신갈나무 5년부후	폐목재 칩	라디에타 파인칩	코코피트 ^{a)}
가비중 (g/cm ²)	0.12	0.15	0.11	0.14	0.24	0.20	0.16	0.03~0.09

a) Abad et al. 2005

(2) 원료의 화학적 특성

양액재배용 고품배지의 대체 재료로 이용하기 위해서 원료에 대한 화학적 특성을 표 2에 나타냈다. 일반적으로 pH에 따라 토양의 특성 및 여러 변화 과정이 각각 다르게 영향을 받는데, 작물의 생육에 적합한 양액의 pH는 5.5~6.5정도로 알려지고 있다. pH는 간벌방치목의 수종에 관계없이 4.06~4.64의 범위로 산성으로 나타났지만, 두 종류의 폐목재칩은 5.29~6.59로 약산성과 중성으로 작물이 잘 생육할 수 있는 조건으로 판단된다.

전기전도도(EC, Electric conductivity)는 토양용액의 염류농도를 알 수 있는 것으로 원료들에 대한 전기전도도는 1.49~ 6.76 dS/m의 범위로 코코피트보다 높은 값을 보여주었다.

질소(N)는 가장 중요한 유기성분으로 식물의 아미노산, 단백질, 핵산, 효소 등과 종자의 중요한 구성 요소이다. 질소시비량의 다소에 따라 작물은 형태적, 생리적으로 달라진다. 즉 질소질비료의 사용이 증가하면 지상부의 발달은 증가하지만, 뿌리의 발달은 불량해진다. 따라서 식물조직이 연해지고 병해충에 대한 저항성이 약해지며, 다즙성이 된다. 그러므로 엽채류에서는 크고 연한 양질의 생산품이 될 수 있지만, 한도를 넘으면 저장과 운반이 어렵게 된다. 따라서 질소성분의 생리적 특성을 이해하고 효과적인 시비를 해 주어야 한다. 원료들에 대한 총질소 함량을 보면 0.39~0.79% 였고, 잣나무 3년부후된 시료가 가장 높게 나타났다.

유기물 함량은 모든 원료가 비슷한 경향을 나타냈다. 유기물중의 탄소와 질소의 함량비를 나타내는 탄질율은 72~192%의 범위였다.

표 2. 원료의 화학적 특성

	pH	EC	Organic content (T-C)	Total nitrogen (T-N)	C/N ratio	P	K	Ca	Mg	Na
		dS/m	%			ppm				
잣나무 5년부후	4.10	5.16	57.7	0.51	113.16	9.6	111	159	22	31
잣나무 5년심재	4.06	3.82	57.8	0.42	137.62	3.5	49	139	21	60
잣나무 3년부후	4.63	2.12	57.8	0.79	72.12	5.7	86	137	16	42
잣나무 3년심재	4.64	1.49	57.8	0.35	165.13	1.1	330	77	14	40
참나무류 5년부후	4.38	2.75	57.7	0.30	192.35	4.7	112	87	13	35
폐목재칩	6.59	6.76	56.6	0.50	113.22	10.1	77	531	49	96
라디에타 파인칩	5.29	4.49	57.7	0.32	180.43	6.4	83	97	29	59
코코피트 ^{a)}	5.31	0.77	75.5	-	-	2.2	481	4.4	4	256

a) 김양희, 유병일, 2010.

인산(P)은 식물의 생리상 중요한 요소의 구성요소로 세포분열 촉진, 뿌리의 초기생장, 분화촉진, 화아분화 등에 관여하여 종자와 열매의 수량과도 관계가 있다. 이것이 부족하면 잎은 암녹색으로 변하고, 잎의 주변에 흑색의 오점이 생기며, 심하면 황색으로 변한다. 또한 성숙이 지연되고 뿌리 발육이 나빠지며, 개화성숙이 지연되고 단백질합성이 저하된다. 과다현상은 잘 나타나지 않으나 심하면 길항작용으로 요소의 결핍이 생길 수 있다. 본 연구에 사용된 원료들의 인산 함량은 1.1~10.1의 범위였으며, 잣나무 5년 방치 부후재와 폐목재칩이 높게 나타났다.

칼륨(K)은 식물의 성장점, 형성, 결뿌리발생조직과 생식기관이 형성되는 곳에 많이 들어 있으며, 식물체 내에서는 이온상태로 존재한다. 이것은 식물체 내 탄수화물의 이동을 돕고 동화작용을 왕성하게 하며 기공개폐, 삼투압조절, 각종 효소의 작용에 관여하여 식물조직의 동결과 건조에 대한 저항성을 높이는 역할을 한다. 칼륨이 부족하면 생장이 나빠지고 오래된 잎의 선단이 황화한다. 과다하면 질소, 칼슘, 마그네슘의 흡수를 저해하여 결핍을 초래한다. 본 연구에 사용된 원료들의 칼륨성분은 49~330ppm 범위였고, 잣나무 3년 심재가 가장 높게 나타났다.

칼슘(Ca)은 세포벽, 세포막 및 액포에 많이 존재하며 원형질막의 구조나 투과성의 유지, 세포액 내의 유기산의 중화 등에 중요한 역할을 하며, 식물체 내의 이온전류와 생리작용에 보조적

인 역할을 한다. 칼슘 부족 시, 지상부 및 뿌리의 생육이 나빠지고 잎의 선단부가 황색으로 변하여 고사한다. 과잉증상은 일어나지 않는다. 본 연구에 사용된 원료들의 칼슘성분은 49~330ppm범위였고, 잣나무 3년 심재가 가장 높게 나타났다.

마그네슘(Mg)은 엽록소의 구성성분으로 탄소동화작용에 없어서는 안될 필수원소이며, 세포의 각종 효소에 대해 활성제의 역할을 한다. 마그네슘은 어린 세포나 대사가 왕성한 조직에 많이 함유되어 있으며 식물체 내에서 이동이 쉬워, 부족하면 오래된 잎에서 새로운 잎으로 옮겨가므로 결핍증상은 아래쪽의 오래된 잎에서부터 먼저 일어난다. 증상은 엽맥간에 황화가 일어나고 심하면 백화하여 고사한다. 과잉되면 엽맥간에 황화가 일어나다가 심해지면 갈색반점이 생긴다. 본 연구에서 이용된 원료들의 마그네슘성분은 13~49ppm 범위였으며, 폐목재칩이 가장 높게 나타났다.

(3) 식생매트에 대한 특성분석

양액재배용 유기 고형배지는 파티클보드 제조용 폐목재칩(길이0.3~0.5cm, 폭 2~3cm, 두께 0.2cm 이하)과 동국대학교 해화관 내에서 수집한 백상지를 혼합하여 제작하였다. 배지의 배합 비율은 폐목재칩 : 펄프슬러리를 5:5, 6:4, 7:3, 8:2의 비율로 제조하였다. 이 때 펄프의 섬유와 섬유, 섬유와 목재칩 사이의 결합력 증진을 위해 w사의 점도 64.0cps, pH 3.53의 다황색 투명액으로 고형분 함량 12.5%의 습윤지력증강제를 사용하여 건조 시 강도를 향상시켰다. 혼합 비율에 따른 식생매트의 종류는 다음과 같다 (표 3).

제조된 식생기반재의 pH를 측정된 결과를 표 3에 나타냈다. 폐목재칩과 폐지슬러리의 비율에 따른 pH의 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 가장 낮은 값은 B타입으로 목재와 폐지슬러리를 6:4의 조건이었다.

표 3. 식생매트의 혼합비율과 pH

Type	compound rate (%)		pH
	waste wood	waste paper slurry	
A	50 (175g)	50 (175g)	7.9
B	60 (210g)	40 (140g)	7.8
C	70 (245g)	30 (105g)	7.8
D	80 (280g)	20 (70g)	8.0

양액재배용 배지는 작물생장에 필요한 일정량의 수분을 함유할 수 있는 능력이 필요하다. 그림 4는 양액재배용으로 제조된 식생매트의 중량변화량을 나타낸 것이다. 건조된 상태의 식생매트는 수분을 흡수하게 되면서 그 무게가 4배정도 증가하여 높은 수분보유능력을 보여주었다. 또한 그림 5에 나타난 것처럼 수분흡수에 따른 식생매트의 두께변화는 1mm이하로 낮아 수분변화에 따른 두께변화율은 적어 매트형상의 변형은 낮은 것을 생각한다.

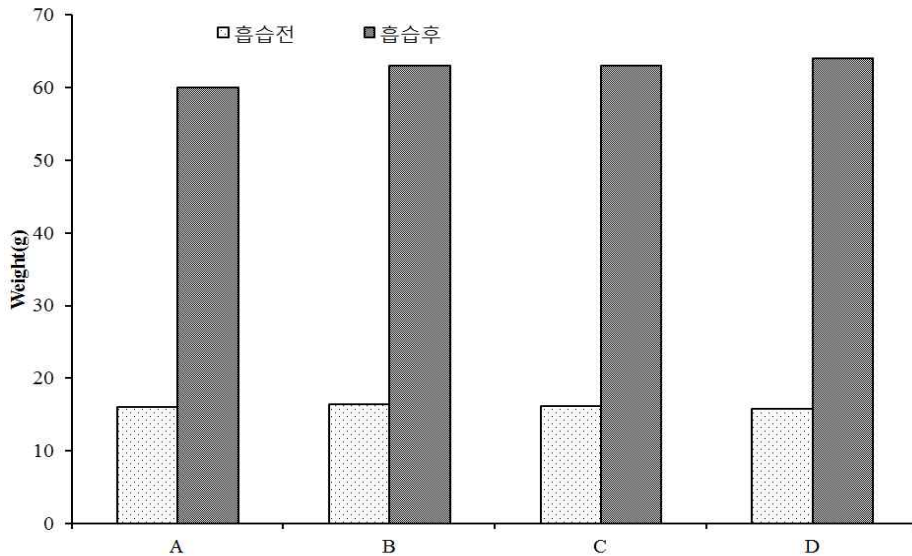


그림 4. 폐목재칩과 펄프슬러리의 혼합비율을 달리하여 제조된 식생매트의 수분흡수에 따른 중량변화

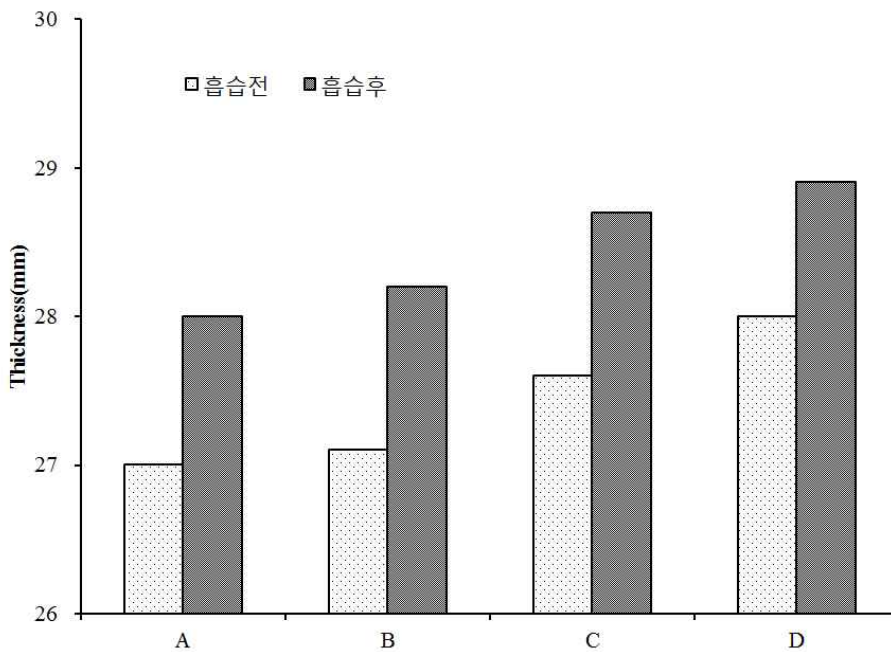


그림 5. 폐목재칩과 펄프슬러리의 혼합비율을 달리하여 제조된 식생매트의 수분흡수에 따른 두께치수변화

그림 6과 7은 폐목재칩과 펄프슬러리의 혼합비율을 달리하여 제조한 식생매트의 15일에서 20일간 수분흡수에 따른 잔디와 보리의 성장 길이 변화를 나타낸 것이다. 잔디는 폐목재칩과 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 B타입과 7:3의 비율로 제조한 C타입의 식생매트가 가장 좋은 성장을 보여주었다. 이것은 펄프슬러리의 증가로 인한 식생매트에 혼합된 섬유간의 조밀성, 폐목재칩의 증가로 인해 섬유간의 느슨함이 잔디의 성장을 저해하는 것으로 생각된다.

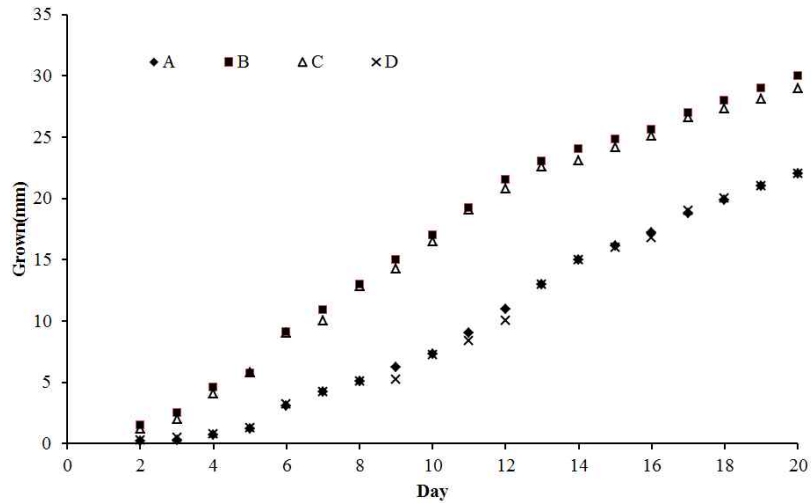


그림 6. 혼합비율을 달리하여 제조한 식생매트에 대한 잔디의 길이성장 변화

보리는 폐목재칩과 펄프슬러리의 비율을 8:2의 비율로 제조한 D 타입이 가장 낮은 성장율을 보여주었고, 다른 조건의 식생매트는 비슷한 성장율을 보여주었다. 이것은 식생매트제조에 폐목재칩의 첨가량 증가로 섬유와 섬유간에 느슨한 공간이 많이 생겨 보리의 성장을 저해하는 것으로 생각된다. 가장 좋은 성장특성을 보여준 식생매트는 폐목재칩과 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 B 타입이었다.

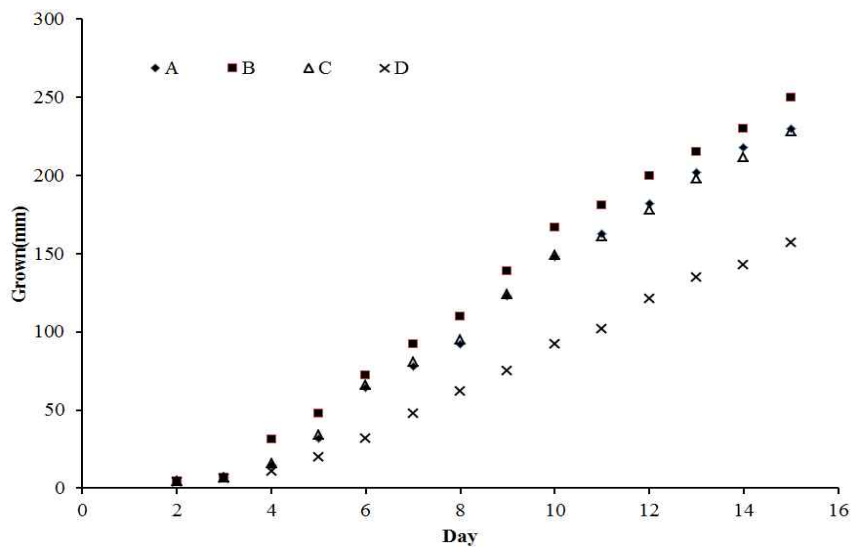


그림 7. 혼합비율을 달리하여 제조한 식생매트에 대한 보리의 성장길이 변화

(4) 양액재배용 배지의 수분보유율 변화

표 4는 양액재배가 끝난 후 양액 공급 종료에 따른 각 배지에 대한 5일간 수분보유율을 나타낸 것이다. 무기배지인 암면배지는 양액공급을 중단해도 수분보유량의 변화가 가장 적으므로 나타나 보수성이 우수한 것으로 나타났다. 유기배지인 코코피트도 수분변화량이 2%정도로 나타나 높은 수분함유능력을 보여주었다. 목재고형배지 중에서는 라디에타과인칩이 높은 수분함유능력을 보여주었고, 식생매트가 가장 낮은 수분보유능력을 보여주었다. 이러한 이유

는 식생매트 제조에 사용된 목재칩의 크기가 길이0.3~0.5cm, 폭 2~3cm로 다른 원료에 비해 입자가 크기 때문에 수분 보유 능력이 낮은 것으로 생각된다.

표 4. 각 배지의 수분보유율 변화

(단위 : %)

	양액재배 종료직 후	양액공급 종료 3일 후	양액공급 종료 5일 후
암면	83.4 ± 3.0	83.4 ± 2.2	83.3 ± 1.8
코코피트	83.6 ± 0.4	82.3 ± 0.3	81.0 ± 0.2
폐목재칩	77.4 ± 0.9	70.3 ± 0.7	67.7 ± 0.8
라디에타파인칩	75.6 ± 0.8	72.3 ± 0.4	71.2 ± 0.1
식생매트	75.9 ± 2.5	60.3 ± 1.4	55.4 ± 0.3

마. 결론

유기물 함량은 모든 재료에서 56.6~57.8로 비슷한 경향을 나타냈으며, 유기물의 탄소와 질소의 함량비를 나타내는 C/N율은 72~192% 범위였다. pH는 나무가 4.06~4.64로 산성을 나타냈다. 전체적으로는 수중, 간벌 후 방치정도, 열화정도에 따른 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 폐목재칩 및 라디에타파인칩은 pH가 5.29~6.59로 약산성 및 중성을 나타냈으며, 특히 폐목재칩의 경우 식물의 필수원소 중 Ca와 Mg이 대조군인 코코피트에 비해 높게 나타났다.

본 실험의 결과, 수중에 관계없이 장기간 방치된 목재들은 양액용 배지로서 적합하지 않는 것으로 판단되며, 또한 이용적 측면에서도 여러 지역에 분포되어 있어 수집 및 운송에 많은 문제가 있는 것으로 나타나, 시중에서 쉽게 구할 수 있는 폐목재칩을 이용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

식생매트는 각각 다른 비율로 제조하여 pH 및 잔디와 보리의 생육특성을 비교한 결과, 6:4의 비율로 제조하는 것이 가장 좋은 결과를 얻었다.

2. 부숙된 원료를 이용한 목재고형배지 제조 및 퇴비화 가능성 검토

가. 연구목적

목재자원은 유효수분함량, 수분보수력, 공극률, 통기성이 좋고, 지구상에 많이 존재하고 있는 천연유기물로서 성형이 쉽고 가격이 저렴한 환경친화적인 소재이다. 이러한 자원을 양액재배용 배지에 활용하였을 경우 기존 수입하고 있는 유기배지의 대체효과가 있기 때문에 경제적, 환경적 측면에서 매우 큰 장점을 지니고 있다.

본 연구는 목질계 자원을 활용하여 수분보유력을 향상시킬 수 있는 매트형태의 유기 배지를 제조하기 위해 이용된 원료에 대한 화학적 특성과 매트형태로 제조하여 특성을 검토하였다. 또한, SEM/EDS(Energy Dispersive X-ray spectrometer)와 X선회절 분석을 통해 폐기후 퇴비화의 가능성을 검토하였다.

나. 실험재료

(1) 공시시료

본 연구에서는 제재부산물로서 잡목들과 수피가 20% 정도로 혼합된 폐목재칩(혼합칩, Mixed chip)과 파렛트로 사용후 폐기된 북양재 소나무류(단일목재칩, Single wood chip)를 원료로서 이용하였다. 또한 부숙된 원료로서는 목질계자원은 부숙을 시키기 위해서는 많은 시간이 걸리기 때문에, 시중에 판매되고 있는 부숙된 수피(부숙수피, Decayed bark), 톱밥, 왕겨 등을 부숙시킨 혼합물(부숙혼합물, Decayed mixture)을 이용하였다.

(2) 양액재배용 매트형태의 목재고형매트배지 제조

각 원료들은 양액재배용 매트형태로 제조하기 전에 오염물 제거를 위해 세척을 한 후 100℃에서 4시간동안 멸균처리를 실시하였다. 양액재배용 매트형 배지는 1차년도 연구 결과를 바탕으로 제조하였다. 매트 제조에 사용되는 펄프슬러리는 동국대학교 해화관 내에서 버려지는 폐백상지를 파쇄기로 파쇄한 후, 해리기를 이용하여 제조하였다. 매트는 원료(단일혼합칩, 혼합칩, 부숙수피)와 폐지슬러리의 비율을 6:4, 7:3, 8:2의 비율로 하여 제조하였다. 여러 비율로 잘 혼합한 후 성형틀에 부은 후, 압착을 가하였다. 그 후 상온에서 2일간 건조시키고, 105℃의 건조기에서 1일간 건조시켜 제조하여 물리·화학적 특성을 분석하였다. 양액재배용 매트의 크기는 37(가로)cm × 20(세로)cm × 17(높이)cm로 하였다. 본 실험에서는 부숙혼합물을 이용한 매트형태의 배지 분석은 작물의 생육특성평가에서 문제(부서짐, 균 발생 등)가 있어 매트형태에 대한 특성평가는 실시하지 않았다.

다. 실험방법

각 원료에 대한 화학적 특성은 농촌진흥청 퇴비분석법에 의해 pH, 전기전도도, 유기물함량, 총질소함량, K₂O, CaO, MgO 등의 성분 분석을 통해 비교하였다. 각 원료들을 이용하여 제조된 식생매트의 특성은 pH, 수분증발량, 박리강도, 함수율을 측정하였다.

(1) 원료에 대한 화학적 특성분석

(가) pH측정

pH는 시료 10g을 100ml 비이커에 취하여 증류수 50ml를 가하고 때때로 유리봉으로 저어 주면서 1시간 방치후 pH완충용액으로 보정한 pH미터와 전극을 사용하여 pH를 측정하여 그 값을 이용하여 분석하였다.

(나) 전기전도도 측정

전기전도도(EC)는 시료 10g을 100~200ml 삼각플라스크에 취하여 증류수 50ml를 가하고 진탕기에서 30분간 진탕하였다. 여과 후 EC meter로 측정하였다.

(다) 유기물 함량분석

유기물 함량분석(Organic Matter, OM) 은 550℃의 전기로에서 시료를 완전히 회화시켜 원료 시료무게에 대한 건조시료무게에서 회분의 무게를 뺀 값의 백분율로 계산하였다.

$$\text{유기물 함량(\%)} = (1 - (\text{회화시료무게} / \text{건조시료무게})) \times 100$$

$$\text{전탄소 함량(\%)} = \text{유기물 함량} \div 1.724$$

(라) 전질소분석

전질소는 단백질 자동분석기를 이용한 Kjeldal법으로 분석하였다. 시료1~2g을 킬달플라스크에 평량하고 황산염혼합분말 1~5g과 진한 황산 15ml를 넣은 다음 혼합하였다. 킬달플라스크를 분해용 전기로에서 처음에는 낮은 온도로 10~30분 가열하고 탄화가 완료된 후 고온으로 가열하였다. Blank 3~5개도 황산염혼합분말 1~5g과 H₂SO₄ 15ml를 킬달플라스크에 넣고 동일하게 분해, 증류, 적정하였다. 킬달증류장치에 있는 냉각관에 수돗물을 틀어 흐르게 하고 2% 붕산용액 20ml~30ml를 100ml~200ml 삼각플라스크에 담아 킬달증류장치 수기관 호스에 2% 붕산용액이 잠기도록 놓았다. 분해한 킬달분해관을 킬달장치에 고정시키고 증류수 50ml~60ml를 킬달분해관에 넣어 강산을 희석시킨 후 40%~45% NaOH 용액 60ml를 가하여 산성을 알칼리화 하였다. 2% 붕산용액 수기가 삼각플라스크에 약 75ml~100ml쯤 증류되면 적정하였다. 분해한 시료에 따라 2% 붕산용액, 증류수, 40%~45% NaOH 시약을 각각 다르게 킬달증류장치에 입력 혹은 수동으로 작동을 해서 주입하였다. 수기의 내용물을 질소 적정용액 0.5N H₂SO₄ 혹은 0.1N H₂SO₄용액을 디지털 뷰렛으로 적정하여 청색으로부터 Pink색이 나타나는 점을 종말점으로 하였다. Blank 3~5개도 동일하게 분해, 증류, 적정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$\text{전질소함량(\%)} = (T-B) \times N \times f \times 14 \times 1/1000(\text{ml}) \times 1/W \times 100$$

T : 황산표준용액 적정에 소요된 ml수, B : Blank 의 황산표준액 적정에 소요된ml수

f : 황산표준액의 보정치(factor), 14 : N (질소분자), N : 황산표준액의 Normality

W : 토양시료의 무게(g)

(마) K, Ca, Mg, Na 분석

시료 0.5~2g을 100~200ml 삼각플라스크에 넣어 평량하였다. 분해액 10ml~20ml를 넣고 하루 저녁 방치 후 전열판에 올려놓고, 낮은 온도로 가열한 후 온도를 단계적으로 높였다. 분해 과정에서 시료가 검고 혼탁하면 살머시 흔들어 주었다. 냉각 후 분해된 시료를 100~200ml 메스플라스크에 pp여두를 덮고 여과지로 여과하였다. 증류수로 여과지를 충분히 적신 후 여과하였다. 이때 증류수는 60℃ 정도 데워서 사용하였다. 메스플라스크 안의 여과된 여액이 완전 냉각되면 정확히 100~200ml 메스플라스크에 취하였다. Perchloric acid + Sulfuric acid로 분해한 방법에 따라 이 용액으로 K, Ca, Mg, Na, P 등의 정량분석에 사용하였다. 분해 여과된 시료액을 ICP분석장치를 이용하여 측정하여 다음과 같은 식에 의해 계산하였다.

$$K_2O(\%) = 100 \times 1.205 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$CaO(\%) = 100 \times 1.40 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$MgO(\%) = 100 \times 1.66 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

$$Na_2O(\%) = 100 \times 1.35 \div 10,000 \times \text{희석배수} \times \text{측정치}$$

(2) 양액재배용 매트형 목재고형배지에 대한 특성분석

(가) pH 측정

시료 1g을 잘게 잘라 100ml 삼각플라스크에 취하고, 증류수 70ml를 가하고 교반하였다. 시계 접시를 썬워 1시간 방치 한 후, 추출액을 교반하면서 실온에서 pH를 측정하였다.

(나) 투수계수

시료를 50(L) × 50 (W) × 40 (T) mm 크기로 제작하여 55×55×202(mm) 코팅 용지에 넣은 후 실리콘글루건을 이용하여 용기와 시편 사이의 틈으로 물이 흐르는 것을 차단하였다. 시편을 24시간 동안 침수시켜 공극을 채운 후, 단위시간당 유출되는 수량을 측정하였다.

$$(\text{Darcy식}) k = (Q \cdot \rho \cdot \ell) / (P \cdot A \cdot t)$$

$$k : \text{투수계수}(\text{cm/s}), \quad Q : \text{시간 } t \text{ 사이에 유출된 수량}(\text{cm}^3), \quad \rho : \text{물의 밀도}(\text{kg/cm}^3)$$

$$\ell : \text{시료의 두께}(\text{mm}), \quad P : \text{수압}(\text{kgf/cm}^2) = \text{수두}(\text{물의 높이}), \quad A : \text{시료의 단면적}(\text{cm}^2)$$

$$t : \text{측정시간}(\text{sec})$$

(다) 공극률

시료를 50(L) × 50 (W) × 40 (T) mm 크기로 제작하여 비커에 넣고 증류수로 완전 침수시켜 24시간 후 남은 물의 양을 측정하였다. 이때 비커의 입구를 호일로 막아 자연 수분증발을 방지하였다. 공극률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{공극률}(\%) = (V - V_s) / V \times 100$$

$$V = \text{공극을 포함한 전체 부피}(\text{cm}^3)$$

$$V_s = \text{시편의 고체 부피}(\text{cm}^3)$$

(라) 전기전도도

전기전도도(Electric conductivity, EC)는 조제된 시료 10g을 100~200ml 삼각플라스크에 취하여 증류수 50ml을 가하고 진탕기에서 30분간 진탕하였다. 여과 후 EC meter로 측정하였다.

(마) 박리강도

한국 산업규격 KS F 3104의 규정에 의해 각 매트형 배지로부터 시험편을 3개씩 채취한 뒤, 시험편과 알루미늄 블록을 Hot-melt 접착제로 접착하였다. 만능강도시험기(Instron 4482)를 사용하여 평균하강속도를 2mm/min.로 하여 시험하였고, 다음 식에 의해 계산하였다.

$$\text{박리강도(kgf/cm}^2\text{)} = \frac{P}{b \times l}$$

P : 박리과괴시의 최대 하중(kgf)

b : 시험편의 나비(cm)

l : 시험편의 길이(cm)

(3) 양액재배용 매트형 목재고형배지에 퇴비화 가능성 검토

(가) SEM/EDS 분석

양액재배용 매트형 목재고형배지에 대한 양액주입후 배지의 잔류성분 분석을 SEM/EDS(Scanning Electron Microscope / Energy Dispersive X-ray Spectrometry)를 활용하였다. 각 시료는 이온코팅기(KIC-1A, Lehi Tech, USA)를 이용하여 5 mA에서 Au를 코팅한 후 주사전자현미경(EM-30, COXEM, Korea)을 통해 이미지를 전송하였다. 이 때 working distance는 15 mm로 설정하고 가속 전압 조건은 30 kV로 하여 EDS(X Flash Detector 410-M, Bruker, Germany)를 이용하여 각 시료에 대한 성분의 분포를 분석하였다.

(나) X선 회절 분석

X선 회절분석 방법은 비파괴 진단법으로 목재의 셀룰로오스 결정성을 측정하는데 유용한 분석법이다. 단일 및 혼합목재칩의 시편을 FT/IR 시료 제조용 프레스를 이용해서 펠릿을 제작하여 측정하였다. 분석기기는 X선회절장치(RIGAKU, DMAX 2100V)로 40 kV, 40 mA 조건하에서 Ni filter로 단색화한 CuK α 선을 사용하여 측정하였다. 상대결정화도는 Segal법에 의해 다음과 같은 식에 의해서 계산하였다.

$$\text{상대 결정화도(\%)} = (I_{200} - I_{am}) / (I_{200}) \times 100$$

I_{200} : (200) 회절강도 ($2\theta = 22.8^\circ$)

I_{am} : 비결정부분의 회절강도 ($2\theta = 18^\circ$)

라. 결과 및 고찰

(1) 원료의 화학적 특성

양액재배용 매트형 배지 제조를 위해 사용되는 원료에 대한 화학적 특성은 표 5에 나타냈다. pH는 양액을 공급했을 때 작물의 각 무기양분 흡수를 결정한다. 작물에 적합한 토양의 pH는

약산성에서 중성사이인 것으로 알려져 있다. 양액재배용 매트 원료인 단일 또는 혼합목재칩의 pH는 4.7-5.1로 일반적으로 알려진 목재의 pH인 4-6사이의 약산성의 범위에 있는 것으로 나타났다. 부숙된 수피는 중성인 7.1로 나타났고, 부숙혼합물은 8로 나타나 가장 높은 pH값을 보여주었다.

전기전도도(EC, Electric conductivity)는 물질 내에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 양으로 토양용액의 염류농도를 알 수 있는 것으로 원료들에 대한 전기전도도는 1.5~ 4.5 dS/m의 범위로 단일목재칩이 낮은 전기전도도를 보여주었다.

전질소 함량(T-N)은 단일목재칩이 0%로 질소함량이 거의 없는 것으로 나타났고, 부숙혼합물은 0.67%, 부숙수피는 0.88%, 혼합칩은 2.74%로 나타나 본 실험에서 사용한 대부분 질소함량은 낮았다. 유기물함량은 부숙수피가 13%, 혼합칩이 15.4%, 단일목재칩이 22%였다. 부숙혼합물은 39%로 본 실험에서 가장 높은 유기물 함량을 보여주었다.

작물의 세포분열 촉진, 뿌리 초기성장, 분화촉진 등에 관여하고 있는 인산(P)은 혼합칩이 0.01 mg kg⁻¹, 단일목재칩은 0.02 mg kg⁻¹, 부숙수피는 0.29 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.73 mg kg⁻¹으로 인산함량이 높게 나타났다. 단일 또는 혼합 목재칩의 칼리(K)는 0.01 mg kg⁻¹이고 부숙수피는 0.07 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.05 mg kg⁻¹로 나타났다.

단일 또는 혼합목재칩의 칼슘(Ca)은 0.01-0.04 mg kg⁻¹였고, 부숙수피는 0.29 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.23 mg kg⁻¹였다. 마그네슘(Mg)은 부숙수피에서 0.03 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.04 mg kg⁻¹로 나타났고, 단일 또는 혼합목재칩에서는 검출되지 않았다. 나트륨(Na)은 부숙혼합물, 부숙수피와 단일혼합칩에서 0.01 mg kg⁻¹로 나타났지만, 혼합칩에서는 검출되지 않았다.

표 5. 원료의 화학적 특성

	pH	EC	T-N	OM	P	K	Ca	Mg	Na
	(1:10)	(dS m ⁻¹)	(%)		(mg kg ⁻¹)				
Decayed mixture	8.0 ±0.1	4.5 ±0.1	0.67 ±0.1	39.2 ±0.3	0.73 ±0.1	0.05 ±0.1	0.23 ±0.1	0.04 ±0.1	0.01 ±0.1
Decayed bark	7.1 ±0.1	4.1 ±0.1	0.88 ±0.02	13.0 ±0.3	0.29 ±0.01	0.07±0.01	0.29±0.01	0.03 ±0.1	0.01 ±0.1
Single wood chip	4.7 ±0.2	1.5 ±0.1	0±0	22.0 ±0.1	0.02 ±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01	-	0.01 ±0.1
Mixed chip	5.1 ±0.1	3.4 ±0.1	2.74 ±0.02	15.4 ±0.2	0.01 ±0.01	0.01±0.01	0.04±0.01	-	-

(2) 양액재배용 매트형 목재고형배지에 대한 특성분석

(가) 수소이온농도(pH)

그림 8은 각 원료의 비율을 달리하여 제조한 양액재배용 매트형 목재고형배지의 pH를 나타낸 것이다. pH는 토양중의 수소이온 H⁺ 농도를 나타내는 지표로 토양의 산성 혹은 알칼리성 정도를 나타내는 것이다. 매트형 목재고형배지 제조시 원료와 펄프슬러리의 비율을 6:4, 7:3, 8:2의 비율로 하여 제조하였다. 매트형 배지의 제조시 원료와 펄프슬러리 사이의 결합력을 증진시키기 위해 습윤지력증강제를 첨가하였다. 각 원료의 첨가비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지는 원료의 첨가량 증가와 함께 pH는 중성에 가깝게 나타났다. 단일목재칩과 펄프슬러리를 8:2의 비율로 제조한 매트형 배지가 pH 7.6으로 가장 낮았다.

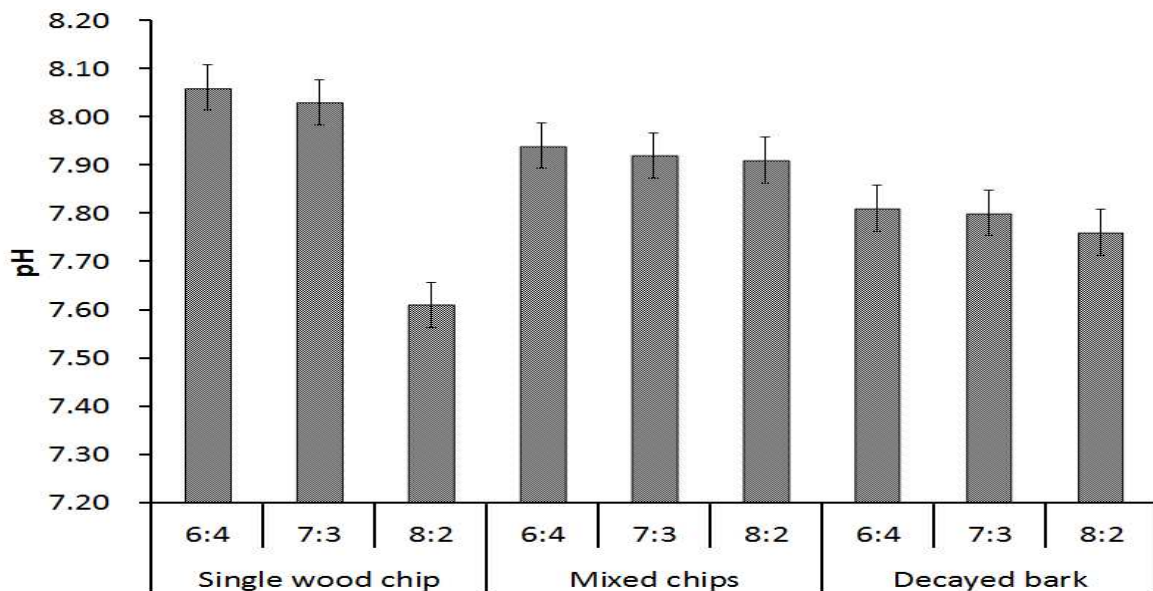


그림 8. 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 pH

(나) 투수계수

그림 9는 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 투수계수를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 양액재배용 매트형 배지는 작물이 잘 자라기 위해 적정량의 수분이 공급되어야 하며 양액이 배지의 공극을 통과하여, 항상 배지내에 보유하고 있어야 한다. 투수계수는 배지의 투수성을 의미하는 것으로 매트형 목재고형배지의 이동하는 물의 속도를 나타내는 것이다. 투수성은 공극조성, 통기성과 관계가 있다. 투수계수는 모든 원료의 첨가량 증가와 함께 높아지는 것으로 나타났다. 이것은 펄프슬러리의 첨가가 적어지면서 원료첨가의 비율이 높을수록 원료들 사이의 공극이 많아지기 때문인 것으로 생각된다. 또한 이러한 경향은 단일 또는 혼합 목재칩이 부속수피보다 뚜렷하게 나타났다.

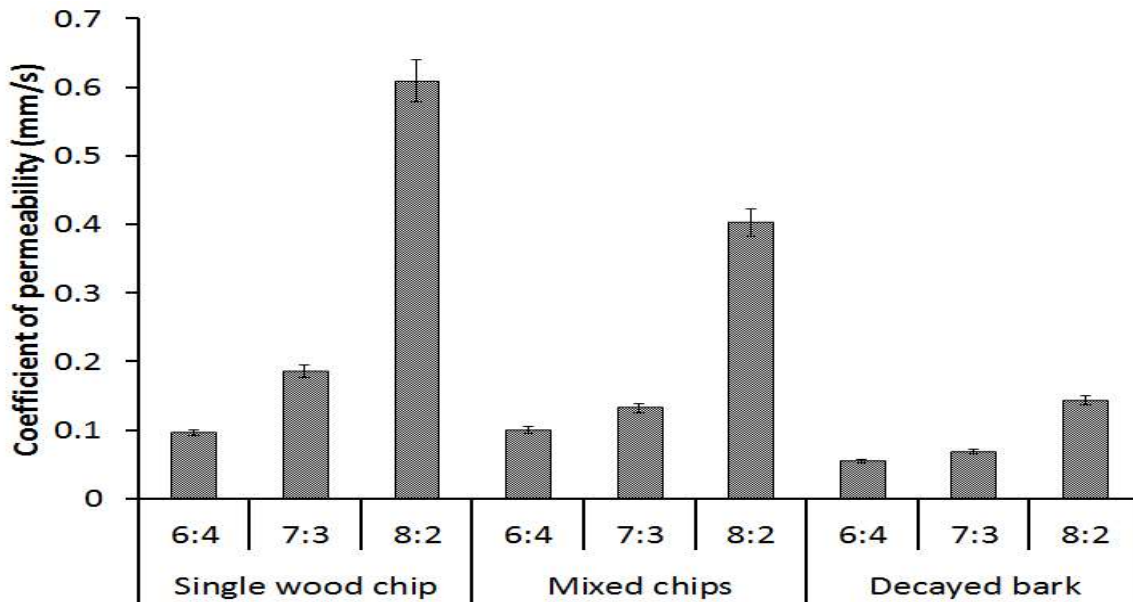


그림 9. 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 투수계수

(다) 공극률

그림 10은 각 원료의 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 공극률을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 공극률은 배지가 식물생육에 적합한 공기와 물을 보유하고 작물 생육에 필요한 토심을 확보를 나타내는 기준으로 첨가된 원료의 비율에 따라 차이가 나타났다. 원료의 첨가량 증가와 함께 공극률은 감소하는 경향을 보여주었다. 가장 높은 공극률은 단일목재칩과 펄프슬러리를 8:2, 7:3의 비율로 제조한 매트형 배지로 81% 였으며, 가장 낮은 공극률은 혼합칩과 펄프슬러리를 8:2의 비율로 제조한 매트형 배지로 70%로 나타났다.

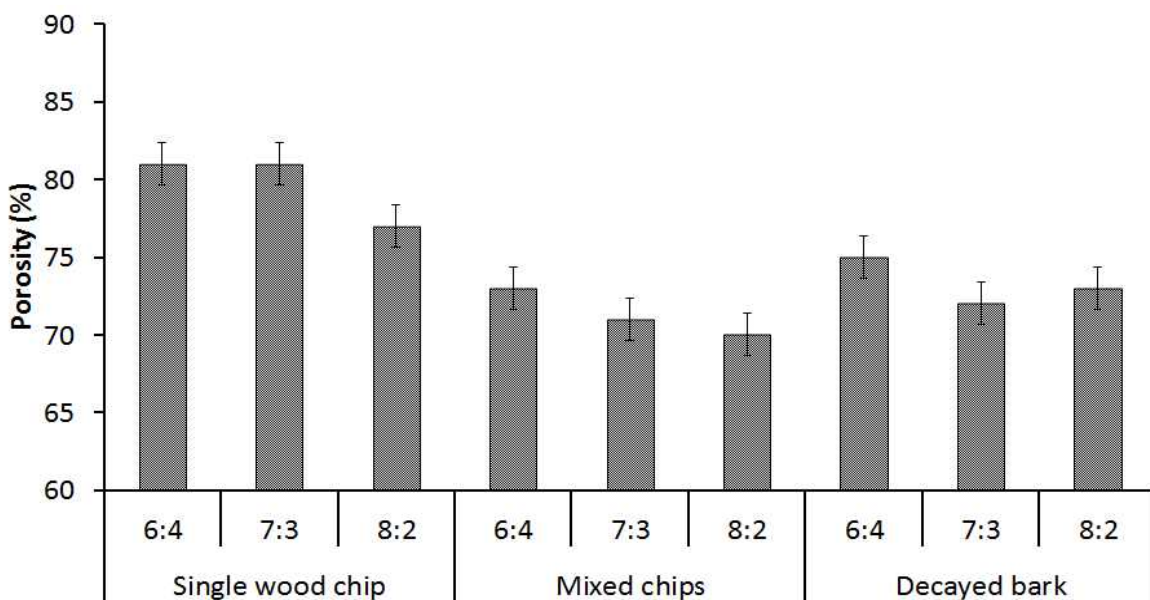


그림 10. 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 공극률

(라) 전기전도도

그림 11은 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 전기전도도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 전기전도도(EC, Electric Conductivity)는 물질 내에서 전류가 잘 흐르는 정도를 나타내는 양으로 토양용액의 염류농도를 알 수 있다. 염류농도와 작물의 관계는 매우 중요한 요소로 작용하는데, 염류집적이 심한 시설채소재배지에서 중요한 기능을 하게 된다. 시설채소에서 토양의 염류농도가 2.0 dS/m 이상의 경우 염류집적에 따른 수량감수가 일어나는 것으로 알려지고 있다. 전체적으로 각각의 원료의 첨가량 증가와 함께 전기전도도는 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 목재는 건조된 상태에서는 뛰어난 절연체이지만, 수분의 함량이 증가하면 전기전도도도 함께 증가하여 섬유포화점에 달하면 물의 전기적 성질에 가까워지지만, 수종이나 밀도의 차이에 따른 영향은 받지 않는 것으로 알려지고 있다. 따라서 원료의 첨가 증가가 전기전도도를 증가시키는 것으로 생각된다. 원료들에 대한 전기전도도는 1.4~ 2.62 dS/m의 범위로 부속수피를 펄프슬러리와 6:4의 비율로 제조한 매트형 목재고형배지가 가장 낮은 전기전도도를 보여주었다.

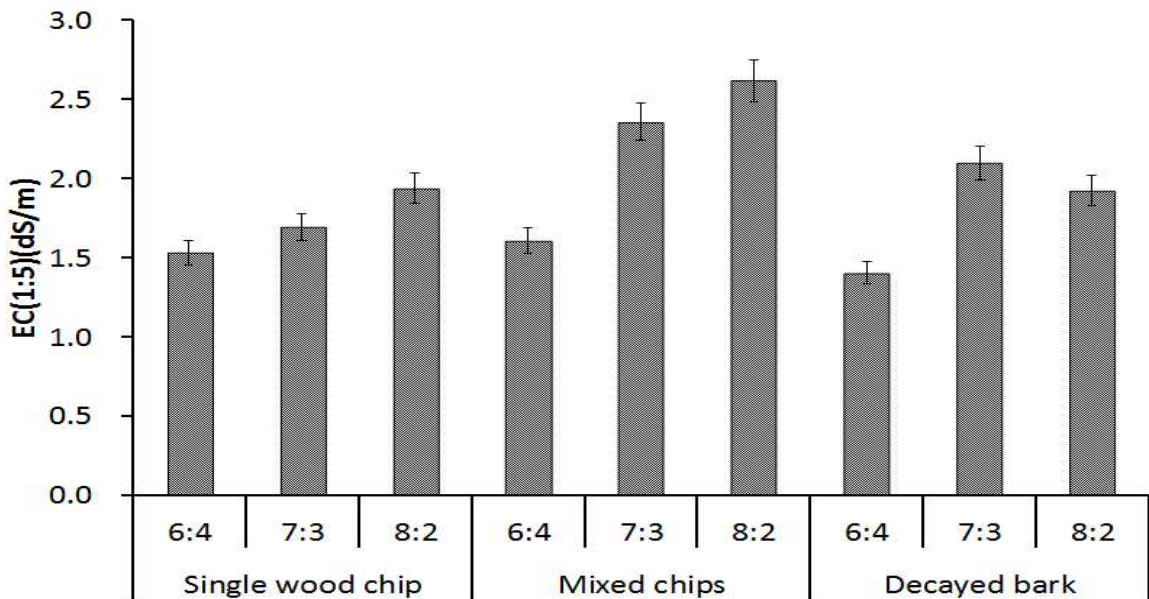


그림 11. 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 전기전도도

(마) 박리강도

박리강도는 매트형 배지를 두께 방향으로 잡아당길 때 견디는 강도를 의미하는 것으로 각각의 원료를 다른 비율로 혼합하여 제조한 매트형 배지의 결합정도를 나타낸다. Fig.12는 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형 배지의 박리강도에 대한 측정결과를 나타낸 것이다. 단일 또는 혼합목재칩은 원료의 혼합비율 증가와 함께, 박리강도는 감소되는 것으로 나타났다. 이것은 목재칩의 첨가량 증가와 함께 매트형 배지의 결합력을 감소시키는 것으로 생각된다. 그러나, 부속수피는 원료의 혼합비율에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다.

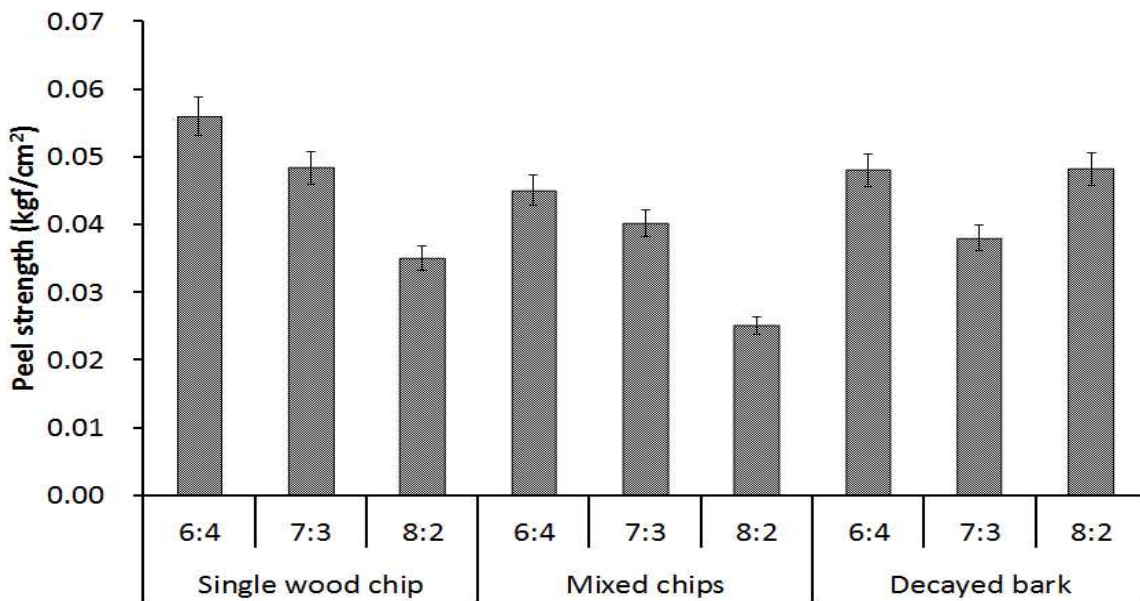


그림 12. 각 원료에 대한 비율을 달리하여 제조한 매트형 목재고형배지의 박리강도

(3) 매트형 목재고형배지에 대한 SEM/EDS와 X선 회절 분석을 통한 퇴비화 가능성 검토

(가) SEM/EDS 분석

부속수피, 단일 또는 혼합칩을 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 양액 주입 전과 후, 세척 후 배지에 존재하는 성분을 SEM/EDS로 분석한 결과를 그림 13~15에 나타냈다.

그림 13과 표 6은 단일목재칩으로 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS분석 결과를 나타낸 것이다. 모든 조건에서 원료는 탄소(C)와 산소(O)가 주요 성분으로 구성되어 있다. 그러나 양액주입전과 후 배지내에 존재하는 성분에는 칼슘과 염소가 검출되었고, 세척후에는 검출되지 않는 것으로 나타났다. 잔류성분의 비율을 보면, 양액주입전과 양액주입 후 C와 O의 비율은 비슷하게 나타났다.

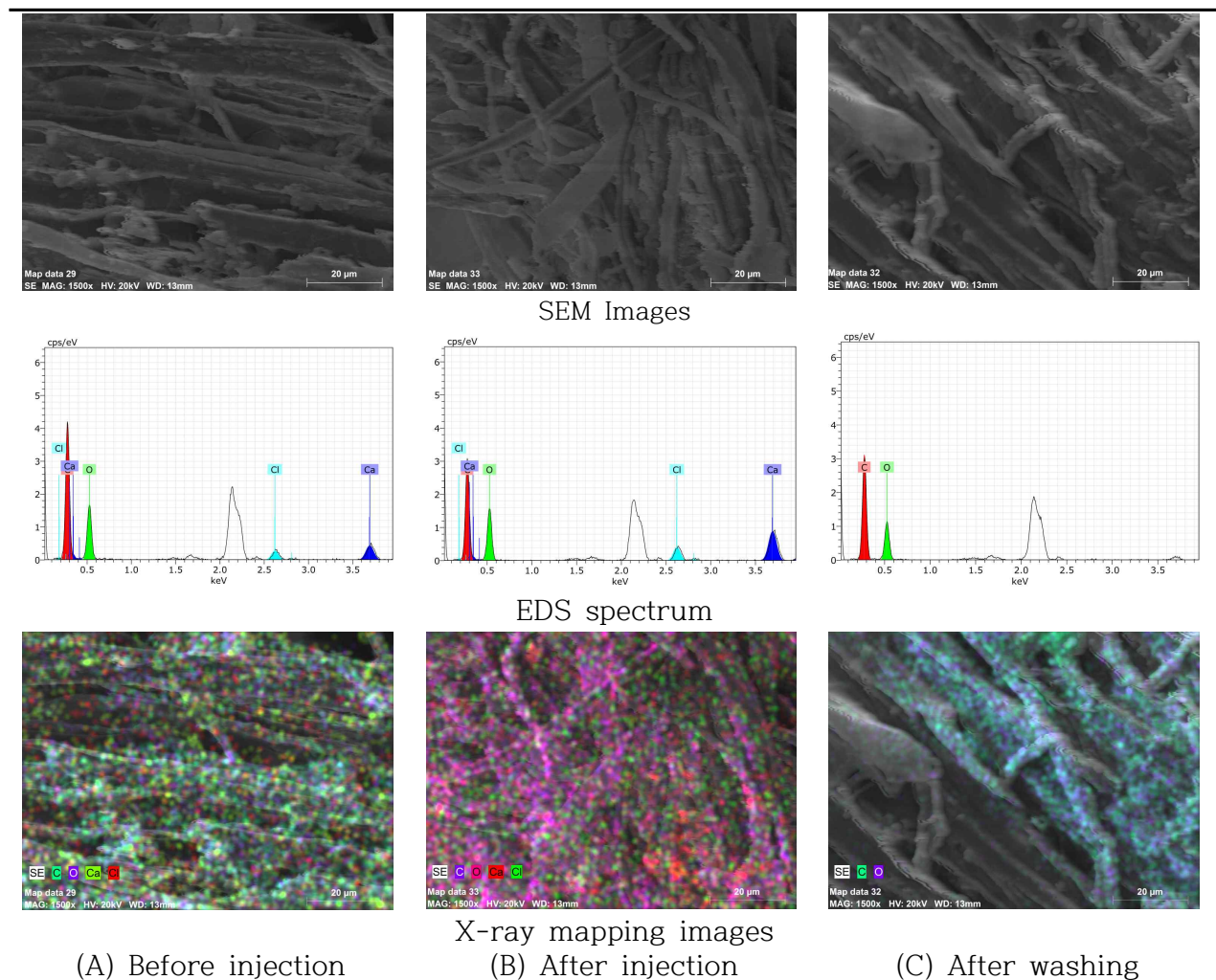


그림 13. 단일목재칩을 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS 분석 결과

표 6. SEM/EDS 분석에 의한 단일목재칩 매트형 배지내의 성분분석결과

Component (%)	Before injection	After injection	After washing
C	50.4	45.4	52.5
O	47.2	49.5	47.5
Ca	1.7	3.9	
Cl	0.7	1.2	

그림 14와 표 7은 혼합칩을 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS분석 결과를 나타낸 것이다. 원료는 탄소(C)와 산소(O)가 주요 성분으로 구성되어 있으며, 칼슘과 미량의 불소, 염소가 검출되었다. 이것은 혼합칩은 여러 수종과 수피를 혼합한 것이기 때문에 이것에 존재하고 있는 성분들이 검출된 것으로 사료된다.

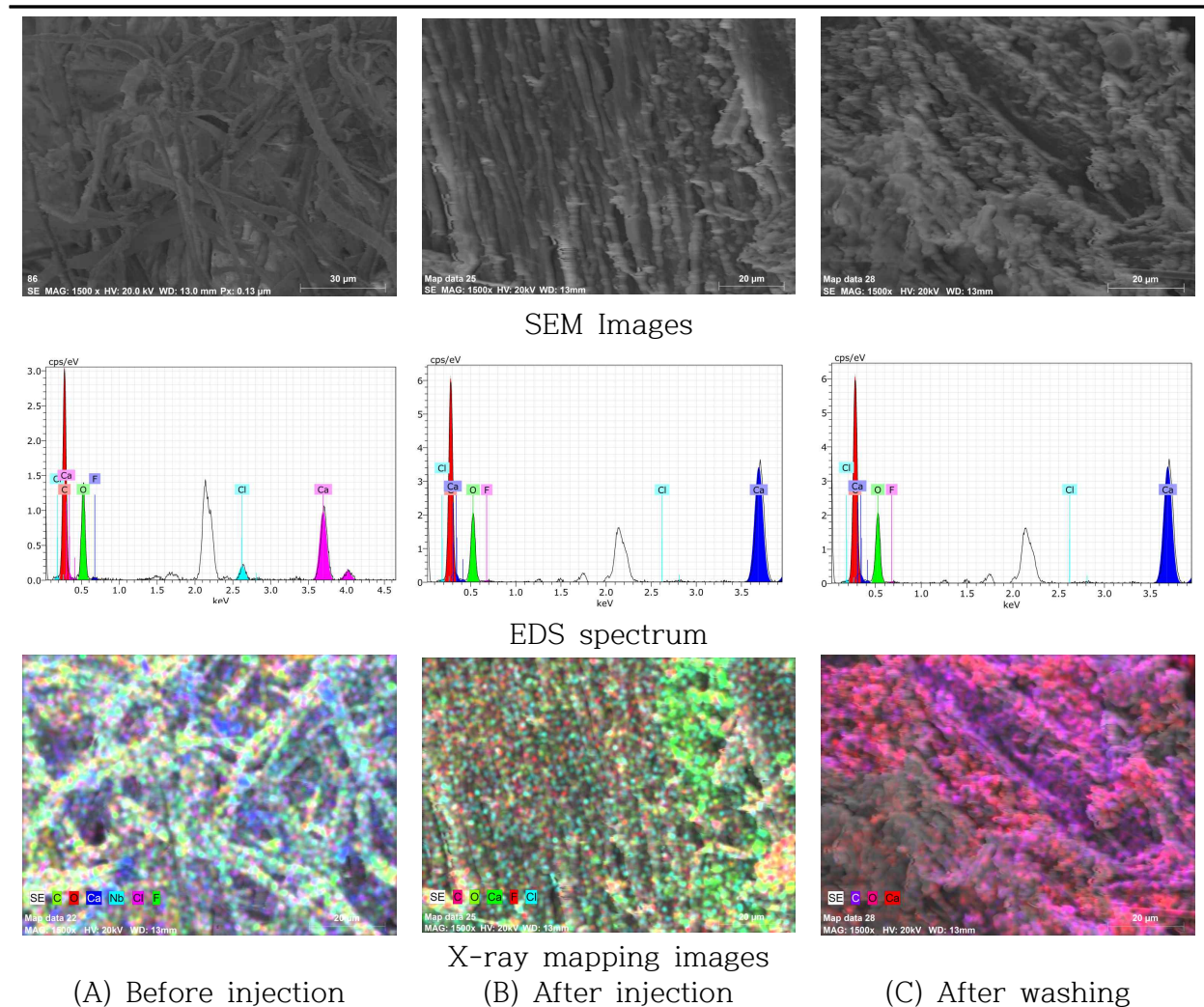


그림 14. 혼합칩을 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS 분석 결과

표 7. SEM/EDS 분석에 의한 혼합칩 매트형 배지내의 성분분석결과

Component (%)	Before injection	After injection	After washing
C	46.0	46.0	46.4
O	47.1	47.1	43.6
F	1.7	1.7	1.2
Ca	4.6	4.6	8.8
Cl	0.6	0.6	0.0

그림 15와 표 8은 부숙수피를 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS분석 결과를 나타낸 것이다. 원료는 탄소(C)와 산소(O)가 주요 성분으로 구성되어 있으며, 다량의 칼슘이 검출되었다. 이들 성분은 양액 주입전과 후, 세척 후 다소 차이가 나타났다. 이것은 양액에 의한 영향은 아니고 수피에 존재하는 성분으로서 관찰된 부위에 따른 차이인 것으로 사료된다.

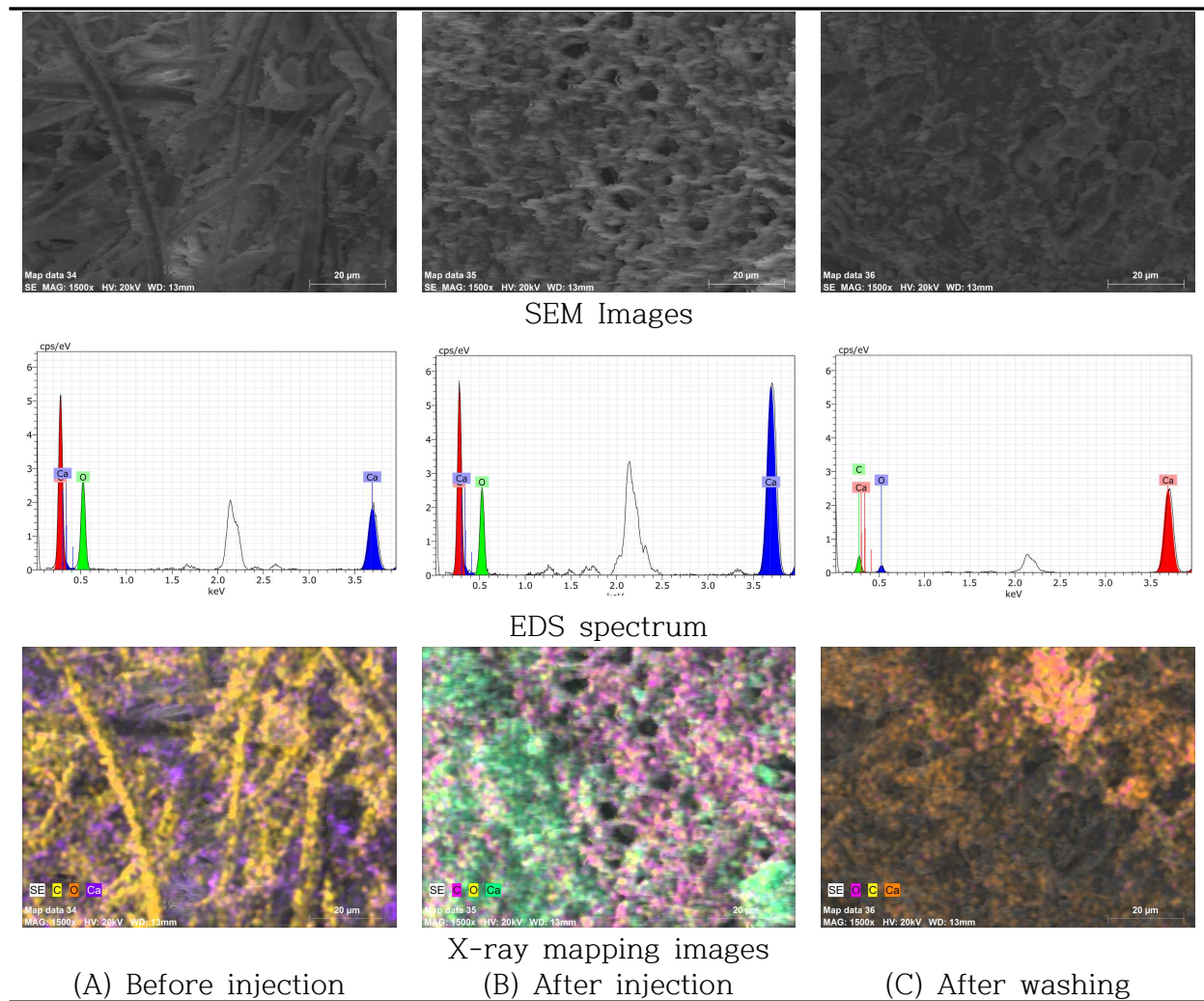


그림 15. 부숙수피를 이용하여 제조한 매트형 배지에 대한 SEM/EDS 분석 결과

표 8. SEM/EDS 분석에 의한 부숙수피 매트형 배지내의 성분분석결과

Component (%)	Before injection	After injection	After washing
C	43.2	39.6	25.0
O	51.8	47.6	37.0
Ca	5.0	12.8	38.0

(나) X선 회절분석

그림 16과 17은 단일 또는 혼합 목재칩에 대한 X선 회절강도곡선을 나타낸 것이다. X축은 X-선 입사각도를 나타낸 것이고, Y축은 intensity, 즉, 회절성의 강도를 나타낸 것이다. 결정형 섬유소를 나타내는 002면($2\theta=22.8^\circ$)에서의 peak강도는 단일 또는 혼합목재칩에 대한 회절면의 강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 9는 단일 또는 혼합목재칩에 대한 상대결정화도를 나타낸 결과이다. 상대 결정화도는 목재 세포벽 중의 셀룰로오스의 결정성 비율을 의미하는 것으로서 강도적 성질에 영향을 크게 미치는 것을 알려지고 있다. 본 실험결과 양액주입에 따른 목재칩의 결정화도의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

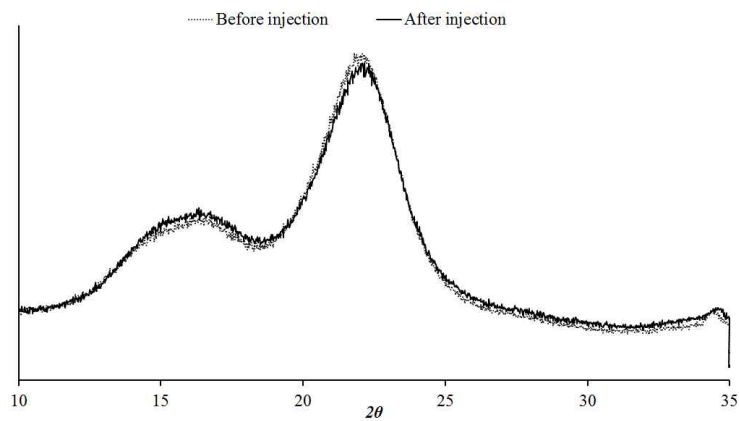


그림 16. 단일목재칩 매트형 배지의 양액주입전과 후의 X-ray 회절도

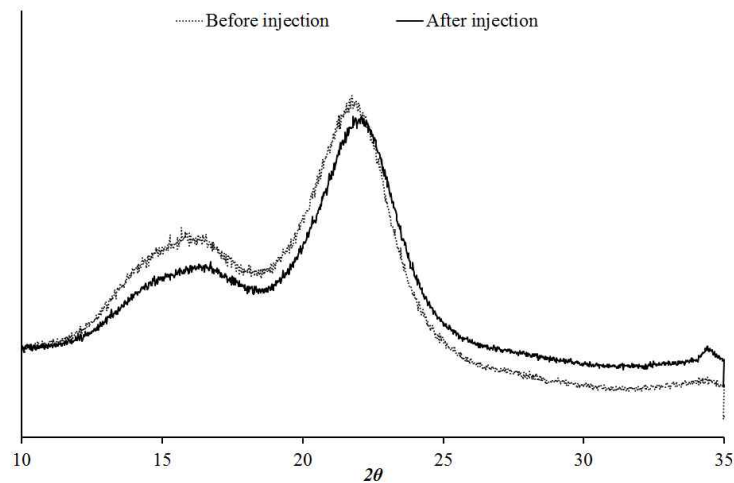


그림 17. 혼합목재칩 매트형 배지의 양액주입전과 후의 X-ray 회절도

표 9. 각 시료의 상대결정화도

Sample		Crystallinity(%)
Single wood chip	before injection	60
	after injection	60
Mixed chip	before injection	59
	after injection	58

따라서, 본 연구 결과 양액재배용으로 사용된 목재 고품배지는 양액성분이 존재하고 있지 않고, 원료의 주요 성분만이 존재하는 것으로 나타났으며, X선 회절 실험결과, 양액 주입에 따른 원료의 셀룰로오스의 변화가 거의 없는 것으로 나타나 폐기 후 다른 소재로 이용 또는 퇴비화의 수분조절제, 팽화제와 같은 보조제로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

마. 결론

본 연구는 목질계 자원을 활용한 유기 배지를 제조하기 위해 이용된 원료에 대한 화학적 특성과 매트형태로 제조하여 특성을 검토하였고, SEM/EDS와 X선회절 분석을 통해 폐기후 퇴비화의 가능성을 검토하였다.

양액재배용 매트형 배지 제조를 위해 사용되는 원료에 대한 화학적 특성으로 pH는 양액재배용 매트의 원료인 단일 또는 혼합목재칩의 pH는 4.7 ~ 5.1, 부숙된 수피는 중성인 7.1로 나타났고, 부숙혼합물은 8로 가장 높은 pH값을 보여주었다. 전기전도도(EC, Electric conductivity)는 1.5 ~ 4.5 dS/m의 범위로 단일목재칩이 낮은 전기전도도를 보여주었다. 전질소 함량은 단일목재칩이 0%로 질소함량이 거의 없는 것으로 나타났고, 부숙혼합물은 0.67%, 부숙수피는 0.88%, 혼합칩은 2.74%였다. 유기물함량은 부숙수피가 13%, 혼합칩이 15.4%, 단일목재칩이 22%였고, 부숙혼합물은 39%로 가장 높은 유기물 함량을 보여주었다. 인산(P)은 혼합칩이 0.01 mg kg⁻¹, 단일목재칩은 0.02 mg kg⁻¹, 부숙수피는 0.29 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.73 mg kg⁻¹ 으로 나타났다. 칼륨(K)은 단일 또는 혼합 목재칩이 0.01 mg kg⁻¹이고 부숙수피는 0.07 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.05 mg kg⁻¹ 로 나타났다. 칼슘(Ca)은 단일 또는 혼합목재칩이 0.01-0.04 mg kg⁻¹였고, 부숙수피는 0.29 mg kg⁻¹, 부숙혼합물은 0.23 mg kg⁻¹였다. 마그네슘(Mg)은 부숙수피 0.03 mg kg⁻¹, 부숙혼합물 0.04 mg kg⁻¹로 나타났고, 단일 또는 혼합목재칩에서는 검출되지 않았다. 나트륨(Na)은 부숙혼합물, 부숙수피와 단일혼합칩에서 0.01 mg kg⁻¹로 나타났지만, 혼합칩에서는 검출되지 않았다.

각 원료를 이용하여 비율을 달리하여 제조한 양액재배용 매트형 목재고형배지의 특성은 다음과 같다. pH는 원료의 첨가량 증가와 함께 중성에 가깝게 나타났다. 단일목재칩과 펄프슬러리를 8:2의 비율로 제조한 매트형 배지가 pH 7.6으로 가장 낮았다. 투수계수는 원료 첨가량 증가와 함께 높아지는 경향을 보여주었다. 또한 이러한 경향은 단일 또는 혼합 목재칩이 부숙수피보다 뚜렷하게 나타났다. 공극률은 원료의 첨가량 증가와 함께 공극률은 감소하는 경향을 보여주었다. 전기전도도는 전체적으로 각각의 원료의 첨가량 증가와 함께 전기전도도는 증가하는 것으로 나타났다. 원료들에 대한 전기전도도는 1.4~ 2.62 dS/m의 범위로 부숙수피를 펄프슬러리와 6:4의 비율로 제조한 매트형 목재고형배지가 가장 낮은 전기전도도를 보여주었다.

박리강도는 단일 또는 혼합목재칩은 원료의 혼합비율 증가와 함께, 감소되었지만, 부숙수피는 원료의 혼합비율에 따른 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 본 여러 비율로 제조한 매트형 배지의 특성을 검토한 결과, 매트형 배지의 비율은 6:4로 하여 제조한 것이 가장 좋을 것으로 사료된다.

또한, 매트형 배지에 대한 폐기 후 퇴비화로서 가능성을 SEM/EDS와 X선회절 분석을 통해 검토하였다. SEM/EDS로 분석한 결과, 매트형 배지는 탄소(C)와 산소(O)가 주요 성분으로 구성되어 있다. 그 외 성분으로 단일 또는 혼합 목질칩은 시료에 따라 Ca와 미량의 불소, 염소가 검출되었다. 그러나 부숙수피는 다량의 Ca가 검출되었다. 또한 X선 회절분석을 통한 양액 주입에 따른 매트형 배지의 셀룰로오스 결정성에 크게 주지 않는 것으로 나타났다.

따라서, 본 연구 결과 양액재배용으로 사용된 목재 고품배지는 양액성분이 존재하고 있지 않고, 원료의 주요 성분만이 존재하는 것으로 나타났으며, X선 회절 실험결과, 양액 주입에 따른 원료의 셀룰로오스의 변화가 거의 없는 것으로 나타나 폐기 후 다른 소재로 이용 또는 퇴비화의 수분조절제, 팽화제와 같은 보조재료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

제 2 절 목재 고품배지를 이용한 친환경 작물생산 시스템 실용화 및 농업현장 적용성

1. 유기 고품배지 원재료의 제조조건에 대한 안전성평가

가. 연구 목적

우리나라의 양액재배는 토마토·오이·고추 등의 과채류가 남부지방 비닐하우스에서 암면, 코코피트 등을 이용한 고품배지경이 주류를 이루고 있으며, 장미는 온실에서 암면배지를 이용 재배되고 있다. 그러나 이처럼 최근 들어 양액재배 면적이 급격히 늘어나고 있음에도 불구하고 사용하고 있는 배지에 대한 안전성 검증은 미비하다. 따라서 기존의 양액재배용 고품배지의 문제점과 단점을 극복할 수 있는 친환경적 배지를 개발하고 식물생육실험을 통한 기능성 향상과 안전성을 검토하고자 한다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험 재료

본 연구에서는 간벌후 3년, 5년 방치한 잣나무(*pinus koraiensis*), 간벌 후 5년 방치한 신갈나무(*Quercus mongolica*)를 채취하여 특성을 분석하였다. 분석은 잣나무를 부후된 부분과 부후되지 않은 심재부로 구분하여 실시하였으며, 폐목재칩은 시중에서 파티클보드 제조용으로 수피와 수종이 구분되지 않은 혼합칩과 라디에타과인 수종으로 제조된 폐목재칩을 구분하여 독성평가를 통해 배지로서의 안전성을 평가하였다.

(2) 실험방법

(가) 원재료에 대한 안전성평가

9가지의 물질을 1g당 10mL 3차 증류수로 상온 상태에서 용출하여 sample을 제조하였다. 실험군은 1일, 2일, 4일 용출액과 80℃에서 1시간동안 추출한 열 추출물로 설정하였다. 용출된 sample은 필터링 한 후, pH값을 중성으로 보정하여 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였다. 이것을 이용하여 인간 유래 피부각질세포 (HaCaT; human keratinocyte)를 1% antibiotic antimycotic solution, 10% FBS (fetal bovine serum)를 함유하는 DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium) 배지와 함께 37℃, 5% 이산화탄소를 유지하는 Incubator 내에서 배양하였다. 수득된 각질세포를 96-well plate에 각 well당 5×10^4 cells/mL로 분주한 후, 유기 고품배지 원재료 용출액을 전체부피의 2.5, 5, 10 %씩 처리하였다. MTT 처리 후 분광광도계의 570nm에서 세포수를 측정하여 각 제조조건의 용출액에 대한 세포독성 여부를 세포 생존율을 통해 배지의 안전성을 평가하였다.

(나) 열균처리한 원재료의 안전성평가

7가지의 물질을 1g당 10mL 3차 증류수로 상온 및 80℃ 상태에서 용출하여 sample을 제조하였다. 개발 유기 고품배지 원재료의 안전성평가와 동일한 조건으로 실험군의 처리 조건을 설정

하였으며 필터링과 pH 값 보정을 통해 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였다.

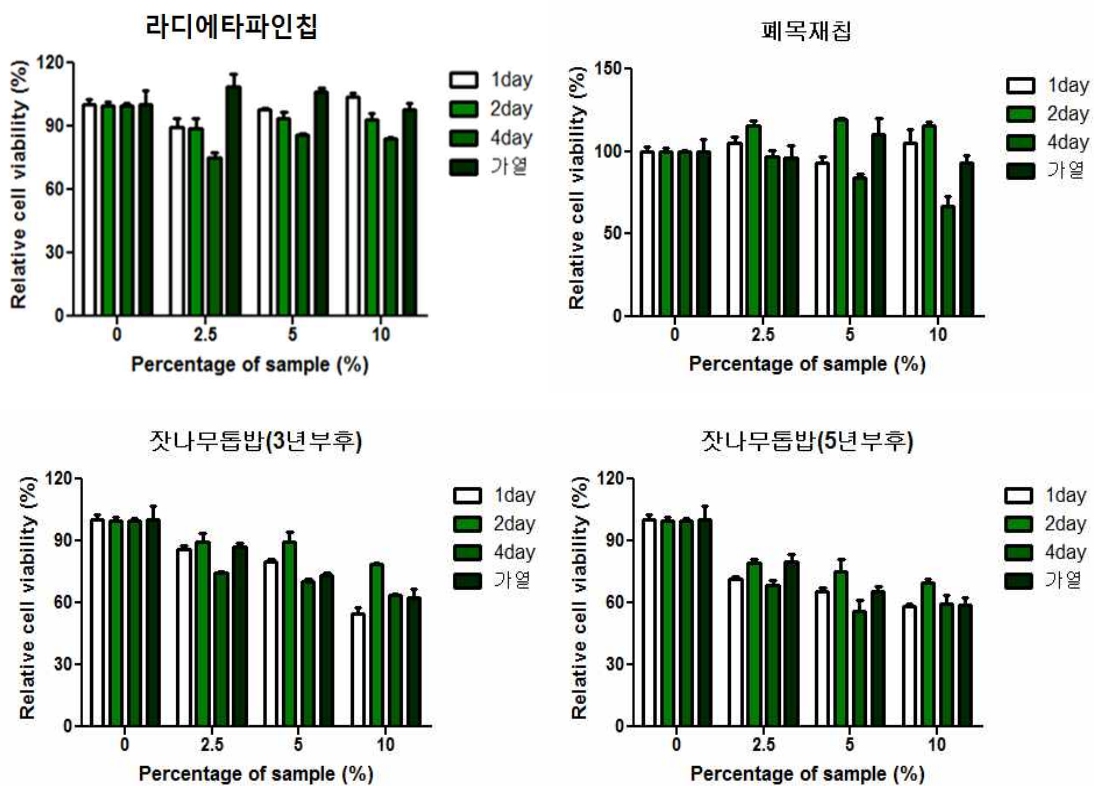
(다) 식생매트에 대한 안전성평가

매트 형태의 개발 고품배지를 쪼개어 1g당 10mL 3차 증류수로 상온에서 용출하여 sample을 제조하였다. 실험군은 1일, 2일, 4일 용출액과 80°C에서 1시간동안 추출한 열 추출물로 설정하였다. 용출된 sample은 필터링 한 후, pH값을 중성으로 보정하여 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였으며 개발 유기 고품배지 원재료의 안전성 평가와 동일한 조건으로 처리되었다.

다. 결과 및 고찰

(1) 원재료에 대한 안전성

그림 1은 원재료에 대한 안전성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 암면과 폐목재칩, 잣나무 톱밥을 포함한 대부분의 샘플에서 거의 독성을 보이지 않았지만 4일 용출시 약간의 독성을 나타내었다. 잣나무 톱밥(3년 부후)와 잣나무 톱밥(5년 부후)에서는 용출 시간과 처리 농도에 의존적으로 독성을 나타내었다. 이로 보아 잣나무 톱밥(부후) 용출 시 시간에 따라 점차적으로 약간의 독성이 용출되는 것으로 사료된다. 1일 용출시 잣나무 톱밥(부후)와 잣나무 톱밥(5년 심재)용출액을 제외한 대부분의 샘플에서는 독성을 나타내지 않았으며, 열을 가하여 용출할 경우 대부분의 샘플에서 거의 독성을 나타내지 않았으나 코코피트를 고농도(10%)로 처리시 약간의 독성을 나타내었다.



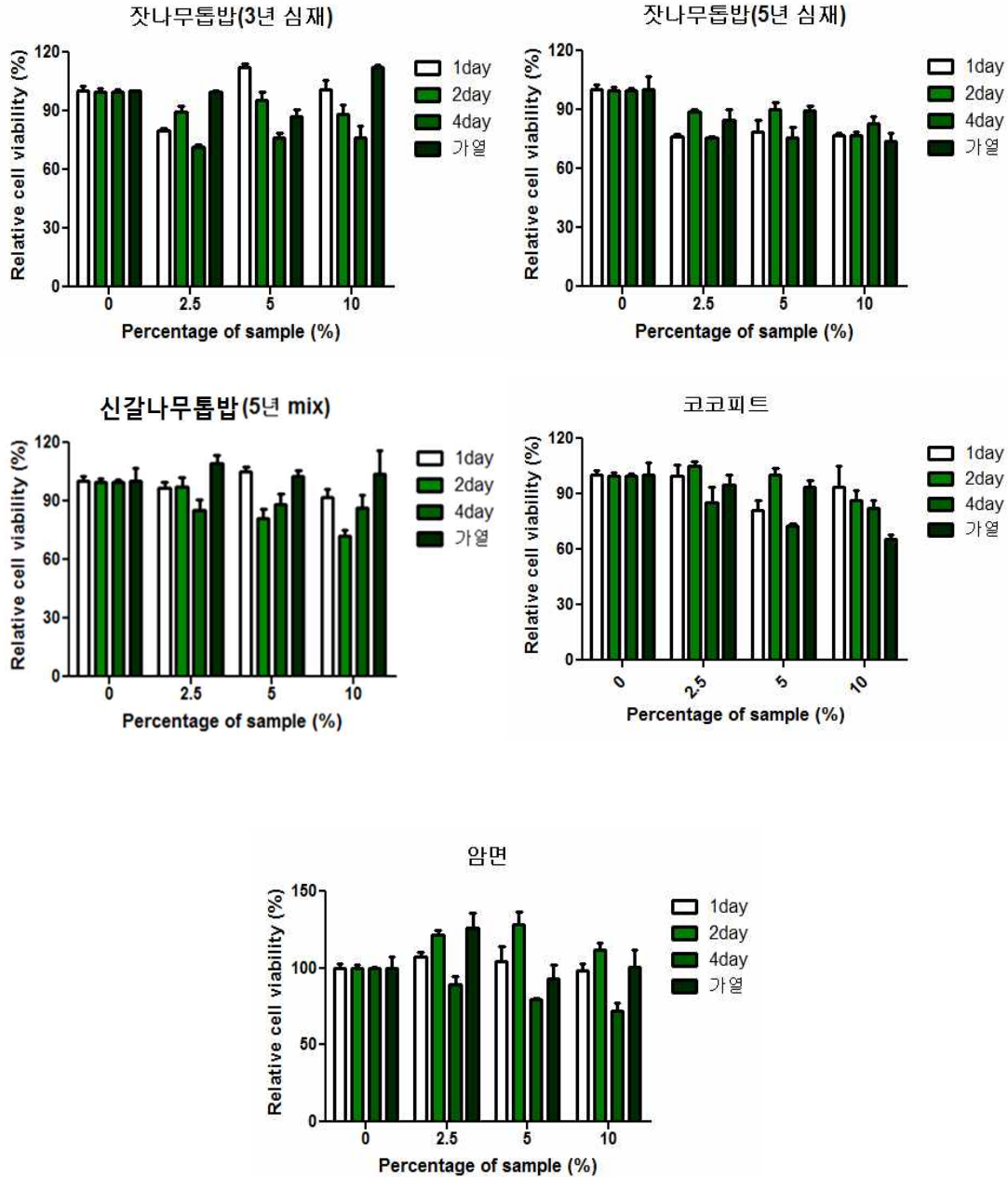


그림 1 세포 생존율을 통한 원재료 용출액의 세포 독성 평가

(2) 멸균처리한 원재료의 안전성

그림 2는 멸균처리한 원재료의 안전성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 개발 유기 고형배지 원재료의 안전성 평가와 동일한 조건으로 HaCaT 세포를 배양하였으며, 멸균 개발 유기 고형배지 원재료 용출액을 전체부피의 2.5, 5, 10%씩 처리하여 안전성 평가를 수행하였다. 폐목재칩과 잣나무 톱밥(부후) 샘플을 4일 용출시 독성을 나타내었으며 폐목재칩과 잣나무 톱밥(부후)를 열추출시 커다란 세포 독성을 보였다. 라디에타과인칩과 잣나무 톱밥(심재)에서 2일 용출시 약간의 독성을 나타냈으며 1일 용출시 잣나무 톱밥(부후)와 잣나무 톱밥(5년 심재) 용출액을 제외한 대부분의 샘플에서는 커다란 독성을 나타내지 않았다. 이로 보아 잣나무 톱밥(부후)의 경우 멸균 이전과 동일하게 시간에 따라 독성이 용출되는 것으로 보이며 폐목재칩

의 경우 가열 시 독성이 크게 용출되는 것으로 사료된다.

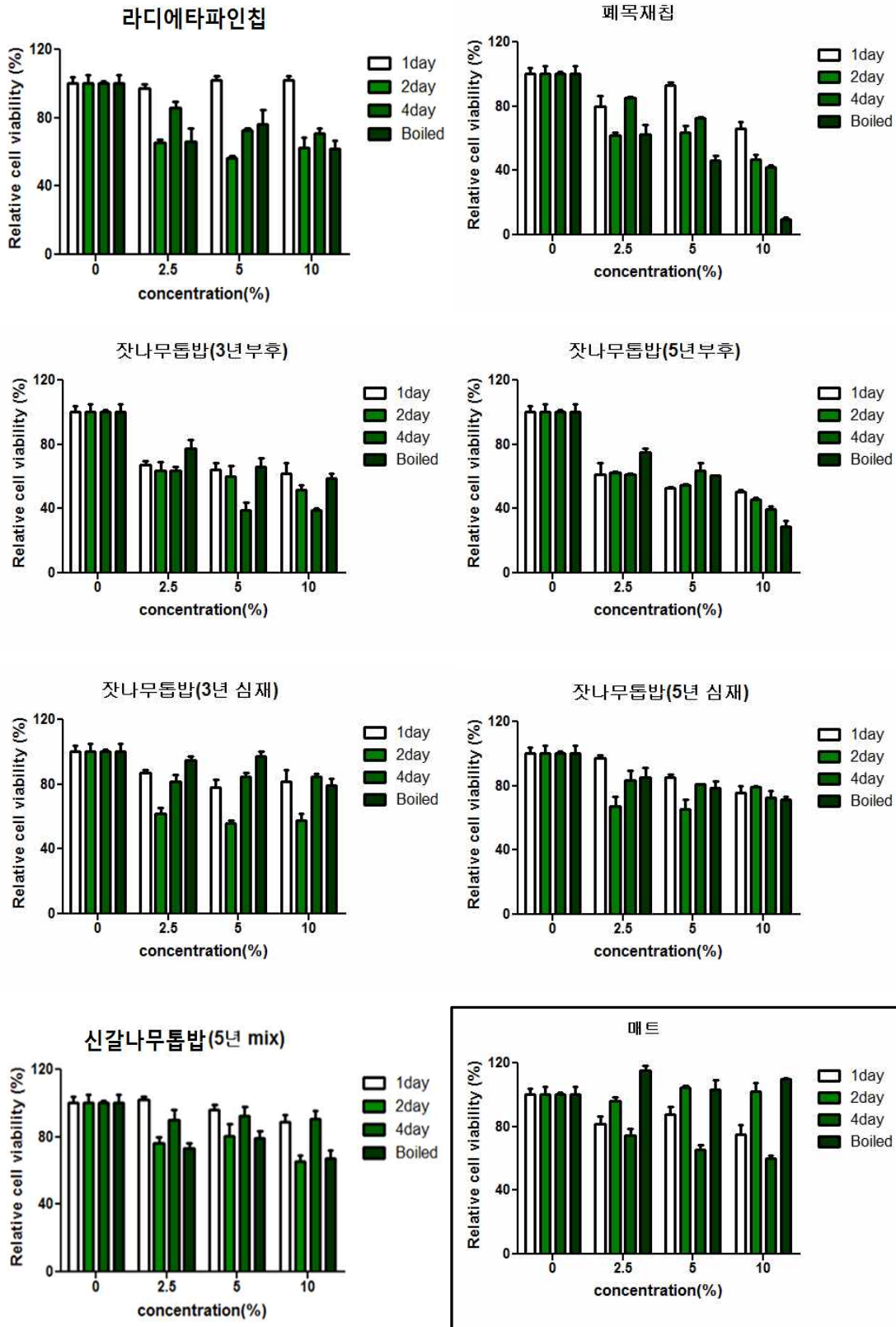


그림 2. 세포 생존율을 통한 멸균 처리한 원재료 용출액의 세포 독성 평가

그림 3. 세포 생존율을 통한 식생매트 용출액의 세포 독성 평가

(3) 양액재배용 매트형태의 배지에 대한 안전성

그림 3은 폐목재칩과 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 양액재배용 매트형태의 배지의 안전성을 평가한 결과이다. 식생매트의 1일 용출액과 4일 용출액에서 약간의 독성을 나타냈지만, 2일 용출액과 열추출액 처리시 크게 독성을 보이지 않았다. 앞에서 제시한 폐목재칩과 잣나무 톱밥(부후)에 비해 독성도가 감소한 것을 알 수 있었다. 이것은 폐목재칩의 독성이 매트제조 과정에서 경감되는 것으로 사료된다.

라. 결론

원재료에 대한 안전성 평가에서 잣나무 부후재와 잣나무 3년 심재는 4일 용출액 처리시 약간의 독성을 나타냈고, 멸균 처리된 폐목재칩은 높은 독성을 보여주었다. 그러나 식생 매트의 생존률을 통해 매트의 제조과정에서 폐목재칩의 세포독성이 경감되는 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 대부분의 원재료에서는 고농도 처리시에 약간의 독성이 나타났으나 위해성이 없다는 것을 확인하였고, 폐목재칩은 열을 가하였을 때 높은 독성이 용출되는 것으로 보이며, 전처리에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다.

2. 개발된 유기고형배지에서 생육된 작물에 대한 안전성 평가

가. 연구목적

국내 양액재배는 수입에 의존하는 암면과 코코피트 등을 이용한 고형배지경이 주류를 이루고 있으며, 그 적용 면적이 점차적으로 증가하는 추세이다. 반면 이러한 소재를 적용하고 있는 양액배지에 대한 안전성 검증은 미비한 실정이다. 따라서 기존의 양액재배용 고형배지의 문제점과 단점을 극복하기 위해 개발된 친환경적인 양액재배용 매트형태의 고형배지와 이를 통해 생산된 농작물의 인체 안전성을 검증하고자 한다.

나. 실험재료 및 방법

(1) 실험재료

부숙혼합물, 부숙수피, 단일목재칩, 혼합칩을 비롯한 유기고형배지의 원재료를 채취하여 특성을 분석하였다. 또한 기존의 고형배지의 재료인 코코피트 및 원재료와 펄프슬러리를 일정 비율로 섞은 개발 유기 고형배지에서 생육한 작물을 이용하여 독성평가를 통해 배지로서의 인체 안전성을 평가하였다.

(2) 실험방법

(가) 원재료에 대한 안전성평가

4가지의 물질을 1g당 10mL 3차 증류수로 상온 상태에서 용출하여 sample을 제조하였다. 실험군은 1일, 2일, 4일 용출액과 80℃에서 1시간동안 추출한 열추출물로 설정하였다. 용출된 sample은 필터링 한 후, pH값을 중성으로 보정하여 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로

제작하였다. 이것을 이용하여 인간 유래 피부각질세포 (HaCaT; human keratinocyte)를 1% antibiotic antimycotic solution, 10% FBS (fetal bovine serum)를 함유하는 DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium) 배지와 함께 37°C, 5% 이산화탄소를 유지하는 Incubator 내에서 배양하였다. 수득된 각질세포를 96-well plate에 각 well당 5×10^4 cells/mL로 분주한 후, 유기 고형배지 원재료 용출액을 전체부피의 2.5, 5, 10 %씩 처리하였다. MTT 처리 후 분광광도계의 570nm에서 세포수를 측정하여 각 제조조건의 용출액에 대한 세포독성 여부를 세포 생존율을 통해 배지의 안전성을 평가하였다.

(나) 기간별 슬라브 폐수에 대한 안전성평가

원재료와 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 양액재배용 매트형태의 고형배지에서 발생한 기간별 폐수와 기존의 코코피트가 포함된 고형배지에서 발생한 기간별 폐수를 안전성평가의 실험군으로 설정하였다. 용출된 sample은 필터링한 후, pH값을 중성으로 보정하여 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였고 원재료 안전성평가와 동일한 조건으로 실험군의 처리 조건을 설정하였다.

(다) 유기 고형배지에서 생육된 작물에 대한 안전성평가

원재료와 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 양액재배용 매트형태의 고형배지 및 기존의 코코피트가 포함된 고형배지에서 기간별로 생육한 청치마상추를 안전성평가의 실험군으로 설정하였다. 뺀 상추 1g당 8ml의 PBS(Phosphate buffered saline)로 용출된 sample을 필터링한 후, pH값을 중성으로 보정하여 세포 안전성 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였고 원재료 안전성평가와 동일한 조건으로 실험군의 처리조건을 설정하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 원재료에 대한 안전성

그림 4는 원재료에 대한 안전성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 단일목재칩을 포함한 부속 혼합물의 경우 거의 독성을 보이지 않았으며 혼합칩에서 약간의 독성을 보이거나 유의미하지 않았다. 혼합칩을 비롯한 모든 샘플에서 농도에 의존적으로 독성이 나타나지는 않았으나 혼합칩의 경우에는 상온에서 용출하였을 때보다 80°C의 고온에서 용출하였을 때 독성이 저감되는 것으로 나타났다. 대부분의 샘플에서 거의 독성을 보이지 않았으나 부속수피의 경우 농도 의존적이지는 않지만 4일 용출액과 가열 용출액에서 약간의 독성을 나타내는 것으로 보아 용출시 시간에 따라 약한 독성이 점차적으로 용출되는 것으로 사료된다.

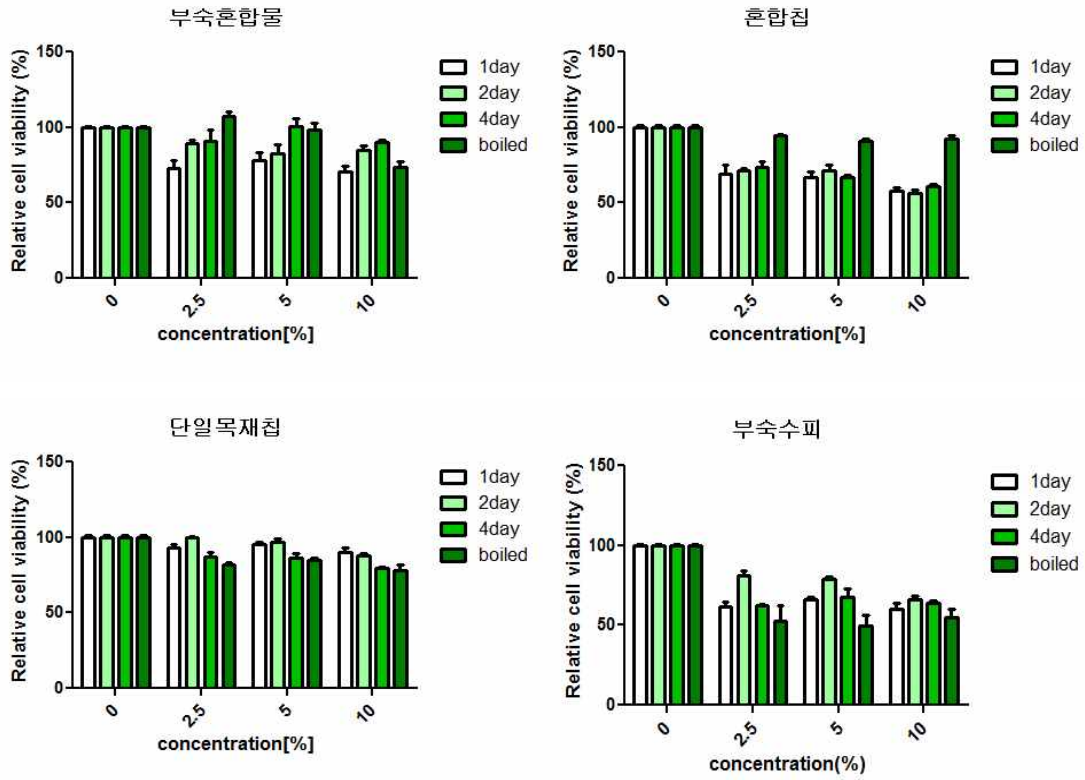
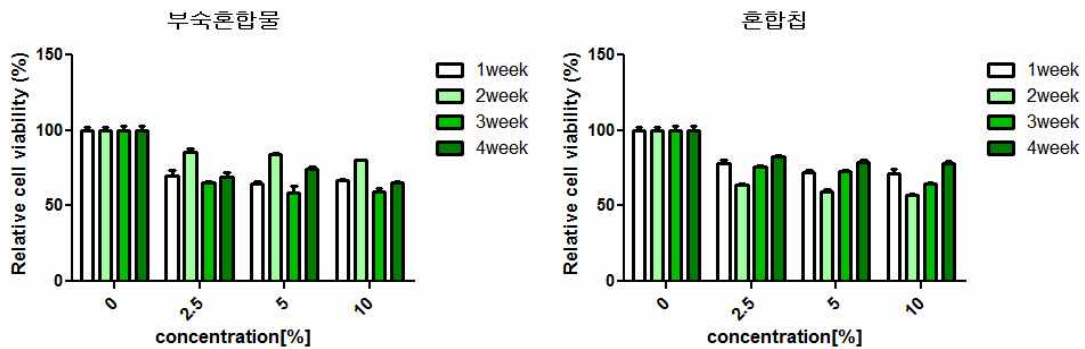


그림 4 세포 생존율을 통한 원재료 용출액의 세포 독성 평가

(2) 기간별 슬라브 폐수에 대한 안전성

그림 5는 기간별 슬라브 폐수의 안전성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 부속혼합물을 비롯한 대부분의 샘플에서 약간의 독성을 나타내었으나 용출 기간 및 농도에 따른 독성의 차이가 유의하지 않았으며 기존의 고품배지에 사용되었던 코코피트와 비교하였을 때 유의미한 독성의 증가가 나타나지 않았다.



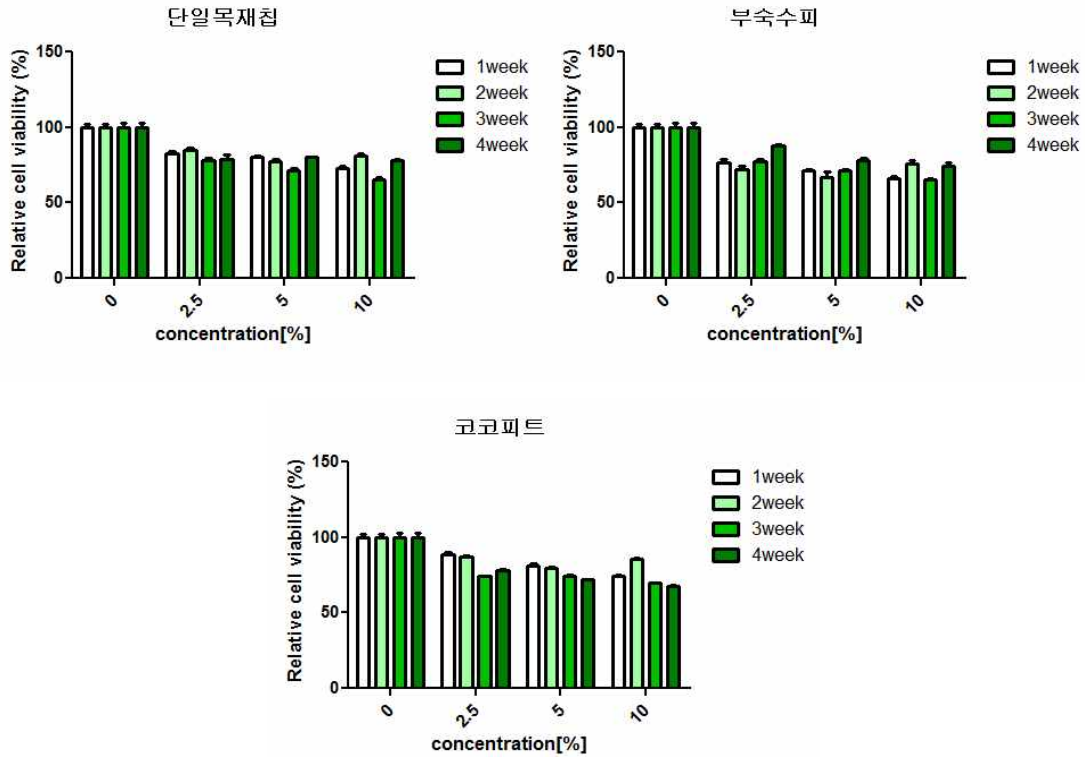
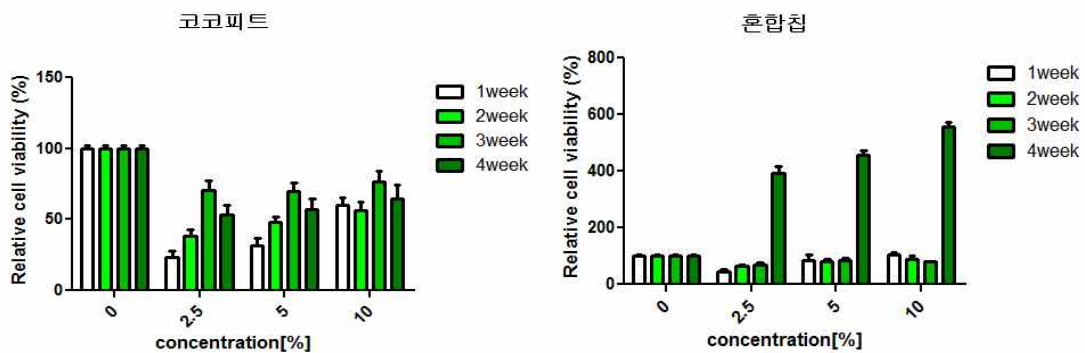


그림 5 세포 생존율을 통한 슬라브 폐수의 세포 독성 평가

(3) 생육된 작물에 대한 안전성

그림 6은 기간별로 생육된 작물에 대한 안전성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 생육된 작물은 청치마 상추로 주차에 따라 용출되었으며 기존의 고품배지와와의 인체 안전성을 비교하기 위하여 코코피트에서 생육된 상추의 안전성 평가를 함께 진행하였다. 코코피트의 경우 상추의 생육 주차가 늘어날수록 독성이 저감되는 것으로 나타났으나 초기 상추 용출액에서 유의미한 독성이 검출되는 것으로 나타났다. 반면, 혼합칩을 비롯한 샘플의 상추 용출액에서 생육초기에는 약간의 독성이 검출되나 유의미하지 않았고 4주차 상추 용출액에서는 독성이 검출되지 않음은 물론 세포의 성장을 촉진하는 것으로 나타났다. 기존의 고품배지인 코코피트와 비교하였을 때 장기간 생육시 작물의 인체안전성이 높게 확보되는 것으로 사료된다.



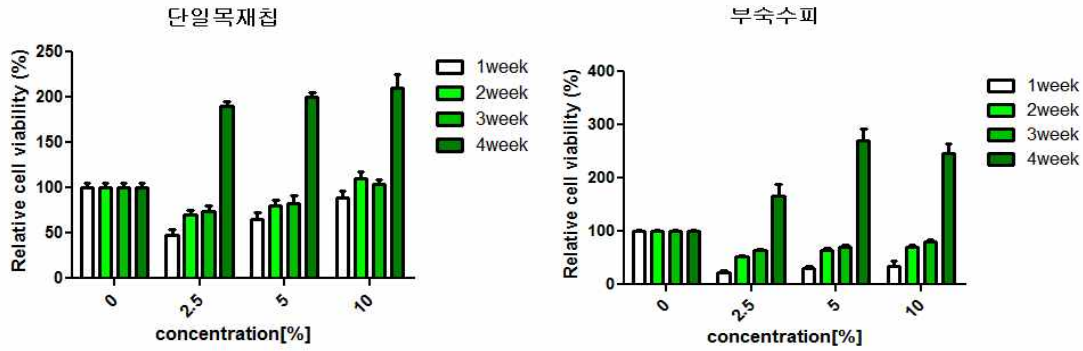


그림 6 세포 생존율을 통한 생육 작물의 세포 독성 평가

라. 결론

원재료에 대한 안전성 평가에서 대부분 유의미한 독성을 보이지 않았고 부속수피의 경우 약간의 독성을 나타내었으나 양액재배용 매트형태의 유기고형배지로 개발하여 용출한 슬라브 폐수의 독성 평가를 통해 부속수피의 세포독성이 기존의 고형배지와 비교하여 위해성이 증가하지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 기존의 고형배지와 개발된 유기 고형배지에서 생육된 작물의 독성 평가를 비교해보았을 때 장기간 생육시 개발 고형배지에서의 작물의 세포 안전성이 기존의 고형배지에 비해 크게 확보되는 것으로 확인되었다.

따라서, 대부분의 원재료에서는 독성이 나타나지 않았으며, 부속수피의 경우 약간의 독성을 보였으나 위해성이 없다는 것을 확인하였고, 기존의 고형배지와 비교하였을 경우 작물의 생육에 호영향을 끼치는 것으로 확인하였다.

3. 개발된 유기고형배지에서 생육된 작물에 대한 항산화능 평가

가. 연구목적

국내 양액재배는 수입에 의존하는 암면과 코코피트 등을 이용한 고형배지경이 주류를 이루고 있으며, 그 적용 면적이 점차적으로 증가하는 추세이다. 기존의 양액재배용 고형배지의 문제점과 단점을 극복하기 위해 개발된 친환경적인 양액재배용 매트형태의 고형배지와 이를 통해 생산된 농작물의 항산화능을 검증하고자 한다.

나. 실험재료 및 실험방법

(1) 실험재료

기존의 고형배지의 재료인 코코피트 및 원재료와 펄프슬러리를 일정 비율로 섞은 개발 유기 고형배지에서 생육한 작물을 이용하여 DPPH assay를 통해 생육작물의 항산화능을 평가하였다.

(2) 실험방법

(가) 유기 고형배지에서 생육된 작물에 대한 항산화능 평가

원재료와 펄프슬러리의 비율을 6:4로 제조한 양액재배용 매트형태의 고형배지 및 기존의 코코피트가 포함된 고형배지에서 기간별로 생육한 청치마상추를 항산화능 평가의 실험군으로 설정하였다. 뺀 상추 1g당 8ml의 PBS(Phosphate buffered saline)로 용출된 sample을 필터링한 후, pH값을 중성으로 보정하여 DPPH assay에 적용 가능한 시료로 제작하였고 각각의 실험군을 1, 2.5, 5, 10, 20, 40%씩 처리하였다.

다. 결과 및 고찰

(가) 유기 고형배지에서 생육된 작물에 대한 항산화능

그림 7은 기간별로 생육된 작물에 대한 항산화능을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 생육된 작물을 주차별로 용출하여 항산화능 평가를 진행하였다. 1주차의 경우 기존의 고형배지인 코코피트에서 생육된 상추의 항산화능과 개발 유기 고형배지에서 생육된 상추의 항산화능 차이가 미미하게 나타났다. 그러나 생육 주차가 증가할수록 부숙수피, 단일목재칩, 혼합칩에서의 항산화능이 기존 고형배지에서 생육된 작물에 비해 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 개발 양액재배용 매트형태의 유기 고형배지에서 작물을 장기간 생육할 때 기존의 고형배지보다 작물의 항산화능이 증가하는 것으로 사료된다.

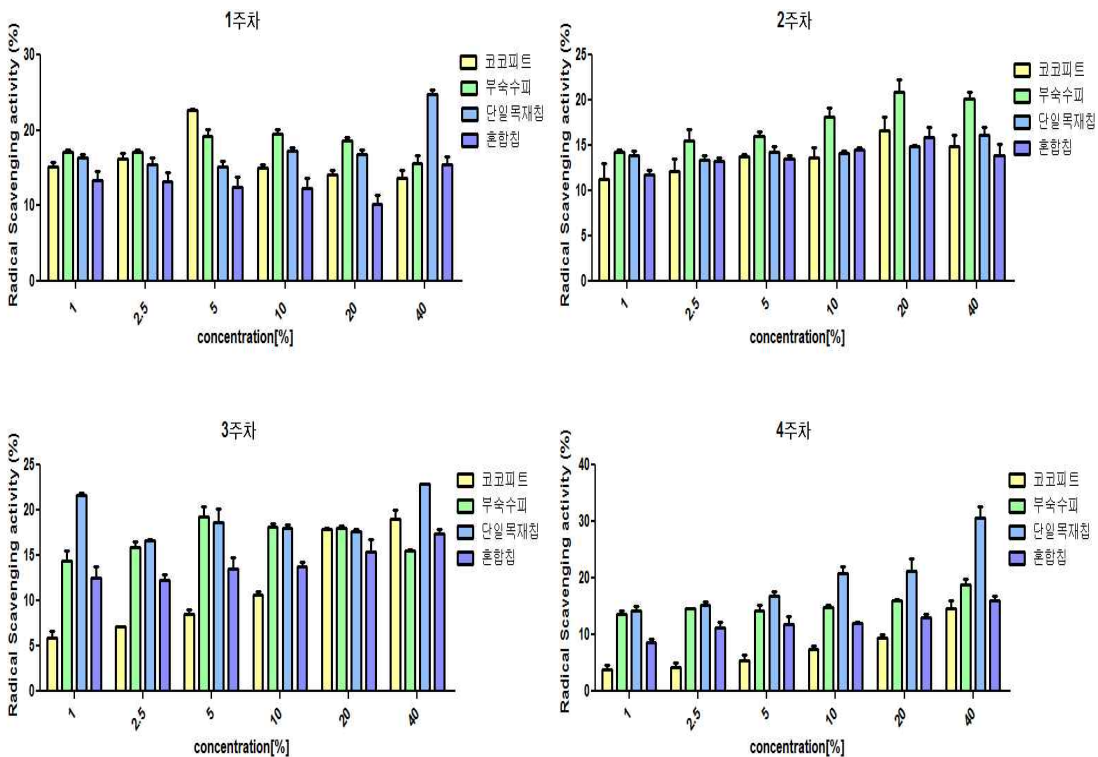


그림 7 DPPH assay를 통한 생육 작물의 항산화능 평가

라. 결론

고형배지에서 생육된 작물의 항산화능 평가는 생육초기의 작물에서는 기존의 고형배지에서 생육된 작물과 비교하여 유사한 정도의 항산화능을 보였으나 3주 이상 생육하였을 때 기존의 고형배지에서 생육된 작물에 비해 저농도의 작물 용출액에서도 더 높은 항산화능을 보임을 확인할 수 있었다.

따라서 개발 유기 고형배지에서 장기간 생육된 작물의 항산화능이 기존의 고형배지보다 뛰어난 것을 검증하였다.

4. 개발된 유기고형배지의 생물학적 유용성 평가

가. 연구목적

국내 양액재배는 수입에 의존하는 암면과 코코피트 등을 이용한 고형배지경이 주류를 이루고 있으며, 그 적용 면적이 점차적으로 증가하는 추세이다. 반면 기존의 고형배지에 대한 생물학적 유용성 평가는 미비한 실정이다. 기존의 양액재배용 고형배지의 문제점과 단점을 극복하기 위해 개발된 친환경적인 양액재배용 매트형태의 고형배지의 항균 및 항진균 활성 평가로 생물학적 유용성을 검증하고자 한다.

나. 실험재료 및 실험방법

(1) 실험재료

개발 유기 고형배지의 원재료인 부숙수피, 단일목재칩, 혼합칩과 펄프슬러리를 일정 비율로 섞은 개발 양액재배용 매트형태의 유기 고형배지의 용출액을 이용한 항미생물 평가를 통해 생물학적 유용성을 평가하였다.

(2) 실험방법

(가) 유기 고형배지의 생물학적 유용성 평가

매트 형태의 개발 고형배지를 쪼개어 1g당 10mL 3차 증류수로 상온에서 용출하여 sample을 제조하였다. 실험군은 1일, 2일, 4일 용출액과 80°C에서 1시간동안 추출한 열 추출물로 설정하였다. 용출된 sample은 필터링 한 후, pH값을 중성으로 보정하여 항미생물 평가에 적용 가능한 시료로 제작하였다. 작물 오염 및 식물병원성 미생물인, 그람양성세균 *Staphylococcus aureus*(*S. aureus*)와 그람음성세균인 *Escherichia coli*(*E. coli*), 밀등썩음병 병원균인 *Rhizoctonia solani* (*R. solani*)와 시들음병(위황병) 발병 원인 곰팡이인 *Fusarium oxysporum raphani*(*F. oxysporum*), 탄저병균 *Colletotrichum gloeosporioides*(*C. gloeosporioides*)를 대상으로 disc diffusion assay를 수행하였다. 100mm의 plate에 세균은 6×10^7 cells/mL, 곰팡이는 5×10^4 cells/mL을 분주하여 진행하였다.

다. 결과 및 고찰

(가) 유기 고형배지의 생물학적 유용성

그림 8은 disk diffusion assay를 이용한 항미생물 평가 결과를 나타낸 것이다. 개발 고형배지를 동량의 균에 처리하였을 때 부숙수피, 단일목재칩, 혼합칩을 이용한 개발 고형배지에서 모두 유사한 형태로 항미생물성이 증가하였다. *S. aureus*의 경우 고형배지의 용출시간이 증가할수록 높은 온도에서 용출할수록 고형배지의 종류에 관계없이 항균성이 증가하였다. 또한 *E. coli*의 경우에도 미미한 차이이긴 하나 용출시간에 따른 항진균력의 증가를 나타냈다. 반면 곰팡이의 경우 *R. solani*와 *F. oxysporum*에서는 고형배지 추출액이 특별한 항미생물성을 나타내지 않았다. 그러나 탄저병균인 *C. gloeosporioides*의 경우 약간의 항진균력을 나타냈으며 특히 고온에서 용출한 용출액의 경우 다른 용출액에 비해 유의미한 항진균력을 나타내었다. 이를 통해 개발 고형배지가 일부 세균 및 진균에 대한 항미생물성을 가지고 있음으로 사료된다.

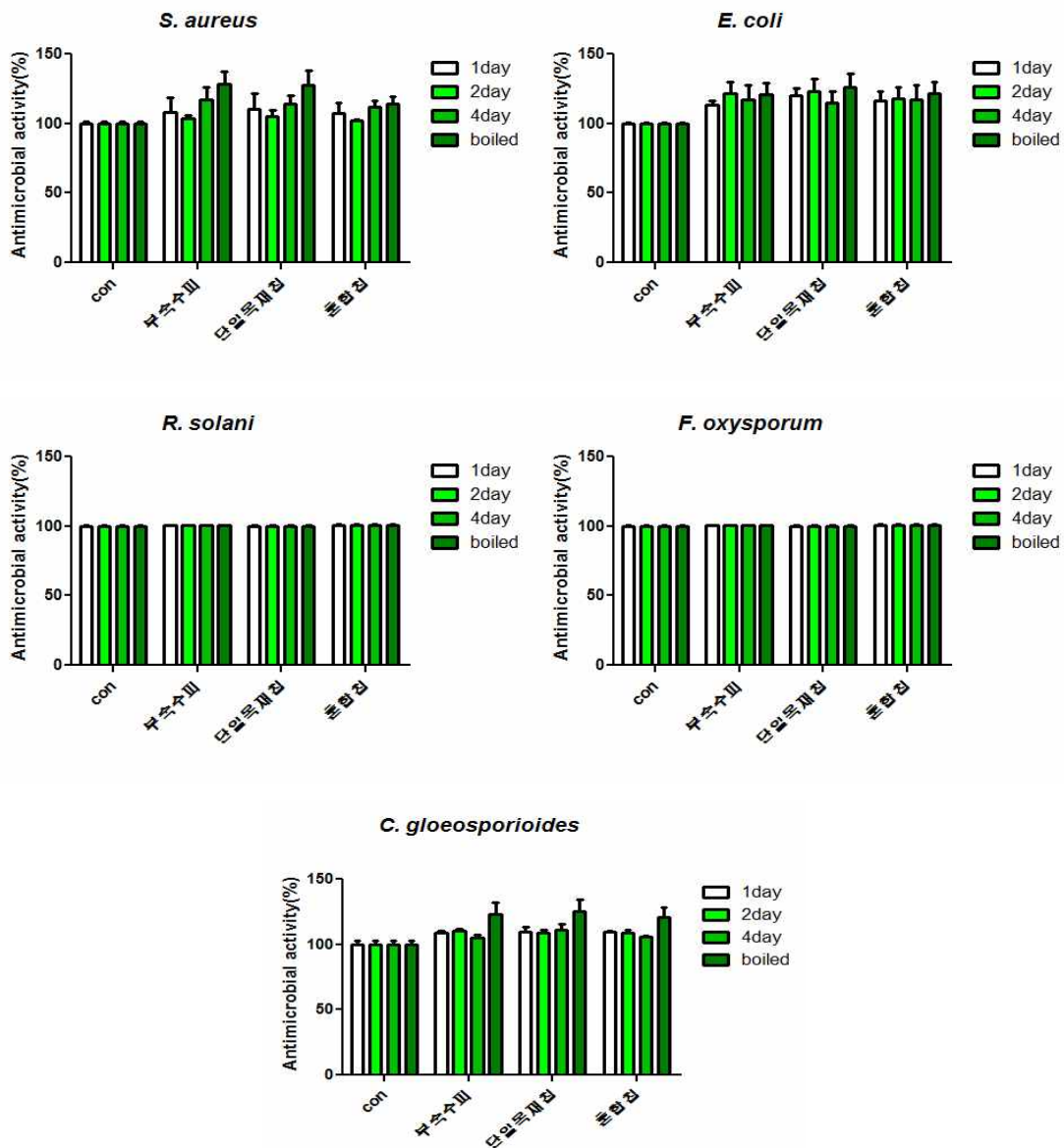


그림 8 Disk diffusion assay를 이용한 항미생물 평가

라. 결론

개발 양액재배용 매트형태의 고행배지의 항미생물성 평가는 배지의 종류별 차이는 크지 않고 용출시간에 비례하여 더 높은 항균성을 획득하는 것으로 확인할 수 있었다. 진균의 경우 모든 진균에서 항진균성을 가지지는 못하였으나 고온에서 용출시 탄저병균인 *C. gloeosporioides*에 대한 항진균성을 획득하는 것을 확인하였다.

따라서, 재배 작물의 섭취를 통하여 식중독을 유발할 수 있는 식인성 위해미생물인 *S. aureus* 와 *E. coli*에 대한 항균성을 획득하고 고추, 오이 등의 국화과 작물의 탄저병을 유발하는 식물 병해 진균으로 알려진 *C. gloeosporioides*에 대한 항진균성 획득을 확인함으로써 개발고행배지의 유용성을 검증하였다.

제 3 절 목재고형배지를 이용한 양액재배시스템의 경제성 및 시장성 분석

1. 목재고형배지 및 LED 작물생산시스템의 경제성 분석

가. 연구목적

본 연구는 목재고형배지 및 작물생산시스템의 경제성 분석을 위하여 우리나라 시설재배 현황과 양액재배시장 현황을 분석하고, 시계열 분석을 통한 미래 목재고형배지의 수요예측 및 목재고형배지 생산을 위한 비용 및 판매가격을 산출하였다. 이를 토대로 기존 암면, 코코피트 재배시스템과 순현재가, 내부수익율, B/C율, 자본회수기간 등을 비교하여 목재고형배지를 이용한 작물생산시스템의 경제성을 분석하였다.

(1). 목재고형배지의 수요 예측

(가) 시설재배 현황 분석

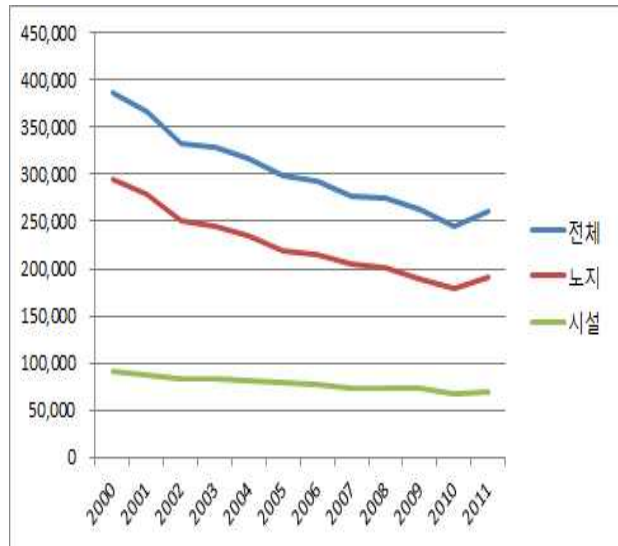
우리나라는 과거 토지이용형 농업에서 기술자본집약형 농업으로 전환 중에 있으며, 유리온실, 비닐하우스 등과 같이 외부환경과 격리된 공간에서 식물생산에 필요한 환경을 인공적으로 조절하여 작물을 생산하는 시설농업은 자본 및 기술집약적 농업의 전형적인 예라 할 수 있다. 하지만, 국토개발 및 도시화 등으로 인하여 채소농가면적은 2000년 386,391 ha에서 2011년 260,507 ha로 약 33%정도 감소하였으며, 시설농가에 비하여 노지농가의 면적이 크게 감소하고 있는 추세이다(표 1). 10년간의 농가면적의 변화추세를 바탕으로 시계열분석 결과 2020년 전체 채소농가면적은 173,103 ha 노지 120,119 ha, 시설 54,204 ha로 2000년에 비하여 각각 55%, 59%, 40%가량 감소할 것으로 나타났다(표 2).

전체 시설농가면적이 감소추세를 보이고 있지만 양액재배면적은 2000년 474 ha에서 2011년 3,009 ha로 급격히 증가하고 있다. 이는 양액을 이용한 시설재배는 고품질의 농산물을 다수확할 수 있고 노동력 경감 및 재배과정에서 병충해 발생의 문제를 최소화 시킬 수 있는 효율적 시스템으로 그 수요는 계속 증가할 것으로 예상된다. 표 3과 같이 우리나라 양액재배 방식은 2009년까지 고품배지 재배방식이 1,224 ha, 79.6% 로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 2010년에는 시설재배에 대한 정부지원이 이루어지며 시설농가가 증가하면서 비고형배지 재배가 크게 증가하였으나 아직까지 고품배지를 활용한 방식이 대부분이다. 배지의 종류별로는 암면 334 ha, 펠라이트 319 ha, 코코넛피트 239 ha, 기타 순으로 과거 암면과 펠라이트 배지 위주의 배지사용에서 점차 다양화 되고 있다.

표 1. 2000~2011년 채소농가면적의 변화

(단위 : ha)

년도	전체	노지	시설
2000	386,391	295,764	90,627
2001	366,298	279,877	86,421
2002	333,645	251,101	82,544
2003	328,170	244,801	83,369
2004	315,937	235,123	80,814
2005	297,961	219,492	78,469
2006	292,259	215,897	76,361
2007	277,521	204,149	73,372
2008	275,486	201,291	74,195
2009	262,995	188,854	74,140
2010	245,251	178,870	66,382
2011	260,507	191,897	68,610

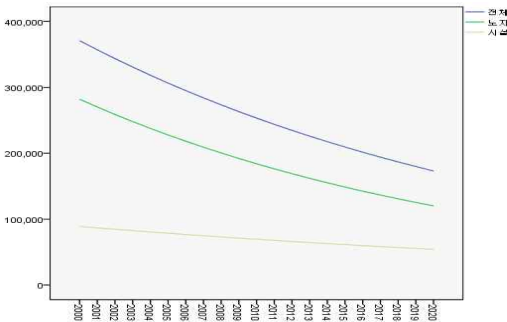


*자료 : 농림수산식품부 채소생산실적(2000~2011)

표 2. 2000~2020년 채소농가면적의 변화

(단위 : ha)

년도	전체	노지	시설
2012	234,784	168,977	66,089
2013	226,007	161,920	64,472
2014	217,559	155,158	62,894
2015	209,427	148,678	61,354
2016	201,598	142,469	59,853
2017	194,062	136,519	58,388
2018	186,808	130,817	56,958
2019	179,825	125,354	55,564
2020	173,103	120,119	54,204



자료 : 농림수산식품부 채소생산실적(2000~2011)

표 3. 2000~2011년 국내 양액재배 현황 (농림부, '00~'10 고시)

(단위: ha)

재배방식		'00	'01	'02	'03	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11
비고형 배지경	담액경(DFT)	59.0	39.0	36.0	52.0	46.0	61.0	82.0	79.0	99.0	88.0	129.0
	박막경(NFT)	12.0	8.0	6.0	6.0	9.0	13.0	14.0	24.0	24.0	46.0	44.0
	분무경	16.0	41.0	47.0	26.0	43.0	113.0	132.0	85.0	118.0	527.0	565.0
	기 타	7.0	26.0	9.0	11.0	1.0	58.0	58.0	583.0	8	549.0	549.0
	소 계	94.0	114.0	98.0	95.0	99.0	245.0	286.0	771.0	249.0	1,210.0	1,287
고형 배지경	암 면	136.0	171.0	194.0	286.0	329.0	338.0	286.0	478.0	408.0	334.0	340.0
	펄라이트	229.0	220.0	233.0	194.0	175.0	198.0	212.0	233.0	264.0	319.0	590.0
	기 타	15.0	30.0	40.0	41.0	75.0	136.0	156.0	249.0	303.0	727.0	792.0
	소 계	380.0	421.0	467.0	522.0	578.0	672.0	654.0	960.0	975.0	1,380.0	1,772.0
합 계		474.0	535.0	565.0	617.0	677.0	917.0	940.0	1,731.0	1,224.0	2,590.0	3,009

*자료 : 농림수산식품부 (2000~2011)

*고형배지 코코넛피트 재배면적은 기타배지에 포함 (2010년 230 ha, 2011년 398 ha)

(나) 고형배지 재배면적 변화 분석

① run-test결과

목재고형배지 수요분석을 위하여 암면, 펄라이트, 기타배지의 면적변화를 토대로 시계열분석을 하였다. 먼저 2000~2011년까지 양액재배 면적변화가 일정한 추세를 나타내고 있는지를 확인하기 위하여 run test를 실시하였으며, run test결과 양액재배 전체면적, 고형배지, 기타배지 재배면적은 $p < 0.01$ 로 일정한 추세 변화를 보이고 있다(표 4). 또한 그림 에 나타난 것과 같이 2000년부터 양액재배 면적의 증가와 더불어 고형배지의 재배면적이 꾸준하게 증가하고 있으며, 이 중 암면은 2008년을 기준으로 감소추세에 있으며, 2010년부터 기타(코코넛피트 등)배지를 활용한 재배면적이 증가추세를 보이고 있다.

표 4. 시설재배 및 양액재배면적의 run test 결과

구분	전체	비고형배지	고형배지	암면	펠라이트	기타배지 (코코피트 등)
검정값a	1160.50	387.08	773.42	300.67	253.92	221.08
케이스 < 검정값	8	9	8	5	9	8
케이스 >= 검정값	4	3	4	7	3	4
전체 케이스	12	12	12	12	12	12
런의 수	2	4	2	4	2	2
Z	-2.645	-.836	-2.645	-1.457	-2.507	-2.645
근사 유의확률(양측)	.008	.403	.008	.145	.012	.008

* a. 평균 *p<0.01

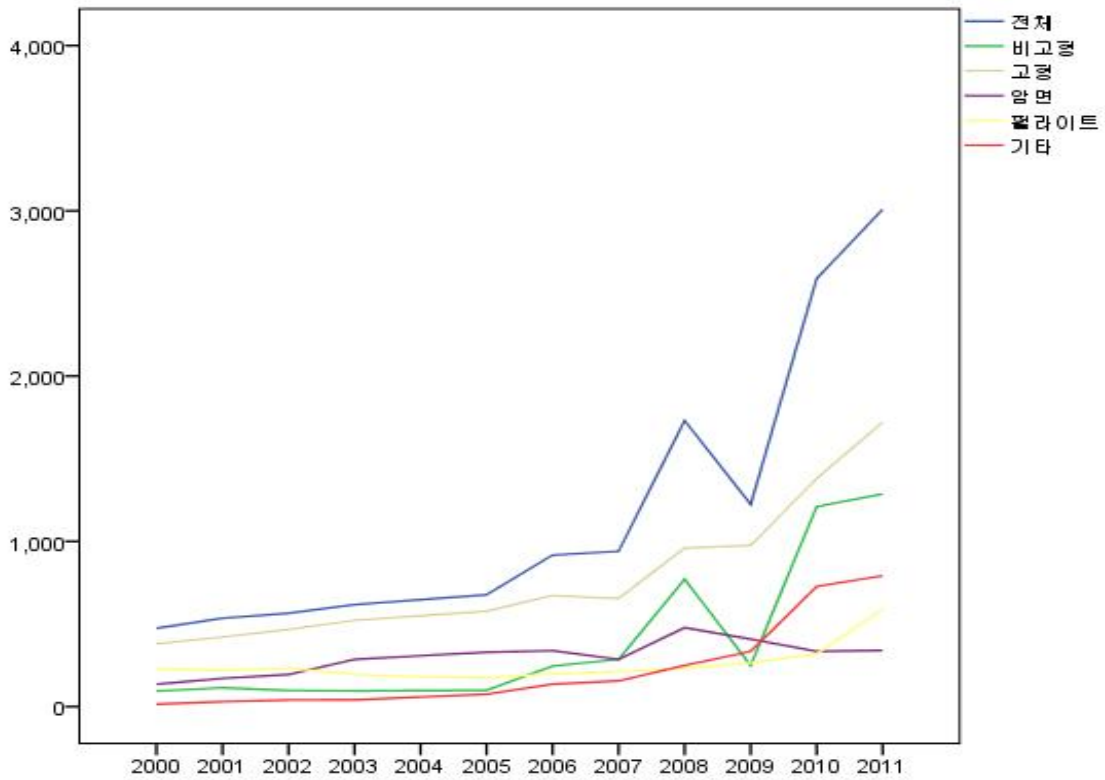


그림 1. 2000~2011년 양액재배현황

② 시계열분석 결과

2020년까지의 고품배지 재배면적(암면·필라이트·기타_코코피트 등)에 대한 시계열분석결과는 표 5와 그림 2에 나타났다. 필라이트를 제외한 모든 항목이 $p < 0.01$ 로 모두 통계학적으로 유의하게 나타났다. 배지 유형별 수정지수모형은 고품배지 전체적으로는 완만한 상승곡선을 보이고 있으나, 기타 배지(코코피트)재배면적의 경우 급격한 상승곡선을 나타내고 있다. 또한 2020년까지 고품배지 전체면적의 증가는 4,333 ha이며, 이 중 암면 875 ha, 필라이트 540 ha, 기타 2,635 ha으로 까지 증가할 것으로 분석되었다.

표 5. 고품배지 재배현황에 대한 분산분석 결과

	전체	제공합	자유도	평균 제공	F	유의확률
고형배지 전체	회귀 모형	2.720	1	2.720	115.831	.000
	잔차	.235	10	.023		
	합계	2.954	11			
암면	회귀 모형	1.033	1	1.033	20.216	.001
	잔차	.511	10	.051		
	합계	1.544	11			
필라이트	회귀 모형	.561	1	.561	6.186	.032
	잔차	.906	10	.091		
	합계	1.467	11			
기타 (코코피트 등)	회귀 모형	19.989	1	19.989	374.952	.000
	잔차	.533	10	.053		
	합계	20.522	11			

(다) 목재고형배지의 수요 예측

2020년까지의 고품배지 재배면적의 변화는 그림 3과 같다. 암면 및 필라이트의 재배면적은 느린 상승곡선을 나타내는 반면, 기타배지를 활용한 재배면적은 급격히 증가할 것으로 예상된다. 즉 국내 양액재배 시장은 고품배지를 활용한 재배면적은 계속 증가하는 추세이나 암면·필라이트 위주의 고품배지 시장은 2009년을 기점으로 코코피트, 톱밥, 훈탄배지 등으로 변화되고 있다. 이는 배양액 오염으로 인한 안정성, 폐기물 처리비용 및 환경오염의 문제가 발생하고 있는 암면·필라이트를 대신하여 코코피트¹⁾와 같이 가격이 저렴하고 폐기물 문제가 발생하지 않는 유기질 배지의 수요 증가로 나타난다.

따라서 폐목재·폐지를 활용하여 제조·생산하고, 수명연한이 다한 배지를 별도의 폐기물 처리과정 없이 퇴비 등으로 재활용가능한 목재고형배지는 자원의 지속가능한 이용뿐만 아니라, 경제적 안정성을 담보할 수 있는 장점을 지니고 있다. 이에 기존배지와 비교하여 작물생산량이 충족되고,

1) 재배면적이 급격히 증가하고 있는 코코피트 배지는 전량 수입에 의존하고 있어, 수입국의 환율 및 사회적 여건에 따라 가격 안정성을 담보할 수 없는 문제점을 안고 있다.

시설의 개·보수 없이 배지교체가 가능할 경우 암면·코코피트 등을 대체할 새로운 상품으로의 가능성과 수요는 충분하다고 할 수 있다.

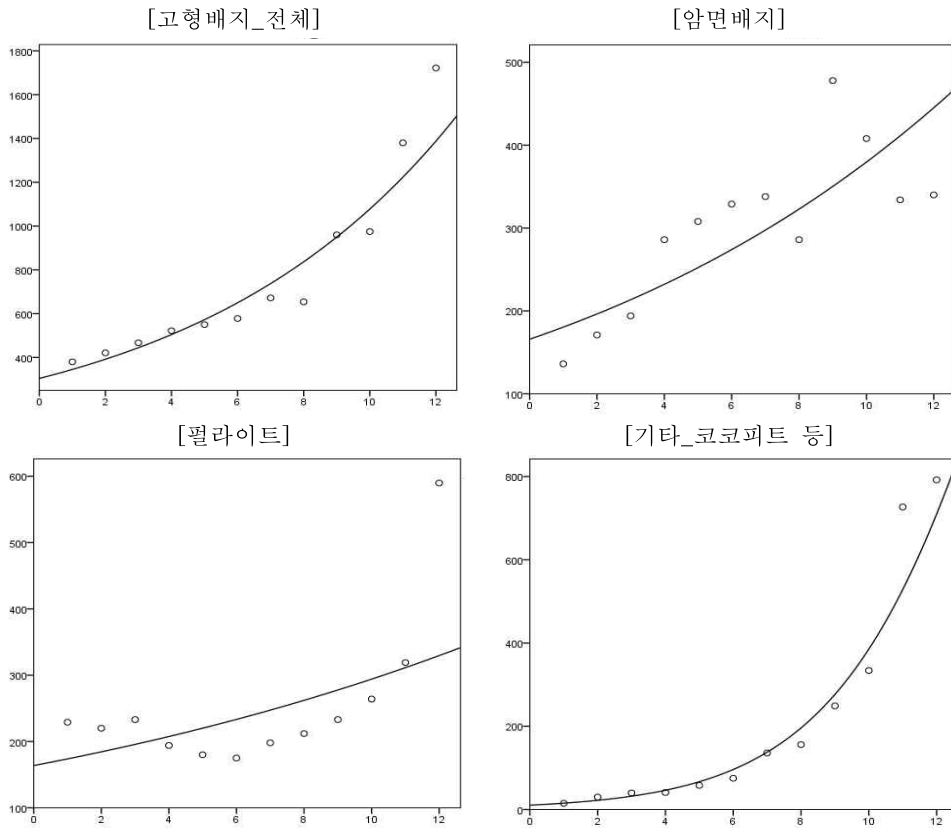


그림 2. 고형배지 재배면적의 시계열예측결과의 수정지수 및 로지스틱 모형

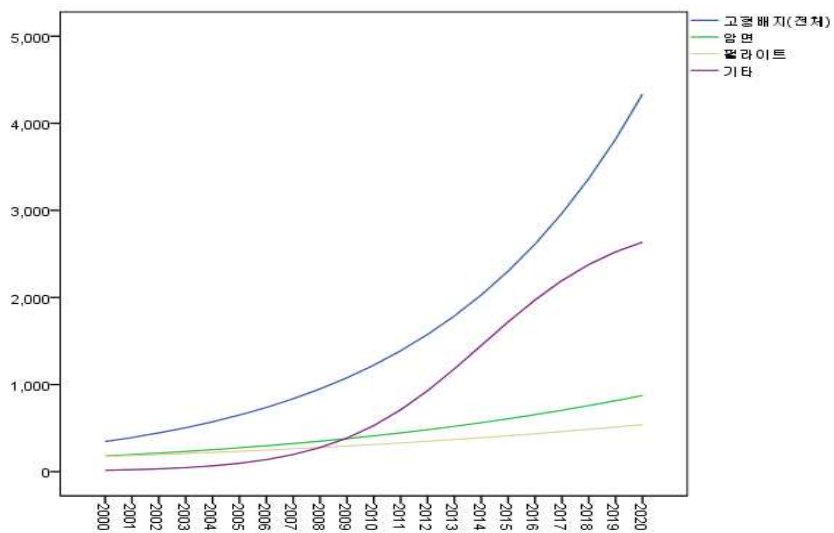


그림 3. 2000년~2020년까지의 고형배지 재배면적 변화

나. 목재고형배지의 생산비용 분석 및 판매가격 산출

(1) 산출방법

국내에서 유통되고 있는 암면·코코피트 배지는 수입산이 대부분이고, 국내에서 생산되고 있는 암면제품에 대한 제조공정은 공개되지 않아 기존배지의 생산 단계별 비용분석이 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 목재고형배지의 판매가격을 산출하여 기존배지와 비교·분석하였으며, 먼저 목재고형배지의 생산비용 분석을 위해 제조과정, 제조원료의 비용을 산출하였다. 두 번째로 제품의 판매가격은 직접재료비, 직접노무비, 제조간접비, 판매비와 관리비, 이윤으로 구성된다. 이에 목재고형배지의 제조과정을 분석하여 배지규격, 제조원료, 제조시간, 투입인력을 산출하여 직접재료비와 직접노무비를 산출하였으며, 직접적으로 집계될 수 없는 비용인 제조간접비, 관리비와 판매비, 이윤은 문헌조사를 통해 제조원가를 기준으로 각각 35%, 11%, 5%로 계상하여 제품의 판매가격을 산출하였다. 판매가격 산출 방법은 표 6과 같다.

표 6. 목재고형배지 판매가 산출방법

구분	연구방법	구분	연구방법
직접재료비	○ 슬라브 1개 제조에 소요되는 제조원료 구매비용	직접노무비	○ 슬라브1개 제조시간, 소요인력, 인건비
제조간접비	○ 직접재료비와 직접노무비의 35% ¹⁾	판매비와 관리비	○ 제조원가(재료비+노무비+간접비)의 12% ²⁾
이윤	○ 제조원가의 5% ³⁾		

1) 이주성, 1998, 2) 홍철규, 2010, 3) 조덕희, 2012

(2) 목재고형배지의 생산비용 분석

(가) 배지 제조과정

목재고형배지의 제조는 ① 해리 및 혼합 ② 압축성형 ③건조의 3단계를 거쳐 제조된다. 먼저 폐백상지를 물과 함께 혼합하여 해리시킨 후 제조된 펄프슬러리와 폐목재칩을 혼합(8:2)하고, 다음으로 압력기를 이용하여 압축성형을 진행한다. 압축성형된 배지는 상온에서의 자연건조(48시간)과 오븐건조(24시간)과정을 거친 후 완성되게 된다. 완성된 목재고형배지 8개로 1개의 슬라브를 제조한다.

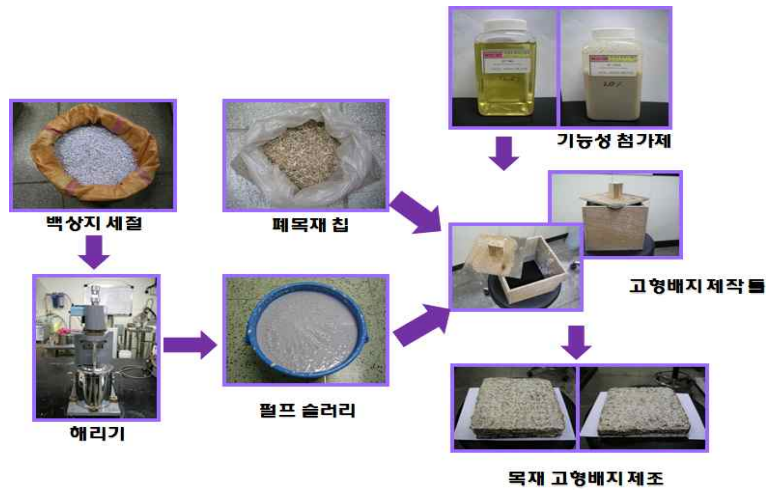


그림 4. 목재고형배지 제조과정

슬라브 1개 제조에 소요되는 인력은 1~2명이며, 제조시간은 해리 및 혼합, 압축성형까지 20분, 자연건조 및 오븐건조시간이 72시간이 소요된다. 이 중 건조 과정은 별도의 관리 인력이 필요치 않고, 건조기에 거치 및 꺼낼 때에만 인력이 소요되므로, 이후 직접노무비 산출을 위해 필요한 제조시간에서 제외하였다. 목재고형배지는 폐목재칩 280g, 폐백상지 70g으로 제조되며, 목재고형슬라브 1개의 제조를 위해서는 폐목재칩 2240g, 폐백상지 560g이 소요된다. 목재고형슬라브 제조과정에 따른 제조시간, 인력, 원료 등은 표 7과 같다.

표 7. 목재고형배지 제조과정 분석결과

제조시간	제조인력	제조원료	슬라브 규격
20분	1명	<ul style="list-style-type: none"> 폐목재칩 : 2,240g 백상지 : 560g 	<ul style="list-style-type: none"> 규격 : 가로 20cm × 세로 80cm × 높이 80cm 중량 : 1.4kg

(3) 제조원료에 대한 비용산출

(가) 목재칩 수출입 현황

국내에서 유통되는 목재칩은 대부분 미국, 중국, 베트남, 호주, 인도네시아, 캐나다 등에서 수입하고 있으며 연도별 수입량 및 수입액을 살펴보면 2003년 968,929톤 / 64,588천달러에서 2010년 1,002,771톤 수입액 108,165천달러로 수입량 및 수입액이 크게 증가하였다(표 8). 이는 수입목재칩을 사용할 경우 환율변동 및 수입국가 정책에 따라 구매비용이 불안정하지만, 국내

에서 발생하는 임지폐잔재 목재칩의 경우 수입 목재칩에 비하여 저렴하고 가격안정성을 보장 받을 수 있는 장점이 있다.

표 8. 목재칩 수입현황(2003~2010)

구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
수입량(톤)	968,929	1,038,598	984,916	1,020,109	885,453	1,098,919	753,015	1,002,771
수입액(천US\$)	73,904	93,055	95,454	97,748	90,356	136,721	68,118	108,165

(나) 숲가꾸기 산물을 이용한 목재칩 생산비용

과거 숲가꾸기를 통해 수집된 산물은 주로 인력작업에 의존하는 시스템이었으며 그 활용은 톱밥, 목탄, 지주목 등의 형태로 중간수집상을 거쳐서 제조업자에게 유통되는 시스템이었다. 최근 숲가꾸기 산물 수집·활용을 위해 지역별 거점 산물 집하장 조성 및 고효율 수집시스템을 개발하는 등 기존에 임지에서 버려지는 폐목재를 목재칩·목재펠릿 생산을 위한 기반조성이 활발히 진행 중이다.

목재칩은 숲가꾸기, 간벌 등으로 생산되는 산물을 목제품 제조원료 및 연료생산을 목적으로 목재칩 파쇄기를 이용하여 잘게 절삭한 목재조각을 의미한다. 크기는 50~150mm로 가공비 및 에너지 소비가 적으나 대용량의 설비를 필요로 한다. 이러한 목재칩 생산을 위해 소요되는 비용은 산물수집을 위한 인건비 및 간벌재를 임도까지 끌어내리는데 소요되는 집재비용, 원목을 파쇄기까지 운반하는데 소요되는 상차비와 운반비, 파쇄비용, 그리고 목재칩을 실 수요자에게 공급하는데 소요되는 운반비가 포함된다.

목재칩 1톤을 생산하기 위해서는 원목수집비용 31,985원, 원목상차비용 5,889원, 원목 운반비용 16,825원, 칩핑비용 10,007원, 칩 운반비용 8,412원, 칩생산자 고정비용 및 이윤 21,935원으로 목재칩 1톤을 생산하는데 소요되는 총비용은 95,053원이 소요되고 목재칩 1m³를 기준으로 하며 31,485원이 소요된다. 이에 본 연구에서는 목재칩의 톤당 가격인 95,053원을 기준으로 목재고형 배지의 판매가격을 산출하였다(표 9).

표 9. 숲가꾸기 산물을 이용한 목재칩 생산비용

구분	목재칩 1톤 생산기준	목재칩 1m³ 생산기준	비고
원목수집(집재)비용	31,985원	10,595	인력
원목상차비용	5,889원	1,951	14원/재
원목운반비용	16,825원	5,573	40원/재
칩핑비용	10,007원	3,315	
칩운반비용	8,412원	2,786	원목운반비용의 절반
칩생산자 고정비용 및 이윤(30%)	21,935원	7,226	
총비용	95,053	31,485	

*자료 : 변우혁 (2003) 숲가꾸기 산물의 경제적 활용방안에 관한 연구

다. 목재고형배지의 판매가격 산출

(1) 산출방법

제품의 판매가는 제품의 기초원가인 직접재료비와 직접노무비 그리고 제조간접비, 일반관리비와 판매비, 이윤을 고려하여 결정한다. 목재고형배지의 기초원가인 직접재료비는 폐목재의 수집·운반·제조 비용을 고려하고, 직접노무비는 제품제조시간과 인건비를 고려하여 산출하였다. 그리고 간접비에 해당하는 제조간접비는 간접재료비, 간접노무비, 보험료, 세금 등이 포함되는데 이는 제품생산을 위해서 직접적으로 집계될 수 없는 비용으로 통상 간접비는 직접노동시간당 비율배분법, 직접노무비 비율배분법, 기초원가 비율배분법 등을 사용하여 산출하지만, 목재고형배지의 경우 이러한 산출방법을 적용하기가 어렵다. 이주성(1998)의 연구에 따르면 제품원가는 직접노무비, 직접재료비, 제조간접비로 구성되며 오늘날의 제조환경에서는 총원가의 약 5~15% 정도가 직접노무비, 재료비는 45~55%로 구성되며 제조간접비는 약 30~50% 정도를 차지한다고 하였다. 목재고형배지는 현재 제품개발단계이고 자동화단계가 이루어지지 않은 상태이기 때문에 본 연구에서는 제조간접비를 1990년대 수준인 기초원가(직접재료비+직접노무비)의 35%수준으로 설정하였다.

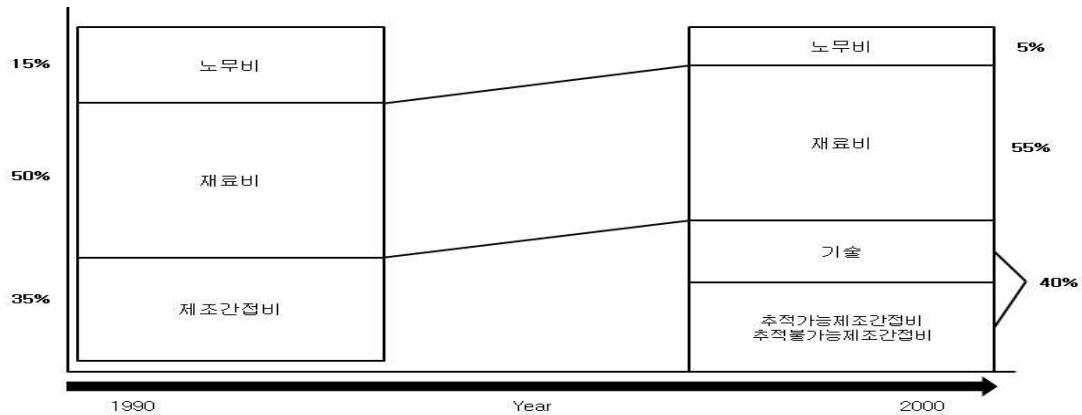


그림 5. 제품원가 구성비율의 추세

* 이주성(1998)'제조환경변화에 따른 간접비 배부에 관한 연구'에서 재인용

다음으로 판매비와 관리비는 제품판매에 소요되는 마케팅, 분배, 판매후 서비스 활동등을 말하며, 우리나라 제조업의 경우 평균적으로 매출액의 12%에 달할 정도로 중요한 비중을 차지하고 있는 항목이다(홍철규, 2010). 판매비와 관리비에 포함하는 항목은 매우 다양할 뿐만 아니라 상당부분 임의적이고 재량적인 성격으로 간주되어 책정되고 있다. 이에 본 연구에서는 목재고형배지의 판매비와 관리비는 제품의 제조원가의 12% 수준으로 하고, 이윤은 5%²⁾로 설정하여 판매가를 산출하였다.

2) 1998년~2010년까지의 중소기업 및 대기업의 매출액 영업이익율을 살펴보면 대기업은 1998년 6.53%에서 2010년 7.83%로 변화하였고, 중소기업은 1998년 6.01%에서 2010년 5.55%로 중소기업-저이윤, 대기업-고이윤의 상황이 10년이상 계속되면서 점차 고착화 되는 모습을 보인다고 하였다. 이에 1998년~2010년까지의 국내 중소기업 매출액 영업이익율의 평균가인 5%의 이윤율을 적용하였다. (산업연구원, 2012, 제조중소기업의 경영성과 및 경쟁력 실태분석)

(2) 산출결과

먼저 목재고형배지 1개의 슬라브 제조에 소요되는 직접재료비는 폐목재칩과 폐백상지의 비용이다. 폐목재칩은 2.24kg, 폐백상지는 0.56kg이며, 목재칩 가격은 1톤에 95,053원, 폐백상지는 1kg 당 100원으로 계산하여 직접재료비는 268.9원/kg 이었다. 두 번째로 직접노무비는 제조시간과 소요인력, 시간당 인건비로 계산하였으며, 이때 임금은 법정 최저임금을 적용하여 직접노무비는 시간당 1603.8원으로 산출되었다. 세 번째 제조간접비는 직접재료비와 직접노무비 합산금액의 35% 수준으로 책정하여 655.4원으로 나타났다. 제품의 직접재료비, 직접노무비, 제조간접비를 합한 비용이 제조원가에 해당하며 판매비와 관리비, 이윤은 이를 바탕으로 각각 제조원가의 12% 303.4원, 5% 126.4원으로 산출하였다.

목재고형배지 판매가격은 표 10과 같이 기초원가 1,872.7원 제조간접비 655.4원, 판매비와 관리비 303.4원, 이윤 126.4원으로 슬라브 1개당 가격은 2,957.9원이다.

표 10. 목재고형배지의 판매가격 산출

항목			비용(단위:원)	산출방법
판매 가	제조 원가	기초 원가	직접재료비 268.9 직접노무비 1603.8 소계 1872.7	○ 폐목재칩 비용 + 폐백상지 비용 ○ 제조시간 × 소요인력 × 시간당 인건비
		제조 간접비	간접재료비 간접노무비 제조경비비 655.4	○ 기초원가의 35%
		소계	2528.1	
	판매비와 관리비		303.4	○ 제조원가의 12%
	이윤		126.4	○ 제조원가의 5%
	총계		2,957.9	

라. 기존 고품배지제품과의 비교·분석

(1) 기존배지의 판매가격

암면배지는 현무암이나 안산암 같은 화성암을 용해시킨 후 공기 또는 수증기를 불어넣어 섬유상으로 만든다음 압축 열처리를 하여 만들어지는 무균제품으로 식물재배 중 변하거나 상호작용을 일으키지 않은 것이 특징이다. 국내에서 판매되는 암면제품의 규격은 12×120×7.5~20×100×7.5(폭·길이·높이/cm)의 다양한 규격으로 판매되고 있으며 가격은 2,100원~3,300원으로 다양하다(표 11).

표 11. 압면배지 제품현황(슬라브)

제품명	규격(폭·길이·높이, cm)	가격(원)	업체
그로담(엑스퍼트)	12×120×7.5	2,100~3,300	그로담
컬티렌	15×90×7.5		대영GS
	15×90×7.5		대영GS
	15×100×7.5		대영GS
	12×133×7.5		대영GS
UR수퍼매트	15×90×7.5		한국UR암면
	15×100×7.5		한국UR암면
	15×100×10		한국UR암면
명성매트	15×90×7.5		명성프라콘
	15×90×10		명성프라콘
	20×100×7.5		명성프라콘

* 이용범(2011) 배지종류 및 특성. 강원농업마이스터 대학 강의자료

코코피트 배지는 코코넛 섬유질을 압축성형하여 만든 제품으로 취급이 용이하고, 흡수성·통기성·보수성·투수성이 용이한 것이 특징이다. 국내에서 판매되는 코코피트 제품의 규격은 15×90×4 ~ 20×100×7.5(폭·길이·높이/cm)의 다양한 규격으로 판매되고 있으며 가격은 1,100원 ~ 1,500원으로 압면보다 슬라브 1개당 약 1,000원 가량 저렴하다(표 12).

표 12. 코코피트 제품현황 (슬라브)

제품명	규격(폭·길이·높이, cm)	가격(원)	업체
코코믹스	15×90×4	1,100~1,500	(주)서원양행
	15×90×4		(주)서원양행
Bio-gro	15×90×8		대영GS
	17×98×13		대영GS
프로핏	15×90×7.5		(주)그로존
	15×100×7.5		(주)그로존
	20×100×7.5		(주)그로존
Green Isle	20×100×10		신성미네랄
Multipit	10×100×20		명성프라콘
	8×90×15		명성프라콘

* 이용범(2011) 배지종류 및 특성. 강원농업마이스터 대학 강의자료

(2) 목재고형배지 판매가격과의 비교·분석

본 과제에서 비교군으로 삼은 압면 및 코코피트 슬라브는 한국 유아미디어 제품으로 사용하였으며, 본 연구에서는 규격 20×100×7.5(폭·길이·높이/cm)의 제품을 기준으로 하였다. 가격은 국내에서 판매되고 있는 가격의 평균인 압면 2,700원, 코코피트 1,300원으로 책정하고 목재고형배지와 비교·분석하였다.

표 13과 같이 규격 20×100×7.5cm(폭·길이·높이)의 슬라브의 1개의 구입비용은 코코피트 1,300원, 압면 2,700원, 목재고형배지 2,958원이며, 1ha 면적에 설치할 경우 압면 26,190천원, 코코피트 12,610천원, 목재고형배지 28,692천원으로 그 비용이 가장 높았다.

하지만 농가에서는 압면 및 코코피트 구매 시 약 40톤(9,500개)가량을 구매하여 슬라브 1개당

약 10~20%정도 할인된 가격으로 판매되어 지고 있다. 따라서 목재고형배지를 대량생산, 대량 판매할 경우 현재 산출된 2,958원에서 15%정도 할인 금액인 2,514원 정도의 가격으로 책정 가능할 것으로 예상되며, 1ha 면적에 목재고형배지로 도포할 경우 약 24,385천원이 소요된다. 그리고 폐기물 처리비용을 고려하면, 암면배지는 재배면적 1ha당 최소한 100m³의 암면이 배출되며 그 처리비용 역시 1천만원 이상 소요되어³⁾, 배지 이외의 시설비용과 운영유지비가 동일하다는 가정 하에 고품배지의 가격 측면에서는 ①코코피트가 가장 우수하고, 다음으로 ②목재고형배지, ③암면순이라 할 수 있다.

그러나 본 연구는 폐목재 사용을 통해 발생하는 사회적 편익 및 환경적 건전성을 고려하지 않고 경제적 비용만을 산출한 결과로서 2차년도에 시행하는 전과정평가에 의한 환경비용을 고려한다면 목재고형배지의 경제성을 보다 제고될 것으로 판단된다.

표 13. 암면·코코피트·목재고형배지의 판매가격

구분	암면	코코피트	목재고형배지
슬라브 1개(20×100×7.5cm)	2,700원	1,300원	2,514원
1ha 재배면적당 소요금액	26,190,000원	12,610,000원	24,385,800원
폐기물처리비용	13,000,000원	-	-

* 배지 20×100×7.5cm 크기의 슬라브로 1ha 면적에 도포시 약 9,700개가 소요됨

* 1ha 암면재배농가의 폐기물 처리비용 : 암면 10,000천원, 비닐 및 스티로폼 3,000천원

마. 목재고형배지를 이용한 LED작물생산 시스템의 경제성 분석

목재고형배지를 이용한 LED작물생산시스템에 대한 경제성 분석을 위해 초기투자비용, 수명연한, 연간수입, 연간지출, 잔존가치를 분석하여 현금흐름도를 작성하고 이를 바탕으로 순현재가치(Net Present Value; NPV), 내부투자수익율(Internal Rate of Return; IRR), 편익비용비율(Benefit Cost Ratio; B/C Ratio)을 기준으로 암면·코코피트배지와 비교·분석하였다.

(1) 현금흐름도

(가) 현금흐름도 작성기준

- ① 초기투자비용 : 초기투자비용에는 양액기, 양액재배 기반시설 조성비용, 배지·배드 구매 및 설치비, 광조절도 및 조명시설비용 등의 비용이 포함된다. 이 중 양액기, 양액조절 및 관수시설, 배수시설에 대한 비용은 암면배지·목재고형배지 시설에서 동일하게 발생할 것으로 추정하여 초기투자비용 항목에서 제외하고, 배지·배드구매 및 설치비, 광도조절 및 조명시설비용 항목을 바탕으로 산출하였다.
- ② 수명연한 : 고품배지의 수명연한은 암면배지 2~3년, 코코피트 1~2년 정도를 사용하고 폐기 처리하는 경우가 대부분이다. 농가에서는 수명연한이 다한 배지를 약품처리하여 재 활용하는 경우가 있지만 본 연구에서는 이러한 경우는 제외하였으며, 목재고형배지 2년, 암면배지 3년, 코코피트 2년으로 수명연한을 설정하고 이를 바탕으로 공통배수법을 활용하여 현금흐름도를 작성하였다.
- ③ 연간수입 : 현재 양액재배 농가에 대한 통계조사는 재배면적을 기준으로 집계되고 있으

3) 박권우(1999) 양액재배. 아카데미서적. p211

며, 작물생산량에 대한 조사는 이루어지지 않고 있다. 또한 LED를 이용한 작물생산시스템의 생산성은 2차년도 연구결과를 바탕으로 산출할 수 있어 본 연구에서는 1ha를 기준으로 암면과 목재고형배지 농가에서 발생하는 생산량은 동일하다고 가정하였다. 양액재배 농가와 전화인터뷰 결과 1ha 면적에서 발생하는 연간수입은 재배작물과 당해연도 시장가격, 사회적 여건 등에 따라 상이하지만 통상 약 100,000천원~300,000천원 정도 발생한다고 하였다. 이에 본 연구에서는 1ha면적에서 발생하는 연간수입액은 200,000천원으로 설정하였다.

- ④ 연간지출 : 연간지출 항목에는 비료구입 및 시설운영 등을 위한 전기·수도 요금 등이 있고, 1년에 약 4천~6천만원 정도가 발생한다. 1ha 60라인 규모의 설비를 기준으로 조명은 약 5,000개 가량이 설치되며, 이중 LED 조명의 초기설치비용은 형광등에 비하여 고가이지만, 수명연한이 5만시간으로 형광등(3천시간, 교체주기 0.34년)에 비하여 연간 지출항목이 거의 없다. 이에 목재고형배지의 연간지출비용은 비료구입 및 시설운영비 50,000천원, 암면재배시설은 조명시설(형광등)교체비용을 추가하여 산출하였다.
- ⑤ 잔존가치 : 잔존가치는 사용연한 경과 후 자산의 가치를 감가상각 등을 고려하여 산출하는 항목이며 양액재배에서는 양액기, 양액조절 및 관수시설 등이 포함된다. 하지만 본 연구에서는 암면과 목재고형배지시설에 공통으로 포함되는 양액기, 양액조절 및 관수시설, 배수시설의 비용은 잔존가치에서 제외하였으며, 수명연한이 다한 암면배지를 처리하는 과정에서 발생하는 폐기물비용을 잔존가치로 계상하였다.

표 14. 목재고형배지와 암면배지 재배시스템의 편익·비용

구분	목재고형배지	암면재배시스템	코코피트
초기 투자 비용	○ 배지 및 배드시설: 24,385천원 ○ LED 조명설치 : 590,000천원 (설치수량: 5,000개, 단가 : 118천원)	○ 배지 및 배드시설 : 26,190천원 ○ 형광등 조명설치 : 100,000천원 (설치수량 : 약 5,000개, 단가 : 20천원)	○ 배지 및 배드시설 : 12,610천원 ○ 형광등 조명설치 : 100,000천원 (설치수량 : 약 5,000개, 단가 : 20천원)
수명연한	○ 2년	○ 3년	○ 2년
연간수입	○ 200,000 천원	○ 200,000 천원	○ 200,000 천원
연간지출	○ 비료구입 및 시설운영 : 50,000천원	○ 비료구입 및 시설운영 : 50,000천원 ○ 형광등교체 : 22,000천원 (교체수량5,000개, 단가1500원, 교체주기0.34년)	○ 비료구입 및 시설운영 : 50,000천원 ○ 형광등교체 : 22,000천원 (교체수량5,000개, 단가1500원, 교체주기0.34년)
잔존가치	-	○ 암면배지의 잔존가치 : -13,000천원	-

(나) 현금흐름 분석

목재고형배지와 암면·코코피트 배지의 수명연한을 고려하여 최소공배수법으로 6년간의 현금흐름도를 작성하였다. 목재고형배지 LED시스템의 경우 첫째 614,385천원을 투자하여 매년 150,000천원(연간수입-연간비용)의 수익을 올리고 있으며, 2년 단위로 목재고형배지 투자비용

인 24,385천원이 지출된다. 암면배지 재배시스템의 경우 첫째 126,190천원을 투자하여 매년 128,000천원(연간수입-연간비용)의 수익을 올리고 있으며, 3년 단위로 암면배지 투자비용 262,690천원과 폐기물처리비용(잔존가치) 13,000천원이 지출된다. 코코피트 재배시스템은 첫째 112,610천원을 투자하여 매년 128,000천원의 수익을 올리고 있으며, 2년 단위로 배지교체 비용 12,610천원이 지출된다.

표 15. 목재고형배지 LED시스템 및 암면재배시스템의 현금흐름도

(재배면적: 1ha)

구분		목재고형배지 LED시스템	암면배지 재배시스템	코코피트배지 재배시스템
비용자료	초기투자	614,385천원	126,190천원	112,610천원
	수명	2년	3년	2년
	연간수입	200,000천원	200,000천원	200,000천원
	연간비용	50,000천원	72,000천원	72,000천원
	잔존가치	-	-13,000천원	-
연말		목재고형배지 LED시스템	암면재배 시스템	코코피트배지 재배시스템
현금흐름도	0	- 618,692	- 126,190	- 112,610
	1	150,000	128,000	128,000
	2	150,000 - 24,385	128,000	128,000-12,610
	3	150,000	128,000 - 262,690 - 13,000	128,000
	4	150,000 - 24,385	128,000	128,000-12,610
	5	150,000	128,000	128,000
	6	150,000 - 24,385	128,000 - 262,690 - 13,000	128,000-12,610

(2) 목재고형배지를 이용한 LED시스템의 경제성 분석 결과

목재고형배지를 이용한 LED시스템과 암면재배시스템의 경제성은 ①순현재가치(NPV) ②내부수익율(IRR), ③ 편익비용비율(B/C Ratio), ④ 회수기간(Pay Back Period : PBP)을 기준으로 분석하였다. 각 분석법에 따른 계산식은 아래와 같으며, 사회적 할인율은 5.5%⁴⁾로 책정하였다.

$$\text{순현재가치 (NPV)} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

$$\text{내부수익율 (IRR)} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+R)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+R)^t}$$

$$\text{편익비용비율 (B/C)} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

* B_t : 연도 t 의 편익, C_t : 연도 t 의 비용, i : 할인율, n : 분석기간

$$\text{회수기간법 (PP)} : N = \frac{\log\left(\frac{R}{R-iP_0}\right)}{\log(1+i)}$$

* N : 회수기간, P_0 : 초기투자액, i : 할인율, R : 연간이익

4) 사회적 할인율이란 공공투자사업의 경제적 타당성 평가에서 편익과 비용의 추정치를 현재가치로 환산하기 위해 적용되는 중요한 파라미터로서 '국무총리실(2010) 규제영향분석서 작성지침'에서는 사회적 할인율 5.5%를 활용할 것을 권고하고 있다.

목재고형배지 LED작물생산시스템은 B/C을 1.11으로 투자의 타당성이 있는 것으로 판단되며, 초기투자자본의 회수기간은 4.8년으로 분석되었다. 또한 내부수익율이 9.3%로 할인율 5.5%를 감안 투자의 타당성이 있는 것으로 판단된다. 암면배지 재배시스템 역시 B/C율이 1.18로 투자의 타당성이 있는 것으로 판단되며 내부수익율은 51%로 매우 높게 나타났다. 암면배지의 자본회수기간을 산출한 결과 1.0년으로 초기투자후 1년후에 비용을 회수 할 수 있는 것으로 나타났지만 이는 암면배지의 폐기물처리비용과 같은 잔존가치를 계상하지 않아 나타난 결과이다. 코코피트배지는 순현재가치 496,164천원, 내부수익율 108.7%, B/C율 4.46, 회수기간 0.92년으로 현재 우리나라 양액재배 유형 중 가장 경제성이 높은 것으로 나타났다.

그리고 목재고형배지 재배시스템에 LED를 적용하지 않을 경우 경제성은 NPV 565,660원, IRR 113.11, B/C율 4.08, 자본회수기간 0.86년으로 투자의 타당성 및 경제성이 매우 높은 것으로 나타났다.

표 16. 목재고형배지 LED시스템과 암면·코코피트배지 재배시스템의 경제성 분석

구분	순현재가치(NPV)	내부수익율(IRR)	B/C율	회수기간
목재고형배지 LED시스템	75,667 천원	9.3%	1.11	4.8년
암면배지 재배시스템	78,513 천원	51.2%	1.18	1.0년
코코피트배지 재배시스템	496,164 천원	108.7%	4.46	0.92년
목재고형배지 재배시스템 (LED 미사용시)	565,660 천원	113.11%	4.08	0.86년

본 연구에서는 목재고형배지의 수명연한을 2년을 기준으로 경제성을 분석하였으나, 목재고형배지의 수명은 매트형태가 붕괴되는 기준으로 최소 2년 최대 4년까지 사용할 수 있을 것으로 예상된다. 이에 목재고형배지의 수명연한을 4년으로 하였을 경우 목재고형배지 LED시스템의 순현재가치는 629,993천원, 내부투자 수익률 21.37%, B/C율 1.95로 나타났다<표-17>.

표 17. 목재고형배지 LED시스템의 배지 수명연한 변화에 따른 경제성 분석

수명연한	순현재가치(NPV)	내부수익율(IRR)	B/C율
2년	75,667 천원	9.3%	1.11
3년	96,493 천원	10%	1.15
4년	629,993 천원	21.37%	1.95

바. 결론

본 연구는 목재고형배지에 대한 수요를 예측하고, 생산비용분석 및 판매가격을 산출하여 목재고형배지를 이용한 LED 작물생산시스템의 경제성을 분석하였다.

연구결과 2000년도부터 현재까지 감소추세를 보이고 있는 전체 농가면적과는 달리 양액재배를 통한 시설농가 면적은 증가추세이며 2020년까지 고형배지 재배면적의 증가율은 매우 높게

나타났다. 1990년대부터 2000년대 중반까지 고품배지 재배면적의 대부분은 암면과 펄라이트였으나, 2009년을 기점으로 코코피트, 왕겨, 훈탄과 같은 유기질 배지의 재배면적이 급속히 확대되고 있다.

이는 무기질배지가 지니는 배지구입 및 폐기물 처리비용, 매립으로 인한 환경오염 등의 문제 해결을 위해 유기질 배지로의 수요 변화 때문이며, 2020년에는 유기질 배지의 재배면적이 암면·펄라이트 재배면적의 약 2배가량 증가될 전망이다. 이에 환경적으로 건전하고 경제적 안정성을 담보할 수 있는 폐목재 고품배지는 작물생산량 충족 및 시설 개보수 없이 배지교체가 가능할 경우 새로운 상품으로서의 가능성과 수요는 충분한 것으로 나타났다.

다음으로 목재고형배지의 생산비용 분석을 통해 제품 판매가격을 산출하고 기존배지와 비교·분석한 결과 1ha규모의 재배시설에 소요되는 비용은 ①코코피트 12,610천원 ②목재고형배지 24,385천원, ③암면 26,190천원 순으로 나타났다.

이의 결과를 바탕으로 목재고형배지를 이용한 LED 작물생산 시스템과 기존배지와 경제성을 비교·분석한 결과 양액재배시설 및 작물생산량이 동일하다고 가정하였을 때 코코피트 배지의 경제성이 B/C율 4.46, IRR 108.7%로 가장 우수하게 나타났다. 암면배지 재배시스템과 목재고형배지 LED작물생산시스템은 2가지 방식 모두 순현재가치 75,000천원, B/C율 1.11 이상으로 투자의 타당성이 있으나 내부수익율 및 자본회수기간 측면에서는 암면배지가 목재고형배지에 비하여 우수하게 나타났다.

1차년도 연구는 목재고형배지 판매가격과 LED 작물재배시스템의 시설설치에 따른 경제성 분석 결과이다. 즉 폐목재 사용을 통해 발생하는 사회적 편익 및 환경재로서의 가치와 LED시스템을 통해 생육된 작물 생산량 측면을 고려하지 않고 재무적으로 발생할 수 있는 편익·비용을 분석한 결과라 할 수 있다. 연구결과 목재고형배지가 암면·코코피트배지에 비하여 확연히 드러나는 경제적 우수성은 없지만 코코피트 수요 증가와 더불어 무기질 배지(암면, 펄라이트)를 대체할 수 있는 상품으로서 충분한 가치가 있는 것으로 분석되었다. 2차년도에 시행하는 LCA평가와 LED 시스템을 통해 발생하는 환경적 가치와 작물생산량을 포함시킨다면 목재고형배지의 경제성은 더욱 높게 나타날 것으로 사료된다.

2. 작물생산 실용화 시스템에 대한 전과정평가 및 시장성 분석

가. 이론적·실험적 접근 방법

(1) 연구배경 및 목적

현재 국내 농업은 기술자본집약형 농업으로 전환 중에 있으며 작물생산에 필요한 환경을 인공적으로 조절하여 작물을 생산하는 시설농업은 자본 및 기술집약적 농업의 대표적인 예라 할 수 있다. 이 중 생력적이면서 작물의 품질 제어가 가능한 양액재배는 농촌 노동력의 감소와 고품질 상품의 요구에 부응할 수 있고, 농산물을 공산품처럼 일련의 과정을 통해 외부 기후 환경에 제한을 받지 않고 계속해서 생산할 수 있는 대표적인 기술자본집약형 농업이라 할 수 있다.

국내의 양액재배는 1954년 중앙농업기술원에서 10ha 정도의 온실을 만들어 양액재배를 시작하였으나, 실질적인 양액재배에 대한 연구는 1970년대부터 시작되어 그 역사가 매우 짧다(박권우·김영식, 1999). 그러나 1990년대부터 양액재배 면적은 급속히 증가하였으며, 2000년 이후 전체 농가면적 및 시설농가의 면적은 감소하는 추세이나, 양액재배면적은 계속해서 증가하고

있다. 이는 양액재배 관련 기술의 향상과 고품질의 작물 생산이라는 국민적 요구 뿐만 아니라 생력적 농법, 토지의 고도 이용, 불모지와 같은 특수 환경에서의 식물생산이라는 양액재배가 가지는 여러 가지 이점으로 나타난 결과라 할 수 있다(박권우·김영식, 1999).

1차년도 연구는 목재고형배지의 수요예측과 목재고형배지의 경제성 분석을 목적으로 실시하였다. 연구결과 고품배지를 활용한 양액재배 면적은 2020년까지 2000년 대비 약 40% 가량 증가할 전망이다, 특히 2009년을 기점으로 코코피트, 왕겨, 훈탄과 같은 유기질 배지의 재배면적이 급속히 확대될 것으로 분석되었다. 또한 목재고형배지는 현재 많은 농가에서 활용하고 있는 암면·코코피트 배지와 같은 무기질 배지를 대체할 수 있는 상품으로서 충분한 가치가 있는 것으로 분석되었다. 즉 1차년도 연구에서는 문헌분석과 통계자료 분석을 바탕으로 목재고형배지의 경제성과 미래 시장의 규모를 예측하였다면, 2차년도는 실제 농가를 대상으로 목재고형배지의 시장가치를 분석하고 제품의 환경성을 측정하고자 하였다.

따라서 본 연구의 목적은 양액재배용 목재고형배지에 대한 농가주민 인식조사를 통해 개발된 목재고형배지의 시장성을 분석하고, 목재고형배지 제조과정에서의 환경영향을 파악하고자 하였다. 먼저 실제 농가에서 양액재배를 활용한 영농규모의 확대·축소계획, 양액재배 시설의 교체 및 개·보수 계획, 양액재배 배지 선택의 기준, 목재고형배지에 대한 사용의사 및 경제적 지불의사 등을 조사·분석하여 개발된 목재고형배지가 상품화 되었을 때의 시장성과 농가에서의 활용가능성을 제시하였다. 그리고 목재고형배지에 대한 전과정평가를 통해 생산과정에서의 환경영향을 파악하고 이를 통해 증대한 환경영향이 있는 부분을 규명하고 이의 개선을 위한 대안을 모색하고자 하였다.

(2) 연구범위 및 방법

연구는 목재고형배지 시장성 분석을 위하여 양액재배 농가를 대상으로 인식조사를 실시하고 목재고형배지에 대한 전과정평가를 실시하였다.

먼저 양액재배 농가를 대상으로 한 인식조사는 ① 양액재배 영농규모의 확대·축소계획 ② 양액재배 시설의 교체 및 개·보수 계획 ③ 목재고형배지에 대한 농가 인식 ④ 양액재배를 위한 배지의 선택 기준과 중요도 분석을 실시하였다. 이 중 양액재배 영농규모의 확대·축소계획, 시설의 교체 및 개보수 계획, 목재고형배지에 대한 농가 인식은 설문조사와 더불어 인터뷰를 실시하였고 이의 결과를 종합하여 SPSS 20.0 프로그램을 활용하여 분석하였다. 그리고 양액재배를 위한 배지의 선택 기준과 중요도를 산출을 위하여 AHP분석을 실시하였다. AHP는 인간의 판단을 통해 합리적으로 문제를 해결하고 대안을 선택하는 방법으로서, 절대 평가가 아닌 쌍대비교를 통한 상대평가에 근거한 측정방법이다(박용성, 2009). AHP 결과분석은 전용 솔루션인 Expert choice 11.5 프로그램⁵⁾을 활용하였다. 즉 목재고형배지에 대한 설문과 농가주민과의 인터뷰, 배지 선택 기준과 중요도에 대한 AHP분석 결과를 토대로 목재고형배지의 시장성과 농가에서의 활용 가능성을 제시하였다.

둘째, 전과정평가(LCA : Life Cycle Assessment)는 제품의 원재료 생산, 제품 생산, 제품 사용, 폐기까지의 전과정에 걸친 제품의 환경적 영향을 평가하는 것이다. 전과정이란 제품 제조에 사용된 원료의 채취부터 제품의 최종 폐기까지를 의미한다. 원료 채취에서 폐기까지의 전

5) Expert choice 프로그램은 Saaty(1980)의 이론을 기반으로 의사결정을 효과적으로 내릴 수 있도록 지원해 주는 도구로서 AHP 분석에 활용되는 대표적인 프로그램이다.

과정은 제품의 탄생에서 최종적 단계까지 포괄하는 의미에서 ‘요람에서 무덤까지(cradle to grave)’라는 말로 표현한다. 한편 제품의 이용 목적과 특성에 따라서 원료채취에서 제품 제조까지의 단계까지 평가하고 사용과 폐기 단계를 제외하는 경우 ‘cradle to gate’ 라는 표현을 사용하고 있다.(<http://www.greenbiz.go.kr>). 환경성 평가의 도구로써 전과정평가는 정량화된 방법으로써 각광을 받고 있으나, 단계의 복잡성 및 시간과 노력, 비용 소모가 높은 단점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 단점을 개선하기 위하여 전과정평가의 방법론을 간략화(Simplified)하여 제품 또는 공정의 환경성 평가에 활용하는 사례가 늘고 있다. 전과정평가를 간략화(S-LCA : simplified life cycle assessment) 하는 방법으로는 전과정평가의 단계를 축소 또는 제거하거나 목록의 일부사항을 제거, 정량적 자료뿐만 아니라 정성적 자료의 사용, 특정 환경영향과 문제에 대한 집중적인 평가 등이 있다(이재영 외 3명, 2005).

본 과제에서는 시중에서 구입한 목재칩과 폐지 슬러리 등을 이용하여 목재고형배지를 제조하고, 제작된 시재료로 작물 성장량을 측정하였다. 따라서 목재고형배지의 원재료인 폐목재 수집·수송·제조 단계, 제품 생산, 제품 사용, 제품 폐기 단계에 대한 전과정평가를 시행하기에는 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는 S-LCA 방법론을 적용하여 목재고형배지의 생산단계에 대한 환경영향을 평가하였다.

나. 연구내용

(1) 이론적 고찰

(가) 시장성과 시장성 평가의 개념

시장성(marketability)은 상품이 구입 및 판매되는 가능성에 대한 척도이며, 상품시장성(product marketability)은 상품 및 판매업체에 따라 다르게 규정된다. 본질적으로 시장성은 어떤 상품이 구매자들에게 관심을 끌며 이익을 얻고, 어떤 가격 범위에서 판매될 수 있는지에 대한 척도라 할 수 있다. 상품에 대한 활발한 시장이 있다면, 그 상품은 좋은 시장성을 갖고, 시장성은 상품이 쉽게 구매 판매될 수 있다는 것을 의미하므로, 상품의 가치가 지속되는 것을 의미하는 유동성(liquidity)과 유사하다(강희선, 2013).

시장성 평가는 상품을 시판하려고 시도하기 전에 반드시 수행해야 하는 것으로서 해당 상품이 현행 및 미래 시장에서 시판 가능한지의 여부를 확인하는 절차이다. 즉 시장성 평가는 상품개발자가 상품을 시판하려는 시도에 앞서 수행해야 하는 과업으로 기초적으로 그 상품이 현재 시장의 다른 상품들에 대해 경쟁성과 현행 및 미래 시장에서 시판 가능한지 여부를 판단한다. 따라서 시장성 평가 결과들의 통합은 신상품의 가치를 결정하는데 도움을 줄 수 있다. ‘누가 이상품을 구매할 것인가?’, ‘이 상품의 원가는 얼마나 될 것인가?’ 등의 질문은 그 상품에 자원을 투자하는 것이 가치가 있는지를 결정하는데 도움을 준다. 개발하는 상품은 반드시 소비자 니즈 또는 요구들을 충족할 수 있어야 하며, 제조할 수 있어야 하고, 이익이 되는 가격으로 판매될 수 있어야 하며, 시장으로 인도 가능해야 하고, 안정된 시장기회를 가져야 하고, 안정성, 환경, 법률, 성능 기대치 및 기준을 통과해야 한다. 이러한 기준들을 통과해야 신상품 개발의 타당성이 인정된다. 시장분석은 해당 상품의 시장에 대한 추세, 상품의 소비자 사용자 및 형태를 고려하는 것이지만, 시장성 평가는 다른 상품들이 제공할 수 없는 가격, 독특함, 품질 등과 같이 다른 어떤 것을 그 상품이 소비자에게 제공할 수 있는지를 결정한다(강희선, 2013, www.investorwords.com).

시장의 경쟁상황 및 제품의 판매 가능성을 파악하기 위해서는 인구통계실태, 시장진입, 지속성, 경쟁포지션 관련 요인들을 분석해야 한다. 먼저 인구통계실태 요인들을 통해 상품화를 시도하는 제품에 대한 특수한 시장의 존재 여부와 제품이 관련 시장의 고객들에게 얼마나 중요한지를 파악하고 고객 기반의 폭이 어느 정도 인가를 분석하여야 한다. 둘째, 시장진입에 대한 잠재적인 경쟁사들의 수와 강도, 가능한 시장의 전체 크기, 시장진입에 대한 전형적인 장벽들, 고객에게 상품을 판매할 수 있는 사람들을 규명해야 한다. 셋째, 연속성과 관련하여 제품의 수명주기, 목표 시장의 장기적 성장추세 가능성을 규명해야 한다. 넷째 가격, 품질, 기능, 기존 제품라인 편승 여부, 기타 차별화 요인, 필요한 광고 수준, 판매관리 인력, 유통채널 접근성 파악을 통해 경쟁 제품들에 대해 신상품이 갖는 경쟁력을 규명해야 한다(Whalley, 2010).

목재고형배지 시장현황에 대한 분석은 1차년도 연구를 통해 실시하였으며, 본 연구에서는 양액재배 농가의 영농규모 확대·축소계획, 시설의 개보수 계획, 목재고형배지 도입·사용시 우선적으로 고려할 사항, 목재고형배지에 대한 경제적 지불의사 등을 파악하여 목재고형배지가 농가에서의 활용가능성과 시장성을 평가하고자 하였다. 또한 양액재배를 위한 배지 선택시 경제성(비용), 생산성, 환경성과 각각의 세부 항목들의 상대적 중요도를 파악할 수 있는 AHP분석을 통해 이의 결과를 토대로 목재고형배지의 시장진입 가능성과 상품의 경쟁력 등을 규명하였다.

(나) AHP 분석

AHP(Analytic Hierarchy Process) 분석은 의사결정 계층구조를 구성하는 요소간의 쌍대비교를 통해 응답자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 다기준 의사결정방법 중의 하나로 객관적인 감정 요인뿐만 아니라 주관적인 감정요인도 쉽게 수용할 수 있다. AHP 분석기법은 의사결정의 문제를 상대적인 비교를 통해 살펴볼 수 있으므로 간편성 및 범용성, 이론 적용의 단순성, 명확성이라는 장점으로 여러 분야에서 널리 활용되고 있다(Saaty, 1980, 송근원, 2013). 일반적으로 AHP 분석은 브레인스토밍, 계층구조설정, 가중치 산정 및 일관성 검증, 측정, 검토 단계로 구성된다. 특히 계층구조의 설정과 가중치 산정 및 일관성 검증단계는 AHP 분석방법이 갖는 장점으로 인간의 사고체계가 계층적 구조설정의 원리, 상대적 중요도 설정의 원리, 논리적 일관성의 원리로 이루어진다는 점을 반영하여 분석과정에 포함하고 있다. AHP는 의사결정자의 오랜 경험이나 직관을 중시하기 때문에 계량적인 정보뿐만 아니라 의사결정에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 되는 질적인 정보를 비교적 쉽게 처리할 수 있는 장점이 있다. 또한 평가기준의 중요도가 되는 쌍대비교 행렬의 고유벡터와 판단의 일관성을 측정하는 일관성 비율(CR)은 AHP의 주요 특징이다(정승준·한범수, 2006). Saaty and Vargas(1991)에 따르면 AHP기법이 특별히 잘 활용될 수 있는 분야는 ①우선순위 결정 ② 의사결정 대안 집단의 창출(대안 탐색) ③ 최적 정책 대안의 선택 ④ 소요의 판단 ⑤ 편익과 비용에 의한 의사결정 ⑥ 유한한 자원의 합리적인 배분 ⑦ 시간의 경과에 따른 결과 예측과 위험도 평가 ⑧ 성과의 측정 ⑨ 시스템 설계 ⑩ 시스템의 안정성 확보 ⑪ 최적화 ⑫ 분석적 기획 ⑬ 갈등요인 해결 등으로 매우 다양하다(송근원, 2013).

이에 본 연구에서는 양액재배 농가에서 배지 선택 시 중요하게 여기는 요인들에 대한 AHP분석을 통해 각 요인의 중요도를 분석하고, 이의 결과를 토대로 목재고형배지가 양액재배 시장으로의 진입 가능성과 새로운 상품으로서의 경쟁력을 규명하고자 하였다.

(다) 전과정평가(LCA)와 간략전과정평가(S-LCA)

전과정평가란 생산품, 공정 등이 환경에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위한 도구로서 일반적으로 목적정의 및 범위설정(Goal and scoping definition), 전과정 목록(Life cycle inventory, LCI), 영향평가(Impact assessment), 개선평가(Improvement)의 4단계로 구성되어 있다. 첫 번째, 전과정평가의 목적 정의 및 범위 설정 단계는 연구의 목적, 예상 결과, 경계 조건 및 가정들을 정의하는 단계이다. 두번째 단계인 전과정 목록은 평가 대상의 정의된 시스템과 관련된 자원 사용량, 에너지 사용량 및 환경 배출물을 정량화하는 것이다. 목록 분석에서의 주된 작업은 공정도에 따라 각 공정의 투입물과 배출물에 대한 데이터를 수집하는 것이다. 이는 많은 시간과 노력, 비용이 소요되며 데이터의 질에 따라 시스템 경계 등이 재조정될 수 있다. 일단 전과정 목록에 의하여 시스템의 투입물과 배출물의 정량화되면 전과정평가의 세 번째 단계인 영향평가를 수행할 수 있다. 전과정 영향평가는 분류화, 특성화, 가중치, 정규화 단계가 포함된다. 전과정 영향평가의 주요 이슈로는 무생물 자원 고갈(abiotic resource depletion, ARD), 산성화(acidification, AD), 수계생태독성(freshwater aquatic ecotoxicity, FAET), 해양생태독성(marinewater aquatic ecotoxicity, NAET), 토양생태독성(terrestrial ecotoxicity, TET), 부영양화(eutrophication, Eut), 지구온난화(global warming, GW), 인간독성(human toxicity, HT), 오존층 파괴(ozone depletion, OD), 광화학 산화물 생성(photochemical ozone creation, POC)을 들 수 있다. 단계 및 영향범주별로 가장 큰 기여도를 보이는 공정과 공정에서 가장 큰 기여를 하는 물질도 규명할 수 있다(김용기 외 3명, 2005).

그러나 LCA를 통해 제품의 전과정동안의 환경부하를 계산하기 위해서는 수많은 데이터를 수집하고 가공해야하므로 많은 시간과 비용이 요구된다. 이러한 이유로 산업체 내의 LCA 사용자들에게 많은 비판을 받아왔다. S-LCA(Simplified LCA)는 이러한 LCA의 단점을 저감시키려는 목적으로 만들어졌다. 즉, S-LCA는 제품의 환경성 평가에 필요한 시간과 비용을 최소화 하면서, LCA 수행목적에 부합하는 범위 내에서 제품 전과정동안의 환경부하를 정확하게 평가한다는 서로 상반된 개념의 두 가지 요소를 포함하고 있다(Christiansen et al, 1997).

S-LCA 방법론은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 데이터 수집의 노력을 저감시키는 것이고, 다른 하나는 정성적인 간략화이다. 데이터 수집의 노력 저감 방법은 방대한 양의 데이터를 수집해야 하는 LCA의 단점을 보완하기 위한 접근방법으로 ① 유사 데이터의 대용(代用) ② 특정 전과정 단계 생략 ③ 특정 목록 파라미터 및 영향범주의 생략이 있다. 먼저 유사 데이터의 대용은 LCA를 수행하는데 필요한 특정 데이터를 수집하는데, 그 중요성에 비해 많은 시간과 비용이 소비될 경우, 유사한 물질, 모듈 및 공정으로 대체하여 사용하는 방법이다. 둘째 특정 전과정단계 생략은 제조공정 외의 upstream process와 downstream process 모두를 제외한 gate-to-gate 방법은 기업 내부의 제품 생산 프로세스와 관련된 환경문제를 파악하고 개선하는데 중점을 두고자 할 때 사용되는 방법이고, downstream process를 제외한 Cradle-to-gate 방법은 gate-to-gate 방법에 원료물질 및 에너지와 같은 투입물의 환경영향을 고려한 방법으로 원/부자재 등의 물질 대체로 인한 제품 환경성을 개선하고자 할 경우나, 사용 및 폐기단계의 환경영향이 비교적 적거나 없다고 판단될 경우 주로 사용되는 방법이다(Todd et al.,1999). 셋째, 특정 목록 파라미터 및 영향범주의 생략은 여러 개의 영향범주 중에서 LCA 목적에 맞게 특정 영향범주만을 LCA 수행에 포함시키는 방법으로, 특정 영향범주는 일반적으로 사회적으로 이슈화 되고 있는 영향범주를 포함시킨다. 이렇게 특정 영향범주만을

포함시킬 경우, 제외된 환경영향을 야기하는 목록 파라미터도 자연히 LCA 수행에서 제외된다 (양윤희 외 3명, 2005).

정성적인 간략화 접근방법은 정량적인 데이터 획득이 불가능하거나, LCA 목적에 대하여 큰 비중을 차지하지 않는다고 판단될 때, 정성적 정보를 수집하여 사용하는 방법이다. 정성적인 간략화 접근방법은 ① 유해물질만을 고려 ② 정량적 정보 대신 정성적 정보사용 ③ 전과정 영향평가 분석(Life Cycle Impact Assessment; LCIA)이 있다. 먼저 유해물질만을 고려하는 방법은 제품 시스템에 투입 및 배출되는 물질 중, 인체나 환경에 유해한 물질들만을 고려하는 방법으로, 유해물질을 사용하거나, 유해물질이 배출되는 공정만을 시스템 경계에 포함시키는 방법이다. 둘째, 정량적 정보 대신 정성적 정보사용은 정량적인 데이터는 종종 산출하기가 매우 어렵기 때문에, 정성적인 데이터가 LCA 수행목적에 부합하면서, 잠재적인 환경영향을 산출할 수 있을 때 이 방법을 적용한다. 셋째 전과정 영향평가 분석(Life Cycle Impact Assessment; LCIA)은 ‘적을수록 좋다’라는 논리에 입각하여, LCA의 중요한 단계인 영향평가 분석을 생략하고, 목록 파라미터의 양이 적은 제품이 환경적으로 건전하다는 결론을 도출할 경우 사용한다. 이는 비교 LCA를 수행할 때 종종 사용되는 방법이다(양윤희 외 3명, 2005).

따라서 데이터 수집의 노력 저감방법을 적용하던, 정성적인 간략화 접근방법을 사용하던, S-LCA는 LCA 수행목적에 맞게 특정 부분을 생략하거나 간략화 함으로써, LCA를 수행하는데 있어서 많이 소비되는 비용과 시간을 절약해야 한다. 따라서 전과정평가를 간략하게 하기 위해서는 전과정평가의 첫 번째 단계인 목표 및 범위정의 단계에서 연구수행의 목적과 범위를 정확히 함과 동시에 어떻게 간략화 시킬 것인가를 결정 하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

(2) 연구방법

(가) 목재고형배지에 대한 소비자 만족 및 시장성 분석

① 연구대상 및 연구도구의 설계

목재고형배지에 대한 농가 인식조사를 위해 경기지역 양액재배 농가에 직접 방문하여 설문 및 인터뷰를 실시하였으며, 강원·충청지역에서 실시되는 양액재배 농업인 교육장소에 방문하여 설문조사를 진행하였다.

설문은 ① 조사 대상자의 양액재배 현황 ② 영농규모의 확대·축소계획 및 사유 ③ 양액재배 시설의 교체 및 개보수 계획과 교체 시기 ④ 양액재배 시설의 설치, 운영시 소요되는 경제적 비용 ⑤ 목재고형배지의 사용의사 및 경제적 지불의사 ⑥ 목재고형배지 도입·운영시 고려사항 ⑦ 목재고형배지 시장에 대한 전망에 관한 내용으로 20문항으로 설계하였다.

AHP 분석은 계층구조의 설계단계, 평가단계, 그리고 대안선정의 단계를 거치게 된다. 계층을 설계한다는 것은 해결하고자 하는 문제의 요소를 파악하고 구성 요인들을 동질적인 집합으로 군집화하여 배열하는 것을 의미한다(조근태 외, 2003). 즉 계층구조의 설계 단계에서 문제를 구성하고 있는 하위 속성들과 요소들을 계층구조로 전환시켜야 한다. 의사결정자는 대상 문제의 요소들을 분석해내고 상위계층과 하위계층으로 구분하여 각 계층을 구조화 한다. 계층은 구조적 계층과 기능적 계층으로 구분된다. 구조적 계층은 복잡한 시스템을 크기, 형태, 색상, 나이 등과 같은 구조적 속성에 따라 분할하는 것이고, 기능적 계층은 복잡한 시스템을 그들의 본질적인 관계에 따라 분할하는 것이다. 기능적 계층에서 동질적인 속성으로 이루어진 각각의 요소 집합이 계층의 한 레벨을 구성한다. 계층의 분화가 이루어져야만 서로 다른 계층의 요소들간 상호 독립성이 유지되며, 동일 계층의 요소들에 대한 비교가 가능하게 된다.

이에 본 연구에서는 양액재배를 위한 배지 선택 기준 요소를 도출하기 위하여 전문가 브레인 스토밍을 실시하였다. 이를 통해 배지 선택을 위해 고려되어야 하는 요소로 경제성(비용), 생산성, 환경성의 3가지 상위 요인을 도출하였고, 경제적 요인에는 초기투자비용, 유지관리비용, 폐기물 처리비용의 3가지 요인이, 그리고 생산성의 요인으로는 작물생산량, 병해충 발생정도, 유지관리의 수월성의 3가지 요인을 도출하였다. 마지막으로 환경성의 요인으로는 환경배출물 발생여부, 폐기물의 재활용 가능성, 물질에너지 사용량의 3가지 요인을 도출하여 각각의 요인을 토대로 AHP분석을 위한 계층도를 설계하였다(표 17, 그림 6)

표 18. 양액재배 배지 선택 기준의 중요도 산출을 위한 계층구조

구분	내용
목표(Goal)	○ 양액재배를 위한 배지 선택 기준
상위계층(Level1)	○ 경제성, 생산성, 환경성 3개 요인 쌍대비교
하위계층(Level2)	○ 초기투자비용, 유지관리비용, 폐기물 처리비용 3개 요인 쌍대비교 ○ 작물생산량, 병해충 발생정도, 유지관리의 수월성 3개 요인 쌍대비교 ○ 환경배출물 발생 여부, 폐기물의 재활용 가능성, 물질에너지 사용량 3개 요인 쌍대비교

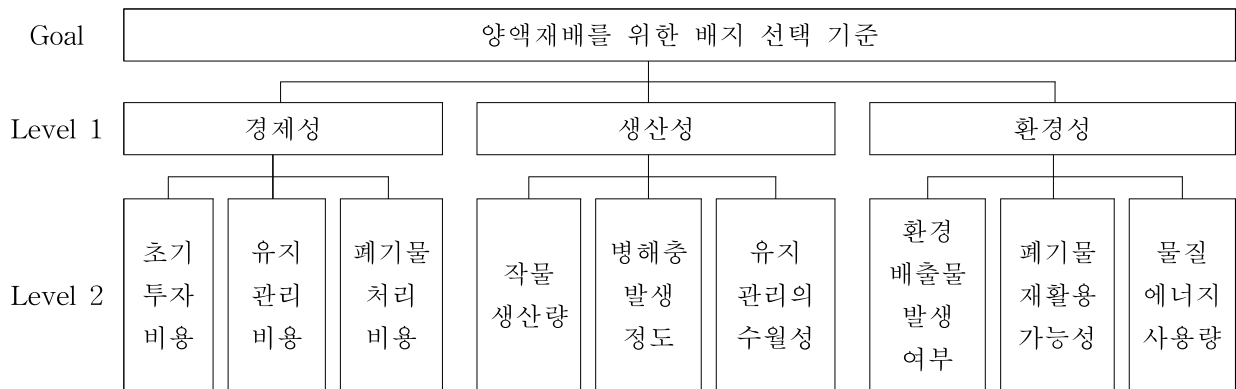


그림 6. 양액재배 배지 선택 기준의 중요도 산출을 위한 계층도

① 자료수집 및 분석

㉞ 자료수집

양액재배 농가에 대한 설문조사는 경기·강원·충청지역의 양액재배 농가를 대상으로 2014년 6월 9일부터 6월 20일까지 약 2주에 걸쳐 진행하였으며, 양액재배 농가와의 인터뷰는 경기지역(김포, 평택, 양주)의 양액재배 농가 6곳을 대상으로 실시하였다. 설문은 총 50여부를 배부하여 30명으로부터 응답을 받았으며, 이 중 응답이 부정확하거나 결측값이 많은 설문 6부를 제외하고 24부를 대상으로 분석을 실시하였다. AHP 분석의 경우 24부의 설문지에 대하여 일관성 검증 실시하여 일관성 비율(CR)이 0.15 이상인 설문 3부를 제외하고 총 21부를 대상으로 분석을 진행하였다.

㉟ 자료분석

AHP 분석은 측정방법과 척도에 특징이 있다. 쌍대비교 응답은 설문의 좌측과 우측 항목을

서로 비교하면서 상호간의 중요도를 기준점인 1을 기준으로 각 항목별 번호를 체크하게 된다. Saaty(1983)는 쌍대비교를 할 때 요인 A에 대한 요인 B의 수준을 나타내는 척도를 7 ± 2 개로 제안하였고, Harker(1987), Vargas(1987), Saaty(1990)는 그들의 연구에서 절대값에 대한 기본 척도를 제시하고 있다. 이 숫자들은 큰 중요성을 갖는 요소가 작은 중요성을 갖는 요소보다 어떤 판단 기준에 대하여 몇 배 더 중요성을 갖는가를 의미한다. 중요성이 작은 요소는 중요성이 큰 요소값의 역수를 값을 갖게 된다. AHP 쌍대비교⁶⁾는 일반적으로 9점 척도를 사용하지만, 송근원(2013)은 AHP에서 평가자의 주관적 선호도를 수치로 변환할 때 사용하는 17점 척도로 쌍대비교 시 응답자의 유연성 있는 결정에 도움이 될지는 모르지만, 많은 수의 척도가 오히려 응답의 일관성을 저하시킬 것이라는 판단하에 응답의 일관성을 가지면서 쉽게 응답자의 선호를 표시할 수 있는 5점 척도를 제시하였다.

이에 본 연구에서도 송근원(2013)의 연구결과를 활용하여 17점 척도에서 중간값을 제외한 9점 척도로 설문을 설계하였다.

AHP 분석에서의 중요도도 계산은 의사결정을 위한 요소의 수가 n 개 라면 의사결정자는 $nC_2 = n(n-1)/2$ 번의 쌍대비교를 실시하여 쌍대 비교치 α_{ij} 를 얻게 된다. 상대적 중요도(쌍대 비교치)를 모두 합하면 1이 된다. AHP분석에서 중요도 계산식은 다음과 같다. 의사결정을 위한 n 개의 요인들을 각각 A_1, A_2, \dots, A_n 이라고 하고 각 요소의 중요도를 W_1, W_2, \dots, W_n 이라 하면 다음과 같은 규칙과 행렬(matrix) A 로 표현된다. $A = (\alpha_{ij})$. ($i = 1, 2, \dots, n$) 이라고 하면 α_{ij} 는 다음의 규칙을 따르도록 정의되어 진다(이훈병, 2008).

- 만약 $\alpha_{ij} = \alpha$ 이면 $\alpha_{ji} = \frac{1}{\alpha}$, $\alpha \neq 0$ 이다.
- i 요인과 j 요인의 상대적 비중이 같다면 $\alpha_{ij} = 1, \alpha_{ji} = 1$ 이 된다.

$$A = (\alpha_{ij}) = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix}$$

단, $\alpha_{ij} = w_i/w_j, \alpha_{ji} = 1/\alpha_{ij}$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$), $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^t$ 이다.

다음으로 중요도 산출과정에서 응답자의 일관성을 검증할 수 있다는 것은 계층분석과정이 갖는 또 하나의 장점이다. 일관성 검증이란 i 를 j 보다 x 배 중요하게 생각하고 j 는 k 보다 y 배 중요하게 생각한다면 i 는 k 보다 $x \times y$ 배 중요하게 평가한다는 개념을 기본으로 한다. 이 쌍대비교행렬이 완전한 일관성을 갖는다면 중요도 측정은 문제가 없게 된다. 그러나 이러한 이론적 개념은 실제 응답에 있어 일관성이 완전히 지켜지기 어렵기 때문에 기수적 일관성측정이 필요하다. Saaty(1996)은 평가자가 평가한 쌍대비교의 결과에서 얻은 행렬의 관계식으로부터 평가자가 일관성 있는 판단을 내렸음을 검증할 수 있는 일관성지수(CI : Consistency

6) 쌍대비교법은 ① 언어에 의한 주관적 평가를 통해 정량적 평가가 행해지므로 평가자의 부담 감소 ② 구체적인 대상 간의 비교에 의한 평가를 통해 정량적인 평가를 가능하게 하므로 평가의 판단이 편리 ③ 개개의 평가에 흐트러짐이 있어도 다수의 쌍대비교 결과를 바탕으로 그 흐트러짐을 수정 가능함 ④ 쌍대비교가 일관적인지 아닌지를 정합도(일관성 지수)에 의해 판단할 수 있으며 재평가가 필요한지의 유무가 판단됨 ⑤ 개개의 평가의 결과를 쌍대비교라는 형태로 표현할 수 있으며, 그 판단의 근거에 대해 설명 및 기술이 가능함에 따라 평가에 관한 정보를 밝힐 수 있으므로 판단에 대한 이해를 구하기 쉬움.(키노시타 에이조.2012)

index)를 개발하였다. 앞의 중요도 계산식에서 행렬 A 가 일관성을 충족한다면 $\lambda_{\max} = n$ 이 성립함을 알 수 있었다. 반면 행렬 A 가 일관성을 충족하지 못한다면 $\lambda_{\max} > n$ 이 된다. 행렬 A 의 일관성 정도가 높으면 높을수록 λ_{\max} 는 n 에 가까워진다. 이러한 특성을 이용하여 일관성지수와 일관성비율(CR : Consistency Ratio)을 구하는 공식을 제시할 수 있다.

- 일관성지수 (CI) = $\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$
 n : 행렬의 최대고유치(maximum eigenvalue)이며 행의수,
 λ_{\max} : 쌍대비교행렬의 고유치 중 가장 큰 값
- 일관성 비율(CR) = $\frac{CI}{RI}$ [CI : 일관성 지수, RI : 무작위 지수]

일관성비율(CR)이 작을수록 일관성 정도가 높으며, 완벽한 일관성을 갖는 비교행렬을 그 일관성비율(CR)이 0의 값을 갖는다. 대체로 일관성비율(CR)값이 0.1 미만이면 쌍대비교는 합리적 일관성을 갖는 것으로 판단되나, 0.2 이상이면 일관성이 부족한 것으로 재조사가 필요하다고 판단한다(Saaty, 1996).

(나) 목재고형배지에 대한 전과정평가

① 목적 및 범위설정

전과정 평가에서는 특정한 생산물이 생산되고 소비되는 모든 과정의 투입물과 산출물을 고려하여 그 영향정도를 계량적으로 평가한다. 본 과제에서는 목재고형배지의 원재료인 폐목재의 수집·수송·제조 단계와 제품의 사용(식물 재배), 제품 폐기 단계(토양에 매립)에 이르기까지의 전 과정을 모두 포함하여 분석하기에는 시간적, 비용적인 한계가 있어 목재고형배지의 제조 단계로 범위를 한정하였다.

이에 본 연구는 목재고형배지의 제조 단계에 대한 전과정평가를 통해 배지의 생산과정에서 발생하는 환경영향을 파악하여, 중대한 환경영향이 있는 부문을 규명하고 이의 개선 방안을 모색하는데 그 목적이 있다.

목재고형배지의 원료수집, 제품 제조, 제품 사용, 제품 폐기의 전과정에 대한 공정흐름도와 시스템 경계 및 단위 공정은 그림 7와 같다. 목재고형배지의 전과정은 임지폐잔재를 운반·수송의 채취 단계와 이를 목재칩으로 가공하는 가공의 단계, 가공된 목재칩을 사용하여 목재고형배지를 생산하는 제품 제조의 단계, 목재고형배지를 이용한 작물 재배의 단계, 수명연한이 다한 목재고형배지를 폐기하는 단계이다. 이 중 본 연구의 시스템 경계는 목재고형배지 생산의 단계로 목재고형배지는 원재료인 목재칩과 폐지를 파쇄, 해리, 압착, 상온건조, 오븐 건조의 5단계를 거쳐 생산된다. 먼저 제품제조단계의 첫 번째 단위공정인 <파쇄>는 수집된 폐지(Printing paper)를 파쇄기를 이용해 분쇄하여, 목재고형배지의 원료로 만드는 공정이다. 둘째, 제품제조단계의 두 번째 단위공정인 해리는 파쇄된 폐지와 물을 첨가하여 해리기로 펄프 슬러리(pulp slurry)를 제조하는 공정이다. 세 번째 압착은 제조된 폐지슬러리와, 원료칩(wood chip)을 Hand Press Machine를 사용하여 압착·성형하여 습윤기반재(wet wood chip)를 제조하는 공정이다. 네 번째 상온건조는 압착이 끝난 목재고형배지를 상온에서 건조하여 건조 기

반재(dry wood chip)를 제조하는 공정이다. 다섯 번째 오븐건조는 상온건조가 완료된 건조기 반재를 오븐에서 하루동안 건조하여 목재고형배지(wood substrate culture)를 제조하는 공정이다. 대상제품은 목재고형배지로 기능은 작물재배이며, 기능단위는 목재고형배지 1개(385g)를 기준흐름으로 설정하였다.

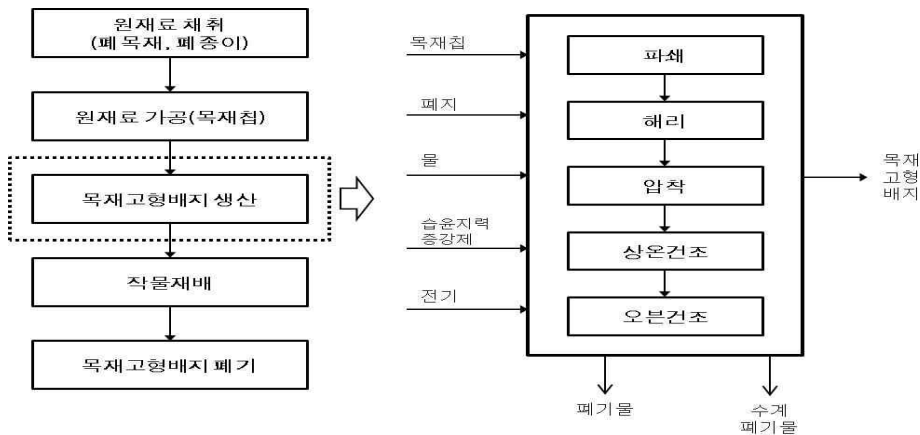


그림 7. 목재고형배지의 시스템 경계 및 단위 공정도

② 목록분석

전과정평가에서 목록분석은 시스템 내에서 투입물과 산출물의 데이터를 정성적, 정량적으로 정리하는 단계이다. 작성된 투입물과 산출물의 데이터를 기초로 상위흐름 데이터베이스와 연결하고 ISO 14048의 원칙에 의거하여 최종적인 전과정 목록분석을 수행하였다.

목재고형배지 제품의 데이터범주는 제품 제조단계에서 사용되는 물질, 에너지, 용수이며, 산출물의 데이터 범주는 제품, 환경배출물로 정하였다. 투입 및 산출물에 대한 주요 데이터 범주에 대해 정리하면 다음과 같다. 원료 및 보조물질 범주에는 인쇄용지(A4), 목재칩, 습윤지력 증강제 등이 포함되며 등이 포함되며, 에너지 범주에는 제품 제조공정에서 사용되는 전기가 포함된다. 제품 및 부산물에는 폐지와 용수로 제작된 펄프슬러리, 펄프슬러리와 목재칩을 원료로 제작된 습윤기반재, 건조공정을 마친 목재고형배지가 해당된다.

다음으로 결정된 시스템경계를 기준으로 데이터 수집을 진행하였다. 그리고 데이터 수집은 현장데이터를 수집하여 적용하는 것이 우선이나, 모든 투입물질에 대한 데이터가 불충분하기 때문에 국가 LCI데이터 베이스를 적용하였다. 전과정 목록분석은 전과정평가 소프트웨어 프로그램인 Total 프로그램을 이용하였다. Total 소프트웨어는 환경산업기술원에서 개발한 소프트웨어로 국가데이터베이스가 포함되어 있으며, 전과정 영향평가 수행시에 환경부 환경성적표지 영향범위에 따른 전과정평가의 전 단계별 영향평가가 가능하고, 사용법도 쉽고 간편하여 간략화된 전과정평가를 수행하기에 용이하다.

목재고형배지 제조의 단위공정별로 수집된 데이터를 계산하여 소프트웨어에 입력하고, 투입되는 원료, 에너지 등에 대해 LCI 데이터베이스를 연결하였다. 먼저 목재고형배지 1개 생산에 소요되는 투입물과 산출물의 사용량을 계산하여 Gate to Gate(GTG) 데이터 베이스를 작성하였다(표 18).

표 19. 목재고형배지 제조과정의 Gate to Gate data base

Input				Output			
Group	Materials	Unit	Amount	Group	Materials	Unit	Amount
Raw material	printing paper	kg	1.400E-01	Product	wood substrate culture	kg	3.850E-01
	printing paper(scraping)	kg	1.400E-01				
	pulp slury	kg	2.800E-03				
	wet wood chip	kg	1.790E-03				
	dry wood chip	kg	1.490E-03				
Raw material	polyacrylamide	kg	2.800E-04	Water emission	Water emission (wastewater)	kg	1.420E-03
Resource	water	kg	2.66E-03				
Energy	Electricity	MJ	1.308E-01				

목재고형배지 제조 공정에 대한 목록분석 결과 총 270개의 환경배출물 항목이 도출되었으며, 그 중 대표적인 항목을 표-19에 명시하였다. 주요 투입물로는 목재(wood) 및 펄프(pulp)가 차지하였으며, 산출물로는 목재고형배지 및 부산물로 이산화탄소와 폐수가 발생하였다. 특히 대기배출물로 CO₂가 가장 많은 부분을 차지하고 있는 잠재적인 환경영향으로 지구온난화가 다른 환경영향범주보다 상대적으로 비중이 크다는 것을 보여준다.

표 20. 목재고형배지 제조공정의 전과정 목록분석 결과

Direction	Group	Distribution Media	Materials	Unit	Amount
Input	Raw material	Technosphere	printing paper	kg	1.400E-01
			printing paper(scraping)	kg	1.400E-01
			pulp slury	kg	2.800E-03
			wood chip	kg	2.100E-04
			polyacrylamide	kg	2.800E-04
			wet wood chip	kg	1.790E-03
			dry wood chip	kg	1.490E-03
Input	Resource	water	water	kg	2.66E-03
Input	Energy	Technosphere	Electricity	MJ	7.200E-02
			Electricity	MJ	1.109E-03
			Electricity	MJ	1.290E-01
Output	Product	Technosphere	wood substrate culture	kg	3.850E-01
Output	emission	Air	carbon dioxide(CO ₂)	kg	8.400E-06
			carbon dioxide(CO ₂)	kg	1.294E-04
			carbon dioxide(CO ₂)	kg	1.526E-02
			Air emission(unspecified)	kg	3.000E-04
			Air emission(unspecified)	kg	1.105E+00
Output	emission	Water	Water emission(unspecified)	kg	1.420E-03

다. 연구결과

(1) 목재고형배지에 대한 농가 인식 및 시장성 분석

(가) 응답자의 일반적 현황

응답자의 일반적 현황을 살펴보면 40-50대가 41.7%로 가장 많았으나, 60대 이상도 16.7%로 높은 비중을 차지했다(표20). 조사 대상자의 영농경력은 11-15년 사이가 33.3%, 20년 이상이 33.3%를 차지하였으며, 양액재배 경력은 5년 이하가 66.7%로 높은 비중을 차지하였다. 이는 강원·충청지역의 경우 양액재배 농업인 교육생을 대상으로 설문을 진행하여 나타난 결과라 할 수 있으며, 이러한 부분을 보완하기 위해 경기지역은 양액재배 농가와 심층 인터뷰를 병행하여 분석결과의 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다.

표 21. 조사 농가 응답자의 일반적 현황

(단위 : 명)

구분	항목					계
	성별	남자		여자		
	22(91.7%)		2(8.3)			
연령	30-40대	40-50대	50-60대	60대 이상		24
	6(25.0%)	10(41.7%)	4(16.7%)	4(16.7%)		
영농경력	5년 이하	6-10년	11-15년	16-20년	20년 이상	24
	4(16.7%)	2(8.3%)	8(33.3%)	2(8.3%)	8(33.3%)	
양액재배 경력	5년 이하	6-10년	11-15	16-20	20년	24
	16(66.7%)	5(20.8%)	1(4.2%)	1(4.2%)	1(4.2%)	

(나) 목재 고형배지의 시장 현황

① 조사 농가의 양액재배 현황

조사 농가의 양액재배 현황은 표 21과 같다. 재배작물의 경우 채소류가 75.0%, 화훼류가 4.2%, 과실류가 12.5% 였으며, 배지의 유형은 펄라이트(29.2%), 코코피트(29.2%), 기타(20.8%) 였다. 펄라이트를 사용하는 이유는 병해충의 방지와 담수의 원활함, 배지의 수명연한 우수 등의 사유로 주로 사용하는 것으로 나타났으며, 코코피트의 경우 가격이 저렴하고, 사용 후 처리가 용이하며, 최근 많은 농가가 사용하고 있어 처음 양액재배를 하는 농가의 경우 코코피트를 사용한다고 응답하였다. 그리고 기타의 경우 단일배지를 사용하기보다 혼합배지를 사용하고 있다고 응답한 농가도 상당수 존재하였다. 실제 경기지역 양액재배 농가와 인터뷰 결과 단일배지는 많은 농가에서 사용하지 않고, 펄라이트와 코코피트를 혼합하여 사용하는데 그 이유는 배지의 수명연한이 다할 경우 전체를 교체하는 것이 아니라 펄라이트만 별도로 보충이 가능하여 혼합배지를 주로 사용한다고 하였다. 또한 배지의 종류보다 배지의 이화학적 특성이 재배작물과 맞는다면 어떤 배지를 사용해도 무방하다는 의견이 제시되었다.

“ 저는 양액재배를 할 때 배지를 무엇으로 쓰는가 하는 것은 중요치 않다고 생각이 들어요. 배지가 가지고 있는 함수율이나 PH 등이 제가 키우는 딸기와 적합하다면 어떤이던, 펄라이트던, 코코피트던 상관없이 사용할 계획입니다. 더불어 생산량만 담보된

다면 배지의 가격 또한 상관없어요. 다만 배지의 화학적, 기술적 특성이 자세하게 공개가 되어야 한다고 생각해요. (평택시 딸기농장과의 인터뷰 중)”

그리고 양액재배 면적은 1ha 미만이 83.3%로 가장 많은 비중을 차지하고 있었는데, 대부분의 농가가 비닐온실 1동 정도 규모로 양액재배를 하고 있었다.

표 22. 조사 농가의 양액재배 현황

(단위 : 명)

구분	항목							계
	재배작물	채소류		화훼류		과실류		
18(75.0%)		1(4.2%)		3(12.5%)		1(4.2%)		
배지유형	필라이트	암면	코코피트	담막경	박막경	분무경	기타	20 (결측 :4)
	7(29.2%)	0(0%)	7(29.2%)	1(4.2%)	0(0%)	0 (0%)	5(20.8%)	
양액재배 면적	1ha 미만	1ha-2ha		2ha-3ha	3ha-4ha		5ha 이상	24 (결측 :1)
	20(83.3%)	2(8.3%)		1(4.2%)	0(0%)		0(0%)	

② 양액재배 영농규모의 확대·축소 계획

양액재배 영농규모의 확대·축소 계획을 살펴보면 ‘현재의 상태를 유지하겠다’라는 응답이 52.2%로 가장 많았고, ‘확대할 예정이다’에 대한 응답 또한 43.5%를 차지하였다(표 22). 영농규모의 확대시 예상되는 애로사항으로는 ‘양액재배 설비의 설치 비용이 너무 비싸다’의 항목이 93.3%로 대부분을 차지하였으며, 영농규모를 축소하는 사유는 주로 시설의 유지·관리비용(50.3%)인 것으로 나타났다. 본 설문 결과와 1차년도 연구결과에서 나타나듯이 양액재배를 활용한 농가는 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 목재고형배지와 같은 유기고형배지의 활용 또한 증가할 것으로 보인다. 따라서 목재고형배지의 수명연장과 타 배지와 혼용 사용, 배지의 이화학적 특성이 자세히 제공된다면 앞으로 계속 증가할 것으로 예상되는 양액재배 배지 시장에서 새로운 유기고형배지 상품으로서의 가치가 있을 것으로 사료된다.

표 23. 양액재배 영농규모의 확대·축소 계획

(단위 : 명)

구분	항목					계
	영농 규모의 확대·축소 계획	확대 예정	현상 유지	축소 예정	계획없다	
	10(43.5%)	12(52.2%)	0(0%)	1(4.3%)		
영농규모 확대 시 예상되는 애로사항	시설 설치비용	시설 유지· 관리 비용	폐기물 처리비용	배지 교체 및 관리의 어려움	배양액 관리의 어려움	15 (결측 :9)
	14(93.3%)	1(6.7%)	0(0%)	0(0%)	0(0%)	
영농규모 축소의 사유	시설 설치비용	시설 유지· 관리 비용	폐기물 처리비용	배지 교체 및 관리의 어려움	배양액 관리의 어려움	6 (결측 :18)
	2(33.3%)	3(50.0%)	1(16.7%)	0(0%)	0(0%)	

③ 양액재배 시설의 교체 및 개보수 계획

양액재배 시설을 배지 및 베드시설, 양액기, 양액조절 배관시설, 관수 배관시설, 조명 및 난방 시설로 구분하여 각각의 교체 및 개보수 계획과 교체 시기에 대하여 응답토록 하였으며 그 결과는 표 23과 같다. 먼저 배지 및 베드 시설의 경우 ‘교체할 것이다’가 47.1%로 가장 높았고, 교체 시기는 ‘2~3년 이내’가 47.1%를 차지하였다. 또한 배지 및 베드 시설에 대한 개보수 역시 23.5%로 높은 비중을 차지하였다. 양액기의 경우 “교체할 계획 없다”가 58.8%로 양액기는 처음 설치하고 나면 상당기간 사용하는 것으로 조사되었다. 실제 농가와의 인터뷰에서도 양액기에 특별한 문제가 발생하지 않는 이상 거의 반 영구적으로 사용하고 있다고 응답하였다. 양액조절 배관시설의 경우 ‘교체할 계획이 없다’가 47.1%로 가장 높았지만, ‘일부는 교체하고 일부는 개보수할 계획이다’의 항목의 응답율이 29.45로 높게 나타났다. 이후 관수 및 배관 시설, 조명 및 난방시설의 경우도 계획없음이 대다수를 차지하였다.

즉 양액재배 시설은 배지·베드 시설을 제외하고는 대부분 오랜 기간 사용하지만, 배지·베드 시설은 2~3년 주기로 교체하는 것을 알 수 있다. 따라서 목재고형배지가 안정적이고 대량으로 생산할 수 있는 설비가 갖추어 진다면, 농가의 교체 주기에 맞추어서 새로운 대체상품으로서의 가능성이 있다고 볼 수 있다.

표 24. 양액재배 시설의 교체 및 개보수 계획

(단위 : 명)

구분	양액재배 시설의 교체 및 개보수 계획				양액재배 시설의 교체 시기				
	교체	개보수	교체+ 개보수	계획 없음	1년 이내	2-3년 이내	4-5년 이내	5년 이후	계획 없음
배지 및 베드시설	8 (47.1%)	4 (23.5%)	2 (11.8%)	3 (17.6%)	2 (11.8%)	8 (47.1%)	3 (17.6%)	2 (11.8%)	2 (11.8%)
양액기	3 (17.6%)	1 (5.9%)	3 (17.6%)	10 (58.8%)	3 (17.6%)	3 (17.6%)	1 (5.9%)	5 (29.4%)	5 (29.4%)
양액조절 배관시설	2 (11.8%)	2 (11.8%)	5 (29.4%)	8 (47.1%)	1 (5.9%)	2 (11.8%)	3 (17.6%)	5 (29.4%)	6 (35.3%)
관수 배관시설	1 (5.9%)	2 (11.8%)	3 (17.6%)	11 (64.7%)	0 (0%)	3 (17.6%)	1 (5.9%)	5 (29.4%)	8 (47.1%)
조명 및 난방시설	0 (0%)	4 (23.5%)	4 (23.5%)	9 (52.9%)	1 (5.9%)	3 (17.6%)	1 (5.9%)	5 (29.4%)	7 (41.2%)

④ 목재고형배지에 대한 농가 인식

본 과제의 산출물로 개발된 목재고형배지에 대한 양액재배 농가의 인식 분석 결과는 표 24과 같다. 설문조사 간에 폐목재와 폐지를 활용하여 개발된 목재고형배지의 특성과 작물생장량 등의 결과에 대하여 설명한 이후 응답토록 하였다. 먼저 양액재배 교체 시 목재고형배지의 사용의사에 대한 응답 결과 매우 그렇다(4.2%), 그렇다(33.3%)로 사용할 것이다 라는 긍정적 의견이 37.4%의 비중을 차지하였다. 그리고 경기지역 인터뷰 과정에서 목재고형배지가 농가에서 직접 생산·제조가 가능하다면 많은 농가에서 활용할 수 있을 것이라 전망하였다.

“ 나는 예전에 암면을 하다가 폐기물 문제도 있고, 물빠짐이 장미 생산에 적합하지 않

은 것 같아서 펠라이트로 교체를 했는데, 이 배지 같은 경우 물빠짐이나, 썩어서 쓸 수 있다면 사용할 수 있어요. 배지 가격은 큰 상관 없지만, 만약에 진짜 폐목재랑 폐지를 섞어서 만드는 거라면 우리가 직접 만들어서 쓸 수도 있는 건가요? 만일 그렇다면 많은 사람들이 사용하겠네요.(양주시 장미농가와의 인터뷰 내용 중)

그러나 ‘보통이다’가 41.7%, ‘사용할 계획이 없다’에 대한 의견 또한 20.9%로 나타났다. 이는 목재고형배지의 특성에 대한 이해 부족과 아직 대중적으로 보급되지 않은 상품이라 구매·사용에 대한 의사결정을 내리기 쉽지 않고, 또한 현재 사용하고 있는 배지를 계속 사용할 계획으로 나타난 결과라 보여진다.

목재고형배지에 대한 경제적 비용 지불 의사에 대한 분석결과 1ha당 1천만원미만(41.7%) 또는 1천만원~2천만원(50.0%) 정도의 가격으로 형성된다면 경제적 비용을 지불할 의사가 있는 것으로 조사되었다. 이는 현재 농가에서 코코피트, 펠라이트 배지를 1ha 규모로 도포할 때 소요되는 비용으로, 현재 지불하고 있는 배지 및 배드 비용과 비슷한 정도의 비용을 지출할 의사가 있는 것으로 나타났다. 목재고형배지와 같은 유기고형배지 시장이 향후 확대될 것인가에 대한 응답결과 ‘매우 그렇다’와 ‘그렇다’가 각각 25.0%, 37.5%로 높은 비율을 차지하였다.

표 25. 목재고형배지의 시장성에 대한 농가주민 인식

(단위 : 명)

구분	항목					계
목재고형배지 사용 의사	매우그렇다	그렇다	보통이다	아니다	매우아니다	24
	1 (4.2%)	8(33.3%)	10(41.7%)	4(16.7%)	1(4.2%)	
경제적 지불의사	1천만원 미만	1천만원 ~2천만원	2천만원~ 3천만원	4천만원 이상		24
	10(41.7%)	12(50.0%)	1(4.2%)	1(4.2%)		
목재고형배지 시장 확대 전망	매우그렇다	그렇다	보통이다	아니다	매우아니다	24
	6(25.0%)	9(37.5%)	8(33.3%)	1(4.2%)	0(0.0%)	

목재고형배지를 도입·사용할 경우 우선적으로 고려할 부분에 대하여 중요도 순으로 응답토록 한 결과 ① 작물 생산량 ② 배지의 수명연한 ③ 배지의 가격 ④ 기존 양액재배 시설과의 호환성 ⑤ 배지의 안정성 ⑥ 배지교체 및 관리의 수월성 ⑦ 폐기물 처리의 용이함의 순서로 나타났다. 각 항목의 평균을 살펴보면 작물생산량이 평균 2.00으로 가장 중요한 항목으로 선택이 되었으며, 배지의 수명연한(평균 3.45), 배지의 가격(평균 3.68), 기존 양액재배 시설과의 호환성(평균 3.73), 배지의 안정성(평균 3.82)의 경우 평균값이 큰 차이를 보이지 않았고, 폐기물 처리의 용이함의 경우 평균 6.41로 배지를 사용함에 있어 크게 고려하지 않은 요인으로 나타났다. 즉 배지 구입비용, 유지·관리 비용 등 배지에 소요되는 경제적 비용보다 농가에서 재배하는 주 작물의 생육과 성장에 적합한 특성을 지닌 배지라면 사용할 의사가 있는 것으로 보여진다. 그리고 폐기물 처리의 용이함이 가장 낮은 순위를 보인 것은 본 설문문에 응답한 농가에서 사용하고 있는 배지의 유형이 코코피트, 펠라이트, 담막경 등 폐기물 처리의 문제가 없는 배지를 사용하고 있어 이와 같은 결과가 나타난 것이라 할 수 있다.

표 26. 양액재배를 위한 배지 선택기준의 우선순위

(단위 : 명)

구분	평균	표준편차	우선순위
작물의 생산량	2.00	1.234	1
배지의 수명연한	3.45	1.792	2
배지의 가격	3.68	1.961	3
기존 양액재배 시설과의 호환성	3.73	1.856	4
배지의 안정성	3.82	1.593	5
배지 교체 및 관리의 수월성	4.82	1.140	6
폐기물 처리의 용이함	6.41	1.333	7

(다) 양액재배를 위한 배지 선택 기준

① 상위계층에 대한 상대적 중요도 분석 결과

양액재배 배지 선택을 위한 배지의 경제성(비용), 생산성, 환경성에 대한 상대적 중요도 분석 결과 생산성의 중요도가 58.7%로 배지 선택을 위해 가장 중요한 요인인 것으로 파악되었고, 경제성(비용)이 28.4%, 환경성이 12.9%로 나타났다. 비일관성 비율은 0.04로 나타나 응답자의 일관성이 적합한 것으로 파악되었다(표 26, 그림 8). 이의 결과는 목재고형배지 도입·사용시 우선적 고려 사항에 대한 응답 결과와 일치하는 것으로 보여지며, 배지의 작물생산량이 배지 선택에 있어 가장 중요한 요인인 것으로 분석되었다.

표 27. 양액재배 배지 선택을 위한 상위계층 간 상대적 중요도 및 우선순위

구분	Local Priority	Global Priority	중요도(%)	우선순위
경제성(비용)	.284	.284	28.4%	2
생산성	.587	.587	58.7%	1
환경성	.129	.129	12.9%	3

일관성비율(CR) = 0.04

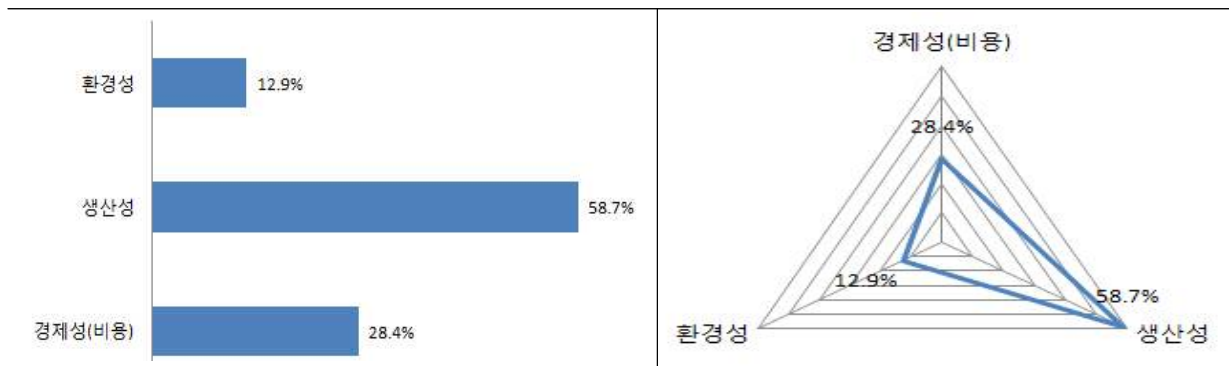


그림 8. 양액재배 배지 선택을 위한 상위계층 간 상대적 중요도 및 우선순위

② 하위계층에 대한 상대적 중요도 분석 결과

상위계층(Level 1)에 대한 하위계층(Level 2)의 중요도 분석결과는 (표 27, 그림9)과 같다. 먼저 중위계층 요인간의 상대적 우선순위는 ① 작물 생산량이 28.3%로 가장 높게 나타났으며, ② 병해충 발생정도 18.5%, ③ 유지관리비용 13.4%, ④ 유지관리의 수월성 12.0%, ⑤ 초기투자비용 11.6%, ⑥ 물질에너지 사용량 6.5%, ⑦ 폐기물의 재활용 가능성 4.0%, ⑧ 폐기물 처리비용 3.4%, ⑨ 환경배출물 발생 여부(2.3%)의 순이었다.

경제성(비용)의 하위 요인간 중요도는 유지관리비용 (47.4%) > 초기투자비용(40.8%) > 폐기물 처리비용(11.8%)의 순이었고, 생산성의 하위요인간 중요도는 작물생산량(48.1%) > 병해충 발생정도(31.5%) > 유지관리의 수월성 (20.4%) 였으며, 환경성의 하위요인간 중요도는 물질에너지 사용량(50.6%) > 폐기물의 재활용 가능성(31.3%) > 환경배출물 발생 여부(18.1%)의 순으로 분석되었다. 그리고 일관성 비율은 경제성(비용)이 0.00117, 생산성이 0.00, 환경성이 0.02로 응답의 일관성이 적합한 것으로 파악되었다.

양액재배 농가에서의 배지 선택 기준은 재배 작물의 생육·생장이 우수하고, 병해충의 발생정도가 적으며, 유지관리비용이 적게 소요되는 배지를 우선적으로 선택하는 것으로 나타났다. 즉 배지 및 배드 시설에 소요되는 비용의 높고, 낮음에 따라 배지를 선택하는 것이 아니라, 작물 생육에 적합한 배지를 선택하여 사용한다고 볼 수 있다. 하지만 폐기물의 처리비용과 환경배출물의 발생 요인에 대한 우선순위는 매우 낮게 나타났으며, 이러한 결과는 아직 양액재배 농가에서는 암면과 같은 배지가 환경에 미치는 부정적 영향에 대한 인식이 다소 낮은 것을 보여주는 결과라 할 수 있으며, 이는 농가주민들에 대한 교육과 계도를 통해 개선하여야 할 부분이라 사료된다. 따라서 목재고형배지가 작물 생산량이 담보되고 병해충이 적고 유지관리가 다른 배지와 차별화되는 부분이 제공된다면, 양액재배 시장에서의 시장성과 상품성을 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

표 28. 양액재배 배지 선택을 위한 하위계층 간 상대적 중요도 및 우선순위

Level1	Level2	Local Priority	Global Priority	중요도	우선순위	Level2 우선순위
경제성 (비용)	초기투자비용	.408	.116	40.8%	2	5
	유지관리비용	.474	.134	47.4%	1	3
	폐기물 처리비용	.118	.034	11.8%	3	8
생산성	작물 생산량	.481	.283	48.1%	1	1
	병해충 발생정도	.315	.185	31.5%	2	2
	유지관리의 수월성	.204	.120	20.4%	3	4
환경성	환경배출물 발생 여부	.181	.023	18.1%	3	9
	폐기물의 재활용 가능성	.313	.040	31.3%	2	7
	물질에너지 사용량	.506	.065	50.6%	1	6

일관성비율(CR) = 0.00117(경제성), 0.00(생산성), 0.02(환경성)

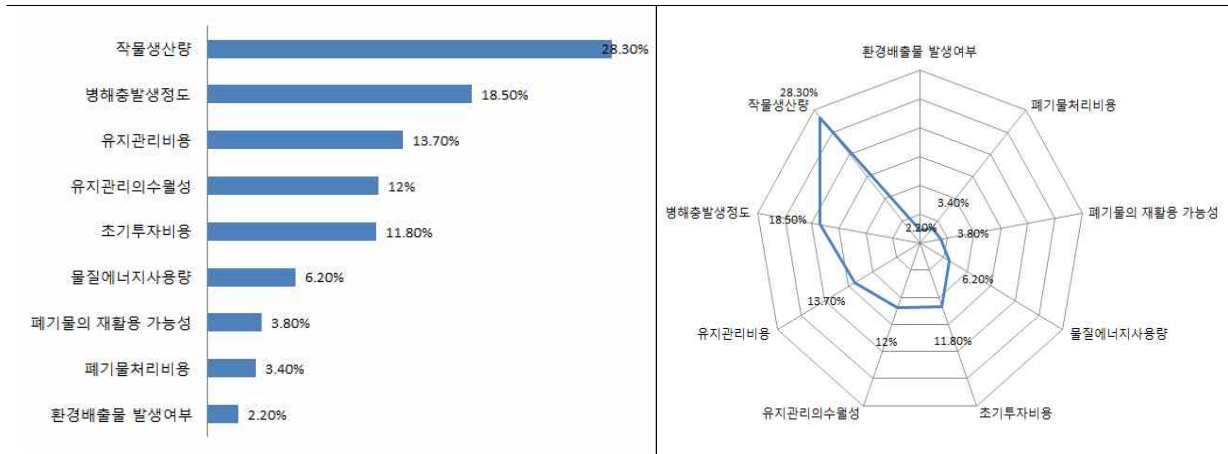


그림 9. 양액재배 배지 선택을 위한 하위계층 간 상대적 중요도 및 우선순위

(2) 목재고형배지의 전과정 영향평가 및 해석

목재고형배지에 대한 간략화된 전과정평가를 통해 영향범주별 및 공정별 환경영향 기여도를 살펴보았다. 주요 환경영향평가 범주는 자원소모(ADP), 지구온난화(GWP), 오존층영향(ODP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 광화학적산화물생성(POCP)의 6가지를 환경영향 범주로 설정하여 영향범주에 따른 환경영향 기여도와 각 영향범주간의 상대적인 중요도를 결정하는 가중화 결과를 표-9에 나타내었다. 그 결과 6개의 영향범주 중 지구온난화(1.555E-02)가 대부분을 차지하였다. 지구온난화와 자원소모에 영향을 미치는 물질을 살펴보기 위해 영향범주별 주요 물질을 분석한 결과 이산화탄소가 주된 영향인자로 확인되었다. 이는 목재고형배지의 제조공정을 살펴보면 목재와 용수를 이용하여 습윤배지를 제조하고, 이를 오븐에서 건조시켜 배지를 완성하는 비교적 간단한 절차이나 오븐에서 24시간을 건조하는 과정에서 사용하는 오븐의 전기사용량이 매우 높아 나타난 결과라 할 수 있다.

표 29. 목재고형배지 제조공정의 영향범주에 따른 환경영향 기여도

구분	자원소모 [kgantimonyeq.]	지구온난화 [kgCO2eq.]	오존층영향 [kgCFC11eq.]	산성화 [kgSO2eq.]	부영양화 [kgPO43-eq.]	광화학적 산화물생성 [kgC2H4eq.]
환경 영향	1.104E-06	1.555E-02	4.811E-11	6.323E-07	1.161E-07	1.810E-07
가중화	1.033E-08	1.531E-08	2.877E-10	5.719E-10	3.362E-10	1.115E-09

다음으로 목재고형배지의 영향범주에 따른 환경영향을 정량화하는 특성화 분석결과는 표 28과 같으며, 이 중 지구 온난화 영향범주에 대한 제조공정별, 물질별 특성화 분석 결과는 표 29와 같다. 5단계의 제조공정 중 오븐건조의 단계가 1.526E-02(98.11%)로 가장 높았고, 다음으로 해리, 파쇄 공정의 순이었다. 목재고형배지의 압착은 핸드프레스머신으로 압착하여 습윤기반재를 제조하고 있어 별도의 에너지가 사용되지 않아 지구온난화의 기여도가 없는 것으로 나타났지만, 목재고형배지를 대량 생산할 경우 압착 및 건조의 단계에서도 대기오염 및 수질

오염 물질이 발생할 것으로 사료된다.

표 30. 목재고형배지 제조공정의 특성화 분석 결과

자원소모(ADP) [1/yr]	지구온난화(GWP) [kg CO ₂ -eq/kg]	오존층영향(ODP) [kg CFC 11-eq/kg]	산성화(AP) [kg SO ₂ -eq/kg]	부영양화(EP) [kg PO ₄ ³⁻ -eq/kg]	광화학적산화물생성(POCP) [kg C ₂ H ₄ -eq/kg]
aluminum(Al) 5.542E-10 (0.050%)	carbon dioxide(CO ₂) 1.555E-02 (99.977%)	CFC-11 4.534E-15 (0.011%)	ammonia(NH ₃) 3.501E-10 (0.055%)	ammonia(NH ₃) 6.519E-11 (0.056%)	benzene 1.201E-10 (0.068%)
baryte(BaSO ₄) 9.098E-09 (0.817%)	CFC-11 1.814E-11 (0.000%)	CFC-114 4.643E-15 (0.012%)	hydrogen chloride(HCl) 2.928E-10 (0.046%)	nitrogen dioxide(NO ₂) 4.095E-08 (35.338%)	carbon monoxide(CO) 3.643E-09 (2.062%)
copper(Cu) 1.155E-13 (0.000%)	CFC-114 4.318E-11 (0.000%)	CFC-12 9.748E-16 (0.002%)	hydrogen fluoride(HF) 8.307E-11 (0.013%)	nitrogen oxides(NO _x) 5.154E-08 (44.468%)	ethane 1.614E-10 (0.091%)
crude oil 9.188E-07 (82.503%)	CFC-12 8.286E-12 (0.000%)	CFC-13 6.121E-16 (0.002%)	hydrogen sulfide(H ₂ S) 2.787E-09 (0.441%)	ammonia(NH ₃) 4.773E-12 (0.004%)	hydrocarbons 3.582E-08 (20.270%)
fluorspar(CaF ₂) 3.518E-14 (0.000%)	CFC-13 7.162E-12 (0.000%)	halon-1301 4.008E-11 (99.973%)	nitrogen dioxide(NO ₂) 2.205E-07 (34.878%)	COD 1.495E-08 (12.902%)	methane 9.220E-10 (0.522%)
hard coal 9.145E-08 (8.212%)	halon-1301 2.245E-08 (0.000%)	HCFC-22 5.860E-17 (0.000%)	nitrogen oxides(NO _x) 2.775E-07 (43.888%)	nitrate(NO ₃ ⁻) 9.276E-11 (0.080%)	n-butane 2.340E-10 (0.132%)
iron ore 2.201E-10 (0.020%)	HCFC-22 1.811E-12 (0.000%)		sulfur dioxide(SO ₂) 1.307E-07 (20.678%)	nitrogenous matter 4.356E-09 (3.758%)	nitrogen dioxide(NO ₂) 8.821E-09 (4.992%)
lead(Pb) 6.849E-12 (0.001%)	methane 3.227E-06 (0.021%)			phosphorus matter 3.779E-09 (3.261%)	NMVC 1.205E-07 (68.215%)
natural gas 8.194E-08 (7.357%)	nitrous oxide(N ₂ O) 2.670E-07 (0.002%)			phosphate(PO ₄ ³⁻) 1.541E-10 (0.133%)	propane 1.545E-10 (0.087%)
sulfur(S) 1.158E-08 (1.040%)					sulfur dioxide(SO ₂) 6.276E-09 (3.552%)
1.114E-06(100%)	1.555E-02 (100%)	4.009E-11 (100%)	6.323E-07 (100%)	1.159E-07 (100%)	1.767E-07 (100%)

표 31. 지구온난화 범주의 공정단계별, 물질별 특성화 분석 결과 (단위 : kg CO₂-eq/kg)

물질명	총합	인쇄용지	해리	파쇄	압착	상온건조	오븐건조
carbon dioxide(CO ₂)	1.555E-02	1.528E-04	1.294E-04	8.400E-06			1.526E-02
CFC-11	1.814E-11	1.814E-11	-	-	-	-	-
CFC-114	4.318E-11	4.318E-11	-	-	-	-	-
CFC-12	8.286E-12	8.286E-12	-	-	-	-	-
CFC-13	7.162E-12	7.162E-12	-	-	-	-	-
halon-1301	2.245E-08	2.245E-08	-	-	-	-	-
HCFC-22	1.811E-12	1.811E-12	-	-	-	-	-
methane	3.227E-06	3.227E-06	-	-	-	-	-
nitrous oxide(N ₂ O)	2.670E-07	2.670E-07	-	-	-	-	-
합계	1.555E-02	1.563E-04 (1.0%)	1.294E-04 (0.83%)	8.400E-06 (0.05%)	0.000E+00	0.000E+00	1.526E-02 (98.11%)

라. 결론

본 연구는 양액재배용 목재고형배지의 시장성과 환경성 분석을 목적으로 양액재배 농가 주민 인식조사와 배지 제조 과정에 대한 간략화 전과정 평가(S-LCA)를 수행하였다.

먼저 목재고형배지에 대한 농가 인식 조사는 목재고형배지의 시장현황, 양액재배를 위한 배지 선택 기준을 목적으로 경기·충청·강원지역 농가를 대상으로 설문조사를 실시하였다. 연구 결과 목재고형배지의 사용에 대해서는 긍정적 답변이 지배적이었고, 배지에 대한 경제적 비용은 약 1천만원~2천만원 가량 지불할 의사가 있는 것으로 조사되었다. 목재고형배지를 도입·사용할 경우 우선적으로 고려할 부분은 작물생산량, 배지의 수명연한, 배지의 가격, 기존 시설과의 호환성의 순이었다. 양액재배용 배지 선택 기준에 대한 AHP분석 결과 생산성이 배지 선택에 있어 가장 중요한 요인으로 나타났으며, 세부 항목별 중요도는 작물생산량, 병해충 발생 정도, 유지관리비용, 유지관리의 수월성, 초기투자비용, 물질에너지 사용량, 폐기물의 재활용 가능성, 폐기물 처리비용, 환경배출물 발생여부의 순이었다.

1차년도 연구에서 목재고형배지가 암면·코코피트에 비하여 확연히 드러나는 경제적 우수성은 없지만 무기질 배지를 대체할 수 있는 상품으로 가치가 있을 것으로 전망하였다. 2차년도 연구 결과도 대부분의 응답자가 영농규모를 확대할 계획이고, 2~3년 이내로 배지 및 배드시설을 교체할 것으로 조사되었으며, 특히 양액재배 농가에서 배지를 선택·사용함에 있어 배지의 가격, 설치비용과 같은 경제적 비용 보다는 작물 생육이 적합한 배지를 선택하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 목재고형배지를 상품화 하였을 때 이를 이용할 수 있는 구매자 및 시장은 조성되어 있다고 볼 수 있으며, 양액재배 시장에서의 새로운 대체상품으로서의 가치가 있을 것으로 보인다. 더불어 목재고형배지의 작물생산량, 타 배지와 혼용사용, 병해충에 대한 내성 등이 추가적으로 검증되고, 목재고형배지에 최적화된 작물과 재배방법 등이 공개·제공된다면 향후 많은 농가에서 활용할 것으로 사료된다.

둘째 본 연구에서는 목재고형배지의 제품의 제조단계에서 발생하는 환경영향을 S-LCA기법을 이용하여 평가를 수행하였다. 우선 연구대상의 제품의 전과정 목록분석 결과를 기초로 하여 영향범주별 즉 자원고갈, 오존층파괴, 산성화, 부영양화, 광화학적산화물 생성의 6가지 범주로 설정하였으며, 단위공정별 기여도, 물질별 기여도의 특성화된 환경영향을 분석하였다. 주요 환경영향 분석을 파악해본 결과, 지구온난화 영향범주의 영향이 절반이상을 차지하였으며, 목재고형배지 제조공정에서의 주요 환경영향 요인은 배지의 기계 건조 공정에서 발생하는 것으로 분석되었다. 목재고형배지는 목재칩과 폐종이를 원재료로 용수와 소량의 화학물을 첨가하여 제조되어, 전기사용에 따른 환경영향을 제외하고는 환경에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 향후 목재고형배지가 대량생산되는 시스템이 구축된다면 배지의 건조과정에서 많은 환경영향이 발생할 것으로 예상되어, 배지의 자연건조, 기계건조의 과정을 간략화하거나 건조시간을 단축할 수 있는 대안이 마련되어야 할 것이다.

전과정 평가에 대한 선행연구들은 대부분 양산되고 있는 제품과 제품의 원재료 생산, 제품 생산, 제품 사용, 제품 폐기의 단계가 이미 시스템화 되어 있는 상품에 대하여 환경영향을 평가하고 있다. 그러나 본 연구는 목재고형배지 개발을 위한 실험적 단계로서 배지의 원재료 채취, 배지의 사용, 배지의 폐기 과정의 전과정을 평가하는 것에 한계가 있었고, 또한 배지의 제조 과정에 사용되는 투입물과 산출물의 데이터를 수집함에 있어서도 정량적인 데이터 수집에 많은 어려움이 있어 이를 보완하기 위하여 주로 국가 DB를 활용하고 S-LCA 방법론을 적용하여 연구를 수행하였다.

제 4 절 목재고형배지 및 LED를 이용한 친환경양액재배시스템 모델 개발

1. 목재고형배지 실용화를 위한 작물생육 반응구명 및 적정 양액조성 개발

가. 연구목적

양액시설재배농가에서 대부분 암면 등 무기배지의 사용빈도가 높기 때문에 이에 대한 표준양액조성은 이미 실용화 산업화되어 있는 단계이나, 유기배지의 경우 배지원료의 종류가 다양하고 유기배지의 농업적 이용에 대한 관심은 최근에 이루어져 유기배지 이용을 위한 표준화 양액조성은 마련되어 있지 않고 있다. 본 연구는 기존 배양시설에 적용 가능하도록 고형유기배지의 특성을 파악하고, 작물생산의 실효성을 구명하고자 한다.

나. 재료 및 방법

(1) 공시재료

본 실험을 위해 수급의 용이도 및 화학적 특성 분석결과에서 양액재배용 유기고형배지에 가장 적합하다고 판단된 폐목재칩, 라디에타파인칩, 그리고 폐목재칩과 폐백상지를 혼합·압축하여 제작한 매트를 시험구로 사용하였으며, 대조군으로 암면슬라브와 코코피트슬라브를 사용하였다.

(2) 공시 양액

양액시설재배농가에서 사용빈도가 높은 암면 등 무기배지의 경우 표준양액조성이 이미 실용화 산업화가 되어있는 단계이다. 그러나 무기배지의 경우 환경오염 및 오염에 의한 작물 피해 등이 빈번히 발생하여 최근 유기배지에 대한 관심이 높아지고 있다. 유기고형배지의 경우 무기고형배지에 비해 기반재의 완충능이 뛰어나 양액조성의 불균형 및 장기간 양액을 사용했을 때 발생할 수 있는 양액조성의 변화에 의한 작물피해가 경감될 수 있는 장점이 있다. 이러한 배경으로 최근 유기고형배지의 사용에 대한 관심이 높아지고 있는데, 유기고형배지는 배지원료가 되는 기반재의 종류가 다양할 뿐만 아니라, 대부분 코코피트를 중심으로 수입되는 경우가 많아 원료의 균일성 및 이에 적용할 양액의 표준화가 아직 이루어지지 않은 상태이다. 표 1은 본 과제에서 개발된 목재기반 유기고형배지를 이용한 엽채류 양액재배를 위해 조사한 각 기관별 양액조성과 본 연구에 적용한 양액 조성을 정리한 표이다. 엽채류 양액재배용 양액조성은 국내 원시표준양액과 일본 야마자키양액을 기본적으로 참고하였으며, 원시표준양액에서 다량원소의 농도는 줄이고 첨가되는 양을 증가시켜 진행하였다. 또한, 수질을 고려하여 미량원소의 농도를 증가하여 적용하였다. 양액재배 시 무기배지와 달리 유기배지의 경우 양액처리에 의한 용출되는 성분이 있으며, 배지원료의 종류가 다양하여 용출되는 성분 또한 다양하다. 따라서 본 실험에서는 표 2에 나타낸 공시양액으로 이용하였다. 질소성분인 NO_3 와 NH_4 는 각각 5 me L^{-1} 과 0.2 me L^{-1} 씩 감소시켰으며 기타 인산(P), 칼슘(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)의 농도 역시 줄 50% 이하로 감소시켰다, 반면 미량원소의 경우 철(Fe), 붕소(B), 망간(Mn), 아연(Zn), 구리(Cu)

의 농도는 각각 0.3, 0.25, 0.25, 0.15, 0.19 ppm 증가시켜 사용하였다. 본 실험에서 이용되는 배지가 유기배지 이므로 다량원소의 경우 일부 유기고형배지로부터 용출되어 식물에 이용될 가능성이 높은 반면, 무기물을 중심으로 하는 미량원소의 경우 결핍현상을 나타낼 수 있을 것으로 사료된다.

표 1. 엽채류 재배용 기관별 양액재배용 양액조성 및 본 연구에 이용된 양액 조성

	다량원소 농도(me L ⁻¹)					
	NO ₃	NH ₄	P	K	Ca	Mg
한국 원시표준양액	9.0	0.7	2.0	5.0	4.0	2.0
일본 야마자키	7.0	0.7	2.0	4.0	3.0	2.0
네덜란드	19.0	1.25	2.0	11.0	4.5	1.0
실험 적용 양액*	4.0	0.5	0.5	0.5	2.5	1.0

	미량원소 농도(ppm)				
	Fe	B	Mn	Zn	Cu
한국 원시표준양액	1.95~3.25	0.5	0.5	0.05	0.01
일본 야마자키	2.0	0.2	0.2	0.02	0.01
네덜란드	40.0	30	0.0	4.0	0.75
실험 적용 양액*	5.0	0.75	0.75	0.20	0.20

* 본 연구에 사용된 양액 조성표

표 2. 표준양액 성분 조성표

구분	다량원소				
	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	MgSO ₄ · 7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	KH ₂ PO ₄
농도(me/l)	4.00	2.50	1.00	0.50	0.50
시용량(g/t)	404.4	295.2	123.2	57.5	43.5

구분	미량원소				
	Fe-EDTA	H ₃ BO ₃	MnSO ₄ · 4H ₂ O	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	CuSO ₄ · 5H ₂ O
농도(ppm)	5.00	0.75	0.75	0.20	0.20
시용량(g/t)	40.00	4.50	3.00	0.88	0.50

(3) 목재 유기고형배지의 양액시스템

양액재배용 목재 유기고형배지의 실용성을 평가하기 위해 동국대학교내 설치되어 있는 바이오환경과학과 비닐하우스에서 실시하였다. 본 실험에는 실제 농가에서 사용하는 양액재배 시스템을 축소하여 설치하였다. 슬라브는 농업용 유기고형배지로 쓰이는 코코피트슬라브(Grodan Co. Ltd., Denmark)와 동일 무게인 약 4.5kg와 같은 무게로 슬라브용 차광비닐에 넣어 제작하여 실험에 사용하였다. 폐목재칩을 이용하여 제조된 매트형식의 고형유기배지는 190(W) × 190(L) × 35(H) 의 크기로 2개씩 4열로 총 8개를 넣어 사용하였다(표 3). 또한 유묘를 정식하기 위한 큐브는 암면큐브를 모든 조건에 동일하게 이용하였으며, 큐브 한 개당 점적관수 한 개씩 꽂아 사용하였다(그림 1. B, C). 양액공급은 일반 농가에서 사용하는 시스템을 동일하게 이용하기 위하여 참여업체인 (주)인스마인테크놀로지에 의해 점적관수 방식으로 제작·사용하였다.

표 3. 양액재배용 배지 및 압면큐브

구분	사진	규격
암면슬라브		W200*L1000*T75
코코피트슬라브		W200*L1000*T75 / 4.5kg
폐목재칩슬라브		W200*L1000 / 4.5kg
라디에타파인칩 슬라브		W200*L1000 / 4.5kg
매트형 유기고형배지		W190*L760*T70
암면큐브		W75*L75*T70

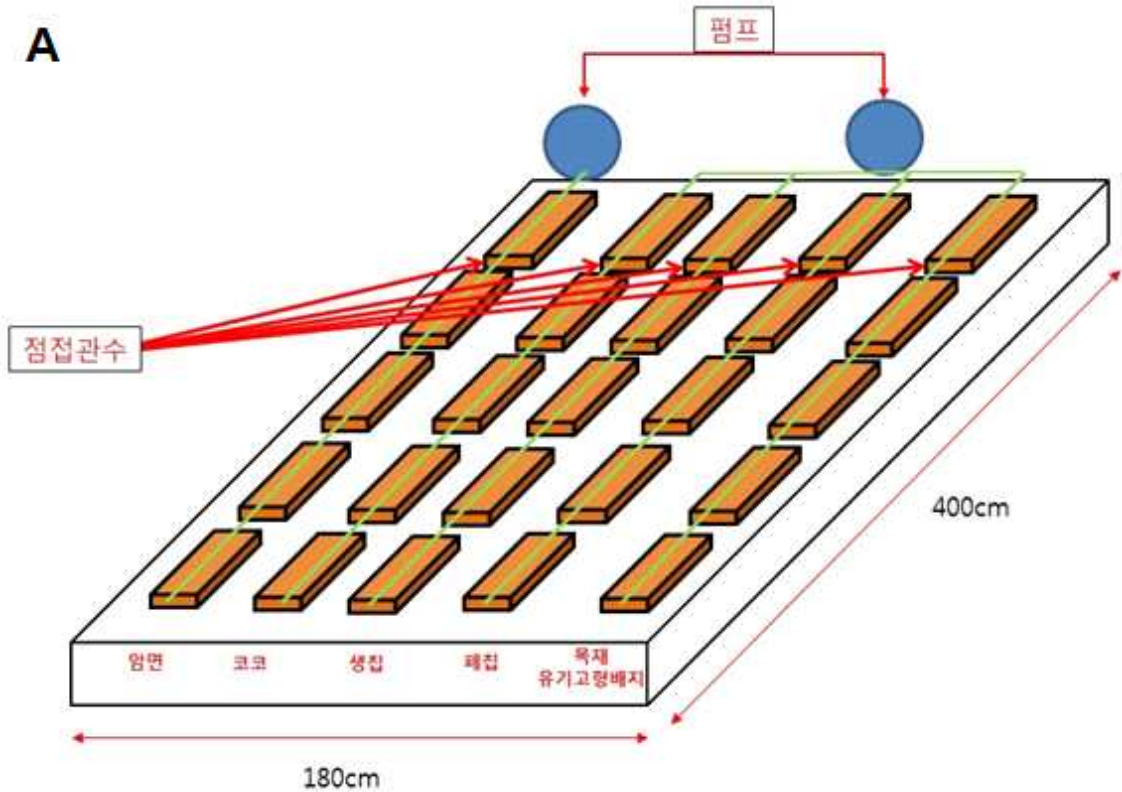


그림 1. 비닐하우스 내 양액재배시설

(4) 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물생장발달 및 품질 평가

엽채류는 생육기간이 과채류에 비해 짧으며, 동절기 시장성이 높은 작물이다. 개발된 목재 유기고형배지를 이용한 작물의 생육특성을 조사하여 목재 유기고형배지의 농업적 이용가능성을 검토하고자 하였다. 본 실험에서는 청치마상추와 적치마상추(아시아종묘)를 공시작물로 이용하였다. 배지는 폐목재칩과 라디에타파인칩, 폐목재칩을 이용한 매트형 기반재를 처리구로, 암면 슬라브와 코코피트슬라브를 대조구로 사용하였다. 양액은 1시간 간격으로 1일 12회 점적관수를 이용하여 급액하였으며, 두 개의 펌프간의 압력을 일정하게 조절하여 동일양의 양액이 공급되

도록 하였다. 동절기 및 춘절기 하우스내 재배환경 및 설치 양액시스템에 대한 양액조건을 검토하기 위해 선행 실험으로 5주간 실시하였다. 그 후 선행실험결과를 바탕으로 반복실험을 실시하였다. 엽채류에 대한 작물생장발달 및 품질평가는 72공 트레이에 파종하여 3주간 생육시킨 적치마상추와 청치마상추를 큐브 당 유묘1주씩, 큐브간에는 6~8cm의 정식거리를 두어 고품배지에 정식시켜 주차별 엽수, 엽장, 엽폭, 뿌리길이, 생체중, 건물중, 등을 분석하였다.

다. 결과 및 고찰

(1) 양액처리에 의한 목재 유기고형배지의 화학적 특성 변화

엽채류(적치마상추, 청치마상추)의 양액재배 시 최적조건은 pH 6내외, EC 2.0 ~ 2.5mS/cm 이내로 알려지고 있다. 표 4은 양액 주차별 pH 및 EC농도변화에 대한 결과를 나타낸 것이다. 무기배지인 암면슬라브는 EC에 대한 변화는 크지 않았다. 그러나 유기배지인 코코슬라브, 매트, 폐목재칩/라디에타파인칩슬라브는 1주차에서 용출된 염류가 배출이 되었고, 이후 줄어드는 경향을 나타냈다. pH는 암면슬라브와 코코슬라브에서 양액의 pH와 차이가 크지 않았지만, 매트 및 라디에타파인칩/폐목재칩슬라브는 pH가 약산성에서 중성으로 나타났다. 본 실험에 사용된 배지들의 양액처리에 의한 pH와 EC농도는 엽채류의 생육 적정 범위 안에 드는 것으로 사료된다.

표 4. 원시표준액 처리에 의한 암면 및 유기배지의 시간 경과에 따른 pH 및 EC 변화

구분	pH					EC (mS/cm)				
	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차
암면슬라브	6.88	6.97	6.71	6.76	6.90	0.92	0.88	0.92	0.90	1.30
코코슬라브	5.00	5.72	5.36	5.75	5.55	0.94	2.54	1.68	2.02	1.66
매트	5.00	6.74	6.67	6.72	6.27	0.94	1.98	1.31	1.84	1.61
라디에타파인칩 슬라브	5.00	5.30	6.87	6.66	6.42	0.94	0.92	0.86	1.01	1.52
폐목재칩슬라브	5.00	6.93	5.66	6.09	7.13	0.94	1.53	1.48	1.50	1.46

2. 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물생장발달 및 품질 특성

가. 엽수

본 실험에서는 적치마상추와 청치마상추의 엽수측정에 엽장이 1cm이상인 것만 이용하여 처리당 3개체씩 선별하여 측정하였다. 선행실험 및 반복실험을 통해 적치마상추와 청치마상추의 엽수를 측정하여 작물의 생육 추세를 검토하였으며 처리 배지별 엽수를 측정한 결과를 표 5에 나타냈다.

표 5. 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽수조사

(단위 : ea)

	적치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	10.7±1.70 ^y	a ^z	10.7±0.94	a	10.5±0.41	a	9.5±2.04	a	12.0±0.82	a
2주차	11.7±1.25	a	12.3±0.47	a	9.0±0.00	b	11.0±0.00	ab	12.0±1.63	a	
3주차	12.7±1.25	a	12.7±1.25	a	13.0±0.82	a	12.0±0.82	a	12.0±0.00	a	
4주차	17.0±1.63	a	14.3±1.25	a	17.0±1.63	a	17.0±1.63	a	15.5±1.22	a	
선행	청치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	12.0±0.82	a	13.7±0.47	a	12.0±0.82	a	12.5±1.22	a	13.3±1.63	a
	2주차	13.3±1.25	ab	14.3±0.47	ab	13.5±1.22	ab	15.5±0.41	a	11.5±2.86	b
	3주차	13.7±0.94	b	16.0±0.82	a	13.0±0.00	b	14.5±1.22	ab	14.5±0.41	ab
4주차	15.0±0.00	bc	17.7±2.36	b	13.0±0.00	c	15.5±2.04	bc	22.0±0.82	a	
반복	적치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00	
	2주차	10.3±0.47	c	13.3±1.25	a	13.0±0.82	a	12.7±1.25	ab	10.7±0.47	bc
	3주차	17.3±0.94	bc	19.7±0.47	d	19.7±0.94	a	18.7±0.94	ab	16.0±0.82	c
	4주차	25.3±1.25	a	26.0±1.63	a	25.3±0.47	a	25.0±2.16	a	20.7±0.47	b
	5주차	32.7±1.25	a	33.7±1.70	a	33.3±0.47	a	33.3±1.70	a	21.3±1.25	b
	청치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00		5.0±0.00	
	2주차	12.7±0.94	ab	14.7±0.94	a	14.3±0.47	ab	14.0±0.82	ab	12.3±1.25	c
3주차	19.7±0.47	b	24.3±0.47	a	22.7±1.25	a	22.7±1.70	a	18.0±0.82	b	
4주차	29.7±1.70	a	30.7±0.94	a	30.3±0.47	a	30.3±2.05	a	23.0±0.82	b	
5주차	40.7±1.25	a	40.3±1.25	a	39.7±0.47	a	39.3±1.25	a	25.7±0.47	b	

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

선행실험에서 엽수는 이식 후 1주간 적응기간 동안에 암면슬라브, 코코피트슬라브, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브에 비해 매트배지의 엽 발달이 낮았으나, 3주가 지난 후부터 엽의 발달이 빠른 속도로 증가되는 것이 나타났다. 최종 조사 결과, 암면슬라브에서 생육한 상추 잎의 발달은 초기 이식 기준 29.2%, 코코피트슬라브는 24.0%, 라디에타파인칩슬라브 25%, 폐목재칩슬라브 32.3%가 증가되었지만, 목재 유기고형배지(매트)의 상추는 33.3%로 빠른 성장을 보여준 것으로 나타났다. 또한 공시재료별 차이를 비교했을 때, 적치마 상추의 생육기간 동안

처리별 엽수 증가의 차이는 없는 반면 청치마 상추의 경우 뿌리 활착 및 순응기간 동안 매트 슬라브 처리구와의 차이를 보였다. 하지만 이 후 조사에서 목재 유기고형배지(매트슬라브) 처리구 개체들이 대조구 (암면 및 코코슬라브)에 비해 엽수의 증가가 뚜렷하게 확인되었다. 하지만 선행연구는 공시재료 및 주차별로 일관성 있는 결과로 나타나지 않아 본 실험에서는 동일한 엽 발달을 보인 개체들을 이식하여 처리별 증가율을 조사하였다.

본 실험에서는 적응기간 1주 후 암면슬라브, 코코피트슬라브, 라디에타과인칩슬라브, 폐목재칩 슬라브 처리구에서 모두 엽 발달이 우수하게 나타난 것을 확인하였다. 암면슬라브와 코코피트 슬라브, 라디에타과인칩슬라브, 폐목재칩슬라브는 잎의 발달이 일정하게 증가하였지만, 매트는 3주차부터 잎의 발달이 다른 슬라브에 비해 증가폭이 적었다. 상추잎의 생육발달을 비교해 본 결과, 암면슬라브 86.4%, 코코피트슬라브 86.5%, 목재 유기고형배지(매트) 78.7% , 라디에타과 인칩슬라브 86.3%, 폐목재칩슬라브 86.2%로 나타나, 선행실험에서 빠른 성장을 보인 매트가 본 실험에서 가장 낮은 성장을 보여주었다 (표 5). 따라서 상추의 작물 이용 특성을 고려했을 때 엽채류의 양액재배 시 목재유기고형배지가 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

나. 엽장

엽채류에서의 엽면적은 작물의 생육정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 지표이다. 본 연구에서는 엽장과 엽폭은 엽수를 조사한 개체들의 최대엽을 기준으로 3개씩 선별하여 측정하였다. 표 6는 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽장을 측정된 결과를 나타낸 것이다.



그림 2. 상추 엽폭 및 엽장측정

표 6. 처리 배치별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽장조사

(단위 : cm)

		적치마									
		암면	코코	라디에타파인칩		폐목재칩		매트			
선행	1주차	9.5±0.68 ^y	a ^z	9.6±0.26	a	7.2±0.87	c	9.2±0.49	ab	8.0±0.72	bc
	2주차	8.9±1.13	a	7.9±0.78	ab	8.8±0.75	a	6.5±0.22	b	8.1±0.68	ab
	3주차	9.3±0.40	a	8.0±0.31	b	7.6±0.14	b	7.4±0.31	b	7.5±0.16	b
	4주차	8.9±1.00	a	8.5±0.78	a	8.3±0.91	a	8.2±1.09	a	7.4±0.11	a
		청치마									
		암면	코코	라디에타파인칩		폐목재칩		매트			
선행	1주차	5.4±1.95	b	7.8±0.77	ab	8.1±0.53	a	7.6±0.94	ab	7.0±0.22	ab
	2주차	9.0±1.12	a	5.0±0.50	c	6.6±0.12	b	6.3±0.02	b	7.0±0.48	b
	3주차	8.2±0.80	ab	7.4±0.31	b	8.9±0.33	a	8.7±0.15	ab	7.5±0.80	b
	4주차	8.6±0.58	ab	7.6±0.74	b	10.6±0.42	a	10.7±1.69	a	8.0±0.49	b
		적치마									
		암면	코코	라디에타파인칩		폐목재칩		매트			
반복	1주차	4.0±0.55	ab	4.6±0.14	a	4.6±0.16	a	4.5±0.15	a	3.8±0.02	b
	2주차	8.8±0.30	a	8.7±0.31	a	8.7±0.33	a	8.7±0.12	a	8.8±0.33	a
	3주차	12.7±0.45	a	13.1±0.06	a	13.0±0.09	a	12.9±0.12	a	12.3±0.59	a
	4주차	18.6±0.36	a	19.0±0.26	a	19.0±0.16	a	19.0±0.20	a	17.2±0.21	b
	5주차	23.1±0.67	b	25.3±0.24	a	25.3±0.22	a	25.0±0.06	a	19.8±0.35	c
		청치마									
		암면	코코	라디에타파인칩		폐목재칩		매트			
반복	1주차	4.3±0.02	a	4.7±0.29	a	4.8±0.33	a	4.7±0.14	a	4.7±0.05	a
	2주차	10.8±0.34	a	11.0±0.26	a	11.1±0.27	a	10.9±0.12	a	10.7±0.25	a
	3주차	15.5±0.10	b	16.5±0.12	a	16.4±0.08	a	16.5±0.20	a	13.4±0.16	c
	4주차	21.9±0.14	b	22.4±0.19	a	22.4±0.21	a	22.0±0.16	ab	18.3±0.22	c
	5주차	26.0±0.67	a	26.9±0.52	a	26.7±0.17	a	26.5±0.18	a	21.0±0.14	b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

선행 실험에서 이식 1주 후 엽의 발달이 암면슬라브가 가장 높게 나타났다. 목재 유기고형배지(매트)와 라디에타파인칩슬라브는 변화의 차이가 크지 않았다. 그러나, 코코피트슬라브와 폐목재칩슬라브는 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이식 2주, 3주 후 엽장의 생장은 암면슬라브가 14.5%, 라디에타파인칩슬라브 19%, 폐목재칩슬라브 10.7%가 증가하였으나, 매트는 3.1%로 낮은 엽장 생장을 보였고, 코코피트슬라브는 8.1%로 오히려 감소하였다.

본 실험에서는 이식 후 1주간의 적응기간동안 암면슬라브, 코코피트슬라브, 목재 유기고형배지(매트), 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브의 엽 길이생장이 일정하게 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 2주차에서 5주차까지의 엽 길이생장 결과를 검토한 결과, 매트가 암면슬라브, 코코피트슬라브, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브에 비해 다소 낮았다. 전체 생장률을 비교한 결과, 암면슬라브 83.2%, 코코피트슬라브 82.2%, 매트 79.2%, 라디에타파인칩슬라브 82.1%, 폐목재칩슬라브 82.1%로 엽수의 결과와 비슷한 결과를 보여 주었다.

다. 엽폭

엽채류에서의 엽면적은 작물의 생육정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 지표이다. 본 연구에서는 엽장과 엽폭은 엽수를 조사한 개체들의 최대엽을 기준으로 3개씩 선별하여 측정하였다. 표 7는 처리배지별 적치마 상추와 청치마 상추의 엽폭을 측정한 결과이다.

표 7. 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽폭조사

(단위 : cm)

	적치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	선행	1주차	5.2±0.46 ^y	a ^z	5.2±0.19	a	3.6±0.71	b	5.1±0.15	a	4.7±0.34
	2주차	4.8±0.60	a	3.7±0.25	bc	4.4±0.49	ab	3.0±0.03	c	4.1±0.31	ab
	3주차	5.1±0.52	a	4.3±0.28	b	4.0±0.31	b	3.5±0.35	b	4.0±0.04	b
	4주차	4.5±0.25	ab	4.6±0.28	a	4.7±0.26	a	4.2±0.65	ab	3.6±0.34	b
	청치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	3.4±1.20	a	4.5±0.72	a	4.9±0.35	a	4.6±0.53	a	4.0±0.23	a
	2주차	4.2±0.41	a	2.9±0.10	b	4.0±0.16	a	3.7±0.20	ab	3.7±0.73	ab
	3주차	5.0±0.73	a	3.1±0.07	c	4.0±0.26	b	4.1±0.02	b	3.4±0.27	bc
	4주차	5.4±0.72	a	4.9±0.32	ab	3.6±0.14	c	5.0±0.16	ab	4.3±0.08	bc
	적치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	반복	1주차	1.9±0.10	b	2.2±0.04	a	2.2±0.10	a	2.1±0.05	a	2.1±0.02
	2주차	3.3±0.15	a	3.4±0.15	a	3.3±0.10	a	3.3±0.13	a	3.3±0.09	a
	3주차	3.9±0.29	a	3.9±0.29	a	3.8±0.20	a	3.9±0.18	a	3.9±0.15	a
	4주차	5.3±0.03	ab	5.5±0.14	a	5.5±0.24	a	5.4±0.14	a	5.1±0.09	b
	5주차	7.7±0.42	b	8.3±0.12	a	6.2±0.04	a	8.1±0.08	ab	6.2±0.17	c
	청치마										
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트		
	1주차	1.9±0.02	bc	2.0±0.00	b	1.9±0.02	c	2.0±0.00	b	2.2±0.05	a
	2주차	3.8±0.27	a	3.9±0.19	a	4.0±0.22	a	3.9±0.16	a	3.7±0.18	a
	3주차	4.7±0.05	b	4.9±0.06	a	4.8±0.08	ab	4.9±0.10	a	4.3±0.08	c
	4주차	6.0±0.10	a	6.2±0.03	a	6.2±0.10	a	6.0±0.21	a	5.5±0.10	b
	5주차	8.9±0.48	a	9.3±0.14	a	9.3±0.17	a	9.2±0.11	a	7.3±0.17	b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

선행 실험에서 이식 1주 후 암면슬라브는 증가한 반면, 코코피트슬라브와 매트, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브는 엽폭 성장 발달이 감소하는 것이 나타났다. 2주차와 3주차에서 암면슬라브와 코코피트슬라브, 폐목재칩슬라브는 점차 엽폭의 생장이 증가하는 반면, 매트와 라디에타파인칩슬라브는 3주차까지 유의성있는 변화는 보지 못하였다. 엽폭 발달율을 비교해본 결과 암면슬라브 13.8%, 코코피트슬라브 - 1.2%, 매트 -9.9%, 라디에타파인칩슬라브 - 3.0%, 폐목재칩슬라브 - 5.8%로 나타났다.

본 실험에서는 이식 1주 후 암면슬라브, 코코피트슬라브, 매트, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브의 엽폭 성장 발달이 일정하게 증가하는 것이 나타났다. 2주차에서 5주차까지 각각의 슬라브가 유의성있는 변화를 보였다. 엽폭 성장 발달률은 암면슬라브 77.2%, 코코피트슬라브

76.1%, 목재 유기고형배지(매트) 68.7%, 라디에타파인칩슬라브 76.5%, 폐목재칩슬라브 76.3%로 나타났다.

엽장 및 엽폭에 따른 작물의 생육조사 결과를 종합해보면 적치마 상추의 경우 생육 4주 조사에서 대조군을 포함한 전 처리구에서의 성장 차이(엽장 및 엽폭)가 없었던 반면 라디에타파인칩과 매트슬라브 처리구에서는 발달이 적었던 개체들에 대해 뿌리 활착 및 순응기간 이후 생장이 활발히 진행되는 것으로 보아 양액 시스템에서 본 연구에 사용된 유기고형배지의 사용이 적합한 것으로 판단된다. 청치마 상추의 경우에도 선행연구에서 초반 생육 이후 대조구(암면)에 비해 발달이 양호한 것으로 확인되었으며 특히 라디에타파인칩 및 폐목재칩슬라브 처리구에서 대조군 및 매트슬라브에 비해 우수한 성장발달을 보였다. 본 연구결과에서도 유사한 결과를 보였으며 마찬가지로 라디에타파인칩과 폐목재칩 처리구가 대조구에 비해 유사하거나 우수한 것으로 확인되었다(표 6과 표 7).

라. 잎 생체중

엽체류의 수량성 비교를 위해 그림 3에 나타난 것처럼 뿌리를 제거한 지상부를 대상으로 전자저울을 이용하여 잎의 생체중을 측정하였다. 표 8은 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 잎 생체중을 측정한 결과를 나타낸 것이다.



그림 3. 잎 생체중 측정

표 8. 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 지상부(잎) 생체중 조사

(단위 : g)

	적치마									
	암면		코코	라디에타파인칩	폐목재칩	매트				
	1주차	5.13±0.96 ^y	a ^z	4.61±0.66	a	2.40±0.66	b	4.81±0.98	a	4.27±0.97
2주차	4.44±1.26	a	2.93±0.68	ab	4.58±1.15	a	1.53±0.14	b	3.36±0.88	ab
3주차	5.75±1.16	a	3.46±0.20	b	4.24±0.43	b	3.44±0.44	b	3.10±0.22	b
선행 4주차	4.41±0.54	a	3.94±0.69	a	5.92±1.87	a	4.38±1.31	a	3.33±0.60	a
	청치마									
	암면		코코	라디에타파인칩	폐목재칩	매트				
	1주차	3.27±2.14	a	5.19±1.20	a	5.55±0.85	a	5.17±1.10	a	3.97±0.95
2주차	4.47±1.04	a	1.75±0.15	b	3.79±0.15	ab	3.32±0.18	ab	3.19±1.74	ab
3주차	4.24±0.56	ab	3.55±0.42	bc	3.01±0.04	c	4.69±0.32	a	3.78±0.27	bc
4주차	5.26±1.34	a	4.91±0.86	a	3.02±0.35	a	5.56±1.25	a	4.81±1.17	a

	반복									
	적치마					청치마				
	암면	코코	라디에타파인칩	폐목재칩	매트	암면	코코	라디에타파인칩	폐목재칩	매트
1주차	0.32±0.06	a	0.23±0.00	b	0.22±0.01	b	0.23±0.01	b	0.21±0.00	b
2주차	26.04±1.26	b	28.84±0.49	a	27.96±0.08	a	28.02±0.09	a	29.30±0.63	a
3주차	51.65±1.16	b	56.01±0.64	a	55.78±0.32	a	56.00±0.05	a	47.71±1.11	c
4주차	78.75±1.22	a	80.10±1.31	a	80.07±0.73	a	79.70±0.82	a	68.12±0.79	b
5주차	97.30±1.05	a	104.22±6.38	a	103.71±2.70	a	103.78±2.02	a	75.43±3.80	b
1주차	0.32±0.03	a	0.25±0.02	b	0.24±0.01	b	0.24±0.02	b	0.25±0.03	b
2주차	31.94±0.84	a	32.89±0.37	a	32.62±0.26	a	32.45±0.35	a	32.50±0.89	a
3주차	58.79±0.32	b	63.30±2.15	a	59.85±1.31	b	60.03±0.24	b	51.75±1.13	c
4주차	88.38±0.61	a	87.43±1.46	a	88.21±0.72	a	87.40±1.16	a	70.21±0.36	b
5주차	118.26±4.72	a	121.76±1.62	a	120.98±0.27	a	120.84±0.52	a	85.98±2.20	b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

선행 실험에서 1주간의 적응기간에 암면슬라브와 폐목재칩슬라브는 증가한 반면, 코코피트슬라브, 목재 유기고형배지(매트), 라디에타파인칩슬라브는 생체중이 감소하였다. 2주차 지나서 암면슬라브, 코코피트슬라브, 폐목재칩슬라브는 점차 생체중이 증가하였다. 라디에타파인칩슬라브는 4주차까지 급격하게 생체중이 감소하였다. 목재 유기고형배지(매트)는 2주에서 3주차까지 유의성있는 변화는 보지 못하였지만 4주차에 증가하였다. 최종 조사 결과에서 앞 생체중은 암면슬라브는 13.4%, 코코피트슬라브 - 11.4%, 목재 유기고형배지(매트) -1.6%, 라디에타파인칩슬라브 - 55.7%, 폐목재칩슬라브 34.1%로 나타났다.

본 실험에서는 이식 후 1주간의 적응기간동안 암면슬라브, 코코피트슬라브, 목재 유기고형배지(매트), 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브의 앞의 생체중이 우수하게 나타났다. 2주에서 5주차까지 옆 길이생장은 암면슬라브 99.7%, 코코피트슬라브 99.8%, 목재 유기고형배지(매트) 99.7%, 라디에타파인칩슬라브 99.8%, 폐목재칩슬라브 99.8%로 나타났으며, 모든 슬라브가 앞의 생육 측면에서 좋은 결과를 보였고, 반복 실험을 통해 비슷한 결과를 얻었다.

생체중 조사 결과를 종합하면 선행 실험의 최종 생육조사에서 대조군을 포함한 전 처리구에서 고른 발달을 보인 반면에 반복 실험 결과에서는 매트슬라브 처리구 개체들의 발달이 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다. 또한 이식 시 발달 차이를 둔 개체들을 처리한 경우 대조구(암면)와 비교했을 때 매트슬라브 처리구를 제외한 전처리구의 개체들이 순응기간을 거쳐 최종 조사기간 동안 고른 발달을 보이는 것을 확인할 수 있었다 (표 8).

마. 뿌리길이

뿌리길이는 옆 발달을 조사한 개체와 동일한 것을 대상으로 그림 4에 나타낸 것처럼 전초를 잘라내고 제일 긴 뿌리길이까지의 길이로 측정하였다.



그림 4. 뿌리길이 측정

표 9. 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 뿌리길이 조사

(단위 : cm)

	적치마									
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트	
1주차	8.7±1.48 ^y	b ^z	12.7±1.12	a	10.4±0.94	ab	11.0±0.05	ab	10.3±2.82	ab
2주차	9.8±1.90	ab	7.8±0.57	b	10.0±1.18	ab	11.9±0.98	ab	8.1±0.05	b
3주차	12.2±0.87	a	8.4±1.23	d	9.0±0.21	cd	10.4±0.45	bc	11.0±0.16	ab
4주차	9.3±2.22	ab	9.5±1.27	ab	6.7±1.22	b	8.2±0.08	ab	11.1±0.41	a
	청치마									
	암면		코코		라디에타파인칩		폐목재칩		매트	
1주차	9.8±1.72	a	9.2±0.48	a	12.6±1.18	a	11.8±1.59	a	9.6±2.61	a
2주차	11.6±1.41	a	7.8±1.11	b	8.0±0.16	b	12.3±1.39	a	6.0±2.08	b
3주차	12.8±0.49	a	9.0±0.29	c	9.7±0.24	c	11.5±1.02	bc	9.8±0.12	c
4주차	8.2±0.45	b	9.2±0.69	ab	10.6±0.73	ab	10.6±2.37	ab	12.0±2.04	a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 9은 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 뿌리길이를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 선행 실험에서는 1주간의 적응기간 동안 코코슬라브와 목재 유기고형배지(매트), 라디에타파인칩슬라브의 뿌리 생장은 줄었고, 암면슬라브와 폐목재칩슬라브의 상추에서는 뿌리 성장 발달이 우수하게 나타났다. 하지만 적응기간 후 2주, 3주차에서는 오히려 목재 유기고형배지(매트)에서 급격히 뿌리생장이 발달 외었고(14.1%), 코코슬라브도 증가하는 것이 나타났으나, 이식했을 때 뿌리길이에 비해 16.9%가 모자란 것으로 나타났다. 그리고 2주, 3주차간 뿌리길이 성장에서 암면슬라브 43%, 라디에타파인칩슬라브 - 32.4%, 폐목재칩슬라브 - 20.7%로 큰 차이로 줄어드는 것이 나타났다. 본 실험에서는 상추의 뿌리가 배지와 엉키며 성장하여 뿌리의 길이를 측정할 수 없었다.

바. 뿌리 생체중

표 10는 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 뿌리 생체중을 측정한 결과를 나타낸 것이다.

표 10. 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 지하부(뿌리) 생체중 조사

(단위 : g)

	적치마									
	암면		코코		라디에타과인칩		폐목재칩		매트	
1주차	0.90±0.20 ^y	ab ^z	0.86±0.07	ab	0.65±0.05	b	1.03±0.04	a	0.70±0.22	ab
2주차	0.84±0.34	b	0.79±0.13	b	1.31±0.18	a	0.44±0.08	b	0.67±0.20	b
3주차	1.11±0.24	a	0.73±0.05	b	1.04±0.01	a	0.92±0.03	ab	0.78±0.02	b
4주차	0.98±0.15	a	0.67±0.13	a	1.05±0.62	a	0.89±0.16	a	0.95±0.12	a
	청치마									
	암면		코코		라디에타과인칩		폐목재칩		매트	
1주차	1.11±0.43	a	1.32±0.16	a	1.07±0.16	a	1.07±0.13	a	0.76±0.15	a
2주차	1.64±0.63	a	0.49±0.03	b	0.83±0.13	b	1.03±0.11	ab	0.80±0.07	b
3주차	1.41±0.16	a	1.22±0.14	ab	1.08±0.10	bc	1.07±0.18	bc	0.77±0.05	c
4주차	1.46±0.29	a	1.39±0.46	a	1.43±0.04	a	1.25±0.39	a	0.89±0.26	a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 1주 후 뿌리의 생체중은 암면슬라브, 폐목재칩슬라브는 생체중이 증가하는 것으로 나타났다. 코코슬라브와 라디에타과인칩슬라브는 급격히 줄어들고, 목재 유기고형배지(매트)는 일정하게 유지된 것으로 나타났다. 최종 4주차까지 유의성있는 결과를 보여주는 암면슬라브와 코코 피트슬라브, 목재 유기고형배지(매트)가 있으나, 목재 유기고형배지(매트)에서는 3주차에서 4주차까지의 결과 값이 두드러지게 나타났다. 최종 뿌리 생체중 측정결과 암면슬라브는 19.5%, 코코슬라브는 -4.1%, 목재 유기고형배지(매트)는 19.4%, 라디에타과인칩슬라브는 23.3%, 폐목재칩슬라브는 22.3%로 나타났다.

뿌리 발달 정도는 작물의 적응기간동안 슬라브에 활착된 뿌리의 분리가 어려워 반복실험 개체들은 조사하지 않았으며 선행연구 결과를 대상으로 조사한 결과 일관적인 유의차를 확인할 수 없었다 (표 9, 10). 이는 작물의 뿌리 형태 및 생육특성상 슬라브와의 분리 및 배지 제거 과정에서 상대적으로 연약한 뿌리가 손실되었을 가능성을 가진다. 그러나 슬라브 내 뿌리의 안정적인 활착을 확인하였고 엽 발달 측정 결과에 따라 (표 5~표 8) 본 연구에서 사용된 목재유기 고형배지는 암면이나 코코슬라브를 대신하여 엽채류를 위한 양액시스템에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 한편 매트슬라브의 경우는 엽과 뿌리 생육조사 결과를 종합해 보았을 때 슬라브에 활착된 뿌리를 통한 양액 흡수가 대조구를 포함한 타 처리구 개체들에 비해 상대적으로 낮은 것으로 사료된다.

사. 결론

선행실험은 양액재배를 위한 재배환경과 및 조건을 조율하는 것이 주 목적으로 수행되었다. 선행실험시 배지가 양액으로 인해 충분히 젖어 있지 않아 1주차에서 많은 양의 상추가 사멸하는 것을 관찰할 수 있었다. 이에 1일 1분 30초씩 8회 공급하던 양액을 1일 2분씩 12회 공급으로 양액공급 횟수를 늘려 본 실험에 적용하였다. 또한 큐브와 배지가 닿는 부분에서 원활한 양액공급을 위해 배지와 닿는 부분의 표면적을 넓게 하여 처리하였다.

이와 같은 문제점을 고려한 본 실험에서는 전체적으로 안정적인 생육을 관찰 할 수 있었다.

뿌리 생장이 활발하여 뿌리를 적출할 시 뿌리가 잘라지는 현상에 의해 생육조사가 불가피 했던 본 실험에서의 뿌리 길이 및 뿌리 생체중을 제외한 엽수, 엽장, 엽폭에서 암면슬라브, 코코피트슬라브, 매트, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브 모두 증가하였으나 매트에서는 상대적으로 저조한 생육을 나타내었다. 이는 매트를 2층으로 쌓아 매트간의 수분 및 양액의 공급에 어려움이 있어 생육이 저조한 것으로 사료된다. 이에, 차후 연구에서는 본 매트가 수분 및 양액의 공급이 수월하도록 W200*L1000*T75의 암면 및 코코피트 슬라브와 동일한 규격의 매트를 제작하여 적용하고자 한다. 결과적으로 생육조사 결과 목재 유기고형배지를 이용한 양액재배는 엽채류의 생육에 좋은 영향을 주는 것을 확인할 수 있었으나, 매트가 다른 슬라브들에 비해 다소 시간이 지날수록 생육발달이 저조하였다. 하지만 상추의 시장성을 보면 현재 조사했던 5주차까지의 생육은 오히려 시장성이 떨어진다고 볼 수 있기 때문에 가장 이상적인 결과를 보였던 3주차에서 4주차까지의 결과만 본다면 매트에서 재배한 상추와 암면슬라브, 코코피트슬라브, 라디에타파인칩슬라브, 폐목재칩슬라브와 마찬가지로 시장성과 상추의 생육정도가 좋았다고 사료된다.

3. 목재고형배지 및 LED를 이용한 친환경 작물생산성 연구

가. 연구목적

현재 양액재배는 시설재배에서 큰 부분을 차지하고 있으며, 최근에는 시설재배에 있어 배지원료의 종류가 늘어나고 있다. 배지원료의 종류가 늘어남에 따라 양액의 조성뿐 만아니라 다목적 재배 기능이 요구되고 있다. 따라서 개발된 목재 유기고형배지의 양액재배 시스템에 적용하였을 때, 작물의 생육정도 및 시장성을 구명하고자 한다

나. 재료 및 방법

(1) 공시재료

본 실험을 위해 수급의 용이도 및 화학적 특성 분석결과에서 양액재배용 유기고형배지에 가장 적합하다고 판단된 혼합칩슬라브, 단일목재칩슬라브, 부숙수피슬라브, 부숙혼합물슬라브를 시험구로 사용하였으며, 대조구로 코코피트슬라브를 사용하였다.

(2) 공시양액

표 11은 본 연구 진행을 위해 사용한 공시양액과 한국 원시표준양액, 일본 야마자키표준양액, 네덜란드 표준 양액 등의 조성을 비교한 것이다. 과채류 재배용 양액은 한국원시표준양액을 변형하여 사용하였다. 또한 과채류에 적용하기 위한 양액은 한국 원시표준양액과 일본 야마자키 양액 그리고 네덜란드 PBG 양액을 참고하여 원소 농도차이를 비교하여 과채유인 고추의 재배에 이용하였다. 연구에 적용한 양액은 야마자키양액과 매우 근접한 농도를 사용하였지만, 재배 환경에 의해 다량원소의 첨가 양을 증가시켜 연구에 적용하였다. 작물 생육동안 관찰하여 양액 조성에서 부족한 원소는 추가 첨가해주는 형식으로 진행하였으며, 배양액의 침전이 일어나지

않게 유의하여 진행하였다.

과채류의 재배에 있어서는 다량원소인 NO₃, NH₄를 비롯한 인산(P), 칼슘(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg) 모두의 경우 각각 12.0, 0.8, 3.5, 7.5, 5.5, 3.0 me L⁻¹ 감소시켰으며, 미량원소의 경우 각각 2.0, 0.25, 0.25, 0.15, 0.18 ppm 증가시켜 사용하였다. 최종적인 과채류를 위한 양액조성 표는 표 12와 같다.

표 11. 과채류 재배용 기관별 양액재배용 양액조성 및 본 연구에 이용된 양액 조성

	다량원소 농도(me L ⁻¹)					
	NO ₃	NH ₄	P	K	Ca	Mg
한국 원시표준양액	16.0	1.3	4.0	8.0	8.0	4.0
일본 야마자키	9.0	0.8	2.5	1.5	3.0	6.0
네덜란드 PBG	12.5	0.5	1.0	5.75	3.75	1.125
실험 적용 양액	4.0	0.5	0.5	0.5	2.5	1.0

	미량원소 농도(ppm)				
	Fe	B	Mn	Zn	Cu
한국 원시표준양액	3.0	0.5	0.5	0.05	0.02
일본 야마자키	3.0	0.5	0.5	0.05	0.02
네덜란드	15.0	25.0	10.0	4.0	0.75
실험 적용 양액	5.0	0.75	0.75	0.20	0.20

표 12. 과채류용 공시 배양액 조성표

구분	다량원소				
	KNO ₃	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	MgSO ₄ · 7H ₂ O	NH ₄ H ₂ PO ₄	KH ₂ PO ₄
농도(me/l)	4.00	2.50	1.00	0.50	0.50
시용량(g/t)	506.6	324.8	168.4	86.0	42.0

구분	미량원소				
	Fe-EDT A	H ₃ BO ₃	MnSO ₄ · 4H ₂ O	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	CuSO ₄ · 5H ₂ O
농도(ppm)	5.00	0.75	0.75	0.20	0.20
시용량(g/t)	30.00	3.50	2.00	0.02	0.05

* 충청북도 농촌진흥원에 공시된 고추 양액재배 배양액에 의거하여 본 연구에 적용하기위해 양액의 조성을 변화하여 적용하였으며, 본 연구 1차년도에 적용한 양액조성에서 KNO₃ 를 10 2.2g/t를 추가 첨가하였으며, Ca(NO₃)₂ · 4H₂ O를 29.6g/t를 추가하였다.

(3) 양액재배용 유기고형배지 및 양액시스템

본 연구는 실제 농가에서 사용하는 시설 및 양액조성을 사용하였으며, 양액재배 시스템은 실제 농가 규모의 축소하여 설치하였다. 실험진행은 실제 농가에서 사용되고 있는 코코피트슬라브(Grodan Co. Ltd., Denmark)를 대조구로 하였으며, 개발한 유기고형배지는 대조구와 동일한 약 4.5kg 무게로 양액재배 슬라브용 차광비닐에 넣어 밀봉한 후 사용하였다. 매트형식의 고형배지는 190(W)*450(L)*70(H) 의 크기로 총 2개를 넣어 사용하였다. 또한 생육조사를 위해 엽채류를 정식하여 실험을 진행할 수 있는 암면큐브를 사용하였으며, 암면큐브에 점접관수 한 개씩

꽃아 진행하였다(그림 5). 압면큐브는 기반재 불림작업 후 물성이 약할 때 큐브의 1/3정도 잠길 수 있도록 파내어 접촉면이 최대한 밀착될 수 있게 해주었으며 큐브에 작물을 정식하여 생육을 실시하였다.

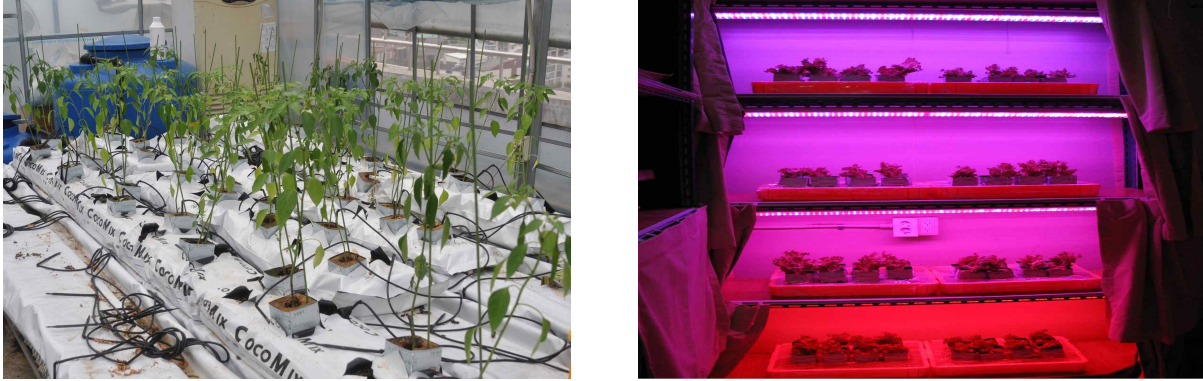


그림 5. 양액재배 현황 및 LED 작물 생육환경.

(4) 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물성장발달 및 품질 평가

본 연구에 사용한 엽채류는 생육기간이 짧으며, 개발한 목재 유기고형배지의 이용가능성을 조사하기에 적합하다고 판단되어 엽채류인 적치마상추와 청치마상추를 공시작물로 이용하였다. 개발된 유기고형배지의 평가를 위해 적치마상추, 청치마상추의 생육 조사하여 양액재배 유기배지의 이용가능성을 평가하였다. 배지는 코코피트슬라브를 대조구로하며, 개발된 배지로는 혼합칩배지, 부숙혼합배지, 단일목재칩배지, 부숙수피배지를 사용하였다. 양액은 1시간 간격으로 1일 12회 점적관수를 이용하여 급액 하였으며, 두 개의 펌프간의 압력을 일정하게 조절하여 동일양의 양액이 공급되도록 하였다. 양액시스템에 대한 양액조건을 검토하기 위해 5주간의 생육을 실시하였다. 실험은 1차, 2차 실험으로 진행하였으며, 엽채류의 생육조사 및 품질평가를 위해 트레이에 종자를 파종하여 3주간 생육시킨 적치마상추와 청치마상추를 큐브 당 육묘 1주씩, 큐브 간에는 6~8cm의 정식거리를 두어 고형배지에 정식시켜 주차별 엽수, 엽장, 엽폭, 생체중, 건물중 등을 분석하였다.

	청치마상추		적치마상추	
	생육 1주차	생육 5주차	생육 1주차	생육 5주차
코코 피트 슬라 브				
단일 목재 칩슬 라브				
혼합 칩슬 라브				
부숙 혼합 슬라 브				
부숙 수피 슬라 브				

그림 6. 연구수행 기반재별 작물(적치마상추, 청치마상추)의 생육사진
* 10cm 실측 크기

다. 결과 및 고찰

(1) 목재 유기고형배지의 pH 및 EC의 화학적 특성 변화

양액재배동안 엽채류(적치마상추, 청치마상추)의 최적조건은 pH 6내외, EC 2.0~2.5mS/cm 이 내의 조건으로 알려져 있으며, 본 연구는 최적조건을 맞춘 상태에서 주차별 각 슬라브별 폐수의 pH 및 EC농도변화를 측정하였다(표 13.).

표 13. 코코피트슬라브 및 목재 유기고형배지의 주차별 pH 및 EC 농도변화

구분	pH					EC (mS/cm)				
	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차
코코슬라브	5.00	6.43	5.84	6.08	6.21	1.65	1.94	1.46	1.61	1.86
혼합칩슬라브	5.00	7.03	6.74	6.28	6.30	1.01	0.92	1.66	1.23	1.42
단일목재칩슬라브	5.00	6.89	5.99	6.21	6.33	1.31	0.86	1.41	1.11	1.36
부속수피슬라브	5.00	6.12	6.43	5.99	5.98	1.68	2.02	1.98	1.66	1.77
부속혼합물슬라브	5.00	6.55	6.96	6.64	6.33	1.46	0.90	1.36	1.13	1.55

4. 목재 유기고형배지 사용에 의한 엽채류의 작물생장발달 및 품질 특성

가. 엽수

본 실험에서는 적치마상추의 엽수측정에 엽장이 1cm이상인 것만 이용하였다. 엽수를 측정하여 작물의 생육 추세를 검토하였다. 처리 배지별 엽수를 측정한 결과를 표 14, 15에 나타냈다.

표 14. 유기배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽수조사

(단위 : ea)

	적치마				
	코코	부속혼합물	혼합칩	부속수피	단일목재칩
1주차	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00
2주차	6.0±0.82 ^y a ^z	5.0±0.82 a	6.0±0.82 a	6.0±0.82 a	6.0±0.82 a
3주차	8.0±0.82 a	7.7±0.94 a	8.7±1.70 a	8.0±1.63 a	7.0±0.82 a
4주차	9.7±1.70 a	9.7±0.94 a	10.7±0.94 a	8.0±1.41 a	8.0±0.82 a
	청치마				
	코코	부속혼합물	혼합칩	부속수피	단일목재칩
1주차	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00	5.0±0.00
2주차	8.0±1.41 a	6.0±1.41 a	7.0±0.82 a	7.0±0.82 a	8.0±2.16 a
3주차	12.3±0.47 a	12.3±0.47 a	10.0±1.63 a	11.0±1.41 a	11.7±0.47 a
4주차	15.7±2.62 b	15.7±2.62 b	15.0±0.82 b	23.0±0.82 a	15.7±0.47 b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 15. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 엽수조사

(단위 : ea)

	적치마			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	8.0±0.82 ^y a ^z	6.0±0.00 b	7.0±0.82 ab	6.5±0.41 b
2주차	11.0±0.82 a	10.0±0.82 a	11.0±1.63 a	11.0±0.00 a
3주차	18.0±0.00 bc	17.0±0.82 c	20.5±0.41 a	18.5±0.41 b
4주차	24.5±1.22 a	25.0±4.90 a	28.0±0.82 a	25.0±1.63 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

엽수는 이식 후 1주간 적응기간 동안에 코코피트슬라브, 혼합칩슬라브, 부숙수피슬라브, 단일목재칩슬라브에 비해 부숙혼합물슬라브의 엽 발달이 낮았으나, 2주차 후부터 엽의 발달이 빠른 속도로 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 최종 조사 결과, 상추 잎의 발달은 코코피트슬라브 대비 부숙혼합물슬라브에서 22.4%의 가장 우수한 엽발달을 보였으나, 해충의 발생이 잦아 추가실험 슬라브에서 제외할 것으로 판단되었으며, 그 밖에 혼합칩슬라브 20.7%로 부숙혼합물슬라브에 이어 좋은 엽발달이 보였으며, 부숙수피슬라브 - 6.9%, 단일목재칩슬라브 - 13.8%로 엽 발달결과가 다소 낮게 나왔으나 추가실험의 필요성을 느껴 추가실험에는 혼합칩슬라브, 부숙수피슬라브, 단일목재칩슬라브가 적합하다고 판단된다.

2년차 연구에서는 목재 유기고형배지 사용 효율을 높이기 위해 1년차 연구에서 사용된 배지보다 사이즈 및 형태가 보완된 매트로 제작하여 사용하였다. 상추의 생육 조사 결과, 적치마상추의 경우 엽수 발달의 차이는 없는 것으로 확인된 반면 청치마상추의 경우 부숙수피슬라브 처리구 개체들의 엽수 발달이 대조구(코코슬라브)를 포함한 타 처리구들에 비해 좋은 것으로 확인되었다 (표 14). 또한 배지에 발생된 곰팡이로 인한 처리개체의 오염 가능성을 고려해 2차 연구에서는 부숙혼합물슬라브를 제외하였으며 보다 효율적인 성장 비교를 위해 상대적으로 발달이 약했던 적치마 상추를 대상으로 추가 연구를 수행하였다 (표 14, 15). 조사결과, 뿌리 활착 및 순응기간 동안 부숙수피 처리구 개체들의 엽수 발달이 대조구(코코슬라브)를 포함한 타 처리구들에 비해 좋은 것으로 확인되었다. 코코피트슬라브와 혼합칩슬라브, 단일목재칩슬라브보다 부숙수피슬라브에서 엽 발달이 증가됨을 확인할 수 있었다. 상추 잎의 생육발달을 비교한 결과, 대조구인 코코피트슬라브의 67.3%였으며, 실험구인 부숙수피슬라브의 75%로 대조구보다 7.7% 높은 발달을 보였다. 또한 생육 4주차 조사에서 전처리구 간 유의차가 없었으나 3주차 조사 결과에서 부숙수피 처리구 개체들의 엽수발달이 상대적으로 좋게 나타났다 (표 15). 따라서 작물 이용 특성에 따라 엽채류(상추)의 양액 시스템에 부숙수피를 이용한 목재유기고형배지가 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

나. 엽장

엽채류에서의 엽면적은 작물의 생육정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 지표이다. 본 연구에서는 엽장과 엽폭은 최대엽을 기준으로 측정하였다. 표 16, 17는 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽장을 측정한 결과를 나타낸 것이다.



그림 7. 상추 엽장측정

표 16. 유기배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽장조사

(단위 : cm)

	적치마									
	코코		부숙혼합물		혼합칩		부숙수피		단일목재칩	
1주차	4.0±0.37 ^y	b ^z	4.6±0.11	a	3.8±0.02	b	4.6±0.10	a	4.6±0.12	a
2주차	6.5±0.14	b	7.6±0.07	a	7.4±0.22	a	6.5±0.11	b	5.5±0.14	c
3주차	8.8±0.07	ab	8.6±1.46	ab	10.7±0.53	a	7.7±0.10	b	8.3±1.62	ab
4주차	14.0±0.54	ab	13.2±0.14	b	15.6±0.32	a	11.1±0.66	c	13.9±1.67	ab
	청치마									
	코코		부숙혼합물		혼합칩		부숙수피		단일목재칩	
1주차	4.3±0.04	a	4.7±0.20	a	4.6±0.03	a	4.7±0.22	a	4.7±0.25	a
2주차	8.5±0.19	c	9.9±0.14	ab	10.1±0.03	a	9.9±0.15	ab	9.7±0.17	b
3주차	15.1±0.08	b	15.0±0.10	b	16.4±0.06	a	14.7±0.15	b	15.0±0.43	b
4주차	21.4±0.39	ab	19.6±0.17	c	21.0±0.26	ab	21.9±0.14	a	20.3±1.01	bc

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 17. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 엽장조사

(단위 : cm)

	적치마							
	코코		혼합칩	부숙수피	단일목재칩			
1주차	7.6±0.03 ^y	b ^z	8.7±0.31	ab	9.6±0.05	a	8.0±0.98	b
2주차	10.2±0.23	b	10.0±0.11	b	11.2±0.31	a	10.1±0.15	b
3주차	15.2±2.56	a	14.1±0.16	a	15.9±0.39	a	13.1±0.23	a
4주차	20.1±0.95	a	20.9±2.34	a	23.3±0.49	a	20.3±0.53	a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 1주 후 엽 발달을 확인한 결과 부숙혼합물슬라브와, 혼합칩슬라브에서 가장 높게 나타났다. 최종 조사결과, 코코피트슬라브와 비교하였을 때 혼합칩슬라브는 3.4%의 엽 발달이 좋았던 반면, 부숙혼합물슬라브 - 2.9%, 부숙수피슬라브 - 11.7%, 단일목재칩슬라브 - 2.7%로 코코피트슬라브보다 낮은 결과를 보였으나, 추가실험에서 재확인 필요하다고 판단되어 부숙혼합물

슬라브를 제외한 2차 실험이 필요하다고 판단된다. 선별된 유기배지를 적용한 추가실험에서는 적응기간 1주후 엽 발달을 비교해본 결과 코코피트슬라브는 25.5%, 혼합칩슬라브 13.0%, 부속수피슬라브 15.0%, 단일목재칩슬라브 20.8%로 증가하는 것을 확인하였다. 적응기간 이후 전체적으로 높은 발달률을 확인할 수 있었다. 최종 조사 결과 초기 이식 기준 4주간의 엽 길이생장 발달이 코코피트슬라브 62.2%, 혼합칩슬라브 5.4%, 부속수피슬라브 58.8%, 단일목재칩슬라브 58.3%로 나타났다. 따라서 코코피트슬라브의 결과가 가장 높았으며, 실험구에서는 부속수피슬라브가 엽 길이생장 발달이 잘 이루어짐을 확인하였다.

다. 엽폭

엽채류에서의 엽면적은 작물의 생육정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 지표이다. 엽장과 엽폭은 최대엽을 기준으로 측정하였다. 표 18, 19은 처리배지별 적치마상추와 청치마상추의 엽폭을 측정한 결과이다.



그림 8. 상추 엽폭

표 18. 유기배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 엽폭조사

(단위 : cm)

	코코		부속혼합물		적치마		부속수피		단일목재칩	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1주차	1.9±0.15 ^y	b ^z	2.2±0.06	a	2.1±0.08	ab	2.2±0.05	a	2.2±0.09	a
2주차	5.2±0.16	b	5.9±0.19	a	5.9±0.17	a	4.7±0.17	c	3.9±0.10	d
3주차	8.3±0.22	b	7.7±1.37	b	11.5±0.73	a	6.7±0.18	b	7.2±1.74	b
4주차	15.7±1.01	ab	13.5±0.49	bc	18.2±0.94	a	11.7±0.04	c	16.7±3.27	ab
	코코		부속혼합물		청치마		부속수피		단일목재칩	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1주차	1.9±0.15	b	2.0±0.10	b	2.2±0.04	a	2.0±0.05	ab	2.0±0.07	b
2주차	5.5±0.12	c	6.1±0.19	b	6.2±0.15	b	6.3±0.06	b	6.8±0.17	a
3주차	10.0±0.19	a	9.5±0.26	b	10.2±0.39	a	10.5±0.10	a	10.3±0.13	a
4주차	15.8±0.09	b	13.0±0.57	d	14.8±0.14	c	16.7±0.03	a	16.2±0.46	ab

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 19. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 엽폭조사

(단위 : cm)

	적치마							
	코코		혼합칩		부숙수피		단일목재칩	
1주차	4.3±0.03 ^y	b ^z	4.9±0.23	ab	5.1±0.04	a	4.4±0.76	ab
2주차	6.6±0.02	b	6.8±0.04	ab	7.0±0.19	a	6.2±0.19	c
3주차	11.8±2.84	a	10.5±0.29	a	11.5±0.34	a	10.1±0.45	a
4주차	14.2±0.74	b	14.1±0.61	b	15.8±0.14	a	13.4±0.76	b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 후 적응기간 동안 엽채류의 엽 발달을 관찰한 결과, 코코피트슬라브 대비 부숙혼합물슬라브와 혼합칩슬라브는 11.7%, 부숙수피슬라브 2.3%의 엽 발달을 보였으나, 단일목재칩슬라브는 같은 엽 발달을 보였다. 엽폭 조사결과 혼합칩슬라브에서 2.0%의 엽 발달이 이루어졌으나, 적응 기간 동안 동일 또는 좋은 결과를 보이던 부숙혼합물슬라브 - 2.9%, 부숙수피슬라브 - 4.8%, 단일목재칩슬라브 - 2.7%로 다소 낮은 결과를 보였다. 따라서 추가실험에는 부숙혼합물슬라브를 제외한 목재 유기고형배지를 실험에 적용해야할 것으로 판단된다. 선별된 유기배지를 적용한 추가실험에서 이식 후 1주간의 엽 발달을 확인한 결과 대조구 및 실험구 모두 발달률이 증가하는 것으로 확인되었다. 적응기간 이후 엽 발달을 측정된 결과 모두 증가하는 반면 다소 단일목재칩슬라브의 상추 엽 발달이 낮음을 확인하였다. 따라서 최종 조사결과 대조구 및 실험구 모두 일정하게 증가하는 유의성 있는 결과를 보였다. 엽 발달은 코코피트슬라브 69.7%, 혼합칩슬라브 65.2%, 부숙수피슬라브 67.7%, 단일목재칩슬라브 67.2%로 나타났다.

엽장과 엽폭 성장발달을 조사한 결과 엽장의 경우 뿌리 활착 및 순응 기간 이후 성장 발달이 선행 실험의 부숙혼합물 처리구 개체를 제외한 전 처리구에서 유의차가 없는 것으로 확인되었으며 (표 16, 17), 엽폭의 경우 부숙수피슬라브 처리구 개체의 발달이 상대적으로 좋은 것으로 확인되었다 (표 18, 19). 따라서 엽채류(상추)의 이용 상품성을 고려했을 때 양액 시스템에서 부숙수피슬라브의 사용이 적합할 것으로 사료된다.

라. 잎 생체중

엽채류의 수량성 비교를 위해 전체 생체중 조사에서 최종 4주차의 결과에 대한 편차가 심해 평균 간 비교 결과 모든 처리구 간에 유의차가 없는 것으로 확인되어(그림 10) 그림 9에 나타난 것처럼 뿌리를 제거한 지상부를 대상으로 전자저울을 이용하여 잎의 생체중을 측정하였다. 표 20, 21은 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 잎 생체중을 측정된 결과를 나타낸 것이다.



그림 9. 잎 생체중 측정

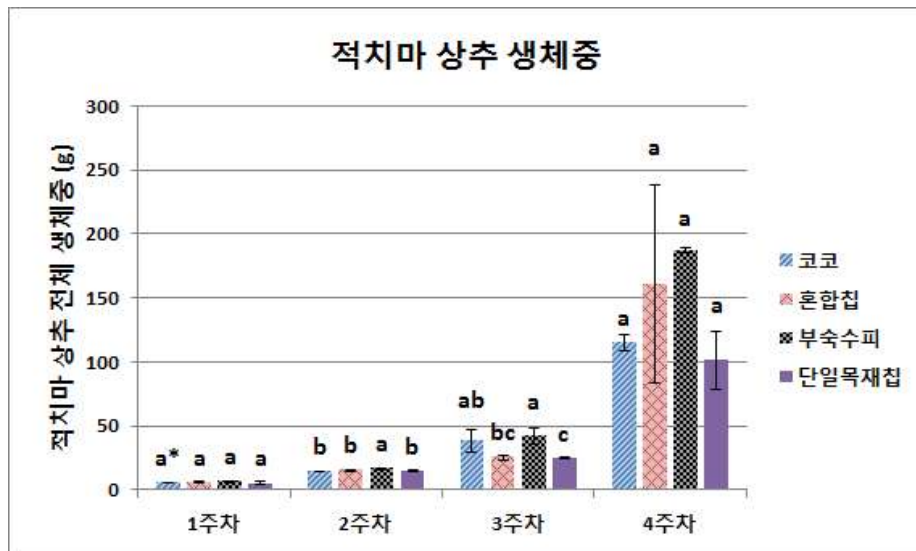


그림 10. 목재 유기고형배지 처리별 상추 전체 생체중 (단위 : g)

* Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 20. 유기배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 지상부(잎) 생체중 조사

(단위 : g)

	적치마				
	코코	부숙혼합물	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	0.23±0.01 ^y b ^z	0.32±0.06 a	0.21±0.01 b	0.32±0.05 a	0.21±0.00 b
2주차	2.94±0.03 c	3.55±0.08 b	7.24±0.15 a	1.54±0.09 d	1.05±0.01 e
3주차	5.64±0.10 b	4.68±1.00 b	11.54±2.20 a	2.81±0.04 b	4.55±0.29 b
4주차	28.69±3.99 b	18.91±1.44 c	48.18±4.43 a	13.37±1.22 c	30.77±1.17 b
	청치마				
	코코	부숙혼합물	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	0.25±0.02 a	0.32±0.03 a	0.25±0.03 a	0.32±0.04 a	0.25±0.03 a
2주차	6.11±0.02 a	5.72±0.08 b	6.21±0.17 a	5.75±0.09 b	6.24±0.06 a
3주차	11.94±0.07 b	11.50±0.25 b	14.44±0.00 a	11.23±0.13 b	13.30±0.74 a
4주차	49.21±1.14 ab	37.73±3.66 b	60.14±14.24 a	60.43±3.37 a	45.26±3.00 ab

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

표 21. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 지상부(잎) 생체중 조사

(단위 : g)

	적치마			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	3.40±0.02 ^y a ^z	3.32±0.14 a	4.00±0.03 a	3.30±1.28 a
2주차	12.40±0.16 b	12.50±0.36 b	13.60±0.25 a	12.40±0.28 b
3주차	51.11±3.58 a	24.02±2.36 c	39.72±6.72 b	23.38±0.46 c
4주차	112.92±5.58 b	157.15±26.44 a	175.25±1.80 a	93.37±23.88 b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 후 1주간 적응기간 동안 지상부의 생체중을 비교해본 결과, 코코피트슬라브 대비 혼합칩슬라브(128.74%)에서 가장 결과가 가장 높게 나타났다 (부숙혼합물슬라브 57.65%, 부숙수피슬라브 23.98%, 단일목재칩슬라브 23.81%). 이식 후 3주 동안 엽채류(적치마상추, 청치마상추)의 발달은 비교적 코코피트슬라브보다 다소 낮은 결과를 보였다. 부숙혼합물슬라브 - 13.7%, 혼합칩슬라브 - 12.1%, 부숙수피슬라브 - 25.8%, 단일목재칩슬라브 - 27.9%로 엽 발달 결과가 낮게 보였으며, 추가실험 시 혼합칩슬라브의 비교가 필요하다고 판단된다. 선별된 유기배지를 적용한 추가실험진행 1주간의 적응기간 동안에 전체 슬라브의 지상부 생체중을 비교한 결과, 엽채류 이식 기준 생체중의 변화는 유의성 있는 변화를 확인하였다. 이식 후 엽채류(적치마 상추, 청치마 상추)의 발달은 코코피트슬라브 97.0%, 혼합칩슬라브 97.9%, 부숙수피슬라브 97.7%, 단일목재칩슬라브 96.5%로 나타났으며, 단일목재칩슬라브가 코코피트슬라브에 비해 -0.5%로 낮은 결과를 보였다. 즉, 지상부 (잎)의 생체중의 경우 코코슬라브 및 단일목재칩 처리구 개체들 보다 혼합칩과 부숙수피슬라브 처리구에서 발달이 상대적으로 좋은 것으로 확인되었다 (표 20, 21).

마. 뿌리길이

뿌리길이는 그림11에 나타난 것처럼 전초를 잘라내고 제일 긴 뿌리길이까지의 길이로 측정하였다. 표 22은 처리 배지별 적치마상추의 주차별 뿌리길이를 측정한 결과를 나타낸 것이다.



그림 11. 뿌리길이 측정

표 22. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 뿌리길이 조사

(단위 : cm)

	적치마			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	11.9±0.08 ^y a ^z	13.8±3.92 a	13.0±0.82 a	12.5±4.49 a
2주차	13.5±0.90 b	12.4±0.16 bc	15.4±0.45 a	11.7±0.37 c
3주차	12.9±1.31 a	14.1±2.41 a	11.1±3.35 a	15.4±4.45 a
4주차	9.0±4.49 a	6.7±0.61 a	10.8±3.51 a	5.4±0.08 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

바. 뿌리 생체중

표 23은 처리 배지별 적치마상추와 청치마상추의 주차별 뿌리 생체중을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 뿌리 생체중 결과 초기 이식 1주후 각각의 슬라브에서 뿌리 생체중의 증가됨을 확인할 수 있었다. 초기 이식기준 적응기간 이후 각각의 슬라브를 비교해본 결과, 코코피트슬라브 대비 개발된 유기 목재배지에서 높은 뿌리 발달을 보였다. 하지만 뿌리의 생장이 활발하게 일어나 뿌리 적출의 문제가 있어 다소 정확한 측정이 불가피했다.



그림 12. 뿌리 생체중 측정

표 23. 선별된 유기배지별 적치마상추 주차별 뿌리 생체중 조사

(단위 : g)

	적치마			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	1.87±0.09 ^y a ^z	2.22±0.71 a	2.23±0.03 a	1.84±0.16 a
2주차	1.90±0.02 b	2.40±0.05 a	2.50±0.13 a	1.89±0.06 b
3주차	2.20±0.09 a	1.15±0.34 b	2.30±0.26 a	1.17±0.24 b
4주차	2.41±0.79 b	3.54±1.68 b	10.63±1.25 a	7.94±1.06 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

선행 연구 종료 후 연작을 통해 고품배지로부터 뿌리의 분리가 가능해져 적치마를 사용한 반복 실험에서 뿌리의 성장발달을 조사하였다. 뿌리길이의 경우 생육기간이 길어질수록 짧게 측정되는 경향을 보였으나 대조구인 코코슬라브를 포함한 전 처리구 개체들 간 유의차가 없는 것으로 확인되었다. 또한 뿌리의 생체중의 경우 4주차 조사 결과 부숙수피와 단일목재칩을 이

용한 유기고형배지에서 높게 측정되어 길이생장 측정 결과와는 상반되게 나타났다. 본 연구 결과 생육 기간이 길어질수록 뿌리의 발생이 증가함에 따라 뿌리를 통한 양액의 흡수량 역시 증가하여 지상부 (잎)의 성장발달에 영향을 주는 것으로 판단되며 특히 부숙수피슬라브에 처리한 개체들의 경우 대조구인 코코슬라브를 포함한 타 처리구들에 비해 엽의 성장 발달에 효과적인 것으로 확인되었다.

5. 목재고형배지 및 LED광원, 광량 이용 시 작물 생육, 수량성, 품질구명

LED광량에 따른 작물 생육에 적합한 광조건 및 유기고형배지효과를 구명하기 위한 실험을 수행하였다. LED 광을 이용한 생육상은 그림 13와 같이 설계하였다. 60cm(높이)X40cm(깊이)X140cm(폭) 크기의 반 폐쇄형 캐비닛 선반을 제작 후 7cm(높이)X30cm(깊이)X50cm(길이) 크기의 상자 간에 양액이 흐를 수 있도록 tube를 연결하였으며, 각 상자에는 20cm(폭)X20cm(길이)X4cm(높이)크기의 유기고형배지 plate 2개씩을 배치하였다. 또한 각 유기고형배지는 약 24시간 양액에 침지하여 양액이 충분히 스며들 수 있도록 하였으며, 각 고형배지당 4개의 유 식물체를 바닥이 뚫린 암면큐브를 지지대로 사용하여 치상한 후 4~6주간 재배하였다. 식물생육을 위한 배양액은 위로부터 아래 방향으로 흐르도록 하였으며, 한번 사용한 양액은 재사용하지 않았다. LED 광원은 660nm 적색광과 440nm 청색광이 각각 6:4, 7:3, 8:2, 10:0(all RED) 비율로 혼합된 4가지 광조건을 이용하였으며, 작물 생육 시 처리 광원 이외의 다른 광원에 의한 간섭효과를 배제하기 위해 각각의 광처리 사이에 커튼을 설치하였다. 양액재배에서 작물 생육에 적합하다고 판단된 유기고형배지를 선발하였다. 작물의 생육을 측정하여 개발된 유기 고형배지의 적용가능성을 비교하였다.

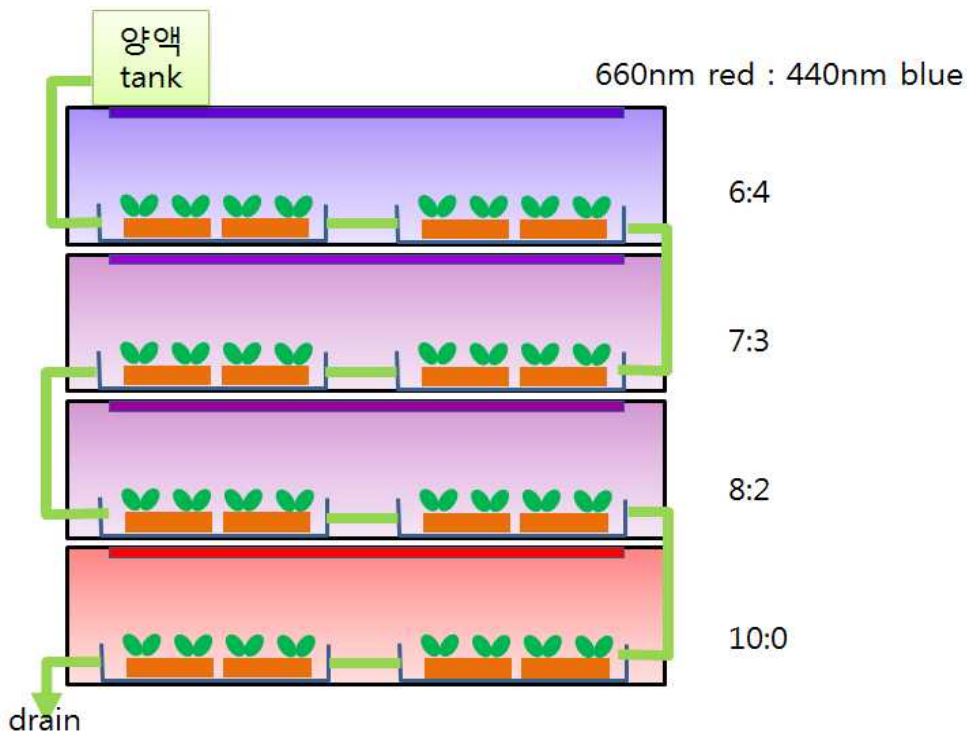


그림 13. LED광원 및 광량에 따른 양액재배 시스템 개발 설치 현황.




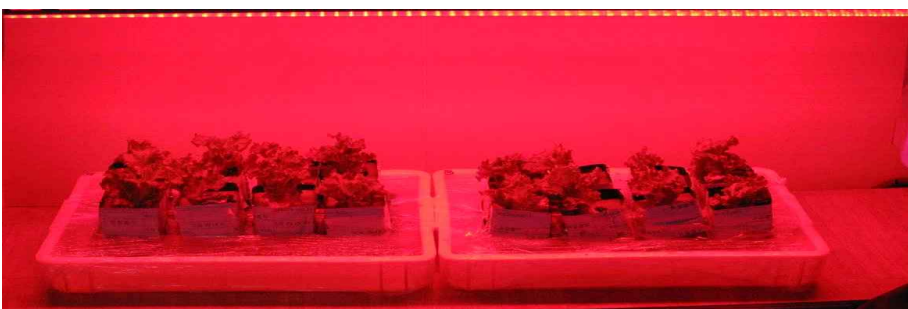
광조건	LED광원, 광량에 따른 엽채류 재배환경
660 (6:4)	
660 (7:3)	
660 (8:2)	
660 (10:0) (all RED)	

그림 14. LED광원, 광량 따른 단일목재칩슬라브 및 부속수피슬라브를 이용한 엽채류(적치마상추) 재배환경

가. 엽수

이식 1주후 LED 광원, 광량에 따른 엽채류의 생육정도를 비교해 본 결과, 적응기간 동안에 광조건 및 슬라브의 엽채류가 유의성 있는 변화를 보였다. 적응기간 이후 4주차까지 결과를 확인하였을 때, 전체적으로 유의성 있는 결과를 확인하지 못하였으나 단일목재슬라브에서 부속수피슬라브보다 결과 값이 좋았으며, 광조건에서는 All red를 제외한 광조건에서 엽채류의 생장이 고르게 나타났다.

표 24. 2차년도 LED 광원, 광량에 따른 적치마상추의 주차별 엽수 조사

(단위 : ea)

	단일목재칩			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	5.0±1.63 ^y a ^z	5.0±0.82 a	6.0±0.82 a	6.0±0.00 a
2주차	7.3±2.05 a	7.3±0.47 a	6.3±1.25 a	8.0±0.82 a
3주차	10.±2.16 a	9.0±0.00 a	7.0±1.41 ab	5.0±0.82 b
4주차	6.0±1.41 a	7.0±0.00 a	7.0±1.41 a	6.0±1.63 a
	부속수피			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	5.0±0.82 a	3.0±0.82 b	5.0±0.00 ab	4.0±0.82 ab
2주차	6.3±0.47 b	6.3±0.47 b	5.0±0.82 c	8.0±0.00 a
3주차	7.0±1.63 ab	8.0±1.41 a	4.0±0.00 b	5.0±1.63 ab
4주차	7.0±0.00 a	8.0±2.45 a	7.0±1.41 a	6.0±1.63 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

나. 엽장

본 연구는 엽채류의 생육정도를 측정하기 위해 엽장이 1cm이상인 잎을 3장 선별하여 측정하였다. 적응기간 1주후 엽장을 측정하였을 때 단일목재칩슬라브와 부속수피슬라브에서 작물의 생육정도가 증가되고 있음을 확인하였다. 4주간의 엽채류 엽 발달을 확인한 결과, 단일목재칩슬라브에서는 모든 조건에서 엽 발달이 유의성 있는 결과를 보였으며, 부속수피슬라브에서는 660:440=8:2 광 조건을 제외한 모든 조건에서 유의성 있는 결과를 확인할 수 없었다. 따라서 단일목재칩슬라브에서는 660:440=8:2 광조건에서 생육이 가장 활발하게 일어났으며(70.6%), 부속수피슬라브에서는 660:440=7:3광 조건에서 엽 발달이 가장 적합하다는 결과를 확인할 수 있었다.

표 25. 2차년도 LED 광원, 광량에 따른 적치마상추의 주차별 엽장 조사

(단위 : cm)

	단일목재칩			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	4.0±0.22 ^y a ^z	4.6±0.34 a	3.8±0.42 a	4.6±0.52 a
2주차	12.0±1.86 a	9.5±0.69 a	10.0±1.75 a	11.5±2.21 a
3주차	13.1±1.96 a	12.6±0.82 a	10.3±1.02 a	13.1±0.83 a
4주차	13.6±0.26 a	14.4±0.95 a	11.9±0.79 a	13.9±1.92 a

	부속수피			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	4.6±0.26 a	4.3±0.50 a	4.7±0.37 a	4.7±0.16 a
2주차	14.4±1.21 a	12.7±1.30 a	6.6±0.05 b	14.7±1.10 a
3주차	11.6±1.10 a	12.3±1.10 a	9.5±1.17 a	11.0±2.47 a
4주차	12.4±1.67 a	12.5±1.63 a	8.5±2.25 a	10.7±2.65 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

다. 엽폭

표 26은 조사항목 엽폭은 엽장조사를 실시한 잎을 기준으로 측정하였다.

표 26. 2차년도 LED 광원, 광량에 따른 적치마상추의 주차별 엽폭 조사

(단위 : cm)

	단일목재칩			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	1.9±0.21 ^y a ^z	2.2±0.25 a	2.1±0.19 a	2.2±0.26 a
2주차	4.2±0.61 a	3.8±0.33 a	3.8±0.24 a	3.7±0.47 a
3주차	4.3±0.45 a	4.4±0.17 a	3.6±0.57 a	4.0±0.12 a
4주차	4.0±0.59 a	5.0±0.33 a	4.2±0.37 a	4.1±0.78 a

	부속수피			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	2.2±0.08 a	1.9±0.26 a	2.0±0.29 a	2.2±0.24 a
2주차	4.8±0.12 a	4.5±0.37 a	3.0±0.08 c	3.8±0.08 b
3주차	3.9±0.61 a	4.4±0.19 a	3.6±0.50 a	2.6±0.25 b
4주차	3.9±0.37 a	4.1±0.82 a	3.5±0.45 a	2.9±0.42 a

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 1주후 작물의 엽 발달을 측정한 결과, 엽채류의 생육이 증가하고 있는 것을 확인하였다. 단일목재칩슬라브에서는 660:440=8:2 광 조건에서 가장 엽 발달이 우수하게 나타났으며, 부속수피슬라브는 660:440=7:3 광 조건에서 활발히 일어나는 것으로 나타났다. 적응기간 이후 엽 발달 최종조사결과, 전체적으로 유의성 있는 엽 발달이 이루어지고 있음을 확인하였다. 따라서 단일목재칩슬라브와 부속수피슬라브 모두 660:440=7:3 광 조건에서 엽채류 생장발달이 잘 이루어지는 것을 확인하였다.(단일목재칩슬라브 56%, 부속수피슬라브 53.7%)

라. 생체중

생체중과 건물중은 엽채류의 지상부와 지하부를 나누지 않은 전체 생체중을 측정하였다. 적응기간 이후 엽채류 생체중을 측정한 결과, 유의성 있는 결과를 확인할 수 없었으나 부속수피슬라브에서 660:440=8:2 광 조건에서 25.7%의 발달을 확인할 수 있었다.

표 27. 2차년도 LED 광원, 광량에 따른 적치마상추의 주차별 생체중 조사

(단위 : g)

	단일목재칩			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	9.05±0.74 ^y a ^z	6.04±0.37 b	5.79±1.18 b	6.21±0.64 b
2주차	3.91±1.46 a	2.58±0.70 a	2.19±0.44 a	3.60±0.73 a
3주차	6.76±1.03 a	5.58±0.51 a	2.57±0.35 b	3.25±0.63 b
4주차	2.99±0.01 c	5.82±0.77 a	3.86±0.36 bc	4.36±0.20 b
	부속수피			
	660:440=8:2	660:440=7:3	660:440=6:4	all red
1주차	5.50±0.64 b	5.64±0.98 b	8.79±0.38 a	6.29±0.82 b
2주차	4.40±0.33 a	3.30±0.29 b	1.33±0.10 c	4.63±0.21 a
3주차	3.54±0.85 a	3.92±0.08 a	1.45±0.45 b	1.89±0.32 b
4주차	3.31±0.80 a	3.82±0.96 a	1.78±0.18 b	2.44±0.03 ab

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

양액 시스템에서 가장 효율이 좋았던 부속수피슬라브와 상대적으로 낮았던 단일목재칩을 대상으로 LED 광원에 따른 적치마 성장 효율을 확인한 결과 엽의 발달의 경우 전 처리구에서 유의차가 없었던 반면에 생체중은 단일목재칩과 부속수피슬라브의 660:440=7:3 조건에서 상대적으로 발달이 좋은 것으로 확인되었다 (표 24, 25, 26 27).

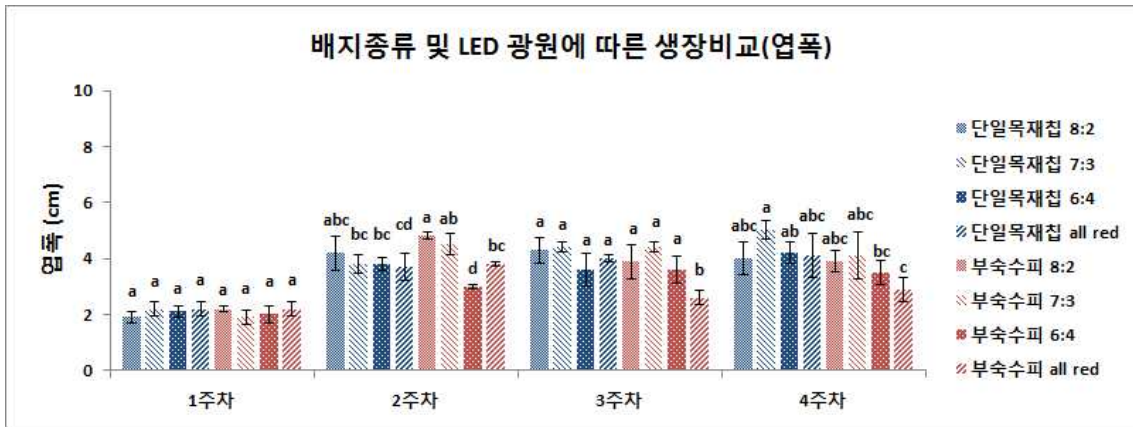
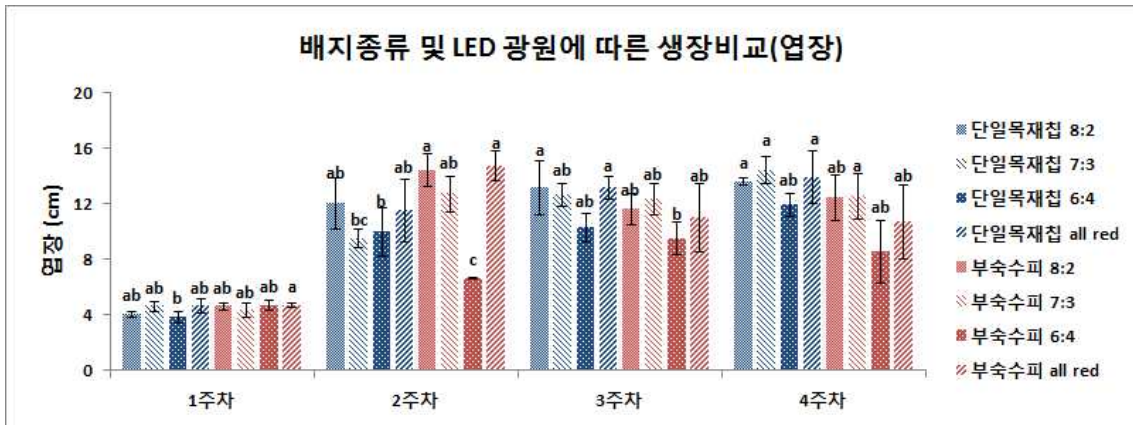
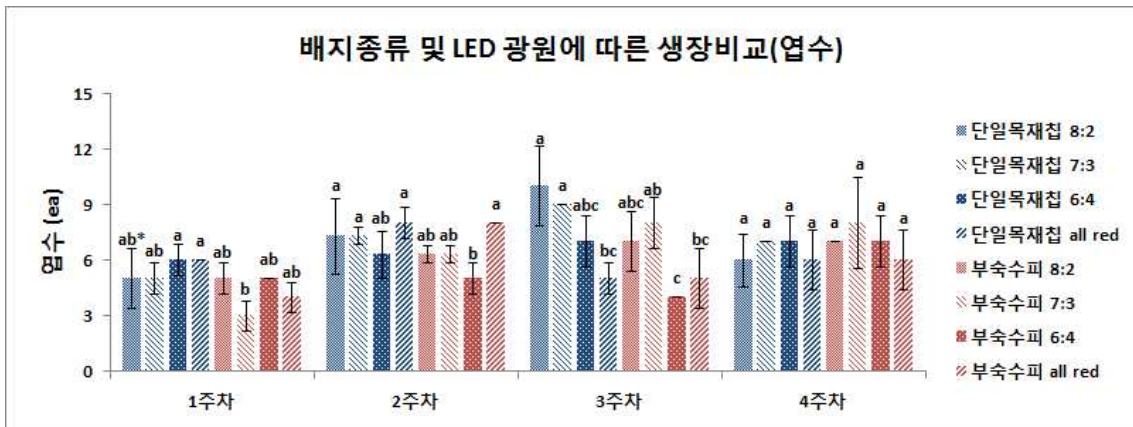


그림 15. 배지종류 및 LED 광원에 따른 적상추의 성장 비교

* Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, $p=0.05$.

보다 정확한 통계를 위해 단일목재칩슬라브와 부속수피슬라브 처리를 개별로 비교 (8처리)한 결과, 생육 4주차 엽 발달에서 엽수는 전처리구가 유의차가 없었던 반면에 엽장 및 엽폭은 단일목재칩 660:440=7:3 처리구에서 가장 발달된 것을 확인할 수 있었다. 타 처리구의 경우에도 약간의 차이를 보이나 단일목재칩 660:440=7:3 처리구와 대체로 유사한 발달을 나타내고 있어 생체중을 조사한 결과 타 처리구들의 발달이 상대적으로 낮게 확인되었다. 이는 온실 내 양액 시스템의 연구와 대조적인 결과로 LED 광주기 및 온도에 따른 추가 연구가 지속되어야 할 것으로 사료된다. 그러나 본 연구 결과는 추후 LED 식물배양 연구를 위한 목재 유기고형배지

의 이용 가능성을 제시하고 있다.

6. 목재 유기고형배지 사용에 의한 고추의 작물생장발달 및 품질 특성

가. 목재 유기고형배지의 pH 및 EC의 화학적 특성 변화

양액재배동안 과채류(고추)의 최적조건은 pH 6.5내외, EC 1.7~1.8mS/cm 이내의 조건으로 알려져 있으며, 본 연구는 최적조건을 맞춘 상태에서 주차별 각 슬라브별 폐수의 pH 및 EC농도 변화를 측정하였다(표 28.).

표 28. 코코피트슬라브 및 목재 유기고형배지의 주차별 pH 및 EC 농도변화

구분	pH					EC (mS/cm)				
	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차	0주차	1주차	2주차	3주차	4주차
코코슬라브	6.16	6.54	6.75	6.69	6.55	1.62	1.78	1.87	1.73	1.85
혼합칩슬라브	6.23	6.27	6.66	6.58	6.61	1.86	1.82	1.52	1.81	1.69
단일목재칩 슬라브	6.23	6.38	6.52	6.44	6.80	1.66	1.72	1.69	1.79	1.43
부숙수피슬라브	6.23	6.56	6.68	6.52	6.59	1.74	1.79	1.88	1.82	1.65

나. 엽수

목재 유기고형배지 사용에 따른 고추의 성장 발달 특성을 확인하기 위해 상추 재배 시 사용된 배지를 사용하였다. 본 실험에서는 고추의 엽수측정에 엽장이 1cm이상인 것만 이용하였다. 실험을 통해 엽수를 측정하여 작물의 생육 추세를 검토하였다. 처리 배지별 엽수를 측정한 결과를 표 29에 나타냈다.

표 29. 2차년도 처리배지별 고추의 주차별 엽수 조사

(단위 : ea)

	고추			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	8.5±0.41 ^y a ^z	8.5±0.41 a	8.5±0.41 a	8.5±1.22 a
2주차	29.5±2.86 a	24.5±2.86 ab	23.0±5.72 ab	16.0±1.63 b
3주차	42.0±6.53 a	48.0±1.63 a	49.0±2.45 a	16.0±3.27 b
4주차	69.0±4.08 b	65.0±8.16 b	106.0±6.53 a	41.5±0.41 c

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 후 1 주후 적응기간 이후 엽 발달을 확인한 결과 대조구 및 실험구에서 엽수가 증가됨을 확인하였다(코코피트슬라브 70.2%, 혼합칩슬라브 65.7%, 부숙수피슬라브 62.6%, 단일목재

칩슬라브 47.5%). 적응기간 이후 엽수를 측정한 결과, 모두 유의성 있는 엽 발달이 증가되는 것을 확인하였다. 최종 조사결과, 코코피트슬라브 대비 부속수피슬라브(4.6%)가 엽 발달이 우수했으며, 혼합물칩슬라브는 동일한 결과를 보였다. 단일목재칩슬라브는 -9.4%로 다소 낮은 결과를 보였다.

다. 엽장 및 엽폭

본 연구에서는 엽장과 엽폭을 최대엽을 기준으로 측정하였다. 표 30은 처리 배치별 고추의 주차별 측정결과를 나타낸 것이다.

표 30. 2차년도 처리배치별 고추의 주차별 엽장 및 엽폭 조사

(단위 : cm)

		고추							
		코코		혼합칩		부속수피		단일목재칩	
엽장	1주차	8.7±0.05 ^y	a ^z	8.8±0.10	a	8.4±0.02	b	8.8±0.08	a
	2주차	9.4±0.42	a	9.4±0.52	a	9.5±0.16	a	8.8±0.26	a
	3주차	11.0±0.54	a	11.3±0.19	a	11.1±0.08	a	9.4±0.02	b
	4주차	12.3±0.10	ab	12.3±0.52	ab	14.6±1.82	a	11.2±0.50	b
		고추							
		코코		혼합칩		부속수피		단일목재칩	
엽폭	1주차	3.1±0.15	a	3.0±0.03	a	3.0±0.07	a	3.0±0.10	a
	2주차	3.2±0.15	a	3.2±0.22	a	3.2±0.12	a	3.3±0.07	a
	3주차	3.8±0.20	a	3.7±0.05	a	3.8±0.05	a	3.3±0.04	b
	4주차	3.9±0.10	b	3.7±0.07	b	4.4±0.35	a	3.7±0.19	b

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

이식 1주후 엽 성장을 비교해본 결과, 단일목재칩슬라브를 제외한 모든 슬라브에서는 엽 성장 발달이 이루어지는 것을 확인하였다. 이식 1주 기준 4주차 결과를 비교해본 결과, 엽장에서는 코코피트슬라브 29.4%의 엽 성장발달을 보였으며, 혼합칩슬라브는 28.4%, 부속수피슬라브 42.3%, 단일목재칩슬라브 21.6%으로 나타났으며, 엽폭에서는 코코피트슬라브 19.5%, 혼합칩슬라브 17.89%, 부속수피슬라브 31.5%, 단일목재칩슬라브 19.6%로 나타났다. 따라서 코코피트슬라브 대비 부속수피슬라브에서 엽 생장이 유의성 있으며, 높은 발달율을 보였다. 고추의 엽의 성장발달(엽수, 엽장 및 엽폭)을 조사한 결과 상추의 결과와 마찬가지로 초기 성장 이후 부속수피슬라브 처리구 개체들의 발달이 상대적으로 우수하였다.

라. 생체중

지상부와 지하부를 포함한 전체 생체중 조사결과는 표 30에 나타났다. 고추의 생체중 및 건물중은 1차년도 2차년도에 실시한 상추와 같은 뿌리 수집에 문제가 발생하여 생체중 및 건물중이 유의성 없는 결과를 확인하였다.

표 31. 2차년도 처리배지별 고추의 주차별 생체중 조사

(단위 : g)

	고추			
	코코	혼합칩	부숙수피	단일목재칩
1주차	9.56±0.08 ^y b ^z	9.78±0.07 a	9.47±0.12 b	9.66±0.09 ab
2주차	10.44±0.03 a	10.21±1.89 a	10.60±0.78 a	10.55±0.90 a
3주차	17.77±0.79 b	20.07±1.65 b	23.33±1.06 a	9.31±0.26 c
4주차	45.00±1.06 b	42.65±3.31 b	54.40±6.21 a	22.85±2.41 c

^y Values represent the mean±standard deviation (SD) of three independent experiments.

^z Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

적응기간 1주를 거친 뒤 고추의 생체중 및 건물중을 비교해본 결과, 대조구 및 실험구 모두 고추의 생육이 유의성 있는 결과를 보였다. 생육기간 3주가 지난 뒤 조사한 결과, 생체중에서 코코피트슬라브 대비 혼합칩슬라브(14.6%)과 부숙수피슬라브(20.2%)로 높은 결과를 보였으며, 건물중에서도 코코피트슬라브 대비 혼합칩슬라브(9.2%)과 부숙수피슬라브(14.4%)로 높은 결과를 보였다. 고추의 생체중을 조사한 결과 단일목재칩을 제외하고 생육 기간이 길어질수록 생체중이 고르게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 엽의 생육조사 결과와 마찬가지로 부숙수피를 이용한 배지에서 처리한 개체들의 발달이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

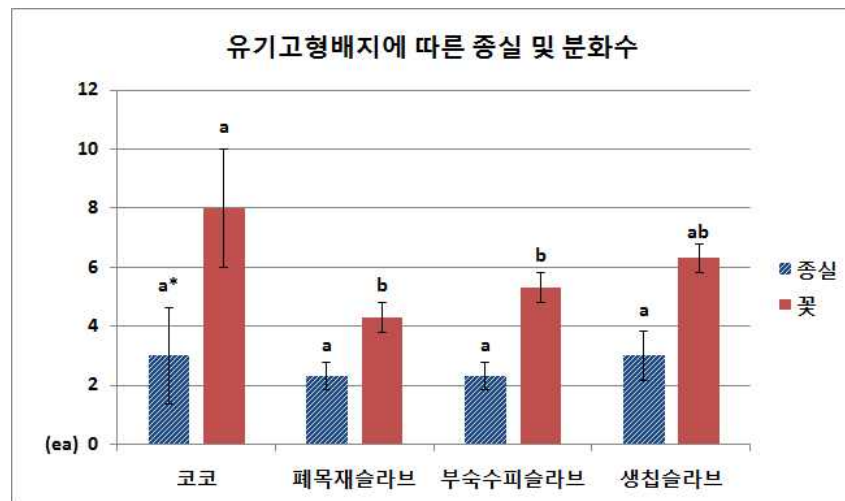


그림 16. 고추의 종실수 및 화기수

* Mean separation in columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.

작물의 이용 특성에 따라 총 생육조사 기간 이후 종실 및 꽃의 발달을 조사하였다. 총 5주의 생육 후 코코슬라브 대조구를 포함한 전 처리구에서 종실과 꽃의 발달을 확인할 수 있었으며 종실의 경우 평균 간 유의차는 없는 것으로 확인되었다 (그림 16). 그러나 대조구 개체 간의 편차가 상대적으로 큰 반면에 목재유기고형배지 처리구들의 경우 비교적 차이가 적은 것으로 나타났다.

마. 양액재배 후 주차별 폐수 ICP 분석

작물 생육기간에 따른 생육조사를 완료한 후 조사기간 동안 배출된 양액폐수를 수집하여 ICP 질량분석을 실시하였다(표 32, 33.) 투입된 양액대비 양액폐수의 다량원소와 미량원소의 배출되는 양을 주차별로 조사하였다. 배출된 폐양액에서의 기반재 소재 별 배출성분은 향우 유기고형배지의 원재료 선정 후 그에 적합한 적정 양액조성에 유용할 것으로 생각된다.

표 32. 주차별 양액폐수 다량원소 ICP 분석 결과

		Conc (mg/L)			
		Na	K	Ca	Mg
코코슬라브	1주차	2.0933	25.8038	17.6361	2.1762
	2주차	1.7891	22.0492	8.3811	1.9915
	3주차	2.4165	25.6651	8.4334	4.6977
	4주차	1.8897	24.0079	8.8717	2.4594
단일목재칩슬라브	1주차	1.7453	22.1336	8.9065	2.1252
	2주차	2.0105	32.3780	12.4631	2.4742
	3주차	2.0993	35.9938	10.7750	3.1679
	4주차	2.0290	35.4557	10.9339	2.9688
혼합칩슬라브	1주차	2.0258	36.4030	11.2859	3.2690
	2주차	2.2032	41.0396	12.4461	5.5444
	3주차	1.9291	32.5408	10.6737	2.6288
	4주차	1.6966	24.9563	8.4895	2.2772
부숙수피슬라브	1주차	1.8389	23.9291	8.4374	2.2316
	2주차	1.8378	24.3420	8.2819	2.3819
	3주차	1.7081	22.8917	8.4986	3.4288
	4주차	1.6351	17.9852	6.8262	1.6225
부숙혼합물슬라브	1주차	1.2555	5.6213	4.0042	0.8732
	2주차	1.3646	5.2990	3.7668	0.9036
	3주차	1.3193	4.4225	3.9312	0.8444
	4주차	1.4108	6.8092	5.6159	2.3482

표 33. 주차별 양액폐수 미량원소 ICP 분석 결과

		Conc (mg/L)				
		Fe	B	Mn	Zn	Cu
코코슬라브	1주차	0.5268	0.0915	0.0872	0.0311	0.0217
	2주차	0.4867	0.0907	0.1051	0.0305	0.0132
	3주차	0.4779	0.0974	0.0883	0.0627	0.0138
	4주차	0.4734	0.0938	0.1175	0.0473	0.0113
단일목재칩슬라브	1주차	0.4153	0.0880	0.1142	0.0403	0.0111
	2주차	0.6946	0.1111	0.1047	0.0321	0.0263
	3주차	0.8048	0.1384	0.1568	0.0404	0.0230
	4주차	0.7455	0.1367	0.1368	0.0407	0.0215
혼합칩슬라브	1주차	0.7843	0.1340	0.1502	0.0476	0.0188
	2주차	0.9844	0.1611	0.1673	0.0584	0.0215
	3주차	0.7047	0.1235	0.1217	0.0320	0.0260
	4주차	0.5719	0.0916	0.1086	0.0266	0.0158
부속수피슬라브	1주차	0.5577	0.0914	0.0822	0.0291	0.0169
	2주차	0.5242	0.0901	0.0994	0.0329	0.0139
	3주차	0.5066	0.0829	0.0930	0.0334	0.0142
	4주차	0.3059	0.0723	0.0665	0.0204	0.0156
부속혼합물슬라브	1주차	0.0992	0.0206	0.0245	0.0096	0.0077
	2주차	0.0469	0.0204	0.0153	0.0131	0.0026
	3주차	0.0718	0.0175	0.0173	0.0126	0.0047
	4주차	0.0988	0.0268	0.0242	0.0143	0.0033

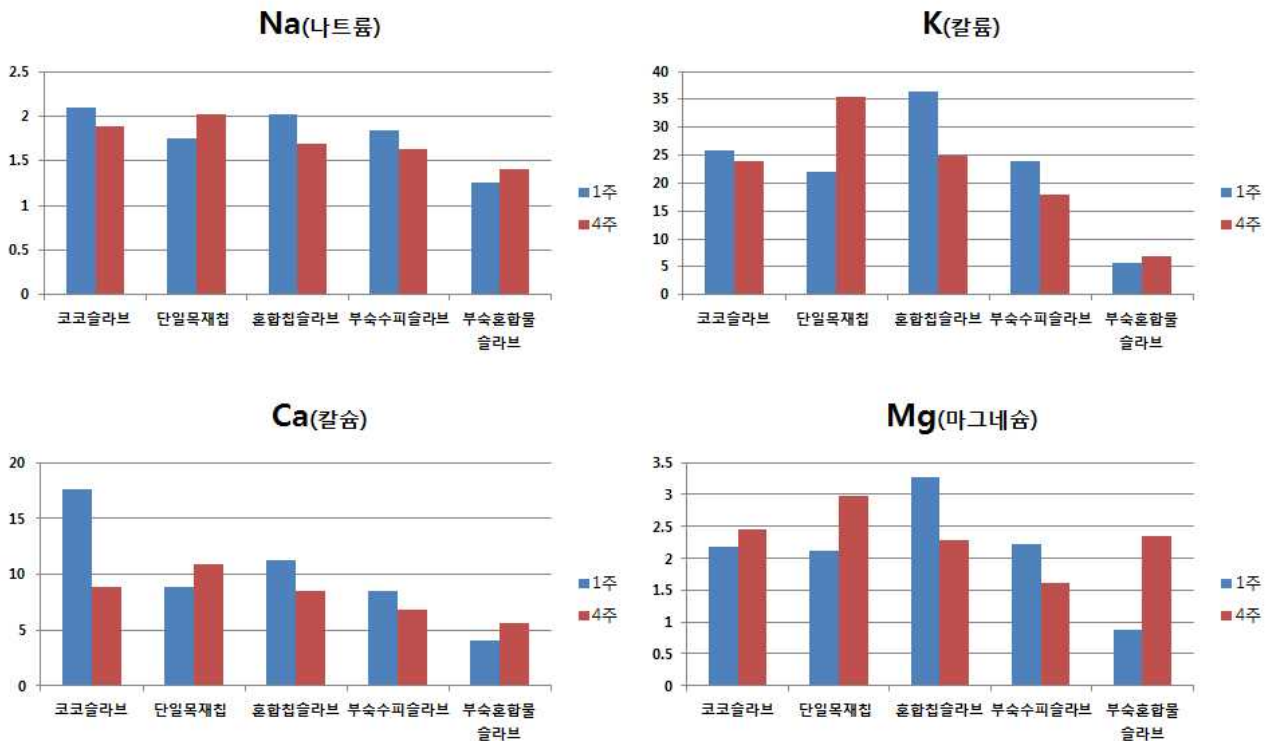


그림 17. 다량원소(Na, K, Ca, Mg) 1주와 4주의 양액폐수 ICP 분석결과 비교

양액을 이용한 작물재배 시 주차별 시간 경과에 따른 약액의 주요 성분변화는 표31, 32과 같다. Ca와 K 및 Mg와 Na의 검출량은 대조구인 코코슬라브와 비교했을 때 부숙혼합물슬라브에서 조사된 양이 전반적으로 낮은 경향이었다. Ca과 K의 경우 부숙혼합물슬라브에서 1주차와 4주차 모두 가장 낮게 나타나 각각 4.0-5.6mg/L 그리고 5.6-6.8mg/L으로 조사되었다. 기반재별로는 단일목재칩과 부숙혼합물 슬라브 모두에서 1주차 대비 4주차에서 Ca, K, Mg 등 조사된 성분이 모두 높게 조사되었으나 혼합칩슬라브, 부숙수피슬라브의 경우 감소하는 것으로 나타났다. 기타 성분인 Na의 경우 코코피트슬라브에서 1.88-2.09mg/L이 검출된 반면 부숙수피슬라브와 부숙혼합물슬라브의 경우 각각 1.6-1.8mg/L과 1.2-1.4mg/L 수준으로 낮게 조사되었으며, 기반재 별 시간경과에 따른 양적 변화는 크지 않은 것으로 조사되었다. 본 연구결과 기반재 종류별 폐양액으로부터 용출되는 성분변화는 다소 다른 것으로 생각된다. 다량원소 성분에는 포함되는 K의 경우 506mg/L이 이용되었으나 폐양액에서는 2mg/L 이하였다. 대부분의 경우 식물에 이용되었을 것으로 추정되지만 향후 시용량과 폐기량의 비율이 정밀 조사되어 기반재별 작물 양액재배를 위한 적정농도 산출에 이용되어야 할 것으로 판단된다. 또한 단일목재칩슬라브와 부숙혼합물슬라브의 경우 조사된 항목 모두에서 1주차 보다 4주차에서 높은 농도를 나타낸 바 기반재 선택 시 원 목재의 종류 선정에 신중을 기해야 할 것으로 사료된다. 철(Fe), 붕소(B), 망간(Mn), 아연(Zn) 등 미량원소성분의 경우 고품배지 기반재 별 사용기간별 폐양분소재에서의 농도변화가 투입된 양액에 비해 크지 않게 나타났다. 미량원소의 경우 식물 생육에 큰 영향을 주진 않으며, 유기고형배지의 경우 소재 자체에서 용출되는 부분도 있을 것으로 사료된다. 유기고형배지를 이용한 양액재배는 무기배지 또는 담액형, 분무형 배양인 경우보다 배지에서의 완충능이 클 것으로 생각된다. 본 연구에 이용된 양액의 철(Fe), 붕소(B), 망간(Mn), 아연(Zn) 농도는 각각 5.0, 0.75, 0.75, 0.20, 0.20mg/L 수준이었다. Fe의 경우 재배 4주후 배출되는 폐양액에서 조사된 각각의 농도는 부숙혼합물슬라브를 제외하고는 0.3-0.7mg/L B의 경우 0.07-0.13mg/L, Mn은 0.06-0.13mg/L, Zn은 0.02-0.04mg/L, Cu는 0.01-0.02mg/L 수준으로 모두 투입된 양보다 적었다. 특히 부숙수피슬라브의 경우, 모든 성분이 대조구 대비 낮게 조사되어, 미량원소의 경우 부숙혼합물 슬라브를 제외하고 기반재별 차이가 크지 않은 것으로 조사되었다.

바. 사용기간에 따른 목재유기고형배지의 변화

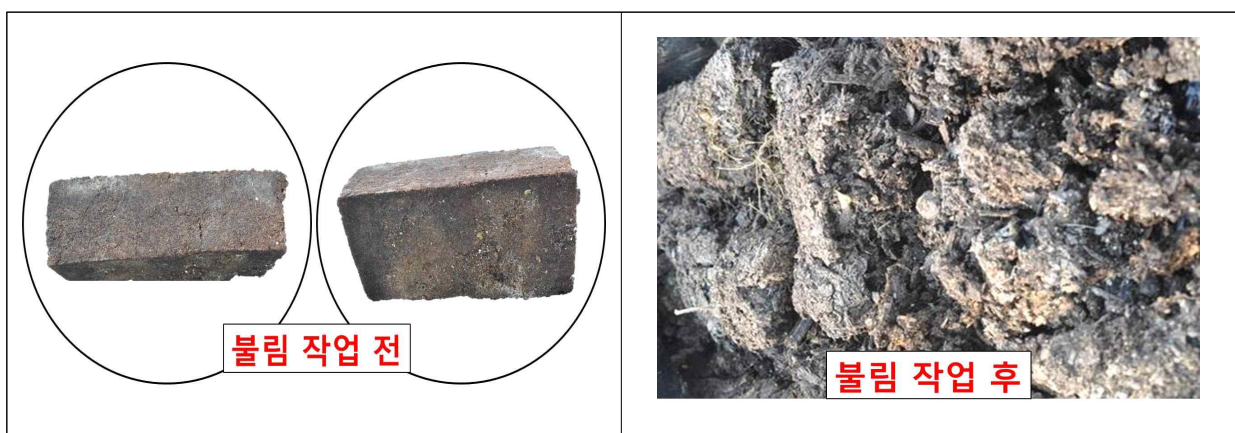


그림 18. 부숙혼합물의 불림 작업 후 문제점.

목재유기고형배지를 연작하여 장기간 사용한 경우에도 작물 생육에 무리가 없는 것으로 사료되며 특히 부숙수피를 사용하여 제작된 목재유기고형배지의 경우는 상추 재배 시 오히려 뿌리의 발생이 증가하고 활착이 쉬워져 양액의 흡수가 증가함에 따라 엽의 생장 발달에 효과적인 것으로 확인되었다. 또한 과실을 이용하는 고추를 연작하였으나 대조구를 포함한 전 처리구에서 생육에 문제가 없었으며 상추와 유사한 결과를 보여 고추의 재배에 부숙수피슬라브의 사용이 적합한 것으로 나타났다. 한편 혼합칩을 이용한 목재유기고형배지의 경우도 코코슬라브 대조구와 유사하거나 더 좋은 결과를 나타냈다. 따라서 본 연구에서 사용한 부숙수피슬라브와 혼합칩슬라브가 농가에서 상용화 될 경우 배지를 장기간 사용할 수 있고 업체류 간 연작이 가능하여 효율적인 적용이 가능할 것으로 사료된다.

사. 결론

선행실험과 추가실험은 1차년도와 동일하게 1일 2분씩 12회 공급으로 본 실험에 적용하였다. 양액 공급이 용이하게 이루어질 수 있도록 큐브가 모든 슬라브에 접촉면적을 늘리기 위해 슬라브 상층부부분에 5분의 1정도 들어가게 한 뒤 작물 실험을 실시하였다.

본 연구에 사용된 슬라브의 종류로는 대조구로서 코코피트슬라브를 사용하였으며, 실험구로 부숙혼합슬라브, 혼합칩슬라브, 부숙수피슬라브, 단일목재칩슬라브를 사용하였다. 개발된 슬라브의 크기는 1차년도에 문제가 되었던 슬라브의 크기를 보완하여 실험에 적용하였다. 생육조사는 1차년도와 마찬가지로 뿌리의 생육이 활발하여 적출이 불가피하여 정확한 측정이 불가능했으나, 뿌리를 제외한 잎을 사용한 측정(엽수, 엽장, 엽폭)에서는 모든 슬라브에서 유의성 있는 결과를 확인할 수 있었으며, 상대적으로 부숙혼합슬라브에서 결과가 다른 슬라브에 비해 낮은 결과를 보였고 작물 재배에 문제가 발생하여 추가실험에서는 부숙혼합슬라브를 제외한 슬라브들을 적용하였다. 가장 생육이 유의성 있는 결과를 보인 부숙수피슬라브, 단일목재슬라브, 혼합칩슬라브를 W190*L450*T70 매트형식의 슬라브로 제작하여 실험에 적용하였다. 적용 결과, 코코피트슬라브 대비 부숙수피슬라브의 업체류 생육이 다른 시험구에 비해 동일 또는 나은 결과를 보였으며 업체류 재배 기반재로서의 효능이 있다고 사료된다.

추가실험까지의 결과를 적용하여 작물을 변경하여 고추작물로 실험을 실시하였다. 고추작물의 생육조사를 실시한 결과, 각각의 슬라브에서 생육조사 결과가 증가하는 것으로 확인할 수 있었으나, 단일목재칩슬라브에서 감소하는 것을 확인하였으며, 고추작물 목재 유기고형배지로는 적합하지 않다고 사료된다.

또한, LED광원, 광량에 따른 업체류의 생육을 측정하였다. 실험에는 단일목재칩슬라브와 부숙수피슬라브를 적용하였다. 실험구로는 광원, 광량에 따른 전구 수 660으로 고정된 뒤, 조건은 Red와 Blue의 비율을 8:2, 7:3, 6:4, All red로 설정하였다. LED광원, 광량과 각각의 슬라브 조건에서 업체류를 생육하였을 때, 수량성은 다소 증가하는 측면을 찾아볼 수 없었고 작물의 길이 생장만이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 여러 생육조사를 실시한 결과, LED 8:2, 7:3과 단일목재칩슬라브에서 가장 높은 결과를 확인하였다.

따라서 1, 2차년도 연구진행 결과, 개발된 목재 유기고형배지의 작물 생장률을 비교하였을 때 대조구였던 암면슬라브와 코코피트슬라브와 동일 또는 비슷하였으며, 작물 생육환경 또한 고르게 진행되었다. 따라서 목재 유기고형배지의 실용화가 가능하다고 판단되며, 작물의 생육정도

와 생산성에서 두드러지게 결과를 보였던 부숙수피슬라브와 혼합칩슬라브가 양액재배용 배지로 적합하다고 판단된다. 하지만 양액재배용 유기배지로 사용이 적합하며 지속적인 연구와 실험을 통해 작물생육에 적합한 배지로서의 기능성 및 여러 작물의 생육실험을 진행하여 다목적 양액재배용 유기배지의 적합여부의 확인이 필요하다고 사료된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2012)	■ 친환경 목재 유기 고형배지 개발	■ 양액재배용 고형배지의 물리·화학적 특성 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 물리·화학적 특성 - 가비중 : 0.1~0.24(목재 수종별) - pH : 4.06~4.64(간벌방치목), 5.29~6.59(폐목재칩) - 전기전도도 : 1.49~6.76dS/m - 총질소함량 : 0.39~0.79% - 유기물함량(탄진율) : 72~192%
		■ 특성평가를 통한 적용 가능한 고형배지의 제조	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 배합·성형·붕괴별 고형배지 제조 및 특성분석 - pH : 7.8~8.0 - 흡습 후 중량 : 4배 증가 - 흡습 후 치수 : 1mm 증가 - 잔디, 보리 생장길이 : 증대 - 수분보유율 : 75.9±2.5 (%)
	■ 목재고형배지의 실용화 방안	■ 목재고형배지의 실용화를 위한 양액조성 최적화	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 양액의 pH, 다량원소 함량, 미량원소 함량을 조절하여 적정 배양액 조성 ■ 양액의 공급 횟수를 늘려 적용 - 실험 동안의 엽채류 생존률 증가
		■ 목재 유기고형배지와 표준 양액 이용 시 수량성 조사	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시기별 엽수, 엽폭, 엽장, 생체중, 건물중, 뿌리발달 등 조사·비교 ■ 엽채류 생육경도와 시장성 비교
	■ 신소재의 위해성 분석	■ 신소재의 안전성 검증	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 목재고형배지 추출물을 이용한 세포독성 평가 - 폐목재칩의 독성이 고형배지 제조 과정에서 경감
	■ 고형배지의 경제성 및 실용화 시스템 분석	■ 목재고형배지 및 작물생산 실용화시스템의 경제성 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 목재고형배지의 수요예측 및 생산비용 분석을 통한 판매가격 산출 ■ 목재고형배지를 이용한 작물생산시스템의 경제성 분석
		① 기존 고형배지와 재고형배지 각 각의 수요·편익·비용 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 시계열 분석을 통한 고형배지와 목재고형배지의 수요 예측 ■ 목재고형배지의 생산비용 분석 과 판매가격 산출을 통한 비용 분석 ■ 초기투자비용·수명연한·연간수입 등을 고려하여 배지 유형별 편익과 현금 흐름 분석
		② 비용·편익분석을 통한 경제적 타당성 타진	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현금흐름 분석결과를 바탕으로 목재고형배지의 비용·편익 분석 - 목재고형배지 B/C율 : 1.11
		③ 경제성 분석을 통한 농업현장의 적용가능성 예측	100	<ul style="list-style-type: none"> ■ 압면·코코피트·목재고형배지의 순현재가치(NPV), 내부수익율(IRR), B/C율, 자본회수기간을 분석을 통한 경제적 타당성과 적용가능성 예측

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2013)	양액재배용 목재 유기고형배지 개발 연구	<ul style="list-style-type: none"> 목재의 부숙과정을 통한 유기고형 배지 제조 	100	<ul style="list-style-type: none"> 혼합목재칩, 부숙된 수피, 부숙혼합물의 제조 특성비교 - pH : 4.7~5.1, 7.1, 8 - 전기전도도 : 1.5~4.5dS/m - 총질소함량 : 0~2.74% - 유기물함량(탄진율) : 13~39%
		<ul style="list-style-type: none"> 수분보유력 향상을 위한 처리 방안 모색 	100	<ul style="list-style-type: none"> 1차년도 연구결과를 바탕으로 수분보유력 향상을 위해 대책 방안으로 양액재배용 매트크기를 증대하여 제조. 투수계수 분석을 통해 수분보유력이 검토
		<ul style="list-style-type: none"> 목재 고형배지의 사용 후 퇴비화방안 검토 	100	<ul style="list-style-type: none"> SEM/EDS, X선 회절분석으로 검토 - 탄소, 산소가 주요성분으로 검출 - 그 외 칼슘, 불소, 염소 검출 - 퇴비화 가능성 검증
	작물생산 실용화시스템에 대한 전과정 평가 및 시장성 분석	<ul style="list-style-type: none"> LCA 또는 S-LCA를 활용한 작물생산시스템의 환경성평가 	100	<ul style="list-style-type: none"> 양액재배 농가 주민 인식조사 및 배지 제조과정 전과정 평가 수행 양액재배 배지 선정기준 검증 - 항목별 중요도 비교
		<ul style="list-style-type: none"> 목재 고형배지 및 LED시스템에 대한 소비자 만족 및 시장성분석 	100	<ul style="list-style-type: none"> 설문을 통한 목재 고형배지의 소비자 만족도를 비교 경제적 비용의 지불의사로 신소재인 목재 유기고형배지의 사용여부 검증
	목재 고형배지이용 친환경 작물생산 시스템 실용화 및 농업현장 적용성을 위한 독성연구	<ul style="list-style-type: none"> 유기고형배지에서 생육된 작물의 안정성 검증 및 항산화 효능 분석 	100	<ul style="list-style-type: none"> 목재고형배지 추출물을 이용한 작물의 안정성 및 항산화 효능 검증 - 작물의 생육에 적합한 안정성 비교 및 특정 사상균에 대한 항산화 효과 검증
		<ul style="list-style-type: none"> 개발된 유기고형배지의 생물학적 유용성 분석 	100	<ul style="list-style-type: none"> 목재 유기고형배지의 생물학적 유용성을 검증
	목재 고형배지 및 LED를 이용한 친환경 작물생산성 연구	<ul style="list-style-type: none"> LED 인공조명장치를 이용한 작물생육반응 구명 및 수량성, 품질향상을 위한 LED 혼용광원 및 광량 조합 개발 	100	<ul style="list-style-type: none"> 660nm Red, 440nm Blue의 LED 선정 - 8:2, 7:3, 6:4의 비율로 조합 설정 - 각 LED 조합마다 길이생장 비교 - LED 8:2, 7:3의 조건에서 단일목재칩슬라브에서 가장 높은 결과도출
		<ul style="list-style-type: none"> 목재 유기고형배지 및 LED를 이용한 저에너지 작물생산시스템 개발 및 실용화 연구 	100	<ul style="list-style-type: none"> 유기고형배지 및 LED를 통한 작물생산 시스템 모델링 선정 - 도식화를 통한 모델링 설정 - LED와 유기고형배지의 종류에 따른 작물생장증정

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구논문 발표

1. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적

가. 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분		특허		논문			학술발표	비고
		출원	등록	SCI	비SCI	국내		
1차 년도	목표					1	8	
	달성						11	
2차 년도	목표	1		1		1	8	
	달성	1		2		[투고예정]	5	
계	목표	1		1		2	16	
	달성	1		1 [추가 투고중 1]		0 [투고 예정 2]	16	

나. 연구성과 활용 목표

(단위 : 건수)

구분		기술실시(이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표	1	1			1	
	달성	실행예정	실행예정			실행예정	

다. 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역
15	2	2			2	2	4		

라. 학술발표 성과

번호	발표일시	대회명	발표명
1	2013.03.28.	일본목재학회	養液栽培用固形培地の代替原料に対する安全性評価
2	2013.03.28.	일본목재학회	養液栽培のために廢木材固形培地の特性
3	2013.04.12.	한국목재공학회	폐목재를 이용한 양액재배용 고품배지의 특성
4	2013.05.16.	한국자원식물학회	양액재배용 식생배지가 엽채류(상추 <i>Lactuca sativa</i> L.) 생장에 미치는 영향
5	2013.05.16.	생화학분자생물학회	cytoprotective effects of hesperetin against UVB-irradiation in human keratinocytes
6	2013.08.12.	한국생물과학협회 정기학술대회	Photo-protective Effects of Hesperetin Against Oxidative Stress Induced by Ultraviolet B Irradiation on Human Keratinocytes
7	2013.10.02.	한국자원식물학회	국내 폐목재 자원을 활용한 양액재배용 유기물 배지가 상추의 생장에 미치는 영향
8	2013.10.10.	한국분자세포생물학회	Safety verification of solid substrate composed with renewable wood resources for nutriculture on human keratinocytes
9	2013.10.24.	한국펄프종이공학회	펄프슬러리를 첨가한 양액재배용 목재고형배지의 특성
10	2013.10.24.	한국펄프종이공학회	펄프슬러리와 폐목재칩을 혼합 제조한 목재고형배지의 독성평가
11	2013.12.06.	한국식물생명공학회	폐목재를 이용한 친환경 고품유기배지의 양액재배 적용 가능성
12	2014.03.13.	일본목재학회	腐熟された木質係原料を利用して固形培地の特性
13	2014.04.17.	한국작물학회	폐목재칩배지와 부속수피배지를 이용한 양액재배시 상추(<i>Lactuca sativa</i> L.) 생육에 미치는 효과
14	2014.04.18.	한국목재공학회	재순환성 원료를 활용한 고품배지의 안전성 평가
15	2014.04.18.	한국목재공학회	재순환성 원료를 활용한 고품배지의 작물 생육 특성
16	2014.04.25.	한국자원식물학회	국내폐목재를 이용한 양액재배시 상추 (<i>Lactucasativa</i> L.)의 생육에 미치는효과

다. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2014년 [게재]	Tailoring the characteristics of carbonized wood charcoal by using different heating rates.	Gu-Joong Kwon	Dea-young Kim	Choong-Hyeon Oh, Byung-ho Park, Joo-Hyon Kang	Journal of the Korean Physical society	Vol. 64, No. 10, May 2014, pp. 1474-1478	국내	Scopus SIC
2014년 [투고]	Cytoprotective effects of hesperetin against oxidative damage induced by ultraviolet B irradiation in human keratinocytes.	Hyun-Jin Jang	Jung-Suk Sung	Yoo-Jung Lee, Se-Hui Kang	Toxicology in vitro			SCI
2014 [투고예정]	양액재배용 목재고형배지의 이화학적 특성과 작물생육에 미치는 영향	권구중	김대영	양지욱, 박효섭, 조준형	한국목재공학회			KSCI
2014 [투고예정]	LED. 광 조건이 엽채류 식물생육에 미치는 효과	박효섭	조준형	김대영	유기농업학회 또는 국제농업개발학회지			KSCI

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

-해당내용 없음

제 7 장 연구시설·장비 현황

-해당내용 없음

제 8 장 참고문헌

Abad M., Fornes F., Carrion C., and Noguera V. 2005. Physical properties of various coconut coir dusts compared to peat. Hortscience 40(7): 2138-2144

Ahn B.N., Kim J.A., Kong C.S., Seo Y.W., Kim S.K., 2012. Protective effect of (2'S)-columbianetin from corydalis heterocarpa on UVB-induced keratinocyte damage. J. Photochem. Photobiol. B. 109, 20-27.

Arenas, M., C. S. Varrina, J. A. Cornell, E. A. Hanlon and G. J. Hochmuth 2002. Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. HortScience. 37 : 309-312.

Chang H., Oehrl W., Elsner P., Thiele J.J., 2003. The role of H₂O₂ as a mediator of UVB-induced apoptosis in keratinocytes. Free radic. Res. 37, 655-663.

Choi J.S., Choi Y.J., Shin S.Y., Li J., Kang S.W., Bae J.Y., Kim D.S., Ji G.E., Kang J.S., Kang Y.H., 2008. Dietary flavonoids differentially reduce oxidized ldl-induced apoptosis in human endothelial cells: role of MAPK- and JAK/STAT-signaling. J. Nutr. 138, 983-990.

Cobb, M.H., Goldsmith, E.J., 1995. How MAP kinases are regulated. J. Biol. Chem. 270, 14843-14846.

Cresswell, G. C. 1992. Coir dust - A viable alternative to peat moss, p. 1-5. In: Proc. Austral. Potting Mix Manufacturers Conf., Sydney.

Dekker P., William W.E., Green M.R, 2005. Protection by Food-derived antioxidants from UV-A1-induced photodamage, measured using living skin equivalents. Photochem. Photobiol. 81, 837-842.

Evans, M. and R. H. Stamps 1996. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. HortScience 31 : 965-967.

Gao M.Q., Guo S.B., Chen X.H., Du W., Wang C.B., 2007. Molecular mechanisms of polypeptide from Chlamys farreri protecting HaCaT cells from apoptosis induced by UVA plus UVB. Acta Pharmacol Sin. 28, 1007-1014.

Gniadeck R., Hansen M., Wulf H.C., 1997. Two pathways for induction of apoptosis by ultraviolet radiation in cultured human keratinocytes. *J. Invest. Dermatol.* 109, 163-169.

Halliday G.M., 2005. Inflammation, gene mutation and photoimmunosuppression in response to UVR-induced oxidative damage contribute to photocarcinogenesis. *Mutat. Res.* 571, 107-120.

Handreck, K. A. 1993. Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 349-363.

Henseleit U., Rosenbach T., Kolde G., 1996. Induction of apoptosis in human HaCaT keratinocytes. *Arch. Dermatol. Res.* 288, 676-683.

Huang J.H., Huang C.C., Fang J.Y., Yang C., Chan C.M., Wu N.L., Kang S.W., Hung C.F., 2010. Protective effects of myricetin against ultraviolet-B-induced damage in human keratinocytes. *Toxicol. In Vitro.* 24, 21-28.

Hwang S.L., Yen G.C., 2009. Modulation of AKT, JNK, and p38 activation is involved in citrus flavonoid-mediated cytoprotection of PC12 cells challenged by hydrogen peroxide. *J. Agric. Food Chem.* 57, 2576-2582.

Jeong Y.J., Choi Y.J., Kwon H.M., Kang S.W., Park H.S., Lee M., Knag Y.H., 2005. Differential inhibition of oxidized LDL-induced apoptosis in human endothelial cells treated with different flavonoids. *Br. J. Nutr.* 93, 581-591.

Konduru, S., M. R. Evans and R. Stamp 1999. Coconut husk and processing effects on chemical and physical properties of coconut coir dust. *HortScience* 34: 88-90.

Marrot L., Meunier JR., 2008. Skin DNA photodamage and its biological consequences. *J. Am. Acad. Dermatol.* 58, 139-148.

Meerow, A. W. 1994. Growth of two subtropical ornamentals using coir (coconut mesocarp pith) as a peat substitute. *HortScience* 29 : 1484-1486.

Polefka T.G., Meyer T.A., Agin P.P., Bianchini R.J., 2012. Effects of solar radiation on the

skin. *J. Cosmet. Dermatol.* 11, 134–143.

Proteggente A.R., Basu-Modak S., Kuhnle G., Gordon M.J., Youdim K., Tyrell R., Rice-Ebans C.A., 2003. Hesperetin glucuronide, a photoprotective agent arising from flavonoid metabolism in human skin fibroblasts. *Photochem Photobiol.* 78, 256–261.

Ramachandran S., Rajendra Prasad N., Karthikeyan S., 2010. Sesamol inhibits UVB-induced ROS generation and subsequent oxidative damage in cultured human skin dermal fibroblasts. *Arch Dermatol Res.* 302, 733–744.

Runchel C., Matsuzawa A., Ichijo H., 2011. Mitogen-activated protein kinases in mammalian oxidative stress responses. *Antioxid. Redox Signal.* 15, 205–218.

Shi Y., Nikulenkov F., Zawacka-Pankau J., Li H., Gabdoulline R., Eriksson S., Hedström E., Issaeva N., Kel A., Arnér E.S., Selivanova G., 2014. ROS-dependent activation of JNK converts p53 into an efficient inhibitor of oncogenes leading to robust apoptosis. *Cell Death Differ.* 21, 612–623.

Shimizu H., Banno Y., Sumi N., Naganawa T., Kitajima Y., Nozawa Y., 1999. Activation of p38 mitogen-activated protein kinase and caspases in UVB-induced apoptosis of human keratinocyte HaCaT cells. *J. Invest. Dermatol.* 112, 769–774.

Shindo Y., Witt E., Han D., Packer L., 1994. Does-response effects of acute ultraviolet irradiation on antioxidants and molecular markers of oxidation in murine epidermis and dermis. *J Invest Dermatol.* 102, 470–475.

Van L.A., Van K.S., Lippens S., Declercq W., Vandenabeele P., Janssens S., Vandenheede J.R., Garmyn M., Agostinis P., 2004. Activation of p38 MAPK is required for Bax translocation to mitochondria, cytochrome c release and apoptosis induced by UVB irradiation in human keratinocytes. *FASEB J.* 18, 1946–1948.

Wang X., Martindale J.L., Liu Y., Holbrook N.J., 1998. The cellular response to oxidative stress: influence of mitogen-activated protein kinase signaling pathways on cell survival. *Biochem. J.* 333, 291–300.

Wu W.B., Chiang H.S., Fang J.Y., Chen S.K., Huang C.C., Hung C.G, 2006. (+)-Catechin prevents ultraviolet B-induced human keratinocyte death via inhibition of JNK phosphorylation. *Life Sci.* 79, 801-807.

Zafarullah M., Li W.Q., Sylvester J., Ahmad M., 2003. Molecular mechanisms of γ -acetylcysteine actions. *Cell Mol. Life Sci.* 60, 6-20.

김경제, 나상욱, 우인식, 강영식, 허일범, 김진한. 1997. 배지종류가 단고추 자루식 장기 배양재배시 생육 및 수량에 미치는 영향. *한국생물환경조절학회지* 6(2) 80-85.

김양희, 유병일, 2010. 수출용 선인장'황월'에 적합한 배지선발, *화훼선발* 18(3) 171-178.

농수산식품부. 2000~2010. 채소류 생산실적. 유통정책단 채소특작팀

농수산부. 1980. 농림통계연보 1980

농림수산부. 1990. 농림수산통계연보 1990

농림수산부. 1995. 농림수산통계연보 1995.

농림부. 2006. 농림통계연보 2006.

류종원, 서운갑. 2009. 퇴비단 여과액비와 농축액비를 이용한 양액재배가 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향. *한국유기농업학회* 17(3): 357-370.

맹성주. 1999. 벼 품종의 엽록소 측정기값과 엽록소함량 및 질소함량과의 관계. *건국대학교 석사학위논문*

박권우. 1999. 양액재배. *아카데미서적*

변우혁. 2003. 숲가꾸기 산물의 경제적 활용방안에 관한 연구. *산림청 연구보고서*

서명훈, 이상우, 심상연, 임재욱, 박권우. 2002. 양액재배 배양액 변화에 따른 상추의 Bitter Sesquiterpene Lactones 함량 변화. *한국원예학회* 20(I): 32-32

이상규, 최장선, 이준구, 장윤아, 남춘우, 여경환, 이희주, 엄영철. 2012. 식물공장내 양액의 EC가 적겨자와 청경채의 생육 및 품질에 미치는 영향. *한국생물환경조절학회* 21(4): 322-326

이수연, 이성재, 서명훈, 이상우, 심상연. 1999. 순환식 상추 양액재배시 양액재활용 기술. *한국*

생명환경조절학회 8(3): 172-182.

이용호, 이재육, 권지선, 남윤일, 조일환, 권영삼. 1996. 자루재배에서 배지의 종류가 오이의 생육 및 수량에 미치는 영향. 생물생산시설환경 5(1): 15-22.

이정환, 정성우, 조동천, 배동원, 곽연식. 2012. 온도와 EC 농도가 파프리카 역병 성장과 유주자낭 형성에 미치는 영향. 시설원예·식물공장 21(1): 39-44.

이주성. 1998. 제조환경변화에 따른 제조간접비 배부에 관한 연구. 세무회계연구 5(1): 241-265.

이준구, 이병일. 2000. 상추(*Lactuca sativa* L.)의 순환식 양액재배시 양액의 재사용에 따른 생육저하 및 양액내 monomeric phenolic acid의 동정. 한국원예학회 18(1): 684-684.

임재하, 윤재탁, 김임수, 최부술, 권영석. 1994. 왕겨배지가 양액재배 토마토의 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국원예학회 논문발표요지 21권 1호. 36-37.

전하준, 황진규, 류습생, 장미순. 2011. 고품배지를 이용한 순환식 딸기 수경재배에서 배지 종류별 무기이온 흡수 특성. 한국생명환경조절학회지 20(1): 33-39.

조덕희. 2012. 제조중소기업 경영성과 및 경쟁력실태 분석. 산업연구원 ISSUE PAPER 2012-281.

조자용, 정순주, 서범석. 2000. 순환식 양액재배 양액 살균 기술의 현황과 전망. 한국원예학회 18 (6): 890-899.

지성한. 1997. 양액 공급 방법의 차이가 수경 상추의 생육에 미치는 영향. 호남대학교산업기술연구소 4(-): 207-21.

홍순달. 1997. 시설재배 토양의 염류집적 방지를 위한 효율적 시비관리. 첨단원예기술개발연구센터 연구보고서 2: 69-79.

홍철규. 2010. 산업수준 요소들이 판매비와 관리비에 미치는 영향. 회계학연구 35(4): 133-162
황연현, 안철근, 장영호, 윤혜숙, 안재육, 손길만, 노치웅, 정병룡. 2012. 토마토 수경재배 시 배액제로 센서를 이용한 배액제로화가 근권환경 생육 및 수량에 미치는 영향. 시설원예·식물공

장 21(4): 398-403.

황인택, 조경철, 이정현, 정순주, 김광수, 김정근. 2003. 배지종류와 깊이가 양액 재배 국화 정운 품종의 생장과 발육에 미치는 영향. 한국원예학회지 44(1): 107-113.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 첨단생산기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.