

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
기술사업화지원 사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004747-01

플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 및 실내식물 이용확대 연구

2024.07.29

주관연구기관 / 농업회사법인(주)유니플랜텍
공동연구기관 / 충북농업기술원
공동연구기관 / 강원대학교

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 "플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 및 실내식물 이용확대 연구"(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023 . 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 29.

주관연구기관명 농업회사법인(주)유니플랜텍 윤 여 중 (인)

공동연구기관명 충북농업기술원 조 은 희 (인)

공동연구기관명 강원대학교 산학협력단 장 철 성 (인)

주관연구책임자 : 윤 여 중 (인)

공동연구책임자 : 오 훈 근 (인)

공동연구책임자 : 최 기 영 (인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명		기술사업화지원사업				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)						연구개발과제번호		821039-03
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	45%	LB0299	45%	LB02001	10%	
	농림식품 과학기술분류	AA0203	40%	AA0203, c303021	40%	AA0203, c301100	20%	
총괄연구개발명 (해당 시 작성)								
연구개발과제명		플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 및 실내식물 이용 확대 연구						
전체 연구개발기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)						
총 연구개발비		총781,500천원 (정부지원연구개발비: 696,000천원, 기관부담연구개발비 : 85,500천원, 지방자치단체지원연구개발비: 천원, 그 외 지원연구개발비: 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()		
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)								
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)								
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물 선발 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 미세먼지 저감 효과 분석 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 엽면시비 효과 구명 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발 ○ 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발 ○ 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구 ○ 플랜테리어용 실내재배기의 보급 및 전용 종묘 및 특화 식물 보급 ○ 모듈형 실내재배기 특허출원 및 기술실시 ○ 화목류 종묘생산기술 특허 출원 및 기술실시 						
	전체 내용	<p>1) 영양계 번식 화훼류 종묘의 종자주권 확보를 위한 종묘생산체계 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ CoVid 19의 영향으로 비대면의 증가와 가정에서 머무는 시간이 늘면서 외부 활동이 줄고 집에서 생활하는 시간이 많아지면서 ‘반려식물’및‘반려어’의 인구가 증가하고, 실내식물은 홈 가드닝, 플랜테리어(plant+interior) 등으로 식물분야의 기능이 인테리어로 확대되고 있다. ○ 실내조경, 신선채소의 자급과 같은 수요 증가와 함께 실내재배기의 수요도 증가하고, 동시에 실내재배기 혹은 플랜테리어 전용 식물 수요도 증가하고 있으나, 대부분의 종묘가 수입에 의존되고 있다. ○ 2019년 화훼 총 생산액이 5,174억(2019년 화훼재배통계)으로 2015년 이후 계속하락하고 있음에도, 2020년 5천만주(농림축산식품검역본부)가 넘는 종묘가 수입되고 있다는 것은 국내 종묘 생산체계가 전무한 상태를 말해주고 있다. ○ 이렇게 국내종묘생산 체계가 구축되기 어려웠던 이유는 다양하겠으나, 1990년대 국내의 화훼 품종보유가 매우 미약했고, 품종의 지적재산권에 대한 권리의식도 미약했던 때에 ○ 소규모 조직배양업체에 지적 재산권 침해라는 문제가 발생되면서 대부분의 조직배양 업체가 폐업하거나 화훼재배로 전환되어 국내의 조직배양에 의한 종묘생산 기반이 무너졌다. 이에 상대적으로 수입업체가 증가하고, 그 자리를 수입종묘가 차지하는 결과를 초래하였다. 						

<p>연구 개발 목표 및 내용</p>	<p>전체 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 조직배양 종묘생산 체계가 와해된 원인중의 하나인 지적 재산권 문제는 2021년 1월 국립종자원 품종보호 공보에 의하면 화훼 품종 등록 수가 21,455개로 실로 어마한 품종이 등록되어 있어, 품종보호권의 문제는 해결되었다 할 수 있다. 그러나 현재의 국내 종묘생산체계 부재는 국내육성 품종을 외국에 의존하여 생산해야하는 현상까지 발생되고, 수입종묘는 무방비 상태로 들어오며, 가격협상력도 매우 취약해지는 문제까지 발생되고 있다. ○ 본 과제를 통하여 대량증식이 어려운 유망 화목류와 경쟁력있는 실내식물의 대량번식 체계를 구축하여 화훼류 종자주권 확보의 기초를 확보하고자 한다. <p>2) 실내재배기 및 플랜테리어 전용 크린식물 생산재배 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 식물 실내재배기 및 플랜테리어 시장이 확대 되면서 실내 환경에 적합하게 생산된 식물의 필요가 증가하고 있다. ○ 현재 이용되고 있는 실내식물은 실내 입식 후 식재에서 발생하는 뿌리파리와 같은 해충의 발생이 불가피 하고, 표면의 곰팡이 발생도 빈번하여 실내 미관 뿐 아니라 실내 환경에 부정적 영향을 준다. ○ 실내에서 농약을 이용한 방제는 거의 불가능하므로 식물이 실내로 도입되기 전부터 방제, 생산, 재배 방법의 확립이 필요하다. ○ 실내 식물재배기는 대부분이 양액 재배형식으로 종묘 생산부터 실내식물 전용 양액재배를 적용하여 실내 식재시 활착율을 높이고, 이차적으로 발생하는 병해충의 발생을 방지할 수 있는 재배 생산 시스템을 개발하고자 한다. <p>3) 친환경 모듈형 실내재배기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 집콕생활이 늘어나면서 반려식물인구 증가와 함께, 물고기를 키우는 반려어인구도 대폭 증가하고 있다. 반려어 인구는 잠재적 반려식물 인구거나 반려식물, 반려어를 동시에 키우는 경우가 상당부분 차지한다. ○ 반려어를 키우기 위해서는 어항의 수질관리가 중요하여 여과기, 선프수조 등에 본어항보다 더 크고, 더 많은 돈을 들여 여과시스템을 구축하여 ‘암모니아→아질산→질산염’의 사이클을 완성한다. 그러나 질산염은 암모니아, 아질산보다 독성이 약하지만, 물고기는 질산염을 소비할 수 없어 결국엔 축적된 질산염을 매주 혹은 주당 몇 회 단위로 축적된 질산염을 버리는 방법으로 수질관리하고 있다. 이렇게 현재의 양어시스템은 과도한 물소비와 취미를 넘어선 고도한 노동(환수)이 동반되고 있어, 실내재배기에 반려어 양육과 실내식물을 결합한 아쿠아포닉스를 통하여 생활속에 순환농법, 친환경의 실천을 모듈형 실내재배기의 개발을 통하여 실현하고자 한다. ○ 그러나 현재의 아쿠아포닉스 실내 재배기는 ▼어류를 질산염 생산 공장 정도로 인식하고 자가 소비용 엽채소 생산 정도의 개념으로 제작되고 있어, 식물, 어류 모두에서 ▼미적 관상이라는 부분을 상실한 것으로 ▼시장 확대를 위해서는 ▼Plant-Fish interior라는 개념으로 전환될 수 있는 성능과 기능을 가진 인테리어 개념의 수경 및 아쿠아포닉스 재배기를 개발하여야 한다. <p>4) 실내 적합 식물 및 미세먼지 저감 식물 선발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 미세먼지, 시설내 유해물질은 해마다 증가하고 있어 친환경에 대한 요구가 증가하고 있다. 미세먼지를 10~30% 감축하면 수도권의 관련 질환 사망자 수가 해마다 40~120명 줄어들고 심장 및 호흡기 질환 건수는 연간 2800~8300건 줄일 수 있는 것으로 전망됨으로(한국환경정책평가연구원), 미세먼지 저감율이 높고, 실내재배에 적합한 실내식물을 선발하고자 한다.
--------------------------------------	------------------	--

	전체 내용	<p>5) 실내 재배기에서의 식물 생육환경 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 온실에서 재배되던 식물이 실내로 들어오면서 환경은 급격히 변화하게 된다. 실내에 도입된 식물의 생육환경, 유지, 관리, 감상 등 소비자측면의 식물생육연구 진행이 전무한 상태로 실내생육환경에 대한 연구가 수반되어야 이용확대 가능성이 높아진다. ○ 수경 및 아쿠아포닉스용 실내재배기 전용 식물의 실내 생육환경을 연구하고 ○ 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발하며 ○ 실내재배기의 생육 관리 매뉴얼 제작하고자 한다. <p>6) 플랜테리어 시장의 확대에 대응한 이용확대 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 양액용/ 아쿠아포닉스용 모듈형 실내재배기 보급 ○ 실내재배기 전용 식물 개발, 보급
연구 개발 목표 및 내용	1단계 (1.2년차)	<p>목표</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물 선발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발
	내용	<p>1) 영양계 번식 화훼류 종묘의 종자주권 확보를 위한 중요생산체계 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 조직배양 무균묘의 대량양묘기술 개발 <p>2) 실내재배기 및 플랜테리어 전용 크린식물 생산재배 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물 선발 <p>3) 친환경 모듈형 실내재배기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발 <p>4) 실내 재배기에서의 식물 생육환경 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구 <p>5) 플랜테리어 시장의 확대에 대응한 이용확대 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 무기물 화산석을 이용한 실내식물 이용확대 연구
	목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 미세먼지 저감 효과 분석 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 엽면시비 효과 구명 ○ 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발 ○ 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구 ○ 플랜테리어용 실내재배기의 보급 및 전용 종묘 및 특화 식물 보급 ○ 모듈형 실내재배기 특허출원 및 기술실시 ○ 화목류 중요생산기술 특허 출원 및 기술실시
	2단계 (3년차)	<p>내용</p> <p>1) 영양계 번식 화훼류 종묘의 종자주권 확보를 위한 중요생산체계 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 조직배양 무균묘의 대량양묘기술 개발 <p>2) 실내재배기 및 플랜테리어 전용 크린식물 생산재배 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 전용 식물의 미세먼지 저감 효과 분석 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 엽면시비 효과 구명 <p>3) 친환경 모듈형 실내재배기 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발 ○ 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발 ○ 모듈형 실내재배기 특허출원 및 기술실시 <p>4) 플랜테리어 시장의 확대에 대응한 이용확대 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구 ○ 플랜테리어용 실내재배기의 보급 및 전용 종묘 및 특화 식물 보급 ○ 무기물 화산석을 이용한 실내식물 이용확대 연구

- 1) 영양계 번식 화훼류 종묘의 종자주권 확보를 위한 중요생산체계 구축**
- 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발
 - 화목류 : 만병초, 천리향, 장미, 라일락→기내도입 및 기내증식
 - 관엽류 : 알로카시아, 필로덴드론, ZZ Plant →기내도입 및 기내증식
 - 조직배양 무균묘의 대량양묘기술 개발
 - 화목류 : 만병초 16,000주 생산 보급
 - 속근초 : 용담 20,000주 생산 보급
 - 무기토양 화산석 이용한 크린묘 생산 보급 120,000주
- 2) 실내재배기 및 플랜테리어 전용 크린식물 생산재배 연구**
- 플랜테리어용 화종 선발
 - 수경재배용 EC농도 및 용토선발
 - 양어수 처리에 따른 식물 생육변화 조사
 - 관엽식물 및 초화류 종류에 따른 미세먼지 흡수량 측정
- 3) 친환경 모듈형 실내재배기 개발**
- 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구
 - 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발
 - GFA(Gardning & Fishing Aquaponics)의 기술 안전 및 지속적 시스템 유지관리 가능성 검토완료
 - GFA 시스템 질화과정을 구현할 수 있는 Filter system 개발
 - 무기물 재배를 통한 벽면전용 식물소재 개발(베고니아, 싱고니움)
 - GFA와 FA 시스템에 비교분석을 통한 질화관리 및 어류 관리 매뉴얼 1차 구현
 - GFA 시스템 특허출원 - 아포닉 가든(출원번호 제10-2022-0049245호)
- 4) 실내 재배기에서의 식물 생육환경 구명**
- (1) 실내 재배기의 수경재배 생육환경**
- 다단형과 벽면형 수경재배 시스템 설계과 분화류 실제 적용
 - 분화류 광과 EC 환경 구명
 - 아글레오네마와 칼라싱고니움의 광도는 50~100PPFD ($10\sim 20W\cdot m^{-2}$), 싱고니움은 50PPFD가 적합
 - 제라늄과 베고니아의 DED 인공 광원(100PPFD광도) 개화 소요일은 광질에 따라 RBW 광원이 백색 LED 광원보다 빨랐고 꽃이 밝고 선명하였음
 - 제라늄 EC(0.8,1.6,2.4dS/m) 농도에 생육은 차이가 없으며, 식물체당 꽃대가 EC 1.6처리에서 가장 많았고 아글레오네마는 EC 0.8과 1.6 처리에서 엽록소함량 값이 높았음
 - 수경재배 재배관리 소요시간 구명
- (2) 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경**
- 다단형과 벽면형 아쿠아포닉스 시스템 설계 및 실제 적용 (칼랑코에 등 3종)
 - 상부 인공광원 설치로 위치별 광도차이가 발생하여 칼랑코에는 50PPFD 이상에서, 제라늄은 100PPFD 이상의 광도가 생육에 적합하였다. 사육수조내 양분 불균형으로 인한 황백화 현상이 제라늄과 베고니아에서 4주차부터 발생하였고 피해 정도는 베고니아, 제라늄, 칼랑코에 순이었음
 - 아쿠아포닉스 사육수 환경(조단백질 함량, 여과재 배지, 무기이온 첨가) 구명
 - 조단백질함량이 높을수록 사육수 EC는 증가했으나 색변화가 발생하므로 조단백질함량(32%)이 적합하며 여과재(세라믹링, 활성탄, 난성, 화산석, 소폰지 등) 종류에 따라 pH와 EC 변동 폭이 달랐으며, 활성탄과 화산석은 pH 상승 효과가 있고 세라믹링과 활성탄은 EC 증가가 컸음.
 - 사육수 pH 안정을 고려한 이온첨가는 중탄산함량과 EDTA-Fe을 첨가하는 것이 효과적이었음

연구개발 성과	<p>○ 아쿠아포닉스 재배관리 소요시간 구명</p> <ul style="list-style-type: none"> - 아쿠아시스템에서 설치 및 운영 소요시간은 수경재배시스템 설치에 가장 많은 시간이 소요되었고 아쿠아의 물 보충시간, 작물 관리 순이었다. 분화류는 관엽식물에 비해 꽃, 잎 관리 소요시간이 더 요구되었고 개화 이후 시간이 많이 요구됨 ○ 제라늄 아쿠아포닉스 시스템 개발과 환경 구명 - 제라늄 아쿠아포닉스는 박막수경 방식에 화산석을 여과 배지로 사용하고, 사육수 EC 1.0dS·m⁻¹를 유지하며 어체중의 0.5~1.0%를 급이하는 것이 관상가치에 효과적 ○ 칼라코에 아쿠아포닉스 시스템 개발과 환경 구명 - 순환담액, 박막수경에 하이드로볼, 난석, 화산석 등의 무기배지를 여과재하여 EC 1.0dS·m⁻¹을 유지하는 급이 밀도 0.5~1% 수준이 적합 <p>(3) 아쿠아포닉스 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발</p> <p>(4) 아쿠아포닉스 실내재배기 분화류 식물환경 매뉴얼 제작</p> <p>5) 플랜테리어 시장의 확대에 대응한 이용확대 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 무기물 화산석을 이용한 실내식물 이용확대 연구 - 무기물 용토를 이용한 벽면조경용 식물소재 개발 - 무기물 용토 수경재배 키트, 테라리움 제작 및 지속유지 조건 개발
연구개발 성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 차세대 친환경 선순환 벽면조경 시스템 활용 ○ 그린 실내식물 플랜테리어 ○ 질화 및 탈질화 시스템을 통한 건강한 친환경 관상어 양어 ○ 지속가능한 ESG 경영 ○ 친환경 선순환 교육 ○ 전용 크린식물 소재생산 및 공급 ○ 수경재배 방식을 이용한 관엽식물 생산 기술을 위한 기초 자료 활용 ○ 아쿠아포닉스 적용 가능 화종 선발 및 재배법 개발 ○ 기술적 측면 : 플랜테리어용 전용 실내식물 선발 및 재배기술 개발 ○ 경제적, 산업적 측면 : 플랜테리어 확산을 통한 화훼산업 저변 확대, 관엽식물 등 실내 식물 활용 제고를 통한 재배농가 장려 ○ 사회적 측면 : 플랜테리어용 식물 활용 확대를 통한 국민 정서 함양 및 삶의 질 향상
연구개발 성과의 비공개여부 및 사유	

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	플랜테리어		수경재배		아쿠아포닉스		모듈형 실내재배기		생육환경			
영문핵심어 (5개 이내)	Plant+Interior		Hydroponics		Aquaponics		Module growing box		Growth environment			

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 1	
1) 연구개발과제의 최종목표	2
2) 연구개발과제의 단계별 목표	2
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	2
1) 연구개발과제의 수행과정 및 주관기관과 공동연구기관의 역할	2
2) 연구개발과제의 수행내용	3
(1) 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량 양묘 및 이용 확대 연구	3
(2) 플랜테리어용 실내 재배기 전용 실내식물 생산 재배 환경연구	5
(3) 플랜테리어용 실내 재배기의 식물 생육환경 연구	6
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	7
1) 연구수행 결과	7
(1) 정성적 연구개발성과	7
1. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량 양묘 및 이용 확대 연구	7
1.1. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발	7
1.2. 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 개발	32
1.3. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구	53
2. 플랜테리어용 실내 재배기 전용 실내식물 생산 재배 환경 연구	57
2.1. 플랜테리어용 수경 적합식물 선발(1년차)	57
2.2. 플랜테리어용 크린 식물 수경재배 생산 환경 구명	58
2.3. 플랜테리어용 크린식물 아쿠아포닉스 재배 생산 환경 구명	62
2.4. 황사 및 실내 미세먼지 저감 효과 분석	65
2.5. 플랜테리어용 전용 크린 식물의 엽면시비 효과 구명	66
2.6. 추가시험. 어종별 아쿠아포닉스 재배 시 식물 생육 비교	72
3. 플랜테리어용 실내재배기의 식물 생육 환경 연구	74
3.1. 플랜테리아용 수경재배 시스템 설계 (1세부와 공동)	74
3.2. 플랜테리아용 실내재배기 수경재배 생육 환경 구명	77
3.3. 플랜테리어용 수경재배 재배관리	92
3.4. 플랜테리어용 아쿠아포닉스 사육수 환경 구명	98
3.5. 제라늄의 아쿠아포닉스 시스템과 환경 구명	109
3.6. 칼랑코에 아쿠아포닉스 시스템과 환경 구명	126
3.7. 플랜테리어용 아쿠아포닉스 재배관리	140

3.8. 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발	142
(2) 정량적 연구개발성과	159
(3) 세부 정량적 연구개발성과	159
2) 목표 달성 수준	165
별첨 자료 (참고 문헌 등)	166

최종보고서							보안등급			
							일반	보안		
중앙행정기관명	농림축산식품부			사업명	사업명			기술사업화지원		
전문기관명 (해당 시 작성)	농림식품기술기획평가원			사업명	내역사업명 (해당 시 작성)	민간중심 R&D 사업 화지원				
공고번호				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		821039-03				
				연구개발과제번호						
기술분류	국가과학기술 표준분류	LB0203	45%	LB0299	45%	LB02001	10%			
	농림식품과학기술분류	AA0203	40%	AA0203, c303021	40%	AA0203, c301100	20%			
총괄연구개발영역 (해당 시 작성)	국문									
연구개발과제명	국문	플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량 양묘 및 실내식물 이용 확대 연구								
	영문	Research on mass-production of tissue cultured sterile seedlings for planterior and expanding the use of indoor plants								
주관연구개발기관	기관명	농업회사법인(주)유니플랜텍		사업자등록번호						
	주소			법인등록번호						
연구책임자	성명	윤여중		직위		대표				
	연락처	직장전화			휴대전화					
		전자우편			국가연구자번호					
연구개발기간	전체	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)								
	단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)							
		2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 개월)							
연구개발비 (단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담		그 외 기관 등의 지원금				합계		연구개발비의 지연금
		연구개발비	연구개발비	지급처지연금		기타()		합계		
		현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계
총계		696,000	6,000	79,500				702,000	79,500	781,500
1단계	1년차	180,000	2,500	20,000				192,500	20,000	212,500
	2년차	253,000		31,500				253,000	31,500	284,500
2단계	1년차	253,000	3,500	28,000				256,500	28,000	284,500
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고				
		역할	기관유형							
공동연구개발기관	강원대	최기영	교수			공동	대학			
	충북농원	오훈근	연구사			공동	금립연			
연구개발담당자 실무담당자	성명	윤여중		직위		대표				
	연락처	직장전화			휴대전화					
		전자우편			국가연구자번호					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하여, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 02월 일

연구책임자: 윤여중



주관연구개발기관의 장: 농업회사법인(주)유니플랜텍 (직인)
 공동연구개발기관의 장: 충북농업기술원 (직인)
 위탁연구개발기관의 장: 강원대학교 산학협력단 (직인)



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발
- 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발
- 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발(생산자환경)
- 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물 선발
- 플랜테리어용 전용 식물의 미세먼지 저감 효과 분석
- 플랜테리어용 전용 식물의 엽면시비 효과 구명
- 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 실내재배기의 생육환경 연구(소비자환경)
- 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발
- 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발
- 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구
- 플랜테리어용 실내재배기의 보급 및 전용 종묘 및 특화 식물 보급

2) 연구개발과제의 단계별 목표(해당 시 작성합니다)

연차	목 표
1차년도 (2021)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 대량생산 기술 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물선발 ○ 플랜테리어용 실내재배기에서의 수경재배 환경 구명
2차년도 (2022)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어/식물재배기 용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 미세먼지 저감효과 분석 ○ 플랜테리어용 실내재배기에서의 아쿠아포닉스 환경 구명
3차년도 (2023)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 대량생산 기술 개발 ○ 플랜테리어용 전용 식물의 생산재배 생리장애 극복 연구 ○ 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발
최 종	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 및 대량양묘 기술개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 전용 최적 생산재배 기술 개발 ○ 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 적합 식물선발 및 미세먼지 저감 효과 분석 ○ 플랜테리어용 실내재배기의 수경재배/아쿠아포닉스 재배 환경 구명 ○ 플랜테리어용 모듈형실내재배기 개발 및 모니터링, 환경제어 어플개발

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

1) 연구개발과제의 수행과정 및 주관기관과 공동연구기관의 역할

- 주관기관은 조직배양을 통한 실내식물 무병묘 대량생산체계를 구축하고, 아쿠아포닉스를 적용한 관상식물, 관상어를 활용한 실내재배기를 개발한다.
- 공동1. 충북농업기술원은 플랜테리어 확대와 실내재배기 확대에 필요한 크린식물 생산기술을 확립으로 플랜테리어용 실내식물 생산농가에 기술보급을 통하여 농가 소득에 기여한다.
- 공동2. 강원대학교는 실내재배기의 보급이 확대되고 있으나 실내식물 관리에 대한 과학적 정립이필요하며, 아쿠아포닉스 실내재배기 개발과 함께 실내식물 관리에 데이터를 축적하고 소비자의 관리 편리성을 위한 매뉴얼을 개발한다.

- 주관기관 및 공동연구 기관은 플랜테리우에 보편적으로 사용되는 실내식물인 관상식물(아그레오네오마, 스파트필름, 스킨답서스, 테이블야자 등)을 포함하고, 호광성 화훼류이면서 실내식물로 이용성이 높은 식용꽃, 베고니아, 칼랑코에 등을 포함한다.

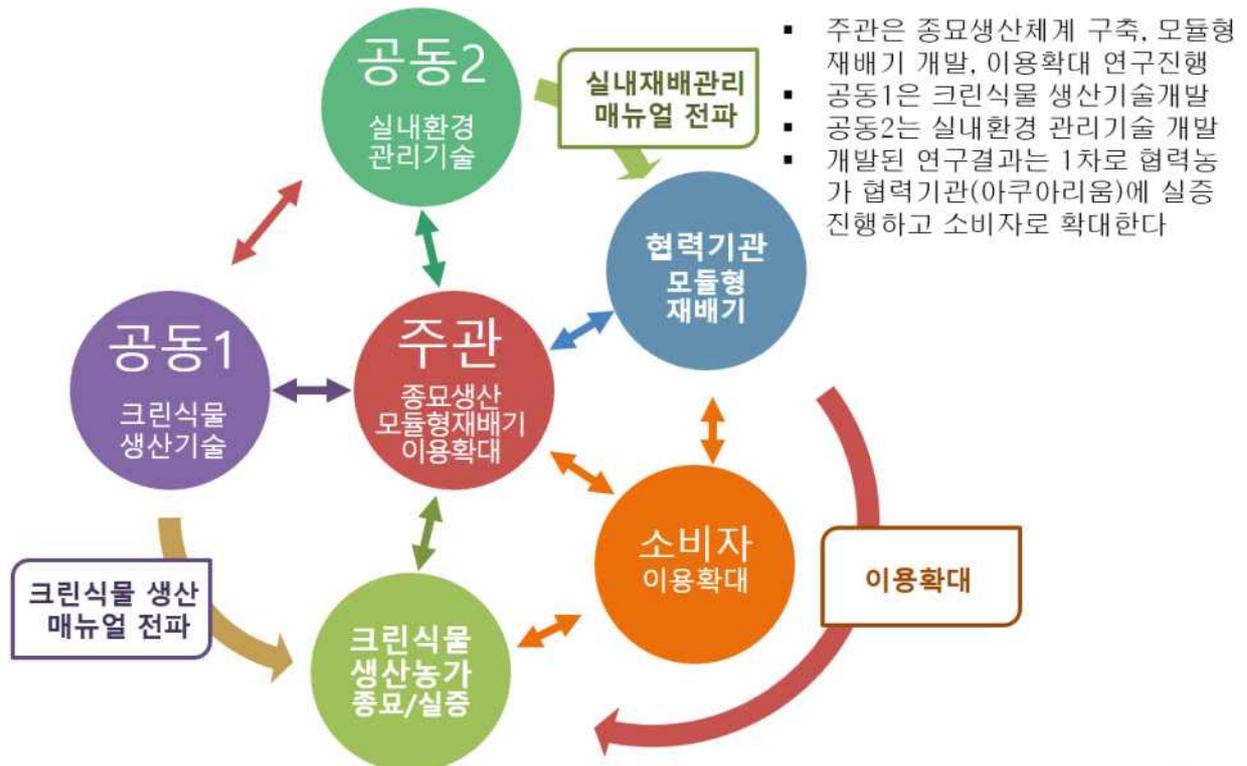


그림. 주관, 공동연구기관의 역할 및 추진체계

2) 연구개발과제의 수행내용

(1) 플랜테리우용 조직배양 무균묘의 대량 양묘 및 이용 확대 연구(유니플랜텍)

<<1년차>>

시험1. 플랜테리우용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발

- 개발작물: 화목류(3종 이상), 실내식물(3종 이상)
- 적정배지구명: 기내도입단계, 대량번식단계, 발근/순화단계
- 기내배양 환경구명 : 광 환경(명.암)
- 연관특허 : 조직배양 식물체의 대량순화 시설물(특허 제10-1960860호)
사과목 생산방법(특허 제 10-1641301호)(목본성 작물의 조직배양)

시험2. 플랜테리우용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 개발

- 수경/아쿠아포닉스 시스템 구성 설계
 - FGA:Fish and Gardening Aquaponics,
 - GA:Gardening Aquaponics,
 - FFA:Fish Farming Aquaponics type
- 대상어종 : 잉어과
- 재배식재와 여과재
- 어종, 어체중, 여과량, 여과재 설치방법에 따른 모듈형 식물재배기 구성 조건구명
- 모듈형으로 확장성과 플랜테리우로서의 기능 포함된 식물재배기 개발
 - 엽채소용 : 다단 쇼케이스형, 다단 오픈형
 - 관상식물용 : 벽면용, 다단 쇼케이스형, 다단 오픈형, 계단식 베란다형

·어종, 어체중, 여과재 여과량, 여과재 설치 방법에 따른

<<2년차>>

시험1. 플랜테리어/ 식물 재배기용 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발

- 개발작물 : 화목류(3종), 실내식물(3종)
- 육묘규격, 생육 stage별 작업 process 표준화
- 육묘환경구명: EC, 광도, 온도, 습도
- 적정배지, pot size, 환경조건(온도, 광도, 습도), 관수방법((저면, 두상, 스프레이)
- 연관특허 : 통기성 극대화된 저면관수 재배통(특허 제10-1999327호)

시험2. 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내재배기 개발

- 수경/아쿠아포닉스 시스템 시제품 설계 및 제작
 - FGA:Fish and Gardening Aquaponics,
 - GA:Gardening Aquaponics,
 - FFA:Fish Farming Aquaponics type
- 대상어종 : 잉어과
- 재배식재와 여과재
- 어종, 어체중, 여과량, 여과재 설치방법에 따른 모듈형 식물재배기 구성 조건구명
- 모듈형으로 확장성과 플랜테리어로서의 기능 포함된 식물재배기 개발
- 실내 재배기 모니터링 및 환경제어 어플 테스트 및 수정
- 제 1, 2 공동연구 기관의 연구결과의 실용화 연구
- 실내 재배기 모니터링 및 환경제어 어플의 적용(제1협동 공동)개발
- 모듈형 실내재배기 시제품 제작

시험3. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구

- 새로운 식생(화목류, 실내식물, 식용꽃등), 전용 식물 개발

<<3년차>>

시험1. 플랜테리어/식물 재배기용 조직배양 무균묘의 대량생산 기술개발

- 화목류 및 실내식물의 기내생산 단계별 작업 process 표준화
- 화목류 및 실내식물의 대량양묘 단계별 작업 process 표준화
- 화목류 생산방법 특허 출원 및 기술실시

시험2. 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 보급

- 시스템구성에 따른 실내재배기 시범보급(2개소)
- 실내 재배기 모니터링 및 환경 제어 어플 적용(제2공동연구)

시험3. 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용 확대 연구

- 모듈화 실내재배기의 보급(2개소)을 통한 이용확대
- 모듈화 실내재배기 전용 특화 종묘 및 실내식물 보급
- 특화 실내식물의 통신판매 및 특화종묘의 정기배송 구현
- 연관특허 :
 - 특허. 화분 운반용 포장모듈(특허 제10-2055688호)
 - 상표. 제31류 시선한 식용 꽃등 15건 (등록 제40-1333462호)
 - 상표. 제39류 생화배달업등 9건 (등록 제40-1333463호)

(2) 플랜테리어용 실내 재배기 전용 실내식물 생산 재배 환경 연구 (충북농업기술원)

<<1년차>>

시험1. 플랜테리어용 수경 적합식물 선발

- 시험작물 : 실내식물 5종, 식용꽃 5종
- 재배환경 : 수경(양액)
- 정식시기 5월 중순
- 재배방식 : 양액 순환형 NFT
- 주요조사항목 : 식물의 성장률 및 지속효과 구명

시험2. 플랜테리어용 크린 식물 수경재배 생산 환경 구명

- 시험작물 : 시험1 선발작물 2종
- 환경구명 : EC, 배지종류 등
- 재배방식 : 양액 순환형
- 주요조사항목 : 생육특성, 상품성, 수질, 생산성 등

<<2년차>>

시험1. 플랜테리어용 크린식물 아쿠아포닉스 재배 생산 환경 구명

- 시험작물 : 1년차 선발작물 2종
- 시험어종 : 잉어과
- 어류밀도, 사료종류에 따른 식물 최적 생육조건 구명
- EC, pH, 양분구성에 따른 식물 최적 생육조건 구명

시험2. 황사 및 실내 미세먼지 저감 효과 분석

- 시험작물 : 1년차 선발 식물 및 관엽식물
- 측정항목 : 식물체 엽면적당 1㎡당 미세먼지 저감율
- 측정시간 : 4시간
- 측정장소 : 실험용 챔버(800×800×1,500mm)
- 측정환경 : 25±2°C, 100μmol·m⁻²·s⁻¹
- 주요조사항목 : 생육특성, 엽면적지수, 미세먼지 저감율 등

<<3년차>>

시험1. 플랜테리어용 전용 크린 식물의 엽면시비 효과 구명

- 시험재료 : 2년차 선발작물 2종
- 재배환경 : 아쿠아포닉스
- 시험어종 : 잉어과
- 엽면시비 : 무처리, 처리 A(시제품), 처리 B(부족 양분 추가)
- 주요조사항목 : 생육특성, 생산성, 경제성 분석 등

시험2. 플랜테리어용 크린식물 생산 재배 매뉴얼 제작 및 황사 및 실내 미세먼지 저감 실내 식물 최종 선발

(3) 플랜테리어용 실내 재배기의 식물 생육 환경 연구(강원대학교)

<<1년차>>

시험1. 플랜테리어용 수경재배 시스템 설계

- 시스템 설계: 벽면형, 다단형
- 작물: 실내식물 3종
- 양액 : 네덜란드 분화류 배양액(N-P-K-Ca-Mg=12-4.5-5.5-6-1.5me · L⁻¹)
- 용기와 배지 : 포트형태, 무기배지 종류

시험2. 플랜테리어용 실내재배기 수경 재배 환경 구명

- 시험작물: 제라늄, 베고니아, 아글라오네마 등
- 광질 3처리 (LED 광원 종류 선발)
- EC : 분화류 배양액 3수준
- 측정 및 분석: 온/습도 모니터링,
- 생육: 초장, 엽수, 엽록소함량(SPAD), 생리장해 유무,
- pH, EC, 무기성분(NO₃⁻, NH₄⁺, K, Ca, Mg 등) 변화
- 운영 관리: 재배관리 편리성, 노동 투입시간, 관상기간, 병해충 유무 등

<<2년차>>

시험1. 플랜테리어용 실내재배기 아쿠아포닉스 시스템설계

- 관상가치, 재배 관리 관점에서의 편리성을 고려한 시스템 설계
- 시스템 설계: 벽면형, 다단형
- 용기와 배지 : 포트형태, 무기배지 종류

시험2. 플랜테리아용 실내재배기 아쿠아포닉스 생육환경 구명

- 시험작물 : 1년차 선발 작물 2종
- 시험어종: 잉어과
- 수조 크기에 따른 어류밀도 구명
- 배지 및 여과재 종류에 따른 작물의 생육과 양수분 흡수율(화산송이, 난석 등)
- 환경 구명 : 광도(일장, 명/암), 광질, 온도, 습도, 수조 내 무기양분, EC, pH 등
- 관리의 편리성 : 병해충 유무, 생리장해 유무, 관상기간, 노동투입시간, 수질관리 등

<<3년차>>

시험1. 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발

- 환경 모니터링(온도, 광도, EC, pH, 수질)
- 환경 제어 어플개발(온도, 광도, EC, pH, 수질)

시험2. 수경과 아쿠아포닉스 실내 식물생육 관리 매뉴얼 제작

<< 연구개발과제 수행일정 >>

구 분	연구개발 내용	추진일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1년차 (2021)	화목류, 실내식물 조직배양 대량생산 체계 구축				→	→	→	→	→	→	→	→	→
	수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 설계					→	→	→	→	→	→	→	→
	크린식물 수경재배 생산 재배 생산환경 연구				→	→	→	→	→	→	→	→	→
	플랜테리어용 수경 적합식물 선발					→	→	→	→	→	→	→	→
	수경 실내재배기 생육환경 조건 구명				→	→	→	→	→	→	→	→	→
	수경재배 시스템설계				→	→	→	→		→	→	→	→
2년차 (2022)	화목류, 실내식물 조직배양 무균묘의 대량양묘 기술개발	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 설계 및 제작		→	→	→	→		→	→	→		→	→
	크린식물 아쿠아포닉스 재배 생산 환경 연구	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	항사 및 실내 미세먼지 저감효과 분석						→	→	→	→	→		
	수경, 아쿠아포닉스 실내재배기 생육환경 조건 구명			→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	아쿠아포닉스 시스템설계	→	→	→	→	→		→	→	→	→		
3년차 (2023)	화목류, 실내식물 종묘생산 체계 단계별 작업 process표준화	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 보급 및 이용확대		→	→	→	→		→	→	→	→	→	→
	크린식물 생산에서 엽면시비 효과 구명	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	크린식물 생산 재배 매뉴얼 제작			→	→	→		→	→	→	→		
	실내재배기 모니터링 및 환경 제어 어플개발	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
	수경과 아쿠아포닉스 실내식물 생육관리 매뉴얼 제작			→	→	→		→	→	→	→		

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

1. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 대량 양묘 및 이용 확대 연구(유니플랜텍)

1.1. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 기내 대량생산 기술개발

1-1-1. 개발작물

가. 화목류 : 천리향, 만병초, 라일락, 장미

나. 실내식물 : ZZ plant, 용담, 필로덴드론, 알로카시아, 베고니아, 제라늄, 팔레놉시스

1-1-2. 기내도입단계 :살균방법에 따른 기내도입 무균묘 확립

- 기본적 살균의 시작은 가급적 온실에서 재배한 시료를 선택하여 외부적 오염원을 제거하고 오염율을 최소화 시킬 수 있는 크기로 시료를 조제한 후 살균제(베노밀 등)에 침지하여 over night 시키고 아침에 흐르는 물에 30분간 수세하고 물기를 제거한 후 70% ethanol에 20~30초간 표면 살균하였다.
- 본살균에 사용된 살균제는 1~4% NaOcl, 0.1% Murcuric chloride를 선택적으로 사용하였고, 오염율이 높을 경우 추가적으로 3% Hydrogen peroxide과 Cleaning Vinegar 병행 사용하였다.
- 본 실험에서 사용된 살균제 및 멸균액은 →① 농업용 살균제, ② 70% Ethanol, ③1~4% NaOcl, ④ 0.1% Murcuric chloride, ⑤ 3% Hydrogen peroxide, ⑥ Cleaning Vinegar ⑦ 멸균수 를 단독 혹은 혼합 사용하였다.

표 1-1-1. 작물별 살균 및 멸균액 조합

	70% Ethanol	1~4% NaOcl	0.1% Mercuric chloride	Vacuum	무균율 %	조직상태
팔레놉시스	20초	4% 15분	x	1분	60.0	ok
만병초	20초	4% 15분	x	1분	87.9	ok
천리향	20초	x	8분	x	65.0	ok
라일락	20초	2% 20분	5분	x	72.9	ok
장미	x	4% 20분	x	30초	55.0	ok
아그레오네마	20초	2% 20분	8분	30초	18.0	ok
용담	30초	x	8분	x	16.0	△
ZZ Plante	30초	x	8분	x	80.0	ok
베고니아	x	1% 30분	2분	x	25.0	조직연화
제라늄	x	1% 30분	2분	x	25.0	조직연화

- 2년차 기내 확립 멸균에 사용된 살균제는 1~4% NaOcl, 0.1% Murcuric chloride를 선택적으로 사용하였고, 오염율이 높은 경우 NaOcl과 Murcuric chloride을 병행사용하였다.
- 1, 2년차 기내도입을 위한 기본상균방법은→① 농업용 살균제 over night ② 70% Ethanol, ③1~4% NaOcl, ④ 0.1% Murcuric chloride처리후 멸균수 4회 수세하였다.
- 1년차 실험결과 3% Hydrogen peroxide과 Cleaning Vinegar은 멸균에 큰 영향을 미치지 못하여 제외하였다.
- 상기와 같은 방법으로 멸균하였을 때 무균식물 획득율은 90~40%로 재배환경, 식물의 건강상태에 영향을 받으나, 어떤 작물인가에 따라 무균율에 크게 영향을 미쳤다.

가. 팔레놉시스(*Phalaenopsis hybrid*)

- 팔레놉시스는 난과작물로 초대배양시 오염율이 높은 작물로 살균제 예비소독후 70% Ethanol 20초, 4% NaOcl 15분동안 감압 1분으로 무균화 진행하고 있으며, 보편적으로 55~60%의 무균 식물을 확보할 수 있다.

나. 만병초(*Rhododendron brachycarpum*)

- 진달래과에 속하는 상록 활엽 관목으로 원산지는 한국과 일본, 반 그늘진 곳 특히 공기중에 습기가 많은 곳에서 잘 자란다
- 일반적인 난과작물의 기내도입용 멸균방법을 사용하였다.
- 초대배양 무균율은 4가지 배지를 이용하여 총 431개 시험관에 접종한 결과 379개의 기내

무균개체를 얻을 수 있어 평균 80%가 넘는 개체를 확보할 수 있었다.

○ 일반적으로 온실재배한 만병초의 무균묘 확립은 비교적 용이한 것으로 판단되었다.

표 1-1-2. 만병초 초대배양시 무균묘 확립

	접종 (Test Tube)	기내 무균확립		살균방법
		주	%	
RH-1	120	107	89.2	온실재배 시료 채취→정아 위주 시료채취→살균제 over night→흐르는물 30분→70% Ethanol 20초→NaOcl 4% 15분(1분 Vacuum, 1분 유지)→멸균수 4회 세척
RH-2	120	102	85.0	
RH-3	84	72	85.7	
RH-4	107	98	91.6	
	431	379	87.9	

다. 천리향(*Daphne odora* Thurb)

- 팔꽃나무목 팔꽃나무과 팔꽃나무속에 속하며 상록 활엽 관목으로 중국 남부지역에 분포되며 직사광선보다는 다소 빛긴 별이나 오후에 그늘이 지는 곳과 같은 반그늘진곳에서 생육이 잘된다.
- 천리향은 기존의 무균방법으로는 무균묘 획득율이 매우 낮았으나, 살균제 전처리와 70% Ethanol 20초, 0.1% Murcuric chloride 8분 처리하여 기내도입 무균묘를 75%율로 확보할 수 있고, 최고 85%까지 무균주 확보가 가능하였다.

표 1-1-3. 천리향 기내무 균묘 확립

배지	접종 tubes	무균확립			살균방법
		주	%		
DA-1	120	44	36.7	36.7 %	- 70% Ethanol→ 2% NaOcl → 멸균수 4회 세척
DA-2	80	47	58.8	74.3 %	- 살균제 over night →흐르는물 30min → 0.1% Murculric Chloride 8분
DA-3	80	56	70.0		
DA-4	80	61	75.0		
DA-5	80	68	85.0		
DA-6	80	66	82.5		
	440	276			● 시료의 상태에 따라 영향받음

라. 라일락(*Syringia vulagris*)

- 물푸레나무과 수수꽃다리 속에 속하는 관목 또는 작은 교목으로 봄에 향기롭고 아름다운 꽃을 피운다.
- 유럽과 아시아가 원산으로 전세계의 온대지역에 널리 분포한다.
- 최초 기내배양을 위하여 기존의 멸균방법을 적용했을 때 오염을 50~95%로 품종에 따라 오염 정도가 매우 다양한게 나타났다. 이는 채취 모본의 재배 환경에 크게 영향받는 것으로 판단되어 향후 실험은 온실에 재식하여 채취하였다.
- 다양한 멸균방법을 적용한 결과 살균제 전처리 후 70% Ethanol 20초→ 1% NaOcl 20분 → 0.1% Murcuric chloride 5분 처리하여 멸균수 4회 세척으로 72.9%의 기내 무균묘 획득이 가능하였다.

표 1-1-4. 라일락 기내 무균묘 확립

배지	접종	무균확립		재배	비고
		주	%		
LA-1	48	3	6.25	야외	- 살균제 over night → 흐르는 물 30분 → 70%

LA-2	51	24	47.0	온실	Ethanol 20초→ 2% NaOCl 20분→ 멸균수 4회 세척
LA-3	177	129	72.9	온실	- 상동 - 2% NaOCl 20분 처리후 0/1% Murcuric chloride 5분

마. 장미(*Rosa hybrid Hort*)

- 장미과 낙엽활엽 관목으로 덩굴성에 가시가 있다.
- 장미는 기본 소독후 0.1% Murcuric chloride 5분소독으로 무균묘 획득율이 매우 낮아 0.1% Murcuric chloride 8분처리후 4% NaOCl 15분에 30초 감압처리 방법을 통하여 기내 무균묘 55% 확보 가능하였다.



그림 1-1. 장미 기내 무균묘 확립

바. 아글라오네마(*Aglaonema Schott*)

- 천남성아과 아글라오네마속으로 가장 넓게 이용되고 있는 실내식물이다.
- 아글라오네마는 기내도입시 무균묘 확보가 매우 어려운 작물로 모본부터 관리가 필요한 작물이며 일반적 멸균방법으로는 5%의 무균묘 획득도 불가능하였다.
- 항생제처리, 멸균수 세척시 과산화수소, cleaning Vinegar 처리들을 병행하였으나 항생제는 기내도입단계에 갈변율을 높이고, 과산화수소 등은 실효성이 보지 못했다.
- 다양한 무균시험과정을 거쳐 무균율을 약간이라도 향상시킬 수 있는 방법으로는 기본적인 살균제 Ethanol 소독을 진행하고 Murcuric chloride, NaOCl 2단계소독과 감압처리를 통하여 최소한(18~20%)의 식물체를 확보할 수 있었다.

사. 용담(*Gentiana scabra Bung*)

- 현화식물문 목련강 용담목 용담과 용담속에 속하는 전국의 들과 산에 자라는 여러해 살이 풀이다.
- 여러해살이 풀과 같은 숙근초는 모본의 재배상태에 따라 더욱 예민하게 영향을 받는 작물로 생육이 왕성한 시기에 배양하는 것이 바람직하다.
- 21년 8월 3가지 유전자형을 초대배양하였을 때 배양 모본의 상태라 불량하였고, 모두 개화가 진행된 상태로 품종의 생육 상태에 따라 무균묘 확보가 어려움 품종도 존재하였다. 일반적으로 오염율이 80%이상으로 기본 무균묘 확보는 가능하였지만, 생육이 왕성한 봄철에 추가적 기내도입이 필요한 작물이다.
- 초본류는 멸균제 처리에서 세심한 주의가 필요하고, Ethanol 처리 등에 의하여 조직이 연화되는 문제가 발생하여 Ethanol처리, 감압처리는 제외한 멸균방법을 모색하여야할 것으로 보인다.

아. ZZ Plant(*Zamioculcas zamiifolia*)

- 금전수는 천남성과 식물로 *Zamioculca*는 멕시코 소철의 속명인 *Zamia*와 천남성과 식물의

속명 Culcas가 합쳐진 이름으로 멕시코 소철을 닮았다하여 명명되었다.

- 금전수는 기내도입을 위한 부위로 잎을 이용하여 멸균율이 비교적 높은 작물 일반적인 전처리 살균 멸균 후 Murcuric chloride 처리에 의하여 80%의 높은 기내 무균묘 확보율을 보여주었다.



그림 1-2. ZZ Plant 기내 무균묘 확립

자. 베고니아(*Begonia evansiana* Andrews)/

제라늄(*Pelargonium inquinans* LHer. ex Aiton)

- 베고니아는 제비꽃목 베고니아과 베고니아속으로 800종 내외가 열대와 아열대에 널리 분포하고 있다.
- 제라늄은 현화식물문 목련강 쥐손이풀목 쥐손이풀과 제라늄속으로 남아프리카 원산이며 관상용으로 여러해살이풀이다.
- 베고니아와 제라늄은 조직이 연하고 잎과 줄기에 밀생하는 hair를 포함하고 있어 살균이 매우 어려운 작물이다.
- 1 단계 실험에서 다양한 멸균방법을 적용하였을 때 멸균율도 낮았지만 조직이 연화, 괴사하는 문제가 발생하여 기내 도입이 어려웠다.
- 2년차 2 단계 시험을 통하여 기내도입을 위한 멸균 방법을 모색할 예정이다.

일반적으로 목본성 작물은 조직이 단단하여 NaOCl, Murcuric chloride 등을 동시에 적용하고 감압처리까지 적용하여 멸균력을 향상 시킬 수 있었다. 그러나 속근성, 초본성 작물은 Ethanol, NaOCl, 감압처리에 의하여 조직이 쉽게 연화, 파괴되는 현상이 발생하였고, 기타 멸균 완료 후 세척수로 과산화수소(Hydrogen peroxidase)와 Cleaning Vinegar의 이용으로 멸균력을 높일 수 있다는 보고에 따라 실시하였으나, 본 실험에서는 효과를 보지 못하였다.

1-1-3. 기내도입단계 : 항산화제 처리에 따른 기내도입 성공률

- 기내 무균묘 도입단계에서 오염을 최소화하여 기내 무균묘 확보가 진행된다면 다음은 초대배양 외식체의 갈변으로부터 보호해야 기내 생육이 시작된다.
- 초본 및 속근성 작물과 달리 목본성작물은 기내배양후 외식체가 시료의 상태, 시료의 채취 시기에 의하여 갈변(Browning)되는 현상이 빈번히 발생되 기내 생육이 정지하고 조직이 파괴되는 경우가 많다.
- 1차 실험에서 상록 관목성인 만병초와 천리향, 라일락을 항산화제 처리 없이 기내도입을 시도하였다.

가. 만병초

- 만병초는 비교적 기내 무균묘 확보가 용이한 작물이었으나 2반복으로 240개의 시험관에 접종하여 209개의 무균주를 확립하였다. 그러나 배양 1개월이 경과하면서 대부분의 접종 외식체가 조직의 갈변이 심하게 발생되었다.
- 초대배양후 외식체 도입시 기내 갈변현상을 방지하기 위하여 항산화제와 PPM(Plant Preservative Mixture)를 처리하였다.
- 항생제 및 PPM 포함배지에 2회에 걸쳐 191개 시험관에 접종하여 160개의 무균주를 확보하였다.
- 무균확보된 개체는 배양 1개월이 경과하면서 성장하는 개체와 갈변개체로 분리되었고, 약 42.8%가 갈변되었고, 약 50%가 생장이 가능하였다.
- 결과적으로 항산화제 Ascorbic acid를 처리를 통하여 만병초의 초대배양 외식체의 갈변율은 감소시킬 수 있었으나 갈변율이 42.8%로 비교적 높았다. 계절의 변화와 접종 시교의 제한으로 다른 항산화제 처리 시험은 2년차 실험을 통하여 갈변율을 감소하고자 한다.

표 1-1-5. 만병초 기내 무균묘 확립에 항산화제의 영향

	접종 (Test Tube)	기내 무균확립		갈변		항산화제
		주	%	주	%	
RH-1	120	107	89.2	84	78.5	무처리
RH-2	120	102	85.0	72	70.6	
RH-3	84	72	85.7	33	45.8	Ascorbic Acid
RH-4	107	98	91.6	39	39.8	
	431	379	87.9			

나. 천리향

- 천리향(Daphne) 역시 활엽 상록 관목으로 최초 항산화제 무처리에서 접종 외식체의 88.6%의 갈변 개체가 발생되었고, 갈변되지 않은 소수의 외식체도 시간이 경과하면서 갈변이 진행되거나 신초발생이 활발하게 일어나지 못하고 생육정지 및 세포괴사가 진행되었다.
- 만병초에서 항산화제 Ascorbic acid에서 효과를 보았지만 그 효율이 낮아 천리향에서는 Ascorbic acid와 Cystein 두가지를 항산화제로 비교 실험하였다.
- 항산화제 Ascorbic acid가 첨가된 DA-2, DA-3배지에 160개의 외식체를 접종하여 103개의 무균주 확보하였고 그중 갈변율은 각 배지별 51.1%, 57.1%로 평균 54.4%로 갈변율은 줄일 수 있으나 정상식물체로의 생육은 진행되지 않아, Cystein 처리를 진행하였다.
- Cystein이 포함된 3가지(배지 No. 4, 5, 6) 배지에 240개의 외식체를 접종하여 195개의 기내 무균묘를 확보하였다. 확립된 무균 외식체의 갈변율은 16.9%, 19.1%, 13.6%로 평균 16.5%로 접종 외식체의 갈변율을 대폭 낮출 수 있었다.

표 1-1-6. 천리향 기내 무균묘 확립에 항산화제가 미치는 영향

배지	접종 (tubes)	기내 무균묘 확보		확보 무균묘 갈변		항산화제
		주	%	주	%	
DA-1	120	44	36.7	39	88.6	무처리
DA-2	80	47	58.8	24	51.1	Ascorbic Acid
DA-3	80	56	70.0	32	57.1	
DA-4	80	61	75.0	11	16.9	Cystein
DA-5	80	68	85.0	15	19.1	
DA-6	80	66	82.5	9	13.6	

다. 라일락

- 라일락도 작은 교목으로 목본성의 성질이 강하여 기내 접종 외식체의 갈변현상이 강하게 일어나고 있었다.
- 초기 배양에서 노지에 재식된 모본을 이용하여 초대배양하였을 때 대부분이 오염되고 갈변되는 현상이 발생하였고
- 온실재배 모본에서 시료를 채취할 경우 오염율은 대폭 줄었지만 갈변율이 75%가 증가하고 있어 무균 확립된 외식체로부터 신초 형성이 이루어지지 않았다.
- 그러나 온실 재배된 모본으로부터 삼수를 채취하고, 배지내 항산화제를 처리한 경우 갈변율이 10% 미만으로 감소시킬 수 있었다.

표 1-1-7. 라일락 기내 무균묘 확립에 항산화제가 미치는 영향

배지	접종	무균 확립		재배 환경	무균묘 갈변		항산화제
		주	%		주	%	
LA-1	48	3	6.25	야외	3	100	무처리
LA-2	51	24	47.0	온실	18	75	
LA-3	177	129	72.9	온실	12	9.3	Ascorbic Acid

표 1-1-8. 라일락 기본 배지 및 생장조절제와 항산화제

기본배지	WPM salt + MS Vitamin (H+F)
LA-1	wpm+zeatin 2ppm
LA-2	wpm+2ip 2ppm
LA-3	BA 1 + GA 0,5ppm + IBA 0.1ppm + Ascorbic Acid 0.1ppm

라. 용담

- 용담은 여러해살이 풀로 초대배양시 항산화제의 유무에 따라 외식체의 갈변이 크게 영향받지 않았지만 항산화제를 사용하면 안정적으로 기내 무균묘 확립이 용이한 것으로 판단되었다.

1-1-4. 기내도입단계 : 기본배지 및 식물생장 조절제에 따른 기내도입 성공률

가. 만병초

- 만병초는 진달래과로 기 개발된 블루베리(진달래과)배지를 이용하여 초대배양을 진행하였다.
- WPM(wood plant medium)를 기본배지로 Zeatin 2pp첨가하여 초대배양하였을 때 1달 경과 후부터 갈변현상이 다수 발생하다.
- 같은 배지에 항산화제 Ascorbic acid 0.1g 처리를 통하여 갈변율을 대폭 낮출 수 있었으며 신엽전개 및 계대배양을 통하여 증식이 가능하였다.
- 항산화제, PPM 처리된 RH-3, 4번 배지는 갈변을 낮고 신초 형성이 진행되었으나, RH-3번 배지는 Multiple shoot 형성보다는 Single shoot 형성이 높았다.
- RH-4번배지(WPM + 2ip 2ppm + 1ppm PPM + 0.1 ppm Ascorbic Acid)는 신초형성율은 RH-3번 배지와 비슷하였으나 Multiple shoot 형성율이 약간 높았다.

표 1-1-9. 만병초 기내무균묘 확립에 기본배지 및 성장조절제의 영향

	접종 (Test Tube)	기내 무균확립		갈변		생육	비고
		주	%	주	%		
RH-1	120	107	89.2	84	78.5	-	갈변 후 고사
RH-2	120	102	85.0	72	70.6	-	갈변 후 고사
RH-3	84	72	85.7	33	45.8	+++	신초발생되었으나 Multiple shoot 발생보다는 Single shoot 발생을 높음
RH-4	107	98	91.6	39	39.8	+++	신초발생 및 Multiple shoot 형성
	431	379	87.9				

표 1-1-10. 만병초 기본배지 및 식물생장조절제, 항산화제 조성

기본배지 WPM + MS Vitamin	
RH-1	WPM + zeatin 2ppm
RH-2	WPM + 2ip 2ppm
RH-3	WPM + zeatin 2ppm + 1ppm PPM + 0.1ppm AS
RH-4	WPM + 2ip 2ppm + 1ppm PPM + 0.1ppm AS
RH-5	WPM + 2ip 2ppm + IBA 0.2ppm
RH-6	WPM + 2ip 5ppm + IBA 0.2ppm

나. 천리향

- 천리향은 목본성 초대배양 배지를 이용하였을 때 대부분이 갈변되거나 갈변되지 않았더라도 성장하다 퇴화되는 경향을 보여 총 6개의 배지조합()을 이용하여 기내 무균묘 확립 및 접종 외식체의 갈변방지 및 신초 발생율을 검토하였다.
- 접종 외식체는 항산화제 처리 유무에 따라 갈변에 영향을 받았으며, 무처리일 경우 88.6%가 갈변이 진행되었고, 갈변되지 않는 개체로 신초형성을 진행하지 못했다.

표 1-1-11. 천리향 기내도입 및 대량번식용 기본배지 및 성장조절제, 항산화제 조합

기본배지 WPM + MS Vitamin	
DA-1	WPM + zeatin 2ppm + 0.05% charcol
DA-2	WPM + zeatin 2ppm + PPM 1ppm + AS 0.1ppm + charcol 0.05%
DA-3	MS + BAP 1ppm + GA 0.5ppm + IBA 0.1ppm + Ascorbic acid 0.1ppm + PPM 1ppm
DA-4	1/2MS + charcoal 0.05% + cystein 37mg
DA-5	1/2MS + zeatin 2ppm + charcaol 0.05%+ cystein 37mg
DA-6	WPM + BA 0.5ppm + TDZ 0.001ppm + NAA 0.015ppm+cystein 37mg+ charcaol 0.05%

- 항산화제로 Ascorbic Acid처리 배지 DA-2, 3번 배지에 총 160개의 외식체를 접종하여 103개의 무균묘를 확보하고 그중 56개체가 갈변이 진행되어 51.1%, 57.1%의 갈변율을 보였고 평균 54.1%의 외식체가 갈변되고 있어 새로운 항산화제의 처리가 필요했다.
- 그리하여 3개의 배지에(DA-4, 5, 6)에 항산화제 cystein을 처리한 결과 무균 확립된 외식체의 16.9%, 19.1%, 13.6%의 갈변율을 보여 평균 16.5%로 갈변율이 대폭 감소하였다.
- 외식체의 갈변은 첫 번째로 식물의 재배상태, 계절에 영향을 받고, 항산화제의 유무와 함께 적적 배지의 확립에 영향을 받는 것으로 보이고 있다.
- 각 배지별 접종외식체의 성장세를 살펴보면, 항산화제 무처리구 DA-1에서는 대부분이 갈변이 진행되었고 갈변되지 않는 개체도 신초 형성하지 못하였다.
- 항산화제 Ascorbic Acid 처리배지 DA-2, 3배지에서는 갈변율은 대폭 감소되었으나 신초형성율이 낮았고, 2달이 경과하여도 증식되지 못하고 정지하고 있었다.
- 반면 systemin 첨가 배지 DA-4, 5, 6배지에서 DA-4번 배지는 항산화제만 처리하고 식물생장 조절제를 첨가하지 않은 배지로 갈변율은 비교적 낮았으나 신초 형성기가이 길고 성장

세로 느린 경향을 보였다.

- DA-4와 같은 배지에 식물생장 조절제 Zeatin을 처리한 DA-5번 배지는 D-4배지와 비교하여 신초형성 기간이 짧았고 성장세가 비교적 양호했으나 다아체 형성율은 낮았다.
- 접종 외식체의 갈변율이 가장 낮았던 DA-6번 배지는 WPM 배지에 BA 0.5ppm + TDZ 0.001ppm + NAA 0.015ppm에 Cystein 37mg/L + Charcoal 0.05% 처리배지로 신초형성 기간도 짧고, 성장률이 좋으며 다아체도 형성되고 있어 천리향 초대배양에 적합한 배지로 판단되었다.

표 1-1-12. 천리향 기내 무균묘 확립에 기본배지 및 식물 성장조절제의 영향

배지	접종 tubes	기내무균확립		외식체 갈변		생장	성장세	증식	항산화제
		주	%	주	%				
DA-1	120	44	36.7	39	88.6	4	-	-	무처리
DA-2	80	47	58.8	24	51.1	23	-	-	Ascorbic Acid
DA-3	80	56	70.0	32	57.1	24	+	-	
DA-4	80	61	75.0	11	16.9	54	++	+	Cystein
DA-5	80	68	85.0	15	19.1	53	+++	++	
DA-6	80	66	82.5	9	13.6	57	+++	+++	

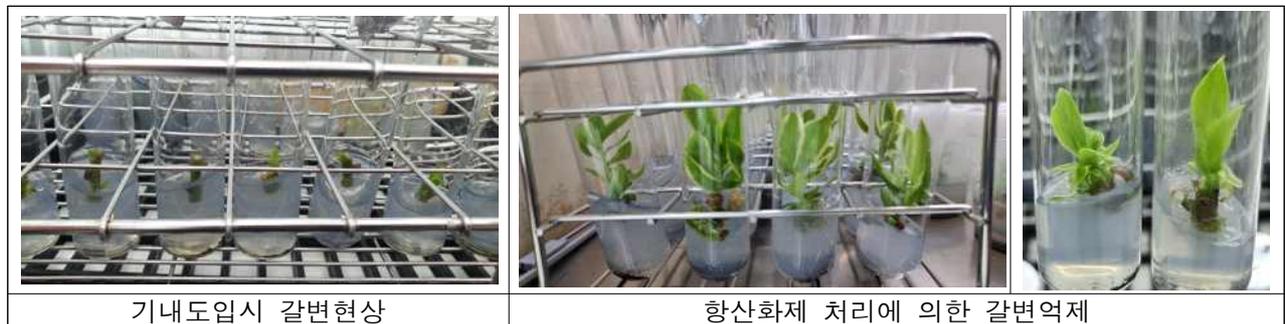


그림 1-1-3. 천리향 초대배양시 갈변억제를 위한 항산화제 처리

다. 라일락

- 라일락 초대배양을 통하여 기내 확립된 무균묘의 생육 및 증식은 초대배양 배지에 영향을 받는 것으로 판단되고
- 갈변율이 높았던 처리구에서 확립된 무균묘는 신초 발생과 성장 속도가 매우 느렸으며 결과적으로는 도태되는 결과를 초래하였다.
- 초대배양에서 오염을 및 갈변율이 낮았던 처리구에서는 신초 발생과 성장 속도가 빨랐으며, 다아체 형성율도 양호하였다.
- 라일락 초대배양 및 증식에는 WPM salt에 MS Vitamin을 첨가하고 BA 1ppm, GA 0.5ppm에 ascorbic acid를 초대배양 배지에 첨가하여 무균묘 양성후 대량 증식 단계에서는 항산화제를 제외하여도 증식율에 문제가 없었다.

표 1-1-13. 라일락 기내 무병묘확립에 기본배지 및 성장조절제의 영향

배지	접종	무균확립		재배 환경	무균묘 갈변		생장	성장세	항산화제
		주	%		주	%			
LA-1	48	3	6.25	야외	3	100	0	-	무처리
LA-2	51	24	47.0	온실	18	75	6	+	
LA-3	177	129	72.9	온실	12	9.3	117	+++	Ascorbic Acid

마. 용담

- 용담은 여러해살이 숙근초로 초대배에서 오염 문제해결이 가장 중요하고 기내 무균묘 확립 후엔 증식율도 비교적 높은 편에 속하여, 증식율 향상 보다는 강건묘 생산에 주력해야할 품목으로 판단된다.
- 증식율은 유전자형에 영향을 받아 일반적인 보라색 계통은 증식율이 최고 6.1배 이상 가능하나 다수의 multiple shoot를 유도할 경우 식물체가 약해지는 경우가 있어 호르몬 농도를 낮추고, 최종 순화를 위해서는 생장조절제의 사용을 피하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.
- 그러나 품종에 따라 영향을 많이 받는 것으로 핑크색 화색의 경우 증식율이 2.2배 로 이면서 호르몬이 약간이라도 높을 시 기형 식물체 발생이 높았다.

표 1-1-14. 용담 기내 무병묘 확립에 기본배지 및 생장조절제의 영향

배지	유전자형	접종	증식	증식율	비고
GE-1	Perple	11	17	1.7	- 증식율이 상대적으로 낮음
GE-2	Perple	11	67	6.1	- 증식율 높고 정상식물체 유기율도 높음
	Pink	10	22	2.2	- 증식율이 2.2배로 매우 낮았다
GE-3	Perple	11	69	6.3	- 증식율 높으나 비후개체가 증가됨

표 1-1-15. 용담 초대배양 및 대량번식 배지조성

기본배지 : MS	
GE-1	BAP 0.05ppm + Kinetin 0.1ppm
GE-2	BAP 0.5ppm + Kinetin 0.1ppm
GE-3	BAP 0.5ppm + Kinetin 0.5ppm

1-1-5. 대량번식단계 : 기내 대량 증식

가. 만병초

- 초대배양으로 확립된 기내 무병묘의 대량증식을 위하여 초대배양에서 효과적이었던 RH-4 배지를 기본으로 2ip와 IBA 첨가배지를 이용하여 증식율을 비교하였다.
- 기본배지로는 WPM배지를 이용하고 2ip 농도를 2ppm과 5ppm을 비교하고 IBA를 첨가하였을 때 배지간 증식율의 차이 크게 나타나지 않았고, 품종간 차이가 크게 나타나, Rhod-13은 RH5번 배지에서 최고 8.3배, Rhod-22는 6번 배지에서 4.7배로 높았다. 두 배지간 증식율의 차이는 크게 나타나지 않았고, 품종간 증식율의 차이가 높았다.

표 1-1-16. 만병초 배지별, 유전자형에 따른 계대배양 횟수별 증식율

	배지	1회계대	2회계대	증식율	3회계대	증식율	4회계대	증식율
Rhod-11	RH-5	3	6	2	8	1.3	43	2.4
	RH-6	2	4	1.3	10	2.5		
Rhod-12	RH-5	2	7	2.3	13	1.9	61	2.9
	RH-6	1	4	1.3	8	2		
Rhod-13	RH-5	6	25	8.3	63	2.5	284	2.5
	RH-6	6	23	7.6	49	2.1		
Rhod-22	RH-5	4	13	4.3	30	2.3	133	2.3
	RH-6	4	14	4.7	28	2		



그림 1-1-4. 만병초 기내 대량번식

나. 용담:

- 1차 기내도입 단계에서 양호했던 GE-2 배지를 이용하여 대량증식 효율을 검토하였다.
- 화색이 보라색 개체는 증식율이 5배 이상 증가하였고, 식물체 형태도 매우 안정적이었으며, 건전주 생산을 위하여 증식율을 낮출 필요가 있었다.
- 그러나 핑크 화색은 증식율이 저조했고, 계대배양 기간이 5차까지 진행되어야 460병에서 1,214병으로 2.6배 증식이 가능했다.

표 1-1-17. 용담 기내 대량증식시 유전자형에 따른 증식율

유전자형	1st	2st 계대배양		3st 계대배양		4st 계대배양	
		주	증식율	주	증식율	주	증식율
Perple	46	147	3.2	801	5.4	3,000	3.7
Pink	100	219	2.2	292	1.3	460	1.5

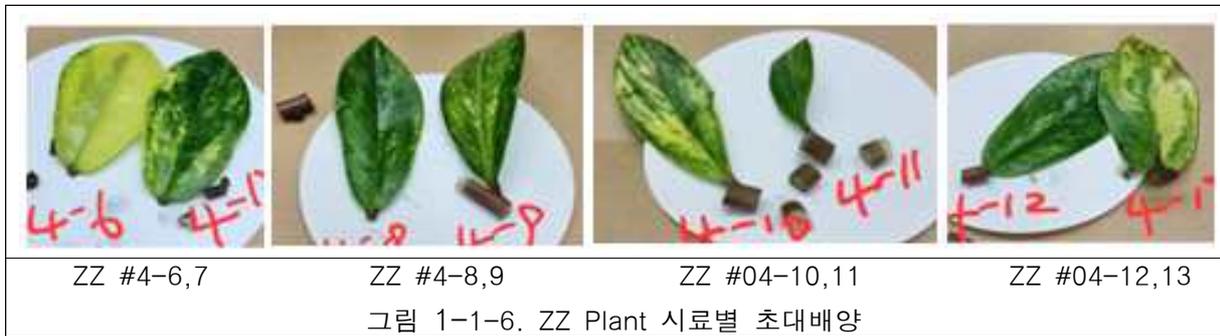
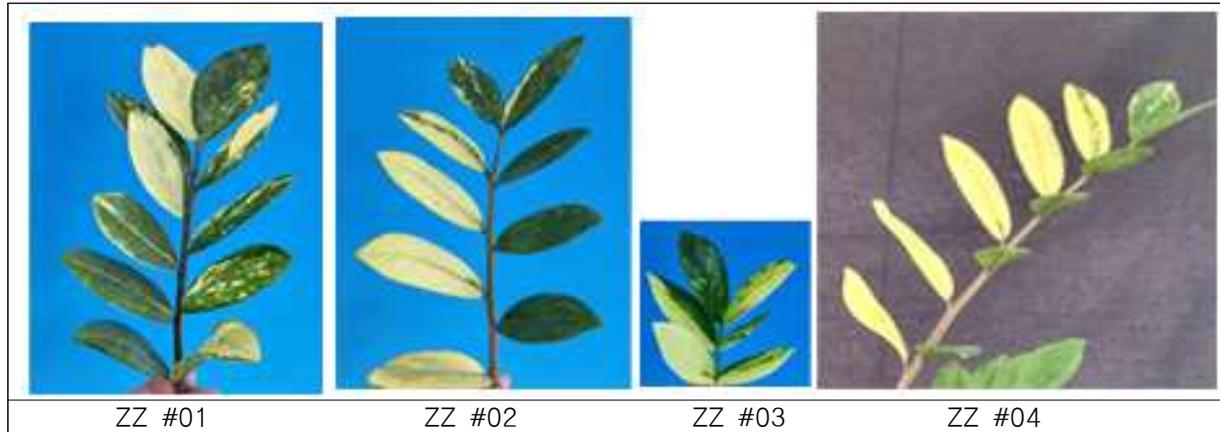


그림 1-1-5. 용담 기내 무균묘 도입 및 대량증식

다. ZZ Plant(*Zaminoculcas zamiifolia*)

- *Zaminoculcas zamiffolia* Variegata 4계통을 선발하여 기내배양하였다.

- ZZ plant는 비교적 오염율이 낮은 작물은 사용한 시료의 대부분은 기내 도입이 가능했다.
- Variegata의 특성상 대량번식하였을 때 제 특성을 나타내지 않고 있다는 점을 감안하여 계통에 따라 잎의 색변이의 균일성을 파악하기 위하여 잎장별 코드화를 진행하였다(그림 1-1-6).



- 초대배양 배지는 1차년도 테스트를 거쳐 #3-1배지를 이용하였고, 기존의 #3번 배지에 BAP를 1ppm으로 증가시켜 사용하였다.
- 초대배양에서 CLB 형성은 잎장의 가장 아래 잎자루가 붙어있는 조직에서 가장 왕성하게 발생하였고, 위에 엽록소가 적을수록 CLB 형성율이 낮은 경향을 보였다(그림 1-7).



- 1차 초대배양을 통하여 오염되지 않은 개체를 선발하였다. 엽록소가 극도로 낮은 절편은 2가지 배지에서도(#3-1, PM medium) 크게 반응하지 않았다.
- 조직이 더 이상 성장하지 않은 개체를 제외하고 부정아 및 callus 형성을 위하여 #3-1 초대배양 배지에 BAP를 2ppm증가시킨 #3-2배지와 2,4-D를 첨가한 배지에 계대배양하였다.
- #3-2배지(BAP 2ppm TDZ 0.001ppm, NAA 0.03ppm)배지에서는 약간의 비후현상이 발생하였으나 2,4-D 첨가배지와 비교하였을 때 형성율이 낮았다.

- 2,4-D 첨가배지는 배양 30일이 경과하면서 조직이 비후되면서 뿌리 발생이 관찰되었고, 2,4-D 4ppm 처리구에서는 조직 표면에 Embryo 같은 조직이 다수 발생하였다. 그러나 배지와 함께 조직의 기원이 어느부분에 해당하는냐에 따라 다양하게 반응하였으며, 가급적 잎자루를 포함하여 배양할 때 기관형성율이 높은 것으로 관찰되었다(그림 1-7).

표 1-1-18. 배지별 callus 및 embryo 형성

배지	CLB	ELB	Root
#3-2(BA+TDZ+NAA)	-	-	-
2,4-D 2ppm	+++	-	++
2,4-D 4ppm	-	+++	-

*CLB : callus like body, **ELB : embryo like body

- ZZ plant는 BAP가 포함된 배지에서 조직이 비후하면서 부정아가 형성되는 것을 관찰 할 수 있었으나, BAP만 첨가 되었을 경우 부정아 형성에 소요되는 시간이 매우 길어 효과적인 급속 대량증식에 한계가 있을 것으로 사료됨
- 초대배양부터 식물체 기내 shoot, rooting, 순화까지 순조롭게 진행되었지만, 현재의 배지로는 기내 다야체 형성을, 형성속도가 매우 낮아 대량번식의 효과가 떨어지고 있다



- 2,4-D를 이용하여 초기 callus 혹은 embryo를 형성시켜 일시에 부정아를 다량 생산 가능한 시스템 개발이 필요하여 본 실험을 실시하였고, 상기와 같이 2,4-D에서의 반응을 토대로 3차년도 대량증식 기간을 단축 가능한 방법을 모색할 예정이다.





그림 1-1-10. zz.plnat 기내 도입부터 순화까지의 실제

라. Alocasia

- 알로카시아는 천남성과 큰토란속(Alocasia)에 속하는 식물을 총칭하는 명칭이며, 대략 80여 종이 있다. 뿌리줄기 또는 결절성, 활엽수, 다년생으로 열대 및 아열대 아시아와 호주 동부에 자생하는 식물이다.
- 원예종으로 인기가 높고 잎에 무늬가 들어가 있는 Alocasia Dragon scale variegata를 이용하여 pm 및 #5(wpm 2ip 2ppm IBA 0.26ppm)번지에 초대배양하였다.

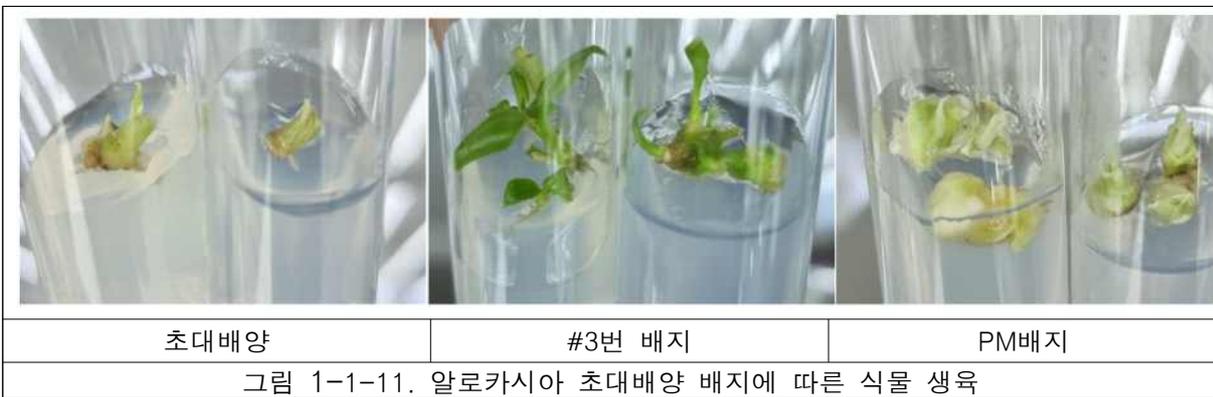


그림 1-1-11. 알로카시아 초대배양 배지에 따른 식물 생육

- #5번 배지에서는 다아체 형성보다는 single shoot 형성이 이루어졌고, PM배지에서는 정상적인 식물체로 형성되지 못하고 조직이 분해되는 듯한 구조로 변형되었다(그림 1-11).
- 배양 1달 후 오염개체를 제외하고 모든 식물체는 #3번 배지로 계대배양하였다.
- #5→#3배지에서는 정상식물체로 성장하였으나 다아체 형성이 어려웠고, pm→#3 배지에서 다아체 형성이 관찰되었다.
- 이후 식물체의 조직의 변화 생육속도 등을 면밀히 관찰하여 #3→#3-1→#3-2의 배지로 옮기며 기내 증식 배지의 조건을 확립하고자 하였다.
- 알로카시아의 초대배양은 pm배지에서 최대한 짧은기간을 경과하고(20일 이내) #3-1번배지와 3-2번배지를 이용하면 효과적으로 기내 대량번식이 가능한 것으로 판단되었다.
- 알로카시아 기내배양에 이용된 배지는 #5, #3, #3-1, #3-2와 PM(Phaleanopsis Multiple medium)을 사용하였다.



그림 1-1-12. 알로카시 초대배양부터 다아체 형성

마. Philodendron

- 필로덴드론은 천남성과로 브라질과 서인도제도 원산으로 열대 아메리카에 약 200종이 자생하고 크게 덩굴성과 비덩굴성으로 구분할 수 있으며, 실내식물 및 플랜테리어에 매우 중요한 식물이다.
- 비덩굴성 필로덴드론은 덩굴성에 비해 잎이 크고 성장이 느린편이다. 대표적으로 필로덴드론 비덩굴성은
 1. 필로덴드론 글로리오섬(Philodendron Gloriosum)안에 6가지 정도로 분류되고 지브라, 다크폼, 핑크백, 바리에가타, 실버, 라운드폼 등이 있다.
 2. 필로덴드론 문라이트(Philodendron Moonlight)/ 필로덴드론 문라이트 바리에가타
 3. 필로덴드론 프린스 오브 오렌지(Philodendron Prince of Orange)
 4. 필로덴드론 버킨(Philodendron Birkin)
 5. 필로덴드론 콩고(Philodendron Congo)/Tatei Congo/Green Congo/Congo Variegata
 6. 필로덴드론 로조 콩고(Philodendron Rojo Congo)=임페리얼 레드와 타테이의 교배종
 7. 필로덴드론 콩고 애플(Philodendron Congo Apple)
 8. 필로덴드론 레드 콩고 바리에가타(Philodendron Red Congo Variegata)
 9. 필로덴드론 화이트 콩고(Philodendron White Congo)
 10. 필로덴드론 에루베센스(Philodendron Erubescens)=Blushing philodendron
 - 필로덴드론 핑크 프린세스(반덩굴)
 - 필로덴드론 에루바센스 골드
 - 필로덴드론 에루베센스 임페리얼 레드
 - 필로덴드론 에루베센스 그린 에메랄드
 - 필로덴드론 에루베센스 루비

- 필로덴드론 에루베센스 레드 에메랄드(덩굴성)
- 필로덴드론 블랙카디널(Philodendron Black Cardinal)
- 필로덴드론 블랙 카디널 바리에가타
- 필로덴드론 화이트 프린세스(Philodendron White Princess)
- 필로덴드론 화이트 나이트(Philodendron White Knight)
- 필로덴드론 화이트 위자드(Philodendron White Wizard) 덩굴성

11. 필로덴드론 칼로섬(Philodendron Callosum)

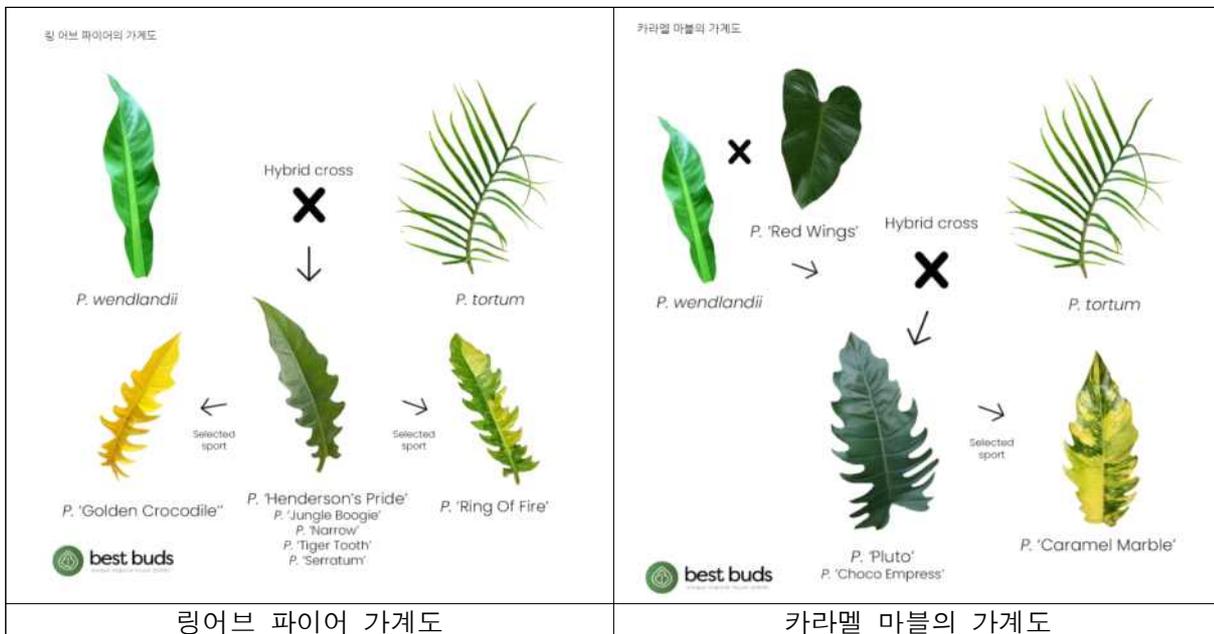
12. 필로덴드론 토텀(Philodendron Tortum)

13. 필로덴드론 링 어브 파이어(Philodendron Ring of Fire) :

P.wendlandii x P. tortum=P.Henderson's Pride P.Jungle Boogie, P. Narrow, P. Tiger Tooth, P. Serratum ==>선발 P. Golden Crocodile

==>선발 P. Ring of Fire

14. 필로덴드론 카라멜 마블



15. 필로덴드론 셀렘(셀로움) Philodendron Selloum

16. 필로덴드론 제나두 Philodendron Xanadu

17. 필로덴드론 마르티아눔 Philodendron Martianum

18. 필로덴드론 빌리에티에(P. Billietiae) 비교적 최근에 발견되됨(1981년)

○ 덩굴성은 비덩굴성에 비하여 생육이 빠르며 공중에 뿌리가 있다.

1. 하트리프 필로덴드로(Heartleaf Philodendron)

2. 필로덴드론 레몬 라임(Philodendron Lemon Lime)

3. 필로덴드론 브라질(Philodendron Brasil)

4. 필로덴드론 브랜티아눔(P. Brnadtianum)

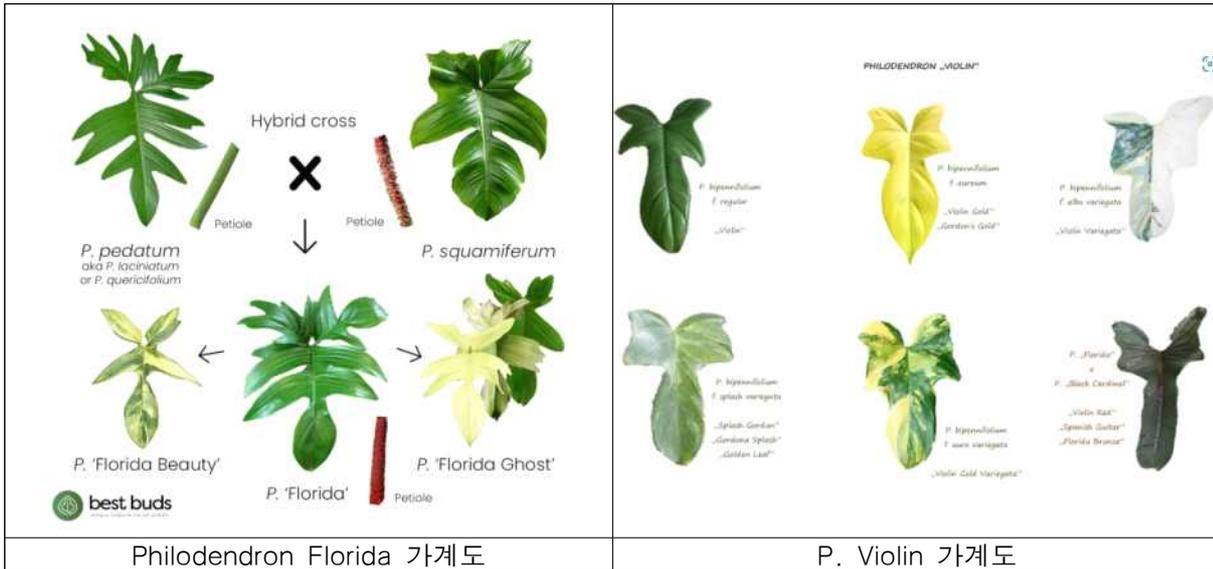
5. 필로덴드론 미칸(P. Micans)

6. 필로덴드론 헤더라세움(P.Hederaceum) :

Cream Splash, Gabby, Variegated Heartleaf, Siver Stripe, Rio)

7. 필로덴드론 버럴막스(P. Burle Marx)

8. 필로덴드로 벌얼막스 판타지(P. Burle Marx Fantasy)
9. 필로덴드론 페다툼(P. Pedatum)
10. 필로덴드론 스퀘아미페럼(P. Squamiferum)
11. 필로덴드론 플로리다 고스트(P. Florida Ghost)
필로덴드론 플로리다 뷰티(P. Florida Beauty)
12. 필로덴드론 비페니폴리움(P. Bipennifolium) =Horsehead=Fiddleleaf(호스헤드 혹은 바이올린 필로덴드론으로 불린다)
Violin/Gold Violin/ Violin Varegata/Splash Gorldon/
바이올린 골드 바리에가타/바이올린 레드



13. 필로덴드론 조에피(P. Joepii)
14. 필로덴드론 마요이(P. Mayoii)
15. 필로덴드론 밥씨(P. Bob Cee)/Bob cee Variegata
16. 필로덴드론 라세룸(P. Lacerum)
17. 필로덴드론 멜라노크리섬(P. Melanochrysum)
18. 필로덴드론 패트리샤에(P. Patriciae)
19. 필로덴드론 트리파티툼(P. Tripartitum)
20. 필로덴드론 테노(P. Tnue)
21. 필로덴드론 샤로니에(P. Sharoniae)
22. 필로덴드론 도메스티컴 바리에가타(P. Domesticum Variegata)=Spadeleaf)
23. 필로덴드론 파라이소 베르디(P. Paraiso Verde)
24. 필로덴드론 호세 부르노(P. Jose Buono)

- 이렇게 많은 필로덴드론은 아직 원종상태로 유통되는 것도 상당 수 존재하며 교잡을 통하여 영양계 번식을 통하여 변이 계통을 선발하여 유통되는 경우가 많고, 플랜테리어용 실내식물로 이용도가 높다.
- 본 실험에서는 비덩굴성 필로덴드론 중 필로덴드론 에루베센스(Philodendron Erubescens) 계통중 Imperial Red Variegata와 Philodendron Billietiae를 이용하여 초대배양하였다.
- 초대배양은 알로카시아와 같이 #5번 배지와 PM배지를 이용하였고, 초대배양 결과에 따라 계대배양 배지를 선정하였다.

- 필로덴드론은 알로카시아보다 높은 호르몬 농도를 요구하는 것으로 조사되었던바 PM배지에 집중하였다.
- 다아체 형성율을 높이기 위하여 PM배지에서 PM배지로 옮긴 처리구에서는 다수의 부정아는 관찰되었으나, 조직의 변형이 관찰되었다.
- 필로덴드론 기내배양에 이용된 배지는 #5, #3, #3-1, #3-2와 PM(Phaleanopsis Multiple medium)을 사용하였다.



- 호르몬 농도가 낮은 #3번 배지에서는 거의 다아체 형성이 안되고 생육이 매우 저조한 경향을 보이고 #3→#3-2배지로 옮긴 경우 생육이 거의 이루어지지 않았으나, PM배지→#3-2배지로 옮긴 경우 기형의 다아체 발생율이 높아왔다.



- 초대배양 PM→ 1st 계대배양의 경우 #3-2→#3-1→#3-2 배지로 변경 배양하였을 때 정상적인 다수의 shoot를 확보할 수 있었다(그림 1-1-15).



그림 1-1-15. 필로덴드론 반복 계대배양을 통한 정상식물체 유지

1-1-6. 발근/순화단계

가. 용담

- 용담 대량 순화를 위하여 본사의 대량순화 시스템을 이용하여 순화개시 하였다(특허 제 10-1960860호).
- 105구 plug tray에 top과 bottom으로 구분하여 재식하였다. 재식시 top 부분은 흙 부분 상 위 2cm 미만으로 재식할 때 우량묘 생산이 가능하였다.
- 2주간 밀폐조건으로 진행하였고 2주후 서서히 오픈하였다.



그림 1-1-16. 용담 대량순화 시스템

- 대량순화는 순화시설을 이용하여 온도 습도 광도를 제어하면서 육묘하였다.
- 이러한 기상 및 지상부 환경외에도 상토가 차지하는 비중이 매우높아, 상토사용에 매우 세심한 주의가 필요하고, 특히 대량생산에서 상토의 중요성은 매우 높았다.
- 상토로는 피트모스와 펄라이트 혼합 조제상토와 펄라이트 단용, 오아시스를 이용하여 예비 육묘한 결과, 환경조절이 용이한 피트모스 펄라이트 혼합 상토가 효과적이었다(그림 1-17).
- 대량생산에서는 시중에 시판되는 조제된 상토 선택보다는 단용피트모스에 펄라이트 조제

상토를 사용하는 것이 대량순화의 실패를 줄일 수 있는 요인 것으로 나타났다.



그림 1-1-17. 용담 대량순화

나. 만병초

- 만병초는 목본성 작물로 초본성 작물에 비하여 순화에 세심한 주의가 필요하였다.
- 순화의 완성도를 높이기 위해서는 첫 번째로 기내 식물의 규격화가 매우 중요하여 건강하나 기내묘 육성을 우선적으로 진행되어야 한다.



그림 1-1-18. 만병초 대량증식(품종에 따라 증식을 차이)

- 4품종을 이용하였을 때 기내배양 생육 정도, 증식율이 품종에 따라 상이하여 건전주 생산에 어려움이 있어 향후 품종별 배치 구멍이 진행되어야 할 것으로 사료되었다.
- 일반적으로 순화식물체의 인도는 생육이 가장 잘되는 봄과 가을에 요구하고 있어 실제 순화 기간은 자연적으로 열악한 조건이라 할 수 있다.

- 만병초 대량순화를 위하여 pH를 조정하지 않은 블루베리용 피트모스와 펄라이트를 1:1 조합하여 128구 plug tray에 육묘하였다.
- 7월에 환경조절이 가능한 실내 육묘실에서 순화개시 한후 온실로 이동하여 8월과 9월까지 온실육묘(환경조절 가능온실)하고 10월 초에 인도하였다. 이때 8월 한달은 환경조절이 매우 어려워 병해충 발생 가능성 높아 비배관리를 위하여 Hyponex 1,000배액을 주 1회 살포하였고 정기적으로 살충제 및 살균제를 살포하였다.



그림 1-1-19. 만병초 품종별 대량순화

1-1-7. 실내식물 전용 Clean Plant 생산

가. 플랜테리어용 Clean plant 생산

- 실내식물의 이용이 많아지고, 실내 벽면조경과 같이 좁은 면적에 많은 수의 식물을 재식하면서 일반 유기상토에서 육성된 재료를 이용할 경우 해충의 발생 빈번하고, 충 발생을 억제하기 위하여 유기 토양을 제거하는 과정이 수반된다.
- 일반적으로 해충 발생을 억제하기 위하여 식재위에 살충제 등을 사용하는 경우가 있어 밀도가 높은 실내식물 이용의 건전성을 높이기 위하여는 실내용 전용 크린 식물의 생산이 중요해 졌다.

- 유기토양으로 식물을 재배하였을 경우 실내 수경화 및 벽면조경재식을 위해서는 유기토양을 제거하는 과정이 진행되는데 이과정에서 다수의 인력이 요구되므로, 무기토양 재배의 필요성이 증가하게 된다.
- 실내용 크린식물 생산의 최적 식재를 개발하기 위하여 peat moss, perlite, 화산석(powerlite)을 이용하여 무기토양의 재배 가능성을 검토하고자 하였다.
- 베고니아는 세근으로 구성되어있어 수경 및 벽면조경용으로 이용할 경우 일반 유기 토양재배에서는 유기토양 제거 자체가 불가능한 상태로 벽면 조경에 원활한 이용을 위해서는 무기토양 재배 가능성 1차 예비실험결과 세근위주의 베고니아에서 굵은 뿌리가 발생하는 것을 관찰하였다(그림 1-20). 그러므로 벽면조경의 필수조건인 뿌리부분의 무기물 식재를 이용하여 다양한 실내 크린식물 생산 가능성을 타진하고자 한다.
- 본격적인 연구를 위하여 호접란 8월, 베고니아 11월에 재식하여 무기토양 재배 가능성을 타진하였다.



그림 1-1-20. Powerlight을 이용한 베고니아 발근

- 근경성 베고니아 베니토치바와 차요, 렉스베고니아 모닝듀, 핑크리본을 이용하여 피트모스 재식 개체의 식재를 제거하고 펄라이트, 파워 라이트, 피트모스에 재식하였다(그림 1-21)
- 재식 1달 경과 후 식물생육은 피트모스 재식에서 생육이 좋은 모습을 보여주었지만, 파워라이트와 펄라이트에서도 생육이 나쁘지 않았다.



그림 1-1-21. 베고니아 크린식물 생산 시스템 개발(펄라이트, 파워라이트, 피트모스)

- 그러나 피트모스, 펄라이트에서 신초 신장의 전개가 용이한 반면 파워라이트의 신초가 마르는 증상을 보이고 있어 향후 환경조건의 조절이 필요할 것으로 보인다.



그림 1-1-22. 배지별 신초 발생 현황



그림 1-1-23. 크린식물 생산을 위한 베고니아 품종별, 배지별 생육

- 베고니아는 습도에 매우 약한 작물로 육묘과정에서의 평균습도 70% 유지가 매우 중요하였다.
- 용토별 초기 생육은 피트모스가 빨랐으나, 1달이 경과하면서 비배관리를 통하여 생육은 맞춰갈 수 있었으나, 관수횟수가 피트모스보다 자주관수(피트모스 1회, 펠라이트, 파워라이트 2회/주)의 간격으로 관수하여야하였다.
- 펠라이트는 주2회 관수에서 화분 아래쪽 수분이 과다하고 포트 위쪽은 건조한 단점이 있다.
- 호접란 벽면조경용 무기물 재배 테스트를 위하여 1.5치 수태식재 포트묘를 이용하여 08월 15일에 무기물 토양에 재식하였다.
- 호접란의 무기물 토양 재배 가능성을 확인하였고 2년차 연구를 통하여 수태, 무기물중 파워라이트를 비교하여 생육, 개화특성까지 조사하고자 하였다.
- 2년차 실험에서 수태가격이 치솟는 현실에서 무기물재배의 대안으로 제시할 수 있을 것으로 판단되나 파워라이트(화산석)을 이용할 경우 입자 크기가 큰 것을 사용하여야할 것으로 판단되었다.
- 일반 수태나 피트모스 유기재료보다 양분이 부족하고 물 보유력도 낮아 비배관리에 예민하였고, 과습 및 건조에 매우 민감하였으며, 과습할 경우 대부분의 뿌리가 밖으로 빠져 나오는 현상이 발생해 상품을 향상을 위한 재배법이 개발 되어야할 것으로 판단되었다.

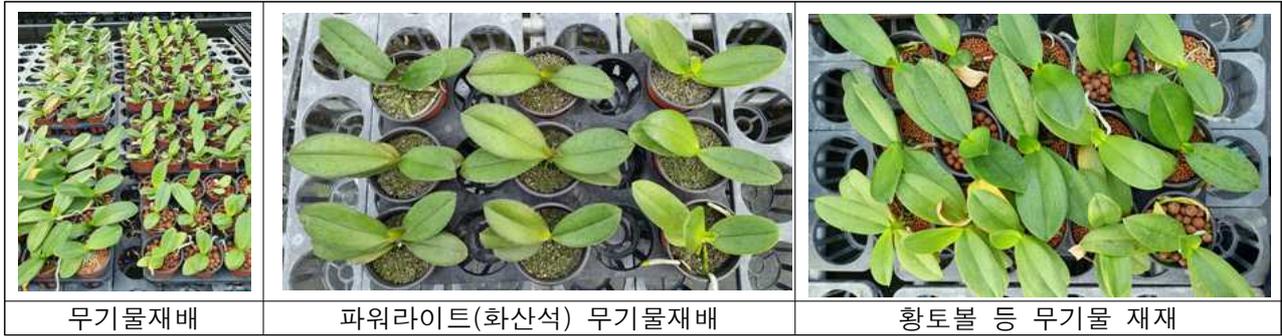


그림 1-1-24. 호접란 크린식물 생산 시스템 연구

- 조직배양 필로덴드론 및 아그레오네마의 순화 및 대량 육묘를 위한 파워라이트(화산석) 무기물 배지 테스트를 진행하였다.
- 2022년 01월 이양상자를 이용하여 아그레오네오마 5품종, 필로덴드론 7품종을 재식하여 2022년 6월 생육 상태를 비교하고, 무기물(화산석)을 이용하여 10cm포트로 이식하였다.
- 조직배양 순화과정은 무기물 배지에서도 비교적 양호하였으나, 작은 배양묘의 초기 생육이 부진하여 고사되는 경우가 발생하여, 조직배양 작은 묘의 경우 수태 순화를 거치고 무기물 재배로 넘어 가는 것이 생존율을 높일 수 있는 방법으로 관찰되었다.
- 수태를 이용하여 초기 1~2개월 육묘를 통하여 100% 생존이 가능하였고, 가능한한 작은 셀의 플러그 트레이를 사용함으로 화산석 포트 이식에서 유기물인 수태의 영향을 적게하는 것이 효과적이었다.



- 순화 1~2개월 후 10cm 포트 화산석으로 이식하였고, 10cm 포트에서 관수시 피터스 20-20-20 2,000배액으로 관수하였다.
- 아그레오네마, 필로덴드론, 베고니아 모두 화산석에서 생육이 양호했으나 비배관리를 못할 경우 식물의 노화가 쉽게 진행되는 것으로 관찰되었다.



그림 1-1-26. 무기토양 화산석을 이용한 크린묘 생산

- 화산석 재배 개시 2개월 후 배지를 제거하고 뿌리상태를 관찰한 결과, 아그레오네마는 뿌리가 깨끗하고 선명했으나 필로덴드론은 계통에 따라 뿌리가 붉은 기운을 내며 탁한 모습을 보였다.
- 화산석 무기물 재배에서 수경 및 벽면조경에 적용하기 위하여 배지를 제거하는 작업은 아주 간단했으며, 포트를 뽑아 한번 흔들여 주고 물에 흔들여 주는 것으로 대부분이 제거 가능했다.
- 무기물 재배는 조직배양묘 순화부터 10cm육묘까지 총 4개월이 소요되어 짧은 기간내에 벽면조경 및 수경재배, 일반 플랜테리어로서 실내 식물 이용도가 충분한 것으로 판단되었다.



그림 1-1-27. 화산석을 이용한 발근상태(아그레오네마, 필로덴드론)

- 후마타 고사리 128구 plug tray 묘를 10cm pp pot에 재색하였다.
- 고사리는 고사리 역병의 감염이 다수 발생되므로 재식전 살균제 살포하였다.
- 실내식물로 다양하게 사용되는 테이블야자의 대량 육묘를 위하여 육묘상자에 화산석(powerlite)를 이용하여 파종하였다.
- 8월 15일 파종하여 고온 자극을 통한 발아유도 기간을 거친후 11월 7일(약 90일)부터 발아가 시작되어 12월 중순경부터 본격적인 발아가 진행되었다(발아기간 4개월).
- 피트모스와 파워라이트(화산석)를 비교한 결과 발아기간의 거의 동일하였으나, 발아세에 있어서 피트모스에서 균일발아가 가능했고, 파워 파이트는 용토의 특성에 의해 얇게 재식되

종자는 위로 쏘구치는 경우가 많았다.

- 발아 4개월 후에도(2021년 12월 중순) 지속적으로 발아가 진행되어 1월 말경 90% 발아가 진행(약 5개월)되었다.
- 피트모스 발아는 화산석에 비해 발아세가 빨라 약 4개월경 대부분(90%)이 발아하였다.
- 화산석은 물을 보유하고 있는 힘이 일반 상토보다 떨어져서 주 2회 관수하였고, 발아 이후 부터는 관수시 주1회 피터스(20-20-20) 2000ppm 관수하였다.
- 화산석재배는 쉽게 건조하는 특성과 양분을 보유하고 있지 않으므로 적절한 비배관리가 소홀할 경우 식물이 경화되는 경향을 보여주었다.



그림 1-1-28. 고사리 및 테이블야자의 크린식물 대량생산

1.2. 플랜테리어용 수경 및 아쿠아포닉스 모듈형 실내 재배기 개발

- 아쿠아포닉은 물고기양식(Aquaculture)과 수경재배(Hydroponics) 융합기술이며, 물고기의 배설물과 사료 찌꺼기로 인하여 발생된 $\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ 를 식물이 이용하는 순환농법으로 자연친화적 농법을 실내, 가정에서 크린식물 및 관상어의 생육, 관리체계를 확립하고자 한다.
- 코로나 19의 장기화와 1인 가구 증가로 비대면 취미가 증가하고, 반려견, 반려묘외에 반려식물, 반려물고기 양육 인구가 증가하고 있다.
- 현재의 아쿠아포닉은 식물재배에 초점이 맞춰있어 어류는 단지 비료(질산염)를 생산수단으로 취급되면서 반려어 인구 및 가정용으로 침투하기 어려운 실정이다.
- 본 연구는 물고기 양어 및 취미가에게 가장 힘들고, 필수적인 환수를 최소화 하고, 물고기 감상과 사육을 강조하며, 관상식물의 재배와 감상, 유기농 식재료의 자급자족을 추구하여, 반려식물과 반려물고기 애호가를 동시에 소비자층으로 공략하고자 한다.
- 아쿠아포닉스에서 어류관리와 식물관리의 핵심요소를 IoT 기술을 적용하여 스마트폰을 이용한 모니터링 시스템 도입도 진행할 예정이다.

1-2-1. 아쿠아포닉스의 원리와 수질안정화

- 관상어 사육을 위하여는 어항내의 수질이 확보되어야 한다.
- 수질관리는 수조의 크기, 어류의 종류, 어체중, 마리수, 사료의 종류, 급여량에 1차적으로 영향을 받고, 여과기의 용량 및 종류에 영향을 받는다.
- 수질관리의 기본인 질화과정은 사료, 분비물에 의하여 암모니아가 발생되고, 암모니아는 박테리아에 의하여 아질산으로 전환되고, 다시 박테리아에 의하여 질산염으로 전환되어 식물이 흡수 가능한 형태가 된다(그림 1-2-1).

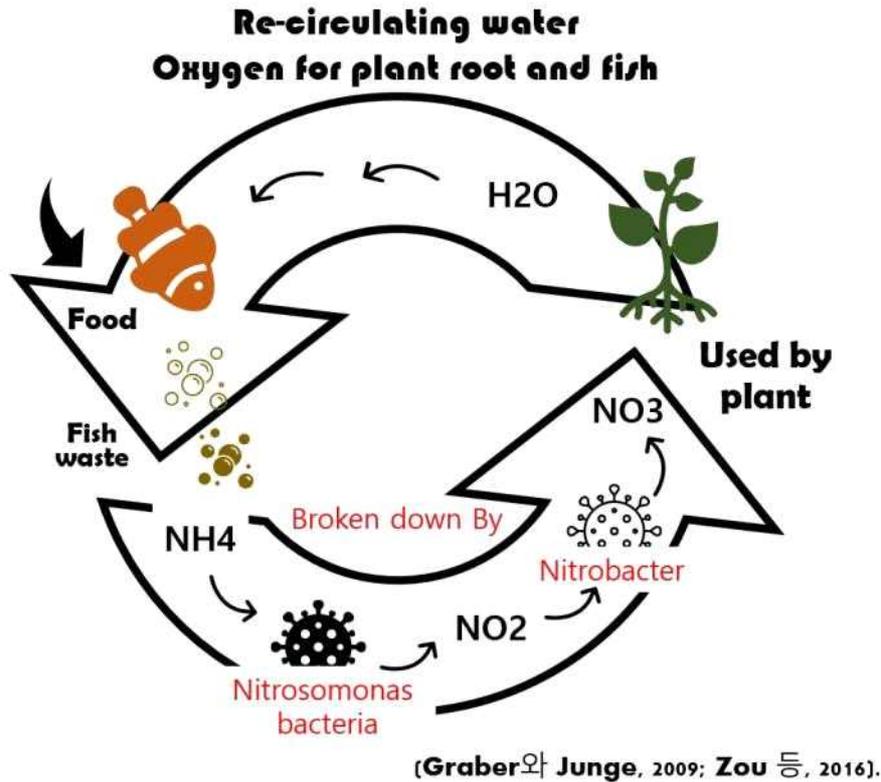


그림 1-2-1. 수조내 암모니아 순환 사이클

- 본 연구를 위하여 90*40*35cm 어항에 100L의 물을 채우고, 금붕어 7마리 총 어체중 580g을 이용하여 암모니아 사이클을 구명하였다. 1일 급여량은 1%를 4회 분할하여 급여하였다.
- 초기 물투입 후 암모니움 활성제를 첨가하고 시험어 소형(구피) 1마리를 투입하여 1주일간 가동 후 어류를 투입하였다.
- 초기 3일에 질산염, 암모니아 모두 증가하였다. 암모니아는 13일까지 증가하고 19일까지 소량 검출되었다. 아질산은 12일차부터 증가하였다. 이때 Nitrosomoas bacteria에 의하여 암모니아가 아질산으로 분해된 것으로 판단되며 아질산은 16일까지 피크를 보이다가 감소하기 시작하여 26일차에 0로 검출되지 않았다.
- 아질산과 암모니아가 0의 수치를 보이면서 질산염은 16일째부터 급격히 증가하기 시작하였고, 32일에 최고치 200ppm까지 증가하였다(그림 1-2-2).
- 이후 질산염의 증가는 물고기에 치명적인 영향을 미치므로 환수하여 질산염을 제거하였다(그림 2-2).
- 아쿠아 포닉스 시스템 설계를 위한 새어항의 질화과정은 기존의 숙성된물을 이용하여 단기 암모니아 사이클을 완성하기 위하여 물고기와 식물체를 투입하고 진행하였다.

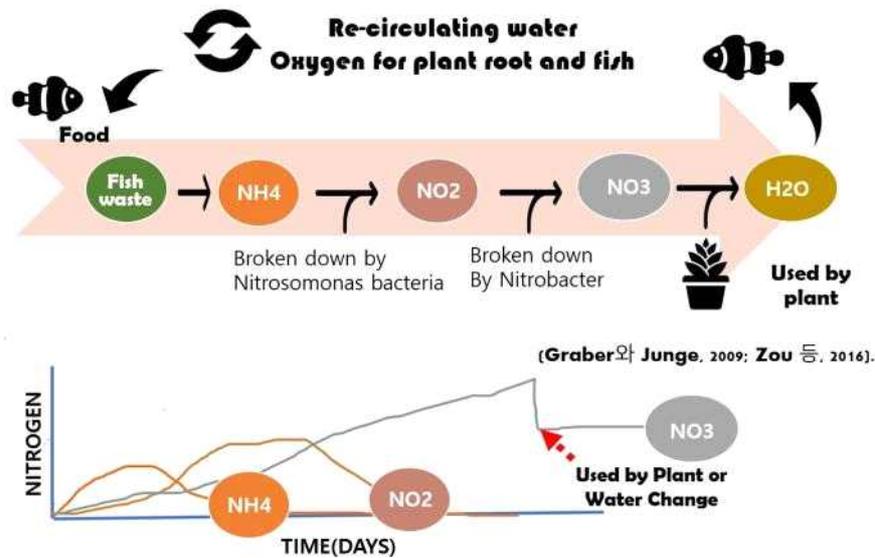


그림 1-2-2. 수조 내 질산염 안정화 및 식물체의 이용

- 22년 01월 02일부터 45*35*90cm 3자 슬림어항에 110L 용량으로 금붕어 밀도 0.3% 300~350g으로 맞추고 지상부 9단 6줄, 총 54개의 베고니아를 세팅하였다. 사료의 급여는 1일 어체중의 1% 2회로 나누어 급여하였다.
- 아쿠아포닉스의 완전한 자연 순환 사이클 조성을 목표로 1차 질화과정을 검토하고, 식물의 질산염 흡수와 함께 탈질화까지 진행해볼 예정으로 2년차 질화과정을 검토하고자 하였다.
- 질화과정은 위의 그림과 같이 세팅 첫째 날의 NH4와 NO2는 0ppm를 보여주었고, 보름뒤인 1월 16일에는 NH4-NO2는 0ppm이었으나 NO3는 약간 증가하였다.
- 암모니아와 아질산은 1월 23일 세팅 20일째부터 검출되기 시작하여 NH4 0.25ppm, NO2 0.25ppm으로 관찰되었다.
- 질화과정은 세팅 29일째인 1월 31일에 암모니아 0, 아질산 0, 질산염 30ppm으로 관찰되어 질화과정은 세팅부터 1달만에 완성된 것으로 나타났다(그림 질화과정 GFA-1,2호기).

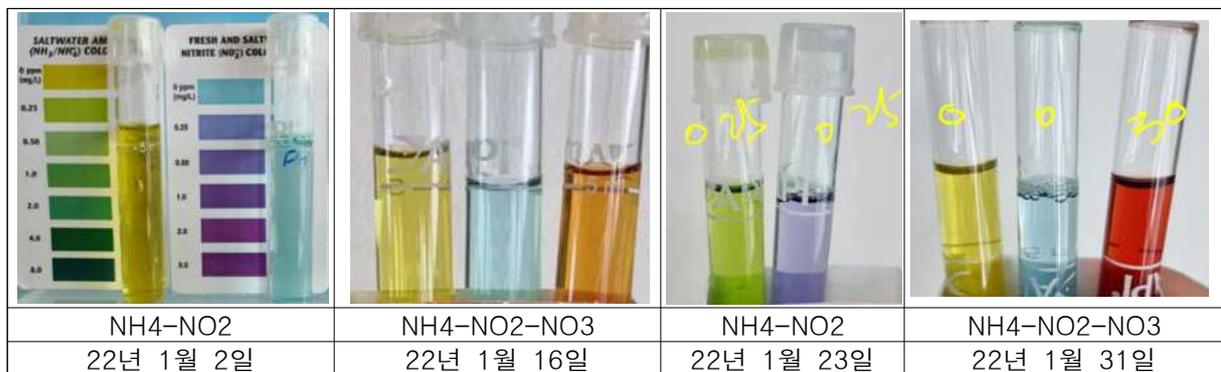


그림 1-2-3. 아포닉 가든 시스템의 질화과정(GAF-1~2호기)

- 22년 04월 14일에 3호와 4호 세팅을 위하여 질화과정이 완성된 1호기 물을 10L를 첨가하여 질화과정을 관찰한 결과 암모니아→아질산→질산염의 형성은 약 15일, 즉 2주일 만에 완성되었다(그림 2-4, 질화과정 GFA-3~4호).
- 질화과정 완성후 1주 간격으로 질산염 농도를 측정하였을 때 평균 25~30ppm은 지속적으로 질산염이 존재하고 있어 주기적 환수를 통하여 질산염을 관리하였다.

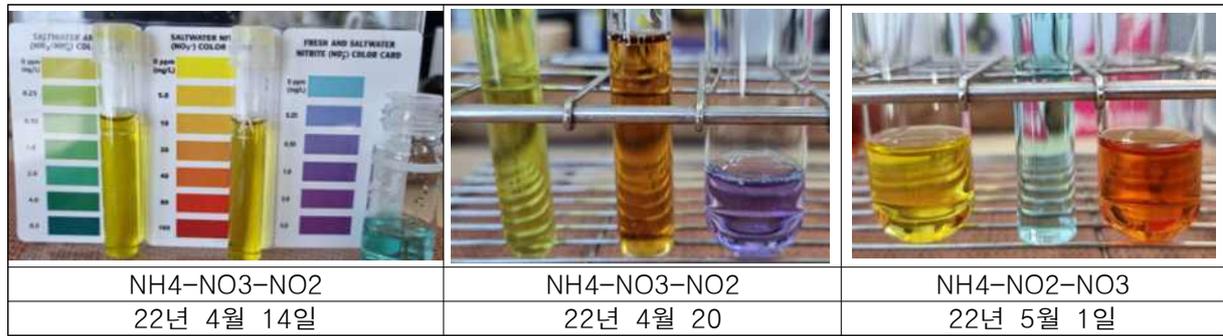


그림 1-2-4. 아포닉 가든 시스템의 질화과정(GFA-3~4호기)

- 아쿠아포닉스를 통한 관상식물을 재식하고 있음에도 질산염의 농도는 증가하고 있어 향후 완벽한 질화와 탈질화를 통하여 식물이 흡수하고 남아 있는 질산염을 관리할 수 있는 방법의 개발이 필요한 것으로 사료되었다.

1-2-2. 관상용 아쿠아포닉스에서 배양기간이 길어짐에 따른 질산염 누적 현상

- 일반적으로 질화과정은 호기성 균 Nitrosomonas에 의하여 암모니아는 아질산으로 분해되고, 아질산은 Nitrobacter에 의하여 분해되는 것으로 알려져 있고, 관상용 실내 아쿠아포닉스 시스템인 아포닉 가든(특허 출원 10-2022-0049245호)의 여과부를 통하여 완벽하게 질화과정이 진행되는 것으로 판단되었다.
- 탈질화 과정은 산소대신 질산염이 최종 전자수용체로 사용되는 호흡과정으로 산소농도가 아주 낮고 질산염의 농도가 높은 특별한 환경조건에서 일어난다.
- 탈질화(Denitrification) 과정은 미생물에 의해 질산염(NO₃)이 환원되어 최종적으로 기체상태의 질소분자(N₂)가 되는 과정으로 전체 반응은 다음과 같다.



- 어항이라는 특수 조건에서 탈질화 조건을 형성하는 것은 쉬운 일이 아니나, 소형어항에 머드분말을 바닥재로 이용하여 예비실험을 진행하였을 때 질산염 농도가 매우 낮게(세팅 7일, 13일 간격 조사) 검출되는 것으로 관찰되는 것으로 미루어 볼 때 머드분말, 황토분말을 통한 혐기성 조건의 형성이 가능할 것으로 보여지고 있다(그림 2-5). 아직 초기 실험으로 3년차 지속적으로 확대 할 예정이다.
- 일반적으로 아쿠아포닉스를 이용한 식물재배에서 질소성분을 제외한 미량요소가 부족한 것을 감안할 때 혐기성 조건을 구성하기 위한 머드 및 황토분말은 식물 성장에 미량요소를 공급할 수 있을 것으로 기대되어 3년차 시험에서 완성하고자 한다.

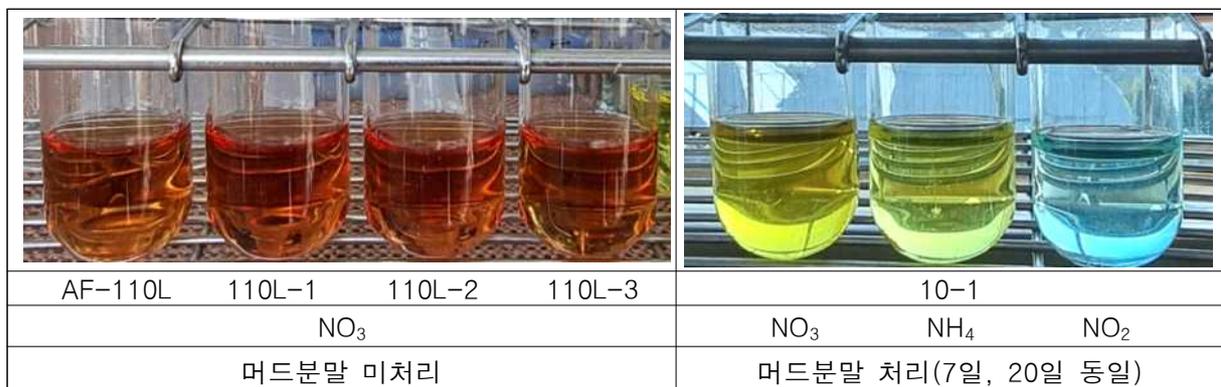


그림 1-2-5. 질화 및 탈질화를 위한 머드분말 처리

1-2-3. 수경/아쿠아포닉스 시스템 구성 설계

- 실내식물의 실내재배, 관리, 감상을 주요 목표로 시스템을 설계하고 모듈형으로 확장성과 플랜테리어로서의 기능 포함된 식물재배기 개발하고자 한다.
- 관상식물용 : 벽면용, 다단 쇼케이스형, 다단 오픈형, 계단식 베란다형을 설계 시현하였다.
- 대상어종은 잉어과 금붕어를 중심으로 진행하였고, 실내식물로 베고니아(렉스, 목성, 원종)을 중심으로 진행하였다.
- 수조 물량의 0.3% 미만(100L에 300g)의 관상어를 입식하였고, 시스템별, 여과재 용량별 식물 생육 및 양어 건강을 고려하였다.
- 여과재는 난석을 이용하였고, 보조수단으로 스폰지여과기, 퐁집기를 모터에 연결하여 사용하였다.
- 사료의 급여는 어체중의 1%를 1일 2회 나누어 급여하였다.
- 모든 처리구의 어항은 집퐁기를 수중모터와 연결하여 부유물을 집적할 수 있도록 설계하였고, 약 2L의 소량의 흑사를 깔아 금붕어의 먹고 뱉는 습성을 유지하려 하였다.
- 식물의 재식은 수경재배의 NFT와 유사한 구조로 난석 위주로 재식하여 과습되지 않도록 하였고, 일부 상단부를 수태로 재식하였다.

가. 벽면용(GFA : Gardening and Fish Aquaponics) 아쿠아 포닉스

- 벽면용 아쿠아 포닉스는 벽면에 식물재식 키트(2주/1키트)를 횡으로 3줄 종으로 9줄을 배치하여 10cm PP포트 54개를 배치하였다(그림1-2-6).
- 수조는 90*35*45 크기에 110L의 물량을 채우고 금붕어 난주 성어 및 유어 6마리(어체중 305.5g)를 입식하였다.
- 여과기는 벽면조경용 전용으로 개발하고 있는 사각기둥형(용량 13L 10*10*130) 여과기를 제작하고 난석 12L를 충전하여 110L물량의 10% 넘게 여과재를 설치하였다. 그러나 110L 물량에 비하여 여과력이 부족할 것을 고려하여 12*12 스폰지를 3단으로 조립하여 설치하였다.
- 수조로부터 여과기로 물의 이동은 30W 수중모터를 이용하여 130cm 높이의 사각기둥 여과기 상단으로 진입하여 최하단으로 떨어지게 설치하고, 밑에서부터 난석을 통과하면서 여과가 진행되도록하여 식물부로 떨어지도록 설계하였다.
- 사료의 급여는 히까리 금붕어 육성용 사료를 어체중의 1%을 1일 2회 급여하였다.
- 시스템설계와 제작을 진행하여 21년 08월부터 아쿠아포닉스 가동을 시작하여 2022년 11월 14일 현재(15개월)까지 관찰하였다.
- 현재까지 금붕어의 건강상태 양호하였고, 재식된 식물은 초기재식시 초장 10cm 미만이었으나 20cm까지 성장하였다(꼬리지느러미 포함).
- 목성베고니아는 초장이 길어지면서 다수의 액아가 발생하는 현상으로 성장하였고, 렉스 베고니아는 초기 생육이 부진하였으나, 2개월 이후부터 안정세를 유지하였으며, 잎수, 잎장, 잎폭 등 전체적으로 증가하였으나 그 폭이 크기 않아 관상가치가 증가하였다.
- 수조의 관리는 어류의 건강을 감안하여 질산염이 40ppm을 초과하지 않도록 관리하였다.
- 아쿠아 포닉스 벽면조경은 어류와 식물을 투입하고 약 1개월 정도는 박테리아가 폭발적으로 증식한 것으로 보여 물의 토출구에 분비물이 집적되면서 원활한 수류의 이동을 방해하였다.
- 그러나 2개월이 경과하면서 박테리아 증폭량이 안정적이고, 식물의 뿌리량이 많아지면서

원활한 박테리아 조절이 가능했던 것으로 판단되었다.

- 초기 여과력 부족을 감안하여 투입한 대형 3단 스폰지여과기와 뽕집기는 아포닉가든 시스템에서 개발한 기동형 여과기를 통하여 충분한 질화과정이 가능하여 모두 제거하고 소형 에어스톤 하나만 추가하였다.

표 1-2-1. 관상용 아쿠아포닉스 시스템 기본 사항

	물량 (L)	식물 (pot)	어체중 (g)	마리수	급여량	환수	목표 질산염 농도
벽면용	110	54	305.5	6	1%/어체중	30% 1회/1주	20~40ppm
다단형	100	65	303.7	5	1%/어체중	15% 3회/주	
양어용	110	2	272.3	5	1%/어체중	30% 3회/주	



그림 1-2-6. 벽면조경용 아쿠아포닉

나. 다단 오픈 아쿠아포닉스/다단 쇼케이스 아쿠아포닉스(Gardening Aquaponics)

- 다단 오픈형은 수조의 위치를 다양하게 설정할 수있고, 식물 재배부를 판형으로 설치하여 재배할 수 있는 구조이다.
- 엽채류 및 다수의 작은 포트를 재식할 수 있는 구조로 70*38*18크기의 재배상자 3개를 설치하였고, 최상단에 여과조를 두어 부유물이 1차 걸러지고 3단의 재배상자의 여과재를 통과하면서 여과되는 구조로 설계하였다.
- 수조는 60*45*45 크기에 100L의 물을 채우고 금붕어 난주 성어 및 유어 5마리(어체중 303.7g)을 입식하였다.
- 식물의 식재는 최상단에 관엽식물 싱고니움 10cm 사각포트 21개와 필로덴드론, 안스리움을 배치하였고, 2단과 아랫단은 키가 작은(pot size 6*6cm) 베고니아를 베드당 20개 총 40개를 배치하였다. 1단과 2단은 원종 베고니아를 주로 재식하고 습도 유지를 위하여 베드 주변을 비닐로 피복하였다.
- 여과재로는 난석을 이용하였고 각 단별 12L*3단으로 총 36L(총 물량의 36%)의 난석을 충전하였다.
- 수조의 물은 10W 수중모터를 이용하여 최상단 여과조를 통과하여 재배상자로 진입하는 구조로 설계하였고 수조내 부유물의 원활한 집진을 위하여 모터와 뽕집기를 연결하였다.

- 사료의 급여는 금붕어 육성 전용사료 ‘히카리’를 어체중 1%을 1일 2회 급여하였다.
- 수조의 관리는 질산염 20~40ppm을 목표로 관리하였다.
- 다단형은 여과재 용량이 가장 많은(36%) 타입이었으나 구조상의 문제가 있었는지 수질의 탁도가 다른 처리구에 비하여 높았고, 주 3회 15%의 환수해야만 질산염 유지가 가능하였다. 그러나 부유물이 깨끗하게 걸러지지 않고 있어 미관이 수려하지 못하였고, 직사광선이 부분적으로 들어오면서 녹조의 발생이 많았다.

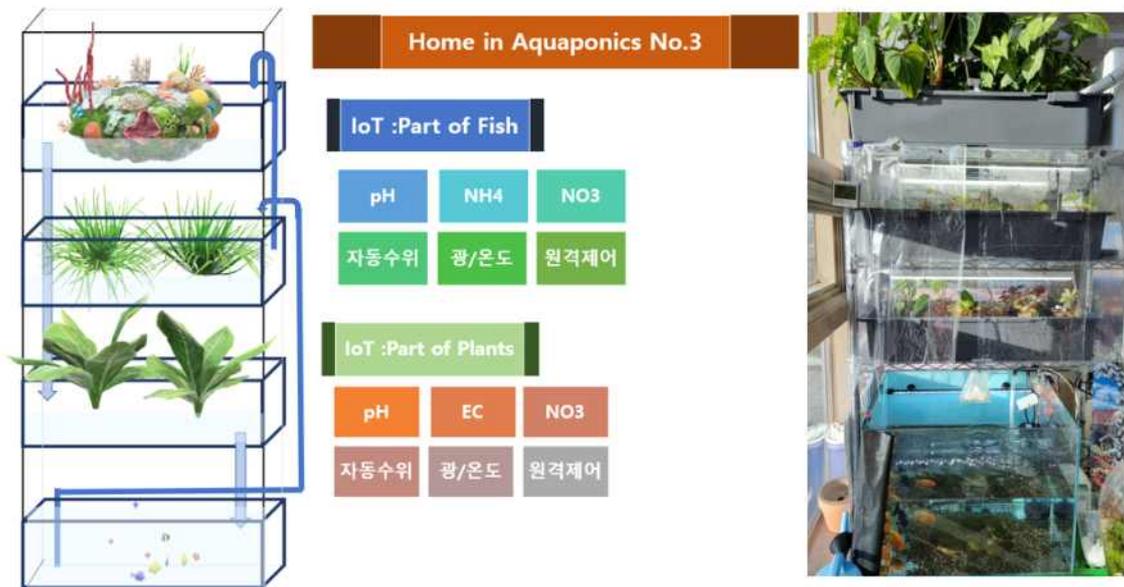


그림 1-2-7. 다단 오픈형 아쿠아포닉스 모식도 및 실사

- 다단형은 수조를 아래로 둘 때 보다는 중간 혹은 위쪽에 두었을 때 수조의 부유물 제거가 용이한 것으로 관찰되었다. 이는 여과재를 통과하는 방법에 영향을 받는 것으로 판단된다.
- 그러나 다단형은 식물부의 뿌리 발달이 많아지면서 수류를 방해할 가능성이 높아 물넘침 사고가 종종 발생하여 좀더 안정적인 구조의 설계가 필요할 것으로 판단된다.
- 향후 소비자의 이용 가능성을 높이기 위한 소형으로 개발할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

다. 양어용 아쿠아포닉스(Fish Farming Aquaponics)

- 수조크기 90*35*40에 110L의 물량에 금붕어 난주 성어 및 유어 272.3g(5마리)를 입식하였다.
- 식물은 시킨답서스 및 아이비 등을 줄로 배치하고 12cm 포트 필로덴드론을 투입하였다. 여과기는 자체 제작한 17L여과기에 난석 여과재 15L, 13.6%)을 충전하였다. 여과기로 물의 이동은 7W 수중모터에 집뿔기를 연결하여 부유물을 집적할 수 있도록 설계하였다.
- 주 여과기의 용량은 물량의(110L/15L) 13.6%을 적용하였고, 추가적으로 12*12 스폰지 여과기 2개를 조립하여 설치하였다.
- 수질관리는 질산염 20~40ppm을 목표로 관리하였고, 주 3회 50%를 환수하였다.
- 사료의 급여는 어체중 1%을 1일 2회로 나누어 급여하였다.
- 자작 여과기를 이용하여 환수와 여과를 용이하게 제작하였고 원활한 부유물의 집적능력을 가지고 있어 항상 청결한 수조를 유지할 수 있었다.
- 운영 6개월 후 아포닉스시스템의 FA용 17L여과기는 110%와 어류 0.5%의 량까지 커버할 만큼 여과력 즉 질화능력이 충분하였고 똥집기 없이도 수조내 분비물을 흡수하여 질화작용으

로 분해하고 있어 추가로 설치한 스폰지 여과개 2개는 제거하였다.

- 그러나, FA형 양어용은 질화과정에서 발생하는 NO3의 이용이 전혀 일어나지 못하고 질산염 축적율이 GFA 형에 비하여 매우 빨라 주 3회 30% 이상 환수하여야만 잔여 질산염 40ppm을 맞출 수 있었다. FA형은 질산염 축적율이 GFA 형보다 높아 환수가 늦어질 경우 질산염이 치솟아 어류의 움직임이 둔해지고 시간이 길어짐에 따라 폐사하는 경우도 발생하였다.



그림 1-2-8. 양어용 아쿠아포닉스

라. 벽면용(GFA) 및 양어용(FA) 아쿠아포닉스(Fish Farming Aquaponics)의 실제

- 2년차 시험은 다단용은 사용의 편리성 및 관리가 항구적이지 못하여, 벽면용(GFA)과 양어용(FA)을 비교하였다(표 1-2-9, 1-2-10).
- 질산염 관리를 위해 환수는 주 1회를 목표로 진행하였으나, 주1회 환수로는 양어용에서 질산염 과다(80ppm이상)로 수입난주 2마리가 폐사하였다. 양어에서 권장하는 질산염 수치 40ppm이하를 목표로 양어용은 주 3회 30% ~ 50%씩 환수하였고, 벽면용은 주1회 50%씩 환수하여 질산염 수치를 관리하였다.
- 주1회 이상의 환수로 인하여 pH는 6.8~7.0 수준으로 원수와 가까웠다.
- 어체중 초기세팅(1월)은 벽면용 348.3g, 양어용 336.9g으로 세팅하여 총 물량의(110L) 0.3%를 유지하고자 하였으며 1차 실험에서 사료 1% 공급에서 질산염이 지속적으로 증가하고 있어 어체중의 0.5%(1.7g-사료스폰 1개)로 사료 공급량을 줄였다.
- 2022년 1월에 2차 실험을 시작하여 2022년 10월에 어체중을 측정한 결과 벽면용 439.7g 126%, 양어용 467.3g으로 139% 증가하였다.



여과부내 식물 재식

수조(금붕어 난주 3, 오란다 2=467.3g)

그림 1-2-9. 양어용(FA) 아쿠아포닉스의 실제

- 금붕어의 성장은 양어용(FA)이 벽면용보다 성장률이 약간 높게 나타났는데 이는 초기 세팅한 난주가 폐사후 1년생 수입산 태국 오란다를 입식하면서 짧은 기간에 폭풍 성장한 것을 보이고, 벽면용(GFA)은 자가 브리딩한 2년생 개체로 생육 유전적 특성이 우수하지 못했던 것으로 성장률이 더딘 것으로 생각되었다.
- GFA와 FA의 유지관리에서 FA용은 GFA용에 비하여 질산염 축적 속도가 매우 빨라 1주에 3회이상 30~50% 환수가 진행되어야 목표 질산염 40ppm으로 조절할 수 있었다. 불가피한 사정으로 환수횟수가 적었을 때, 질산염 농도는 급격히 증가하였고, 금붕어의 움직임 급격히 떨어지는 현상을 관찰할 수 있었다. 질산염이 80ppm이 넘는 시간이 길어질 경우 대형 금붕어와 고급 금붕어에 피해가 우선적으로 발생하였다.
- 같은 조건에서 비교하였을 때 식물 54개 포트가 재식된 GFA 시스템이 FA 시스템에 비하여 질산염 증가율이 낮았고 증가율도 비교적 서서히 진행되고 있는 것으로 관찰되어, 식물에서 질산염을 상당수 흡수 이용하고 있는 것으로 관찰되었다.
- 그러나 GFA 시스템에서도 식물이 질산염을 흡수하고도 잉여의 질산염이 수조에 남아 있어 10일 이상 환수하지 않을 경우 질산염농도가 높아져 고급 금붕어의 사육에 한계가 있을 것으로 관찰되므로 향후 아포닉 가든 시스템에서 질화과정과 탈질화 과정을 개발하여 잉여 질산염을 N2화하는 과정이 반드시 필요할 것으로 생각된다.

표 1-2-2. 관상용 아포닉 시스템(벽면용/양어용)

	물량 (L)	식물 (pot)	어체중(g)		증가율 (%)	급여량	환수	질산염 기준
			1월	10월				
벽면용 (GFA)	110	54	348.3	439.7	126	0.5%/어체중	50% 1회/주	40ppm
양어용 (FA)	110	6	336.9	467.3	139	0.5%/어체중	50% 3회/주	40ppm

- 벽면용 아포닉시스템의 식물부 광조건은 20W 형광등 (T5) 4개*20=100w를 설치하였다.
- 벽면 재식 식물은 목성베고니아 및 원종베고니아 54pot를 2021년 8월 18일에 재식하였다. 초기생육은 서서히 진행되다가 4개월이 경과하면서 (2021.12.22.) 목베고니아의 특성에 따라 줄기계 신장하여 관상가치를 위하여 1차 트리밍(2022.01.04.)하였다(그림).
- 아쿠아포닉스를 이용한 실내식물 벽면조경에서 원종 베고니아의 생육은 양호했으나, 광조건에 따라 생육정도가 달라 향후 광조건 개선이 필요할 것으로 사료된다.
- 2년차 아쿠아포닉스 실내벽면용 테스트에서는 팔레놉시스의 아쿠아포닉 가능성을 검토하였다. 21년 8월부터 10cm 포트에 난석, 하이드로로 온실육묘하여 엽장 4~5매를 육성하고 상부 1/4의 식재를 걷어내고 수태로 감싼후 22년 1월 17일 아포닉가든에 정식하였다.
- 호접란은 벽면에 정식후 실내온도 15도 이상으로 관리하여 저온 감응시켰고, 3월부터 개화하기 시작하여 5월 말경부터 본격적으로 개화하였다. 사무실 복도의 겨울철 저온을 방지하기 위하여 수조의 수온을 20도로 세팅하고 상부 식물부는 비닐로 감싸 최저 15도 이상이 되도록 관리하였다.
- 호접란은 22년 1월에 재식하여 3~8월까지 지속적으로 개화하고 현재까지 유지되고 있어 현 시스템에서 23년 3월 재 개화까지 관찰할 예정이다.
- 21년 8월에 재식한 베고니아는 22년 1월 트리밍 후 지속적으로 성장하여 약 10개월 이상의 관상가치를 유지하고 있었다.



1-2-4. 아포닉 가든용 여과재 조성물 개발

1) 여과재 조성물 연구 배경

- 2년차 머드분말과 황토분말을 이용하여 탈질화 혹은 신속한 유기물분해 과정을 통하여 암모니아 아질산, 질산염의 농도가 대폭 낮아지는 1차 테스트를 진행하였다.
- 관상용 아쿠아포닉스에서는 안정적인 시설 유지와 유지관리의 편리성을 위하여 물고기에 유해한 암모니아, 아질산, 질산염의 농도를 대폭 낮출 필요가 있고, 2년차 1차 실험에서 머드 및 황토 분말이 통성혐기성 조건을 제공하여 유기물 분해 미생물인 통성 혐기성균의 서식지로 가능함을 확인하여 3년차 본격적인 연구를 진행하였다.

2) 여과재 조성물 연구내용

- 실내외 조경에 아쿠아포닉스를 적용하기 위한 아포닉 가든에 필요한 추가적인 조성물을 제공하는데 있다.
- 여과재 조성물 제조방법에 관한 것으로, 수조 내에 수(水)량의 0.1 중량% 내지 4 중량%로 제공되는 여과재 조성물의 제조방법에 있어서, 황토를 파쇄하여 황토분말을 제조하는 분말화 단계; 상기 제조된 황토분말을 수분함량 0.1 % 내지 40 %로 건조하는 건조단계; 및 상기 건조된 황토분말을 마이크로웨이브로 처리하는 열처리 및 멸균단계를 포함한다.
- 상기 건조단계는 상기 제조된 황토분말을 수분함량 1 % 내지 20 %로 건조할 수 있다.
- 상기 열처리 및 멸균단계는 상기 건조된 황토분말을 마이크로웨이브로 2 분 내지 8 분 동안 처리할 수 있다. 상기 마이크로웨이브의 주파수는 2450 MHz일 수 있다.
- 암모니아 저감용 조성물에 관한 것으로, 수조 내에 수(水)량의 0.5 중량% 내지 1 중량%로 제공되는 열처리된 황토분말을 포함하는 암모니아 저감용 조성물에 있어서, 상기 열처리된 황토분말은 황토분말을 수분함량 1% 내지 20 %로 건조한 후, 상기 건조된 황토분말을 마이크로웨이브로 열처리하여 제조된 것을 특징으로 한다.
- 상기 암모니아 저감용 조성물은 테이블야자, 스파트필름, 아그레오네오마, 알로카시아, 창포, 안스리움, 및 필로덴드론 빌리에티에 등 하나 이상의 다양한 식물을 더 포함할 수 있다.
- 식물 재배부 및 수조의 규모가 5 L 내지 200 L이고 어류밀도가 0.1 % 내지 0.25 %인 수중생물 양식부를 포함하는 아쿠아포닉스에 있어서, 상기 수중생물 양식부는 상기 수조 내

에 수경식물 및 본 발명의 일 실시예에 따른 암모니아 저감용 조성물을 포함하는 것을 특징으로 환수 주기가 6 주 내지 9 주인것을 특징으로 한다.

3) 연구의 구체적인 내용

(1) 기존 중량의 바닥재 사용의 비교

- 바닥재 유무 및/또는 바닥재 종류에 따른 수질안정화 정도를 확인하기 위하여, 다양한 조건으로 설정한 후 각 조건에서의 수질을 확인하였다.
- 수질 안정화 기준은 물고기의 생육에 영향을 미치지 않는 정도인 암모니아 2 ppm 이하, 아질산 13 ppm 이하, 질산염 50 ppm 이하로 설정하였으며, 이는 국립수산과학원 첨단양식실증센터가 제시된 어류 안전농도이다.
- 표 2-1의 처리1은 1주 간격으로 환수를 실시하였고, 처리 1-1, 2, 3, 4는 상이한 바닥재 조건(머드분말, 황토분말, 또는 머드분말+황토분말 3.5%)으로 4주 이상 환수하지 않은 상태에서 시료를 채취하였으며, 물고기 위주의 양어 조건(FA)에서 실시하거나 아쿠아포닉스 조건(GA)에서 실시하였다. 설정된 각 조건에서 최소 2 주 이상 사육 후에 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-1 및 하기 표 2-2와 같다.

표 1-2-1. 황토 및 머드분말 처리가 수질에 미치는 영향

	Ocher /Murd	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1.GA	무처리/환수	9.7	0.04	-	-	18.16	1.39	11.87	2.64	3.13	16.42
1-1 GA	M 3.5%	8.3	0.39	25.13	14.51	36.40	1.62	17.94	3.77	4.93	23.65
1-2 FA	O 3.5%	11.7	0.24	22.08	16.70	25.12	1.60	13.41	2.99	3.77	14.85
1-3 FA	O+M 3.5%	8.3	0.14	18.00	12.24	23.00	1.55	12.72	2.92	4.58	17.43
1-4 FA	M 3.5%	2.8	1.44	24.65	15.98	11.20	0.23	11.63	2.10	3.52	13.62

충북농업기술원 수질분석

표 1-2-2. 황토 및 머드분말 처리가 수질에 미치는 영향

	Ocher /Murd	As (비소)	Cd (카드뮴)	Pb (납)	Fe (철)	Al(알루미늄)	Mn (망간)	Cu (구리)	Zn (아연)	Cr (크롬)	N (니켈)
1. GA	무처리/환수	0.001	0.000	N.D	0.046	0.048	0.001	0.009	0.044	0.001	0.001
1-1. GA	M 3.5%	0.000	0.000	0.001	0.025	0.025	0.001	0.010	0.051	0.001	0.024
1-2. FA	O 3.5%	0.002	0.000	0.001	0.040	0.036	0.002	0.009	0.047	0.001	0.004
1-3. FA	O+M 3.5%	0.002	0.000	0.002	0.054	0.033	0.002	0.009	0.053	0.001	0.004
1-4. FA	M 3.5%	N.D	0.000	0.000	0.033	0.026	0.007	0.007	0.027	0.001	0.001

충북농업기술원 수질분석

- 상기 표 2-1 및 상기 표 2-2를 참조하면, 각 조건에서의 수질 상태를 확인할 수 있다. 처리 1-1 ~ 1-4 조건(Ocher, murd, 혼합 3.5%)에서 암모니아 및 질산염 수치는 환수 처리 1과 동일하거나 유사한 정도로 확인되어 허용수치 이내임을 확인했으나, 상당히 많은 양의 염소(Cl-) 및 황(SO₄²⁻)이 검출됨을 확인하였다.
- 즉, 각 바닥재를 사용하는 경우, 4주 동안 환수를 진행하지 않더라도 암모니아 및 질산염 농도는 양어 및/또는 아쿠아포닉스에 적합한 정도의 양을 유지할 수 있음을 확인하였다. 그러나 환수를 진행하지 않는다면 염소 및 황을 제거해야 할 필요성이 있음을 확인하였다.
- 앞서 살펴본 바와 같이, 환수를 진행하지 않는 조건에서 측정된 염소 및 황을 낮추기 위한

연구의 필요성이 인지되었고, 첫 번째 방법으로 바닥재의 농도(양)을 줄이는 방법을 시도하였다.

(2) 바닥재 함량이 수질 및 염소와 황 농도에 미치는 영향

- 앞서 황토분말 및/또는 머드분말의 중량이 물의 중량의 3.5 중량%로 설정되었으므로, 이보다 적은 함량인 1 중량%, 0.5 중량%, 또는 0.1 중량%로 조절하였다.
- 설정된 각 조건에서 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-3과 같다. 미량요소는 거의 유사하여 표에서 제외하였다.

표 1-2-3. 바닥재 중량(%)이 수질 및 염소와 황 농도에 미치는 영향

	Ocher /Murd	NO ₃ ⁻ N	NH ₄ ⁻ N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
2. GA	무처리/환수	9.7	0.04	-	-	18.16	1.39	11.87	2.64	3.13	16.42
2-1. GA	M 3.5%	8.3	0.39	25.13	14.51	36.40	1.62	17.94	3.77	4.93	23.65
2-2. FA	M 3.5%	2.8	1.44	24.65	15.98	11.20	0.23	11.63	2.10	3.52	13.62
2-3. FA	O 1%	5.9	0.16	14.37	10.79	17.18	1.07	10.93	2.90	3.12	14.17
2-4. FA	O+M 1%	1.6	0.33	17.16	8.53	15.0	0.34	9.92	2.52	3.10	13.30
2-5. FA	O 0.5%	3.8	0.17	20.15	7.42	12.25	0.65	19.77	2.93	3.62	14.83
2-6. FA	O+M 0.1%	2.5	0.16	6.26	17.27	8.51	1.26	12.91	1.585	2.683	12.64

충북농업기술원 수질분석

- 상기 표(2-3)에서와 같이 바닥재의 중량%를 달리했을 때 수질 상태의 차이를 확인할 수 있다.
- 처리 2-1 내지 2-6 조건에서 중량 %와 상관없이 암모니아 및 질산염 수치는 무처리 2와 동일하거나 유사한 정도로 확인되어 허용수치 이내임을 확인하였으나, 여전히 상당히 많은 양의 염소(Cl-) 및 황(SO₄²⁻)이 검출되었다.
- 앞서 살펴본 3.5 중량% 조건에 비해 1 중량%, 0.5 중량%, 또는 0.1 중량% 조건에서 보다 낮은 염소 농도 및 황 농도를 확인하였으나, 여전히 남아있는 염소 및 황이 수조 내 생물에 영향을 줄 것으로 판단되어 그 농도를 보다 줄일 필요성이 있는 것으로 생각되었다.
- 다만, 바닥재의 중량% 최소치인 0.1 %에서도 암모니아 및 질산염 수치는 무처리 2와 유사하거나 더 낮아 질산염관리는 0.1%조건에서도 가능함을 확인하였으나,
- 염소 및 황 농도는 여전히 높은 편에 속한다는 점을 고려하면, 바닥재의 함량을 조절하는 것으로 염소 및 황 농도를 조절하는 것은 한계가 있음을 확인하였다.

(3) 열처리 황토분말

- 황토 및 머드가 암모니아 농도, 아질산 농도, 및 질산염 농도 중 적어도 하나 이상을 저감하는데 효과가 있음에도, 상당히 많은 양의 염소 이온 및/또는 황 이온이 검출되어 어류에게 영향을 줄 가능성이 있음을 확인하였다.
- 이에 따라, 단순하게 황토, 머드를 직접 사용하지 않고 혼합하거나 가공함으로써 염소 이온 및/또는 황 이온에 의한 문제를 해결하고자 하였다.
- 시판 중인 황토 및/또는 직접 수득한 황토를 준비하고, 준비된 황토를 장치, 도구 등으로 파쇄하여 황토분말을 제조하며, 제조된 황토분말을 수분함량 20 % 이하로 건조하고, 건조된 황토분말을 밀폐되지 않은 용기에 넣은 후 2450 MHz 마이크로웨이브로 4 분 내지 5 분 동안 처리함으로써, 본 발명의 열처리된 황토분말을 제조하였다.

(4) 열처리 황토분말의 적용

- 열처리 황토분말 제조방법에 따라 제조된 열처리 황토분말(표 2-4), 열처리 방법을 적용한 황토분말 및 머드분말, 머드+황토 혼합물, 및 열처리를 실시하지 않은 황토분말(을 앞서 개시된 표 2-1의 수조에 적용 4주 후 수질검사를 실시하였다.
- 설정된 각 조건에서 최소 4주 이상 물고기를 사육한 후에 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-4와 같다.

표 1-2-4. 열처리 황토, 머드분말의 처리 중량(%)이 수질에 미치는 영향

처리	Ocher /Murd	열처리	NO ₃ -N	NH ₄ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	T-N	T-P	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
3	O 0.5%	X	3.8	0.17	20.15	7.42	12.25	0.65	19.77	2.93	3.62	14.83
3-1	O 0.5%	O	5	2.14	0.08	0.06	7.23	1.42	8.76	2.52	3.23	14.88
3-2	O+M 0.1%	O	2.5	0.16	17.27	8.51	8.87	1.26	12.91	1.59	2.68	12.64
3-3	O+M 1%	O	1.6	0.33	17.16	8.53	15.0	0.34	9.92	2.52	3.10	13.30

충북농업기술원 수질분석

- 상기 표 2-4를 참조하면, 열처리 유무 및/또는 바닥재 중량% 0.1%, 0.5%, 1%로 달리하고, 황토와 머드를 혼합하였을 때 수질 상태의 차이를 확인할 수 있다.
- 황토분말에 열처리를 실시하지 않은 처리 3은 염소 농도가 20.15 ppm이고 황 농도가 7.42 ppm으로 상당히 높은 것을 확인한 반면, 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 3-1은 염소 농도가 0.08 ppm이고 황 농도가 0.06 ppm으로 처리 3 대비 현저히 감소한 것을 확인하였다.
- 즉, 처리 3-1의 염소 농도는 처리 3 대비 99.6% 낮고 처리 3-1의 황 농도는 처리 3 대비 99.2 % 낮은 것을 확인하였다.
- 추가로, 처리 3-2, 3-3과 같이 황토분말 및 머드분말이 1:1 비율로 섞인 혼합물에 적용하여 열처리된 황토분말 및 머드분말 혼합물을 제조하고 이를 적용하여 수질 상태를 분석하였으나,
- 황토+머드 혼합 처리구는 처리 중량(0.1%, 1%)에 관계없이 암모니아, 질산염의 농도는 환수처리구와 유사하거나 양호하였으나, 염소 및 황의 농도는 감소하지 않았다.
- 그러므로 황토와 머드 혼합 처리구의 열처리는 황과 염소의 농도를 저하시킬 수 없음을 확인하였다.
- 이에 따라, 열처리 방법은 황토분말을 단독으로 사용하는 경우에 염소 이온 및 황 이온을 제거하는 효과가 있음을 확인하였으며, 황토분말 외 다른 물질(예를 들어 머드분말 등)을 더 포함하는 경우에는 염소 이온 및 황 이온의 제거 효과가 현저히 낮아짐을 확인하였다.
- 이러한 과정을 거쳐 제조된 열처리된 황토분말을 아포닉 ODT(APONIC ODT)로 명명하였으며, 이하에서는 '열처리된 황토분말'과 '아포닉 ODT'는 동의어로 사용될 것이다.

(5) 황토볼과 열처리 황토분말의 비교

- 앞서 처리를 통해 황토분말에 열처리를 하는 경우 염소와 황을 현저하게 제거할 수 있음을 확인하였다.
- 이와 일부 유사하게 황토에 열처리를 실시한 제품인 황토 볼이 시판 중에 있어 이를 구매한 뒤, 본 발명의 열처리된 황토분말과의 암모니아 제거 효과의 차이를 분석하였다.

- 황토를 포함하지 않아 모래만으로 구성된 처리 4, 구매한 황토볼과 모래를 포함하는 처리 4-1, 및 앞서 처리 2-1의 열처리 황토분말 제조방법에 따라 제조된 열처리 황토분말과 모래를 포함하는 처리 4-2를 앞서 개시된 실시예 1의 수조에 적용하고, 실시예 1에 따른 수질검사를 실시하였다. 설정된 각 조건에서 1 주 내지 4 주 동안 물고기를 사육한 후에 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-5와 같다.

표 1-2-5. 제형화된 황토볼과 열처리 황토분말의 수질에 미치는 영향

mg/L (ppm)	처리 4 (모래)			처리 4-1 (황토볼 1 %+모래)			처리 4-2 (황토분말 1 %+모래)		
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃
1주	2	0	4	8	0.02	6	0	0	4
2주	4	0	4	5	0.02	5	4.5	0.02	5
3주	4	0.25	0	4.25	0.12	7	3.25	1	8
4주	2	2	10	1.05	2	5	0.5	2	7.5

API 간이 수질테스터

- 상기 표 2-5를 참조하면, 본 발명의 처리에 따른 각 조건에서의 암모니아, 아질산, 및 질산염 농도를 확인하였다. 시판 중인 황토볼을 포함하는 처리 4-1은 모래만 사용하는 처리 4에 비해 1 주 내지 3 주 동안 모래처리보다 암모니아 농도가 오히려 높은 것을 확인하였다.
- 특히, 1 주차를 살펴보면 처리 4-1의 암모니아 농도는 처리 4의 암모니아 농도에 비해 4 배 높은 8 ppm이고, 2 주차 및 3 주차에도 처리 4에 비해 다소 높은 수치임을 확인하였다.
- 이에 따라, 황토볼을 사용하는 경우에는 1 주내지 3 주 동안 물고기에 악영향을 줄 가능성이 있으며, 특히 1 주차에는 물고기에 악영향을 줄 가능성이 높을 것으로 판단하였다.
- 열처리 황토분말(처리 4-2)은 황토볼 처리 4-1과 달리 암모니아 농도가 처리 4 (모래) 및 처리 4-1(황토볼)에 비해 대부분 낮은 것을 확인하였다.
- 특히, 1 주차 및 4 주차의 결과를 살펴보면, 1 주차 처리 4-2의 암모니아 농도는 0 ppm으로 측정되어 처리 4의 2 ppm 및 처리 4-1의 8 ppm에 비해 현저히 낮은 수치임을 확인하였고, 4 주차 처리 4-2의 암모니아 농도는 0.5 ppm으로 측정되어 처리 4의 2 ppm에 비해 75 % 낮으면서 처리 4-1의 1.05 ppm에 비해 50 % 낮은 수치임을 확인하였다.
- 따라서, 열처리된 황토분말은 종래 황토볼에 비해 현저하게 높은 암모니아 저감 효과가 있는 것을 확인하였다.
- 즉, 열처리된 황토분말은 특정 조건 하에서 열처리가 실시됨으로써, 현저하게 낮은 염소 및 황 함량을 가지면서 종래 황토제품에 비해 현저하게 높은 암모니아 저감 효과를 가진다.

(6) 적용 황토분말의 제거에 따른 수질상태 변화

- 확실한 황토분말의 수질개선 효과를 확인하기 위하여 2개월 이상 수질 안정화된 수조내의 열처리 황토분말을 제거하고 1주 후 수질상태를 조사하였다..
- 상기 수조는 황토분말, 머드분말, 및 수경식물을 포함하여 2 개월 동안 수질안정화가 끝나 암모니아 및 아질산 농도가 0 ppm으로, 질산염 농도가 2 ppm으로 조정된 상태이다.
- 실험 조건으로는 열처리 황토분말을 유지하는 처리 5, 열처리된 황토분말을 50 % 제거하는 처리 5-1, 및 열처리된 황토분말을 90 % 제거하는 처리 5-2를 준비하였다.
- 설정된 각 조건에서 1 주 내지 4 주 동안 물고기를 사육한 후에 채취된 시료를 분석한 결

과는 하기 표 1-2-6과 같다.

표 1-2-6. 황토분말 제거가 수질에 미치는 영향

mg/L (ppm)	처리 5 (황토분말 유지)			처리 5-1 (황토분말 50 % 제거)			처리 5-2 (황토분말 90 % 제거)		
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃
제거전	0	0	2	0	0	2	0	0	2
1주	0	0	5	0	0.02	5	0.6	0	5
2주	0	0	6	0	0	6	0	0	7
3주	0	0	5	0	0	5	0	0	5
4주	0	0	4	0	0	4	0	0	4

API 간이 수질테스터

- 상기 표 2-6을 참조하면, 황토분말을 제거함에 따른 수질상태 변화를 확인할 수 있다.
- 황토분말을 그대로 유지중인 처리 5는 계속 안정적인 수질을 확인할 수 있는 반면, 황토분말을 50 % 제거한 처리 5-1은 제거 후 1 주차에 아질산이 검출되었고 황토분말을 90 % 제거한 처리 5-2는 제거 후 1 주차에 암모니아가 검출된 것을 확인하였다.
- 또한, 열처리된 황토분말을 90 % 제거한 처리 5-2에서는 처리 후 1 주차에 암모니아가 0.6 ppm으로 증가하였는데, 이를 통해 열처리된 황토분말은 수질안정화가 끝난 이후에도 지속적으로 수질상태 변화에 관여하는 것을 확인하였으며, 열처리된 황토분말을 사용함으로써 암모니아, 아질산, 및 질산염의 증가를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.
- 보다 상세하게, 황토분말 적용 수조 내에서는 질화균인 독립영양세균과 유기물 분해 및 탈질화를 유도하는 종속영양세균(통성혐기성세균)이 유기물(암모니아)의 량에 맞춰 공존하면서 평형을 이루고 있었던 조건에서
- 종속영양박테리아 서식지가 제거되면서 갑자기 유기물(암모니아)은 증가하였지만, 증식속도가 느린 독립영양 박테리아가 여분의 암모니아를 완벽하게 처리하지 못한 결과로 사료된다.
- 이에 따라, 열처리된 황토분말(아포닉 ODT)을 사용하는 조건에서 황토분말 내 종속영양세균이 암모니아를 소모함에 따라 독립영양세균의 세력이 약화된 상태에서, 열처리된 황토분말을 제거하면 종속영양세균이 소비하던 암모니아가 남게 되고, 이러한 여분 암모니아를 통해 독립영양세균이 번식하면서 제거 2주 후 다시 암모니아는 감소하게 되는 것으로 볼 수 있다.
- 이러한 경우, 독립영양세균이 활발하게 활동하여 질산염을 지속적으로 생성하게 되므로, 수조 내에 질산염이 축적된다는 문제가 발생하게 되고 이를 해결하기 위해 잦은 환수가 요구된다.

(7) 열처리 황토분말(아포닉 ODT)을 적용한 최종 수질분석(한국농업기술진흥원)

- 열처리 황토분말을 수조 상부에 식물을 적용한 아쿠아포닉(GA1, GA2) 수조와 물고기위주에 2개의 소형 식물을 적용한 FA1, 2를 수돗물과 비교하였다.
- 대조구로 수돗물과 열처리 황토분말을 적용하지 않고 주1회 환수한 GA1을 대조로 설정하였다.
- 모든 처리구의 질산염, 암모니아, 아질산의 수치는 국립수산과학원 첨단양식실증센터 기준 이하로 설정하였다.

- 열처리 황토 0.25% 처리구는 모두 국립수산물품질관리원 첨단양식실증센터 기준보다 낮게 유지되었다. 열처리 유무에 따라 염소 함량에 차이가 확연하였고, 열처리 방법에 따라서도 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 즉 열처리 방법은 수분함량 20% 이하에서 4분 처리가 효과적인 것으로 나타났다(표 2-7).

표 1-2-7. 열처리 황토분말이 암모니아, 아질산, 질산염과 황 및 염소에 미치는 영향

	Ocher	열처리/처리방법	NO ₃ -N	NH ₃ -N	NO ₂ -N	SO ₄ ²⁻	Cl-
수돗물	-	-	1.15	0	0	5.1	9.98
GA1	-	-	5.86	0	0	7.4	13.83
GA2	0.25%	4min->3min	8.16	0	0.01	7.4	13.5
FA1	0.25%	무	3.8	0.17		7.42	20.15
FA1	0.25%	4min->3min->3min	8.18	0.05	0.01	7.1	23.8
FA2	0.25%	4min	4.49	0	0	6.3	11.77

* 수돗물은 본 연구소 소재지인 전북 김제시의 여름철(8월)에 수조 GA1, FA1에 공급한 수돗물을 대조구로 설정하였다.

수돗물	GA1	GA2	FA1	FA2
-----	-----	-----	-----	-----

그림 마-1. 열처리 황토분말 처리에 따른 수질(한국 농업기술 진흥원)

(8) 열처리 황토분말과 식물의 결합

- 열처리된 황토분말을 제조하고 제조된 아포닉ODT(열처리된 황토분말)가 다른 조건 대비 현저한 효과가 있음을 확인하였다.
- 이하에서는 이러한 열처리된 황토분말을 식물과 결합하여 제공함으로써, 그 효과를 증진시킬 수 있음을 살펴보고, 이를 아쿠아포닉스에 적용하는 실시예를 구성하였다.
- 열처리 황토분말과 수경식물을 동시에 적용했을 때 수질상태 변화를 확인하기 위하여, 소규모의 간이수조를 구성하였다.
- 보다 상세하게, 500mL 삼각플라스크에 어체중이 수(水)량의 0.25 %에 해당하도록 구피 유어 및 성어를 포함하는 간이 수조를 구성하였다.
- 이때, 간이수조의 바닥재는 기본적으로 모래가 제공되며, 모래 외에 다른 조건이 포함되지 않은 처리 6, 모래와 열처리된 황토분말 1 중량%를 포함하는 처리 6-1, 모래와 수경식물을 포함하는 처리 6-2, 및 모래와 수경식물과 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 6-3을 준비하였다.
- 설정된 각 조건에서 1 주 내지 4 주 동안 물고기를 사육한 후에 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-8과 같다.

표 1-2-8. 열처리 황토분말과 수경식물이 수질에 미치는 영향

mg/L (ppm)	처리 6 (모래)			처리 6-1 (모래+황토)			처리 6-2 (모래+식물)			처리 6-3 (모래+식물+황토)		
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃
1주	2	0	4	0	0	4	0.05	0	4	0	0	4
2주	4	0	4	4.5	0.02	5	0	0.01	4	0	0	4
3주	4	0.25	0	3.25	1	8	0	0	0	0	0	0
4주	2	2	10	0.5	2	7.5	0	0.5	0	0	0.2	0

API 간이 수질테스터

- 상기 표 2-8을 참조하면, 열처리된 황토분말 및/또는 수경식물을 포함함에 따른 수질상태 변화를 확인할 수 있다.
- 보다 상세하게, 모래와 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 6-1은 처리 6에 비해 전체적으로 암모니아 농도가 낮고, 아질산 농도가 동일하거나 유사하며, 4 주차에 질산염 농도가 낮은 것을 확인하였다.
- 또한, 모래와 수경식물을 포함하는 처리 6-2는 처리 6에 비해 전체적으로 암모니아 농도, 아질산 농도, 및 질산염 농도가 현저하게 낮은 것을 확인하였다.
- 특히, 암모니아 농도는 1 주차에 약간 검출된 이후 2 주차 이상에서는 전혀 검출되지 않아, 수경식물이 암모니아 농도를 현저하게 감소시킬 수 있음을 확인하였다.
- 뿐만 아니라, 처리 6-2의 아질산 농도는 처리 6 및 처리 6-1에 비해 모든 기간에서 낮은 것이 확인되어 수경식물이 아질산 농도 또한 감소시킬 수 있음을 확인하였다.
- 추가적으로, 처리 6-3의 질산염 농도는 처리 6 및 처리 6-1과 달리 4 주차에도 0 ppm인 것으로 측정되었다.
- 또한, 모래와 수경식물과 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 6-3은 처리 6 및 처리 6-1에 비해 전체적으로 암모니아 농도, 아질산 농도, 및 질산염 농도가 현저하게 낮은 것을 확인하였고, 실험에 6-2에 비해 암모니아 농도 및 아질산 농도가 낮은 것을 확인하였다.
- 앞서 개시된 처리 6, 처리 6-1, 및 처리 6-2와 달리, 처리 6-3은 1 주차부터 암모니아 농도 및 아질산 농도가 0 ppm으로 확인되며, 4 주차 아질산 농도가 0.2 ppm으로 다른 조건 대비 현저하게 낮은 것을 확인하였다.
- 따라서, 열처리된 황토분말과 수경식물을 모두 포함하는 아쿠아포닉스를 조성하는 경우 수질이 1 주차부터 안정화 상태에 도달할 수 있으며, 이는 열처리된 황토분말 및 수경식물 중 어느 하나를 적용하는 방식에 비해 현저하게 빠른 시기임이 명백한 것을 확인하였다.

(9) 환수 없는 조건에서의 장기간 사육 가능여부 검토

- 일반적인 수조의 수질관리를 위하여 정기적으로 환수해야만 한다. 많은 시간과 노동력을 필요로 하는 환수 과정을 최소화하기 위하여, 열처리된 황토분말 및 수경식물을 포함하는 아쿠아포닉스에서 환수가 없이 사육 가능한 기간을 검토하였다.
- 먼저, 수량이 45 L 이하인 소형 어항을 준비하고, 어류밀도 0.1% 또는 0.25 %에 맞는 양의 물고기를 각 어항에 배치하였다.
- 상기 어항 내에는 수경식물이 제공되고 동력여과기가 제공되지 않으며, 1 주 내지 9 주 동안 물고기를 사육한 후에 분석을 실시하기로 설정하였다(9주로 설정한 것은 9주후 녹조 발생으로 환수 필요하여 실험기간 설정하였다).
- 그 중 어류밀도 0.1 %로 조정된 어항으로부터 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-9와 같다.

표 1-2-9. 수경식물 및 황토분말 처리가 환수 주기에 미치는 영향

mg/L		비교예 7-1 (모래+수경식물)			실험예 7-2 모래+수경식물+열처리된 황토		
		NH4	NO2	NO3	NH4	NO2	NO3
03월 23일	1 주	0	0	5	0	0.1	8
03월 30일	2 주	0	0	5	0	0	5
04월 12일	4 주	0	0	5	0	0	5
04월 20일	5 주	0	0	4	0	0	4
04월 26일	6 주	0	0	4	0	0	4
05월 06일	7 주	0	0	5	0	0	5
05월 20일	9 주	0.2	0	0	0.1	0	0

API 간이 수질테스터

- 상기 표 2-9는 소규모 어항에서 환수 없이 물고기를 사육 가능한 기간을 확인할 수 있다.
- 45 L 이하 규모의 소형 어항에 수경식물을 배치함으로써 동력여과기 및 환수 없이 2 개월 이상 물고기 사육 및 식물 재배가 가능한 것을 확인하였다.
- 모래 및 수경식물을 포함하는 처리 7-1은 1 주 내지 7 주 동안 암모니아 농도 및 아질산 농도가 0 ppm으로 측정되었으며, 9 주차에 암모니아 농도가 0.2 ppm으로 측정되었다.
- 모래, 수경식물, 및 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 7-2은 암모니아 농도가 1 주 내지 7 주 동안 0 ppm으로 측정되었고, 9 주차에 암모니아 농도가 0.1 ppm으로 측정되었으며, 1 주차에 아질산 농도가 0.1 ppm이 측정 되었다.
- 이에 따라, 수경식물을 포함하여 소규모 어항에서 물고기 사육을 실시하는 경우에는 무환수 조건 및 무동력 여과 조건으로도 가능함을 확인하였다.
- 이러한 경향은 어류밀도가 0.25 %인 경우에도 관찰되어 45 L 이하의 소형 어항에서는 수경식물을 포함한다면 어류밀도 0.25 % 이하인 조건에서 무환수 조건 및 무동력 여과 조건으로 1 개월 이상 식물 재배 및 물고기 사육이 가능함을 확인하였다.
- 다만, 어류밀도가 0.25 % 이상인 경우에는 본 발명의 황토분말을 포함하지 않는 경우 환수를 필요로 하는 시기가 앞당겨 졌다.
- 만일, 45 L를 초과하는 어항을 조성하는 경우에는 수경식물과 열처리된 황토분말을 갖출 뿐만 아니라 동력여과기를 추가하는 것이 바람직하며, 어류밀도를 0.25 % 초과하는 조건으로 어항을 조성하는 경우에는 질화 여과재량이 15 % 이상으로 주 2 회 내지 3 회마다 50 % 이상 환수하여야 질산염 관리가 가능한 것을 확인하였다.
- 이에 따라, 무동력 여과 조건 및 무환수 조건으로 어항을 조성하기 위해서는 45 L 이하의 규모, 어류밀도 0.25 % 이하, 수경식물 포함, 및 열처리 황토분말 포함하는 조건을 만족하는 것이 바람직하다.

(11) 수경식물과 수초의 수질개선 효과 비교

- 본 발명에서는 수경식물과 수초의 수질정화 능력을 비교하고자 다양한 수경식물 및/또는 수초를 각각의 어항에 배치하고 일정기간이 지난 후의 수질상태 변화를 비교하였다.
- 보다 상세하게, 소형 어항에 어류밀도 0.25 %로 물고기를 배치한 후, 수경식물 중 테이블 야자가 제공된 경우인 처리 8, 수초 중 작은 크기의 바테 리나나가 제공된 경우인 처리 8-1, 수초 중 큰 크기의 바테리나나가 제공된 경우인 처리 8-2를 준비하였다.
- 설정된 각 조건에서 1 주 내지 4 주 동안 물고기를 사육한 후에 채취된 시료를 분석한 결과는 하기 표 2-10과 같다.

표 1-2-10. 수경식물과 수초의 수질개선 효과 비교

mg/L	처리 8			처리 8-1			처리 8-2		
	테이블야자(수경식물)			바테리나나(소)			바테리나나(대)		
	NH4	NO2	NO3	NH4	NO2	NO3	NH4	NO2	NO3
1 주	0.25	0	4	0.5	0.01	4	1	0	4
2 주	0	0	4	0	0.25	7	0	0.3	5
3 주	0	0	0	0	0.25	0	0	0	0
4 주	0	0.1	0	0	0.5	0	0	0	10

API 간이 수질테스터

- 상기 표 2-10를 참조하면, 제공된 식물에 의한 수질개선 효과를 비교할 수 있다.
- 1 주차를 기준으로, 수초인 바테리나나는 수경식물인 테이블야자에 비해 암모니아 흡수율이 다소 낮은 것을 확인하였으나, 2주차 이후부터는 테이블야자와 동일하거나 유사한 정도로 암모니아를 흡수하여 암모니아가 측정되지 않음을 확인하였다.
- 처리 8-1의 아질산 농도는 1 주 내지 4주 전체에서 소량 검출되었는데, 아질산 농도가 거의 검출되지 않은 처리 8 및 처리 8-2에 비하면 높은 수치이므로, 수경식물을 배치하거나 다소 큰 바테리 나나를 배치하는 것이 어항 수질개선에 바람직한 것을 확인하였다.
- 추가적으로, 수경식물을 적용할 때는 뿌리발달이 좋고, 뿌리량이 많으며, 뿌리 절단 시 냄새가 나지 않는 식물을 사용하는 것을 바람직하다고 판단하였으며, 테이블야자, 스파트필름, 아그레오네오마, 알로카시아, 창포, 안스리움, 및 필로덴드론 빌리에티에를 각각 배치하여 그 효과를 확인하였다.
- 이외에도 다양한 수경식물 및/또는 수초가 제공될 수 있으므로 이를 제한하지 않으나, 황토 분말과의 시너지 효과로 현저하게 높은 녹조 제거 효과를 갖는 필로덴드론 빌리에티에가 바람직한 개체임을 확인하였다.

(12) 어류밀도에 따른 적정조건의 설정

- 앞서 개시된 조건들을 고려하여, 어류밀도, 열처리 황토분말, 수경식물 적용에 따른 무환수 유지기간, 및 어항규모에 따른 수경식물 개체수 및/또는 추가요소를 정리하였으며, 그 내용은 하기 표 2-11과 같다.

표 1-2-11. 황토분말과 수경식물 적용 어항의 권장 어류밀도 및 환수 주기

	어류밀도/구피성어기준(암수평균1g/마리)				권장 필요식물/추가요소 (10cm pot)
	0.25%		0.1%		
	마리수	유지기간	마리수	유지기간	
5~10L	10~20	1개월	5~10	2개월	1 pot+OcherDT 0.5%
11~20L	21~40		11~20		2 pots+OcherDT 0.5%
21~40L	41~80	2~3주	21~40	4~6주	2~3pots+OcherDT 0.5%
41~100L	80~400		40~200		2~3pots+OcherDT 0.5%+동력여과기

- 상기 표 2-11을 참조하면, 어류밀도, 무환수 유지기간, 및 어항규모를 고려했을 때 필요한 수경식물 개체수 및/또는 추가요소를 확인할 수 있다.
- 보다 상세하게, 수경식물 1 개체 및 열처리된 황토분말(APONIC ODT OcherDT) 0.3 중량%를 필요로 하는 조건은 어항규모 5 L 내지 10 L, 어류밀도 0.25 %, 물고기 10 마리 내지 20 마리, 및 무환수 유지기간 1 개월인 경우와 어항규모 5 L 내지 10 L, 어류밀도 0.1 %, 물고기 5 마리 내지 10 마리 및 무환수 유지기간 2 개월인 경우임을 확인하였다.

- 또한, 수경식물 2 개체 및 열처리된 황토분말(APONIC ODT OcherDT) 0.3 중량%를 필요로 하는 조건은 어항규모 11 L 내지 20 L, 어류밀도 0.25 %, 물고기 21 마리 내지 40 마리, 및 무환수 유지기간 1 개월인 경우와 어항규모 11 L 내지 20 L, 어류밀도 0.1 %, 물고기 11 마리 내지 20 마리 및 무환수 유지기간 2 개월인 경우임을 확인하였다.
- 또한, 수경식물 2 개체 내지 3 개체 및 열처리된 황토분말(아포닉 ODT, APONIC ODT) 0.3 중량%를 필요로 하는 조건은 어항규모 21 L 내지 40 L, 어류밀도 0.25 %, 물고기 41 마리 내지 80 마리, 및 무환수 유지기간 2 주 내지 3 주인 경우와 어항규모 21 L 내지 40 L, 어류밀도 0.1 %, 물고기 21 마리 내지 40 마리 및 무환수 유지기간 4 주 내지 6 주인 경우임을 확인하였다.

(13) 열처리된 황토분말 및/또는 특정 수경식물의 녹조 방제능력

- 열처리된 황토분말 및/또는 필로덴드론 빌리에티에를 적용함에 따른 녹조 방제효과를 확인하기 위한 실험을 실시하였다.
- 소형 어항(7L)에 황토분말 및 수경식물의 수질개선 효과를 알아보기 위한 실험(표 2-8)을 진행하던 중, 초기 세팅(2023/03/23) 후 약 4 주경과(2023/04/23) 하면서 수경식물을 처리하지 않은 대조구 처리 9에서 강한 녹조가 발생됨을 관찰하였다(그림 2-11).
- 이에 수경식물로 필로덴드론 빌리에티에를 수경식물 무 처리구(처리 9, 9-1)에 투입하고 녹조 제거 효과를 관찰하였다.

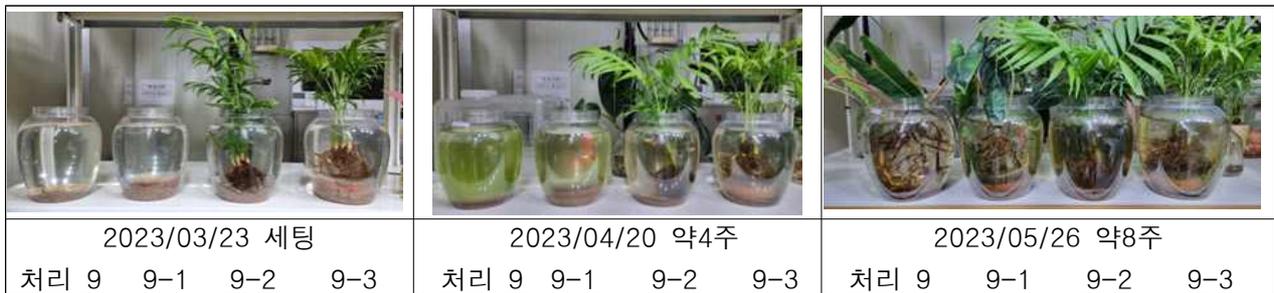


그림 1-2-11. 수경식물의 녹조 발생 지연 및 제거효과

- 처리 9와 달리, 열처리된 황토분말을 포함하는 처리 9-1에서는 녹조 현상이 보다 연한 색으로 나타난 것을 확인하였고(그림 2-11 중앙), 처리에 따라 녹조발생 정도는 무처리>황토 단독>수경식물>황토+수경의 순으로 발생되어 황토와 수경식물 병행 처리가 녹조발생을 지연하는 것으로 관찰되었다.
- 이미 발생한 녹조는 실험구 사용 수경식물(테이블야자)로는 제거하기 어려웠지만, 필로덴드론 빌리에티에를 투입하였을 때 4주가 경과하면서 녹조가 완전히 제거(그림 마-1. 우 2023/05/26)되는 것을 관찰할 수 있었다.
- 즉, 무처리, 열처리된 황토분말을 포함하는 조건, 수경식물, 수경식물+황토분말포함하는 조건 순서대로 녹조현상이 덜 발생함을 확인하였고, 기 발생한 녹조는 필로덴드론 빌리에티에를 추가 처리하면서 녹조를 제거하는 효과가 있음을 확인하였다.
- 또한, 테이블야자가 제공된 어항인 실험예 9-2 및 실험예 9-3을 살펴보면 결과, 실험예 9-3에(황토분말+테이블야자) 포함된 테이블 야자의 뿌리 생육이 실험예 9-2의 테이블야자 단독처리 대비 더 양호한 것을 확인하였다.
- 따라서, 열처리된 황토분말과 수경식물(테이블야자)는 각각 녹조발생을 지연시키는 효과가 있고, 필로덴드론 빌리에티에는 기 발생한 녹조를 제거하는 효과가 있음을 확인하였다.

(14) 여과재 조성물의 제품화

- 앞서 표 2-4의 처리 3-1에서 제조된 여과재 조성물을 특정 조건으로 제공하여 최적의 효과를 발휘하는 제품을 제조하였다.
- 먼저, 제품에 포함될 열처리된 황토분말(아포닉 ODT)의 양을 결정한다.
- 앞서 개시한 바와 같이, 열처리된 황토분말(아포닉 ODT)의 양은 사용될 수조의 크기에 따라 결정되며, 일반적으로 수(水)량의 0.2 중량% 내지 1 중량%를 준비하는 것이 바람직하다.
- 준비된 아포닉 ODT를 얇은 부직포(약 0.2 mm) 주머니에 넣고 상기 주머니에 정수된 물을 아포닉 ODT 중량의 30 중량%에 해당하는 만큼 넣은 후 아포닉 ODT를 점질화 한다.
- 점질화된 아포닉 ODT가 포함된 부직포 주머니를 다공성 용기에 다져 넣어 제품화한다. 이때, 점질화 혹은 분말화된 아포닉 ODT로 부터 지면 방향 또는 지상 방향으로 독립영양세균이 서식하기에 적합한 다공성 여과재를 더 포함할 수 있고, 상부에 수경식물을 재식하는 화분으로도의 역할을 수행할 수 있다.
- 즉, 복합여과기로서 아포닉 ODT를 포함하는 통성혐기성균 영역(B-B'), 및 독립영양세균을 포함하는 질화여과균 영역(C-C')을 포함하며, 필요에 따라 타 영역 대비 지면과 가까운 영역에 기타 광물질이 포함된 보강 영역(D-D')을 더 포함할 수 있다(그림 2-12 좌).
- 복합여과기는 수경식물을 더 포함할 수 있으며, 이를 통해 수조 내 암모니아를 보다 효과적으로 저감시킬 수 있다(그림 2-12 우).



그림1-2-12. 아포닉 ODT와 수경식물 활용 복합 여과기

- 그림 2-13 는 일반 어항에서 복합여과기를 포함하는 조건에서의 물 정화 및 순환 시스템을 나타낸 그림이다.
- 일반적인 어항에서 간편하게 복합여과기를 이용하여 ① 아포닉 ODT 조건에서 서식하는 종속영양박테리아에 의하여 유기물이 신속 분해되면서 암모니아가 만들어지고, ② 만들어진 암모니아를 수경식물이 흡수하고, ③ 잔여 암모니아는 독립영양 박테리아에 의해 질화과정을 거쳐 질산염이 되고, ④ 질산염은 다시 수경식물에 흡수되어 질산염을 최소화 시키는 수질정화 시스템이다(그림 2-13).
- 일반어항에서 복합여과기를 이용하여 간편하게 수질관리와 함께 간단 아쿠아포닉스를 적용하여 수조에 질산염 축적을 대폭적으로 낮출 수 있는 시스템이다(그림 2-13).

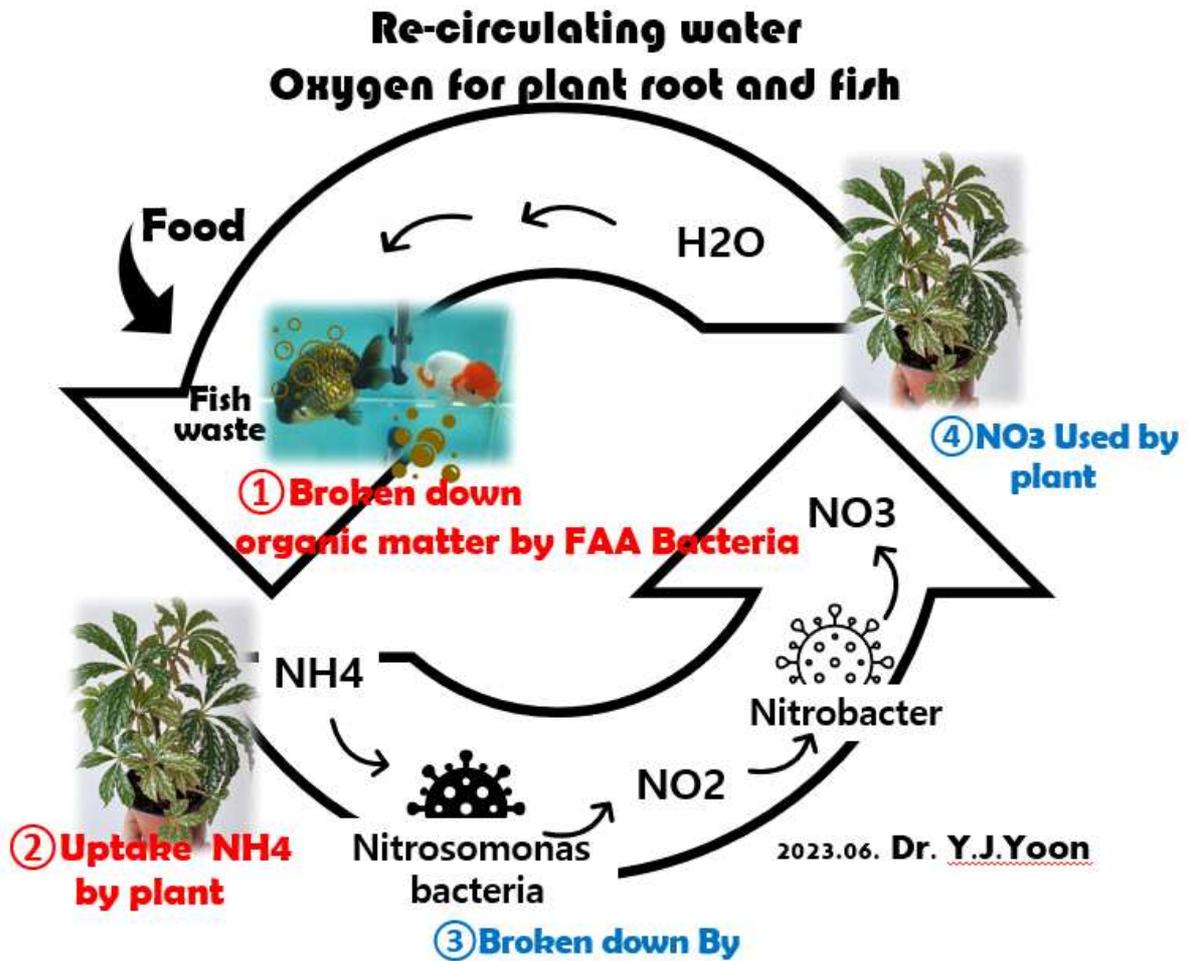


그림1-2-13. 아쿠아리움에서 4단계 수질관리 시스템

1.3. 플랜테리어용 조직배양 무균묘의 상품화 및 이용확대 연구

- 베고니아 렉스 및 원종을 이용하여 대량생산을 위한 증식을 진행하였다.
- 128구 plug tray를 이용하여 증식 진행하였고, 베고니아 크린식물 생산을 위하여 기내 증식을 진행하였고, 기내식물의 대량생산 조건을 구명하였다.





그림 1-3-1. 베고니아 기내 증식

- 화산석을 이용한 크린식물은 플랜테리어 및 다양한 이용확대를 위하여 수경관상용, 테라리움, 선물용 상품을 개발하였다.
- 테라리움은 고습도 조건에서 오랫동안 감상할 수 있는 이용형태로 성공적인 테라리움 제작을 위해서는 첫 번째가 적합한 식물의 선택이며, 곰팡이, 세균등이 발생할 수 있는 호조건(고습도)이므로 양분 요구도가 낮고, 유기물 재료보다는 무기물 재료를 사용하는 것이 적합할 것으로 판단된다.



그림 1-3-2. 무기토양 이용한 테라리움 상품 개발



그림 1-3-3. 수경재배용 상품개발



그림 1-3-4. 무기토양 화산석을 이용한 선물용 상품 개발(화산석+수태)

- 관상용 식물을 이용하여 아쿠아리움 적용 확대를 위하여 500ml 삼각플라스크에 식물과 물고기(어체중 0.25%)를 투입하였을 때 수경식물을 투입하지 않은 구를 비교하였다.
- 그림과 같이 수경식물 투입구에서 4주 이상 물고기가 활발하게 생존하는 것을 관찰할 수 있었다(그림 3-5 우, 상).
- 수경식물 투입 후 3일 후에 API 간이 수질테스터를 이용하여 검사한 결과 수경식물 미투입구는 암모니아 아질산 질산염 모두 검출된 반면(그림 3-5 우 하 우), 수경식물 투입구(상, 하 좌)는 암모니아, 아질산, 질산염 모두 검출되지 않은 것을 관찰할 수 있었다.
- 이 현상은 수경식물의 뿌리에 질화균이 생존하여 질화과정을 거쳤다고 판단 할 수 없고(질화균-호기성 독립영양박테리아는 1회 증식에 하루정도가 소요됨으로 질화과정이 완성되기 위해서는 충분한 암모니아와 약 2주이상의 시간이 필요), 수경식물에 의한 암모니아의 수동적인 흡수라고 판단할 수 있다.
- 이상의 결과를 볼 때 아쿠아리움에 수경식물의 적용은 질산염 흡수(광에너지가 있어야만 흡수됨)가 제한적인 반면 암모니아는 광 에너지와 상관없이 24시간 흡수 가능하여 질화과정 없이 암모니아를 직접적으로 흡수할 수 있는 수경식물의 적용이 바람직할 것으로 판단된다.
- 그러므로 관상용 실내식물은 어항을 좀더 확대하여 적용하면 8주 이상 적용 가능할 것으로 판단되고, 다양한 방법으로 아쿠아리움에 적용되어 어류 분비물 및 사료찌꺼기로부터 발생하는 암모니아의 제거 수단으로 매우 적적할 것이다(그림 1-3-5, 1-3-6).



그림 1-3-5. 수경식물을 이용한 아쿠아리움 수질정화



그림 1-3-6. 수경식물을 이용한 아쿠아리움 수질정화

2. 플랜테리어용 실내 재배기 전용 실내식물 생산 재배 환경 연구(충북농업기술원)

2.1. 플랜테리어용 수경 적합식물 선발(1년차)

- 시험수행을 위한 양액 조성은 엽채류 배양액 조성에 준하여 양액을 조성하여 공급하였다.
- 배양액 공급은 순환형 박막수경(NFT, Nutrient Film Technique) 형식으로 2시간 간격으로 하루 5회 공급하였고, 1회 공급시 2분 동안 공급하였다. 배양액의 EC는 2.0 ds·m⁻¹ 로 하였고, pH는 5.8로 하였다.

표 2-1-1. 순환식 전용 양액 조성표

비료염의 종류		100배 원액 (1,000L당)
A액	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O (질산칼슘 4수염)	29.6 kg
	KNO ₃ (질산칼륨)	20.3 kg
	Fe EDTA (13%) (철-EDTA)	4.0 kg
B액	KNO ₃ (질산칼륨)	20.3 kg
	NH ₄ H ₂ PO ₄ (인산암모늄)	5.8 kg
	KH ₂ PO ₄ (제1인산칼륨)	6.9 kg
	MgSO ₄ ·7H ₂ O (황산마그네슘)	12.4 kg
	MnSO ₄ ·4H ₂ O (황산망간)	300.0 g
	ZnSO ₄ ·7H ₂ O (황산아연)	88.0 g
	H ₃ BO ₃ (붕산)	450.0 g
	CuSO ₄ ·5H ₂ O (황산구리)	50.0 g
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O (몰리브덴산나트륨)	4.0 g	



포장 전경

식용꽃(메리골드)

관엽식물(자금우)

그림 2-1-1. 수경재배에 적합한 식용꽃 및 관엽식물 선발

- 관엽식물의 생육은 정식 전 생체중을 측정하고, 정식 60일 후, 120일 후 생체중을 측정하였다.
- 시험식물 중 산세베리아, 스킨답서스, 스킨답서스의 생육이 양호하였다. 산세베리아의 생체중 증가율은 1.53배, 스킨답서스는 2.91배, 싱고니움은 2.7배로 조사되었다.
- 반면에 자금우와 테이블야자의 생체중 증가율은 1.18배, 1.16배로 증가율이 높지 않았다.

표 2-1-2. 관엽식물 정식기간에 따른 생체중 변화

작물명	정식전	정식 후 60일		정식 후 120일		생육상태 ^z (0~9)
	(g/개체) A	생체중 B	증가율 (B/A)	생체중 C	증가율 (C/A)	
산세베리아	85.4	102.6	1.20	130.5	1.53	9
스킨답서스	32.7	61.4	1.88	95.0	2.91	9
싱고니움	15.3	24.8	1.62	41.3	2.70	5
자 금 우	6.2	6.8	1.10	7.3	1.18	3
테이블야자	9.3	10.1	1.09	10.8	1.16	3

^z : 0(불량), 5(보통), 9(좋음)

- 식용꽃 5종의 생육은 토레니아가 가장 양호하였다. 정식 전 생체중을 정식 120일 후 생체중과 비교하였을 때 증가율은 토레니아가 3.86배로 가장 높았다.
- 그 외에는 메리골드(1.25)>임파첸스(1.22)>패랭이(1.17)>베고니아(1.15)순으로 높았는데, 토레니아와 비교하면 생체중 증가율이 높지 않았다.

표 2-1-2. 식용꽃 정식기간에 따른 생체중 변화

작물명	정식전	정식 후 60일		정식 후 120일		생육상태 ^z (0~9)
	(g/개체) A	생체중 B	증가율 (B/A)	생체중 C	증가율 (C/A)	
메리골드	9.2	10.4	1.13	11.5	1.25	7
베고니아	2.7	3.0	1.11	3.1	1.15	3
임파첸스	1.8	2.1	1.17	2.2	1.22	3
토레니아	0.7	1.5	2.14	2.7	3.86	9
패랭이	1.2	1.3	1.08	1.4	1.17	1

^z : 0(불량), 5(보통), 9(좋음)

2.2. 플랜테리어용 크린 식물 수경재배 생산 환경 구명(1년차)

- 시험 1과 동일하게 양액조성은 엽채류 배양액 조성에 준하여 양액을 조성하여 공급하였다.
- 배양액 공급은 순환형 박막수경(NFT, Nutrient Film Technique) 형식으로 2시간 간격으로 하루 5회 공급하였고, 1회 공급시 2분 동안 공급하였다.
- 배양액의 EC는 1.2, 1.6, 2.0 $ds\cdot m^{-1}$ 3수준으로 하였고, pH는 5.8로 하였다. 식물체 정식은 상부직경 6cm, 높이 6cm 크기의 화분에 용토를 제올라이트, 코코피트, 펄라이트, 황토볼로 달리하여 정식하였다.
- 산세베리아는 EC 농도가 높을수록 지상부와 지하부 생육이 증가하였으며 용토에서는 수분 보유력이 높은 제올라이트에서 생육이 가장 양호하였다.
- 스킨답서스는 EC 농도가 높을수록 지상부와 지하부 생육이 증가하였으며 용토에서는 제올라이트와 코코피트에서 생육이 가장 양호하였다.
- 자금우는 EC 농도에 따른 지상부와 지하부의 생육이 비슷하였으며 용토에서는 황토볼에서 가장 양호하였다.
- 싱고니움은 EC 농도가 높을수록 엽수가 증가하였으나 줄기굵기는 얇았으며 용토에서는 코코피트에서 생육이 가장 양호하였다.

- 테이블야자는 EC 농도 및 용토별 처리효과가 미미하여 처리간 생육이 비슷하였다.
- 메리골드는 EC 농도가 높을수록 지상부와 지하부 생육이 증가하였으며 용토에서는 황토볼에서 생육이 가장 양호하였다.
- 베고니아는 EC 농도 및 용토별 처리효과가 미미하여 처리간 생육이 비슷하였다.
- 임파첸스는 EC 농도 및 용토별 처리효과가 미미하여 처리간 생육이 비슷하였으며 꽃수와 생체중도 처리간 차이를 보이지 않았다.
- 토레니아는 EC 농도가 높을수록 지상부와 지하부 생육이 증가하였으며 용토에서는 황토볼에서 생육이 가장 양호하였다.
- 패랭이는 EC 농도 및 용토별 처리효과가 미미하여 처리간 생육이 비슷하였다.

표 2-2-1. 관엽식물 ‘산세베리아’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/개체)	엽두께 (mm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	생체중 (g)	뿌리길이 (cm)
1.2	제올라이트	25.7 bc ²	8.6 a-c	4.0 c	2.68 b	28.3 e	78.9 a	122 c	6.9 cd
	코코피트	25.1 cd	8.3 cd	5.3 ab	2.33 d	26.0 g	78.8 a	116 cd	6.5 d
	펄라이트	21.9 e	7.7 d	4.0 c	2.70 b	24.8 h	67.0 b	107 d	6.4 d
	황 토 볼	23.8 de	8.6 a-c	5.3 ab	2.35 d	26.5 g	61.2 d	119 cd	6.6 d
1.6	제올라이트	26.9 bc	9.3 a	5.7 ab	2.65 b	30.4 c	61.5 d	145 ab	8.2 a-d
	코코피트	25.9 bc	8.4 b-d	5.0 b	2.52 c	27.6 f	64.3 c	141 b	7.1 b-d
	펄라이트	23.7 de	8.2 cd	5.0 b	2.32 d	29.5 d	67.8 b	143 b	8.4 a-d
	황 토 볼	27.5 b	7.6 d	5.3 ab	2.32 d	27.7 ef	60.6 d	112 cd	9.8 a
2.0	제올라이트	30.8 a	9.1 ab	5.0 b	2.92 a	34.1 a	64.3 c	158 a	8.4 a-d
	코코피트	27.0 bc	8.1 cd	5.7 ab	2.47 c	30.4 c	68.5 b	151 ab	8.4 a-d
	펄라이트	27.6 b	8.7 a-c	5.0 b	2.29 d	32.3 b	54.5 e	141 b	8.7 a-c
	황 토 볼	22.2 e	8.3 cd	6.0 a	2.06 e	27.8 ef	55.1 e	112 cd	9.1 ab

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test p≤0.05 level

표 2-2-2. 관엽식물 ‘스킨답서스’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/개체)	엽두께 (mm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	생체중 (g)	뿌리길이 (cm)
1.2	제올라이트	78.8 de ²	9.1 a	17.3 a	0.28 e	5.73 a	30.9 e	114 c	28.1 ef
	코코피트	94.7 bc	8.4 c	13.7 d	0.26 fg	5.62 a	37.2 c	128 b	29.2 de
	펄라이트	81.2 de	8.9 a	14.7 b-d	0.23 h	4.68 d-f	26.4 f	76 d	21.5 g
	황 토 볼	78.5 de	9.2 a	15.3 a-d	0.24 gh	4.51 g	24.8 g	62 d	18.8 h
1.6	제올라이트	86.6 cd	7.1 e	16.7 ab	0.33 bc	4.83 bc	45.1 a	112 c	29.5 de
	코코피트	101.4 ab	7.0 e	16.3 a-c	0.32 cd	4.71 c-e	41.6 b	133 ab	31.1 d
	펄라이트	72.8 e	7.7 d	16.0 a-d	0.30 d	4.75 cd	45.3 a	100 c	25.9 f
	황 토 볼	74.7 e	7.7 d	15.3 a-d	0.27 ef	4.76 cd	36.6 c	106 c	18.0 h
2.0	제올라이트	111.3 a	8.0 cd	15.3 a-d	0.32 cd	4.91 b	42.9 b	133 ab	44.2 a
	코코피트	96.6 bc	8.8 ab	16.7 ab	0.36 a	4.60 e-g	45.0 a	147 a	43.5 a
	펄라이트	100.4 b	8.9 a	14.3 b-d	0.32 bc	4.59 fg	37.9 c	113 c	37.8 c
	황 토 볼	93.2 bc	8.4 bc	14.0 cd	0.34 ab	4.50 g	34.5 d	102 c	40.9 b

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test p≤0.05 level.

표 2-2-3. 관엽식물 ‘자금우’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/개체)	엽두께 (mm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	생체중 (g)	뿌리길이 (cm)
1.2	제올라이트	17.5 ab ²	3.1 b-d	12.3 b-d	0.16 d	2.95 a-d	32.6 d	4.0 d	11.5 ab
	코코피트	17.5 ab	3.4 ab	12.0 c-e	0.18 c	2.77 d-f	36.7 bc	4.7 d	8.0 d
	펄라이트	17.5 ab	3.2 a-c	12.7 b-d	0.17 d	2.85 b-e	36.9 bc	5.0 cd	8.5 cd
	황 토 볼	17.6 ab	3.4 ab	12.0 c-e	0.12 f	3.03 a-d	47.5 a	5.3 b-d	12.2 a
1.6	제올라이트	18.4 ab	3.4 a	12.3 b-d	0.15 de	3.06 a-c	45.0 a	5.0 ab	10.8 ab
	코코피트	16.3 b	3.2 b-d	13.3 a-c	0.14 ef	2.68 ef	39.5 b	4.7 d	8.5 cd
	펄라이트	18.9 a	3.0 cd	12.3 b-d	0.18 c	2.57 f	38.4 b	5.0 cd	9.8 bc
	황 토 볼	19.3 a	3.1 b-d	14.3 a	0.20 b	2.79 c-f	45.9 a	6.5 ab	10.8 ab
2.0	제올라이트	18.3 ab	3.1 cd	12.7 b-d	0.16 d	3.02 a-d	45.1 a	6.0 a-c	7.7 d
	코코피트	18.6 ab	3.0 d	11.7 de	0.19 bc	3.17 a	34.3 cd	6.1 a-c	7.9 d
	펄라이트	18.6 ab	3.1 b-d	10.7e	0.19 bc	2.94 a-e	45.1 a	6.3 ab	9.9 bc
	황 토 볼	18.9 a	3.5 a	13.7 ab	0.23 a	3.12 ab	47.0 a	7.1 a	10.9 ab

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan’s multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-4. 관엽식물 ‘싱고니움’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/개체)	엽두께 (mm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	생체중 (g)	뿌리길이 (cm)
1.2	제올라이트	18.7 f ²	5.7 cd	14.0 g	0.21 a	14.1 f	31.8 g	34 d	10.3 g
	코코피트	20.9 e	6.0 b	22.7 f	0.15 e	29.9 a	27.4 h	53 a	16.5 e
	펄라이트	17.5 f	5.4 f	14.7 g	0.20 b	20.4 c	37.1 d-f	37 d	12.0 fg
	황 토 볼	21.9 de	5.7 c	22.7 f	0.19 b	21.6 b	35.5 ef	46 b	13.4 f
1.6	제올라이트	24.2 bc	5.0 g	27.7 de	0.16 de	11.6 g	39.0 b-d	18 f	20.4 cd
	코코피트	26.5 a	5.8 bc	31.0 bc	0.16 d	14.2 f	31.3 b-d	35 d	23.6 b
	펄라이트	23.4 cd	4.6 h	25.0 ef	0.16 de	11.0 g	35.9 ef	23 e	27.8 a
	황 토 볼	25.7 ab	5.4 ef	26.4 de	0.17 d	15.4 e	41.0 a	20 ef	19.7 d
2.0	제올라이트	23.3 cd	5.5 d-f	33.7 b	0.18 c	11.5 g	37.7 c-e	42 c	20.2 cd
	코코피트	27.5 a	6.3 a	36.7 a	0.18 c	17.8 d	31.9 c-e	47 b	26.4 a
	펄라이트	21.9 de	5.7 c-e	28.7 cd	0.19 bc	14.1 f	39.8 ab	39 c	17.6 e
	황 토 볼	22.7 c-e	5.4 f	33.7 b	0.18 c	17.4 d	39.6 a-c	36 d	22.0 bc

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan’s multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-5. 관엽식물 ‘테이블야자’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개/개체)	엽두께 (mm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	생체중 (g)	뿌리길이 (cm)
1.2	제올라이트	41.9 cd ²	1.2 c	15.0 ab	0.08 d	6.14 b	26.8 a	10 c-e	6.0 a
	코코피트	43.8 a-c	1.2 cd	15.3 ab	0.11 b	5.78 c	26.0 ab	13 a-c	5.7 a
	펄라이트	44.2 a	1.3 c	14.3 bc	0.09 c	4.77 g	24.5 bc	7 g	5.5 a
	황 토 볼	43.4 a-c	1.2 c	15.7 a	0.10 c	5.06 f	23.8 cd	14 ab	5.5 a
1.6	제올라이트	42.0 b-d	1.1 d	14.3 bc	0.08 d	5.41 d	24.0 cd	10 d-g	5.5 a
	코코피트	41.2 d	1.6 a	15.7 a	0.09 c	6.79 a	26.0 ab	12 a-d	5.7 a
	펄라이트	42.1 b-d	1.0 e	14.3 bc	0.08 d	4.06 i	22.6 de	7 fg	5.5 a
	황 토 볼	44.5 a	1.4 b	15.7 a	0.13 a	4.61 h	23.4 cd	14 ab	6.1 a
2.0	제올라이트	42.7 a-d	1.2 cd	14.3 bc	0.13 a	5.22 e	19.9 f	10 c-f	5.5 a
	코코피트	37.3 e	1.4 b	13.3 c	0.11 b	5.71 c	26.8 a	11 b-e	5.8 a
	펄라이트	44.0 ab	1.2 c	15.3 ab	0.11 b	5.41 d	21.0 ef	9 e-g	5.5 a
	황 토 볼	42.6 a-d	1.2 cd	14.7 ab	0.11 b	5.18 ef	22.5 de	14 a	5.6 a

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan’s multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-6. 식용꽃 '메리골드' EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	화폭 (mm)	엽록소 (SPAD)	뿌리길이 (cm)	생체중 (g)
1.2	제올라이트	18.2 h ^z	2.1 ef	0.9 f	3.18 c	34.5 f	41.7 ab	22.5 f	22 f
	코코피트	21.0 ef	2.0 f	0.8 f	3.06 de	35.8 e	38.8 b	19.2 g	11 h
	펄라이트	20.3 f	1.6 g	1.2 cd	2.69 g	32.0 g	38.7 b	24.1 f	16 g
	황 토 볼	24.2 c	2.3 de	1.6 a	3.14 cd	29.1 h	41.9 ab	30.6 e	18 fg
1.6	제올라이트	23.0 d	2.6 bc	1.2 bc	3.03 de	41.9 a	43.0 ab	40.7 d	19 fg
	코코피트	19.2 g	2.6 bc	1.1 d	3.14 cd	39.4 cd	46.1 a	32.4 e	20 f
	펄라이트	21.9 e	2.7 ab	1.1 de	3.07 c-e	40.9 b	46.3 a	29.6 e	18 fg
	황 토 볼	24.1 c	2.8 a	1.0 e	2.97 ef	42.2 a	42.3 ab	42.4 d	26 e
2.0	제올라이트	23.4 cd	2.4 cd	1.3 b	4.56 a	42.5 a	44.9 a	54.7 b	40 c
	코코피트	26.3 b	2.7 ab	1.1 d	4.60 a	42.1 a	44.8 a	52.7 b	48 b
	펄라이트	24.2 c	2.8 a	1.2 cd	2.92 f	40.3 bc	44.4 a	47.5 c	36 d
	황 토 볼	32.8 a	2.9 a	1.3 b	3.75 b	39.2 d	46.2 a	68.1 a	56 a

^zDifferent letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-7. 식용꽃 '베고니아' EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	화폭 (mm)	엽록소 (SPAD)	꽃수 (개/개체)	생체중 (g)
1.2	제올라이트	10.7 de ^z	6.2 ab	6.2 a	4.52 g	25.8 e	28.2 c	3.8 d	2.7 b
	코코피트	9.6 e	5.6 c	6.0 a	4.25 h	26.0 de	29.2 bc	5.2 b	2.8 ab
	펄라이트	11.6 a-d	6.0 abc	5.9 a	5.52 e	26.9 a	28.0 c	5.8 a	2.8 ab
	황 토 볼	10.7 de	5.8 bc	5.3 b	5.02 f	26.4 b-d	29.4 bc	4.4 c	2.9 ab
1.6	제올라이트	10.8 cd	6.2 ab	6.0 a	5.06 f	26.4 b-d	28.4 c	4.2 cd	2.7 ab
	코코피트	11.0 b-d	6.0 abc	6.1 a	5.12 f	26.5 a-c	28.9 bc	4.1 cd	2.8 ab
	펄라이트	11.4 a-d	6.2 ab	6.1 a	6.23 c	26.7 ab	29.4 bc	4.0 cd	2.8 ab
	황 토 볼	11.9 a-c	6.4 a	6.2 a	6.59 a	26.2 c-e	30.4 b	4.2 cd	2.9 ab
2.0	제올라이트	10.7 c-e	6.0 abc	5.9 a	5.62 e	26.3 b-d	29.1 bc	4.0 cd	2.8 ab
	코코피트	10.9 b-d	6.1 abc	6.0 a	5.82 d	26.4 b-d	29.4 bc	4.2 cd	2.9 ab
	펄라이트	12.1 ab	6.2 ab	6.2 a	6.42 b	26.7 ab	30.5 b	4.4 c	3.1 a
	황 토 볼	12.4 a	6.3 a	6.3 a	6.14 c	26.5 a-c	33.1 a	4.4 c	3.1 a

^zDifferent letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-8. 식용꽃 '임파첸스' EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	화폭 (mm)	엽록소 (SPAD)	꽃수 (개/개체)	생체중 (g)
1.2	제올라이트	9.3 de ^z	3.1 a	2.1 ab	4.5 d	32.5 ab	41.4 ab	9 a	2.1 a
	코코피트	8.4 e	2.5 bc	2.1 ab	4.5 d	29.2 e	29.8 e	5 e	2.0 a
	펄라이트	8.8 e	2.6 bc	2.1 ab	4.6 cd	32.7 bc	30.2 e	7 bc	2.0 a
	황 토 볼	8.9 e	2.4 bc	2.2 a	4.9 a-d	30.9 cd	29.6 e	7 ab	2.1 a
1.6	제올라이트	10.1 cd	2.4 bc	2.1 ab	4.6 cd	32.4 ab	40.2 c	7 b-d	2.1 a
	코코피트	10.4 bc	2.5 bc	2.1 ab	4.7 cd	30.4 d	41.1 ab	7 bc	2.0 a
	펄라이트	10.5 bc	2.5 bc	2.1 ab	4.7 cd	31.4 b-d	39.8 c	5 de	2.1 a
	황 토 볼	11.1 a-c	2.7 b	2.1 ab	4.9 a-c	32.2 ab	37.8 d	7 ab	2.1 a
2.0	제올라이트	11.0 a-c	2.3 c	2.0 b	4.8 b-d	32.5 ab	41.2 ab	6 c-e	2.2 a
	코코피트	11.5 ab	2.4 bc	2.2 a	4.9 a-c	32.4 ab	40.2 c	7 bc	2.2 a
	펄라이트	11.3 ab	2.4 bc	2.2 a	5.1 ab	32.3 ab	41.7 a	7 b-d	2.1 a
	황 토 볼	11.7 a	2.6 bc	2.2 a	5.2 a	33.1 a	40.5 bc	7 b-d	2.3 a

^zDifferent letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-9. 식용꽃 ‘토레니아’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	엽록소 (SPAD)	뿌리길이 (cm)	생체중 (g)
1.2	제올라이트	5.6 de ²	3.5 cd	2.3 b-d	2.04 b-d	26.5 cd	6.3 ab	1.3 de
	코코피트	4.2 f	2.6 f	1.6 e	1.56 d	23.3 g	5.2 d	1.0 e
	펄라이트	4.2 f	3.0 ef	1.5 e	1.64 cd	24.9 ef	6.4 a	1.0 e
	황 토 볼	6.1 b-d	3.7 cd	2.4 b-d	2.15 b-d	27.4 bc	6.5 a	1.4 c-e
1.6	제올라이트	5.8 c-e	3.3 de	2.9 a	2.60 bc	26.0 de	6.0 a-c	1.3 de
	코코피트	5.4 e	2.9 ef	2.7 ab	3.52 a	24.7 f	6.1 a-c	1.0 e
	펄라이트	5.6 de	3.7 cd	2.1 d	2.24 b-d	25.1 ef	5.6 cd	1.3 de
	황 토 볼	6.4 bc	3.9 bc	2.2 cd	2.14 b-d	26.5 cd	6.4 a	1.7 b-d
2.0	제올라이트	6.5 b	4.4 a	2.1 d	2.24 b-d	28.7 a	5.7 b-d	2.0 bc
	코코피트	5.8 c-e	4.3 ab	2.4 b-d	2.11 b-d	28.4 ab	5.5 cd	2.7 a
	펄라이트	7.3 a	3.7 cd	2.6 a-c	2.38 b-d	29.1 a	5.6 cd	1.3 de
	황 토 볼	7.2 a	4.3 ab	2.6 a-c	2.80 ab	28.7 a	6.5 a	2.0 b

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan’s multiple range test $p \leq 0.05$ level.

표 2-2-10. 식용꽃 ‘패랭이’ EC 농도별 및 용토별 신초 생육(정식 후 120일)

EC	용 토	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	꽃잎두께 (mm)	화경장 (cm)	화경경 (mm)	꽃수 (개/개체)	생체중 (g)
1.2	제올라이트	6.3 d	23.3 cd	1.84 e	0.15 ab	2.3 ef	1.1 bc	4 i	1.3 ab
	코코피트	6.1 d	21.9 e	2.68 d	0.14 bc	2.4 de	0.7 ef	6 d-f	1.3 ab
	펄라이트	7.2 a-d	21.8 e	2.84 b-d	0.14 c	3.0 a	0.6 f	9 a	1.2 ab
	황 토 볼	7.4 a-c	24.4 bc	3.00 ab	0.15 a-c	2.4 c-e	1.2 ab	8 ab	1.2 ab
1.6	제올라이트	6.2 d	22.7 de	1.91 e	0.15 ab	2.1 f	0.8 de	5 f-h	1.1 b
	코코피트	6.5 cd	23.4 cd	2.75 cd	0.16 a	2.3 ef	0.9 d	5 g-i	1.2 ab
	펄라이트	7.1 a-d	24.1 bc	2.91 bc	0.14 bc	2.5 b-d	0.7 ef	4 hi	1.2 ab
	황 토 볼	6.9 b-d	25.4 ab	3.11 a	0.16 a	2.6 bc	1.0 c	7 cd	1.3 ab
2.0	제올라이트	6.3 d	21.7 e	2.01 e	0.14 bc	2.4 de	0.8 de	4 hi	1.2 ab
	코코피트	7.1 a-d	24.4 bc	2.77 cd	0.15 ab	2.5 b-d	0.7 ef	6 c-e	1.2 ab
	펄라이트	8.0 ab	24.6 a-c	3.01 ab	0.15 ab	2.5 b-d	1.1 bc	5 e-g	1.3 ab
	황 토 볼	8.1 a	25.8 a	3.18 a	0.15 ab	2.7 b	1.3 a	7 bc	1.4 a

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan’s multiple range test $p \leq 0.05$ level.

2.3. 플랜테리어용 크린식물 아쿠아포닉스 재배 생산 환경 구명(2년차)

- 시험은 순환식 담액수경 아쿠아포닉스 형태로 재배되었다. 대상식물은 임파첸스, 페츄니아, 관엽식물 ‘레몬라임’으로 하였고, 대상어종은 향어로 하였다.
- 200L 물탱크에 향어의 마리수와 어체중을 달리하여 처리하였다. 식물에는 1일 5분씩 물을 공급하였고, 공급 후 남은 물은 다시 물고기 사육 탱크로 유입되었다.
- 양어수 수질을 분석한 결과 pH는 6.1~7.7의 범위에 분포하였고, EC는 처리간에 0.4~0.5로 차이가 크지 않았다.
- 양어수 4마리가 들어간 처리구에서 질산태 질소($\text{NO}_3\text{-N}$) 4.1mg/l, 암모니아태 질소($\text{NH}_4\text{-N}$) 4.7mg/l, 질소 함량 12.2mg/l로 가장 높았다.
- 또한 화학적 산소요구량(COD), 인산, 칼리의 함량 및 미량원소의 함량도 양어수 4마리가 들어가 처리에서 높은 경향이였다.

표 2-3-1. 양어수 수질

처리내용 (마리수/200ℓ)	pH	EC (ds/m)	성분함량(mg/l)									
			NO ³ -N	NH ⁴ -N	COD	SS	T-N	T-P	Na ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1마리(1.5kg)	7.7	0.4	2.0	0.2	23.7	60.5	9.3	0.6	26.8	5.4	12.3	41.5
2마리(0.75kg)	6.5	0.4	3.2	0.2	32.8	45.5	6.6	0.4	27.2	6.2	12.6	43.0
4마리(1.5kg)	6.1	0.5	4.1	4.7	55.5	37.5	12.2	1.3	29.9	8.6	13.3	49.5

- 재배 8주 후, 임파첸스의 생육을 비교한 결과 초장은 양어수 1마리 처리구에서 16.4cm로 가장 컸지만 통계적 유의성은 없었다.
- 경경은 10.6~11.5mm에 분포하였고, 엽장, 엽폭, 엽수 등도 통계적 차이가 없었다. SPAD value는 4마리 처리구에서 29.4로 가장 높았다. 화폭, 화경장, 화경경 등은 처리 간에 통계적 차이가 없었다.

표 2-3-2. 식용꽃 '임파첸스' 생육 변화

처리내용 (마리수/200ℓ)	주차	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value
1마리(1.5kg)	2	14.2±0.31 ²	8.2±0.27	4.1±0.09	3.4±0.05	54.8±3.10	29.2±0.80
	4	14.5±0.28	8.9±0.30	4.3±0.15	3.2±0.09	56.6±3.82	23.7±1.29
	6	16.2±1.05	10.8±0.43	4.6±0.15	3.2±0.08	69.8±9.86	21.3±1.84
	8	16.4±0.88	11.5±0.36	4.10±0.11	2.9±0.15	59.2±7.47	23.0±2.15
2마리(0.75kg)	2	15.6±0.83	8.8±0.46	4.4±0.23	3.4±0.07	61.8±3.56	28.9±0.86
	4	15.7±0.55	9.3±0.37	4.5±0.17	3.4±0.02	66.4±4.13	25.7±0.92
	6	14.8±0.69	10.5±0.24	4.4±0.17	3.5±0.11	84.6±13.79	20.5±1.60
	8	14.3±0.78	11.0±0.26	4.1±0.48	3.1±0.11	91.6±14.93	21.0±2.28
4마리(1.5kg)	2	15.2±0.85	8.7±0.45	4.7±0.11	3.3±0.10	72.6±4.76	30.3±1.88
	4	16.1±0.65	10.3±0.31	4.7±0.13	3.4±0.08	75.8±3.48	25.9±1.10
	6	17.1±0.88	10.7±0.31	4.7±0.07	3.4±0.09	78.8±3.84	22.7±1.05
	8	15.8±0.84	10.6±0.73	4.4±0.27	3.2±0.15	81.8±4.83	29.4±1.75

²평균±표준오차

표 2-3-3. 식용꽃 '임파첸스' 처리별 생육 비교(정식 8주 후)

처리내용 (마리수/200ℓ)	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value	화폭 (cm)	화경장 (cm)	화경경 (mm)
1마리(1.5kg)	16.4 a ²	11.5 a	4.1 a	2.9 a	59.2 a	23.0 ab	4.6 a	3.2 a	1.18 a
2마리(0.75kg)	14.3 a	11.0 a	4.1 a	3.1 a	91.6 a	21.0 b	4.5 a	3.0 a	1.32 a
4마리(1.5kg)	15.8 a	10.6 a	4.4 a	3.2 a	81.8 a	29.4 a	4.7 a	3.2 a	1.36 a

²DMRT = 5%

- 페츄니아도 초장은 양어수 1마리 처리구에서 32.1cm로 가장 컸지만, 처리간 통계적 유의성은 없었다.
- 그 외에 경경, 엽장, 엽폭, 엽수 등도 처리간에 차이가 없었고, SPAD value는 2마리, 4마리 처리구에서 각각 23.0, 21.0으로 높았다. 화폭과 화경장도 처리 간에 통계적 차이는

없었고, 화경경은 4마리 처리에서 1.41mm로 가장 높았다.

표 2-3-4. 식용꽃 '페츄니아' 생육 변화

처리내용 (마리수/200ℓ)	주차	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value
1마리(1.5kg)	2	22.8±3.13 ^z	2.6±0.08	5.1±0.29	2.9±0.23	22.6±1.72	15.3±3.58
	4	27.1±3.96	2.6±0.08	4.5±0.23	2.7±0.20	22.8±3.83	17.2±4.15
	6	30.6±2.16	2.3±0.24	4.0±0.27	2.6±0.19	25.6±1.40	16.9±3.29
	8	32.1±2.50	2.3±0.19	3.7±0.47	2.3±0.31	22.8±1.93	17.0±2.44
2마리(0.75kg)	2	24.2±3.19	2.2±0.08	4.7±0.40	2.8±0.17	27.6±1.21	25.9±2.99
	4	26.3±3.58	2.4±0.14	3.7±0.47	2.7±0.14	24.4±2.99	25.9±0.39
	6	24.8±4.01	2.3±0.19	4.4±0.32	2.5±0.20	25.6±2.40	23.4±1.69
	8	26.3±3.60	2.3±0.17	4.5±0.37	2.6±0.13	25.4±1.08	23.0±1.18
4마리(1.5kg)	2	23.4±2.36	2.4±0.17	4.8±0.41	2.9±0.17	25.2±1.93	21.3±1.49
	4	26.4±2.51	2.5±0.18	4.7±0.33	2.8±0.04	30.4±1.75	25.0±1.13
	6	26.6±3.66	3.0±0.32	4.6±0.24	2.6±0.16	21.8±1.93	24.2±1.55
	8	29.7±3.30	2.3±0.13	4.0±0.36	2.5±0.14	20.4±1.50	21.0±2.78

^z평균±표준오차

표 2-3-5. 식용꽃 '페츄니아' 처리별 생육 비교(정식 8주 후)

처리내용 (마리수/200ℓ)	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value	화폭 (cm)	화경장 (cm)	화경경 (mm)
1마리(1.5kg)	32.1 a ^z	2.3 a	3.7 a	2.3 a	22.8 a	17.0 a	5.3 a	1.9 a	1.30 ab
2마리(0.75kg)	26.3 a	2.3 a	4.5 a	2.6 a	25.4 a	23.0 a	5.7 a	1.8 a	1.11 b
4마리(1.5kg)	29.7 a	2.3 a	4.0 a	2.5 a	20.6 a	21.0 a	5.8 a	1.7 a	1.41 a

^zDMRT = 5%

- 관엽식물 레몬라임의 식물체 초장은 처리 간에 11.6~12.1cm 의 범위에 분포하며 처리 간에 차이는 없었다.
- 경경은 10.5~12.1mm의 범위, 엽장은 9.2~9.5cm의 범위에 분포하며 처리 간 차이가 미비하였고, 엽폭은 4마리 처리에서 4.4cm로 가장 높았다. 엽수와 SPAD value는 처리 간에 차이가 없었다.

표 2-3-6. 관엽식물 '레몬라임' 생육 변화

처리내용 (마리수/200ℓ)	주차	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value
1마리(1.5kg)	2	11.8±0.21 ^z	7.7±0.44	9.2±0.13	4.1±0.19	8.8±0.37	12.3±1.10
	4	12.0±0.15	8.7±0.32	9.2±0.10	4.2±0.10	9.6±0.24	15.4±1.63
	6	11.9±0.15	10.1±0.31	9.2±0.12	4.2±0.10	9.6±0.24	15.0±1.78
	8	12.1±0.19	11.4±0.45	9.4±0.15	4.2±0.10	9.4±0.40	15.9±0.56
2마리(0.75kg)	2	10.7±0.24	9.1±0.32	8.8±0.19	4.1±0.16	9.8±0.37	12.9±1.29
	4	11.2±0.22	9.8±0.24	8.9±0.18	4.1±0.14	10.0±0.45	15.2±0.59
	6	11.5±0.17	10.2±0.15	9.1±0.24	4.0±0.11	9.6±0.24	17.8±1.12
	8	11.6±0.15	12.1±0.76	9.2±0.19	4.0±0.10	9.6±0.24	16.5±1.54
4마리(1.5kg)	2	11.2±0.40	9.9±0.56	9.5±0.22	4.3±0.03	8.2±0.37	12.2±1.37
	4	11.7±0.12	9.5±0.25	9.6±0.23	4.3±0.06	8.4±0.40	11.8±0.77
	6	11.8±0.10	10.0±0.33	9.5±0.23	4.3±0.05	8.6±0.24	12.8±0.63

8 11.8±0.21 10.5±0.20 9.5±0.17 4.4±0.04 9.0±0.71 14.6±0.53

²평균±표준오차

표 2-3-7. 관엽식물 ‘레몬라임’ 처리별 생육 비교(정식 8주 후)

처리내용 (마리수/200ℓ)	초장 (cm)	경경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	SPAD value
1마리(1.5kg)	12.1 a ²	11.4 a	9.4 a	4.2 ab	9.4 a	15.9 a
2마리(0.75kg)	11.6 a	12.1 a	9.2 a	4.0 b	9.6 a	16.5 a
4마리(1.5kg)	11.8 a	10.5 a	9.5 a	4.4 a	9.0 a	14.6 a

²DMRT = 5%

2.4. 황사 및 실내 미세먼지 저감 효과 분석

- 대상식물은 메리골드, 산세베리아, 스킨답서스, 싱고니움, 일일초, 자금우, 테이블야자, 토레니아 등 8종으로 하였다.
- 미세먼지를 발생시키기 위하여 800×800×1,800mm 크기의 미세먼지 발생장치에서 공업용 미세먼지 3g을 3분 동안 비산시켰다.
- 3시간 경과 후, 입자 크기가 큰 먼지는 바닥에 가라앉고 공기 중에 비산하는 입자 크기 2.5 μm 이하의 미세먼지를 실험식물이 들어 있는 800×800×1,500mm 미세먼지 측정용 챔버로 투입하였다.
- 4시간 경과 후, 식물체가 미세먼지를 흡수하고 남은 미세먼지를 미세먼지 측정장치를 이용하여 측정하였다. 시험 수행 시 실내온도는 25±2 °C, 광도 100μmol·m⁻²·s⁻¹ 조건에서 측정하였다.



그림 2-1-2. 미세먼지 측정

- 메리골드 등 8종을 대상으로 미세먼지(PM 2.5) 흡수율을 조사한 결과, 일일초가 가장 높았다.
- 흡수율 순서는 일일초(50.8%)>스킨답서스(49.8%), 산세베리아(46.3%), 토레니아(45.8%), 싱고니움(44.9%), 자금우(42.8%), 테이블야자(40.8%), 메리골드(19.9%) 순이었다.
- 메리골드의 흡수율은 19.9%로 나머지 7종의 흡수율이 40% 이상이었던 것에 비해서 현저한 차이가 있었다.

표 2-4-1. 식물별 미세먼지(PM 2.5) 흡수율

식물명	미세먼지 투입량 (mg/m ³)	미세먼지 흡수량 (mg/m ³)	미세먼지 흡수율 (%)
메리골드	0.261	0.052	19.9
산세베리아	0.283	0.131	46.3
스킨답서스	0.263	0.131	49.8
싱고니움	0.272	0.122	44.9
일일초	0.524	0.266	50.8
자금우	0.215	0.092	42.8
테이블야자	0.245	0.100	40.8
토레니아	0.528	0.242	45.8

※ 측정 조건 : 25±2°C, 100µmol·m⁻²·s⁻¹

2.5. 플렌테리어용 전용 크린 식물의 엽면시비 효과 구명(3년차)

○ 식물재료는 실내관엽식물 많이 활용되는 스킨답서스와 테이블야자로 시험을 수행하였다.



그림 2-1-3. 아쿠아포닉스에서 엽면시비 효과 구명

○ 식물재료는 국내 화훼시장에서 구입하여 상부직경 5cm의 화분에 수태로 정식하였다.

○ 정식 전 스킨답서스의 만장은 32.6cm, 엽수 7.8매 정도였고, 테이블야자의 초장은 22.3cm, 엽수 18.8매 정도이었다.

표 2-5-1. 스킨답서스 정식 전 묘소질

만장 (cm)	줄기직경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)
32.6±3.72 ²	4.9±0.51	10.8±0.51	6.8±0.56	7.8±0.73

²Mean±Standard Error

표 2-5-2. 테이블야자 정식 전 묘소질

초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)
22.3±0.73 ²	10.4±0.58	10.4±0.48	18.8±0.80

²Mean±Standard Error

- 스킨답서스와 테이블야자의 재배는 담액식 수경재배시설에 향어를 대상어종으로 하여 순환식 아쿠아포닉스로 재배하였다.
- 어류의 재배는 200L 물탱크에 향어 1kg을 투입하였고, 사료는 2일 간격으로 공급하였다. 어류의 안전한 사육을 위하여 공기 기포기, 수온 유지장치를 이용하여 수온은 25℃를 유지하도록 관리하였다.
- 식물에는 1일 5분씩 물을 공급하였고, 공급 후 남은 물은 다시 물고기 사육 탱크로 유입되었다.
- 처리 내용은 주 1회 식물체에 엽면시비를 하였는데, 무처리, 하이포넥스(N-P-K = 20-20-20) 3,000 배 희석, 요소 0.5% 엽면시비 하였다.



그림 2-1-4. 아쿠아포닉스 시험구

- 재배 기간동안 데이터 로거를 이용하여 하우스 내부 온도와 상대습도를 측정하였다. 재배 기간 동안 평균온도는 25.3℃, 평균 상대습도는 68.0% 이었다.

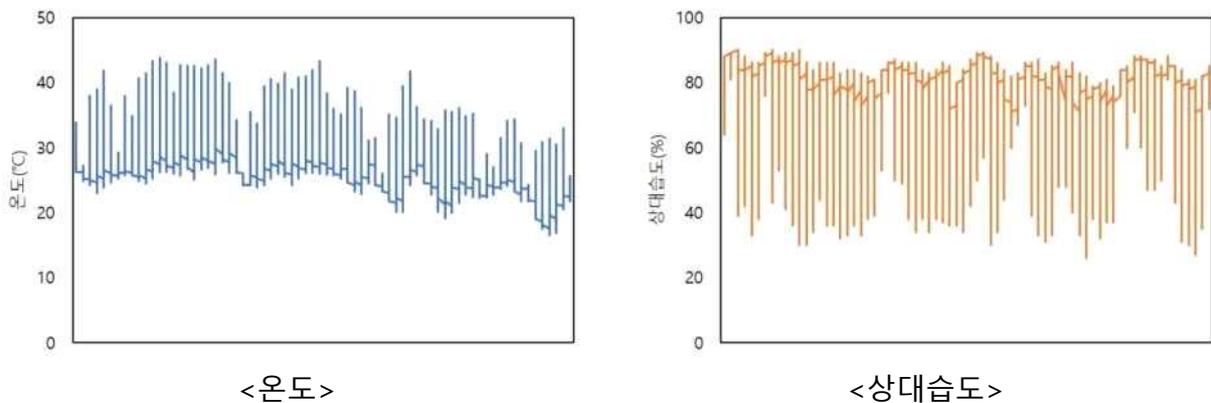
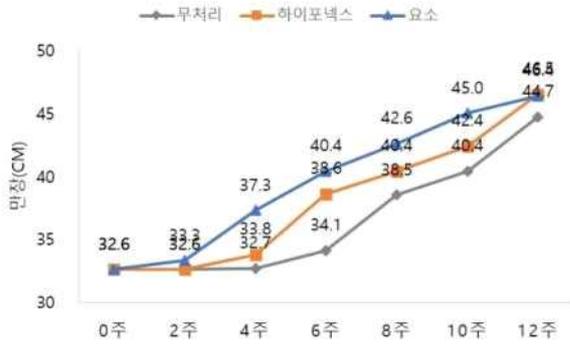
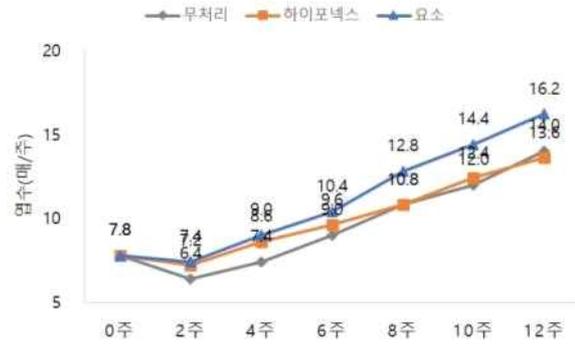


그림 2-1-5. 재배지 온도 및 상대습도 변화(2023. 7. 4. ~ 9. 26.)

- 재배 기간동안 2주마다 스킨답서의 만장과 엽수를, 테이블야자의 초장과 엽수를 조사하였다. 스킨답서스는 요소>하이포넥스>무처리 순으로 만장이 길고 엽수가 많았다. 반면에 테이블야자는 요소 엽면처리에서 초장이 크고 엽수가 많았다.



<만장>



<엽수>

그림 2-1-6. 스킨답서스 생육 변화(2023. 7. 4. ~ 9. 26.)



<조장>



<엽수>

그림 2-1-7. 테이블야자 생육 변화(2023. 7. 4. ~ 9. 26.)

○ 정식 90일 후, 처리 간 스킨답서스의 만장은 44.7~46.5cm, 줄기직경 6.4~6.7mm, 엽장 12.2~13.0cm, 엽폭 7.3~8.2cm, 엽수 13.6~16.2매, 엽록소지수는 41.4~42.3의 범위에 분포하였다. 처리 간에 통계적 유의성은 없었다.

표 2-5-3. 스킨답서스 생육 특성(정식 90일 후)

처리	만장 (cm)	줄기직경 (mm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	엽록소지수 (SPAD)
무처리	44.7 a ²	6.7 a	13.0 a	8.2 a	14.0 a	41.4 a
하이포넥스	46.5 a	6.5 a	12.2 a	7.6 a	13.6 a	42.3 a
요소	46.4 a	6.4 a	12.2 a	7.3 a	16.2 a	41.8 a

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

○ 정식 90일 후, 처리 간 테이블야자의 초장은 23.0~25.6cm, 분얼수는 9.6~10.2개, 엽폭 9.9~11.8cm, 엽수는 22.4~24.2매로 처리 간에 통계적 차이가 없었고, 요소 0.5% 엽면 시비 처리에서 엽장은 13.1cm, 엽록소지수는 24.5cm로 무처리 보다 증가하였다.

표 2-5-4. 테이블야자 생육 특성(정식 90일 후)

처리	초장 (cm)	분얼수 (개)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	엽록소지수 (SPAD)
무처리	24.4 a ^z	9.6 a	12.0 ab	10.6 a	22.4 a	15.1 b
하이포넥스	23.0 a	10.2 a	10.3 b	9.9 a	24.2 a	21.2 ab
요소	25.6 a	9.8 a	13.1 a	11.8 a	23.8 a	24.5 a

^zDifferent letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.



그림 2-1-8. 아쿠아포닉스에서 엽면시비 효과

○ 정식 90일 후, 스킨답서스의 생체중은 88.9~100.8g, 건물중은 7.4~8.0g의 범위에 분포하였다. 테이블야자의 생체중은 15.6~16.8g, 건물중은 3.1~3.4g의 범위에 분포하였다. 스킨답서스와 테이블야자 모두 생체중, 건물중은 처리 간 통계적 차이가 없었다.

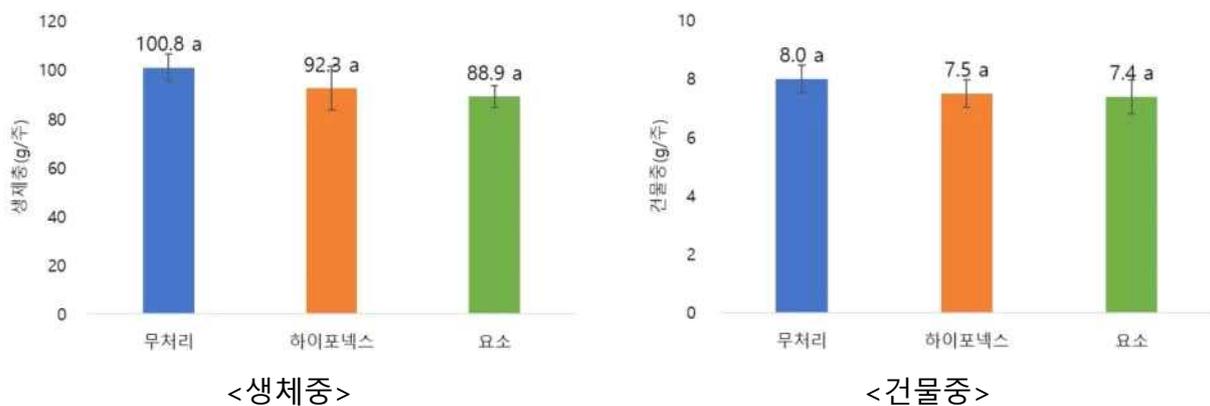


그림 2-1-9. 스킨답서스 생체중 및 건물중(정식 90일 후)

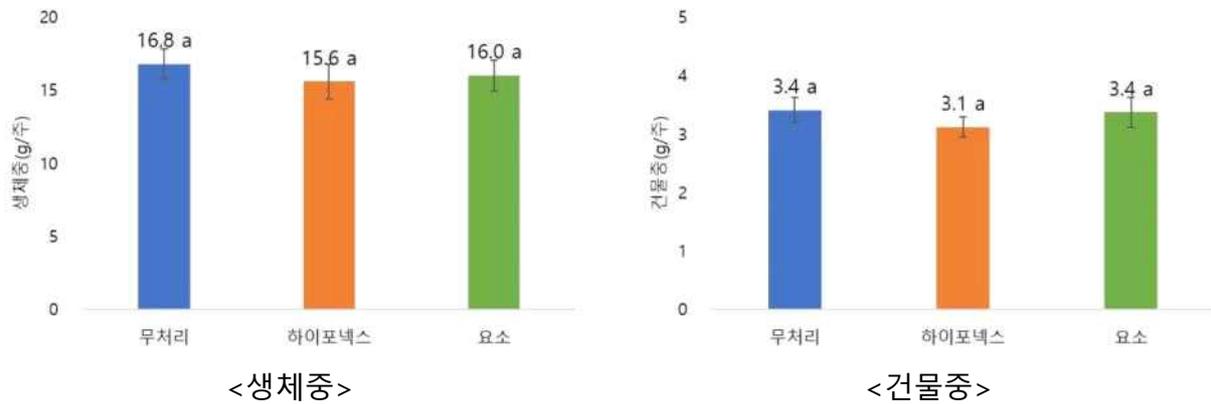


그림 2-1-10. 테이블야자 생체중 및 건물중(정식 90일 후)

- 스킨답서스의 식물체를 분석한 결과, 요소 0.5% 엽면시비 처리에서 질소 2.68%, 인산 0.36%, 칼륨 3.01%, 마그네슘 0.56%, 망간 111.33ppm으로 무처리보다 함량이 높았다.
- 칼슘의 함량은 1.65~1.72%, 철의 함량은 71.35~102.03ppm으로 처리 간에 차이가 없었고, 구리의 함량은 무처리에서 8.30ppm, 하이포넥스에서 8.49ppm으로 요소처리보다 높았다.

표 2-5-5. 스킨답서스 식물체 분석(정식 90일 후)

처리	대량원소(%)					미량원소(ppm)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu	Fe	Mn
무처리	2.15 bz	0.32 b	1.92 c	1.65 a	0.51 b	8.30 a	71.35 a	100.29 c
하이포넥스	2.09 b	0.37 a	2.63 b	1.72 a	0.52 b	8.49 a	102.03 a	108.36 b
요소	2.68 a	0.36 a	3.01 a	1.70 a	0.56 a	6.95 b	85.54 a	111.33 a

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

- 테이블야자의 식물체를 분석한 결과, 질소의 함량은 요소 처리에서 1.86%로 무처리보다 높았다.
- 하지만 하이포넥스 3,000배 엽면시비 처리에서 인산 0.38%, 칼륨 2.03%, 칼슘 1.19%, 마그네슘 0.52%로 무처리보다 높았다.
- 미량원소중 철의 함량은 처리 간에 통계적 차이가 없었다.
- 구리는 무처리에서 7.28ppm, 하이포넥스 처리에서 7.45ppm으로 요소 처리보다 높았고, 망간의 함량은 무처리에서 56.24ppm으로 요소 처리에서 51.78ppm, 하이포넥스 처리 43.58ppm 보다 높았다.

표 2-5-6. 테이블야자 식물체 분석(정식 90일 후)

처리	대량원소(%)					미량원소(ppm)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu	Fe	Mn
무처리	1.03 cz	0.29 b	1.80 b	1.16 ab	0.48 b	7.28 a	229.28 a	56.24 a
하이포넥스	1.21 b	0.38 a	2.03 a	1.19 a	0.52 a	7.45 a	167.05 a	43.58 c
요소	1.86 a	0.29 b	1.76 b	1.14 b	0.46 c	6.62 b	241.27 a	51.78 b

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test $p \leq 0.05$ level.

- 배액의 수질을 분석한 결과 원수의 pH는 7.1이었고 처리간에는 7.0~7.4에 분포하며 큰 차이가 없었다. EC도 0.38~0.41의 범위에 분포하며 큰 차이가 없었다.
- 전질소의 함량은 원수에서 10.59mg/L로 낮았던 반면에 무처리에서는 21.67mg/L, 하이포넥스 처리에서는 39.86mg/L, 요소 처리에서는 32.18mg/L으로 높았다.
- 인산의 함량은 원수에서 0.09mg/L 이었고, 무처리에서 2.49mg/L, 하이포넥스에서 2.70mg/L, 요소에서 1.50mg/L 이었다.
- 반면에 칼륨의 함량은 원수에서 2.44mg/L으로 높았고, 무처리 0.35mg/L, 하이포넥스 0.68mg/L, 요소 0.10mg/L로 낮았다. 그 외에 황산, 마그네슘, 칼슘의 함량은 하이포넥스 처리에서 높았다.

표 2-5-7. 배액 수질 분석

처리	pH	EC (ds/m)	(mg/L)									
			NO ₃ -N	NH ₄ -N	T-N	T-P	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
원수	7.1	0.38	0.97	0.06	10.59	0.09	76.86	25.27	23.28	2.44	10.68	39.80
무처리	7.3	0.37	12.57	-0.02	21.67	2.49	95.82	37.73	12.26	0.35	12.40	43.01
하이포넥스	7.0	0.41	0.99	0.00	39.86	2.70	85.59	48.23	15.32	0.68	43.70	87.11
요소	7.4	0.39	1.35	0.07	32.18	1.50	99.06	37.33	18.48	0.10	11.68	42.38

- 재배기간 중 엽면시비 처리 간에 질산염 농도를 측정된 결과, 원수의 경우 2.08ppm에서 1.77ppm으로 낮아졌다.
- 무처리는 2.08ppm에서 6.72ppm, 7.05ppm으로 약간 증가하였다,
- 하이포넥스 3,000배 엽면시비 처리에서는 8.32ppm에서 13.05ppm, 28.10ppm으로 증가하였고, 요소 0.5% 엽면시비 처리에서는 11.45ppm에서 20.00ppm, 24.90ppm으로 증가하였다.

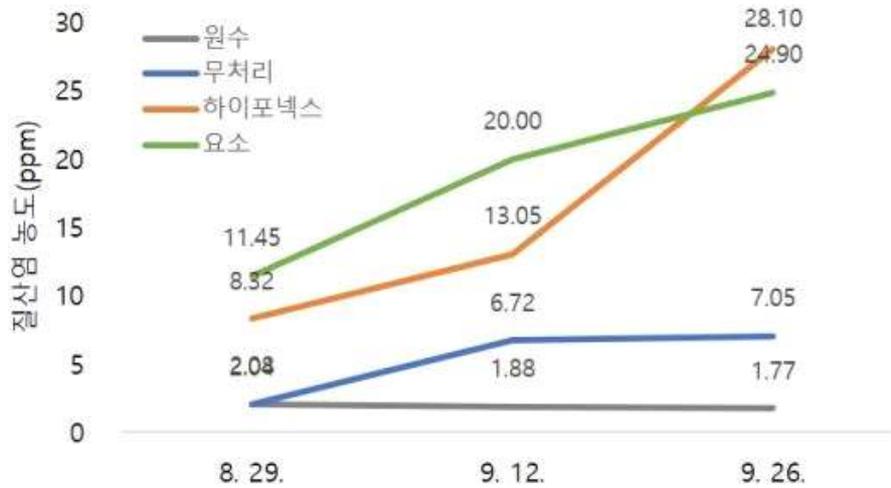


그림 2-1-11. 처리 간 질산염 농도 변화(2023. 8. 29. ~ 9. 26.)

2.6. 추가시험. 어종별 아쿠아포닉스 재배 시 식물 생육 비교

- 어종에 따른 실내식물의 생육특성을 비교하기 위하여 식물재료는 싱고니움으로, 대상어종은 메기, 금붕어, 잉어 3종을 아쿠아포닉스 시스템으로 재배하였다.
- 시험은 실내에서 수행되었는데 온도는 25℃로 설정하였고, 인공광원은 적청 LED를 주:야=16:8시간 기준으로 조사하였다.
- 대조구로는 싱고니움 화분에 하이포넥스(20-20-20)을 3,000배로 희석하여 주 1회 공급하였다.
- 아쿠아포닉스 시스템으로는 실내재배 시스템에 싱고니움 화분으로 정식하였고, 대상어종은 메기, 금붕어, 잉어 3종을 각각 50g 정도씩 투입하였다.
- 수조에 물은 하루 5분씩 1회 화분에 공급하였고, 화분에서 배출된 물은 다시 수조로 돌아가는 순환식으로 재배하였다. 재배기간은 8주로 하여, 어체중 증가량, 식물체 생육특성을 조사하였다.



그림 2-1-12. 어종별 실내 아쿠아포닉스

- 본 실험에 인공광원으로 사용한 적청LED의 광질을 분석하였다.
- 시험에 사용된 적청 LED는 적색광:청색광의 비율이 4:1로 구성, 설치하였다.
- 광도 1724lux 이었고, 광합성광량자속밀도(PPFD)는 149.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 측정되었다.

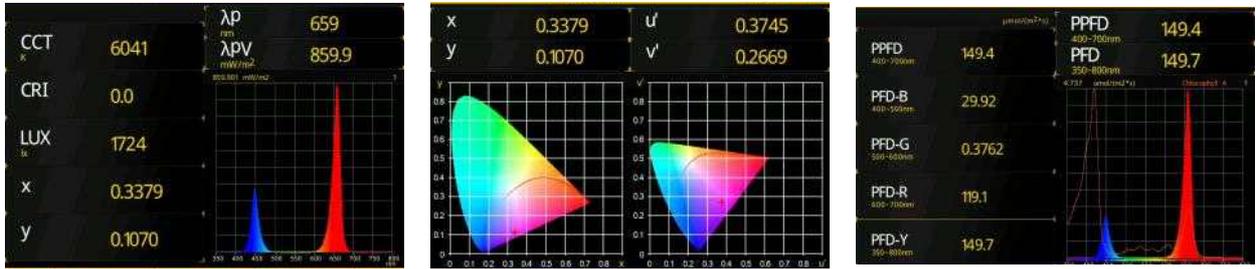


그림 2-1-13. 실내 인공광원 광질 측정

- 시험에 사용된 어종 3종류, 메기, 금붕어, 잉어를 수조에 초기 투입 시에는 수조당 50g 정도로 맞추어서 투입 하여 사육하였다.
- 2개월간 아쿠아포닉스 시스템으로 재배 후 최종 어체중은 메기가 가장 높게 증가하였다. 메기의 경우 수조 당 87.8g으로 증가하였고, 금붕어와 잉어는 각각 65.2g, 61.5g으로 비슷하게 증가하였다.

표 2-5-8. 어종별 생육 변화(2개월)

어종	초기 어체중 (g)	최종 어체중 (g)
메기	53.7	87.8
금붕어	53.7	65.2
잉어	50.0	61.5

- 정식 2달 후 싱고니움의 생육을 비교한 결과, 대조구인 관비재배에 비해서 메기, 금붕어, 잉어를 대상으로 한 아쿠아포닉스 재배에서 식물의 생육이 양호하였다.
- 초장은 대조구에서는 18.3cm이었고, 아쿠아포닉스 재배에서는 15.6~17.1cm에 분포하며 큰 차이가 없었다.
- 엽장도 처리간 6.3~7.3cm의 범위에 분포하였고, 엽폭도 처리간 3.9~4.4cm로 큰 차이가 없었다.
- 하지만 엽수는 대조구 55.6매보다 아쿠아포닉스에서 80.0~97.8매로 크게 증가하였다. 생체중도 대조구에서는 46.0g 보다 아쿠아포닉스에서 69.2~91.3g으로 증가하였고, 건물중도 아쿠아포닉스에서 높았다.
- 어종별로 비교하면 잉어를 대상어종으로 한 처리에서 엽수 97.8매, 생체중 91.3g, 건물중 7.23g으로 높았다.

표 2-5-9. 어종에 따른 싱고니움 생육 특성

처 리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (매/주)	생체중 (g)	건물중 (g)
관비재배(대조)	18.3 a ²	7.3 a	4.4 a	55.6 b	46.0 b	3.51 b
메기	17.1 ab	6.5 a	4.0 a	80.0 a	69.2 a	5.84 a
금붕어	15.6 b	6.3 a	3.9 a	86.8 a	80.6 a	6.56 a
잉어	16.7 ab	6.8 a	4.2 a	97.8 a	91.3 a	7.23 a

²Different letters in table indicate significant difference by Duncan's multiple range test p≤0.05 level.

3. 플랜테리어용 실내재배기의 식물 생육 환경 연구(강원대학교)

3.1. 플랜테리어용 수경재배 시스템 설계 (1세부와 공동)

- 코로나19와 의식 수준의 변화 등으로 집은 정주의 개념에서 개인의 취향과 생활 습관을 반영한 확장성을 획득하였고, 식물은 ‘반려식물’로 불리면서 그린 라이프(GREEN LIFE)를 추구하는 사람들에게 주목을 받고 있다(통계청, 2019).
- 플랜테리어(Planterior)는 영어 단어인 식물 플랜트(Plant)와 인테리어(Interior)가 합성된 신조어로, 식물로 실내를 꾸밈으로써 공기 정화 효과와 심리적 안정 효과를 얻고자 하는 인테리어 방법이다(ME, 2019). 플랜테리어는 가정 뿐 만 아니라 카페나 사무실, 공공시설 등 실내 다양한 곳에서 활용이 가능하며, 관엽식물, 분화류, 채소류 등이 이용될 수 있다.
- 플랜테리어용 벽면(수직)녹화의 장점으로서는 ① 온습도 조절이 가능하고, ② 차폐, 공간 분할 기능 등을 통해 장식과 아름다운 오브제 공간 연출이 가능, ③ 심리적 안정감을 주고, ④ 유해물질 제거, 전자파 흡수, 미세먼지 정화 등 공기 정화기능이 있으며, ⑤ 원예치료 효과 및 ⑥ 컴퓨터 모니터의 블루 라이트에 의해 발생한 눈의 피로 등에 효과적이다.

3.1.1. 벽면 녹화 유형

- 벽면 녹화는 시스템 구성 방식에 따라 고정형과 확장형(모듈)으로 구분하고, 배치 방식에 따라 수평 및 수직 녹화가 있다.
- 수평 녹화는 선반 이용형이 있으며, 수직녹화는 등반형, 하수형, 걸이형 및 벽면 장치형 등으로 구분할 수 있다.

가. 등반형 (보조자재 유)

- 그물이나 격자 등의 등반 보조재를 입면에서 10cm 정도 떨어져 설치하고, 덩굴식물을 입면 기부에 식재하여 덩굴이 감아 올라가도록 녹화시키는 방법으로 Unit형, Mesh형, Wire형이 있다 (그림 3-1-1).

나. 하수형 (보조자재 유)

- 입면의 상부나 옥상 등에 식재 용기를 설치하고 성장하는 덩굴을 늘어뜨려 녹화하는 방법
- 늘어지는 덩굴을 그대로 두어 입면의 고정재 등을 설치하여 덩굴을 고정재에 흡착시켜 녹화하거나, 건축물의 베란다에 식재용기를 설치하여 헤데라류, 마삭줄류를 식재하여 녹화한다(그림 3-1-2, 좌).

다. 선반 이용형 및 걸이형

- 선반(1단에서 다단이 가능)을 설치한 곳에 용기를 이용하여 관목, 초본 등을 식재하여 입면의 경관을 도모하는 방식으로 주로 제라늄, 베고니아, 패튜니아, 아이비 등 화단 식물을 사용한다 (그림 3-1-2, 우).

라. 벽면 장치형 녹화

- 벽면에 식재기반을 설치하고 식물을 심어 녹화하는 방법으로 관수자동화가 가능한 수경재배 방식임.
- 식재 용기로는 부직포형, 포트형 및 흡통형 파이프가 있으며, 단독 또는 모듈 조립형으로 시스템을 구성할 수 있다(그림 3-1-3)
- 식물 지지물로는 스폰지, 수태, 난석, 상토 등이 이용되어 순수수경과 배지 수경으로 구분이 가능하다.

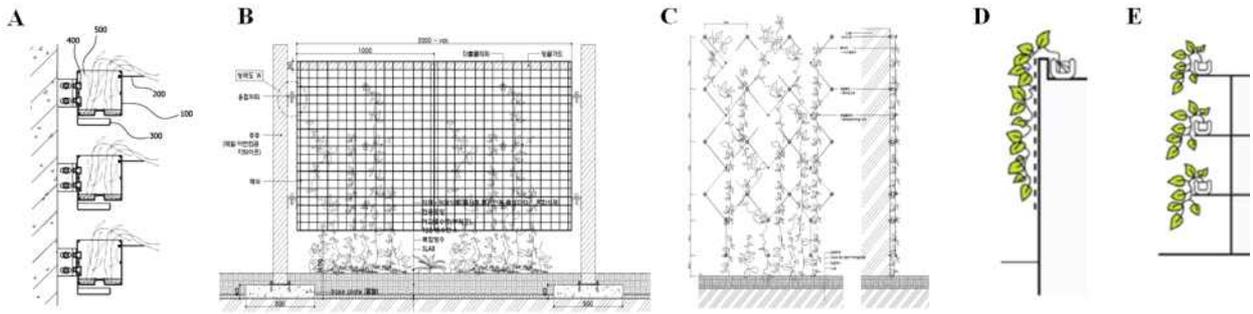


그림 3-1-1. 수직녹화 등반형 보조자재 Unit형(A), Mesh형(B), Wire형(C)과 하수형 방식(D)과 선반형 방식(E). [출처: 도시와 숲(A), (주)한국도시녹화(B, C), 신 녹지 공간디자인:특수공간녹화계획(D,E)]

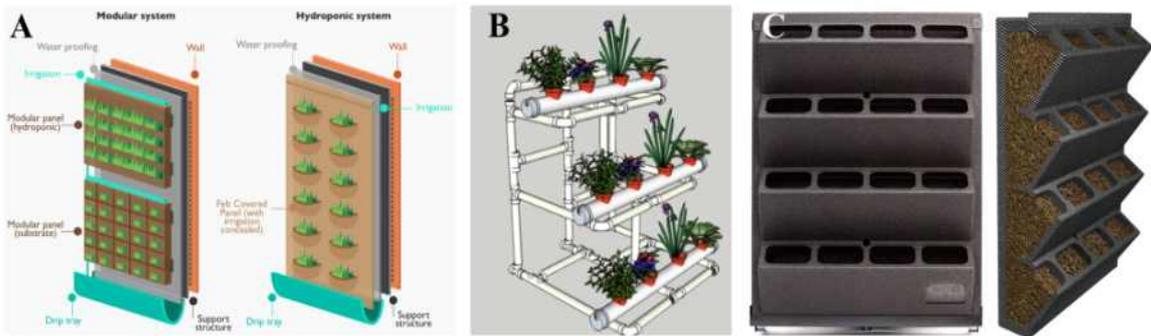


그림 3-1-2. 벽면 장치형 수경 시스템의 모듈형(A), 파이프형(B) 및 배지형(C) (출처: growing green guide(A), 하늘 나무 블로그(B), Vertiss(C))

3.1.2. 플랜테리어용 시스템 설계

1) 벽면(수직)형 수경 시스템

- 매쉬형과 모듈형(그림 3-1-3, A, B)을 결합한 형태로 상부에 LED 인공 광원을 설치해 빛이 적은 공간에서부터 빛이 풍부한 곳까지, 작은 모서리 공간에서부터 벽면 전체를 균일하게 분포하면서 폭넓은 이용성을 적용해 설계 하였다.
- 파이프형 타입은 파이프 고정을 위해 외관을 원목으로 하여 인테리어 소품으로써의 활용도를 높인 순환식 수경 방식(그림 3-1-4)으로 설계하여 가정 내의 또 다른 오브제로써 활용 가능할 수 있게 설계하였다.

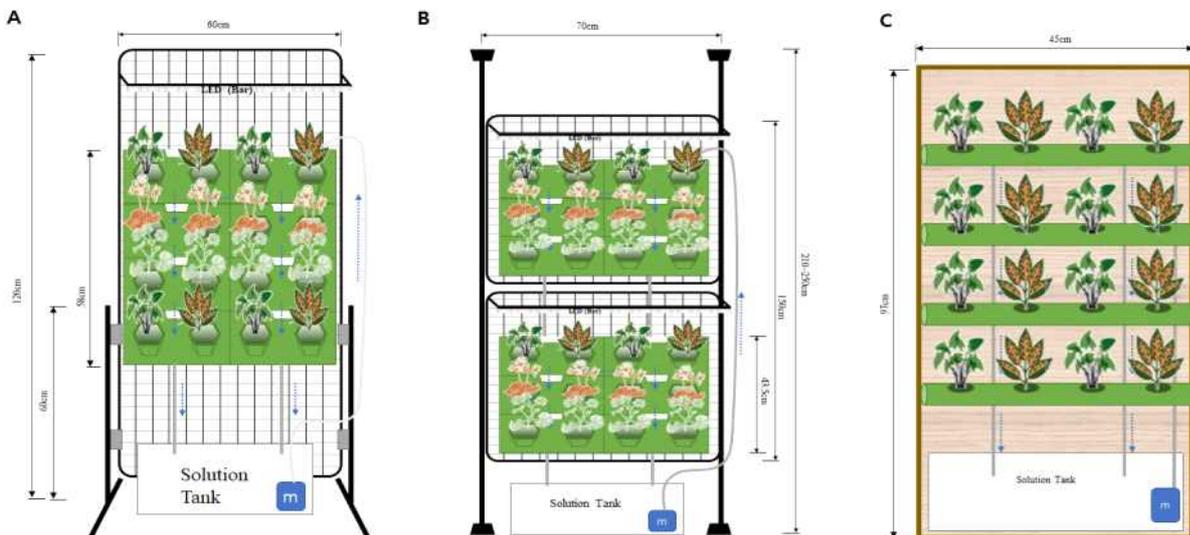


그림 3-1-3. 벽면(수직)형 플랜테리어 시스템 설계 정면도, Mesh&Modular 시스템 이동형(A)과 고정형(B), 파이프형 순환 시스템(C)



그림 3-1-4. 벽면(수직)형 플랜테리어 시스템 설계 적용- 메쉬와 모듈 고정형(A, B)과 파이프형(우)

2) 다단형 수경 시스템 설계

- 자연상태에서 다단형 시스템은 상단부에 비해 하단부의 투과 광량이 낮을 수 있다. 이를 보완하기 위해 각 단에는 LED 혼합광원을 설치하고 광도 조절 기능을 탑재하여 실내에서 분화류부터 채소류까지 다양한 식물 재배가 가능하도록 설계하였다(그림 3-1-5, A, B, 그림 3-1-6).
- 수경재배시스템에는 확장성을 고려하여 흡통형 재배베드를 기본으로 하며, 양액탱크를 따로 분리하여 관리의 편리성을 고려하였다(그림 3-1-6).
- 한편 기존 간이 수경재배시스템은 담액형 방식으로 재배베드와 양액탱크와 일체화된 형태도 가능하다(그림 3-1-6)
- 수직 벽면(수직)형과 다단형 수경 시스템은 설계 단계부터 아쿠아포닉스에서 연계 가능하도록 설계를 하였다. 양액 탱크 대신 수조를 배치할 수 있고, 수경재배와는 다르게 수조의 위치를 단독 또는 결합 형태로 설치 할 수 있다.
- 또한 다양한 벽면 또는 실내 공간을 활용하기 위해 모듈형 타입으로 식물의 식재량, 실내 공간의 크기에 따라 단독 설치뿐만 아니라 조립 방식으로 확장 설치가 가능하도록 모든 시스템은 설계 되었다.

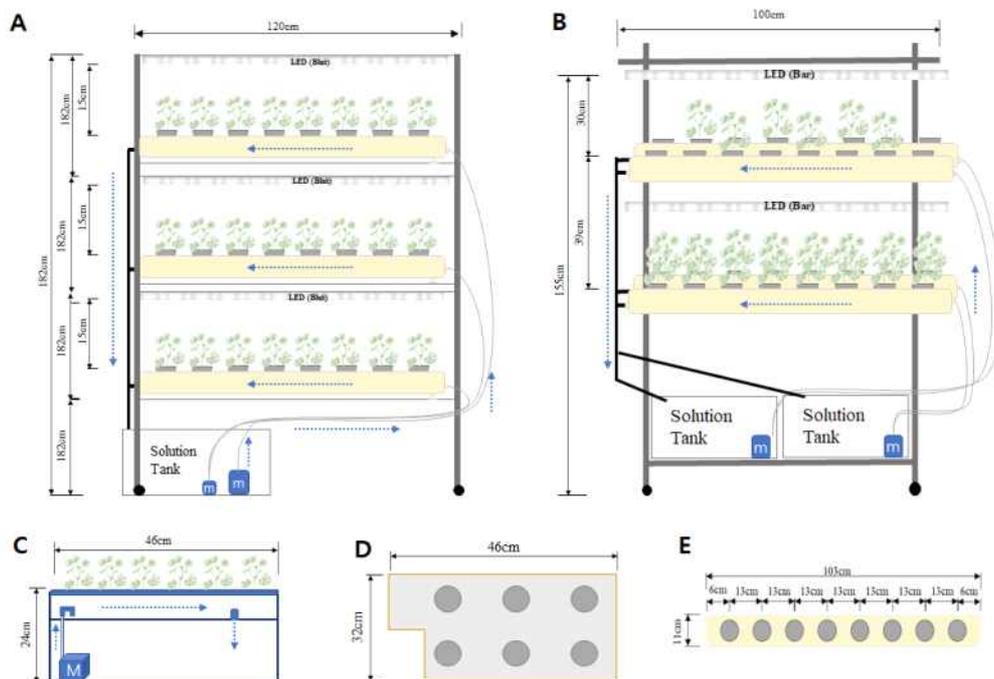


그림 3-1-5. 플랜테리어용 다단 시스템 설계 정면도 및 정식판 평면도. 3단 선반형(A), 2단

거치형(B), 재배 및 탱크 일체형(C), 재배 필드 평면(D), 일체형 재배기 정식판(E).



그림 3-1-6 플랜테리어용 다단형 수경 재배 시스템 설계 적용 사례.

3.2. 플랜테리아용 실내재배기 수경재배 생육 환경 구명

3.2.1 광환경

가. 광도

관엽식물(아글레오네마, 칼라싱고니움, 싱고니움)을 광도 3수준[50, 100, 200PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)]에서 45일간 박막 수경방식(EC 1.6 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, pH 5.8) 재배하였을 때 모든 식물의 생육은 처리간 차이가 없었다. 200PPFD에서 아글레오네마의 엽록소형광 변수값은 Pi_Abs, TRo/RC, ETo/RC는 높았으며, 칼라 싱고니움은 NDVI 건전도 지수, Fv/Fm, Pi-ABS, 엽록소함량 값이 낮았다. 그러나 싱고니움은 50PPFD 처리에서 건전도 지수, 엽록소형광 및 생육이 가장 높아 건전도 지수, 생육 등을 고려한 아글레오네마와 칼라싱고니움의 광도는 50~100PPFD($10\sim20\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), 싱고니움은 50PPFD가 적합한 것으로 판단된다.

■ 연구방법

- 공시재료: 아글레오네마(*Aglaonema commutatum*, 'Aurora')
칼라싱고니움(*Syngonium podophyllum*, 'Cream Pink beins')
싱고니움(*Syngonium podophyllum*, 'Pixie')
- 실험장소: 환경 조절($23\pm 1^\circ\text{C}$, $65\pm 2\%$. 백색LED $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 일장(주/야) 14/10시간)이 가능한 실내 재배실
- 광도($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 처리: 50(50P), 100(100P), 200(200P) 3처리
- 실험기간: 총 100일(순화 10일, 처리 90일)
- 박막 수경 시스템(GG필드, 참쉬운수경, 한국)으로 순환 재배
- 재배방법: 관엽식물의 근권부 흙을 수세한 후 난석(100ml)으로 채운 네트포트($\varnothing 7$) 재배조에 정식하여

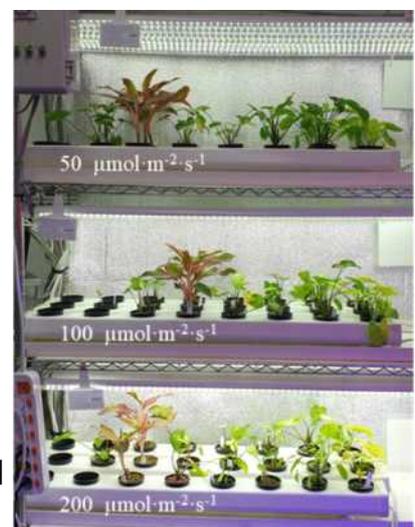


그림 3-2-1 광도에 따른 처리구 설치 모습 (2021.11.26.)

10일간 순화시킨 후 네덜란드 분화액(EC 1.6 dS·m⁻¹, pH 5.5-6.5조절, 표 3-10-1)으로 1일 1회 30분 공급하면서 90일 수경재배 함.

○ 조사항목: 생육, 광합성, 엽록소형광, 분광 반사율

■ 연구결과

1) 아글레오네마(*Aglaonema commutatum*, 'Aurora') 의 광도별 생육과 관리

광도처리 80일째 50P에서 아글레오네마의 NDVI와 PRI는 높았고, ARI는 낮았다(표 3-1-1). 광도가 높아질수록 NDVI는 감소하여 200P에서 0.44으로 가장 낮았다. ARI는 200P에서 50P보다 17배가 많은 5.44로 고광도에서 아글레오네마는 광 피해에 대한 방어 기작을 보이며 증가한 것으로 보인다. NDVI는 -1 ~ +1 사이의 값으로 건강한 식물체는 +1에 가깝고, 극심한 스트레스 또는 고사된 식물은 -1에 가깝다(Yengoh 등, 2016). PRI는 흡수된 광합성을 탄소 고정으로 변환하는데 관여하는 카로티노이드 색소의 반응 변화 값으로 일반적으로 양(+의 값은 스트레스를 받지 않은 상태를 의미하며 광 이용 효율과 높은 상관을 보인다고 Nyongesah et al.(2016)은 보고하였다.

광도 처리 80일째 엽록소 형광 변수는 200P처리에서 낮아 광도에 의한 광 효율 및 스트레스 지수가 뚜렷하게 나타났다(표 3-1-2). 광계 II의 활성을 나타내는 지표로써 광계 II의 최대 양자수율을 의미하는 Fv/Fm 은 0.78 - 0.84 일 때 건전한 식물체라 보고 되었다(Govindjee, 1995), 200P에서 재배된 아글레오네마의 Fv/Fm은 0.75로 적정범위(0.78~0.84) 보다 낮았다. 광계 II의 PI_{ABS}는 엽록소 형광 지수 중 스트레스에 민감하며, 광에너지 흡수 능력, 전자전달 효율 및 전자고정 효율과 같은 세 가지 광합성 활성 정도를 통합적으로 보여주는 지수이다(Thach et al.,2007). PI_{ABS}에서 50P는 10.15로 가장 높았고, 200P는 2.50으로 낮아 광도가 높아짐에 따라 감소되어 고광도에서 스트레스를 많이 받는 것으로 보인다. 50P에서는 ABS/RC와 전자전달효율인 ETo/RC는 높고, DI_o/RC는 낮은 결과를 보였다. 이 결과는 광도가 낮은 환경에서 성장하는 식물은 환경에 적응한 잎이 발생되고, 그로 인해 효율적으로 광을 이용할 수 있게 잎이 넓어지거나 좁아지는 형태적·생리적 특성의 변화가 발생한(Boardman, 1977; Chazdon and kaufmann, 1993) 결과로 보여진다.

90일째 아글레오네마의 생육을 조사한 결과 초장, 엽장, 엽폭, 엽형비, 엽수, SPAD는 광도가 높아질수록 생장이 둔화하는 경향을 보였다(표 3-1-3). 광도(0~2000 Lux)에 따라 큰 봉의 꼬리, 골고사리, 손고비의 초장도 광도가 높아 질수록 둔화되는 결과를 보였다(Choi, 2007). 엽장 또한 고광도인 200P에서 가장 짧았고, 50P의 92%, 100P 86% 수준이었다. 엽폭은 저 광도인 50P에서 가장 넓었고, 100P, 200P순으로 작아졌다. SPAD는 저광도인 50P에서 가장 높았으며, 200P에서 33.4로 저광도의 3/4 수준이었는데 이는 광보호를 위해 감소한 결과로 보인다(Kyparissis 등., 2000).

표 3-2-1. 광도 처리 80일째 아글레오네마의 분광 반사율과 엽록소 형광변수

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	NDVI (value)	PRI (value)	ARI (value)	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	ETo/RC	DIo/RC
50	0.76a ²	0.023a	0.32b	0.83a ²	10.15a	1.73ab	0.80a	0.35b
100	0.64b	-0.013b	2.60a	0.82a	6.41b	1.43b	0.65b	0.26b
200	0.44c	-0.014b	5.44a	0.75b	2.50c	2.04a	0.70b	0.64a

²DMRT at $p<0.05$ level(n=3).

표 3-2-2. 광도 처리 90일째 아글레오네마의 생육

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	초장 (cm)	엽장 (A, cm)	엽폭 (B, cm)	엽형비 (B/A) ^z	엽수 (ea)	SPAD (value)
50	24.7a ^y	14.2a	5.6a	0.40a	10.0a	44.9 a
100	23.5b	14.2a	5.1ab	0.36b	9.0b	44.5 a
200	22.0c	12.4ab	4.4b	0.36b	8.7b	33.4 b

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3). *초기생육: 초장 22.8cm \pm 1.3, 엽수 6.7장 \pm 1.8.

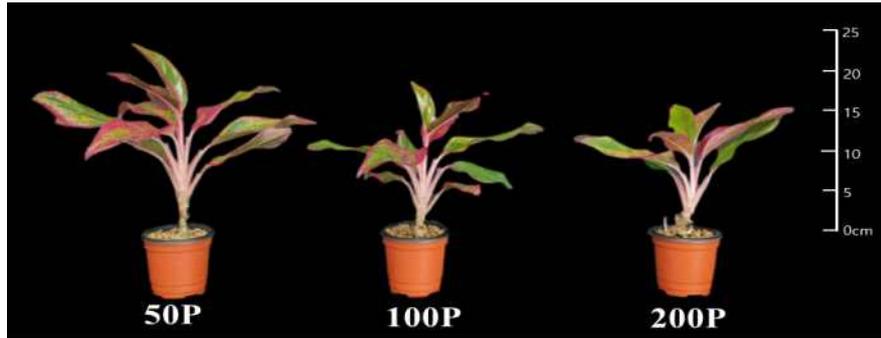


그림 3-2-2. 광도 처리 후 45일째 아글레오네마의 생육 모습

2) 칼라싱고니움과 싱고니움의 광도별 생육과 관리

광도처리 45일째 칼라싱고니움의 NDVI와 PRI값은 200PPFD 처리에서 낮았다(표 3-2-3) 50PPFD 처리에서 PRI는 양(+)의 값을 나타냈다. Fv/Fm값도 200PPFD 처리에서 0.63으로 낮았으며 이 영향으로 Pi_Abs은 감소하고, ABS/RC, TRo/RC, ETo/RC, Dlo/RC는 증가해 생리적 스트레스 지수가 증가함을 확인할 수 있었다(표 3-2-4). 그러나 칼라싱고니움 45일째 생육은 광도에 따른 차이가 없었으나 엽록소 함량값(SPAD)이 200PPFD에서 낮고 엽색 황화가 관찰되었다(표 3-2-5, 그림 3-2-3).

표 3-2-3. 광도 처리 45일째 칼라싱고니움의 건전도 지수

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	NDVI (value)	PRI (value)	CRI (value)
50	0.40 az	0.005 a	1.88 a
100	0.34 ab	-0.004 a	1.63 a
200	0.25 b	-0.021 b	1.54 a

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-4. 광도처리 45일째 칼라싱고니움의 엽록소 형광

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	Dlo/RC
50	0.85 a ^z	8.24 a	1.10 b	0.94 b	0.56 a	0.16 b
100	0.81 a	7.58 a	1.09 b	0.89 b	0.55 a	0.20 b
200	0.63 b	1.15 b	1.94 a	1.19 a	0.59 a	0.75 a

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-5. 광도 처리 45일째 칼라싱고니움의 생육

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (cm)	SPAD (value)
50	14.3 a ²	5.2 a	5.3 a	5.0 a	18.7 a
100	14.0 a	6.0 a	5.6 a	4.3 a	16.7 ab
200	11.8 a	4.7 a	4.7 a	4.3 a	5.8 b

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3). *초기생육: 초장 19.1cm \pm 1.3 엽수 11.3장 \pm 3.0

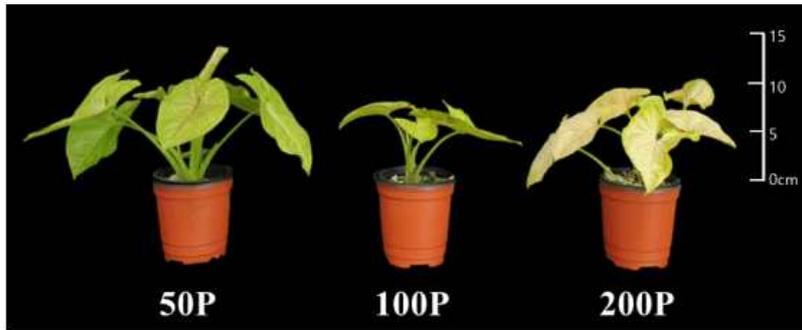


그림 2-2-3. 광도 처리 45일째 칼라싱고니움 생육 모습

광도처리 30일째 싱고니움의 식물 건전도 지수 NDVI는 50PPFD에서 높았고, PRI는 200PPFD에서 낮았으며, CRI는 처리간 차이가 없었다(표 3-2-6). 싱고니움의 NDVI 지수가 아그레오네마, 칼라싱고니움보다 높은 0.5이상을 나타냈고, PRI는 양(+)의 값을 보여 품종 간 광도에 따른 건전도 지수가 달랐다. 또한 처리 45일째 건전도 지수는 50PPFD 처리에서 높았다. 처리 30일째 싱고니움 엽록소 형광 변수 Fv/Fm, Pi_Abs, TRo/RC 및 Dio/RC는 처리간 유의적인 차이를 보였다(표 3-2-7). 50와 100PPFD에서 Fv/Fm은 0.8이상으로 광계 II의 전자전달이 잘 이루어지는 것으로 보이며 Pi_Abs가 50PPFD에서 3.95로 가장 높았다. 200PPFD에서 Pi_ABS는 감소하고, TRo/RC와 Dio/RC는 가장 높아 전반적인 활성상태의 반응 중심이 감소되어 건전도가 낮아질 수 있으리라 예측되었고, 이는 45일째 엽록소형광반응 결과에서도 영향을 미쳤다. 처리 45일째 싱고니움의 초장, 엽장, 엽폭, SPAD는 처리간 차이가 없었고, 엽수는 50PPFD 처리에서 13장, 100PPFD에서 5.3장, 200PPFD에서 8장으로 50PPFDd의 엽수가 가장 많았다(표 3-2-8).

표 3-2-6. 광도 처리 30일과 45일째 싱고니움의 분광 반사율

DAT	PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	NDVI (value)	PRI (value)	CRI (value)
30	50	0.61 az	0.023 a	3.34 a
	100	0.55 ab	0.010 ab	2.96 a
	200	0.50 b	0.003 b	2.70 a
45	50	0.59 a	0.021 a	3.18 a
	100	0.55 ab	0.010 ab	2.97 a
	200	0.49 b	0.001 b	2.68 a

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-7. 광도 처리 30일과 45일째 싱고니움의 엽록소 형광

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	Dlo/RC
30 DAT						
50	0.83 az	3.95 a	1.47 a	1.23 a	0.65 a	0.25 b
100	0.81 a	1.87 b	1.75 a	1.41 a	0.60 a	0.34 ab
200	0.72 b	0.72 b	1.84 a	1.31 b	0.25 a	0.53 a
45 DAT						
50	0.82 a	1.87 a	1.61 b	1.33 a	0.66 a	0.29 b
100	0.78 b	1.59 b	1.68 b	1.31 ab	0.55 a	0.37 b
200	0.68 c	0.72 c	2.23 a	1.52 b	0.50 a	0.71 a

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-8. 광도 처리에 따른 처리 45일째 싱고니움 생육

PPFD ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (cm)	SPAD (value)
50	20.6 a	5.6 a	5.2 a	13.3 a	34.1 a
100	14.3 a	4.0 a	4.0 a	5.3 b	25.7 a
200	20.4 a	5.7 a	5.3 a	8.0 b	22.0 a

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3). *초기생육: 초장 13.1cm \pm 1.6, 엽수 5.0장 \pm 1.2



그림 3-2-4. 광도 영향을 받은 처리 45일째 싱고니움

나. 광질

백색 LED 인공광원에 Red, Blue, White 및 RBW의 bulb형 LED 전구를 각각 추가하여 21~25W·m⁻² 광도 범위에서 45일간 담액수경 재배하였을 때 제라늄의 생육, 엽록소 형광 변수 및 식물 건전도 NDVI는 광질 차이에 따른 차이가 없었다. 개화 소요일은 처리에 따라 39일(RBW)부터 49일(W)까지 약 10일의 차이가 있었다. 꽃과 잎의 색상은 처리에 따라 차이가 없었으나, RBW 처리에서 꽃이 가장 밝고 붉게 나타났다.

베고니아의 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, 엽록소 함량 값은 처리 간 차이가 없었다. 베고니아 누적 화경수는 R광원에서 높고, RBW광원에서 낮은 경향을 보였으나 처리간 차이는 없었으며, 개화 유지기간은 B광원에서 가장 길었고, RBW처리에서 가장 짧은 특징을 보였다.

■ 연구방법

- 공시재료: 제라늄(*Pelargonium inquinans*, 'Zonal')과 베고니아(*Begonia semperflorens*)
- 장소와 기간: 환경 조절(21.8°C \pm 2.3, 일장 주/야 14/10 시간) 재배실에서 45일간

- 처리: 백색LED+ 구(bulb) 타입 LED 4처리[백색광(W), 적색광(R), 청색광(B), 혼합광(RB, R3:B2)], White LED(ZVAS-05-03000, 성현하이텍, 대한민국), 구타입LED(Hue 9290013678, Philips, 중국)
- 재배: 담액 수경 시스템(KSP-1000, 가화텍, 대한민국, 46×32×24cm)에 처리 10일 전 제라늄은 처리별 5주(평균 초장 9.85cm, 엽수 6.7장), 베고니아 처리별 6주씩(평균 초장 4.38cm, 초폭 12.50cm, 경경 5.66mm)를 하이드로볼이 충전된 네트포트(∅7)에 정식하여 뿌리 활착을 도모하였다. 배양액은 네덜란드 분화류 배양액(표 3-10-1 ,EC 1.6 dS·m⁻¹, pH 5.5~6.5 조절)으로 1일 8회 30분씩 공급하며 순환식 재배하였다.
- 조사항목: 생육, 엽록소형광, 분광반사율, 개화, 배액

표 3-2-9. 처리한 LED 광원의 광도(W·m⁻²)

W	R	B	RBW
21 ±2	25 ±4	22 ±3	22 ±4

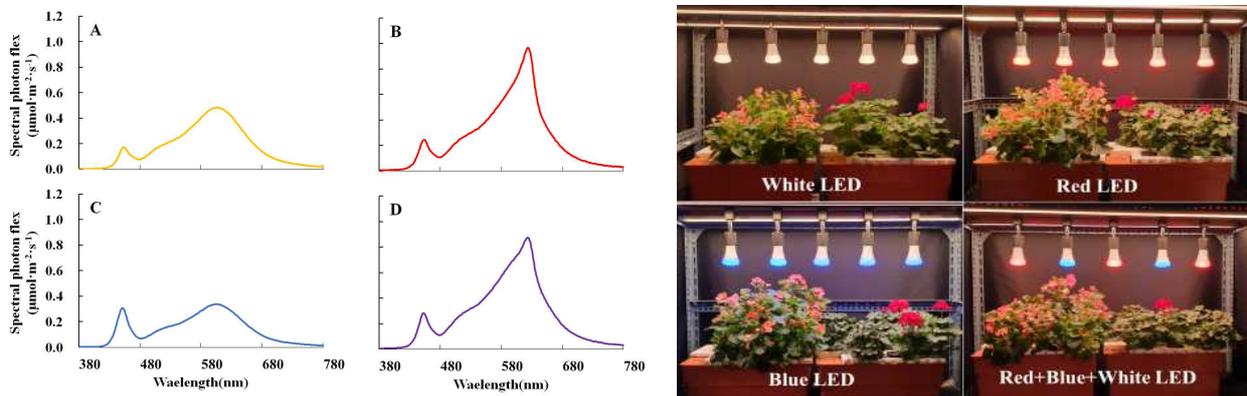


그림 3-2-5. 백색 LED 광원에 Bulb 타입 LED 광원이 첨가된 광스펙트럼(n=3)과 재배(21 12.08)[White LED(W, A) Red LED(R, B), Blue LED(B, C), RB LED=3:2 (RBW, D)]

■ 연구 결과

1) 제라늄 생육

광원별 제라늄 45일째 생육은 처리에 따른 차이가 없었다(표 3-2-10). 15일 간격으로 생육량을 성장속도로 계산한 값은 그림 2-2-6과 같이 초장은 모든 처리에서 처리 후 15DAT에서 가장 빠르게 성장하였다. 엽수는 R과 RBW 광원에서 높았지만, R은 31~45DAT에서, RBW는 0~15DAT에 증가하여 광원에 따른 시기별 생육량은 달랐다. 엽장과 엽폭은 W에서 빠른 속도로 증가했으며, 분지 수는 R과 RBW에서 높았다. 줄기 굵기는 W광원에서는 지속적 성장을, R, B, RBW에서는 처리 15DAT에서는 둔화되는 성장 패턴을 보였다(그림 3-2-7).

광원 처리에 영향을 받은 45일째 제라늄의 엽록소 형광 변수와 식물 건전도 NDVI는 처리간 차이가 없었으며, PRI에서만 차이를 보였으나, 정상범위에 분포하였다(표 3-2-11). Fv/Fm값은 0.8 이상이었고, Pi_Abs는 6.21~7.98까지 에너지 보존 효율이 유사하게 나타났고, NDVI는 0.5 이상으로 건강한 상태로 표현되었으며, W와 RBW의 PRI 지수가 다른 처리보다 낮았으나 (+) 값으로 정상 범위였다.

광원 처리 45일까지의 제라늄 개화 소요일(첫 꽃봉우리에서 첫 꽃이 만개한 날)은 39일(RBW)~49일(W)로 처리에 따라 약 10일 차이가 발생하였다(표 3-2-12). 착화 소화수는 B, RBW>W>R순으로 적었지만, 유의적인 차이는 없었다.

꽃과 잎의 Hunter값은 표 3-2-13와 같이 꽃색의 경우 적색 a값과 황색 b값에서 차이가 없었

으나 RBW에서 가장 밝고 붉게 관찰되었다. 엽색의 경우 명도 L값, 적색 a 값, 황색 b값은 차이가 없었으며 처리 광원에서는 녹색과 황색이 많아지는 $-a$, $+b$ 값을 나타냈다.

담액형 수경재배에서 제라늄의 광원 처리별 배양액의 EC는 처리 20일까지 상승하여 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (W와 RBW처리)를 이 기간 pH는 4.5수준까지 하강하였고, 이후 pH5.0~6.3 범위에 분포하였다(그림 3-2-8). RBW처리 EC가 다소 높은 반면 B처리는 상대적으로 낮은 EC를 보였으나 EC $1.4 \sim 2.0 \text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 범위였다. 본 실험에서의 광원은 단색광원이 보광되어 PPFD 기준 B광원 처리를 제외한 처리구의 Blue:Green:Red 비율(%)이 약 1:3:4 비로 분포하였고, 광분포와 광질에 대한 정밀 실험이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

표 3-2-10. LED광원 담액수경시스템에서 재배된 처리 45일째 제라늄 생육

광원	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (cm)	분지수 (ea)	줄기굵기 (cm)	SPAD (value)
W	14.9 a ²	4.3 a	7.4 a	21.0 a	4.0 a	8.8 a	54.7 a
R	14.3 a	12.7 a	8.3 a	23.7 a	4.3 a	8.4 a	54.6 a
B	13.9 a	4.2 a	7.0 a	23.8 a	3.5 a	8.9 a	53.8 a
RBW	14.6 a	4.6 a	7.7 a	25.5 a	3.8 a	9.1 a	60.5 a

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=4). *초기생육 평균초장 12.1cm, 엽수 6.0장

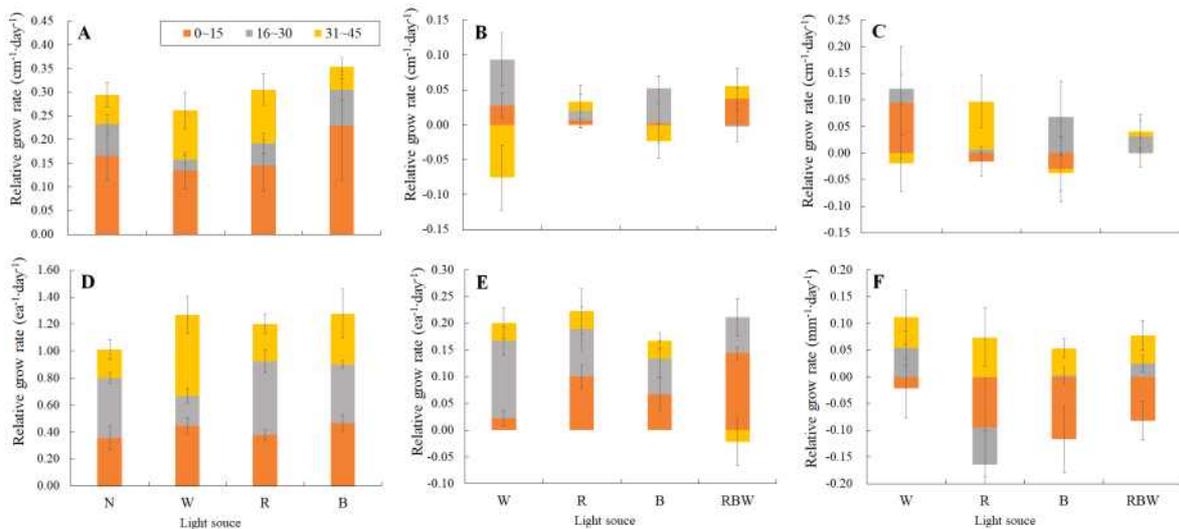


그림 3-2-6. LED광원 담액수경시스템에서 재배기간 중 제라늄의 일생장속도 [A, 초장; B,엽장; C,엽폭; D, 엽수; E, 분지수; F, 줄기굵기]

표 3-2-11 LED 광원 담액수경시스템에서 재배된 처리 45일째 제라늄의 엽록소 형광 변수와 분광 반사율

광원	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	Dlo/RC	NDViz	PRI
W	0.83 a ²	6.21 a	1.60 a	0.27 a	0.55 a	0.017 b
R	0.83 a	7.98 a	1.58 a	0.27 a	0.55 a	0.021 ab
B	0.83 a	6.30 a	1.61 a	0.28 a	0.63 a	0.028 a
RBW	0.83 a	6.93 a	1.59 a	0.27 a	0.57 a	0.017 b

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-12. LED 광원 담액수경시스템에서 재배된 제라늄 개화특성

광원	개화 소요일수 (Day/plant)	만개기 ^y (Day/plant)	착화소화수 (ea/flower)	개화유지기간 (Day/plant)
W	48.9±4.7 ^z	9.3±4.3	8.4±2.0	— ^y
R	40.4±3.1	7.1±1.9	8.2±2.3	17.0±2.0
B	39.6±3.1	7.3±0.9	8.9±3.0	15.6±2.6
RBW	39.0±4.7	6.9±2.4	8.9±2.9	12.0±1.0

^z표준편차(n=3). ^y60일 재배

표 3-2-13. LED광원 담액수경시스템에서 재배된 처리 45일째 제라늄^z의 꽃과 엽의 색도

광원	화색			엽색		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
W	35.6 ab ^z	80.5 a	12.1 a	27.5 a	-19.0 a	10.3 a
R	27.7 dc	75.9 a	7.6 a	28.7 a	-18.6 a	12.7 a
B	30.5 abc	79.3 a	19.8 a	27.3 a	-15.3 a	10.0 a
RBW	36.8 a	74.5 a	18.4 a	27.1 a	-18.3 a	9.7 a

^z만개종 꽃잎과 성장점으로부터 3번째 잎,

^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=5).

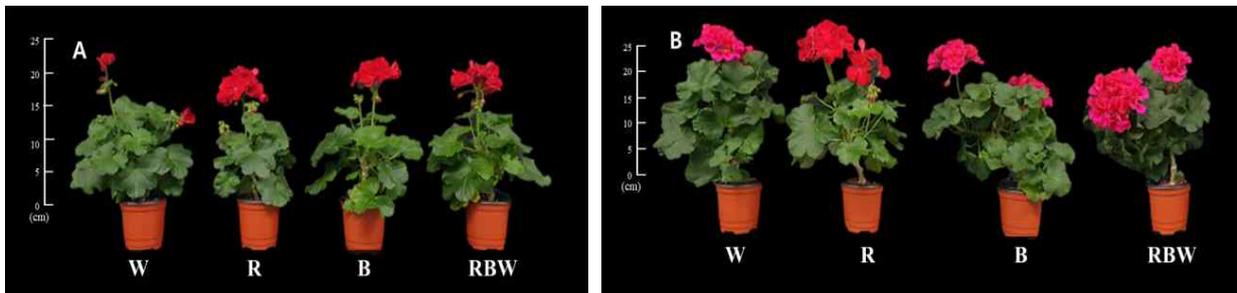


그림 3-2-7. LED광원 담액수경시스템에서 재배된 제라늄의 생육
(A:처리 후 30일, B: 처리 후45일).

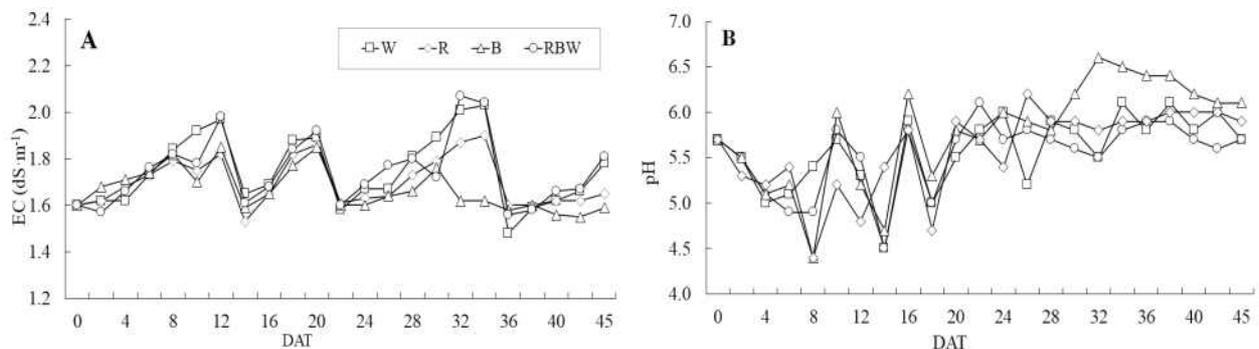


그림 3-2-8. LED광원 담액수경시스템에서 재배기간 중 제라늄의 양액 EC(A)와 pH(B) 변화.

2) 베고니아 생육

LED 광원에서 45일간 재배된 베고니아의 초장, 초폭, 엽장, 엽폭, SPAD은 처리 간 차이가 없이 양호하게 성장하였다(표 2-2-19). 처리 기간 중 15일 간격으로 3구역으로 나눠 일일 성장속도를 분석한 결과 초장은 R광원 처리에서 기간별 균일한 성장속도를 유지하며 성장하였다. 초폭은 W 광원에서 성장속도가 낮았고, 엽장과 엽폭은 B광원에서 낮았으며, 줄기굵기는

R과 RBW에서 양(+)의 성장을 나타내 성장 요소별 성장속도가 광원처리에 따라 달랐다(그림 3-2-9).

광원 처리에 영향을 받은 45일째 베고니아의 엽록소 형광 변수 Fv/Fm는 R 처리에서 낮았으며, 건전도 지수 NDVI와 PRI는 차이가 없었다(표 3-2-15). 최대광합성효율은 0.8이상 적정범위 결과 있는 모든 광원에서 0.8 이상의 결과를 보였지만 그중 R에서 0.82로 가장 낮게 나타났다. NDVI인 식물의 건강 척도는 0.5이상으로 보고, PRI는 양의 값으로 보면, 모두 건강한 식물체인 결과로 확인 할 수 있다.

처리기간 동안 베고니아 누적 화경수는 R광원에서 높고, RBW광원에서 낮은 경향을 보였으나 유의차는 없었다(표 3-2-16). 개화 유지기간은 B광원에서 가장 길었으며, RBW처리에서 가장 짧았고, 엽색은 처리 간 차이가 없었다.

설정 EC 1.6dS·m⁻¹범위에서 수경 재배한 베고니아의 광원별 EC는 EC 2.1dS·m⁻¹까지 증가하였고 RBW, W, R처리에서 높은 경향을 보였다(그림 3-2-11). pH는 pH 4.5까지 낮아지고, pH 변화 폭은 B처리에서 높은 경향을 보였다.

표 3-2-14. LED광원 담액수경시스템에서 재배된 처리 45일째 베고니아 생육 (n=4)

광원	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (cm)	SPAD (value)
W	11.0 a	20.0 a	6.3 a	7.5 a	8.1 b	38.5 a
R	13.0 a	24.8 a	6.6 a	8.3 a	10.0 ab	37.4 a
B	11.8 a	23.3 a	6.3 a	7.3 a	8.4 b	38.5 a
RBW	10.8 a	23.7 a	6.3 a	7.4 a	11.3 a	41.9 a

^z DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

*초기생육: 평균 초장 9.5cm, 평균 초폭 21.6cm, 경경 7.0mm

표 3-2-15. LED광원 담액수경시스템에서 재배된 처리 45일째 베고니아의 엽록소 형광과 분광 반사율.

광원	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	Dio/RC	NDVI	PRI
W	0.84 a ^z	4.55 a	1.69 a	0.27 a	0.487 a	0.021 a
R	0.82 b	3.50 a	1.86 a	0.33 a	0.525 a	0.023 a
B	0.84 a	5.87 a	1.64 a	0.26 a	0.500 a	0.021 a
RBW	0.84 a	5.44 a	1.60 a	0.26 a	0.525 a	0.021 a

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

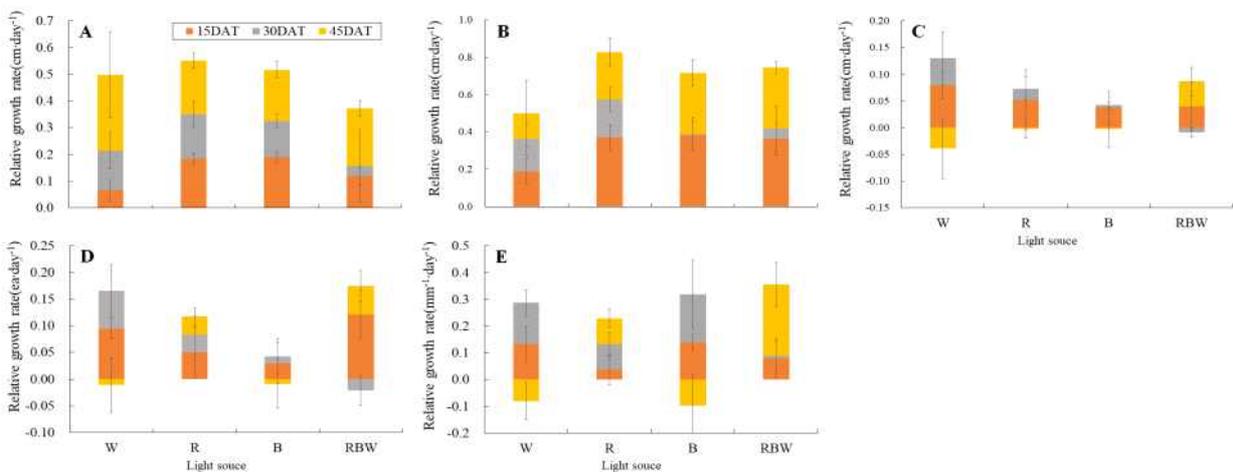


그림 3-2-9. LED광원 담액수경시스템에서 재배 중 베고니아의 일 성장속도
[A, 초장; B, 엽장; C, 엽폭; D, 엽수; E, 분지수; F, 줄기굵기]

표 3-2-16. LED 광원 담액수경시스템에서 재배기간 중 개화 특성과 엽색^z

광원	누적 화경수 (ea/6plant ⁻¹)	개화유지기간 (day/plant ⁻¹)	엽색		
			L*	a*	b*
W	85 a	11.0 ab	21.57 a	-22.08 a	11.89 a
R	132 a	11.9 ab	24.01 a	-18.10 a	12.64 a
B	107 a	16.4 a	21.43 a	-26.39 a	8.40 a
RBW	74 a	9.6 b	24.94 a	-22.54 a	13.00 a

^z측정일: 처리 후 45일, ^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=5).



그림 3-2-10. Bulb 타입 LED광원에 따른 박막수경시스템에서의 베고니아 생육
(A:처리 후 30일, B:처리 후 45일)

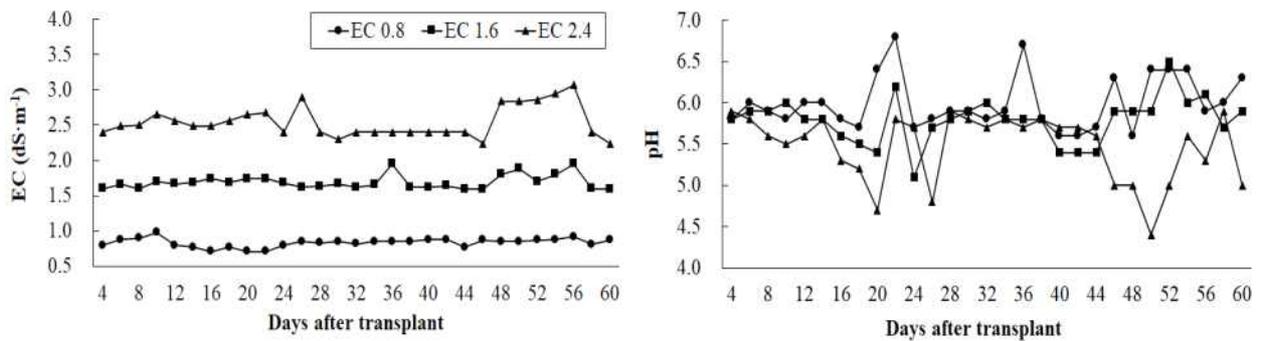


그림 3-2-11. LED 광원 담액수경시스템에서 재배 기간 중 베고니아 배양액 EC(A)와 pH(B) 변화

3.2.2. 배양액 농도(EC)

박막수경방식으로 제라늄을 EC 3수준(0.8, 1.6, 2.4 dS·m⁻¹)에서 60일간 수경 재배하였을 때 EC 1.6처리에서 초장이 가장 길었고, 엽수, 엽장, 엽록소함량(SPAD) 및 식물 건전도 지수(NDVI)는 처리간 차이가 없었다. 식물체 당 꽃대는 EC 1.6처리에서 가장 많았으나, 꽃대 당 꽃수와 관상 일수는 각각 7.2~8.1개, 15.6~18.4일로 처리간 차이가 없었고 Hunter L값은 EC 2.4에서 가장 높았다.

관엽 2종(아글레오네마, 싱고니움)을 펄라이트 배지에 정식하고 EC 3수준(0.8, 1.6, 2.4 dS·m⁻¹)으로 포트당 80mL씩 2~3일 간격으로 두상관수하며 45일간 재배한 결과 EC 수준에 따른 생육 차이는 없었다. 45일 째 아글레오네마의 엽록소함량 값이 EC 0.8과 1.6처리에서 높았고, 아글레오네마와 싱고니움의 30일째 EC 2.4처리의 Fv/Fm은 낮았으나, 45일째에는 처리 간 차이가 없었다.

1) 배양액 농도처리에 따른 제라늄의 생육과 개화

○ 공시재료: 제라늄 'Zonal'

- 처리: EC(dS·m⁻¹) 3수준으로 0.8, 1.6, 2.4 dS·m⁻¹
- 환경조절(22±1°C, 70%±2 RH, 백색LED 100 PPFD 및 일장 (주/야 14/10)실에서 박막 수경 재배시스템으로 60일간 재배
- 재배: 제라늄의 뿌리에 부착된 흙을 깨끗이 씻어 하이드로볼로 채워진 네트포트(∅7)에 각 처리별 식물체를 8주씩 정식한 후 네덜란드 분화류 배양액(표 2-10-1, pH 5.5~6.5 조절)을 각 처리 농도별로 조절하여 회당 30분씩, 1일 17회 공급하며 수경 재배 함.
- 조사항목: 생육, 개화, 배액 pH와 EC

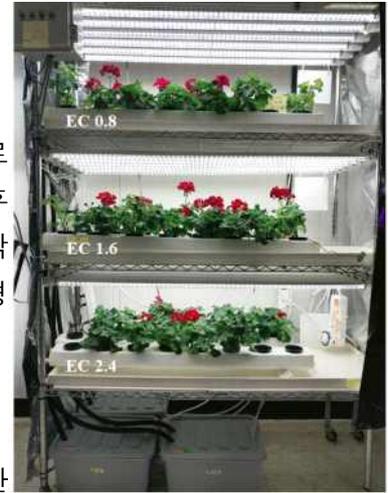


그림 3-2-12 배양액 농도 처리에 따른 제라늄의 설치 모습(21. 11. 23)

EC 처리 30일째 제라늄의 생육은 초장 8.0~8.3cm로 처리 간 유의성이 없었으나 60일째는 EC 1.6처리에서 10.3cm로 가장 길었다(표 2-2-16). 엽수는 30일째, EC 1.6처리에서 24.8cm로 가장 많았고, 60일째 처리가 차이가 나지 않았다. SPAD는 30, 60일째 모든 처리 간 유의적이지 않았다.

그림 3-2-12는 EC 처리 일수에 따른 EC와 pH의 변화이다. EC는 적정범위 내로 보정 하며 처리 범위 내로 EC가 유지 되도록 하였으나 EC2.4 처리에서 28, 50일째 EC가 높아졌다. EC가 높을 경우, 작물은 수분흡수가 어려워지고 세포 생육은 느리다고 하였다. 양액의 pH는 EC가 높아질수록 하강 정도는 더 컸다. 온실작물들의 적합한 pH 범위는 5.5~6.5로 알려져 있으나 (Kim, 1998) 모든 처리구에서 22일째 높아졌다. EC 2.4처리에서 20, 26, 50일째에는 pH가 낮아지는 경향을 보였다.

표 3-2-16. 배양액 EC 처리 30일과 60일째의 제라늄 생육과 엽록소함량(SPAD)

DAT	EC (dS·m ⁻¹)	초장(cm)	엽수(ea)	SPAD (value)
30	0.8	8.3 a ^z	23.8 ab	55.0 a
	1.6	8.2 a	24.8 a	53.4 a
	2.4	8.0 a	21.0 b	53.6 a
60	0.8	8.0 b	22.8 a	50.7 a
	1.6	10.3 a	23.3 a	54.0 a
	2.4	8.6 ab	22.8 a	50.7 a

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=6). *초기생육 평균 초장 7cm, 평균 엽수 4.2장

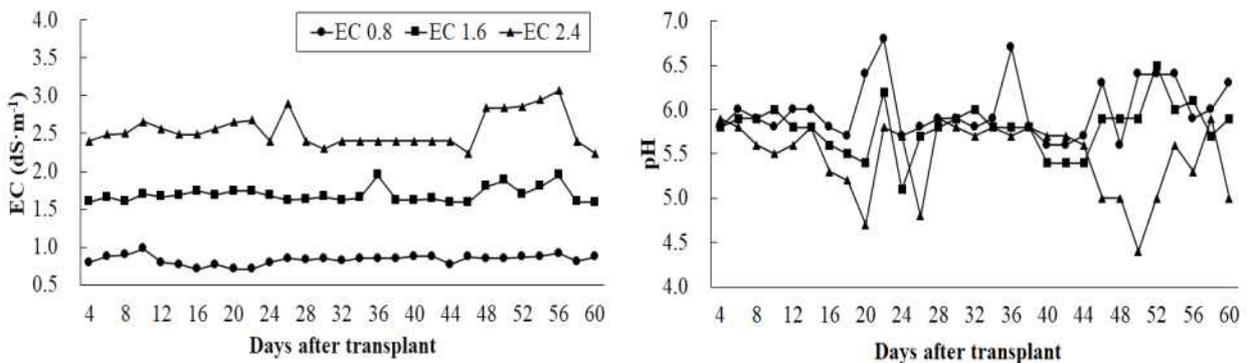


그림 3-2-13. 배양액 EC 처리에 따른 제라늄 배양액의 EC와 pH 변화

표 3-2-18은 EC처리 60일째의 제라늄의 개화 특성이다. 식물체당 화경수는 EC 1.6처리에서 가장 많았다. 화경당 꽃수와 관상기간은 유의적인 차이가 없었으며, 엽색의 명도인 L값은 EC2.4처리에서 높았고, 적색도 a값과 황색도 b값은 처리 간 유의성이 없었다. RHS color chart을 이용하여 제라늄의 화색을 보았을 때, 모든 처리는 Red 그룹의 색상이었고, A, B, C, D로 가면서 명도는 높고 채도는 낮게 배열 되어 있다(Kim, Cho 등., 2014). EC 0.8처리는 진적색으로 가장 색상이 진했고 EC 1.6처리는 진적색이었고, EC 2.4처리는 진한 적색이었다.

표 3-2-18. 배양액 EC 처리 60일째 제라늄의 개화 특성

EC (ds·m ⁻¹)	화경수 (ea/pl.)	소화수 (ea/ped.)	개화기간 (day)	화색			RHS ^y
				L*	a*	b*	
0.8	3.0 ab ^z	7.3 a	15.8 a ^y	23.8 b	67.8 a	11.3a	R N46 B
1.6	5.2 a	8.1 a	18.4 a	23.1 b	66.1 a	14.6a	R N45 A
2.4	2.5 b	7.2 a	15.6 a	34.2 a	62.2 a	19.8a	R N45 B

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=6).

^yRoyal Horticultural Society color chat number.

2) 배양액 농도처리에 관엽식물의 생육

■ 연구방법

○ 공시재료:

- 아글레오네마(*Aglaonema commutatum*, 'Aurora')
- 싱고니움(*Syngonium podophyllum*, 'Pixie')

○ 처리구: EC 3수준(0.8, 1.6, 2.4 dS·m⁻¹) 처리

○ 실험기간: 처리 후 45일

○ 재배방식: 펄라이트가 충전된 포트(이색포트 90호) 처리별 4개체씩

○ 재배환경: 온도 23±1°C, RH 65±2%. 18W·m⁻² 일장(주/야) 14/10시간

○ 네덜란드 분화류 배양액(표 2-10-1)을 처리 수준별 1일 1회 80ml씩 두상관수

○ 조사항목: 생육, 엽록소형광, 분광반사율, 광합성

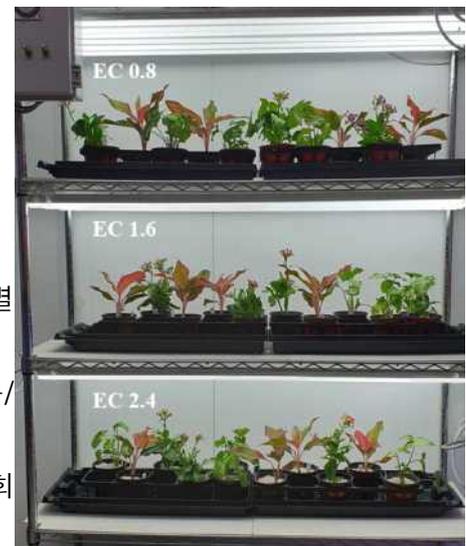


그림 3-2-14 배양액 농도에 따른 처리구 설치 모습 (2021.10.12.)

■ 연구결과

1) 아글레오네마

EC처리 100일째 아글레오네마의 광합성은 EC 0.8과 EC 1.6에서 높고 EC2.4 처리에서 낮았다(표 3-2-19). EC 2.4의 광합성을, 기공전도도, 증산율은 EC 0.8과 1.6 처리에 비해 약 3 배 이상 낮았고, 엽록소함량값은 EC 1.6 > EC 0.8 > EC 2.4 순 이었다. EC 0.8에서 증산량이 다른 처리에 보다 높은 것은 가스교환율을 증진시키고, 광합성 기구의 효율을 보다 증가시킬 수 있는 결과로 보인다. 아글레오네마의 엽록소 형광변수 Fv/Fm은 EC 2.4에서 현저하게 감소하였고, 반응 중심의 에너지 손실(DIo/RC)은 증가했다(표 3-2-20). PSII의 최대 양자 효율의 척도인 Fv/Fm(Govindjee, 1995)의 감소는 광합성 저하 또는 광억제를 의미한다. 높은 EC 수준에서 자란 식물은 광 억제에 대한 높은 감수성으로 QA에서 QB로의 전자 전달이 억제되고(Franck 등, 2002), 많은 PS I 반응 중심이 비활성화 된 결과(Piao 등, 2004)로 Fv/Fm이

감소되었다. 즉, Q_B 의 비활성으로 인해 Q_A 의 과잉 환원 상태로 인한 PSII의 막 구성 요소를 손상 시킬 수 있는 결과로 보여 진다(Piao 등, 2004).

아글레오네마의 정식일, 처리후 45일, 60일, 100일, 140일째의 배양액 농도에 따른 생육은 EC 0.8 농도에서 100 일 이후 급격하게 성장하여 초장, 엽수, 분지수, 줄기굵기가 가장 좋았다(그림 3-2-15). 식물은 높은 EC의 경우 엽 황화, 줄기 왜화등이 발생한다고 알려져 있는데 (Feigin, 1988) 본 실험에서도 배양액 농도가 가장 높은 EC 2.4에서 엽의녹색 부분에서 황화 현상이 나타나고 처리 100일 이후 왜화되었다(그림 3-2-15~16).

표 3-2-19. 배양액 농도 처리에 따른 처리 100일째 아글레오네마의 광합성 특성.

EC ($dS \cdot m^{-1}$)	광합성율 ($\mu mol \cdot CO_2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	기공전도도 ($\mu mol \cdot H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	증산율 ($mmol \cdot H_2O \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	SPAD (value)
0.8	2.36 a ^z	0.024 a	0.49 a	36.1 b
1.6	2.28 a	0.009 b	0.19 b	45.2 a
2.4	0.77 b	0.008 b	0.15 b	20.9 c

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-20. 배양액 EC 처리에 따른 처리 100일째 아글레오네마의 엽록소 형광과 분광반사율

EC ($dS \cdot m^{-1}$)	엽록소 형광 변수 ^z					분광 반사율
	Fv/Fm	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DIo/RC	NDVI
0.8	0.81 a ^y	1.33 b	1.07 b	0.55 b	0.26 b	0.81 a
1.6	0.81 a	1.30 b	1.05 b	0.58 ab	0.24 b	0.78 b
2.4	0.77 b	2.00 a	1.53 a	0.66 a	0.47 a	0.75 b

^z표 2-10-9 참조. ^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

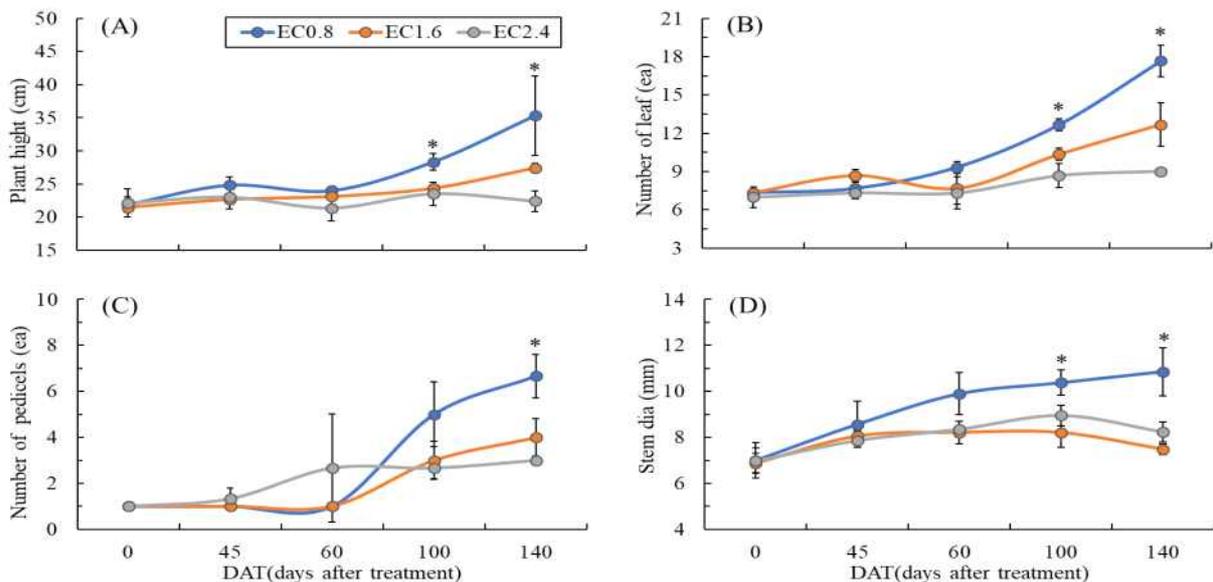


그림 3-2-15. 배양액 농도 처리 영향을 받은 아글레오네마의 생육 변화(n=3).

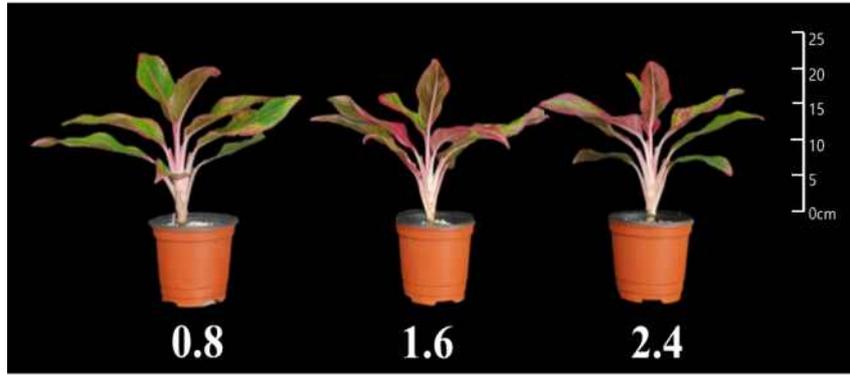


그림 3-2-16 배양액 처리 영향을 받은 140일째 생육 모습(22.3.4)

2) 싱고니움

배양액 농도 처리 30일째 싱고니움의 엽록소 형광 변수 Fv/Fm, Pi_Abs, ABS/RC, TRo/RC, Dlo/RC에서 유의적인 차이를 나타냈으나, 45일째에는 모든 처리 간 차이가 없었다(표 3-2-21). 처리 30일째 Fv/Fm은 EC 2.4에서 낮았고, 에너지 보존효율을 의미하는 Pi_Abs는 EC 1.6에서 3.98로 높았으며, EC2.4에서 2.17로 가장 낮았다. ABS/RC, TRo/R, Dlo/RC는 EC 2.4 처리에서 높았다. 그러나 45일 째 측정된 엽록소 형광변수가 모든 처리에서 차이가 없어 싱고니움의 EC 영향이 처리 기간이 길어졌을 때 적응되고 있다고 판단되었다.

처리 30일 째 식물 건전도 지수 NDVI 값은 0.3 ~0.4 수준으로 낮았으며, PRI는 모든 처리에서 음의 값을 보였으며, CRI는 농도가 높을수록 높아졌다(그림 3-2-22). 45일째는 30일째 지수 값보다 증가하였고 NDVI 지수가 0.5 이상을 보여 싱고니움이 배양액 농도에 적응하고 있는 것으로 판단되었다. 45일째 PRI는 처리 모두 양(+의 값으로 전환되었고, EC 1.6 처리에서 높았다.

배양액 농도 처리에 따른 싱고니움 생육 차이는 없었고 생육량의 증가가 없었다(표 3-2-23). 잎의 탈락으로 초기보다 엽수가 감소하였고, EC 1.6처리의 SPAD값은 높았다. 처리 후 지체부의 썩음증상이 발생이 5일째부터 발생되기 시작하여 처리 후 45일째에는 모든 식물체에서 발생였다. 처리 중 EC 0.8처리에서는 33% 식물체를 교체하였다(표 2-2-24). 아글레오네마와 달리 싱고니움은 EC 0.8dS/m에서도 낮은 NDVI 지수, 고사 및 탈락 현상이 나타나 EC 농도에 약한 것으로 보인다.

표 3-2-21. 배양액 농도처리에 따른 처리 30일과 45일째 싱고니움 엽록소 형광변수

DAT	EC (dS·m ⁻¹)	Fv/Fm	Pi_Abs	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	Dlo/RC
30	0.8	0.83 a ²	3.29 b	1.43 ab	1.19 ab	0.58 a	0.24 b
	1.6	0.80 a	3.98 a	1.26 b	0.99 b	0.50 a	0.26 b
	2.4	0.81 b	2.17 c	1.60 a	1.29 a	0.54 a	0.31 a
45	0.8	0.82 a	5.46 a	1.34 a	1.08 a	0.61 a	0.26 a
	1.6	0.83 a	10.42 a	0.91 a	0.76 a	0.49 a	0.15 a
	2.4	0.81 a	6.90 a	1.03 a	0.83 a	0.51 a	0.19 a

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-2-22. 배양액 농도처리에 따른 처리 30일과 45일째 싱고니움의 분광 반사율.

DAT	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	(value)	NDVI (value)	PRI (value)	CRI (value)
30	0.8		0.34 ± 0.12^z	-0.053 ± 0.03	1.29 ± 0.99
	1.6		0.39 ± 0.08	-0.056 ± 0.01	1.76 ± 0.72
	2.4		0.40 ± 0.11	-0.048 ± 0.01	1.89 ± 0.92
45	0.8		0.56 ± 0.02	0.016 ± 0.005	3.11 ± 0.24
	1.6		0.60 ± 0.03	0.024 ± 0.005	3.42 ± 0.26
	2.4		0.57 ± 0.03	0.016 ± 0.002	3.33 ± 0.45

^z표준편차(n=3)

표 3-2-23. 배양액 농도처리에 따른 처리일, 처리후 15일과 45일째 싱고니움 생육특성

DAT	EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	초장 (cm)	엽장	엽폭	엽수	SPAD
15	0.8	17.3 a	5.0 a	4.9 a	9.0 a	29.4 a
	1.6	17.6 a	5.2 a	5.0 a	4.8 a	27.5 a
	2.4	16.3 a	5.1 a	4.6 a	7.8 a	29.7 a
45	0.8	17.9 a	5.0 a	5.1 a	7.8 a	26.3 b
	1.6	18.4 a	5.3 a	5.1 a	7.0 a	37.3 a
	2.4	16.8 a	4.9 a	4.7 a	7.0 a	28.5 b

^z DMRT at $p < 0.05$ level(n=3). 초기생육: 초장 16~17cm,



그림 3-2-17. 배양액 EC 농도에 따른 처리 45일째 싱고니움 생육

표 3-2-24. 배양액 처리 45일까지 싱고니움 병해 발생 식물체 교체율, 발병율

EC ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	교체율 (%)	발병율 (%)
0.8	33	100
1.6	0	100
2.4	0	100



그림 3-2-18. 병해 발생 식물체 모습. (A) 줄기 병변, (B) 잎 병변

3.3. 플랜테리어용 수경재배 재배관리

제라늄을 45일 수경재배 동안 재배관리 투입 시간이 담액 수경 시스템에서는 193분, 박막 수경 재배 시스템은 172분 소요되었다. 수경재배 시스템 설치에 55~80분이 소요되어 전체 투입시간의 30% (담액형)~40%(박막형)를 차지하였고, 주변정리 및 작물관리에 소요시간은 1일 5분 이내로 적었다.

제라늄을 45일 수경 재배 동안 재배 관리에 소요된 시간을 측정한 결과 담액 수경재배 시스템에서는 총 193분, 박막 수경재배 시스템은 172분이 소요되었다(표 3-3-1, 표 3-3-2). 수경 재배 시스템을 설치하는데 개당 55~80분이 소요되었으며, 기타 관리시간이 2시간 내외로 분화 수경재배 동안의 노동시간은 매우 적었다. 재배관리 측면에서는 배양액의 pH, EC 측정에 시간이 소요되었으나, 실제 취미형 수경재배에서는 이보다 소요시간이 줄어들 것이라 생각된다. 주변 정리로 떨어진 꽃잎과 노화된 엽을 제거하는데 2.1분 소요되었다. 식물체가 고사되어 교체하는데 5분이 소요 되었다. 연속적인 식물체의 관리를 위한 배액 측정과 주변 정리는 일일 4.1분이 소요되었다. 한편 작물 재배과정 중 식물에 보식하거나 병해 등이 발생하였을 때는 양액 교체 등의 소요시간이 발생하였다.

표 3-3-1. 담액수경시스템에서 45일간 평균 관리 시간 (재배기 개당)

항목	시스템		관리				계
	설치	식재	배액 측정	양액교체	정리	보식	
시간(분/회)	25	30	2	20	2.1	5	
횟수(회)	1	1	24	1	16	3	
소요시간(분)	25	30	48	20	33.6	15	171.6

표 3-3-2. 박막수경시스템에서 45일간 평균 관리 시간 (필드 개당)

항목	시스템		관리				계
	설치	식재	배액 측정	양액교체	배드청소	교체	
시간(분/회)	35	45	2	13	3.6	5	
횟수(회)	1	1	24	3	14	1	
소요시간(분)	35	45	48	39	50.4	5	193

3.4. 플랜테리어용 실내재배기에서의 아쿠아포닉스 환경 구명

3.4.1. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템

분화 3종(제라늄, 칼랑코에, 베고니아)을 혼식하고, 수조 60L에 금붕어 10마리(어체중 $170.1g \pm 3.9$)를 입어하여 매일 급이(어체중의 0.5%)한 사육수를 순환시키며 12주간 아쿠아포닉스 재배하였다. 사육수 pH와 EC가 벽면형은 pH 7.0~7.9, EC $0.3 \sim 0.37dS \cdot m^{-1}$, 다단형은 pH 6.5에서 pH 5.3까지 지속적으로 감소하였고, EC $0.13 \sim 0.23dS \cdot m^{-1}$ 로 측정되었다. 여과 기능이 있는 배지 화산석의 총 충전량이 벽면형에서 많이 사용(17.2L)되어 사육수 여과로 인한 무기이온 NO_3^- , HPO_4^{2-} , Ca^{2+} , 및 Mg^{2+} 함량은 다단형 시스템보다 벽면형에서 높았다. 상부에 설치된 인공광원으로 시스템 내 식재된 식물 위치의 광도 분포가 달랐고, 처리 12주째 칼랑코에는 벽면형에서 70PPFD 이상, 다단형은 50PPFD 이상에서 생육이 좋았지만, 개화는 30PPFD 이하의 식재 위치에서 관찰되었다. 제라늄은 50PPFD에서 생육이 양호하고 개화되었으나, 100PPFD 광도 위치에서 관상 기간은 가장 길었다. 베고니아는 4주차부터 식물 앞의 투명화 현상이 발생하여 생육이 저조하였고, 20PPFD 이하의 낮은 광도에서 재배된 식물은 개화하지 않았다.

벽면형과 다단형의 위치에 따른 광도 차이로 칼랑코에는 50PPFD 이상에서, 제라늄은 100PPFD 이상의 광도가 생육에 적합하였다. 한편 사육수 조 양분 불균형으로 인한 황백화 현상이 칼랑코에서는 발생하지 않았으나, 제라늄은 4주차부터 벽면형과 다단형 모두에서 발생하였다.

■ 연구방법

○ 공시재료

- 식물체: 칼랑코에, 제라늄, 베고니아
- 어류: 금붕어(*Carassius auratus auratus*) 10마리

○ 벽면형(Wall)과 다단형(박막수경, Multi) 2처리하여 12주간 환경조절실(23°C±3, RH 65%±10. 백색 LED 상부 설치, 일장(주/야) 14/10시간)에서 재배(그림 2-4-3)

○ 실험기간: 정식 후 84일

○ 재배: 벽면형은 거치형 재배포트(내경 $\varnothing 7.6 \times 14(H)$ cm) 상면까지 화산석으로 충전하고, 다단형은 네트포트($\varnothing 7$)에 화산석을 충전하여 각각의 식물체를 처리별로 총 36주 정식(그림 3-4-1~2 식재배치도).

- 사육조의 물량은 50L이고, 여과는 스펀지, 화산석, 세라믹링을 이용하여 여과조에 배치하였고, 급이는 조담백 함량이 36%의 사료를 어체중의 0.5% 공급함. pH 5.0 이하에서는 1N-KOH 공급하여 보정

○ 조사항목: 생육, 개화, 사육수 특성, 무기이온, 어류 특성

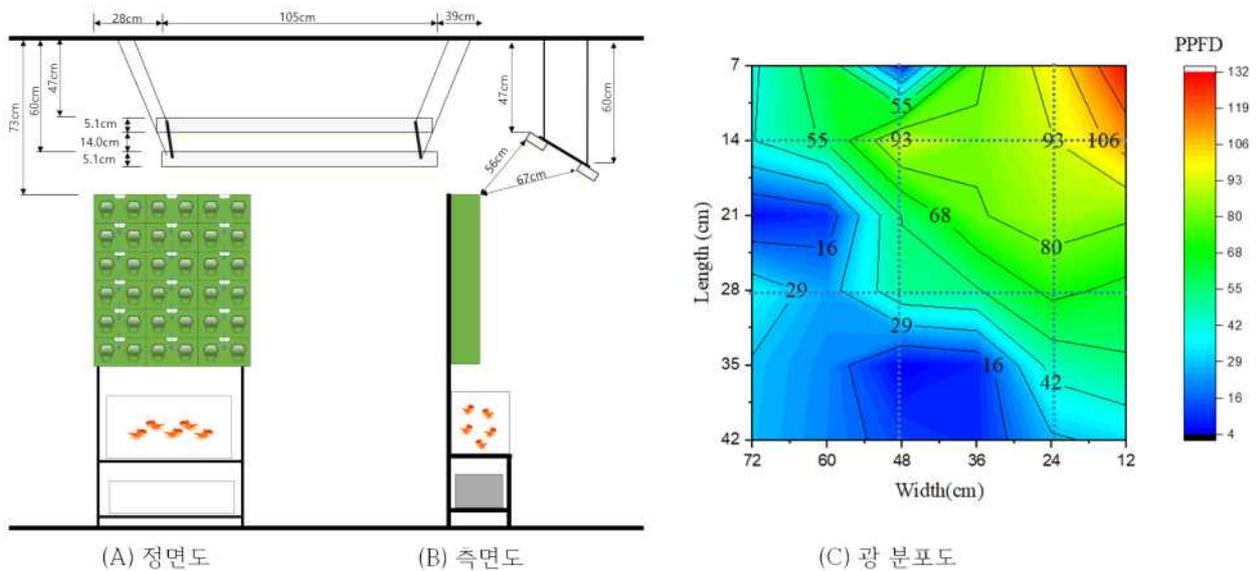


그림 3-4-1. LED 인공광원이 설치된 벽면형 아쿠아포닉스 시스템과 위치별 광분포도

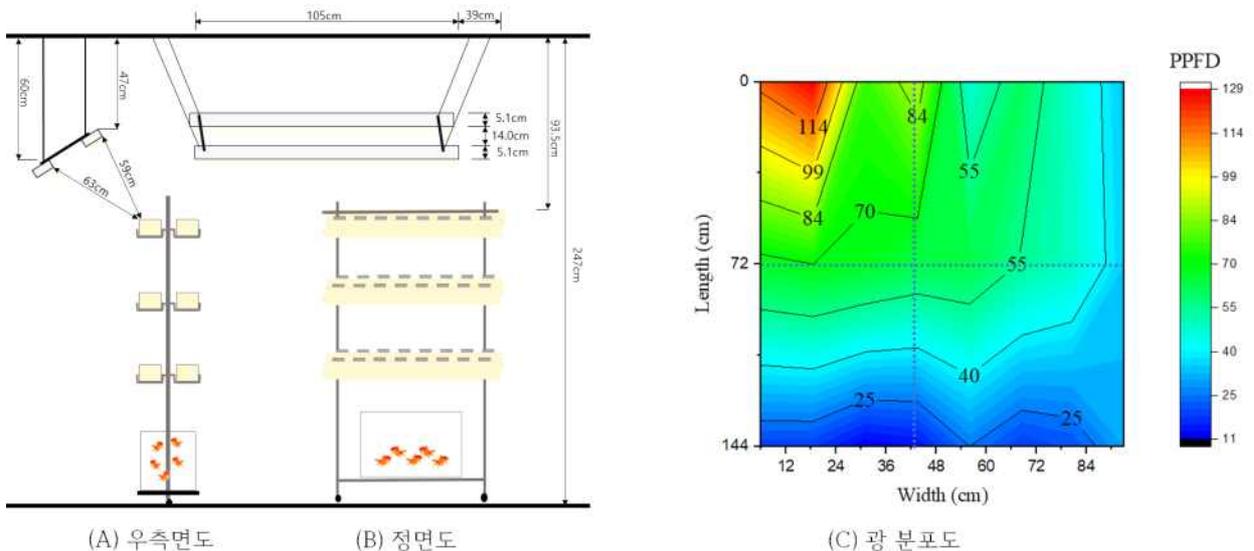


그림 3-4-2. LED 인공광원이 설치된 다단형 아쿠아포닉스 시스템과 위치별 광분포도

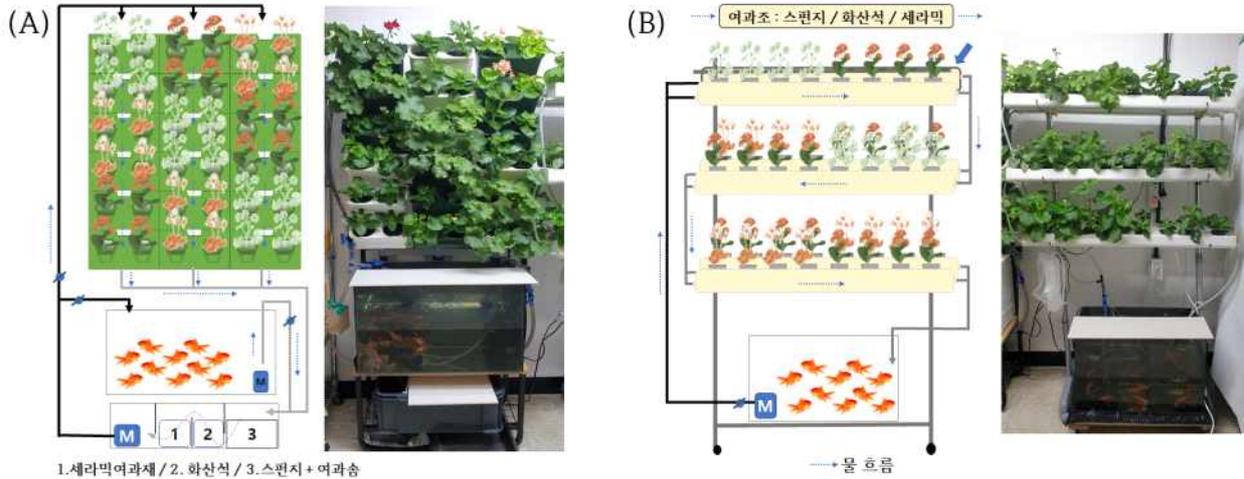


그림 3-4-3. 벽면형(A)과 다단형(B) 아쿠아포닉스 시스템의 모식도 및 적용 실제

(A) Wall type plant position

위치	1 구역		2 구역		3 구역	
Upper	G1	G2	K1	K2	B1	B2
	G3	G4	K3	K4	B3	B4
Mid	B5	B6	G5	G6	K5	K6
	B7	B8	G7	G8	K7	K8
Down	K9	K10	B9	B10	G9	G10
	K11	K12	B11	B12	G11	G12

(B) Multi type plant position

위치	1 구역				2 구역			
Upper	G1	G2	G3	G4	K1	K2	K3	K4
Mid-1	K5	K6	K7	K8	G5	G6	G7	G8
Mid-2	B1	B2	B3	B4	K9	K10	K11	K12

그림 3-4-4. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템의 식물 배치도[제라늄(G), 칼라코에(K), 베고니아(B)]

■ 연구결과

아쿠아포닉스 재배기간 중 사육수의 pH가 벽면형에서는 평균 pH 7.6(pH 6.9 ~ pH 8.2), 다단형은 평균 pH 6.1(pH 4.8~pH 7.9)의 분포를 보여 시스템에 따른 pH 변화가 달랐다(그림 3-4-5 A). 사육수 pH 변화가 벽면형에서는 pH 7.0~8.0의 높게 유지된 반면, 다단형에서는 처리 70일까지 지속적으로 하락하였고 이는 정식 20일 후 pH 감소가 눈에 띄게 하락하여 pH 4.8까지 내려가고 변화폭도 컸다. 식물체가 식재된 정식초기 사육수의 EC($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)가 벽면형은 $\text{EC } 0.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, 다단형은 $\text{EC } 0.13\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 였으며, 80일 재배기간 동안 EC가 벽면형은 평균 $\text{EC } 0.3\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ($\text{EC } 0.23\sim\text{EC } 0.41\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), 다단형은 $\text{EC } 0.11\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ($\text{EC } 0.08\sim\text{EC } 0.23\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) 비교적 변화가 없었다(그림 3-4-5, B). 처리 67일째 pH와 EC의 상승은 중탄산칼륨(KHCO_3) 첨가로 인해 급격하게 상승한 결과이며, 벽면형의 pH와 EC가 높은 것은 화산석 충전 양이 다단형보다 7.5배 많아 완충 표면이 넓어 높게 유지된 것으로 보인다. 80일 아쿠아 재배 후 어체중은 초기 입어시에 비해 벽면형에서는 16%, 다단형에서는 18% 어체중 증가를 보였다(자료 미체출).

처리 39일 후 5일 간격으로 측정된 무기이온 성분들이 중탄산칼륨(KHCO_3)을 투여한 71 DAT을 기준으로 급격하게 증감하였고, Wall 처리가 Multi보다 무기이온 함량이 높게 측정되었다(그림 3-2-7). 암모늄(NH_4^+)은 39~64 DAT까지 Wall은 $0.04\sim 0.09\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Multi는 $0.01\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 범위를 유지하다 71 DAT 이후 급격하게 상승하고 천천히 감소하는 경향을 보였다. 질

산염(NO_3^-) 또한 Wall에서 $140 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 절반 수준으로 감소 후 다시 증가되었다. Multi는 71 DAT까지 증가 후 다시 감소 되었는데, 이는 중탄산칼륨 투입에 의한 pH 안정화 결과로 NH_4^+ 는 증가하고, NO_3^- 는 감소한 결과로 보인다. 인산염(HPO_4^{2-})은 71 DAT 이전 기간에서는 두 처리가 차이를 보였지만 이후에는 Multi에서 증가세를 보이며 축적되었다. 칼륨(K^+)은 두 처리에서 $0.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 미만의 결과를 보였으며, KHCO_3 의 투여로 Wall은 21배, Multi는 7배 증가하였다.

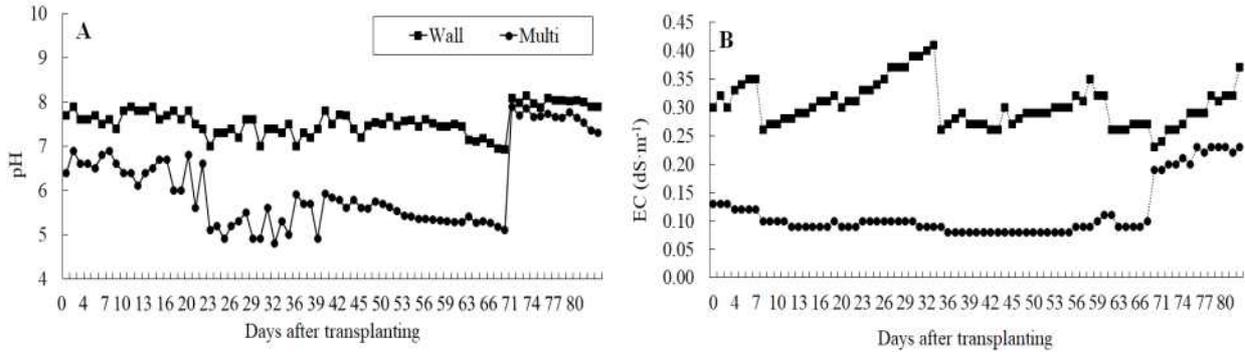


그림 3-4-5. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템의 pH(A)와 EC(B) 변화

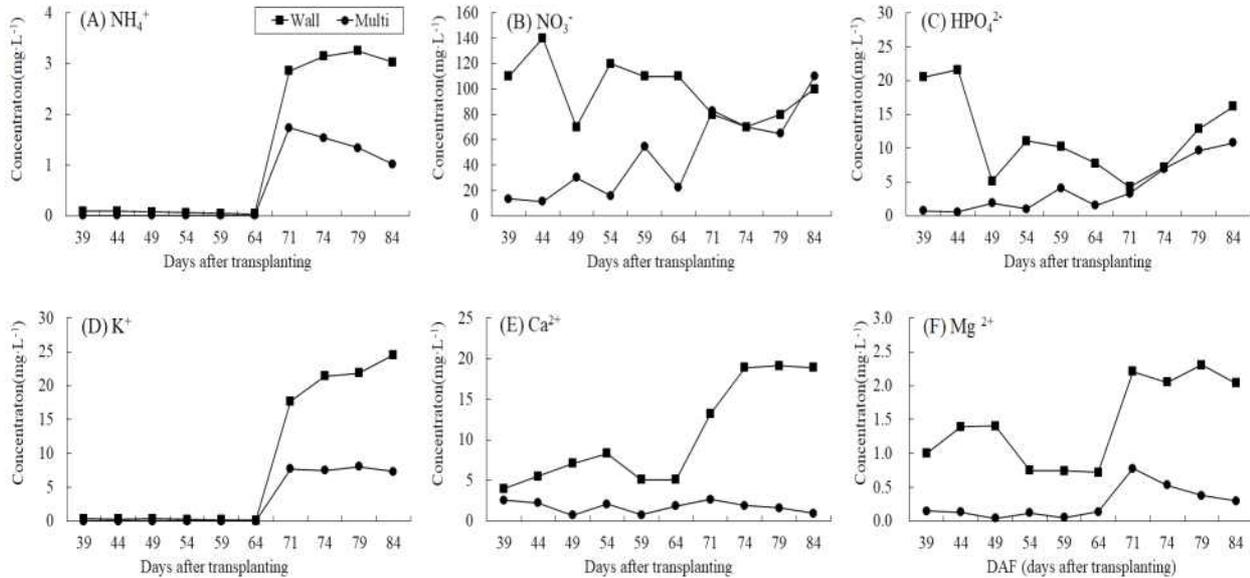


그림 3-4-6. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템 사육수의 무기이온 변화

1) 칼랑코에

아쿠아포닉스 정식 12주째 칼랑코에 마디수, 분지수 및 SPAD 값은 시스템과 위치별 광도에 영향을 받았다(표 3-4-1). 벽면형과 다단형 모두 광도가 높은 처리에서 초장은 가장 높았고, 50 PPFD 이상 분포된 위치구의 마디 수는 11 마디 이상으로 높았으나, D와 M-2처리구(낮은광도 24PPFD)의 마디수는 7-8개로 적었다. SPAD는 광도가 높아질수록 낮아졌다. 칼랑코에는 단일식물로 저광도에 위치한 D 처리에서는 개화가 유도되었으나, 다른 처리에서는 영양생장만 진행되었다. 이는 실내 식재 위치에 따른 광 영향이 단일식물인 경우는 생육과 개화에도 영향을 줄 수 있어 재배 목적에 맞게 적절한 배치를 고려해야 할 것으로 본다. 칼랑코에는 다육식물로 처리 기간 중 결핍증상은 관찰되지 않았다.

표 3-4-1. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템에서 재배된 칼랑코에의 정식 후 12주차 생육

시스템	위치 ^z (PPFD)	초장 (cm)	초폭 (cm)	마디수 (ea)	분지수 (ea)	줄기굵기 (mm)	SPAD (value)
Wall	U (66.1)	18.5 ab ^y	20.7 a	12.0 a	3.7 a	7.6 a	43.3 b
	M (76.1)	21.3 a	20.0 a	11.3 a	2.0 a	7.1 a	39.7 b
	D (24.3)	15.2 b	17.8 a	8.3 b	2.3 a	6.7 a	49.5 a
Multi	U (47.2)	16.5 ab	21.8 a	11.3 a	4.0 a	7.6 a	48.8 ab
	M (50.2)	21.3 a	20.7 a	12.0 a	8.0 a	6.9 a	45.0 b
	M-2 (23.7)	10.5 b	17.2 a	7.0 b	4.0 a	6.5 a	54.6 a
t-test ^y		ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z그림 3-4-4의 평균 광도(그림2-4-1~2) 참조. ^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=3). ^xt-test at $p < 0.05$ level.

*초기생육: 평균 초장 4.7cm, 초폭 11.9cm, 마디수 3.9마디

2) 제라늄

아쿠아포닉스 정식 12주째 제라늄의 분지수, 줄기굵기, SPAD 및 황화율은 시스템과 위치에 따른 광도 영향이 처리간 차이를 보였다(표 2-4-2). 제라늄의 엽수와 분지수 및 SPAD 값은 다단형 시스템에서 높았고, 위치에 따른 광도 영향으로 줄기 굵기는 달랐다. 잎의 황화율 벽면형 U처리, 다단형 M 처리에서 낮았다.

식재 위치로 인해 광도가 높았던 다단형 U처리구의 제라늄의 첫 개화 소요일, 화경수, 화경장, 개화수 및 개화 유지기간이 높았으며, 벽면형 D 처리구의 제라늄은 개화가 이루어지지 않았다(표 3-4-3). 처리 기간 중 개화 유지기간인 관상일수는 12~17일 관찰되었다. 제라늄 Wall은 정식 후 4주차에 성장점 부근에서 발생하여 8주차에 4 - 5마디까지 발생하였다. Multi의 경우도 Upper에서 Down보다 발생이 빨랐다.

표 3-4-2. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템에서 재배된 제라늄의 정식 후 12주차 생육

시스템	위치 ^z (PPFD)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	분지수 (ea)	줄기굵기 (mm)	SPAD (value)	황화율 (%)
Wall	U (50.3)	11.3 by	4.1 a	7.6 a	20.0 a	2.7 a	7.66 c	27.1 a	15.8 b
	M (59.7)	14.3 a	4.3 a	7.2 a	14.7 a	2.0 a	9.05 b	30.9 a	38.5 a
	D (39.7)	9.8 b	3.9 a	6.9 a	15.7 a	2.0 a	10.34 a	21.7 a	40.4 a
Multi	U (102.4)	13.6 a	4.1 a	6.7 a	24.7 a	3.7 a	7.89 b	39.7 a	32.2 a
	M (66.6)	13.0 a	4.0 a	6.7 a	22.3 a	3.0 a	8.90 a	32.4 a	3.8 b
t-test ^x		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z그림 2-4-4의 평균 광도(그림2-4-1~2) 참조. ^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=3). ^xt-test at < 0.05 level.

표 3-4-3. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스 시스템에서 재배된 제라늄의 개화 특성

시스템	위치 ^z (PPFD)	첫 개화 소요일 (day·plant)	화경수 (ea·plant)	화경장 (cm·plant)	개화수 (ea·plant)	개화유지기간 (day·plant)
Wall	U (50.3)	49.0 ±0.0 ^y	1.0 ±0.0	8.5 ±0.0	5.0 ±0.0	13.0 ±0.0
	M (59.7)	35.0 ±0.0	1.0 ±0.0	5.9 ±0.0	2.0 ±0.0	12.0 ±0.0
	D (39.7)	-	-	-	-	-
Multi	U 102.4)	13.0 ±0.0	5.0 ±0.0	7.7 ±0.0	6.6 ±0.0	16.6 ±0.0
	M (66.6)	13.0 ±0.0	1.0 ±0.0	6.4 ±0.7	2.0 ±0.0	13.5 ±8.5

^z그림 2-4-4의 평균 광도(그림2-4-1~2) 참조. ^yDMRT at $p < 0.05$ level(n=2).



그림 3-4-7. 벽면형과 다단형 아쿠아포닉스에서 재배된 정식 4주와 8주째 제라늄

3) 베고니아

벽면형에서 정식 8주째 100PPFD 이상에 위치한 베고니아의 엽폭, 줄기굵기는 좋았지만, 초장, 초폭, 엽장, SPAD에서는 차이를 보이지 않았다. 제라늄, 칼랑코에에 비해 베고니아는 아쿠아시스템에서 생리장애로 인한 고사가 발생하였다. 식재된 두 시스템 모두 정식 후 10 주차에 Wall은 3개체, Multi 4개체 고사하였다. 벽면형 시스템에서는 처리 4주째부터 신초를 중심으로 발생한 황화현상이 8주째에는 전체 앞으로 확대되어 10주째에는 투명화되어 고사되는 증상을 나타냈으며 생리장애는 두 시스템 모두에서 발생하였다(그림 3-4-8). 특히 베고니아의 결핍 증상은 제라늄에 비해 결핍증상 발현이 빨랐으며, 위치에 따라서도 광도가 높았던 상부 Upper에서 증상은 두드러졌다.

표 3-4-4. 아쿠아포닉스 시스템을 적용한 실내 재배 형태에 따라 정식 후 8주째 베고니아 생육

시스템	광도 (PPFD) ^z	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	SPAD (value)	황화율 (%)
U	(108.4)	10.7 ± 1.4 ^y	18.7 ± 2.0	6.7 ± 0.7	7.0 ± 0.9	10.6 ± 1.6	30.3 ± 1.3	100
Wall	M (19.0)	12.0 ± 2.1	15.7 ± 2.4	4.8 ± 0.4	5.2 ± 0.5	6.9 ± 0.9	28.1 ± 3.6	100
	D (8.3)	10.8 ± 1.8	16.0 ± 3.2	5.7 ± 0.5	6.3 ± 0.8	5.6 ± 0.6	27.6 ± 3.9	100
Multi	M-2 (16)	12.5 ± 4.8	23.3 ± 7.0	6.7 ± 1.0	7.7 ± 0.2	6.3 ± 1.3	26.8 ± 1.6	0

^z그림 3-4-4의 평균 광도(그림3-4-1~2) 참조. ^y표준편차(n=2)



그림 3-4-8. 벽면형 아쿠아포닉스에서 정식 후 4주, 8주와 10주째 베고니아 생리장애 및 고사 모습

3.4. 플랜테리어용 아쿠아포닉스 사육수 환경 구명

시판 사료 조단백 함량에 따른 3처리[18%(18P), 32%(32P)와 50%(50P)]로 30일간 매일 2회 어체 중의 0.5% 급이하며 순환시킨 사육수의 pH는 50P 처리에서 평균 pH5.68이었으며, 32P와 18P 처리는 각각 pH4.79, pH4.63으로 낮았다. 조단백 함량이 높은 50P처리에서 EC 0.75dS/m 증가하였고 암모늄은 50P에서, 질산염은 18P, 인산염은 32P, 칼슘 32P, 마그네슘 50P에서 높았다. 50P 처리에서는 식물 적정 pH를 보였으나, 실내 관상시 사육수가 황색으로 질어져 미관과 관리 및 무기이온 함량을 고려할 때 32P가 적합한 것으로 판단하였다.

외부여과기 내 여과재(세라믹링, 활성탄, 난석)를 달리하여 1일 2회 어체중의 0.5%를 공급하며 여과한 사육수의 평균pH가 활성탄(pH 5.13) > 세라믹링(pH4.95) > 난석(pH4.85) 순이었으며, EC 증가는 세라믹링(Δ0.98) > 활성탄(Δ0.73) > 난석(Δ0.48) 순이었다. 10일 이후 암모늄은 10mgL⁻¹ 이하였으며 질산염은 세라믹링 처리에서 가장 높았다.

실내재배기 담액수경방식을 이용한 아쿠아포닉스 재배에서 세라믹링과 여과솜을 배치한 후 재배조에 배지종류(Sponge, Orchid, Hydroball, Volcanic)로 여과시킨 사육수에서 아글레오네마를 45일간 재배하였다. Hydroball 처리에서 재배기간 중 평균 pH5.49(pH4.90~pH6.20)로 사육수초내 pH 변화폭이 가장 적었으며 암모늄의 농도가 낮으며 질산염 100mg L⁻¹ 이하를 유지하여 배지 종류로 적합하였다. 또한 광합성을, 증산율은 높았으며 초장과 엽폭이 작은 특징을 보였다.

아쿠아 수조 내 pH 변동을 줄이며, 식물 생육 결핍 증상을 완화하기 위해 수조 내 KHCO₃ 50ppm, Fe 0.5 ppm, KH₂PO₄ 0.75mM 를 조합하여 각각 또는 혼합하여 조합한 3처리에서 60일 제라늄을 아쿠아재배하였을 때 처리구의 EC 범위는 0.62~0.68dS·m⁻¹을, pH 4.2~6.2 범위에서 있었으며 KHCO₃ 50ppm + Fe 0.5 ppm + KH₂PO₄ 0.75mM가 모두 첨가된 처리(T3)에서 EC와 pH 변화폭이 컸다. 엽수, 초장, SPAD, NVDI 의 생육은 KHCO₃ 50ppm + Fe 0.5 ppm(T2)와 T3에서 좋았고, 무첨가 또는 KHCO₃ 50ppm(T1) 처리는 잎 황화율 발생이 많았다. 가정용 실내재배기로 아쿠아재배에서

사육수 안정을 고려한 이온침가는 중탄산함량과 EDTA-Fe을 첨가하는 것이 적합한 것으로 판단하였다.

가. 조단백함량에 따른 사육수의 변화

■ 연구방법

- 공시재료: 금붕어(*Carassius auratus*)
- 처리 및 기간: 시판 사료 조단백 함량에 따른 3처리[18%(18P), 32%(32P)와 50%(50P)]로 30일 재배
- 급이 및 조사: 매일 어체중의 0.5%(0.93g±0.06)를 2회 공급
24시간 이상 받아둔 수돗물 15L를 사육조(레인보우, 아마존, 중국; 40×22×25cm 두께 5mm)에 채운 후 외부 여과기AMZ-603B, 아마존, 중국, 여과솜, 스폰지 3장 장착)로 24시간 순환하며 사육수의 pH, EC 및 무기성분 변화를 측정함.

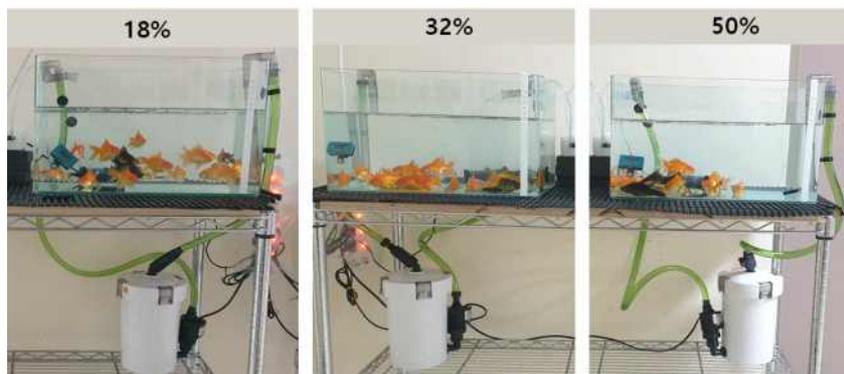


그림 3-4-9. 조단백 함량에 따른 처리구 설치 모습(2021. 9. 9.)

표 3-4-5. 실험에 사용된 조단백함량 성분 구성

처리구 ^z	사료 성분(%)					
	조단백	조회분	조지방	조섬유	인	칼슘
18P	18.2	7.2	7.8	0.3	1.4	1.2
32P	32.0	15.0	2.0	5.0	1.8	1.0
50P	50.0	12.0	5.0	4.0	1.8	1.0

^zGoldfish(Beijing new Rainbow, china, 18P), 금비단(우성사료, 한국,32P), 그로비타(대한 사료, 한국,50P).

■ 연구결과

pH를 측정한 결과 pH5.6~pH6.2 범주로 시작하여 실험 종료일엔 50P에서 pH6.3으로 가장 높았고, 18P와 30P는 pH4.8로 측정되었다(그림 3-4-10). 실험 기간 중 18DAT에 18P와 30P는 가장 낮았다. 일시적으로 증가된 것은 증발된 물을 보충하며 발생하였다. 이후 30P는 감소하였지만, 18P와 50P는 증가하였다. EC(dS·m⁻¹)는 증감을 반복하며 실험 시작일에 비해 18P는 0.38 증가하였고, 30P는 0.64, 50P는 0.75로 측정되었다.

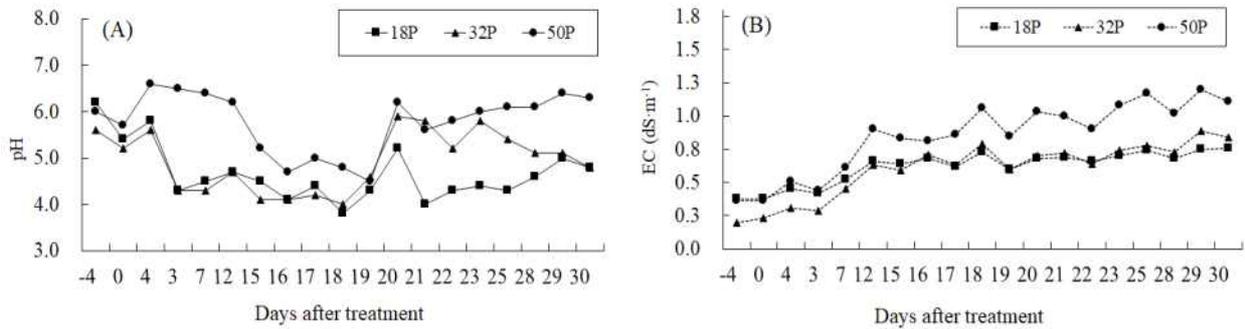


그림 3-4-10. 조단백 함량에 따른 사육수 pH(A)와 EC(B) 변화

무기이온의 변화를 조사한 결과 암모늄 (NH_4^+)은 50P에서 가장 많이 축적되었고, 18P와 30P는 비슷한 수준이었다. 질산염(NO_3^-)은 NH_4^+ 으로부터 전환되며 높아졌는데, $30\text{P} < 18\text{P} < 50\text{P}$ 순으로 증가되었다(그림 3-4-11). 인산염(HPO_4^{2-})은 사료로부터 100% 공급되며, 30P에서 가장 많이 증가되었다. 하지만 유사하게 함유된 50P에서 가장 적었다. 칼슘(Ca^{2+})은 $30 \sim 50 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 수준이었다. 마그네슘(Mg^{2+})은 50P에서는 처리 7일 이후부터 30P는 처리 12일, 18P는 처리 15일부터 증가되었고, $10 \sim 13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 농도를 보였다. 처리일에 맡았던 물은 사료를 급이 함으로 처리 종료일엔 단백질 함량이 높은 50P에서 다른 처리에 비해 황색의 색이 짙어진 것으로 나타났다(그림 3-4-12). 이는 스펀지 여과의 밀도에 의한 조밀한 여과를 못하는 문제점이 나타난 것으로 보인다.

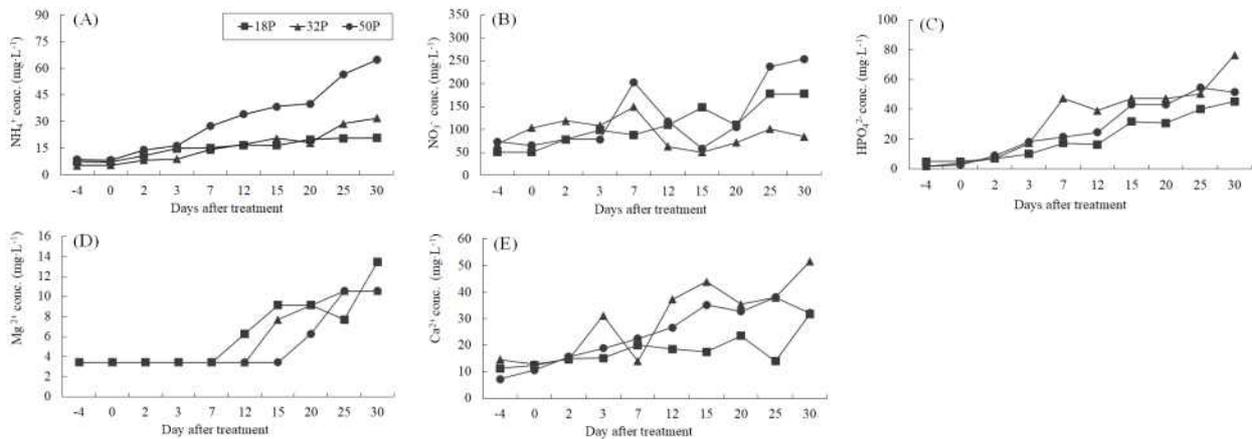


그림 3-4-11. 조단백 함량에 따른 사육수의 무기이온 변화

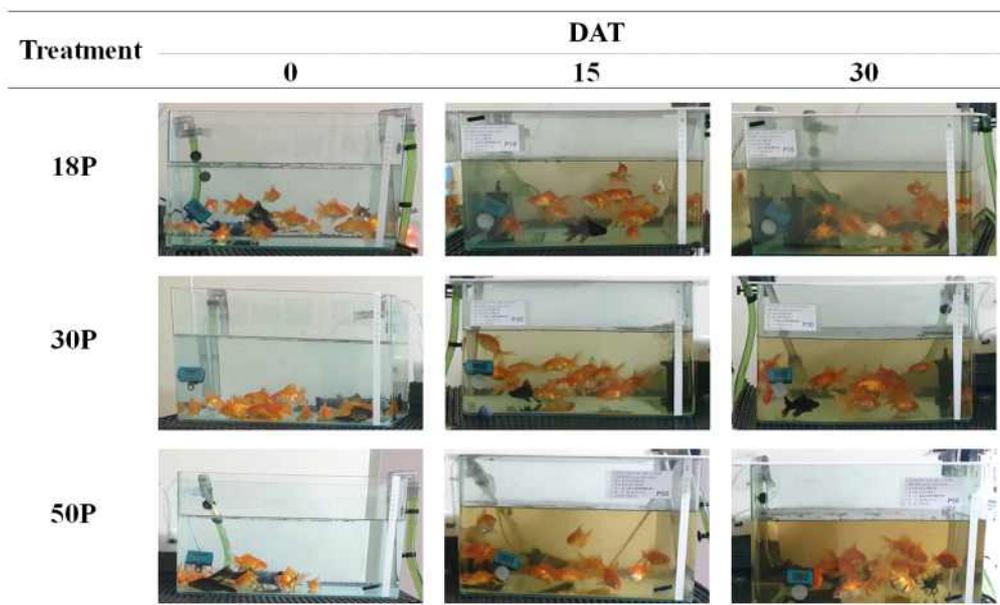


그림 3-4-12. 조단백질 함량별 처리기간에 따른 사육수의 색 변화

나. 여과기 내 여과재 종류에 따른 사육수 변화

■ 연구방법

- 공시재료: 금붕어(*Carassius auratus auratus*) 15마리(162.7g±8.9)
- 처리: 세라믹링, 활성탄, 난석 등 3종류를 외부 여과기 내에 각각 넣어 순환 여과시킴(그림 3-5-5)
 - 세라믹링(200mL; Siporax, SERA CO., Ltd. USA; Bio)
 - 활성탄(100g;Clarocar, PRODAC INT S,R,L., Italy; A.Carbon)
 - 난석(200mL, 소립100ml+대립 100mL; hyugasat sales Co.,Ltd, Japan; Orchid)
- 재배방법: 24시간 이상 받아둔 수돗물 15L를 사육조(레인보우, 아마존, 중국; 40×22×25cm 두께 5mm)에 채운 후 1일 2회씩 매 어체중의 0.5%를 각각 공급하고 24시간 순환 여과하면서 40일간 처리하면서 사육수의 pH, EC, 무기성분 농도를 측정함



그림 3-4-13. 외부 여과기 내 설치한 여과재 종류(좌)와 처리(우)

■ 연구결과

처리 1일 째 사육수의 pH5.4~ pH5.6 수준에서 시작되었고, 40일 동안 평균 pH가 Bio처리 pH 4.95(pH 3.3~pH 6.3), A.Carbon처리는 pH 5.13(pH3.7~pH6.3), Orchid 처리는 pH4.85(pH 3.2~ pH5.8)로 낮았다(그림 3-4-14, A). 처리 18일째 Bio와 Orchid 처리의 pH가 급격히 낮아져 80% 환수를 하였음에도 pH 5.0 이하를 나타냈다. 사육수의 EC는 1일 2회 급이로 모든 처리에서 증가하였다. 처리 1일째 사육수 EC 0.22dS/m(A Carbon) ~ EC 0.42dS/m(Orchid)는 처리 40일 째 EC 0.91dS/m (Orchid) ~ EC 1.30dS/m(Bio)까지 증가하였다. 처리구의 EC(dS·m⁻¹)는 세라믹링(△0.98) > 활성탄(△0.73) > 난석(△0.48) 순이었다(그림 3-4-14, B).

10일 간격으로 무기이온을 측정한 결과 암모늄(NH₄⁺)은 Bio에서 처리 1일 30 mg·L⁻¹까지 증가된 이후 모든 처리의 농도는 10 mg·L⁻¹ 이하로 유지되었다(그림 3-4-15, A). 질산염(NO₃⁻)은 Bio에서 높게 유지되었으며 1일 이후 지속적인 증가를 보였다(그림 3-4-15, B). 이는 질산화 과정이 Bio에서 잘 전환되는 것으로 판단되며, A. Carbon과 Orchid는 100 mg·L⁻¹ 이하로 낮게 유지되며 질산화 과정이 이루어져 여과재 종류에 영향을 받은 것으로 보인다. 인산염(PO₄²⁻)과 칼륨(K⁺)은 지속적으로 증가하였고(그림 3-4-15 C,D), 칼슘(Ca²⁺)과 마그네슘(Mg²⁺) 또한 증감을 반복하며 축적되었는데 난석에서 가장 높았다(그림 3-4-15, E, F).

그림 3-4-16는 처리기간 중 사육수의 상태로 처리 후 5일에는 미생물의 안정화가 이루어지지 않아 탁한 상태의 물 색을 띠었으나, 시간이 경과하며 맑아졌고, 질산염 100 mg·L⁻¹ 이하를 유지한 활성탄 여과재 처리에서 가장 맑은 색의 사육수가 관찰되었다.

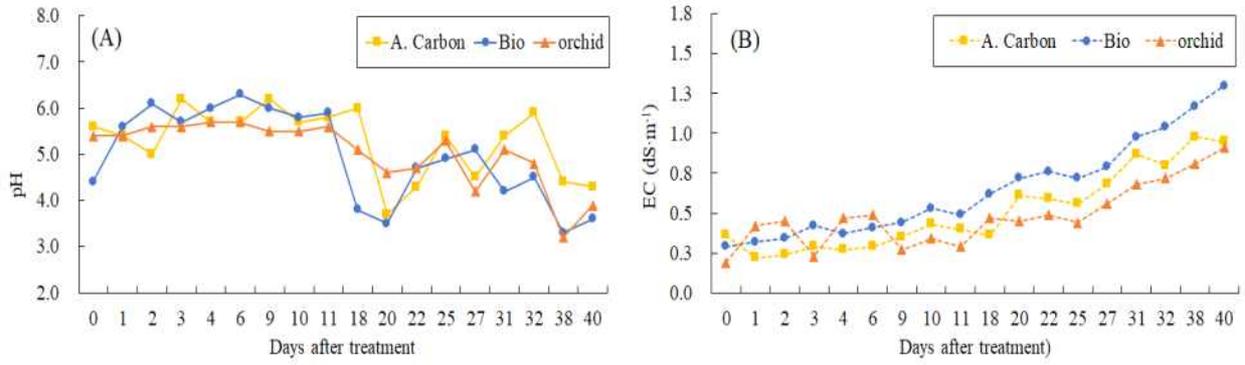


그림 3-4-14. 여과재 처리에 따른 EC(A) 및 pH(B) 변화

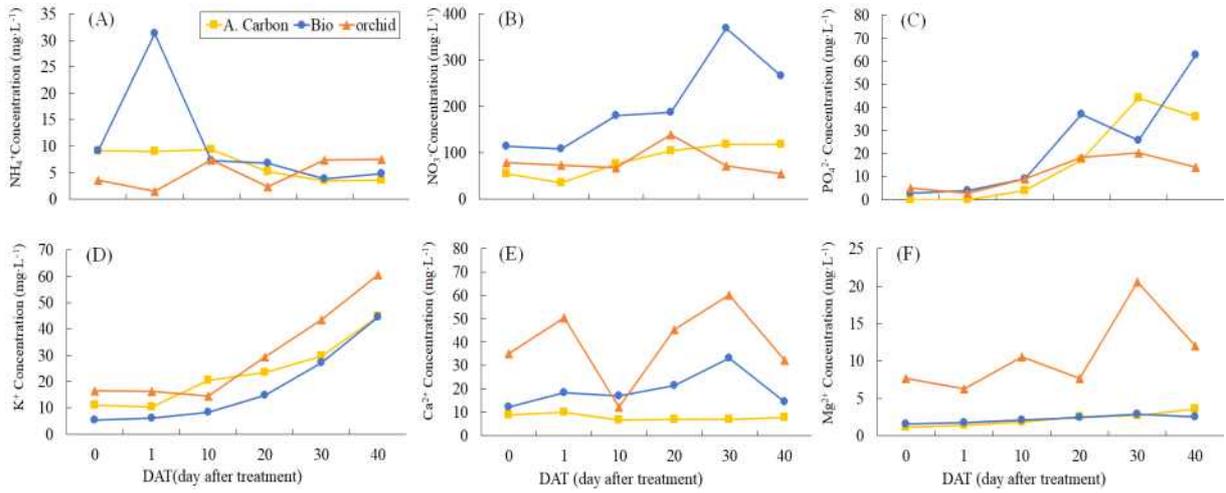


그림 3-4-15. 아쿠아포닉스에서 여과재 처리에 따른 사육수의 무기이온 변화.

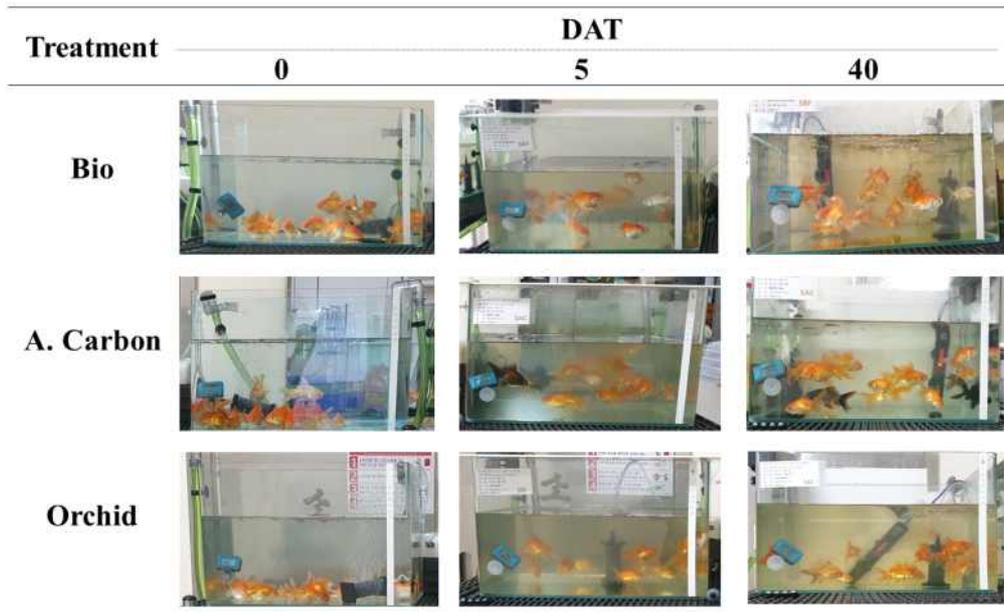


그림 3-4-16. 아쿠아포닉스에서 여과재 처리에 따른 사육조의 모습

다. 배지 종류에 따른 아쿠아포닉스 사육수 환경과 아글레오네마의 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

- 식물체: 아글레오네마(*Aglaonema commutatum*, 'Aurora')

- 어류: 금붕어 5마리(90.8g±2.76)

○ 처리: 스펀지(Sponge), 난석(Orchid), 하이드로볼(Hydroball), 화산석(Volcanic) 등 4종류

○ 재배방식: 실내수경재배기(가화텍, 한국)를 이용한 순환 담액 방식

○ 재배 환경 : 23°C±4, 65% RH, 백색 LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 12시간 명기

○ 재배 및 조사: 아글레오네마를 네트포트(∅7cm)에 꽂고 스펀지로 고정시킨 후 재배조(46×32×24cm)에 6개체를 각각 처리별로 정식하였다. 10L를 채운 사육수는 수중 모터를 사용하여 순환(8시~ 22시는 15분간격, 22시 ~8시는 2시간마다 15분간)하였고 24시간 사육수조는 기포발생기(SH-A2, (주)아마존, 중국)를 넣어 산소를 공급하였다. 사육수가 순환되는 부위에 세라믹링 1L와 여과솜을 깔아 사육수를 통과시키면서 재배조에 각 처리구의 배지를 각각 3cm 높이로 채운 후 사육수를 여과시켜 45일간 아쿠아포닉스로 재배하였다. pH가 pH 5.0이하로 내려가면 1N-KOH로 보정하며 생육, 엽록소형광, 광합성 및 사육수의 pH, EC, 무기성분 변화를 조사하였다.

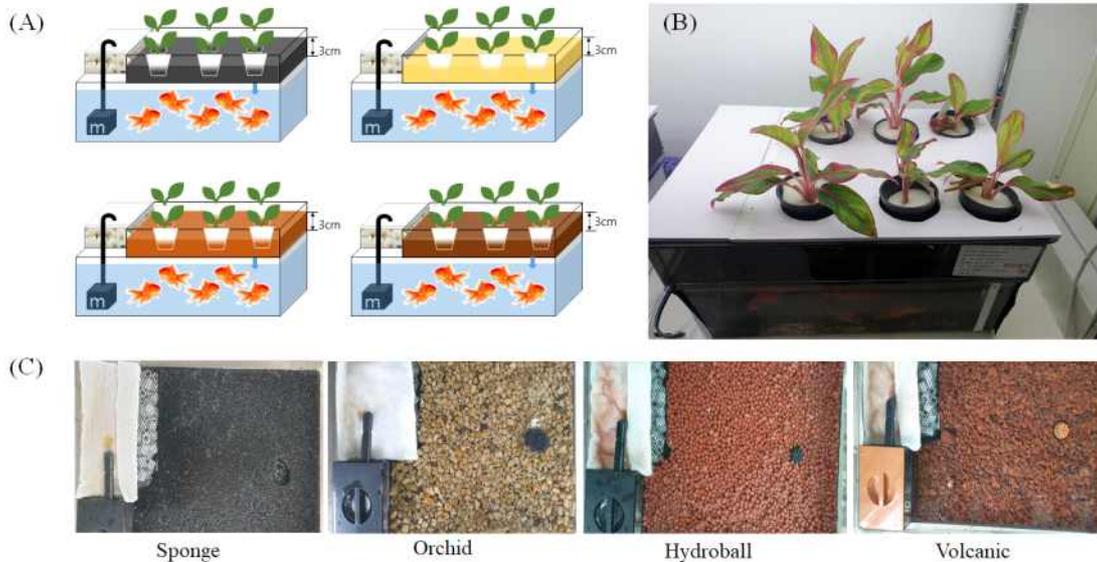


그림 3-4-17. 배지 종류별 담액 순환 아쿠아포닉스 처리구의 모식도(A), 설치모습(B) 및 (C) 재배조

■ 연구결과

아쿠아 재배동안 처리구 사육수의 평균 pH가 스펀지 pH5.65(pH4.10~pH6.95), 하이드로볼 pH5.49(pH4.90~pH6.20), 난석 pH5.49(pH4.70~pH6.50), 화산석 pH5.44(pH4.70~pH6.30) 이었다(그림 3-4-18). 스펀지 처리에서 pH 변화가 컸고(CV 0.138, n=40), 하이드로볼 처리에서 pH 변화가 가장 낮았다(CV 0.053, n=40). EC(dS·m⁻¹)는 처리 시작일(EC 0.72±0.09)부터 종료일(EC 0.88±0.11)까지 모든 처리에서 서서히 증가하였으며, EC와 pH가 하강하는 기간은 사육수조에 물이 첨가되면서 수질 변화를 보였다.

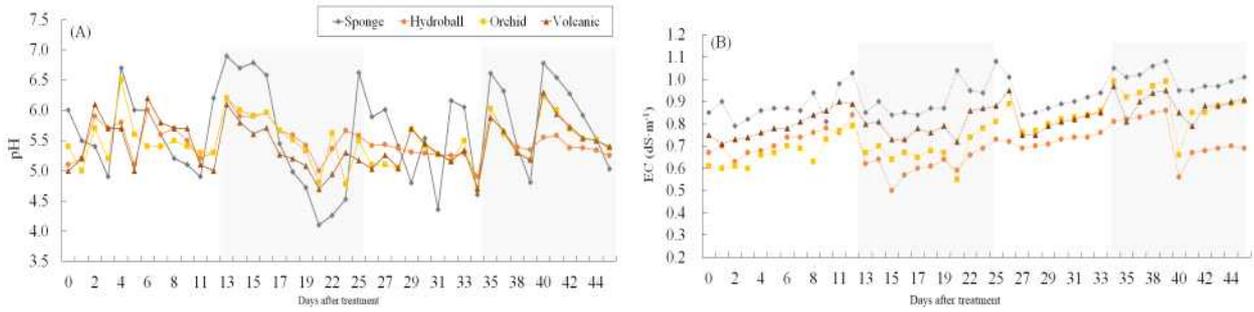
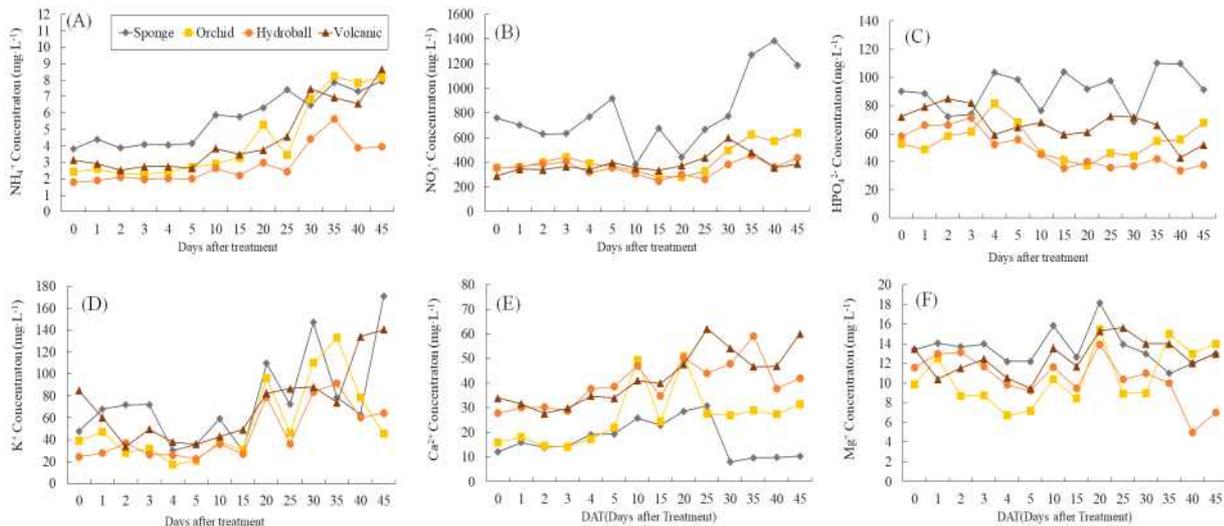


그림 3-4-18. 배지 종류별 아쿠아포닉스 사육수의 pH(A)와 EC(B) 변화

어류에게 독성이 되는 사육수 내 암모늄(NH_4^+)의 농도는 Volcanic에서 $8.66\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Orchid $8.17\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Sponge에서 $7.93\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, Hydroball $3.94\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 으로 낮은 농도를 보였다(그림 3-4-19). 질산염(NO_3^-)은 Sponge에서 다른 처리보다 높게 유지되었다(그림 3-2-34). 인산염은 Sponge와 Orchid는 시작일의 수준을 유지하였지만, Hydroball과 Volcanic은 감소되었다. 칼륨은 모든 처리에서 증가되었는데 이는 pH보정으로 투입되는 결과로 보여진다. 칼슘은 Sponge에서 30일째 소모되어 낮아지는 경향을 보이지만 다른 처리구에서는 농도가 짙어졌다. 마그네슘은 $4\text{--}20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 를 유지하는 것으로 보아 아글레오네마는 많은 양이 소모 되지 않는 것으로 보인다.



그림

3-4-19. 배지 종류별 아쿠아포닉스 사육수의 무기이온 변화.

처리 후 30일째 광합성을, 기공전도도 및 증산율은 Hydroball에서 가장 높았고, Sponge, Orchid, Volcanic 순으로 낮았다. 엽육 내 CO_2 는 Volcanic에서 가장 높아 CO_2 를 소모하지 못한 것으로 보인다(그림 3-4-20). 처리 후 45일째 엽록소 형광은 광계 II의 반응중심당 광 흡수량이 Volcanic에서 가장 좋았지만, 흡수된 광이 잘 전달되지 않고 열로 손실되는 양 또한 높아 광을 제대로 사용하지 못하는 것을 알 수 있었고, 다른 처리에서는 광을 잘 효율적으로 사용하는 것을 알 수 있었다(그림 3-4-21). 처리 45일째 아글레오네마 초장은 $17.1\text{--}19.3\text{cm}$ 범위로 O, V > S > H 순으로 낮았고, 엽폭과 엽수가 배지 종류에 따라 차이를 보였다(표 3-4-6, 그림 3-4-22).

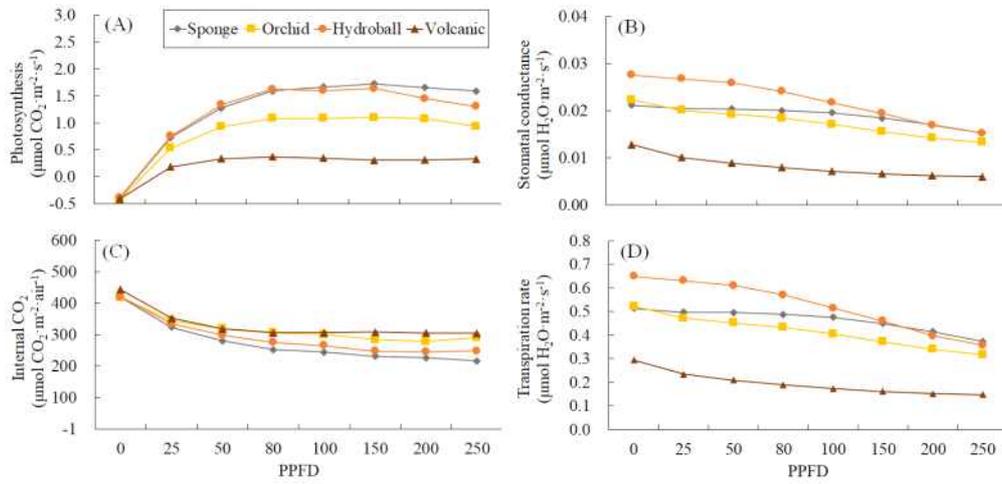


그림 3-4-20. 배지 종류별 아쿠아포닉스 처리 30일째 아글레오네마 광합성 곡선(n=3).

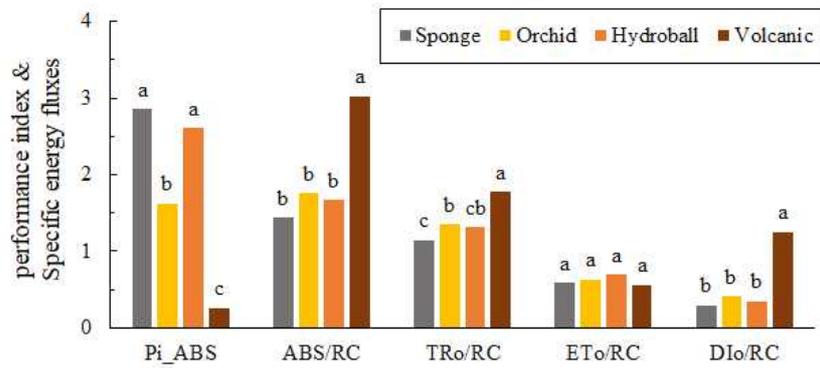


그림 3-4-21. 배지 종류별 아쿠아포닉스 처리 45일째 아글레오네마 엽록소 형광(n=3).

표 3-4-6. 배지 종류별 아쿠아포닉스 처리 45일째 아글레오네마 생육과 엽록소함량(SPAD)

배지	초장 (cm)	엽병장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	SPAD (value)
Sponge	17.7ab ^z	7.2a	10.5a	4.0ab	5.7b	27.2a
Orchid	19.3a	7.4a	11.8a	4.3a	7.0ab	31.7a
Hydroball	16.4b	6.4a	10.0a	3.5b	6.7ab	27.8a
Volcanic	18.7a	7.2a	11.5a	3.7b	7.7a	31.3a

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=3). *초기생육:초장 13.5cm±2.4, 엽수 4.6장±1.0



그림 3-4-22. 배지 종류별 아쿠아포닉스 처리 30일째 아글레오네마 (22.07.21.)

라. 무기이온 첨가에 의한 아쿠아포닉스 환경과 제라늄 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

- 제라늄 (*Pelargonium inquinans*, 'Zonal')
- 금붕어 5마리(평균 무게 81.8g±1.8)

○ 처리 : KHCO₃, Fe, KH₂PO₄을 첨가

- 대조구 : None
- KHCO₃ 50ppm(T1), T1+Fe 0.5ppm(T2), T2+KH₂PO₄ 0.75mM(T3)

○ 실험기간: 총 60일

○ 재배방식: 담액 방식(KSP-1000, 가화텍, 대한민국, 46*32*24cm)

○ 재배환경: 온도 23°C±3, 상대습도 65%±10 White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 14/10 시간

○ 재배방법: 15L 수조와 재배조가 분리된 순환 간이 수경재배기를 사용하였고, 재배조에는 배지(하이드로볼=화산석=난석=1:1:1 v/v, 2L)와 세라믹링, 여과솜을 깔아 여과와 배지 기능을 도모하였다. 자순환과 인공광원이 설치된 재배실의 증발산과 EC 증가를 최소화하고자 물을 보충하였고 매일 0.5% 먹이(32% 조단백질 함유)를 공급하며 60일 아쿠아 재배하였다. 처리 1일과 35일째에 처리이온을 첨가하였으며, 사육수의 pH, EC, 무기이온 변화 및 생육 및 생리장해 발생정도를 조사하였다.

■ 연구결과

사육수내 EC는 수조에서 식물과 어류를 장기간 함께 유지하기 위해 EC 0.75dS/m을 초과하지 않도록 유지하였으며, 처리 23일과 29일에 5L의 물을 추가하여 EC가 급격하게 감소하였지만 이후 다시 증가하는 경향을 보였다(그림 3-4-23, A). 모든 처리의 EC 범위는 0.62~0.68dS·m⁻¹을 보였고 T2와 T3 처리구의 EC 값이 T1과 대조구의 EC 값보다 높았다. 모든 처리구의 pH는 4.2~6.2 범위에서 변동하였다(그림 3-4-23, B). 처리 5일째부터 pH가 감소하기 시작했는데 이는 어류에 의한 질산화 과정의 결과이며, T1과 T3 처리구는 대조구와 T2 처리구보다 더 높은 pH 값(pH4.5~pH6.2)을 나타냈다.

사육수에는 모두 K⁺이온을 함유하고 있어 K⁺의 농도가 대조구에 비해 처리구에서 높았고 처리 30일째 T3는 대조구보다 34% 높았다(그림 3-4-24, A). T2와 T3처리에는 Fe-EDTA가 첨가되어 K⁺ 농도를 감소시키는 요인이 되지만, T3 처리는 KHCO₃와 KH₂PO₄을 첨가하여 더 높은 농도를 유지하였다. PO₄²⁻은 T3처리구가 다른 처리보다 높았는데 이는 KH₂PO₄ 이온이 첨가되어 상당히 높게 나타났다(그림 3-4-24, B). Mg²⁺, Ca²⁺, NO₃⁻이온은 처리 60일째 다른 처리구보다 대조구에서 높았다. 아쿠아포닉스에서 K⁺ 함량이 풍부할 경우 Mg²⁺와 Ca²⁺ 농도가 낮아지는 것으로 보여지며, T2와 T3 처리에 사용된 첨가제에는 대조구에 없는 Fe-EDTA와 K⁺이 포함되어 있어 T2와 T3 처리구는 대조구보다 NO₃⁻ 농도가 더 낮았다(그림 3-4-24, C, D, E).

NH₄⁺이온은 대조구와 T1 처리구에서 처리 후 30일에 비해 처리 후 60일에 감소하였다(그림 3-4-25, A). 처리 후 60일째 사육수 Cl⁻ 농도는 처리 후 30일에 비해 대조구와 T1 처리구에서 증가하였으나, T2와 T3 처리구에서는 감소하였다. 처리 후 30일과 비교하여 처리 후 60일째 대조구, T1, T3에서 황산이온(SO₄²⁻)이 유의하게 증가하였고(그림 3-4-25, C), 이 중 T3 처리구에서 가장 높았고, 처리 후 60일째 T2 처리의 황산이온은 다른 처리보다 낮았다. Na⁺ 농도는 35일까지 T2 및 T3 처리에서 유사했지만 T1 처리에서는 낮았다(그림 3-4-25, D). Fe²⁺는 T2와 T3에서만 측정되었고 처리 35일부터 T3보다 T2 처리수에서 유의하게(50% 이상) 더 높았다(그림 3-4-25, E).

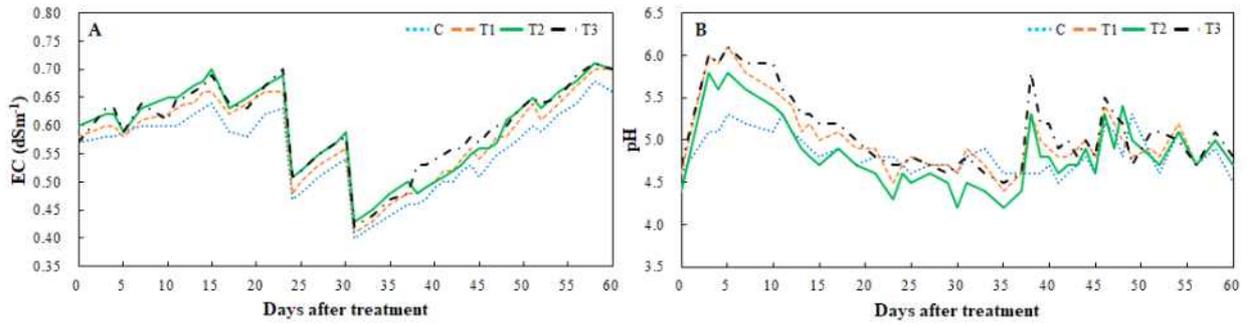


그림 3-4-23. 아쿠아포닉 시스템에서 다양한 이온 조합이 사육수의 EC(A)와 pH(B)에 미치는 영향; Control(C) KHCO₃(T₁), KHCO₃+Fe-EDTA(T₂) KHCO₃+Fe-EDTA+KH₂PO₄(T₃).

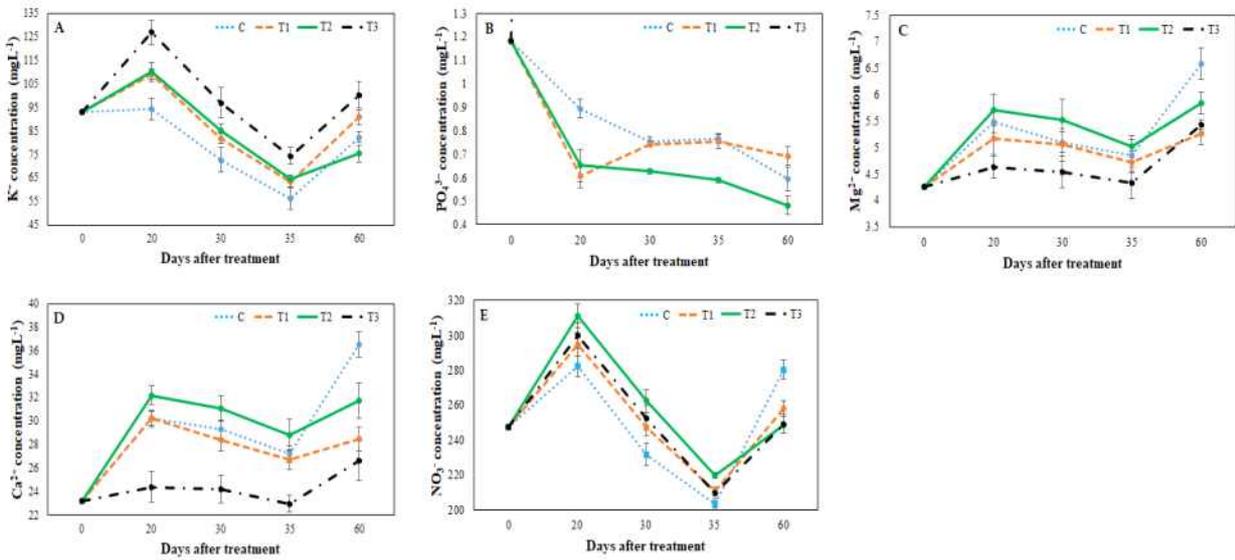


그림 3-4-24. 아쿠아포닉 시스템에서 다양한 이온 조합이 사육수에서 (A)K⁺, (B)PO₄²⁻, (C)Mg²⁺, (D)Ca²⁺ 및 (E)NO₃⁻의 미치는 영향(n=5), ²표2-4-23참조

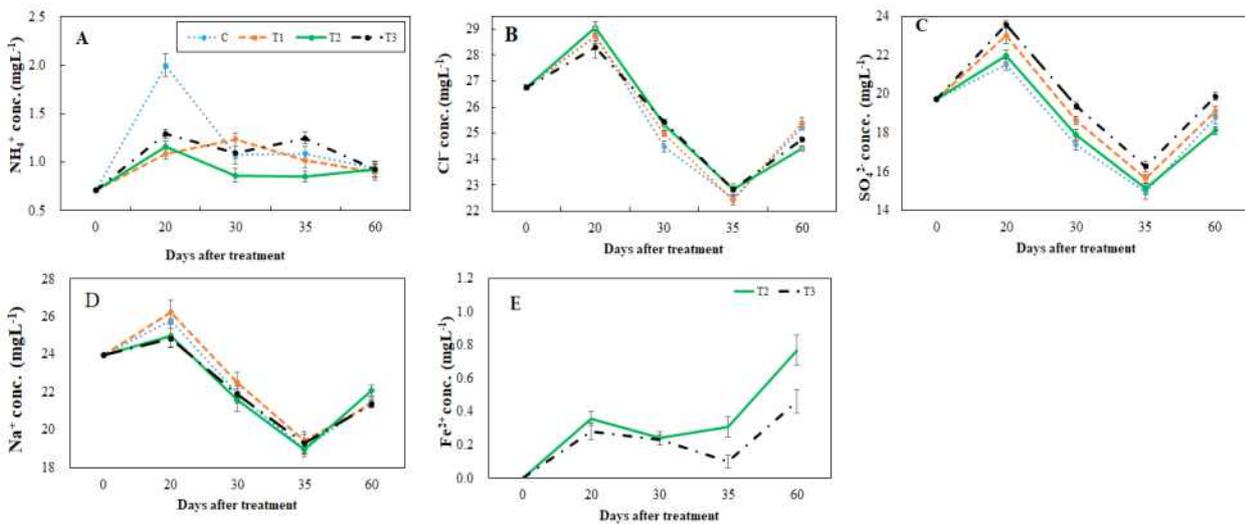


그림 3-4-25. 아쿠아포닉 시스템에서 다양한 이온 조합이 사육수에서 (A) NH₄⁺, (B)Cl⁻, (C)SO₄²⁻, (D)Na⁺과 (E)Fe²⁺의 미치는 영향(n=5), ²표3-4-23참조

T2 처리의 초장과 엽수는 다른 처리보다 유의적으로 높았다(그림 3-5-17 A, B). 초장은 대조구보다 23%, 엽수는 92% 더 높았다. 처리 후 60일째 엽 변색율은 대조구와 T1처리구에서

철 결핍으로 인해 다른 처리보다 높았다(그림 3-5-18, C). NDVI는 T2 및 T3 처리는 대조 및 T1 처리보다 상당히 높았다(그림 3-5-18, D). 대조구와 T1 처리에서 자란 식물의 변색된 잎의 상당 부분은 NDVI 값이 0.4 미만이었지만, T2 및 T3 처리는 0.7보다 높았다. 처리 후 30일과 60일에 T2와 T3 처리 식물은 대조구와 T1 처리 식물에 비해 각각 2배, 3배 더 높은 SPAD 값을 나타냈다(표 3-5-11). 가장 낮은 SPAD 값(9.1)은 처리 60일 후에 대조구에서 관찰되었다. T2 처리 엽장과 엽폭은 처리 후 30일에 대조구와 T3 처리보다 약 10% 더 크게 측정되었다(표 3-5-13). T2 및 T3 처리의 아쿠아포닉스 사육수에 철(Fe-EDTA)을 추가하면 NDVI 및 SPAD 값을 기준으로 식물의 건강 상태가 양호해졌다.

처리구에 따른 생육과의 PCA 상관성을 설명한 것으로 T2처리는 엽수, 초장과 양의 상관관계를 T3처리는 엽장, 엽폭, SPAD와 NDVI와 양의 상관관계를 보였으며 엽 황화율이 대조구와 T1에 근접하며 NDVI와 음의 상관관계를 나타냄을 알 수 있었다(그림 3-5-20) .

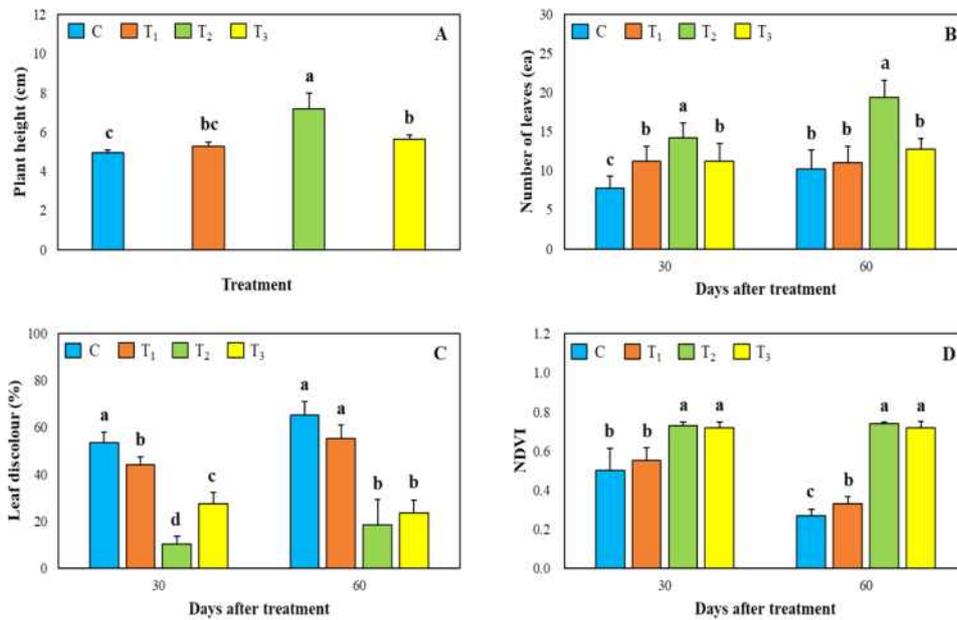


그림 3-4-26. 아쿠아포닉 시스템에서 다양한 이온 조합²이 제라늄의 (A)초장, (B)엽수, (C)엽색, (F) NDVI 에 미치는 영향.

The same lowercase letters above the bars within the figure indicate non-significant differences based on Duncan's multiple range test at $p < 0.05$. (n=5). ²표3-4-23참조

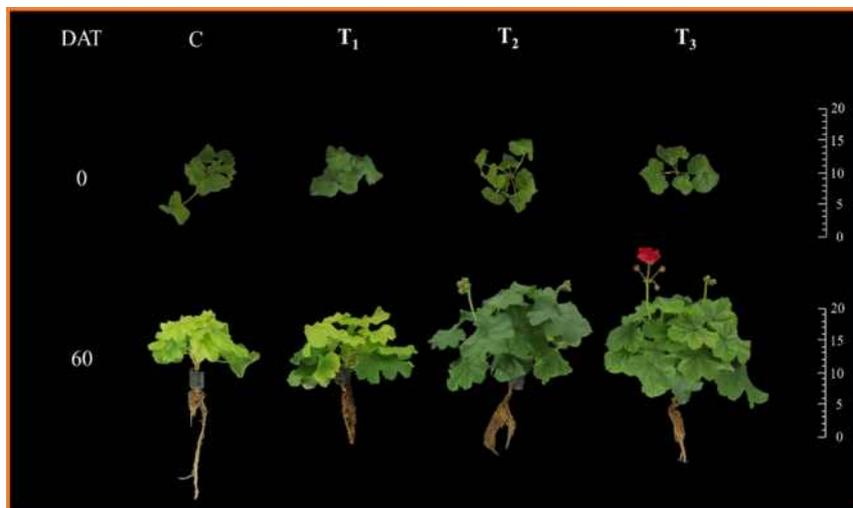


그림 3-4-27. 제라늄의 처리일과 처리 후 60일째 모습.
Control(C) KHCO₃(T1), KHCO₃+Fe-EDTA(T2) KHCO₃+Fe-EDTA+KH₂PO₄(T3)(n=5).

표 3-4-7. 아쿠아포닉 시스템에서 다양한 이온 조합의 영향을 받은 제라늄의 생육특성

DAT	처리구	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	SPAD (value)
30	C	3.5 ± 0.2 ^z b ^y	6.0 ± 0.5b	18.0 ± 2.8c
	T ₁	4.1 ± 0.3ab	7.1 ± 0.4ab	24.8 ± 2.7b
	T ₂	4.6 ± 0.8a	8.1 ± 1.4a	40.2 ± 3.6a
	T ₃	3.9 ± 0.4b	6.9 ± 0.3b	41.6 ± 4.7a
60	C	3.2 ± 0.2c	5.1 ± 0.5c	9.1 ± 1.6c
	T ₁	3.7 ± 0.3b	6.3 ± 0.8b	14.7 ± 2.3b
	T ₂	4.7 ± 0.3a	7.4 ± 0.9a	44.6 ± 3.0a
	T ₃	4.5 ± 0.3a	7.8 ± 0.7a	42.5 ± 3.6a

^z 각 처리의 결과값은 평균(n=5)±표준편차 * 초기생육:평균 초장 4.5cm, 엽수 6장

^y DMRT at $p < 0.05$ level(n=5).

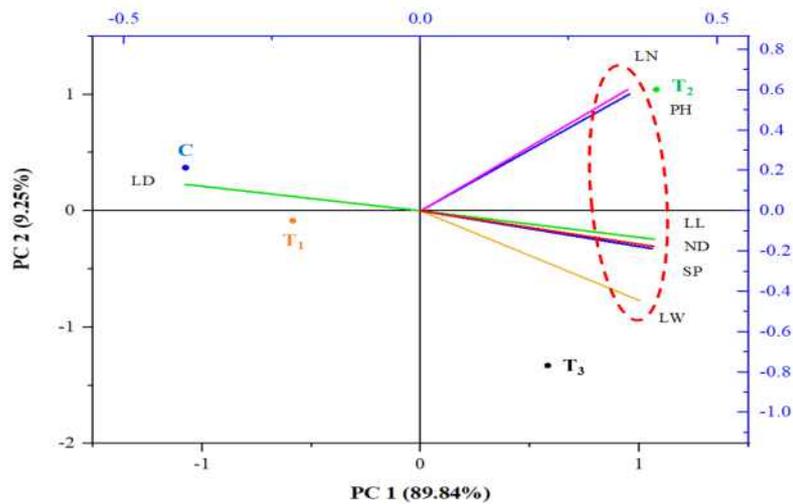


그림 3-4-28. 아쿠아포닉스 시스템에서 다양한 이온 조합의 영향을 받은 제라늄의 생육과 처리간 주성분 분석

3.5. 제라늄의 아쿠아포닉스 시스템과 환경 구명

수경방식[담액(D), 순환담액(MD), 박막(N)]과 여과 방식[(외부 여과기(F), 바닥재(V)에 기포발생기(A)]을 조합한 7 시스템에서 아쿠아 환경과 제라늄 생육 특성을 비교하였다. 42일 동안 아쿠아 시스템에 따라 pH 변화는 상이하였으나 평균 pH 5.79~pH 6.04였으며, 화산석이 사용된 시스템은 최저 pH를 높였다. 어체중의 0.5%급이로 시스템의 EC 증가는 EC 0.37(MDF)~ EC 0.50dS·m⁻¹로(DFA로 달랐으나, 이는 시스템에 따른 물 첨가량이 영향을 준 것으로 본다. 제라늄 생육은 뿌리길이, 표면적 등 지하부 생육에 영향을 줬으며, PCA(주성분) 분석결과 제라늄 아쿠아포닉스에서는 NVA(박막수경+화산석+기포발생기)시스템이 가장 적합한 것으로 선택되었다.

어류의 사료 밀도(달리 하였을 때 제라늄의 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 112일간 실험을 수행하였다. 사료 밀도가 높을수록 사육수의 pH 변동이 컸으며, 4.56~7.0 범위로 조사되었다. EC 또한 사료 밀도가 높을수록 높아 1.5%는 0.5% 2.6배 수준(1.62dS·m⁻¹)이었다. 사료 급이량이 많을수록 어류의 증체율, 사료효율, 단백질 이용 효율이 높았고, 식물체의 스트레스는 줄어들었다. 특히, 1.5%에서 가장 높은 엽록소형광 반응이 관찰되었고, 식물의 생육 특성도 급이량이 높은 1.5%에서 초장, 초폭, 엽폭, 뿌리길이가 높게 나타났다. 또한, 광합성 속도는 1.5%에서 가장 높았지만, 생육이 진전될수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 모든 처리에서 같은 경향을 나타냈다. 개화특성은 처리간 차이를 보이지 않았으나, 누적 화경수의 경우 1.0%>0.5%>1.5% 순으로 89개>76>63개 개화되었다.

박막 수경 재배 시스템에 여과와 배지로의 기능이 가능한 Sponge, Orchid, Hydroball, Volcanic에 이용하여 제라늄을 재배하였을 때 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 30일간 처리한 제라늄의 사육수 pH는 Sponge를 제외한 다른 처리에서는 pH 5.0이상으로 측정되었다. EC는 Sponge, Volcanic, Hydroball, Orchid 순으로 높았다. Volcanic에서 광합성을, 초장, 엽수 및 SPAD가 좋았으나, 모든 처리에서 처리 14일 이후 생리장애가 발생하여 엽이 황화되었다.

사육수 EC를 일정(± 0.2)하게 유지(EC 0.5, EC 1.0, EC 1.5)하여 77일 간 제라늄을 재배하였을 때 사육수의 pH의 변동계수(CV)가 EC가 높을수록 커 EC 1.5처리는 0.42였고, EC 0.5)에서는 0.35로 작았다. 재배기간이 길어질수록 EC 0.5와 1.0 처리에서는 감소하는 경향이었고, EC 1.5처리는 64일 이후 증가하였다. 식물 스트레스 지수가 EC농도가 높을수록 낮아졌고, 초장과 초폭, 생체중과 건물중, 광합성은 EC 1.0 이상에서 좋았다. 개화 특성은 유의적인 차이가 없었으나 EC 1.0에서 가장 많았다.

이상의 결과 실내재배기를 이용한 제라늄 아쿠아포닉스는 박막수경 방식에 화산석을 여과 배지로 사용하고, 사육수 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 를 유지하며 어체중의 0.5~1.0%를 급이하는 것이 관상가치를 높일 수 있으리라 본다.

3.5.1. 시스템 방식에 따른 사육수 환경과 제라늄 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

- 식물체: 제라늄(*Pelargonium inquinans*, 'Zonal') 6개체씩

- 어류: 금붕어 3마리(평균 17.7g)

○ 처리구: 수경 방식과 여부 방식을 혼합한 7처리(그림 3-5-1)

- 수경[담액(D), Modify 담액(MD), 박막(N)] 3수준

- 여과[외부 여과(F)와 수조 내 바닥재(화산석, V)와 기포발생기(A)] 2수준

○ 실험기간: 총 83일(육묘 41일, 처리 42일)

○ 재배환경: 온도 25°C, 습도 60%, White LED $100\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 명기 8시간

○ 재배방법: 화산석으로 충전된 네트포트($\varnothing 7$)에 제라늄을 정식하고, 15L가 채워진 사육수를 순환 여과시키며 처리 10일까지는 1일 2회 30분, 처리 후 11~42일까지는 1일 9회, 회당 15분씩 재배조에 공급하였다. pH는 pH 5.5이하일 때 보정하였다.

○ 조사항목: 생육(지상부, 지하부), 사육수 특성, 어류특성

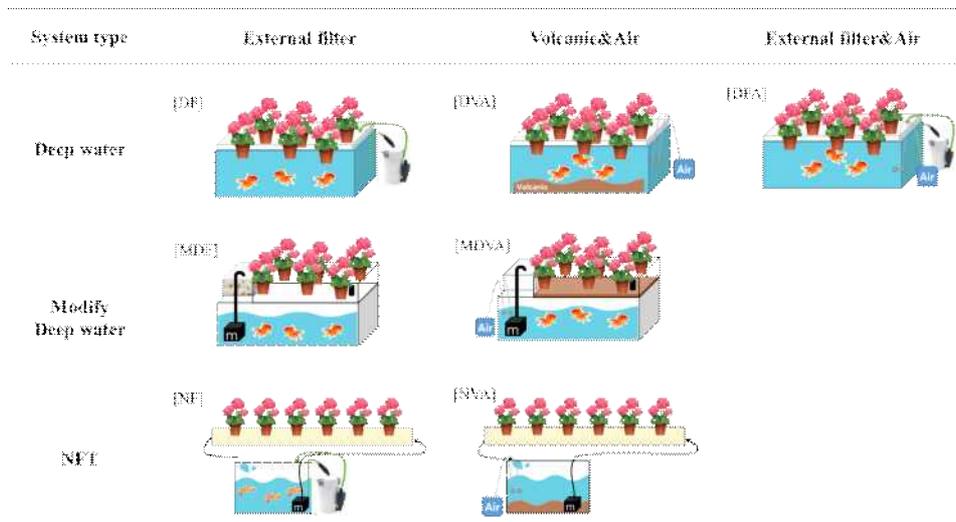


그림 3-5-1. 실험 처리 모식도; DF(담액+외부여과기), DVA(담액+화산석+기포발생기), DFA(담액+화산석+외부여과기), MDF(순환담액+외부여과기), MDVA(순환담액+화산석+외부여과기), NF(박막수경+외부여과기), NVA(박막수경+화산석+기포발생기).

■ 연구결과

42일 동안 아쿠아 시스템에 따라 pH 변화는 상이하였으나 평균 pH 5.79~pH 6.04였으며, DFA(pH 6.04) > NVA(pH 5.98) > MDVA(pH 5.90) > DF(pH 5.87), NF(pH 5.87) > DVA(pH 5.81) > MDF(pH 5.79) 순이었다 (표 3-5-1). 시스템별 평균 pH의 변화량은 박막(N, pH 5.93) > 담액(D, pH 5.90) > 순환담액(MD, pH 5.85) 순이었고, 외부여과기(F)와 바닥재(VA)를 비교한 평균 pH는 각각 pH 5.84, pH 5.89로 화산석이 사용된 시스템의 pH가 높은 경향을 보였다. 최저 pH가 pH 5.0이하가 관찰된 처리는 DF, DFA 처리로 었다. 화산석의 주요 구성 성분은 Si, Al, Fe이며, pH가 높은 경수라고 하였다(FAO, 2014). 화산석의 화학적 성분으로 인해 사육수의 최저 pH를 높이는 역할을 한 것으로 본다. EC는 실험 시작일 $0.11\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 DFA 처리에서 EC 0.5로 가장 높았고, MDF처리에서 EC 0.37로 가장 낮았다. 다른 처리는 EC 0.41~0.43 수준이었다. NF 처리와 DFA처리는 35ml/1N-KOH를 첨가하여 pH 감소 속도가 가장 빨랐으며, DF와 NVA에서 20ml/1N-KOH를 첨가하여 느린 것으로 나타났다. 주 1회마다 첨가된 물량은 엽면적이 가장 넓었던 박막수경방식에서 7L이상 첨가되었다. 순환담액(MD) 시스템이 2.25 - 3.15L 첨가되어 증발량이 가장 적었다. 어류의 무게를 측정하여 증체율, 사료효율, 단백질효율을 계산한 결과 NVA < NF < DVA < MDF < DF < DAF < MDVA 순으로 높았는데, 박막 수경 방식은 증체율이 5%였고, 다른 처리는 5%이상(5.3~8.3) 증가하였다.

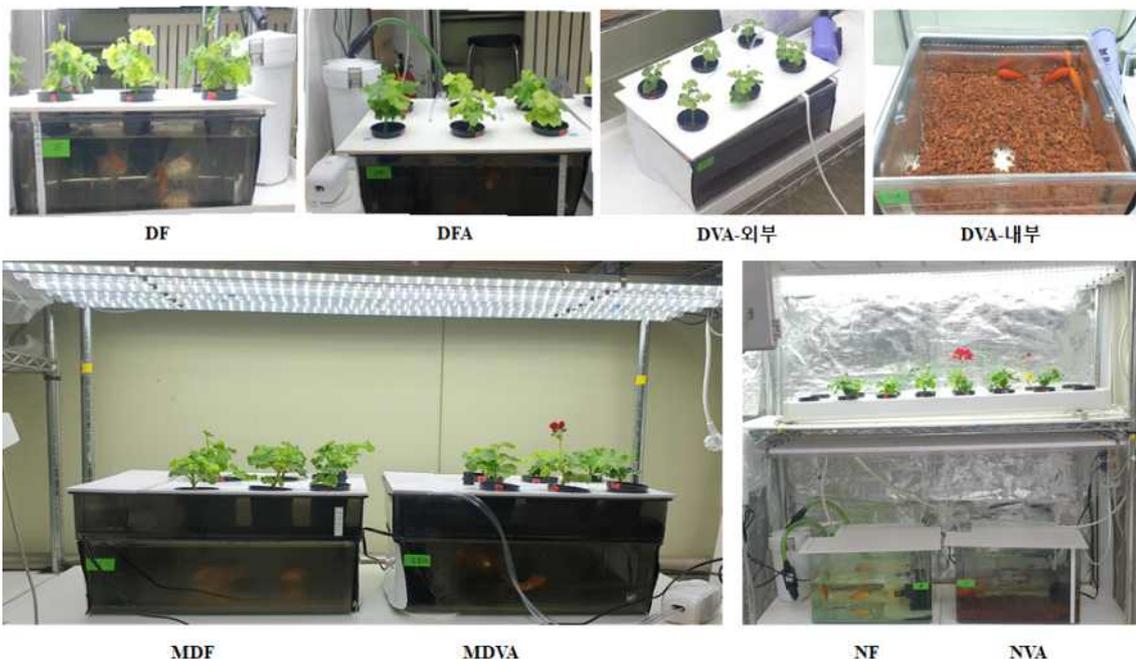


그림 3-5-2. 수경재배 방식과 여과 방식을 혼합한 처리구 모습

사육수의 암모늄(NH_4^+) 농도를 분석한 결과 모든 처리에서 축적되는 경향을 보였다(그림 3-5-3~4 A). DVA처리는 $0.5\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 에서 $2.7\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 까지 약 5배 높은 농도를 보였고, DF > MDF > MDVA > DFA > NVA 순이었으며, NF 처리는 처리 후 1일 $2.9\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 처리 후 42일 $4.6\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 처리 1일보다 60%만 더 축적되어 가장 적은 증가를 보였다. 질산염(NO_3^-)은 담액 방식을 제외한 순환 담액과 박막 방식에서 바닥재를 설치한 처리에서 1.5배 이상 높은 농도로 분석되었다(그림 3-5-3~4, B). 처리 1일부터 처리 42일까지 축적된 농도의 증가량은 DF > NVA > NF > DFA > DVA > MDVA > MDF 순으로 각각 183.4, 112.4, 75.0, 47.4, 62.7, 40.6, $17.0\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 만큼씩 증가하였다. 이는 박막 수경 방식(NF, NVA)에서 NH_4^+ 농도는 낮게 축적되고 NO_3^- 은 높은 것으로 보아 질산화 작용이 잘 이루어지는 것으로 보인다.

표 3-5-1. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른 사육수의 42일동안 수질 특성

시스템 ^z	여과	pH			변동 계수	EC (dS·m ⁻¹)	첨가량 (ml)	
		평균	최저	최대			1N KOH	보충 물량
D	F	5.87	4.98	6.57	0.06	0.42	20	3,490
	FA	6.04	4.95	6.77	0.07	0.50	35	4,260
	VA	5.81	5.33	6.62	0.06	0.41	25	6,570
MD	F	5.79	5.18	6.49	0.05	0.37	25	3,150
	VA	5.90	5.20	6.73	0.06	0.43	23	2,250
N	F	5.87	5.19	6.66	0.08	0.43	35	7,990
	VA	5.98	5.28	7.15	0.08	0.41	20	7,150

^z그림 2-5-1 참조.

표 3-5-2. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른 사육수 처리 30일째 어류 증체율, 사료효율 및 단백질효율

시스템 ^z	여과	증체율	사료효율	단백질 효율
D	F	6.8	15.8	152.2
	FA	8.2	19.7	258.7
	VA	5.3	11.1	134.9
MD	F	5.6	10.7	238.7
	VA	8.3	19.2	262.7
N	F	4.7	9.8	152.7
	VA	3.1	7.3	133.7

^z그림 3-5-1 참조.

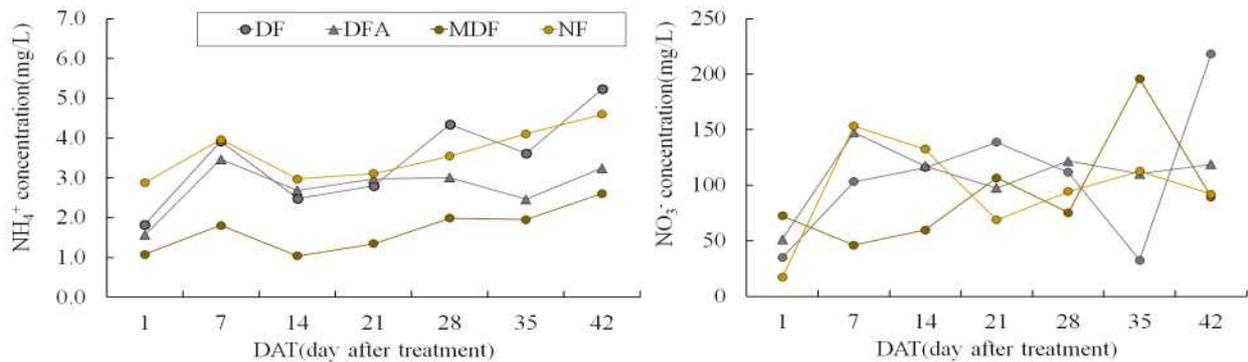


그림 3-5-3. 외부 여과기를 장착한 수경 방식에서 제라늄이 재배된 사육수의 NH₄⁺과 NO₃⁻ 농도 변화.

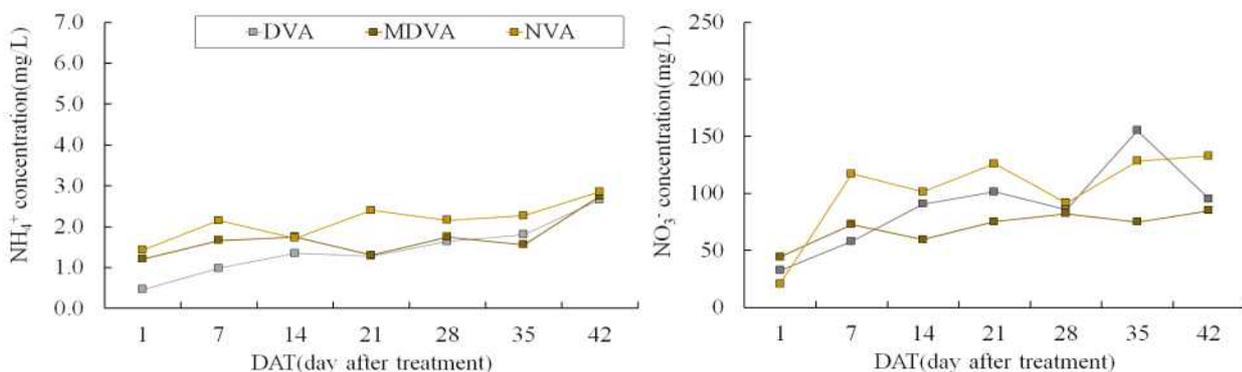


그림 3-5-4. 화산석과 기포발생기를 설치한 수경방식에서 제라늄이 재배된 사육수의 NH₄⁺과 NO₃⁻ 농도 변화.

처리 42 일째 제라늄의 생육을 조사한 결과 초장과 엽수는 시스템과 여과 방식에 영향을 받았고, 엽장과 SPAD 는 시스템의 영향을 받은 것으로 조사되었다(표 3-5-3). 초장은 DVA 와 MDF 처리에서 가장 높았고, 박막 방식의 처리구가 7.9cm 이하로 짧았다. 엽장은 박막 방식에서 5.0cm 이상으로 다른 처리보다 길었고, 최대 엽폭 또한 넓게 나타났다. 엽수는 DF, DVA, MDF 에서 13 장 이상으로 가장 많았다. 엽면적은 박막 방식에서 NF 처리 369.0 cm^2 , NVA 처리 381.7 cm^2 로 담액과 순환 담액 방식보다 넓었다. 줄기굵기는 DVA 처리에서 6.37mm 로 가장 굵었는데 순환 담액과 박막 방식도 바닥재가 설치된 처리에서 더 굵게 나타났지만 DVA 를 제외한 나머지 처리는 유의적인 차이가 없었다. SPAD 는 시스템 방식에서 순환담액이 높았고, 담액 박막방식 순이었다.

표 3-5-3. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른받은 처리 42일째 제라늄의 생육과 엽록소함량 (SPAD)

시스템 (A)	여과 (B)	초장 (cm)	엽장 (cm)	최대 엽폭 (cm)	엽수 (ea)	엽면적 (cm^2)	줄기 굵기 (mm)	분지수 (ea)	SPAD (values)
D	F	8.0 ab ^y	4.2 b	6.5 b	13.3 a	235.9 b	4.14 b	1.8 ab	40.3 abc
	FA	8.1 ab	4.5 ab	7.4 ab	11.8 ab	250.3 b	4.73 b	2.2 a	39.4 ab
	VA	9.3 a	4.5 ab	7.4 ab	13.2 a	293.3 b	6.37 a	2.2 a	42.9 ab
MD	F	9.2 a	4.7 ab	8.3 ab	13.5 a	265.1 b	4.73 b	2.5 a	45.8 a
	VA	8.0 ab	4.7 ab	12.8 a	10.0 b	286.5 b	4.85 b	1.2 b	44.1 a
N	F	7.9 b	5.0 a	9.7 ab	12.7 ab	369.0 a	3.92 b	2.0 a	39.0 bc
	VA	7.8 b	5.1 a	11.1 a	11.8 ab	381.7 a	4.36 b	2.3 a	36.4 c
Significanc ^w									
A		ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	**
B		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
AxB		*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=6).

^wNS, *** means none significant at $p = 0.05$, significant at $p = 0.05$ $p = 0.01$ respectively.

지하부의 생육을 측정한 결과, 뿌리길이, 투영면적, 표면적, 부리 부피, 뿌리수는 처리에 따른 영향을 받은 것으로 나타났다(표 3-5-4). 뿌리길이는 NVA에서 29.6cm로 가장 길었고, DF, DFA, DVA와 MDF처리에서 가장 짧았는데 DFA처리는 NVA처리의 1/3 수준이었다. 뿌리 길이가 다른 처리 보다 짧았던 담액 처리에서 뿌리의 굵기가 0.78~0.85mm로 가장 굵었고, 박막 처리는 0.68~0.69로 다른 처리보다 얇았다. 뿌리 수는 박막 방식에서 1.57개 이상이었고, NVA 2.58개로 가장 많아 다른 처리에 비해 1.5~3배까지 차이가 발생하였다. 지상부생체 중은 처리간 차이가 없었지만, 지하부는 차이가 있어 DVA처리에서 가장 좋았다(표 3-5-5). PCA 분석한 결과, PCI은 43.15%의 변동성을 보였고, 아쿠아포닉스에서 제라늄에 가장 적합한 시스템은 NVA로 나타났고, 엽수, 최대엽폭과 뿌리 특성(뿌리 길이, 생체중, 건물중, 평균 굵기, 표면적, 뿌리수)는 시스템과 여과 방식에 따른 영향이 양의 상관인 것으로 나타났다(그림 3-5-5).

표 3-5-4. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른 받은 처리 42일째 제라늄의 지하부 생육 특성

시스템 (A)	여과 (B)	뿌리길이 (cm)	투영면적 (cm ²)	표면적 (cm ²)	평균 굵기 (mm)	뿌리부피 (cm ³)	뿌리 수 (ea)
D	F	11.7 c	12.9 d	40.5 d	0.85 a	0.86 cd	467 c
	FA	9.5 c	12.5 d	39.1 d	0.79 a	0.69 d	667 bc
	VA	13.3 c	12.3 d	38.7 d	0.78 a	0.67 d	955 b
MD	F	13.3 c	20.3 c	63.8 c	0.74 ab	1.18 bcd	697 bc
	VA	19.3 b	22.3 c	70.1 c	0.70 ab	1.38 bc	680 bc
N	F	21.3 b	29.0 b	91.2 b	0.69 b	1.57 b	1,133 ab
	VA	29.6 a	41.1 a	129.0 a	0.68 b	2.58 a	1,444 a

Significance ^w							
A		***	***	***	ns	***	*
B		*	ns	ns	ns	ns	ns
A×B		***	***	****	ns	****	n

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=4). *초기생육:평균 초장 5.22cm, 엽수 4장

^yNS, *, **, *** means none significant P=at $p=0.05$, $p=0.01$, $p=0.001$, respectively.

표 3-5-5. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른 처리 42 일째 제라늄의 생체중, 건물중 및 건물율

시스템 (A)	여과 (B)	지상부			지하부		
		생체중 (g·plant ⁻¹)	건물중 (%)	건물율 (%)	생체중 (g·plant ⁻¹)	건물중 (%)	건물율 (%)
D	F	11.2 a ^z	0.954 ab	8.50 a	1.9 cd	0.185 a	9.8 a
	FA	11.9 a	0.956 ab	7.58 b	1.4 d	0.105 ab	6.7 b
	VA	15.1 a	1.218 a	7.33 c	2.0 bc	0.149 b	7.8 ab
MD	F	14.0 a	1.064 ab	8.01 ab	2.0 bc	0.138 ab	6.4 b
	VA	12.1 a	0.917 b	8.07 ab	1.9 cd	0.136 ab	6.8 b
N	F	15.1 a	1.104 ab	7.58 b	2.5 ab	0.197 a	6.7 b
	VA	15.1 a	1.114 ab	7.40 bc	2.7 a	0.172 ab	6.0 b

Significance ^y							
A		ns	ns	***	ns	ns	***
B		ns	ns	ns	ns	ns	ns
A×B		ns	ns	***	ns	ns	ns

^z Significantly different by DMRT at $p < 0.05$ level(n=4).

^y NS, *** means none significant at $p=0.05$, significant at $p=0.001$ respectively.

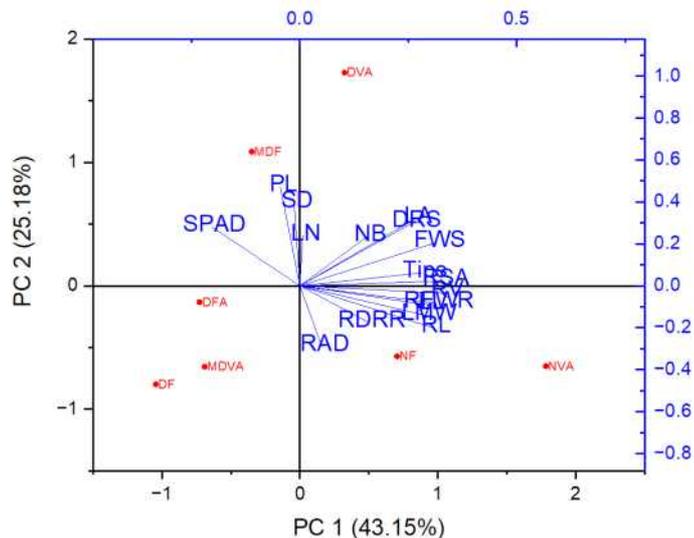


그림 3-5-5. 수경방식과 여과방식을 혼합에 따른 제라늄의 생육과 처리간 주성분 분석

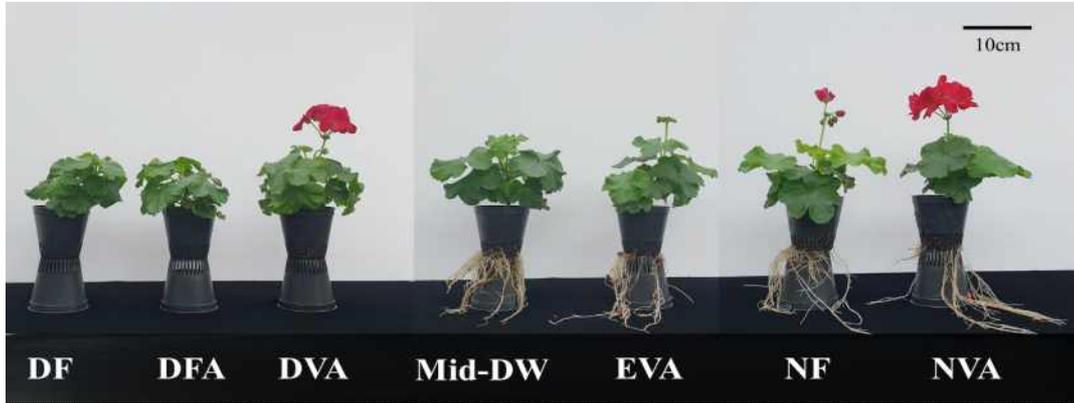


그림 3-5-6. 다양한 아쿠아포닉시스템과 여과방식에 영향을 받은 처리 후 33일째 제라늄(23.05.09)

3.5.2. 사료 밀도(급이량)에 따른 사육수 환경과 제라늄 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

-식물체: 제라늄(*Pelargonium inquinans*, 'Zonal') 12개체씩

-어류: 금붕어 3마리(평균 56.02g±0.74)

○ 처리구: 사료 밀도 3수준으로 어체중 0.5%(0.28g), 1.0%(0.55g), 1.5%(0.83g)

○ 실험기간: 총 111일(육묘 41일, 처리 70일)

○ 재배방식: 박막 수경 시스템으로 순환 재배

○ 재배환경: 온도 23°C±3, White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 14/8시간

○ 재배방법: 정식은 화산석이 충전된 네트포트(∅7×7cm)에 제라늄을 정식하였다. 사육수조에 EC 0.5dS/m의 사육수 10L를 채우고, 외부여과기(스펀지+세라믹링)는 24시간 순환하였고, 재배조의 순환은 박막 1일 9회, 순환담액 1일 4회 15분간 공급하였음 pH는 1N KOH를 이용하여 pH 5.5이하일 때 보정하였다.

○ 조사항목: 엽록소형광, 광합성, 개화, 생육 및 사육수 pH, EC 등

■ 연구결과

사육수의 pH는 사료 밀도가 높을수록 pH 변동이 컸는데, 모든 처리에서 KOH 보정으로 인해 4.56~7.0 범위 내에서 조절 되었다(그림 3-5-7, A). pH는 미생물 어류와 질산화에 영향을 미치는데 pH 7이상에서는 어류에 독성이 되는 NH₃⁺가 유발되지만 본 실험에서는 이보다 낮은 pH를 유지하였다. 사육수의 EC는 사료 밀도가 증가할수록 더 높게 축적되었다(그림 3-5-8 B). 1.0%와 1.5%는 1.03dS·m⁻¹과 1.62dS·m⁻¹까지 증가했지만, F0.5 처리구는 0.5~0.67dS·m⁻¹내로 유지되었다.

pH의 투여량은 사료 밀도가 높을수록 투여량은 증가하였다. 1.5% 처리에서 150mL을 첨가하였는데 이는 pH의 변동이 컸다는 것을 의미한다(그림 3-5-8, A). 사육조에 주단위로 증발된 양만큼 수돗물을 첨가하였는데, 28~31L로 처리간 증발량의 차이를 보이지 않았다(그림 3-5-9, B).

아쿠아포닉스에서 질산화 과정은 식물 및 어류 환경에 중요한 인자로 작용된다. NH₄⁺ 이온은 0.5%에서 가장 낮게 유지되었으며, 1.0%는 처리 후 36일까지 상승하다 이후 감소되었다(그림 2-5-9, A). 1.5%는 49일째까지 증가하였고, 70일까지 소모되었으며 이후 다시 축적하였다. NO₃⁻는 처리 7일째 203~232mg·L에서 시작되었지만, 0.5% 처리구는 2/3 수준까지 감소하였고, 1.0% 처리구는 1.6배, 1.5%처리구는 3배 이상 농도가 축적되었다(그림 2-5-9, B). 어류의 어체 중을 측정된 결과 사료 밀도가 많을수록 증체율, 사료효율, 단백질 사료효율이 높았다(그림

3-5-10).

엽록소형광 반응을 측정한 결과 70일째 Fv/Fm와 Pi_ABS는 1.5%에서 가장 높았고, Di0/RC는 낮게 나타나 밀도가 높을수록 식물체의 스트레스를 덜 받는 것으로 나타났다. 하지만 98일째는 1.0%와 1.5%의 식물체에서 Fv/Fm와 Pi_ABS는 높았고, Di0/RC는 낮았다(표 3-5-6). 처리 42일 이후 측정된 제라늄 광합성을, 기공전도도, 엽육내 CO₂, 증산율은 1.5%에서 가장 높았다(그림 3-5-11).

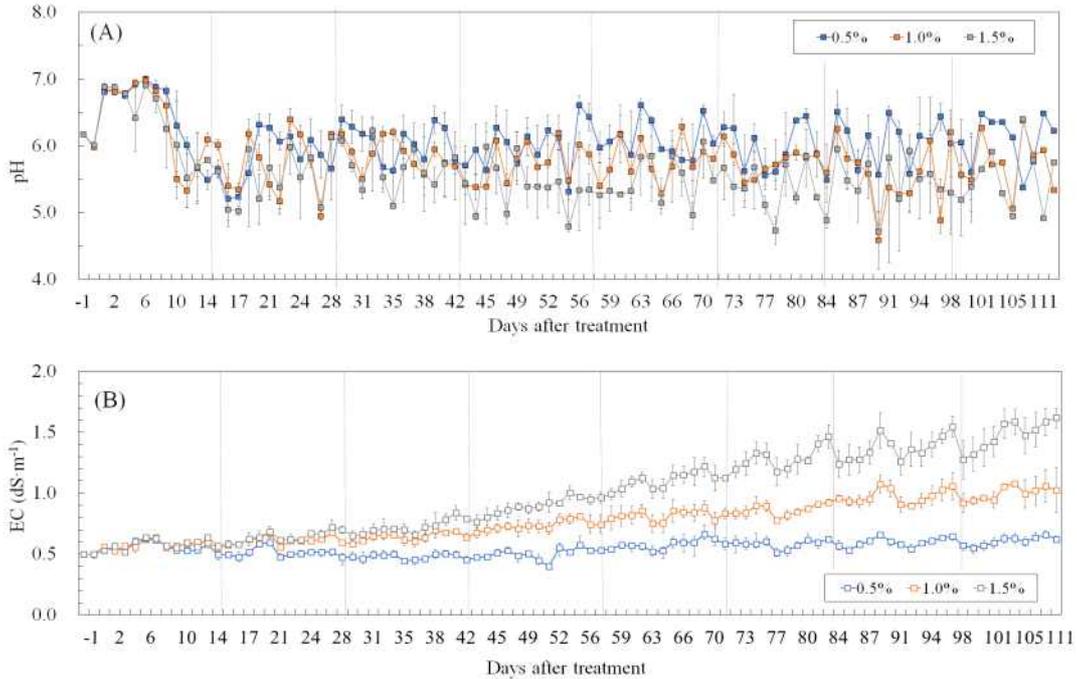


그림 3-5-7. 사료 밀도 처리에 따른 제라늄 아쿠아포닉스내 사육수 pH와 EC변화(n=2).

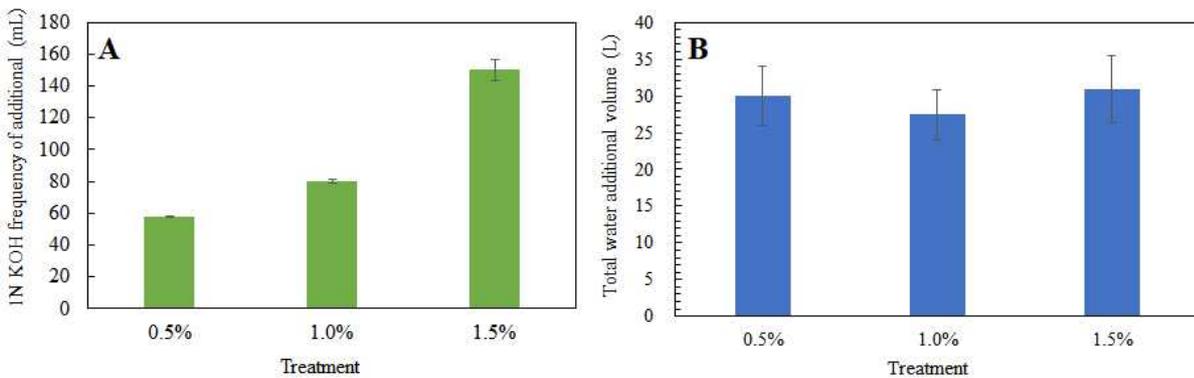


그림 3-5-8. 사료 밀도 처리에 따른 제라늄 아쿠아포닉스에서 112일동안 사육수에 첨가된 1N-KOH와 물 첨가량.

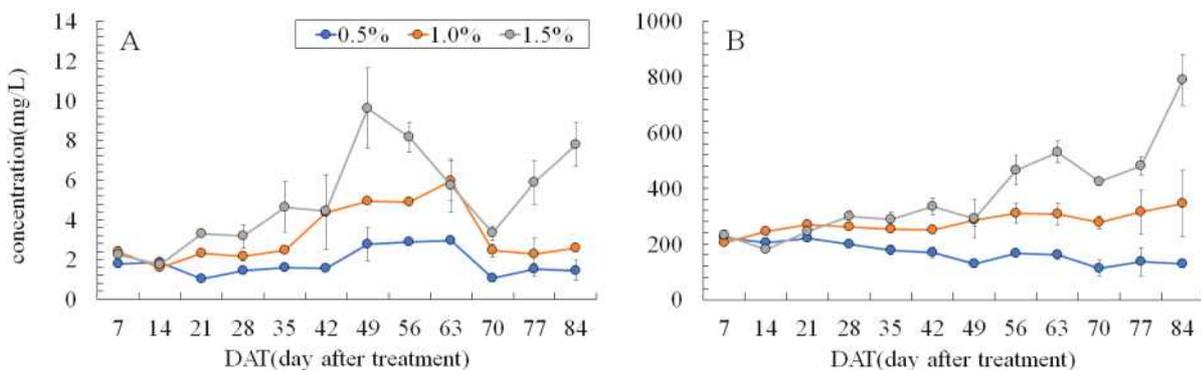


그림 3-5-9. 사료 밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템의 제라늄이 재배된 84일 동안 사육수의 NH₄⁺(A)와 NO₃⁻(B) 변화(n=2).

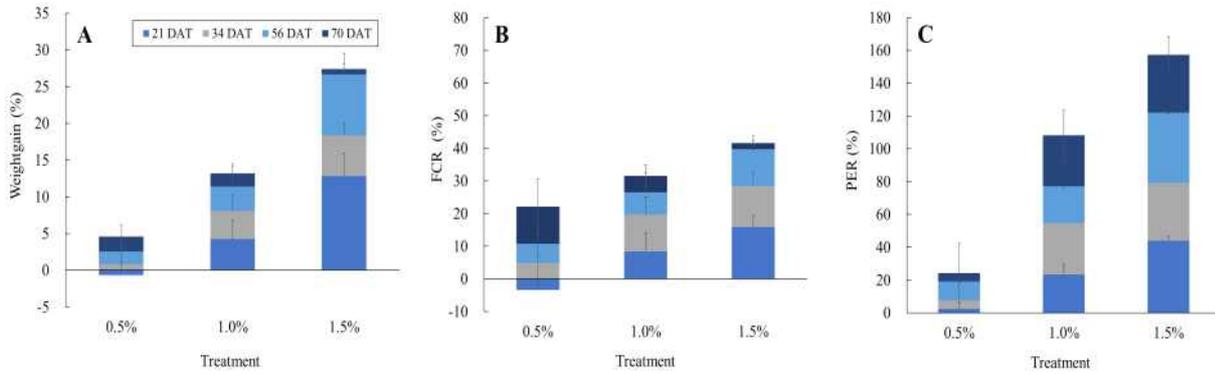


그림 3-5-10. 사료 밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 제라늄이 재배되는 70일 동안 성장한 어류 특성. 증체율(A), 사료 효율(B), 단백질 사료 효율(C)(n=3).

제라늄 생육은 지상부보다는 지하부 뿌리 길이에 영향을 주어 1.5% 처리에서 길었다. 이 영향은 112일째 1.5%처리에서 엽폭증가로 인한 초폭과 뿌리길이가 컸다(표 3-5-7). 70일째 제라늄의 지상부와 지하부의 생체중과 건물중은 차이가 없었으나, 112일째 줄기와 엽의 생체중과 건물중이 1.0%와 1.5%에서 가장 무겁게 측정되었다(표 3-5-8).

개화특성을 조사한 결과 개화소요일수, 화경수, 화경장, 유지기간은 처리간 차이를 보이지 않았다. 누적 화경수의 경우 1.0%처리에서 89개가 다른 처리보다 많았다(그림 3-5-9).

표 3-5-6. 사료 밀도에 영향을 받은 아쿠아포닉스 시스템에서 70일과 98일째 제라늄의 엽록소형광

DAT	사료 밀도 (%)	형광 변수			반응중심의 에너지 흐름			
		Fv/Fm	Mo	Pi_ABS	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	Dlo/RC
70	0.5	0.79 b	0.72 a	2.57 c	2.24 a	1.78 a	1.07 a	0.46 a
	1.0	0.81 ab	0.62 b	3.57 b	2.10 ab	1.70 ab	1.09 a	0.40 ab
	1.5	0.82 a	0.56 c	4.57 a	1.98 b	1.63 b	1.08 a	0.35 b
Significant		*	***	***	ns	ns	ns	*
98	0.5	0.77 b	0.67 a	2.46 b	2.41 a	1.85 a	1.18 a	0.56 a
	1.0	0.82 a	0.61 a	3.93 a	2.07 ab	1.69 a	1.08 a	0.39 b
	1.5	0.82 a	0.61 a	4.04 a	2.02 b	1.67 a	1.06 a	0.36 b
Significant		*	ns	**	ns	ns	ns	*

^zDMRT at $p < 0.05$ level(n=4).

^yNS, *, *** means none significant at $p=0.05$, significant at $p=0.05$, $p=0.01$, $p= 0.001$, respectively.

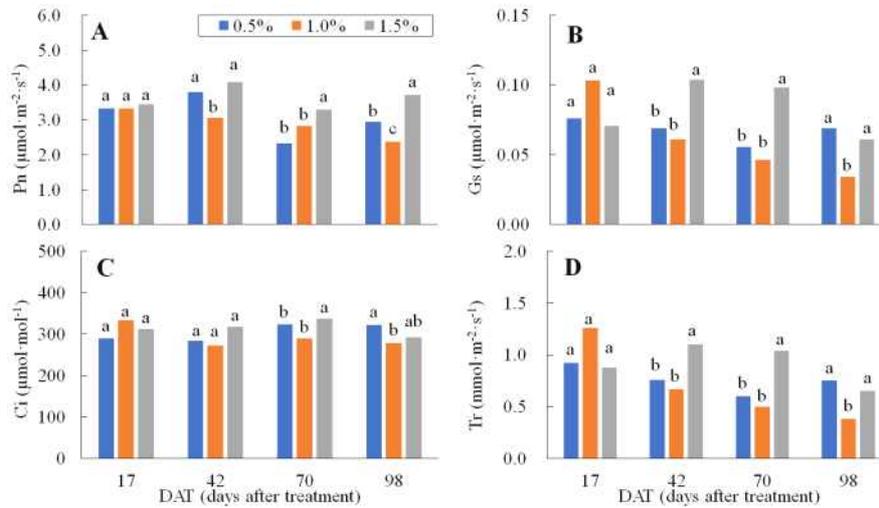


그림 3-5-11. 사료 밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 제라늄의 광합성 특성; 광합성율(A), 기공전도도(B), 엽육내 CO₂ 농도(C), 증산율(D). Significantly different by DMRT at p < 0.01 level(n=4).

표 3-5-7. 사료밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 처리 후 70일과 112일째 제라늄의 생육특성

DAT	사료밀도 (%)	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	줄기 굵기 (mm)	SPAD (value)	뿌리 길이 (cm)
70	0.5	18.3 a	-	5.1 b	8.1 a	37.7a	6.62 a	45.8 a	8.3 b
	1.0	16.2 a	-	6.2 a	9.6 a	31.0a	6.37 a	45.0 a	8.7 b
	1.5	15.8 a	-	5.5 b	8.6 a	31.7a	6.86 a	48.2 a	12.7 a
112	0.5	14.9 b	23.2 b	4.9 a	7.9 b	30.0a	7.53 a	44.2 a	13.0 b
	1.0	18.8 a	29.0 ab	4.9 a	8.3 ab	57.7a	8.51 a	52.9 a	19.2 ab ^{2D}
	1.5	19.0 a	33.0 a	5.4 a	9.2 a	52.7a	7.77 a	49.3 a	27.5 a

MRT at p < 0.05 level(n=4). 초기 생육: 평균 초장 6.9cm, 엽장 6.5장

표 3-5-8. 사료밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 처리 후 70일과 112일째 제라늄의 생체중과 건물중

DAT	사료 밀도 (%)	생체중(g/plant)				건물중(g/plant)			
		줄기	엽	엽병장	뿌리	줄기	엽	엽병장	뿌리
70	0.5	7.7 a ²	28.4 a	3.8 a	5.80 a	1.288 a	2.892 a	0.420 a	1.553 a
	1.0	7.0 a	27.6 a	3.8 a	5.83 a	1.135 a	2.290 a	0.344 a	1.674 a
	1.5	7.1 a	30.0 a	3.2 a	6.12 a	1.066 a	2.336 a	0.313 a	1.536 a
112	0.5	6.2 b	23.2 b	3.5 a	10.8 b	1.116 b	2.190 b	0.298 a	0.799 b
	1.0	9.3 ab	44.4 ab	9.3 a	13.6 ab	1.321 b	3.905 ab	0.561 a	1.012 ab ^z
	1.5	11.7 a	54.8 a	8.2 a	15.0 a	1.855 a	4.288 a	0.724 a	1.358 a

DMRT at p < 0.05 level(n=4).

표 3-5-9. 사료밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 처리 후 112일까지 제라늄의 개화특성

사료밀도 (%)	개화소요일수 (day·plant)	화경수 (ea·plant)	누적화경수 (ea·12plant)	화경장 (cm·ped.)	개화유지기간 (plant·day ⁻¹)
0.5	27.6 a	15.70 a	76	10.31 a	19.57 a
1.0	27.6 a	12.66 a	89	9.75 a	19.37 a
1.5	30.5 a	12.19 a	63	9.93 a	18.78 a

²DMRT at p < 0.05 level(n=12).

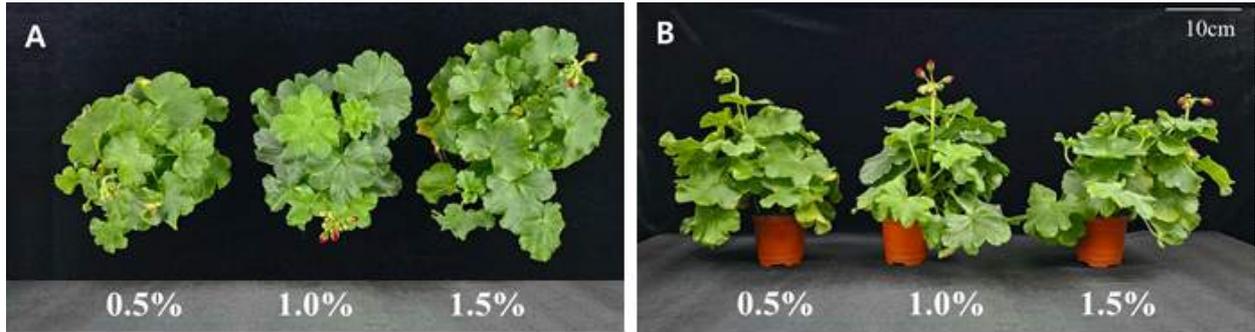


그림 3-5-12. 사료 밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 재배된 제라늄의 처리 70 일째 모습 (A 상면, B 정면, 23.10.31)

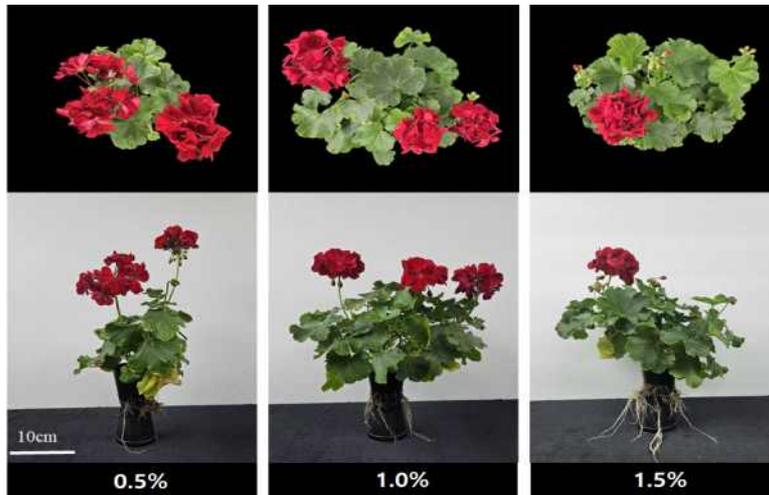


그림 3-5-13. 사료 밀도에 따른 아쿠아포닉스 시스템에서 재배된 제라늄의 처리 112 일째 모습(23.12.19)

3.5.3. 여과재(배지)에 따른 사육수 환경과 제라늄 생육

■ 연구방법

- 공시재료
 - 식물체: 제라늄(*Pelargonium inquinans*, 'Zonal') 6개체씩
 - 어류: 금붕어 5마리(97.79g)
- 처리: 스펀지(Sponge,), 난석(Orchid,), 하이드로볼(Hydroball), 화산석(Volcanic) 등 배지 4처리
- 실험기간: 총 60일(육묘 30일, 처리 30일)
- 재배방식: 담액 수경 시스템으로 24시간 순환 재배
- 재배환경: 온도 23°C±3, 상대습도 65%±10 White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 16/8H

- 재배방법: 72구 플러그 트레이에 심겨진 제라늄을 상토재 배지 종류별로 네트포트(∅7cm)에 충전하며 식재하여 재배판에 정식하였다. 각 처리 배지는 재배조(46×32×24cm)에 3cm 높이로 균일하게 깔아주고, 세라믹링(1L)과 여과솜을 사육수 배출구에 배치하였다. 급이는 어체중의 0.5%(0.5g)를 공급하였고 사육수의 pH 5.0 이하에서는 1N-KOH를 첨가하며 조절하였다.
- 조사항목: 생육, 광합성, 어류특성, 사육수 특성.

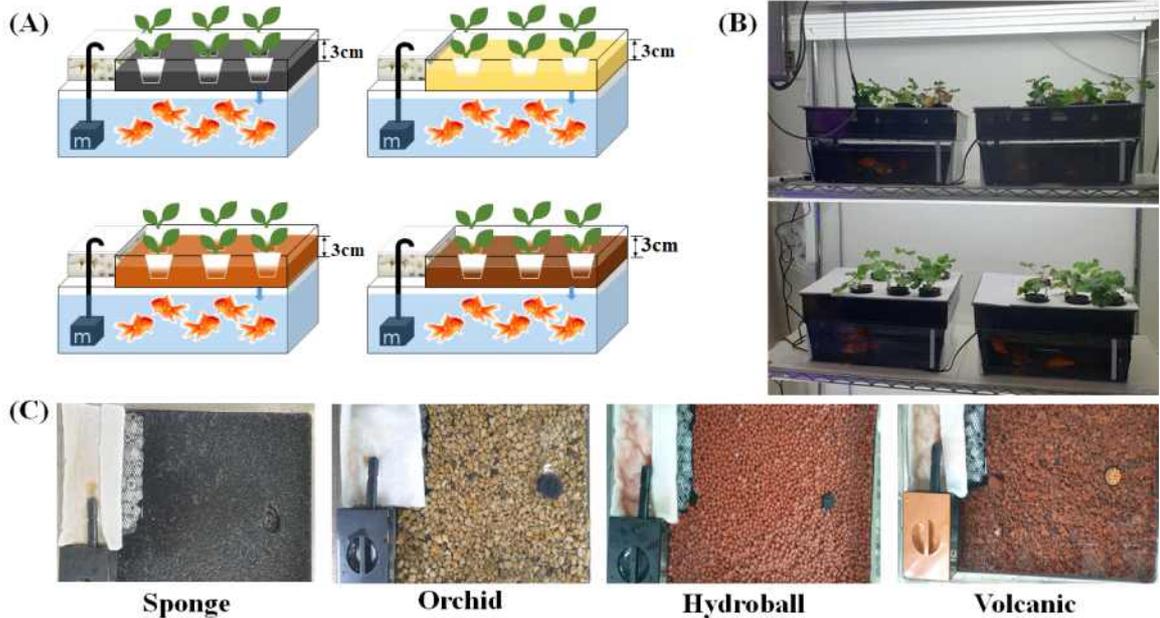


그림 3-5-14. 처리구 모식도(A), 설치모습(B)과 처리별 여과재(C)

■ 연구결과

여과재 배지에 따라 측정된 pH는 Sponge 처리에서 증가폭이 크게 변화했지만, Sponge에서만 pH4.5까지 감소하였고, 다른처리구에서는 pH 5.0이상을 유지하였다(그림 3-5-15, A). EC($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)는 모든 처리에서 EC 0.19에서 시작해 Spong EC 0.64, Volcanic EC 0.59, Hydroball EC 0.51, Orchid EC 0.46으로 증가했다(그림 3-5-15, B).

사육수의 NH_4^+ 은 모든 처리에서 처리 15일째까지 $1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도를 유지하였지만 이후 30일째 $3\sim 4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도까지 증가하였다(그림 3-5-16, A). NO_3^- 은 지속적으로 축적되어 S처리에서 가장 높았고, V>H>O 처리 순으로 증가하였다(그림 3-5-16, B).

제라늄의 광합성율을 측정된 결과 Sponge에서 $2.93\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 가장 높았고, Orchid와 Hydroball 가장 낮은 결과를 보였다. 그 외 기공전도도, 엽육 내 CO_2 , 증산량은 처리간 차이가 없었다(표 3-5-10).

30일간 재배된 제라늄의 엽장, 엽폭, 분지수는 처리가 차이가 없었지만, 초장, 엽수, SPAD는 Volcanic에서 가장 좋은 결과를 보였고, Sponge에서 가장 낮은 결과를 보였다(표 3-5-11). 처리 13일 이후 스펀지와 난석에서는 적엽이 발생한 이후 처리 50일째 제라늄은 모든 처리에서 생리장애가 발생하였다. 특히 30일째 Sponge 처리는 모든 개체가 발생되었고, Orchid은 30%, Hydroball은 50%, Volcanic 80%에서 영양결핍으로 인한 황화와 적엽 현상이 나타났다(표 3-5-11, 그림 3-5-18).

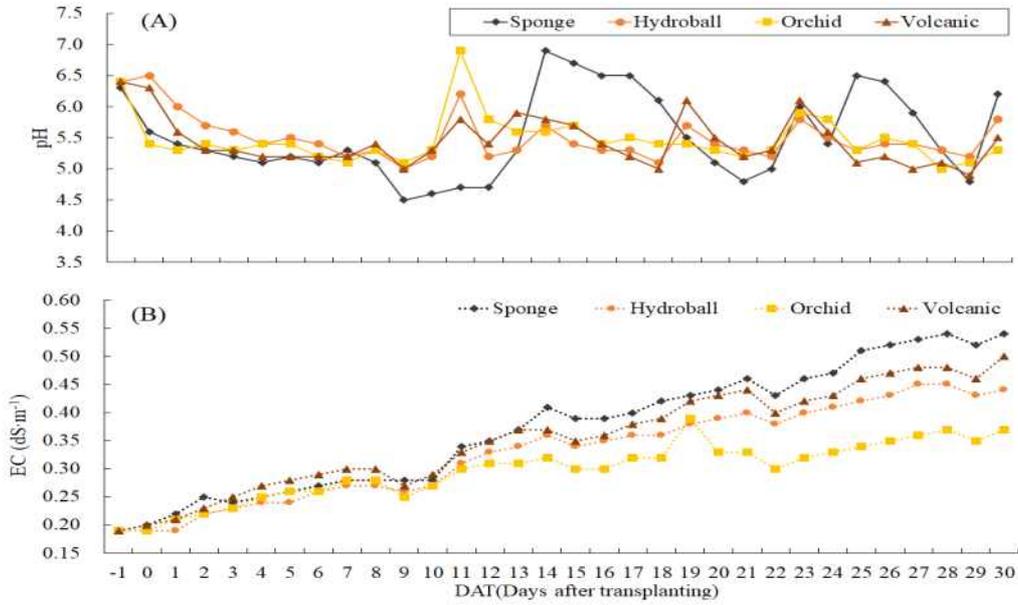


그림 3-5-15. 아쿠아포닉스에서 배지 처리에 따른 사육수의 pH(A)와 EC(B) 변화.

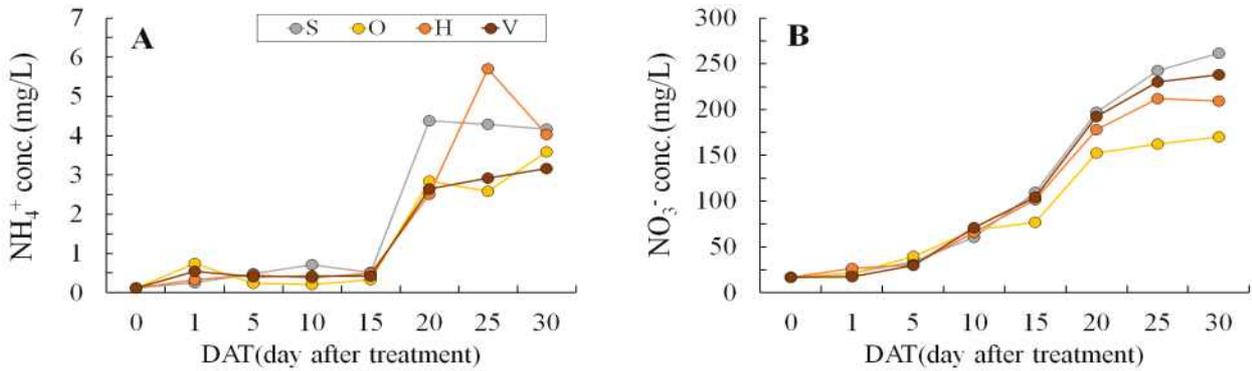


그림 3-5-16. 아쿠아포닉스에서 여과재 배지 처리에 따른 사육수의 무기이온 농도 (S:Sponge; O, Orchid; H, Hydroball; V, Volcanic)

표 3-5-10. 아쿠아포닉스에서 여과재 배지 처리에 따른 제라늄의 30일째 광합성 특성

처리구	광합성율 ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	기공전도도 ($\mu\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	엽육 내 CO ₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	증산율 ($\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
Sponge	2.93 a ^z	0.08 a	304.33 a	1.45 a
Orchid	2.23 b	0.04 a	287.54 a	0.83 a
Hydroball	2.31 b	0.05 a	302.69 a	1.03 a
Volcanic	2.40 ab	0.05 a	305.10 a	0.97 a

^zDMRT at p < 0.05 level(n=3).

표 3-5-11. 아쿠아포닉스에서 여과재 배지 처리에 따른 제라늄의 30일째 생육

처리구	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	줄기굵기 (mm)	분지수 (ea)	SPAD (value)	생리장해 발생률(%)
Sponge	3.8 b	3.7 a	5.9 a	5.0 b	5.5 b	1.0 a	41.8 b	100
Orchid	4.8 ab	3.4 a	5.7 a	8.3 ab	6.2 ab	2.0 a	51.8 a	30
Hydroball	4.4 b	4.0 a	6.9 a	9.3 ab	6.9 a	1.5 a	49.2 ab	50
Volcanic	5.8 a	4.2 a	6.1 a	11.5 a	6.1 ab	2.3 a	49.8 a	80

²DMRT at p < 0.05 level(n=3). *초기생육:초장 2.9cm±0.4, 엽수 6.2장±0.5, 줄기굵기 5.0mm±0.5

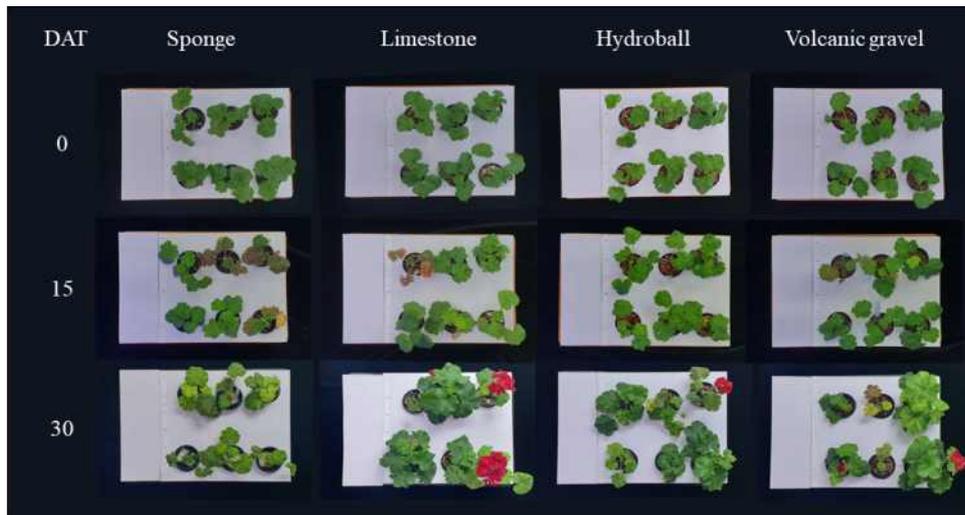


그림 3-5-17. 아쿠아포닉스에서 여과재 배지 처리에 따른 제라늄의 생육



그림 3-5-18. 아쿠아포닉스에서 여과재 배지 처리에 따른 제라늄의 생리장애

3.5.4. EC 농도에 따른 환경과 제라늄 생육

■ 연구방법

- 공시재료
 - 식물체: 제라늄(*Pelargonium inquinans*, 'Zonal') 처리별 16개체씩
 - 어류: 금붕어 3마리(평균 27.17g±4.2)
- 처리구: 사육수의 EC 농도 3수준으로 0.5, 1.0, 1.5dS·m⁻¹(±0.2)로 3처리하고 일정 농도로 유지
- 실험기간: 총 125일(육묘 41일, 순화 7일, 처리 77일)
- 재배방식: 제라늄 시스템 실험의 NVA 처리 방식
- 재배환경: 온도 23°C±3, 상대습도 65%±10 White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 16/8H
- 재배방법: 제라늄을 네트포트(∅7×7cm)에 화산석(100ml)을 충전하여 재배조에 정식하였

다. EC 1.5사육수를 각 처리의 농도로 낮춰 각 수조에 10L를 채운 후 1일 9회 15분간 순환하게 하였고, pH 보정은 pH 5.5이하일 때 첨가하였다. 급이는 어체중의 0.5%(0.4g)를 공급하였다.

○ 조사항목: 생육, 엽록소형광, 개화, 사육수 특성, 어류 특성, 광합성

■ 연구결과

처리 70일간의 사육수 pH는 처리일에 pH 5.5로 모두 동일하게 시작되었지만, EC의 농도가 높을수록 변화의 폭은 크게 나타났다. 사육수의 EC 변화는 처리 후 50일째의 1반복의 사육수의 누수로 인해 EC 0.8농도 5L 사육수를 첨가하여 표준편차가 크게 나타났다. EC 1.0과 1.5는 실험기간이 경과 할 수록 pH가 하향하는 경향을 보였지만, EC 1.5는 64일 이후 높아졌으며, EC 0.5는 처리 후 36일 이후 상승하는 경향을 보였다.

어류의 어체중은 EC0.5에서 가장 많은 증체율, 사료효율, 단백질 이용 효율이 모두 높게 나타났다(그림 3-5-20). EC 0.5와 EC1.5처리에서 어류는 처리 후 21일까지의 증체율이 가장 많은 증가하여 초기에 성장이 촉진되었지만, EC 1.0은 처리 후 35~56일까지의 증체율이 가장 높았다. 처리 기간 중 공급된 어류의 급이량은 EC 0.5, EC 1.0, EC 1.5에서 각각 18g, 19g, 23g으로 EC 1.5에서 급이량이 증가하였다. 64일 이후 EC1.5처리는 EC가 낮아지며 급이량은 증가했으며, 그럼에도 증체율이 낮은 결과를 보여 어류의 사료 효율이 50일 이후 pH가 계속해서 감소하는 양상으로 나타났다.

광합성 특성을 측정한 결과 전 기간 EC 1.5에서 광합성율이 높게 나타났다. 엽육내 CO₂ 농도는 전기간 차이가 없었으며, 증산율과 기공 전도도는 42 일째 EC 1.5에서 가장 높은 결과를 보였지만 이후 처리간 차이는 보이지 않았다.

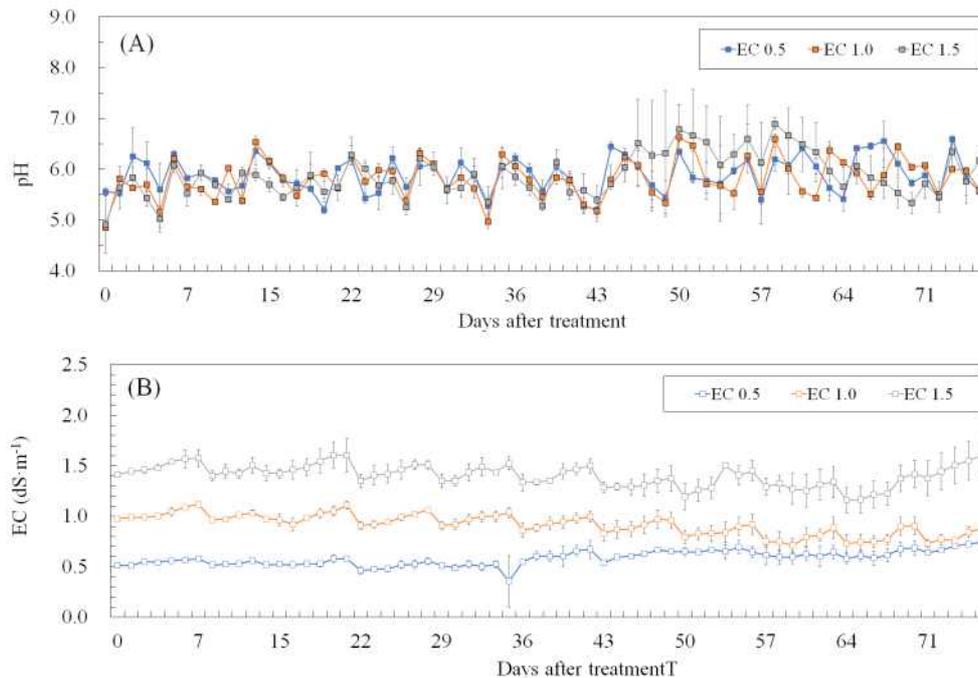


그림 3-5-19. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC농도에 따른 사육수의 pH와 EC 변화. Vertical bars indicate standard deviation of means. (n=2).

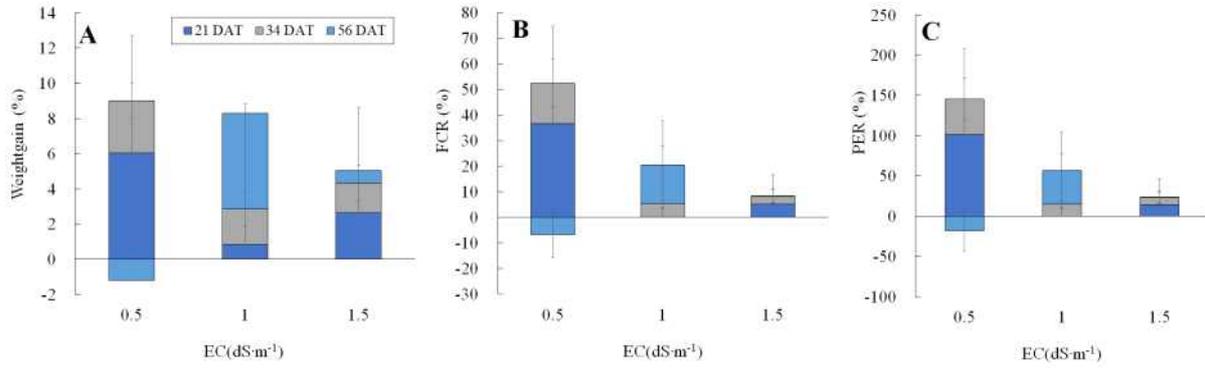


그림 3-5-20. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 어류의 증체율(A), 사료효율(B) 및 단백질효율(C) (n=3).

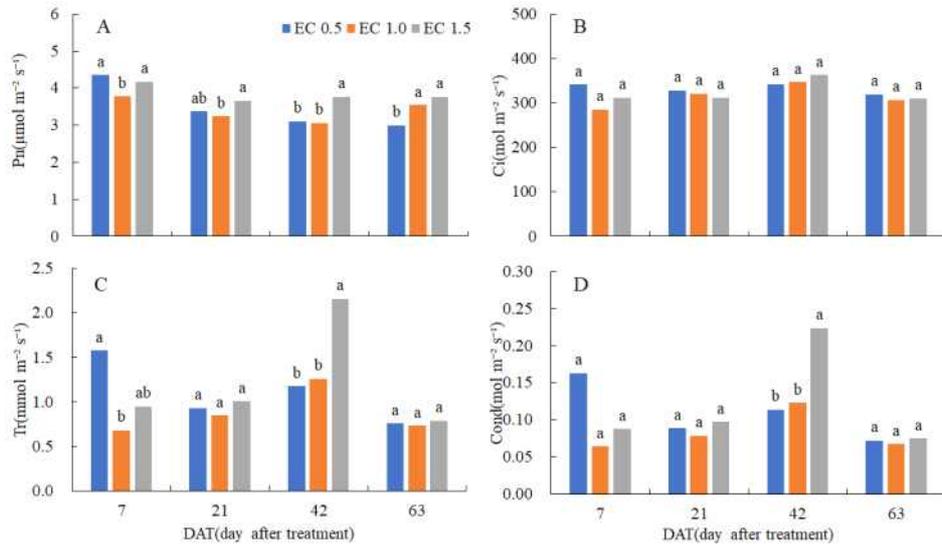


그림 3-5-21. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 제라늄의 처리 7 일과 42 일째 광합성 특성. 광합성율(A), 엽육 내 CO₂(B), 증산율(C), 기공전도도(D). DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

77일째 엽록소형광 반응 변수를 측정한 결과 EC가 높을수록 스트레스의 영향이 적은 것으로 나타났다(표2-5-12). 모든 처리에서 최대양자수율은 0.8이상의 결과로 적절한 범위였지만 EC 1.5에서 유의적으로 높았다. Mo, Dlo/RC의 결과 EC 0.5에서 가장 높게 나타나 식물체에서는 스트레스를 받는 것으로 보인다. 잠재적 광합성 능력인 Pi_ABS의 결과 EC 1.5에서 4.69로 EC 3.27보다 1.4배 높았다.

처리 49 일과 77 일째 생육은 초장과 초폭에서 EC 1.0에서 높았으며, 엽장, 엽폭, 엽수, 줄기굵기, SPAD, 뿌리길이 에서는 처리 간 차이를 보이지 않았다(표 3-5-13). 지상부와 지하부의 생체중과 건물중은 처리 49 일째에는 처리 간 차이가 없었으나, 77 일째는 지상부와 지하부의 생체중과 건물중이 EC 1.0 처리에서 높았다. 120 일 동안 EC 영향을 받고 아쿠아포닉스에 재배된 제라늄의 개화특성은 화경수, 화경장, 개화유지기간 등 차이가 없었으나 EC 1.0 처리에서 누적 개화수는 많고, 개화유지 기간은 적은 경향을 보였다(표 3-5-15).

표 3-5-12. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 처리 후 77 일째 엽록소 형광.

EC (dS·m ⁻¹)	형광변수		성능지표		반응중심의 에너지 흐름			
	Fv/ Fm	Mo	Pi_ABS	ABS/RC	TRo/RC	ETo/RC	DiO/RC	
0.5	0.8 ₂ b	0.70 a	3.27 c	2.20 a	1.81 a	1.11 a	0.40 a	
1.0	0.8 ₂ b	0.59 b	4.08 b	2.04 b	1.67 b	1.08 a	0.37 b	
1.5	0.8 ₃ a	0.56 b	4.69 a	1.92 c	1.59 c	1.03 a	0.33 c	

^zDMRT at p < 0.05 level(n=6).

표 3-5-13. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 처리 후 49 일과 77 일째 제라늄의 생육 특성.

DAT	EC (dS·m ⁻¹)	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (ea)	줄기 굵기 (mm)	SPAD (value)	뿌리길이 (cm)
49	0.5	14.9 b	-	5.5 a	9.2 a	23.0 a	6.4 a	43.7 a	15.1 a
	1.0	16.3 a ^t	-	5.7 a	10.2 a	25.5 a	8.1 a	44.6 a	16.1 a
	1.5	16.7 a	-	5.3 a	9.0 a	22.4 a	7.3 a	44.2 a	15.1 a
77	0.5	19.1 b	26.0 ₀ b	4.8 a	7.8 a	32.3 a	7.0 a	44.4 a	16.4 a
	1.0	25.2 a	32.3 ₃ a	6.0 a	10.0 a	38.3 a	7.1 a	48.1 a	26.0 a
	1.5	19.3 a ^t	30.1 ₁ ab	5.6 a	8.7 a	38.3 a	7.3 a	46.6 a	15.5 a

^zDMRT at p < 0.05 level(n=6). *초기생육: 평균 초장 10.80cm, 엽수 6 장, 줄기굵기 5.99mm)

표 3-5-14. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 처리 후 49 일과 77 일째 생체중과 건물중.

DA T	EC (dS·m ⁻¹)	생체중(g·plant ⁻¹)				건물중(g·plant ⁻¹)			
		줄기	엽	엽병장	뿌리	줄기	엽	엽병장	뿌리
49	0.5	5.6 a	19.4 a	2.8 a	6.2 a	0.847 a	2.461 a	0.247 a	1.588 a
	1.0	10.3 a	30.4 a	3.8 a	7.9 a	0.929 a	3.170 a	0.326 a	3.320 a
	1.5	6.3 a	20.3 a	3.1 a	4.9 a	0.886 a	2.643 a	0.289 a	1.525 a
77	0.5	8.1 b	36.0 b	4.3 b	8.1 b	1.087 b	2.604 b	0.380 b	0.608 b
	1.0	13.2 a	57.2 a	7.9 a	12.6 ₆ a	1.542 a	4.148 a	0.648 a	0.865 ab
	1.5	9.9 ab	43.9 b	7.0 a	13.8 ₈ a	1.245 ab	3.404 ab	0.587 a	1.012 a

^z DMRT at p < 0.05 level(n=3).

표 3-5-15. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 처리 후 120 일까지의 개화 특성.

EC (dS·m ⁻¹)	첫개화 소요일수 (day·plant)	화경수 (ea·plant)	누적 화경수 (ea·16plant)	화경장 (cm·ped.)	개화 유지기간 (plant·day ⁻¹)
0.5	16.9 a ^z	13.3 a	36 a	10.9 a	14.8 a
1.0	15.5 a	11.0 a	56 a	11.4 a	13.9 a ^z
1.5	14.8 a	11.5 a	45 a	10.2 a	16.8 a

^z DMRT at p < 0.05 level(n=16).

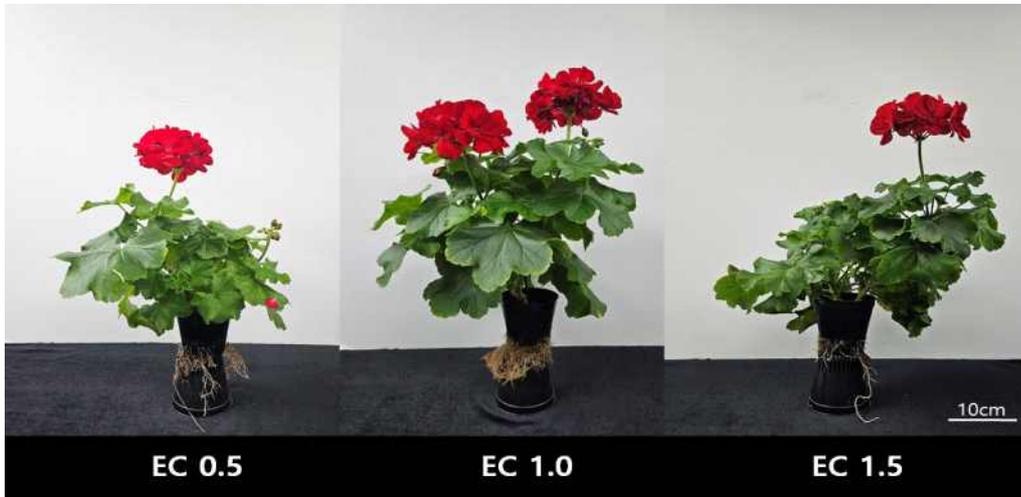


그림 3-5-22. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도에 따른 처리 후 77일째 제라늄의 모습

3.6. 칼랑코에 아쿠아포닉스 시스템과 환경 구명

수경방식[담액(D), 순환 담액(MD), 박막 수경(N)]과 여과방식[외부여과기(F), 바닥재(화산석, VA)를 조합한 7처리 시스템에서 칼랑코에를 재배하였다. 77일동안 측정된 사육수의 pH와 EC는 시스템에 따라 첨가된 물량이 달랐고 평균 pH5.71(DF) ~ 평균pH5.94(DFA), 평균EC 0.65(MDF) ~ EC 1.11 (NF)였다. NH_4^+ 과 NO_3^- 은 순환 담액 방식에 화산석이 설치된 시스템(MDVA)처리에서 다른 처리보다 낮았다. 처리 후 77일째 증산율과 기공전도도 및 엽록소함량(SPAD)값은 MDVA 처리에서 높았다. 개화수는 첨가된 물량이 많았음에 EC가 높았던 박막수경에 화산석이 설치된 시스템(NVA)에서 많았다. EC가 낮은 NDVA 처리는 미개화수가 많았다.

어체중의 0.125%, 0.25%, 0.5%, 1.0%로 사료밀도를 달리하여 1일 1회 공급하며 50일간 재배한 칼랑코에의 pH는 사료밀도가 높아질수록 pH의 감소 속도가 빨랐고, 평균 pH가 낮았다. EC는 사료 밀도가 증가될수록 높은 농도로 측정되어 1.0%는 $0.77\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 에서 가장 높았고, 0.125%는 $0.26\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이었다. 무기이온도 사료밀도에 따라 암모늄과 질산염이 축적되는 양이 비례하였고, 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 유사한 수준을 유지하였다. 광합성율은 0.25%에서 가장 높았고, 생육은 처리간 차이를 보이지 않았다. 사료밀도가 높을수록 첫 개화소요일은 짧아졌고, 0.5%와 1.0% 소화수와 개화수가 유의적으로 높았다. 생리장애 발생은 0.125 - 0.5%에서는 모든 개체가 발생하였고, 1.0%는 50% 발생하였다.

박막 수경 재배 시스템에 여과와 배지로의 기능이 가능한 Sponge, Orchid, Hydroball, Volcanic에 이용하여 칼랑코에를 재배하였을 때 생육에 미치는 영향을 조사하였다. 64일간 재배한 칼랑코에는 여과재의 종류에 따라 pH, EC, 무기이온 함량은 달랐지만, Hydroball 처리에서 사육수 pH변화가 적고, 무기이온 변화가 상대적으로 낮았다.

EC농도(EC 0.5 EC 1.0 EC1.5)를 유지하며 54일간 재배하였을 때 처리구 사육수는 유사한 경향으로 변화하였고, 평균 pH가 pH5.62~pH5.71이었다. 이 기간 칼랑코에는 영양생장단계였으며 EC는 일정하게 유지되었다. 상대습도가 낮았던 처리구 EC 1.0처리의 칼랑코에 광합성은 높았고, 스트레스 지표인 에너지 손실율이 낮았으며, 마디 수와 줄기굵기가 높았다.

따라서 실내재배기를 이용한 칼랑코에 아쿠아포닉스는 순환담액, 박막수경에 하이드로볼, 난석, 화산석 등의 무기배지를 여과재하여 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 을 유지하는 급이 밀도 0.5~1% 수준이 적합하리라 본다.

3.6.1 시스템 방식에 따른 아쿠아 환경과 칼랑코에 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

-식물체: 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana pollen*) 6개체씩

-어류: 금붕어 3마리

○ 처리구: 제라늄 시스템과 동일(그림 3-6-1)

○ 실험기간: 총 148일(육묘 71일, 처리 77일)

○ 재배환경: 온도 25°C, White LED 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 일장(주/야) 8H/16H

○ 재배방법: EC 0.5의 사육수 10L를 수조에 채우고, 박막 수경은 1일 6회, 담액은 1일 4회 15분씩 순환하는 시스템 재배조와 담액 수경의 재배판에서 펠라이트(100ml)로 충전한 네트포트($\varnothing 7\times 7\text{cm}$)에 정식된 칼랑코에를 재배하였음. pH는 pH 5.5이하일 때 보정함.

○ 조사항목: 생육, 개화, 사육수, 어류특성, 광합성

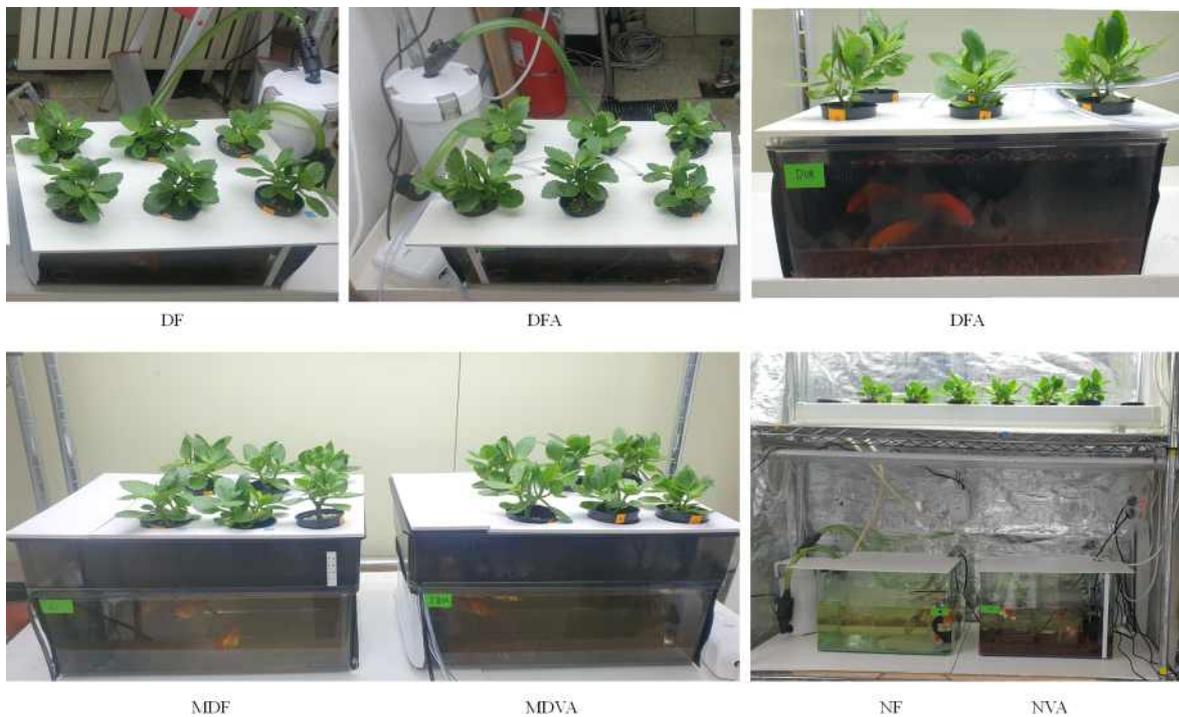


그림 3-6-1. 아쿠아포닉스의 다양한 시스템에서 재배 중인 칼랑코에

■ 연구결과

77일동안 측정된 사육수의 pH와 EC는 시스템에 따라 첨가된 물량이 달랐고 평균 pH5.71(DF) ~ 평균pH5.94(DFA), 평균EC 0.65(MDF) ~ EC 1.11 (NF)였다(표 3-6-1). MDF(순환 담액에 외부여과기 장착)처리에서 pH 변화 폭이 적었고, MDVA에서 변화폭이 컸다. EC는 모든 처리에서 증가하고 첨가물량과 밀접한 영향을 받음에도 불구하고 MD 처리는 N 시스템보다 EC가 낮았다. 한편 NF시스템은 EC 1.11dS·m⁻¹로 가장 높았다. 모든 처리의 용존 산소량은 아쿠아포닉스에서 제시되는 4 mg·L보다 높은 6 mg·L이상이었다. 어류의 증체율, 사료 효율, 단백질 이용 효율은 담액 방식인 경우 외부 여과 처리구에서 높았으며, 박막 방식의 처리구는 반대로 화산석 처리구에서 높은 증체율로 조사되었다(표 3-6-2).

사육수의 무기이온은 모든 처리에서 실험이 진행될수록 NH₄⁺ 9~24.7%, NO₃⁻은 약 2배~5배 농도가 축적되었다(그림 3-6-2). EC가 낮았던 순환 담액 방식의 NH₄⁺와 NO₃⁻농도가 담액과 박막 방식보다 낮게 나타났으며, 순환 담액 방식 중에서도 화산석이 설치된 처리가 가장 낮게 유지되었다(그림 3-6-2). 다른 처리보다 질소흡수는 순환 담액 방식에서 잘 이루어지는 것을

알 수 있는 결과였다.

표 3-6-1. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 77일 동안의 사육수 수질 특성.

시스템 ²	여과	pH			EC (dS·m ⁻¹)	용존 산소량 (mg·L)	첨가량	
		평균	최소	최대			1N-KOH (ml)	물 (L)
D	F	5.71	4.72	6.64	1.05	6.9	45	7.9
	FA	5.94	4.46	6.93	1.05	8.4	60	7.7
	VA	5.85	4.97	6.72	1.03	7.8	65	9.4
MD	F	5.76	4.72	6.48	0.65	6.0	60	11.8
	VA	5.80	4.53	6.82	0.70	7.9	55	12.4
N	F	5.80	4.33	6.74	1.11	6.6	70	10.9
	VA	5.83	4.85	6.90	0.99	8.1	70	10.3

표 3-6-2. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 70일 동안의 어류 특성.

시스템	여과	증체율	사료 효율	단백질이용 효율
D	F	9.4	7.3	24.3
	VA	5.4	4.1	13.8
	FA	6.9	6.7	22.2
MD	F	7.7	5.9	19.6
	VA	1.8	1.7	5.8
N	F	4.5	3.2	10.6
	VA	6.9	6.2	20.6

²DMRT at p < 0.05 level(n=3).

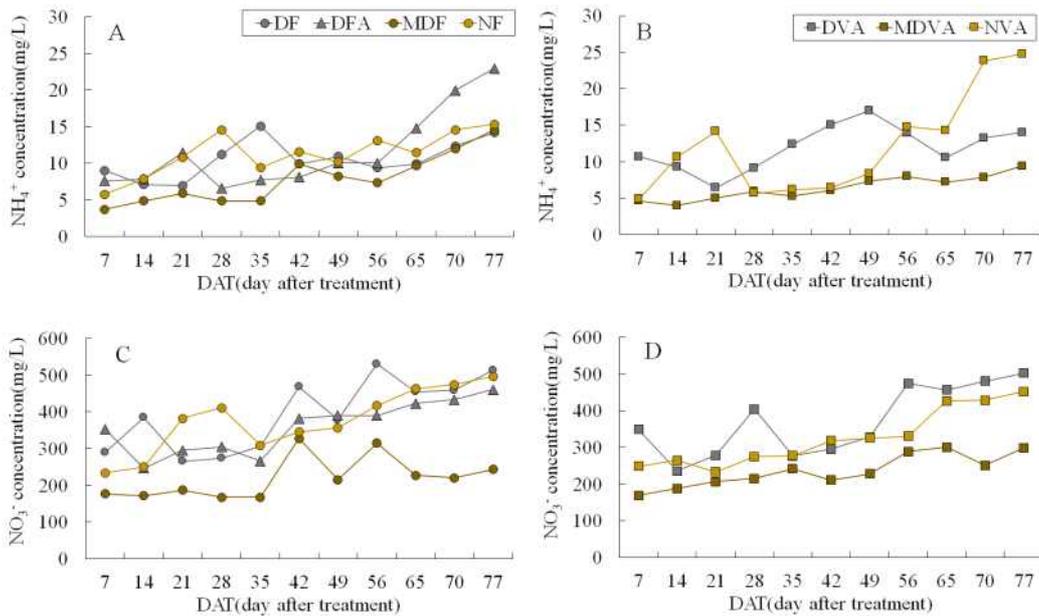


그림 3-6-2. 수경방식과 여과 방식을 조합한 시스템에서 처리기간 중 사육수의 무기이온 변화. (A, C 외부 여과기 설치; B, D 화산재 설치)

시스템에 따른 77일째 광합성속도를 알아본 결과 광합성율은 여과에 따른 영향을 받은 것으로 담액과 박막 방식에서 화산석이 설치된 처리구가 더 높은 결과를 보였다(표 3-6-3). 그러나 순환 담액방식은 외부 여과기를 설치한 처리구(MDF)에서 1.81 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 모든 처리 중에서 가장 높았다. 기공전도도, 증산율, 엽육내 CO₂는 MDVA가 NDVA보다 높았고, 다른 처리구는 유사하였다.

칼랑코에의 생육은 초장, 줄기굵기, 분지수, SPAD는 시스템 방식과 여과에 의한 영향을 받았지만, 초폭, 마디수는 유의적인 차이를 보이지 않았다(표 3-6-4, 그림 3-6-3). 초장은 화산재를 바닥재로 설치한 처리에 더 높게 성장하여 NVA 처리에서 20.33cm로 가장 높았고, 외부 여과에 기포발생기를 처리한 DFA에서 15.08cm로 가장 둔화된 성장을 보였다. 줄기굵기는 초장과 반대로 외부 여과 처리에서 더 굵었다, 순환 담액과 박막의 영향을 받은 분지수는 화산재 처리구가 더 많이 분화되었다

개화 특성을 조사한 결과 시스템과 여과 방식에 화서장, 화폭, 소화수는 영향을 받은 것으로 나타났다(표 3-6-5). 첫 소화의 개화 소요 일수와 화서 길이는 처리간 차이를 보이지 않았다. 화서 길이와 화폭은 DVA에서 가장 길었고, 넓었다. 소화의 미개화수, 개화수, 개화종은 시스템에 따른 영향으로 순환 담액에서 소화가 가장 많았으며, 미개화수가 가장 많아 개화 속도가 느려 개화 유지 기간이 길게 유지 될것으로 보인다.

표 2-6-3. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 77일간 재배된 칼랑코에 광합성 특성.

시스템 (A)	여과 (B)	광합성율 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	기공전도도 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	증산율 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	엽육 내 CO ₂ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
D	F	1.42 ab ^z	0.019 b	0.260 b	271.8 ab
	FA	1.17 b	0.016 b	0.209 b	282.8 ab
	VA	1.48 ab	0.024 b	0.322 b	289.5 ab
MD	F	1.81 a	0.022 b	0.295 b	259.7 b
	VA	1.49 ab	0.043 a	0.548 a	325.2 a
N	F	1.29 ab	0.017 b	0.233 b	271.0 ab
	VA	1.66 ab	0.030 ab	0.380 ab	299.2 ab
Significance ^y					
A		ns	ns	ns	ns
B		*	*	*	*
A*B		ns	**	*	ns

^zDMRT at $p < 0.05$ level($n=4$). ^yns: not significant, significant at $p=0.05$.

표 3-6-4. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 재배된 77일째 칼랑코에 생육 특성

시스템 (A)	여과 (B)	초장 (cm)	초폭 (cm)	줄기굵기 (mm)	마디수 ($\text{ea}\cdot\text{plant}^{-1}$)	분지수 ($\text{ea}\cdot\text{plant}^{-1}$)	SPAD (value)
D	F	16.58 cd ^z	18.67 a	6.90 ab	12.00 a	5.50 a	56.07 c
	FA	15.08 d	16.58 a	5.76 b	11.67 a	5.17 ab	60.33 b
	VA	18.75 ab	18.25 a	6.84 ab	10.67 a	2.17 c	60.73 b
MD	F	18.25 abc	19.58 a	7.47 a	11.67 a	4.00 ab	57.43 c
	VA	19.00 ab	19.33 a	6.91 ab	12.17 a	4.83 ab	63.95 a
N	F	18.00 bc	17.04 a	6.79 ab	11.00 a	3.50 bc	56.42 c
	VA	20.33 a	19.42 a	6.14 ab	11.17 a	4.17 ab	63.18 ab
Significance ^y							
A		*	ns	ns	ns	ns	ns
B		***	ns	*	ns	ns	***
A*B		***	ns	ns	ns	*	***

^zDMRT at $p < 0.05$ level($n=4$). ^yns: not significant, significant at $p=0.05$.

표 3-6-5. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 재배된 77일째 칼랑코에 개화 특성.

시스템 (A)	여과 (B)	개화 소요일수 (day·plant ⁻¹)	화서(cm·plant ⁻¹)		화폭 (cm·peduncle ⁻¹)	소화(ea·peduncle ⁻¹)		
			수	길이		미개화수	개화수	개화중
D	F	64.67 a ^z	5.17 a	1.99 d	5.41 b	14.35 c	8.05 c	2.58 bcd
	FA	59.67 a	4.33 a	2.12 d	5.90 b	14.90 c	9.54 c	4.53 ab
	VA	61.00 a	3.83 a	3.01 a	7.44 a	32.05 ab	16.47 ab	3.04 bcd
MD	F	61.17 a	3.33 a	2.58 bc	6.74 ab	39.00 a	11.87 bc	1.06 d
	VA	52.17 a	4.50 a	2.32 bcd	6.10 b	34.64 a	10.74 bc	2.06 cd
N	F	47.17 a	3.67 a	2.69 ab	6.53 ab	14.32 c	16.47 ab	4.16 abc
	VA	45.83 a	4.17 a	2.21 cd	7.65 a	23.10 bc	22.06 a	5.58 a
Significance ^y								
A		ns	*	ns	ns	***	***	***
B		ns	ns	*	*	*	*	ns
A*B		ns	ns	***	**	***	***	**

^zDMRT at p < 0.05 level(n=4). ^yns: not significant, significant at p=0.05.



그림 3-6-3. 수경방식과 여과방식을 조합한 시스템에서 재배된 40일째 칼랑코에 (23.07.17.)

3.6.2. 사료밀도(급이량)에 따른 환경과 칼랑코에 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

- 식물체: 칼랑코에 (*Kalanchoe blossfeldiana pollen*) 6개체씩

- 어류: 금붕어 5마리(처리별 총 127.25g±6.87)

○ 처리구: 사료 밀도를 달리한 어체중의 0.125%, 0.25%, 0.5%, 1.0%로 4처리

○ 실험기간: 총 148일(육묘 118일, 처리 50일)

○ 재배방식: 박막 수경 순환 재배

○ 재배환경: 온도 23°C±3, 상대습도 65%±10, White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 12/12H

○ 재배방법: 칼랑코에는 스펀지(5×10×5cm)에 감싼 후 네트포트(∅7×7cm) 식재하여 재배판에 정식하였다. 사육수는 EC 0.11의 수돗물 20L를 스펀지(3cm(H))와 세라믹링 2L가 채워진 재배조(44×32.5×11cm)로 8시부터 22시까지는 on/off 15min씩, 이후 2시간 간격으로 15분간 순환하게 하였다. pH 보정은 pH 5.0이하에서 첨가하였다.

○ 조사항목: 생육, 개화, 광합성, 사육수특성

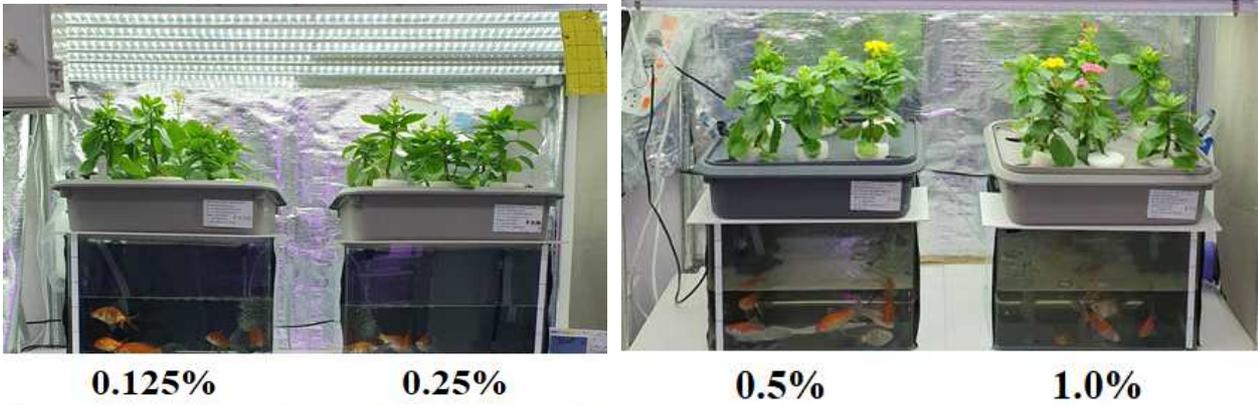


그림 3-6-4. 아쿠아포닉스에서 사료밀도에 다른 칼랑코에의 처리구 설치 모습

■ 연구결과

pH는 사료 밀도에 따라 큰 변화를 보였다. 0.25%, 0.5% 1.0% 처리에서 처리 다음날 pH의 소폭 상승 후 감소하였다(그림 3-6-5, A). 처리 4일째 1.0%은 pH 4.6까지, 0.5%은 pH 4.8 까지 가장 급격하게 떨어졌고, 0.125%는 처리 17일째 0.25%는 처리 18일째 pH 4.3까지 하락하였다. pH가 5.0이하로 떨어지게 되면 KOH를 1회 5-10ml 사이를 투여하였고, 실험기간 동안 총 0.125% 37ml, 0.25% 40ml, 0.5% 55ml, 1.0% 90ml투여하여 보정하였다(자료 미제출). 이로 인하여 사육수의 pH는 큰 변화폭으로 상승과 감소를 보였는데 1.0%에서의 변화가 가장 많이 이루어졌다. EC는 모든 처리구에서 0.1 dS·m⁻¹부터 시작했으며, 사료 투입과 물고기의 배설로 인해 농도가 짙어졌다. 가장 많은 사료를 급이한 1.0% 6배, 0.5% 4배, 0.25%와 0.125% 3배 증가하였다(3-6-5, B).

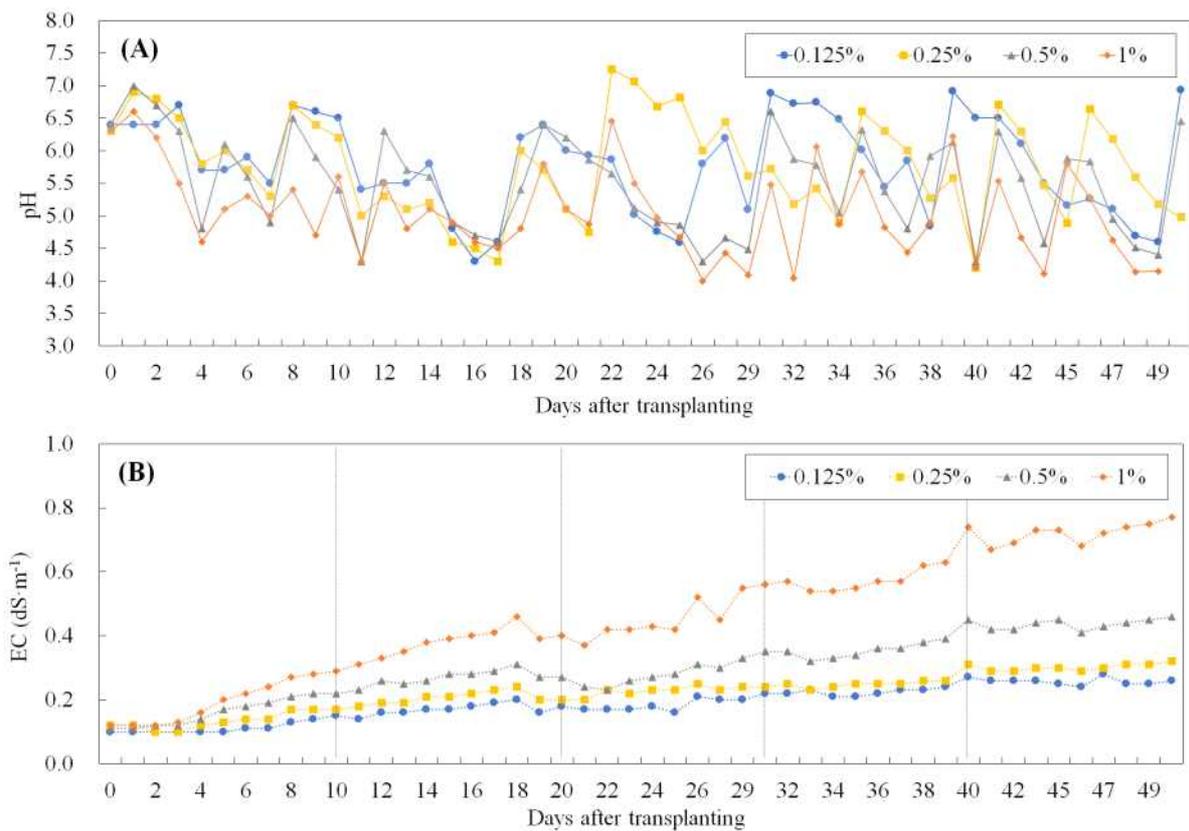


그림 3-6-5. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따라 pH(A)와 EC(B)의 변화

사료 밀도 처리에 따른 사육수 무기이온을 측정 한 결과 모든 무기이온이 1.0% 처리에서 가

장 많이 축적되었고, 이온의 축적은 0.5%, 0.5%, 0.125% 순이었으며 처리 35일 이후 무기이온들이 급격한 증감이 이루어졌다(그림 3-6-6). 질산염(NO_3^-)은 0.5% 이상의 사료 밀도에서 높게 축적되었지만, 0.25% 이하 밀도에서는 실험 시작일의 수준을 유지하였다. 인산염(HPO_4^{2-})은 다른 이온들에 비해 증감을 반복하였지만 모든 처리에서 농도가 축적되는 경향을 보였다.

처리 30일째 칼랑코에의 광합성을, 기공전도도, 증산을 및 엽육내 CO_2 농도가 0.25% 처리에서 가장 높았고, 0.125% 처리에서 가장 낮았다(표 3-6-6). 두 처리 모두 사육수의 EC가 $\text{EC}0.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 내외로 오 낮은 수준이었다.

처리 후 50일째 칼랑코에 마디수와 줄기 굵기가 0.125% 처리에서 가장 낮았으며, 다른 처리구는 처리간 차이가 없었다(표 3-6-7). 엽록함량 값(SPAD)는 0.25% 처리에서 높았고 0.125%와 0.5% 처리에서 낮았다. 처리 중 칼랑코에 생리장애는 1%처리에서 50% 발생하였고, 다른 처리구는 모두 발생하였다. 처리 3주 이후 1% 처리구의 EC가 $\text{EC}0.\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상 증가하였으나 다른 처리는 상대적으로 EC 수준이 낮았다. 칼랑코에는 다육식물임에도 적정 수준 이하의 농도에서는 양분 결핍이 발생하였고 이는 낮은 pH 영향과 함께 개화와 생리장애에 발생 요인으로 작용한 것으로 본다.

칼랑코에의 개화특성 중 미개화수, 화서수는 처리간 차이가 없었다(표 3-6-8). 첫 개화까지의 일수를 계산한 개화소요일은 1.0%에서 가장 짧았고, 0.125와 0.25%에서 31일로 가장 길었다. 개화수와 화서당 개화수는 0.5% 와 1.0%에서 가장 많았고, 만개수는 1.0%에서 완전 전개한 꽃수가 많았다(그림 3-2-9). 0.5와 1.0%에서 화폭은 넓었고, 화고는 낮았다

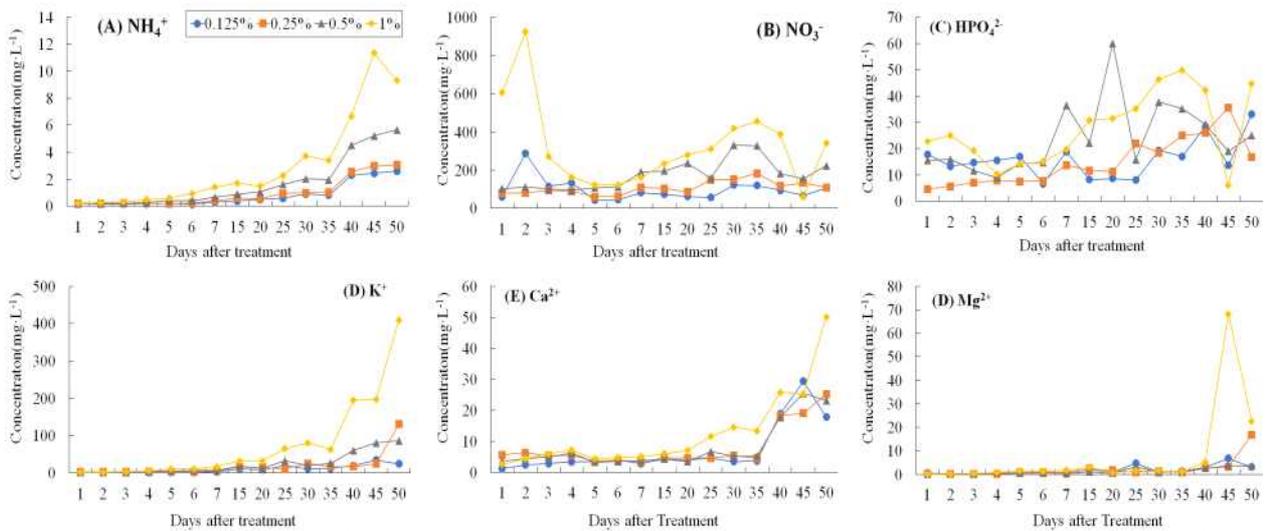


그림 3-6-6. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따른 처리중 NH_4^+ (A), NO_3^- (B), HPO_4^{2-} (C), K^+ (D), Ca^{2+} (E), Mg^{2+} (F)의 변화

표 3-6-6. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따른 처리 30일째 칼랑코에 광합성 특성.

사료밀도 (%)	광합성을 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	기공전도도 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	증산을 ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	엽육 내 CO_2 ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
0.125	2.32 c	0.02 b	0.26 b	234.45 ab
0.25	3.18 a	0.04 a	0.41 a	268.99 a
0.5	2.93 ab	0.03 b	0.28 ab	229.81 ab
1.0	2.44 bc	0.02 b	0.23 b	204.32 b

²DMRT at $p < 0.05$ level(n=3).

표 3-6-7. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따른 처리 후 50일째 칼랑코에 생육 및 생리장애 발생율.

사료밀도 (%)	초장 (cm)	초폭 (cm)	마디수 (ea)	분지수 (ea)	줄기굵기 (mm)	SPAD (value)	황화율 (%)
0.125	17.3 a ^z	18.5 a	9.3 b	6.7 a	7.79 b	43.2 b	100
0.25	17.1 a	18.4 a	11.5 a	7.3 a	9.51 a	49.3 a	100
0.5	18.5 a	19.4 a	11.5 a	7.3 a	9.01 a	45.0 b	100
1.0	18.1 a	19.4 a	11.8 a	6.5 a	8.75 a	46.3 ab	50

^zDMRT at $p < 0.05$ level (n=3) *초기생육: 초장은 14.3 ± 1.21 , 초폭 16.5 ± 1.60

표 3-6-8. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따른 칼랑코에 50일간 개화 특성.

처리구 (%)	개화 소요일 (day·plant)	미개화수 (ea·plant)	개화수 (ea·plant)	만개수 (ea·plant)	화서수 (ea·plant)	소화수 (ea·inflorescence)	화폭 (cm·plant)	화고 (cm·plant)
0.125	31.3 a ^z	6.6 a	8.2 ab	0.0 b	3.2 a	11.9 c	4.6 c	1.8 a
0.25	31.6 a	6.0 a	7.0 b	0.9 b	1.4 a	14.6 b	5.2 b	1.8 a
0.5	26.8 b	8.1 a	10.3 a	4.3 ab	2.0 a	22.8 a	5.8 a	1.4 b
1.0	20.7 c	6.4 a	12.0 a	5.8 a	2.2 a	24.2 a	5.6 a	1.3 b

^zDMRT at $p < 0.05$ level (n=6)

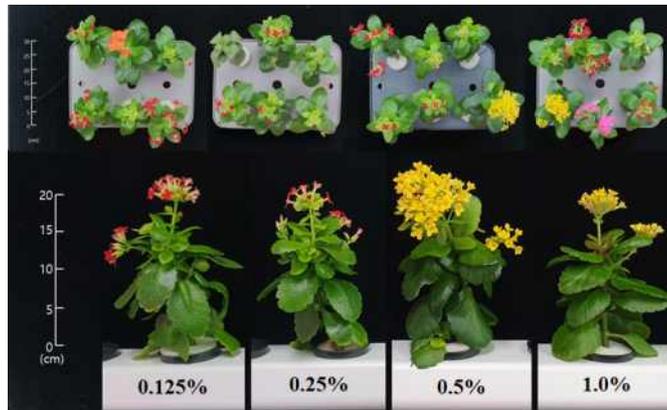


그림 3-6-9. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따라 칼랑코에의 처리 후 30일 모습

DAT	0.125%	0.25%	0.25%	1.0%
10				
30				
45				

표 2-6-10. 아쿠아포닉스 시스템에서 사료 밀도에 따라 칼랑코에의 정식 후 10일, 30일과 45일 생리장애 모습

3.6.3. 여과재 배지에 따른 아쿠아 환경과 칼랑코에 생육

■ 연구방법

- 공시재료
 - 식물체: 칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana pollen*) 6개체씩
 - 어류: 금붕어 5마리(51.5g±3)
- 처리구: 스펀지(Sponge), 난석(Orchid), 하이드로볼(Hydroball), 화산석(Volcanic)으로 4처리
- 실험기간: 64일간
- 재배방식: 담액 수경 재배
- 재배환경: 온도 23°C±3, 상대습도 65%±10 White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹
- 재배방법: 베고니아 배지 실험이 끝난 실험구에 정식하였다. 급이는 어체중의 0.5%를 공급하고, pH는 5.0이하일 때 보정하였다.
- 조사항목: 생육, 개화, 사육수특성

■ 연구결과

모든 처리구에서 사육수의 전기전도도(EC)는 초기부터 증가하는 경향을 보였다 가장 높은 EC는 H처리에서 0.58~0.8dS·m⁻¹였다. 22DAT에 V처리구의 급격한 하강은 5L가 누수되어 첨가되는 원인으로 작용하였다(그림 3-6-11, A). 모든 처리구의 EC는 1.0dS·m⁻¹ 미만이였다. Wortman(2015)은 아쿠아포닉스 시스템의 식물은 EC 1.0 미만을 선호한다고 하였다. Noh 등(2011)은 수경재배에서 칼랑코에를 재배할 경우 EC 1.5에서 처리가 EC 2.0과 3.0보다 생육이 양호하다고 보고했다. 본 실험은 플랜테리아용 아쿠아포닉스 재배로 물고기를 입어한 시스템에서 EC 1.5 수준을 유지하는 것은 초기 사육수를 만드는시간이 너무 많이 소요되는 것으로 본다. 그러나 낮은 EC는 개화와 생리장애 유발 원인이 될 수 있으므로 황화현상 원인 중 하나인 철의 별도 첨가와 함께 EC 1.0dS·m⁻¹ 가 내외가 적합하리라 본다.

사육수의 pH는 아쿠아포닉 시스템에서 NH₄와 NO₂의 산화로 인해 어류 건강에 중요한 역할을 한다(Chen and Ma, 2006). 처리 기간 동안 사육수의 pH는 모든 처리에서 6.9~4.0 범위에서 변동하였다(그림 3-6-11, B). 그러나 처리에 따라 변동 폭이 달랐으며, S처리에서 더 큰 pH 변동이 관찰되었다(pH 4.6~7.0). 대조적으로, O 및 H처리는 pH 변동이 덜한 것으로 나타났다(6.8~4.5).

한편 식물의 양분 흡수는 이온 형태로 이루어지며, 아쿠아포닉 시스템에서는 영양분이 어류 사료와 어류 폐기물에 의해 공급되며, 이들은 다양한 미생물의 활동에 의해 용해·이온 형태로 전환된다(Rakocy 등, 2004). 식물은 토양에서 자랄 때보다 아쿠아포닉 시스템에서 이온 형태의 영양분을 쉽게 흡수할 수 있다. 그러나 시스템의 보완, 특정영양분의 첨가 등의 양분 균형이 이루어지지 않으면 아쿠아포닉스를 통한 작물 재배는 한계가 있으며, 관상가치가 주인 화훼류 또한 개화 특성에 영향을 준다. 따라서 아쿠아포닉스 사육수 관리는 정기적인 이온 농도 모니터링이 중요하며(Graber and Junge, 2009; Endut et al., 2014), 아쿠아포닉 사육수의 양분 균형 관리는 생장에 중요한 요소이다(Goddek et al., 2015).

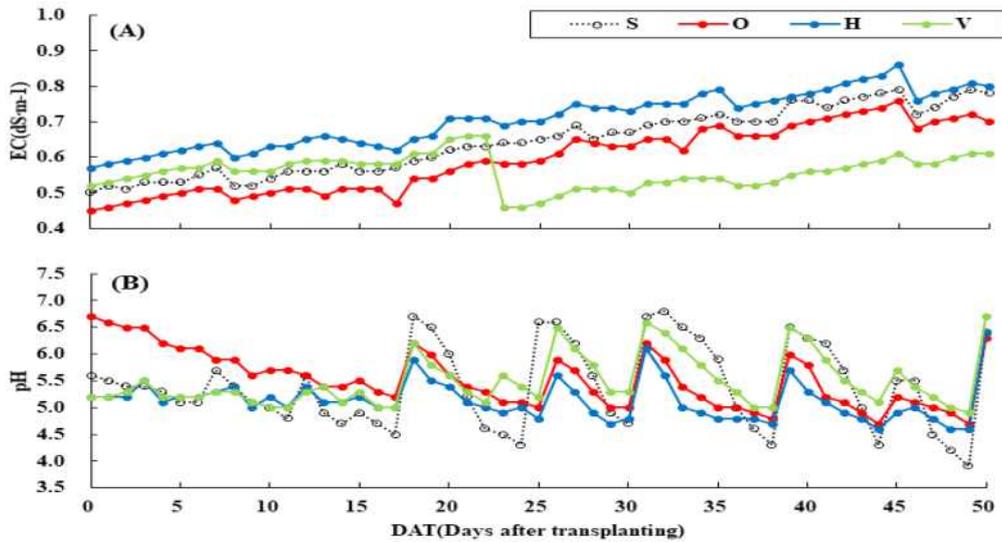


그림 3-6-11. 아쿠아포닉스에서 무기여과재 배치 차이에 따른 사육수 EC(A)와 pH (B) 변화. (S:Sponge, O:Orchid, H:Hydroball, V:Volcanic)

처리 50일 후 NH_4^+ 는 초기 단계에 비해 모든 처리에서 증가하였다(그림 3-6-12, A). 처리 30일부터 50일까지 암모늄 이온 농도는 SV 처리에 비해 SO 처리에서 약 $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 더 높았다. S, O 및 H 처리에서 사육수 내 NO_3^- 의 농도가 지속적으로 증가하였다(그림 3-6-12, B). 처리 50일째에는 S와 O 처리에서 약 2배 증가하였고, H 처리에서는 37% 증가하였다. HPO_4^{2-} 의 함량은 처리 첫날부터 30일까지 변동하였다(그림 3-6-12, C). 그러나 치료 시작 30일째에는 모든 증가하는 경향을 나타냈고 50일 후, S 처리구의 HPO_4^{2-} 의 수준이 높게 관찰되었다. 사육수의 HPO_4^{2-} 의 농도가 낮아지는 것은 시스템 내 Ca^{2+} 이온의 양이 많아진 결과로 본다. Ca^{2+} 농도는 H, O 및 S 처리에서 20-50일 동안 안정적이었다(그림 3-6-12, D). 그러나 처리 후 50일째에는 O 처리에서 이 수준이 2배 증가했고, V 처리에서는 초기 농도보다 19% 감소하였다. S, O, H, V 처리구의 사육수 Mg^{2+} 농도는 처리 20일까지 증가하였고, 증가는 15일부터 20일까지 급격하게 나타났다(그림 3-6-12, E). 5일 동안 Mg^{2+} 농도는 O, H, V 처리에서 약 70% 증가했고 S 처리에서는 약 1.5배 증가하였다. 처리 35일 이후 S와 V 처리구에서는 Mg^{2+} 농도가 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 내외로 안정적으로 유지되었으나, O 처리구에서는 10에서 $6.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 로 점차 감소하였다. V 처리의 처리 후 23일째 새로 추가된 5L의 물은 무기이온 농도가 감소하는 원인이었다.

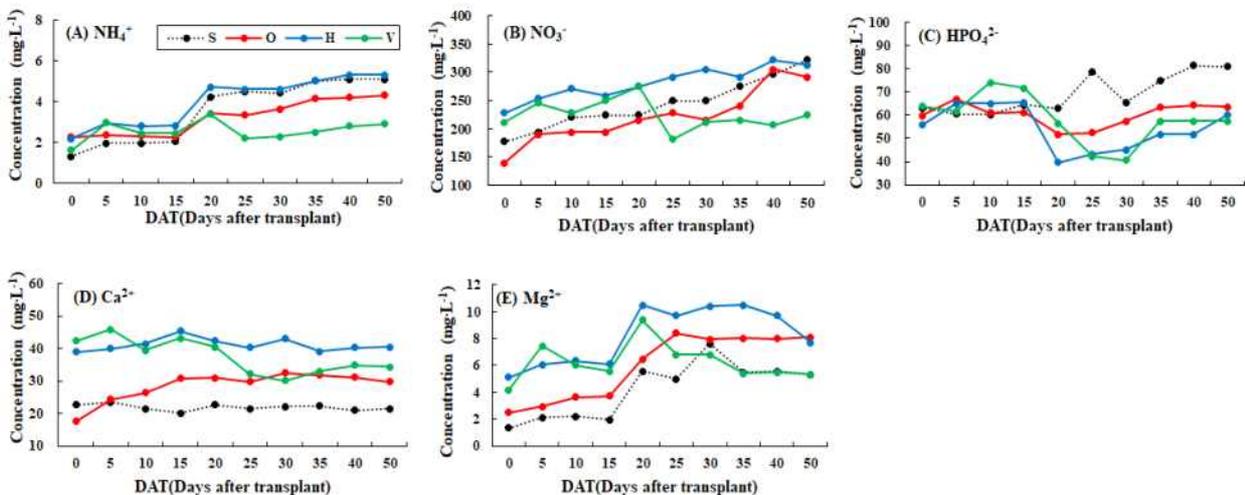


그림 3-6-12. 아쿠아포닉스에서 무기여과재 배치 차이에 따른 사육수의 무기이온 변화.

초장, 초폭, 엽수, 줄기굵기, 분지수, 마디수는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다. SPAD의 경우 S, O와 V 처리에서는 차이가 없으며, H처리에서 높았다(표 3-6-8). 이는 H 처리의 EC가 더 높고 Ca^{2+} , NH_4^+ , NO_3^- 및 Mg^{2+} 농도가 높아 SPAD 값이 높게 나타났다. 50일 간의 재배에서 칼랑코에의 성장에는 매우 짧은 기간으로 성장 특성의 유의미한 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다.

표 3-6-8. 무기여과재 배지처리 50일째 칼랑코에 생육 특성

처리구	초장 (cm)	초폭 (cm)	엽수 (ea)	줄기 굵기 (mm)	분지수 (ea)	마디수 (ea)	화경수 (ea/plant)	SPAD (values)
S	21.7 a ^z	17.5 a	19.2 a	6.7 a	3.2 a	10.8 a	1.8 a	31.6 b
O	23.8 a	18.8 a	17.2 a	6.8 a	2.2 a	10.0 a	1.6 a	35.5 b
H	24.2 a	19.6 a	21.0 a	7.1 a	2.6 a	10.2 a	2.2 a	42.9 a
V	25.5 a	19.9 a	17.4 a	7.6 a	2.2 a	10.6 a	1.4 a	36.8 b

^zDMRT at $p < 0.05$ level (n=5). *초기생육: 초장 17.3cm±1.5, 엽수 12.7장±1.6, 줄기굵기 6.32cm±0.6



그림 3-6-13. 무기 여과재 정식 후 0일, 50일의 칼랑코에의 모습

무기여과재 처리에 영향을 받은 64일째 칼랑코에의 개화 특성으로 식물체당 화경수, 개화수, 개화종은 모든 처리에서 차이가 없었다(표 3-6-9). 식물체당 소화수는 H 처리에서 가장 많았으며, S, V 처리에서 가장 적었다. 식물체당 미개화수는 H 처리에서 가장 많았다. 꽃의 발달이나 생산은 식물의 생육환경과 건강상태에 따라 크게 좌우된다(Borghini et al., 2019; Lim et al., 2020). 하지만 본 실험의 사육수의 증가 경향은 유사하였고, 재배 환경이 동일하여 처리간 차이를 보이지 않은 것으로 보인다.

표 3-6-9. 무기 여과재 배지 처리 정식 후 64일째의 칼랑코에 개화 특성

Treatment	개화 소요일 (day/Pl.)	화경수 (ea/Pl.)	화서 당 소화수 ^x (ea/Pl.)	개화수 (ea/Pl.)	미개화수 (ea/Pl.)	개화종 (ea/Pl.)
S	30.0 a ^z	1.8 az	35.0 b	25.2 a	8.8 b	1.0 a
O	24.4 a	1.6 a	44.6 ab	30.8 a	8.6 b	5.2 a
H	25.4 a	2.2 a	62.6 a	40.2 a	18.8 a	3.6 a
V	28.0 a	1.6 a	34.8 b	27.6 a	6.6 b	0.6 a

^zDMRT at $p < 0.05$ level ($n=5$). ^x소화수는 개화수, 미개화수, 개화수를 모두 더한 값임.

3.6.4. EC 농도에 따른 아쿠아 환경과 칼랑코에 생육

■ 연구방법

○ 공시재료

- 식물체: 칼랑코에 (*Kalanchoe blossfeldiana pollen*) 처리별 6개체씩
- 어류: 금붕어 3마리

○ 처리구: 사육수의 EC 0.5, 1.0, 1.5 dS·m⁻¹ (±0.2)로 3처리/대조구는 EC 1.0으로 일정농도로 유지

○ 실험기간: 총 102일(육묘 41일, 순화 7일, 처리 54일)

○ 재배방식: 칼랑코에 시스템의 MDVA 처리 방식

○ 재배환경

- 처리구: 온도 23°C±4, White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, 일장(주/야) 16/8H
- 대조구: 데이터로거기를 통해 30분간격 저장, White LED 100μmol·m⁻²·s⁻¹, (16H/8H)

○ 재배방법: 각 처리 EC 농도에 맞는 사육을 처리별 12L씩 채우고, 어체중의 0.5%(0.4g)를 1일 1회 공급함. 사육수는 1일 5회 15분씩 순환하고, 이후 30~40분 내로 재배조의 사육수는 배액됨. pH는 pH 5.5이하일 때 보정함.

○ 조사항목: 생육, 엽록소형광, 개화, 사육수 특성, 어류특성, 광합성



그림 23-6-14. 아쿠아포닉스 시스템에서 EC 농도에 의한 칼랑코에

■ 연구결과

처리구와 대조구의 환경을 비교한 결과 처리구보다 대조구에서 기온이 0.7~0.8°C 높게, 습도는 20.2~29.5% 낮은게 유지되었다(표 2-6-10). 대조구가 설치된 위치의 주변 환경으로 실내 온도 유지되는 곳보다 최대 온도가 높아 평균온도를 상승요인으로 작용하였다. 실내는 LED 인공광원이 설치되었고 별도의 습도 유지를 하지 않았음에도 불구하고, 식물과 물고기

사육수로 실내 습도가 50% 유지되었다. 이는 실내에서 플랜테리어 수경 및 아쿠아포닉스 재배는 공중 습도에 영향을 줄 수 있다고 본다.

표 3-6-10. 처리구와 대조구의 월별 평균, 최대, 최소 온도와 습도

처리구	월	온도(°C)			습도 (%)		
		평균	최대	최소	평균	최대	최소
Control	Oct.	22.9	23.9	22.1	48.1	49.5	47.1
	Nov.	24.2	25.6	22.9	23.2	24.3	22.4
	Dec.	24.4	25.8	23.1	29.1	30.6	27.7
Treatment	Oct.	23.6	23.6	22.7	68.3	68.3	65.8
	Nov.	23.5	23.5	22.7	52.7	52.7	50.9
	Dec.	22.2	22.2	21.3	54.3	54.3	51.9

*측정일자: 23. 10.3.~12.25

사육수의 수질환경 변화를 측정한 결과 54일까지의 pH는 모든 처리에서 유사한 경향을 보였으며, EC는 설정 EC로 일정하게 유지 관리 되었지만, 처리 후 36일부터 EC 1.5처리에서는 낮아지는 경향을 보였다(그림 3-6-15).

사육수의 NH_4^+ , NO_3^- 와 HPO_4^{2-} 는 EC 농도가 높을수록 높게 유지되었다. EC1.5 처리의 NH_4^+ 은 처리 후 12일째부터 지속적으로 감소하는 경향이었지만, NO_3^- 는 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 다른 처리에서는 이러한 경향을 보이지 않는 것으로 보아 질산화 작용으로 인한 감소보다는 식물체에서 NH_4^+ 을 선호 흡수하는 것으로 보인다. EC 1.0은 EC 1.5와 반대로 NH_4^+ 은 처리 19일째부터 증가하였지만, 처리 후 26일째부터 NO_3^- 가 감소하였다(그림 3-6-16).

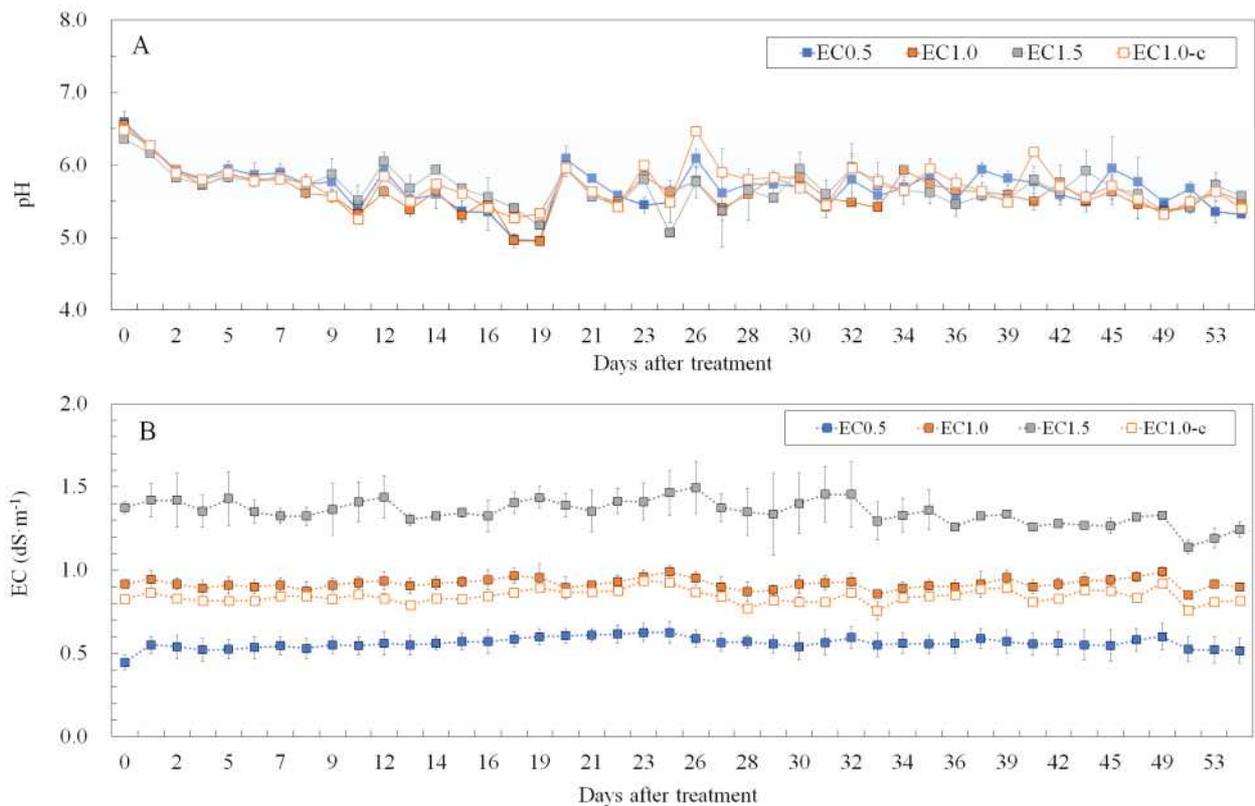


그림 3-6-15. 칼랑코에 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC농도의 영향을 받은 사육수의 pH와 EC(n=2).

어류의 어체중, 사료효율과 단백질 효율은 농도가 높은 처리에서 생장이 좋았지만, 대조구는 35일 이후로는 성장히 둔화하여 같은 농도의 처리구의 증체율이 1/2 수준으로 성장하였다(그림 3-6-17). 급이량은 EC 1.5처리에서 다른 처리(17.6g)보다 40% 더 급이되었고 증체율을 높이는 데 영향을 준 것으로 보인다.

광합성속도를 측정한 결과 광합성율, 기공전도도, 증산율은 대조구의 EC 1.0에서 $2.78\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 으로 높은 결과를 보였고, 엽육 내 CO_2 는 차이가 없었다(표 3-6-11). 환경이 조절되지 않는 대조구의 환경 증 습도가 낮으므로 인해 증산을 유발하여 기공전도도가 높아지며 광합성율이 높아진 결과로 보여진다. 환경이 조절되는 처리구 중에서 EC 1.0에서 기공전도도가 0.025로 높았지만 광합성율의 차이는 보이지 않았다.

처리 28일째 엽록소형광 반응을 조사한 경과 모든 처리구에서 최대양자수율은 0.82 이상으로 적절한 범위 내에 있었으며, 식물 건전도를 알수 있는 Mo는 0.57보다 낮은 결과를 보여 식물이 건전한 것을 알수 있었다 스트레스 여부를 알수 있는 에너지 손실율(DI₀/RC)은 처리구의 EC 1.0에서 0.35로 높게 나타났다(표 3-6-12).

생육특성을 조사한 결과 처리 후 28일째는 초장과 마디수에서, 처리 후 54일째는 초꼭, 마디수, 분지수, 줄기굵기에서 차이를 보였다. 실험이 진행될수록 초장은 유사하였다. 마디수의 경우 대조구에서 16.4로 유사한 초장에 마디가 더 많았고, 분지수는 EC 1.5처리에서 23.8개로 가장 많았다(표 3-6-13).

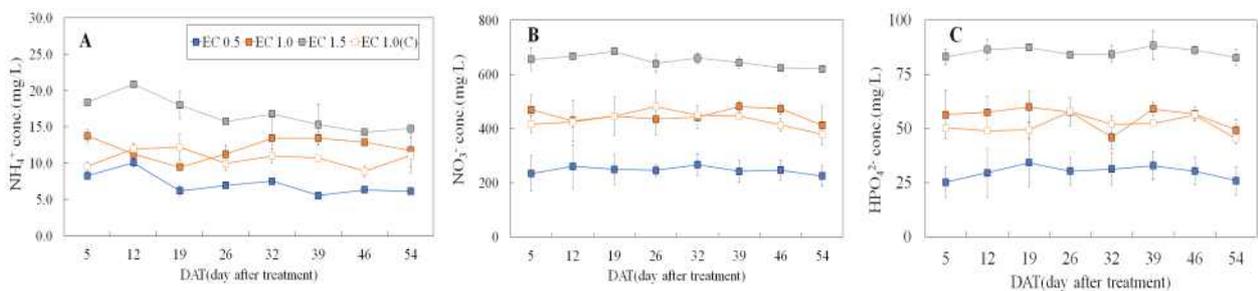


그림 3-6-16. 칼랑코에 아쿠아포닉스에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 사육수의 무기이온 성분의 변화(n=2).

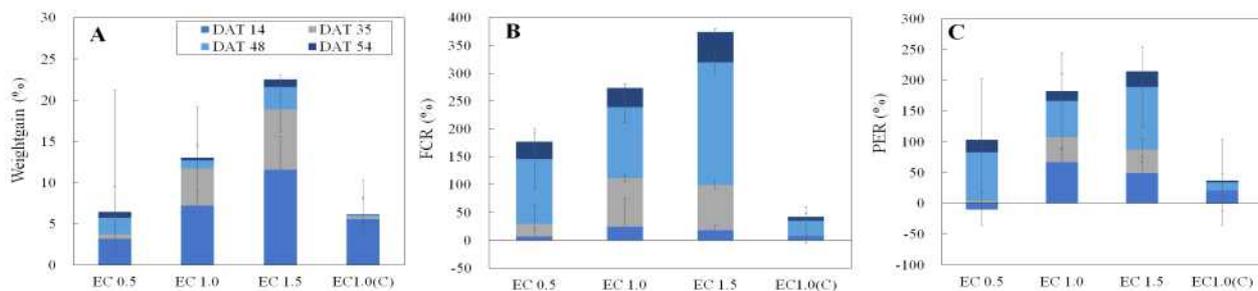


그림 3-6-17. 칼랑코에 아쿠아포닉스에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 어류의 처리기간 중 증체율(A), 사료효율(B), 단백질 이용 효율(C)(n=3).

표 3-6-11. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 처리 후 28 일째 광합성 특성.

EC (dS·m ⁻¹)	광합성율 (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	기공전도도 (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	엽육 내 CO ₂ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	증산율 (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
0.5	2.18 b	0.022 b	234 a	0.24 b
1.0	2.01 b	0.025 ab	264 a	0.27 ab
1.5	2.13 b	0.023 b	243 a	0.25 b
1.0(Cont)	2.78 a	0.031 a	247 a	0.33 a

²DMRT at $p < 0.05$ level (n=3).

표 2-6-12. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 처리 후 28 일째 엽록소형광

EC (dS·m ⁻¹)	엽록소형광변수		성능지표 Pi_Abs	반응중심의 에너지 흐름			
	Fv/Fm	Mo		ABS/RC	TRO/RC	ETo/RC	Dlo/RC
0.5	0.83 a	0.52 b	5.19 a	1.82 b	1.51 b	1.00 b	0.31 b
1.0	0.82 a	0.57 a	4.50 b	1.99 a	1.64 a	1.07 a	0.35 a
1.5	0.82 a	0.50 b	5.20 a	1.86 b	1.53 b	1.03 ab	0.33 ab
1.0(C)	0.83 a	0.50 b	5.41 a	1.83 b	1.52 b	1.02 ab	0.32 b

²DMRT at $p < 0.05$ level (n=6).

표 2-6-13. 아쿠아포닉스 시스템에서 일정한 EC 농도의 영향을 받은 처리 후 28 과 54 일째 생육 특성

DAT	EC (dS·m ⁻¹)	초장 (cm)	초폭 (cm)	마디수 (ea)	분지수 (ea)	줄기굵기 (mm)
28	0.5	19.3 b	20.5 a	14.3 ab	9.2 a	6.29 a
	1.0	20.6 ab	18.6 a	13.9 b	9.0 a	6.21 a
	1.5	20.3 ab	20.6 a	14.6 ab	10.4 a	6.18 a
	1.0(C)	21.9 a	20.8 a	15.7 a	8.9 a	6.29 a
54	0.5	21.3 a	21.9 ab	15.8 b	11.4 b	6.6 ab
	1.0	23.4 a	19.5 b	15.6 b	10.0 b	6.8 ab
	1.5	23.4 a	22.8 a	16.3 b	23.8 a	6.0 b
	1.0(C)	23.9 a	24.8 a	16.4 a	13.9 b	7.8 a

²DMRT at $p < 0.05$ level (n=6).

3.7. 플랜테리어용 아쿠아포닉스 재배관리

아쿠아포닉스 시스템 설치 소요 시간은 벽면형이 다단형보다 2.7배 더 소요되었고, 이후 관리 시간을 계산하면 하루 Wall 11분, Multi 12분이 소요되어 큰 시간을 들이지 않고 식물과 어류의 심미적 효과를 누릴 수 있는 것으로 조사되었다.

수경재배 방식을 아쿠아포닉스의 시스템에 적용한 담액, 순환담액, 박막 방식의 설치 소요시간은 박막 방식 100분, 순환담액 95분, 담액 60분 소요되었다. 어류의 경우 총 130분으로 pH와 EC 측정에 소요되는 시간은 가정 내에서 필요하지 않아 제외하면 총 58분이 소요되어 물 보충시간이 30분으로 가장 많이 소요되었다. 박막 방식의 아쿠아포닉스 시스템에서 42일간 제라늄을 재배한 결과 개화 전보다 개화 후 작물 정리 시간이 2배 정도 더 소요되었고, 전체 투입 시간은 483분이 소요되었다. 순환 담액 방식에서 칼랑코예를 42일간 재배하였을 때 총 관리 시간이 18분으로 짧았으며, 물체가 전 기간 싱싱하게 자란 결과이다. 관엽식물인 아글레오마를 담액 방식에서 42일간 재배하였을 때는 총 2분으로 관리시간이 거의 소요되지 않았다. 1일 어류 관리 시간은 2분 이내, 제라늄 12분, 칼랑코예와 아글레오마는 1분 이하로 모든 작물에서 재배조 관리는 유사하지만 작물 종류에 따라 분화류가 관엽식물에 비해 유지 관리시간이 많이 소요됨을 알 수 있다.

아쿠아포닉스의 벽면형과 다단형 시스템에 따라 관리시간은 시스템 구성은 2.7배 더 소요되

면서 Wall이 Multi보다 121분 이상 관리 시간 더 소모되었다(표 3-2-5). 설치 완료 후 관리에 서는 오히려 Multi에서 109분으로 Wall보다 Multi의 단 위로 떨어지는 꽃, 먼지등을 제거하는 시간이 더 소요되었기 때문이다. 어항 청소 또한 다단 스펀지의 이물질 제거하는 시간으로 인해 더 늘어났다. 두 시스템 모두 많은 시간을 투자하지 않고 식물을 감상 할 수 있는 것으로 조사되었다.

아쿠아포닉스의 재배 방식에 따른 설치 시간은 박막 방식이 총 100분, 담액은 75분소요되어 담액 시스템의 관리 시간이 30% 적게 관리 되었다. 박막 시스템의 경우 모터와의 급액 및 배액 연결 시간이 다른 시스템에 비해 5~25분더 소요되었다. 순환 담액의 경우 수조에 바닥재, 재배조에 세라믹링과 여과솜이 설치되다 보니 다른 처리에서 보다 15분이 더 소요되었다. 실험실의 경우 급이를 일일이 g를 측정하여 공급하였기에 시간이 필요하였지만, 일반 가정 내에서는 이보다 짧은 시간이 소요될것으로 예상된다. 제라늄의 경우 주변 정리로 개화 전후 시간이 달랐는데 이는 만개되어 떨어진 꽃잎과 수술로 인해 주변 정리 시간이 더 소요되어 개화 후시기에는 12분이 더 필요하였다. 칼랑코에는 개화기간이 길어 42일동안 개화로 인한 꽃잎 정리는 이루어지지 않았고, 아글레오네마는 관엽식물이라 주변 정리로 먼지 제거만 이루어져 가장 짧은 시간이 소요되었다.

표 3-7-1. 아쿠아포닉스 시스템에서 분화 및 관엽식물의 평균 관리 시간(재배기 개당)

시스템	항목	시스템 구성		관리				계	
		배드 설치	식물 식재	배드 청소	물 보충	어항 청소	어류 관리		식물 관리
Wall	시간(분/회)	240	120	-	6	1	2	10	1,060
	횟수(회)	1	1	-	5	2	84	50	
	소요시간(분)	240	120	-	30	2	168	500	
Multi	시간(분/회)	70	60	10	3	3	2	10	939
	횟수(회)	1	1	12	5	2	84	50	
	소요시간(분)	70	60	120	15	6	168	500	

표 3-7-2. 아쿠아포닉스의 시스템을 설치 소요 시간(어류 3마리/6plant/15L/분)

항목	담액		순환 담액		박막	
	수조	재배조	수조	재배조	수조	재배조
설치(외형)	5	5	5	20*	20	30
여과 (바닥재)	10	-	10	15	10	-
입어 및 식재	10	30	10	30	10	30
계	25	35	25	70	40	60

*재배조의 파이프 제작 시간 포함

표 3-7-3. 아쿠아포닉스의 수조관련 42일간 평균 관리 시간

항목	급이	pH/EC측정	물 보충	여과조(박막)	계
시간(분/회)	2	2	5	10	
횟수(회)	36	36	6	1	
소요시간(분)	18	72	30	10	130

표 3-7-4. 아쿠아포닉스에서 재배된 작물별 42일간 평균 관리 시간

식물명	항목	개화전		개화후		계
		작물정리	주변관리	작물 정리	주변관리	
제라늄 (박막방식)	시간(분/회)	5	2	12	2	
	횟수(회)	15	15	27	27	
	소요시간(분)	75	30	324	54	483
칼랑코에 (순환담액)	시간(분/회)	1	2	-	-	
	횟수(회)	6	6	-	-	
	소요시간(분)	6	12			18
아글 레오네마 (담액방식)	시간(분/회)	1	1	-	-	
	횟수(회)	1	1	-	-	
	소요시간(분)	1	1			2

3.8. 플랜테리어용 실내재배기 모니터링 및 환경제어 어플 개발

가. 센서 제어 프로세스

사육수의 환경(pH, EC, 수온 등)을 측정하는 센서 정보를 수집하고 수집된 정보를 웹 기반으로 모니터링 할 수 있는 어플을 개발하였다. Arduino UNO R3 보드와 Lolin-D32(esp32) 보드로 구성하고 여러 센서로부터 정보를 수집하며, Lolin 보드는 설정된 주기로 이를 WiFi를 통해 서버에 전달해 준다. 네트워크 계층은 MQTT 브로커(Mosquitto), 데이터 전달자(Node-RED) 및 데이터베이스(InfluxDB)로 구성되어 데이터의 전송 및 가공한다. 애플리케이션 레이어는 센서 노드의 정보가 표시되는 대시보드(Grafana)로 구성하여 사육수의 환경을 모니터링을 가능하게 가시적으로 보여지게 하였다.



그림 3-8-1 아쿠아포닉스 환경 모니터링을 위한 제어 프로세스

1) 센서 데이터 수집을 위한 데이터 로거 제작과 센서 보정

아두이노를 이용한 센서들의 데이터를 수집하여 환경 데이터를 서버로 전달하는 데이터 로거에 대한 제작 과정 및 코딩하였 내용은 다음 순서로 이루어졌다.

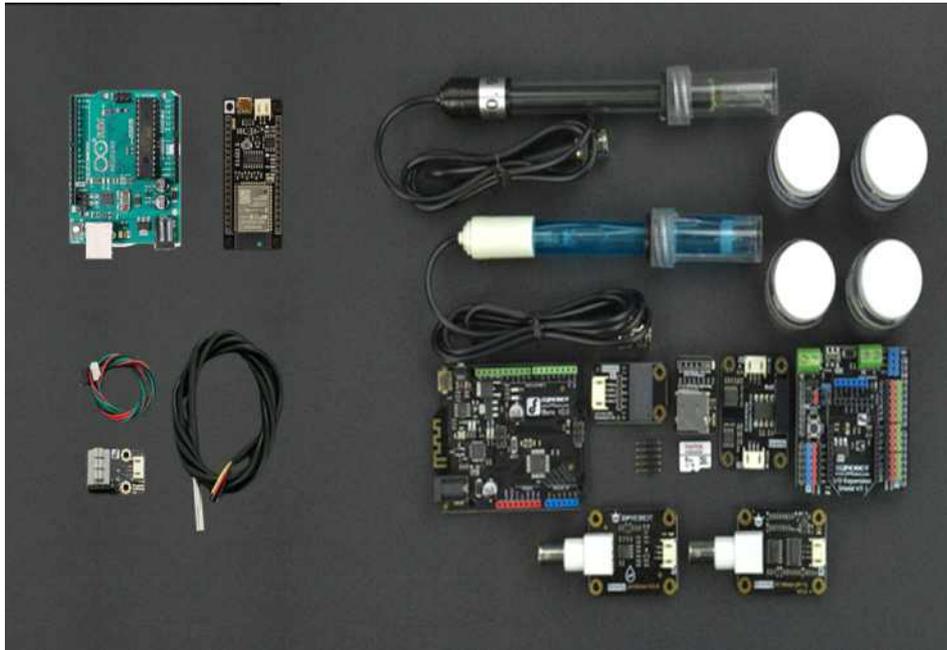


그림 3-8-2. 데이터 로거 설치에 사용된 센서와 제품

표 3-8-1. 데이터 로거 제작에 사용된 제품사양

제품명	제조사	사양
'Uno' R3	Arduino, Italy	
IO 확장 실드	DFR0267, DFrobot, China	
IO 확장 실드	DFR0265, DFrobot, China	
ESP32-E IoT Microcontroller	DFR0267, DFrobot, China	
아날로그 신호 절연체	DFR0504, DFrobot, China	
I2C SD2405 RTC Module	DFR0469, DFrobot, China	
LCD panel	FIT0127, DFrobot, China	16×2
수온 센서	DS18B20, DFrobot, China	5~40°C
EC 센서	DFR0300, DFrobot, China	1~20dS·m ⁻¹
pH 센서	SEN0161-V2, DFrobot, China	pH 0-14

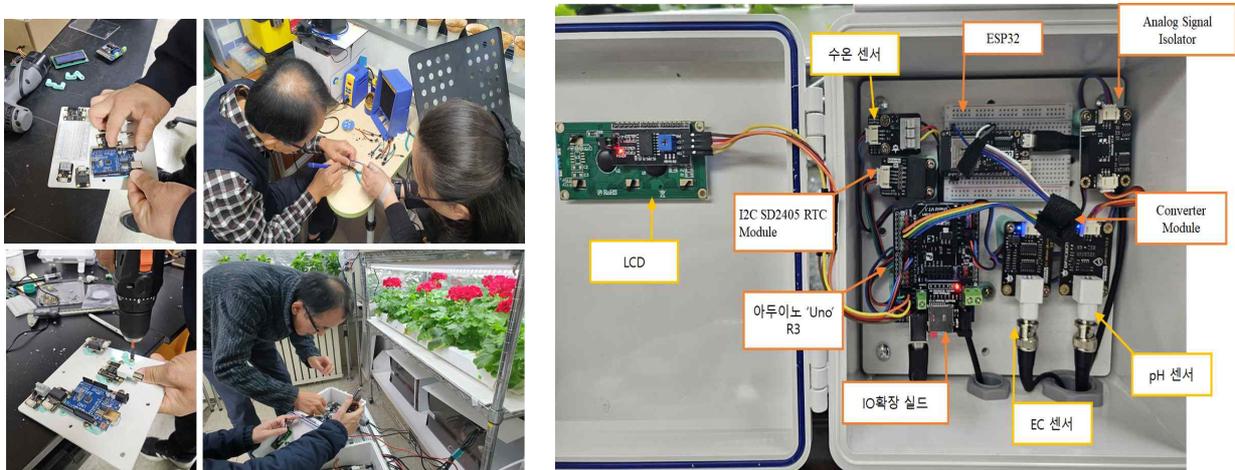


그림 3-8-3. 데이터 로거 제작 과정과 제작된 데이터로거

2) 코딩 (일부)

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include "DFRobot_PH.h"
#include "DFRobot_EC.h"
#include <EEPROM.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <GravityRtc.h>
#include "Wire.h"
#define PH_PIN A3
#define EC_PIN A0
#define ONE_WIRE_BUS 2
#define CSPIN 10

GravityRtc rtc;
File dataFile;

DFRobot_PH ph;
DFRobot_EC ec;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16,2);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

Serial.println("LABEL,Date,Time,pH,EC
,Temperature");
}

re();

...

int i = 0;
bool readSerial(char result[]){
while(Serial.available() > 0){
char inChar = Serial.read();
if(inChar == '\n'){
result[i] = '\0';
Serial.flush();
i=0;
return true;
}
if(inChar != '\r'){
result[i] = inChar;
i++;
}
delay(1);
}
return false;}

float readTemperature()
{
float temp =
sensors.getTempCByIndex(0);
return temp;
}

```

3) 센서 보정

센서 보정 후 pH 6.65, EC 0.9 양액에 센서를 장착하고 하루동안 기록된 결과 값은 일정하게 모니터링 되어 센서의 사용 가능성을 확인하였다. 측정 과정 중 pH는 수온값에 영향을 받아 설정되어 수온 센서의 이동으로 인해 결과값이 증감하였다.



그림 3-8-4. 센서 보정 과정 중 배양액 pH와 EC 모니터링

4) 센서 알람 설정

측정되는 pH의 적정 범위는 pH5.5~6.5, EC는 0.5~2dS·m⁻¹, 수온은 20~25°C일 경우 적정 범위로 설정하였다. 모든 그래프는 적정 범위로 범위(반원) 내의 결과값은 초록색이 표시되며, 주의가 필요할 경우 노랑, 경고는 빨강색으로 조치가 시급할 때를 표시하여 사용자로부터 시각적으로 빠르고 쉽게 수질의 환경을 인지하고, 적정한 조치가 이루어 질 수 있도록 하였다.



그림 3-8-5. 시각적으로 수질의 상태를 확인 할 수 있는 모니터링 화면

나. 사육조의 환경 관리 원격 모니터링 개발

사육수의 상태 정보를 실시간으로 모니터링할 뿐만 아니라 사용자에게 가시적인 관리 시스템을 구축하였다. 관리 중 주의 사항은 일반 수경재배 양액과 달리 어류의 배설물과 부유물에 의한 센서의 이물질이 발생하므로 월 1회 센서 세척이 필요하다.

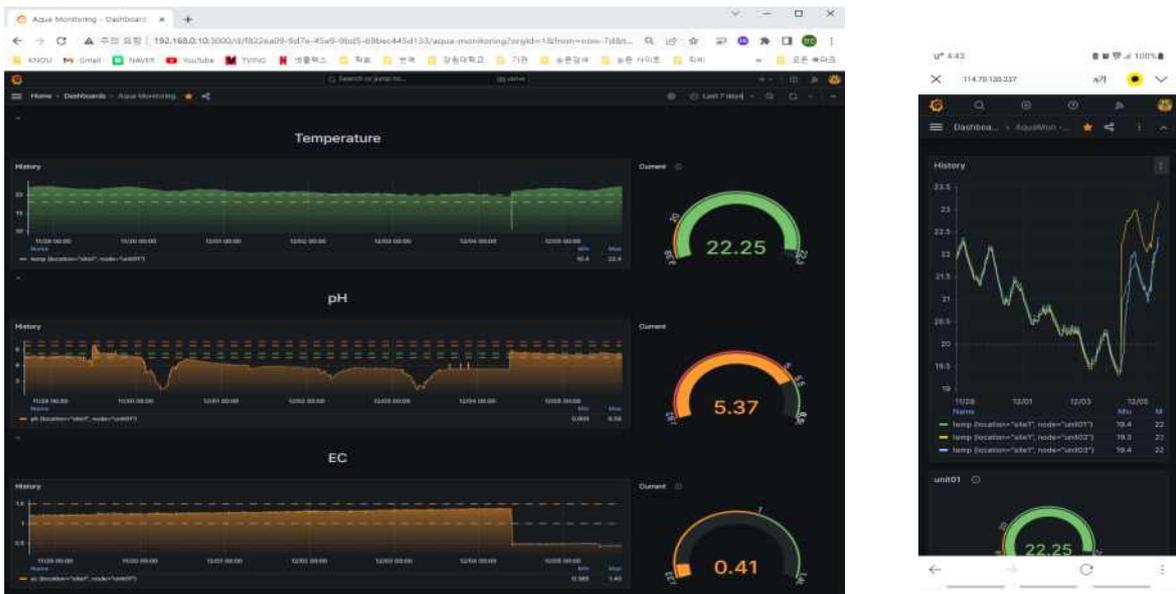


그림 3-8-6. 사육수 환경 모니터링으로 개발된 웹(좌) 및 앱(우)

3.9. 플랜테리어용 실내 재배기 분화류 아쿠아포닉스 재배 매뉴얼

아쿠아포닉스(Aquaponics)는 사육 수조에서 양어되는 어류의 배설물이 미생물에 의해 분해되어 식물 재배에 필요한 영양소를 공급함으로써 양어(Aquaculture)와 수경(Hydroponics)이 통합된 재배 방식(그림 3-9-1)이다. 아쿠아포닉스 시스템에서 순환 여과 장치는 어류 배설물이 용수에서 제거되는 것으로 물리적 여과 장치(고형물의 제거)와 생물학적 여과장치(물에 녹아있는 배설물의 제거)가 이루어진다. 생물학적 여과과정에서 식물의 양분으로 공급받을 수 있는 질산염을 얻을 수 있으며 이 과정을 질산화 과정이라고 한다. 즉 아쿠아포닉스는 사육수조 내 어류의 배설물이 식물 양분으로 공급되는 생태계 순환계를 이용한 재배법으로 사육수 관리와 식물 관리가 동시에 이루어져야 하므로 사전에 기술을

습득한 후 관리하는 것이 필요하다.

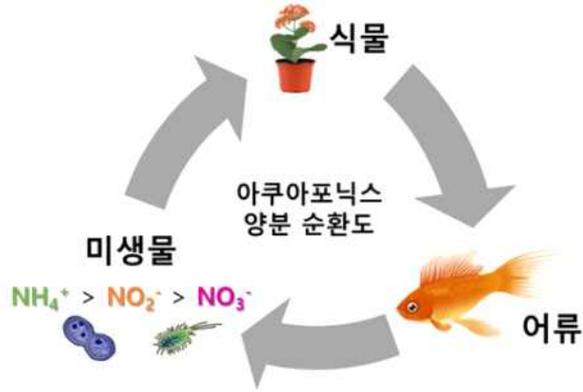


그림 3-9-1. 아쿠아포닉스 생태계 순환도

실내 재배기를 이용한 플랜테리어용 아쿠아포닉스는 금붕어를 대상으로 실험한 분화류(제라늄과 칼라코에)의 매뉴얼이다. 고려할 사항으로는 ① 설치할 장소의 수경재배 시스템 선택 ② 사육수 환경 관리 ③ 작물 생육 관리 등이다.

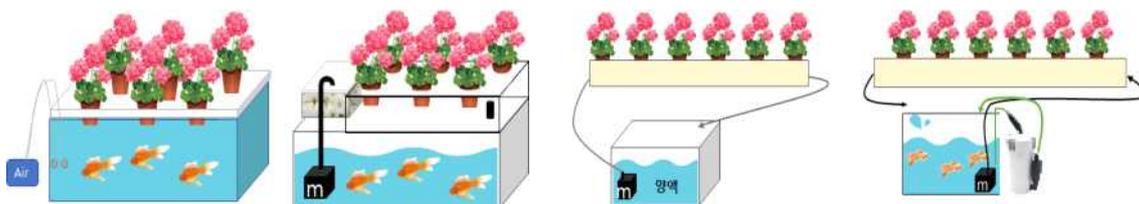
아쿠아포닉스를 위해서는 몇가지 자재가 필요하다.



그림 3-9-2. 실내 재배기 아쿠아포닉스 시스템 설치에 필요한 자재

가. 수경 재배 방식

수경재배 시스템은 담액수경, 박막수경, 분무경 등의 순수수경과 포트 또는 자루 등에 인공 배지(펄라이트, 하이드로볼, 코이어, 암면, 버미큘라이트 등)로 채운 배지경으로 나눌 수 있다. 공간 활용에 따라 벽면형과 다단형으로 나눌 수 있다. 방식에 따라 산소량, 급액관리 방식이 달라지고, 기포발생기, 여과장치, 급액시간 등의 설정이 필요하다.



[담액형]

[박막형]

그림 2-9-3. 실내재배기에 적합한 담액형과 박막형 아쿠아포닉스 시스템

표 2-9-1. 벽면형(수직형)과 다단형 아쿠아포닉스의 특징, 장단점

항목	벽면(수직)형	다단형
특징	<p>메쉬형과 모듈형을 혼합한 형태로 공간활용성이 효율적이며, 상부 인공광 설치시 광 이용 분포가 불균일할 수 있음</p> <p>재배조와 사육조가 분리되어 있음</p> <p>단독 및 조립 방식으로 확장 설치가 가능</p>	<p>원통 또는 재배조를 다단 설치한 형태 인공광원을 각 단 마다 또는 상부 설치 가능해 광 분포를 조절할 수 있음</p> <p>재배조와 사육조가 분리 또는 일체형이 가능함</p> <p>단독 및 모듈형으로 확장 설치가능</p>
장점	<ul style="list-style-type: none"> 공간 활용 효율성이 높음 시각적인 효과가 뛰어남 내구성이 뛰어나 오랜 기간 사용 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> 공간 활용이 효율적임 자동화 기능으로 작업의 효율성을 높임 이동성이 편리함 광 이용효율이 좋음
단점	<ul style="list-style-type: none"> 초기 설치비용이 높음. 제한된 이동성으로 변경이 어려움. 광 분포가 불균일 먼지나 오염물에 노출되어 관리가 필요함. 	<ul style="list-style-type: none"> 규모에 따른 초기 설치 비용이 높음. 자동화로 인한 세밀한 관리가 필요함.

나. 사육조 (여과)

어류의 생활공간으로 사육수를 저장, 순환하기 위한 수조, 여과재, 산소 발생기, 순환용 모터, 측정용 센서(pH, EC 등), 먹이사료 등이 필요하다. 아쿠아포닉스의 사육수는 순환 방식으로 어류의 배설물과 사료 찌꺼기등과 같은 고형물과 유기물이 미생물의 분해 과정을 통해 무기화 과정을 통해 어류 건강과 식물 생육에 적합한 환경으로 만들어준다. 여과 과정에는 어류에게 독성이 되는 NH_3^+ 을 제거하기 위해 질산화 과정이 진행된다. 질산화는 미생물의 의해 분해되기 때문에 미생물이 부착하여야하는 장소가 필요하다. 여과재는 단위 면적당 표면적이 큰 것이 효과적이며, 여과솜, 스폰지, 세라믹링, 하이드로볼 등 다양한 형태를 이용할 수 있다. 물리적 또는 미생물의 부착으로 인한 생물적 여과 뿐 아니라 식물지지 및 수조 환경 변동 등 다양한 기능을 갖춘다. 먹이 사료는 급이량과 함께 조단백질 함량에 따라 배설물에 영향을 준다.

○ 무기배지의 특성

- ① 난석: 다공질형태로 통기성, 배수성, 보수성이 탁월하며, 무게가 가볍다.
- ② 화산석: 다공질 구조가 잘 발달되어 있으며 산소량과 원적외선을 방출하고 중금속을 흡착 분해한다.
- ③ 하이드로볼: 공극이 굉장히 크고, 인산을 흡착하며, 뿌리 썩음을 방지한다.
- ④ 세라믹링: 다기공 구조로 표면적이 커 박테리아 번식에 용이하다.



그림 3-9-4. 여과재의 종류와 적용 사례

다. 작물생육관리

재배 환경으로 광, 온/습도 등의 지상부 환경과 지하부 환경으로는 사육수가 영향 인자이다. 분화류의 경우 잎 뿐 아니라 꽃이 관상가치를 가지므로 특히 일조시간 등도 개화에 중요한 인자 중 하나이다.

나. 분화류의 수경, 아쿠아포닉스 재배 매뉴얼

1) 제라늄

- ① 제라늄은 초장 6~8cm, 엽수 6~7장 식물체를 사용하여 수경재배조에 정식한다.
 - 삽목 육묘를 이용할 경우는 2~3장의 잎이 완전 전개되고, 마디가 3~4마디, 뿌리 길이가 7~15cm가 된 식물체를 사용하며, 화산석이 채워진 네트포트(직경 7cm)에 이식한 후 $EC\ 0.5dS \cdot m^{-1}$ 의 배양액으로 키운다.
- ② 사육조와 재배조가 분리된 수경재배 방식으로 박막수경 방식이 적합하다.
 - 금붕어, 수조, 화산석, 기포발생기 20W 수중모터, 재배필드, 급배액 호스, 에어호스 등이 필요하다. 사육수를 순환하기 위해 자재들을 이용하여 모터와 호스, 산소발생기 등을 연결한다.
 - 수조는 가능한 직사광선을 피할 수 있는 곳에 설치하며, 수조의 3면은 빛을 차광하기 위해 필름으로 부착하는 것이 좋다. 사육수는 24시간 이상 받아 염소를 휘발한 수돗물을 사용한다.
 - 여과재는 화산석을 재배조에 고루 퍼 주며 24시간 순환여과한다.
 - 사료는 어체중에 따라 다르나 0.5% 수준에서 하루 1~2회 공급하고, 사육수의 $EC\ 1.0dS \cdot m^{-1}$ 의 농도를 유지 할 수 있도록 관리하는 것이 좋다.
- ③ 제라늄의 개화에 필요한 일수는 광 $100\ \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 과 온도가 24°C에서 재배하면 24°C 조건에서 약 15~40일 정도 소요되며, 2주 ~3주 정도 유지된다.
 - 제라늄은 개화 이후 관리에 주의가 필요하다. 꽃가루가 먼지처럼 날리고, 꽃잎이 떨어지면 물이 들 수 있기 때문에 주변 정리에 신경을 써야 한다. 또한 하엽이 황화되기 때문에 관상미를 방해하므로 하엽 제거에도 유의해야 한다.



그림 3-9-5. 제라늄이 식재된 박막 수경 방식의 아쿠아포닉 시스템



그림 3-9-6. 황화된 하엽 및 꽃물이 든 자국

2) 칼라코에

- ① 칼라코에는 초장 15~16cm, 11~12 마디의 식물체를 수경재배조에 정식한다.
 - 삼목 육묘를 이용할 경우는 4장의 엽이 완전 전개되고, 마디가 3~4마디, 뿌리길이가 6.5~7.8cm가 된 식물체를 사용하며, 하이드로볼이 채워진 네트포트(직경 7cm)에 이식하여 EC 0.5dS·m⁻¹농도의 배양액으로 육묘한다.
- ② 재배조와 사육조가 분리된 실내재배기를 이용 순환 담액 수경 재배방식으로 아쿠아포닉스 한다.



그림 32-9-7. 칼라코에가 식재된 순환 담액 수경 방식의 아쿠아포닉스 시스템

- 순환 담액 방식의 아쿠아포닉스 시스템은 담액 방식에 수위 조절 파이프를 설치하여 일정량의 사육수를 채우고 배수되게 하는 형태로 약 3cm의 수위가 적당하다.
- 사육조, 재배조, 수중모터, 기포발생기, 세라믹 링, 하이드로볼, 재배판 등이 필요하다.

- ③ 칼랑코에는 단일 조건에서 개화를 하는 식물이다. 온도 20°C, 광 시간이 8~10시간으로 4 주가량 광을 조절해준다. 단일처리가 끝나고 1주일 후면 출화하여 꽃대가 보이기 시작하고, 출화 후 4주 뒤면 개화가 시작된다. 본 연구에서는 개화유지 기간은 30일 이상 유지되었다.

3) 사육조 설치 시 주의 사항

- 70L 수조인 경우 60L 물을 채우면 85kg, 20L 수조에 12L를 채우면 15.5kg의 무게가 증가하므로 수조 이동은 매우 어렵으므로 사전에 수조 위치를 선정해 두어야 한다.
- 또한 수조의 크기와 하중을 생각해 구조물이 튼튼한 것을 선택하는 것이 좋으며, 수조를 지탱할 상판의 두께는 최소 3cm 이상의 제품을 권장한다.
- 수중 모터는 수조의 크기보다 너무 큰 용량을 장착하게 되면 식물의 뿌리뿐만 아니라 물고기들의 생활에도 나쁜 영향을 미친다. 특히 힘이 약한 어린 물고기들의 경우 모터로 빨려 들어가 사망의 원인이 되기도 한다.
- 사육조에 사용되는 수조, 모터, 파이프, 여과재, 여과솜 등은 사용 전 반드시 세척을 해야 한다.
- 바닥재로 사용하는 인공토양의 경우 시판 제품을 구매하고 2~3번 맑은 물에 헹구어 사용하면 된다. 이 제품들은 제품 생산부터 배송까지 부서지는 경우가 많아 고운 부유물이 지속적으로 생기게 되기 때문에 다회 세척을 할 필요가 없다. 세척이 완료된 인공토양은 수조 바닥에 채우고 수조의 물을 채우면 탁해지는데 이는 부유물들이 들떠 생기는 일시적인 현상으로 시간이 경과하면 다시 맑아진다.

4) 어류 관리 주의 사항

- 금붕어의 경우 적정 수온이 15~30°C이지만, 급격하게 온도가 낮아질 경우 백점병이나 염증이 발생할 수 있어 사망의 원인이 된다.
- 어류의 활동성이 떨어지거나 급이 반응이 없는 개체의 경우 질병으로 인한 증상일 수 있으므로 어류의 몸과 아가미를 면밀히 살펴야 한다. 몸체의 궤양으로 움푹 파이는 증상이나 지느러미나 몸에 흰 반점(백점병)이 발생하면 급이를 중지하고 어류용 항생제로 약욕을 실시한다. 약욕을 할 경우에는 깨끗한 물에 적정 용량을 투여하고 기포발생기는 2배 이상의 기포가 발생할 수 있도록 설치해 준다. 1일 1회 30분 내로 약욕을 권장한다.
- 본 실험과정에서는 항생제가 투여된 물에서 3일간 약욕을 진행하고, 질병 개선제에서 10일간 회복한 후 본 어항으로 입어하였다. 약욕 기간에는 금식을 원칙으로 해야 병증이 빨리 완화된다.



그림 3-9-8. 어류의 질병 (A: 궤양성 질병, B: 백점병)과 치료용 항생제(C) 및 질병 개선제(D)

제라늄 속은 약 400종으로 구성되며, 대부분은 아열대 및 온대 기후에 분포하는 일년생 또는 다년생 관목 또는 허브로 일년 내내 꽃을 감상할 수 있다. 실내 외 분화식물로 많이 식재되고 있는 식물이며, 특히 유럽에서는 잎과 줄기에서 특유의 향이 곤충이나 벌레를 쫓아내 창가에 많이 재배되고 있다.

표 3-9-9. 제라늄의 아쿠아포닉스 재배와 환경

재배과정	방법
1. 삽목	<ul style="list-style-type: none"> 삽목상자에 한랭사, 펄라이트(2cm), 상토(5cm) 채우고 배지가 충분히 수분을 흡수할 때까지 관수한다. 생장점 아래 3~4번째 마디 아래에서 그 아래 마디 사이를 어긋나게 잘라준다. 식물체의 생장점 아래 1cm 이상의 엽 1~2장을 남기고 모두 제거한다. 30~60분정도 식물체의 잘린 단면이 건조 될수 있도록 한다. 삽목상자에 4cm 간격으로 식재한다. 습도 유지를 위해 비닐(랩) 또는 투명 상자 커버를 덮어준다. 환경 조건: 온도 20~25°C, 상대 습도 1주일간 90% 이상 유지, 이후 60~70% 유지. 광도는 2~3일간은 반음지 이후, 100 μmol/m/s)를 유지
2. 육묘	<ul style="list-style-type: none"> 삽목 후 30일이 경과 후 뿌리 발육을 확인하고 본엽 3~4장 이상 성장했을 때 이색포트 70호에 화산석을 충전 한 후 이식한다. 환경 조건: 온도 20~25°C, 60~70% 유지. 광도는 100 μmol/m/s)를 유지한다.
3. 사육조	<ul style="list-style-type: none"> 수조 제작 후 물잡이 물고기 한 마리를 넣어 7일 이상 양어 후 나머지 어류를 입어하는 것이 좋다. (물잡이 기간이 길수록 사육수의 환경이 안정된다) 15L 수조에 입어된 금붕어 체장이 6~7cm이상(어체중 18g 이상)의 어류가 1일 어체중의 1% 먹이 활동을 하면 사육수의 EC는 1일 0.05dS·m⁻¹ 증가하게 된다(식물체가 없을 경우). 적절한 EC에 도달하기 위해서는 20일 이상 소요일이 필요하다.
4. 재배 및 개화	<ul style="list-style-type: none"> 재배방식 : 박막 수경 방식 초장이 6.8~7.5cm, 엽수 6~7장의 식물체를 정식 개화소요일수는 15~40일, 개화유지기간 14~20일 환경 조건: <ul style="list-style-type: none"> - 온도 20~25°C, 60~70% 유지. 광도는 100 μmol/m/s - 금붕어 3마리를 입어하고, 사료 급이는 0.5~1.0%, EC 1.0을 유지 - 여과 및 배지: 화산석 <p>비고: 주간 온도 10°C이하에서 생육 저하되고 황화엽이 증가함. 밀식 할 경우 응애와 층채벌레가 발생함.</p>

Pelargonium inquinans, 'zonal'

Seedling & Biological filtration		Transplanting (Temp. 25°C, RH 60~70%)	
Plant			
Growth	period 40~80 day No. node 3~4 RL 7~15cm No. leaf 2~3 ea (1cm more)	DAT 0 PL 6.8~7.5cm No. leaf 6~7 ea	DAT 56 PL 13~14 cm PW 20~22cm No. leaf 20~22 ea
Environment	Light 50PPFD Temp. 25°C RH 100%(0~7day) > 70% (8~day) Air 10L·min ⁻¹ (0~15day) Medium Biochar	System NFT system 	DAT 98 PL 15~16cm PW 21~17cm No. leaf 30~37 ea EC 1.0 ~ 1.6 dS·m ⁻¹ Light source RBW, W Light 100 PPFD Medium Volcanic rock 
Fish tank	Period 7~10day Fish 1 Fed 1.0 %(Crude protein 30%) WV 15L Air 10L·min ⁻¹ Filter Volcanic rock	Fish species Goldfish(<i>Carassius auratus auratus</i>) Fish 3(Total fish weight 81g) Fed 1.0 %(Crude protein 30%)	

**PL: 초장, PW: 초폭, No. leaf: 엽수, No. node: 마디수, RL: 뿌리길이, WV: 사육수량

(2) 칼랑코에

칼랑코에(*Kalanchoe blossfeldiana pollen*)는 돌나물과에 속하는 다년초 또는 저목성의 다육식물로 아프리카 동부와 남분, 동남아시아, 대만, 열대 아메리카까지 넓은 지역에 분포하여 자생한다. 칼랑코에는 꽃과 잎을 감상할 수 있다. 꽃의 형태는 이지집산화서(dichasium)으로 단일 조건하에서 화아분화하고 개화하게 된다(RDA, 2001).

표 3-9-10. 칼랑코에 아쿠아포닉스 환경과 재배

항목	방법
1. 삽목	<ul style="list-style-type: none"> • 삽목상자에 한랭사, 펄라이트(2cm), 상토(5cm) 채우고 배지가 충분히 수분을 흡수할 때까지 관수한다. • 생장점 아래 3~4번째 마디 아래에서 그 아래 마디 사이를 어긋하게 잘라준다. • 식물체의 생장점 아래 마주보는 잎을 남기고 모두 제거한다. • 30분정도 식물체의 잘린 단면이 건조 될수 있도록 한다. • 삽목상자에 3cm 간격으로 식재한다. • 습도 유지를 위해 비닐 또는 투명 상자 커버를 덮어준다. • 환경 조건: 온도 20~25°C, 상대 습도 1주일간 90% 이상 유지, 이후 60~70% 유지. 광도는 100 $\mu\text{mol/m/s}$를 유지한다.
2. 육묘	<ul style="list-style-type: none"> • 삽목 후 30일이 경과 후 뿌리 발육을 확인하고 3~4장 마주잎 이상 성장 했을 때 이색포트 70호에 하이드로볼을 충전 한 후 이식한다. • 환경 조건: 온도 20~25°C, 60~70% 유지. 광도는 100 $\mu\text{mol/m/s}$를 유지한다. • 단일처리 : 3~4주간 10시간 이하로 광을 비추고, 암막 재배한다.
3. 사육조	<ul style="list-style-type: none"> • 수조 제작 후 물잡이 물고기 한 마리를 넣어 7일이상 양어 후 나머지 어류를 입어하는 것이 좋다. (물잡이 기간이 길수록 사육수의 환경이 안정된다) • 15L 수조에 입어 된 금붕어 체장이 6~7cm이상(어체중 18g 이상)의 어류가 1일 어체중의 1% 먹이 활동을 하면 사육수의 EC는 1일 $0.05\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 증가하게 된다(식물체가 없을 경우). 적정한 EC에 도달하기 위해서는 30일 이상 소요일이 필요하다.
4. 재배 및 개화	<ul style="list-style-type: none"> • 재배 방식 : 순환 담액, 박막수경 방식 • 초장 13~15cm, 마디수 11~12개 • 개화소요일수: 단일처리 후 30~40일 • 개화 유지기간 30일 이상 • 환경 조건: <ul style="list-style-type: none"> - 온도 20~25°C, 60~70% 유지. 광도는 100 $\mu\text{mol/m/s}$, 일장 주/야(hr) 12/12를 유지 - 사육수 EC 1.5로 유지하고, 사료급이는 0.5% - 여과 및 배지 : 하이드로볼, 난석, 화산석 등
비고: 주간 온도 30°C이상에서 초장, 엽 생육이 급격히 감소함	

Kalanchoe Blossfeldiana

	Biological filtration (Temp. 20°C)	Transplanting (Temp. 25°C, RH 60~70%)
Plant		  
Growth	period 1.5~3month No. node 3~4 RL 6.5~7.8cm No. leaf 4 ea (1cm more)	DAT 0 PL 15~16cm PW 16~17cm No. node 11~12 node DAT 28 PL 19~21 cm PW 18~20cm No. node 13~15 node DAT 56 PL 21~23 cm PW 19~24 cm No. node 15~16 node
Environment	Light 100PPFD Temp. 25°C RH 90%(0~7day) > 70% (8~day) Air 10L·min ⁻¹ (0~15day) Medium Biochar	System Modify DW EC 1.5 dS·m ⁻¹ Light 100 PPF Medium Hydroball 
Fish tank	WV 15L Air 10L·min ⁻¹ Filter Hydroball, Ceramic ring Period 7~10day Fish 1 Fed 1.0 %(Crude protein 30%)	 Fish species Goldfish(<i>Carassius auratus auratus</i>) Fish 3 Fed 0.5 %(Crude protein 30%) Light time Short-day treatment: 16/8h(4week) Other time : 12/12h

**PL: 초장, PW: 초꼭, No. leaf: 엽수, No. node: 마디수, RL: 뿌리길이, WV: 사육수량

[별첨] 연구 방법

○ **실험 장소:** 강원대학교의 온습도 및 광 환경이 조절되는 실내 재배실

○ **배양액**

표 3-10-1. 네덜란드 분화류 배양액 조성표

다량원소 (g/L)							미량원소(ppm)					
NO ₃ -N	NH ₄ ⁻ _N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ ⁻ _S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo
0.15	0.02	0.05	0.22	0.12	0.02	0.03	1.12	0.03	0.55	0.20	0.22	0.05

○ **기초 생육 및 개화**

농촌진흥청 농업과학기술 연구조사분석기준(2012)을 준하여 표 2-10-2와 같이 조사하였다. 생육 지표를 활용해 성장속도를 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$GR=(G_2-G_1)/(t_2-t_1) \quad \text{식(1)}$$

*G₁: 정식일(t₁)생육, G₂:측정일(t₂) 생육

표 3-10-2. 분화류 생육 특성 조사 기준 및 측정 기기명

항목	기준	측정기기
초장	지제부부터 최상단까지의 길이	
초폭	식물체의 가장 넓은 부위의 지름 (직선거리)	
엽장	생장점 아래 3번째 잎의 길이	
엽폭	생장점 아래 3번째 잎의 가장 넓은 폭	
엽면적	1cm이상 완전 전개된 엽	Li-3100c, Li-cor, USA
엽색	생장점 아래 3번째 잎의 색(Hunter L*, a*, b*)	TES135A, TES, Japan
마디수	주경의 지제부부터 생장점까지의 마디수	
분지수	하나의 줄기에 형성된 가지의 수	
줄기굵기	지제부로부터 1cm 위 지점	CD-AX/C, Mitutoyo, Japan
SPAD	생장점 아래 3번째 잎의 3지점의 평균값	SPAD-502, KonicaMinolta, Japan
생체중	지상부와 지하부를 분리하여 측정	PAG4102C, OHAUS, USA
건물중	항온건조기에서 80°C에서 36시간 건조 후 건조 중량 측정	CUW42HX, CAS corpartion, Korea

표 3-10-3. 분화류의 개화 특성 조사 기준

항목	기준
첫 개화소요일수	첫 봉우리의 꽃이 전개된 날까지의 일수
개화시	첫 봉우리의 꽃이 완전 전개된 날
개화기	전체 꽃 봉우리의 40%가 완전 전개된 날
만개	전체 꽃 봉우리의 80%가 완전 전개된 날
화경제거	전체 개화 꽃의 50~80%이상 진 날
개화유지기간	개화시 부터 화경제거일 까지 일수



그림 3-10-1. 제라늄의 개화 기준



그림 3-10-2. 베고니아의 개화 기준

표 3-10-4. 칼라코에의 개화 특성 조사 기준

항목	기준	측정 방법
개화일	꽃잎이 개화한 날	
미개화수	꽃 봉오리 형태로 개화 전 상태	
개화수	꽃 봉오리가 개화된 꽃 수	
만개수	100% 완전 개화된 꽃 수	
화서수	꽃 줄기의 수	
화서장	꽃 줄기의 길이	
화서 당 소화수	꽃 화서 당 만개 된 꽃수	
화폭	꽃의 폭	

○ 지하부 생육

WinRhizo 프로그램(2009 Version, Regent Instrument Inc., Quebec, Canada)을 이용하여 뿌리길이(root length), 뿌리 투영 단면적(projected root area), 뿌리 표면적(total root surface area), 전체 뿌리 부피(total root volume), 평균 뿌리 직경(average root diameter), 뿌리 수(root tips)을 측정하였다.

○ 생리반응

표 3-10-5. 엽록소 형광 및 광 화학 반사율 측정 방법

항목	측정 방법	측정기기
엽록소형광	측정 앞에 Leaf clip을 물려 15분 이상 암 처리 후 5초간 청색LED(470nm)를 조사하여 측정	FP110/D, Photon System Instruments, Czech Republic
광화학반사율	측정 앞에 기기의 상단 클립을 물려 백열 램프 광원(640~1050nm)을 조사하여 측정	RP410, Photon System Instruments, Czech Republic

표 3-10-6. 엽록소 형광 변수와 광 화학 반사율 변수 설명 및 계산식

항목	변수 설명	계산식
Technical fluorescence parameters		
F_v/F_m	PSII의 최대 양자수율	$F_v/F_m = (F_m - F_o) / F_m$
Performance index		
PI_{ABS}	PSII의 성능 지수	$PI_{ABS} = (RC/ABS) \times [\Phi P_o / (1 - \Phi P_o)] \times [\Psi_o / (1 - \Psi_o)]$
Specific energy fluxes per RC		
ABS/RC	반응 중심당 흡수율	$ABS/RC = (M_o/V_j) \times (1/\Phi P_o)$
TR_o/RC	반응 중심당 포화 에너지율	$TR_o/RC = M_o/V_j$
ET_o/RC	반응 중심당 Q_A 에서 Q_B 까지의 전자 전달율	$ET_o/RC = (M_o/V_j) \times \Psi_o$
DI_o/RC	반응 중심당 에너지 손실율	$DI_o/RC = (ABS/RC) - (TR_o/RC)$
Photochemical Reflectance		
NDVI	정규 식생지수 (Normalized Difference Vegetation)	$NDVI = (P_{750} - P_{670}) / (P_{750} + P_{670})$
PRI	광 화학적 반사 지수 (Photochemical Reflectance Index)	$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$
CRI	카로틴노이드 반사 지수 (Carotenoid Reflectance Index)	$CRI = (1/P_{510}) - (1 - P_{550})$
ARI	안토시아닌 반사 지수 (Anthocyanin Reflectance Index)	$ARI = (1/P_{550}) - (1/P_{700})$

○ 사육수 특성

사육수의 pH와 EC 측정은 주 6회 오전 10시 전후로 다항목 수질 측정기(HI9813-6, HANNA ins., 이탈리아)를 사용하여 측정하였고, pH보정은 1N KOH를 이용하였다. 휴대용 용존 산소 측정기로(HI 9147, HANNA Ins. USA)을 사육수 내의 용존산소량을 측정하였다. 무기성분은 휴대

용 무기 이온 분석기(Multi-ion nutrient analyzer kit, Cleangrow, UK)를 이용하여 NH_4^+ , NO_3^- , HPO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 를 측정하였다. 물 보충을 위해 24시간이상 받아 둔 수돗물을 이용하여 주1회 충전하였다.

○ 어류 특성

어류의 급이는 어체중의 0.5%로 1일 1회 사육수의 pH와 EC 측정 후 급이 하였다. 어류의 특성을 조사하기 위해 어체중을 전자저울(PAG4102C, OHAUS, USA)로 측정한 후 증체율(WG), 사료전환효율(FCR), 단백질이용효율(PER)을 식(2)~(4)과 같이 계산하였다.

- 증체율 (%) = (실험 종료 후 어체중량-초기 어체중량)/초기 어체중량×100 식(2)
- 사료효율(%) = (실험 종료 후 어체중량-초기 어체중량)/사료섭취량(g)×100 식(3)
- 단백질 이용 효율(%) = (실험 종료 후 어체중량-초기 어체중량)/ 조단백질
섭취량(g)×100 식(4)

표 3-10-7. 사료 조성 구성표(그로비타, 대한사료(주), 한국)

함량	조단백	조지방	조섬유	조회분	인	칼슘
%	36.0	4.0	5.0	13.0	1.80	0.40

○ 여과 및 배지

표 3-10-8. 여과 및 배지 제품 사이즈 및 제조사명

여과 및 배지명	사이즈	제조사명
스펀지	43×30×3cm	여과 스펀지 필터, 아마존, China
세라믹링	-	Clarocar, PRODAC INT S,R,L., Italy; Carbon
활성탄	200g	Siporax, SERA CO., Ltd. USA; Bio
난석	대립, 중립	휴가토, 휴가토(주), Japan
하이드로볼	중립	더좋은 황토볼, 화분월드, Korea
화산석	소, 중립	화산석, 반도상사, Korea
펄라이트	중립	뉴펄샤인, (주)지에프씨, Korea
여과솜	20×15cm	XY-1821, Xinyou. china

(2) 정량적 연구개발성과(해당 시 작성하며, 연구개발과제의 특성에 따라 수정이 가능합니다)

유니플랜텍	특허 2건/기술실시 1건/제품화 3건/매출 3.32억/고용2인/박람회4건/학술발표1건/유망기술발표 1건/인력양성 1건
충북농업기술원	논문게재 1건/학술발표(국내)3건/홍보 1건/교육지도 1건/ 크린식물 재배매뉴얼제작 1건
강원대학교	논문게재 5건/학술발표 9건/교육지도 5건 인력양성 4명/아쿠아포닉스 환경관리 프로그램 1건/ 아쿠아포닉스 실내재배기 생육 매뉴얼 1건

(3) 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Influence of Substrate Composition and Container Size on the Growth of Tissue Culture Propagated Apple Rootstock Plants	Agromy	Jae Kyung Kim, Md. Rayhan Ahmed Shawon	11	스위스	MDPI	SCIE	21.11.30	11122450	90
2	Effect of white LED light on the growth of apple seedlings in controlled environment system	Horticulture	Ki Young Choi, Md. Rayhan Ahmed Shawon	8	스위스	MDPI	SCIE	22.08.01	2311-7524	100
3	Effect of Inorganic Substrates on the Water Quality and Growth of Kalanchoe blossfeldiana in an Aquaponic System	원예과학기술지	Kyeong Ho Kim, Md Rayhan Ahmed Shawon	41(2)	대한민국	(사)한국원예학회	SCIE	23.03.15	1226-8763	90
4	The Electrical Conductivity of Nutrient Solution Influenced the Growth, Centellosides Content and Gene Expression of Centella asiatica in a Hydroponic System	agriculture	Md Rayhan Ahmed Shawon	13	스위스	MDPI	SCIE	23.12.04	2077-0472	100
5	Effect of Nutrition Supplement on Water Quality and Growth of Geranium in Aquaponic System	원예과학기술지	Ki young Choi, Kyeong Ho Kim	42(3)	대한민국	(사)한국원예학회	SCIE	24.6.30 게재예정	1226-8763	90
6	인공광원, EC농도 및 재배용토가 스킨답서스 생육에 미치는 영향	화훼연구지	오훈근	31	대한민국	한국화훼학회	SCIE	2023.12.31	1225-5009	100

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2023 한국원예학회 추계학술발표회	윤여중.송진주.윤희중	2023.10.19	군산새만금컨벤션센터	대한민국
2	2022 한국원예학회 춘계학술발표회	이재웅, 오훈근	2023. 5. 26.	대전컨벤션센터	대한민국
3	2022 한국원예학회 추계학술발표회	이재웅, 오훈근	2022. 11. 3	제주국제컨벤션센터	대한민국
4	2023 한국원예학회 추계학술발표회	오훈근, 이민정, 이재웅, 이희두	2023. 10. 19	군산새만금컨벤션센터	대한민국
5	2021년 (사)한국생물환경조절학회 추계학술발표회	이화정, 이현진, 안진희, 김경호, 윤여중, 최기영	21.10.07	e-conference	대한민국
6	2021년 (사)한국생물환경조절학회 추계학술발표회	이화정, 이현진, 안진희, 김경호, 윤여중, 최기영	21.10.07	e-conference	대한민국
7	2022년(사)한국생물환경조절학회 춘계학술대회	이현진, 안진희, 진주리, 김경호, 윤여중, 최기영	22.05.12	국립원에특작과학원	대한민국
8	2022년(사)한국생물환경조절학회 춘계학술대회	이현진, 안진희, 진주리, 김경호, 윤여중, 최기영	22.05.12	국립원에특작과학원	대한민국
9	2022년(사)한국생물환경조절학회 추계학술대회	이현진, 안진희, 김경호, 윤여중, 최기영	22.10.27	대전 KT 인재개발원	대한민국
10	2022 한국원예학회 임시총회 및 제 116차 추계학술발표회	이현진, 김경호, 안진희, 김민경, 사원, 윤여중, 최기영	22.11.04	제주국제컨벤션센터	대한민국
11	2022 한국원예학회 임시총회 및 제 116차 추계학술발표회	이현진, 김경호, 안진희, 김민경, 사원, 윤여중, 최은영, 최기영	22.11.04	제주국제컨벤션센터	대한민국
12	(사)한국생물환경조절학회 임시총회 및 추계학술발표회	이현진, 신호섭, 윤여중, 최기영	23.09.22	서울대학교 시흥캠퍼스 연수동&컨벤션센터	대한민국
13	(사)한국생물환경조절학회 임시총회 및 추계학술발표회	이현진, 신호섭, 윤여중, 최기영	23.09.22	서울대학교 시흥캠퍼스 연수동&컨벤션센터	대한민국

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
	아포닉 가든	한국	유니플랜텍	2022. 04.20	10-2022-049245				100	0	
	아포닉 가든 및 아포닉 가든에 사용되는 여과재 조성물	한국	유니플랜텍	2023. 08.22	10-2023-0110160				100	0	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
	√	√	√							

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
	아쿠아포닉스의 환경 관리 프로그램	2023.10.13	강원대학교 산학협력단	2023.12.14	C-2023-059989	강원대학교 산학협력단	100

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

국내표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

국제표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	자가실시	플랜테리어용 종묘 및 아쿠아포닉스 시스템	유니플랜텍	2022.10		

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자가실시	기존제품개선	국내	플랜테리어 크린묘	만병초외	하신농원 외	110,783		2022	
2	자가실시	기존제품개선	국내	"	쿨뷰티외	한국화훼 외	101,968		2023	
3	자가실시	기존제품개선	국내	조직배양 크린묘	무균크린묘	충북대학교외	119,900		22-23	
							332,651			

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
플랜테리어용 종묘 및 아쿠아포닉스 시스템	2022-2023	332,651		332,651	
합계		332,651		332,651	

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
국외					
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2021년	yyyy년	
1	플랜테리어용 종묘 및 아쿠아포닉스 시스템	자가실시	2		
합계					

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원
1	수경재배의 기초 및 응용	2021.07.15	충남대학교	충남대학교	50
2	수경재배 기술을 이용한 아쿠아포닉스 이해 - 장치와 시설, 환경관리 기술	2022.08.05	고교 교사	전북 농식품인력개발원	10
3	스마트 수경재배 기술 중 아쿠아포닉스 정의, 특징, 구성과 장치, 환경관리 기술과, 수경재배 양수분관리 기초	2022.10.18	청년창업지원자	전북 농식품인력개발원	15
4	스마트팜 이해와 양액조제	2023.08.22	대학생	강원대학교 스마트팜교육장	10
5	스마트수경재배 양수분관리	2023.10.31	청년창업농	전북농식품강원대학교 스마트팜교육장인력개발원	40
6	장미,국화의 양액재배 기술	2021.12.09	전북대 지능형로봇연구소	전북대학교	20

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
1	졸업	2021	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
				1	2		2	1				1	2
2	졸업	2023	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
			1	1			1	1					2

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	박람회	2021 국제종자박람회	무균 크린묘 및 아쿠아포닉스 시스템	2021.10.19.-11.05
2	박람회	2022년 고양 국제 꽃박람회	“	2022.04.22.-05.08
3	박람회	2022년 국제 종자박람회	“	2022.10.13.-10.15
4	박람회	2023년 고양 국제 꽃박람회	신품종 전시	2023.04.26.-05.08
5	박람회	2023년 국제종자박람회	무균 크린묘 및 아쿠아포닉스 시스템	2023.10.05.-10.07
6	언론보도	충청일보, 충청타임즈, 동양일보,	충북농기원-청주상당신품 반려식물 갖기 캠페인 성료	2022.3.25

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	2023년 고양 국제 꽃박람회	화훼신품종 콘테스트	우수품종상	유니아마빌레	2023.05.08	국립종자원
2	2023년 국제 종자박람회	아쿠아포닉스 가든시스템	우수상	아포닉가든	2023.10.06	한국농업기술원장

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기초법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

- 유니플랜텍 : 2023년 농산물 우수·유망기술발표회 참석
- 충북농업기술원
 - 교육 및 컨설팅 : 1건(국내 화훼류 수경재배(양액재배) 기술 소개/2021. 12. 9/전북대학교 지능형 로봇연구소 대학원생)
 - 농가컨설팅 : 4건(난 재배농가 현장 컨설팅 등 4건)
 - 재배매뉴얼 : 1건

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○특허 출원 1건	○특허출원 2건	부가달성
○기술이전 1건	○기술이전 1건	100
○제품화 3건	○제품화 3건	100
○매출액 3억	○매출액 332,651천원	부가달성
○고용창출 2인	○고용창출 2인	100
○논문 SCI 1건	○논문 SCI 1건	100
○논문 비SCI 3건	○논문 비SCI 4건	100
○학술발표 7건	○학술발표 13건	부가달성
○교육지도 6건	○교육지도 6건	100
○인력양성 3건	○인력양성 5건	부가달성
○홍보전시 2건	○홍보전시 6건	부가달성
○기타 1건 9	○기타 4건(재배매뉴얼/수상2건/프로그램1건)	부가달성

참고문헌

- 김광진, 정현환, 김지현, 김현주, 2014, 실내 공기 정화 식물, 농진청 국립원예특작과학원 도시와 숲 <http://www.forestcity.co.kr/>
- 정희영, 이현수 (2016) 벽면녹화의 패턴 표현방법에 따른 반복 패턴 디자인 특성 분석. J. KIID 25 (1) 114
- (주)한국도시녹화 <http://www.biotope.co.kr>
- 환경부 블로그, 2021, <https://blog.naver.com/mesns/221469538891>
- 하늘나무 블로그
<https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=icbm&logNo=220990362284>
- Boardman NK (1977) Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiology* 28:355–377.
- Chazdon RL Kaufmann S (1993) Plasticity of leaf anatomy of two rain forest shrubs in relation to photosynthetic light acclimation. *Functional Ecology* 7:385–394 doi:10.2307/2390025
- Choi KO (2007) The growth responses and photosynthetic activity of autogenous evergreen fern under light intensity. *J. People Plants Environ.* 10:1–8.
- Francis, C., G. Lieblein, S. Gliessman, T.A. Breland, N. Creamer, R. Harwood, L. Salomonsson, J. Helenius, D. Rickerl, R. Salvador, M. Wiedenhoef, S. Simmons, P. Allen, M. Altieri, C. Flora, and R. Poincelot. 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *J. Sustain. Agric.* 22:99–118.
- Govindjee (1995) Sixty-three years since Kautsky: chlorophyll a fluorescence. *J. Plant Physiol.* 22:131–160.
- Kyparissis A, P Drilias, Y Manetas (2000) Seasonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Aust J Plant Physiol* 27:265–272. doi:10.1071/PP99037
- Lehman, H., E.A. Clark, and S.F. Weise, 1993. Clarifying the definition of sustainable agriculture. *J. Agric, Environ Ethics.* 6:127–143.
- Marcromill EMBRAIN 2017 Survey on Perception of Companion Plants. Marcromill Group company, Research Reports, 7:1–28
- Nyongesah MJ, W Quan, X Lu (2016) Remote sensing of assimilating branch light use efficiency using the photochemical reflectance index in *Haloxylon ammodendron* forest. *J. Appl. Remote. Sens.*, 10:026017
- State of Victoria through the Department of Environment and Primary Industries, 2014, growing green guide: A guide to GREEN roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia 1, National Library of Australia Cataloguing-in-Publication data pp.76
- Thach LB, A Shapcott, S Schmidt, C Critchley (2007) The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress response. *Photosynth Res* 94:423–436. doi:10.1007/s11120-007-9207-8
- VERTISS <https://www.vertiss.net>

- An DC, Park SH, Been CG, Jeong BR (2007) Effect of nutrient solution strength on growth of *Phalaenopsis* in an ebb and flow system. *J Bio-Env Con* 16:199–204
- Briggs WR (1993) New light on stem growth. *Nature* 366:110–111
- Choi KY, Yang EY, Park DK, Kim YC, Seo TC, Yun HK, Seo HD (2005) Development of nutrient solution for hydroponics of cruciferae leaf vegetables based on nutrient–water absorption rate and the cation ratio. *J Bio-Env Con* 14:289–297
- Choi GY, Cho MW, Cheong JW, Roh MY, Rhee HC (2010) Effect of drainpipe height and media composition on growth and yield of soilless cultivated cut rose in container culture. *J Bio-Env Con* 19:240–245
- Choi YW, Ahn CK, Kang JS, Son BG, Choi IS (2003) Growth, photomorphogenesis, and photosynthesis of *Perilla* grown under red, blue light emitting diodes and light intensities. *J Kor Soc Hort Sci* 44:281–286
- Fatemeh B, Hossein Z (2014) Comparison of different pot mixtures containing perlite on growth and morphological characteristics of *Pothos* (*Scindapsus aureum* L.). *Journal of Ornamental Plants* 4:217–226
- Im JU, Yoon YC, Soe KW, Kim KH, Moon AK, Kim HT (2013) Effect of LED light wavelength on *Chrysanthemum* growth. *Prot Hortic Plant Fact* 22:49–54
- Kim EY, Park SA, Park BJ, Lee Y, Oh MM (2014) Growth and antioxidant phenolic compounds in cherry tomato seedlings grown under monochromatic light-emitting diodes. *Hortic Environ Biotechnol* 55:506–513
- Kim GR, Woo HN, Kim HJ, Park MS, Song JA, Song TY, Jang HJ, Chung DY (2011) Water holding capacity and hydraulic conductivity according to compaction and saturation degree for perlite amended with ground coir. *Kor J Soil Sci Fert* 44:998–1003
- Kim HH, Goins GD, Wheeler RM, Sager JC (2004) Green–light supplementation for enhanced lettuce growth under red – and blue–light–emitting diodes. *HortScience* 39:1617–1622
- Kim HM, Kim HM, Jeong HW, Lee HR, Jeong BR, Kang NJ, Hwang SJ (2018) Growth of mother plants and occurrence of daughter plants of ‘Maehyang’ strawberry as affected by different EC levels of nutrient solution during nursery period. *Protected Hortic Plant Fac* 27:185–190
- Lee JS, Lee HI, Kim YH (2012) Seedling quality and early yield after transplanting of paprika nursed under light-emitting diodes, fluorescent lamps and natural light. *J Bio-Env Con* 21:220–227
- Lee JW, Oh HG, Kim JH, Lee KY, Lee JS (2015) Studies on simple hydroponic culture in cultivation of grafted cactus for export. *Korean J Plant Res* 28:546–549
- Lee SG, Choi CS, Lee JG, Jang YA, Nam CW, Yeo KH, Lee HJ, Um YC (2012) Effects of different EC in nutrient solution on growth and quality of red mustard and pak–choi in plant factory. *J Bio-Env Con* 21:322–326
- Lin KH, Huang MY, Huang WD, Hsu MH, Yang ZW, Yang CM (2013) The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*). *Sci Hortic* 150:86–91

- Manivannan A, Soundararajan P, Halimah N, Chung HK, Jeong BR (2015) Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Hortic Environ Biotechnol* 56:105–113
- Manivannan A, Soundararajan P, Park YG, Wei H, Kim SH, Jeong BR (2017) Blue and red light-emitting diodes improve the growth and physiology of in vitro-grown carnations 'Green Beauty' and 'Purple Beauty'. *Hortic Environ Biotechnol* 58:12–20
- Massa GD, Kim HH, Wheeler RM, Mitchell CA (2008) Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43:1951–1956
- Nozue H, Shimada A, Taniguchi Y, Nozue M (2010) Improving the productivity of plants using an LED light equipped with a control module. *Sci High Technol Agric* 22:81–87
- Oyabu T, Takenaka K, Wolverton B, Onodera T, Nanto H (2003) Purification characteristics of golden pothos for atmospheric gasoline. *Int J Phytoremed* 5:267–276
- Park JH, Kwon AR, Ko JA (2015) Effect of plant growth regulators and LED Light quality on mass propagation and growth from stem node culture of *Epipremnum aureum*. *J Agric Life Sci* 46:7–14
- Poudel PR, Kataoka I, Mochioka R (2008) Effect of red- and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 92:147–153
- Shin KS, Murthy HN, Heo JW, Hahn EJ, Paek KY (2008) The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiol Plant* 30:339–343
- Yorio NC, Goins GD, Kagie HR, Wheeler RM, Sager JC (2001) Improving spinach, radish, and lettuce growth under red light-emitting diodes(LEDs) with blue light supplementation. *HortScience* 36:380–383

주 의

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