

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ010205)

식물의 환경개선 효율 극대화를 위한 근권부 조건 구명

Study of environment purification system using plant and rhizobacteria

국립원예특작과학원

연구수행기간

2014. 02. 01 ~ 2016. 12. 31

농촌진흥청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 식물의 환경개선 효율 극대화를 위한 균권부 조건 구명에 관한 연구(개발 기간 : 2014. 02. 01 ~ 2016. 12. 31) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명

제1협동연구과제 : 휘발성유기화합물(VOC) 정화에 관련 원예식물의 균권부 미생물 탐색

제2협동연구과제 : 식물과 균권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발

제3협동연구과제 : 실내식물의 균권부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발

2017. 02. 28

제1세부연구기관명 : 국립원예특작과학원

제1세부연구책임자 : 김 광 진

참여연구원 : 김광진, 유은하, 정현환, 장혜숙, 김현주

제1협동연구기관명 : 전국대학교

제1협동연구책임자 : 김 형 주

참여연구원 : 김형주, 최용근, 송학진, 장민주, 이상현, 심석영

제2협동연구기관명 : (주)가든포유

제2협동연구책임자 : 방 성 원

참여연구원 : 방성원, 김정예, 라은경

제3협동연구기관명 : 연세대학교

제3협동연구책임자 : 임 영 육

참여연구원 : 임영육, 이용원, 이건우, 이시은, 유지현, 김호현

주관연구책임자 : 김 광 진



주관연구기관장 : 국립원예특작과학원

직인



농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서
 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제번호	PJ010205		연구기간	2014.02.01. ~ 2016. 12. 31					
연구사업명	단위사업명	공동연구사업							
	세부사업명	농업정책지원기술개발							
	내역사업명	도시농업 및 치유농업 기술개발							
연구과제명	주관과제명	식물의 환경개선 효율 극대화를 위한 균권부 조건 구명							
	세부(협동)	(1세부) 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명 (1협동) 휘발성유기화합물(VOC) 정화에 관련 원예식물의 균권부 미생물 탐색							
	과제명	(2협동) 식물과 균권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발 (3협동) 실내식물의 균권부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발							
연구책임자	구분	연구기관	소속	성명					
	1세부	국립원예특작과학원	도시농업과	김광진					
	1협동	건국대학교		김형주					
	2협동	(주)가든포유		방성원					
	3협동	연세대학교		임영욱					
총 연구기간	총: 20 명	총 연구개발비	정부:	600,000 천원					
참여	내부: 2명		민간:	60,000 천원					
연구원 수	외부: 18명		계:	660,000 천원					
위탁연구기관명 및 연구책임자	-	참여기업명	(주) 가든포유						
국제공동연구	상대국명:	상대국 연구기관명:							
1. 연구의 목적 및 내용 - 식물의 환경개선 효율 극대화를 위한 균권부 조건 구명	보고서 면수 204페이지								
2. 연구개발성과 - 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명, 휘발성유기화합물(VOC)정화에 관련 원예식물의 균권부 미생물 탐색, 식물과 균권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발, 실내식물의 균권부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발									
3. 연구개발성과의 활용계획(기대효과) - 실내 VOCs의 효과적으로 제거가 가능한 식물-미생물 biofilter system제작, 기존 방법을 대체한 친환경적, 경제적인 실내 공기질 개선 시스템의 제작이 가능함, 실내식물을 이용한 공기질 개선 시스템으로 관련 화훼 및 원예 농가의 소득증대의 창구 역할 및 활성화 촉진에 활용, 공간 활용 및 통합적 실용성을 갖춘 환경 정화 효과 극대화 시스템을 친환경적 제품으로 개발하여 사무실, 학교, 공공장소에 적용 가능한 제품으로 출시하고, 매뉴얼 제작으로 시공 및 관리 체계화, 향후 환경 정화 효과 극대화 시스템 개발의 적용을 통한 건강증진 및 질병경감의 긍정적 효과로 인한 병원, 관공서, 학교, 연구소, 노인 및 어린이 대상 시설, 일반 사무공간 등 친환경적 개선 제품으로의 활용, 실내환경과 관련된 건강증상의 원인 물질의 효과적 제거에 따른 건강증진 및 생활환경복지 및 삶의 질 향상									

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	식물의 환경개선 효율 극대화를 위한 근권부 조건 구명				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명 ○ 휘발성유기화합물(VOC) 정화에 관련 원예식물의 근권부 미생물 탐색 ○ 식물과 근권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발 ○ 실내식물의 근권부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실내 VOCs의 효과적으로 제거가 가능한 식물-미생물 biofilter system 제작 ○ 기존 방법을 대체한 친환경적, 경제적인 실내 공기질 개선 시스템의 제작이 가능함 ○ 실내식물을 이용한 공기질 개선 시스템으로 관련 화훼 및 원예 농가의 소득 증대의 창구 역할 및 활성화 촉진에 활용 ○ 공간활용 및 통합적 실용성을 갖춘 환경 정화 효과 극대화 시스템을 친환경적 제품으로 개발하여 사무실, 학교, 공공장소에 적용가능한 제품으로 출시하고, 매뉴얼 제작으로 시공 및 관리 체계화 ○ 향후 환경 정화 효과 극대화 시스템 개발의 적용을 통한 건강증진 및 질병 경감의 긍정적 효과로 인한 병원, 관공서, 학교, 연구소, 노인 및 어린이 대상 시설, 일반 사무공간 등 친환경적 개선 제품으로의 활용 ○ 실내환경과 관련된 건강증상의 원인 물질의 효과적 제거에 따른 건강증진 및 생활환경복지 및 삶의 질 향상 				
중심어 (5개 이내)	실내식물	공기정화	건강증진	바이오월	근권부 미생물

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Factors of rhizosphere for maximizing the efficiency of phytoremediation with indoor plants 				
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of underground conditions for improving environmental purification efficiency of plants ○ Detection of Root Microorganisms in Horticultural Plants for the Purification of Volatile Organic Compounds (VOC) ○ Development of system for maximizing environmental cleanup effect using plant and rhizospheric microorganisms ○ Development of health promotion method utilizing rhizosphere purification effect of indoor plants 				
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Microorganisms communities in indoor plant rhizosphere were analyzed and VOCs removing bacterial strains were isolated and identified ○ VOCs removing activity of the isolated bacteria was examined ○ Immobilization of the isolated bacteria was investigated for the VOCs removal using a plant based bioreactor ○ VOCs removal activity of the plant with the bacteria immobilized bioreactor was verified ○ The stability of the immobilized VOCs removing bacteria in the rhizosphere was monitored ○ The maximization system for green environment with space utilization and integrated practicality can be developed as an eco-friendly product and released as a product applicable to offices, schools, and public places. And its manual can be used for the systematic building and management of the system. ○ To maximize the effect of environmental purification in future Improvement of health through application of system development and utilization of eco-friendly improvement products such as hospitals, government offices, schools, institutes, facilities for elderly and children. ○ Improvement of health by improvement of effective removal of causative substances related to indoor environment and improvement of living environment welfare and quality of life. 				
Keywords	Indoor plants	Air Purification	Health promotion	Bio wall	Rhizo-bacteria

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의개요	7
제 2 장 국내외 기술개발 현황	11
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	12
제 4 장 목표달성을 및 관련분야에의 기여도	191
제 5 장 연구결과의 활용계획 등	196
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	196
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	196
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비현황 ...	197
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ...	197
제 10장 연구개발과제의 대표적 연구실적	198
제 11장 기타사항	200
제 12장 참고문헌	201

제 1 장 연구 개발 과제의 개요

제1절 연구 개발 목적

실내공기 정화용 biofilter system에 적용 가능한 근권 미생물의 분리 및 동정하고 근권부의 통기 및 배지에 미생물 접종에 의한 VOCs 제거 효율 향상과 VOCs 제거가 가능한 식물에서의 근권 미생물의 분리 및 동정, VOCs 제거를 위한 식물-미생물 biofilter system의 최적화, 실제 실내에 적용 가능한 VOCs 제거에 특화된 식물-미생물 biofilter system의 개발 및 안정적인 운용이다. 실내공기오염물질 중 인체에 유해한 VOCs를 제거하기 위하여 식물과 식물 근권부 미생물을 동시에 활용하고자 한다. 구체적인 연구는 휘발성 유기화합물의 제거능이 탁월한 식물 근권부에서의 관련 미생물 탐색, 분리, 농화 배양을 통하여 실내에 적용 가능한 바이오 필터의 개발을 위한 주요 기본기술을 확보하고자 한다. 이를 과정을 통하여, 휘발성 유기화합물의 제거에 탁월한 식물과 VOCs 제거에 유용한 근권부 미생물의 장기적 배양 운용이 가능한 최적의 VOCs 제거 시스템을 개발 할 수 있도록 한다.

현재 환경의 문제가 부각 되면서 녹지공간이 부족한 도시에서 공간에 대한 제약에서 벗어날 수 있는 수직벽면을 활용한 녹화방법이 주목받게 되었으며, 벽면을 활용하여 공간의 효율을 증대시키고 있다. 또한 친환경 건축요소를 도입한 실내공간 계획이 주목 받으면서, 건물의 내부에 녹지를 계획하는 사례가 늘어나고, 실내식물 근권부 미생물의 실내환경 개선효과 입증으로 식물이나 미생물 등 친환경적인 소재를 이용한 실내공기 오염 제거 필요성이 대두되고 있다. 식물을 이용한 오염물질을 제거하는 방법은 phytoremediation의 일환으로 식물자체에서 오염물질을 흡수하고, 토양에서도 오염 물질을 흡착시키며, 토양에 서식하고 있는 미생물에 의해서도 오염물이 분해되는 것이다. 그러므로 식물 이용한 실내환경 개선 방법은 미세먼지, 휘발성 유기화합물과 같은 실내 오염을 제거하는 능력은 공기 청정 시스템의 단점을 극복할 수 있고, 일반적으로 사용하고 있는 공기청정 시스템에 대한 대안이 될 것이다. 벽면녹화 시스템에 적합한 특수매트를 개발하여 식물생육과 유지관리에 도움과, 식물의 근권부 활용 능력 향상으로 인한 실내 환경개선에 효과를 줄 것이다. 실내식물 근권부 정화효과를 활용한 환경개선 및 임상평가 등 건강증진 방법 개발을 위한 현장 적용 평가이다.

제2절 연구 개발의 필요성

(1) 실내공간 환경개선을 위한 식물 활용 친환경적 신기술 개발 필요성 증대

실내에서 머무르는 시간이 많아지게 되면서 실내공기에 대한 관심이 높아지고 있다. 실내 공기의 오염농도가 실외의 공기의 오염농도보다 높고, 특히, 휘발성 유기 화합물 (VOCs)의 실내 오염의 심각성 대두되고 있다. VOCs에 의한 발암, 혈액장애, 폐부종 등의

질병 유발할 수 있어 실내 오염물질 제거 필요하다. 식물 일 이외에도 토양속 근권부 미생물에 의해서도 오염물질이 제거되지만 이를 활용하여 오염물질 제거를 촉진시킬 수 있는 기술이 미비하다. 또한 인공적인 실내 공기 정화 및 환기 장치의 2차적인 문제점 발생으로 친환경적 biofilter system 개발의 필요하다.

(2) VOCs 제거에 대한 기술의 한계 및 문제점에 따른 개선 필요성 증대

VOCs 제거 기술은 주로 산업적으로 사용되어 왔으며, 화학적 처리 방법이 주를 이루고 있다. 기존의 산업적인 처리 방법은 많은 비용과 설비가 필요하다. 미생물의 VOCs, 악취 등 오염물질의 제거 효과에 관한 연구가 보고되었지만 구체적인 VOCs 처리 메커니즘에 관한 결과가 부족하다. 고농도 VOCs에 대한 제거 효율과 생존능력을 갖는 근권 미생물의 분리, 동정에 대한 규명이 필요하다.

(3) 실내조경에서 수평 공간 이용의 한계점에 도달, 수직 공간 활용성 필요성 증대

벽면녹화 자체에서 대기 중으로부터 산소를 토양으로 유입시켜 공기정화 효과를 상승시킬 수 있는 시스템 개발이 요구된다. 벽면녹화의 기술향상을 위하여 다기능 시스템 적용하고 식물생육, 시공편리, 공간활용 등 통합적 실용성을 갖춘 시스템이 필요하다. 또한 개별 식물의 휘발성유기화합물(VOC) 효율을 측정하였으나, 최적의 식물 상태를 유지관리 및 기르기를 통한 효율증진 연구는 미비하다. 실내식물을 통한 공기정화 효율 증진을 위해서는 개별식물의 능력뿐만 아니라 식재방법, 유지관리, 시스템 등을 통한 정화효율 극대화 방안이 요구된다.

(4) 실내공기 오염 심각 및 식물 활용한 정화 필요성

실내공기의 오염물질로는 휘발성 유기화합물 (Volatile Organic Compounds : VOCs), 포름알데하이드 (Formaldehyde: CH₂O), 일산화탄소 (Carbon monoxide : CO), 이산화탄소 (Carbon dioxide : CO₂), 이산화질소 (Nitrogen dioxide : NO₂), 미세먼지, 부유미생물 (세균 및 곰팡이), 집먼지 진드기, 라돈 등이 있다. 오염된 실내공기에 장기간 노출될 경우 눈, 코, 인후자극, 어지럼증, 두통, 기관지염, 전염성 질환 등이 발생할 수 있으며, 심한 경우 암이 유발될 수 있다. 또한 실내공기의 오염물질들은 빌딩증후군 (Sick Building Syndrome; SBS), 새집증후군 등의 원인이 된다. 현재까지의 연구결과를 통하여 현대인들의 이용이 많은 건물의 실내공기 오염농도가 실외공기 오염농도보다 높은 것을 확인할 수 있으며, 휘발성 유기화합물(VOCs)은 실내가 실외보다 2-100배 이상 높다는 결과를 통하여 실내 공기 오염의 심각성을 알 수 있다 (Godish, Indoor Air, 1994). 특히, 실내공기 내의 VOCs는 호흡을 통해 흡수되는 경우가 대부분이다. 대표적인 VOC인 벤젠은 발암성 물질로 호흡을 통해 흡수되어 체내의 지방조직에 분포하며 급성중독 시 마취증상, 호흡곤란, 부정맥 등이 나타나며, 만성 중독의 경우 혈액장애, 간장 장애, 빈혈, 백혈병 등이 발병될 수 있다. 또한 자일렌은 단독처리가 어렵고, 고농도로 흡입 시 폐부종, 감각상실, 복부통증, 구토 등의 증상이 나타날 수 있다. 이처럼 장기간 노출 및 흡입 시 다양한 증상과 질병을 유발할 수 있는 VOCs는 건물의 건축자재, 내 외장재, 카페트, 접착제, 방향제 등 다

양하게 사용되고, 위험물질로 분류되어 1999년도 이후부터 배출량에 국가의 규제를 받고 있다. 이와 같이 실내공기 내 VOCs와 같은 오염물질들을 제거하는 효과적인 기술 개발이 시급하게 요구된다.

다양한 실내공기 정화 장치가 연구, 개발되고 있으나 고가의 장비, 새로운 오염물의 방출 등 문제점을 지니고 있다. 이런 문제점을 개선하기 위하여, 실내 식물을 이용한 공기 정화에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 식물은 실내에서 배양이 용이하고 이산화탄소 흡수, 산소 배출, 습도 조절, 피톤치드 배출 등 다양한 장점이 있다. 또한, VOCs와 같은 실내공기 오염물질을 흡수하는 기능도 갖고 있다. 이에 따라, 식물을 이용하여 실내 VOCs를 제거하는 다수의 연구결과가 발표되고 있다. NASA (John C., Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, 1989)에서 선정한 VOCs 제거를 위한 우수한 식물을 선정하였다. 식물을 이용한 VOCs 제거 기술 이외에 VOCs를 제거하는 기술은 주로 산업적으로 사용되어 온 소각과 염소처리, 활성탄을 이용한 흡착 등 화학적 처리 방법이 이루어졌다. 또한, 이와 같은 방법들은 많은 비용과 설비가 필요한 단점이 있다. 이처럼 VOCs 제거는 실내 공기질 개선보다 산업적으로 활용되었으며, 실내의 VOCs 제거 기술은 산업적으로 활용되는 기술을 일부 차용하여 적용한 것이 대부분이다. 상기와 같은 문제점을 개선하여 실내 공기 중의 VOCs를 제거하는 기술로 주목받는 것이 미생물을 이용한 생물학적 처리방법이다. 미생물을 통한 생물학적 분해를 이용한 방법은 안전하고 완전하게 VOCs 제거가 가능하며, 부산물에 의한 독성도 낮다. 선행연구들은 미생물의 VOCs 제거가능성과 VOCs 별 제거율을 확인하였으나, 연구에 이용된 미생물 대부분이 분리되지 않은 미생물 집단이었고, 정확하게 어떤 미생물이 어떤 작용을 통해 VOCs를 제거하는지, 어떤 미생물이 특정 VOC의 제거에 효과적인지에 대한 결과는 대단히 부족하다. 또한, VOCs 제거가 가능한 미생물을 담체에 고정화하여 고온에서 VOCs를 제거한 연구결과가 있지만 이는 산업적으로 이용이 가능하여 일반적인 실내에 적용하기 어렵다.

제3절 연구 개발 범위

본 연구개발의 범위는 다양한 식물의 근권 미생물 분리, VOCs 제거 미생물 시스템의 구성, VOCs 종류에 따른 미생물 군집 확인, 식물 배양 조건에 따른 VOCs 제거능 확인, 고정화 미생물의 역할, Biofilter system의 응용 및 VOCs 제거 시스템의 활용 등이며, 이들을 구체적으로 서술하면 다음과 같다.

- 다양한 식물의 근권 미생물분리, 동정 및 보관
- VOCs 제거를 위한 식물-근권 미생물 system 구성 및 VOCs 제거 효율 조사
- 근권 미생물의 증식을 위한 영양원 및 특성 조사
 - 토양 내의 근권 미생물의 증식 및 배양을 위한 영양원을 분석하였다.
 - 영양원에 농도, 종류에 따른 근권 미생물의 특성을 조사하였다.
 - VOCs 제거와의 상관관계를 확인하였다.
- VOCs의 농도 및 종류에 따른 근권 미생물의 군집 변화 확인 및 우점종 조사
 - VOCs의 농도, 종류 등의 조건 변화에 따라 근권 미생물의 군집 변화를 확인하였다.
 - 우점종조사를 확인하여 식물-근권 미생물 system의 가능성을 확인하였다.
- 광량변화에 따른 VOCs 제거에 대한 근권 미생물의 특성 및 식물 생육 촉진과의 관계
 - 광량을 다르게 조사하면서 근권 미생물의 증식 및 군집 변화를 확인하였다.
 - 식물의 생육 촉진에 대한 관계 규명 및 CO₂, O₂의 변화와 VOCs 제거 능력 및 식물이 배출하는 피톤치드를 확인하였다.
- 식물 식재 방법 및 구조 등의 다각화를 통한 VOCs 제거 효율 및 근권 미생물의 변화 조사
 - 근권 미생물의 증식과 식물의 성장촉진을 유도하는 식물의 식재 방법 및 구조를 다양하게 적용하여, VOCs 제거에 대한 성능을 확인하였다.
- 식물-미생물을 이용한 VOCs 제거용 Biofilter system의 운용
 - 식물 및 근권 미생물, 광량, 온도, 습도 등 최정화 조건을 적용한 Lab scale system을 제작 및 운용하였다.
- 특수패널을 적용한 식물 근권부 활용 능력 향상을 위한 모듈시스템은 뿌리활착이 원활하고 수분부족 및 과습에의한 문제의 해결과 뿌리 생육과 미생물 번식을 돋고, 공기정화 효과를 상승시킬 수 있는 시스템으로 개발하였다.
- 개발된 환경정화 Bio-Wall 패널시스템과 다양한 실내 환경정화 시스템별 효과를 분석 한 다음 환경정화 패널시스템의 효율성 극대화를 위하여 기술을 보완하고, Bio-Wall 패널시스템 시제품을 제작 및 Bio-Wall 패널시스템의 매뉴얼 제작하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

(1) 국내 연구 현황

많은 시험을 통해 미생물을 이용한 VOCs 제거 확인하였다. 분변토로부터 분리된 미생물 (*Mycobacterium neoaurum*)의 ethylbenzene, toluene 제거력을 확인하였다(이은영 등, 한국냄새환경학회, 1997). Black yeast fungi와 활성 슬러지 내 박테리아를 이용한 VOCs를 제거하였다.(정연규 등, 대한환경공학회, 2004). 활성 슬러지 내 미생물을 이용한 VOCs 제거 결과 확인하였다.(송지현, 한국대기환경학회지, 2006). 관엽식물의 근권부 박테리아를 식물에 접종하여 VOCs 제거가 향상됨이 보고된 바 있다(천세철 등, 한국원예학회, 2010).

농진청은 2004년 이후 새집증후군 완화효과에 우수식물 선발하였다. 농촌진흥청 2005년 국책기술개발사업을 통해 “새집증후군 해소를 위한 식물의 기능성 탐색 및 이용기술 개발(‘05~’07) 사업 3개년간 추진하였고, 세부 과제 중 화훼식물의 새집증후군 완화 효과에 대한 건강평가 실시(세부수행기관 : 연세대 의대 환경공해연구소)하여 신축공동주택 실내 공간 및 거주민(1, 2차년도), 천식환자가구(2, 3차년도), 신축 및 일반 office 건물(3차년도) 공간 및 근무자의 실내공기질 및 새집증후군(SBS) 증상 등 평가 실시 하였다. 신축공동주택에 식물적용여부에 따른 실내공기 질 변화 및 주거민의 새집증후군(SBS) 및 정신건강 (SCL-90R) 설문 평가 결과 SCI급 논문 게재(J. Japan. Soc.Hort. Sci. 78(4):456-462, 2009)하였다. '10년 연세 의대 연구팀이 신축공동주택에 식물적용여부에 따른 정신건강 설문 평가 및 주거민의 혈액(blood), 폐기능 및 IgE(면역글루불린 E) 등 임상 평가 결과SCI 급 논문 게재(J. Japan. Soc. Hort. Sci. 79(2):200-206, 2010)하였다. (주)가든포유 특허출원 10-2013-0122580의 특허기술은 적층 조립하여 간편하게 시공할 수 있도록 하여 설치 구조가 간단하면서도 원하는 크기로 늘리거나 배치를 바꿀 수 있도록 함으로써 공간의 크기에 따라 적합한 규모로 자유롭게 설치할 수 있도록 하고, 특허 기술을 바탕으로 시스템화 하여 실내 공기를 정화하였다.

(2) 국외 연구 현황

물과 미생물을 함께 이용하여 실내 VOCs를 제거하였으며(Wolverton B. C. et al, Journal of the Mississippi Academy of Sciences, 1993), 7종의 식물을 이용한 벤젠 제거 시험을 수행하였다(Orwell R. L. et al, Water, Air, and Soil Pollution, 2004). 실내의 도색 된 벽면에서 유래하는 포름알데하이드 및 VOCs에 의한 천식 유발 것으로 보고되었다 (Wieslander G. et al., International Archives of Occupational and Environmental Health, 1996). 노르웨이 Agricultural 대학 연구팀이 '98년 office workers 대상으로 실내 식물적용에 따른 health와 discomfort symptom 평가 실시하였다(Indoor Built Environ, 7: 204-209, 1998). 호주 시드니 Technology 대학 연구팀이 '04년 실험실에서의 식물종별 벤젠 저감 효과를 평가하였으며(Water, Air, and Soil Pollution, 157:193-207, 2004), 호주 시드니 Technology 대학 연구팀이 '06년 실험실에서의 식물적용에 의한 휘발성유기화합물류(VOCs) 저감 효과를 평가하였다(Water, Air, and Soil Pollution, 177:59-80, 2006).

토양을 이용해 실내 식물을 재배하는 경우가 토양을 사용하지 않고 재배한 경우에 비해 실내 공기 정화능력이 향상되었다(Sawada와 Oyabu, 2008).

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

<제1세부과제 : 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명>

<1 년차>

연구수행 방법

1. 재료 및 방법

가. 휘발성유기화합물(VOC)의 근권부 미생물로 이동 방법 구명

식물재료는 테프론 백으로 지상부와 지하부를 테이핑이 가능하도록 줄기가 하나인 실내식물로 뱅갈고무나무와 대엽홍콩을 선택하였으며 시중에서 구입하여 배양토는 믹스 #4, 유기물(바이오 콤) 1, 모래 1=(5:1:1, v/v/v)로 분갈이를 하여 온실에서 기른 후 실내에서 4주동안 광순화 하였다. 가스처리는 그림 1처럼 테프론 백으로 지상부 또는 지하부를 테이핑하고 sampling 볼을 토양 속에 넣어서 근권부 내에 있는 공기를 포집하여 GC/MS로 측정하였다.

실험에 사용된 쉐플레라와 뱅갈고무나무의 생육특성은 표 1과 같이 쉐플레라 옆면적은 0.20(m³/pot)이었고, 뱅갈고무나무는 0.16(m³/pot)이었다.

Table 1. Characteristics of plants used for test.

Species	Plant height (cm)	Root		Leaf area (m ³ /pot)
		Volume (mL/pot)	Fresh weight (g/pot)	
<i>Schefflera actinophylla</i>	48.7 ± 1.57	17.8 ± 4.8	4.3 ± 1.0	0.20 ± 0.01
<i>Ficus benghalensis</i>	58.2 ± 2.35	66.7 ± 8.9	63.0 ± 8.4	0.16 ± 0.01

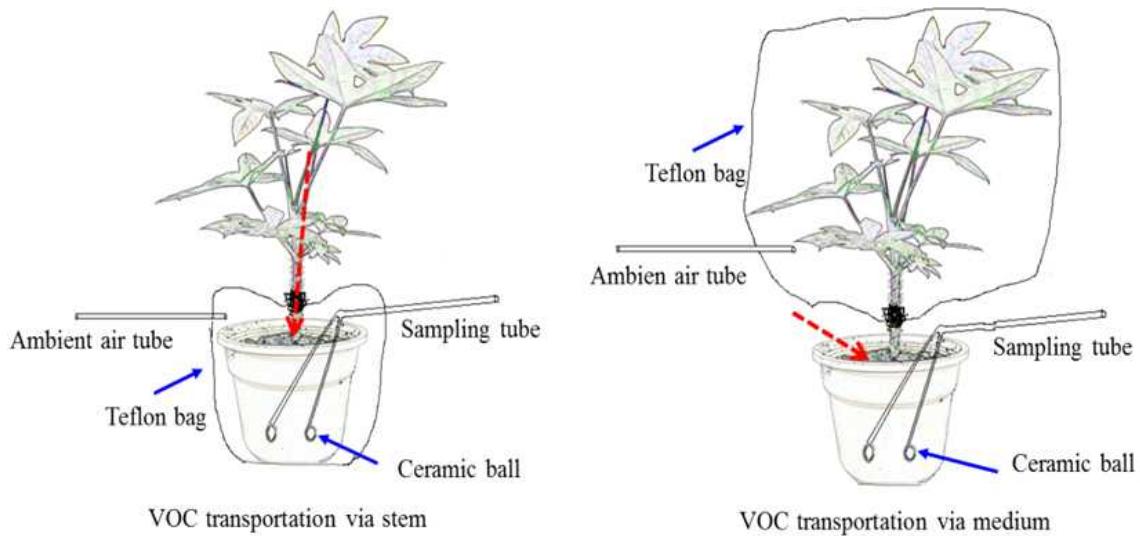


Fig 1: Schematic diagram sampling toluene and xylene which were transported from air in a chamber (1.0 m^3) to root zone via stem and directly via medium. Red dotted line denotes route transporting toluene and xylene.

나. 근권부 통기량에 따른 미생물에 의한 휘발성유기화합물(VOC) 정화효과 구명

식물재료는 실내식물을 활용하여 배양토 믹스 #4, 유기물(바이오 콤) 1, 모래 1=(5:1:1, v/v/v)로 분갈이하여 온실에서 기른 후 실내에서 4주동안 광순화 하였다. 처리내용은 근권부에 통기량 처리가 가능하도록 수족관에 사용하는 air ball을 활용하여 유량을 조절 할 수 있는 시스템 개발하여 근권부 통기를 3처리(0, 2, 4(cm/sec))하였다. 조사항목은 통기량, BTX 제거량 등을 조사하였다.



□ 주요 연구결과

가. 휘발성유기화합물(VOC)의 근권부 미생물로 이동 방법 구명

- 쇠플레라와 벵갈고무나무를 챔버에 넣고 톨루엔과 자일렌은 처리한 후 24시간 동안 3시간 간격으로 측정한 결과 지속적으로 감소하였다. 액체 상태의 톨루엔과 자일렌 (Duksan pure chemical Co., LTD., Ansan, Korea)을 구입하여 기화시켜 가스 상태로 만든 후 식물에 처리하였다. 자일렌의 경우 *m*-, *p*-, and *o*-xylene의 3가지 형태의 이성질체로 되어 있어 기화과정에서 분리되었으나 GC/MS에서 *m*-xylene과 *p*-xylene이 동일한 retention time이어서 *m*, *p*-xylene과 *o*-xylene으로 구분하여 정량하였다. 톨루엔과 전체 자일렌의 초기 농도는 쇠플레라에서 각각 62.3, 50.1 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 이었고, 벵갈고무나무에서는 49.4, 43.0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 이었다.

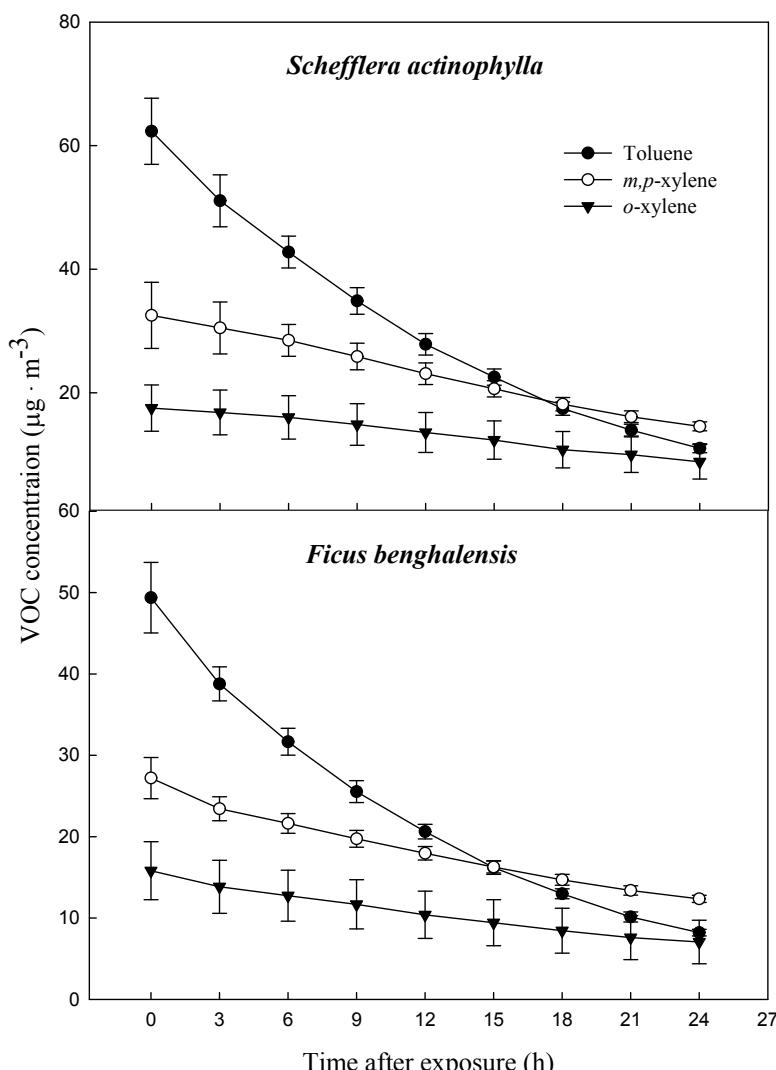


Fig 2. Decline of gaseous toluene and xylene caused by potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

- 톨루엔과 전체 자일렌의 단위 면적당 제거 효율은 쉐플레라의 경우 각각 13.3과 $7.0 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{ leaf area}$ 이었고, 시간당 제거 효율은 각각 $0.55, 0.29 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \text{ leaf area}$ 이었다. 그리고 벵갈고무나무에서는 톨루엔과 전체 자일렌의 단위 면적당 제거 효율은 각각 13.0과 $7.3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{ leaf area}$ 이었고, 시간당 제거 효율은 각각 $0.54, 0.31 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \text{ leaf area}$ 이었다.

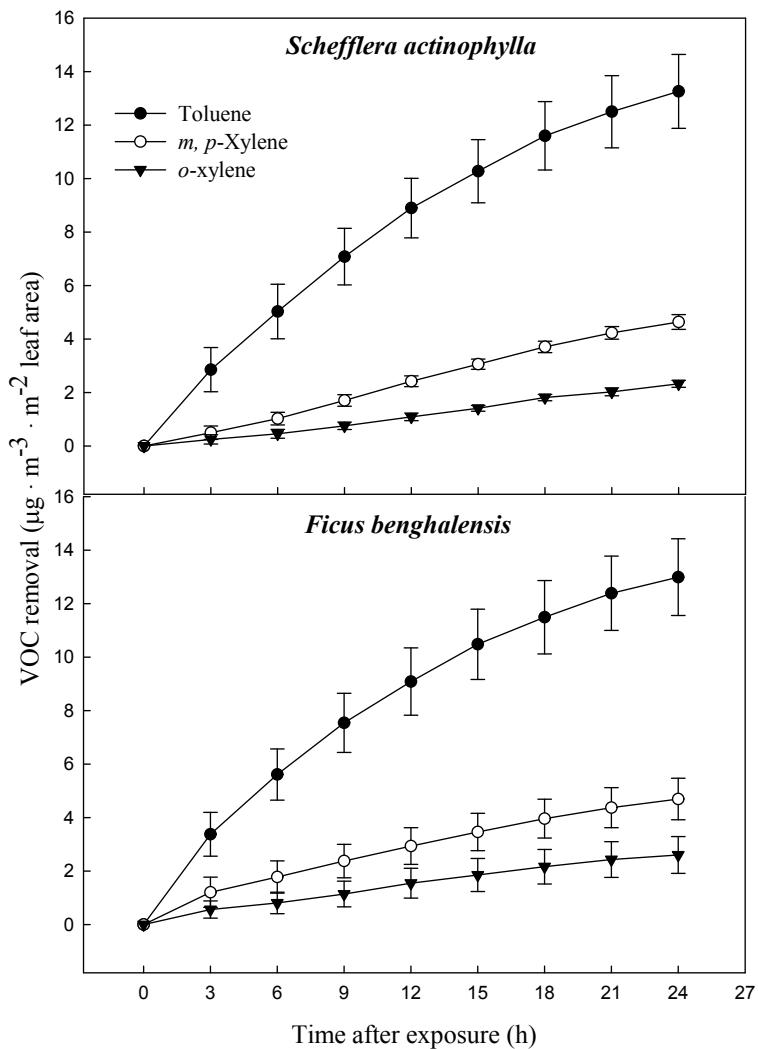


Fig 3. Removal efficiency of gaseous toluene and xylene by potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

- 지상부나 지하부를 테프론 백으로 테이핑을 해서 챔버에 처리한 가스가 들어가지 못하도록 했지만 뿌리 근처에서 가스가 검출되었다. 즉 지하부를 백으로 테이핑을 했을 때 톨루엔과 자일렌이 잎을 통해 흡수되어 줄기를 따라 지하부로 이동되어 검출되었음을 의미하며, 지상부를 테이핑을 했을 때는 토양표면을 통해서 톨루엔과 자일렌이 직접 뿌리 근처로 이동하여 검출되었음을 의미한다. 톨루엔은 처음에는 줄기를 따라 근원부로 이동하는 양이 많았으나, 시간이 지나면서 즉 셀룰레라의 경우 3시간, 뱅갈고무나무의 경우 9시간 후에는 토양 표면을 따라 이동하는 양이 약간 많은 경향을 나타냈다. 근원부에서 15시간이 후에는 거의 톨루엔이 거의 검출되지 않았다. 즉 줄기를 따라 근원부로 이동하는 톨루엔은 뱅갈고무의 경우 12시간, 셀룰레라의 경우 24시간 후에 검출되지 않았다.

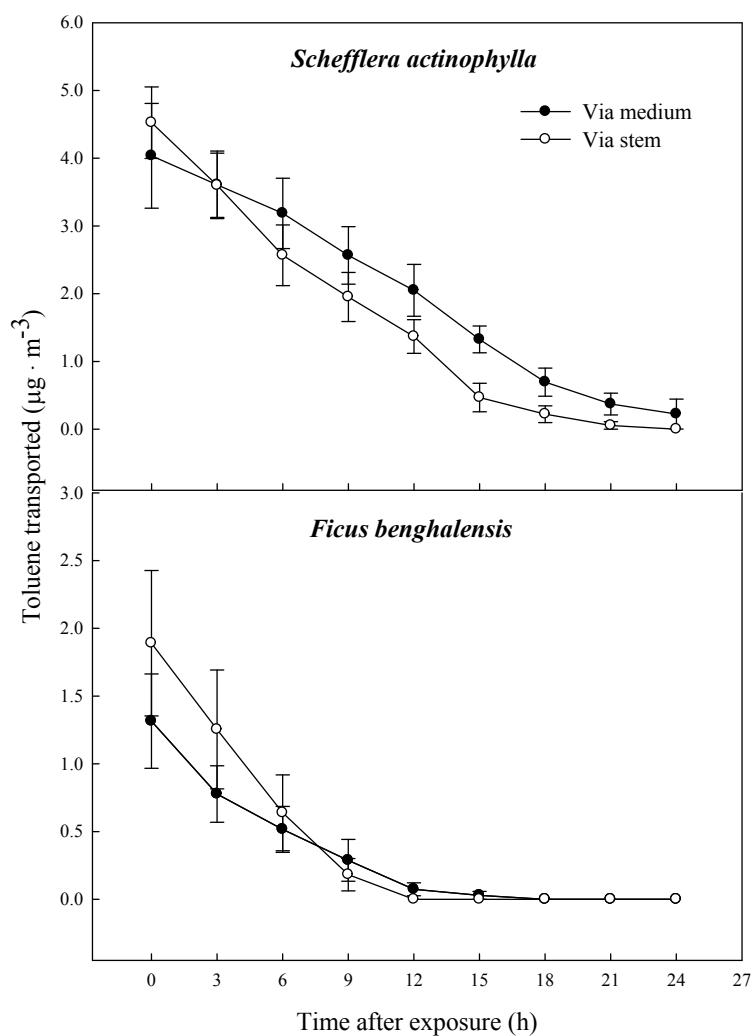


Fig 4. Gaseous toluene transported from air to root zone; via stem to root and directly via medium of potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Gaseous toluene was sampled inside medium of pot plants wrapping shoot or root zone. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

- 줄기를 따라 이동하는 톨루엔의 비율은 시간이 지남에 따라 감소하고 토양표면으로 이동하는 비율은 상대적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 초기 줄기 : 토양표면을 따라 이동하는 톨루엔의 비율은 쉐플레라의 경우 각각 54.4 : 45.6%이었으며, 벵갈고무나무의 경우 60.7 : 39.3%이었다.

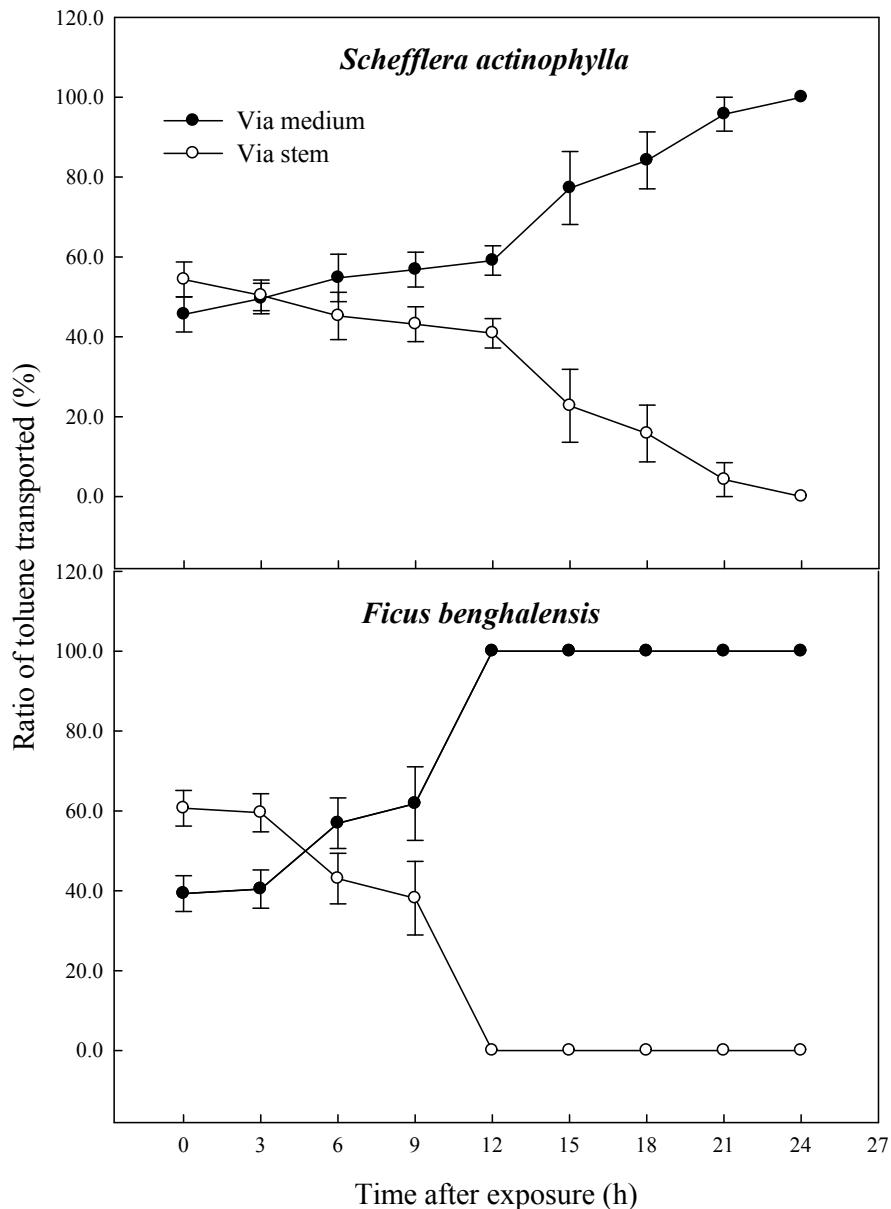


Fig 5. Comparison of gaseous toluene ratio transported from air to root zone; via stem to root (S) and directly via medium (M) (i.e., S or $M/(S + M) \times 100\%$) of potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Gaseous toluene was sampled inside medium of pot plants wrapping shoot or root zone. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

- 쇠플레라와 벵갈고무나무 모두 그리고 *m*-, *p*-, *o*-xylene 모두 줄기를 따라 이동하는 비율이 토양표면으로 직접 이동하는 것에 비해 24시간 동안 높게 나타났다. 근권부로 이동하는 가스 양은 *m*-, *p*-xylene 3시간 후까지, *o*-xylene은 6시간 후까지 약간 증가하는 경향이었으나 그 이후에는 다시 감소하는 경향을 나타냈다.

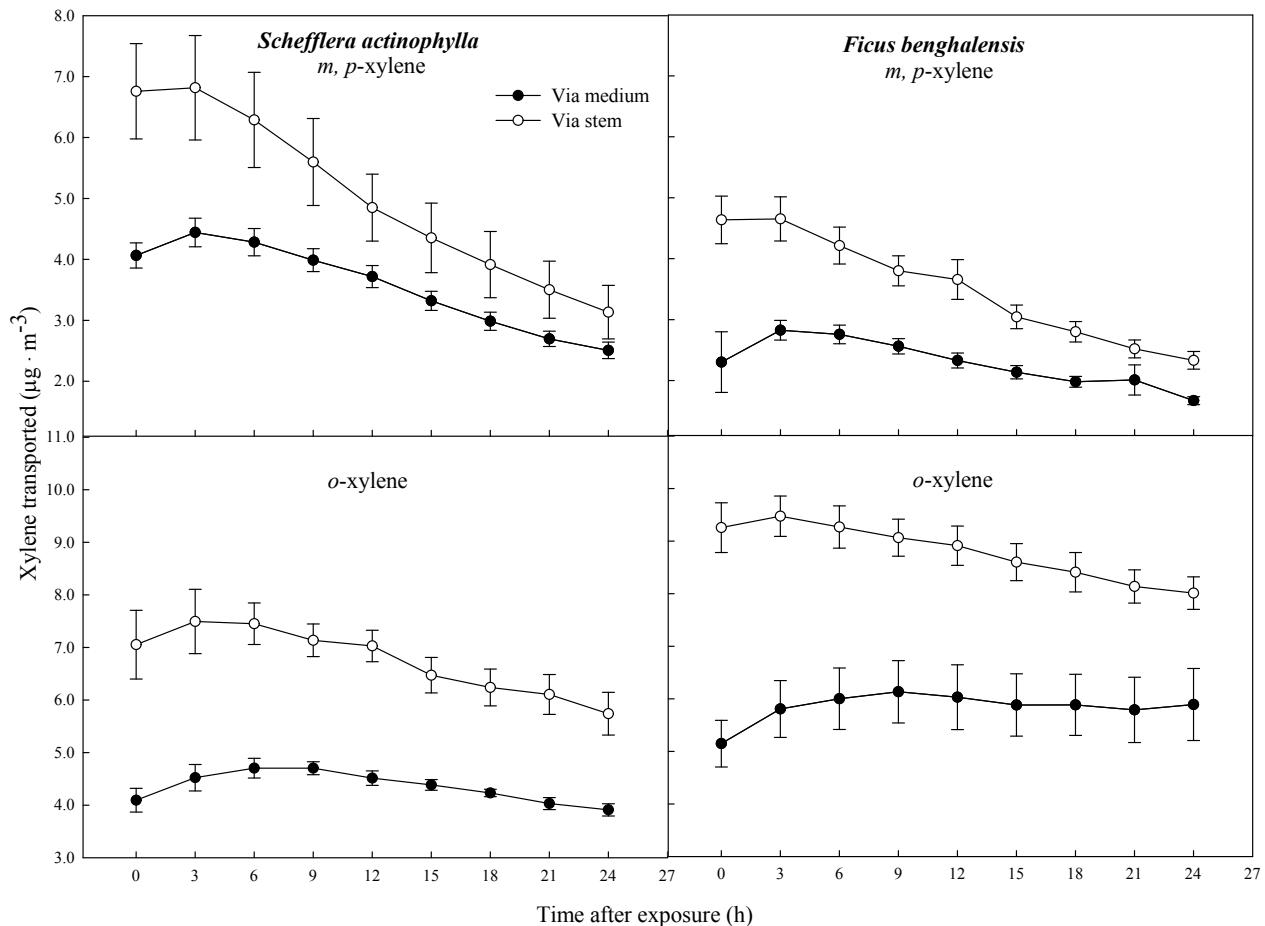


Fig 6. Gaseous xylene transported from air to root zone; via stem to root and directly via medium of potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Gaseous xylene was sampled inside medium of pot plants wrapping shoot or root zone. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

○ 줄기를 따라 이동하는 비율은 톨루엔과 마찬가지로 시간이 지나면서 감소하였으며, 토양표면을 따라 이동하는 비율은 감소하는 경향을 나타냈다. 줄기를 따라 이동하는 자일렌의 비율은 24시간 후까지 토양표면의 비율보다 높게 유지되었다.

m, p-xylene의 줄기 : 배양토를 따라 근권부로 이동하는 비율은 60 : 40%이었으며, *o*-xylene의 줄기 : 배양토는 61 : 39%이었다. 따라서 전체 xylene의 줄기 : 배양토를 따라 이동하는 비율은 약 60 : 40%로 나타났다.

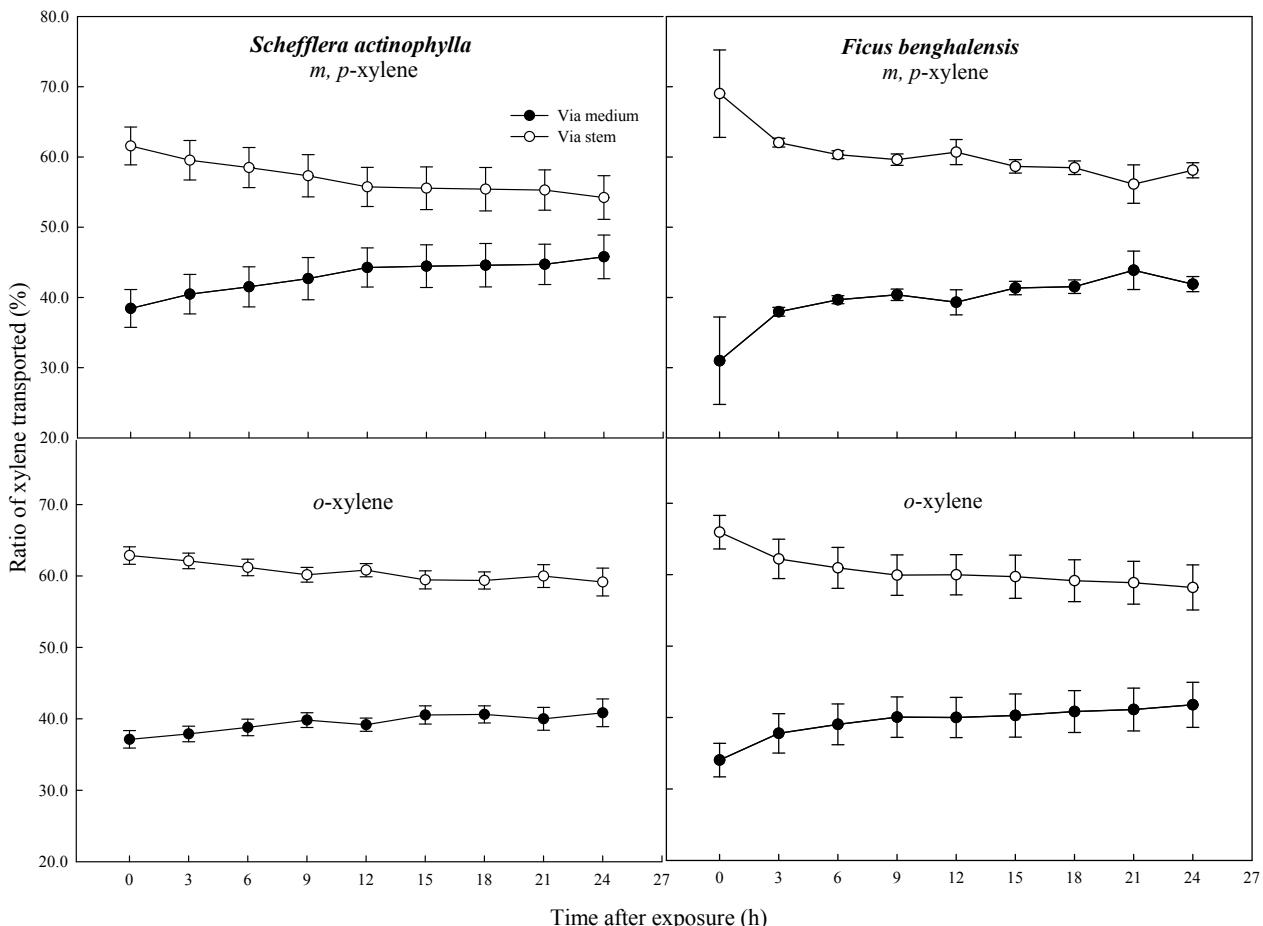


Fig. 7. Comparison of gaseous xylene transported from air to root zone; via stem to root (S) and directly via medium (M) (i.e., $S/(S + M) \times 100\%$) of potted *Schefflera actinophylla* and *Ficus benghalensis*. Gaseous xylene was sampled inside medium of pot plants wrapping shoot or root zone.

- 처리된 가스의 농도가 높을수록 톨루엔의 경우에는 토양표면을 따라 이동하는 대비 줄기를 따라 이동하는 비율이 증가하는 경향을 나타났으며, 반면 자일렌의 경우는 약간 증가하였으나 농도에 따라 증가폭이 적은 경향을 보였다.

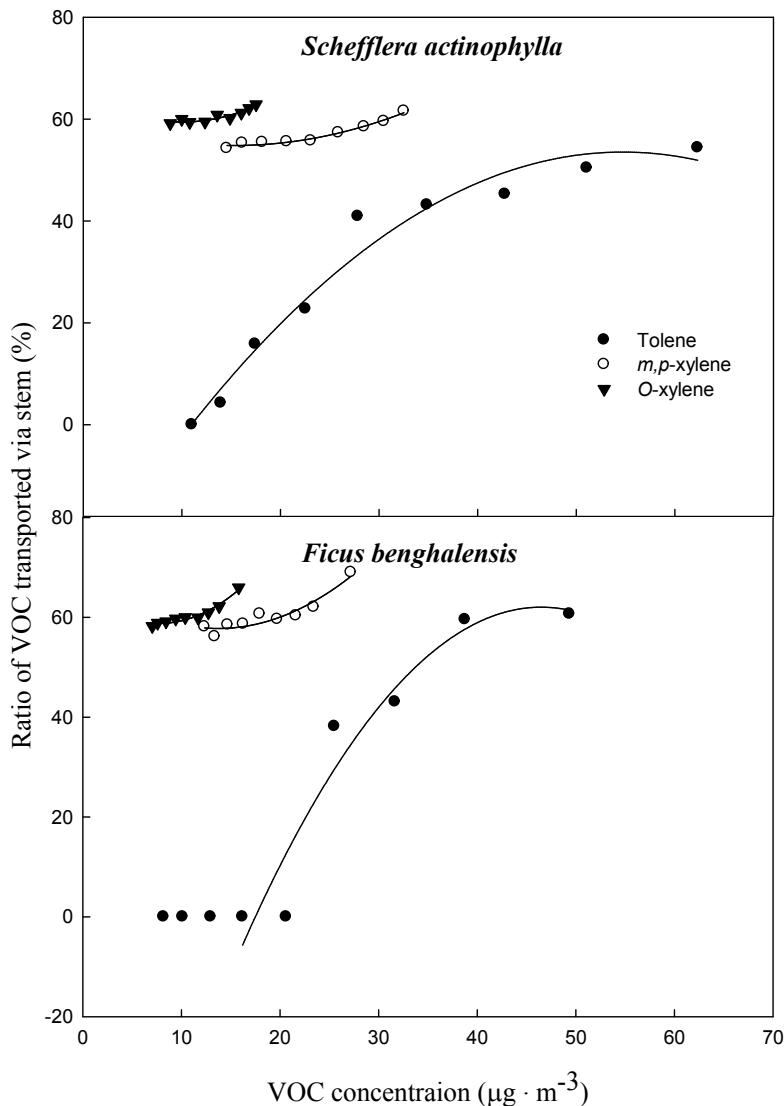


Fig 8. Gaseous toluene and xylene ratio transported from air to root zone via stem according to VOC concentration. Gaseous toluene and xylene were sampled inside medium of pot plants wrapping root zone. Three potted plants were exposed for 24 h in a sealed chamber (1.0 m^3) at a light intensity of $20 \pm 2 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Vertical bars denote the SE ($n=6$).

- 결과적으로 토양표면 대비 줄기를 따라 이동하는 톨루エン은 약 47%, 자일렌은 약 60%으로 나타나, 상당히 많은 실내오염물질이 잎으로 흡수된 후 줄기를 따라 뿌리로 이동된 후 유출되어 근권부 미생물의 먹이로 이용되어 제거되는 것으로 나타났다. 잎으로 흡수된 휘발성유기화합물은 일부는 광합성 과정에서 대사산물로 이용되고, 실내는 저광으로 광합성이 활발하지 않기 때문에 상당히 많은 양을 줄기를 따라 뿌리로 이동하여 제거되는 것이 확인되었다.

나. 근권부 통기량에 따른 미생물에 의한 휘발성유기화합물(VOC) 정화효과 구명

- 공기를 근권부로 보내도록 제작한 시스템을 활용하여 통기량 0, 2, 4 cm/s 처리한 후 휘발성유기화합물의 제거량을 측정하였다. 툴루엔과 에틸벤젠의 제거량은 산호수의 경우 대조구인 0 cm · sec⁻¹에서 보다 근권부에 공기를 흐르도록 한 2, 4 cm · sec⁻¹에 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 2와 4 cm · sec⁻¹ 간에는 차이를 보이지 않았다. 그러나 관음죽의 경우에는 0와 2 cm · sec⁻¹에서 차이를 보이지 않았으나, 4 cm · sec⁻¹에서 감소하는 경향을 나타냈다.

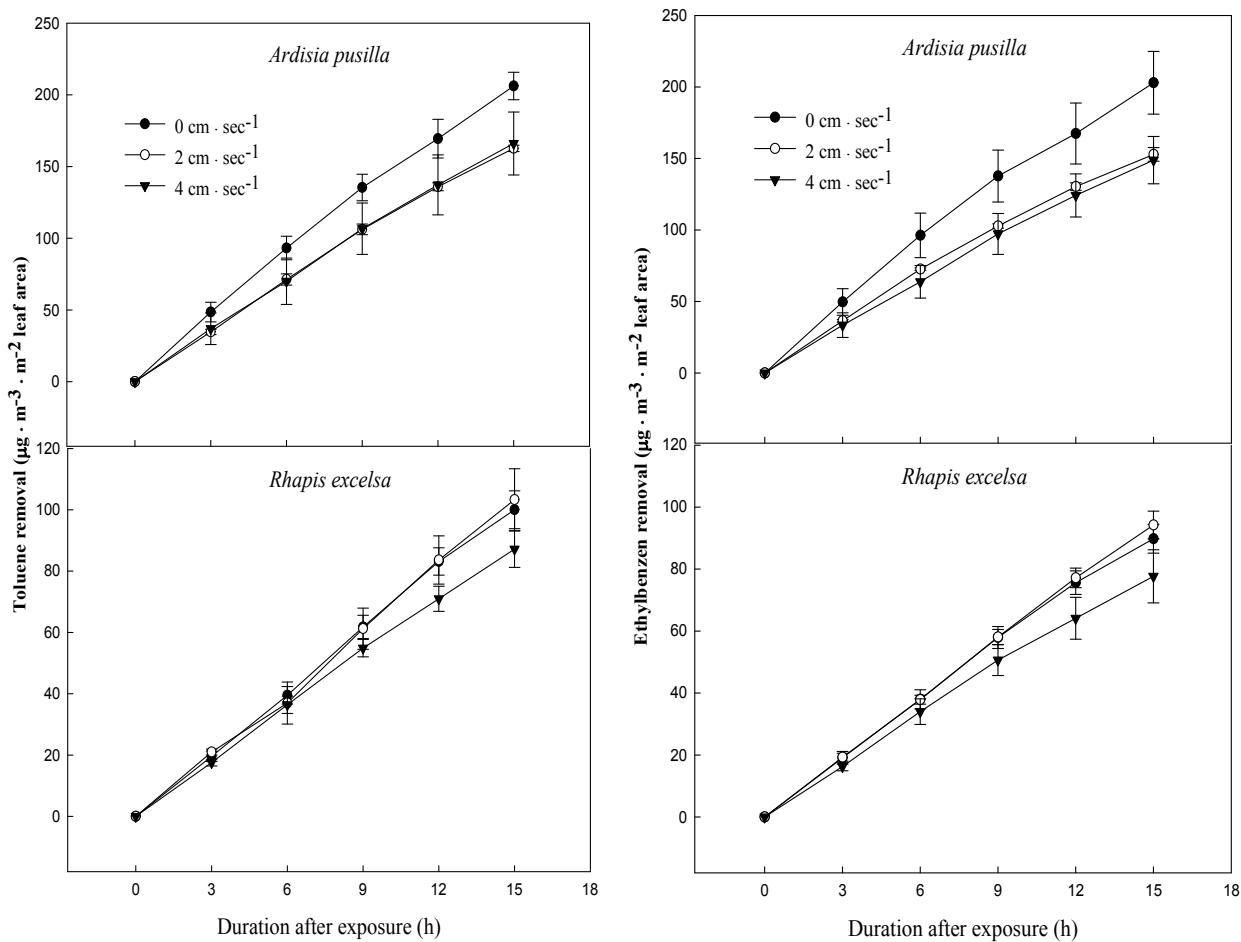


그림 9. 실내식물 근권부 통기량에 따른 Toluene와 Ethylbenzene 제거량 변화

- m , p , o -xylene 자일렌의 제거량은 산호수의 경우 대조구인 $0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 보다 근권부에 공기를 흐르도록 한 $2, 4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하는 경향으로 나타났으며, 2 와 $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리 간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 관음죽의 경우에는 0 와 $2 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 차이를 보이지 않았으나, $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하는 경향을 나타냈다. 툴루엔, 에틸벤젠, m 과 p -xylene을 합친 m , p -xylene 그리고 o -xylene이 산 호수의 경우 $2, 4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하고 관음죽의 경우 $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하는 것으로 나타나 모두 동일한 경향을 보였다.

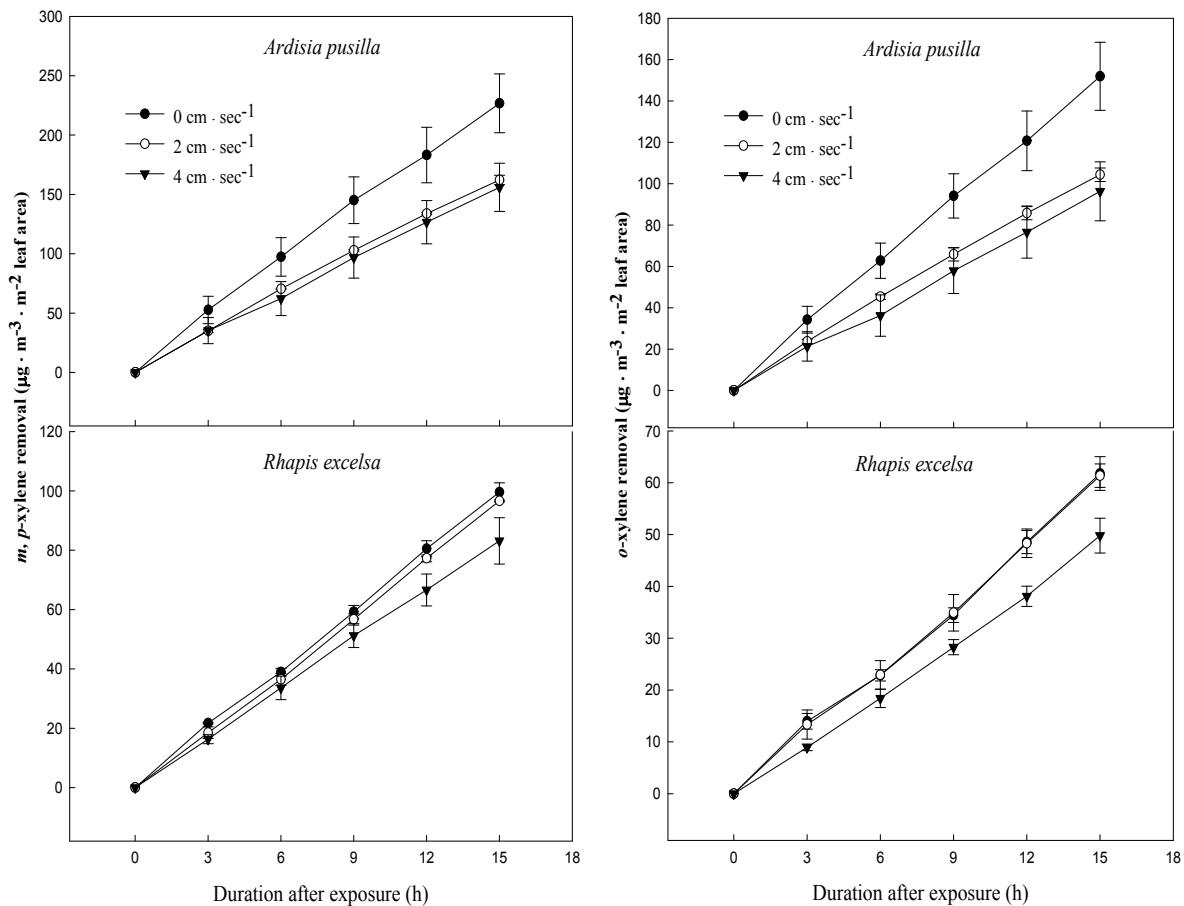


그림 10. 실내식물 근권부 통기량에 따른 m , p , o -xylene 제거량 변화

- 시간당 제거효율은 산호수와 관음죽 모두에서 *o-xylene*이 가장 낮게 나타났다. 산호수의 경우 톨루엔, 에틸벤젠, *m, p*-xylene 그리고 *o*-xylene이 대조구에 비해 2, 4 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하는 경향을 보였다. 관음죽의 경우 4 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 감소하는 것으로 나타났다. 시간당 휘발성유기화합물 제거 효율은 산호수가 관음죽에 비해 높게 나타났다.

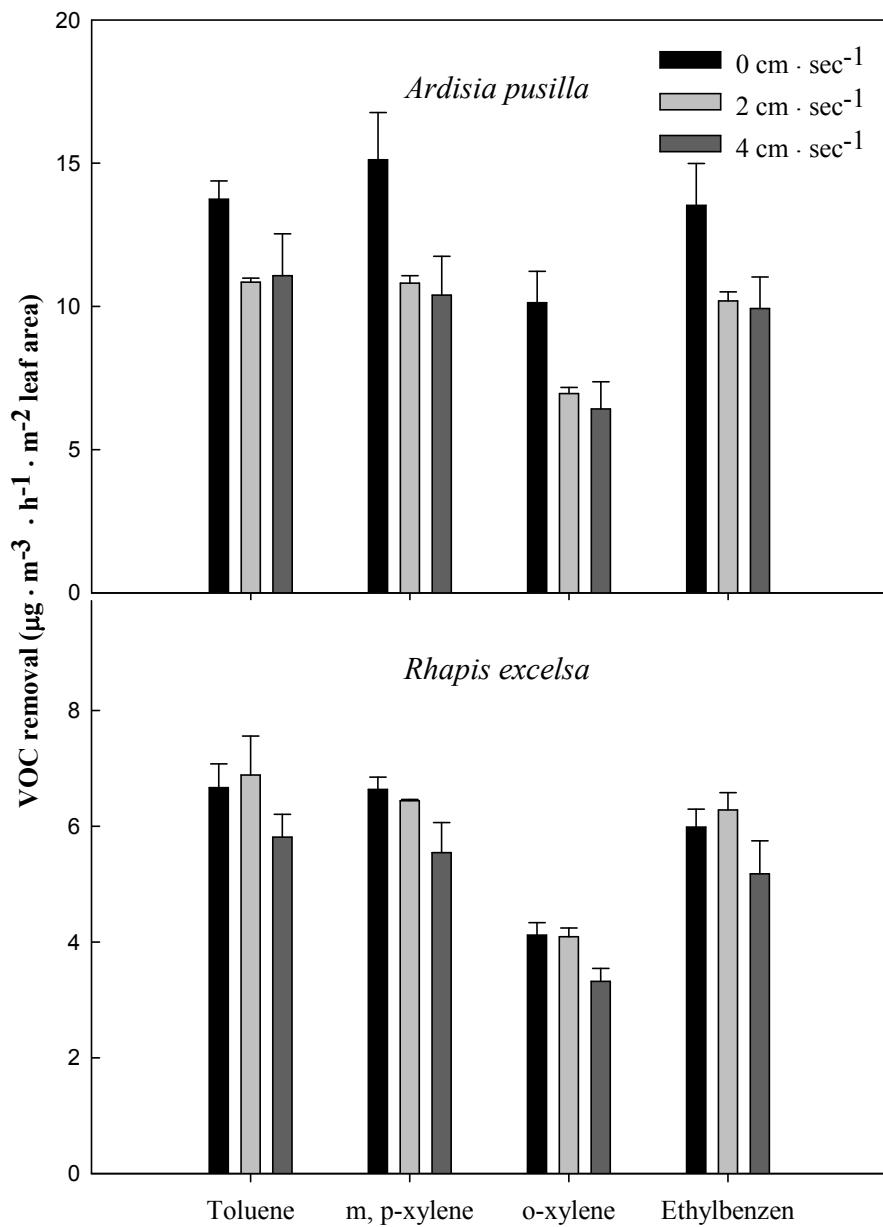


그림 11. 실내식물 근권부 통기량에 따른 VOCs 시간당 제거효율 변화

- 관음죽과 산호수의 근권부 통기량 처리후 통기량별 근권부 미생물 양의 변화를 구명하였다. 그 결과 1.5개월 후 측정한 미생물 양은 대조구 $0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에 비해 통기량이 처리된 $2, 4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 적어지는 경향을 나타냈다. 그러나 3개월 후에는 산호수는 $2 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에 대조구보다 높게 나타났으며, 관음죽의 경우 $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 가장 높게 나타나 시간에 따라 그리고 식물의 종류에 따라 변화가 있음을 알 수가 있었다. 이러한 미생물의 변화가 휘발성유기화합물 제거량과 관련이 있는 것으로 보인다.

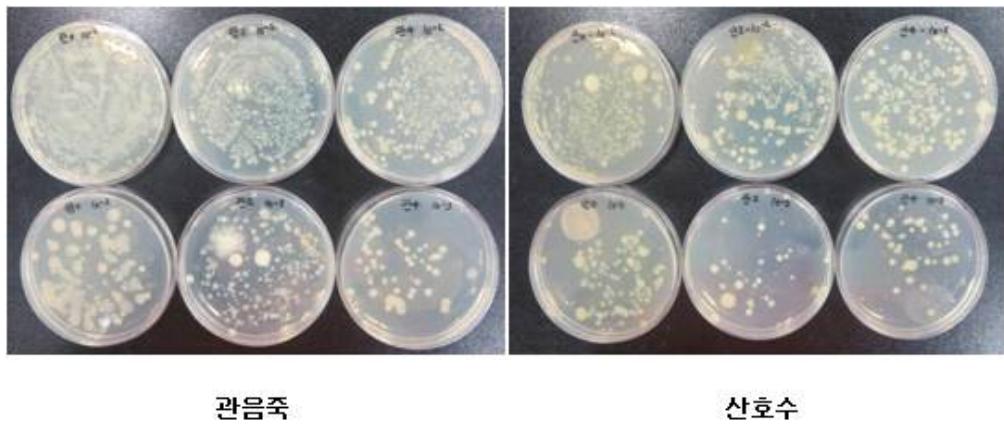


그림 12. 실내식물 근권부 통기량에 따른 미생물 측정

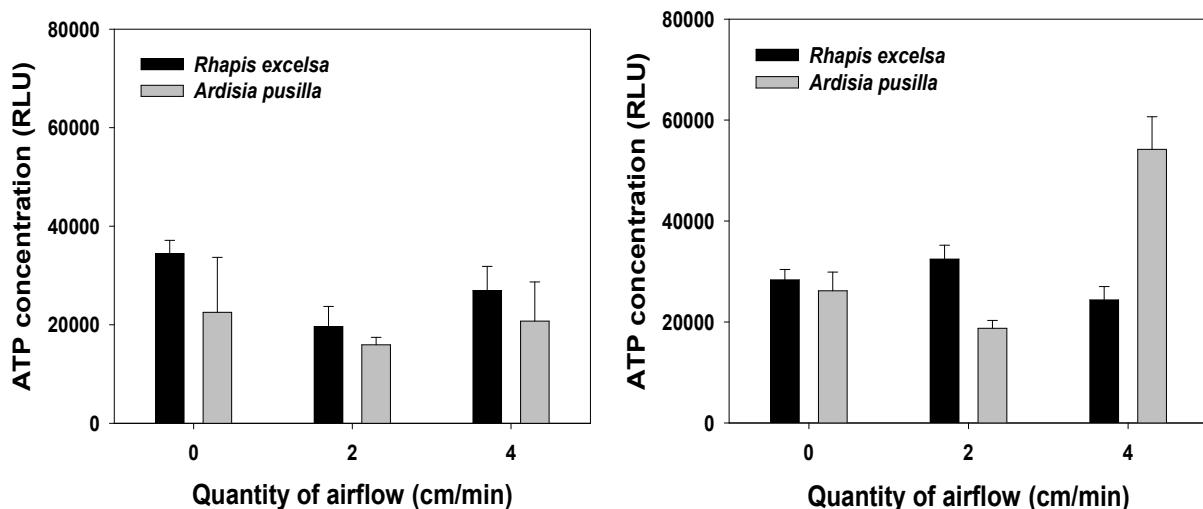


그림 13. 실내식물 근권부 통기량에 따른 미생물 양의 변화(근권부 통기 처리 1.5개월 후(왼쪽), 3개월 후(오른쪽))

- 관음죽과 산호수의 근권부 통기량 처리후 통기량별 엽록소 형광장치를 이용하여 스트레스 변화를 측정하였다. 그 결과 Fv/Fm 와 $Y(\text{II})$ 값이 $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리에서 약간 감소하는 경향을 보여, 통기량이 많은 $4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 약간의 스트레스를 받는 것으로 보인다. 그러나 좀 더 큰 차이를 보기 위해서는 통기량을 지금보다 높게 처리한 실험이 차후에 요구되었다.

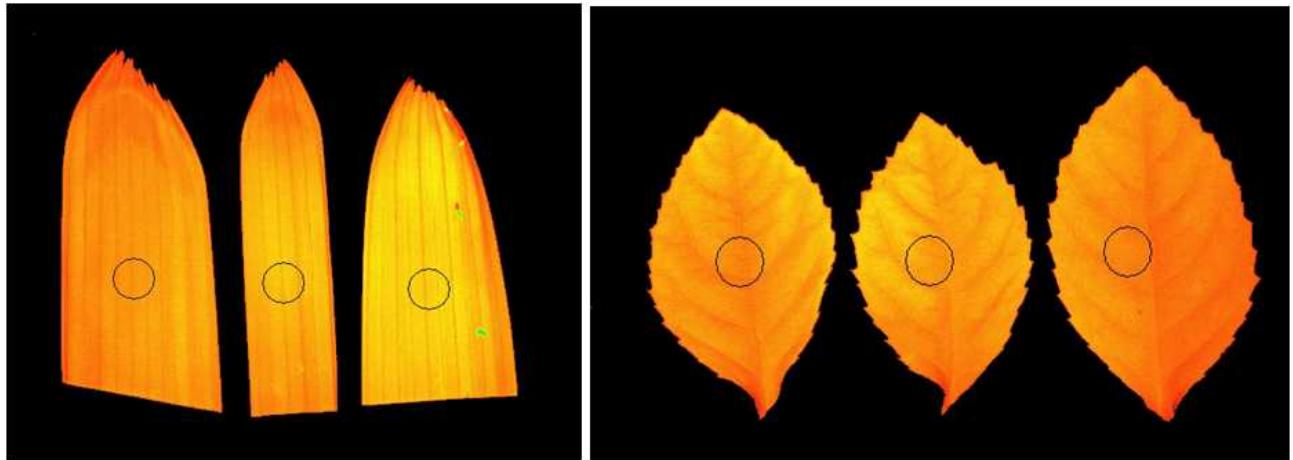


그림 14. 실내식물 근권부 통기량에 따른 엽록소 형광반응기 측정

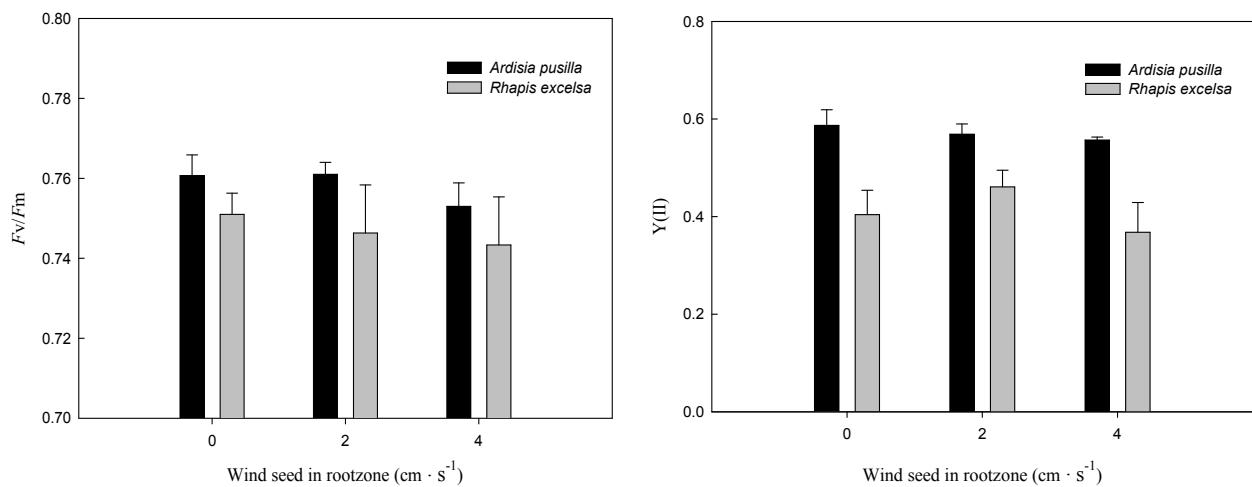


그림 15. 실내식물 근권부 통기량에 따른 Fv/Fm , $Y(\text{II})$ 제거량 변화

- 관음죽과 산호수의 근권부 통기량 처리후 통기량별 엽록소 형광장치를 이용하여 $Y(NPQ)$, $Y(NO)$ 를 측정한 결과는 모두 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과는 0, 2, 4 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리간에 차이가 크지 않았고 4 $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 까지는 식물에 큰 스트레스를 주지 않기 때문으로 보인다.

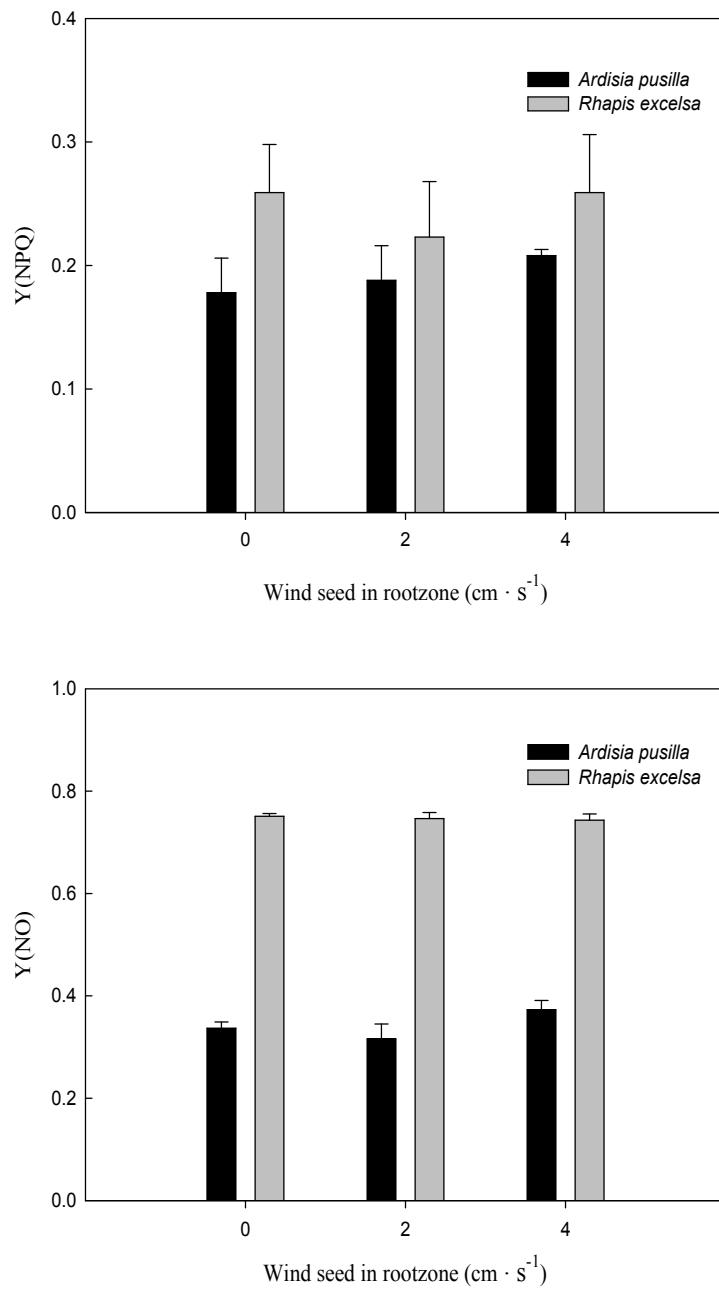


그림 16. 실내식물 근권부 통기량에 따른 $Y(NPQ)$, $Y(NO)$ 변화

- 산호수의 광 포화점이 관음죽보다 대체적으로 높게 나타났으며, 즉 산호수는 약 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었으며, 관음죽은 약 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이었다. 광합성효율을 나타내는 ETR 값은 $0, 2, 4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리간에 두 종 모두 큰 차이를 보이지 않았으나 산호수가 관음죽보다 높게 나타났다.

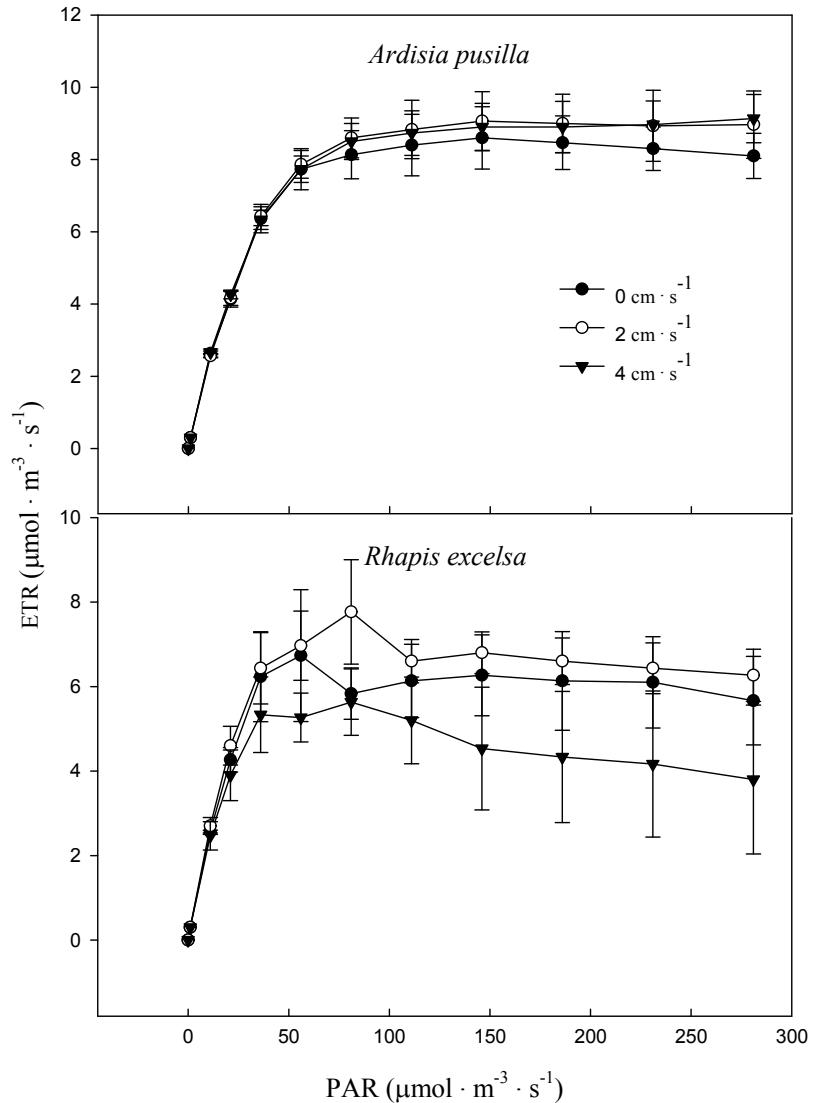


그림 17. 실내식물 근권부 통기량에 따른 광합성효율(ETR) 변화

- 결과적으로 대조구 $0 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리구에 비해 통기량을 처리한 $2, 4 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 처리구에서 약간 휘발성유기화합물 제거효율이 낮아졌으며 이러한 결과는 근권부 미생물 함량이 감소하고 근권부 통기량에 의해 스트레스를 받아 Fv/Fm 와 $Y(\text{II})$ 값이 약간 감소했기 때문으로 보인다. 근권부 통기량과 생육에 영향을 미치는 온도 등의 환경요인과 통기량이 처리간에 차이를 더 높여 원인을 구체적으로 구명할 필요가 있은 것으로 보인다.

<2 년차>

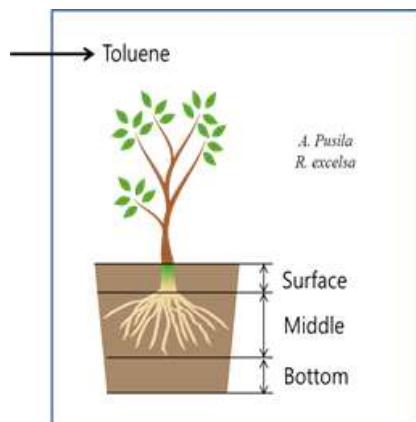
□ 연구수행 방법

가. 톨루엔 제거율 향상을 위한 접종 미생물의 균권부에 효과적 증식 방법 구명

식물재료는 실내식물을 활용하였으며 배양토는 피트모스, 유기물(바이오 콤) 1, 모래 1=(5:1:1, v/v/v)를 사용하였다. 처리내용은 미생물이 접종된 펄라이트와 배양토의 혼합비율을 0, 20, 40, 60%로 혼합하여 식재하였다. 식재한 후 톨루엔 가스를 처리하였다. 톨루엔 제거량과 토양내 미생물 함량을 조사하였다.

나. 톨루엔 처리에 따른 화분 토양충내 미생물 분포 구명

식물재료는 산호수와 관음죽을 활용하였으며 배양토는 믹스 #4, 유기물(바이오 콤) 1, 모래 1=(5:1:1, v/v/v)를 사용하여 분갈이하였다. 식물에 톨루엔 처리 후 화분의 표면 중간 바닥층의 토양내 미생물 함량을 조사하였다.



□ 주요 연구결과

가. 톨루엔 제거율 향상을 위한 접종 미생물의 균권부에 효과적 증식 방법 구명

○ 톨루엔을 탄소원으로 활용하는 미생물 중에서 *Pseudomonas putida*를 이용하였다. 미생물 고정 전에 페라이트를 멸균 과정을 거쳐서 준비하였으며 미생물은 증식과정을 거쳐 페라이트에 고정하였다. 페라이트에 *Pseudomonas putida*가 고정되었는지를 확인하기 위해 톨루엔 0, 50, 10, 200ppm에 고정된 페라이트 500mg를 넣고 측정하였다. 그 결과 1일 후에 80% 이상 제거되어 고정된 결과를 확인하였으며, 탁도(OD)값을 통해 각각의 ppm에 미생물이 함유되어 있음을 확인하였다. 고정된 페라이트를 화분에 각각 0, 20, 40, 60%를 넣고 2주 동안 순화 시킨 후 톨루엔 제거량을 비교한 결과 관음죽과 산호수 모두 대조구에 비해 고정된 페라이트가 처리된 구에서 톨루엔 제거량 증가하는 것으로 나타났다. 또한 두 종 모두 처리간에는 20%가 40, 60%보다 제거량이 높은 것으로 나타났다. 따라서 *Pseudomonas putida* 페라이트에 고정화하여 20%정도 혼합하여 사용할 경우 톨루엔 제거 효과적인 것으로 나타났다.

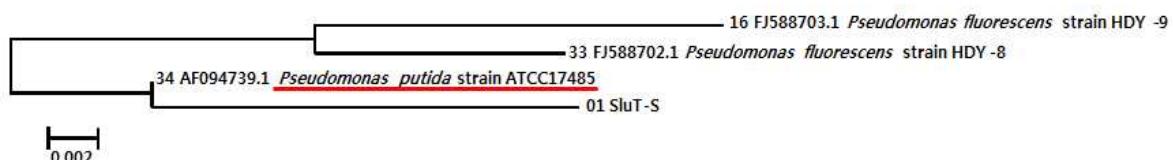
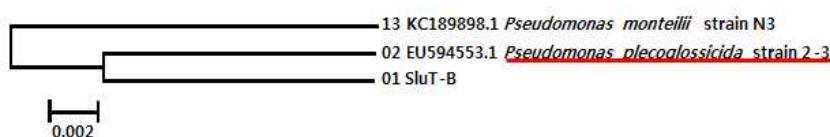
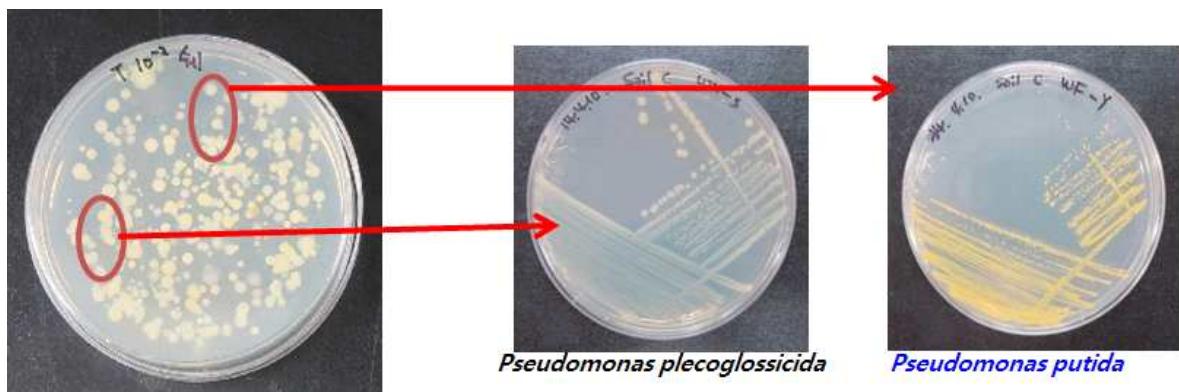


그림 18. 톨루엔 제거에 우수한 균권부 미생물을 선발



Perlite
약 5-7mm

펄라이트 준비

Perlite (10kg) → 0.1M HCl → DW washing → Autoclaving → 건조



Pseudomonas putida
(배양액 6L)와 혼합

Nutrient broth 3L x 2

그림 19. 미생물 접종용 펄라이트 배지 준비



Washing 및 건조 완료 된 perlite

배양 조건
-25°C, 150rpm, 24hr 배양 후 고정화에 사용

그림 20. 선발된 균권부 미생물 배양 및 고정화

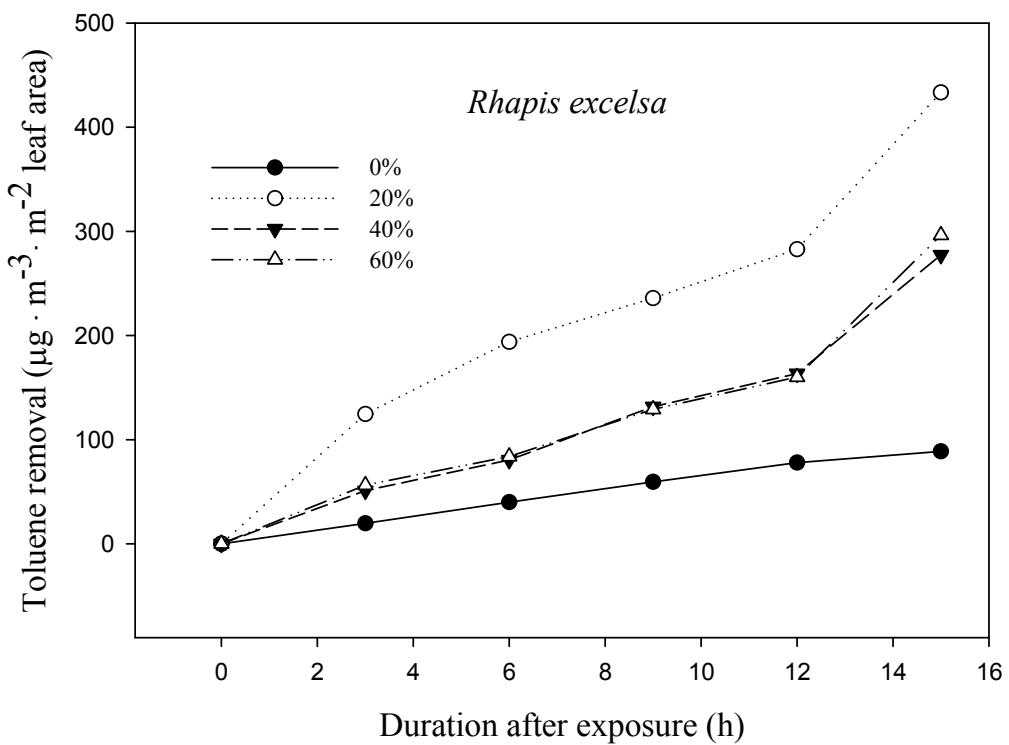


그림 21. 고정화된 펠라이트 혼합비율에 따른 관음죽의 톨루엔 제거 효과

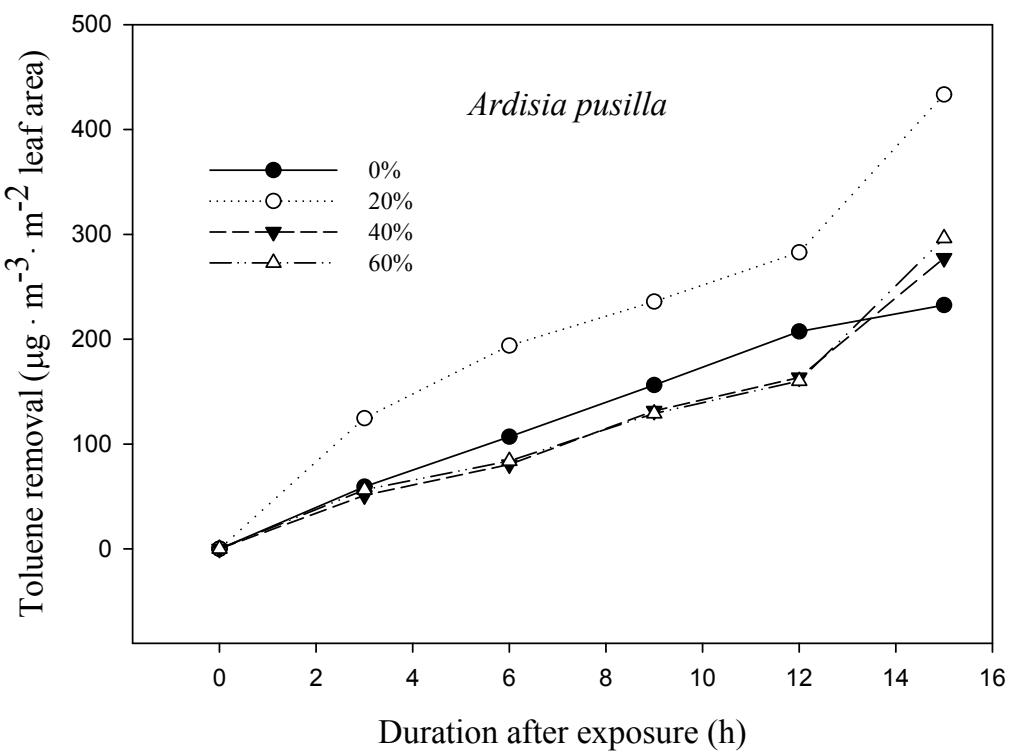


그림 22. 고정화된 펠라이트 혼합비율에 따른 산호수의 톨루엔 제거 효과

나. 톨루엔 처리에 따른 화분 토양층내 미생물 분포 구명

- 화분이 실내 오염물질에 노출되었을 경우 토양 내 미생물의 분포 특성을 구명하기 위해 실험을 실시하였다. 실내식물은 산호수와 관음죽을 사용하였으며, 배양토는 믹스 #4, 유기물(바이오 콤) 1, 모래 1(5:1:1, v/v/v)로 하였다. 약 2ppm의 톨루エン을 2일 동안 처리한 후 화분 토양의 표층, 중간, 바닥 층에 배양토를 채취하여 미생물의 종류와 양을 조사하였다. 그 결과 산호수와 관음죽 모두 토양층별 미생물량은 표면, 바닥, 중간 부분 순으로 나타났다. 잔뿌리가 많은 산호수의 경우에는 층별 미생물량이 큰 차이를 보였으나, 잔뿌리가 상대적으로 적은 관음죽은 토양층별로 차이가 크지 않았다. 또한 미생물을 동정한 결과 산호수의 미생물 분포는 토양층별로 차이가 나타났다. 표층에서는 Uncultured bacterium이 대부분 분포하였으나, 중간 부분에서 *Porphyrobacter* sp.과 *Thiohalobacter thiocyanaticus*이 나타났으며, 바닥부에서는 Uncultured bacterium 이외에 *Spirochaeta* sp.와 *Ralstonia* sp.이 분포하는 것으로 확인되었다. 관음죽의 토양층별에 따른 미생물 분포는 표층, 중간, 바닥 층에서 *Spirochaeta* sp. 한 종의 미생물이 동일하게 분포 하였으며, 이외에 *Pseudomonas* sp., Uncultured gamma proteobacterium 및 *Ralstonia* sp.가 표층, 중간, 바닥 층에 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 결론적으로 미생물량은 산호수와 관음죽 토양의 중간층이 가장 적고, 대부분 표층 및 바닥층에 분포하는 것으로 나타났다. 특히, 산호수와 관음죽 토양에서 동일하게 확인된 미생물 종류는 *Pseudomonas* sp., *Ralstonia* sp. 및 *Spirochaeta* sp.이며, 이들 미생물은 주로 토양 바닥층에 분포한 것으로 구명되었다.

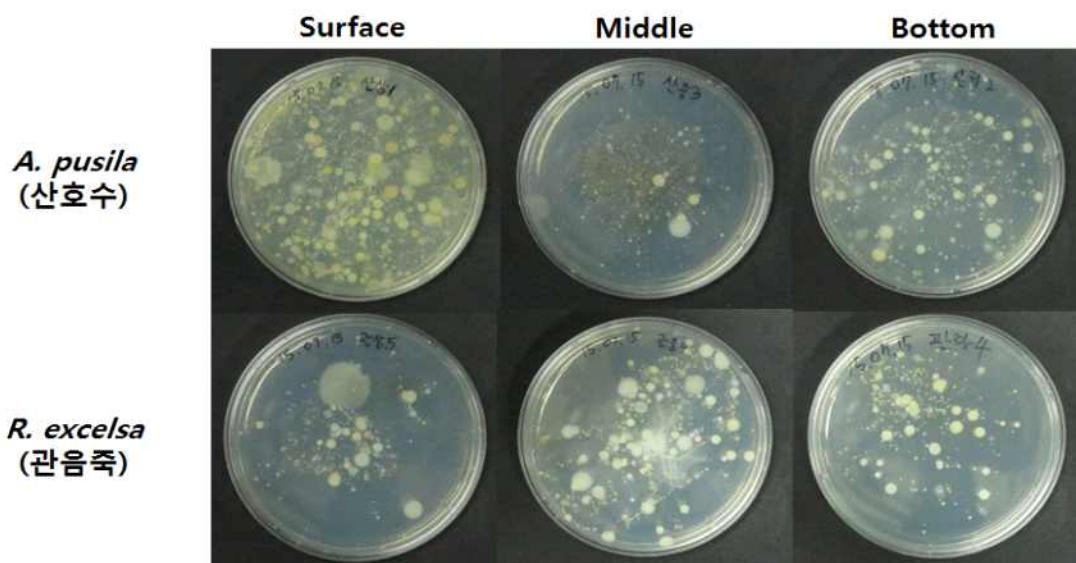


그림 23. 근권부의 토양 층별 미생물 배양 과정

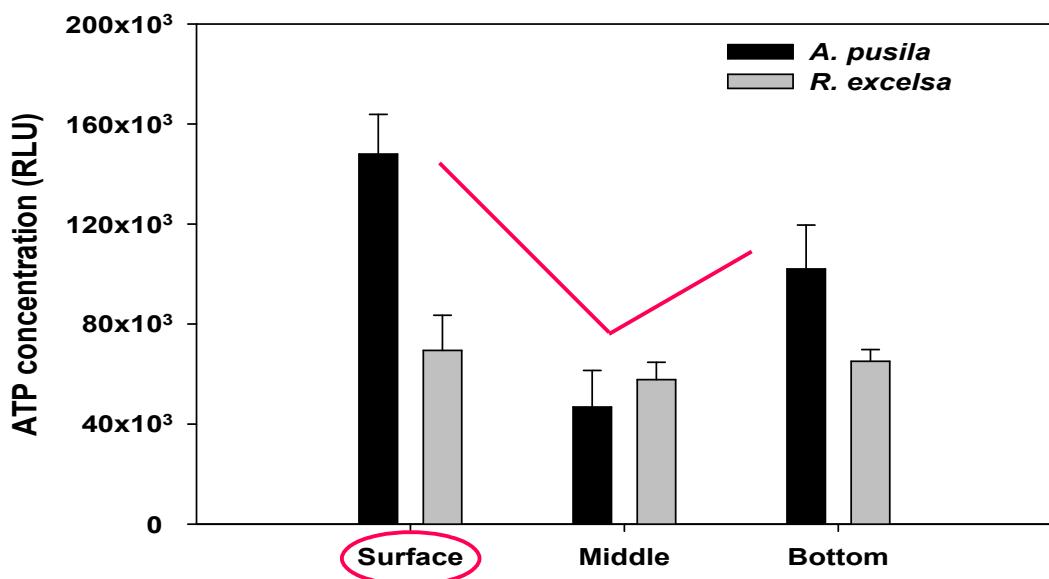


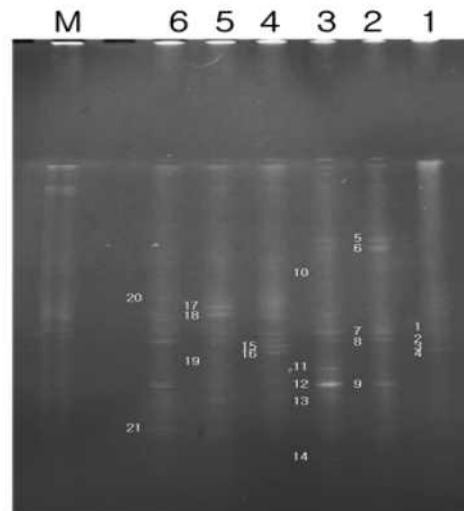
그림 24. 근권부의 토양 충내 미생물 분포

표 1. 근권부의 토양 충내 미생물 분포

Scientific name	Position of pot plants	ATP concentration (RLU) ¹				
		1 ²	2	3	4	5
<i>Ardisia pusila</i>	Surface	147,306	185,758	176,762	132,282	97,788
	Middle	98,949	39,104	51,085	34,596	10,417
	Bottom	148,400	109,333	126,211	76,389	49,783
<i>Rhipis excelsa</i>	Surface	76,292	82,994	104,880	20,186	63,025
	Middle	40,525	62,708	41,976	74,159	69,431
	Bottom	55,342	64,863	76,213	53,984	75,096

¹ RLU: Relatively Light Unit

² Numbering pot plants tested



- 1: *Ardisia pusilla* (Surface)
- 2: *Ardisia pusilla* (middle)
- 3: *Ardisia pusilla* (bottom)
- 4: *Rhipis excelsa* (Surface)
- 5: *Rhipis excelsa* (middle)
- 6: *Rhipis excelsa* (bottom)

그림 25. 근권부의 토양 층내 미생물 종류 동정 사진

표 2. 근권부의 토양 층내 미생물 종류 동정

	Scientific name of microorganisms	<i>Ardisia pusilla</i>			<i>Rhipis excelsa</i>		
		surface	middle	bottom	surface	middle	bottom
1	Uncultured beta proteobacterium clone HG-J02100	+	-	-	-	-	-
2	Uncultured beta proteobacterium clone M1-057	+	-	-	-	-	-
3	Uncultured bacterium clone DK15	+	-	-	-	-	-
4	Uncultured Methylophilus sp. isolate DGGE gel band LVo-W118	+	+	-	-	-	-
5	<i>Porphyrobacter</i> sp. K-NB-10	-	+	-	-	-	-
6	<i>Thiohalobacter thiocyanaticus</i> strain HRh1	-	+	-	-	-	-
7	<i>Spirochaeta</i> sp. MWH-HuW24 partial 16S rRNA gene, isolate MWH-HuW24	-	+	+	+	+	+
8	Uncultured Firmicutes bacterium clone MR97_wet_c09	-	-	+	+	+	+
9	Uncultured Alphaproteobacteria bacterium	-	-	+	-	-	-
10	Uncultured Betaproteobacteria bacterium	-	-	+	-	-	-
11	<i>Ralstonia</i> sp. AET-6-14	-	+	+	-	-	+
12	Uncultured gamma proteobacterium clone AFR_154	-	-	+	-	+	+
13	Uncultured proteobacterium clone EV221H2111601SAH10	-	-	-	-	-	-
14	Uncultured beta proteobacterium clone M1-057	-	-	-	+	-	-
15	<i>Halomonas</i> sp. clone SBL10	-	-	-	+	-	-
16	<i>Pseudomonas</i> sp. SN_52	-	-	-	-	-	+
17	<i>Pseudomonas</i> sp. RB5-M5	-	-	+	+	+	-
18	Uncultured bacterium clone CarbonSeq10a_030410_D05	-	-	-	-	+	-
19	<i>Spirochaeta</i> sp. MWH-HuW8	-	-	-	-	-	+
20	Uncultured bacterium clone Transfer_2H08	-	-	-	-	-	+

<3 년차>

□ 연구수행 방법

가. “바이오 월” 패널 층의 뿌리 밀도별 휘발성유기화합물(VOC) 제거효과 구명

식물재료는 아글라오네마를 이용하였다. 바이오 월 패널에 뿌리 발달 정도에 따라 나누어 톨루엔을 처리하였다. GC/MS를 활용하여 톨루엔 제거 등을 조사하였다.

나. 토양 첨가물질을 활용한 휘발성유기화합물(VOC) 제거율 향상효과 탐색

식물재료는 관음죽과 산호수를 이용하였으며 *Pseudomonas putida*가 고정된 Zeolite, Hydroball을 배양토에 20% 혼합하여 식재하였다. 톨루엔을 처리하여 GC/MS로 제거량을 측정하였다.

□ 연구 주요결과

가. “바이오 월” 패널 층의 뿌리 밀도별 휘발성유기화합물(VOC) 제거효과 구명

- 뿌리 발달 정도별 휘발성유기화합물(VOC) 제거효과를 측정하기 위하여 소형 바이오 월을 개발하였다. 그리고 아글로네마를 패널에 식재한 후 재배하여 뿌리 발달 정도에 따라 상(뿌리 부피 100mL, 뿌리 생체중 69.5g), 중(뿌리 부피 60mL, 뿌리 생체중 53.5g), 하(뿌리 부피 40mL, 뿌리 생체중 29.1g)를 선별하여 톨루엔 제거량을 측정하였다. 그 결과 뿌리 발달이 하, 중, 상으로 될수록 톨루엔 단위엽면적당 제거 효율이 증가하는 경향을 나타냈다. 또한 시간에 따라 제거량이 크게 증가하여 1시간당 챔버 별로 약 $100\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 정도 제거 되었다. 시간당 제거효율도 뿌리 발달이 적고 밀도가 낮은 처리에 비해 뿌리 발달이 좋은 상에서 효율이 향상되는 것으로 나타났다.



그림 26. 패널의 뿌리 발달정도(좌), 소형 바이오 월(중), 측정 사진(우)

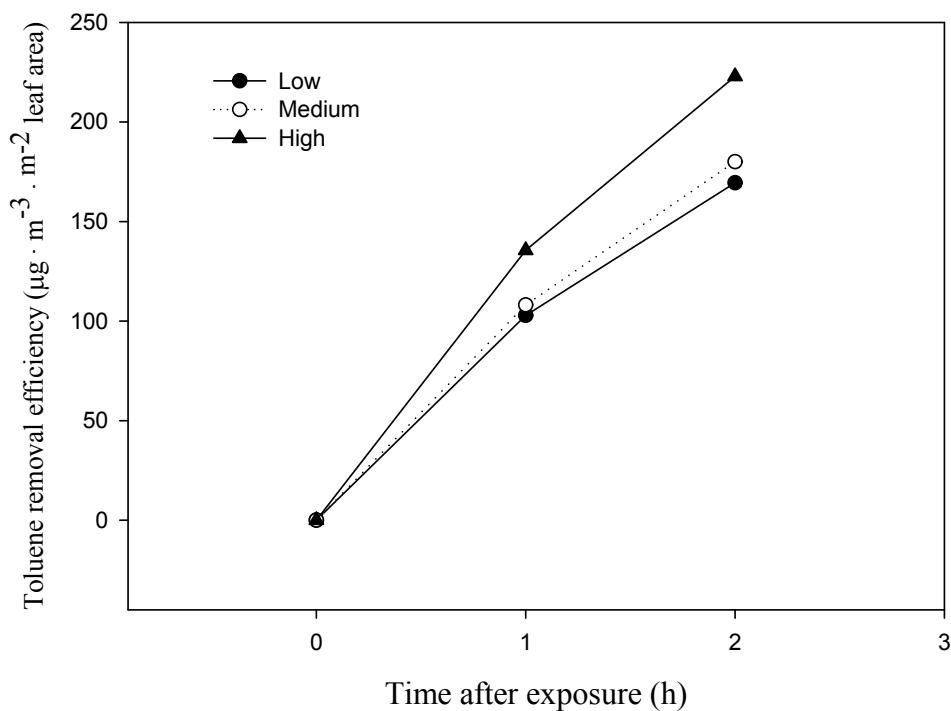


그림 27. 패널의 뿌리 발달정도에 따른 톨루엔의 단위엽면적당 제거 효율: 상(뿌리 부피 100mL, 뿌리 생체중 69.5g), 중(뿌리 부피 60mL, 뿌리 생체중 53.5g), 하(뿌리 부피 40mL, 뿌리 생체중 29.1g)

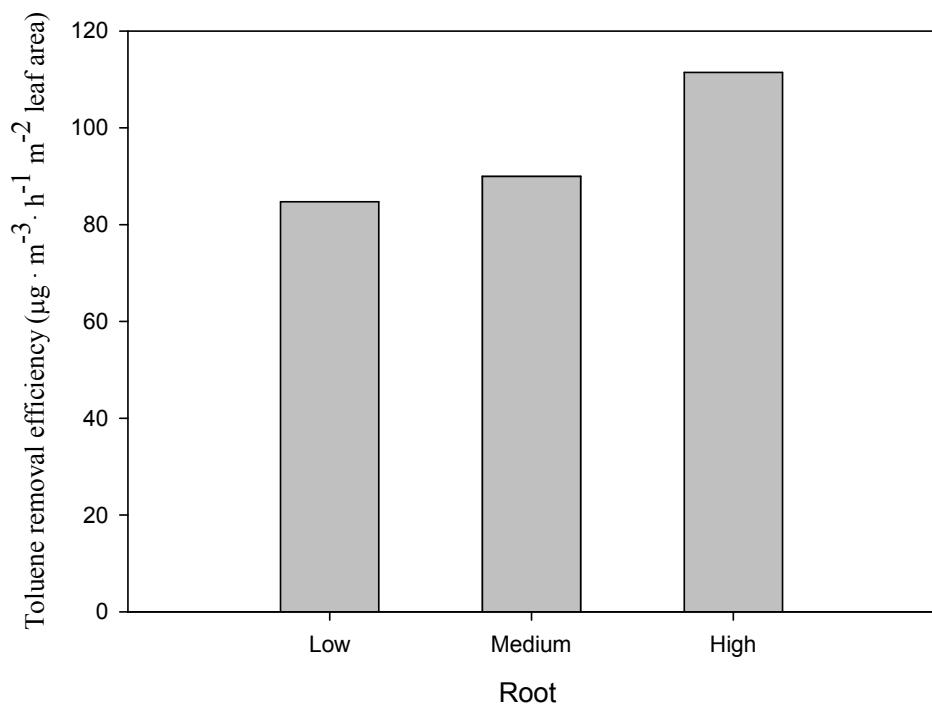


그림 28. 패널의 뿌리 발달정도에 따른 톨루엔의 시간당 제거 효율: 상(뿌리 부피 100mL, 뿌리 생체중 69.5g), 중(뿌리 부피 60mL, 뿌리 생체중 53.5g), 하(뿌리 부피 40mL, 뿌리 생체중 29.1g)

나. 토양 첨가물질을 활용한 휘발성유기화합물(VOC) 제거율 향상효과 탐색

- 관음죽의 톨루엔 제거량은 기본 배양토인 대조구에 비해 *P. putida*를 고정한 하이드로볼을 20% 혼합한 처리구에서 가장 높게 나타났다. 톨루엔 주입 3시간 후에 제거량은 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 $2.1\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 많은 것으로 차이는 미미하였다. 대조구에 비해 제올라이트 20%에서 톨루엔 제거량이 $10.6\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 로 나타나 대조구와 하이드로볼 20%보다 제올라이트 20%가 가장 높았다. 톨루엔 주입 12시간 후 제거량은 대조구에 비해 제올라이트 20%에서 $4.7\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 많게 나타나 차이는 미미하였다. 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 톨루엔 제거량이 $28.6\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 높은것으로 나타나 주입 후 12시간 측정에서의 톨루엔 제거량은 하이드로볼 20%에서 가장 높았다. 톨루엔 주입 15시간 후 제거량은 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 약 1.2배로 가장 높게 나타났다. 대조구에 비해 제올라이트 20%에서 약 1.1배 많았다. 톨루엔 제거량은 제올라이트 20%에 비해 하이드로볼 20%에서 $13.8\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2}\text{leaf area}$ 높게 나타나 하이드로볼 20%에서 가장 높았다.

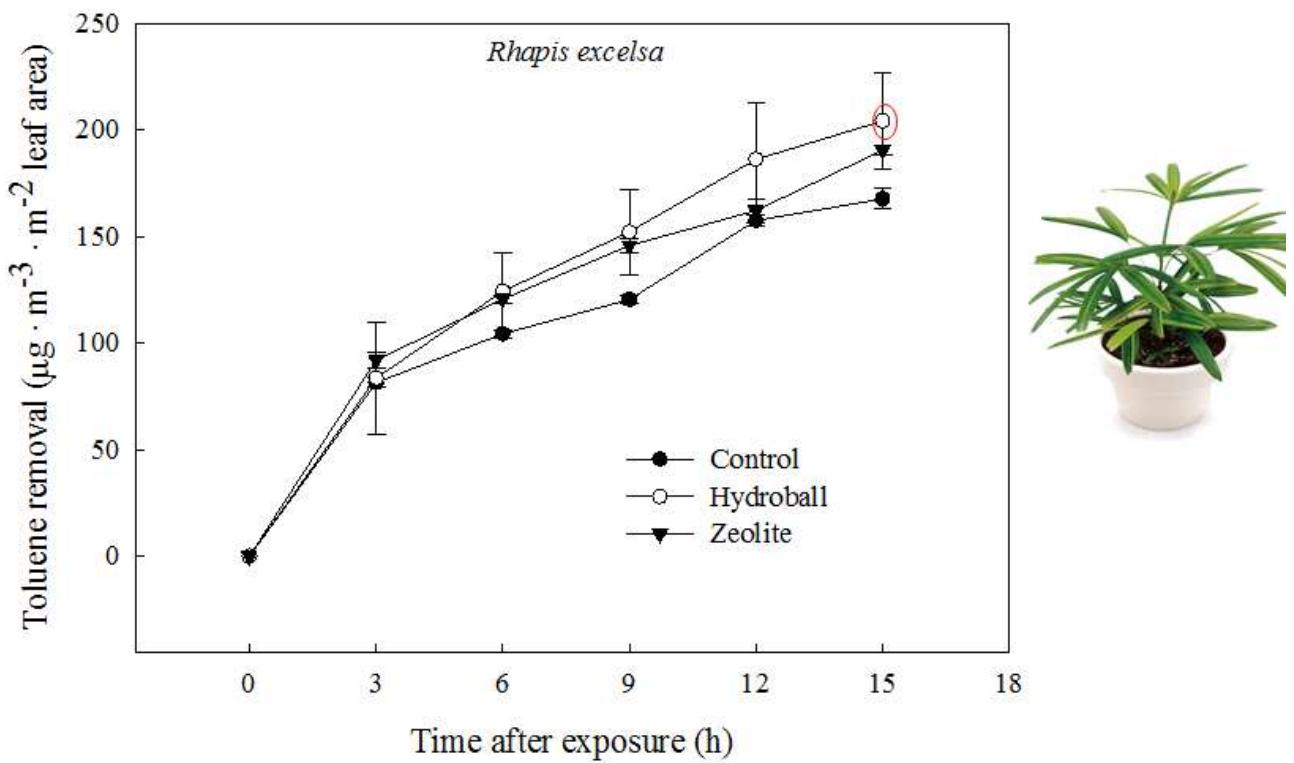


그림 29. *Pseudomonas putida*가 고정된 Zeolite, Hydroball을 혼합한 배양토에 식재된 관음죽의 톨루엔 제거량

- 산호수의 툴루엔 제거량은 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 가장 높게 나타났다. 툴루엔 주입 3시간 후 제거량이 대조구에 비해 제올라이트20%에서 약 2.9배 높게 나타났다. 대조구에 비해 하이드로볼 20% 에서는 툴루엔 제거량이 약 1.5배 증가하였다. 툴루엔 제거량이 하이드로볼 20%와 제올라이트 20%에서 각각 $50.2, 78.6\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 으로 나타나 하이드로볼 20%에 비해 제올라이트 20%에서 $28.4\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 많은 것으로 나타났다. 툴루엔 주입 15시간 후 제거량이 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 1.1배 높은 것으로 나타났다. 툴루엔 제거량이 대조구에 비해 제올라이트 20%에서 약 1.6배 높게 나타났다. 툴루엔 주입 3시간 후 툴루엔 제거량이 제올라이트20%에서 가장 높았으나 툴루엔 주입 6시간 후 차이는 미미하나 제올라이트20%보다 하이드로볼 20%가 $5.4\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 높은것으로 나타났다. 이 후의 측정에서도 같은 경향을 보였으며 마지막 측정인 툴루엔 주입 15시간 후 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 툴루엔 제거량이 약 1.9배 많게 나타났다. 대조구에 비해 제올라이트20% 에서는 툴루엔 제거량이 약 1.4배 높았다. 제올라이트20%에 비해 하이드로볼 20%에서 툴루엔 제거량이 $67.9\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 많게 나타났으며 하이드로볼 20%에서 가장 높게 나타났다.

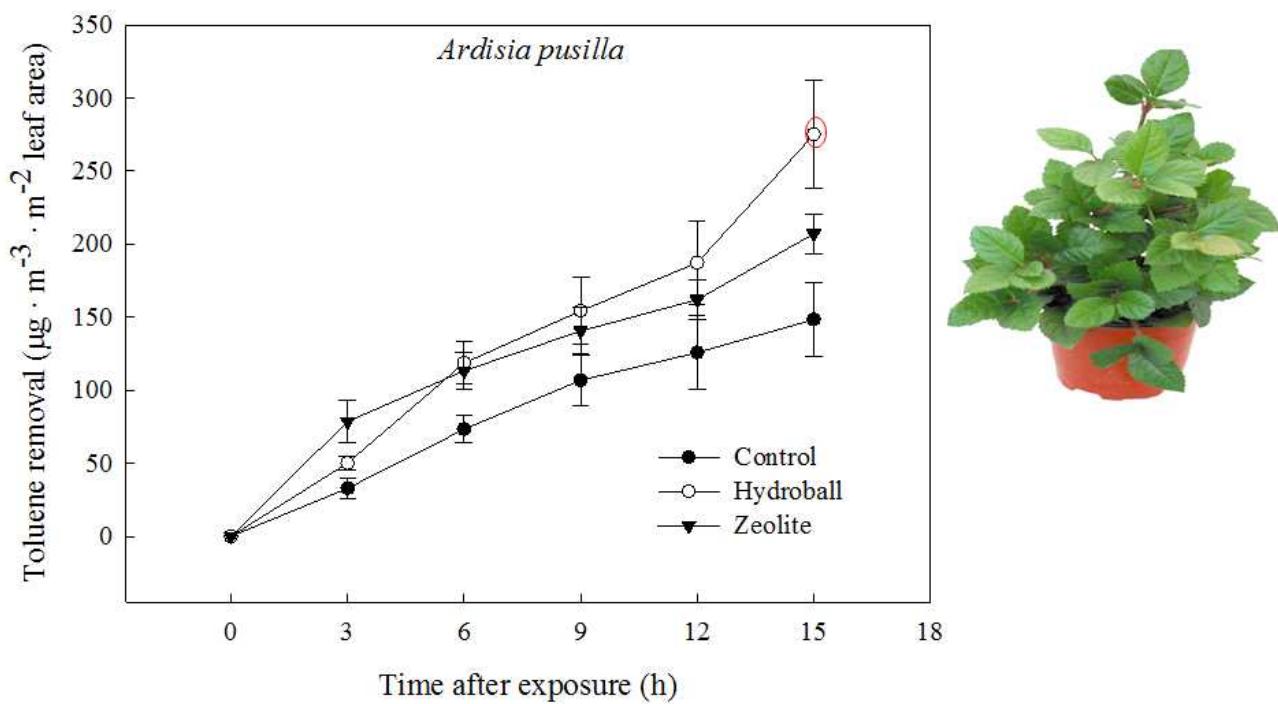


그림 30. *Pseudomonas putida*가 고정된 Zeolite, Hydroball을 혼합한 배양토에 식재된 산호수의 툴루엔 제거량

- 톨루엔 제거효율은 두 종류 모두 미생물을 고정한 하이드로볼 20%에서 높게 나타났다. 대조구에 비해 관음죽의 제올라이트 20%에서 톨루엔 제거효율이 $1.5\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 높게 나타났다. 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서 톨루엔 제거효율이 더 높았으며 제올라이트 20%에 비해 하이드로볼 20%에서 약 $0.9\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 높게 나타났다. 대조구에 비해 산호수의 제올라이트 20%에서 톨루엔 제거효율이 $3.9\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 증가하였다. 대조구에 비해 하이드로볼 20%에서는 톨루엔 제거효율이 약 1.9배 높았다. 제올라이트 20%에 비해 하이드로볼 20%에서 톨루엔 제거효율이 약 1.3배 높은 것으로 나타났다. 관음죽의 톨루엔 제거효율은 평균 $12.5\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$, 산호수는 평균 $14.0\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 으로 관음죽에 비해 산호수에서 $1.5\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 높은 것으로 나타났다. 관음죽 대조구, 하이드로볼 20%, 제올라이트 20%의 톨루엔 제거효율은 각각 $11.2, 13.6, 12.7\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 로 측정되었다. 산호수는 대조구, 하이드로볼 20%, 제올라이트 20%의 톨루엔 제거효율은 각각 $9.9, 18.3, 13.8\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-2} \text{leaf area}$ 로 나타났다.

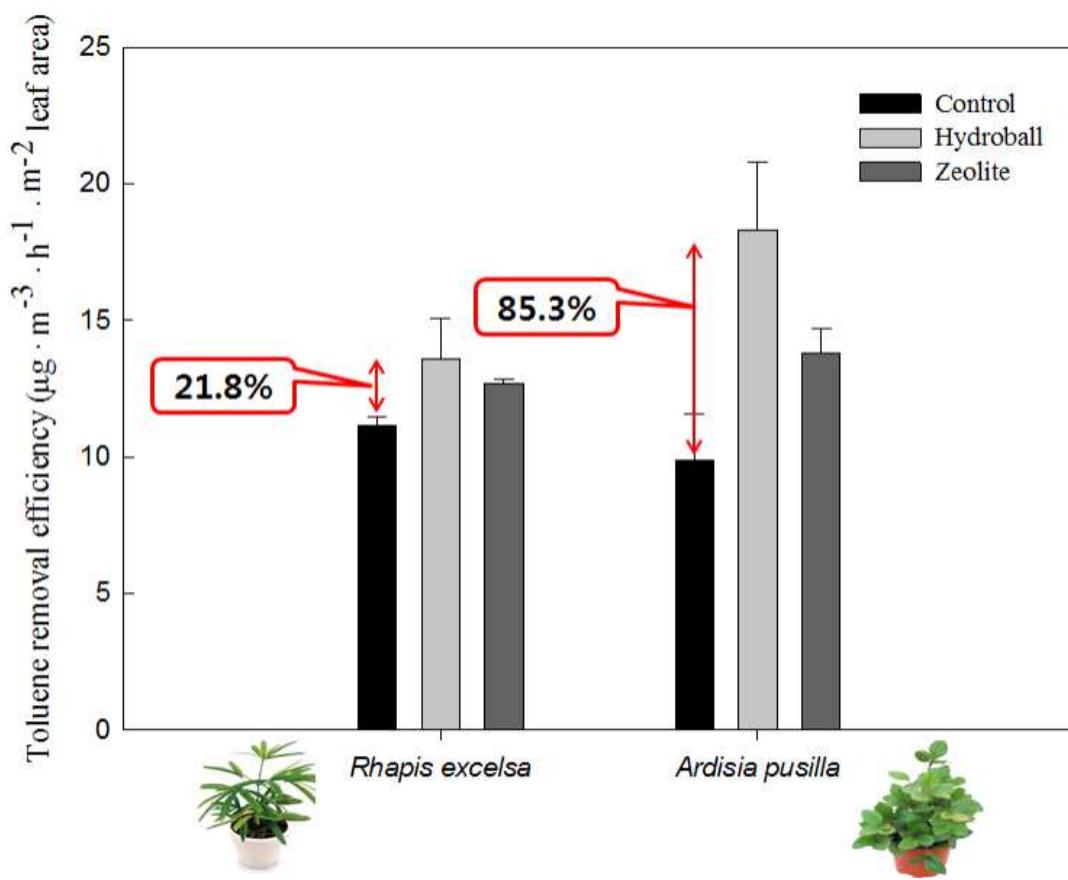


그림 31. *Pseudomonas putida*가 고정된 Zeolite, Hydroball을 혼합한 배양토에 식재된 실내식물의 톨루엔 제거 효율

- 하이드로볼, 제올라이트에 *P. putida* 가 고정되었는지 확인하기 위해 광학현미경로 검경 하였다. 그 결과 *P. putida*가 펄라이트, 하이드로볼, 제올라이트에 고정 된 것을 확인하였다. 미생물을 고정하여 배지에 혼합 후 톨루엔에 노출시킨 화분의 뿌리 일부분을 FISH로 분석 결과 뿌리에 Bacteria(Green)와 *P. putida*(Red)가 존재하는 것으로 나타났다.

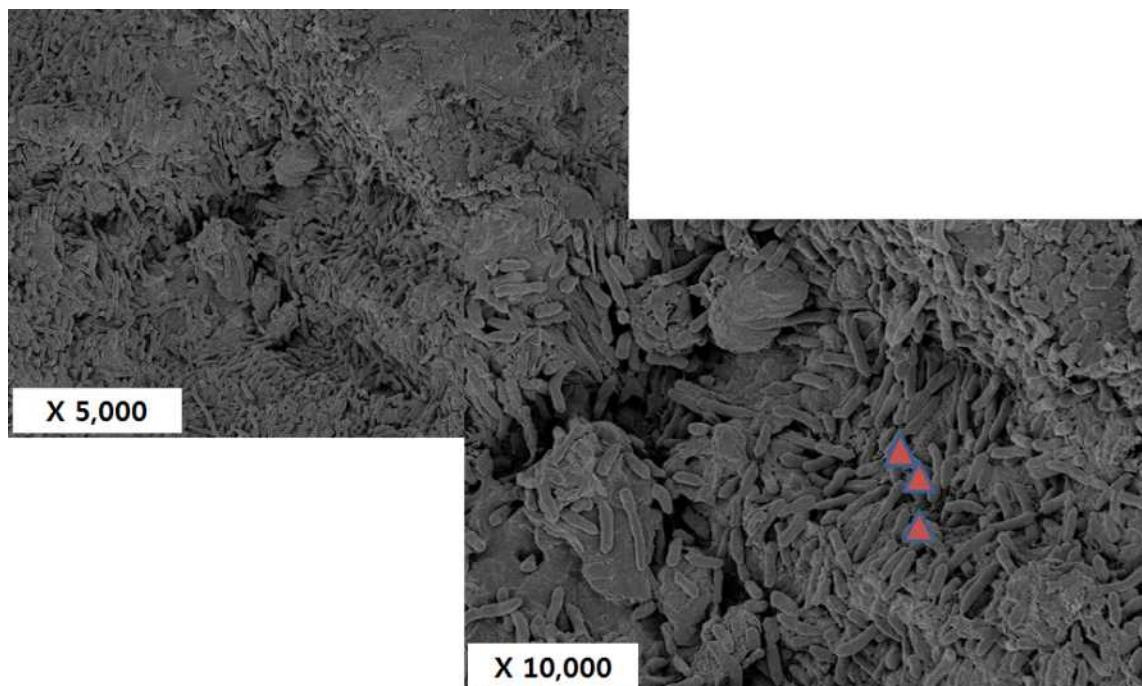


그림 32. 전자현미경으로 Hydroball에 고정된 *Pseudomonas putida* 확인

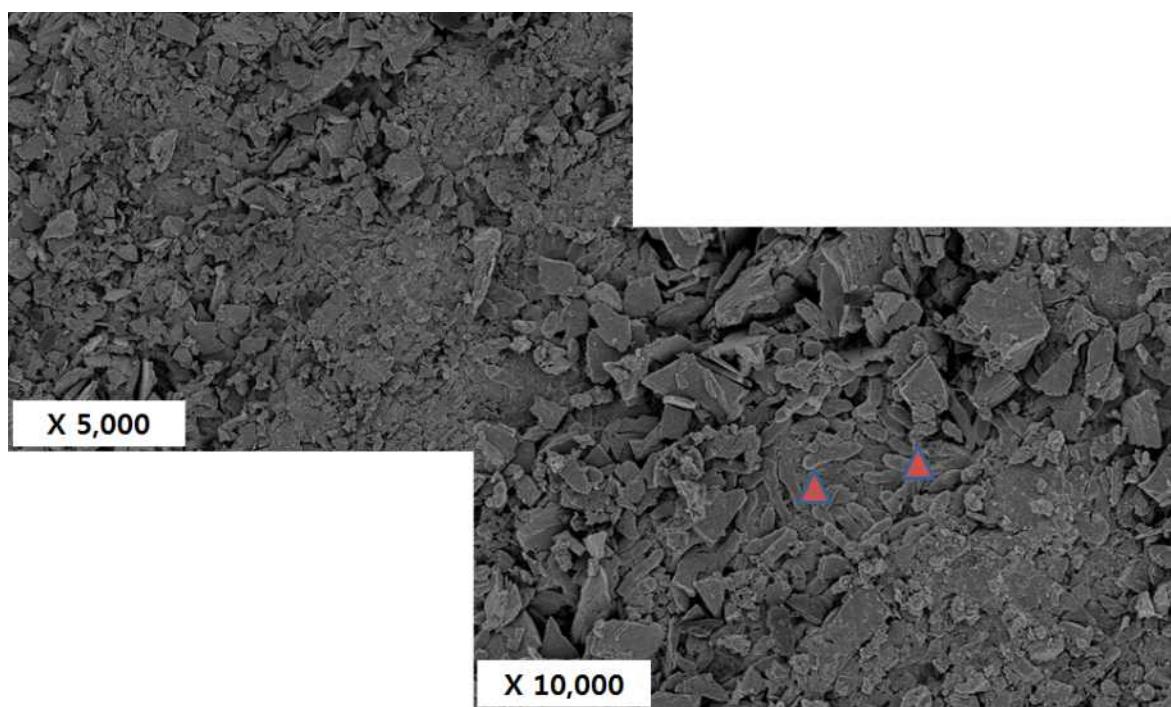


그림 33. 전자현미경으로 Zeolite에 고정된 *Pseudomonas putida* 확인

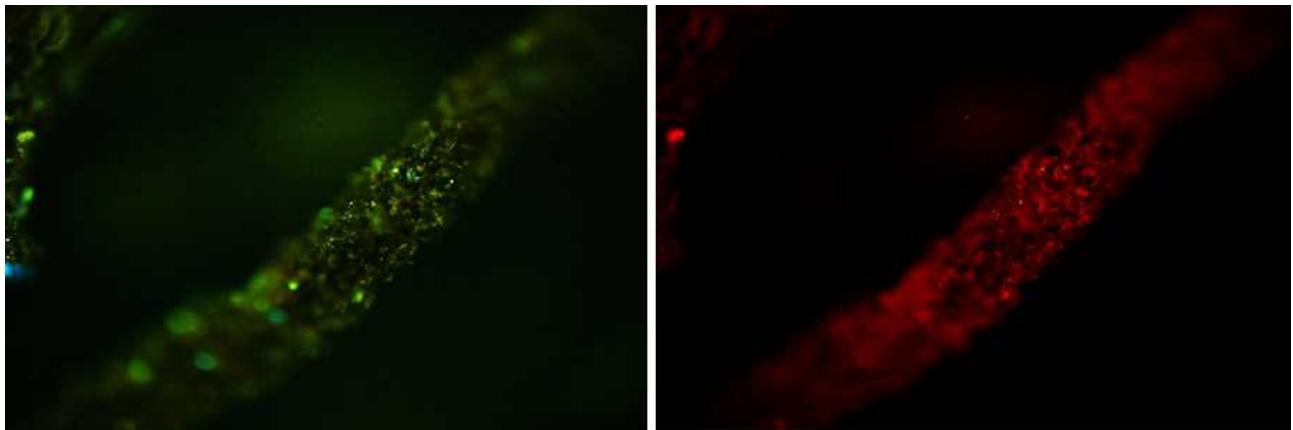


그림 34. FISH(Fluorescent In Situ hybridization) 수행을 통해 뿌리에 고정된 *Pseudomonas putida* 확인, Red: *P. putida*, Green: Bacteria

<1협동과제 : 휘발성 유기화합물 (VOCs) 정화에 관련된 원예식물의 근권부 미생물 탐색>

<1년차>

1. 재료 및 방법

가. 다양한 식물 (목본성, 초본성)의 근권 미생물 분리, 동정과 VOCs의 종류 (3가지)에 따른 근권 미생물의 군집 변화 및 우점종 조사

실험방법으로는 목본성, 초본성 등 식물이 식재된 토양과 활성슬러지, 기름 오염 토양을 채취하였다. 채취한 토양에 VOCs를 공급하여 배양한 뒤 미생물 분리, 동정 및 DGGE를 이용하여 군집을 확인하였다. 실험내용은 VOCs 제거가 가능할 것으로 생각되는 미생물을 분리, 보관하였다.

나. VOCs 농도별 근권 미생물의 증식 특성 및 VOCs 제거 효율 조사

실험방법으로는 세 종류의 VOCs (Toluene, xylene, formaldehyde) 농도를 다르게 공급하여 근권 미생물을 배양하였다. VOCs 등을 GC/FID로 측정하였다. 실험 내용은 다른 VOCs 조건에서 VOCs 제거 및 생장 가능한 미생물을 추가로 선별하였다.

다. 근권 미생물의 유해성 및 생태학적 중요도 관련 특성 조사

실험방법으로는 식물의 근권부에서 분리, 동정된 미생물 각각의 특성을 문현을 통하여 조사하였다. 추가로 분리된 미생물이 수생식물의 생장에 영향을 미치는지 알아보았다.

2. 주요 결과

가. 다양한 식물 (목본성, 초본성)의 근권 미생물 분리, 동정과 VOCs의 종류 (3가지)에 따른 근권 미생물의 군집 변화 및 우점종 조사

그림 1. 과 같은 VOCs 공급 장치를 설치하여 근권 미생물을 농화배양 하였다. 그림 2. 는 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부에서 분리된 미생물을 VOCs 종류별로 공급하여 각 VOCs에 내성을 갖는 균주를 확인하였다. 확인한 결과, toluene을 공급하였을 때(A), 목본성 식물의 근권부에서 분리된 미생물이 초본성 식물의 근권부에서 분리된 미생물보다 내성을 지닌 미생물이 더 많은 균주가 나타나는 것으로 확인되었다. 또한, 그림 2. (B)는 xylene을 공급하였을 때, xylene에 내성을 지닌 미생물을 분리한 결과로서, toluene 공급보다 미생물 종류 및 양에서 적게 나타나는 것으로 확인되었다. 그림 2. (C)는 formaldehyde을 공급하였을 때, formaldehyde에 내성을 지닌 미생물을 분리한 결과로서, toluene 및 xylene 공급보다 미생물이 거의 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

이와 같은 결과는 식물의 근권부에서 분리된 미생물 중에, toluene 및 xylene에 대하여 내성을 갖거나, toluene 및 xylene을 분해할 수 있는 미생물이 다수 존재하는 것으로 판단된다. 그러나, formaldehyde의 경우에는 formaldehyde에 내성을 갖거나 분해능을 갖는 미생물은 거의 존재하지 않는 것으로 판단된다.

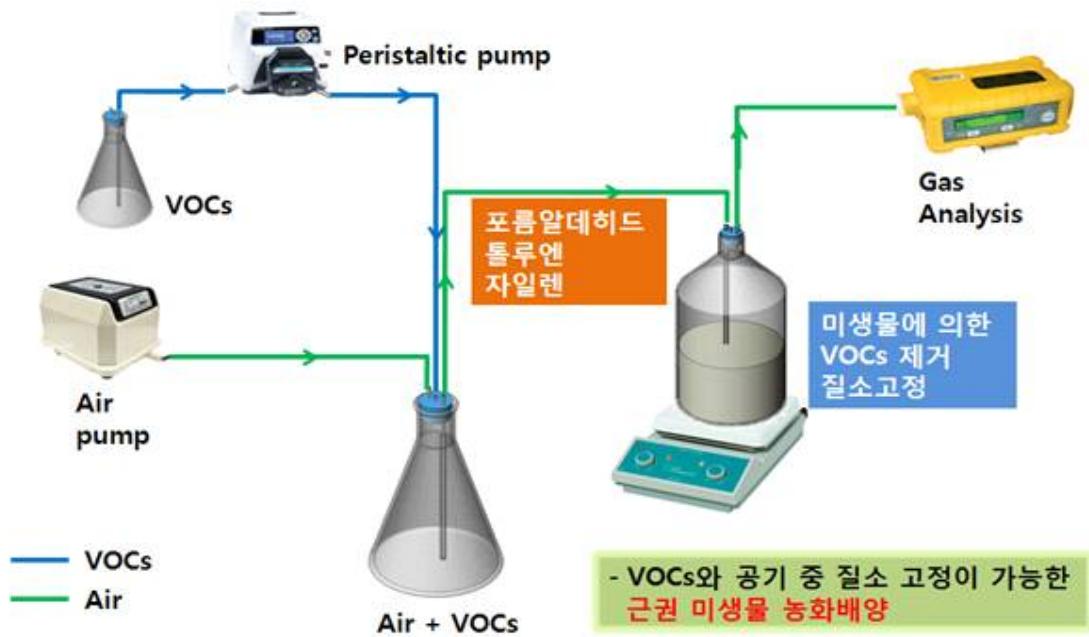


그림 1. 본 연구에서 사용된 VOCs를 이용한 근권 미생물 농화배양 장치.

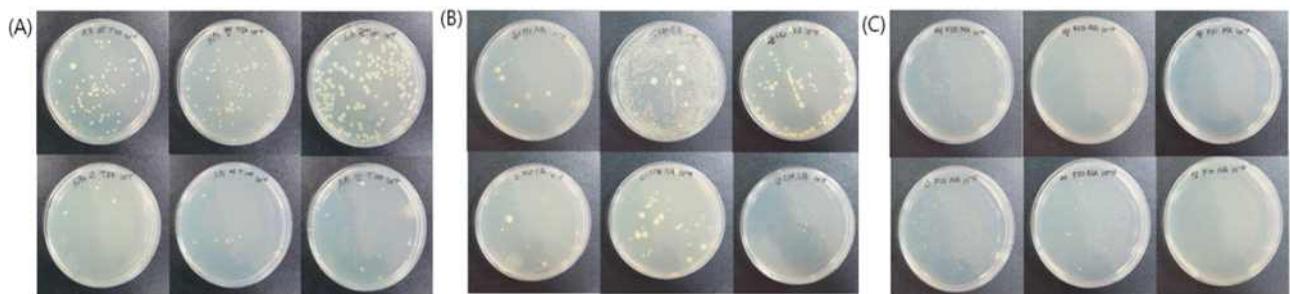


그림 2. VOCs 종류에 따른 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부에서 분리된 미생물
((A): Toluene 공급, (B): Xylene 공급, (C): Formaldehyde 공급).

표 1. VOCs 종류에 따른 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부에서 분리된 미생물

분류	식물명 (학명)	VOCs	Strains
목본성 식물	쉐플레라 <i>(S. actinophylla)</i>	Toluene	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>
		Xylene	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>
		Formaldehyde	<i>Pseudomonas</i> sp.
	벵갈고무나무 <i>(F. benghalensis)</i>	Toluene	<i>Pseudomonas umsongensis</i>
		Xylene	<i>Paenibacillus</i> sp.
		Formaldehyde	—
초본성 식물	관음죽 <i>(R. flabelliformis)</i>	Toluene	<i>Pseudomonas umsongensis</i>
		Xylene	<i>Pseudomonas vancouverensis</i>
		Formaldehyde	—
	스킨답서스 <i>(E. pinnatum)</i>	Toluene	<i>Pseudomonas vancouverensis</i>
		Xylene	<i>Pseudomonas migulae</i>
		Formaldehyde	<i>Micrococcus luteus</i>
	아이비 <i>(H. helix)</i>	Toluene	<i>Pseudomonas</i> sp.
		Xylene	<i>Arthrobacter nitroguajacolicus</i>
		Formaldehyde	<i>Micrococcus luteus</i>
	산호수 <i>(A. pusilla)</i>	Toluene	<i>Moraxella osloensis</i>
		Xylene	<i>Arthrobacter nitroguajacolicus</i>
		Formaldehyde	—

표 1. 은 근권부 토양 혼탁액에 VOCs의 종류를 달리하여 주입하였을 때, 미생물의 차이를 확인한 결과이다. 그럼 2.의 formaldehyde 공급 결과와 같이, 미생물이 동정되지 않았으며, toluene 및 xylene에서 분리된 미생물은 총 15종 동정되었다. 특히, 15종의 미생물 중 10종이 *Pseudomonas* 속의 미생물로 확인되었다. 이와 같은 결과는 식물의 근권부에서 존재하는 미생물 중에 toluene 및 xylene에 내성을 갖거나 분해능을 갖는 미생물은 *Pseudomonas* 속일 가능성성이 높은 것으로 판단된다. 또한, 목본성 식물의 근권부에서 분리된 미생물은 대부분이 *Pseudomonas* 속으로 확인되었으나, 초본성 식물의 근권부에서 분리된 미생물은 *Micrococcus luteus*, *Arthrobacter nitroguajacolicus* 및 *Moraxella osloensis* 등이 확인되었다.



그림 3. VOCs를 공급하여 배양 된 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부에서 분리 및 동정된 미생물.

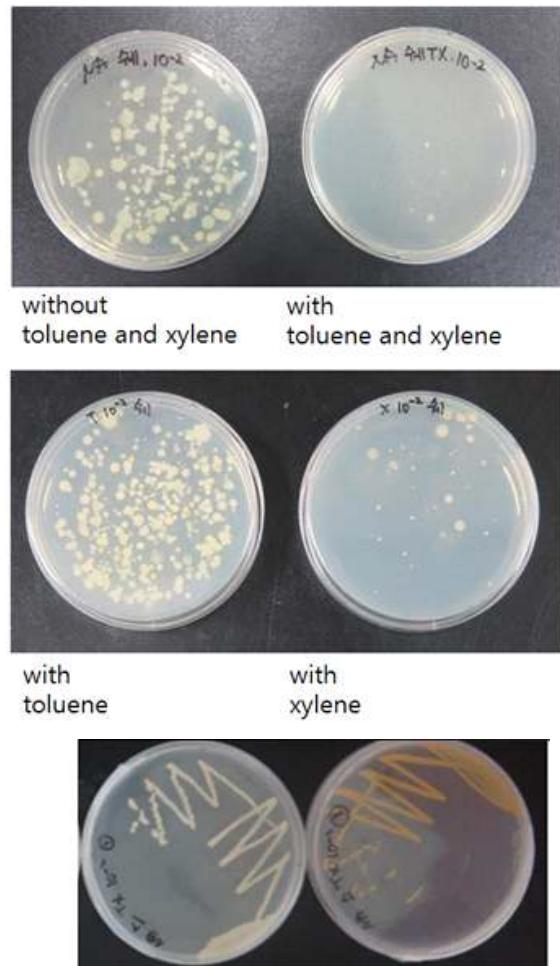


그림 3.은 toluene, xylene을 노출하여 식물을 배양한 후, 목본성, 초본성 식물의 근권부의 미생물을 분리한 결과이다. 그림 3.과 같이 toluene을 노출하였을 때, toluene과 xylene을 노출하지 않는 대조군과 비교하여 미생물의 양이 증가한 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 toluene 노출 시, toluene을 분해하는 미생물의 증식에 따른 결과로 판단된다. 반면에, xylene을 노출하거나, toluene과 xylene을 동시에 노출한 경우, 그림 3.과 같이 미생물의 양이 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 xylene의 영향으로 미생물이 감소하거나 사멸되어 xylene을 분해하는 미생물이 거의 존재하지 않는 것으로 판단된다.

표 2. VOCs를 공급하여 배양 된 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부에서 분리 및 동정된 미생물

표 2.는 toluene, xylene을 노출하여 식물을 배양한 후, 목본성, 초본성 식물의 근권부의 미생물을 동정한 결과이다. 총 11 종의 미생물이 동정되었고, 그 중, *Bacillus cereus*와 *Pedobacter* sp.가 식물 6종의 근권부에서 모두 확인되었다. 특히, *Pedobacter* sp.는 목본성 식물 3종의 근권부 모두에서 확인되었다.

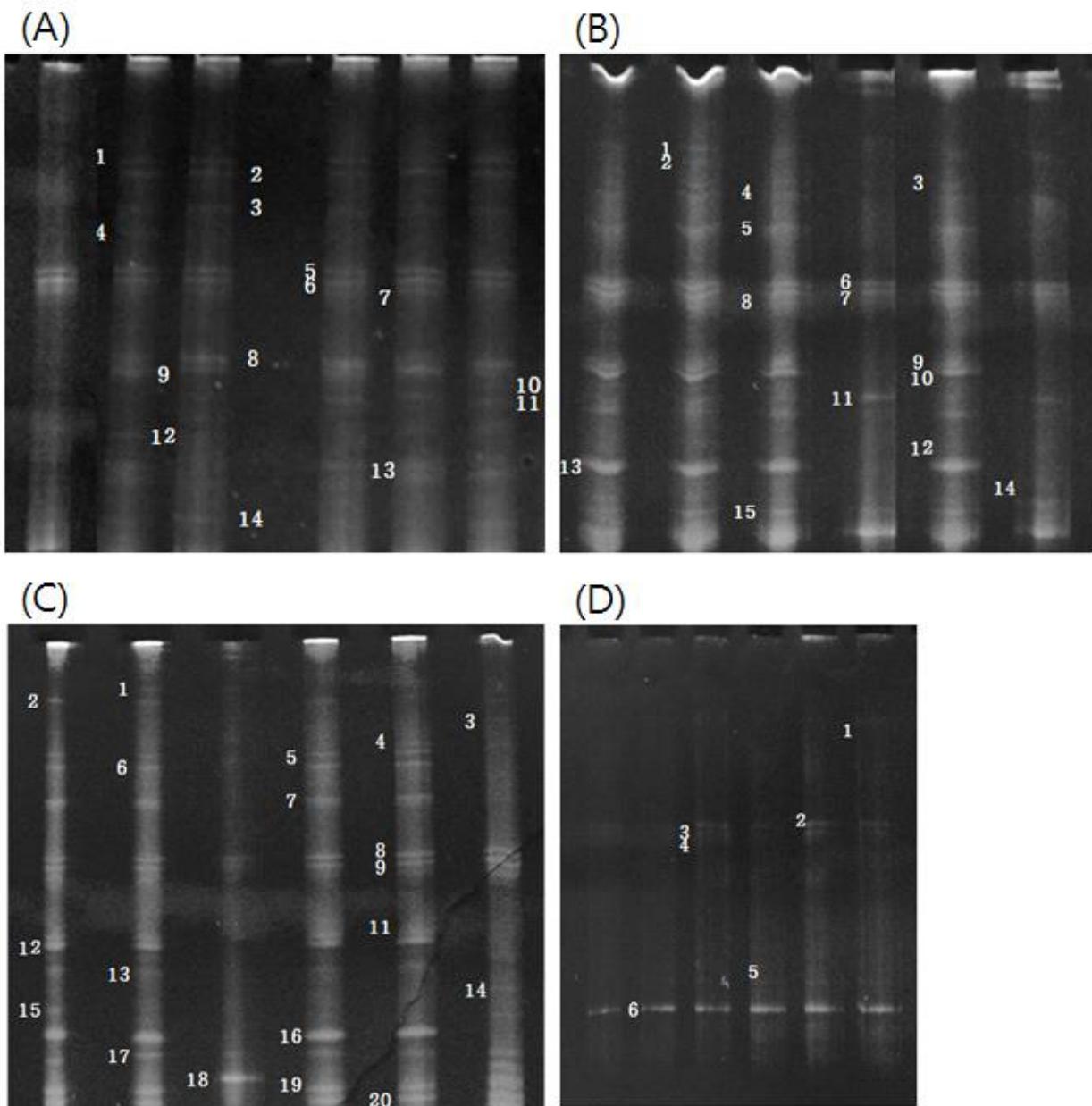


그림 4. DGGE를 이용한 근권부에서 분리된 미생물의 군집변화 ((A): Control (without VOCs), (B): Toluene, (C): Xylene, (D): Toluene & Xylene).

그림 4.는 DGGE를 이용하여 VOCs를 노출한 식물 6종의 근권부 미생물의 군집변화를 확인한 결과이다. VOCs를 노출하지 않은 대조군(A)와 비교하여 toluene을 노출하거나, xylene을 노출하였을 때, 다양한 미생물이 확인되었다. 그러나, formaldehyde를 노출한 경우에서는 대조군과 비교하여 미생물이 줄어든 것으로 나타났다. 이는 미생물 배양을 통한 결과와 유사한 것으로 나타났다. 또한, 이와 같은 결과는 toluene 및 xylene에 비하여 formaldehyde를 분해하거나 내성을 갖는 미생물이 식물 근권부에 거의 존재하지 않는 것으로 판단된다.

분류	식물명 (학명)	VOCs	Strains																				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
목본성 식물	(S. actinophylla)	Control (w/o VOCs)	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	-	-
		Toluene	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
		Xylene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
		Toluene & Xylene	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-
		Toluene	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
목본성 식물	(F. benghalensis)	Xylene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
		Toluene & Xylene	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-
		Toluene	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+
		Xylene	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Toluene & Xylene	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
초본성 식물	(E. pinnatum)	Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
		Toluene	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
		Xylene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
		Toluene & Xylene	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-
		Toluene	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
초본성 식물	(H. helix)	Xylene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	+
		Toluene & Xylene	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-
		Toluene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		Xylene	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
		Toluene & Xylene	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
초본성 식물	(A. pusilla)	Control (w/o VOCs)	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	-	-	-
		Toluene	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
		Xylene	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+
		Toluene & Xylene	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

표 3. DGGE를 이용하여 VOCs 노출 배양 된 목본성, 초본성 식물 총 6종의 근권부 미생물 군집 확인

표 3은 군집변화를 확인한 결과를 토대로 미생물을 동정한 결과이다. 총 22종의 미생물이 확인되었으며, 그 중, 10종이 Uncultured bacterium으로 확인되었다. 또한, 동정된 미생물 중에는 미생물 배양으로부터 확인된 미생물인 *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp. 등이 나타났다. 또한, *Bacillus amyloliquefaciens* 및 *Burkholderia* sp.는 산호수를 제외한 모든 식물의 toluene 노출 시, 나타난 것으로 확인되었다. 이들 미생물은 toluene에 대한 내성을 보유하거나 분해 가능할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, *Burkholderia* sp.는 산호수를 제외한 모든 식물의 xylene 노출의 경우에서도 나타났다. 이 미생물은 toluene과 xylene 모두 내성을 갖거나, 분해능을 갖는 것으로 판단된다.

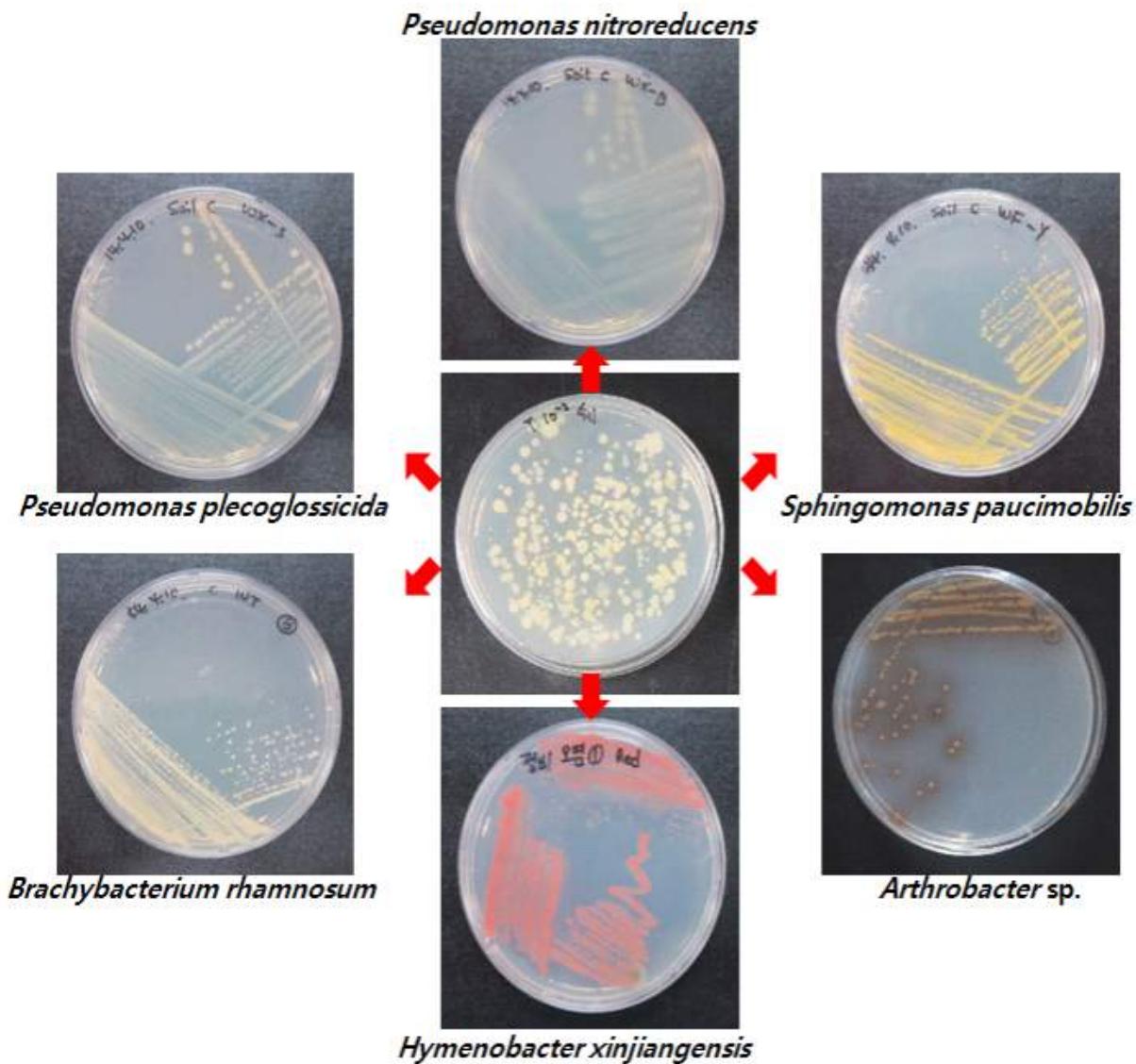


그림 5. 다양한 토양시료의 toluene 공급으로부터 분리된 미생물.

표 4. 다양한 토양시료의 toluene 내성을 갖는 미생물 동정 결과

토양	Strains
율마	<i>Brachybacterium rhamnosum</i> H-6S
	<i>Microbacterium paraoxydans</i> M2
	<i>Pseudomonas nitroreducens</i> SPQ03
	<i>Pseudomonas umsongensis</i> B134
	<i>Sphingomonas paucimobilis</i> DSM 30198
습지	<i>Pseudomonas putida</i> W30
	<i>Bacillus aryabhattachai</i> 1-Sj-5-2-5-M
	<i>Pseudomonas monteilii</i> WS14
오일 오염	<i>Bacillus cereus</i> D7
	<i>Bacillus aryabhattachai</i> 2-Sj-3-3-1-M
	<i>Brevibacterium</i> sp. 210_46
은행나무	<i>Hymenobacter xinjiangensis</i> WA6-1
	<i>Bacillus nealsonii</i> F22
	<i>Bacillus megaterium</i> TS-1
활성슬러지	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2-3
	<i>Pseudomonas putida</i> ATCC 17485

그림 5.는 목본성, 초본성 식물 이외에 다양한 시료로부터 toluene 공급 시, 미생물을 분리, 동정한 결과이다. 목본성, 초본성 식물에서 분리되지 않는 VOCs 분해능이 뛰어난 미생물을 분리하기 위하여 실험을 진행하였다. 그 결과, *Pseudomonas plecoglossicida*, *Pseudomonas nitroreducens*, *Brachybacterium rhamnosum*, *Hymenobacter xinjiangensis*, *Sphingomonas paucimobilis* 및 *Arthrobacter* sp. 등이 분리, 동정 되었다. 목본성, 초본성 식물의 근권부에서 확인되지 않는 미생물이 다수 나타났으며, 이를 미생물은 toluene에 내성을 갖거나, 분해능을 갖는 것으로 판단된다. 표 4는 다양한 시료로부터 toluene 공급 시, 분리, 동정된 미생물의 동정 결과이다. 초본성 식물인, 율마의 근권부에서 분리된 미생물 5종, 습지에서 분리된 미생물 4종, 오일로 오염된 토양으로부터 분리된 미생물 3종, 목본성 나무인 은행나무에서 분리된 미생물 2종 및 활성슬러지에서 분리된 2종의 미생물 포함 총 16종의 미생물 분리, 동정되었다. 특히, *Pseudomonas* 속은 6종, *Bacillus* 속은 5종으로 분리된 미생물의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다.

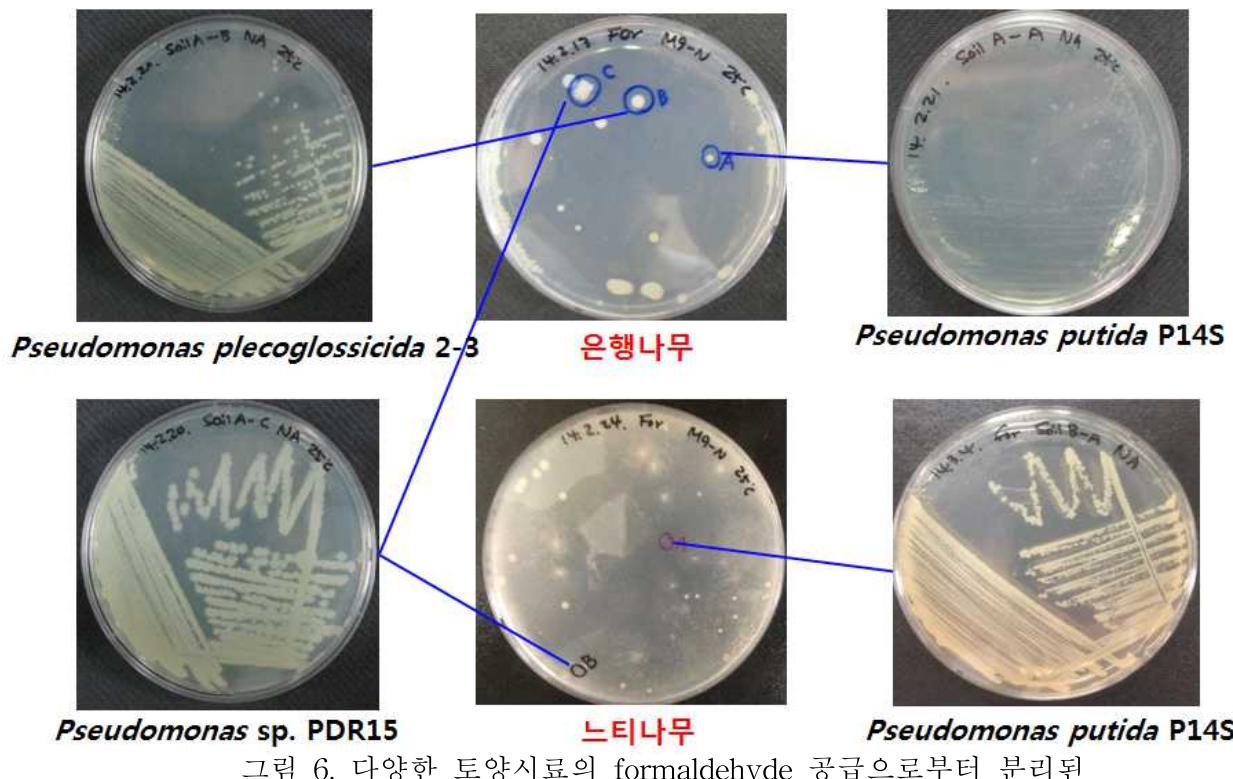


그림 6. 다양한 토양시료의 formaldehyde 공급으로부터 분리된 미생물.

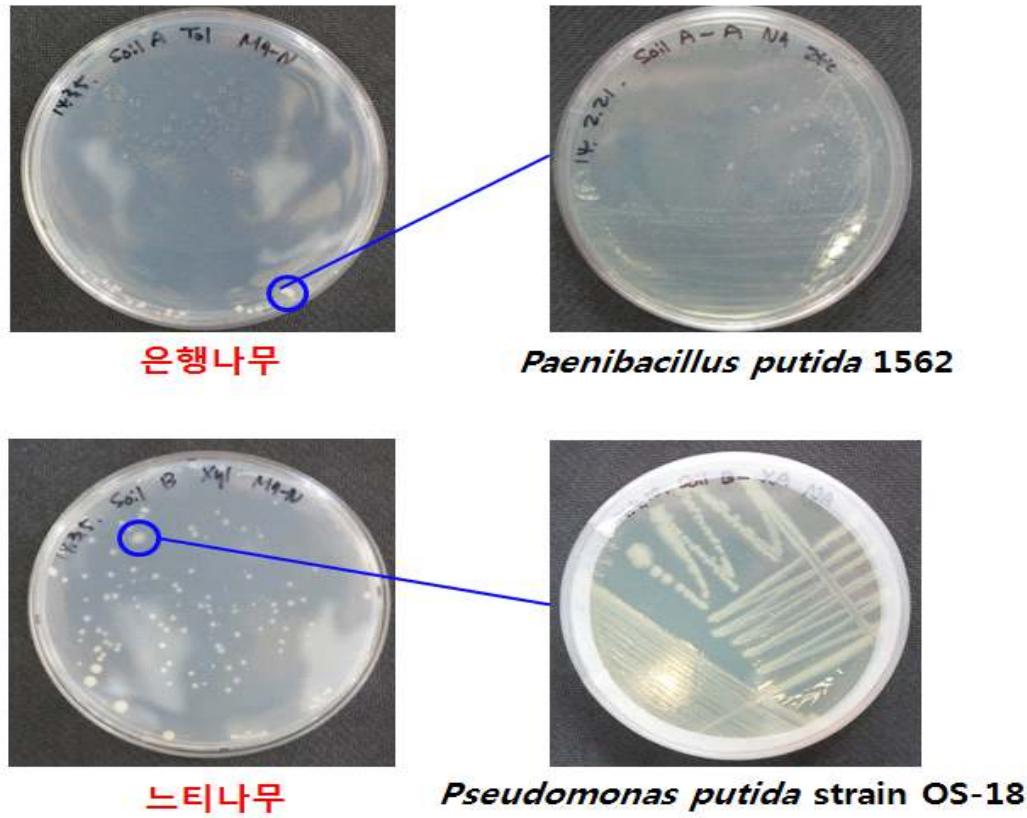


그림 7. 다양한 토양시료의 xylene 공급으로부터 분리된 미생물.

표 5. 다양한 토양시료의 formaldehyde 및 xylene 공급으로부터 분리된 미생물 동정

토양	VOCs	Strains
은행나무	Formaldehyde	<i>Pseudomonas putida</i> P14S
	Xylene	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i> 2-3 <i>Pseudomonas</i> sp. PDR15
느티나무	Formaldehyde	<i>Pseudomonas putida</i> P14S
	Xylene	<i>Pseudomonas</i> sp. PDR15
		<i>Pseudomonas putida</i> OS-18

그림 6.은 목본성, 초본성 식물 이외에 다양한 시료로부터(은행나무, 느티나무 근권부 토양) formaldehyde 공급 시, 미생물을 분리, 동정한 결과이다. 그 결과, *Pseudomonas plecoglossicida*, *Pseudomonas putida* 등이 분리, 동정 되었다. 목본성, 초본성 식물의 근권부에서 확인되었던 미생물이 확인되었으며, 이들 미생물은 formaldehyde에 내성을 갖거나, 분해능을 갖는 것으로 판단된다. 표 5는 그림 6과 그림 7의 분리, 동정 미생물을 정리한 결과이다. 목본성 나무인 은행나무 및 느티나무 근권부 토양으로부터 분리, 동정된 미생물은 주로 *Pseudomonas* 속 미생물로 확인되었으며, 이와 같은 결과는 VOCs에 내성을 갖는 미생물이 주로 *Pseudomonas* 속에 한정되는 것으로 판단된다.

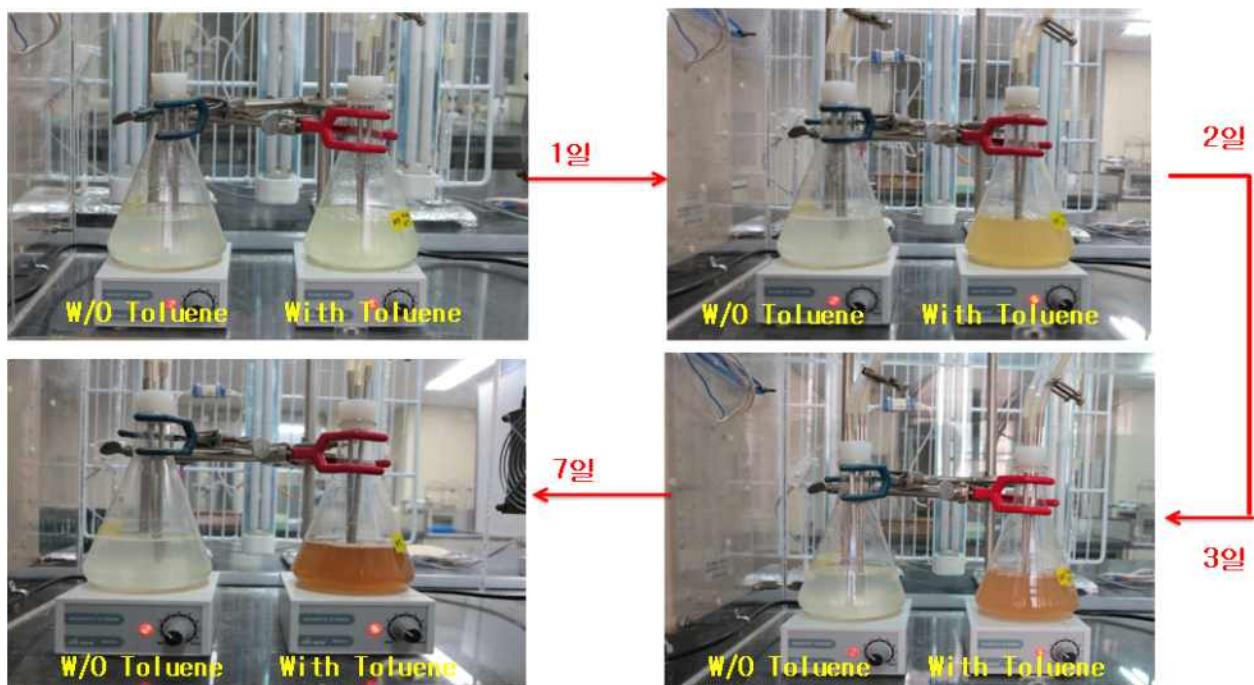


그림 8. Toluene을 주입하여 활성슬러지 내 toluene 제거 미생물 농화배양 실험과정.

그림 8.은 활성슬러지를 이용하여 toluene을 공급을 통한 농화배양을 진행한 실험 장치이다. 시간이 경과함에 따라, toluene을 공급하는 실험군의 색상과 탁도가 변화하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 toluene에 내성을 갖거나, 분해하면서 증식하는 미생물이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

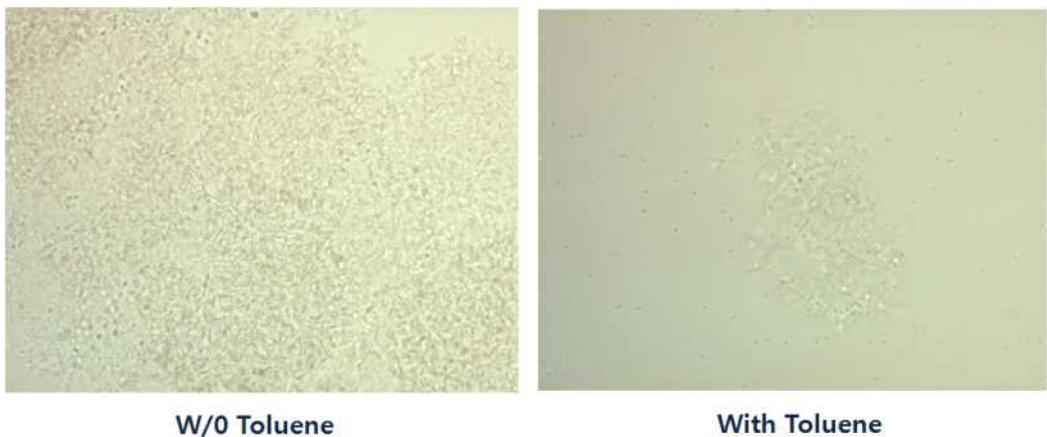


그림 9. 농화배양 후, 광학현미경을 이용한 대조군 및 실험군의 미생물 관찰 결과 (1000배).

그림 9.는 농화배양 후, 채취한 시료를 현미경을 통하여 미생물을 관찰한 결과이다. 그림 9.에 나타난 바와 같이, toluene을 공급한 경우, 미생물의 양이 적은 것으로 나타났으나, 접종한 시료 내의 미생물 중 일부가 toluene에 의하여 사멸한 것으로 판단된다. 그러나 특정 미생물이 주로 나타난 것으로 확인되었다. 이와 같은 결과는 toluene을 분해하는 특정 미생물이 증식한 것으로 판단된다. 그림 10.과 표 6.은 DGGE를 이용하여, toluene으로 농화배양 진행 후, 미생물의 군집변화를 확인한 결과이다. 대조군과 실험군의 결과를 비교하였을 때, DGGE 패턴이 차이가 나타난 것으로 확인되었다. 또한, 이들 미생물을 동정한 결과, 총 16종의 미생물이 나타났으나, toluene을 공급한 실험군에서 대조군과 비교하여 *Myroide* sp., *Pseudomonas putida*, *Pseudomonas plecoglossicida* 등이 나타난 것으로 확인되었다.

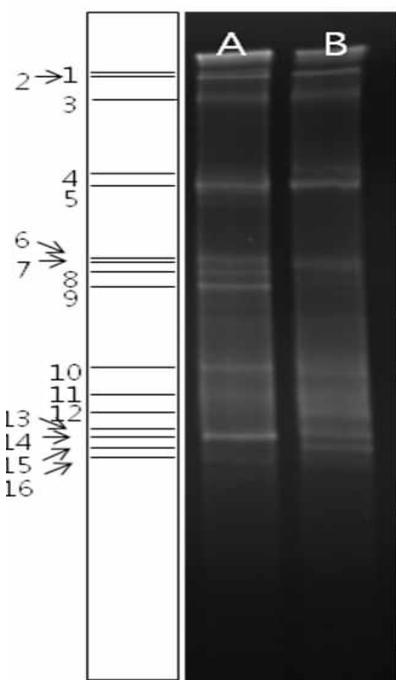


그림 10. Toluene을 공급하여 농화배양한 활성슬러지 내의 미생물 군집결과.

표 6. Toluene 공급 유무에 따른 미생물 군집 차이

No	Bacteria name	% Sequence similarity	Without Toluene	With Toluene
1	<i>Myroides marinus</i>	99	O	-
2	<i>Myroides odoratimimus</i>	99	O	O
3	Uncultured bacterium	100	O	O
4	<i>Dysgonomonas</i> sp.	99	O	O
5	<i>Myroides</i> sp.	97	O	O
6	Uncultured bacterium	100	O	-
7	<i>Myroides</i> sp.	97	-	O
8	Uncultured bacterium	99	O	-
9	<i>Pseudochrobactrum saccharolyticum</i>	100	O	-
10	Uncultured bacterium	99	O	-
11	<i>Myroides odoratimimus</i>	98	-	O
12	<i>Myroides marinus</i>	99	-	O
13	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	90	O	-
14	<i>Pseudomonas putida</i>	99	-	O
15	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	100	-	O
16	<i>Arcobacter cryaerophilus</i>	100	-	O

나. VOCs 농도별 근원 미생물의 증식 특성 및 VOCs 제거 효율 조사



그림 11. Toluene 농도별 미생물 성장.

그림 11.은 toluene을 공급하여 농화배양된 미생물 *Pseudomonas plecoglossicida*, *Pseudomonas putida*를 toluene의 농도에 따라 배양한 실험 모습이다. 0, 50, 100, 200, 500ppm의 toluene농도에 따라 실험 진행한 결과, 육안적으로 200ppm에서 가장 혼탁한 것으로 보아, 미생물 성장이 가장 높을 것이라 판단된다.

그림 12.는 toluene의 농도에 따라 *P. plecoglossicida*와 *P. putida*의 생장을 7일간 흡광도를 통하여 확인한 결과이다. 두 미생물 모두 toluene이 존재하는 상황에서 생장함을 확인할 수 있다. Toluene 0ppm에서는 두 미생물 모두 생장하지 않았고, 특히, *P. plecoglossicida*는 *P. putida* 보다 모든 toluene 농도 200ppm에서 높은 생장을 나타내었다. *P. plecoglossicida*는 500ppm을 제외한 toluene 농도에서 배양 1일 후부터 생장이 확인되었고, 500ppm에서는 2일 후부터 생장이 확인되었다. 이는 고농도의 toluene에서는 환경에 적응하기 위한 시간이 필요하다고 생각된다. 결과적으로 두 미생물 모두 toluene 200ppm에서 최종생장이 가장 높았다.

그림 12. Toluene 농도별 미생물 성장 ((A): *P. plecoglossicida*, (B): *P. putida*).

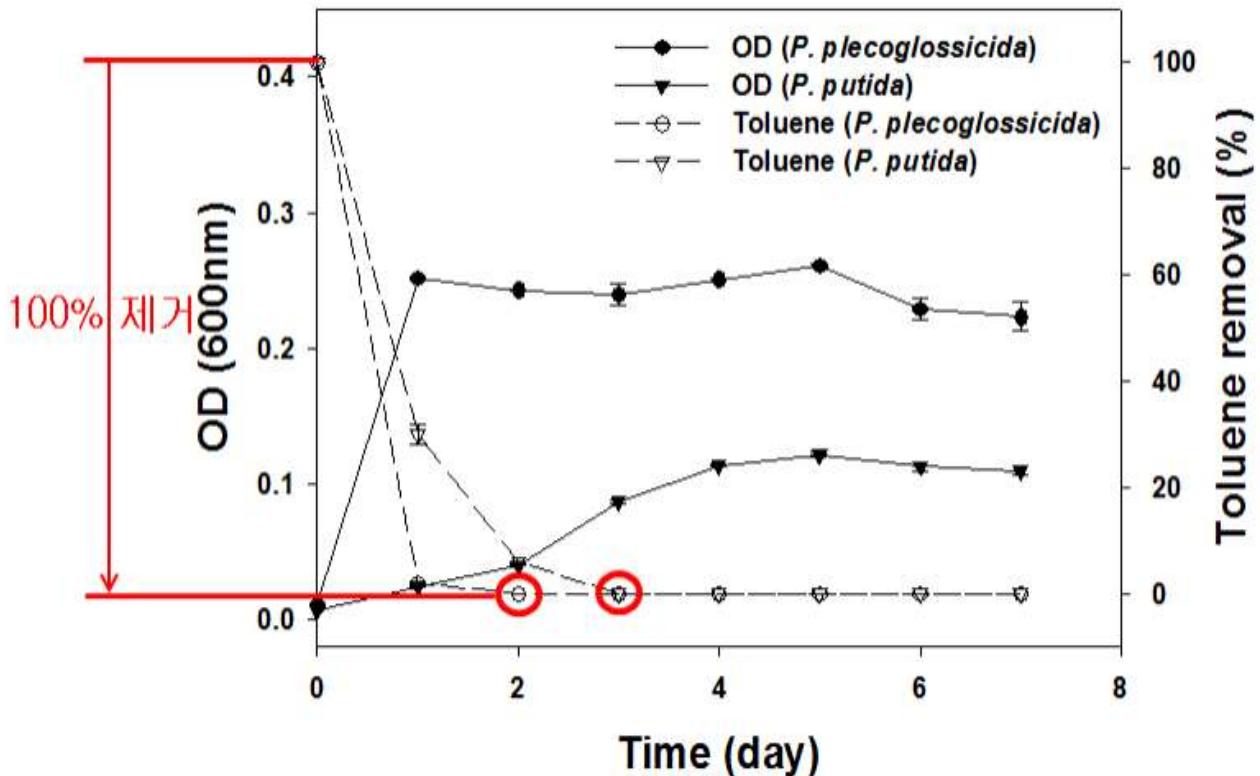


그림 13. 미생물 성장과 toluene 제거율 분석 결과.

그림 13.은 toluene 200ppm에서 두 미생물의 생장과 toluene제거율 변화를 나타내었다. 생장의 경우, 그림 12.의 결과와 마찬가지로 *P. plecoglossicida*가 최종생장도 높고, 생장의 시작 또한 빠른 것으로 확인되었다. 두 미생물 모두 toluene을 모두 제거하였으나, *P. plecoglossicida*는 배양 1일 만에 toluene을 거의 소모하였다. 하지만 *P. putida*는 배양 3일차에 모두 제거하였다. Toluene의 제거결과와 두 미생물의 생장을 비교하였을 때, 두 미생물의 생장속도가 증가할 때, toluene의 제거량 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 두 미생물의 생장 혹은 증식과 toluene의 제거량은 비례한다는 것을 알 수 있다. 다시 말해서, 두 미생물 모두 toluene을 분해하여 기질로 사용하면서 증식이 가능한 것으로 판단된다.

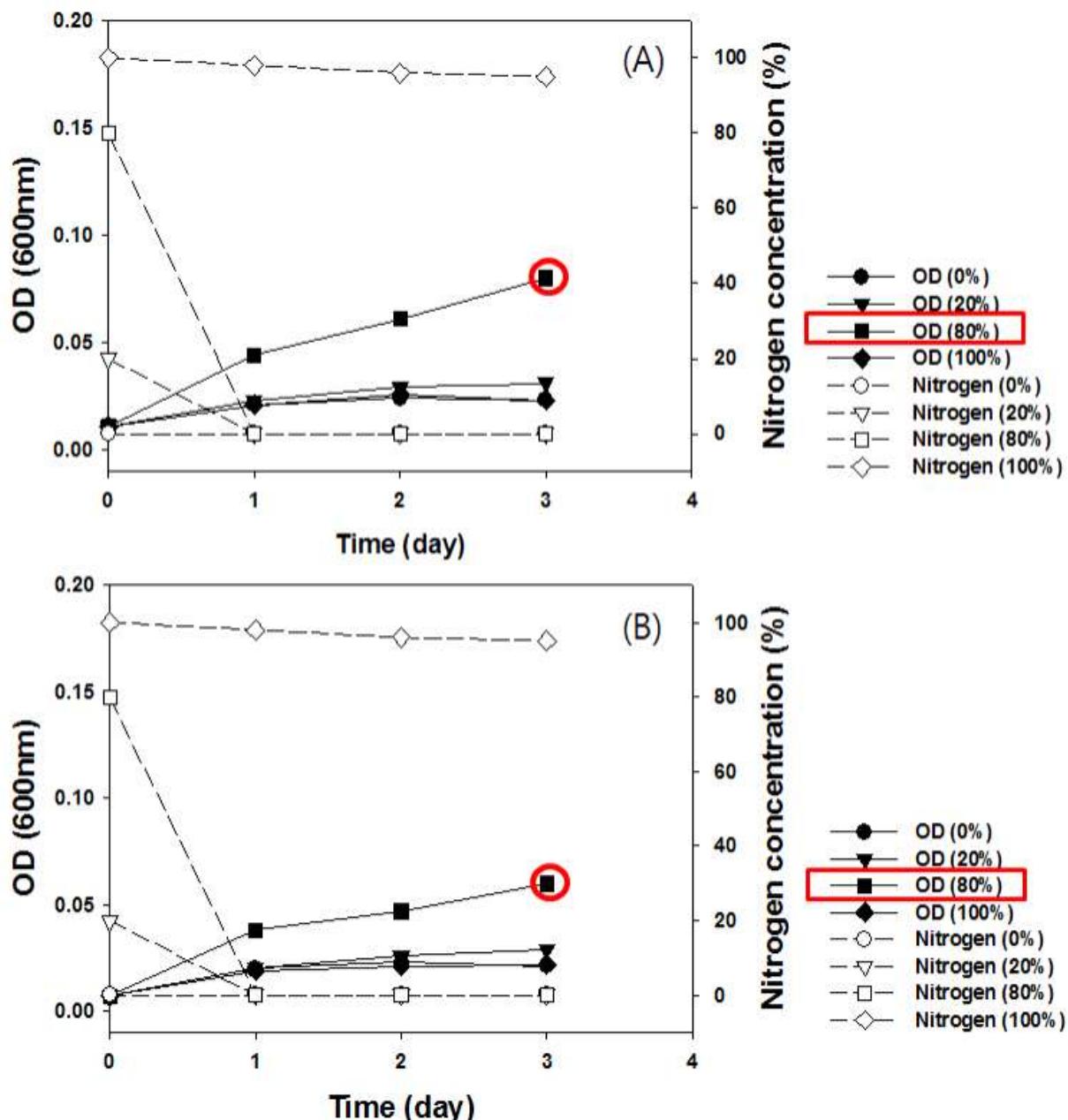


그림 14. 질소 농도에 따른 균권 미생물의 질소 고정능 분석 결과 ((A): *P. plecoglossicida*, (B): *P. putida*).

그림 14.는 toluene을 공급하여 농화배양된 미생물 *Pseudomonas plecoglossicida*, *Pseudomonas putida*의 질소 고정 여부를 확인한 결과이다. 질소원이 결여된 배지에서 두 미생물 모두 질소 100%를 제외한 나머지 조건에서 생장이 확인되었다. 특히, 공기 중 질소 농도 인, 질소 80%에서 가장 높은 생장을 보였으며, 이는 두 미생물이 toluene 제거 및 질소 고정이 가능하다고 판단할 수 있다.

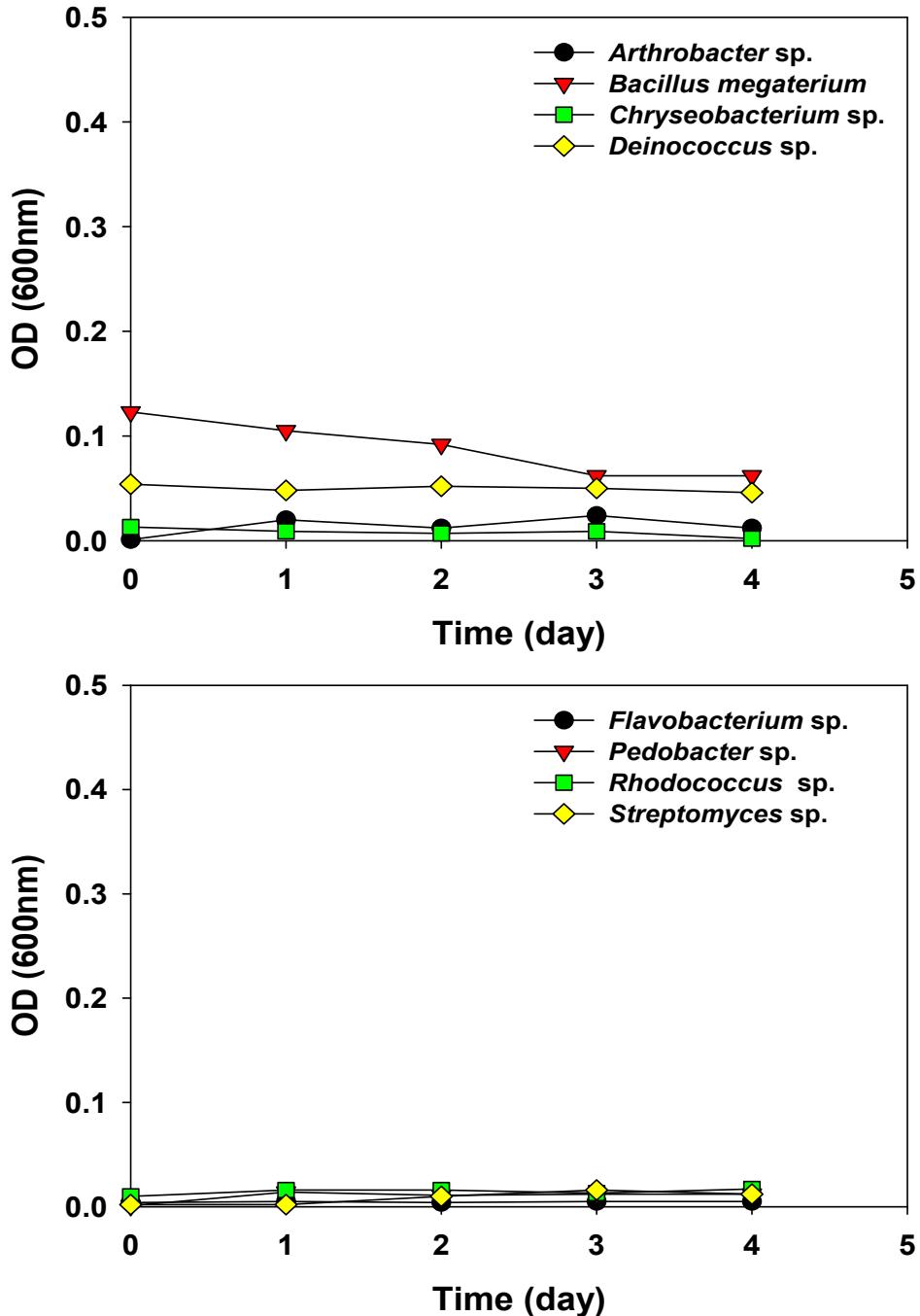


그림 15. Toluene 및 xylene에 노출된 목본성, 초본성 식물의 토양으로부터 분리된 미생물의 toluene 분해능 확인 결과 (toluene 100ppm).

그림 15.는 toluene과 xylene에 노출시켜 배양된 6종의 식물에서 분리된 미생물의 toluene 분해가능성을 확인한 결과이다. Toluene 100ppm에서 배양한 결과, 실험에 사용된 모든 균주의 생장을 확인할 수 없었다. 이 전 *P. plecoglossicida*와 *P. putida*와는 달리 미생물 성장을 확인할 수 없었고, 이는 toluene 제거가 불가능하다고 생각할 수 있다.

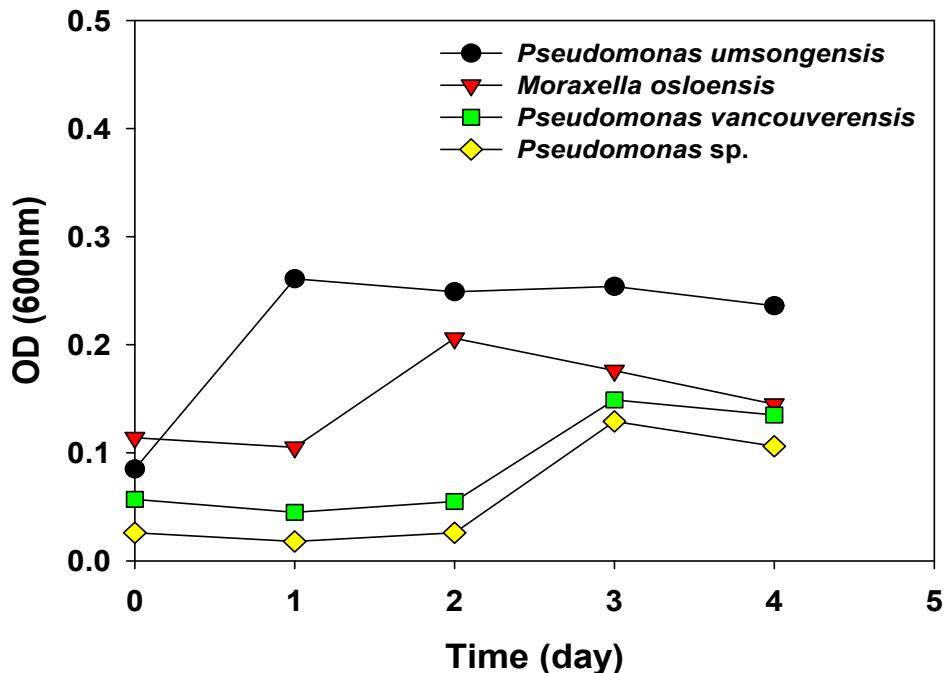


그림 16. 목본성, 초본성 식물의 토양으로부터 분리된 미생물의 toluene 분해능 확인 결과 (toluene 100ppm).

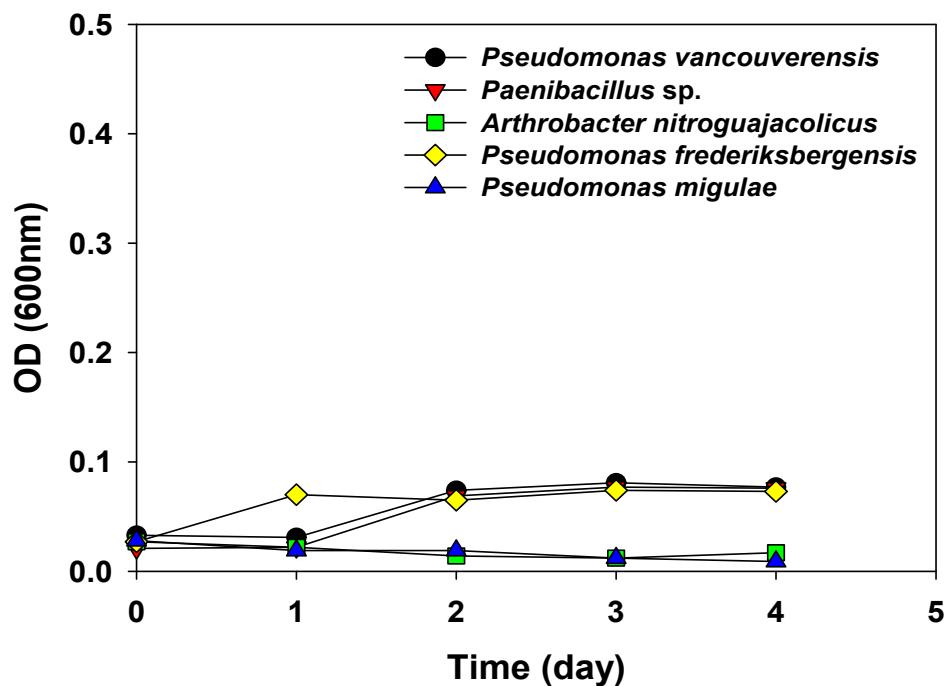


그림 17. 목본성, 초본성 식물의 토양으로부터 분리된 미생물의 toluene 분해능 확인 결과 (xylene 50ppm).

그림 16.은 실험에 사용된 6종의 식물토양에서 분리된 미생물의 toluene 분해능을 확인하기 위하여 100ppm의 toluene에서 배양한 결과이다. 미생물 별 차이가 나타나지만, 4종의 미생물 모두 생장을 확인할 수 있었다. 그 중 *P. umsongensis*의 생장이 가장 빠르고 높은 값을 나타내었다. 반면, *P. vancouverensis*와 *Pseudomonas* sp.는 배양 3일차부터 생장하였다. Toluene 100ppm 조건에서 생장한 것으로 미루어보아 4종의 미생물은 toluene 제거가 가능하다고 판단된다.

그림 17.은 실험에 사용된 6종의 식물토양에서 분리된 미생물의 toluene 분해능을

확인하기 위하여 50ppm의 xylene에서 배양한 결과이다. *A. nitroguajacolicus*와 *P. migulae*는 생장이 확인되지 않았고, *P. vancouverensis*, *Paenibacillus* sp.와 *P. frederiksbergensis*는 생장이 확인되었다. 하지만 생장이 확인된 미생물 3종의 생장은 높지 않았다. 50ppm의 xylene에서 배양된 5종의 미생물 중 3종의 미생물은 xylene의 제거가 가능할 수도 있다고 생각되나, 제거율은 미비할 것이라고 판단된다.

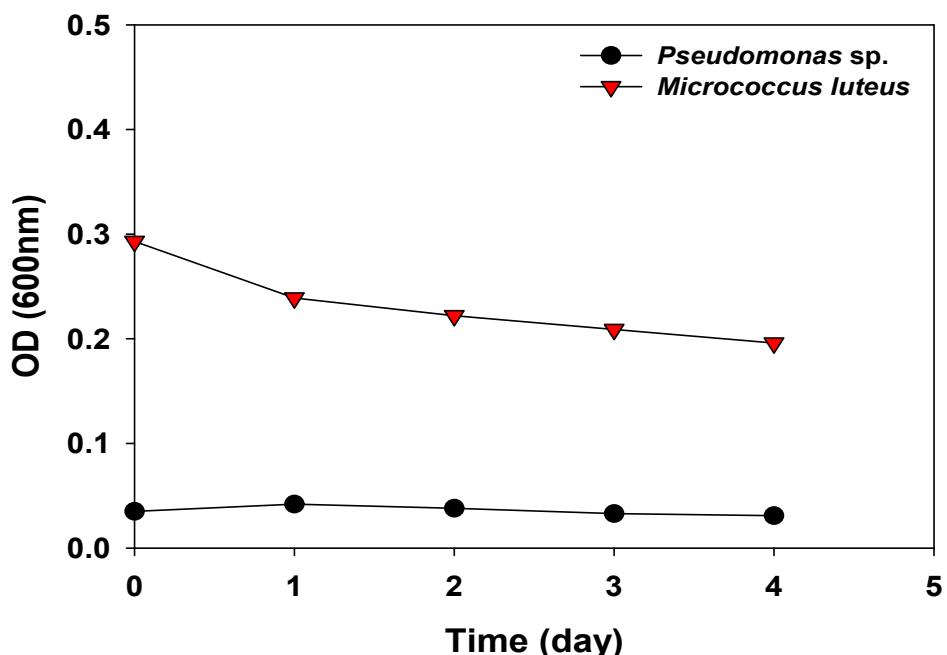


그림 18. 목본성, 초본성 식물의 토양으로부터 분리된 미생물의 formaldehyde 분해능 확인 결과 (formaldehyde 10ppm).

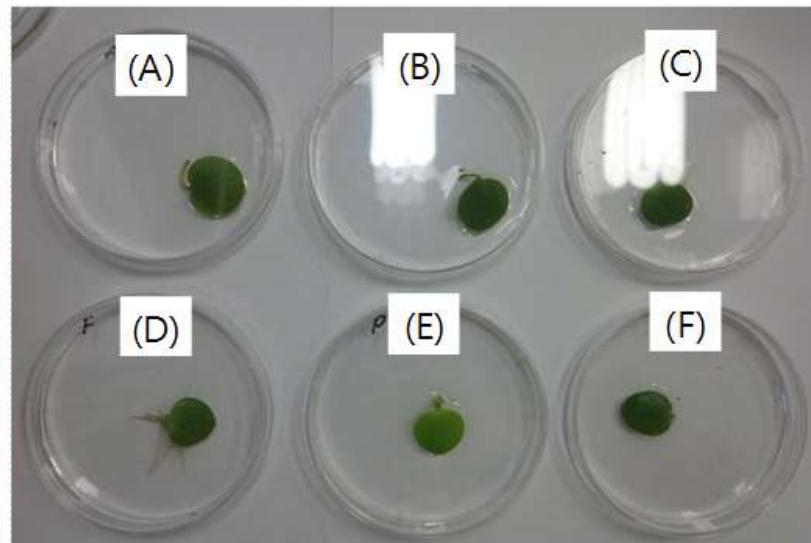
그림 18.은 실험에 사용된 6종의 식물토양에서 분리된 미생물의 formaldehyde 분해능을 확인하기 위하여 10ppm의 formaldehyde에서 배양한 결과이다. 두 종의 미생물 모두 생장이 확인되지 않았으며 오히려, *M. luteus*는 생장이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 두 미생물 모두 formaldehyde를 제거할 수 없다고 판단하였고, 이는 formaldehyde의 강력한 독성 때문이라 생각된다.

다. 근권 미생물의 유해성 및 생태학적 중요도 관련 특성 조사

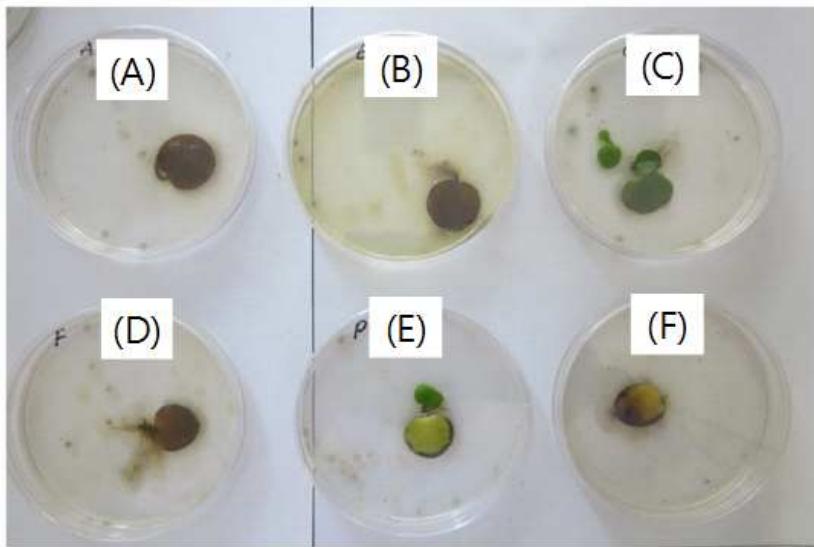
표 6. 다양한 토양에서 분리 및 동정된 미생물의 특성

Strains	인체 유해성 및 생태학적 중요성
<i>Acinetobacter</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -석유화합물 및 유기오염물 분해능력 -중금속이 포함된 섬유/피혁 산업폐수 및 하, 폐수 정화 -Noscomial pathogen
<i>Bacillus cereus</i>	<ul style="list-style-type: none"> -소화기, 호흡기, 안구, 신경계 감염 병원균 -Food poisoning bacteria
<i>Bacillus subtilis</i>	<ul style="list-style-type: none"> -식물 생장 촉진 근권 미생물 -<i>Burkholderia cepacia</i> 낭포성 섬유증 환자의 폐에 감염 -<i>Burkholderia cepacia</i>는 농작물 보호 -저항성 제초제 및 농약 분해 정화 작용
<i>Burkholderia</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -방사능 노출 폐기물에서 생존 -저항성 제초제 및 농약 분해 정화 작용
<i>Deinococcus</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -방사능 노출 폐기물에서 생존
<i>Klebsiella</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -폐렴, 폐혈증, 설사, 뇌막염, 요로감염증의 원인균
<i>Microbacterium</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Mycobacterium haemophilum</i>은 면역성이 낮은 환자에게 감염 -요로감염증의 원인균
<i>Micrococcus</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Micrococcus radiodurans</i>는 방사선 저항성
<i>Moraxella osloensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Serious systemic disease
<i>Paenibacillus</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -항균물질 생산
<i>Pedobacter</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -Heparinase 분비
<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Phenanthrene 제거
<i>Pseudomonas migulae</i>	<ul style="list-style-type: none"> -토양 내 구리제거 -식물 생장촉진미생물
<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	<ul style="list-style-type: none"> -3-nitrophenol 분해
<i>Pseudomonas putida</i>	<ul style="list-style-type: none"> -내냉성 식물 생장촉진 미생물
<i>Ralstonia solanacearum</i>	<ul style="list-style-type: none"> -고추, 토마토, 감자 등 토양 전염성 병원세균
<i>Rhodococcus</i> sp.	<ul style="list-style-type: none"> -Ferchlorate 분해

표 6.은 다양한 토양시료에서 분리 및 동정된 토양 미생물의 특징을 나타낸 결과로, Uncultured bacterium으로 동정된 미생물은 결과에서 제외하였다. 동정된 미생물을 특징에 따라 분류한 결과, 석유화합물 및 유기화합물의 분해능을 갖는 *Acinetobacter* sp., *Burkholderia* sp., *P. frederiksbergensis*, *P. plecoglossicida*, *P. umsongensis*, *Rhodococcus* sp. 등이 확인되었고, 식물 생장 촉진 미생물로 알려진 *B. subtilis*, *P. migulae*, *P. putida*, *P. vancouverensis*가 동정되었다. 인체, 식물 등에 질병을 야기할 수 있는 병원성 미생물로는 *B. cereus*, *Klebsiella* sp., *Micrococcus* sp., *Microbacterium* sp., *M. asloensis*, *R. solanacearum* 등이 확인되었다. 그 외 항균물질 생산, heparinase 생산 등으로 알려진 미생물도 동정되었다.



접종 0일차



접종 10일차

그림 19. VOCs 내성 미생물이 수생식물의 생장에 미치는 영향 ((A): *Arthrobacter* sp. 95-0188, (B): *Bacillus megaterium* HNS68, (C): *Chryseobacterium* sp. BT7B, (D): *Deinococcus* sp. X-121, (E): *Pedobacter* sp. HRB3, (F): *Flavobacterium* sp. AcJ).

그림 19.는 VOCs 내성을 갖는 미생물 중 수생식물의 생장에 영향을 미치는 미생물을 탐색하기 위하여 진행한 실험 결과이다. 플로그 비트 배양액에 6종의 미생물을 접종한 결과, 배양 10일차에 *Chryseobacterium* sp., *Pedobacter* sp.를 접종한 플로그 비트만 생존하였다. 다른 4종의 미생물을 접종한 플로그 비트는 모두 색을 잃고 사멸하였다. 이는 *Chryseobacterium* sp., *Pedobacter* sp.는 VOCs 내성을 갖고, 수생식물의 생장에 도움을 줄 것으로 판단된다.

<2년차>

1. 재료 및 방법

가. VOCs 제거를 위한 식물-근권 미생물 system 구성 및 VOCs 제거 효율 조사

식물재료는 네마탄과 산호수를 이용하여 밀폐된 식물-근권 미생물 반응기를 제작하여 toluene 제거를 확인하였다. Toluene은 GC/FID를 사용하여 분석하였다. 실험내용은 소규모 밀폐 식물-근권 미생물 반응기에서의 toluene 제거율을 확인하였다.

나. 광량 변화에 따른 VOCs 제거에 대한 근권 미생물의 특성 및 식물 생육 촉진관의 상관관계 조사

식물재료는 보리, 산호수를 이용하여 광량 차이에 따라 식물의 생장 또는 toluene 제거율 변화를 확인하였다. 실험방법으로는 동일한 광량을 다른 강도로 조사하였을 경우 식물의 생장, 광량 차이에 따른 toluene 제거를 확인하였다. VOCs 등은 GC/FID로 측정하였다.

다. 근권 미생물의 증식을 위한 영양원 및 특성 조사

실험방법으로는 식물 근권부에서 분리된 *P. putida*의 생장 시 질소원 조건을 확인하였다. 세 가지 질소원 (NO_3^- , NO_2^- , NH_3)의 농도에 따라 *P. putida*의 생장 차이를 확인하였다. *P. putida*의 생장은 UV-vis spectrophotometer를 이용하여 흡광도를 분석하였다.

라. 식물 토양 내 근권 미생물 증식과 VOCs 제거 향상을 위한 미생물 고정화

실험방법으로는 식물 식재 시 첨가제로 사용하는 perlite에 *P. putida*를 고정화하여, toluene 제거율 및 생장률을 확인하였다. 고정화 여부는 SEM (Scanning Electron Microscope)을 이용하여 확인하였고, toluene 제거는 GC/FID를 이용하여 분석하였다. 실험 내용은 *P. putida*를 배양하여 세척 및 멸균된 perlite에 고정화하여 toluene 제거와 생장정도를 확인하였다.

2. 주요 결과

가. VOCs 제거를 위한 식물-근권 미생물 system 구성 및 VOCs 제거 효율 조사



그림 1. 식물-근권 미생물 system 반응기 (원통형 system).

그림 1.은 원통형 식물-미생물 system을 제작하여 설치, 운용하는 결과이다. 각 반응기의 내부 부피는 9.2L이며, 식물이 식재된 토양 부피의 1/10은 근권부 미생물이 고정화된 perlite를 사용하였다. 각 반응기 운용 시, 외부와의 공기를 차단하고 반응기마다 내부 공기에 흐름 (1ml/min)을 가하여 순환시켰다.

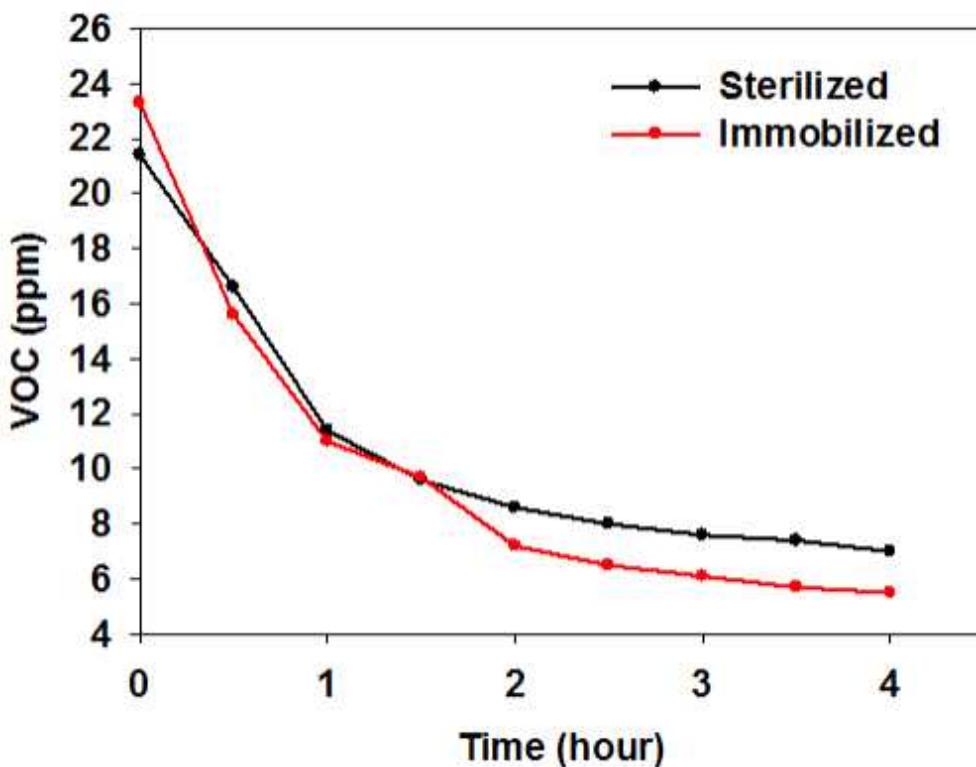


그림 2. 고정화 유, 무에 따른 반응기 별 toluene 제거 효율 결과.

그림 2.는 두 반응기에 20ppm의 toluene을 주입한 뒤 toluene의 제거 효율을 나타낸 결과이다. 초기 toluene의 농도 차이가 확인되었으나, 차이가 크지 않았다. 고정화 된 perlite를 사용한 반응기에서 멸균된 perlite를 사용한 반응기보다 근소하지만 toluene 제거 속도가 빨랐으며, 반응 4시간 후, 멸균된 perlite 보다 더 많은 양의 toluene을

제거하였음을 확인하였다. 하지만 두 반응기에서의 toluene 제거 차이는 크게 나타나지 않았다. 또한, 두 반응기 모두에서 초기 1시간 동안 약 절반의 toluene이 빠르게 제거되는 것을 확인하였다. 이는 고정화된 perlite를 적용하지 않아도 선행 연구결과와 마찬가지로 toluene 제거가 가능하나, 고정화된 perlite를 적용 시, 빠르고 많은 양의 toluene을 동일 시간 동안 제거가 가능하다고 판단된다.

나. 광량 변화에 따른 VOCs 제거에 대한 근원 미생물의 특성 및 식물 생육 촉진과의 상관관계 조사

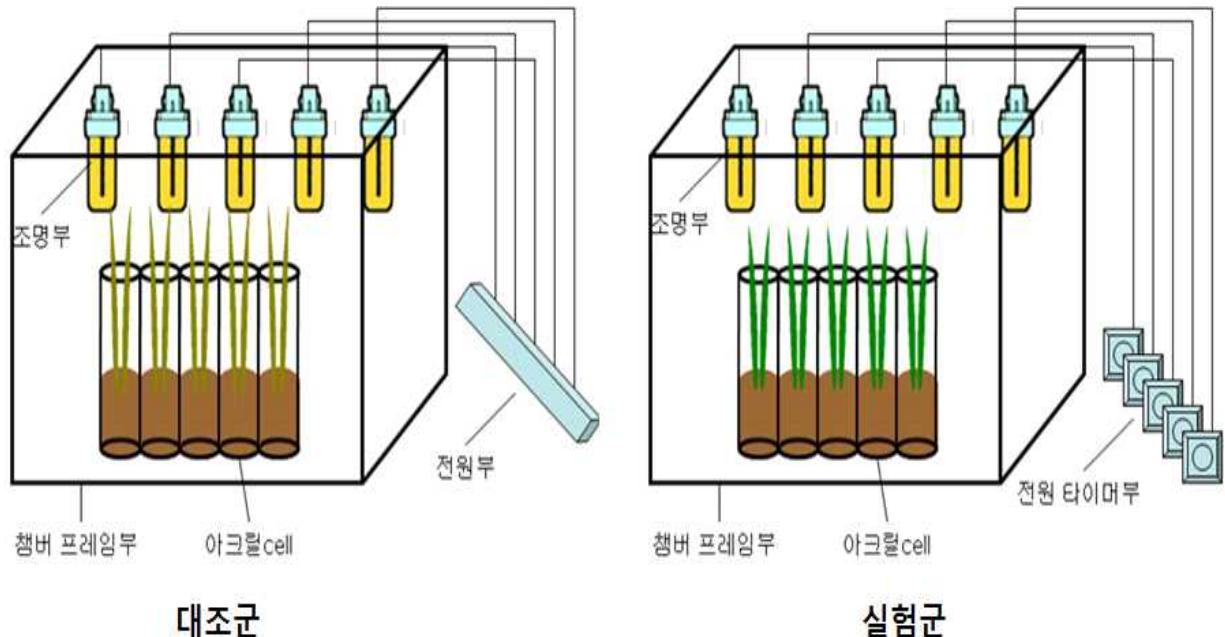


그림 3. 본 연구에서 사용된 광강도 조절장치 구성도.

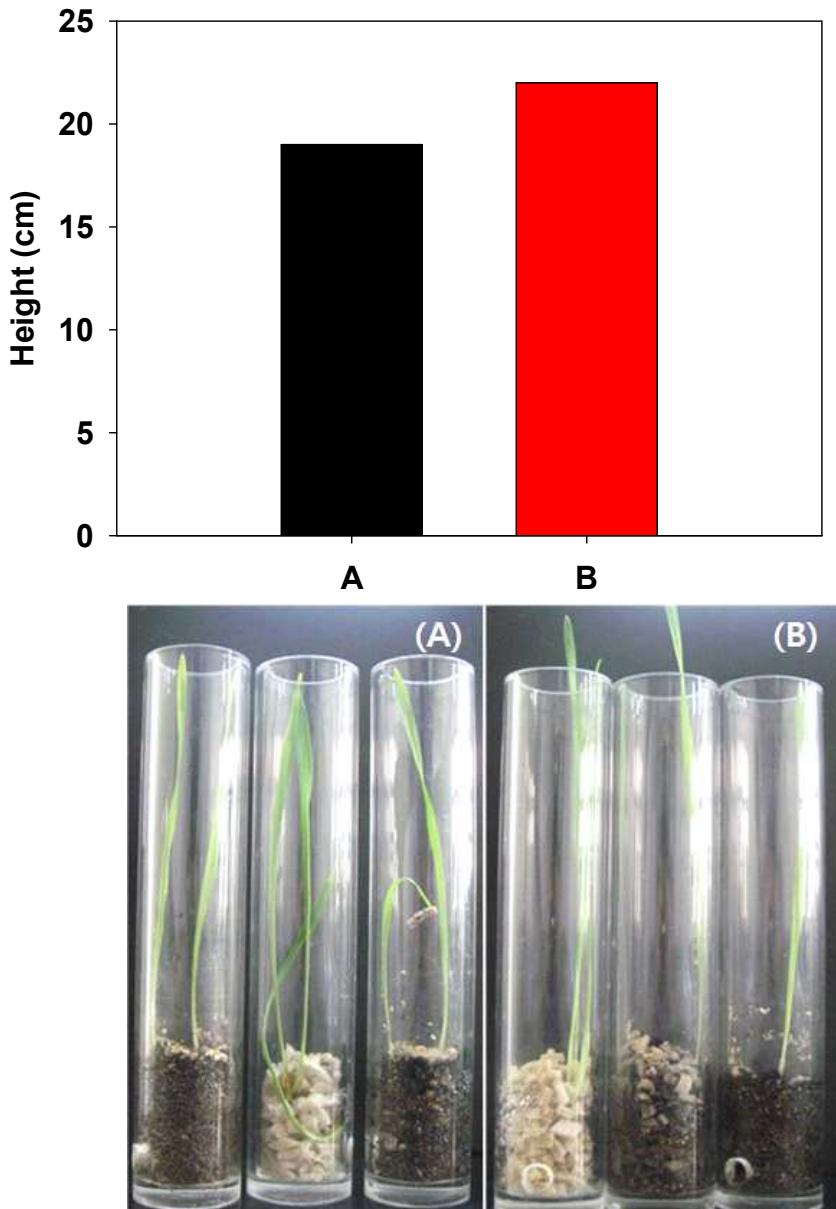


그림 4. 광강도 조절에 따른 식물 생장 차이 ((A): 대조군, (B): 광강도 조절 군).

그림 4.는 광강도의 조절에 따른 보리 생장속도의 차이 (A: 광강도의 조절을 행하지 않은 군, B: 광강도의 조절을 행한 군)을 보여준다. 또한 광강도를 조절하여 보리의 생장 차이를 확인한 결과로서, 지속적으로 같은 양의 광원을 조사하였을 때 보다 일출과 일몰처럼 광량을 증가, 유지, 감소 시켰을 때 보리의 생장이 빠른 것을 확인 할 수 있었다. 두 조건에서의 식물 생장차이는 평균 약 3cm 가량 차이가 나타남을 확인하였다. 이와 같은 결과는 식물의 생장을 위한 빛의 조사 시, 초기의 빛의 강도를 최소 저도에서 일정비율로 증가시키고, 일정 시간 후 정상조도에 도달하게 만들어 자연 상태와 유사한 생육환경으로 인공광원을 조사함으로써, 광저해를 최소로 줄일 수 있고, 식물의 생장촉진을 향상 시킬 수 있다고 판단된다.



그림 5. 광량 조절에 따른 toluene 제거 효율을 확인하기 위한 식물-미생물 system (A: 대조군 (2,000 lux), B: 광량 조절군 (3,000 lux)).

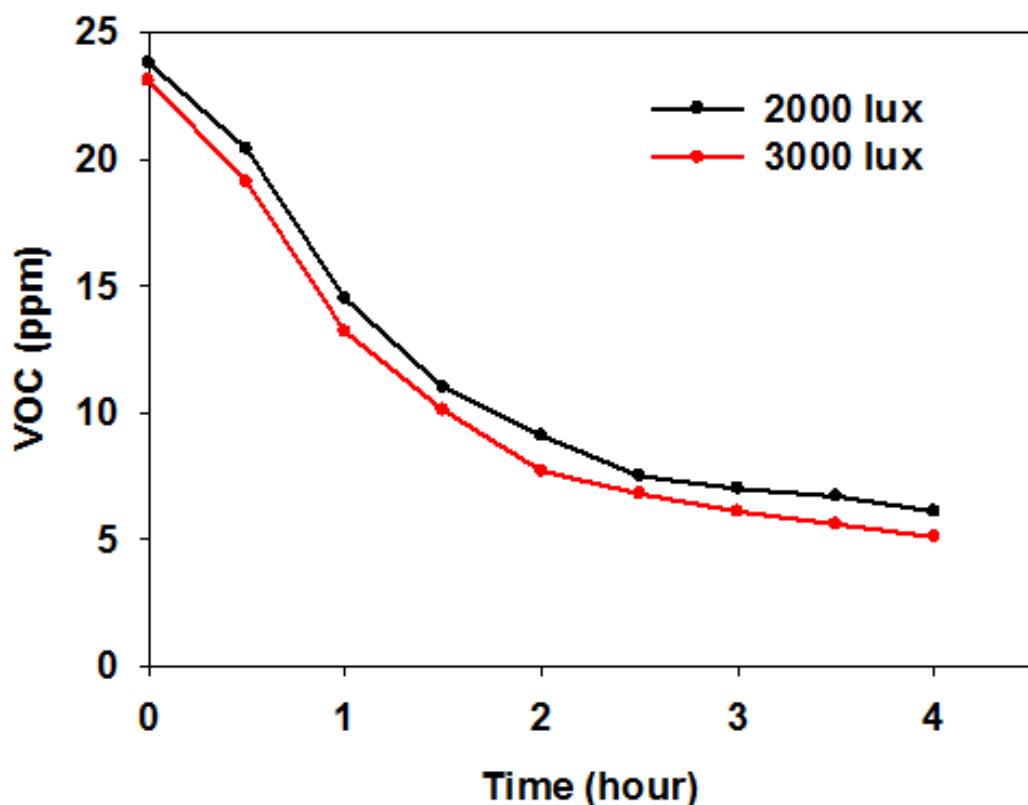


그림 6. 광량 조절에 따른 toluene 제거효율 결과.

그림 5.는 광량에 따른 toluene 제거 효율을 알아보기 위한 식물-미생물 system을 나타낸 사진이다. 각 반응기의 내부 부피는 4L이며, 식물이 식재된 토양 부피의 1/10은

근원부 미생물이 고정화된 perlite를 사용하였다. 각 반응기 운용 시, 외부와의 공기를 차단하고 반응기마다 내부 공기에 흐름 (1ml/min)을 가하여 순환시켰다.

그림 6.은 광량을 달리하였을 때, 식물-미생물 system의 VOCs 제거 효율 변화를 나타낸 결과이다. 광량은 대조군에서 2,000 lux, 실험군에서 3,000 lux로 조사하였으며, toluene은 약 23ppm 주입하여 실험에 사용하였다. 두 반응기 모두 toluene 주입 후 4시간동안 toluene을 약 5ppm 수준까지 제거하는 것을 확인하였다. 하지만 두 반응기의 toluene 제거 속도, 제거량 등에서 뚜렷한 차이점을 확인할 수 없었다. 광량의 차이가 1,000 lux로 적고, 식물 식재량도 적어 큰 차이를 확인할 수 없었던 것으로 판단되어 진다.

다. 근원 미생물의 증식을 위한 영양원 및 특성 조사

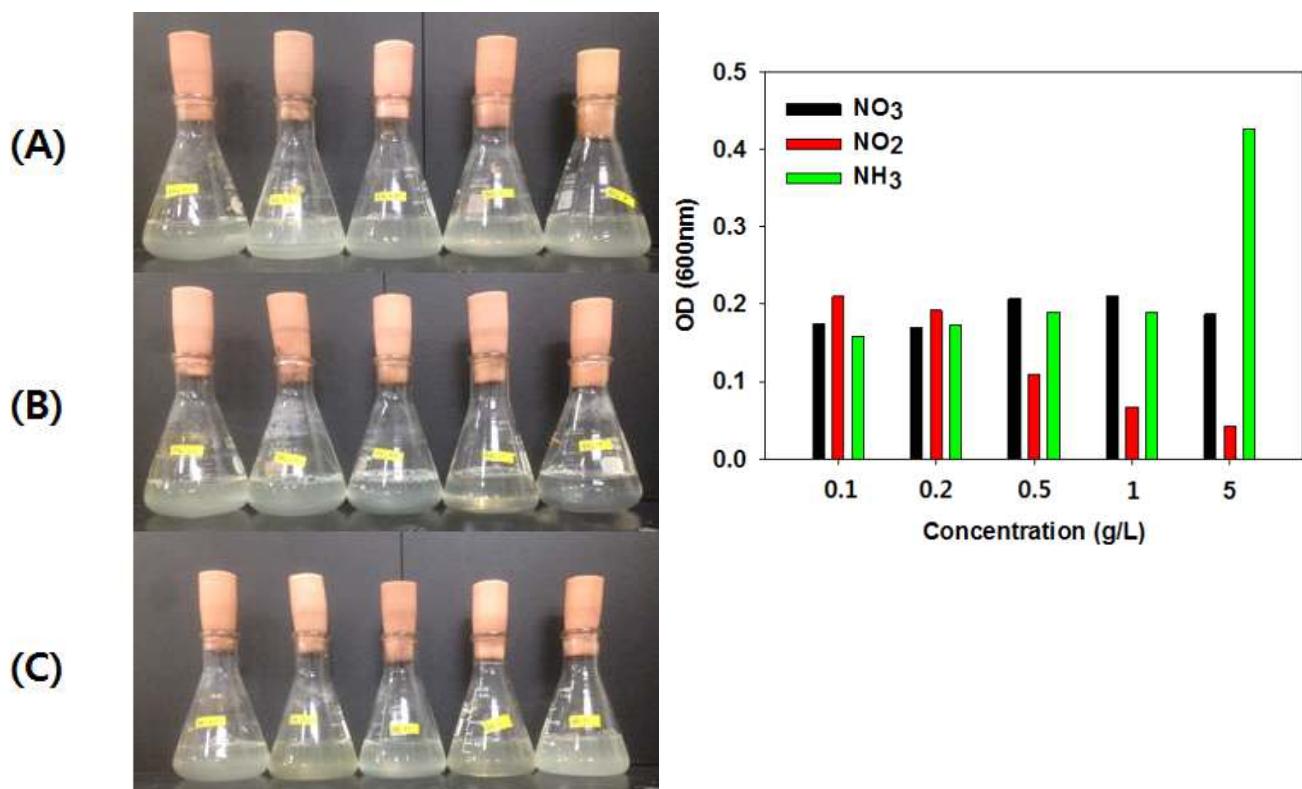


그림 7. 질소원의 종류 및 농도에 따른 *P. putida*의 생장 ((A): NO_3^- 농도 별, (B): NO_2^- 농도 별, (C): NH_3^- 농도 별, 좌측부터 0.1, 0.2, 0.5, 1, 5 g/L).

그림 7.은 질소원의 종류와 농도에 따른 *P. putida*의 생장 차이를 보여준다. 사용된 질소원은 NO_3^- , NO_2^- , NH_3^- 로 각각 0.1, 0.2, 0.5, 1, 5 g/L의 농도로 주입한 뒤, 배양하였다. 각 질소원의 농도에 따른 미생물의 생장차이를 나타낸다. NO_3^- 는 각 농도에 상관없이 비슷한 흡광도가 측정되어 *P. putida*의 생장에 쉽게 이용 가능한 것으로 확인되었다. 반면, NO_2^- 의 경우, 0.1, 0.2 g/L에서 같은 농도의 NO_3^- 보다 약간 높은 생장을 보였으나 고농도가 주입된 배지일수록 생장은 현저하게 감소하는 것을 확인하였다. 이는 일정 농도 이상의 NO_2^- 에서 *P. putida*의 생장이 저해 받는 것으로

판단할 수 있다. 마지막으로 NH_3 는 5g/L를 제외한 나머지 농도에서는 비슷한 생장을 보였으나, 5g/L의 조건에서는 약 2배 이상의 생장을 나타내어 특정 고농도의 NH_3 에서 *P. putida*의 생장이 높을 것으로 생각되어 진다.

이와 같은 결과는 VOCs 제거가 가능한 것으로 확인된 미생물 *P. putida*의 생장을 촉진하기 위하여 질소원의 종류와 농도비를 조절할 수 있을 것으로 생각되어 진다. 근권부 미생물의 종류에 따라 영양원의 종류와 농도비는 달라질 것으로 생각되나, *P. putida*의 우점화를 위하여 정확한 질소원의 종류와 농도비를 확인하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

라. 식물 토양 내 근권 미생물 증식과 VOCs 제거 향상을 위한 미생물 고정화

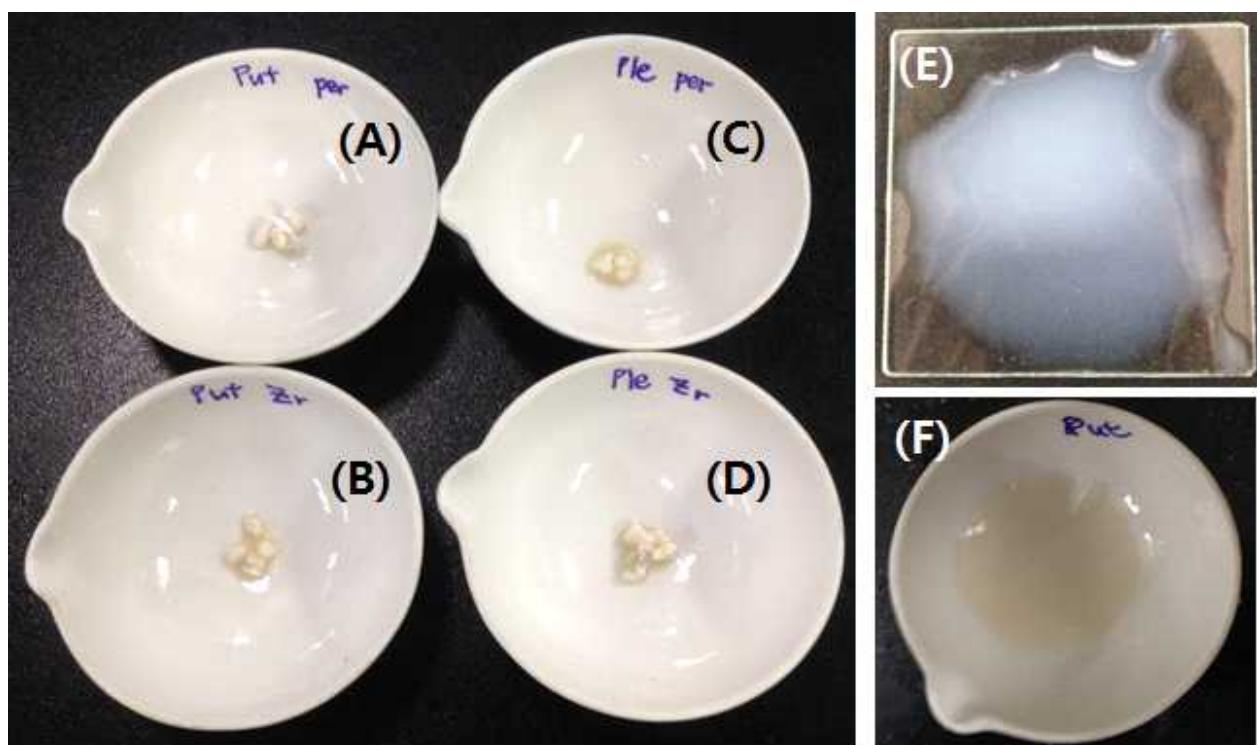


그림 8. 다양한 탐체를 이용한 미생물 고정화 ((A): Perlite+*P. putida*, (B): Pre treated perlite+*P. putida*, (C): perlite+*P. plecoglossicida*, (D): Pre treated perlite+*P. plecoglossicida*, (E): Alginate film+*P. plecoglossicida*, (F): Membrane filter+*P. putida*).



그림 9. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 7,000, Perlite+*P. putida*).

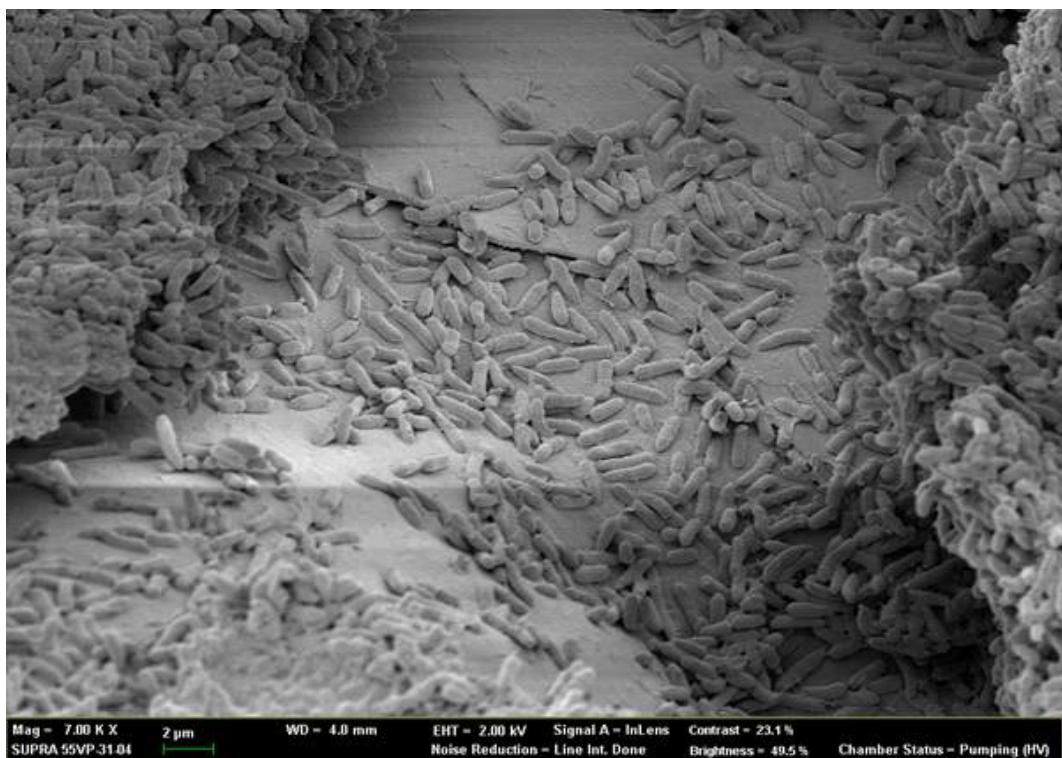


그림 10. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 7,000, Pre treated perlite+*P. putida*).



그림 11. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 10,000, Perlite+*P. plecoglossicida*).

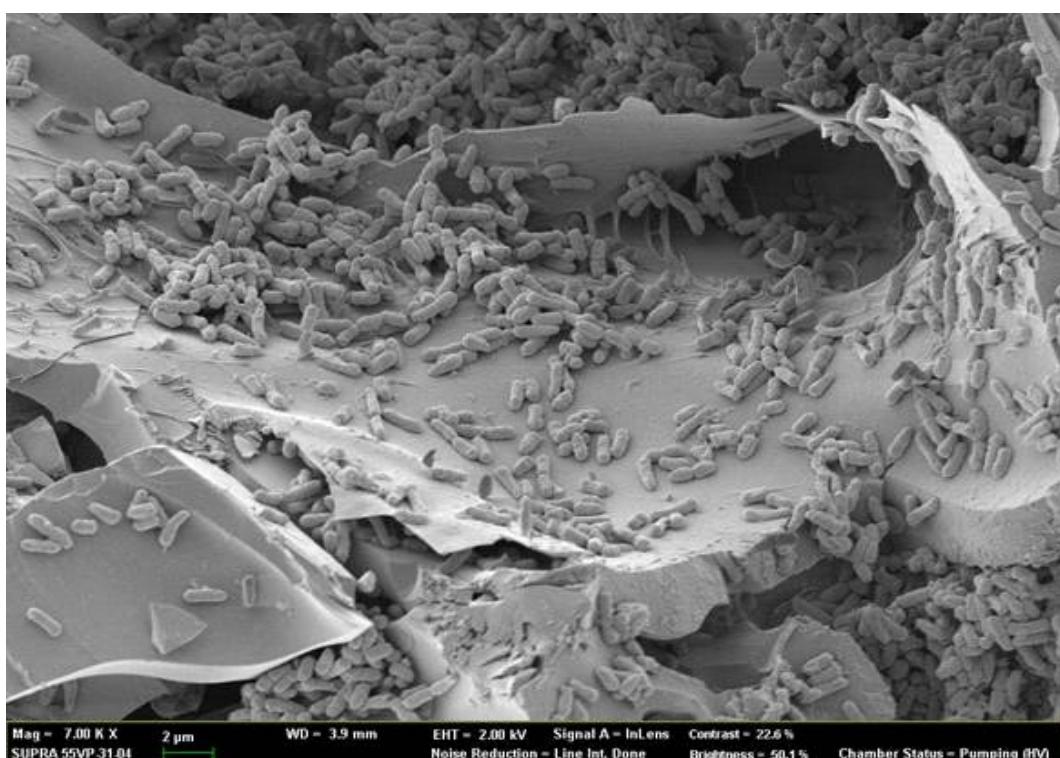


그림 12. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 7,000, Pre treated perlite+*P. plecoglossicida*).

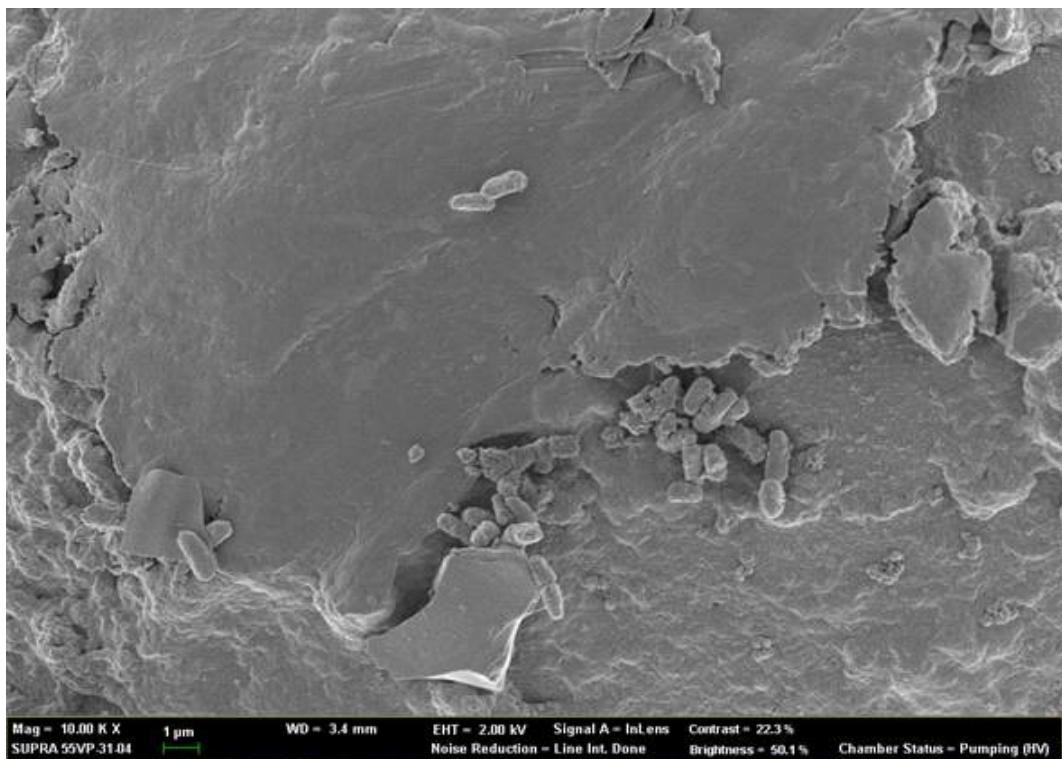


그림 13. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 10,000, Alginate film+*P. plecoglossicida*).

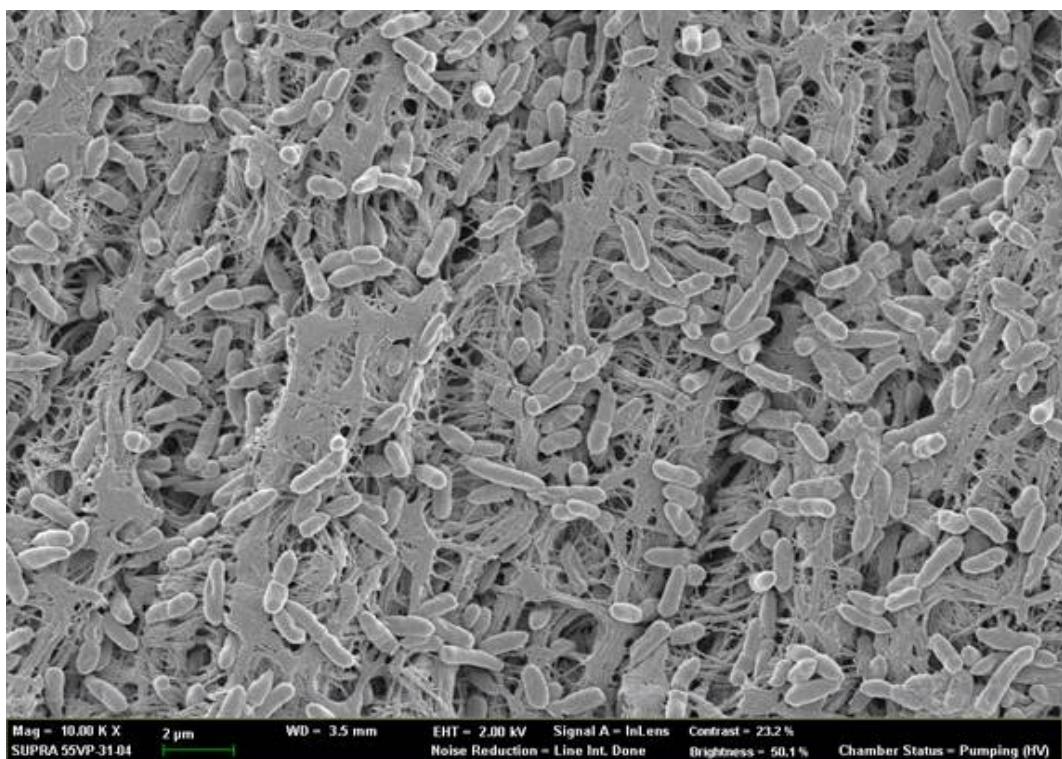


그림 14. 고정화된 미생물의 전자현미경 촬영사진 (x 10,000, Membrane filter+*P. putida*).

그림 8.은 다양한 담체와 근권부 미생물 (*P. putida*, *P. plecoglossicida*)를 고정화한 결과이다. 그림 9.부터 14. 는 각 담체에 고정화 된 근권부 미생물 (*P. putida*, *P. plecoglossicida*)의 FE-SEM 촬영 사진이다. 그림 9.부터 12.에서 perlite의 전처리 유무에 관계없이, 다양한 근권부 미생물이 고정화 되어있는 것을 확인할 수 있다. 그림 12.는 alginate film에 고정화된 미생물 사진으로, perlite에 비하여 적은 양의 근권부 미생물이 고정화되어 있었다. 그림 14. 은 근권부 미생물의 형태를 확인해보기 위한 대조군 사진으로, membrane filter에 근권부 미생물을 여과한 뒤 촬영하였다. 다른 담체들에서 확인된 근권부 미생물의 형태와 동일한 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로 식물 식재 시 수분 배출 및 기타 용도로 사용되는 perlite에 전처리 과정이 필요없이 근권부 미생물 (*P. putida*, *P. plecoglossicida*)이 고정화가 가능할 것으로 판단된다.

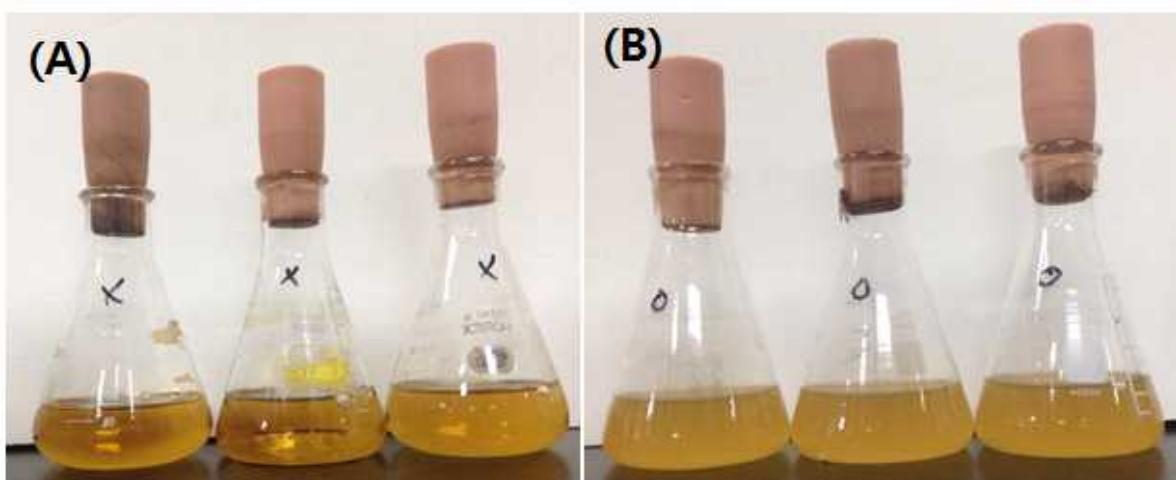


그림 15. 고정화된 담체를 이용한 액체 배지 배양 ((A): 멸균된 perlite, (B): 고정화된 perlite).

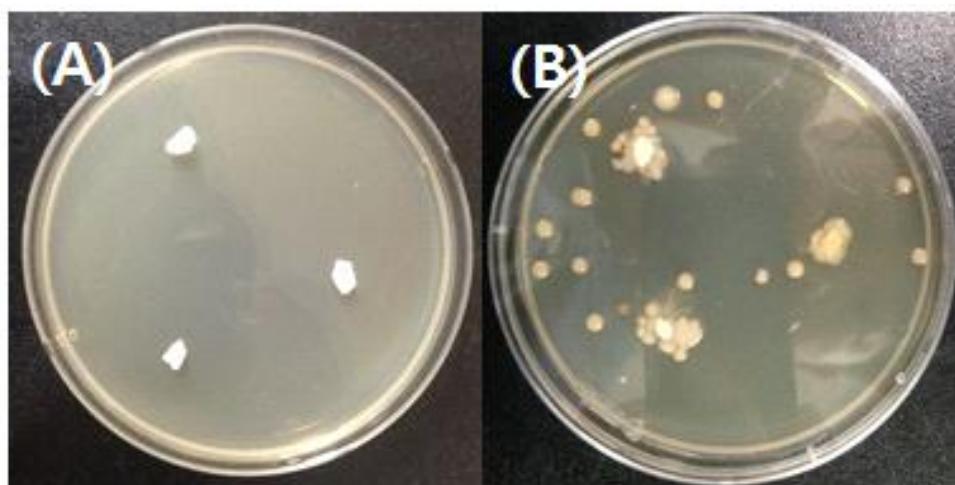


그림 16. 고정화된 담체를 이용한 고체 배지 배양 ((A): 멸균된 perlite, (B): 고정화된 perlite).

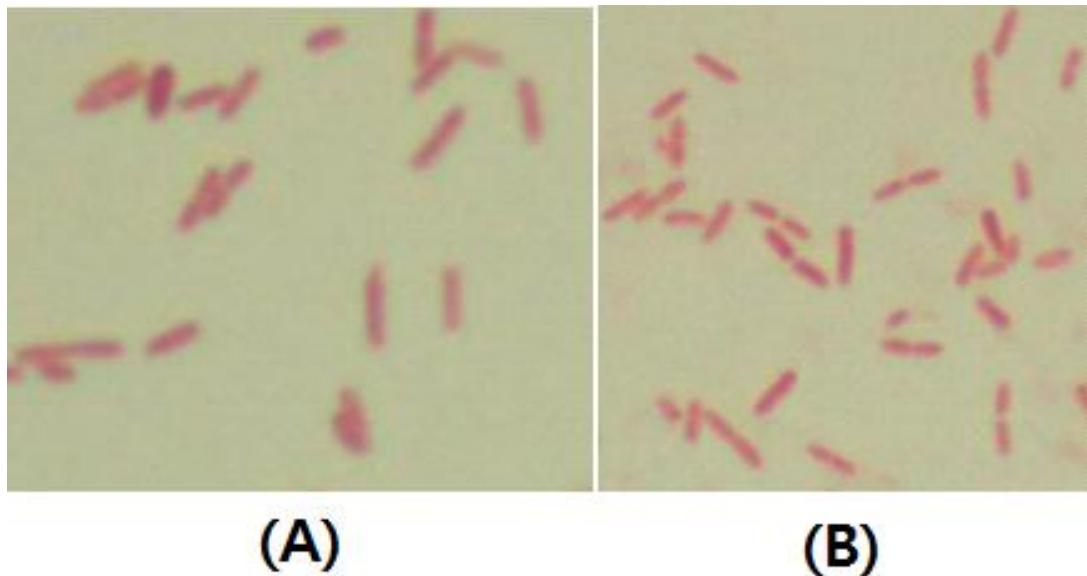


그림 17. 고정화된 담체로부터 배양된 미생물 Gram염색 결과, x1,000 ((A): 액체배지, (B): 고체배지).

그림 15.는 근권부 미생물이 고정화 된 perlite를 액체배지에 접종한 뒤 24시간 동안 배양한 모습이다. 멸균하여 접종한 perlite와 달리, 고정화된 perlite를 접종한 액체배지가 혼탁해진 것으로 미루어 보아 perlite에 고정화된 근권부 미생물이 배양되었음을 확인할 수 있다.

그림 16.는 근권부 미생물이 고정화된 perlite를 고체배지에 접종한 뒤 24시간 동안 배양한 모습이다. 멸균하여 접종한 perlite와 달리, 고정화된 perlite 주위로 미생물 콜로니를 확인할 수 있다. 이는 perlite에 고정화된 근권부 미생물이 perlite 주변에서 생장한 것으로 판단할 수 있다.

그림 17.은 근권부 미생물이 고정화된 perlite를 접종한 액체배지, 고체배지의 콜로니를 Gram 염색을 통하여 미생물의 형태를 확인한 결과이다. *Pseudomonas* 속 미생물은 Gram 음성 미생물이며 rod형태를 갖고 있다. 광학현미경 검경 결과, 액체배지 내 존재하는 미생물은 *Pseudomonas* 속 미생물과 동일하게 Gram 염색에서 붉은색을 띠고, rod 형태를 갖는 간균으로 확인되었다. 고체배지의 콜로니에서도 동일한 결과가 확인되어, 근권 미생물이 고정화된 perlite에 *P. putida*가 안정적으로 고정화되고, 생장이 가능한 것으로 판단할 수 있다.

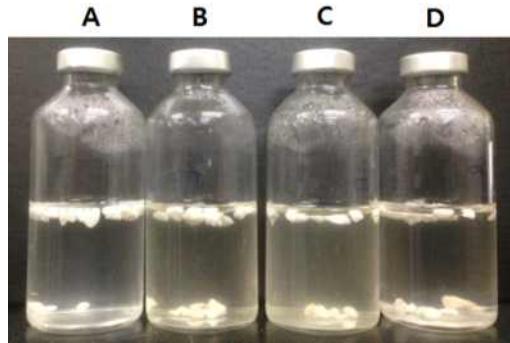


그림 18. 고정화된 담체의 toluene 제거 확인 실험 (A: 0ppm, B: 50ppm, C: 100ppm, D: 200ppm).

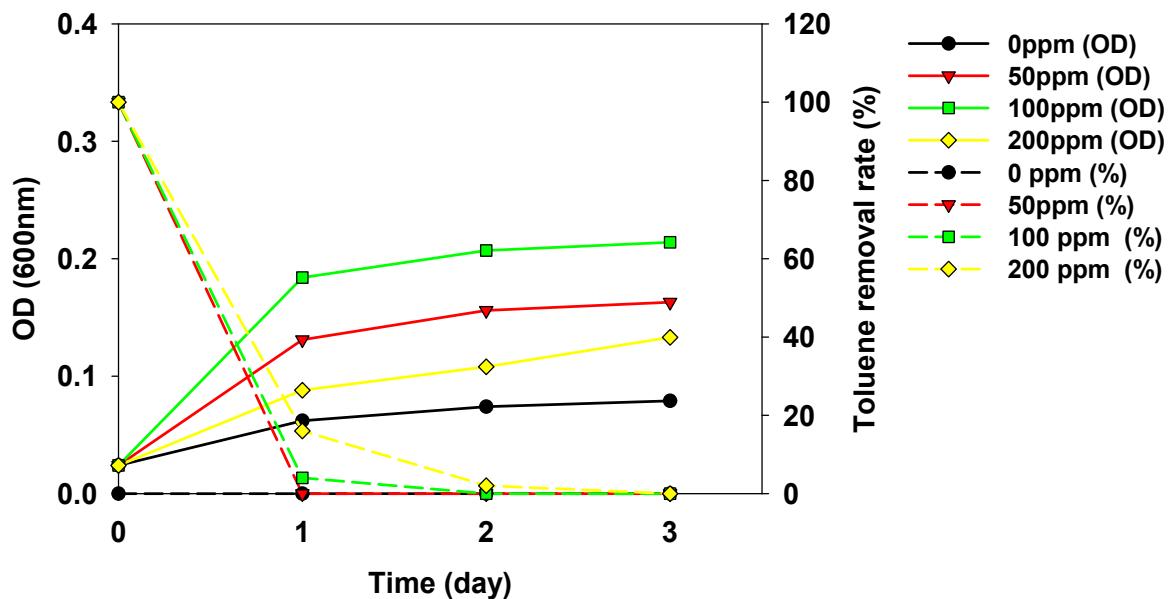


그림 19. *P. putida*가 고정된 perlite의 toluene 제거 효율 및 생장확인.

그림 18.은 균권부 미생물이 고정화 된 perlite 500mg을 탄소원이 제거된 M9 minimal medium에 접종한 뒤, 다른 농도의 toluene을 주입하여 배양한 결과이다. 육안으로 확인해 보았을 때, 50ppm부터 색상과 혼탁도가 변화된 것을 확인할 수 있었고, 100ppm에서 가장 혼탁한 것으로 확인되었다. 그림 19.는 toluene 농도별 *P. putida*의 생장과 toluene 제거효율을 나타낸 결과이다. 모든 농도의 toluene에서 *P. putida*의 생장이 확인되었으나, 0ppm에서는 toluene이 존재하지 않아 생장이 가장 낮았고, toluene이 100ppm 접종된 배지에서 가장 높은 생장을 확인할 수 있었다. Toluene 제거 효율은 0ppm을 제외한 나머지 농도에서 배양 2일 만에 모두 소모되었음을 알 수 있었다. 이는 toluene 제거가 가능한 균권부 미생물 (*P. putida*)가 perlite 고정화 유무에 관계없이 toluene을 소모하여 생장이 가능하다는 것을 나타낸다. 균권부 미생물이 고정화된 perlite를 식물 식재 시 사용하였을 때도 제거가 가능하다고 판단되어 진다.

<3년차>

1. 재료 및 방법

가. 고정화 미생물과 토양 혼합 시 VOCs 제거 효율 확인

실험방법으로는 밀폐된 vial 내에 toluene을 주입한 뒤 *P. putida*를 고정화한 zeolite와 hydroball을 첨가하여 toluene 제거와 *P. putida*의 생장을 확인하였다. Toluene은 GC/FID를 사용하여 분석하였고, *P. putida*의 생장은 흡광도로 측정하였다. 실험내용은 perlite가 아닌 다른 식재 첨가물에 *P. putida*를 고정화 하였고, toluene 제거 및 미생물 생장을 확인하였다.

나. Toluene 노출 토양에서의 토양 내 미생물 군집 및 *P. putida* 양 확인

실험방법으로는 밀폐된 vial 내에 토양과 *P. putida*를 접종한 뒤, toluene을 주입하여 *P. putida*의 생장과 toluene 제거, 타 미생물의 생장을 확인하였다. Toluene은 GC/FID를 사용하여 분석하였고, *P. putida*의 양과 타 미생물은 시료를 고체배지에도 말, 배양하여 확인하였다. 실험내용은 toluene 존재 하에서 *P. putida*가 toluene을 소모하며 우점종이 되고 타 미생물의 생장을 저해됨을 확인하였다.

다. 근권 미생물 (*P. putida*)의 장기적 우점 유지방안 탐색

실험방법으로는 VOCs에 노출된 식물 뿌리를 채취하여 *P. putida*의 부착 유무, 양 등을 확인하였다. 고체배지에서 씨앗을 발아시킨 후 뿌리를 실험에 사용하였다. 실험내용은 toluene 존재 하에서 발아된 씨앗의 뿌리와 *P. putida*의 균체수 변화를 확인하였다.

라. 근권 미생물 (*P. putida*)의 생장에 적합한 질소원 및 유기물 조건 확인

실험방법으로는 *P. putida* 생장에 적합한 질소원 성분 및 조성을 확인하고, 다양한 glucose 및 toluene 농도 조성을 통하여 탄소원 조건도 일부 확인하였다. *P. putida*의 생장은 흡광도를 이용하여 측정하였고, toluene은 GC/FID를 사용하여 분석하였다. 실험내용은 질소원 뿐 아니라 두 종의 탄소원에 한하여 *P. putida*의 생장차이를 확인하고 저농도, 고농도 toluene에서의 생장 차이 또한 확인하였다.

2. 주요 결과

가. 고정화 미생물과 토양 혼합 시 VOCs 제거 효율 확인

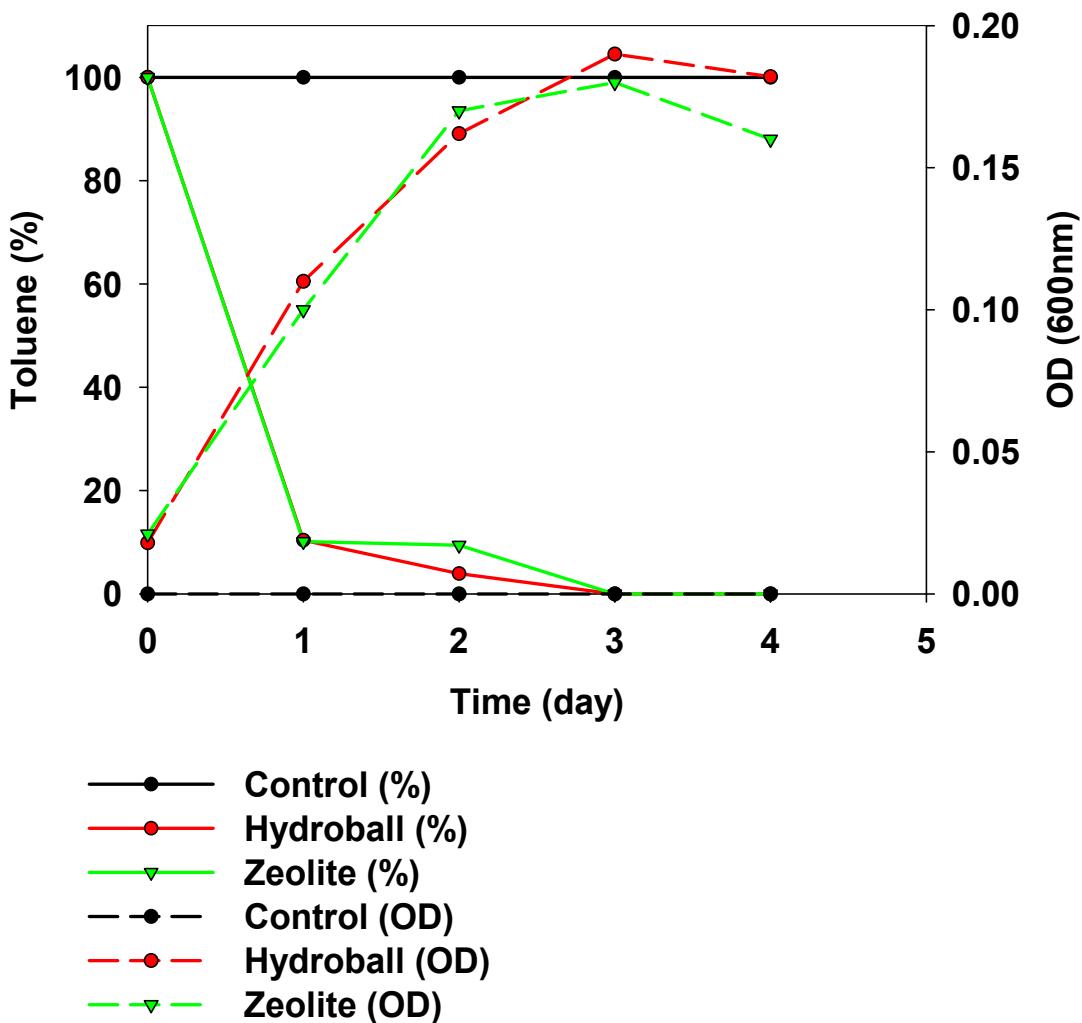


그림 1. 고정화 hydroball, zeolite의 toluene 제거율 및 *P. putida* 생장 결과.

그림 1. 은 균권부 미생물이 고정화 된 hydroball과 zeolite 500mg을 탄소원과 질소원이 제거된 M9 minimal medium에 접종한 뒤, toluene 200ppm을 주입하여 배양한 결과이다. 두 실험군 모두 배양 1일에 약 90%의 toluene을 제거하였고, 고정화된 *P. putida*의 생장 또한 toluene 농도 감소에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 배양 2일부터 hydroball의 toluene 제거율이 zeolite보다 약 3% 높았으며, 배양 3일 후 두 실험군에서 toluene을 전량 소모하였다. 배양 3일 후, *P. putida*의 생장도 증가하지 않은 것으로 확인되어 toluene을 전량 소비한 뒤 탄소원 결여로 생장이 멈춘 것으로 판단된다.

나. Toluene 노출 토양에서의 토양 내 미생물 군집 및 *P. putida* 양 확인

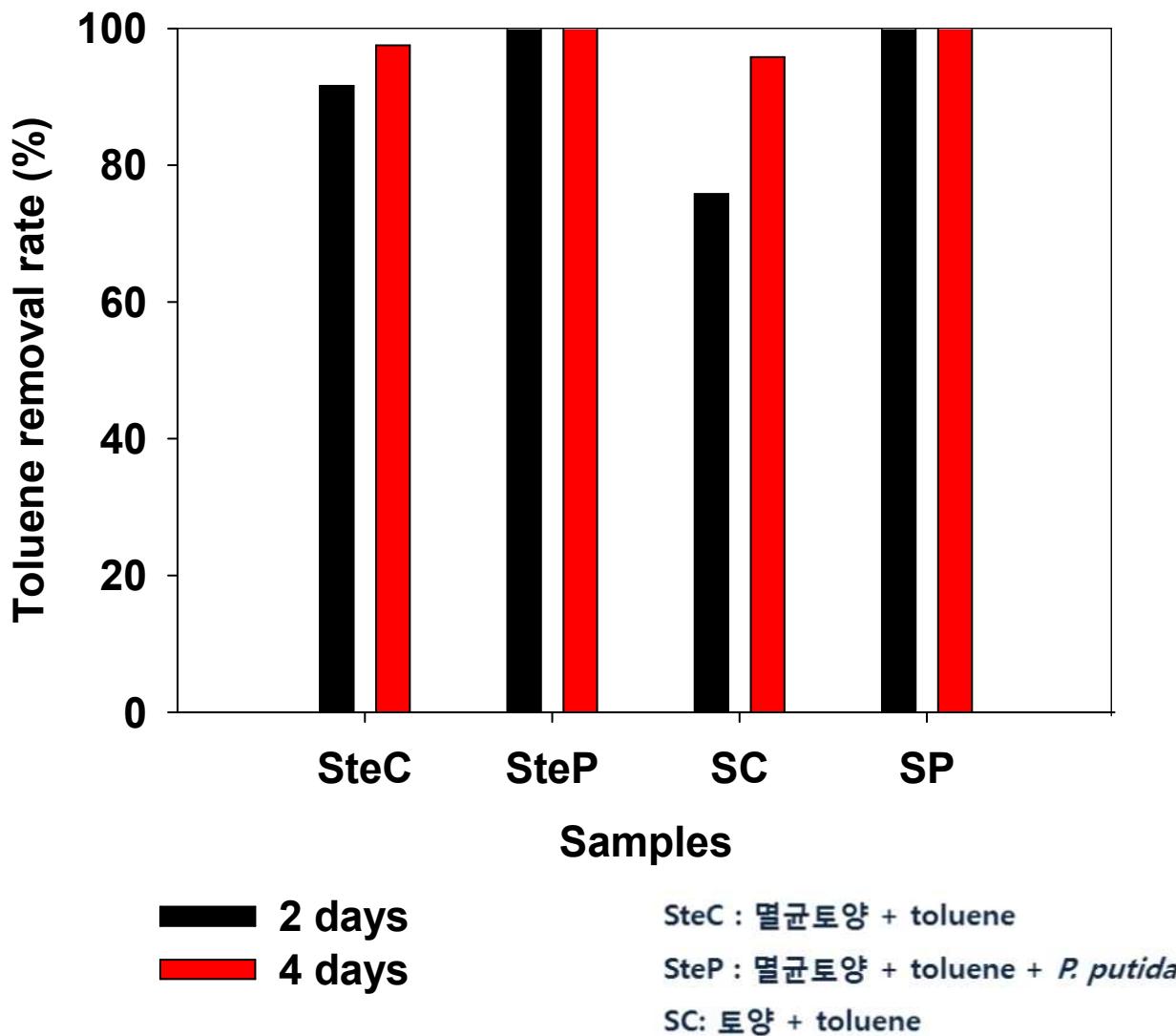


그림 2. *P. putida* 접종에 따른 토양의 toluene 제거율 결과.

그림 2. 는 멸균토양, 일반토양을 밀폐된 vial에 200ppm의 toluene, 10ml M9 medium과 함께 주입 후, *P. putida*를 접종하지 않은 대조군과 접종한 실험군에서의 toluene 제거율 결과이다. 토양의 멸균 유무에 관계없이, *P. putida*의 접종 유무에 따라 toluene의 제거율 차이를 확인할 수 있었다.

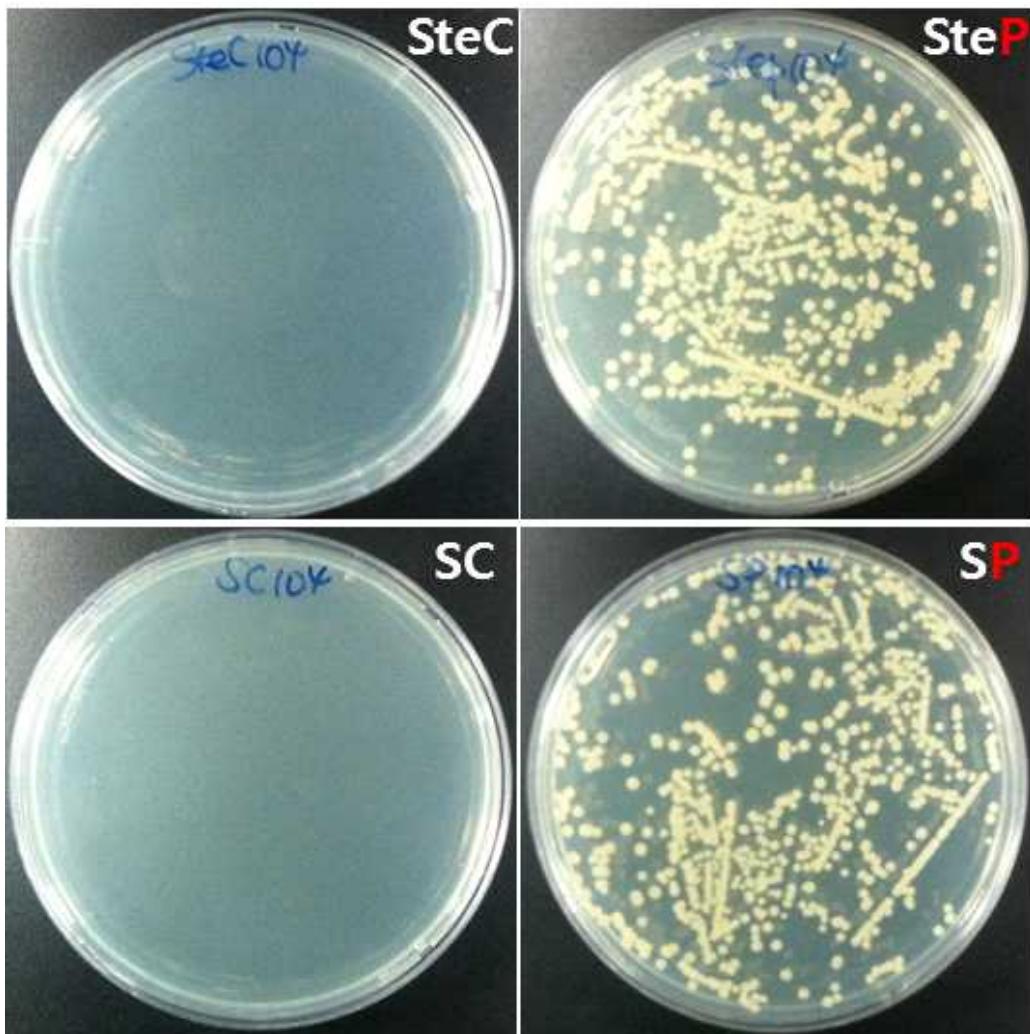


그림 3. Toluene 주입 시 *P. putida* 접종에 따른 토양 내 미생물 우점 종 확인.

그림 3. 은 각 실험군을 4일간 배양한 뒤 plate count agar에 10⁴배 희석하여 도말, 배양한 결과이다. 배양 조건은 25℃에서 1일간 배양하였다. *P. putida*를 접종하지 않은 실험군에서는 미생물 콜로니가 전혀 확인되지 않았으나, *P. putida*를 접종한 두 실험군에서는 *P. putida* 콜로니가 확인되었다. 멸균토양과 일반토양에서 약 4 x 10⁷ CFU/ml로 *P. putida*가 확인되었다. 이를 통하여, 고농도의 toluene 조건에서 *P. putida*의 생장 및 우점을 확인할 수 있었다.

다. 근권 미생물 (*P. putida*)의 장기적 우점화 유지방안 탐색

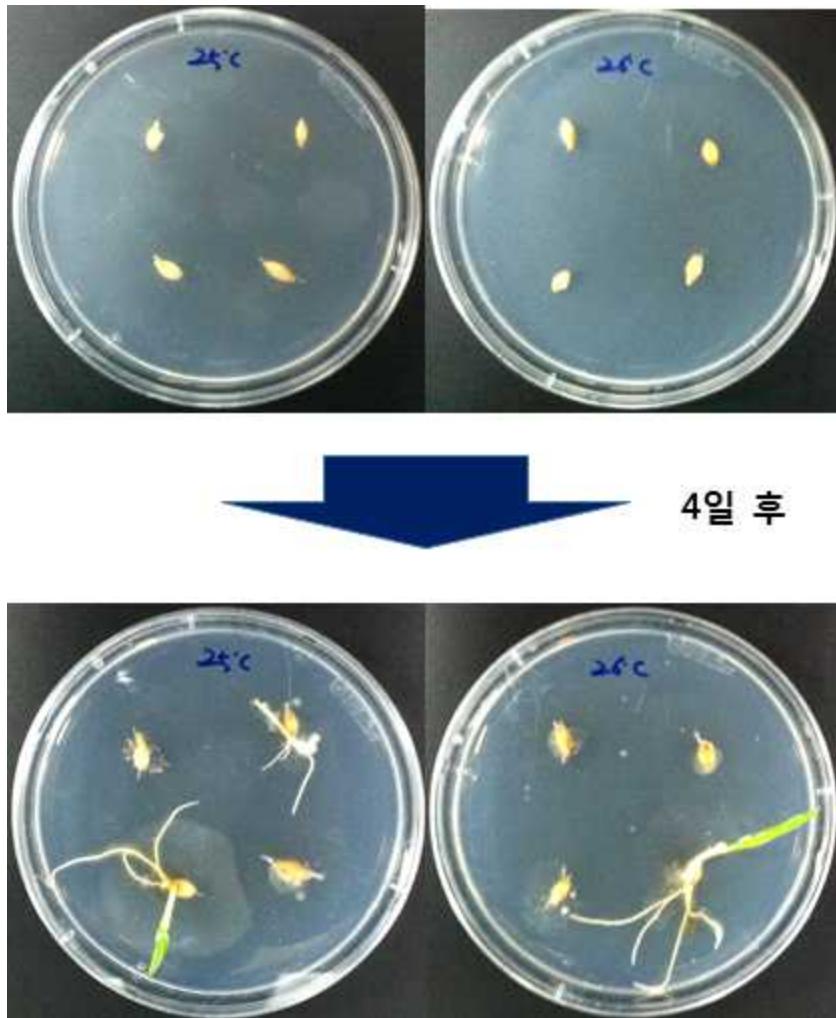


그림 1. Hoagland solution agar를 이용한 보리 씨앗 발아 결과.

그림 1.은 보리 씨앗을 수생식물 배양 용 배지인 Hoagland solution에 배양하여 발아를 유도한 결과이다. 1/4로 희석한 Hoagland solution에 agar를 1%(w/v) 첨가하여 고체형태로 배지를 제조한 뒤, 보리 씨앗을 배지 당 4개씩 접종한 뒤 각각의 온도 (25, 26°C)에서 3일간 배양하였다. 다른 두 온도에서 발아가 확인되었으며, 각 뿌리 당 *P. putida* 배양액 20 μ l씩 접종한 후 인큐베이터에서 1일간 추가 배양하였다.

1일 추가 배양 후, 뿌리 근처에서 미생물 콜로니로 생각되는 직경 1 - 2mm 정도의 이물질이 확인되었다. 발아된 식물을 밀폐된 용기에 옮겨 식재한 뒤 2일간 배양하였다. 밀폐된 용기 내부의 절반은 1/4로 희석한 Hoagland solution agar로 채웠고, 100ppm toluene 조건을 조성하였다. 밀폐된 용기에 식재 전, 후 주사전자현미경 (SEM) 촬영과 FISH를 진행하였다.

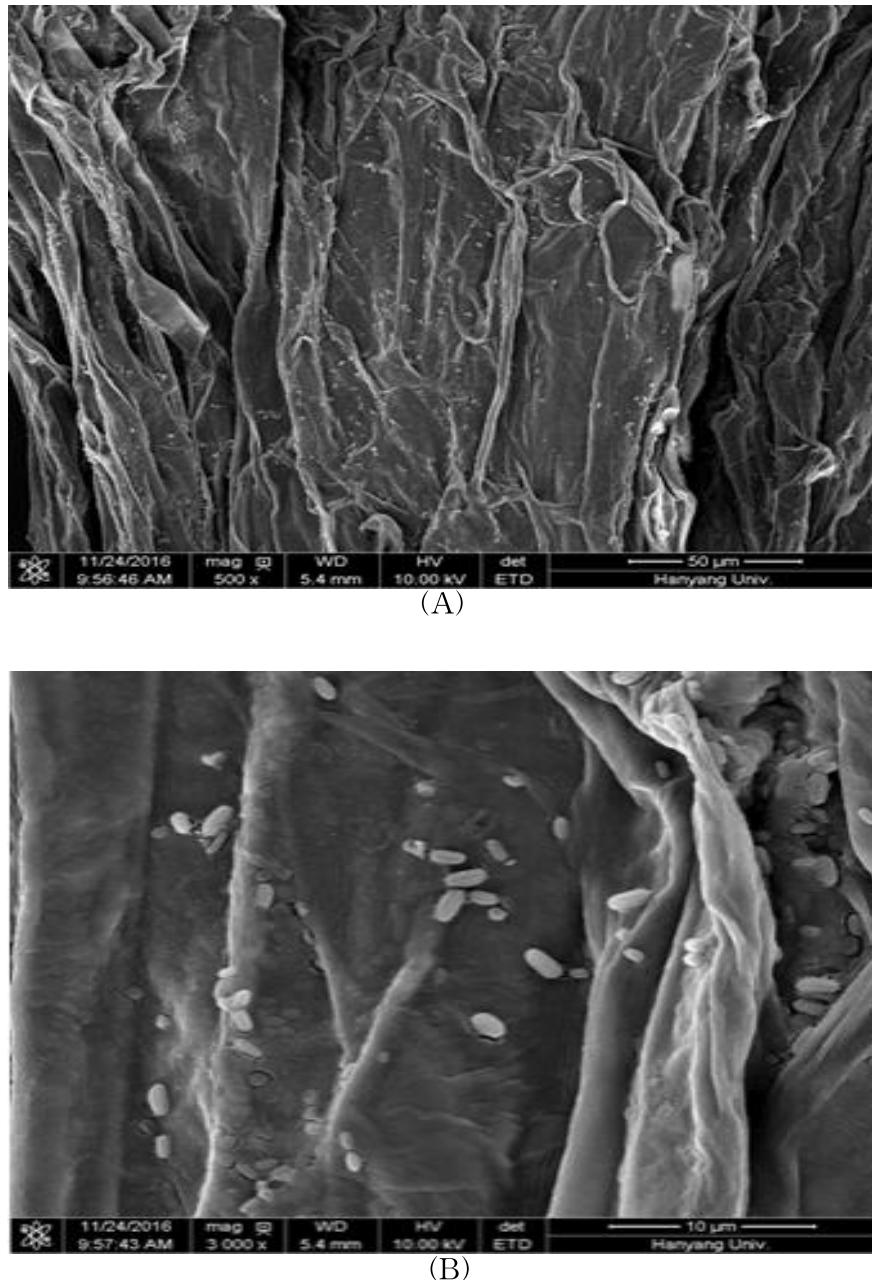


그림 2. Toluene 주입 전 식물 뿌리 전자현미경(SEM) 사진 검경 결과 (A: 500배, B: 3,000배).

그림 2.는 toluene이 주입된 밀폐 용기로 식재 전에 촬영한 전자현미경 사진 결과이다. A는 500배, B는 3,000배로 촬영하였다. 상대적으로 저배율인 A 결과에서 식물 뿌리 외부에 하얀 점처럼 부착되어 있는 미생물을 확인할 수 있다. 고배율 촬영 결과 B에서는 식물 뿌리에 부착되어 있는 간균 형태의 미생물 확인이 가능하다. Toluene이 주입된 밀폐 용기에 식재 전, *P. putida*를 각 뿌리에 접종하였기 때문에 *P. putida*가 뿌리에 부착되어 있는 것으로 생각되어 진다.

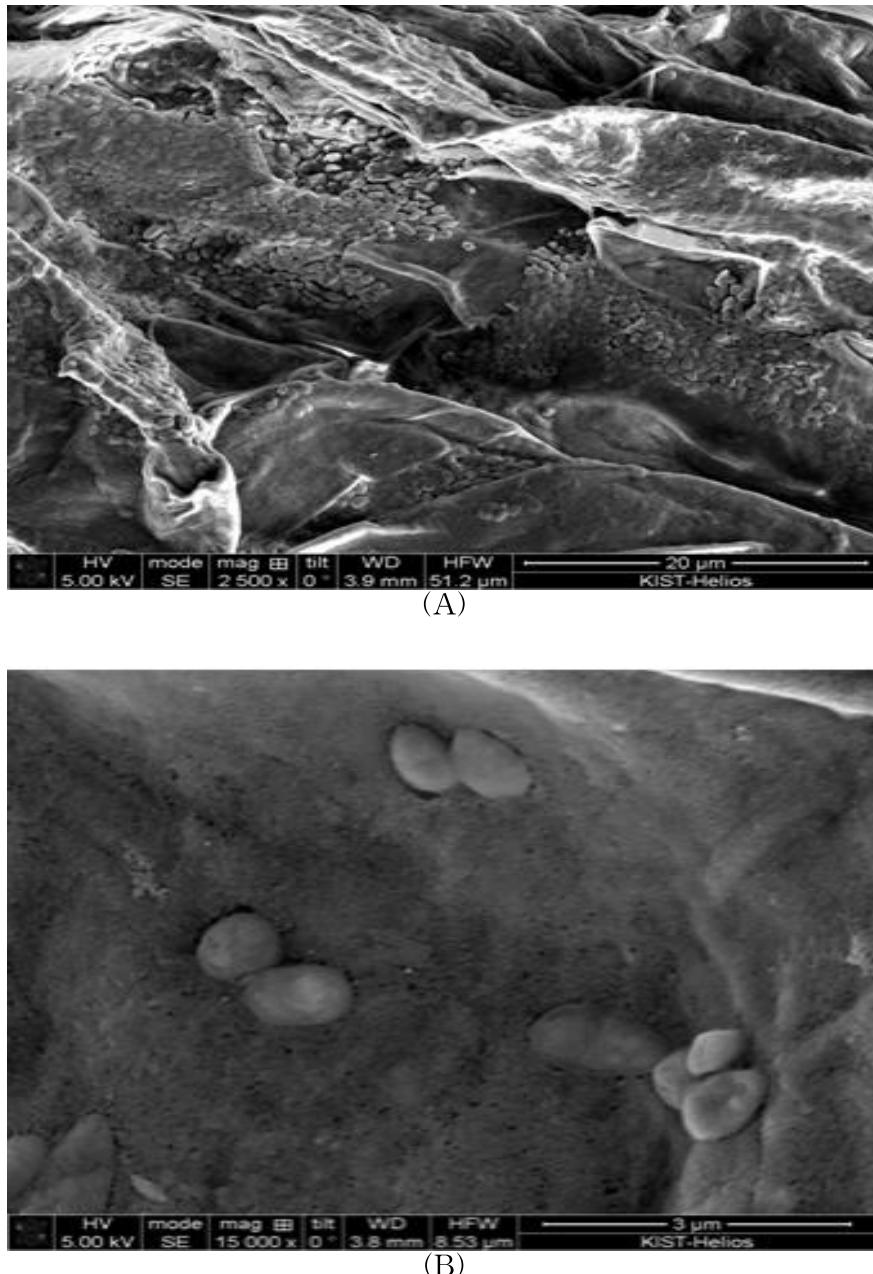


그림 3. Toluene 주입 후 식물 뿌리 전자현미경(SEM) 사진 검경 결과 (A: 2,500 배, B: 15,000배).

그림 3.은 toluene이 주입된 밀폐 용기로 식재 및 배양 후에 촬영한 전자현미경 사진 결과이다. A는 2,500배, B는 15,000배로 촬영하였다. A 결과에서 식물 뿌리 외부에 간균 형태의 미생물 군집이 다량 부착되어 있는 것을 확인할 수 있다. B에서는 식물 뿌리에 부착되어 있는 미생물을 15,000배 고배율로 확대하였다. 타원 형태의 미생물이 관찰되었다. Toluene이 주입된 후, 뿌리에 접종된 *P. putida*가 용기 내 toluene (이용 가능한 유일 탄소원)을 소모하여 증식했을 것으로 판단된다.

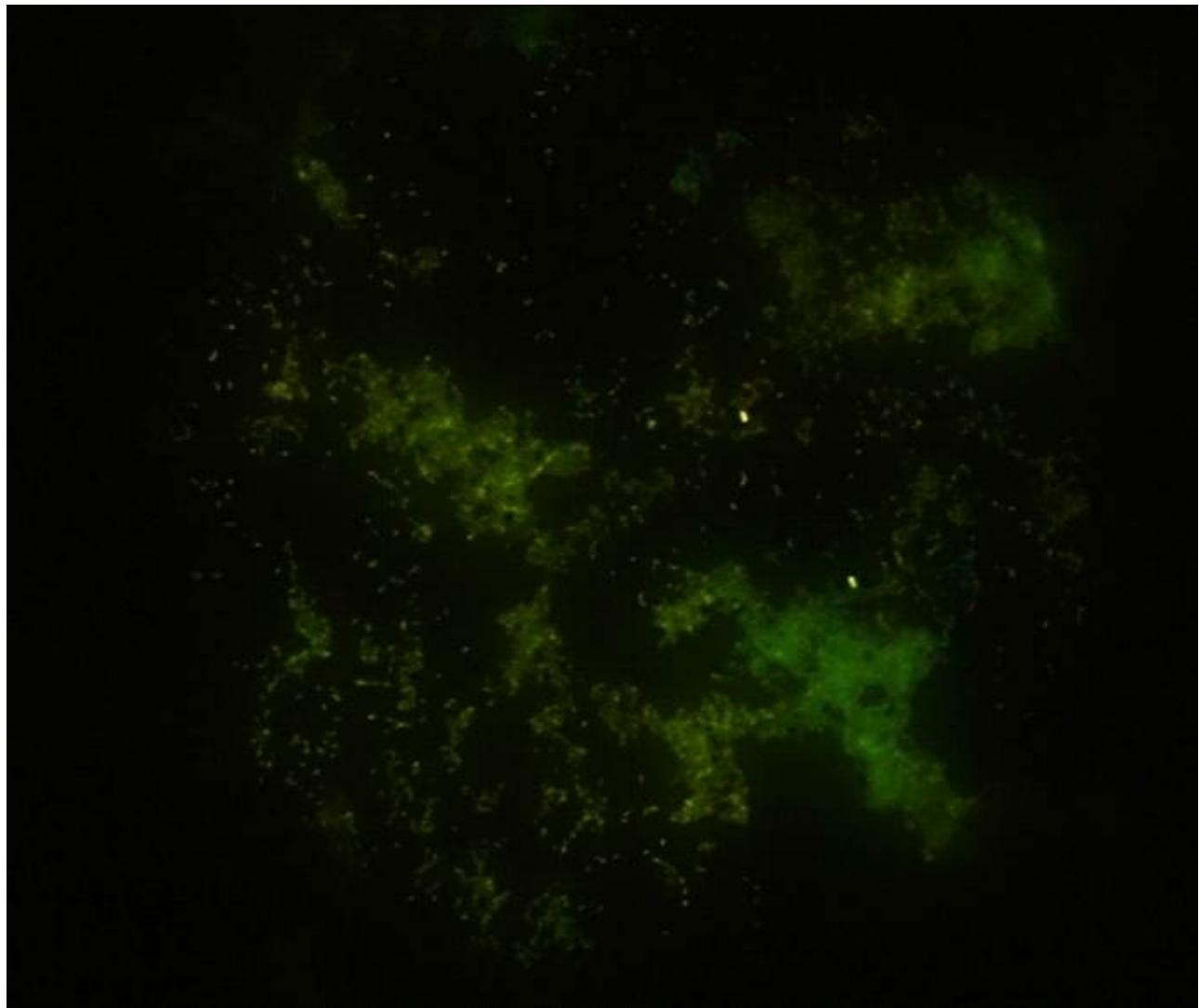


그림 4. FISH 후 미생물 형광현미경 촬영 결과 (대조군).

그림 4.는 *P. putida*를 FISH처리하여 형광현미경으로 촬영한 결과 사진이다. 현재 녹색 형광으로 명확하게 확인된다. 하지만 식물 뿌리 자체에서 autofluorescence가 강하기 때문에 식물 뿌리와 함께 촬영 시, 미생물에 부착된 형광 염색시약의 형광이 상대적으로 약하게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다.

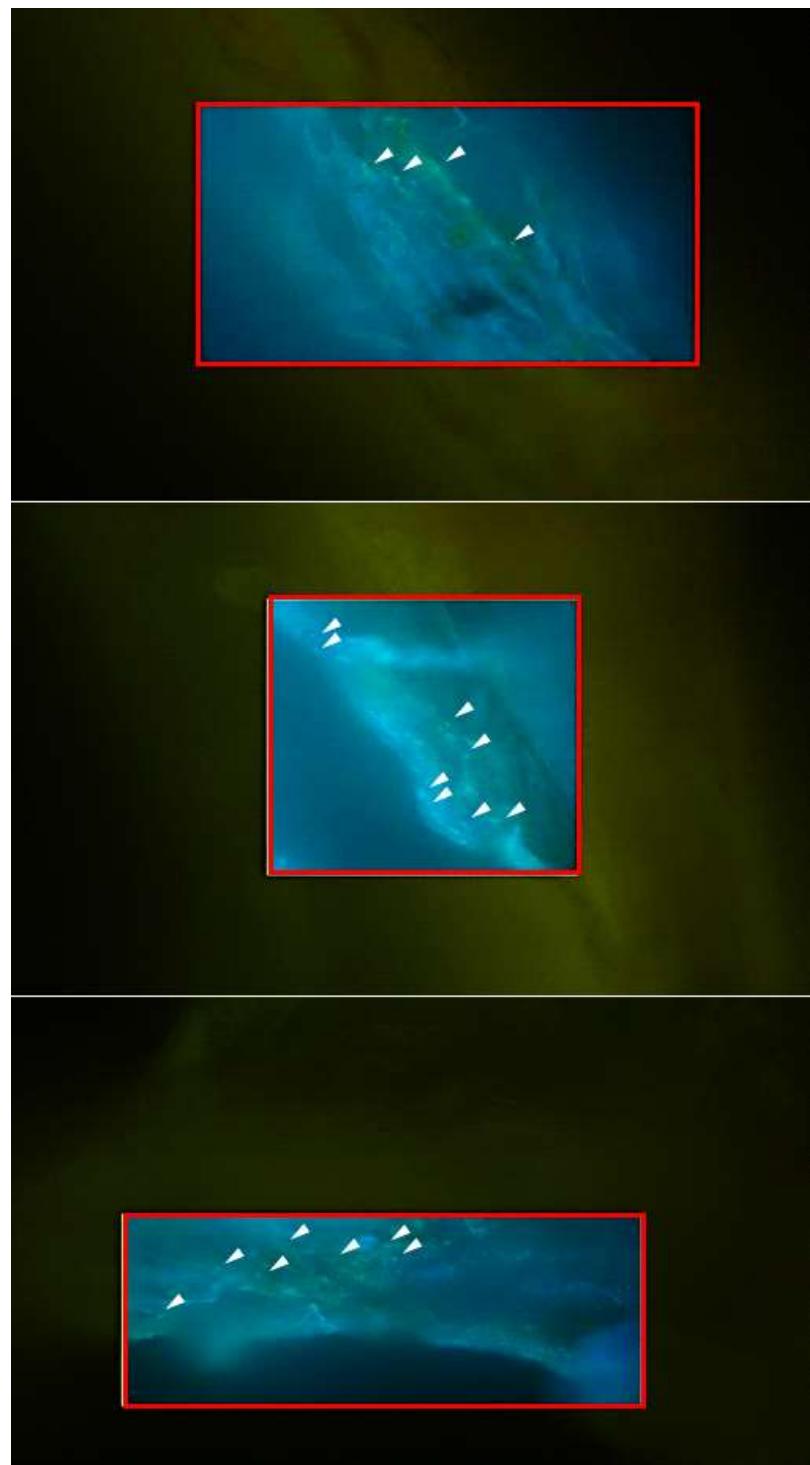


그림 5. FISH 후 뿌리와 미생물 형광현미경 촬영 결과 (실험군).

그림 5.는 식물 뿌리와 *P. putida*를 FISH처리하여 형광현미경으로 촬영한 결과 사진이다. 사진 배경에 노란색으로 나타나는 것이 뿌리의 autofluorescence로, 대략적인 뿌리의 형태가 확인 가능하다. 빨간 상자 안쪽은 뿌리에 부착된 미생물을 뿌리와 함께 확인한 결과이다. 뿌리의 autofluorescence로 인하여 미생물의 형광 확인이 어려운 실정이다.

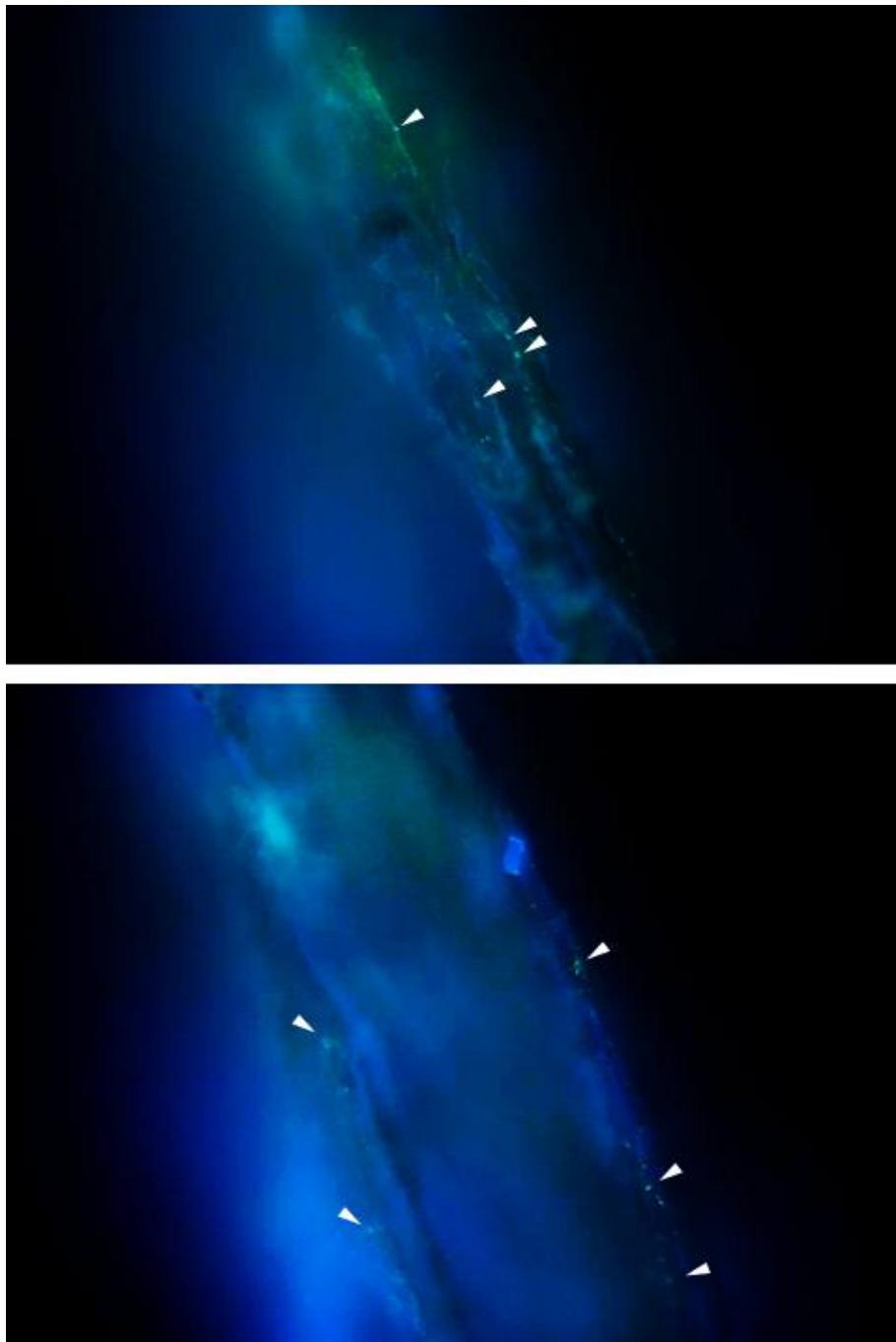


그림 6. Toluene 주입 전 식물 뿌리 FISH 후 형광현미경 사진 검정 결과 (400배, 흰색 삼각형: 미생물).

그림 6.은 toluene이 주입된 밀폐 용기로 식재 전에 촬영한 형광현미경 사진 결과이다. 파란색은 식물 뿌리, 뿌리 사이에 녹색 형광이 미생물로 확인된다. 전자현미경 결과와 비교하였을 때, 배율이 상대적으로 낮으나 확인되는 미생물의 개수가 상대적으로 적게 관찰된다.

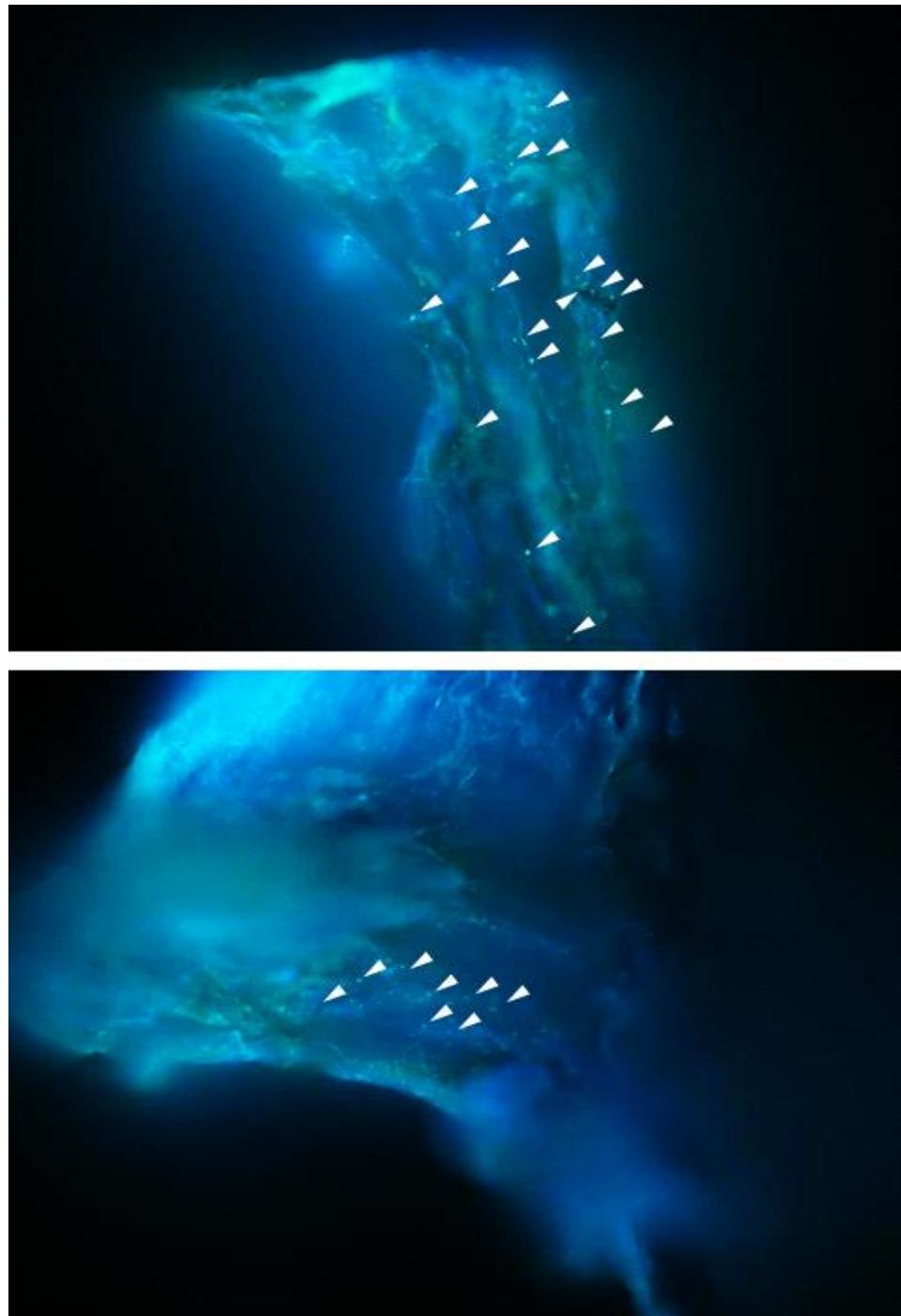


그림 7. Toluene 주입, 배양 후 식물 뿌리 FISH 후 형광현미경 사진 검정 결과 (400배, 흰색 삼각형: 미생물).

그림 7은 toluene이 주입된 밀폐 용기로 식재 및 배양 후에 촬영한 형광현미경 사진 결과이다. 식재 전과 비교하였을 때, 미생물로 생각되어지는 형광을 보다 다수 확인할 수 있었으나 전자현미경 결과에는 아직 미치지 못하는 것으로 생각되어 진다. 두 종류의 현미경 검정 결과, toluene 유무에 따라 식물 뿌리에 부착되어 생장하는 *P. putida*의 양에 차이가 있음을 확인할 수 있다.

라. 근권 미생물 (*P. putida*)의 생장에 적합한 질소원 및 유기물 조건 확인

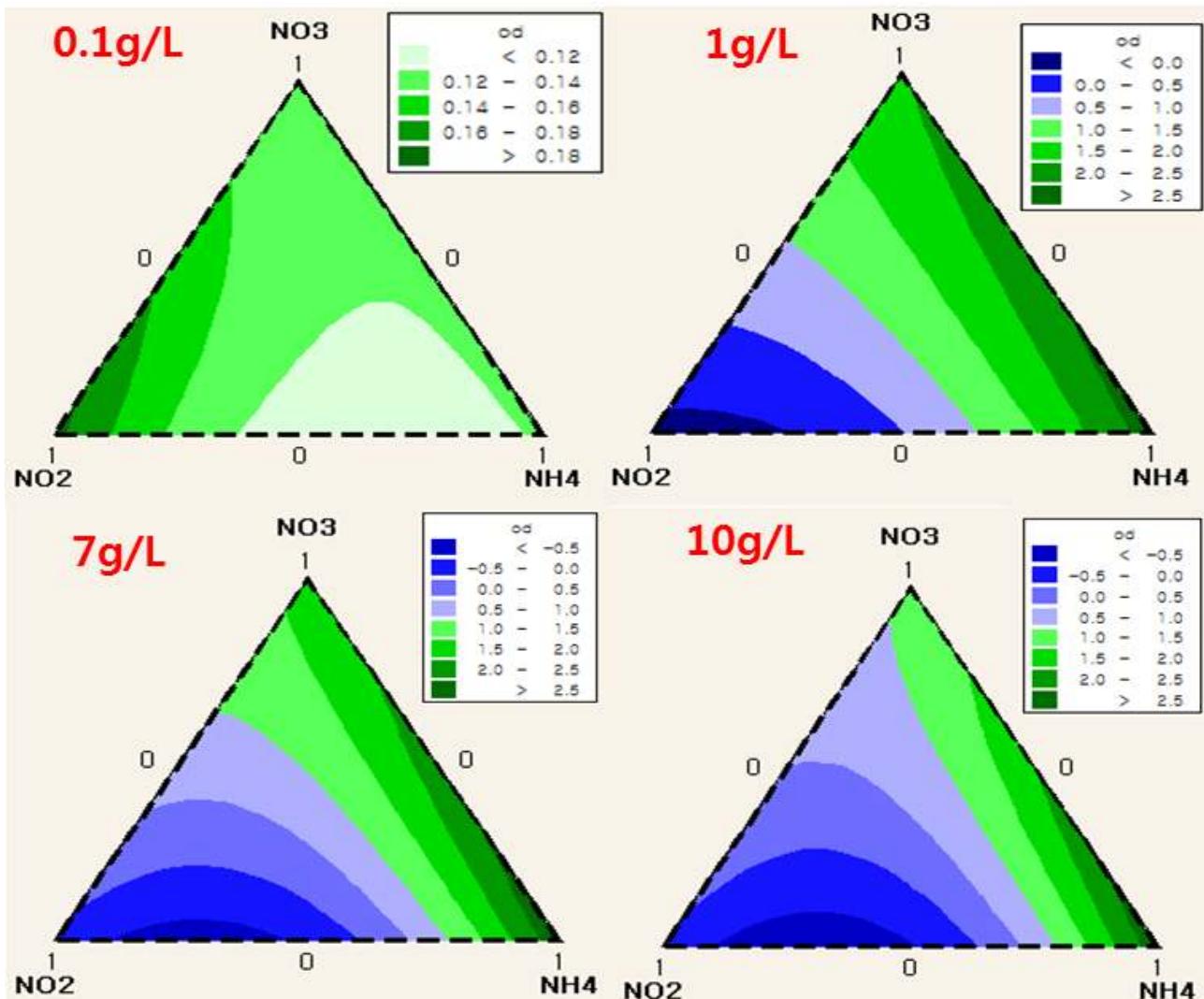


그림 8. 질소원 성분 및 조성에 따른 *P. putida* 생장 결과.

그림 8.은 질소원의 종류, 조성, 총 농도에 따른 *P. putida*의 생장 결과를 나타내었다. 0.1 g/L를 제외한 나머지 농도에서 NH₃의 농도가 증가함에 따라 *P. putida*의 생장도 증가함을 확인할 수 있었다. 반면에 0.1 g/L에서는 NO₂의 농도가 높아짐에 따라 *P. putida*의 생장이 증가하는 것을 확인하였다. 이를 통하여 총 질소원 농도에 따라서 *P. putida*가 이용하는 질소원의 종류가 다를 것이라 예상되나, 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

그림 9. 질소원 결여 배지에서 toluene 농도에 따른 *P. putida*의 생장 및 toluene 제거 결과.

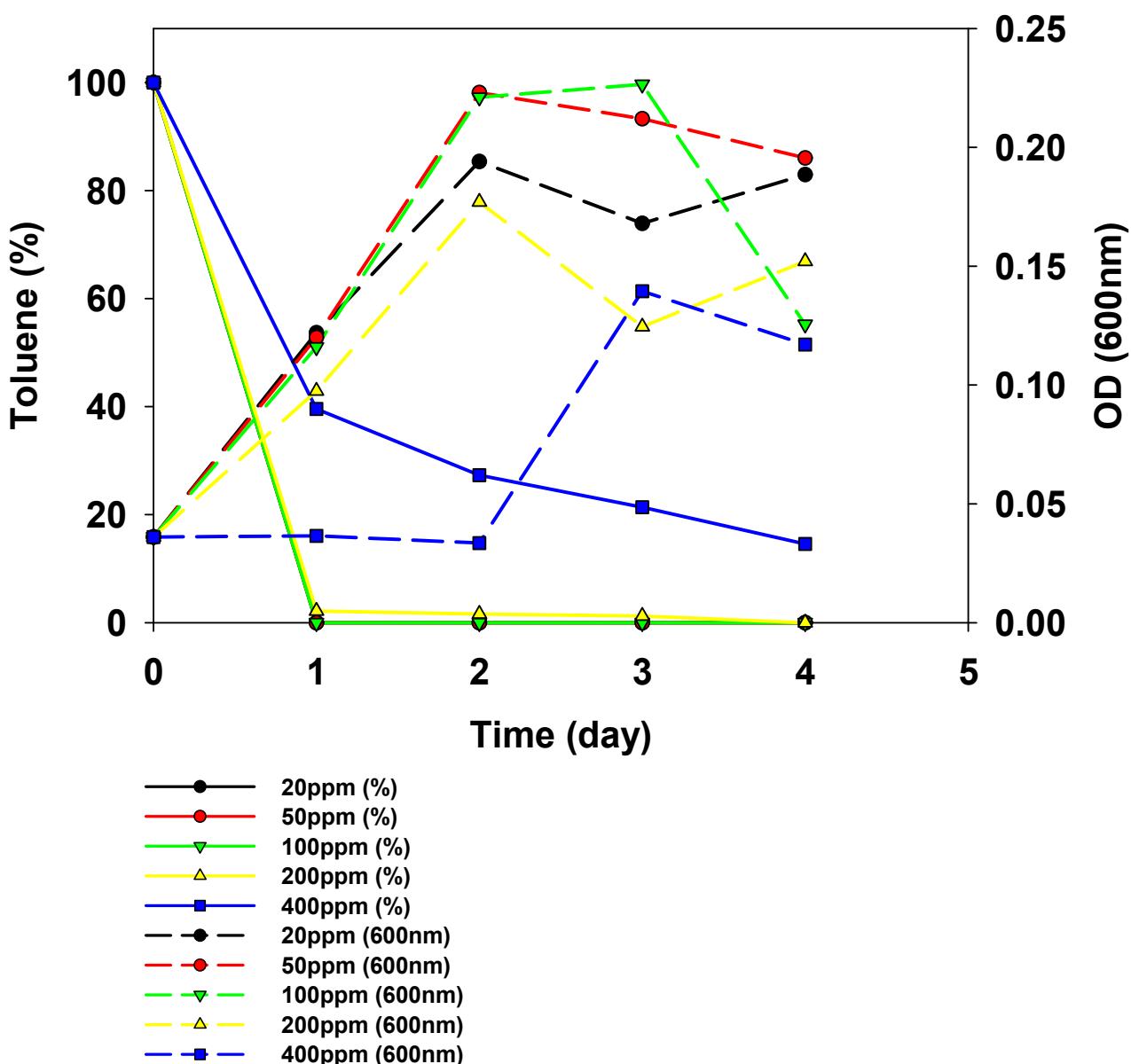


그림 9.는 질소원이 결여된 M9 minimal medium 25ml에 2%(v/v) *P. putida* 배양액을 접종하고 다섯 농도의 toluene을 각각 주입한 뒤 4일간 25℃에서 배양한 결과이다. 배양 1일 만에 toluene 400ppm을 제외한 실험군에서 toluene이 전량 소모되었으며, 배양 2일 이후 *P. putida* 생장이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 400ppm의 경우, toluene은 배양 초기부터 감소하였으나 *P. putida*의 생장은 배양 2일부터 3일 사이에 증가되는 것으로 나타났다. 또한, toluene 400ppm 실험군에서 toluene은 배양 4일 동안 전량 소모되지 않았다. 1차 년도 연구결과에서 *P. putida*가 공기 중의 질소고정이 가능한 것으로 확인되어, 질소원 결여배지와 질소원 첨가 배지에서의 *P. putida* 생장 차이는 크게 확인되지 않았다.

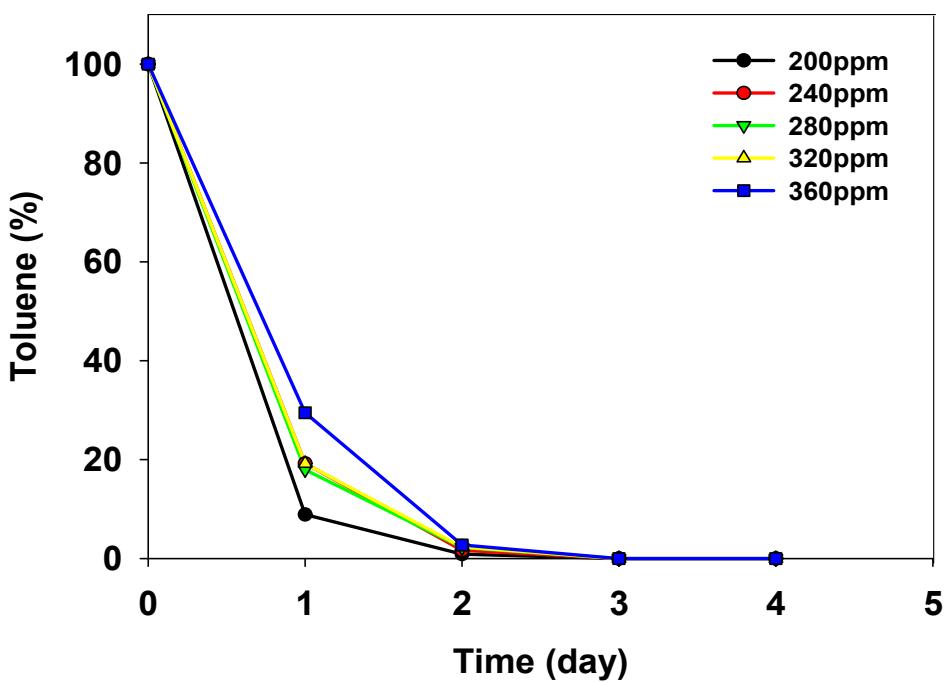


그림 10. Toluene 농도에 따른 *P. putida*의 toluene 제거 결과.

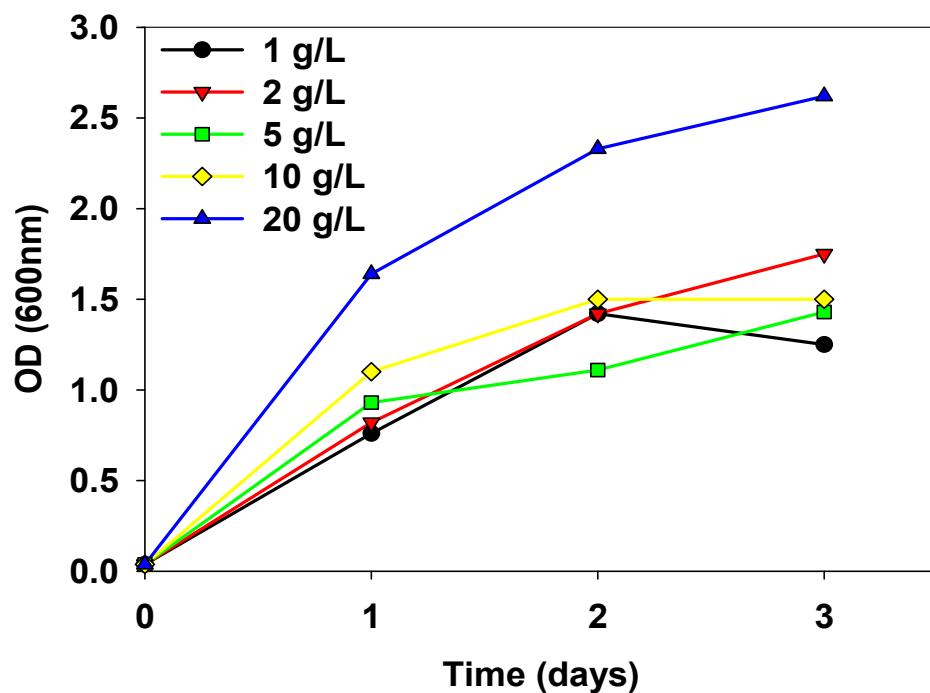


그림 11. Glucose 농도에 따른 *P. putida*의 생장 결과.

그림 10.은 toluene 200ppm부터 360ppm까지 40ppm 간격으로 주입한 시료의 toluene 제거 결과이다. 모든 실험군에서 배양 1일 만에 60 - 90%의 toluene이 제거 되는 것으로 확인되었다. 두 결과를 종합하면, *P. putida*가 고농도의 toluene에서 생장이 가능하고 일정 농도 이상의 toluene에서는 저농도에 비해 상대적으로 낮은 속도로 소모하는 것을 알 수 있다.

그림 11.은 질소원이 결여된 M9 minimal medium 25ml에 2%(v/v) *P. putida* 배양액을 접종하고 다섯 농도의 glucose를 각각 주입한 뒤 3일간 25°C에서 배양한 결과이다. Glucose의 경우, 20g/L 이하의 농도에서 생장은 크게 차이가 없었다. 일정 농도 이상까지는 glucose 농도가 증가함에 따라 *P. putida*의 생장도 증가할 것으로 생각된다.

<제 2협동과제 : 식물과 근권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발>

<1년차>

연구수행 내용

▶ 실험1: 환경정화 벽면녹화시스템의 식물뿌리 활착을 위한 특수 패널개발

- 근권부 미생물을 이용하여 환경개선을 극대화 할 수 있는 제품이 필요함
- 식물뿌리 활착 가능한 패널 자재 종류: 흡습부직포가 부착된 이중 패널(조경용 배수판)을 하단에 기본으로 사용
- 식물 식생 패널 재료
 - 개발하려는 패널은 벽면녹화용 화분에 접목시키기 위함이므로 가벼워야 하고, 뿌리가 활착할 수 있게 습도를 유지하여야 한다.
 - 식물뿌리 부분의 미생물이 서식 할 수 있는 환경을 유지하고, 식재 및 시공이 간편해야한다.
 - 황마와 코이어 섬유로 제작한 식생매트는 제품이 가벼워 시공이 간단하며 자연적으로 부식되어 유기물 비료로 되기 때문에 환경 친화적임
 - 수경재배 매트는 충분히 매트가 젖을 수 있도록 하여 뿌리의 활착에 도움을 줌
- 식물뿌리 활착 가능한 패널 개발하고 벽면녹화용 화분에 접목시켜 화분을 개발



그림1. 식물뿌리 활착 가능한 패널 자재 종류

▶ 실험2: 식물 근권부 활용 능력 향상을 위한 모듈시스템 개발

- 근권부 미생물을 이용하기 위한 패널 시스템을 개발하고, 제품화하여 특허출원
- 식물 및 뿌리생육에 적합한 모듈개발
 - 벽면녹화에 모듈을 접목시키므로 가벼워야 함
 - 식물이 생육할 수 있는 조건을 충족하고, 관수시설 및 공기를 외부에서 근권부를 통과시킬 수 있는 기능이 필요 함
- 패널시스템 개발
 - 개발된 모듈과 특수패널을 접목시켜 시스템화하여 실내 공기를 식물의 뿌리를 통과하는 환경정화 식물시스템 개발

○ 벽면녹화용 복합식생패널 모듈을 제작

- 100(L)×215(W)×140(H) 크기의 복합식생패널을 제작하여 600mm(L)×220(W)×170(H) 크기의 벽면녹화용 모듈 제작
- 벽면녹화용 모듈을 제작하여 패널매트 종류가 실내식물 근원부 활성화와 생육에 미치는 효과를 분석
- 실험결과를 바탕으로 벽면녹화용 모듈을 보완하여 특허 출원



그림2. 벽면녹화용 복합식생패널 모듈

▶ 실험3: 환경정화 벽면녹화시스템의 특수 패널매트 종류가 실내식물 근원부 활성화와 생육에 미치는 효과

○ 식물재료

- 아이비(*Hedera helix*), 스킨답서스(*Scindapsus aureus*), 산호수(*Ardisia pusilla*)

○ 매트종류

1. ①조경 배수판(부직포 일체형)
2. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마
3. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ③코이어
4. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ④수경재배 매트
5. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ③코이어 + ④수경재배 매트

○ 연구방법

- 100(L)×215(W)×140(H) 크기의 복합식생패널, 600mm(L)×220(W)×170(H) 크기의 벽면녹화용 모듈 제작 벽면녹화시스템에 설치
- 환경 조건은 평균 온도가 $24\pm2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $40\pm20\%$, 낮 동안의 평균광도는 $120\sim150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 주1회 60분간 관수
- 식물의 생육조사는 초장, 엽수, 근장, 근채중을 20일 간격으로 3회 측정
- 실험구 배치는 난괴법으로 하였고 실내식물별로 처리구당 10개씩 3반복으로 수행
- 결과 데이터는 SAS 9.4을 이용하여 분석

- 식생매트 종류 처리구별 균권부와 생육 비교를 위해 분산분석(ANOVA)검정을 이용하였으며 사후검정은 던컨의 다중검정을 실시하였고 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.



그림3. 환경정화 벽면녹화시스템의 복합식 생파널매트 설치 후

주요 결과

▶ 실험1: 환경 정화 벽면 녹화 시스템의 식물 뿌리 활착을 위한 특수 패널 개발

○ 벽면 녹화 시스템의 식물 뿌리 활착을 위한 복합식 생 패널 개발

- 식물 뿌리 부분의 미생물이 서식 할 수 있는 환경을 유지
- 간편한 식물 식재 및 시공

○ 식물 뿌리 활착 가능한 패널 개발하여 벽면 녹화용 화분에 접목

- 식물이 생육할 수 있는 조건을 충족
- 식물이 생육할 수 있는 영양분과 미생물의 서식
- 실내 공기를 패널을 통과시킬 수 있는 기능
- 충분히 매트가 젖을 수 있도록 하여 뿌리의 활착에 도움

○ 매트 종류

1. ①조경 배수판(부직포 일체형)(두께10mm)
2. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마(두께12mm)
3. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ③코이어(두께17mm)
4. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ④수경재배 매트(두께13mm)
5. ①조경 배수판(부직포 일체형)+ ②황마+ ③코이어 + ④수경재배 매트(두께18mm)

1. 조경 배수판(부직포 일체형) Landscaping drain board	
2. 조경 배수판(부직포 일체형)+ 황마 Landscaping drain board + Jute	
3. 조경 배수판(부직포 일체형)+ 코이어+ 황마 Landscaping drain board + Jute + Coir	
4. 조경 배수판(부직포 일체형)+ 황마+수경재배 매트 Landscaping drain board + Jute + Hydroponic mat	
5. 조경 배수판(부직포 일체형)+ 코이어+ 수경재배 매트+황마	

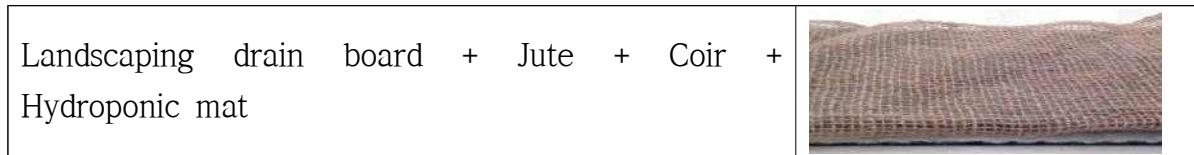


그림4. 벽면녹화시스템의 식물뿌리 활착을 위한 복합식 생패널

▶실험2: 식물 근권부 활용 능력 향상을 위한 모듈시스템 개발

○근권부 미생물을 이용하기 위한 패널 시스템을 개발하여 특허출원

(특허출원번호 10-2014-0160081)

○특허 명칭

식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체

{Wall afforestation flower pot assembly for improved indoor environment using rhizosphere of plants}

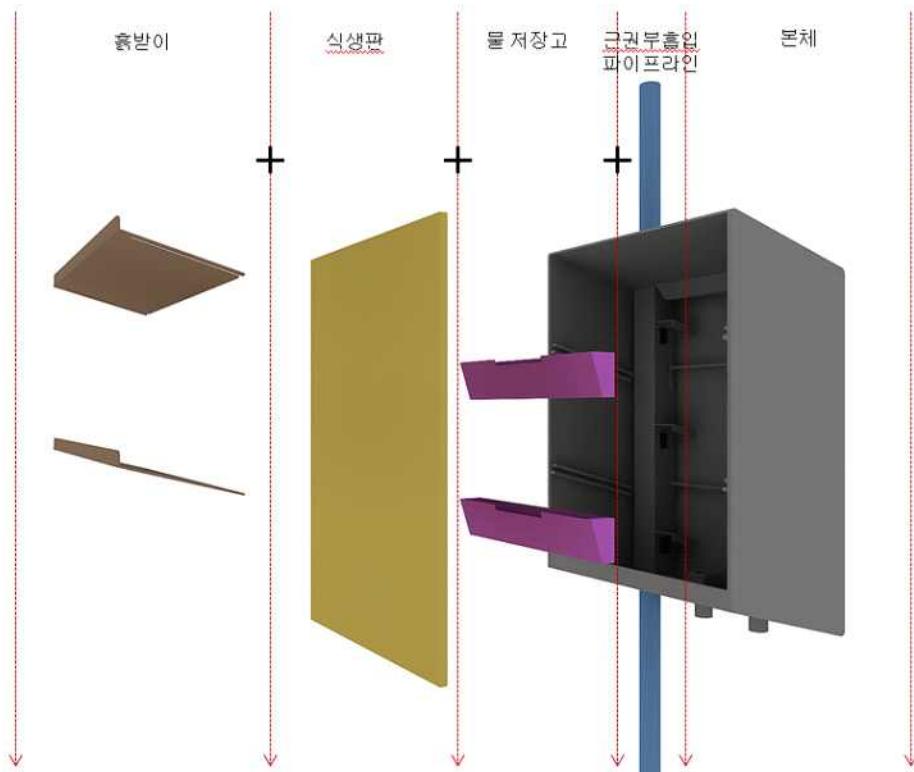


그림5. 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체 기본구성

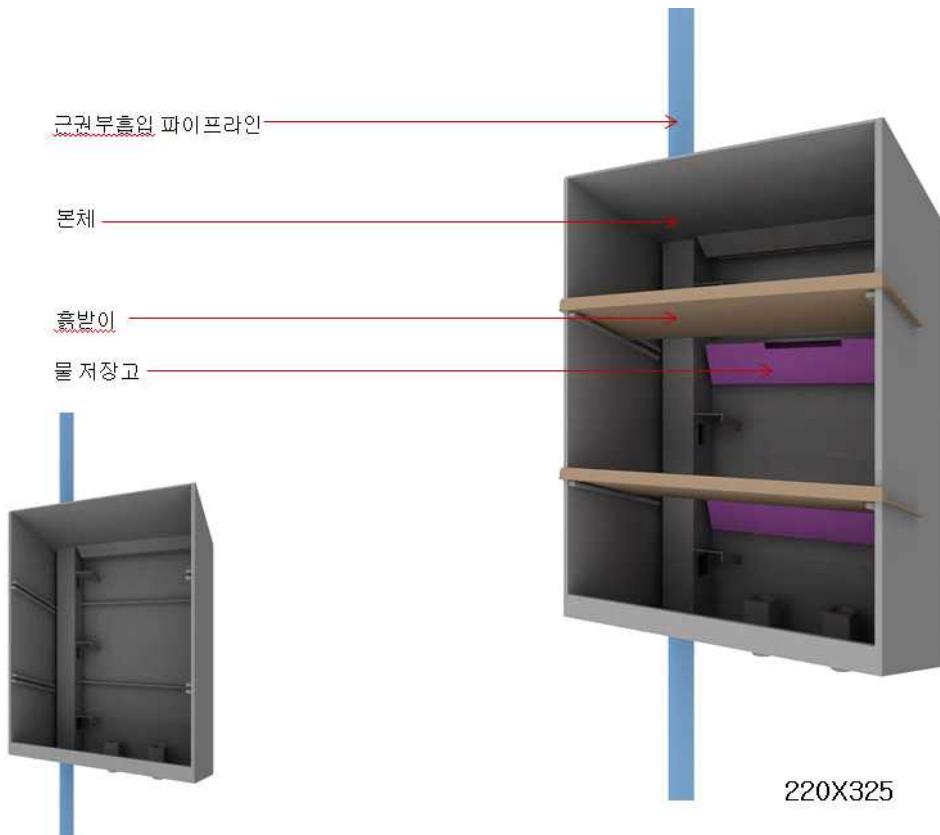


그림6. 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체 구성도

○특허 내용

-본 발명은, 전면이 터져 있고 3면이 막힌 형태의 본체와, 본체의 내측에 형성되고 통공이 형성된 공기흡입관부와; 본체의 측면 내측에 설치된 지지가이드에 지지되는 흙받이와; 공기흡입관부의 옆쪽에서 본체의 배면에 설치되고 물배출부가 형성된 물저장부와; 본체의 내측에서 흙받이와 물저장부 사이에 설치된 식생관과; 본체의 바닥면을 관통하여 바닥면 상하로 돌출된 물배출관과; 공기흡입관부와 연통된 상태로 본체의 상면 외측으로 돌출된 공기 흡입 파이프를 포함하여 구성된 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체

<p>[도 1] 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체의 사용도</p>	<p>[도 2] 도 1에서 식생판을 제거한 상태의 도면</p>
<p>[도 3] 도 1의 상면도</p>	<p>[도 4] 도 2의 정면도</p>

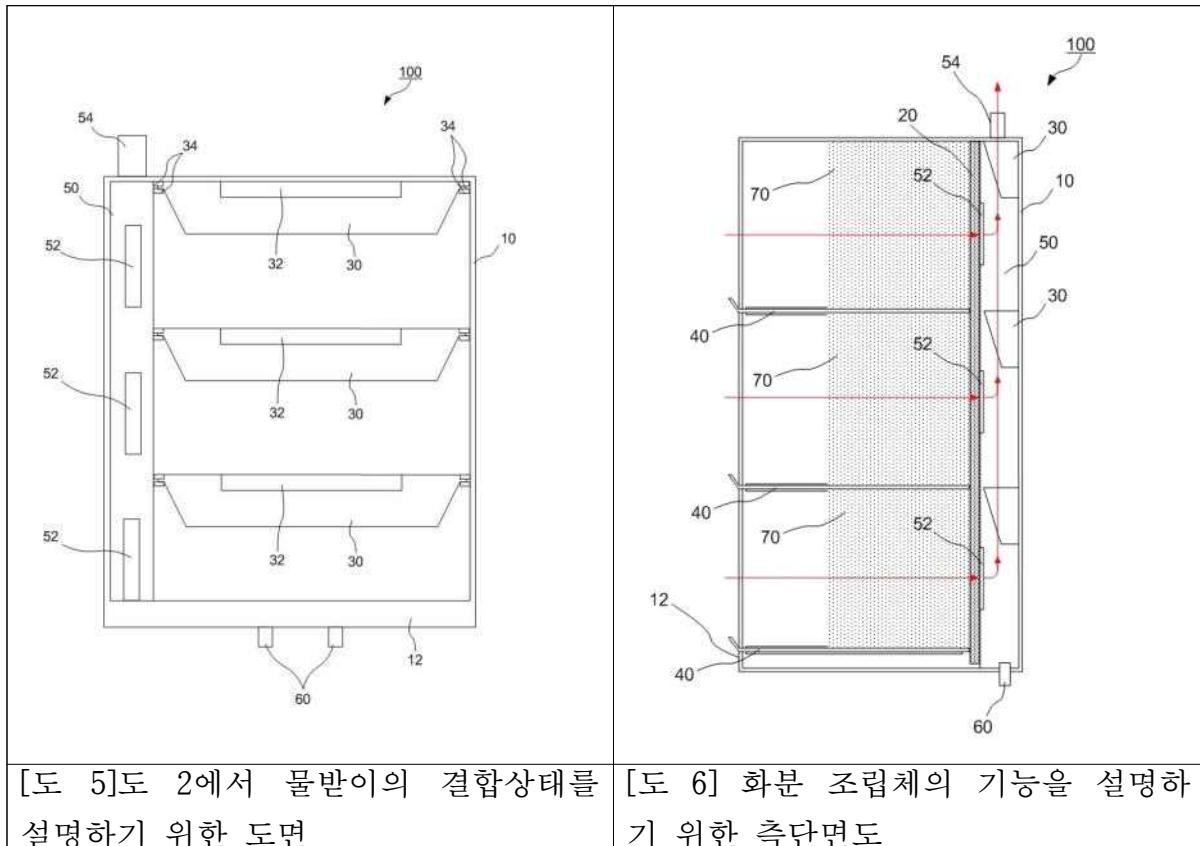


그림7. 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체 대표도

[부호의 설명]

10 : 본체	12 : 턱
14 : 물주입부	16 : 물주입구
20 : 식생판	30 : 물저장부
32 : 물배출부	34 : 지지가이드
40 : 흙받이	44 : 지지가이드
50 : 공기흡입관부	52 : 통공
54 : 공기흡입 파이프	60 : 물배출관
70 : 토양	
100 : 식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체	

▶실험3: 환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생패널매트 종류가 실내식물 근권부 활성화와 생육에 미치는 효과

○환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생패널매트 종류가 실내식물 근권부 활성화와 생육에 미치는 효과 결과

-환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생패널매트 종류에 따라서 60일 후 처리구 간의 근권부와 식물생육의 차이가 나타났다.

표1. 환경정화 벽면녹화 복합식생매트에서 스키답서스(*Scindapsus aureus*)의 근권부 활성화와 생육 결과

Type of plant mat ^z	20day				40days				60days			
	Plant height (cm)	No. o f leaves (ea)	Root weight (g)	Root length (cm)	Plant height (cm)	No. o f leaves (ea)	Root weight (g)	Root length (cm)	Plant height (cm)	No. o f leaves (ea)	Root weight (g)	Root length (cm)
	Control	20.1d	24c	9.5c	13.1c	28.7d	30.7c	13.3b	15.7b	34.8d	33.2b	14.2c
1	25.3c	25.2bc	12.5b	14.5bc	31.3c	31.2b	15.4ab	18.4ab	37.6c	34.5b	16.2b	20.3b
2	27.6bc	26b	13.3ab	15.7b	32.2c	32.7b	15.5ab	19.2ab	40.4c	35ab	16.8b	21.4b
3	31.7a	28.7a	14.2a	18.7a	38.8a	35.1a	16.2a	21.2a	47.9a	38.3a	18.8a	25.5a
4	28b	26.5b	13ab	15.5b	36.6b	33.2b	15.4ab	18.8ab	41c	36ab	17ab	23.5b
5	28.4b	26.3b	14a	17.5a	37ab	34.5a	16a	19.5a	44.5b	38a	17.2ab	24.6ab
Sig.	**	*	*	*	**	*	*	*	**	*	*	***

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

*,**,*** Significant at $P<0.05$, 0.01, and 0.001, respectively by ANOVA.

^z1:Landscaping drain board, 2:Landscaping drain board + Jute, 3:Landscaping drain board + Jute + Coir,
4:Landscaping drain board + Jute + Hydroponic mat, 5:Landscaping drain board + Jute + Coir + Hydroponic
mat.



그림8. 환경정화 벽면녹화 복합식생매트에서 60일 경과 후 스키답서스(*Scindapsus aureus*)의 근권부 활성화와 생육 결과

-스킨답서스의 경우 조경배수판+황마+코이어를 복합 사용한 처리구에서 초장 47.9cm, 잎수 38.3ea, 근체중 18.8g, 근장 25.5cm으로 가장 높은 생육을 보였음($p<0.001$)

-다음은 조경 배수판+황마+코이어+수경재배 처리구에서 초장 44.5cm, 엽수 38ea, 근체중 17.2g, 근장 24.6cm으로 생육과 근권부가 높은 수치를 보였음

-반면, 황마매트와 조경 배수판만 있었던 처리구에서는 근권부 생육이 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 수분 부족 및 과습상태가 지속되어 생육에 부정적인 영향을 준 것으로 판단된다.

-조경 배수판+황마+코이어 처리구에서는 원활한 수분 공급과 유지가 되었다고 판단됨

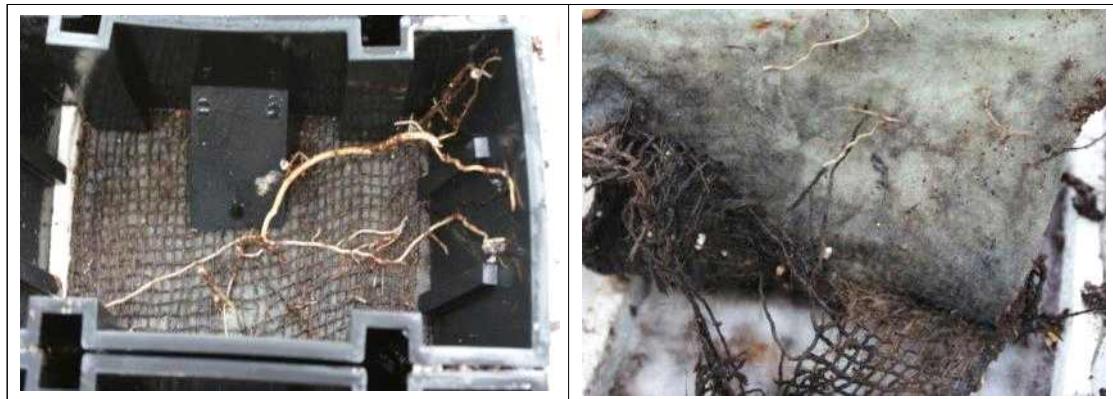
-식생매트가 없었던 대조구에 비해 복합 식생매트 처리를 한 것이 효과적이었으며, 조경 배수판+황마+코이어 처리구가 근권부 생육에 더욱 우수한 것으로 조사되었음



1. 조경 배수판(부직포 일체형) Landscaping drain board



3.조경 배수판(부직포 일체형)+ 코이어+ 황마 Landscaping drain board + Jute + Coir



5. 조경 배수판(부직포 일체형)+ 코이어+ 수경재배 매트+황마
Landscaping drain board + Jute + Coir + Hydroponic mat

그림9. 환경정화 벽면녹화 복합식생매트에서 60일 경과 후 스키답서스(*Scindapsus aureus*)의 근권부 생육 결과

표2. 환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생매트에서 산호수(*Ardisia pusilla*)의 근권부 활성화와 생육 결과

T y p e of plant mat ^z	2day				40days				60days			
	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	R o o t weight (g)	Root length (cm)	Plant height (cm)	N o . o f leaves (ea)	R o o t weight (g)	Root length (cm)	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	R o o t weight (g)	R o o t length (cm)
Control	16c	116.1c	4.9c	10.8b	21.6b	126.7c	5.7c	12.1b	22.8c	131.3d	7.7c	14c
1	18.2b	120.2bc	5c	11b	21.9b	131.3b	7.8b	12.5b	23.1bc	142.8c	9.7b	16.3b
2	18.5b	121.3b	5.6bc	11.5b	22.2ab	132b	8b	13.9ab	23.8bc	144.1b	10.7b	18.1ab
3	20.4a	129a	7.3a	13.5a	24.5a	142.8a	9.7a	15a	27.5a	160.3a	13a	19.7a
4	18.3b	125.1ab	5.8bc	11.4b	22.5ab	132.6b	8.8b	13.6ab	24.2b	144.6b	11.2b	17.1b
5	19.1ab	122.9b	6.7b	12ab	23.8a	134.6b	10.6a	14.7a	24.8b	147.7b	13.6a	18.7ab
Sig.	*	**	*	*	*	**	*	*	*	**	**	**

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

*,**,*** Significant at $P< 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively by ANOVA.

^z1:Landscaping drain board, 2:Landscaping drain board + Jute, 3:Landscaping drain board + Jute + Coir,
4:Landscaping drain board + Jute + Hydroponic mat, 5:Landscaping drain board + Jute + Coir + Hydroponic mat.

-산호수는 조경배수판+황마+코이어+수경재배매트 처리구에서 초장 27.5cm, 엽수 160.3ea, 근체중 13g, 근장 19.7cm으로 가장 높은 생육을 보였으며, 생육과 근권부가 높은 수치를 보임

-다음은 조경배수판+황마+코이어+수경재배 처리구에서 초장 24.8cm, 엽수 147.7ea, 근체중 13.6g, 근장 18.7cm으로 생육과 근권부가 높은 수치를 보였음

-반면, 황마매트 처리구와 조경배수판만 있었던 처리구에서는 근권부 생육이 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 수분 부족 및 과습상태가 지속되어 생육에 부정적인 영향을 준 것으로 판단됨

-조경 배수판+황마+코이어 처리구에서는 원활한 수분 공급과 유지가 되었다고 판단됨

-식생매트가 없었던 대조구에 비해 복합 식생매트 처리를 한 것이 효과적이었으며, 조경 배수판+황마+코이어 처리구가 근권부 생육에 더욱 우수한 것으로 조사되었음



그림10. 환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생매트에서 60일 경과 후 산호수(*Ardisia pusilla*)의 근권부 활성화와 생육 결과

표3. 환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생매트에서 아이비(*Hedera helix*)의 근권부 활성화와 생육 결과

Type of plant mat ^z	20day				40days				60days			
	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Root weight (g)	Root length(cm)	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Root weight (g)	Root length (cm)	Plant height (cm)	No. o f leaves (ea)	Root weight (g)	Root length (cm)
Control	16.2d	84.4d	1.5c	9.7bc	21.3c	91.1c	2.6c	11.4c	25.2c	128.7d	3.9c	12.7c
1	24.2c	125.4c	1.9bc	10.2b	25.8bc	139.8b	3bc	12.7bc	29.7b	150.7c	5.1bc	13.8c
2	23.8cd	133.1b	2.7ab	10.8b	26.1b	143.4b	4.7ab	14ab	29.7b	165.5b	7.2ab	18.1ab
3	27.2a	143.4a	2.8a	12.5a	29.9a	149.8a	5.1a	15.3a	37.5a	188.9a	8.7a	20.8a
4	25.4ab	132.8b	2.3b	11.4ab	26.1b	140.2b	3.8b	13.2b	30.7b	163.9b	5.8b	16.2b
5	25.7ab	137.5ab	2.1b	12a	27.5b	146.6b	4.0b	14.1ab	31.7b	166.7b	6.3b	16.4b
Sig.	**	***	*	**	*	***	**	*	*	***	*	*

Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P=0.05$.

*,**,*** Significant at $P<0.05$, 0.01, and 0.001, respectively by ANOVA.

^z1:Landscape drain board, 2:Landscape drain board + Jute, 3:Landscape drain board + Jute + Coir,
4:Landscape drain board + Jute + Hydroponic mat, 5:Landscape drain board + Jute + Coir + Hydroponic mat.

-아이비를 식재한 조경배수판+황마+코이어 처리구에서 초장 37.5cm, 잎수 188.9ea, 근체 중 8.7g, 근장 20.8cm으로 유의하게 높은 근권부 활성을 보였음

-그외 식생매트에서는 초장과 잎수에 유의한 차이를 보이지 않았음

-조경 배수판+황마+코이어처리구에서는 원활한 수분 공급과 유지가 되었다고 판단됨

-식생매트가 없었던 대조구에 비해 복합 식생매트 처리를 한 것이 효과적이었음

		
1. 조경 배수판(부직포 일체 형)	3.조경 배수판(부직포 일체 형)+ 코이어+ 황마	5.조경 배수판(부직포 일체 형)+ 코이어+ 수경재배 매트+ 황마

그림11.환경정화 벽면녹화시스템의 복합식생매트에서 60일 경과 후 아이비(*Hedera helix*)의 근권부 활성화와 생육 결과

제 2절. 2차 년도 연구개발수행 내용 및 결과

□ 연구수행 내용

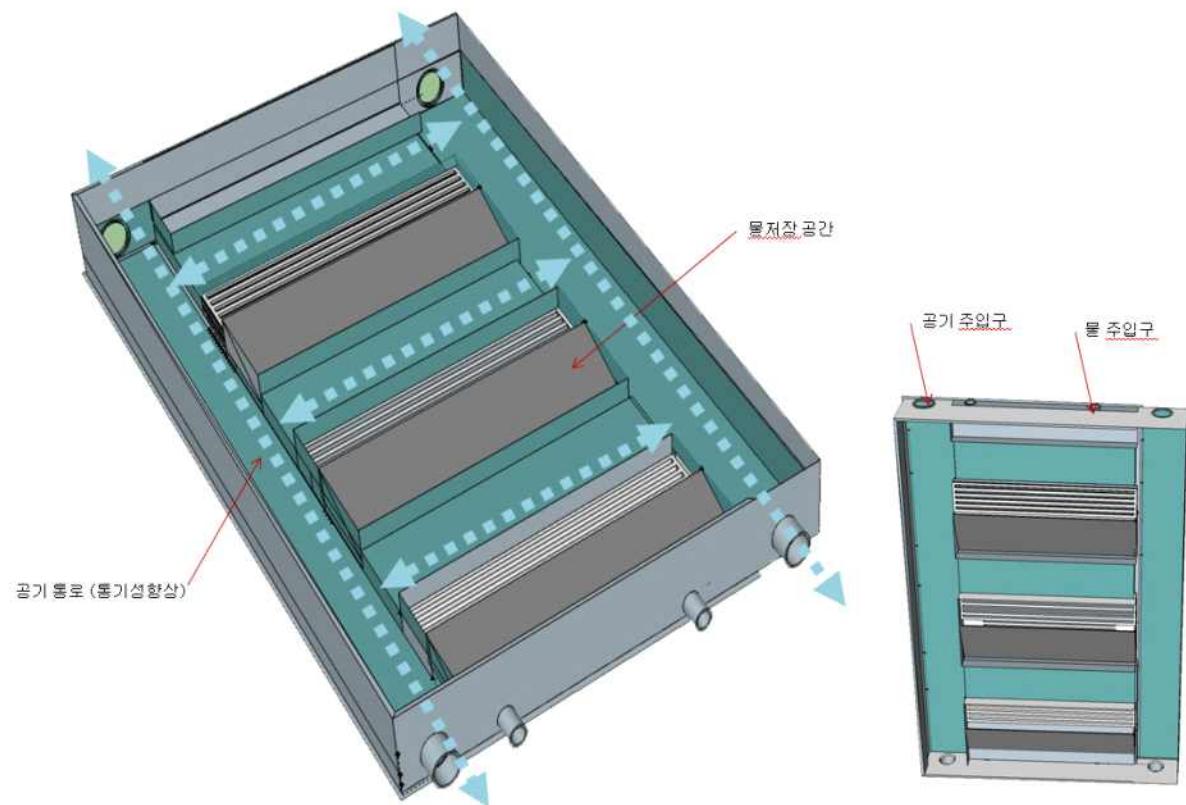
▶ 실험1 환경정화 패널시스템의 효율성 극대화를 위한 기술보완 및 개발

○ 바이오월 패널시스템 개발 계획

- 식물 및 뿌리생육에 적합한 모듈개발
- 패널시스템 모듈 제작을 위해 제품디자인 설계
- 3D프린터기를 통한 제품확인
- 식생패널 접목

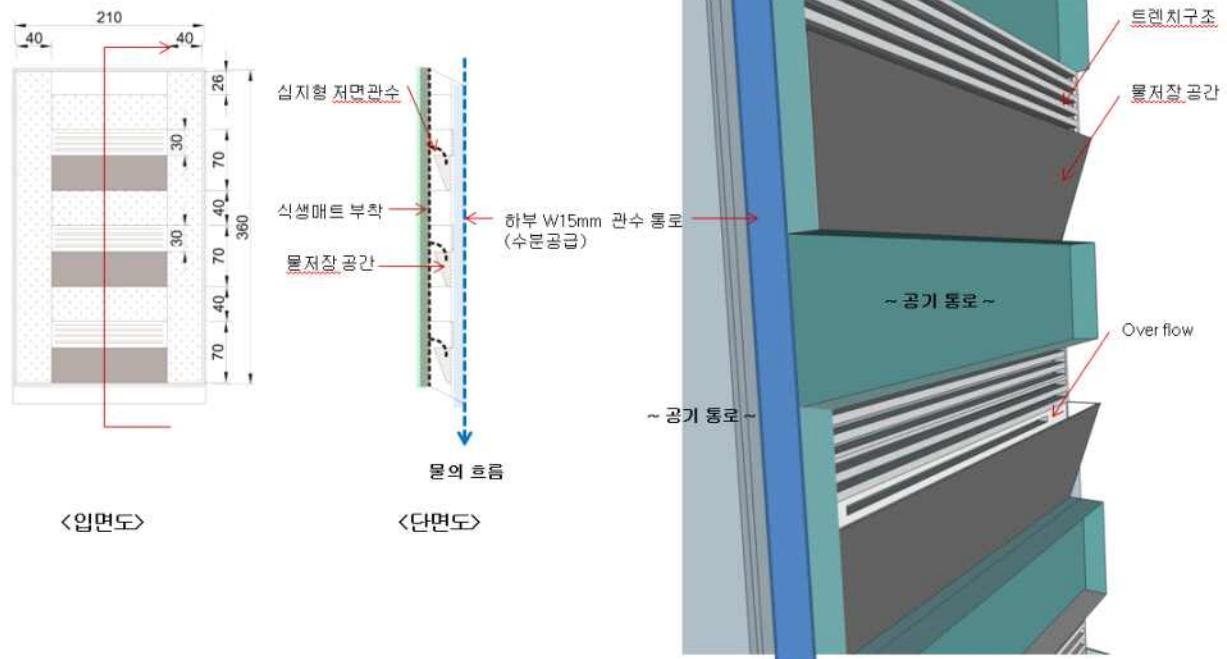


[제품확인을 위한 3D프린터기]



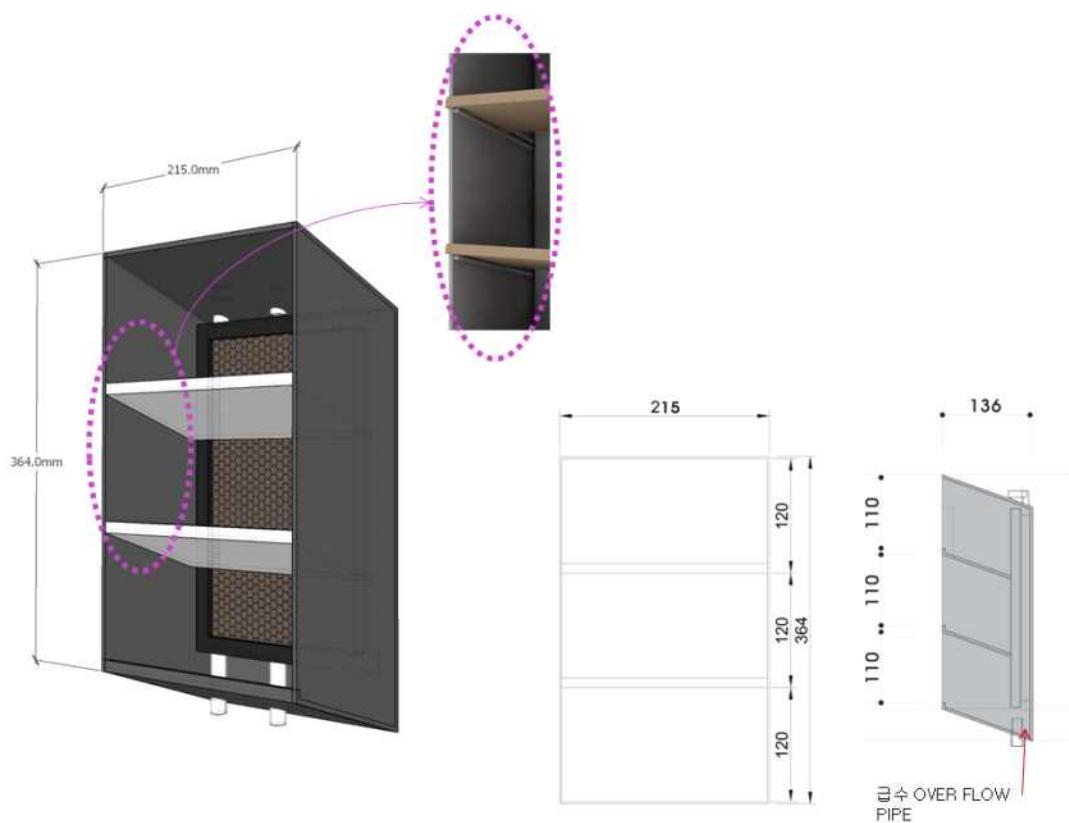
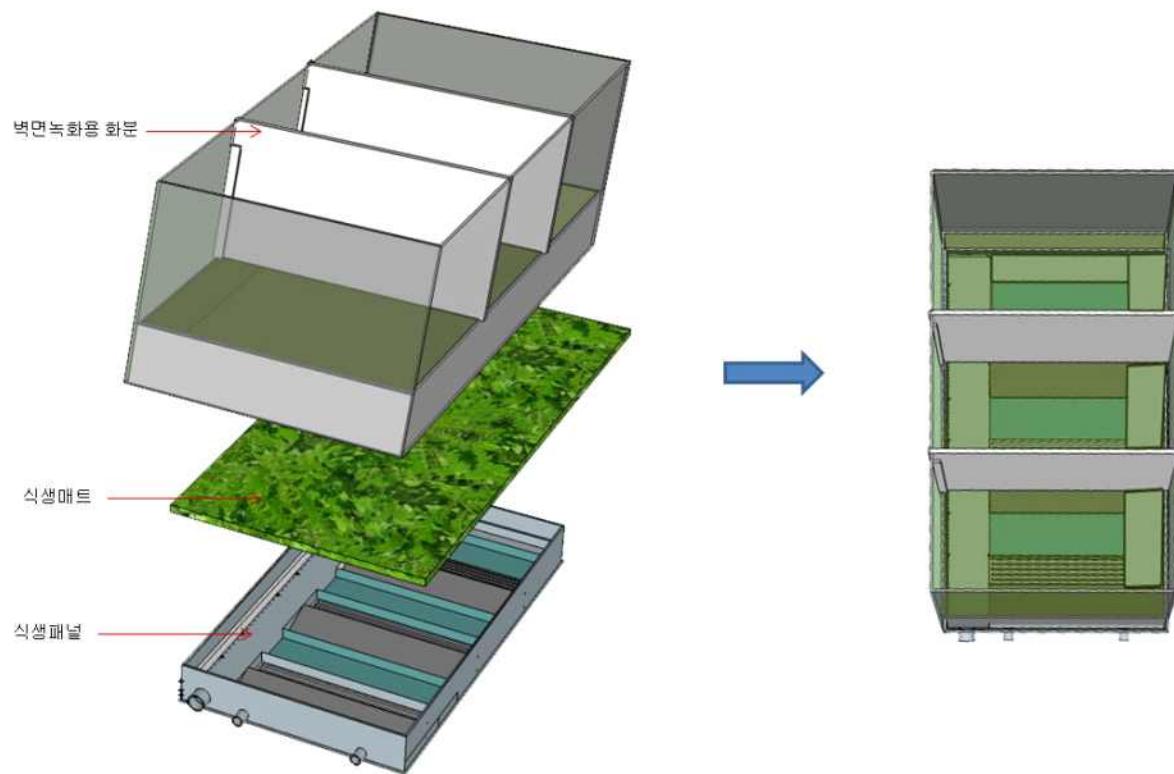
치수도

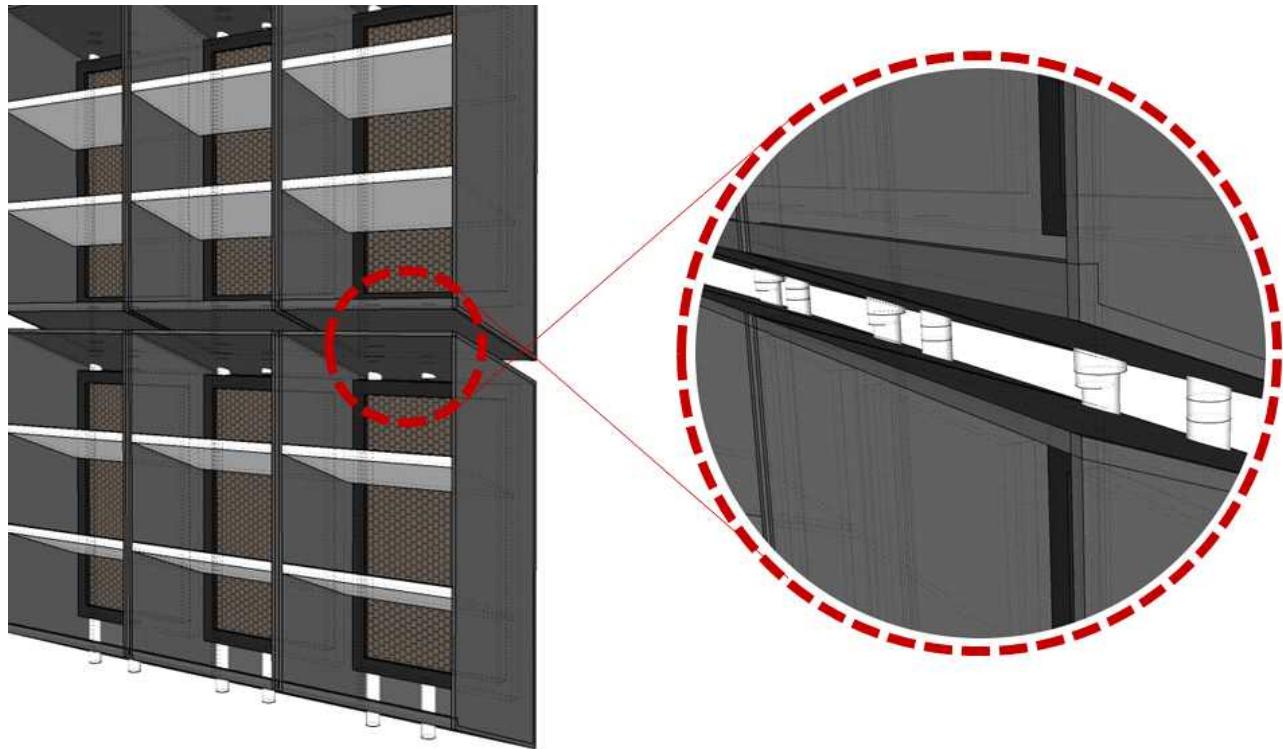
부분상세도



가

가





[바이오월 패널시스템 모듈]

□ 주요 결과

특허출원 번호: 10-2015-0156602

식물의 근권부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체

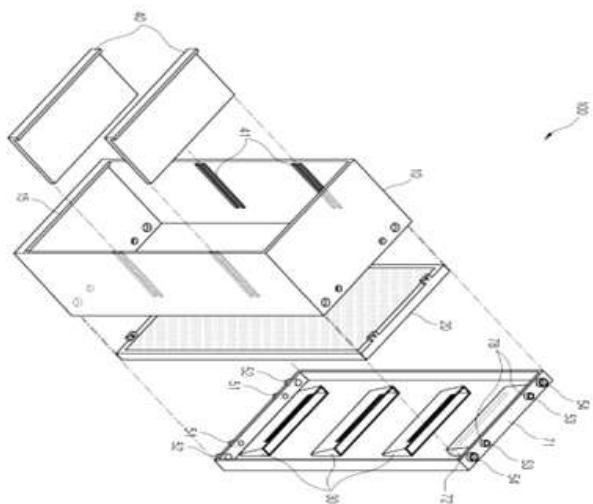
{wallafforestation flower pot assembly for improved indoor environment using rhizosphere of plants }

본 발명은 간단한 구성으로 실내 공간 점유율을 최소화하면서 식물의 줄기 잎뿐만 아니라 근권부에 의하여 실내 공기를 효과적으로 정화할 수 있는 화분 조립체에 관한 것이다.

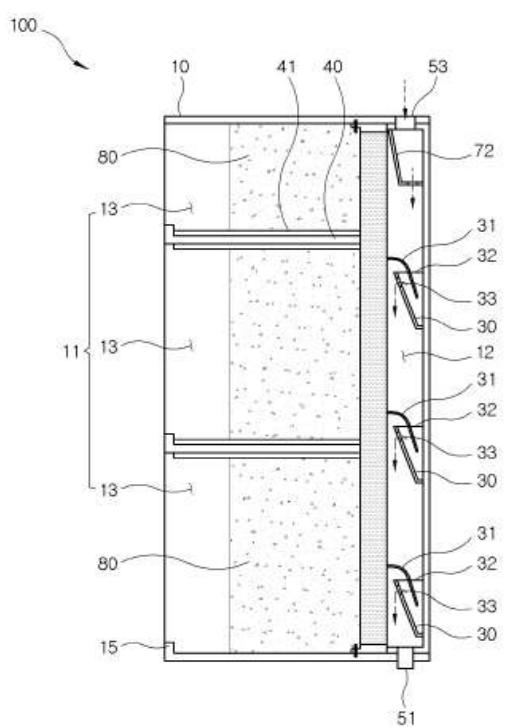
본 발명은, 화분 조립체의 밖의 실내 공기가 식물의 잎과 줄기, 그리고 토양 속의 뿌리부분을 경유하여 실내로 배출되므로, 실내공기는 일차적으로 식물의 잎과 줄기에 의하여 일차적으로 정화되고 토양속의 뿌리부분에 의하여 이차적으로 정화되어서, 식물의 토양속 뿌리부분(근권부)의 미생물에 의하여 휘발성 유기화합물과 악취 등 실내 오염물질의 제거 효과를 제공할 수 있고, 책장과 같은 배열로 복수개의 화분을 제공하여 단순한 구성으로 실내 공간 점유율을 최소화하면서 실내 공기를 효과적으로 정화하는 것을 가능하게 한다.

【도면】

【도 1】

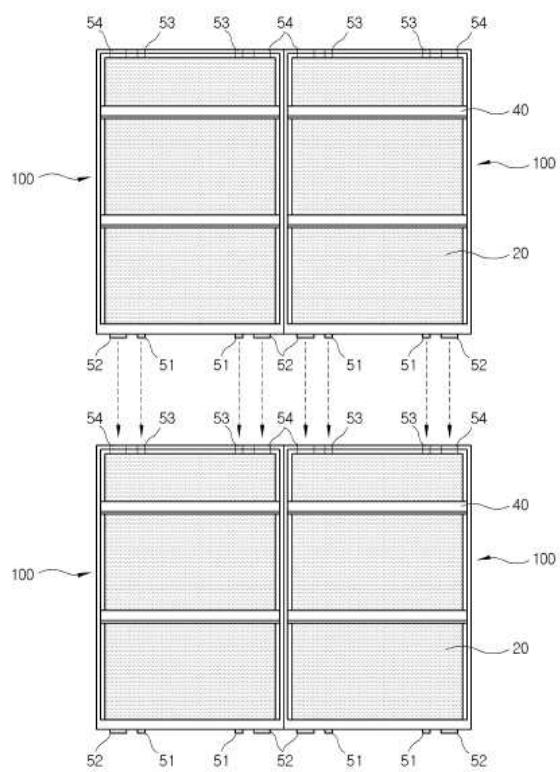
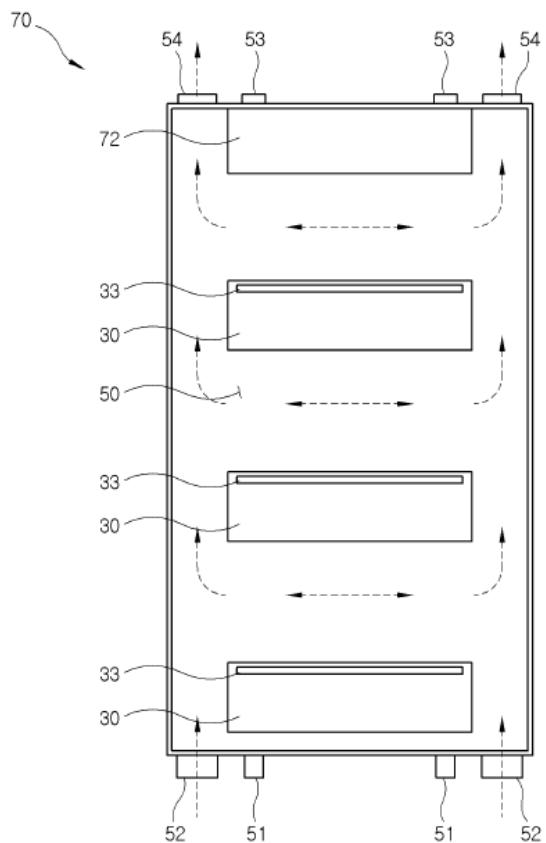


【도 2】



[대표도]

[대표도]



▶ 실험2-1: 개발된 환경정화 패널시스템과 다양한 실내 환경정화 시스템별 효과분석

○ 시험방법

- 시스템 제작기간 : 2015년 6월~7월 약 1개월 소요

-환경정화능력 조사기간 : 2015년 8월 20일 ~ 2015년 10월 20일

-조사장소 : 경기도 안산시 (주) 가든포유 내에 유리챔버

규격[2600(L)mm×1000(W)mm×1600(H)mm]

-식물재료(Bio-Wall에 식재한 식물)

아이비(*Hedera helix*), 스킨답서스(*Scindapsus aureus*), 산호수(*Ardisia pusilla*) 3종

식재된 공기정화 식물은 3종이며, 1개의 모듈에는 10cm 포트용 식물이 2개를 식재되어 있다. 각 시스템에는 아이비 3모듈, 스킨답서스 4모듈, 산호수 3모듈 총 10개의 모듈을 장착하여 사용하였다.

-환경정화능력 비교 실험에 사용한 Bio-wall system

1) 공기정화용 팬이 없는 Bio-wall system (대조구)

2) 공기정화용 팬이 있는 Bio-wall system 가로세로높이

3) 공기정화용 팬이 있고 근권부에 매트패널을 장착한 Bio-wall system

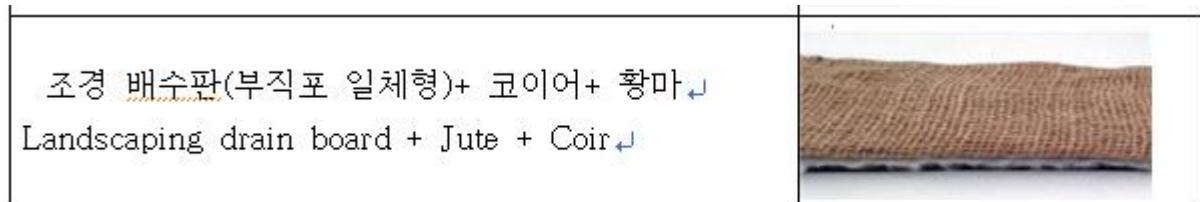
-권부의 특수패널의 재료는 1차 년도에 우수한 결과가 나온 조경배수판+황마+코이어를 복합으로 제작한 매트를 사용하였다.

-테스트 챔버 환경조건은 공기가 순환되는 항온항습 유리챔버이며, 평균 온도가 $24\pm2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $40\pm20\%$, 낮 동안의 평균광도는 $100\sim160\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 매일 측정전에 1시간씩 충분히 환기하였다.

-측정항목 : 휘발성유기화합물(TVOC), 포름알데히드(HCHO), 이산화탄소

-측정시간 : 오전 9시~17시, 하루 8시간, 20일간 3 처리구, 총 60일을 측정함

-분석방법: 결과 데이터는 SAS 9.2를 이용하여 분석하였고 식생매트 종류 처리구별 근권부와 생육 비교를 위해 분산분석(ANOVA)검정을 이용하였으며 사후검정은 덴컨의 다중검정을 실시하였고 유의수준은 $P<0.05$ 로 설정하였다.



[1차년도에 우수한 결과가 나온 조경배수판+황마+코이어를 복합으로 제작한 매트]



[경기도 안산시 (주) 가든포유 유리챔버 실험]

□ 주요 결과

○ 휘발성유기화합물(TVOC)를 측정한 결과 가장 우수하게 감소된 처리구는 공기순환팬과 근권부 패널을 함께 장착한 Biowall C였으며, 그 다음은 팬을 가동한 Biowall B에서 많이 감소되었다. 식물이 없는 대조군 상태보다 식물이 있는 상태에서 휘발성유기화합물의 감소가 뚜렷하였다(Fig. 1). 대조군은 오히려 낮동안에 TVOC가 증가하는 경향을 보였으나 이는 한낮의 자외선 및 광량증가에 따른 증가로 보이며, 반면 Biowall 3종류 모두에서 초기 1시간에서 2시간동안에 급격한 흡수가 나타났다. 이 후에도 지속적으로 감소되는 경향을 보였다. 이러한 점에서 볼 때 공기순환 팬만 장착한 것보다 패널의 효과성이 있다고 판단되며, 근권부의 활발한 작용과 패널주변의 수분에 의한 흡착 등이 TVOC 흡수에 도움이 되는 것으로 판단된다.

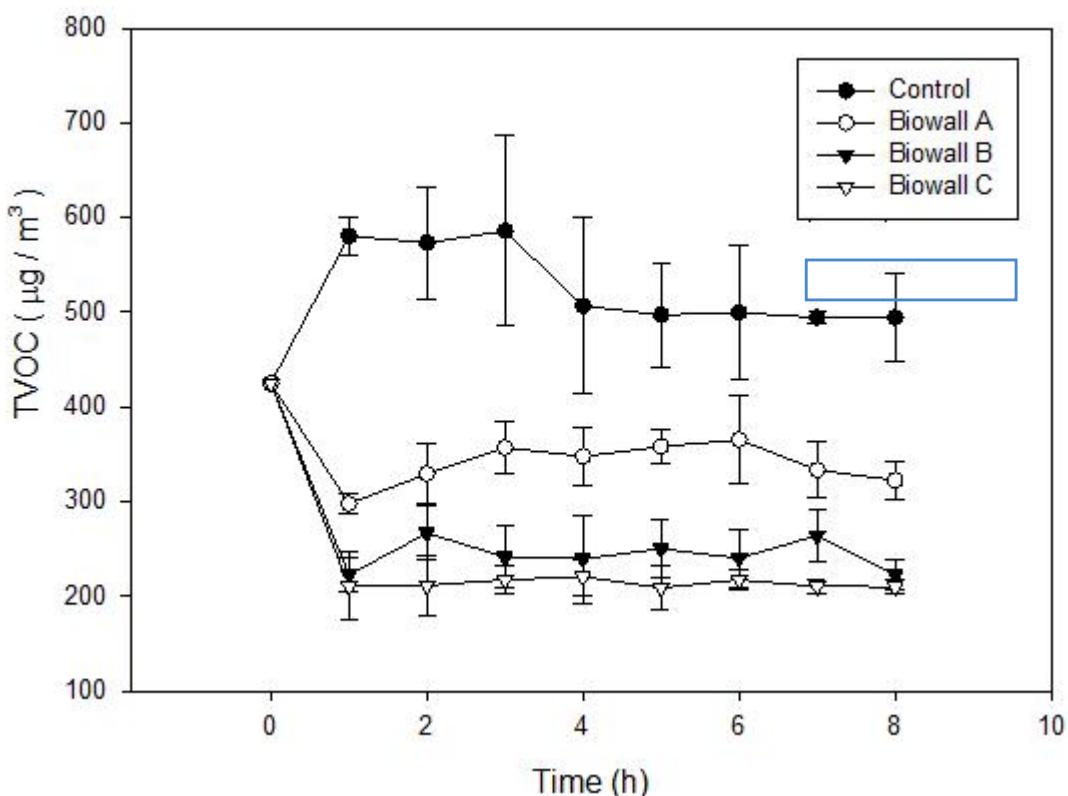


Fig. 1. Changes in TVOC removal amount by Bio-Wall systems during the 8 hours.

Control: Glass chamber is maintained a constance temperature and humidity.

Biowall A: Bio-Wall system without air circulation fan

Biowall B: Bio-Wall system within air circulation fan

Biowall C: Bio-Wall system within air circulation fan and root met panel

○이산화탄소(CO_2)를 측정한 결과에서 벽면녹화시스템이 없었던 빈챔버의 510ppm에 비해 팬을 장착한 Biowall B와 팬과 근권부 패널을 동시에 장착한 C에서 309.5ppm과 306.4ppm으로 200ppm정도의 많은 양의 이산화탄소의 감소를 보였지만 두 시스템간에는 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 1). 이는 이산화탄소의 흡수는 광합성에 따라 영향을 받기 때문인데 광량과 온도가 항온항습 상태의 실험환경 때문이라고 생각된다.

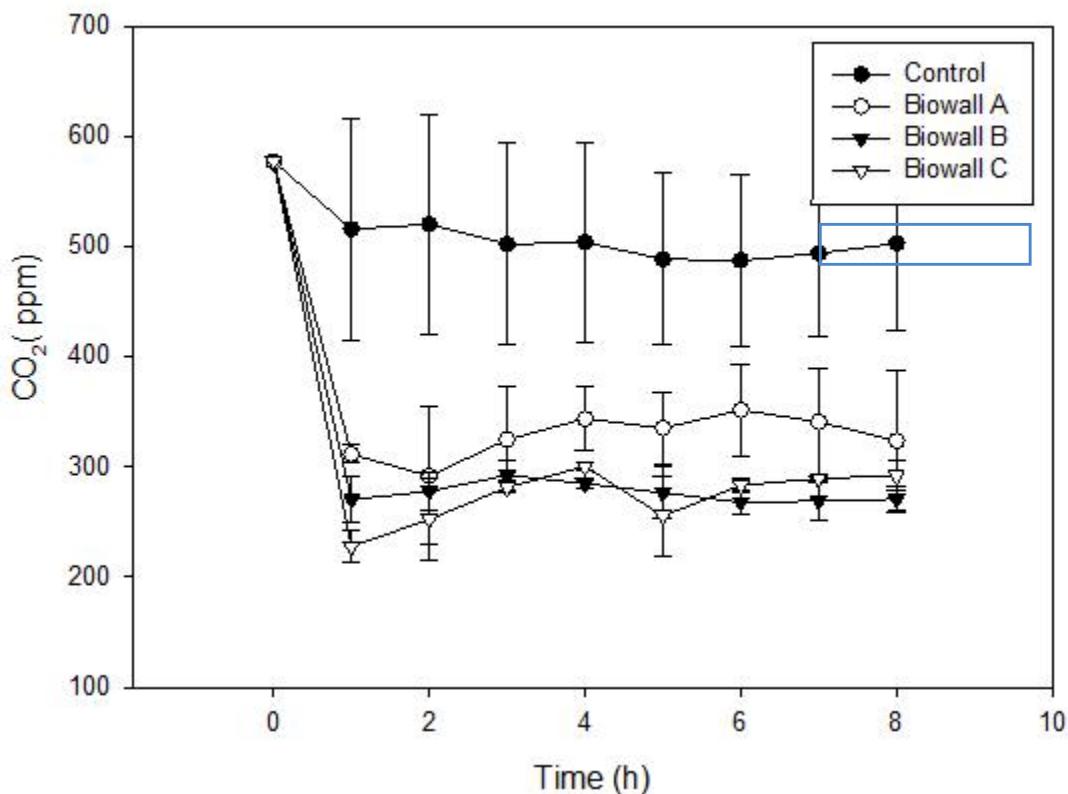


Fig. 2. Changes in CO_2 removal amount by Bio-Wall systems during the 8 hours.

Control: Glass chamber is maintained a constance temperature and humidity.

Biowall A: Bio-Wall system without air circulation fan

Biowall B: Bio-Wall system within air circulation fan

Biowall C: Bio-Wall system within air circulation fan and root met panel

○포름알데히드(HCHO)에 대한 결과는 식물이 없는 챔버에 비해 3종류의 Biowall system 모든 처리구에서 유의한 감소가 나타났다. 특히 기존에 개발된 Biowall 시스템 A와 B 보다 근원부에 특수패널을 장착한 Biowall C에서 더 많은 감소가 나타났다(Fig. 3). 이는 근원부 패널이 환경정화에 효과가 있음이 입증된 것이라 판단된다.

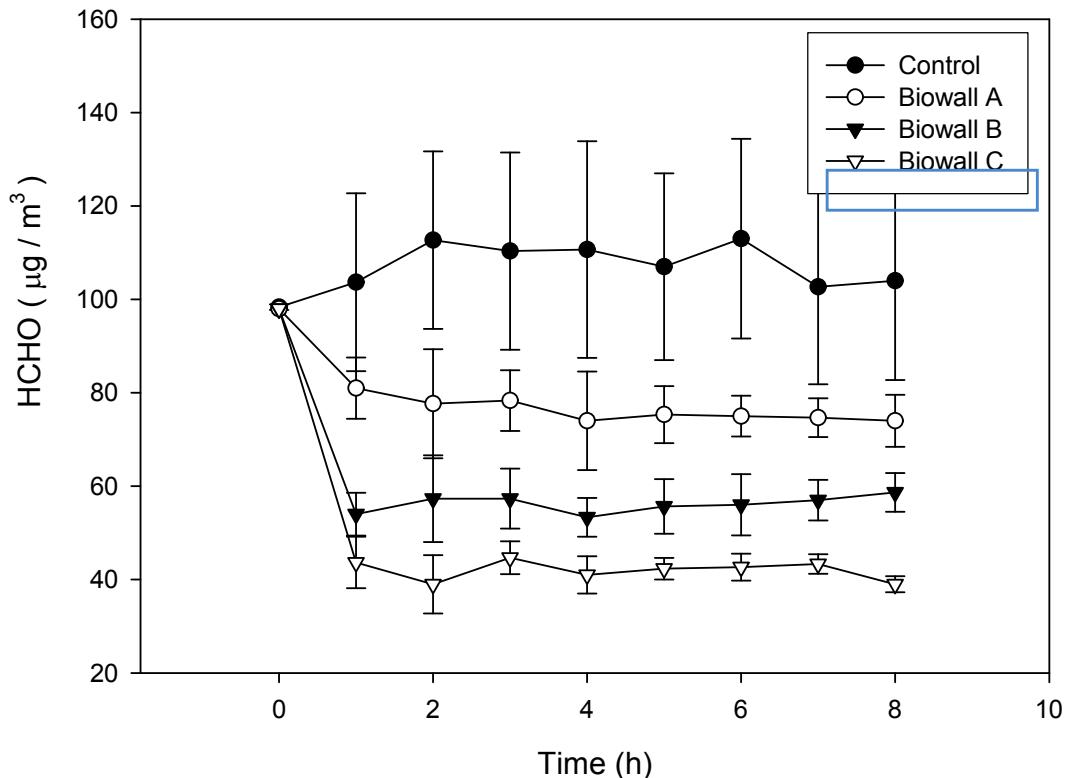


Fig. 3. Changes in HCHO removal amount by Bio-Wall systems during the 8 hours.

Control: Glass chamber is maintained a constance temperature and humidity.

Biowall A: Bio-Wall system without air circulation fan

Biowall B: Bio-Wall system within air circulation fan

Biowall C: Bio-Wall system within air circulation fan and root met panel

▶실험2-2: 실내식물의 근권부 활성화와 생육에 적합한 벽면녹화용 혼합상토 배지의 선발

- 열악한 실내환경 조건에서 벽면녹화 용기내 토양배지는 장기간 견뎌야 하며, 공기정화 효율성, 근권부 생육에 매우 중요한 역할함
- 벽면녹화에 설치되는 실내식물의 종류도 다양하고 각각의 생육습성이 다르기 때문에 토양의 종류에 따라 생육 반응도 다를 것으로 예상
- 통기성이 좋고 보수성이 있고, 보비력이 뛰어난 인공 배지를 혼합 사용하여 실내 벽면 녹화에 적합한 배지를 개발하고 생육에 미치는 효과를 알아보고자 하였음
- 시험방법
 - 식물재료: 아이비(*Hedera helix*), 스킨답서스(*Scindapsus aureus*), 산호수(*Ardisia pusilla*)
 - 배지종류: 비교구(Vermiculite(V), Peat moss(M), Kanuma(L), Charcoal ball(CB)=1:1:1:0.5), 대조구(원예상토), 상토+팽연왕겨(20%), 상토+팽연왕겨(40%), 상토+왕겨훈탄(20%), 상토+왕겨훈탄(40%), 상토+팽연왕겨+왕겨훈탄(80%+10%+10%), 상토+팽연왕겨+왕겨훈탄(60%+20%+20%)을 부피 비율로 혼합하여 사용
 - 처리내용: 환경 조건은 평균 온도가 $24\pm2^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $40\pm20\%$, 낮 동안의 평균광도는 $120\sim150\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 주1회 60분간 관수
 - 사항목: 식물의 생육조사는 초장, 엽수, 근장, 근체중을 20일 간격으로 3회 측정
 - 분석방법: 결과 데이터는 SAS 9.2를 이용하여 분석하였고 식생매트 종류 처리구별 근권부와 생육 비교를 위해 분산분석(ANOVA)검정을 이용하였으며 사후검정은 던컨의 다중 검정을 실시하였고 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.



[근부 활성화와 생육에 적합한 벽면녹화용 혼합상토 배지 설치 후]

□ 주요 결과

○ 산호수(*Ardisia pusilla*)의 경우 상토80%+팽연왕겨10%+왕겨훈탄10%를 사용한 처리구에서 초장, 엽수, 근체중, 근장이 가장 높은 생육을 보였고, 뿌리활성이 좋았던 처리구는 상토80%+팽연왕겨10%+왕겨훈탄10%를 사용한 처리구였다. 면녹화용 혼합배지에 사용하면 적합할 것으로 판단된다.

		
비교구(Vermiculite(V), Peat moss(M), Kanuma(L), Charcoal ball(CB)=1:1:1:0.5	상토+팽연왕겨(20%),	상토+팽연왕겨+왕겨훈탄 (80%+10%+10%),

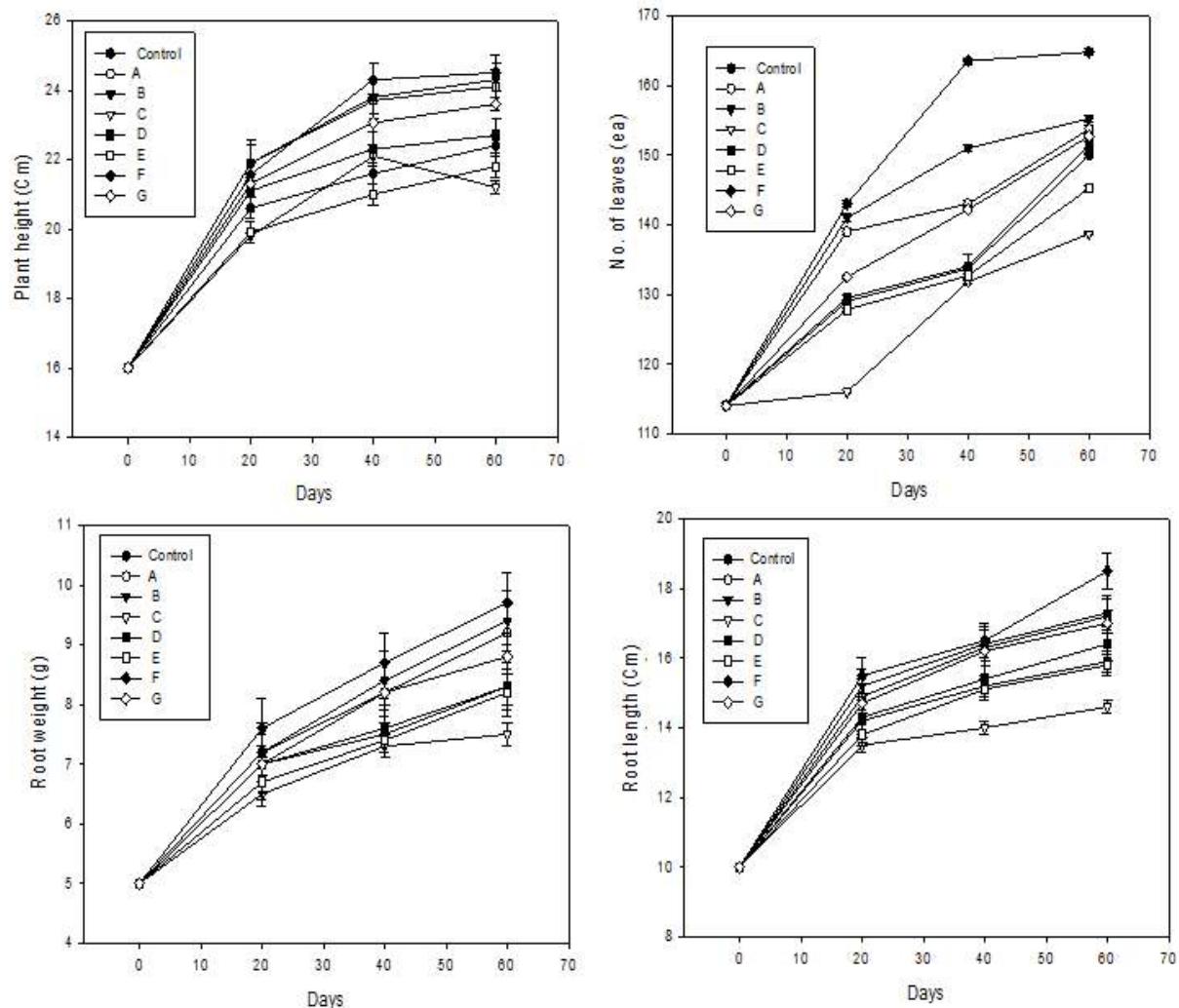


Fig 1. Comparison of root growth of the *Ardisia pusilla* according to the types of mixed pot media for the Bio Wall System.

Control: Horticulture growing media (Cocopeat56.4%, Peatmoss15.0%, Zeolite11.0%, Vermiculite6.0%, Pearlite7.0%, Bottomash4.0%, 기타0.6%)

A: Jang et al.(2013) media (vermiculite, peat moss, Kanuma, charcoal ball, 1:1:1:0.5),

B: HGM (horticulture growing media)80%+ERP (expanded rice hull) 20%

C: HGM 60%+ERP 40%

D: HGM 80% + CRH (carbonized rice hull) 20%

E: HGM 60% + CRH 40%

F: HGM 80% + ERP 10% + CRH 10%

G: HGM 60% + ERP 20% + CRH 20%

○스킨답서스(*Scindapsusaureus*)의 경우 상토80%+팽연왕겨10%+왕겨훈탄10%를 사용한 처리구에서 초장, 엽수, 근체중, 근장이 가장 높은 생육을 보였고, 뿌리활성이 좋았던 처리구는 상토80%+팽연왕겨10%+왕겨훈탄10%를 사용한 처리구였다.

		
비교구(Vermiculite(V), Peat moss(M), Kanuma(L), Charcoal ball(CB)=1:1:1:0.5	상토+팽연왕겨(20%)	상토+팽연왕겨+왕겨훈탄 (80%+10%+10%),

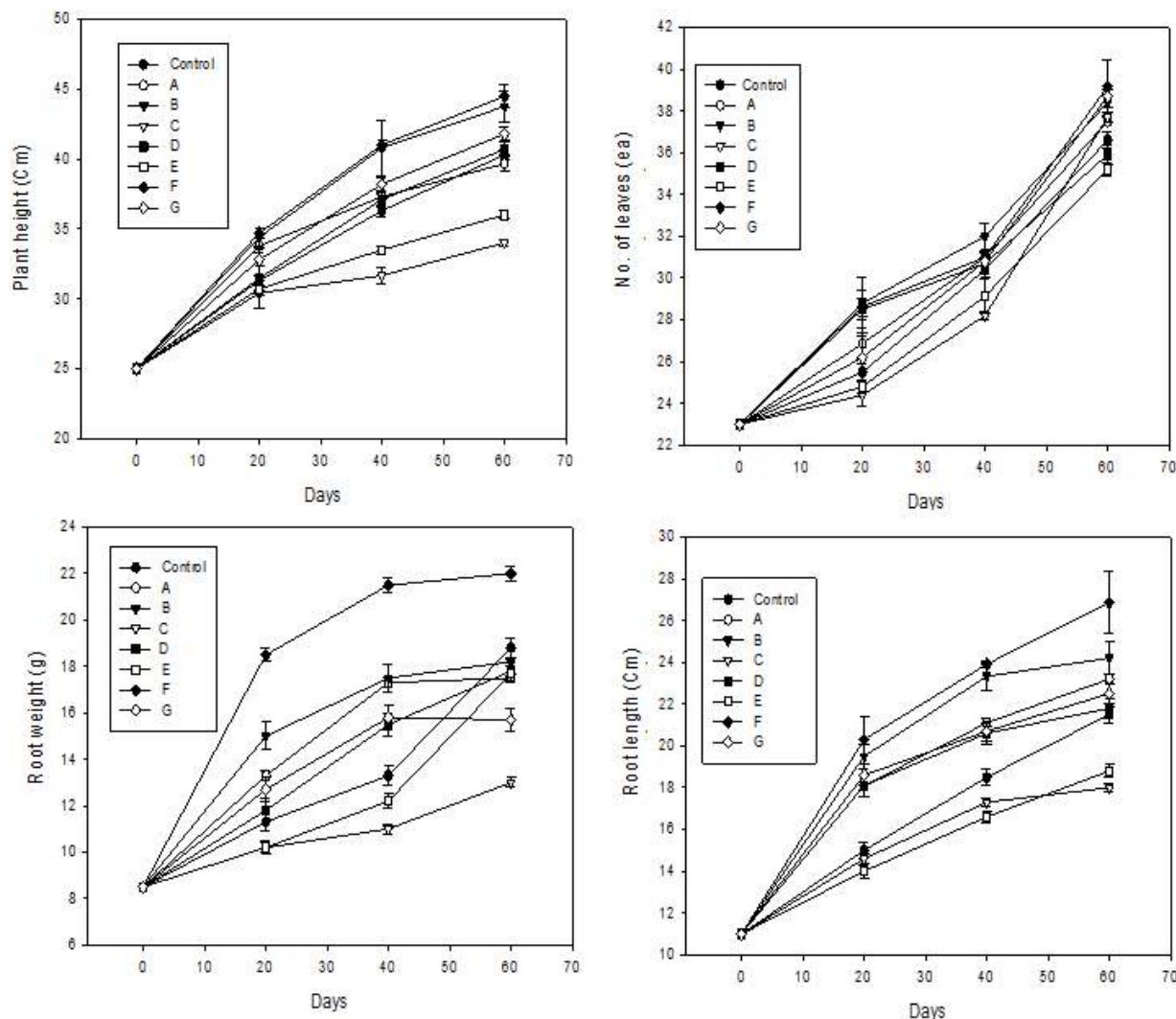


Fig 2. Comparison of root growth of the *Scindapsus aureus* according to the type of mixed pot media for the Bio Wall system.

Control: Horticulture growing media (Cocopeat56.4%, Peatmoss15.0%, Zeolite11.0%, Vermiculite6.0%, Perlite7.0%, Bottomash4.0%, 기타0.6%)

A: Jang et al.(2013) media (vermiculite, peat moss, Kanuma, charcoal ball, 1:1:1:0.5),

B: HGM (horticulture growing media)80%+ERP (expanded rice hull) 20%

C: HGM 60%+ERP 40%

D: HGM 80% + CRH (carbonized rice hull) 20%

E: HGM 60% + CRH 40%

F: HGM 80% + ERP 10% + CRH 10%

G: HGM 60% + ERP 20% + CRH 20%

○아이비(*Hedera helix*)의 경우 상토80%+팽연왕겨20%를 사용한 처리구에서 초장, 엽수, 근체 중, 근장이 가장 높은 생육을 보였고, 뿌리활성이 좋았던 처리구는 상토80%+팽연왕겨 20%를 사용한 처리구였다.

		
비교구(Vermiculite(V), Peat moss(M), Kanuma(L), Charcoal ball(CB)=1:1:1:0.5	상토+팽연왕겨+왕겨훈탄 (80%+10%+10%),	상토80%+팽연왕겨20%

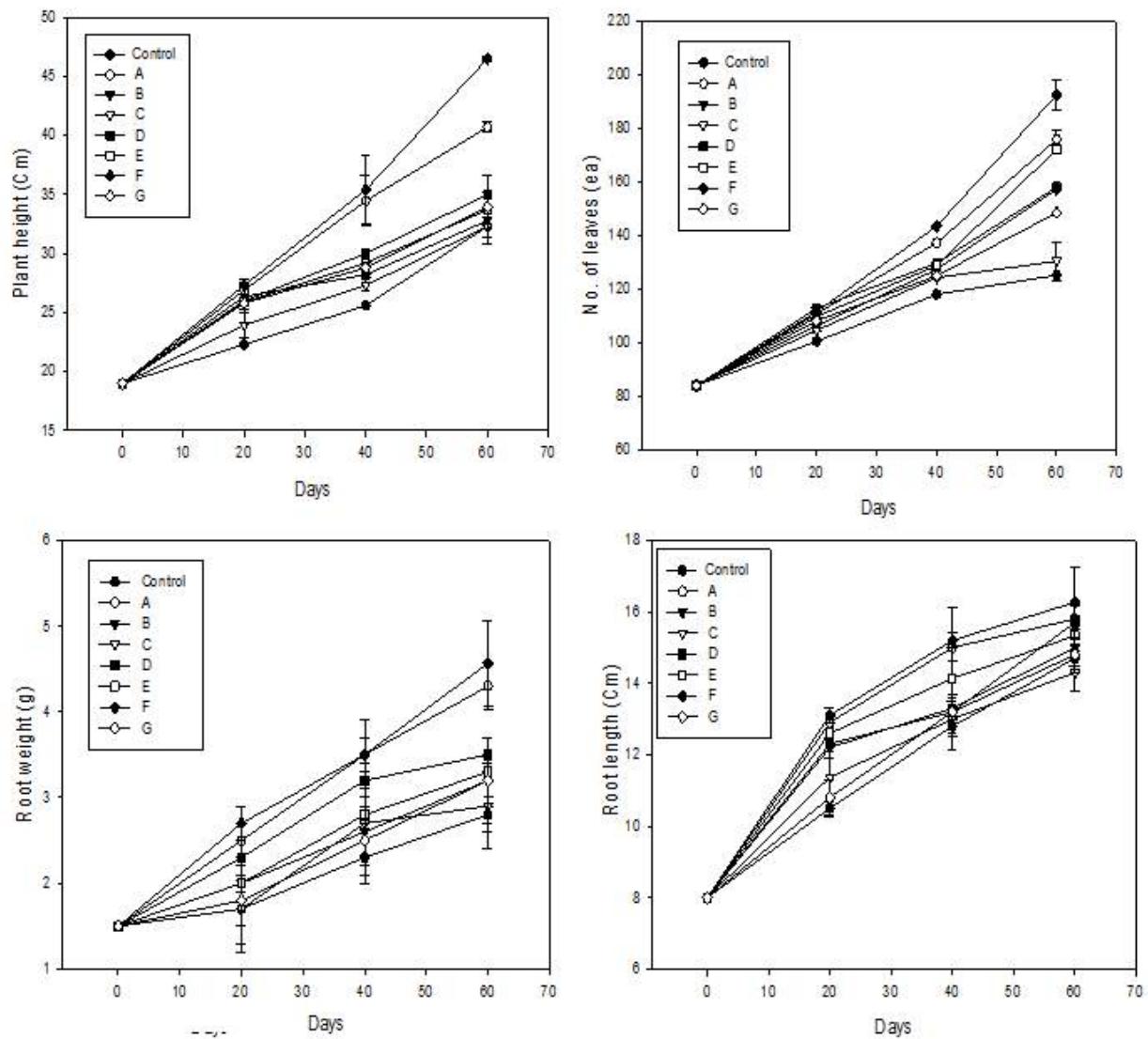


Fig 3. Comparison of root growth of the *Hedera helix* according to the type of mixed pot media for the Bio Wall system.

Control: Horticulture growing media (Cocopeat56.4%, Peatmoss15.0%, Zeolite11.0%, Vermiculite6.0%, Perlite7.0%, Bottomash4.0%, 기타0.6%)

A: Jang et al.(2013) media (vermiculite, peat moss, Kanuma, charcoal ball, 1:1:1:0.5),

B: HGM (horticulture growing media)80%+ERP (expanded rice hull) 20%

C: HGM 60%+ERP 40%

D: HGM 80% + CRH (carbonized rice hull) 20%

E: HGM 60% + CRH 40%

F: HGM 80% + ERP 10% + CRH 10%

G: HGM 60% + ERP 20% + CRH 20%

<3년차>

연구수행 내용

▶ 실험1: Bio-Wall 패널시스템 시제품 제작

○ 시험방법

- 개발된 식물 근관부 활용 환경정화 패널 시제품 제작

○ 처리내용

- 개발된 모듈과 특수패널을 접목시켜 시스템화

○ 조사항목

- 조립 가능성, 기술 보완 사항

○ 예상결과

Bio-Wall 패널시스템 시제품 제작하여 현장적용

▶ 실험2: Bio-Wall 패널시스템 매뉴얼 제작

○ 시험방법

- 연구 결과를 토대로 벽면녹화 시공 및 관리 매뉴얼 작성

○ 처리내용:

- 매뉴얼 제작에 필요한 도면 작성 및 연구자료 매뉴얼화

○ 조사항목

- 벽면녹화 효과, 설계시공, 식재유지 및 관리, 벽면녹화 적용사례

○ 예상결과:

- Bio-Wall 패널시스템 매뉴얼 발간

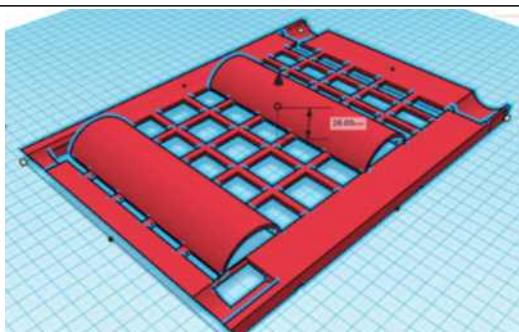
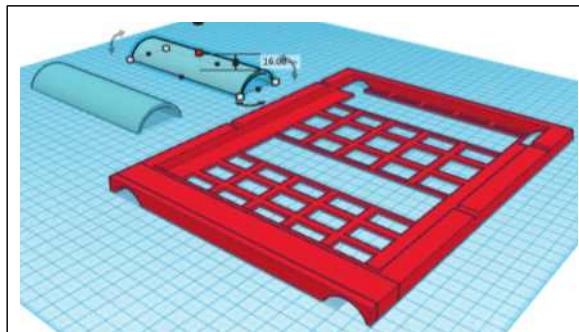
주요 결과

▶ 실험 1: Bio-Wall 패널 시제품 제작

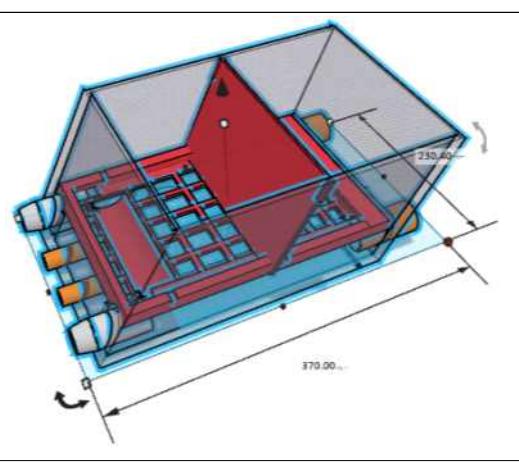
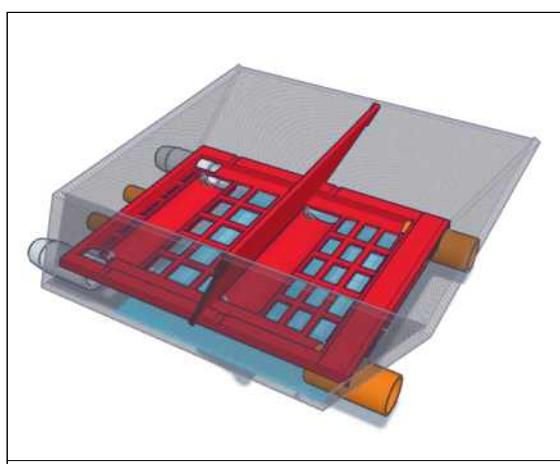
- 3D 프린터기를 이용하여 Bio-Wall 패널 시제품 모듈 시제품 제작

- 모듈과 특수 패널을 접목시켜 시스템화

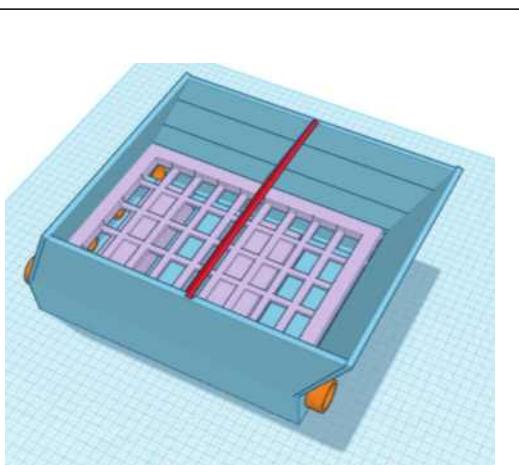
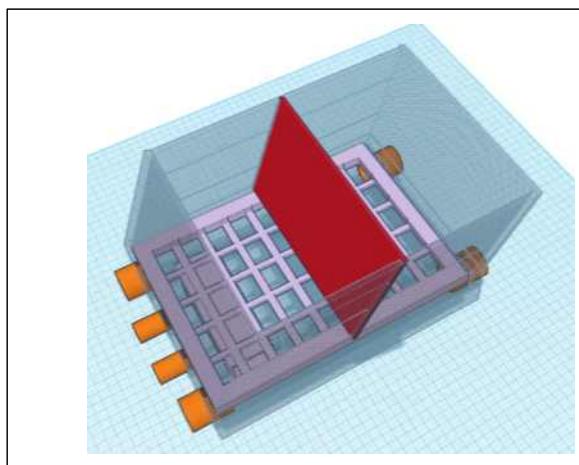
- 모듈과 특수 패널을 조립하여 시제품을 제작



Bio-Wall 기능성 패널



Bio-Wall 기능성 모듈

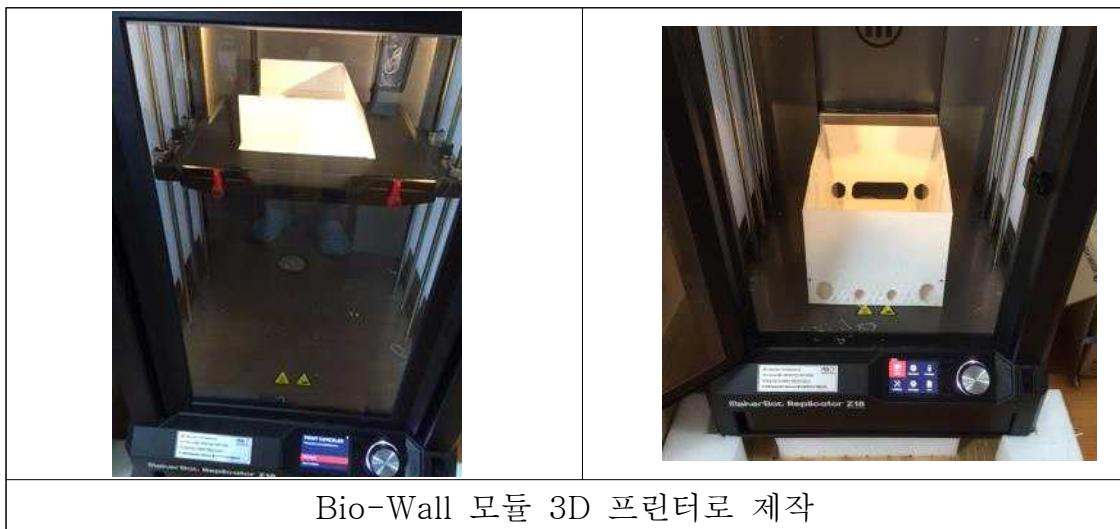


기술보완

Bio-Wall 기능성 모듈

	<p>코이어+왕겨훈탄 식생판 통기성은 우수하나 제작이 용이하지 못하고 고정이 어렵다</p>
	<p>황마+수태 식생판 습도유지는 좋으나 과습의 문제가 발생할 수 있음</p>
	<p>하이드로볼+왕겨훈탄 식생판 통기성은 우수하나 고정이 어렵고 제작이 용이하지 못하다</p>
	<p>극세섬유+황마+극세섬유 패널 전면부 까지 수분 공급이 원활하지 못함</p>
	<p>극세섬유+황마(3겹)+극세섬유 패널 -전면부 까지의 수분공급이 원활하지 못하는 단점을 보완 -극세섬유를 패널 후면에 고정을 해서 전면부 까지 수분공급이 원활해짐</p>
	
	

[수분 공급 및 유지를 위한 패널 기술보완]



○ Bio-Wall 패널시스템 시제품제작

- 공기정화효과 극대화를 위해서 기술보완
- 항균필터 및 탄소필터 설치

공기정화효과 극대화를 위해 항균필터 및 탄소필터 설치	Bio-Wall 패널시스템 시제품	

▶ 실 험2: Bio-Wall 패널시스템 매뉴얼 제작

Bio-Wall System 매뉴얼

ISBN 978-89-480-4266-5 93520

Bio-Wall System 매뉴얼



한국어판

Garden4u

(주)가든포유
15523 경기도 안산시 상록구 시사동 173
Tel. 031-415-2323 / 031-409-2171
E-mail, garden4u@hanmail.net

본 교재는 G 홍보전통상 산업고용 및 녹색경관 이용
산업화 기술개발 사업 지원으로 발간되었습니다.

Bio-Wall System 매뉴얼

I. 벽면녹화

1. 벽면녹화의 정의
2. 벽면녹화의 필요성
3. 벽면녹화 종류
 - 1) 벽면녹화 공법
 - 2) 벽면녹화 유형분류

II . 벽면녹화의 효과

- 1.에너지 절감효과
- 2.실내 공기정화효과
- 3.벽면녹화의 생리심리적 건강유지 효과
- 4.벽면녹화의 다양한 효과



[실내공기] 오염물질의 발생원인

III. Bio-Wall System의 연구 성과

1.기능성 모듈을 이용한 Bio-Wall System의 제작

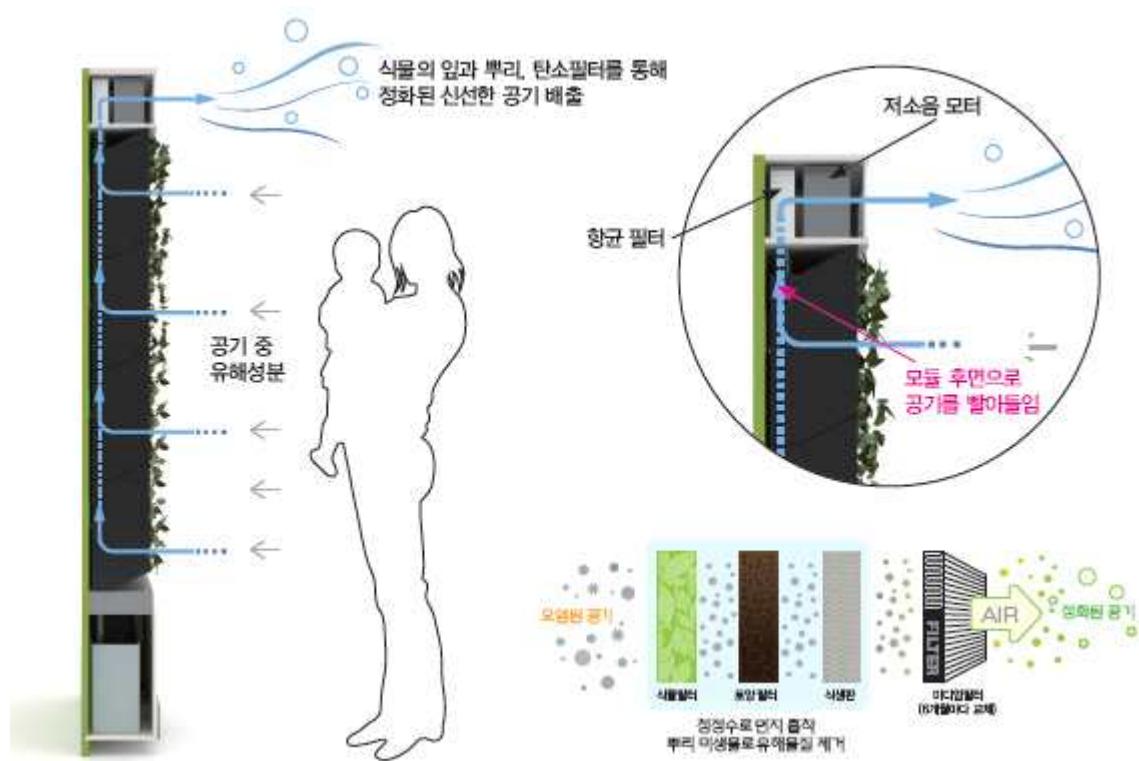
- 1) Bio-Wall기능성모듈
- 2)Bio-Wall 패널시스템 모듈
- 3)Bio-Wall 시스템
- 4)Bio-Wall 시스템 가구

Bio-Wall 패널시스템 모듈

Bio-Wall 패널시스템은 벽면녹화 시스템에 식생패널을 부착하여 뿌리활착이 원활하고 수분부족 및 과습에 의한 문제 해결 및 뿌리생육과 미생물 번식을 돋고, 통기성이 좋고 실내 공기가 식물의 잎 줄기, 그리고 토양 속의 뿌리부분을 경유하여 실내로 배출되므로, 실내공기는 식물의 잎과 줄기에 의하여 일차적으로 정화되고 토양속의 뿌리부분에 의하여 이차적으로 정화되어서, 식물의 토양속 뿌리부분(근권부)의 미생물에 의하여 휘발성 유기화합물과 악취 등 실내 오염물질의 제거 효과를 볼 수 있다



[Bio-Wall 패널시스템 모듈]





2.Bio-Wall System의 공기정화 효과

- 1)농촌진흥청의 도시농업연구팀의 Bio-Wall 시스템 실험결과
- 2) Bio-Wall 시스템 설치 후 사무실의 공기질 측정결과
- 3) 사무실에 Bio-Wall 시스템 설치 후 필요성 인식조사 결과
- 4) Bio-Wall 시스템 보도자료

IV. Bio Wall System의 시공 및 관리 방법

1.설계 및 시공

- (1)시공 순서 (2)식물재료 (3)토양재료 (4)구조물



2.관리방법

- (1)관수 (2)온도 (3)습도 (4)광도 (5)시약 (6)전정작업 (7)식물교체 (8)시비
(9)정기점검

V.Bio-Wall System의 Q&A

VI. Bio-Wall System의 활용방안 및 시공 사례

- Bio-Wall System의 활용방안 및 기대효과
 - 기술적효과 2)경제적 산업적효과

2.시공사례

<제3협동과제: 실내식물의 균권부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발>

1) 연구 수행 내용

본 연구는 선행연구를 통해 검증된 민감지표를 활용한 식물적용에 따른 임상증상변화 효과 극대화 평가단계로서 신축건물 재실자들을 대상으로 식물 적용 전·후의 환경농도 측정 및 안구 건조 관련 증상, 알레르기성 비결막염 관련 증상 및 설문조사 결과를 비교하고 평가하였다.

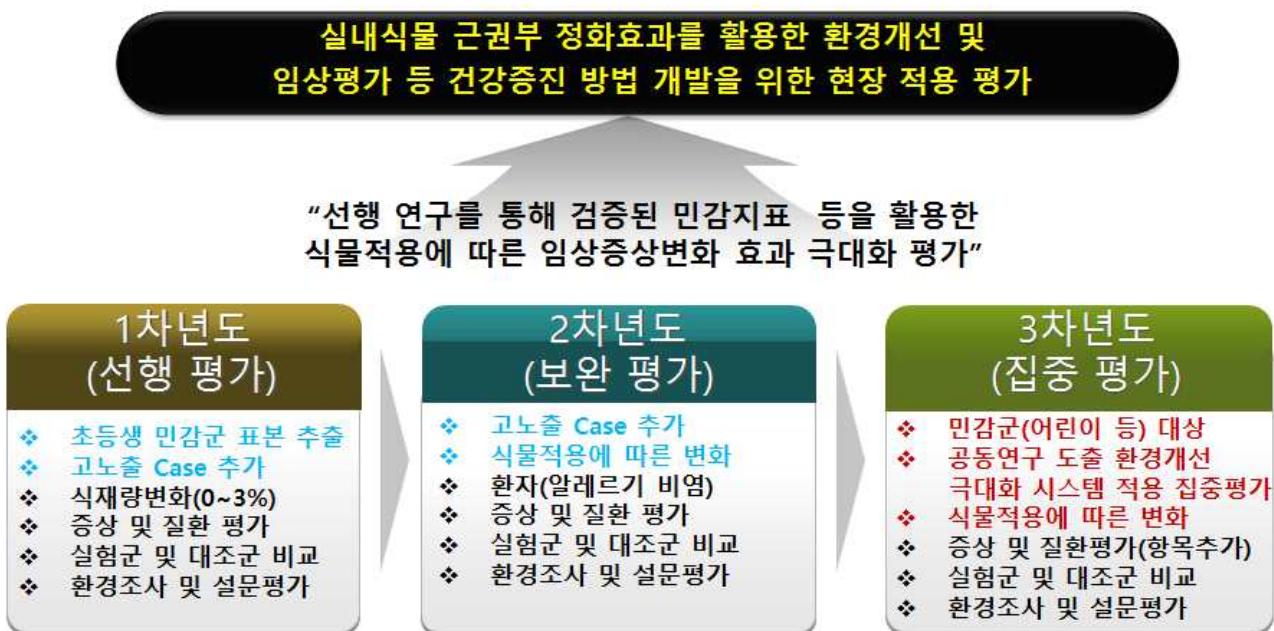


Figure 1. Content of this study

1.1) 실내공기질 측정

신축건물에서 발생하여 재실자에게 영향을 미칠수 있는 휘발성유기화합물류(VOCs) 및 알데히드류(Aldehydes), 먼지류(PM10) 및 이산화탄소(CO₂)를 측정하였으며, 측정기간 동안 같은 시간에 동일한 방법으로 반복 측정을 진행하였다. 측정은 오전과 오후로 나누어 일 2회 측정하였다.

실내 공기질 측정은 외부 공기로 인한 영향을 최소화하기 위해 실내 창문 및 출입문을 모두 밀폐한 상태에서 진행하였다. 휘발성유기화합물류(VOCs) 및 알데히드류(Aldehydes)의 경우 1차년도의 경우 앞, 뒤 2지점에서, 2차년도 및 3차년도에서는 앞, 중간, 뒤 실내공간당 각 3지점씩 측정하였으며, 먼지류(PM10) 및 이산화탄소(CO₂)는 전체 공간을 대표할 수 있고 기류의 영향을 적게 받는 지점을 선정하여 진행하였다.

Table 27. Information of indoor air quality measurement

Compounds	Sampling method	Condition	Location
▪ Particulate matters	Light scattering method direct reading instrument	-	center 1
- Benzene - Toluene - Ethylbenzene - Xylene	Tenax-TA tube Personal air sampler GC/MS	0.1L/min 30min	front 1 center 1 back 1
▪ VOCs			
▪ Aldehydes	- Formaldehyde - Acetaldehyde - Aceton + Acrolein	2,4-DNPH cartridge Personal air sampler HPLC	0.5L/min 30min
▪ CO2			front 1
▪ Temperature	Direct reading instrument	-	center 1
▪ Humidity			



(a) Before putting indoor plants



(b) After putting indoor plants

Figure 216. IAQ measurement in classroom.



(a) Before putting indoor plants



(b) After putting indoor plants

Figure 217. IAQ measurement in office.



(a) Before putting indoor plants



(b) After putting indoor plants

Figure 218. IAQ measurement in day care center

1.2) 임상 증상 및 설문 평가

1.2.1) 새건물증후군(Sick Building Syndrome, SBS) 증상 설문

1차년도와 2차년도에 새건물증후군(Sick Building Syndrome, SBS) 설문지를 신체부위별로 눈, 코, 목, 손, 머리, 두피 등이 불편한 적이 있었는지에 대한 내용으로 총 12개의 문항으로 구성하였다. 증상발생빈도에 따라 ‘전혀 없었다(0점), 드물게 있었다(1점), 종종 있었다(2점), 흔히 있었다(3점)’로 나누어 재실자 스스로 본인의 건강자각증상을 판단하여 설문지를 작성, 제출하도록 하였다. 각 문항별로 증상발생빈도 점수를 곱하여 최저 0점~최대 36점으로 점수를 산출하여 시기별로 학교개교직후 및 식물 투입 전·후의 점수를 비교하였다.

1.2.2) 알레르기성 비결막염 증상 평가

알레르기 비결막염 증상, Visual Analogue Scale (VAS), 중증도 등을 반영한 설문조사 및 스트레스 관련 설문조사를 다음과 같이 시행하였다. 임상증상 설문은 알레르기 비결막염 진단 및 치료에 널리 이용되는 세계적 지침인 ARIA (Allergic rhinitis impacts on Asthma) guideline의 최신판(www.whiar.org) 내용 및 설문지침 등을 반영하여 일반 성인이 이해할 수 있는 평이한 용어로 번역하여 배포하였으며, 사무실에서 대상자가 직접 작성하도록 한 후 취합하였다. 한편, 스트레스 및 실내환경 특성 설문조사는 DASS-42 (우울, 불안, 스트레스 척도) 한글판(Lovibond, et al., 1995; Lee, 2007) 42문항, 한국인 직무스트레스 측정도구(KOSS: 장세진 등, 2005) 기본형 43문항, 1,2차년도에서 사용하였던 스트레스-각성 설문조사 30문항(Stress Arousal Check List, SACL: Mackay, et al., 1978) 및 실내환경 특성 설문 17문항(Rohles, et al., 1981; Lohr, et al., 2000)을 이용하여 시행하였으며 설문조사도구에 대한 개요를 아래에 기술하였다.

- 우울, 불안, 스트레스 척도(Deression, Anxiety, Stress Scale: DASS) 한글판 42문항 : Lovibond SH, Lovibond PF. Manual for the Depression, Anxiety, Stress Scales. 2nd ed. Sydney. Psychology Foundation. 1995에서 제시한 DASS척도를 Lee KW가 Relations between depression, anxiety, stress and the concentration of urinary hydroxyproline and proline [doctorial dissertation]. Department of Environmental Engineering, Graduate School of

Yonsei Univ. Seoul. 2007. (Korean) 논문에서 번역한 것을 DASS척도 공식/공개 웹사이트인
에서 다운로드 하여 사용한 것임.

- 한국인 직무스트레스 측정도구(Korean Occupational Stress Scale; KOSS)의 기본형
43문항

: “장세진 등, 한국인 직무 스트레스 측정도구의 개발 및 표준화 대한산업의학회지 제 17권 제
4호 (2005년 12월)”에서 발췌하여 사용한 것임.

- Stress-Arousal Checklist (SACL, Mackay, et al., 1978) 30문항

: 스트레스와 각성 상태를 반영하는 형용사들을 제시하고 현재 상태를 반영하는 정도를
표시하도록 하며 스트레스는 0~18점, 각성은 0~12점의 범위를 가지고 있으며 점수가 높을 수록
높은 수준의 스트레스 혹은 각성상태를 반영함.

- 실내 환경특성 설문(Rohles, et al., 1981; Lohr, et al. 2000; Dijkstra, et al. 2008) 17문항

: 실내 환경을 표현하는 정반대의 형용사들을 짹지어서 현 실내 환경을 가장 반영하는 쪽으로
선택하는 5점 척도임. 0~85점의 범위를 가지며 점수가 높을수록 실내환경이 매력적임을
반영함.

스트레스 관련 설문 중 한글판이 없는 영문판은 일반인이 쉽게 이해할 수 있도록 평이한
표현과 단어를 사용하여 설문에 어려움이 없도록 영어사전의 표제어 3순위 이내에서 가장
쉬운 국문단어로 번역하였다. 선행연구들에 의하면 상기 연구척도들은 모두 Chronbach's
Alpha 값 0.7 이상의 적절한 신뢰수준을 보여주고 있다. 이를 바탕으로 식물도입 전후
설문조사를 시행하여 스트레스 척도 변화를 비교 분석하고 알레르기 비결막염 이환 여부와의
연관성을 분석하였다.

이 결과를 토대로 식물 적용 전·후의 알레르기성 비결막염 임상 증상, 중증도, 알레르기
질환의 악화인자로 보고되고 있는 스트레스 요인의 증감을 분석하기 위한 각종 성인 스트레스
및 실내환경특성 관련 설문지표를 비교 및 평가하였다. 한편, 설문조사 시행과 별도로 비좁
채취 동의자에 대한 비좁도말검체 채취를 시행하였으려, 콧물도말검체 염증세포 검사를 위해
슬라이드를 제작, 보관하였다.

1.2.3) 안구 자극 증상 평가

1.2.3.1) 건성안 측정

1,2차년도 건성안의 측정은 가장 기본적인 눈물막의 안전성 평가 방법인 눈물막 파괴
시간(Tear Break-Up Time)을 이용하였다. 1인의 검사자에 의해 세극등 현미경을 사용하여
형광염색제가 묻은 검사지를 하결막낭에 묻히고 눈을 감았다 뜨게 한 후 눈물막에 건조점이
처음으로 생길 때까지의 시간을 측정하였다. 1사람의 대상자에 대해서 좌우안 각각 3번 반복
측정하여 평균값을 사용하였다. 5초 이하는 건성안으로 진단하였고, 5~9초는 충혈, 자극감,
이물감등을 동반하면 건성안으로 진단하였으며, 10초 이상은 정상으로 평가하였다.

1.2.3.2) 안구충혈 측정

결막 충혈의 정도는 1인의 검사자에 의해 세극등 현미경을 이용하여 1사람의 대상자에 대해서 좌우안 각각 3번 반복 측정하여 평균값을 사용하였다. 이때 결막은 위, 아래, 코, 귀 4방향으로 나누어 검사하였고, 충혈정도는 5단계의 5점 척도로(Normal, Trace, Mild, Moderate, Severe) 나타내었다(마기중 등, 콘택트렌즈 부작용, Elsvier Korea, 2008).

1.2.3.3) 자각증상 설문

전반적인 안구건조의 자각증상은 안구표면질환지수(Ocular surface disease index)를 사용하여 측정하였다. OSDI식 설문 방법은 12개의 항목과 각 항목당 자각 빈도가 0-4점으로 구성되어 있으며, OSDI 수식에 의해 계산된 점수의 결과에 따라 0-12점인 경우를 정상으로 하고, 13점 이상부터 건성안으로 판단하였다. 또한, 13-22점을 경도의 건성안, 23-32점을 중등도의 건성안, 33-100점을 중증의 건성안으로 분류하였다(Yun CM, Kang SY, Kim HM, Song JS. Prevalence of dry eye disease among university students. J Korean Ophth Soc. 2012;53(4):505-509).

$$\text{OSDI수식} : \frac{\text{(답으로 표시한 숫자의 합)}}{\text{답한 문항의 개수}} \times 25$$

그 외에 눈의 가려움, 눈꺼풀 부종 그리고 눈의 피로감에 대해 추가로 0에서 4점 척도로 조사하였다.

1.5) 산화스트레스 증상 검사

3차년도 집중평가단계에서는 건강에 있어 다양한 부정적 결과와 자연노화에 연결되어 있는 산화스트레스의 바이오마커인 MDA(Malondialdehyde)를 조사하였다.

검사는 식물적용 전 및 식물적용 후에 시행하였다. 검사는 오전에 어린이의 소변을 5cc 이상 채취하여 HPLC로 분석하였다.

1.6) 스트레스 증상 검사

3차년도 집중평가단계에서는 식물적용 유무에 따른 스트레스호르몬(Cortisol)의 감소로 어린이의 건강의 긍정적인 변화를 관찰하고자 하였다.

검사는 식물적용 전 및 식물적용 후에 시행하였으며, 측정은 오전시간에 채취 15분전에 물로 입안을 행군 뒤 어린이의 타액을 3cc 이상 직접 채취하여 Saliva Cortisol 1kit로 분석하였다.

1.7) 통계분석

통계 분석은 SPSS(PASW Statistics 20.0) 프로그램을 사용하였다.

식물적용 시기에 따른 차이는 대응표본 t 검정(paired t-test)으로 분석하였고, P value가 0.05 이하인 경우 통계학적 의미를 두었다. 새건물증후군 증상 설문 조사 시기에 따른 차이는 크루스칼 왈리스 검정(Kruskal-Wallis test)으로 평가하였고, 다중회귀분석(multiple regression)을 실시하여 대상자 특성에 따른 시설 내 환경오염물질과 건강영향을 평가할 수 있는 건강점수의 관련성을 분석하였다.

2) 연구 결과

2.1) 실내공기질 측정결과

2.1.1) 미세먼지류(PM₁₀)

1차년도 신축학교와 일반학교 교실에 식물을 투입하여 약 2개월 간 적응기간을 둔 후 PM10의 농도 변화를 확인하였다. 식물을 적용하지 않은 일반 교실을 대조군으로 농도를 비교하였고, PM10의 경우에는 외부의 영향을 많이 받기 때문에 교실 외부에서도 PM10을 교실 내부와 동시에 측정하였다.

총 조사기간 중 3 일을 종점적으로 평가하였으며, 신축학교와 일반학교 모두 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 미세먼지의 감소율이 크게 나타났다.

신축학교 오전 시간대의 경우에는 식물 미적용 반과 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 미세먼지의 농도가 감소하였고, 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에서 미세먼지의 농도가 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 더 증가하였다. 오후 시간대의 경우에는 세 학급 모두 미세먼지의 농도가 감소하였으나, 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 가장 높았다. 전체적인 미세먼지의 감소율을 보았을 때, 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 가장 높았으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p<0.001$). 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반은 식물을 미적용한 반과 별 차이가 없게 나타났다.

일반학교의 경우도 신축학교와 마찬가지로 오전과 오후에 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 미세먼지의 농도가 가장 크게 감소하였다. 2차년도 신축 오피스에 식물을 투입하여 약 3개월 간 적응기간을 둔 후 PM10의 농도 변화를 확인하였다. 식물을 투입하지 않은 오피스를 대조군으로 농도를 비교하였다.

미세먼지를 측정한 결과, 식물적용군과 식물미적용군에서 모두 식물적용 후에 미세먼지 농도가 통계적으로 유의하게 감소하였다.

식물적용군에서는 $55.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $13.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 $42.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 감소하였고, 식물미적용군에서는 $57.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $33.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 $24.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 감소하여 식물적용군에서 감소분이 더 큰 것으로 나타났다.

3차년도 알레르기비결막염 환자를 대상으로 생활공간에 식물을 약 3개월 적용하였을 때 생활공간 $36.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $27.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 약 $8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 감소하였고, 강의실의 경우 $18.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 $9.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 감소, 자율열람실에서는 $31.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $24.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 $6.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 만큼 감소하였다.

신축 어린이집에 식물을 투입하여 약 2개월간 적응기간을 둔 후 PM10의 농도변화를 확인하였으나, 식물적용 유무에 따른 미세먼지 감소율을 확인하지 못하였다. 이는 가을철 실외 미세먼지의 유입등이 원인인 것으로 사료된다.

Table 28. (Active sampling) PM10 concentration in classrooms of newly built school

Particulate matters ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AM/ PM	Indoor plants	Before putting plants			After putting plants		
			1st (March)			2nd (May)		
			Active sampling			Active sampling		
			Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)	Mean \pm S.D (Range)
PM10	AM	0 %	144.3 \pm 23.9 (94.8–211.4)	145.3 \pm 26.3 (93.1–197.5)	118.2 \pm 49.7 (68.5–266.9)	136.0 \pm 25.8 (101.8–193.4)	137.0 \pm 30.2 (71.0–216.8)	114.2 \pm 21.1 (75.7–153.3)
		1.5 %	133.6 \pm 43.7 (68.8–205.4)	136.1 \pm 20.6 (90.1–175.3)	90.9 \pm 21.3 (46.5–124.2)	102.4 \pm 22.5 (71.0–157.8)	120.6 \pm 26.8 (67.7–165.5)	118.2 \pm 21.1 (95.2–149.3)
		3 %	136.4 \pm 28.6 (61.0–183.5)	176.0 \pm 19.7 (117.6–199.9)	112.3 \pm 30.1 (70.8–208.9)	80.1 \pm 12.5 (66.2–118.5)	95.3 \pm 18.3 (60.5–132.1)	90.6 \pm 12.5 (62.5–118.1)
	PM	0 %	158.3 \pm 24.2 (100.6–208.6)	88.7 \pm 31.4 (34.0–172.4)	143.2 \pm 38.0 (50.3–200.0)	137.7 \pm 5.1 (130.1–149.4)	92.3 \pm 5.7 (80.1–99.8)	117.5 \pm 11.1 (100.1–134.6)
		1.5 %	174.7 \pm 17.7 (102.9–216.6)	144.2 \pm 27.1 (86.6–198.4)	149.9 \pm 30.0 (94.1–211.9)	102.4 \pm 22.5 (71.0–157.8)	51.5 \pm 14.1 (33.5–83.6)	131.2 \pm 11.1 (109.8–153.3)
		3 %	141.1 \pm 16.8 (101.8–176.1)	152.1 \pm 12.4 (128.5–174.7)	112.3 \pm 44.3 (45.8–197.2)	67.6 \pm 15.5 (40.2–108.1)	76.6 \pm 29.6 (36.1–139.9)	99.1 \pm 12.5 (72.9–116.1)

Table 29. (Active sampling) PM10 concentration in classrooms of the school older than 5 years

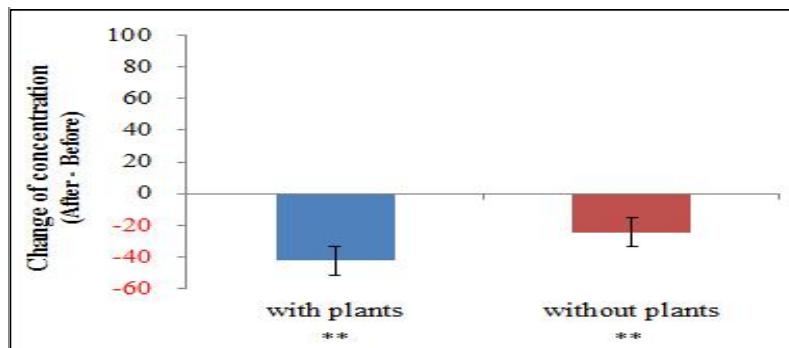
Particulate matters ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AM/ PM	Indoor plants	Before putting plants			After putting plants		
			Active sampling			Active sampling		
			1st (March)			2nd (May)		
			First day	Second day	Third day	First day	Second day	Third day
PM10	AM	0 %	Mean \pm S.D (Range)		Mean \pm S.D (Range)		Mean \pm S.D (Range)	
			94.0 \pm 10.6 (73.7–126.3)	85.3 \pm 17.3 (63.8–139.3)	109.3 \pm 12.2 (83.4–130.3)	78.9 \pm 6.7 (64.4–96.8)	84.2 \pm 12.2 (41.4–112.0)	111.1 \pm 11.1 (83.8–119.1)
			104.1 \pm 15.1 (77.5–143.7)	80.8 \pm 10.1 (62.3–105.9)	91.2 \pm 12.9 (72.0–125.1)	123.5 \pm 15.9 (95.9–232.9)	87.6 \pm 14.1 (65.6–133.5)	97.8 \pm 10.1 (90.4–113.9)
	PM	1.5 %	90.1 \pm 17.9 (61.5–124.9)	86.6 \pm 21.4 (60.5–147.4)	132.3 \pm 27.6 (77.6–206.5)	64.0 \pm 4.9 (52.3–73.6)	86.2 \pm 12.2 (61.4–114.0)	107.2 \pm 10.2 (77.2–117.4)
			112.8 \pm 29.7 (78.4–217.3)	109.3 \pm 23.7 (90.1–168.4)	155.9 \pm 14.8 (124.0–185.2)	88.9 \pm 11.0 (66.5–118.9)	81.1 \pm 11.7 (59.8–106.8)	154.0 \pm 11.0 (117.4–185.2)
			130.2 \pm 42.8 (63.8–216.0)	89.6 \pm 29.2 (55.6–160.5)	178.8 \pm 11.5 (160.5–215.8)	77.5 \pm 20.2 (41.2–130.9)	76.2 \pm 8.7 (63.1–104.0)	179.9 \pm 11.9 (153.1–215.8)
	PM	3 %	110.4 \pm 20.5 (80.8–161.2)	96.1 \pm 12.3 (80.0–129.4)	154.7 \pm 13.1 (130.0–191.0)	80.8 \pm 25.8 (41.7–133.3)	71.1 \pm 8.1 (59.8–93.2)	133.9 \pm 11.9 (98.2–161.2)

Table 30. Changes of concentrations of PM10 in newly built school according to indoor plants.

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AM/ PM	Indoor plants	Before putting plants		p-value †	
			1st (April)			
			Mean \pm S.D(Range)	Mean \pm S.D(Range)		
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AM	With	59.8 \pm 7.6 (47.5–88.3)	15.9 \pm 4.3 (8.1–27.0)	**	
		Without	63.8 \pm 7.5 (47.7–89.6)	40.4 \pm 9.1 (16.8–62.7)		
	PM	With	53.7 \pm 10.5 (31.5–88.4)	11.7 \pm 3.6 (4.1–24.3)	**	
		Without	54.3 \pm 10.9 (26.8–85.1)	29.6 \pm 19.8 (7.0–112.1)		

† paired t-test

zNS : non-significance, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01



NS : Non-significant, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01

Vertical bars represent \pm SE of the means

Figure 221. Changes of concentrations of PM10 according to indoor plant placement.

Table 31. Changes of PM10 concentration in the living space of patients according to indoor plants

	Home		Classroom	
	Before	After	Before	After
PM10	36.6	8.8	18.5 \pm 15.3	9.2
PM2.5	20.4 \pm 13.0	13.6 \pm 4.3	4.0 \pm 2.4	6.5 \pm 12.6
	Reading room		Library	
	Before	After	Before	After
PM10	31.2 \pm 29.9	6.9	14.2 \pm 6.7	16.4 \pm 13.5
PM2.5	32.5 \pm 10.9	10.3 \pm 4.1	6.2 \pm 5.7	15.3 \pm 4.9

Table 32. The concentration variance in particulate matter (PM-10) according to plant application

Classify	Concentration		p-value
	Before	Mean±S.D	
The day care center A (older than 1years)			
Case	23.39 ± 11.45	44.69 ± 33.99	P<0.01
Control	39.32 ± 47.44	18.65 ± 16.62	
Out door	58.39 ± 50.52	41.44 ± 25.41	
The day care center B (older than 2years)			
Case	65.75 ± 65.79	67.39 ± 59.89	P<0.01
Control	23.85 ± 22.46	43.48 ± 32.25	
Out door	36.57 ± 51.37	121.07 ± 97.75	

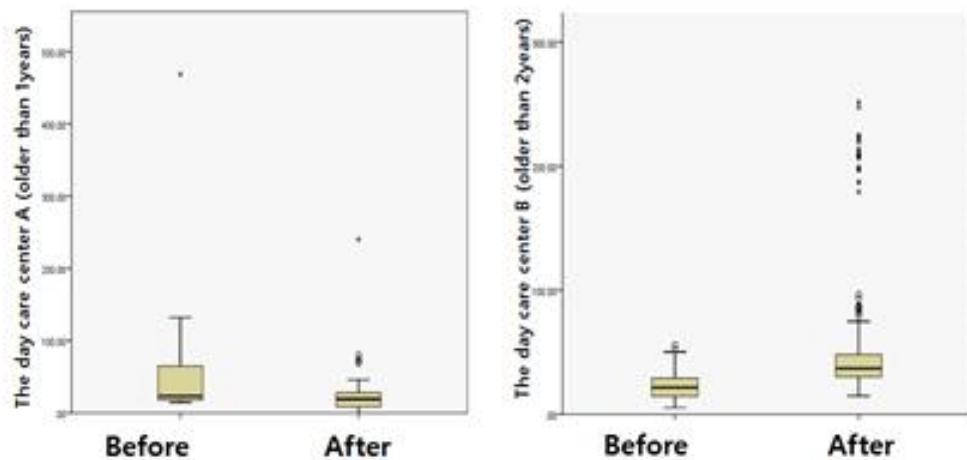


Figure 1. The concentration variance in particulate matter (PM-10)

2.1.2) 온도 및 습도

1차년도에서 신축학교와 일반학교 온열환경을 평가하기 위해 온도, 습도를 측정하였다. 오전과 오후를 나누어 측정하였으며, 교실에 식물을 투입하여 식물적용 전과 후를 공간대비 식물 식재량의 차이에 따라 비교하였다.

신축학교의 경우, 2차 조사시기 때의 온도가 모든 반에서 증가하였으나, 식물 적용 반에 비하여 식물을 미적용한 반에서 온도의 증가율이 높았다. 식물 미적용 반에서 6.3 °C증가한 반면, 공간대비 3 % 식물을 적용한 반에서는 3.9 °C 증가하였다. 습도의 경우에는 식물 미적용 반에서 5 %가 감소한 반면, 식물을 적용한 반에서는 습도가 증가하였다.

일반학교의 경우, 식물 적용 전과 식물 적용 후에 온도와 습도 차이가 신축학교에 비하여 차이가 크지 않았다. 온도의 경우 신축학교와 다르게 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 4 °C가 증가하여 증가율이 가장 높았으나, 식물 미적용반과 공간대비 1.5 %식물을 적용한 반과의 차이가 크지 않았다. 습도의 경우에는 식물 미적용반과 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 식물 적용 전과 식물 적용 후가 큰 차이가 있지는 않았으며, 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에서 식물 적용 후 습도가 7 %가 증가하였다. 신축학교와 마찬가지로 식물 미적용 반에서는 습도가 감소한 반면, 식물 적용 반에서는 습도가 증가하였다.

학교 별 식물의 식재량 차이에 따른 식물적용 전, 후 온도 및 습도 측정 결과는 다음과 같다.

Table 33. Condition of thermal environment in classrooms of newly built school

Newly built school	Indoor plants	Before putting plants		After putting plants		Change of mean before-after	p-value †		
		1st (March)		2nd (May)					
		Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)				
Temperature (°C)	0 %	17.4±0.6(16.0–18.8)		23.7±0.2(22.9–24.0)		-6.3	<0.001		
	1.5 %	19.1±0.7(17.6–20.7)		23.7±0.7(22.7–24.9)		-4.6	<0.001		
	3 %	19.0±1.4(16.6–22.4)		22.9±0.9(21.7–24.7)		-3.9	<0.001		
Humidity (%)	0 %	55±9(39–70)		50±3(40–54)		5	<0.001		
	1.5 %	61±7(43–74)		62±7(51–70)		-1	0.063		
	3 %	50±9(30–64)		53±8(35–63)		-3	<0.001		

†paired t-test

Table 34. Condition of thermal environment in classrooms of the school older than 5 years

The school older than 5 years	Indoor plants	Before putting plants		After putting plants		Change of mean before-after	p-value †		
		1st (March)		2nd (May)					
		Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)	Mean±S.D(Range)				
Temperature (°C)	0 %	21.4±1.5(18.4–27.1)		24.7±1.3(20.9–26.8)		-3.3	<0.001		
	1.5 %	21.2±2.6(14.9–27.3)		23.8±0.9(22.0–25.6)		-2.6	<0.001		
	3 %	19.6±2.0(14.0–23.1)		23.6±1.3(21.6–25.8)		-4	<0.001		
Humidity (%)	0 %	48±5(36–61)		46±7(36–66)		2	<0.01		
	1.5 %	43±9(20–59)		50±5(39–58)		-7	<0.001		
	3 %	44±8(29–60)		47±3(39–54)		-3	<0.001		

†paired t-test

2차년도에서는 대상공간의 온열환경을 평가하기 위해 온도 및 습도를 측정하였다. 오전과 오후를 나누어 측정하였으며, 공간에 식물을 투입하여 식물적용 전과 후에 따른 결과를 비교하였다.

신축 오피스의 경우, 식물적용군과 미적용군에서 온도가 모두 증가하였으며, 증가율 또한 비슷한 양상을 나타내고 있는데 이는 계절적인 영향으로 사료된다. 습도의 경우 식물을 적용한 군에서 감소하였으며, 식물을 적용하지 않은 군에서 습도가 증가하였다. 이산화탄소(CO₂)는 모든 군에서 감소하였는데 식물적용 후 측정 시 외부 일정 등으로 인하여 공간 내 재실자의 수가 감소하였다. 따라서 이산화탄소의 경우 공간 내 재실자의 영향을 많이 받은 것으로 사료되어진다.

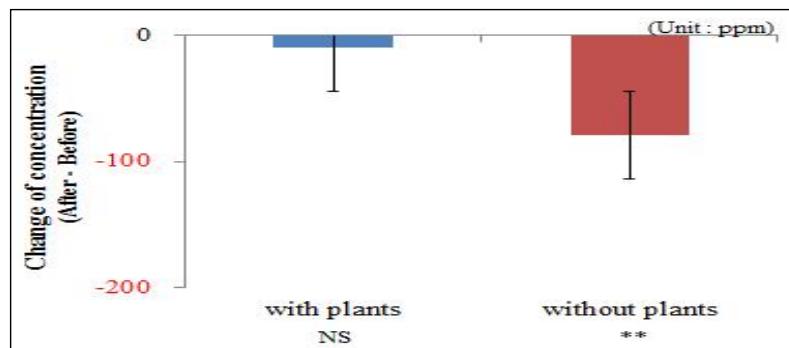
식물적용에 따른 식물적용 전, 후 이산화탄소, 온도 및 습도 측정 결과는 다음과 같다.

Table 35. Changes of concentrations of CO₂, Temperature, Humidity in newly built school according to indoor plants.

Indoor plants		Before putting plants	After putting plants	Change of mean p-value before-a fter	
		1st (April) Mean±S.D(Range)	2nd (July) Mean±S.D(Range)	+†	
CO ₂ (ppm)	With	850±103 (570-1084)	840±125 (554-1092)	10	NS
	Without	1044±185 (586-1355)	965±111 (658-1252)	79	**
Temperature (°C)	With	22.2±0.6 (20.5-23.2)	25.6±0.7 (23.9-27.3)	-3.4	**
	Without	22.2±0.4 (20.7-23.0)	26.3±0.9 (23.3-27.4)	-4.1	**
Humidity (%)	With	59±2 (55-64)	57±4 (51-68)	2	**
	Without	51±2 (47-52)	68±5 (55-82)	-17	**

† paired t-test

zNS : non-significance, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01



NS : Non-significant, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01

Vertical bars represent \pm SE of the means

Figure 223. Changes of concentrations of Carbon dioxide according to indoor plant placement.

2.1.3) 휘발성유기화합물류(VOCs) 및 알테히드류

1차년도 신축학교와 일반학교 교실에서 휘발성유기화합물류 중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌을 측정하였다. 교실에 식물을 투입하여 약 2 개월 간 적응기간을 둔 후 휘발성유기화합물류의 농도 변화를 확인하였다. 식물을 투입하지 않은 일반 교실을 대조군으로 농도를 비교하였다.

신축학교의 경우에는 식물을 적용하기 전 톨루엔의 농도가 높게 나타났으며, 나머지 물질들의 경우에는 신축학교와 일반학교가 비슷한 수준을 보였다. 또한, 모든 물질들이 식물적용 전에 비하여 식물적용 후에 농도가 감소하였다. 이는 식물의 유무와 관계없이 시간의 경과에 따른 자연감소에 의한 결과로 보인다.

신축학교와 일반학교 모두에서 공간대비 3 %의 식물을 적용한 학급에서 모든 물질을 대상으로 통계적으로 유의하게 휘발성유기화합물류가 감소하였다.

학교별 식물적용 전·후의 휘발성유기화합물류 농도는 다음과 같다.

Table 36. VOCs concentration in classrooms of newly built school

VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indoor plants	N	Before putting plants		After putting plants		p-value †	
			1st (March)		2nd (May)			
			Mean \pm S.D	Range	Mean \pm S.D	Range		
Benzene	0 %	16	10.68 \pm 2.08	8.23–15.59	5.54 \pm 1.11	3.68–7.53	<0.001	
	1.5 %	16	10.11 \pm 2.40	6.68–14.84	5.46 \pm 1.08	3.97–7.15	<0.001	
	3 %	16	10.39 \pm 2.34	7.82–15.68	5.33 \pm 0.95	3.31–6.61	<0.001	
Toluene	0 %	16	177.73 \pm 30.59	128.33–221.50	36.02 \pm 7.81	26.45–55.18	<0.001	
	1.5 %	16	178.57 \pm 41.31	120.30–293.64	29.21 \pm 13.73	15.13–59.78	<0.001	
	3 %	16	201.05 \pm 45.77	141.92–296.97	29.52 \pm 14.94	15.02–66.99	<0.001	
Ethylbenzene	0 %	16	9.78 \pm 2.62	7.47–15.96	7.08 \pm 1.53	4.26–8.92	<0.01	
	1.5 %	16	8.54 \pm 1.80	6.12–12.88	8.96 \pm 2.77	6.16–15.48	0.614	
	3 %	16	8.98 \pm 1.56	6.62–13.04	7.66 \pm 1.49	4.22–9.54	<0.05	
Xylene	0 %	16	12.24 \pm 8.30	1.90–27.84	3.02 \pm 2.11	0.00–6.38	<0.001	
	1.5 %	16	6.89 \pm 5.99	0.23–22.20	5.12 \pm 4.59	0.06–16.83	0.355	
	3 %	16	9.40 \pm 4.98	2.50–19.30	3.01 \pm 2.89	0.00–9.01	<0.001	

†paired t-test

Table 37. VOCs concentration in classrooms of the school older than 5 years

VOCs ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indoor plants	N	Before putting plants		After putting plants		p-value †	
			1st (March)		2nd (May)			
			Mean \pm S.D	Range	Mean \pm S.D	Range		
Benzene	0 %	16	9.64 \pm 0.89	8.52–11.39	5.85 \pm 1.32	4.27–7.81	<0.001	
	1.5 %	16	10.09 \pm 1.44	8.24–12.88	5.81 \pm 1.57	3.16–7.93	<0.001	
	3 %	16	10.20 \pm 1.51	8.25–13.97	5.88 \pm 1.30	4.28–8.22	<0.001	
Toluene	0 %	16	40.06 \pm 12.71	29.18–72.31	24.87 \pm 9.13	16.28–43.53	<0.01	
	1.5 %	16	39.57 \pm 9.50	30.22–59.26	23.15 \pm 10.12	12.12–48.27	<0.001	
	3 %	16	51.95 \pm 19.58	31.65–89.75	25.73 \pm 10.86	17.71–50.29	<0.001	
Ethylbenzene	0 %	16	7.46 \pm 0.43	6.85–8.78	7.44 \pm 0.65	6.63–8.74	0.918	
	1.5 %	16	7.40 \pm 0.51	6.68–8.87	6.99 \pm 1.23	4.35–8.69	0.240	
	3 %	16	7.94 \pm 0.98	6.88–9.91	7.37 \pm 0.48	6.78–8.28	<0.05	
Xylene	0 %	16	6.35 \pm 3.67	1.64–12.87	3.67 \pm 2.68	0.00–8.89	<0.05	
	1.5 %	16	5.79 \pm 3.93	1.38–13.10	3.98 \pm 2.53	0.00–9.21	0.131	
	3 %	16	7.29 \pm 4.68	0.79–15.86	3.65 \pm 2.84	0.00–8.63	<0.05	

†paired t-test

벤젠은 신축학교와 일반학교 두 학교 모두에서 식물적용 후에 농도가 감소하였으며, 식물적용 전·후 농도가 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<0.001$).

톨루엔의 경우에는 신축학교에서 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 가장 높게 감소하였다. 일반학교에서도 같은 결과를 보였으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p<0.001$).

에틸벤젠은 신축학교와 일반학교의 식물 식재량의 차이 없이 모두 농도가 감소하였으나, 신축학교와 일반학교의 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서만 통계적으로 유의하게 감소하였다($p<0.05$).

자일렌은 두 학교 모든 학급에서 농도가 감소하였으며, 신축학교와 일반학교의 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반과 식물 미적용 학급에서 통계적으로 유의하게 감소하였다.

신축학교와 일반학교 모두 식물 적용 학급과 식물 미적용 학급에서 식물적용 전에 비해 식물적용 후에 휘발성유기화합물류 농도가 감소하였으나, 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서만 조사 물질 모든 농도가 통계적으로 유의하게 감소하였다.

알데히드의 경우 신축학교와 일반학교 교실에서 발생하는 알데히드류 중 폼알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤+아크롤레인을 측정하였다. 교실에 식물을 적용하여 식물적용 전·후 알데히드류 농도 변화를 관찰하고, 식물적용 학급과 식물미적용 학급의 농도를 비교하였다.

일반학교에서 아세트알데하이드의 농도를 제외하고 식물적용 전에 비해 식물적용 후에 알데히드류 농도가 감소하였다. 일반학교의 식물 미적용 반에서 아세톤 및 아크롤레인의 경우는 농도가 오히려 증가하였다.

신축학교의 모든 학급을 대상으로 알데히드류 모든 물질의 농도가 감소하였으며, 폼알데하이드의 경우에는 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 큰 감소폭을 보였다.

신축학교와 일반학교의 식물적용 전, 후 농도는 다음과 같다.

Table 38. Aldehydes concentration in classrooms of newly built school

Aldehydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indoor plants	N	Before putting plants		After putting plants		p-value †
			Mean \pm S.D	Range	Mean \pm S.D	Range	
Formaldehyde	0 %	16	39.81 \pm 14.29	21.01–66.38	21.56 \pm 5.24	11.61–28.98	<0.001
	1.5 %	16	41.01 \pm 13.13	20.15–58.29	21.64 \pm 7.28	12.40–33.92	<0.001
	3 %	16	46.37 \pm 9.73	28.54–60.20	16.37 \pm 6.23	10.35–29.52	<0.001
Acetaldehyde	0 %	16	7.23 \pm 1.65	4.90–10.05	4.47 \pm 0.91	2.80–5.73	<0.001
	1.5 %	16	6.91 \pm 1.73	5.02–10.29	5.62 \pm 1.32	3.82–7.63	<0.05
	3 %	16	5.73 \pm 0.97	3.00–7.50	5.02 \pm 0.92	3.43–6.66	<0.05
Aceton +	0 %	16	16.32 \pm 8.54	6.49–31.93	5.25 \pm 2.15	2.65–10.47	<0.001
	1.5 %	16	13.91 \pm 4.62	0.00–21.06	9.79 \pm 6.94	4.11–33.38	0.057
Acrolein	3 %	16	14.93 \pm 6.32	0.00–24.60	6.71 \pm 1.60	4.80–9.84	<0.001

†paired t-test

Table 39. Aldehydes concentration in classrooms of the school older than 5 years

Aldehydes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Indoor plants	N	Before putting plants		After putting plants		p-value †	
			1st (March)		2nd (May)			
			Mean \pm S.D	Range	Mean \pm S.D	Range		
Formaldehyde	0 %	16	33.13 \pm 9.52	20.64–48.83	27.74 \pm 10.58	12.52–58.04	0.140	
	1.5 %	16	28.48 \pm 8.22	13.56–43.17	21.65 \pm 7.03	8.22–30.01	<0.05	
	3 %	16	38.54 \pm 10.54	17.43–58.03	24.25 \pm 5.60	14.52–31.55	<0.001	
Acetaldehyde	0 %	16	7.23 \pm 1.72	5.09–10.82	6.46 \pm 1.94	4.80–12.96	0.246	
	1.5 %	16	7.02 \pm 1.51	5.28–10.93	5.71 \pm 1.66	2.59–10.22	<0.05	
	3 %	16	5.10 \pm 0.91	3.02–6.56	5.57 \pm 0.48	4.81–6.51	0.077	
Aceton	0 %	16	9.51 \pm 3.88	3.96–16.46	10.80 \pm 3.32	6.43–19.05	0.321	
	+ 1.5 %	16	9.39 \pm 4.63	3.24–22.14	8.64 \pm 3.95	0.00–15.07	0.628	
Acrolein	3 %	16	13.56 \pm 9.80	0.00–31.52	8.42 \pm 3.06	4.56–14.71	0.061	

†paired t-test

폼알데하이드는 두 학교의 모든 교실에서 식물적용 전에 비해 식물적용 후의 농도가 감소하였으나, 일반 학교에서 식물 미적용 반에서는 통계적으로 유의하지 않았다. 또한, 신축학교와 일반학교의 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 가장 높은 감소율을 보였으며, 통계적으로 유의하게 나타났다($p<0.001$).

아세트알데히드는 일반학교에서 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에서만 통계적으로 유의하게 감소하였다($p<0.05$).

아세톤+아크릴레인은 일반학교의 식물 미적용반에서 농도가 감소하였으며, 신축학교에서는 식물 미적용반에서 농도 감소율이 가장 높았다. 또한, 신축학교의 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 통계적으로 유의하게 감소하였다.

2차년도 신축건물 오피스에서 휘발성유기화합물류 중 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌을 측정하였다. 오피스에 식물을 투입하여 약 3개월 간 적응기간을 둔 후 휘발성유기화합물류의 농도 변화를 확인하였다. 식물을 투입하지 않은 오피스를 대조군으로 농도를 비교하였다.

휘발성유기화합물류를 분석한 결과, 식물적용군과 식물미적용군 모두에서 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌 농도가 식물적용 전에 비해 식물적용 후의 농도가 감소하였다. 이는 시간 경과에 따른 자연저감으로 보이나, 특히 식물적용학급의 경우, 벤젠 농도가 식물적용 전에는 $17.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 식물적용 후에는 $6.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 톨루엔을 제외한 세 가지 물질에서 통계적으로 유의하게 농도가 감소하였다.

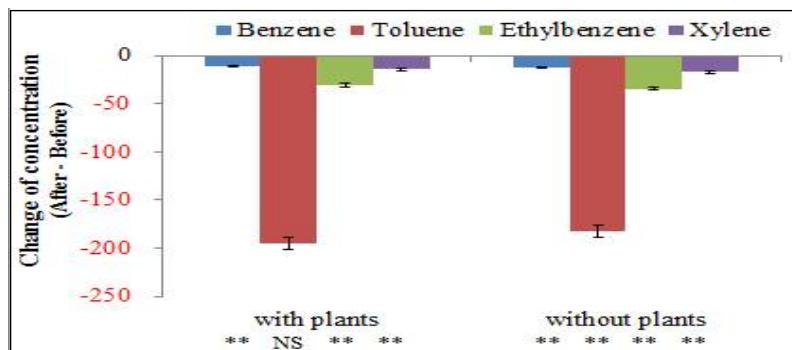
식물적용 전, 후의 휘발성유기화합물류 농도는 다음과 같다.

Table 40. Changes of concentrations of BTEX in newly built school according to indoor plants.

Indoor plant	Measurement time	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene
		Mean±S.D (Min~Max) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
With (n=32)	April (1st)	17.16±3.14 (12.37~22.21)	313.00±95.87 (171.36~450.87)	44.77±24.91 (14.13~76.55)	25.62±12.78 (9.79~42.18)
	July (2nd)	6.16±2.25 (0.00~9.36)	118.25±32.92 (13.10~173.26)	13.93±3.54 (3.02~18.89)	11.01±2.73 (2.32~14.70)
Without (n=31)	P value ^z	**	NS	**	**
	April (1st)	19.78±5.53 (15.44~36.69)	357.09±60.49 (286.14~452.31)	51.21±22.62 (21.13~79.69)	28.72±10.85 (14.08~42.71)
	July (2nd)	7.24±3.13 (0.00~12.74)	174.63±287.27 (0.00~1314.14)	16.81±4.35 (0.95~21.09)	11.59±2.88 (1.51~15.17)
	P value ^z	**	**	**	**

p-value : Independent Sample T-test

zNS : non-significance, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01



NS : Non-significant, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01

Vertical bars represent $\pm\text{SE}$ of the means

Figure 224. Changes of concentrations of VOCs according to indoor plant placement.

또한 2차년도 신축 오피스에서 발생하는 알데히드류 중 품알데하이드, 아세트알데하이드, 아세톤+아크롤레인을 측정하였다. 사무실에 식물을 적용하여 식물적용 전·후 알데히드류 농도 변화를 관찰하고, 식물적용군과 식물미적용군의 농도를 비교하였다.

아세트알데하이드를 제외하고 식물적용군 및 식물미적용군에서 두 가지 물질 모두 농도가 감소하였다. 아세트알데하이드는 오히려 식물 적용 후의 시기에 농도가 증가하였다.

식물적용군에서 품알데하이드 농도가 식물적용 전에는 $66.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 식물적용 후에는 $39.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 이는 통계적으로 유의하였다. 식물을 적용한 사무실에서는 세 가지 물질에 대하여 모두 통계적으로 유의한 결과가 나타났다.

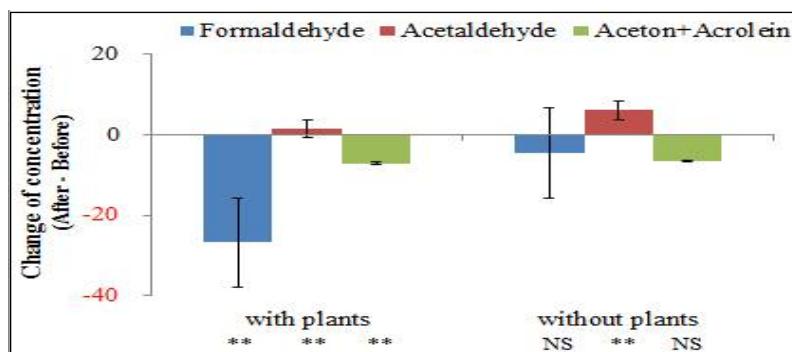
신축오피스의 식물적용 전, 후 농도는 다음과 같다.

Table 41. Changes of concentrations of Aldehydes in newly built school according to indoor plants.

Indoor plant	Measurement time	Formaldehyde	Acetaldehyde	Aceton+Acrolein
		Mean±S.D (Min~Max) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
With (n=35)	April (1st)	66.30±9.50 (51.73~85.13)	8.13±1.49 (5.15~10.23)	44.09±6.72 (32.35~62.19)
	July (2nd)	39.52±4.33 (30.33~48.45)	9.61±1.65 (6.92~11.98)	36.90±5.70 (28.15~46.93)
Without (n=34)	P value ^z	**	**	**
	April (1st)	48.23±11.81 (26.86~63.09)	7.19±2.63 (3.06~10.05)	48.31±15.52 (29.77~90.82)
	July (2nd)	43.71±5.95 (33.79~56.58)	13.24±1.37 (9.93~15.11)	41.77±5.56 (29.93~51.63)
	P value ^z	NS	**	NS

p-value : Independent Sample T-test

zNS : non-significance, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01



NS : Non-significant, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01

Vertical bars represent $\pm\text{SE}$ of the means

Figure 225. Changes of concentrations of Aldehydes according to indoor plant placement.

3차년도 알레르기 비결막염 환자군의 생활공간의 경우 VOCs의 경우 큰차이를 보이지 않았으나, Aldehydes의 물질이 모두 식물적용 전 보다 식물적용 후에 농도가 감소하는 현상을 보였다.

어린이집에서 측정한 VOCs물질 및 Aldehydes물질의 경우, 식물이 적용된 case군과 control군에서 모든 물질의 농도가 감소하는 것으로 조사되었지만, control군의 경우 통계적 유의성은 없었다. 벤젠을 제외한 모든 물질에서 통계적으로 유의한 감소가 나타났으며, 농도감소율을 알아본 결과로는 벤젠 9%, 에틸벤젠 75%, 자일렌 72%, 스티렌 75%, 품알데하이드 50%, 아세트알데하이드 36%, 아크릴린+아세톤 35%이며, 톨루엔의 경우 약 85%가 줄어드는 것으로 조사되었다. 이는 공간내 식물이 VOCs 물질의 감소에 도움이 된다고 판단할 수 있다고 사료된다.

Table 42. Change of Vocs concentration in living space according to indoor plants

	Home		Classroom	
	Before	After	Before	After
Benzene	7.9 ± 3.1	7.6 ± 2.7	6.1 ± 1.1	6.2 ± 1.4
Toluene	71.5 ± 60.8	66.4 ± 34.6	91.8 ± 32.0	65.4 ± 19.1
Ethylbenzene	10.2 ± 9.6	7.4 ± 5.1	14.5 ± 5.0	15.6 ± 3.3
Xylene	12.7 ± 7.9	9.1 ± 5.9	39.5 ± 18.6	38.8 ± 4.9
Reading room		Library		
	Before	After	Before	After
Benzene	8.9 ± 2.2	9.7 ± 3.8	8.8 ± 0.9	8.8 ± 1.8
Toluene	132.1 ± 26.7	112.4 ± 39.1	198.6 ± 22.2	165.7 ± 40.1
Ethylbenzene	11.8 ± 5.0	10.8 ± 3.7	121.5 ± 8.3	99.9 ± 15.4
Xylene	15.6 ± 4.7	9.4 ± 1.0	88.6 ± 4.2	77.3 ± 9.0

Table 43. Change of Aldehydes concentration in living space according to indoor plants

	Home		Classroom	
	Before	After	Before	After
Formaldehyde	35.9 ± 15.8	21.5 ± 13.8	12.1 ± 6.9	11.9 ± 2.2
Acetaldehyde	17.4 ± 8.8	15.1 ± 16.6	5.6 ± 3.7	5.5 ± 2.1
Acrolein +Acetone	247.8 ± 488.9	56.5 ± 60.5	132.5 ± 159.0	19.8 ± 16.9
Reading room		Library		
	Before	After	Before	After
Formaldehyde	40.4 ± 10.3	34.7 ± 6.6	25.6 ± 15.2	19.1 ± 5.6
Acetaldehyde	10.7 ± 7.4	12.4 ± 3.4	5.9 ± 4.4	4.6 ± 3.4
Acrolein +Acetone	183.1 ± 245.0	64.7 ± 72.4	110.3 ± 146.8	57.6 ± 88.6

2.2) 임상 증상 및 설문 결과

2.2.1) 새건물증후군(Sick Building Syndrome, SBS) 증상 평가

1차년도의 새건물증후군 증상 설문은 시기별로 식물적용 전(3월), 식물 적용 기간 동안, 식물 적용 후(5월)로 구분하였다.

신축학교의 경우 식물미적용 반에서 식물 적용 기간 동안 점수가 증가하였다가 식물 적용 후(5월)에 점수가 감소한 반면, 공간대비 1.5 % 식물을 적용한 반과 공간대비 3 % 식물을 적용한 반은 식물적용 전부터 식물 적용 기간 동안 그리고 식물 적용 후까지 점수가 점차 감소하였다. 또한, 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 감소율이 가장 높게 나타났다.

일반학교의 경우 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서만 식물적용 전부터 식물 적용 후까지 점수가 점차 감소하였으며, 감소율 또한 높게 나타났다.

Table 44. Symptom evaluation of sick building syndrome(SBS) as a total score in newly built school and over 5 years of school according to indoor plants

School	Indoor plants	N	Measurement time			p-value †	
			Before putting plants		After putting plants		
			1st (March)	during putting plants			
Newly built school	0 %	27	4.7±4.7 (0-17)	5.8±6.2 (0-22)	3.1±4.4 (0-17)	0.122	
	1.5 %	27	5.1±5.9 (0-19)	3.7±4.6 (0-21)	3.0±4.5 (0-18)	0.428	
	3 %	26	7.2±6.9 (0-24)	5.8±5.3 (0-17)	4.7±5.1 (0-16)	0.342	
The school older than 5 years	0 %	24	5.1±7.4 (0-33)	6.5±6.0 (0-18)	4.3±5.6 (0-19)	0.368	
	1.5 %	23	4.4±4.5 (0-14)	6.7±7.7 (0-28)	5.0±6.0 (0-23)	0.769	
	3 %	24	5.1±7.4 (0-33)	5.0±4.4 (0-17)	3.4±3.9 (0-15)	0.356	

†Kruskal wallis test

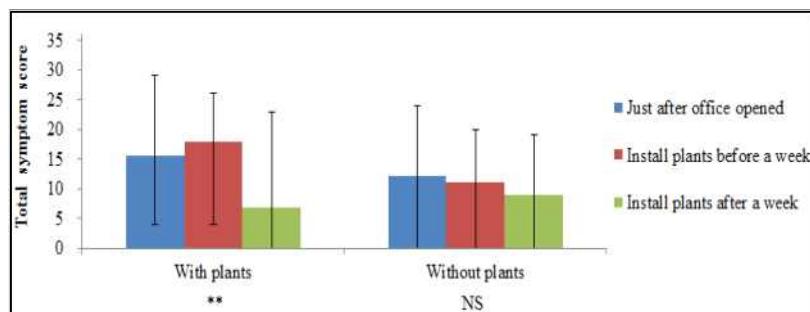
2차년도의 새건물증후군 증상 설문은 시기별로 연구대상 신축건물 입주 직후, 식물적용 일주일 전, 식물적용 일주일 후로 나누어 평가하였다. 검사 결과, 식물적용군에서는 식물적용 일주일 전 > 입주 직후 > 식물적용 일주일 후의 순으로 식물을 적용하였을 때, 새건물증후군 증상점수가 확연히 낮아졌다. 반면, 식물미적용군에서는 입주 직후 증상점수가 가장 높았으며 식물적용 일주일 전에 비해 식물적용 일주일 후 시기에 증상 점수가 소폭 감소하였다. 설문시기에 따른 증상점수의 평균 차이는 식물적용군에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

Table 45. Symptom evaluation of sick building syndrome (SBS) as a total score in newly built school according to indoor plants.

Indoor plant	n (Sample)	Measurement time	Total symptom score
With	13	Just after office opened	15.54 ± 7.77 (4.00~29.00)
	7	Install plants before a week	17.86 ± 8.15 (4.00~26.00)
	6	Install plants after a week	6.83 ± 8.28 (0.00~23.00)
		P valuez	*
Without	13	Just after office opened	12.15 ± 7.69 (0.00~24.00)
	6	Install plants before a week	11.17 ± 6.91 (0.00~20.00)
	7	Install plants after a week	8.86 ± 7.52 (0.00~19.00)
		P valuez	NS

p-value : One-way ANOVA

zNS : non-significance, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01



NS : Non-significant, *significance at P=0.05, **significance at P=0.01

Vertical bars represent \pm SE of the means

Figure 226. Symptom evaluation of sick building syndrome(SBS) as a total score according to indoor plant placement.

2.2.2) 알레르기성 비결막염 건강 조사결과

1차년도 신축학교와 일반학교 연구대상자들을 대상으로 알레르기비염 증상 · 알레르기비염 콧물 · 알레르기비염 재채기 · 알레르기비염 코막힘 · 알레르기비염 코가려움 · 알레르기비염 눈증상 VAS 점수를 조사하였다.

신축학교의 경우, 공간대비 3 %의 식물이 적용된 반에서 연구대상 중 민감군에서만 모든 항목에 해당되는 VAS 점수가 감소하였다. 반면, 식물 미적용반이나 공간대비 1.5 %의 식물이 적용된 반에서는 몇 항목을 제외하고 연구대상자들의 VAS 점수가 변동이 없거나 증가하였다. 알레르기 콧물 VAS 점수와 알레르기 코가려움 VAS 점수의 경우 신축학교의 3 %의 식물이 적용된 반에서 민감군에 해당되는 연구대상자들의 VAS 점수가 1.5점의 감소를 보였으며 가장 높은 감소율을 보였고, 신축학교의 경우에는 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반의 민감군

대상자들에게 모든 증상들의 VAS 점수가 감소되었다.

일반학교의 경우, 공간대비 3 %의 식물이 적용된 반의 민감군과 대조군 모두 알레르기비염 증상 VAS 점수가 감소하였다. 또한, 알레르기비염 재채기 VAS 점수의 경우, 공간대비 1.5 %의 식물이 적용된 반의 민감군과 공간대비 3 %의 식물이 적용된 반의 대조군에서 점수가 감소하였다. 또한, 알레르기비염 코막힘 VAS점수와 알레르기비염 코가려움 VAS 점수는 공간대비 1.5 %의 식물이 적용된 반의 민감군에서 감소하였다.

신축학교와 일반학교를 비교한 각 항목의 VAS 점수의 경우, 신축학교의 공간대비 3 %의 식물이 적용된 반에서의 민감군 연구대상자의 점수가 모든 항목에서 감소하였다.

2차년도 알레르기성 비결막염 증상설문 및 진단에서 증상설문에 1회 이상 응답한 전체 대상군은 총 14명의 성인으로 신축건물 연구사무실 2개소 재실자(총 14명, 1차 13명, 2차 12명)였다. 이들 중, 출장 등 업무관계로 1회만 응답한 3명을 제외하고 총 11명(실험군 5명, 대조군 6명)이 실내식물도입 전후에 시행한 설문조사 2회차에 모두 응답하였다. 이들을 대상으로 식물도입 전후 3개월 간격으로 시행한 1, 2차 설문조사 결과에 대한 분석을 시행하였다. Table 7에 본 연구에 참여한 대상군의 특징을 정리하였다. 식물도입군의 기혼자 비율이 대조군보다 높았으나 다른 특성은 두 군 간에 유의한 차이가 없었다.

3차년도의 경우 신축건물 강의실을 이용하는 대학생들과 신축건물 어린이집의 어린이(민감군)을 대상으로 연구를 진행하였다.

대학생의 경우 증상설문에 1회 이상 응답한 전체 대상군은 총 86명의 성인 대학생으로 인천광역시 서구 소재 가톨릭관동대학교 국제성모병원 신축건물 강의실 2개소 재실자(총 87명, 1차 86명(식물도입군 56명, 대조군 30명), 2차 77명(식물도입군 55명, 대조군 22명))였다. 아울러, 가톨릭관동대학교 국제성모병원 내과에 내원하여 알레르기비염 또는 비결막염으로 진단된 환자들 중 의과대학 재학생 자원자 총 11명을 대상군으로 확보하여, 전술한 바와 같이 주거지와 주요 활동지역에 식물을 도입하기 전과 식물도입 3개월 및 9개월 경과 후 등 총 3차에 걸친 설문조사(1차: 2015년 11월 7일~23일, 2차: 2016년 2월 22일~3월 3일, 3차: 2016년 9월 20일)를 시행하였다. 이들 중, 3명은 주거지 이전 등 개인사정으로 설문조사에 1~2회 차씩만 응답하고 연구에서 탈락하였다.

최근 신축된 경기도 고양시 소재 시립어린이집 2개소를 대상으로 보호자의 설명동의를 받은 어린이들을 대상군으로 확보하였으며, 2016년 8월 중순부터 10월 하순까지 약 2개월간 주요 활동 공간인 교실에 실내식물을 도입하여 알레르기 비결막염에 대한 실내식물 균형부 정화효과에 대한 영향을 분석하고 평가하기 위하여 알레르기성 비결막염 증상에 대한 설문조사(아동용으로 보호자와 함께 작성)를 시행하였다(1차 34명 대상 설문조사: 식물도입군 15명/대조군 19명, 2차 24명 대상 설문조사: 식물도입군 10명/대조군 14명). 하지만, 식물도입기간이 짧고 대상군 어린이 대상 설문조사로 보호자들의 설문응답 및 협조가 불충분한 관계로 대상군별 설문조사 응답률의 편차가 있었으며(큰솔 1차 식물도입군 7명/대조군 5명, 큰솔 2차 식물도입군 10명/대조군 5명; 삼송 1차 식물도입군 8명/대조군 14명, 삼송 2차 식물도입군 0명/대조군 9명 등이 설문응답), 응답이 충실하지 않은 설문응답이 상당수 발생하여, 부득이 주로 실내식물도입 전후에 시행한 설문조사 2회차에 모두 응답한 대상군 위주로 2개 기관에서 회수된 설문자료들을 종합하여 분석하였다.

위에 기술한 대상군별 특성비교에서 식물도입군과 대조군 간에 유의한 차이가 나타나는 항목은 별로 없었다. 다만, 의과대학 강의실내 식물도입연구 대조군에서 출생순서가 식물도입군에 비해 늦었던 것으로 나타났으며, 어린이집 대상군 중에서는 대조군에 남자가 더 많았고 키도 더 컸다. Table 1-1,2,3에 본 일련의 연구과정에 참여한 대상군의 특징을 정리하였다.

Table 46. Baseline characteristics of the college student subject groups with Plant-Introduction to the College Lecture Rooms.

Character	Total (n=87)	Plant-introduced group (n=56)	Control group (n=31)	p-value (between plant and control)
Number (1st, 2nd responder)	86(1st), 77(2nd)	56(1st), 55(2nd)	30(1st), 22(2nd)	
Sex, M/F (male%)	63/24 (72.4%)	40/16 (71.4%)	23/8 (74.2%)	p=0.782
Age, years	23.7±2.8	23.9±3.4	23.2±1.1	p=0.247
Height, cm	171.8±7.6	171.7±7.65	172.1±7.6	p=0.803
Weight, kg, n=13	64.6±11.9	64.2±12.5	65.2±10.8	p=0.712
Birth order	1.5±0.6	1.5±0.7	1.7±0.5	p<0.001***
Family history (%) (atopic diseases)	36/87 (41.4%)	26/56 (46.4%)	10/31 (32.3%)	p=0.594
- allergic rhinitis	32.2% (28/87)	32.1% (18/56)	32.3% (10/31)	-
- allergic conjunctivitis	0.0%	1.8% (1/56)	0.0%	-
- asthma	3.4% (3/87)	3.6% (2/56)	3.2% (1/31)	-
- atopic dermatitis	9.2% (8/87)	8.9% (5/56)	9.7% (3/31)	-
Smoking exposure (%)	39.1% (34/87)	41.1% (23/56)	35.5% (11/31)	p=0.609
Pet (animal, %)	11.5% (10/87)	14.3% (8/56)	6.5% (2/31)	p=0.273
Housing Form (%) (APT/attached/detached/other)	56.3%/18.4%/13.8% /11.5%	53.6%/19.6%/14.3% /12.5%	61.3%/16.1%/12.9% /9.7%	p=0.917
Past history (%) (atopic diseases)	41.4% (36/87)	46.4% (26/56)	32.3% (10/31)	p=0.199
- allergic rhinitis	35.6% (31/87)	37.5% (21/56)	32.3% (10/31)	-
- allergic conjunctivitis	4.6% (4/87)	3.6% (2/56)	6.5% (2/31)	-
- asthma	1.1% (1/87)	0.0% (0/56)	3.2% (1/31)	-
- atopic dermatitis	10.3% (9/87)	12.5% (7/56)	6.5% (2/31)	-

mean ± standard deviation, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, APT: apartment house, -: uncalculable

Table 47. Baseline characteristics of the allergic rhinitis subject groups with Plant-Introduction to the College & Home Spaces.

Character	Total
Number (n=)	11
Sex, M/F (male%)	9/2 (81.8%)
Age, years	23.0 (21~26)
Height, cm	172.0 (157~187)
Weight, kg	66.0 (48~80)
Birth order	2.0 (1~2)
Family history (%), atopic diseases	81.8 (9/11)
- allergic rhinitis	63.6% (7/11)
- allergic conjunctivitis	0.0% (0/11)
- asthma	9.1% (1/11)
- atopic dermatitis	18.2% (2/11)
Smoking exposure (%)	9.1 (1/11)
Pet (animal, %)	18.2 (2/11)
Housing Form (%) (APT/attached/detached/other)	54.5/18.2/27.3
Past history (%), atopic diseases	100.0 (11/11)
- allergic rhinitis	100.0% (11/11)
- allergic conjunctivitis	18.2% (2/11)
- asthma	9.1% (1/11)
- atopic dermatitis	18.2% (2/11)

median (range), APT: apartment house, -: uncalculable

Table 48 Baseline characteristics of the early childhood subject groups with Plant-Introduction to the Classrooms of Child Care Centers

Character	Total (n=41)	Plant-introduced group (n=20)	Control group (n=21)	p-value (between plant and control)
Number (n=)	41	20	21	
Sex, M/F (male%)	17/41 (41.5%)	5/20 (25.0%)	12/21 (57.1%)	p=0.037*
Age, years	5.29±0.60	5.05±0.60	5.52±0.51	p=0.492
Height, cm	114.83±6.43	110.90±4.38	118.11±6.09	p<0.001***
Weight, kg, n=13	20.97±3.42	19.35±2.22	22.37±3.69	p=0.223
Birth order	1.43±0.50	1.50±0.53	1.40±0.50	p=0.644
Family history (%) (atopic diseases)	50.0% (11/22)	62.5% (5/8)	42.9% (6/14)	p=0.375
- allergic rhinitis	45.5% (10/22)	50.0% (4/8)	42.9% (6/14)	-
- allergic conjunctivitis	-	-	-	-
- asthma	-	-	-	-
- atopic dermatitis	-	-	-	-
Smoking exposure (%)	8/22 (36.4%)	1/8 (12.5%)	7/14(50.0%)	p=0.079
Pet (animal, %)	2/22 (9.1%)	0/8 (0.0%)	2/14 (14.3%)	p=0.262
Housing Form (%) (APT/attached/detached /other)	95.5%/0.0%/4.5%/0 .0%	100.0%/0.0%/0.0%/ 0.0%	92.9%/0.0%/7.1%/ 0.0%	p=0.439
Past history (%) (atopic diseases)	31.8% (7/22)	37.5% (3/8)	28.6% (4/14)	p=0.665
- allergic rhinitis	18.2% (4/22)	25.0% (2/8)	14.3% (2/14)	-
- allergic conjunctivitis	-	-	-	-
- asthma	-	-	-	-
- atopic dermatitis	4.5% (1/22)	12.5% (1/8)	0.0% (0/14)	-

mean ± standard deviation, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, APT: apartment house, -: uncalculable

식물도입여부가 알레르기 비결막염 증상, 중증도 등에 미치는 영향을 분석하고자, 전체 대상군에서 알레르기 비결막염 의심군을 선별하여 비교분석하였다. 알레르기 비결막염군은 알레르기 비결막염 설문에 ARIA 지침의 콧물, 코막힘, 재채기, 코간지러움 및 안구증상 등 주요 증상 중 2가지 이상을 표시하거나 과거 알레르기 비염 진단을 받은 적이 있는 군으로 선정하고 식물도입 여부에 따라 식물도입군과 대조군으로 분류하여 비교 분석하였다.

식물도입 전후 시행한 알레르기비결막염 증상설문(ARIA 국제지침 기반)을 분석한 결과, 대학 강의실에만 2개월 간 식물을 도입한 경우, 알레르기 비결막염 의심군의 각종 증상지표가 식물도입 전후에 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 콧물증상 VAS 척도의 경우 식물도입군에서 기저 증상보다 호전되는 경향을 보였다($p=0.061$). 이러한 결과는 식물도입기간이 2개월로 짧았고 알레르기 비결막염 의심군 선별과정에서 식물도입군의 크기가 감소한 것을 감안하여 해석 할 필요가 있겠다.

Table 49 Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant-Introduction to the College Lecture Room among the allergic rhinitis subjects.

Questionnaire	Surveya	Subjects with probable allergic rhinitis (n=44, M/F=30/14)				P value (intergroupb)
		Control n=15, M/F=11/4	intersurvey (p-value)c	Plant n=29, M/F=19/10	intersurve y (p-value)c	
Visual Analogue Scale (VAS) Score for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms						
Total		2.45 (0.0,8.0), n=14		2.00 (0.0,9.0), n=28	0.9317, n=27	0.9245
	1st		0.2367, n=10	2.10 (0.0,9.0), n=28		
	2nd	3.50 (0.0,7.8), n=11				0.7659
Rhinorrhea VAS	1st	0.0 (0.0,6.6), n=14	0.9326,	2.0 (0.0,9.5), n=28	0.0614, n=28	0.1190
	2nd	0.7 (0.0, 3.6), n=11	n=10	0.1 (0.0,8.0), n=28		0.8848
Sneezing VAS	1st	0.9 (0.0,8.8), n=14	0.2626,	3.0 (0.0, 10.0), n=29	0.1779, n=28	0.4708
	2nd	0.6 (0.0,3.8), n=11	n=10	1.1 (0.0,7.0), n=28		0.5265
Nasal stuffiness VAS	1st	1.3 (0.0,8.8), n=14	0.3081,	2.4 (0.0,6.3), n=29	0.7064, n=28	0.1405
	2nd	0.9 (0.0,7.0), n=11	n=10	3.75 (0.0,9.6), n=28		0.2526
Itching sensation VAS (nose)	1st	2.25 (0.0,6.8), n=14	0.8886,	3.0 (0.0,10.0), n=29	0.3924, n=28	0.2915
	2nd	0.7 (0.0,6.3), n=11	n=10	0.7 (0.0,7.8), n=28		0.6784
Itching sensation VAS (eyes)	1st	3.0 (0.0,7.7), n=14	0.6002,	0.0 (0.0,10.0), n=29	0.3838, n=28	0.8674
	2nd	0.0 (0.0,6.3), n=11	n=10	0.3 (0.0,9.0), n=28		0.3424

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: $p>0.05$), *(significance at $p<0.05$), **(significance at $p<0.01$), ***(significance at $p<0.001$)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intersurvey : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

한편, 주요활동 공간(대학 학습공간 및 주거공간)에 식물을 도입한 알레르기비염 환자군에서, 식물도입 3개월 경과시점에는 도입 전에 비하여 알레르기비염 중증도가 감소하였다가, 9개월 시점에는 다시 증가하여(각각 $p<0.05$) 도입전과 별다른 차이가 없게 되었다. 한편, 이들 환자군에서 증상 VAS 항목 중 재채기의 경우 식물도입 3개월 경과시점에서 감소하였으나($p<0.05$), 코막힘 VAS 항목의 경우 식물도입 3개월 시점까지는 도입전과 차이가 없다가 9개월 시점에서 증가하는 양상을 보였으나 3가지 시점에서의 반복측정에 대한 비모수검정분석 결과에서는 그 차이가 유의하지 않았다($p>0.05$).. 하지만 이러한 결과들은 대상

환자군 크기가 작고 일부 대상군이 감기에 걸렸던 점과 식물도입전과 9개월째 조사시점이 가을철에 해당하고, 3개월째 조사시점이 봄철에 해당하는 등 계절적 요인, 의사국가고시 실기시험 등 학사일정 등 환경과 학업스트레스의 복합적인 영향도 고려하여 해석해야 하겠다.

Table 50 Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant-Introduction to the College & Home Spaces among the allergic rhinitis subjects.

Questionnaire	Surveya	Subjects with allergic rhinitis (n=11, M/F=9/2)			p-value (repeated measure sb)
		Baseline (n=11, M/F=9/2)	3 month-Plant Introduction (n=9, M/F=7/2)	9 month-Plant Introduction (n=8, M/F=6/2)	
Visual Analogue Scale (VAS) Score & Severity for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms					
Total	1st, 2nd, 3rd	6.8 (1.8,3.7) vs. 4.9 (0.9,8.0)	5.05 (0.9,8.0) vs. 6.0 (0.5,7.7)	6.0 (0.5,7.7) vs. 6.65 (1.3,8.7)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
Rhinorrhea VAS	1st, 2nd, 3rd	2.0 (0.8,7) vs. 4.9 (0.9,8.0)	0.3 (0.2,0) vs. 1.65 (0.6,7)	1.65 (0.6,7) vs. 1.3 (0.8,7)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
Sneezing VAS	1st, 2nd, 3rd	3.5 (0.6,9) vs. 0.5 (0.2,0)	0.65 (0.6,9) vs. 3.5 (0.8,6)	3.5 (0.8,6) vs. 3.25 (0.6,9)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = 0.018*	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = 0.091	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
Nasal stuffiness VAS	1st, 2nd, 3rd	5.0 (0.9,5) vs. 1.5 (0.9,6)	1.9 (0.9,6) vs. 5.05 (0.9,2)	5.05 (0.9,2) vs. 4.0 (0.9,5)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = 0.046	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
Itching sensation VAS (nose)	1st, 2nd, 3rd	4.4 (0.8,4) vs. 0.5 (0.7,0)	0.25 (0.7,0) vs. 1.9 (0.4,8)	1.9 (0.4,8) vs. 3.2 (0.8,4)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
Itching sensation VAS (eyes)	1st, 2nd, 3rd	0.3 (0.7,7) vs. 2.0 (0.8,0)	1.7 (0.4,0) vs. 1.85 (0.6,7)	1.85 (0.6,7) vs. 3.2 (0.8,4)	NS
		1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	3rd vs. 1st intersurvey p-valuec = NS	
ARIA disease Severity	1st, 2nd, 3rd	3 (3,4) vs 1 (1,4) p-valuec = 0.046*	1 (1,4) vs. 3 (3,4) p-valuec = 0.028	3 (3,4) vs 3 (3,4) p-valuec = NS	0.037*

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: $p>0.05$), * (significance at $p<0.05$), ** (significance at $p<0.01$), *** (significance at $p<0.001$)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3 months & 3rd=at 9 months after the indoor plant placement

b Repeated measure analyses : repeatedly measured survey-analyses by Friedman test

c Intersurvey analyses : intersurvey analyses by Wilcoxon signed ranks test

한편, 어린이집에서 시행한 조사연구 결과, 2개월 내외의 단기 식물도입 후, 대학 강의실에만 2개월 간 식물을 도입했던 경우와 마찬가지로 알레르기 비결막염 의심군의 증상지표 중, 콧물 증상 VAS 척도가 식물도입군에서 기저 증상보다 호전되는 경향을 보였다($p=0.069$). 이러한

콧물증상 감소추세가 식물 실내도입의 단기효과와 관련된 것인지에 대해서 추후 대상군을 확대한 체계적인 심화연구를 고려해볼 수 있겠다.

어린이집 재실 어린이 대상군에 대한 알레르기 비결막염 증상 설문에는 설명동의 및 일정조율 문제로 검사일정이 지연되고 보호자들의 설문조사 관련 협조가 부족하여 실제 불완전한 설문응답 및 무응답이 다수 있었다. 설문조사 응답인원이 충분히 확보되지 않아, 식물도입 전후 알레르기 비결막염군의 증상설문 결과 분석에 통계적 유의성을 부여하기는 어려운 실정이다.

Table 51 Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant-Introduction to the Classrooms of Child Care Centers.

Questionnaire	Survey ^a	Subjects with probable allergic rhinitis (n=22, M/F=9/13)				P value (intergroup ^b)
		Control n=12, M/F=7/5	intersurvey (p-value) ^c	Plant n=10, M/F=2/8	intersurvey (p-value) ^c	
Visual Analogue Scale (VAS) Score for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms						
Total	1st	4.0 (0.0,8.5), n=11	0.9165,	2.5 (0.0,5.0), n=8	0.6574,	0.0470*
	2nd	2.8 (0.0,7.4), n=9	n=8	3.6 (0.0,5.0), n=5	n=3	0.7385
Rhinorrhea VAS	1st	0.0 (0.0,8.0), n=11	0.4631,	0.0 (0.0,3.3), n=8	0.3173,	0.5420
	2nd	1.2 (0.0,7.0), n=9	n=8	0.0 (0.0,0.6), n=5	n=3	0.0686
Sneezing VAS	1st	2.6 (0.0,7.8), n=11	0.6002,	0.3 (0.0,2.0), n=8	0.2850,	0.1322
	2nd	3.0 (0.0,6.2), n=9	n=8	2.2 (0.7,2.2), n=5	n=3	0.1798
Nasal stuffiness VAS	1st	5.0 (0.0,10.0), n=11	0.7794,	0.85 (0.0,6.9), n=8	0.2850, n=3	0.1720
	2nd	5.1 (0.6,8.4), n=9	n=8	4.5 (0.0,7.5), n=5		0.8414
Itching sensation VAS (nose)	1st	0.0 (0.0,3.6), n=11	0.2489,	0.15 (0.0,1.0), n=8	0.1797, n=3	0.4921
	2nd	1.5 (0.0,5.1), n=9	n=8	2.6 (0.0,5.7), n=5		0.6396
Itching sensation VAS (eye)	1st	1.0 (0.0,8.0), n=11	0.7150,	0.15 (0.0,1.0), n=8	0.6547, n=3	0.2516
	2nd	2.7 (0.0,9.0), n=9	n=8	1.5 (0.0,3.3), n=5		0.4578

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05)), *(significance at p<0.05), **(significance at p<0.01), ***(significance at p<0.001)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intersurvey : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

Table 52 Baseline characteristics of the college student subject groups with Plant-Introduction to the College Lecture Rooms.

Character	Total (n=87)	Plant-introduced group (n=56)	Control group (n=31)	p-value (between plant and control)
Number (1st, 2nd responder)	86(1st), 77(2nd)	56(1st), 55(2nd)	30(1st), 22(2nd)	
Sex, M/F (male%)	63/24 (72.4%)	40/16 (71.4%)	23/8 (74.2%)	p=0.782
Age, years	23.7±2.8	23.9±3.4	23.2±1.1	p=0.247
Height, cm	171.8±7.6	171.7±7.65	172.1±7.6	p=0.803
Weight, kg, n=13	64.6±11.9	64.2±12.5	65.2±10.8	p=0.712
Birth order	1.5±0.6	1.5±0.7	1.7±0.5	p<0.001***
Family history (%) (atopic diseases)	36/87 (41.4%)	26/56 (46.4%)	10/31 (32.3%)	p=0.594
- allergic rhinitis	32.2% (28/87)	32.1% (18/56)	32.3% (10/31)	-
- allergic conjunctivitis	0.0%	1.8% (1/56)	0.0%	-
- asthma	3.4% (3/87)	3.6% (2/56)	3.2% (1/31)	-
- atopic dermatitis	9.2% (8/87)	8.9% (5/56)	9.7% (3/31)	-
Smoking exposure (%)	39.1% (34/87)	41.1% (23/56)	35.5% (11/31)	p=0.609
Pet (animal, %)	11.5% (10/87)	14.3% (8/56)	6.5% (2/31)	p=0.273
Housing Form (%) (APT/attached/detached/ other)	56.3%/18.4%/13.8% /11.5%	53.6%/19.6%/14.3% /12.5%	61.3%/16.1%/12.9% /9.7%	p=0.917
Past history (%) (atopic diseases)	41.4% (36/87)	46.4% (26/56)	32.3% (10/31)	p=0.199
- allergic rhinitis	35.6% (31/87)	37.5% (21/56)	32.3% (10/31)	-
- allergic conjunctivitis	4.6% (4/87)	3.6% (2/56)	6.5% (2/31)	-
- asthma	1.1% (1/87)	0.0% (0/56)	3.2% (1/31)	-
- atopic dermatitis	10.3% (9/87)	12.5% (7/56)	6.5% (2/31)	-

mean ± standard deviation, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, APT: apartment house, -: uncalculable

Table 53 Baseline characteristics of the allergic rhinitis subject groups with Plant-Introduction to the College & Home Spaces.

Character	Total
Number (n=)	11
Sex, M/F (male%)	9/2 (81.8%)
Age, years	23.0 (21~26)
Height, cm	172.0 (157~187)
Weight, kg	66.0 (48~80)
Birth order	2.0 (1~2)
Family history (%), atopic diseases	81.8 (9/11)
- allergic rhinitis	63.6% (7/11)
- allergic conjunctivitis	0.0% (0/11)
- asthma	9.1% (1/11)
- atopic dermatitis	18.2% (2/11)
Smoking exposure (%)	9.1 (1/11)
Pet (animal, %)	18.2 (2/11)
Housing Form (%) (APT/attached/detached/other)	54.5/18.2/27.3
Past history (%), atopic diseases	100.0 (11/11)
- allergic rhinitis	100.0% (11/11)
- allergic conjunctivitis	18.2% (2/11)
- asthma	9.1% (1/11)
- atopic dermatitis	18.2% (2/11)

median (range), APT: apartment house, -: uncalculable

Table 54 Baseline characteristics of the early childhood subject groups with Plant-Introduction to the Classrooms of Child Care Centers.

Character	Total (n=41)	Plant-introduced group (n=20)	Control group (n=21)	p-value (between plant and control)
Number (n=)	41	20	21	
Sex, M/F (male%)	17/41 (41.5%)	5/20 (25.0%)	12/21 (57.1%)	p=0.037*
Age, years	5.29±0.60	5.05±0.60	5.52±0.51	p=0.492
Height, cm	114.83±6.43	110.90±4.38	118.11±6.09	p<0.001***
Weight, kg, n=13	20.97±3.42	19.35±2.22	22.37±3.69	p=0.223
Birth order	1.43±0.50	1.50±0.53	1.40±0.50	p=0.644
Family history (%) (atopic diseases)	50.0% (11/22)	62.5% (5/8)	42.9% (6/14)	p=0.375
- allergic rhinitis	45.5% (10/22)	50.0% (4/8)	42.9% (6/14)	-
- allergic conjunctivitis	-	-	-	-
- asthma	-	-	-	-
- atopic dermatitis	-	-	-	-
Smoking exposure (%)	8/22 (36.4%)	1/8 (12.5%)	7/14(50.0%)	p=0.079
Pet (animal, %)	2/22 (9.1%)	0/8 (0.0%)	2/14 (14.3%)	p=0.262
Housing Form (%) (APT/attached/detached/o ther)	95.5%/0.0%/4.5%/0. 0%	100.0%/0.0%/0.0%/0. 0%	92.9%/0.0%/7.1%/0. 0%	p=0.439
Past history (%) (atopic diseases)	31.8% (7/22)	37.5% (3/8)	28.6% (4/14)	p=0.665
- allergic rhinitis	18.2% (4/22)	25.0% (2/8)	14.3% (2/14)	-
- allergic conjunctivitis	-	-	-	-
- asthma	-	-	-	-
- atopic dermatitis	4.5% (1/22)	12.5% (1/8)	0.0% (0/14)	-

mean ± standard deviation, *: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001, APT: apartment house, -: uncalculable

Table 55. Baseline characteristics of the subject groups

Character	Total	Plant-introduced group (n=5)	Control group (n=6)	p-value (between plant and control)
Number (n)	14	5 (S/I=5/7)	6 (S/I=6/7)	
Sex, M/F (male%)	5/9 (35.7)	2/3 (40.0)	3/3 (50.0%)	p=0.740
Age, years	32.5 (23.0~49.0)	44.0 (23.0~49.0)	30.0 (25.0~45.0)	p=0.235
Height, cm	167.0 (155.0~185.0)	168.0 (155.0~175.0)	168.5 (160.0~185.0)	p=0.648
Weight, kg, n=13	56.0 (46.0~85.0)	56.0 (47.0~72.0)	63.5 (46.0~85.0)	p=0.522
Birth order	1.5 (1.0~6.0)	1.0 (1.0~6.0)	2.0 (1.0~4.0)	p=0.402
Marriage (%)	42.9 (6/14)	80.0 (4/5) *	16.7 (1/6) *	p=0.036*
Family history (%) (atopic diseases)	50.0 (7/14)	80.0 (4/5)	33.3 (2/6)	p=0.122
- allergic rhinitis	30.8% (4/14)	40.0% (2/5)	20.0% (1/5), n=5	p=0.490
- allergic conjunctivitis	0.0%	0.0%	0.0%	-
- asthma	7.1% (1/14)	20.0% (1/5)	0.0%	p=0.292
- atopic dermatitis	15.4%(2/13), n=13	20.0% (1/5)	20.0% (1/5), n=5	p=1.000
Smoking exposure (%)	21.4 (3/14)	20.0 (1/4)	33.3 (2/6)	p=0.621
Pet (animal, %)	14.3 (2/14)	0.0 (0/5)	0.0 (0/6)	-
Housing Form (%) (APT/attached/detached)	71.4/14.3/14.3	80.0/0/20.0	50.0/33.3/16.7	p=0.355
Past history (%) (atopic diseases)	35.7 (5/14)	40.0 (2/5)	33.3 (2/6)	p=0.819
- allergic rhinitis	28.6% (4/14)	40.0% (2/5)	16.7% (1/6)	p=0.387
- allergic conjunctivitis	0.0%	0.0%	0.0%	-
- asthma	0.0%	0.0%	0.0%	-
- atopic dermatitis	7.1% (1/14)	0% (0/5)	16.7% (1/6)	p=0.917

Table 56. Change of VAS score in classrooms of newly built school according to indoor plants

Classification	Characteristic	Indoor plants	Change of mean VAS score			p-value†
			Before	After	Before-After	
Allergic rhinitis symptoms	Control	0 %	0.0	0.2	-0.2	
		1.5 %	0.1	0.1	0	0.346
		3 %	0.5	0.2	0.3	
	Sensitive	0 %	0.4	0.4	0	
		1.5 %	0.1	0.5	-0.4	0.868
		3 %	1.1	0.1	1.0	
Watery rhinorrhea	Control	0 %	0.8	0.5	0.3	
		1.5 %	0.5	0.9	-0.4	0.692
		3 %	0.6	0.6	0	
	Sensitive	0 %	1.1	1.0	0.1	
		1.5 %	0.3	1.0	0.2	0.149
		3 %	2.7	1.2	1.5	
Sneezing	Control	0 %	0.1	0.9	-0.8	
		1.5 %	0.2	0.7	-0.5	0.061
		3 %	1.4	1.5	-0.1	
	Sensitive	0 %	1.9	2.5	-0.6	
		1.5 %	2.1	3.0	-0.9	0.838
		3 %	3.0	2.6	0.4	
Nasal stoppling	Control	0 %	1.3	0.9	0.4	
		1.5 %	0.9	0.8	0.1	0.465
		3 %	1.4	1.6	-0.2	
	Sensitive	0 %	2.6	1.9	-0.7	
		1.5 %	3.4	2.8	0.6	0.850
		3 %	3.6	2.2	1.4	
Nasal itching	Control	0 %	0.8	0.5	0.3	
		1.5 %	0.2	0.6	-0.4	0.918
		3 %	0.6	0.9	-0.3	
	Sensitive	0 %	2.3	1.8	0.5	
		1.5 %	1.6	2.6	-1.0	0.643
		3 %	2.4	0.9	1.5	
Eye symptoms	Control	0 %	0.1	0.5	-0.4	
		1.5 %	0.2	0.6	-0.4	0.859
		3 %	0.4	0.2	0.2	
	Sensitive	0 %	0.5	1.1	-0.6	
		1.5 %	1.0	1.8	-0.8	0.936
		3 %	0.9	0.7	0.2	

†Kruskal Wallis test

Table 57. Change of VAS score in classrooms of the school older than 5 years according to indoor plants

Classification	Characteristic	Indoor plants	Change of mean VAS score			p-value †
			Before	After	Before-After	
Allergic rhinitis symptoms	Control	0 %	0.0	0.4	-0.4	0.203
		1.5 %	0.1	0.2	-0.1	
		3 %	0.7	0.1	0.6	
	Sensitive	0 %	0.8	0.3	0.5	
		1.5 %	0.6	0.4	0.2	
		3 %	0.6	0.3	0.3	
Watery rhinorrhea	Control	0 %	0.1	0.4	-0.3	0.055
		1.5 %	0.1	1.7	-0.6	
		3 %	0.6	1.0	-0.4	
	Sensitive	0 %	3.0	2.2	0.8	
		1.5 %	0.4	0.4	0	
		3 %	0.3	1.1	-0.8	
Sneezing	Control	0 %	0.1	0.7	-0.6	0.043*
		1.5 %	0.3	3.0	-2.7	
		3 %	1.5	0.9	0.6	
	Sensitive	0 %	2.3	3.9	-1.6	
		1.5 %	1.4	1.0	0.4	
		3 %	1.1	1.9	-0.8	
Nasal stoppling	Control	0 %	0.3	1.1	-0.8	0.063
		1.5 %	0.2	3.0	-2.8	
		3 %	0.7	1.4	-0.7	
	Sensitive	0 %	4.7	5.0	-0.3	
		1.5 %	3.0	1.7	1.3	
		3 %	1.4	2.7	-1.3	
Nasal itching	Control	0 %	0.1	0.2	-0.1	0.051
		1.5 %	0.2	2.3	-2.1	
		3 %	0.4	0.9	-0.5	
	Sensitive	0 %	3.2	2.1	0.9	
		1.5 %	0.7	0.4	0.3	
		3 %	0.9	2.4	-1.5	
Eye symptoms	Control	0 %	0.1	0.1	0	0.032*
		1.5 %	0.1	1.2	-1.1	
		3 %	0.6	0.7	-0.1	
	Sensitive	0 %	0.6	1.3	-0.7	
		1.5 %	1.4	1.4	0	
		3 %	2.3	2.3	0	

†Kruskal Wallis test

*p<0.05

2.2.3) 알레르기성 비결막염, 스트레스 및 실내환경 특성 관련성 설문조사

2차년도 식물도입여부가 알레르기 비결막염 증상, 중증도 등에 미치는 영향을 전체 대상, 알레르기 비결막염 의심군 순으로 나누어 비교분석하였다(Table 2). 알레르기 비결막염군은 알레르기 비결막염 설문에 ARIA 지침의 콧물, 코막힘, 재채기, 코간지러움 및 안구증상 등 주요 증상 중 2가지 이상을 표시하거나 과거 알레르기 비염 진단을 받은 바 있는 군으로 선정하였다. 하지만 연구계획 일정추진의 취소, 자연 및 관련 기관들의 여러 가지 사정(메르스 사태로 인한 연구일정 취소 및 연기, 연구대상자의 출장, 부서이동 등으로 인한 연구대상자 탈락, 불완전한 설문참여 등)으로 설문조사 응답인원이 충분히 확보되지 않아, Table 2에 제시한 식물도입 전후 알레르기 비결막염군의 증상설문 결과 분석에 통계적 유의성을 부여하기는 어렵다.

Table 58. Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires.

Questionnaire	Survey ^a	Subjects with probable allergic rhinitis (n=7, M/F=3/4)				P value (intergroup ^b)	
		Control		Plant			
		n=4, M/F=1/3	intersurvey (p-value) ^c	n=3, M/F=2/1	intersurvey (p-value) ^c		
Visual Analogue Scale (VAS) Score for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms							
total	1st	3.2 (0.9,6.1), n=4		2.5 (0.0,9.3)		0.095	
	2nd	1.65 (0.0,3.3), n=4	NS	0.8 (0.0,8.7)	0.180	NS	
Rhinorrhea VAS	1st	0.0 (0.0,2.5), n=3 or 4		0.9 (0.0,9.3)		NS	
	2nd	0.0 (0.0, 0.2), n=3	NS	0.3 (0.1,1.0)	NS	0.124	
Sneezing VAS	1st	2.9 (0.0,4.7), n=3 or 4		1.7 (0.0, 9.2)		NS	
	2nd	1.3 (0.9,2.5), n=3	NS	0.7 (0.1,1.3)	NS	0.187	
Nasal stuffiness VAS	1st	3.3 (2.5,6.7), n=3 or 4		2.4 (0.0,6.3)		NS	
	2nd	1.2 (0.0,3.4), n=3	NS	0.2 (0.1,0.4)	NS	NS	
Itching sensation VAS (nose)	1st	3.5 (3.2,5.4), n=3 or 4		3.3 (0.0,4.5)		NS	
	2nd	0.2 (0.0,1.2), n=3	0.109	0.6 (0.0,2.8)	0.180	NS	
Itching sensation VAS (eye)	1st	3.0 (1.1,6.1), n=3 or 4		0.2 (0.0,0.5)		0.034*	
	2nd	0.1 (0.0,0.6), n=3	0.109	0.1 (0.1, 0.1)	NS	NS	

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05), *(significance at p=0.05), **(significance at p=0.01)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intergroup : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

한편, 전술한 알레르기 비결막염 증상설문 결과분석과 마찬가지로 식물도입여부가 대상군의

스트레스나 실내환경 매력도에 미치는 영향을 전체 대상, 알레르기 비결막염의 심증 등으로 나누어 비교분석을 시행하였으며, 그 결과를 Table 3에 기술하였다. 표에 제시된 바와 같이, 우울, 불안, 스트레스 척도(Deppression, Anxiety, Stress Scale: DASS) 한글판 설문조사를 통해 우울영역/우울점수, 불안영역/불안점수, 스트레스영역/스트레스점수를 평가하였고, 한국인 직무스트레스 측정도구(Korean Occupational Stress Scale; KOSS)의 기본형 설문조사를 통해 물리적 환경, 직무요구, 직무자율성 결여, 직무불안정, 관계갈등, 조직체계, 보상부적절, 직장문화 등의 영역에 대한 직무스트레스를 측정하였고, 스트레스/각성 체크리스트 설문(SACL) 조사 및 실내환경특성 평가 설문도 병행하였다.

Table 59. Analyses of the Stress and Room Attractiveness Questionnaires.

Questi on naire	Sur vey ^a	Whole subjects (n=11, M/F=5/6)				Subjects with probable allergic rhinitis (n=7, M/F=3/4)				P value ^b
		Contro l n=6, M/F= 3/3	inter- survey (p- value) c	Plant n=5, M/F= 2/3	inter- survey (p- value) c	P- value (inter- group) b	Contr ol n=4, M/F= 1/3	inter- survey (p- value) c	Plant	
		1	surve y	Plant	inter- survey	P- value (inter- group) b	Contr ol	inter- survey	Plant	
		n=6, M/F= 3/3	(p- value) c	n=5, M/F= 2/3	(p- value) c	(inter- group) b	n=4, M/F= 1/3	(p- value) c	n=3, M/F= 2/1	(inter- group) b
Depression, Anxiety, Stress Scale (DASS) 42 Questionnaire										
total		35.0 (3,60)		36.0 (1,39)		NS	51.5 (24,6 0)		37.0 (17,3 9)	
	1st		NS		NS		30.5 (20,6 6)	NS	27.0 (24,6 3)	NS
Depres sion	1st	8.5 (1,22)		9.0 (1,11)		NS	15.5 (5,22)		9.0 (6,11)	NS
	2nd	11.0 (4,27)	NS	10.0 (0,22)	NS	NS	11.0 (5,19)	NS	10.0 (7,22)	NS
Anxiet y	1st	9.5 (0,23)		8.0 (0,12)		NS	13.5 (9,23)		8.0 (2,12)	0.157
	2nd	7.5 (1,24)	NS	6.0 (0,13)	NS	NS	7.5 (4,21)	NS	6.0 (4,13)	NS
Stress	1st	13 (0,26)		16.0 (0,20)		NS	17.5 (9,26)		16.0 (9,20)	NS
	2nd	15 (2,27)	NS	15.0 (0,28)	NS	NS	15.0 (5,26)	NS	16.0 (8,28)	NS
Korean Occupational Stress Scale (KOSS) Questionnaire										
total		93.0 (83,10 9)		107.0 (83,1 37)		NS	95.5 (83,1 09)		107.0 (105, 137)	
	1st		NS	101.0 104	0.068		106.0	NS	101.0 101.0	0.109
Physical environm ent	1st	5.5 (3,6)		7.0 (4,8)		NS	5.0 (3,6)		8.0 (4,8)	NS
	2nd	6.0 (5,9)	0.068	5.0 (4,7)	NS	0.193	6.0 (5,9)	0.109	6.0 (4,7)	NS
Occupati onal requirem ent	1st	17.0 (13,24)		24.0 (16,32)		NS	17.0 (13,19)		24.0 (16,32)	NS
	2nd	16.0 (14,24)	NS	23.0 (15,29)	NS	0.170	15.5 (14,18)	NS	23.0 (15,29)	0.109

Questi on naire	Sur vey ^a	Whole subjects (n=11, M/F=5/6)				Subjects with probable allergic rhinitis (n=7, M/F=3/4)					
		Contro l n=6, M/F= 3/3	inter- survey (p- value) c	Plant n=5, M/F= 2/3	inter- survey (p- value) c	P- value (inter- group ^b)	Contr ol n=4, M/F= 1/3	inter- survey (p- value) c	Plant n=3, M/F= 2/1	inter- survey (p- value) c	P- value (inter- group ^b)
		12.0 (9,15)	12.0 (8,16)	12.0 (8,16)	NS	NS	12.5 (11,15)	NS	12.0 (11,16)	NS	NS
		13.5 (11,16)	NS	11.0 (8,15)	NS	NS	14.5 (11,16)	NS	13.0 (8,15)	NS	NS
Lack of occupatio nal autonomy	1st 2nd	8.5 (4,10)	NS	10.0 (4,12)	NS	NS	7.5 (4,10)	NS	10.0 (6,10)	NS	NS
Occupati onal instabilit y	1st 2nd	8.0 (7,8)	NS	8.0 (7,10)	NS	NS	8.0 (7,8)	NS	8.0 (7,8)	NS	NS
Relational conflict	1st 2nd	15.5 (13,17)	0.028*	14.0 (11,21)	0.043*	NS	16.0 (15,17)	0.068	14.0 (13,21)	NS	NS
Organizat ional system	1st 2nd	8.0 (7,8)	NS	8.0 (7,10)	NS	NS	8.0 (7,8)	NS	15.0 (11,16)	NS	NS
Inadequat e reward	1st 2nd	15.0 (11,18)	NS	15.0 (9,19)	NS	NS	14.5 (12,18)	NS	15.0 (14,19)	NS	NS
Workplac e culture	1st 2nd	15.0 (12,19)	NS	16.0 (8,17)	NS	NS	17.0 (13,19)	NS	16.0 (14,17)	NS	NS
	1st 2nd	9.0 (5,10)	NS	11.0 (11,14)	NS	0.006*	9.0 (5,10)	NS	11.0 (11,14)	NS	0.032*
		8.5 (7,12)		10.0 (9,15)		*	8.5 (7,10)		10.0 (9,15)		0.154
Stress-Arousal Check List											
stress	1st 2nd	7.0 (2,12)	NS	13.0 (10,17)	0.144	0.017*	8.5 (5,12)	0.068	13.0 (13,17)	0.180	0.033*
		4.0 (2,14)		7.0 (1,17)		NS	4.0 (3,10)		7.0 (4,17)		NS
arousal	1st 2nd	1.5 (0,8) 2.5 (0,4)	NS	3.0 (2,5)	NS	NS	0.5 (0,7)	NS	3.0 (3,5)	NS	NS
		4.0 (0,8)		4.0 (0,8)		NS	1.5 (0,3)		4.0 (0,7)		NS
Room Attractiveness Checklist											
	1st 2nd	56.5 (51,59)	0.059	45.0 (31,52)	0.068	0.010*	56.5 (56,59)	0.068	46.0 (40,52)	0.180	0.033*
		49.0 (17,59)		52.0 (42,67)		NS	49.0 (34,55)		52.0 (42,67)		NS

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: $p>0.05$), * (significance at $p=0.05$), ** (significance at $p=0.01$)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intergroup : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

식물도입 전후 시행한 DASS 42 설문의 경우, 전체대상군 및 알레르기비결막염 의심군 모두에서 식물도입군과 대조군 간에 차이가 없었고 1, 2차 조사 간에도 유의한 차이가 관찰되지 않았다.

전체군 및 알레르기비결막염 의심군을 대상으로 분석한 KOSS 기본형 설문에서 식물도입

전 대조군보다 연구대상군에서 직장문화 관련 스트레스 지수가 더 높았으나($p=0.006$, 0.032), 3개월간의 식물도입 후 이러한 두 군 간의 차이가 소실되었다. 전체군 대상의 KOSS 설문영역 중 조직체계 관련 스트레스 지수 항목도 직장문화 관련 영역과 비슷한 경향성($p=0.117$)을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았으며 알레르기비결막염 의심군에서는 이러한 경향성이 관찰되지 않았다.

한편, 스트레스/각성 체크리스트 설문(SACL) 조사의 경우, 전체대상군 및 알레르기비결막염 의심군에서 모두, 식물도입전 연구대상군의 스트레스 지수가 대조군에 비해 높았으나(각각 $p=0.017$, 0.033) 식물도입 3개월 경과 후에는 이러한 차이가 소실되었다. 각성 지수는 식물도입에 관계없이 대상군과 대조군 및 각 군내 1차, 2차 설문 결과의 비교에서 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

실내환경 특성 설문분석 결과(Table 3), 전체 대상군과 알레르기비염 의심군 모두에서, 식물도입 전 기저상태의 실내환경 매력도가 대조군에서 더 높았으나(각각 $p=0.010$, 0.033) 식물도입 후에는 그러한 차이가 소실되었다.

3차년도의 경우 식물도입여부가 알레르기 비결막염 증상, 중증도 등에 미치는 영향을 분석하고자, 전체 대상군에서 알레르기 비결막염 의심군을 선별하여 비교분석하였다(Table 31). 알레르기 비결막염군은 알레르기 비결막염 설문에 ARIA 지침의 콧물, 코막힘, 재채기, 코간지러움 및 안구증상 등 주요 증상 중 2가지 이상을 표시하거나 과거 알레르기 비염 진단을 받은 적이 있는 군으로 선정하고 식물도입 여부에 따라 식물도입군과 대조군으로 분류하여 비교 분석하였다.

식물도입 전후 시행한 알레르기비결막염 증상설문(ARIA 국제지침 기반)을 분석한 결과, 대학 강의실에만 2개월 간 식물을 도입한 경우, 알레르기 비결막염 의심군의 각종 증상지표가 식물도입 전후에 유의한 차이를 보이지는 않았지만, 콧물증상 VAS 척도의 경우 식물도입군에서 기저 증상보다 호전되는 경향을 보였다($p=0.061$)(Table 2-1). 이러한 결과는 식물도입기간이 2 개월로 짧았고 알레르기 비결막염 의심군 선별과정에서 식물도입군의 크기가 감소한 것을 감안하여 해석할 필요가 있겠다.

Table 60. Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant-Introduction to the College Lecture Room among the allergic rhinitis subjects.

Questionnaire	Surveya	Subjects with probable allergic rhinitis (n=44, M/F=30/14)				
		Control n=15, M/F=11/4	intersurvey (p-value)c	Plant n=29, M/F=19/10	intersurvey (p-value)c	P value (intergroupb)
Visual Analogue Scale (VAS) Score for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms						
Total	1st	2.45 (0.0,8.0), n=14	0.2367,	2.00 (0.0,9.0), n=28	0.9317, n=27	0.9245
	2nd	3.50 (0.0,7.8), n=11		2.10 (0.0,9.0), n=28		0.7659
Rhinorrhea VAS	1st	0.0 (0.0,6.6), n=14	0.9326,	2.0 (0.0,9.5), n=28	0.0614, n=28	0.1190
	2nd	0.7 (0.0, 3.6), n=11	n=10	0.1 (0.0,8.0), n=28		0.8848
Sneezing VAS	1st	0.9 (0.0,8.8), n=14	0.2626,	3.0 (0.0, 10.0), n=29	0.1779, n=28	0.4708
	2nd	0.6 (0.0,3.8), n=11	n=10	1.1 (0.0,7.0), n=28		0.5265
Nasal stuffiness VAS	1st	1.3 (0.0,8.8), n=14	0.3081,	2.4 (0.0,6.3), n=29	0.7064,	0.1405
	2nd	0.9 (0.0,7.0), n=11	n=10	3.75 (0.0,9.6), n=28		0.2526
Itching sensation VAS (nose)	1st	2.25 (0.0,6.8), n=14	0.8886,	3.0 (0.0,10.0), n=29	0.3924, n=28	0.2915
	2nd	0.7 (0.0,6.3), n=11	n=10	0.7 (0.0,7.8), n=28		0.6784
Itching sensation VAS (eyes)	1st	3.0 (0.0,7.7), n=14	0.6002,	0.0 (0.0,10.0), n=29	0.3838, n=28	0.8674
	2nd	0.0 (0.0,6.3), n=11	n=10	0.3 (0.0,9.0), n=28		0.3424

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05), *(significance at p<0.05), **(significance at p<0.01), ***(significance at p<0.001)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intersurvey : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

한편, 주요활동 공간(대학 학습공간 및 주거공간)에 식물을 도입한 알레르기비염 환자군에서, 식물도입 3개월 경과시점에는 도입 전에 비하여 알레르기비염 중증도가 감소하였다가, 9개월 시점에는 다시 증가하여(각각 p<0.05) 도입전과 별다른 차이가 없게 되었다(Table 32). 한편, 이들 환자군에서 증상 VAS 항목 중 채채기의 경우 식물도입 3개월 경과시점에서 감소하였으나(p<0.05), 코막힘 VAS 항목의 경우 식물도입 3개월 시점까지는 도입전과 차이가 없다가 9개월 시점에서 증가하는 양상을 보였으나 3가지 시점에서의 반복측정에 대한 비모수검정분석 결과에서는 그 차이가 유의하지 않았다(p>0.05)(Table 32). 하지만 이러한 결과들은 대상 환자군 크기가 작고 일부 대상군이 감기에 걸렸던 점과 식물도입전과 9개월째 조사시점이 가을철에 해당하고, 3개월째 조사시점이 봄철에 해당하는 등 계절적 요인, 의사국가고시 실기시험 등 학사일정 등 환경과 학업스트레스의 복합적인 영향도 고려하여 해석해야 하겠다.

Table 61. Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant–Introduction to the Coll allergic rhinitis subjects.

Questionnaire	Surveya	Baseline (n=11, M/F=9/2)	3 month–Plant Introduction (n=9, M/F=7/2)	9 mon	Subjects with allergic rhinitis (n=11,
Visual Analogue Scale (VAS) Score & Severity for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptom					
Total	1st, 2nd, 3rd	6.8 (1.8,3.7) vs. 4.9 (0.9,8.0)	5.05 (0.9,8.0) vs. 6.0 (0.5,7.7)	6.0	
Rhinorrhea VAS	1st, 2nd, 3rd	1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	3rd	
Sneezing VAS	1st, 2nd, 3rd	2.0 (0.8,7) vs. 4.9 (0.9,8.0) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	0.3 (0.2,0) vs. 1.65 (0.6,7) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	1.65 3rd	
Nasal stuffiness VAS	1st, 2nd, 3rd	3.5 (0.6,9) vs. 0.5 (0,2,0) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = 0.018*	0.65 (0.6,9) vs. 3.5 (0.8,6) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = 0.091	3.5 (0 3rd	
Itching sensation VAS (nose)	1st, 2nd, 3rd	5.0 (0.9,5) vs. 1.5 (0,9,6) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	1.9 (0.9,6) vs. 5.05 (0,9,2) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = 0.046	5.05 (0 3rd	
Itching sensation VAS (eyes)	1st, 2nd, 3rd	4.4 (0.8,4) vs. 0.5 (0,7,0) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	0.25 (0,7,0) vs. 1.9 (0,4,8) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	1.9 (0 3rd	
ARIA disease Severity	1st, 2nd, 3rd	0.3 (0,7,7) vs. 2.0 (0,8,0) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = NS	1.7 (0,4,0) vs. 1.85 (0,6,7) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = NS	1.85 (0 3rd	
		3 (3,4) vs 1 (1,4) 1st vs. 2nd intersurvey p-valuec = 0.046*	1 (1,4) vs. 3 (3,4) 2nd vs. 3rd intersurvey p-valuec = 0.028	3 3rd	

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05), *(significance at p<0.05), **(significance at p<0.01), ***

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3 months & 3rd=at 9 months after the indoor plant placement

b Repeated measure analyses : repeatedly measured survey-analyses by Friedman test

c Intersurvey analyses : intersurvey analyses by Wilcoxon signed ranks test

한편, 어린이집에서 시행한 조사연구 결과, 2개월 내외의 단기 식물도입 후, 대학 강의실에만 2개월 간 식물을 도입했던 경우와 마찬가지로 알레르기 비결막염 의심군의 증상지표 중, 콧물 증상 VAS 척도가 식물도입군에서 기저 증상보다 호전되는 경향을 보였다($p=0.069$)(Table 33). 이러한 콧물증상 감소추세가 식물 실내도입의 단기효과와 관련된 것인지에 대해서 추후 대상군을 확대한 체계적인 심화연구를 고려해볼 수 있겠다.

어린이집 재실 어린이 대상군에 대한 알레르기 비결막염 증상 설문에는 설명동의 및 일정조율 문제로 검사일정이 지연되고 보호자들의 설문조사 관련 협조가 부족하여 실제 불완전한 설문응답 및 무응답이 다수 있었다. 설문조사 응답인원이 충분히 확보되지 않아, Table 2-3에 제시한 식물도입 전후 알레르기 비결막염군의 증상설문 결과 분석에 통계적 유의성을 부여하기는 어려운 설정이다.

Table 62. Analyses of the Allergic Rhinoconjunctivitis Questionnaires with Plant-Introduction to the CI

Questionnaire	Surveya	Subjects with probable allergic rhinitis		
		Control	intersurvey	Plant
		n=12, M/F=7/5	(p-value)c	n=10, M/F=2/8
Visual Analogue Scale (VAS) Score for Allergic Rhinoconjunctivitis Symptoms				
Total	1st	4.0 (0.0,8.5), n=11	0.9165, n=8	2.5 (0.0,5.0), n=8
	2nd	2.8 (0.0,7.4), n=9		3.6 (0.0,5.0), n=5
Rhinorrhea	1st	0.0 (0.0,8.0), n=11	0.4631, n=8	0.0 (0.0,3.3), n=8
	2nd	1.2 (0.0,7.0), n=9		0.0 (0.0,0.6), n=5
Sneezing	1st	2.6 (0.0,7.8), n=11	0.6002, n=8	0.3 (0.0,2.0), n=8
	2nd	3.0 (0.0,6.2), n=9		2.2 (0.7,2.2), n=5
Nasal stuffiness	1st	5.0 (0.0,10.0), n=11	0.7794, n=8	0.85 (0.0,6.9), n=8
	2nd	5.1 (0.6,8.4), n=9		4.5 (0.0,7.5), n=5
Itching sensation VAS (nose)	1st	0.0 (0.0,3.6), n=11	0.2489, n=8	0.15 (0.0,1.0), n=8
	2nd	1.5 (0.0,5.1), n=9		2.6 (0.0,5.7), n=5
Itching sensation VAS (eye)	1st	1.0 (0.0,8.0), n=11	0.7150, n=8	0.15 (0.0,1.0), n=8
	2nd	2.7 (0.0,9.0), n=9		1.5 (0.0,3.3), n=5

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05)), *(significance at p<0.05), **(significance at p<0.01), *

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by Mann-Whitney U test

c intersurvey : 1st survey vs. 2nd survey analysed by Wilcoxon signed rank test

앞서 언급했던 알레르기 비결막염 증상설문 결과분석과 마찬가지로 식물도입여부가 대상군의 스트레스나 실내환경 매력도에 미치는 영향에 대해 전체 대상군, 알레르기 비결막염의심군 등으로 나누어 비교분석을 시행하였다. 우울, 불안, 스트레스 척도(Depression, Anxiety, Stress Scale: DASS) 한글판 설문조사를 통해 우울영역/우울점수, 불안영역/불안점수, 스트레스영역/스트레스점수를 평가하였고, 스트레스/각성 체크리스트 설문(SACL) 조사 및 실내환경특성 평가 설문도 병행하였다. 한편 어린이의 경우, 앞에서 기술한 것과 같이 DASS 척도 대신에 어린이용인 “한국아동 일상생활 스트레스 척도(한 등, 1995) 42문항”을 이용하여 보호자와 함께 작성하도록 하고 부모, 가정, 친구, 학업, 교사/학교, 생활환경 등의 스트레스영역별로 스트레스점수를 평가하였다.

대학 강의실에 대한 식물도입 연구에서 전체 대상군 및 알레르기 비결막염 의심군에서 모두, 식물도입전 연구대상군의 우울, 불안 지수가 대조군에 비해 약간 높은 경향성을 보였으며 유의미한 통계적 차이는 없었다. 식물도입 후 추적검사에서 우울 지수는 식물도입군에서 계속 높은 경향성을 보였으며, 특히 알레르기비염 의심군에서 식물도입 후 추적검사에서, DASS 총합지수 및 우울지수 상승이 관찰되었다($p<0.05$). 한편, 불안 지수에 대해서는 이러한 경향성이 소실되었으며, 두 가지 지수 모두 통계적 차이는 없었다. 스트레스-각성 지수는 식물도입에 관계없이 전체 대상군 및 알레르기 비염의심군에서 대조군 식물도입군 각 군내 1차, 2차 설문 결과의 비교에서 모두 유의한 차이가 없었다.

실내환경 특성 설문분석 결과에서, 대학 강의실 식물도입 연구에 참여하였던 전체 대상군에서 알레르기비염 의심군 모두에서, 식물도입 전 기저상태의 실내환경 매력도가 대조군에서 더 높은 상태로 연구가 시작되었던 것으로 나타났다. 식물도입 후에 그러한 군간의 차이가 유지되었으며(각각 $p<0.001$, $p<0.05$ Table 3-2), 두 군 모두 실내환경 매력도 지표가 기저치보다 감소하지는 않았다. 이러한 결과에 대해서, 식물도입 기간이 2개월 정도로 짧았고, 대조군은 임상실습에 참여하여 비교적 스트레스관리가 쉬운 학사일정을 수행 중이었으나 식물도입군은 강의 위주의 수업을 받고 있어 학업스트레스 수준이 더 높았을 가능성이나 환경적, 개인적 우울성향 등 다양한 요인들을 고려할 필요가 있겠다.

이는 식물도입군의 DASS 42 전체적인 지표 및 우울, 불안 지표가 식물도입 이전 기저상태부터 대조군에 비해 약간 높은 경향성을 보였던 것과 연관 지어 해석할 수 있겠다(Table 34). 한편, 대조군에서 1차 조사시기보다 2차 조사시기에 불안지표가 상승하는 경향($p=0.541$)을 보였으나 식물도입군에서는 그러한 경향이 관찰되지 않았다.

Table 63. Analyses of the Stress and Room Attractiveness Questionnaires with Plant-Introduction to the Allergic Rhinitis Subjects.

Questionnaire	Survey ^a	Whole subjects (n=87, M/F=63/24)						Subjects p-value ^c
		Control n=31, M/F=23/8	inter-survey p-value ^c	Plant n=56 M/F=40/16	inter-survey p-value ^c	P value intergroup ^b	Control n=15, M/F=11/4	
Depression, Anxiety, Stress Scale (DASS) 42 Questionnaire								
Total	1st	11.7±12.5	NS	18.6±18.0	NS	NS(0.064)	8.5 (0,61)	NS
	2nd	13.1±12.3		19.7±19.4		NS	8.0 (0,50)	
Depression	1st	3.4±4.4	NS	6.0±7.1	NS	NS(0.069)	1.5 (0,15)	NS
	2nd	3.7±3.8		7.1±8.2		NS(0.070)	2.0 (0,12)	
Anxiety	1st	2.8±3.3	(0.0541)	5.0±5.8	NS	NS(0.063)	2.0 (0,15)	NS
	2nd	3.9±4.7		5.5±6.1		NS	2.0 (0,14)	
Stress	1st	5.5±6.1	NS	7.6±6.9	NS	NS	3.5 (0,31)	NS
	2nd	5.6±5.7		7.1±7.5		NS	4.0 (0,24)	
Stress-Arousal Check List								
stress	1st	6.2±4.4	NS	7.3±3.7	NS	NS	8.0 (0,16)	NS (0.059)
	2nd	6.0±4.6		6.6±4.0		NS	7.0 (0,15)	
arousal	1st	4.2±2.7	NS	3.8±2.8	NS	NS	5.0 (2,9)	NS
	2nd	4.5±3.2		4.1±2.8		NS	3.0 (0,10)	
Room Attractiveness Checklist								
	1st	53.3±8.0	NS	45.9±9.5	NS	<0.001***	52.0 (44,67)	NS
	2nd	54.4±9.2		47.2±7.3		<0.001***	50.0 (37,81)	

Mean±Standard deviation; Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05)), *(significance at p<0.05), ** at p<0.01), *** at p<0.001)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3months after the indoor plant placement

b intergroup : control vs. plant group analysed by t-test (for parametrical analyses) or Mann-Whitney U test (for non-parametrical analyses)

c intersurvey analyses : 1st survey vs. 2nd survey analysed by paired t-test (for parametrical analyses) or Wilcoxon signed rank test (for non-parametrical analyses)

식물도입 전후 시행한 DASS 42 설문의 경우, 주요활동 공간(대학 및 주거공간)에 식물을 도입한 알레르기비염 환자군에서 9개월 간의 식물도입 후, 도입 전에 비하여 전체적인 총점수와 우울감 영역 점수가 감소하였으며(각각 $p<0.05$), 우울감 영역과 불안감 영역 점수가 식물 도입 3개월 시점에 감소추세가 관찰되었다(각각, $p<0.10$)(Table 3-2).

한편, 스트레스/각성 체크리스트 설문(SACL) 조사의 경우, 주요활동 공간(대학 및 주거공간)에 식물을 도입한 알레르기비염 환자군에서 스트레스 지수가 식물도입 후 3개월간은 차이가 없었으나 9개월 시점에서는 도입 전에 비하여 스트레스 지수가 상승하였다($p<0.05$)(Table 35). 이런 결과는 대상군의 숫자가 매우 제한적인 탐색연구 결과임과, 식물도입 9개월 시점에 대상군 일부가 의사국가고시 실기시험 응시를 앞두고 있는 등 학업 스트레스상황에 처해 있거나 개인적 스트레스 상황에 있었던 것을 감안하여 해석해야 하겠다. 향후 대상군을 좀더 확대하여 이러한 요인들을 배제할 수 있는 추가적인 심화연구가 필요하겠다.

주요활동 공간(주거공간 및 대학 내 학습공간)에 식물을 도입한 알레르기비염 환자군에서 식물도입 3개월 후 실내 환경 매력도가 감소하였으나($p<0.05$), 9개월 시점에서는 식물도입 전과 별다른 차이가 없었다(Table 35). 이는 선행연구에서 시간경과에 따라 실내환경 매력도의 감소가 나타나지만 식물도입 후에는 둔화되거나 더 이상 감소하지 않았던 결과와 연관시켜 해석할 필요가 있겠다.

Table 64. Analyses of the Stress and Room Attractiveness Questionnaires with Plant-Introduction to the College & Home Spaces among Allergic Rhinitis Subjects.

Subjects with allergic rhinitis (n=11, M/F=9/2)						
Questionnaire	Surveya (n=9 / n=8)	Surveya (n=9 / M/F=9/2)	Surveya (n=9 / n=8)	Surveya (n=8, M/F=7/2)	Surveya (n=8)	P valueb (n=8, M/F=6/2)
Depression, Anxiety, Stress Scale (DASS) 42 Questionnaire						
Total	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec
	12.0 (4,48) / 10.5 (4,48)	NS	7.0 (1,19) / 4.5(1,1 6)	NS	6.0(0,2 1)	0.042*
Depression	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec
	3.0 (1,14) / 3.0 (1,14)	0.051	2.0 (0,4) / 1.0 (0,3)	NS	0.5 (0,5)	0.012*
Anxiety	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec
	3.0 (0,18)	0.091	1.0	NS	2.0	NS

	/ 3.0 (0,18)	(0,7) / 1.0 (0,7)	(0,7)				
	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec	
Stress	7.0 (0,16) / 4.5 (0,16)	NS	4.0 (1,12) / 2.5 (1,10)	NS	4.0 (0,9)	NS	0.485
Stress-Arousal Check List							
stress	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec	0.034*
	4.0 (0,8) / 4.0 (0,8)	NS	9.0 (6,11) / 9.0 (6,11)	NS	11.0 (0,17)	0.036*	
arousal	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec	NS
	4.0 (0,9) / 4.5 (0,9)	NS	5.0 (3,8) / 4.0 (0,8)	NS	5.0 (3,7)	NS	
Room Attractiveness Checklist							
	1st	1st vs. 2nd p-valuec	2nd	2nd vs. 3rd p-valuec	3rd	3rd vs. 1st p-valuec	
	61.0 (47,73) / 60.0 (47,73)	0.018	45.0 (31,72) /45.0 (31,72)	NS	47.5 (38,78)	NS	0.028*

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: p>0.05), *(significance at p<0.05), **(significance at p<0.01), ***(significance at p<0.001)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3 months & 3rd=at 9 months after the indoor plant placement

b Repeated measure analyses : repeatedly measured survey-analyses by Friedman test

c Intersurvey analyses : intersurvey analyses by Wilcoxon signed ranks test

한편, 알레르기 비결막염 증상설문 결과분석과 마찬가지로 식물도입여부가 어린이 대상군의 스트레스나 실내환경 매력도에 미치는 영향을 측정하기 위해, 한국 아동일상생활 스트레스 척도 등의 설문조사 도구를 이용하여 어린이집 2개소 재실 어린이 설명동의 대상군 전체 및 그 중 증상설문을 통해 알레르기비염 이 의심되는 군으로 분류하여 순차비교 하였다(Table 36). 식물도입을 시행한 후, 약 2개월 이내의 단기간에 추적 조사를 시행하고 불충분한 설문응답 및 설문지 미회수 등으로 분석자료에 제한점이 있었다. 결과적으로 아동 일상생활 스트레스 척도나 스트레스/각성 체크리스트 설문(SACL)의 경우 전체 대상군이나 알레르기 비결막염 의심군 모두 식물도입에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다.

실내환경 특성 설문분석 결과, 전체 대상군과 알레르기비염 의심군에서 모두 식물도입 여부에 따른 실내환경 매력도 평가에 유의한 차이가 없었다.

Table 65. Analyses of the Stress and Room Attractiveness Questionnaires with Plant-Introduction to the Classrooms of Child Care Centers.

Quest ion-n aire	Surve ya	Whole subjects (n=40, M/F=16/24)			Subjects with suspected allergic rhinitis (n=22, M/F=9/13)		
		Control n=20, M/F=11/9	Plant n=20, M/F=5/15	P value (intergro upb)	Control n=12 M/F=7/5	Plant n=10 M/F=2/8	P value (intergro upb)
		Child Stress Questionnaire					
total		46.0 (0.76)	56.0 (0.84)	NS	50.0 (0.76)	56.5 (0.84)	NS
	1st	55.5 (0.89)	53.5 (0.36)	NS	57.0 (0.89)	54.0 (0.66)	NS
	2nd						
	Intersur veyc p-value	NS	NS		NS	NS	
parent (s)	1st	10.0 (0.18)	10.0 (0.16)	NS	10.0 (0.18)	10.5 (0.16)	NS
	2nd	12.0 (0.23)	13.5(0.17)	NS	13.0 (0.23)	15.0 (0.17)	NS
	Intersur veyc p-value	NS	NS		NS	NS	
home	1st	7.0 (0.14)	7.0 (0.14)	NS	8.0 (0.14)	8.5 (0.14)	NS
	2nd	7.5 (0.15)	7.0 (0.10)	NS	9.0 (0.15)	7.0 (0.10)	NS
	Intersur veyc p-value	NS	NS		NS	NS	
friend s	1st	8.0 (0.14)	12.0 (0.22)	NS	10.0 (0.14)	13.5 (0.21)	NS
	2nd	8.0 (0.19)	9.5 (0.18)	NS	9.0 (0.15)	7.0 (0.10)	NS
	IIInters urveyc p-value	NS	NS		NS	NS	
study	1st	7.0 (0.14)	7.0 (0.14)	NS	7.0 (0.14)	7.0 (0.14)	NS
	2nd	7.0 (0.15)	7.0 (0.8)	NS	7.0 (0.15)	7.0 (0.7)	NS
	Intersur veyc p-value	NS	NS		NS	NS	
teache r/ school	1st	7.0 (0.14)	7.0 (0.14)	NS	7.0 (0.14)	7.0 (0.14)	NS
	2nd	8.0 (0.14)	7.0 (0.10)	NS	8.0 (0.14)	7.0 (0.10)	NS
	Intersur veyc p-value	NS (0.109)	NS		NS	NS	
enviro	1st	6.0	6.0 (0.12)	NS	6.0 (0.10)	6.0 (0.12)	NS

n-men		(0,10)					
t	2nd	6.0 (0,12)	6.0 (0,10)	NS	6.0 (0,12)	6.0 (0,10)	NS
	Inters urveys p-valu e		NS	NS		NS(0.080)	
Stress-Arousal Check List							
stress	1st	3.0 (0,9)	1.0 (0,11)	NS	3.0 (0,9)	0.5 (0,10)	NS
	2nd	0.0 (0,11)	1.5 (0,11)	NS	0.0 (0,11)	1.0 (0,3)	NS
	Inters urveys p-valu e		NS	NS		NS	
arousa 1	1st	5.0 (0,11)	4.0 (0,10)	NS	5.0 (0,11)	4.5 (0,8)	NS
	2nd	5.0 (0,10)	4.0 (0,10)	NS	4.0 (0,10)	8.0 (0,10)	NS
	Inters urveys p-valu e		NS	NS		NS	
Room Attractiveness Checklist							
	1st	0 (0,85)	65.0 (0,85)	NS	0.0 (0,74)	61.0 (0,75)	NS
	2nd	61.0 (0,82)	64.5 (0,82)	NS	59.0 (0,82)	59.0 (0,82)	NS
	Inters urveys p-valu e	NS(0.093)	NS		NS	NS	

Median (minimum, maximum); p-value: NS (non-significance: $p>0.05$), *(significance at $p<0.05$), **(significance at $p<0.01$), *** (significance at $p<0.001$)

a Survey : 1st=before the indoor plant placement, 2nd=at 3 months & 3rd=at 9 months after the indoor plant placement

b Repeated measure analyses : repeatedly measured survey-analyses by Friedman test

c Intersurvey analyses : intersurvey analyses by Wilcoxon signed ranks test

2.2.4) 실내 환경오염물질과 건강점수의 상관분석

1차년도에서 학교 별 환경오염물질과 건강영향을 평가할 수 있는 건강점수와의 관계를 보기위해 상관분석을 하였다.

일반학교에 비하여 신축학교에서 환경오염물질과 건강점수와의 관련성이 더 높은 것으로 나타났다. 알레르기성 비결막염 설문조사의 경우 대부분 통계적으로 유의하지 않았고 낮은 설명력을 나타냈다.

새건물 증후군 증상의 경우에는 신축학교에서는 아세트알데히드, 일반학교는 벤젠과 알데히드류를 제외하고 상관관계가 통계적으로 유의하게 나타났으며, 휘발성유기화합물류와 총부유세균은 신축학교에서 더 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 신축학교의 경우 새건물 증후군 증상과 벤젠, 톨루엔, 폼알데히드, 아세톤+아크로레인, 총부유세균에서 높은 상관관계가 있는 것으로 조사되었다($p<0.01$)

Table 66. Correlation coefficients of indoor pollutant and subjective symptoms inside the school older than 10 years.

	Variable	indoor pollutant of the school older than 10 years					
		PM10	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	Fo
ARIA questionnaires (VAS Score)	Allergic rhinitis symptoms	-0.064	-0.006	-0.015	-0.065	-0.045	0.0
	Watery rhinorrhea	-0.004	0.130	0.069	-0.135	0.065	0.0
	Sneezing	0.052	0.166	0.080	-0.147	0.075	0.0
	Nasal stoppling	0.064	0.140	0.053	-0.129	0.072	0.0
	Nasal itching	-0.026	0.151	0.111	-0.122	0.092	0.0
	Eye symptoms	-0.04	0.088	0.138	-0.013	0.103	0.0
Sick building syndrome score		0.816**	0.137	0.211*	0.352**	0.501**	0.8

†Pearson correlation test *p<0.05, **p<0.01

Table 67. Correlation coefficients of indoor pollutant and subjective symptoms inside newly built school

	Variable	Indoor pollutant of newly built school					
		PM10	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	Fo
ARIA questionnaires (VAS Score)	Allergic rhinitis symptoms	-0.202	0.012	0.030	0.069	0.026	0.0
	Watery rhinorrhea	-0.097	0.038	0.058	0.054	0.018	0.0
	Sneezing	-0.024	0.122	0.135	0.132	0.111	0.0
	Nasal stoppling	-0.088	-0.044	-0.029	-0.025	-0.030	-0.0
	Nasal itching	-0.021	0.044	0.044	0.066	0.048	0.0
	Eye symptoms	0.043	0.076	0.065	0.064	0.049	0.0
Sick building syndrome score		0.361**	0.732**	0.821**	0.554**	0.474**	0.8

†Pearson correlation test

*p<0.05, **p<0.01

2.2.5) 학교 교실 내 식물 식재량에 따른 환경오염물질과 건강점수의 상관분석

1차년도에서는 교실 내 식물을 적용한 반, 공간대비 1.5 % 식물을 적용한 반)에 따른 환경오염물질과 건강점수와의 관계를 보기위해 상관분석을 실시하였다.

공간대비 3 %의 식물을 적용한 반이 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에 비하여 환경오염물질과 건강점수의 관련성이 더 높은 것으로 나타났다. 새건물증후군의 증상의 경우에는 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반에서 거의 대부분의 물질과 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며, 통계적으로 유의하였다($p<0.01$). 자일렌의 경우에는 새건물증후군 증상 점수와 가장 높은 상관관계를 보였다. 알레르기비염 증상 VAS 점수의 경우 초미세먼지, 아세트알데히드, 총부유세균을 제외하고 음의 상관관계를 보였으며, 통계적으로 유의하였다. 또한, 알레르기비염 재채기 VAS 점수, 알레르기비염 눈증상 VAS 점수의 경우에 톨루엔과 에틸벤젠에서 음의 상관관계를 보였으며, 통계적으로 유의하였다.

공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에서 초미세먼지를 제외하고 새건물증후군 증상의 점수와 환경오염물질과의 양의 상관관계를 보였다($p<0.01$). 공간대비 3 %의 식물을 적용한 반과 다르게 공간대비 1.5 %의 식물을 적용한 반에서는 에틸벤젠과 새건물증후군 증상 점수와 가장 높은 양의 상관관계를 보였다. 또한, 벤젠, 아세트알데히드와 알레르기비염 VAS 점수, 알레르기비염 재채기 VAS 점수, 알레르기비염 코가려움 VAS 점수와 양의 상관관계가 있었으며, 통계적으로 유의하였다($p<0.05$). 총부유세균의 경우에는 알레르기비염 VAS 점수, 알레르기비염 재채기 VAS 점수에서 양의 상관관계가 있었으며, 통계적으로 유의하였다($p<0.05$).

Table 68. Correlation coefficients of indoor pollutant and subjective symptoms inside classroom of plant v

	Variable	PM10	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	F	Plant volume ratios 3
ARIA questionnaires (VAS Score)	Allergic rhinitis symptoms	-0.075*	-0.034*	-0.210*	-0.207*	-0.136*	-0.	
	Watery rhinorrhea	-0.042	-0.011	0.047	0.057	0.015	-0.	
	Sneezing	-0.075	-0.034	-0.210*	-0.207*	-0.136	-0.	
	Nasal stoppling	0.011	0.033	0.080	0.091	0.062	0.	
	Nasal itching	-0.014	0.037	-0.012	0.005	0.014	0.	
	Eye symptoms	-0.075	-0.034	-0.210*	-0.207*	-0.136	-0.	
Sick building syndrome score		0.854**	0.782**	0.887**	0.929**	0.983**	0.9	

†Pearson correlation test

*p<0.05, **p<0.01

Table 69. Correlation coefficients of indoor pollutant and subjective symptoms inside classroom of plant v

	Variable	PM10	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	F	Plant volume ratios 1.
ARIA questionnaires (VAS Score)	Allergic rhinitis symptoms	0.001	0.114*	0.053	0.009	0.094	0.	
	Watery rhinorrhea	0.006	0.184	0.080	-0.044	0.123	0.	
	Sneezing	0.001	0.114*	0.053	0.009	0.094	0.	
	Nasal stoppling	-0.107	0.079	-0.059	-0.129	-0.013	-0.	
	Nasal itching	0.015	0.200*	0.092	-0.050	0.134	0.	
	Eye symptoms	0.001	0.114	0.053	0.009	0.094	0.	
Sick building syndrome score		0.346**	0.467**	0.581**	0.889**	0.836**	0.5	

†Pearson correlation test

*p<0.05, **p<0.01

2.2.6) 학생 특성에 따른(일반군 Vs 민감군) 교실 내 환경오염물질과 건강점수의 관련성

식물 적용 요인에 따라 환경측정 결과 및 VAS증상 점수 영향을 평가하기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 독립변수에는 식물 식재량의 차이, 환경오염물질 농도, 온도, 습도, 새건물증후군 증상 점수, 알레르기 비염 증상·알레르기 비염 콧물·알레르기 비염 재채기·알레르기 비염 코막힘·알레르기 비염 코가려움·알레르기 비염 눈증상 VAS 점수를 사용하였다.

두 학교의 알레르기 내과의사 진단에 따른 민감군, 대조군을 대상으로 다중회귀분석을 실시한 결과, 97.3 %의 설명력을 갖는 회귀모형을 도출하였다(Table 35). 환경오염 물질 중 미세먼지, 초미세먼지, 벤젠의 경우 회귀계수(β)는 음의 값으로 나타났으며, 통계적으로 유의하게 차이가 있었다. 또한, 식물 적용에 따라 새건물증후군 증상 점수가 통계적으로 유의하게 감소한다는 것을 알 수 있었다.

대조군과 민감군을 대상으로 다중회귀분석을 실시한 결과, 각각 97.5 %의 설명력과 96.9 %의 설명력을 갖는 회귀모형을 도출하였다(Table 36). 대조군과 민감군에서 모두 환경오염 물질 중 미세먼지, 초미세먼지, 벤젠의 회귀계수(β)는 음의 값으로 나타났고, 통계적으로 유의하였다. 즉, 식물적용 유무에 따라 미세먼지, 초미세먼지, 벤젠의 농도가 유의하게 감소한다는 것을 알 수 있었다.

또한, 새건물증후군 점수의 경우 대조군에 비하여 민감군에서 통계적으로 유의하게 감소하였다.

다만, 건강영향 자각 증상 중 알레르기 비염 증상 VAS, 알레르기비염 눈증상 VAS의 점수의 경우 대조군보다 민감군에서 감소하였으나, 통계적으로 유의하지 않았다.

Table 70. (Subject of study) Multiple regression analysis of indoor pollutant and VAS score according to indoor plants

Variable	Subject of study		
	B	β	t
Indoor plants	0.037	0.042	0.675
PM10	-0.006	-0.216	-5.022***
Benzene	-0.339	-1.154	-36.552***
Toluene	0.003	0.422	8.337***
Formaldehyde	0.047	0.680	12.281***
TBC	0.004	0.119	4.626***
Temperature	0.017	0.058	0.972
Relative humidity	-0.008	-0.064	0.311
SBS score	-0.292	-0.645	-11.408***
Allergic rhinitis symptoms	-0.004	-0.006	-0.628
Watery rhinorrhea	0.001	0.003	-0.228
Sneezing	-0.002	-0.009	-0.586
Nasal stoppling	0.003	0.015	0.954
Nasal itching	0.004	0.016	1.103
Eye symptoms	-0.008	-0.029	-2.488*
F value	836.402***		
Adjusted R2	0.973		

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 71. (Control group/Sensitive group) Multiple regression analysis of indoor pollutant and VAS score according to indoor plants

Variable	Control group			Sensitive group		
	B	β	t	B	β	t
Indoor plants	0.017	0.025	0.755	0.028	0.025	0.254
PM10	-0.006	-0.232	-4.401***	-0.005	-0.182	-2.306*
Benzene	-0.342	-1.185	-29.711**	-0.336	-1.104	-20.581***
Toluene	0.003	0.397	6.382***	0.004	0.464	5.100***
Formaldehyde	0.049	0.726	10.289***	0.044	0.610	6.611***
TBC	0.004	0.133	4.135***	0.003	0.103	2.224*
Temperature	0.004	0.016	0.207	0.038	0.109	1.112
Relative humidity	-0.009	-0.097	0.235	-0.007	-0.042	-0.409
SBS score	-0.288	-0.638	-9.055***	-0.302	-0.660	-6.599***
Allergic rhinitis symptoms	-0.006	-0.007	-0.511	-0.006	-0.011	-0.602
Watery rhinorrhea	-0.003	-0.009	-0.392	0.005	0.024	1.125
Sneezing	-0.004	-0.014	-0.734	-0.003	-0.014	-0.579
Nasal stoppling	0.005	0.018	0.795	0.002	0.011	0.430
Nasal itching	0.003	0.010	0.486	0.004	0.018	0.756
Eye symptoms	-0.009	-0.019	-1.165	-0.007	-0.035	-1.763
F value	544.251***			282.141***		
Adjusted R2	0.975			0.969		

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

2.2.7) 안구건조증 증상 평가 결과

2차년도 연구 대상자의 좌우안에서 측정한 눈물막 파괴시간의 1차와 2차 평균값은 두 사무실에서 근무하는 근로자 모두 유의한 변화는 관찰되지 않았다. 식물 비적용 그룹의 눈물막 파괴시간은 1차 시기에 우안 6.80 ± 1.10 초 좌안 6.70 ± 0.97 초, 2차 시기에 우안 7.21 ± 1.22 초, 좌안 7.00 ± 1.04 초 였고, 식물 적용 그룹에서는 우안 8.33 ± 1.75 초 좌안 7.33 ± 1.97 초, 2차 시기에 우안 7.00 ± 1.22 초, 좌안 7.00 ± 1.22 초를 나타냈다.

Table 72. Changes of ocular tear-break up time for workers in newly built office building according to indoor plants.

Indoor plant	Measurement time	Tear-break up time (sec)	
		Right eye	Left eye
		Mean \pm SD	
Without (n=6)	(1st)	6.80 ± 1.10	6.70 ± 0.97
	(2nd)	7.21 ± 1.22	7.00 ± 1.04
With (n=9)	(1st)	8.33 ± 1.75	7.33 ± 1.97
	(2nd)	7.00 ± 1.22	7.00 ± 1.22

2차년도 연구 대상 사무실의 식물 적용 유무에 따라 두 사무실에서 근무하는 근로자들의 결막 충혈 정도를 측정한 결과, 결막의 상, 하, 귀, 코 각 지점별의 충혈은 두 그룹에서 모두 1차 시기에 비해 2차 시기에 충혈 정도가 호전되지는 않았다. 그러나 네 지점의 평균 결막충혈 점수에서 식물 적용 그룹에서는 우안 1.25 ± 0.52 점에서 1.40 ± 0.45 점, 좌안 1.54 ± 0.58 점에서 1.50 ± 0.68 점으로 1차와 2차 시기에 변화가 없었던 반면에, 식물 비적용 그룹은 우안 1.60 ± 0.74 점에서 1.96 ± 0.67 점, 좌안 1.50 ± 0.87 점에서 1.78 ± 0.85 점으로 약간 충혈 정도가 높아졌다.

Table 73. Changes of ocular conjunctival redness for workers in newly built office building according to indoor plants.

Indoor plant	R/L	Measurement time	Conjunctival redness (grade)				
			Superior	Inferior	Temporal	Nasal	Mean
Without	Right	(1st)	1.60±0.89	1.60±0.89	1.60±0.89	1.60±0.89	1.60±0.74
		(2nd)	1.43±0.53	1.57±0.89	2.43±0.98	2.43±0.79	1.96±0.67
	Left	(1st)	1.80±0.84	1.60±0.89	1.40±0.89	1.20±0.84	1.50±0.87
		(2nd)	1.57±0.98	1.57±0.79	2.00±0.82	2.00±0.82	1.78±0.85
With	Right	(1st)	1.33±0.82	1.33±0.52	1.33±1.03	1.00±0.63	1.25±0.52
		(2nd)	1.00±0.71	1.20±0.45	1.80±0.45	1.60±0.89	1.40±0.45
	Left	(1st)	1.33±0.52	1.50±0.55	1.83±0.75	1.50±1.05	1.54±0.58
		(2nd)	1.00±1.00	1.20±0.84	2.00±0.74	1.80±0.84	1.50±0.68

식물 미적용 그룹에서 1차 시기에 비해 2차 시기에 눈의 가려움증, 피로감과 안통은 약간씩 증상이 감소하였으나 눈꺼풀 부종 증상은 1차 시기에 0.60±0.89점에서 2차 시기에 1.17±1.33점로 약간 증가하였다. 안구건조증과 관련된 자각증상을 합산하여 산출한 OSDI는 1차 시기에 32.92±28.04점에서 2차 시기에 24.31±28.36점으로 중등도에서 경도로 호전되었다.

식물 적용 그룹에서는 눈의 가려움증, 피로감, 안통, 그리고 눈꺼풀 부종 증상에서 모두 1차 시기에 각각 1.38±1.30점, 1.10±1.20점, 2.38±1.51점 1.63±1.60점에서 2차 시기에 각각 0.00±0.00점, 0.67±1.21점, 1.17±1.47점 그리고 0.50±1.22점을 보여 식물 미적용 그룹에 비해 자각증상이 많이 호전됨을 보였다. 또한 OSDI 값 또한 1차 시기에 평균 29.69±24.50점의 중등도에서 2차 시기에 평균 13.10±11.58점의 경도로 호전되어, 건성안에 비해 안구건조증이 없다고 판단하는 기준인 13점에 근접할 만큼 향상됨을 보였다.

Table 74. Ocular subjective symptoms score according to indoor plants

Indoor plant	Measurement time	Itching	Eyelids edema	Ocular fatigue	Pain	OSDI
		Mean ± SD				
Without	(1st)	1.20±0.84	0.60±0.89	2.2±0.84	1.40±0.89	32.92±28.04
	(2nd)	0.83±0.98	1.17±1.33	1.17±1.33	0.83±0.98	24.31±28.36
With	(1st)	1.38±1.30	1.10±1.20	2.38±1.51	1.63±1.60	29.69±24.50
	(2nd)	0.00±0.00	0.67±1.21	1.17±1.47	0.50±1.22	13.10±11.58

2.2.8) 비습(콧물)도말 검사(Nasal Smeat)

알레르기 비결막염의 병태생리에서 중요한 역할을 수행하는 호산구 등 알레르기 염증세포를 비침막으로부터 얻기 위해 연구 참여군의 비침막으로부터 콧물을 채취하여 이러한 알레르기 염증세포들 중 특히 호산구에 현저하게 염색되는 특수염색인 Wright-Giemsa 염색을 시행하고, 일부 표본은 특수항체 시약을 이용한 면역조직화학 염색을 시행하여 식물도입 전후 객관적 염증 지표를 비교분석하고 있다.

식물 도입 전후, 대상군 중, 검체 채취에 설명동의한 대상군 가톨릭관동의대 재학생 알레르기비염 환자군 11명 (참여 등)로부터 1회 검사에서 1인당 2~3개씩 검체를 채취하였다. 검체의 채취는 대상자가 코를 풀어 비강내 이물질을 제거하면 관련과 임상전문의가 비침막세포 채취 전용으로 개발된 flocked swab brush (FLOQSwabs(TM); COPAN, Italy)를 이용하여 1회씩, 이후 면봉을 이용하여 2회씩 중비갑개(middle turbinate) 중앙부위의 비침막에서 비습검체를 채취하였다. flocked swab으로 채취한 검체는 세포 보존액인 E-PREP solution이 담긴 용기에 즉시 담근 후, 전문 검사실로 수송하여 액상세포검사 장비인 E-PREP Liquid-Based Cytology system (Hanbi-medical, Korea)을 이용해 특수 세포조직슬라이드를 제작한 후, 면역조직화학 염색을 위하여 acetone 섭씨 4도 냉장 하에 전처치를 시행하고 즉시 deep freezer에 급속 냉동하여 섭씨 영하 70도에서 보관하였다가 관련 추가실험을 진행하고, 면봉으로 채취한 검체는 바로 슬라이드글라스에 도말하여 섭씨 4도 냉장하에 검사실로 이송하여 Wright-Giemsa 염색을 시행하는 과정을 거친다. 한편, 어린 이집 어린이 대상군에 대해서는 비강점막 자극감 유발 등을 고려하여 면봉을 이용한 검체 채취만을 시행하였다.

⑦ Wright-Giemsa 염색 및 비습도말 세포분석(Cytology)

식물도입 전후 채취된 비습도말 검체(원예특작원 재실자 검체 1회차 24개 및 가톨릭관동의대 재학생 알레르기비염 환자군 11명 대상 검체 1, 2차 채취 예정) 중 일부는 Wright-Giemsa 염색을 완료하였으며, 호산구, 호중구 등 염증세포 분율 판독예정으로 식물도입 전후 변화에 대한 추가 비교분석 연구를 진행하고 있다. 염색된 비습도말 표본은 알레르기 전문의가 광학현미경 1,000배율로 각 표본에서 세포분산이 적절하게 이루어진 부분을 골라 10개소 이상 염증세포(호산구, 호중구 등)를 계수하게 된다. 이 때, 그 평균값을 기준에 사용되고 있는 반정량적 비침막 세포진 평가체계(semiquantitative nasal cytology grading score)인 Meltzer 척도(Meltzer EO 등, J Allergy Clin Immunol 1988;2:47-54)를 사용하여 처리하고 있다. 이 척도에서 호산구와 호중구는 고배율(1,000배) 10개소 평균 계수값이 20.0 초과이면 4+, 16.0~20.0 이면 3+, 6.0~15.0 이면 2+, 1.1~5.0은 1+, 0.1~1.0은 1/2+, 0은 0으로 평가하게 된다. 판독결과는 기존 연구 분석자료를 통합하여 알레르기 비결막염 이환군, 대조군의 식물도입 전후 비습 내 호산구, 호중구 등 염증세포들의 분율변화 및 영향에 대한 추가적인 비교분석에 사용하였다.

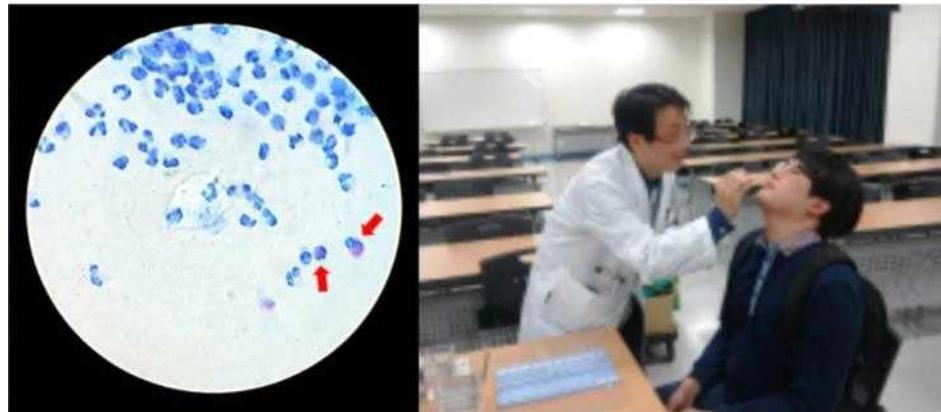


Figure 227. The sample image of Wright-Giemsa staining for nasal smear cytology (left; Red arrows indicate eosinophils.), the procedure and process for sampling nasal smear specimens (right).

㉡ 면역조직화학염색 세포분석(Immunohistochemical staining Cytology)

식물도입 전후 비강상피세포의 PAR-2 발현 양상 비교하고자, 각 대상 실내공간마다 식물 도입 전/후 피험자들로부터 채취한 비습도말 검체에 대해서는 면역조직화학 염색 등이 가능하도록 Cold Acetone 전처치 및 Deep freezer 보관작업을 진행하였다. 비강점막 전용의 특수세포체취 기구 및 액상세포조직검사 기법을 이용하여 특수 조직슬라이드를 제작하는 전처치 및 보관 작업을 진행하고 취합된 대상군일 자료를 바탕으로 선별한 PAR-2 면역조직화학염색 대상 검체를 이용한 체계적 연구를 추가로 계획 중이다.

2.2.9) 산화스트레스 검사(Malondialdehyde)

3차년도 신축어린이집 식물도입 전·후 식물적용에 따른 어린이의 산화스트레스감소를 관찰하려 하였으나, 오히려 식물을 적용한 후의 검사결과에서 높은 값을 확인 할 수 있었다. 실험군 뿐만 아니라, 대조군의 산화스트레스 농도가 높아진 것을 보았을때 검사당시인 9월 실외 미세먼지 높았기 때문과 상대적으로 저농도인 실내공간의 영향을 크게 받지 않았을 것이라고 사료한다.

Table 75. MDA(Malondialdehyde) Concentration according to indoor plants

	Case		Control	
	Before	After	Before	After
N	24		20	
mean	2.56	9.62	2.128	10.049
SD	1.647	6.602	1.561	5.915
p-value	0.014*		0.0001***	

2.2.10) 스트레스 호르몬 검사(Cortisol)

신축어린이집 2곳에서 식물적용 전과 적용 후 2개월에 식물 적용 유·무에 따른 임상적 변화를 관찰하기 위해 스트레스호르몬 검사를 실시하였다. 검사결과 식물 적용을 적용한

교실에서 식물을 적용하기 전보다 더 낮은 농도수치를 나타내었다. 하지만, 식물의 적용기간이 2개월로 짧고 시험대상자의 수가 전체 50명 미만으로 적으므로 이후 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 76. The concentration variance in cortisol according to plant application

Classify	Concentration	
	Before	Mean±S.D After
The day care center A (older than 1years)		
Case	2.72 ± 1.28	2.75 ± 1.26
Control	1.84 ± 0.58	2.62 ± 0.45
The day care center B (older than 2years)		
Case	2.69 ± 1.15	1.92 ± 1.24
Control	2.70 ± 1.26	2.52 ± 2.02

Table 77. Cortisol Concentration according to indoor plants

	CASE		Control	
	Before	After	Before	After
MAX	4.94	6.29	4.66	8.72
MIN	1.19	0.86	1.13	0.58
MEAN	2.71	2.36	2.54	2.49
SD	1.20	1.27	1.22	1.66

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

제1절 : 목표대비 달성도

<제1세부과제 : 식물의 환경정화 효율 증진을 위한 지하부 조건 구명>

연차	당초 목표	가중치	개발 내용	달성도
1차년도 (2014)	1) 근권부 통기량	50	1) 휘발성유기화합물(VOC)의 근권부 미생물로 이동 방법 구명	100%
	2) VOC의 근권부 미생물이동 방법	50	2) 근권부 통기량에 따른 미생물에 의한 휘발성유기화합물(VOC) 정화효과 구명	
2차년도 (2015)	1) 톨루엔 제거율 향상을 위한 접종 미생물의 근권부에 효과적 증식 방법 구명	50	1) 톨루엔 제거율 향상을 위한 접종 미생물의 근권부에 효과적 증식 방법 구명	100%
	2) VOC 처리에 따른 토양 층 내의 미생물 분포	50	2) 톨루엔 처리에 따른 화분 토양 층내 미생물 분포 구명	
3차년도 (2016)	1) 패널형 토양 층 내의 뿌리 밀도별 VOCs	50	1) “바이오 월” 패널 층의 뿌리 밀도별 휘발성유기화합물(VOC) 제거효과 구명	100%
	2) VOC 제거 활성화를 위한 첨가물질 효과	50	2) 토양 첨가물질을 활용한 휘발성 유기화합물 (VOC) 제거율 향상효과 탐색	
최 종	○ 지하부의 조건에 따른 환경 정화 효율 변화 구명	100%		

<제1협동과제 : 휘발성유기화합물(VOC) 정화에 관련된 원예식물의 근권부 미생물 탐색>

당초 목표	가중치(%)	개발 내용	달성도(%)
1)근권부 미생물을 10종 이상 분리, VOCs 제거 확인, 첨가물이 근권 미생물의 생장에 미치는 영향	40	1)47종 분리 동정 및 11종 보관 중, <i>Pseudomonas</i> 속 미생물의 toluene 제거 확인, Xylene, formaldehyde 첨가에 따른 미생물 생장 억제 확인	100
2)VOCs 농도 별 제거율 측정, 광량 변화에 따른 식물 생장 확인, 미생물의 적용 방법에 따른 VOCs 제거율 확인	30	2)Toluene 농도 별 제거율 분석, 광조건 변화에 따른 식물 생장 차이 확인, Perlite에 미생물 고정화하여 toluene 제거 확인	100
3)식물 - 미생물 반응기의 장기적 운용가능, VOCs 제거 최적화 조건 확인, VOCs 제거율 증가	30	3)밀폐형, 원통 순환형 식물-미생물 반응기 제작 및 운용, 근권 미생물 생육 조건 (질소원, 탄소원 등) 확인, Toluene 주입 시 근권 미생물 증가 확인	100
	100%		

<제2협동과제: 식물과 근권부 미생물을 활용한 환경정화 효과 극대화 시스템 개발>

당초 목표	가중치(%)	개발 내용	달성도 (%)
1차년도(2014) 실내환경정화 식물의 근권부 미생물 활용을 위한 패널형시스템 개발	30	<p>1)환경정화 식물시스템의 식물뿌리 활착을 위한 특수패널 개발 -식물 식생 패널 재료 수집(패널의 경량화, 뿌리활착, 습도유지, 근 권부 활성화 등)</p> <p>-식물뿌리 활착 가능한 패널 개발 -개발 후 식물생육 및 뿌리생육관찰</p> <p>2)특수패널을 적용한 식물 근권부 활용 능력 향상을 위한 모듈시스템 개발 -식물 및 뿌리생육에 적합한 모듈개발(모듈의 경량화, 식물생육, 관수, 패널과의 접목 등) -패널시스템 개발(개발된 모듈과 특수패널을 접목시켜 시스템화)</p>	100
2차년도(2015) 실내 환경정화 패널시스템의 기술 검증 및 보완	30	<p>1)개발된 환경정화 패널시스템과 다양한 실내 환경정화 시스템별 효과분석 -실내 환경정화 시스템별 효과분석 (Bio-Wall(팬 무), Bio-Wall(팬 유), Bio-Wall 패널시스템(팬 유)) -휘발성유기화합물(VOC)측정</p> <p>2)환경정화 패널시스템의 효율성 극대화를 위한 기술보완 및 개발 -실험결과를 토대로 기술보완 및 개발</p>	100
3차년도(2015) 식물 근권부 미생물 활용한 환경 정화 Bio-Wall 패널시스템 현장적용 및 기술 실용화	40	<p>1)사무공간 및 실내에 근권부 미생물 환경정화Bio-Wall 패널시스템 시제품 제작 -Bio-Wall 패널시스템 시제품 제작 -Bio-Wall 패널시스템 기술보완</p> <p>2)매뉴얼 제작 -연구결과를 토대로 매뉴얼 작성 -Bio-Wall 패널시스템 설계도면제작 -설계, 시공, 유지, 관리, 적용사례 등</p>	100
100%			

<제3협동과제: 실내식물의 근관부 정화효과를 활용한 건강증진 방법 개발>

당초 목표	가중치(%)	개발 내용	달성도(%)
식물도입에 따른 재실자 건강증진 효과 구명	20	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상 건물 및 평가 대상자로 신축학교 학생 선정 ○ 실내유해물질평가 <ul style="list-style-type: none"> - 품알데하이드, 휘발성유기화합물류, 미세먼지(PM10) - 이산화탄소, 온도 및 습도 등 ○ 알레르기성 비결막염 및 안구 관련 증상 ○ 식물의 적용 : 공간 대비 0%, 1.5% 및 3% 적용 시 환경 및 건강 영향 비교 평가 	100%
알레르기성 비결막염 및 천식환자	20	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환자 코호트 구성(신축학교에서 환자 선별) ○ 임상 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 콧물도말 검체 세포분석 등 - VAS(Visual analog score), ARIA severity/medication score 설문 평가 ○ 비결막염 삶의 질 설문(16항목) - 건강자각 증상 설문(한국형 SF-36) 	100%
식물도입에 따른 재실자 건강증진 효과 구명	20	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상 건물 및 평가 대상자로 신축건물 재실자 선정 ○ 알레르기관련 질환 내원환자들(민감군) 선정 ○ 실내유해물질평가 영향 <ul style="list-style-type: none"> - 알데하이드(Formaldehyde), 휘발성유기화합물류(VOCs), 미세먼지(PM-10), 이산화탄소(CO2), 온도 및 습도 등 ○ 알레르기성 비결막염 및 안구 관련 증상 ○ 식물의 적용 : 공간 대비 0%, 1.5% 및 3% 적용 시 환경 및 건강 영향 비교 평가 	100%
알레르기성 비결막염 및 천식환자	10	<ul style="list-style-type: none"> ○ 임상 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 콧물도말 검체 세포분석 등 - VAS(Visual analog score), ARIA severity/medication score ○ 설문 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 비결막염 삶의 질 설문(16항목) - 건강자각 증상 설문(한국형 SF-36) 	70%
식물도입에 따른 민감군 건강증진 효과 구명	20	<ul style="list-style-type: none"> ○ 어린이(민감군)선정 ○ 실내유해물질평가 <ul style="list-style-type: none"> - 품알데하이드, 휘발성유기화합물류, 미세먼지(PM10) ○ 실내식물 선정 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 환경정화용 식물시스템 적용 	100%
알레르기성 비결막염환자 및 천식환자	10	<ul style="list-style-type: none"> ○ 내과(알레르기 질환) 전문의 진단 ○ 임상 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 콧물도말 검체 세포분석 등 - VAS(Visual analog score), ARIA severity/medication score 설문 평가 스트레스 관련 호르몬(코티졸) 분석 ○ 설문 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 비결막염 삶의 질 설문 - 건강자각 증상 설문(한국형 SF-36) 	80%
	100%		

제2절 : 정량적 성과

연도 성과지표명	1년차 (2014)		2년차 (2015)		당해년차 (2016)		계		가중치** (%)		
	목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적			
논문게재	SCI	1	3	2	8	2	3	5	14	280	5
	비SCI	1	1	2	2	2	0	5	3	60	10
산업재산권	출원	1	2	1	2		2	2	6	300	5
	등록										
학술발표	국제	1	4		2			1	6	600	5
	국내	4	6	4	5	4	4	12	15	125	30
품종	출원										
	등록										
DB 구축											
국내외 기술협력·협정체결											
기능성물질·소재 개발											
기술이전(무상)					1				1		
기술이전(유상, 기술료)											
기준·지침·규정 작성											
농가기술지도·컨설팅· 현장기술지원		5		2		2		9		5	
농자재 심사·등록											
현장적용·실증		3						3			
생명정보 등록·기탁											
생물자원 등록·기탁											
영농활용 기관제출			1	2			1	2	200		
영농활용 채택				2							
우량계통 육성·선발·증식											
유전자원 증식·분양·보급											
자료발간		2			1	1	1	3	300	5	
전문서 등 저술활동											
정보·전산프로그램·저 작권 개발·등록											
정책제안 기관제출		1									
정책제안 채택		1									
제도개선											
품종 증식·분양·보급											
형질전환체 개발											
형질전환체 증식											
홍보성과	1	115.3	2	16.7	3	107.3	6	239.3	3988	35	
계	10	143.3	14	42.7	2,028	119.3	33	301.3	5,853	100	

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

- 실내 VOCs 제거가 가능한 식물-미생물, 균권부 통기 등 논문계재
- 실내식물의 사무실, 가정 등에서 공기정화 효과 등 홍보자료로 활용
- 사무실 벽면을 활용한 바이오 월 등을 활용한 “스마트 그린힐링 오피스” 제안으로 정부 3.0 과제 등에 활용하여 화훼산업 소비 촉진에 활용
 - 매뉴얼 제작으로 시공 및 관리 체계화
 - 바이오 월을 활용한 정부 3.0 과제 제안 및 발표
- 환경 정화 효과 극대화 시스템 개발의 적용을 통한 친환경적 제품으로 개발하여 사무실, 학교, 공공장소에 현정적용할 수 있는 제품으로 개발
- 공간활용 및 통합적 실용성을 갖춘 벽면녹화 시스템 개발
- 환경 정화 효과 극대화 시스템 개발의 적용을 통한 건강증진 및 질병경감의 긍정적 효과로 인한 학교, 노인 및 어린이 대상 시설, 병원, 관공서, 일반 사무공간 등 친환경적 개선 제품으로의 활용

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

- 해당사항 없음

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급

보안 등급 분류	보안	일반
		✓
결정 사유	「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」, 제24조의4에 해당하지 않음	

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구 시설/ 연구 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천 원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치장소)	NTIS장비 등록 번호
원예원	기체크로마토그라피	DSQ GC/MS	1	2004.7.22	96,540	Thermo Electron	원예원 도시농업과	NFEC-201 1-02-14074 6
원예원	열탈착장치	Ultra2/MTS 32/TC20	1	2007.7.25	60,000	ITC21	원예원 도시농업과	NFEC-201 2-03-16001 8
건국대학교 산학협력단	VOC meter	118x60x30(ToxiRAE Pro, PID)	1	2015.09.09	2,310	엔코 (032-322-9831)	신공학관 616호	

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

가. 연구실 안전조치 이행계획

- 「연구실 안전환경 조성에 관한 법률」 및 「산업안전보건법」에 따른 연구실 안전조치를 이행하고 있고, 지속적인 안전교육을 실시하고 있음

나. LMO 연구시설 및 수입신고 현황 : 해당사항 없음

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지 / 특허등록국가	Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부	특기사항
1	SCI 논문	Removal ratio of gaseous toluene and xylene transported from air to root zone via the stem by indoor plants	원예원	주저자	Environ Sci Pollut Res	2.8	2016	단독사사	
2	SCI 논문	COMPARISON OF GREEN AND VARIEGATED FOLIAGE PLANT SPECIES BASED ON CHLOROPHYLL FLUORESCENCE PARAMETERS UNDER DIFFERENT LIGHT INTENSITIES	원예원	주저자	Pak. J. Bot.		2015	단독사사	
3	논문	In situ immobilization of lysine decarboxylase on a biopolymer by fusion with phasin: Immobilization of CadA on intracellular PHA	건국대 학교 산학협력단	공동 저자	Process Biochemistry	2.529	2016.07.20	중복사사	SCI
4	논문	Effect of deep eutectic solvent mixtures on lipase activity and stability	건국대 학교 산학협력단	공동 저자	Journal of Molecular Catalysis B-Enzymatic	2.128	2016.03.30	중복사사	SCI
5	특허	바이오플라스틱을 이용한 항균성 신발 깔창의 제조방법 및 이에 의해 제조된 항균성 신발 깔창	건국대 학교 산학협력단	주발명자	대한민국		2016.07.08	단독사사	
6	기타	Electrochemical detection of bacteria using activated carbon	건국대 학교 산학협력단	발표자	대한민국		2016.09.01		

7	기타	Bioluminescence and electrochemical activities of <i>Vibrio fischeri</i> in batch and continuous cultures	전국대학교 산학협력단	발표자	일본		2016.09.29		
8	기타	Visualization of toluene-degrading <i>Pseudomonas putida</i> using fluorescent in situ hybridization (FISH)	전국대학교 산학협력단	발표자	일본		2016.09.30		
9	특허	미생물을 포함하는 식물 배양배지 및 이의 제조방법	전국대학교 산학협력단	주발명자	대한민국		2015.07.07	단독사사	
10	논문	Lipase-Catalyzed Production of 6-O-cinnamoyl-sorbitol from D-sorbitol and Cinnamic Acid Esters	전국대학교 산학협력단	공동저자	Applied Biochemistry and Biotechnology	1.735	2015.03.12	중복사사	SCI
11	논문	Application of cellulose/lignin hydrogel beads as novel supports for immobilizing lipase	전국대학교 산학협력단	공동저자	Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic	2.128	2015.05.26	중복사사	SCI
12	논문	In Vitro Cytotoxic Evaluation of MgO Nanoparticles and Their Effect on the Expression of ROS Genes	전국대학교 산학협력단	공동저자	INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES	2.862	2015.04.03	중복사사	SCI
13	논문	Wood mimetic hydrogel beads for enzyme immobilization	전국대학교 산학협력단	공동저자	Carbohydrate Polymers	4.074	2015.01.29	중복사사	SCI
14	논문	Influence of ionic liquids as solvents for the chemical synthesis of poly(3-octylthiophene) with FeCl ₃	전국대학교 산학협력단	공동저자	Rscadvances	3.84	2015.03.04	중복사사	SCI
15	논문	Cytotoxic Effects of ZnO Nanoparticles on the Expression of ROS-Responsive Genes in the Human Cell Lines	전국대학교 산학협력단	공동저자	Journal of Nanoscience and Nanotechnology	1.556	2016.01.01	단독사사	SCI
16	논문	LED light stress induced biomass and fatty acid production in microalgal biosystem, <i>Acutodesmus obliquus</i>	전국대학교 산학협력단	공동저자	Spectrochim Acta A	2.353	2015.03.09	중복사사	SCI
17	기타	Investigation of the VOCs Removal Rhizosphere Microorganism from Indoor Plants	전국대학교 산학협력단	발표자	대한민국		2015.06.25		

18		벽면녹화시스템(Bio Wall)내의 복합식생매트 종류가 실내식물 균형부 활성화와 생육에 미치는 효과	가든포유		한국인간식 물환경학회 지		2014년11월		
19	특허 출원	식물의 균형부를 이용한 실내환경 개선 벽면녹화용 화분 조립체 (특허출원번호 10-2014-0160081)			대한민국		2014년 11월		
20	학술 발표	실내식물의 균형부 활성화와 생육에 적합한 벽면녹화용 혼합상토 배지의 선발			한국인간식 물환경학회 지		2015년11월		
21	특허 출원	식물의 균형부를 이용한 실내 환경 개선 벽면 녹화용 화분 조립체 특허출원 번호: 10-2015-0156602			대한민국		2015년11월		
22	자료 발간	Bio-Wall System 매뉴얼					2016년11월		
23	논문	Evaluation of Self-assessed Ocular Discomfort among Students in Classrooms According to Indoor Plant Intervention	연세대	교신 저자	미국		2016.8		SCI-
24	논문	House-plant placement for indoor air purification and health benefits on asthmatics	연세대	주저자	한국		2014.11		비SCI
25	논문	초등학교 교실 내 식재량에 따른 실내공기질 및 재실자 건강점수 변화	연세대	공동 저자	한국		2015.09		비SCI
26	논문	식재료를 내고 기정화식재료 적용 후 실내공기질 평가	연세대	공동 저자	한국		2015.12		-비SCI
27	학술 발표	초등학교 교실 내 식재량에 따른 환경 농도 변화 연구	연세대	공동 참여자	한국		2014.09		
28	학술 발표	식재료 및 일별 초등학교 교실내 식재량에 따른 환경농도 변화와 알레르기 증상 평가	연세대	공동 참여자	한국		2014.09		
29	학술 발표	신축 오피스 건물의 실내식물 도입으로 인한 효과 평가	연세대	공동 참여자	한국		2014.09		
30	학술 발표	식재료에 따른 실내 환경 유기화합물(VOCs) 농도 알레르기 질환 완화에 대한 평가	연세대	공동 참여자	한국		2015.09		
31	학술 발표	식물 도입에 따른 실내 환경 유기화합물과 알레르기 질환 완화에 대한 평가	연세대	공동 참여자	한국		2016.11		
32	학술 발표	식물 유무에 따른 환경 유기화합물(VOCs) 농도 비교	연세대	공동 참여자	한국		2016.11		

제 11 장 기타사항: 해당사항 없음

제 12 장 참고문헌

1. Godish, T., Spengler, J. D., 1996, Relationships between ventilation and indoor air quality: a review, *Indoor Air*, 6(2), 135–145.
2. 주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼, 2012, 환경부·국립환경과학원.
3. Wolverton, B. C., Johnson, A., Bounds, K., 1989, Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, NASA.
4. 이은영, 윤동현, 조옥상, 정혜숙, 김근, 2004, 분변토로부터 VOC 분해 미생물의 분리 및 특성에 대한 연구, 한국냄새환경학회 학술발표회, 186–190.
5. 정연규, 장상례, 박혜영, 안수정, 홍승모, 2004, 구두발표: VOC 및 악취관리; Black yeast fungi 를 이용한 생물여과 반응기에서의 VOCs 제거 특성, 대한환경공학회 추계학술발표논문집, 2004(단일호), 456–465.
6. 신승규, 송지현, 장현섭, 황선진, 2006, Toluene 농도 변화에 따른 계면활성제 미생물 반응기의 운전특성과 미생물 군집 변동, 한국대기환경학회 학술대회논문집, 253–255.
7. Chun, S. C., Yoo, M. H., Moon, Y. S., Shin, M. H., Son, K. C., Chung, I. M., Kays, S. J., 2010, Effect of bacterial population from rhizosphere of various foliage plants on removal of indoor volatile organic compounds, *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, 28(3), 476–483.
8. 유희욱, 담체 교반모듈을 이용한 악취/VOC 제거용 대용량 무막힘 바이오플터 상용화, 환경부, 2007.
9. 홍정, 이종석, 박천호, 2005, 실내환경에서 휘발성 유기화합물에 대한 내성이 있는 자생식물의 선발과 그들의 정화 메카니즘, *원예과학기술지*, 23(1), 97–103.
10. 안영상, 정재형, 권오열, 2007, 대기환경: 고농도 휘발성유기화합물에 대한 실내공기정화식물의 제거효과에 관한 실험적 연구, 한국환경과학회 학술발표논문집, 16(단일호), 142–144.
11. Wieslander, G., Norbäck, D., Björnsson, E., Janson, C., Boman, G., 1996, Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces, *International archives of*

- occupational and environmental health, 69(2), 115–124.
12. Orwell, R. L., Wood, R. L., Tarran, J., Torpy, F., Burchett, M. D., 2004, Removal of benzene by the indoor plant/substrate microcosm and implications for air quality, Water, air, and soil pollution, 157(1–4), 193–207.
13. Wolverton, B. C., Wolverton, J. D., 1993, Plants and soil microorganisms: removal of formaldehyde, xylene, and ammonia from the indoor environment, Journal of the Mississippi Academy of Sciences, 38(2), 11–15.
14. Xu, Z., Wang, L., Hou, H., 2011, Formaldehyde removal by potted plant–soil systems, Journal of hazardous materials, 192(1), 314–318.
15. Li, C. Y., Hung, L. L., 1987, Nitrogen-fixing (acetylene-reducing) bacteria associated with ectomycorrhizae of Douglas-fir, Plant and Soil, 98(3), 425–428.
16. Lwin, K. M., Myint, M. M., Tar, T., Aung, W. Z. M., 2012, Isolation of plant hormone (indole-3-acetic acid-IAA) producing rhizobacteria and study on their effects on maize seedling, Engineering Journal, 16(5), 137–144.
17. Fan, S., Scow, K. M., 1993, Biodegradation of trichloroethylene and toluene by indigenous microbial populations in soil, Applied and environmental microbiology, 59(6), 1911–1918.
18. Pazarlioglu, N. K., Telefoncu, A., 2005, Biodegradation of phenol by *Pseudomonas putida* immobilized on activated pumice particles, Process Biochemistry, 40(5), 1807–1814.
19. Ivankovic, T., Hrenovic, J., Sekovanic, L., 2010, Influence of the degree of perlite expansion on immobilization of *Acinetobacter junii*, Biochemical Engineering Journal, 51(3), 117–123.
20. Chung, T. P., Tseng, H. Y., Juang, R. S., 2003, Mass transfer effect and intermediate detection for phenol degradation in immobilized *Pseudomonas putida* systems, Process Biochemistry, 38(10), 1497–1507.
21. Watt, M., Hugenholtz, P., White, R., Vinall, K., 2006, Numbers and locations of native bacteria on field-grown wheat roots quantified by fluorescence *in situ* hybridization (FISH), Environmental Microbiology, 8(5), 871–884.

22. Hahn, D., Amann, R. I., Ludwig, W., Akkermans, A. D., Schleifer, K. H., 1992, Detection of micro-organisms in soil after *in situ* hybridization with rRNA-targeted, fluorescently labelled oligonucleotides, *Microbiology*, 138(5), 879–887.
23. Gunasekera, T. S., Dorsch, M. R., Slade, M. B., Veal, D. A., 2003, Specific detection of *Pseudomonas* spp. in milk by fluorescence in situ hybridization using ribosomal RNA directed probes, *Journal of applied microbiology*, 94(5), 936–945.
24. Kim, H. J., Choi, Y. K., Jeon, H. J., Bhatia, S. K., Kim, Y. H., Kim, Y. G., Yang, Y. H., 2015, Growth promotion of *Chlorella vulgaris* by modification of nitrogen source composition with symbiotic bacteria, *Microbacterium* sp. HJ1, biomass and bioenergy, 74, 213–219.
25. 박소영, 김정, 장영기, 성기준, 2005, 실내오염물질 정화를 위한 수생식물의 이용가능성에 관한 연구, *한국환경복원녹화기술학회지*, 8(5), 1–9.
26. Godish, T. and C. Guindon. 1989. An assessment of botanical air purification as a formaldehyde mitigation measure under dynamic laboratory chamber conditions, *Envionmental Pollution* 61:13–20.
27. Kim, K.j., Kil, J.S. Song, E.H. Yoo, K.C. Son, and S.J. Kayas. 2008. Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants: Contribution of aerial plant parts versus the root zone. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 133:521–526.
28. Sawada, A. and T. Oyabu. 2008. Purification characteristics of pothos for airborne chemicals in growing conditions and its evaluation. *Atmospheric Environ.* 42:594–602
29. Yang, S.Y., S.I Cho. 2013. A Study on the Vertical Garden for Indoo Space. *Journal of the Korean Institute of Interior Design*. 22(2)33–42
30. Yoo, M.H., 2005. Effects of foliage plants, media, soil microorganism, and purification system on the improvement of indiir air quality. Ph.D. Thesis., Konkuk Univ., Seoul, Korea.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「농업정책지원기술개발사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「농업정책지원기술개발사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.