

A Proposal Study on Urban Regeneration  
Project in Goyang City

미세먼지 저감과 도시환경  
개선을 위한 플랜트 모듈  
그린 커버 개발

김 윤  
윤 태 민  
홍 상 현

A Proposal Study on Urban Regeneration Project in Goyang City

## 미세먼지 저감과 도시환경 개선을 위한 플랜트 모듈 그린 커버 개발

### 연구책임자

김 윤(중부대학교 환경조경학과)

윤태민(중부대학교 환경조경학과)

홍상현(중부대학교 환경조경학과)

### 공동연구자

임지열(고양시정연구원 부연구위원)

**발행일** 2020년 12월 03일

**저자** 김 윤, 윤태민, 홍상현, 임지열

**발행인** 이재은

**발행처** 고양시정연구원

**주소** 10393 경기도 고양시 일산동구 태극로 60 빛마루방송지원센터 11층

**전화** 031-8073-8341

**홈페이지** [www.gyri.re.kr](http://www.gyri.re.kr)

**S N S** <https://www.facebook.com/goyangre/>

이 보고서의 내용은 연구진의 개인적인 견해로서, 고양시정연구원의 공식 견해와는 다를 수 있습니다.

# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	<b>07</b>
제1절 연구 배경 및 목적 .....	08
제2절 연구의 필요성 및 연구방법 .....	10
<b>제2장 이론적 논의와 고양시 현황</b> .....	<b>12</b>
제1절 미세먼지의 정의와 문제점 .....	13
제2절 미세먼지 관련 선행연구 및 사례연구 .....	15
제3절 고양시의 상황과 해결방안 .....	27
<b>제3장 연구설계</b> .....	<b>30</b>
제1절 모듈 선정 .....	32
제2절 식물과 장소 선정 .....	35
<b>제4장 실험과정 및 분석결과</b> .....	<b>40</b>
제1절 실험방법 및 결과 .....	41
제2절 실험분석 및 정책제언 .....	49
<b>참고문헌</b> .....	<b>51</b>

## 표 목차

[표 2-1] 농촌진흥청 선정 미세먼지 저감 우수 실내식물과 미세먼지 저감량 .....	16
[표 2-2] 실험 화차별 일평균 VOCs 농도 .....	20
[표 2-3] 실험 화차별 일평균 이산화탄소 농도 .....	20
[표 2-4] 실험결과 처리구, 미처리구의 실험 결과 최솟값과 최댓값 .....	23
[표 2-5] 미세먼지 월별 대기오염도 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	27
[표 2-6] 전국 PM10 배출량 상위 6개 지역 (단위 : kg) .....	27
[표 3-1] 계절별 판매하는 양질의 식물 종류 .....	36
[표 4-1] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM1 오염농도 측정 수치 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	43
[표 4-2] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM2.5 오염농도 측정 수치 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) .....	45
[표 4-3] 무처리구, 처리구1, 처리구2 포름알데히드 오염농도 측정 수치 (단위 : $\text{mg}/\text{m}^3$ ) .....	46
[표 4-4] 무처리구, 처리구1, 처리구2 TVOC 오염농도 측정 수치 (단위 : $\text{mg}/\text{m}^3$ ) .....	47
[표 4-5] 그린 커버 제작 가격 .....	50

## 그림 목차

[그림 1-1] 수도권 주요 미세먼지 배출원 그래프	08
[그림 1-2] 연구방법 프로세스 도표	11
[그림 2-1] 미세먼지 성분 구성	13
[그림 2-2] 가시화기기로 본 미세먼지 농도	15
[그림 2-3] 4시간 후 미세먼지 농도	16
[그림 2-4] 바이오 월의 공기정화 원리	17
[그림 2-5] 실험용 목엽에 바이오 월 투입에 따른 포름알데히드 제거 수치	18
[그림 2-6] 실험에 사용한 실험용 거치대	19
[그림 2-7] Case3에 사용한 팬	19
[그림 2-8] 바이오필터 시스템 구성요소	22
[그림 2-9] 영등포구청 앞 트랙에 설치된 미세먼지 저감 벤치에서 휴식하는 시민	24
[그림 2-10] 마포구청 로비에 설치한 식물 실내공기정화기	25
[그림 3-1] 그린 커버의 공기정화의 원리	32
[그림 3-2] 그린 커버 도면	33
[그림 3-3] 그린 커버 모델링	33
[그림 3-4] 그린 커버 결합예시	34
[그림 3-5] 식물 선정의 3가지 기준	35
[그림 3-6] 중부대학교 고양캠퍼스 반경 500M 내 주거 인구 연령분포	38
[그림 4-1] 식물 20분을 식재한 그린 커버	41
[그림 4-2] 동일한 그린 커버에서 식물을 제외해 필터만 설치된 모듈	42
[그림 4-3] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM10 오염농도 측정 수치 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	44
[그림 4-4] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM2.5 오염농도 측정 수치 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	45
[그림 4-5] 무처리구, 처리구1, 처리구2 포름알데히드 오염농도 측정 수치 (단위 : $\text{mg}/\text{m}^3$ )	47
[그림 4-6] 무처리구, 처리구1, 처리구2 TVOC 오염농도 측정 수치 (단위 : $\text{mg}/\text{m}^3$ )	48

# 제 1 장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

제2절 연구의 필요성 및 연구방법

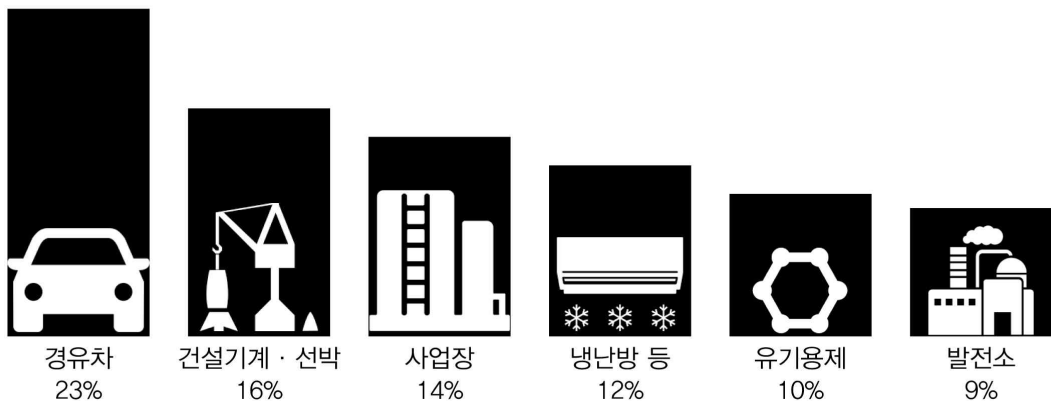
## 제철 연구배경 및 목적

### 1. 연구 배경

최근 몇 년간 전국적으로 대기질에 대한 문제가 야기되고 있다. 이에 따라 국민들의 미세먼지에 대한 관심도가 향상되었고 대책을 강구하기 위해 현재도 다양한 지자체에서 활동 및 사업을 추진하고 있다. 고양시는 ‘전기버스 보급’, ‘고양 하천 푸른 숲길 조성’, ‘친환경 보일러 설치·교체 지원’, ‘미세먼지 적마 조림 사업’ 등 여러 가지 방향으로 미세먼지 저감을 위해 노력 중이다. 하지만 고양시의 평균 미세먼지 오염도는 인근의 서울특별시 은평구와 경기도 평균 미세먼지 오염도보다 높은 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 고양형 특화산업으로 지식기반산업 중심의 디지털 콘텐츠산업 육성을 위한 고양시 현황 파악 및 이를 통한 정책 방안을 모색하고자 한다. 이는 고양시의 미세먼지 배출에 원인이 있다. 환경부 환경통계포털에 의하면 수도권 주요 미세먼지 배출원은 경유차(23%), 건설기계·선박(16%), 사업장(14%)인 것으로 분석되었다.

[그림 1-1] 수도권 주요 미세먼지 배출원 그래프



## 2. 연구 목적

본 연구는 “시민이 함께 만드는 행복도시, 고양 평화경제특별시”를 목표로 하고 있다. 고양시는 2003년부터 실시하던 ‘푸른 고양 가꾸기’라는 시민과 함께하는 도시녹화사업이 있었으나 2008년 이후 12년간 사업이 멈추었다. 녹화사업이란 나무를 심는데 그치지 않고 꾸준한 관리를 통해야 비로소 지속되고 효과가 있는 사업이다. 미세먼지 저감과 더불어 고양시의 방침에 맞는 고양시만의 정체성을 가진 사업을 다시 진행하고자 하며 기존의 단순한 조성사업이 아닌 플랜트 모듈 개발을 통해 그동안 멈추었던 ‘푸른 고양 가꾸기’ 사업의 부활과 함께 지속 가능한 사업을 진행시키고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.



## 제2절 연구의 필요성 및 연구방법

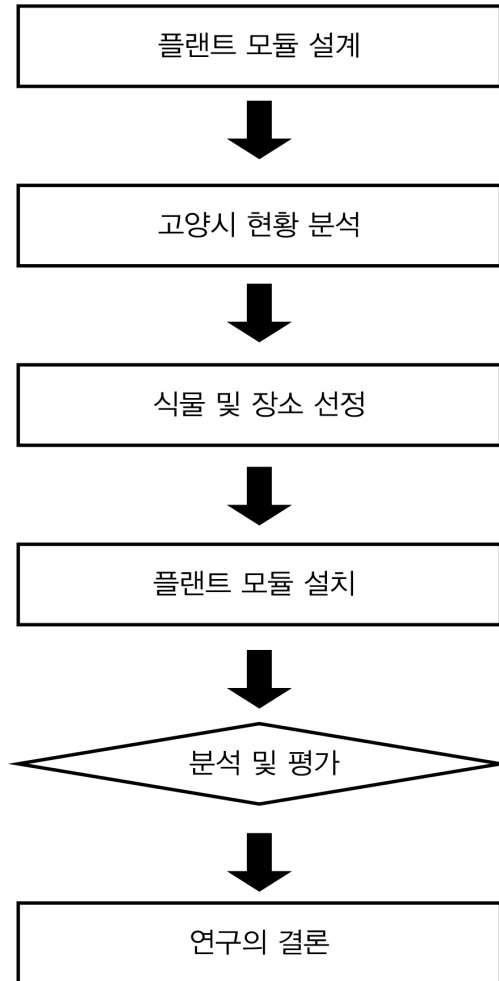
### 1. 연구 필요성

기존의 미세먼지 저감 사업은 기기에 의존한 사업들이 많다. 기기의 교체, 구입 등으로 인한 사업들은 시간이 지나면 기기가 노후가 진행이 되고 다시 투자를 해야 하는 추가적인 비용이 발생한다. 추가적인 비용은 대개 새로 구입하거나 하는 등의 큰 비용을 요하는 경우가 있어 주기적으로 큰 예산이 투입이 된다. 이 부분이 부담 되어 단기적으로 행해지는 사업이 많다. 단기적인 사업은 효과를 크게 보지 못하거나 관리가 되지 않아 무용지물이 되는 경우가 허다하다. 본 연구는 그러한 경우를 막기 위해 저비용으로 진행하고 있다. 또한 이러한 녹화사업은 다가올 환경문제에 있어 필요할 연구라 생각된다.

### 2. 연구 방법

본 연구는 필터와 식물을 이용한 미세먼지 저감 및 공기질 개선효과에 대한 연구이다. 즉 1차적으로 큰 먼지를 거를 필터와 미세먼지 2차 발생에 원인이 되는 황산화물을 정화할 식물이 합쳐진 플랜트 모듈이 실제 효과가 있는 것에 대한 실험이다. 연구에는 고양시의 환경에 적응이 가능하며 오래 생육이 가능한 식물을 선정하여 실험할 것이다.

[그림 1-2] 연구방법 프로세스 도표



# 제 2장

## 이론적 논의와 고양시 현황

제1절 미세먼지의 정의와 문제점

제2절 미세먼지 관련 선행연구 및 사례연구

제3절 고양시의 상황과 해결방안

## 제철 미세먼지의 정의와 문제점

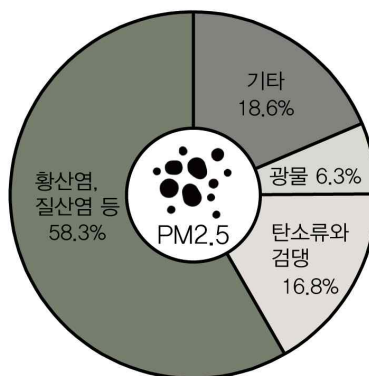
### 1. 정의

먼지란 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상의 물질을 말한다. 석탄·석유 등의 화석연료를 태울 때나 공장·자동차 등의 배출가스에서 많이 발생을 한다.

먼지는 입자의 크기에 따라 50 $\mu\text{m}$  이하인 총먼지<sup>1)</sup>와 입자크기가 매우 작은 미세먼지<sup>2)</sup>로 구분한다. 미세먼지는 지름이 10 $\mu\text{m}$  이하인 PM10과 지름이 2.5 $\mu\text{m}$  이하인 PM2.5로 나뉜다. PM10을 부유먼지, PM2.5를 미세먼지로 국내 용어로 지칭한다.

미세먼지의 성분은 일반적으로 대기오염물질이 공기 중에서 반응하여 형성된 물질(황산염, 질산염 등)과 석탄·석유 등 화석연료를 태우는 과정에서 발생하는 물질(탄소류, 검댕, 지표면 흙먼지 등)에서 생기는 물질 등으로 구성된다.

[그림 2-1] 미세먼지 성분 구성



<sup>1)</sup> TSP, Total Suspended Particles

<sup>2)</sup> PM, Particulate Matter

미세먼지 발생원은 자연적 발생원과 인위적 발생원이 있다. 자연적 발생원은 흙먼지, 바닷물에서 생긴 소금, 꽃가루 등이 있으며, 인위적 발생원은 석탄·석유 등 화석연료를 태울 때 생기는 매연, 배기가스, 날림먼지, 공장 내 분말형태의 원자재, 부자재 취급과정에서 나오는 가루, 소각장 연기 등이 있다.

또한 1차 발생원과 2차 발생원으로 구분이 된다. 1차 발생원은 날림먼지와 같은 고체 상태의 미세먼지로 나오는 경우를 말하며 2차 발생원은 가스 형태로 나오는 물질이 공기 중의 다른 물질과 화학반응을 일으켜 미세먼지가 되는 경우이다. 이중 2차적 발생원이 중요한데 그 이유는 수도권 PM2.5 발생량의 약 2/3 비중을 차지할 만큼 매우 높기 때문이다.

## 2. 문제점

먼지의 대부분은 코털이나 기관지 점막에서 걸러져 배출된다. 하지만 PM10과 PM2.5는 매우 작아 코털이나 점막에서 걸러지지 않고 몸 속에 침투한다. 미세먼지의 크기가 작을 수록 더 넓은 표면적을 가지기 때문에 입자크기가 작으면 더 많은 유해물질이 흡착되며 기관지만이 아닌 다른 인체기관으로 이동할 가능성이 높다.

미세먼지가 몸 속으로 들어오면 면역을 담당하는 세포가 먼지를 제거하는 작용을 한다. 이 과정에서 염증반응이 나타나며 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등에서 천식, 호흡기, 심혈관계 질환 등이 유발할 가능성이 있다.

노인, 유아, 임산부, 심장질환이나 순환기 환자들은 미세먼지의 영향이 일반인보다 더 크게 받을 수 있으므로 각별히 주의해야 한다.

WHO<sup>3)</sup>는 2014년 한 해에 미세먼지로 인해 일찍 사망하는 사람이 700만명에 이른다고 발표했다. WHO 산하기구 IARC<sup>4)</sup>는 미세먼지를 1군 발암물질로 분류했다.

3) 세계보건기구

4) 국제암연구소

## 제2절 미세먼지 관련 선행연구 및 사례연구

### 1. 선행 연구

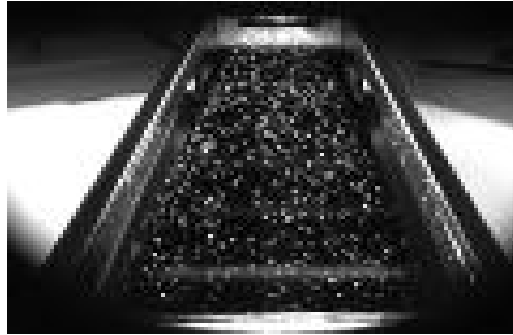
농촌진흥청은 4년에 걸쳐 여러 종의 실내 식물을 대상으로 연구한 결과 식물이 실내 미세먼지를 줄이는데 효과가 있음을 보여주었다.

실험 방법은 챔버에 미세먼지를 공기 중으로 날려 3시간이 경과한 후 가라앉는 큰 입자를 제외하고 PM2.5 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  농도로 식물이 있는 밀폐된 방과 식물이 없는 방에 각각 넣고 4시간이 지난 후 가시화 기기로 방 안 미세먼지를 관찰하는 방법으로 진행되었다.

[그림 2-2] 가시화기기로 본 미세먼지 농도



[그림 2-3] 4시간 후 미세먼지 농도



가시화 기기로 본 결과 식물이 있는 방에서 미세먼지가 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 단순히 식물이 미세먼지를 줄이는데에 효과가 있음을 증명한 것에 그치는 것이 아닌 여러 종의 식물로 실험을 진행하였다. 위와 동일한 실험 방법으로 진행했을 때, 잎 면적 1m<sup>2</sup> 크기의 식물이 4시간 동안 줄어든 미세먼지 양 기준으로 미세먼지를 없애는데 효과적인 식물을 선별했다. 미세먼지를 없애는데 우수한 식물은 파키라, 백량금, 멕시코소철, 박쥐란, 울마 총 5종이 선정되었다.

[표 2-1] 농촌진흥청 선정 미세먼지 저감 우수 실내식물과 미세먼지 저감량

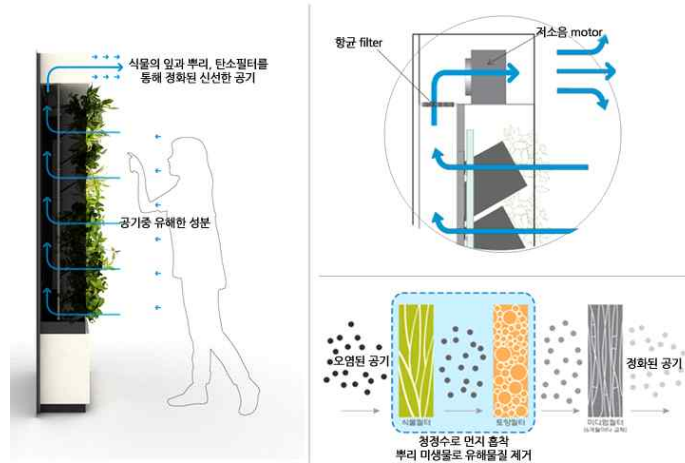
(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

식물종	파키라	백량금	멕시코소철	박쥐란	울마
저감량	155.8	142.0	140.4	133.6	111.5

초미세먼지 ‘나쁨( $55\mu\text{g}/\text{m}^3$ )’인 날 기준으로 20m<sup>2</sup>의 거실에 잎 면적 1m<sup>2</sup>의 화분 3~5개를 배치 시 4시간 동안 초미세먼지를 20% 줄일 수 있다고 보고하였다.

또한 농촌진흥청 도시농업연구팀에서는 식물을 이용한 ‘바이오 월’ 실험이 진행되었다. ‘바이오 월’은 식물의 잎에 의한 휘발성물질 흡수와 특수 정화 배양토 흡착 등으로 공기 정화 기능까지 갖춘 식물-공기청정기 시스템으로 실내 벽면녹화 중에서 공기를 순환해 뿌리 부분 미생물을 활용할 수 있도록 개발되었다. 실험 결과, ‘바이오 월’은 포름알데히드, 톨루엔 등 VOCs<sup>5)</sup>의 정화효과가 우수하고 냉난방에 소모되는 에너지 절약에 효율적인 것으로 드러났다.

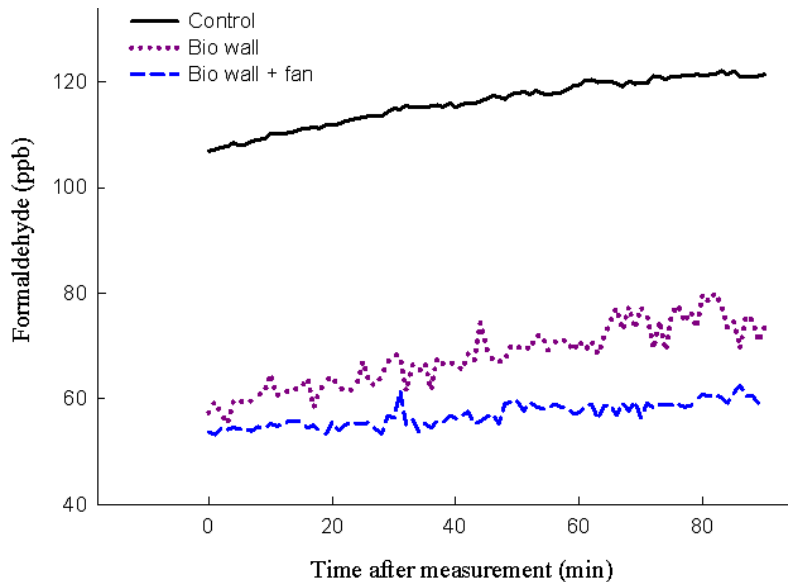
[그림 2-4] 바이오월의 공기정화 원리



포름알데히드 농도는 빈방에서 110ppb, ‘바이오 월’이 있는 방에서는 50ppb로 약 55% 감소하는 것으로 나타났다. 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌은 각각 56%, 66%, 85% 감소하는 것으로 확인되었다.



[그림 2-5] 실험용 목업에 바이오 월 투입에 따른 포름알데히드 제거 수치



‘바이오 월’은 실내의 오염된 공기가 식물 잎과 뿌리로 순환하도록 해줌으로써 식물 주변 정화에서 넓은 공간 정화가 가능함을 보여주었다. 실제 식재된 식물 1㎡당 실내 공간 15㎡ 정화가 가능한 것으로 나타났다.

농촌진흥청은 이 ‘바이오 월’에 대한 시스템을 특허 출원하고 업체로 기술이전을 완료했다. 사무실이나 상업공간, 가정 등에 보급되어 빌딩 건축 시 건물 공조형 바이오 필터레이션 시스템과 함께 적용하여 에너지 효율 빌딩 구현이 가능하다는 전망을 보고 있다.

‘실내 조경 식물을 이용한 공기정화장치 개발에 관한 연구’

서울과학기술대학교 주택대학원에서는 실내에 식물을 활용한 공기정화장치를 설치 후 밀폐된 실내 공간에서 해당 장치가 실제 실내 공기질 개선 효과를 확인하여 식물을 이용한 공기정화장치를 도입에 기여하기 위해 실험을 진행하였다.

[그림 2-6] 실험에 사용한 실험용 거치대



[그림 2-7] Case3에 사용한 팬



실험 방법으로는 밀폐된 실험실에서 식물이 없는 경우(Case1), 식물을 배치한 경우(Case2), 식물 배치 및 팬을 가동했을 경우(Case3)으로 나누어 각각 VOCs, 이산화탄소, 습도의 변화량을 측정하였다. Case1은 밀폐된 공간의 실내의 습도, 이산화탄소, VOCs 변화량을 측정하였다. Case2는 Case1의 실험 종료 후 실내의 환기를 진행하지 않고 실험을 진행했다. 45cm×45cm 실험용 거치대에 디시디아(*Dischidia nummularia*)를 식재하여 Case1과 동일한 방법으로 밀폐된 공간의 실내의 습도, 이산화탄소, VOCs 변화량을 측정하였다. Case3은 Case2의 실험 종료 후 실내의 환기를 진행하지 않고 바로 팬을 가동하였다. 팬은 실험 시작 24시간 기준으로 매 2시간 단위로 정지 후 1시간 단위로 가동하였다. 또한 Case1과 Case2와 같은 방법으로 실내의 습도, 이산화탄소, VOCs 변화량을 측정하였다. 측정값은 10초에 한 번씩 데이터를 측정하고 5분 동안의 모은 데이터의 산술평균 값이며 N개의 데이터의 합을 N으로 나눈 값으로 나타내었다. 본 보고서에는 미세먼지와 관련된 수치인 이산화탄소와 VOCs의 측정값과 실험결과를 참고 및 참조하였다.

[표 2-2] 실험 화차별 일평균 VOCs 농도

(단위 : INDEX)

	1일	2일	3일	4일	5일	6일
Case1	3.7	4	4	3.9	4	4
Case2	3	3	3	3	3	3
Case3	3	2.6	2.9	3	2.9	2.3

표 2-2로 보아 VOCs 초기 농도와 최종 농도를 비교 하였을 때 Case2는 Case1에 비해 농도 감소비율 25% 높게 측정되었으며 Case3은 Case1에 비해 42.5%, Case2에 비해 23.33%로 가장 큰 감소를 나타내었다. Case3 측정값이 계속해서 증감하는 것은 식물의 증산작용의 변화에 의한 것으로 판단되었다. 식물의 증산작용이 활발하지 않은 흐리거나 비가 내리는 경우(2~5일) 측정값이 매우 소폭 감소하거나 증가되는 날도 있는가 하면 증산작용이 활발한 환경인 경우(1일, 6일)은 측정값이 비교적 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[표 2-3] 실험 화차별 일평균 이산화탄소 농도

(단위 : ppm)

	1일	2일	3일	4일	5일	6일
Case1	453.9	386.7	380.2	382.9	403.1	403.5
Case2	513.5	516.2	502.2	474.9	465.6	464.8
Case3	679.1	518.4	476.5	467.4	469.2	417.8

표 2-3로 보아 이산화탄소 초기 농도와 최종 농도를 비교 하였다. Case1의 초기 농도는 453.9ppm, 최종 농도는 403.5ppm으로 측정되었다. 총 50.4ppm 감소하였으며 농도저감비율은 11.10%로 나타났다. Case2의 초기 농도는 513.5ppm, 최종 농도는 464.8ppm으로 측정되었다. 총 48.7ppm 감소하였으며 농도저감비율 9.48%로 나타났다. Case3의 초기 농도는 679.1ppm, 최종 농도는 417.8ppm으로 측정되었다. 총 261.3ppm 감소하였으며 농도저감비율 38.47%로 가장 크게 나타났다. 이산화탄소의 감소는 식물의 증산작용이 가장 크게 작용하는 것으로 팬이 가동되어 식물의 증산작용이 촉진되어 이산화탄소가 감소한 것이라 판단된다.

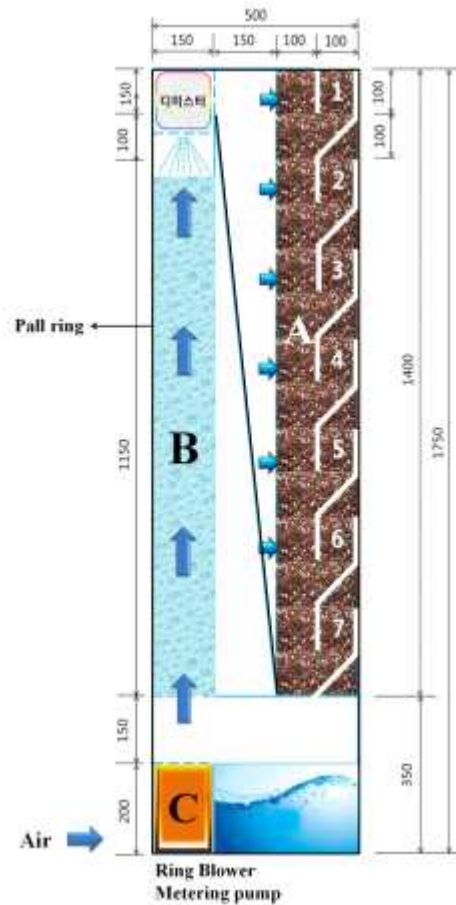
위 실험을 통해 실내에서 식물에 팬을 부착하여 가동할 경우 식물의 증산작용이 촉진되어 실내공기질 개선에 효과가 있음을 확인했다.

#### ‘벽면형 식물 바이오 필터’

한경대학교 원예학과, 환경공학과, 국제농업기술정보연구소에서는 식물 식재 기반 시스템을 활용한 ‘botanical biofiltration’의 작동으로 실내 공기질의 변화와 벽면형 식물바이오 필터 내 식물의 생육을 평가하였다.

본 실험에서는 식물의 생육에 중점을 두어 진행하였다. 전면부에는 식물 식재용 토양층, 후면부에는 가습장치, 하단부에는 물펌프, 물탱크, 송풍기, 송풍구로 구성이 되어 있어 실내에서 식물을 생육하기 위한 조건을 충족시키기 위한 구성요소로 이루어져 있다.

[그림 2-8] 바이오필터 시스템 구성요소



실내공기질 측정실험으로서는 실험실의 구역을 양 끝으로 나누어 바이오 필터에 인접한 공간<sup>6)</sup>과 실험실 반대쪽 벽면의 공간<sup>7)</sup>의 실내 공기 오염물질 중 TVOCs<sup>8)</sup>, CO<sup>9)</sup>, CO<sub>2</sub><sup>10)</sup>의 변화량을 측정하였다. 처리구에는 드라세나(*Dracaena sanderiana*) 6개, 스킨답서

6) 이하 '처리구'로 정의

7) 이하 '무처리구'로 정의

8) 휘발성 유기화합물

9) 일산화탄소

스(*Epipremnum aureum*) 9개를 식재하였다. 실험 기간 동안 실험실 내 별다른 인위적 오염물질을 방해하지 않았으며 무처리구 측정은 36일간 30분 간격으로 진행하였고 처리구는 식재층으로부터 15cm 떨어진 지점에 휴대용 공기질 측정기를 사용하여 1시간 간격으로 측정하였다. 실험 중 실험실 환경은 넓이 210m<sup>2</sup>, 실내온도는 냉난방기를 이용해 24 ± 2.0°C를 유지하였다.

실험 결과 처리구의 경우 TVOCs, CO, CO<sub>2</sub>의 평균 농도와 표준편차는 각각 119.3±69.5ppb, 0.47 ± 0.09ppm, 394.5 ± 27.3ppm였고 무처리구의 평균 농도와 표준편차는 각각 151.0 ± 110.3ppb, 0.52 ± 0.1ppm, 406.0 ± 36.1ppm이었다.

[표 2-4] 실험결과 처리구, 무처리구의 실험 결과 최소값과 최대값

구분	TVOCs (단위 : ppb)		CO (단위 : ppm)		CO <sub>2</sub> (단위 : ppm)	
	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
처리구	49.8	188.8	0.38	0.56	367.2	421.8
무처리구	40.7	261.3	0.51	0.53	369.9	442.1

다음의 결과와 같이 모든 값에서 큰 차이는 없으나 처리구가 무처리구에 비해 실내 오염물질의 농도와 표준편차 역시 낮아졌음을 통해 실제 공기질 개선에 효과가 있음을 확인할 수 있다. 본 보고서에 따르면 실험 중 별다른 오염 처리를 하지 않았으므로, 오염원을 발생시켰을 시 바이오 필터의 제거 효능은 더욱 향상될 것이라 언급되었다.

## 2. 사례 연구

‘영등포구 미세먼지 저감 벤치’

영등포구는 미세먼지 농도가 높아지는 시기가 다가오자 구청 앞 트랙, 문래공원 2개소에 미세먼지 저감 벤치를 설치하여 주민들에게 쾌적한 공기를 제공하였다.

10) 이산화탄소

[그림 2-9] 영등포구청 앞 트랙에 설치된 미세먼지 저감 벤치에서 휴식하는 주민



미세먼지 저감 벤치는 가로 2m, 세로 1.5m, 높이 2.5m로 중앙에 벽이 솟아있는 형태로 양쪽에는 나무재질의 벤치가 있다.

벽면 한쪽에는 공기정화식물 25본이 식재되어 자연적 공기정화가 이루어진다. 또한 다른 한쪽에는 공기청정기가 있어 레이저 센서가 공기 질을 실시간 확인하고 미세먼지 수치가 ‘나쁨( $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ )’ 이상이 되면 자동으로 작동한다. 이 미세먼지 저감 벤치는 나무 105그루가 공기를 정화하는 효과와 비슷하며 하루에 약  $41,500\text{m}^3$ 의 공기를 정화한다.

‘마포구 식물 실내공기정화기’

마포구는 공기정화식물을 통한 자연 공기정화와 IoT<sup>11)</sup>를 활용한 공기청정기를 접목하여 ‘식물 실내공기정화기 1호’를 마포구청 로비에 설치하였다.

11) 사물 인터넷 기술

[그림 2-10] 마포구청 로비에 설치한 식물 실내공기정화기



공기정화식물을 식재한 식물 실내공기정화기는 양쪽 벽면에 공기정화식물은 스킨답서스, 마블스킨, 스킨 야자, 홍콩야자 등 144본을 식재하여 자연적으로 공기 정화가 이루어지게 하였다. 평상시 나무 40그루가 공기를 정화하는 효과와 비슷하며 공기정화기의 가동이 더해질 시 더욱 높은 효과의 공기정화 효과를 기대했다.

또한 주민들의 쾌적한 생활환경 조성을 위해 미세먼지 저감 인프라를 조성하고 그 사업의 일환으로 '수목 500만 그루 나무 심기'등의 식물을 이용한 미세먼지 저감 사업을 적극 추진하고 있다.

‘나아바 스마트 그린월’



핀란드 헬스테크 기업 나아바(NAAVA)는 식물의 공기 정화 능력을 극대화하여 실내공기를 자연의 방식으로 정화하는 스마트 그린월 시스템을 운영하고 있다.

스킨답서스, 안스리움, 드라세나 콤팩타, 미니홍콩야자, 무늬홍콩야자, 레몬서프라이즈 등의 식물을 식재하여 실내 공기 정화를 하는 플랜트 월<sup>12)</sup> 제품을 판매하고 있다. 효과로서는 미세먼지를 1회 공기 흐름 당 평균 25%씩 지속제거, VOCs 1회 공기 흐름 당 평균 57%이상 지속 제거를 하는 등 실제 공기 정화에 효과를 보이고 있다.

#### ‘파미 스마트 팟’

파미(FARMME)는 식물과 공기청정기를 합한 형태인 ‘SMART POT’ 제품을 출시해 크라우드펀딩<sup>13)</sup>을 성공하였다.

‘SMART POT’은 화분형태의 공기청정기에 식물을 키울 수 있는 공간을 만들어 공기청정기가 거른 공기를 식물로 보내어 식물의 공기정화 작용을 극대화하였다. 사용한 식물로는 대나무야자, 떡갈고무나무, 뱅갈고무나무, 산세베리아, 인도고무나무, 홍콩야자, 귀면각(선인장), 드라세나 레몬라임, 크로톤이 있다.

12) Plant wall, 벽이나 기둥같은 수직적인 요소에 식물을 식재해 만든 수직정원

13) 자금을 필요로 하는 수요자가 온라인 플랫폼 등을 통해 불특정 다수에게 자금을 모으는 방식

## 제3절 고양시의 상황과 해결방안

### 1. 고양시 환경

[표 2-5] 미세먼지 월별 대기오염도 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	2019년 10월	2019년 11월	2019년 12월	2020년 1월	2020년 2월	2020년 3월
전국 평균	15	20	26	26	25	21
고양시 평균	16	21	28	27	24	22

환경청 통계에 따르면 고양시 도시대기 미세먼지 오염도는 전국 평균 미세먼지 오염도보다 높은 것으로 기록되었다. 수도권에 인접하여 유동인구가 많은 도시로서 미세먼지와 접할 가능성이 높으며 건강에 위협이 될 수 있는 작용이 많다고 판단된다. 또한 2017년 전국 PM10 배출량을 보았을 때도 고양시가 속한 경기도가 국내 3번째로 높은 배출량을 보이고 있다.

[표 2-6] 전국 PM10 배출량 상위 6개 지역 (단위 : kg)

지역	경상북도	충청남도	경기도	전라남도	경상남도	서울특별시
배출량	40,585,956	33,243,487	31,409,243	24,592,550	12,502,770	10,552,655

### 2. 고양시 해결방안

고양시의 미세먼지 해결방안으로는 크게 미세먼지 저감 관련 물품 및 보조금 지원, 사업장 특별점검, 미세먼지의 위험성을 알리는 교육 및 예·경보 알람 등 3가지 종류의 사업이 있다.

미세먼지 저감 관련 물품 및 보조금 지원의 해결방안으로는 ‘중소기업 환경기술지원 사업’, ‘마스크 지원 사업’, ‘폐차 보조금 지원 사업’, ‘천연가스버스 구입 지원 사업’, ‘경로당 공기청정기 보급 사업’, ‘저녹스<sup>14)</sup> 보일러 보급사업’, ‘전기자동차 보급 사업’, ‘어린이집 공기청정기 사업’, ‘전기이륜차 보급 사업’, ‘수소연료전지차 보급 사업’, ‘신재생에너지 보급을 통한 친환경 도시 구축 사업’, ‘콘덴싱 보일러 설치 비용 지원 사업’, ‘전기버스 교체 사업’이 있다. 주로 미세먼지 발생량을 줄이는 사업이거나 사람들에게 미세먼지 위험을 줄여주는 사업들이다. 미세먼지 발생량을 줄여주는 사업은 결과치가 비교적 효과적으로 나타난다. 주로 장비가 노후화가 되어 교체를 해야 할 때 진행되는 사업이다.

사업장 특별점검 해결방안은 주기적인 ‘핵심현장<sup>15)</sup> 특별점검’, ‘미세먼지 파수꾼 양성교육’, ‘미세먼지 감시단 운영’ 등이 있다. 해당 사업들은 주로 배출가스 단속지원, 미세먼지 핵심 배출원에 대한 상시 감시, 불법소각 행위 및 악취배출업소 신고와 고농도 미세먼지 비상저감 조치 이행여부 등이 있다. 주로 불법적인 부분을 단속하는 사업이다.

미세먼지의 위험성을 알리는 교육 및 예·경보 알림 사업으로는 ‘미세먼지 대응대책본부 사업’, ‘미세먼지 저감 대책 가담회’, ‘자치단체 차원 연구 사업’, ‘미세먼지 저감을 위한 시민 공정회’, ‘주의보 발령’, ‘신규 측정소 설치 사업’이 있다. 주로 미세먼지의 위험성을 알리고 주의보를 내리는 사업이다.

이외에도 ‘미세먼지 없는 마을가꾸기 사업 공모’, ‘고양 하천 푸른 숲길 조성 사업’ 등이 있다.

### 3절 해결방안의 문제점

14) NO<sub>x</sub>, 질소산화물

15) 건설공사장, 불법연료사업장, 불법소각

미세먼지 저감 관련 물품 및 보조금 지원은 ‘중소기업 환경기술 지원 사업’과 ‘신재생에너지 보급을 통한 친환경 도시 구축 사업’을 제외한 방안들은 기존 사용하던 장비의 교체 및 장비 구입으로 이루어지는 사업이다. 즉 이로 인한 예산이 크게 소요된다. 2018년 ‘어린이집 공기청정기 지원 사업’은 2억2900만원의 예산이 소요 되었으며 2020년 ‘친환경 콘덴싱 보일러 설치 비용 지원 사업’은 최소 11억1천만원에서 최대 27억750만원의 예산 소요를 예측하였다. 또한 2020년 ‘전기버스 교체 사업’은 국·도·시비 보조금 지원을 받아 5년간 최대 825억원 중 고양시는 224억원 예산을 부담을 한다.

사업장 특별점검이 진행되지 않으면 미세먼지 배출량 조절에 있어 중요한 역할이다. 하지만 이 사업들 위의 사업들과 마찬가지로 지속이 되어야 하는 사업이기에 인건비 등의 예산이 지속적으로 소비가 되는 단점이 있다.

미세먼지의 위험성을 알리는 교육 및 예·경보 알림 해결방안은 시민들한테 미세먼지의 심각성을 알리고 조심성을 늘리는 장점이 있지만 미세먼지 발생량과 오염도의 직접적인 영향을 끼치지 않는다는 단점이 있다. 현재 환경부에서 진행하는 소식지, 보도자료 등 대체가 가능한 대안이 있어 시급한 문제가 아니다.

# 제 3장

## 연구설계

제1절 모듈 선정

제2절 식물과 장소 선정



## 제절 모듈 선정

### 1. 플랜트 모듈

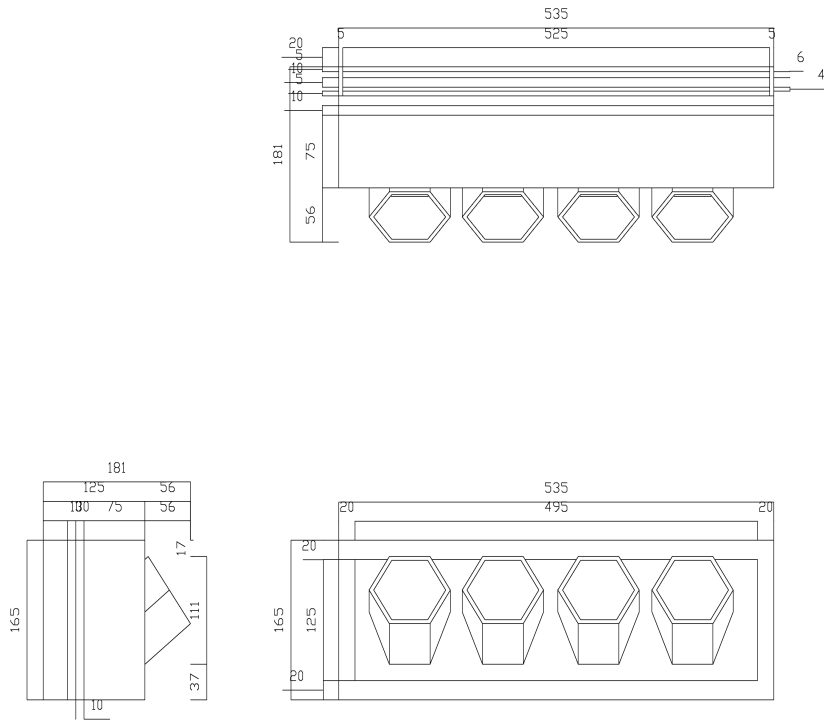
위의 연구와 사례를 통해 식물이 실내의 미세먼지 및 포름알데히드, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, CO, CO<sub>2</sub>, TVOCs 등 제거하는 효과를 가져 공기정화에 효과가 있음을 확인하였다. 플랜트 모듈 그린커버는 이와 같은 실험결과를 통해 얻은 결과로 실내가 아닌 실외의 미세먼지를 저감할 수 있는 가능성을 보였다.

[그림 3-1] 그린 커버의 공기정화의 원리

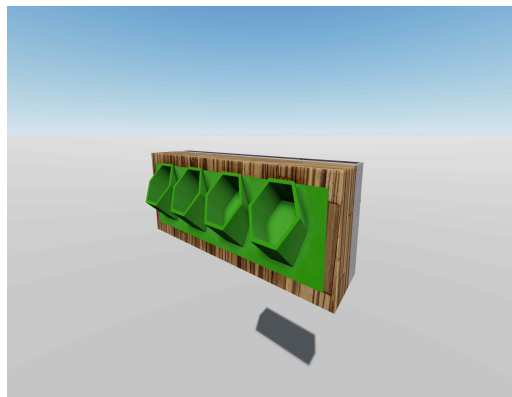


그린 커버의 구성은 필터, 필터와 화분을 이어주는 연결부, 화분으로 이루어진다. 필터는 실외 공기 중에 있는 총먼지와 부유먼지를 거를 목적으로 두었다. 실외에서는 앞서 보여준 실내 환경보다 총먼지와 부유먼지 등이 더 많을 것이라 생각되었다. 이는 식물 잎의 기공을 막아 식물의 생육에 방해가 된다. 필터는 식물의 생육을 위해 총먼지와 부유먼지를 1차로 거를 물리적인 장치의 역할을 한다. 총먼지와 부유먼지를 거른 공기는 식물로 가게 된다. 식물은 필터로 거르지 못한 PM<sub>2.5</sub>, 황산화물, 포름알데히드, 톨루엔, 에틸벤젠, 자일렌, CO, CO<sub>2</sub>, TVOCs 등을 제거하여 공기정화를 하게 된다.

[그림 3-2] 그린커버 도면



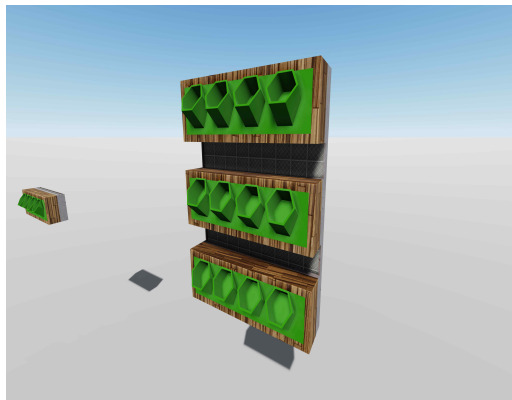
[그림 3-3] 그린커버 모델링





기본적인 틀은 위 그림과 같다. 그린커버는 실험 선정 장소뿐만이 아닌 고양시 어느 장소에서도 적용하기 쉽게 작은 크기의 기본 단위로 제작을 한다. 지형 크기에 맞추어 그린커버가 놓을 숫자가 결정되며 전체크기는 가로 535mm, 세로 181mm, 높이 165mm로 이루어져 있다. 지형 크기에 맞추어 가로로 이어 붙이거나 세로로 쌓는 것이 가능하여 버스정류장이나 주차장 등 장소에 굴하지 않는다. 즉 다양한 크기의 변화가 이루어져 다양한 장소에 설치가 되어 추후 고양시 특유의 경관을 창출할 수 있는 장점이 있다.

[그림 3-4] 그린커버 결합예시



궁극적으로 이를 통해 식물과 필터를 결합한 실외 공기청정기를 제작하여 식물이 가지는 공기정화 효과를 효율적으로 내는 것이 목표이다.

## 제2절 식물과 장소 선정

### 1. 식물 선정

그린커버 안에 식재할 식물은 크게 3가지 특징을 고려해 선정하였다. 3가지 특징은 환경 적응성, 시장성, 수급성이다. 환경 적응성은 고양시 환경에서 생육할 수 있는 식물을 의미한다. 적응성을 평가하기 위해 여러 화훼 단지 중 중부지방 화훼 단지에서 판매하는 수종에서 수종을 선정하기로 했다. 두 번째, 시장성으로서는 앞서 말한 중부지방 화훼 단지에서 쉽게 구할 수 있는 수종들을 의미한다. 이곳에서 판매하는 수종들은 고양시민들이 쉽게 구할 수 있을 것이라 고려되었다. 세 번째, 수급성이다. 수급성의 조건으로는 구매 시 계절에 구매되지 않는 수종을 조사하였다. 봄, 여름, 가을에서 판매가 완료되고 겨울철에는 재고를 남겨두지 않는 식물의 특성 상 겨울에도 구할 수 있는 수종은 보급이 사계절 내내 수급이 원활한 수종이라 생각되었다.

[그림 3-5] 식물 선정의 3가지 기준



첫 번째 조건인 환경 적응성과 두 번째 조건인 시장성을 충족하는 화훼단지를 찾아보았다. 고양시에도 화훼단지가 있지만 시장성에서는 같은 수도권인 양재와 과천에 위치한 화훼 단지가 규모가 더 커서 양재 화훼 단지과 과천 화훼 단지에서 판매하는 수종을 선정하게 되었다.

양재 화훼 단지과 과천 화훼 단지의 수종의 조사 결과 두 곳 모두 경매를 통해 도매업체에서 식물을 낙찰하는 방식이었다. 그리고 그 도매업체들은 동일한 곳이었으며 판매하는 식물의 종류 역시 모두 같았다. 두 번째 조건인 시장성에서는 두 곳의 판매하는 식물 종류가 같기에 세 번째 조건에 맞는 수종으로 최종 선정하였다.

세 번째 조건인 수급성에 맞는 수종을 찾기 위해 계절별로 판매가 되고 있는 양질의 품질이 다수 있는 식물을 조사하였다.

[표 3-1] 계절별 판매하는 양질의 식물 종류

봄	여름	가을	겨울
관음죽	금전수	관음죽	관음죽
금전수	덴드로비움	금사철	마삭줄
나한송	레마탄	남천	멕시코 소철
낙우송	마삭줄	더치 고사리	박쥐난
녹보수	맛상	러브체인	사철
마삭줄	멕시코 소철	마삭줄	스킨답서스
멕시코 소철	몬스테라	맥문동	스투키
몬스테라	문샤인 산세베리아	멕시코 소철	아디안텀
박쥐난	박쥐난	박쥐난	아이비
보스톤 고사리	백묘국	벤자민	엑셀런트 포인트
산세베리아	벤자민	블루버드	파키라
스킨답서스	벵갈 고무나무	산호수	팔손이
스투키	빅토리아	스킨답서스	포인세티아

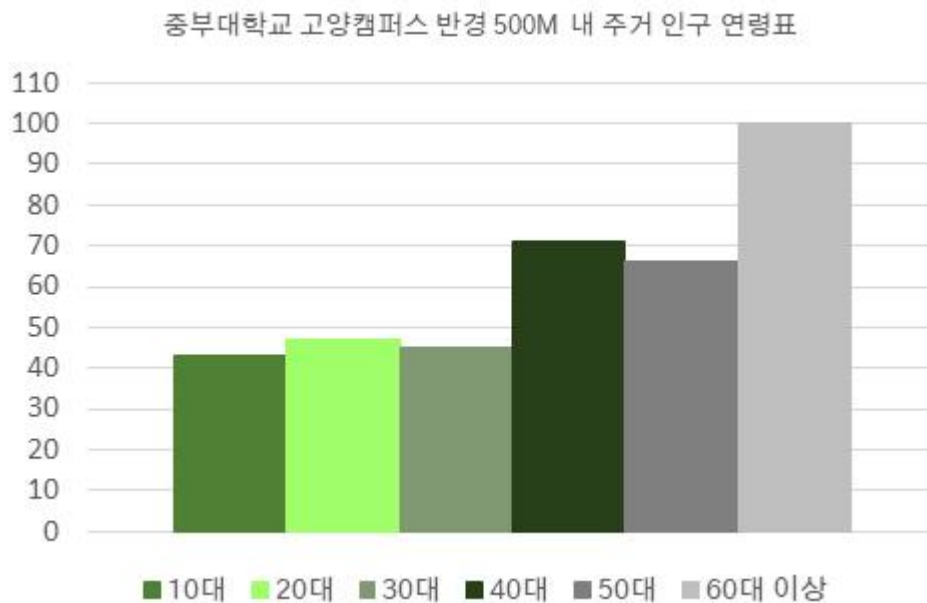
봄	여름	가을	겨울
스파티필름	산세베리아	스투키	홍콩야자
싱고니움	산호수	스파티필름	
아레카야자	석화	아글라오네마	
아이비	스노우사파이어	아레카야자	
엔젤	스킨답서스	아이비	
올마	스파티필름	엔젤	
죽백	아레카야자	오렌지자스민	
천냥금	아몬드페페	올리브	
카네이션	아이비	유칼립투스	
카라 안시리움	오렌지자스민	죽백	
테이블야자	오로라	콩고	
파키라	올리브	크루시아	
팔손이	와소니아	테이블야자	
포인세티아	워터코인	파키라	
필로덴드론	올마	포도나무	
해피트리	줄리아페페	푸미라	
행운목	청페페	호야	
홍콩야자	칼라데아		
	콩고		
	크로톤		
	클루시아		
	타라		
	테이블야자		
	트리안		
	파키라		
	포도나무		
	풍란		
	호야		

위의 표에서 계절별 수종을 정리하였다. 이 중 멕시코 소철(*Zamia furfuracea*), 박쥐난

(*Platycerium bifurcatum*), 스킨답서스(*Epipremnum aureum*), 아이비(*Hedera helix*), 파키라(*Pachira aquatica*) 5종의 식물이 사계절 내내 양질의 품질로 판매를 하고 있었기에 이 5종의 식물을 그린커버에 식재할 식물로 선정하였다.

## 2. 장소 선정

[그림 3-6] 중부대학교 고양캠퍼스 반경 500M 내 주거 인구 연령분포



중부대학교 고양캠퍼스는 매학기별로 등하교를 하는 20대 연령의 학생들이 다수 있으며 반경 500m 내 거주하는 인구의 연령대는 10대 43명, 20대 47명, 30대 45명, 40대 71명, 50대 66명, 60대 이상이 100명으로 60대 이상, 40대, 50대, 20대, 30대, 10대순으로 인구가 많다. 60대 이상이 많지만 다른 연령대 인구가 적지는 않아 다양한 주거인구 연령대를 보이고 있다. 장소가 학교인 만큼 평일 위주의 유동량을 보일 것이라 예측했지만 월요일 1,232명, 화요일 1,239명, 수요일 1,191명, 목요일 1,232명, 금요일 1,107명, 토요일 1,019명, 일요일 982명으로 주말에 적은 유동량은 보이고 있지만 일주일 평균 약 1,143명 정도의 85% 정도로 급감을 보이지 않는 안정된 수치를 보인다. 또한 이 수치는 사회

적 거리두기로 인해 다소 줄어든 유동인구 수이다. 앞으로 코로나 사태가 종료될 시에는 유동인구가 더욱 늘어날 것이라고 판단한다.

위의 분석 내용과 같이 중부대학교 고양캠퍼스는 거주인구와 유동인구가 다양한 연령층으로 안정된 수치를 보인다. 또한 이곳은 주차장과 흡연장소가 같은 장소에 조성되어있다. 선행연구 중 환경대학교 원예학과, 환경공학과, 국제농업기술정보연구소에서 진행한 ‘벽면형 식물바이오필터 내 식물 생육 및 실내공기질 정화’ 실험에서 추가적이 오염원 발생 시 더욱 높은 공기질 개선이 이루어질 것이라는 언급을 보아 주변에 공기 오염도가 높을수록 더욱 좋은 효과를 보일 것이라 생각해 자동차의 매연 및 배기가스와 담배연기가 공존할 수 있는 위치로 장소를 선정하였다.

# 제 4장

## 실험과정 및 분석결과

제1절 실험방법 및 결과

제2절 실험분석 및 정책제언

## 제절 실험방법 및 결과

### 1. 실험 방법

실험 방법으로는 선행 연구에서 연구 방법을 많이 참고하였다. 선행 연구와의 차이점은 공기정화의 방식과 실험 환경이다. 공기정화 방식으로는 타 선행 연구에서는 송풍구를 통해 식물로 직접 공기를 보내는 방식을 사용했으며 흙의 미생물의 공기정화 능력에도 기대를 하여 흙과 식물 두 가지 층으로 공기를 정화하는 방식을 사용했다. 본 실험에서는 식물의 장기적인 생육을 고려해 크기가 큰 부유면지는 필터를 사용하여 거르고 식물은 최대한 황산화물 및 기타 화합물을 제거하는 방식으로 실험하였다. 실험 환경에서 선행 연구와의 차이점은 2가지이다. 첫 번째는 실내에서 일정량의 공기를 지속적으로 정화하는 방식이 아닌 실외 환경에서 일정 구역의 공기를 정화하는 것이다. 두 번째는 실제 비규칙적으로 발생하는 오염원의 발생이다. 연구 기간이 길지 않아 실제로 적용을 하여 그린 커버의 효과를 볼 수 실험하는 방식으로 실험을 진행했습니다. 이를 위해 앞서 말한 장소 선정에서 볼 수 있듯이 실제 그린 커버가 설치 될 수 있는 주차장 및 버스 정류장과 같은 장소 중 사람들의 수요가 있고 오염원이 발생할 수 있는 중부대학교 고양캠퍼스 내 흡연구역에서 실험을 진행했다.

[그림 4-1] 식물 20본을 식재한 그린 커버





[그림 4-2] 동일한 그린 커버에서 식물을 제외해 필터만 설치된 모듈



실외 환경의 수치를 일상 대기(무처리구)로 표기하며 선정된 식물 20포트 씩 식재할 수 있는 그린 커버에서 식물을 제외해 필터만 부착된 형태의 모듈을 처리구1, 동일한 크기의 그린 커버를 선정된 5가지 식물<sup>16)</sup>을 4포트 씩 식재하였다.

미세먼지 저감을 확인하기 위해 PM1, PM2.5, 포름알데히드, TVOC의 농도를 측정하였다. 측정기의 사양이 1m<sup>3</sup>의 공기질을 측정하기 때문에 일상 대기(무처리구)의 측정은 처리구1과 처리구2에서 약 2M 거리를 두어 측정을 하였다. 처리구1과 처리구2는 선행 연구에서 참고하여 필터 혹은 식물에서 약 15cm 떨어져 측정을 하였다. 측정은 설치 후 2일의 간격을 두어 총 4회 측정하였다.

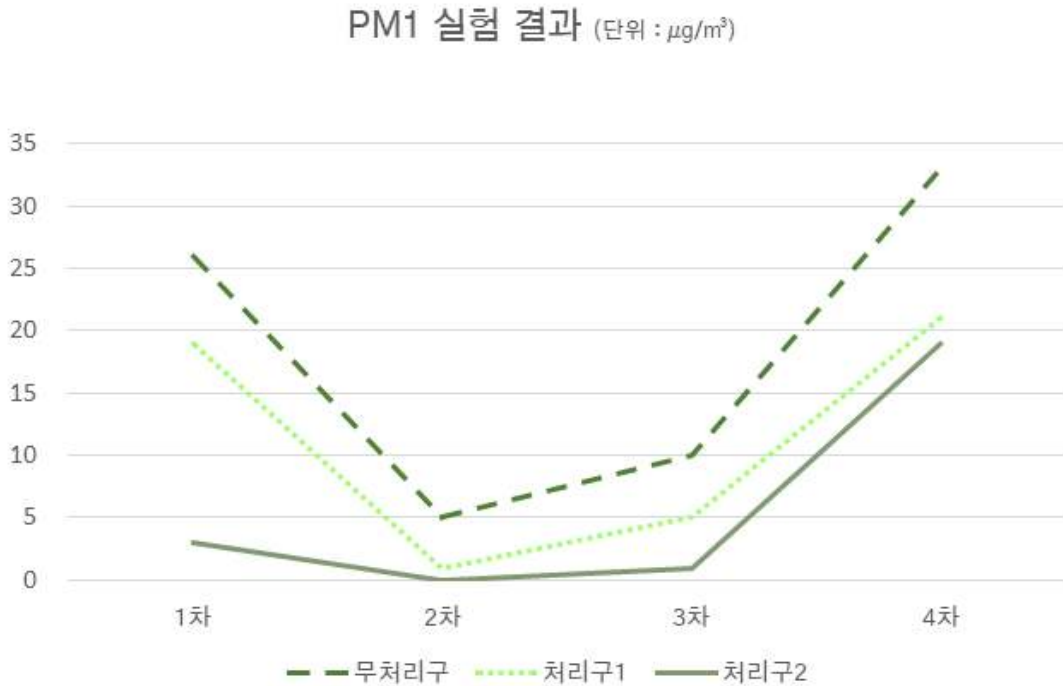
<sup>16)</sup> 멕시코 소철, 박쥐난, 스킨답서스, 아이비, 파카라

## 2. 실험 결과

모든 무처리구의 값은 일상 대기의 오염농도로서 당일의 대기상황에 따라 다르게 측정되었다. 처리구들은 그와 비교하는 값으로서 그린 커버를 실제 적용 시 일상 대기를 정화를 하고 있는지와 그린 커버 안에 식재된 식물의 효능을 보기 위해 필터만 장착했을 때와의 비교에 대한 결과를 나타내었다. 측정기의 성능에 따라 PM1과 PM2.5의 측정값은 정확한 측정값이 아닌 정수로 간단하게 표현된 값으로서 0의 수치를 기록하였다하더라도 미세먼지가 완전히 없는 것은 아니다.

[표 4-1] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM1 오염농도 측정 수치 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	1차	2차	3차	4차
무처리구	26	5	10	33
처리구1	19	1	5	21
처리구2	3	0	1	19

[그림 4-3] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM1 오염농도 측정 수치 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

PM1의 오염농도 측정값을 표 4-1과 그림 4-3 로 정리하였다. 일상 대기의 오염농도 값인 무처리구는 예상과 같이 측정 당시의 기상 및 여러 조건에 의해 불규칙적으로 나타났다. 처리구1과 처리구2 역시 무처리구의 값과 비슷한 값으로 불규칙적인 값으로 나타났으나 동일한 시각에 측정한 값과 비교를 하였다.

처리구1은 무처리구에 비해 1차 측정 시 약 26.92%, 2차 측정 시 80%, 3차 측정 시 약 50%, 4차 측정 시 36.36% 감소하였다. 평균 약 48.32% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

처리구2는 무처리구에 비해 1차 측정 시 약 88.46%, 2차 측정 시 100%, 3차 측정 시 90%, 4차 측정 시 약 42.42% 감소하였다. 평균 약 80.22% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

처리구2는 처리구1에 비해 1차 측정 시 약 84.21%, 2차 측정 시 약 100%, 3차 측정 시 80%, 4차 측정 시 약 9.52% 감소하는 것으로 측정되었다. 평균 약 68.43% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

[표 4-2] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM2.5 오염농도 측정 수치 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분	1차	2차	3차	4차
무처리구	42	8	17	53
처리구1	34	3	9	33
처리구2	6	1	2	32

[그림 4-4] 무처리구, 처리구1, 처리구2 PM2.5 오염농도 측정 수치 (단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### PM2.5 실험 결과 (단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



PM2.5의 오염농도 측정값은 표 4-2와 그림 4-4으로 정리하였다. PM1의 측정값과 비슷한 양상을 보이고 있다.

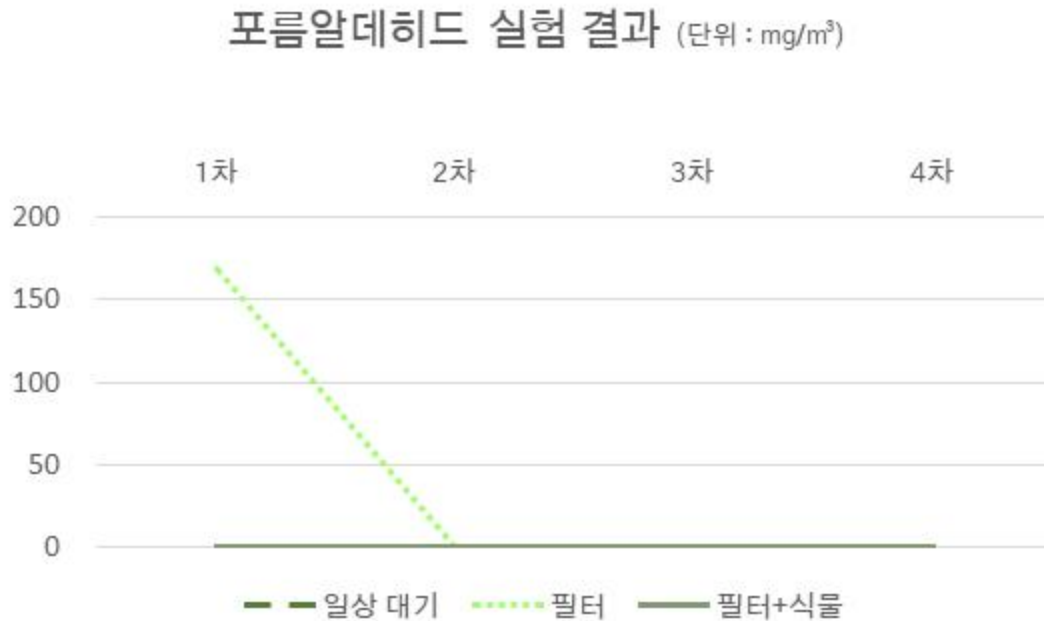
처리구1은 무처리구에 비해 1차 측정 시 약 19.04%, 2차 측정 시 65.2%, 3차 측정 시 약 47.05%, 4차 측정 시 약 37.73% 감소하였다. 평균 약 41.59% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

처리구 2는 무처리구에 비해 1차 측정 시 약 85.71%, 2차 측정 시 87.5%, 3차 측정 시 약 88.24%, 4차 측정 시 약 39.62% 감소하였다. 평균 약 75.27% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

처리구2는 처리구1에 비해 1차 측정 시 약 82.35%, 2차 측정 시 약 66.67%, 3차 측정 시 77.78%, 4차 측정 시 약 3.03% 감소하는 것으로 측정되었다. 평균 약 57.46% 감소하는 것으로 평균값이 나타났다.

[표 4-3] 무처리구, 처리구1, 처리구2 포름알데히드 오염농도 측정 수치 (단위 : mg/m)

구분	1차	2차	3차	4차
무처리구	0.018	0.024	0.018	0.016
처리구1	169	0.02	0.056	0.024
처리구2	0.002	0.04	0.052	0.02

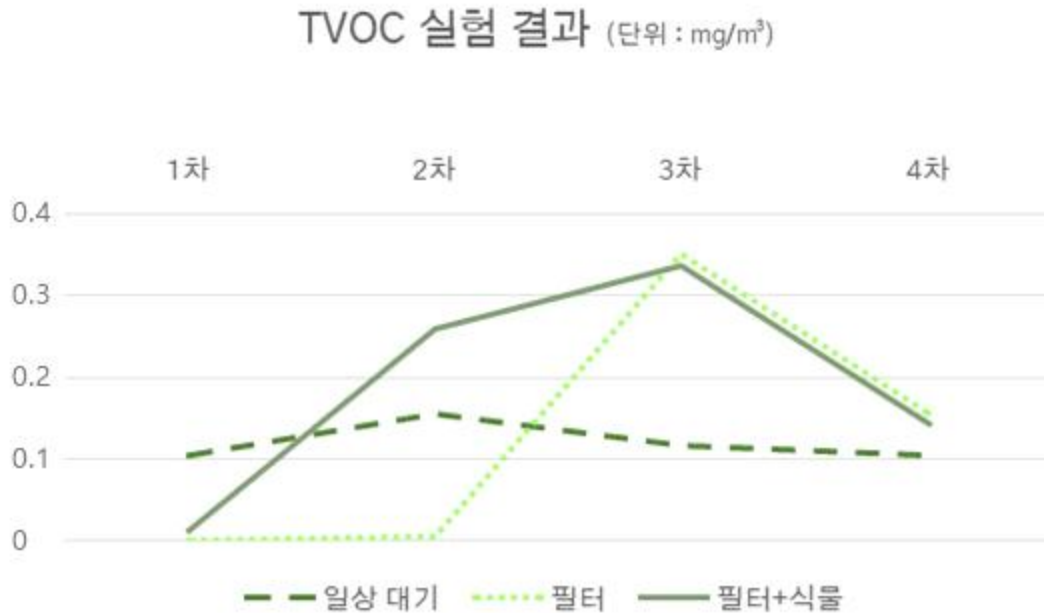
[그림 4-5] 무처리구, 처리구1, 처리구2 포름알데히드 오염농도 측정 수치 (단위 : mg/m<sup>3</sup>)

포름알데히드의 오염농도 측정값은 표 4-3과 그림 4-5로 정리하였다. 처리구1의 1차 측정치는 비정상적으로 높게 측정이 되었다. 이는 새 가구나 새 제품에서 주로 나타나는 물질 특성상 개봉하고 제작한지 시간이 많이 지나지 않은 필터에서 이와 같은 수치가 측정된 것으로 추측한다.

모든 비교값들이 규칙적인 모습을 보이지 않고 비규칙적으로 감소하였다가 증가하는 등의 모습을 보였다.

[표 4-4] 무처리구, 처리구1, 처리구2 TVOC 오염농도 측정 수치 (단위 : mg/m<sup>3</sup>)

구분	1차	2차	3차	4차
무처리구	0.104	0.156	0.117	0.104
처리구1	측정불가	0.006	0.351	0.156
처리구2	0.013	0.26	0.338	0.143

[그림 4-6] 무처리구, 처리구1, 처리구2 TVOC 오염농도 측정 수치 (단위 :  $\text{mg}/\text{m}^3$ )

TVOC의 오염농도 측정값은 표 4-4와 그림 4-6로 정리하였다. 처리구1의 1차 측정 시 측정기의 오류로 오염농도 값이 여러 차례 측정이 되지 않아 표4-4에서는 측정불가, 그림 4-6에서는 0으로 기록을 하였다. TOVC의 비교값들도 포름알데히드의 비교값과 마찬가지로 규칙적인 모습을 보이지 않고 비규칙적으로 감소하였다가 증가하는 등의 모습을 보였다.

## 제2절 실험분석 및 정책제언

### 1. 분석 및 결론

기존 선행 연구의 결과와는 달리 포름알데히드와 TVOC의 오염농도의 제거에는 효능을 보지 못하였다. 하지만 미세먼지 종류인 PM1과 PM2.5의 오염농도는 감소하는 추세를 보였다. 식물이 식재된 처리구2의 경우는 미세먼지를 최소 약 37.62% 제거하였으며 필터만 있는 처리구1에 비교 시 최소 약 3.03% 최대 100%, 평균 약 62.95% 더 효과가 있음을 입증했다. 표준편차가 큰 이유는 식물의 증산작용에 영향을 미치는 기후, 기온, 습도 등의 변화로 인해 식물의 증산작용이 증감하여 미세먼지 저감에도 영향을 주었을 것이라는 분석을 하였다. 식물의 유무만으로 평균 약 62.95%의 결과의 차이를 보였기에 식물의 유무만으로 미세먼지를 저감할 수 있다고 판단하였다. 식물 20본을 식재하였기에 추후 추가 실험이나 실제 적용 시에 플랜트 모듈의 크기가 커진다면 더욱 큰 효과를 보일 것이라 예상이 된다.

본 실험에서는 작은 크기의 모듈이었기에 실제 개발이 되면 적용하게 될 주차장의 벽면, 기둥이나 버스 정류장 등 사람이 실제 지나다니고 머무르는 것을 고려하면 장소를 이용하는 사람의 체감이 크게 느껴질 것으로 예상이 된다. 또한 이와 같은 장소에서 그린 커버가 설치될 수 있는 면적은 실험 시 제작한 모듈의 크기의 최소 5배 이상은 될 것이라고 예상이 되며 미세먼지 저감에 더욱 큰 효능을 이끌어낼 수 있다고 결론을 내렸다. 즉 그린 커버의 실제 적용 시 효과가 있음을 본 실험의 효과로 입증하였다.



## 2. 정책제언

본 실험에서는 짧은 실험 기간으로 인해 다양한 조건에서 실험을 하지 못했다. 실제 실험이 이루어진 기간의 계절이 겨울이기 때문에 식물의 생육이 활발하게 활동하는 기간인 봄과 여름 기간에 실험을 진행하면 더욱 큰 효능을 기대할 수 있을 것이다. 선행 연구 중 농촌진흥청에서 실험한 결과로는 식물에 따라 미세먼지의 저감량이 다르다고 결과가 나왔다. 이때의 실험 결과를 토대로 저감량이 높은 식물로만 식재 시 저감량의 변화량 등 식물의 종류와 계절 조건의 의한 조건을 추가하여 새롭게 실험을 할 필요가 있다. 또한 장비의 한계로 인하여 정확한 측정이 이루어지지 않았다. 정밀한 기계를 이용해 측정 시 정확한 값을 측정하여 얼마나 더 많이 저감을 할 수 있을 것인가, 등을 알 것이다. 하지만 짧은 실험으로도 실제 적용할 시 효능을 보았기에 ‘미세먼지 저감과 도시환경 개선을 위한 플랜트 모듈 그린 커버 개발’의 목적을 달성했다.

또한 실험에 제작한 그린 커버의 제작 예산은 다음 표 4-5와 같다.

[표 4-5] 그린 커버 제작 가격

품명	단가	갯수	가격	비고
탄소 필터	46000	2	92,000	
파카라	5,000	4	20,000	
멕시코 소철	6,000	4	24,000	
테이블야자	1,200	4	4,800	
박주란	3,000	4	12,000	
아이비	1,800	4	7,200	
폼보드	6,500	4	26,000	
플랜트월 포트	23,310	1	23,310	
기타			10,000	공구 소모품 가격(칼, 글루건 등)
합계			219,310	

제작이 소규모로 이루어졌기에 소매 단위의 단가로 구매가 이루어졌다. 물품 중 탄소 필터와 식물 등의 자재는 추후 대량으로 제작, 식물을 교체하여 저렴한 식물 식재 시 금액이 감소할 수 있다는 것을 감안하면 제시된 가격보다 저렴한 가격에 제작이 될 수 있을 것이라 생각이 된다. 현재 LG전자에서 판매하는 10.9평형 공기청정기는 인터넷 최저가 기준 232,320원에 판매중이다. 또한 사용하는 전기비용을 고려하면 실제 작동 시 비용은

더 추가된다. 이는 실내 기준의 공기청정기이고 실제 판매되는 실외 공기청정기 제품은 판매되지 않는다. 충분히 이 연구에서 공기청정이 가능하다고 결과가 나온 결과, 그린 커버의 추후 연구 및 개발, 설치 시 경제적인 면에서도 효과가 있을 것이라 생각된다.

추후 실험 시 긴 기간의 실험 시간, 계절별 개화하는 식물의 종류로 식재, 필터의 종류를 다양화 한 실험 등 여러 조건에 따라 더욱 효율적인 효과를 기대하여 실험을 진행하면 본 실험보다 더욱 좋은 결과가 있을 것이라 생각된다.

## 참고문헌

### [국내문헌]

정슬기, 천만영, 이창희(2015.08). 벽면형 식물바이오필터 내 식물 생육 및 실내공기질 정화  
효율의(2017.02). 실내 조경 식물을 이용한 공기정화장치 개발에 관한 연구

### [기타자료]

영등포구 홈페이지. 보도자료. <https://www.ydp.go.kr/www/selectBbsNttlList.do?bbsNo=45&key=2868&> (접속일  
2020.07.19.)

고양시 홈페이지. 보도자료.

[http://www.goyang.go.kr/news/user/bbs/BD\\_selectBbsList.do?q\\_bbsCode=1090&q\\_estnColumn1=Y](http://www.goyang.go.kr/news/user/bbs/BD_selectBbsList.do?q_bbsCode=1090&q_estnColumn1=Y) (접속일  
2020.07.19.)

마포구 홈페이지. 주요보도. <https://www.mapo.go.kr/site/main/board/press/231600?cp=1> (접속일 2020.07.19.)

통계청 홈페이지. <http://kostat.go.kr/portal/korea/index.action> (접속일 2020.07.19.)

환경부 홈페이지. <http://me.go.kr/home/web/main.do> (접속일 2020.07.19.)

농촌진흥청 홈페이지. <http://www.rda.go.kr/main/mainPage.do> (접속일 2020.07.19.)

나이바 홈페이지. <http://naava.kr/> (접속일 2020.07.19.)

와디즈 홈페이지. <https://www.wadiz.kr/web/campaign/detail/57063> (접속일 2020.07.19.)