

기후변화 대응을 위한 그린빌딩의 온실가스 저감연구

Research of Climate Change Adaptation for Green house gases on Green building

Abstract

This study aims to identify the effect of cool roof and indoor plants for climate Change Adaptation. Two regions such as cool roof and green roof and eight indoor plants such as *Ficus benghalensis*, *Ardisia pusilla*, *Platycerium bifurcatum*, *Pachira*, *Hedera helix*, *Chrysalidocarpus lutescens*, *Cupressus macrocarpa* 'Wilma', *Rhapis excelsa* were selected and measured BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), Green house gases(CO₂, CH₄) and other meteorological factors. CO₂ concentration of the cool roof was lower than Non-application cool roof and CO₂ concentration of Green roof and Non-application Green roof was similar. For all application of cool and green roof points, the temperature was observed below the Non-application points. The eight indoor plants was removed BTEX more than 80 % on a six-hour basis, and After 24 hours, Five kind of plants such as *Ficus benghalensis*, *Pachira*, *Rhapis excelsa*, *Chrysalidocarpus lutescens* removed more than 90 % of the pollutants. There was no constant removal green house gases due to stress, environmental changes, etc. On a seven-hour basis, the most suitable plant for CO₂ and CH₄ was *Ardisia pusilla*.

Key words : Volatile organic compounds (VOCs), Cool roofs, Indoor plants, Green house gases

I. 서론

지구의 기후는 인간의 생산활동에 수반하여 배출되는 CO₂ 등 기후변화물질에 의해 기온이 상승함에 따라 지구 전체 기상 균형이 깨지기 시작하면서 급격하게 변화하고 있으며, 전 세계에서 복잡하고 지속성 있는 기후변화가 관측되고 있다.

최근 빈번하게 관측되는 극한현상에서 자연계와 인간계 모두 심각하게 기후변화에 노출되어 매우 취약하게 반응하고 있는 것으로 확인되고 있다(IPCC, 2014).

2011년 이후 겨울은 한파로 인해 최대 한랭질환자 발생, 수산업과 농업 등에서의 큰 피해, 대설로 인한 교통마비, 가뭄으로 극심한 용수난 등 여러 피해가 발생하였으며, 여름에는 폭염, 집중호우, 태풍으로 최대 온열질환자 발생 등의 인명피해와 농작물, 가축, 양식생물과 같은 재산피해 등 우리 삶에 밀접하고 다양한 분야에서 기후변화로 인한 다양한 영향을 받은 한해로 기록되었다(이상기후보고서, 2018).

우리 인천시의 경우 겨울철 37일의 한파특보와 여름철 39일의 폭염특보, 39일의 열대야 일수 발효와 함께 한랭질환자 50명(전국 611명), 온열질환자 258명(전국 4,526명), 식중독 환자수 341명(전국 11,622) 및 산불발생 7건(전국 496건) 등 해마다 여러 피해발생 건수 증가로 기후변화에 의한 직접적인 영향을 받고 있는 것으로 나타났다(인천광역시 기후변화보고서, 2018). 이를 해결하기 위해 파리 협정과 같은 전 지구적인 온실가스 배출량 저감 정책을 바탕으로 기후변화의 근간이 되는 지구온난화를 완화하려 하고 있으며, 지구온난화가 1.5 °C로 억제된다면 지속가능한 발전으로 인해 나타나는 기후변화의 취약한 반응의 악영향을 해결하고 여러 부정적인 것을 완화할 수 있을 것으로 예상하고 있다(IPCC, 2018). 하지만 이러한 정책은 대개 20 ~ 30년 이상의 긴 기간을 바탕으로 하고 범국가적으로 진행되는 일에 근간을 두고 있기에 그에 발맞추어 각자 소규모로 진행할 수 있는 기후변화 대응에 대한 움직임이 필요하다.

전 지구적으로 진행되는 기후변화 억제 정책과는 다르게 지자체와 시민이 직접 실행하고 기후변화에 대응할 수 있는 방안은, 사람이 주로 생활하는 건물을 대상으로 외적으로 쿨루프를 조성하고 건물 내적으로는 실내식물을 기르기가 있다. 쿨링 방법으로는 높은 태양 반사율 및 열방사율을 특징으로 하는 백색도료를 지붕에 코팅하여 태양복사로부터 노출되었을 때 지붕 표면을 차갑게 만드는 쿨루프(Anna, 2014)와 여러 종류의 식물을 식재하여 광합성, 호흡, 증산 및 증발과 같은 생물학적 기능으로 태양복사를 흡수하는 그린루프(Rakesh et al., 2005)가 있다.

두 가지 전략 모두 공통적으로 태양으로부터의 복사열이 건물 내부로 침투되는 것을 막아 건물 내부의 온도를 낮춤으로써 냉방에너지 사용량이 줄어들어 도시 열섬 효과를 완화시키는 전략이다. 이미 해외에서는 기후변화 적응을 위한 방안으로 쿨루프가 많이 도입되었고, 미국과 일본은 체계적인 시스템 구축과 효과 검증에

대한 다양한 정보를 제공하여 쿨루프 보급에 앞장서고 있으며, 국내의 경우에는 창원시, 김해시, 광주시, 서울시 등 여러 지자체와 한국공항공사, LH, KCC 등 공공 및 일반기업에서도 쿨루프 관련 사업을 추진하고 있다. 한편, 기후변화 적응을 위한 도시녹지조성과 같은 녹화사업은 공기를 정화하고 폭염 시 열섬효과 줄이며, 휴식과 여가의 공간으로 시민의 건강을 보호할 수 있고, 또한 폭우로 인해 발생할 수 있는 홍수 등 재해에 대한 적응력을 향상할 수 있는 다양한 장점이 있으며, 특히 하루 중 실내생활로 대부분을 보내고 있는 현대인들이 식물을 이용한 실내 공기 정화에 대한 관심이 늘어나면서 기계적인 시설을 이용한 실내공기 조절 외에 보조적으로 역할이 가능한 실내녹화에 대한 여러 연구가 많이 진행되고 있다(신정환 et al., 2014). 이러한 실내식물은 광합성을 위한 이산화탄소 흡수뿐만 아니라 실내에서 발생할 수 있는 다양한 휘발성유기화합물질(VOCs)의 제거 및 온습도 조절 등 여러 장점이 있는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2011).

쿨루프 및 실내공기정화 식물에 대한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 실제 인천지역에서 쿨루프가 적용된 지점의 대기 중 온·습도 및 온실가스변화 연구와 인천지역 일반 가정집을 활용하여 식물의 공기정화능을 실험한 연구는 없다. 따라서 본 연구는 기후변화 적응을 위한 쿨루프 설치 유무에 따른 온·습도 및 온실가스 농도를 비교하여 대기질의 변화의 양상을 파악함과 동시에, 실내공기정화 식물의 정화능을 분석하여 건물 외부 및 내부에서 실천할 수 있는 기후변화 적응에 관한 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

2.1. 쿨루프와 그린루프

2.1.1. 조사개요

본 연구에서는 인천광역시에 위치한 쿨루프 및 그린루프 설치지점과 그와 비교 가능한 대조지점을 선정하였다. 쿨루프 적용 대상지는 Fig. 1.와 같이 인천시 미추홀구에 위치한 E빌라이며 대조지점은 직선거리 100 m에 위치한 J빌라이다. 건물 선정은 쿨루프 적용을 제외한 위치, 높이 등 기타 사항에 유사성을 적용하기 위한 지점으로 선정하였다. 쿨루프 설치지점의 시공은 “O”사에서 개발한 차열과 단열, 방수 기능을 가진 단열재를 사용하였다. 이 제품은 95.5 %의 평균 차열 기능과 14년 이상의 내구성을 지니며 설치지점은 밝은 회색빛의 계열로 시공되었다.



Fig. 1. Application and Non-application region of cool roofs

그린루프 적용 대상지는 Fig 2.와 같이 인천시 동구에 위치한 동구청 건물 옥상이며 대조군은 직선거리 60 m에 위치한 주차타워 옥상이다. 그린루프 지점은 직원 휴식 및 정원 조성으로 쉼터 개념의 장소로 만들어졌으며 옥상 중앙에 나무와 그 주위를 잔디, 화초 등 여러 식물로 식재하였으며 벤치와 운동기구 등이 함께 설치되었다.



Fig. 2. Application and Non-application region of cool roofs

2.1.2. 조사방법

쿨루프 및 그린루프 두 지점 모두 온실가스 2항목(CO_2 및 CH_4)과 VOCs 4항목 (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), 온도, 습도를 측정하였으며 기타 기상정보는 가까운 거리에 있는 대기오염 측정소의 기상정보를 활용하였다. 시료채취기간은 쿨루프의 경우 2019년 3월부터 10월까지 8개월간, 그린루프는 5월부터 10월까지 6개월간 진행하였으며 쿨루프 및 그린루프 모두 매일 1회 이상, 맑은 날

오후 대조지점과 동시간대(14:00 ~ 17:00)에 시료를 채취하였다. VOCs 정량분석은 대기오염공정시험기준 환경대기 중 유해 휘발성 유기화합물(VOCs) 시험방법 - 고체흡착법(ES 01804.2)을 이용하였다. 시료채취를 위해 SIBATA 사의 MP-Σ30KN II 를 사용하였으며 0.1 L/min 유량으로 20분간 총 2 L의 부피로 시료를 채취하였다. 시료채취를 위한 흡착관은 흡착제 3종류가 패키징되어있는 영국 Markers사의 3-bed 흡착 튜브를 사용하였다. 채취한 시료는 실험실로 가져와 자동열탈착 시료주입 장치(Thermal Desorption)를 이용하여 GC/MS로 분석하였다.



Fig. 3. Measurement of rooftop
(Left : Application of cool roofs, CR, Right : Non-Application of cool roofs, NCR)

온실가스(CO_2 및 CH_4)는 대기오염공정시험기준 환경대기 시료채취방법(ES 01115) 중 용기채취법의 공기주머니(테들러백) 사용법을 이용하였다. 시료채취를 위해 휴대용 폐시료채취기를 이용하였으며 현장공기로 2~3회 테들러백 세척 후 공기 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 실험실로 가져와 GC-TCD로 이산화탄소(CO_2)를, GC-FID로 메탄(CH_4)을 분석하였다.



Fig. 4. Measurement of rooftop
(Left : Application of green roofs, GR, Right : Non-Application of green roofs, NGR)

2.2. 식물 수종별 정화능 조사

2.2.1. 실험재료 및 분석방법

실험을 위해 정화능력이 뛰어나고 쉽게 구할 수 있고 가정에서 기르기 편한 수종을 선택하였으며 땃갈고무나무(*Ficus benghalensis*), 산호수(*Ardisia pusilla*), 박쥐란(*Platycterium bifurcatum*), 파키라(*Pachira*), 아이비(*Hedera helix*), 아레카야자(*Chrysalidocarpus lutescens*), 울마(*Cupressus macrocarpa 'Wilma'*), 관음죽(*Rhapis excelsa*)의 8종의 식물을 이용하였다.

본 연구는 시민들이 거주하는 주택에서 식물에 의한 내부 변화를 알아보기 위해 이와 유사한 형태의 모의 건물을 제작하여 실험을 진행하였다. 일반 주택의 형태는 외부 챔버로 지칭하며 이는 샌드위치 판넬로 제작하였으며 크기는 1100×1100×1100(mm) 이고 빛이 들어올 수 있게 양쪽에 창문을 달았으며 정면에는 실험을 진행할 수 있게 문을 달고 내부를 관찰 할 수 있도록 유리를 설치했다. 외부챔버 안에는 시민이 거주하는 일반 가정집을 가정하여 내부챔버를 제작하여 설치하였으며 800×800×800(mm) 크기에 유해물질이 발생하지 않는 유리 스테인레스 재질을 사용하였고 내부 공기순환을 위해 천정에는 지름 100mm인 공기순환 팬 2개를 장착하였다. 외기 유입이 없는 시료채취를 위해 내부 챔버에서 외부 챔버로 이어지는 관을 설치하여 연결한 후 외부 코크를 이용하여 시료를 채취하였다.

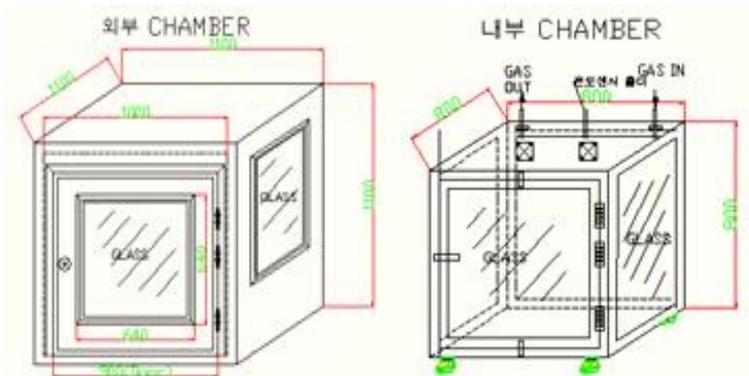


Fig. 5. Layouts of two outside and inside chambers



Fig. 6. Measurement of chambers

Ⅲ. 결과 및 토의

3.1. 쿨루프 및 그린루프 조사

3.1.1. 온실가스 조사

쿨루프 및 대조지점과 그린루프 및 대조지점에서 채취한 온실가스 중 이산화탄소(CO₂) 분석 결과를 Fig. 7.에 나타내었다. 실험결과를 보면 쿨루프 설치지점의 평균농도는 454.3 ppm 으로 대조지점의 농도 460.6 ppm보다 약 6 ppm 낮게 나타났다. 쿨루프와 대조지점 모두 3월에 각각 505.1, 527.8 ppm으로 가장 높은 이산화탄소 농도를 보였으며, 8월에 각각 381.5, 378.6 ppm으로 가장 낮은 이산화탄소 농도로 관찰되었다. 그린루프 설치지점은 쿨루프 설치지점과는 다르게 대조군과 비슷한 평균 농도가 관찰되어 각각 457.3, 457.7 ppm으로 나타났으며, 그린루프의 경우 6월에 가장 높은 농도(470.2 ppm), 8월에 가장 낮은 농도(442.5 ppm)이었고, 대조지점의 경우 10월에 가장 높은 농도(471.8 ppm), 8월에 가장 낮은 농도(441.6 ppm)으로 관찰되었다.

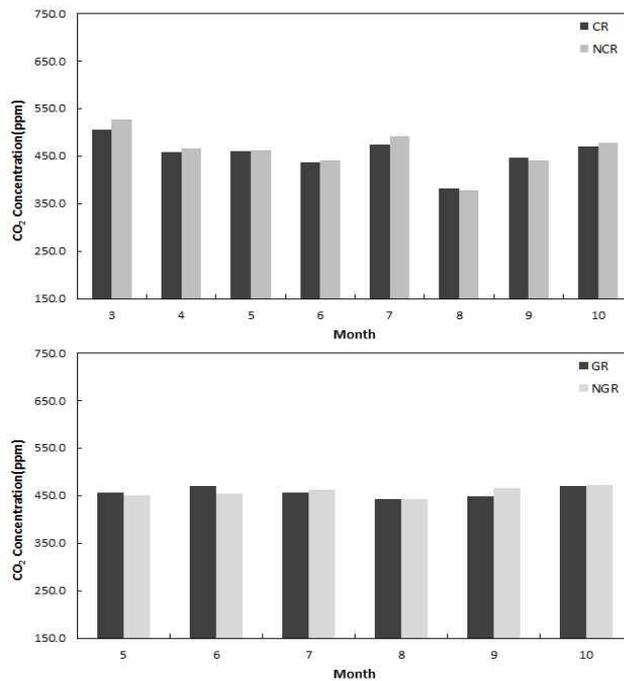


Fig. 7. CO₂ Concentration

한편, 온실가스 중 메탄(CH₄) 농도는 쿨루프 및 그린루프 설치 지점에서 대조 지점보다 소폭 낮은 평균값을 나타냈지만 그 차이가 크지는 않았다. 쿨루프 설치 지점 및 대조지점은 각각 1.96, 1.97 ppm의 농도를 보였으며, 그린루프 설치지점 및 대조지점은 각각 2.00, 2.03 ppm을 나타냈다. 월별 경향을 보면 쿨루프의 경우 10월에 가장 높은 메탄농도(2.16 ppm)와 8월에 가장 낮은 메탄농도(1.62 ppm)가

관찰되었으며 쿨루프 대조지점의 경우 7월에 가장 높은 메탄농도(2.14 ppm)와 8월에 가장 낮은 메탄농도(1.62 ppm)가 나타났다. 그린루프와 그린루프 대조지점의 경우 7월에 모두 높은 농도(각각 2.04, 2.13 ppm)가 나타났지만, 그린루프는 9월에(1.94 ppm), 그린루프 대조지점은 6월(1.88 ppm)에 가장 낮은 월별 농도가 관찰되었다.

3.1.2. 유해대기물질 조사

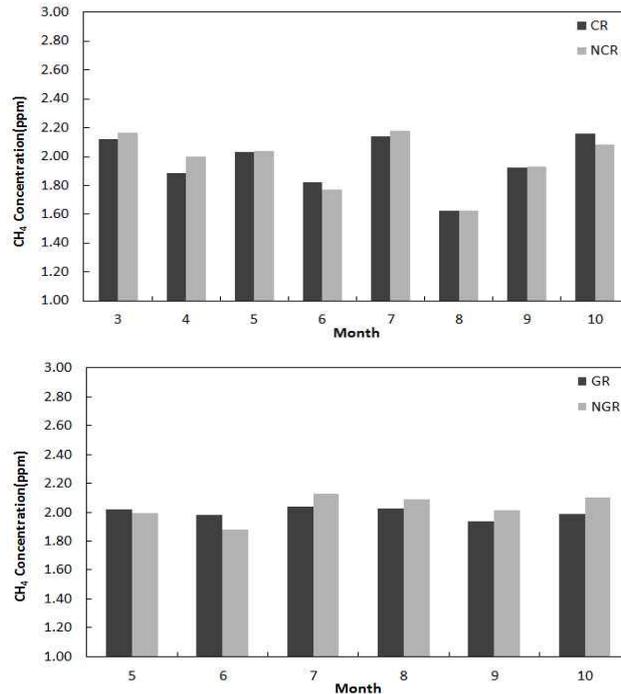


Fig. 8. CH₄ Concentration

쿨루프 및 대조지점에서 분석한 VOCs (BTEX)의 월별 농도변화와 그린루프 및 대조지점에서 분석한 월별 농도변화를 Fig. 9에 나타내었다. 온실가스 조사 양상과는 다르게 설치지점별 VOCs의 대기농도는 쿨루프 및 그린루프 설치 지점에서 다소 높은 농도 경향을 보였다. 쿨루프 설치지점의 평균농도는 약 2.13 ppb로 대조지점 평균농도 약 1.42 ppb에 비해 0.7 ppb 이상 높게 나타났으며, 그린루프 설치지점의 평균농도는 약 1.16 ppb로 대조지점의 평균농도 0.69 ppb 보다 약 0.5 ppb 높게 나타났다. 최근 연구된 쿨루프 관련 문헌을 참고하면 쿨루프(Cool roofs)와 차가운 벽(Cool wall)의 설치는 도시 열섬현상 완화에 좋은 역할을 할 수 있다고 기술되어 있다. 하지만 건물의 반사율이 높아지면 주위의 온도가 내려가 바람의 세기와 대기경계층이 낮아지고 이에 따라 통풍이 줄어들어 1차 오염물질이 증가하며 광화학반응을 감소시켜 질산염 등 오염물질이 전반적으로 증가할 수 있음을 모델링 결과로 유추해 냈다(Zhang et al., 2019, Epstein et al., 2017). 물론 좁은 지역에서의 단기간 농도 관찰로 국한되어 있고 오염물질도 정확하게 일치하지 않아 큰 상관성이 있다고 할 수는 없지만 관련 사항을 기반으로 더욱 다양한 장소에서 많은 횟수를 진행한 추후 연구가 필요하다.

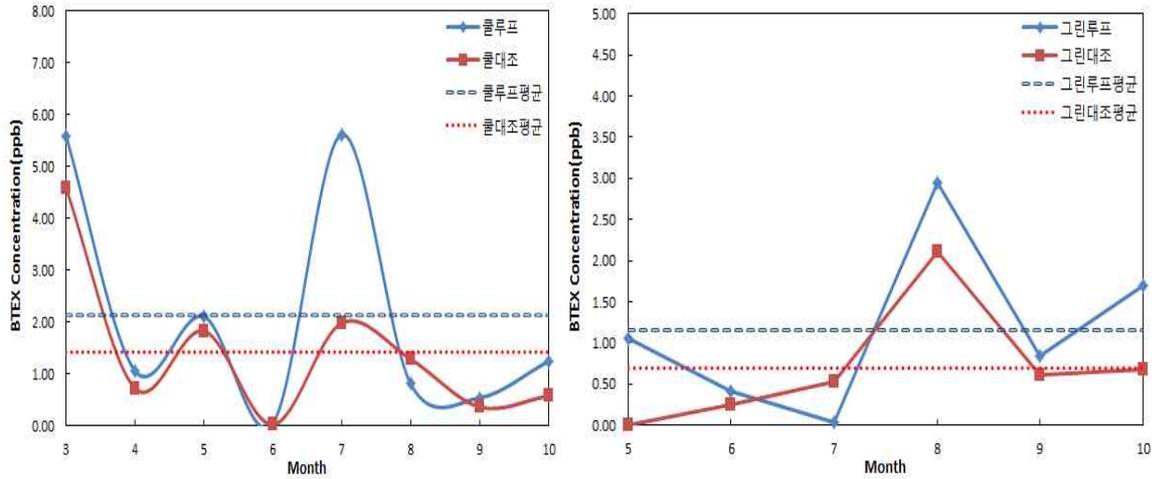


Fig. 9. VOCs Concentration

3.1.3. 쿨루프 및 그린루프 설치 지점 현장측정 대기온도 및 습도변화

Table 1. Air temperature(°C) of rooftop in 2019.

Site Month	3	4	5	6	7	8	9	10	Avg.
Coolroof	11.5	21.7	24.3	22.5	28.6	33.9	23.2	20.4	23.3
Non-Coolroof	15.1	25.1	25.1	24.1	30.7	34.6	25.6	27.5	26.0
Greenroof	-	-	22.0	24.4	27.4	28.3	22.9	19.5	24.1
Non-Greenroof	-	-	24.2	25.7	29.2	28.8	25.8	24.1	26.3

Table 2. Air humidity(%) of rooftop in 2019.

Site Month	3	4	5	6	7	8	9	10	Avg.
Coolroof	69.1	11.7	30.3	71.7	63.9	58.8	38.2	41.4	48.1
Non-Coolroof	56.9	11.4	28.9	66.7	55.3	55.8	33.3	28.0	42.0
Greenroof	-	-	47.0	68.2	65.0	65.1	48.6	38.2	55.4
Non-Greenroof	-	-	41.7	64.3	61.0	60.4	40.1	30.2	49.6

온실가스 및 유해대기 시료채취와 동일한 날짜에 관측한 쿨루프 및 그린루프 설치 지점 현장측정 대기온도 및 습도의 측정결과를 Table 1.과 Table 2.에 나타내었다. 먼저 쿨루프 설치지점의 경우 3월부터 10월까지 모두 대조지점에 비해 낮은 온도가 관측되었다. 이는 쿨루프가 가진 반사율로 인한 지붕 표면온도 하강이 지붕 바로 위 대기 온도에도 영향을 미친 것으로 판단된다. 쿨루프 적용 지점과 대조지점의 온도 차이는 최소 0.7 °C(8월)에서 최대 7.1 °C(10월)로 나타났으며 쿨루프 적용 지점이 평균 2.7 °C 낮은 온도를 보였다. 쿨루프와 유사하게 그린루프 설치지점에서도 대조지점보다 낮은 온도가 관측됐다. 최소 0.5 °C(8월)에서 최대 4.6 °C(10월)의 차이를

보였으며 평균 2.2 °C 낮게 그린루프 설치지점의 온도가 나타났다. 습도의 경우에는 쿨루프 및 그린루프 설치지점에서는 최소 3.9 %(6월)에서 최대 8.5 % (9월)의 차이가 나타났고 평균 5.7 % 높은 값이 관측되었다. Fig. 10.은 8월 14일 쿨루프 지점과 대조지점을, Fig. 11.은 8월 27일 그린루프 지점과 대조 지점을 열화상 카메라로 찍은 사진이다. 8월 14일 측정당시 쿨루프 지점의 대기온도는 33.9 °C였고 대조지점은 34.6 °C로 관찰되었다. 열화상 카메라로 지붕 위 온도를 측정한 결과 쿨루프 지점이 대조지점보다 약 7.6 °C 낮은 것으로 확인할 수 있었다. 더운 여름철 30도 이상의 높은 기온을 기록했지만 쿨루프 설치지점의 경우 태양열의 반사로 인해 대조지점보다 상대적으로 온도 상승이 낮은 것을 육안으로 확인할 수 있다.

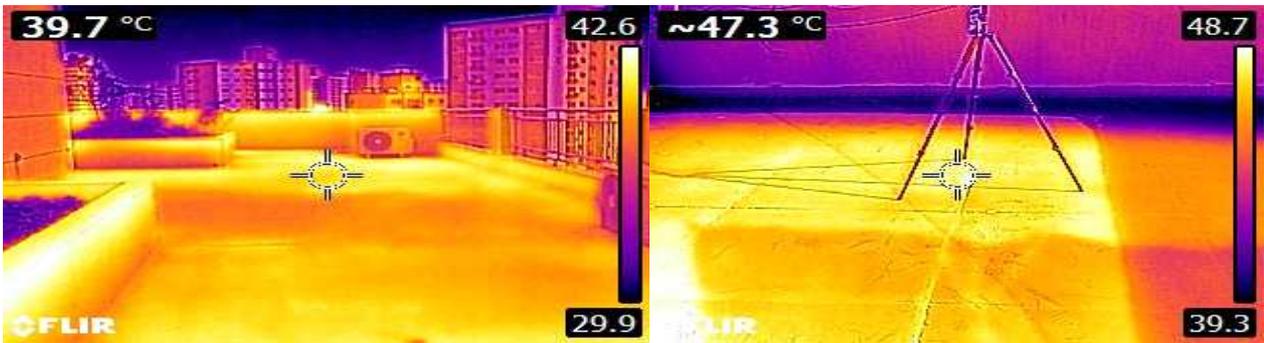


Fig. 10. Thermal imaging camera measurement pictures
(Left : Application of cool roofs, CR, Right : Non-Application of cool roofs, NCR)

8월 27일 측정일 당시 그린루프 및 대조지점의 경우 각각 시료채취 지점 대기 중 평균 온도가 각각 28.3 °C, 28.8 °C로 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 열화상 카메라 촬영 결과 그린루프 지점의 경우 약 2 °C의 온도상승이 있는 것과는 다르게 대조지점의 경우에는 10 °C 이상의 표면온도 상승을 관찰 할 수 있었다. Fig. 11.과 같이 측정일 당시 그린루프 설치지점이 대조지점보다 8.2 °C 낮은 30.0 °C 수준으로 측정되었다.



Fig. 11. Thermal imaging camera measurement pictures
(Left : Application of green roofs, GR, Right : Non-Application of green roofs, NGR)

3.2. 식물 수종별 정화능 조사

3.2.1. 유해대기물질 조사

식물 종류에 따른 VOCs 4종의 제거는 Fig. 12. ~ 15.에 나타내었으며 실험시간이 지속될수록 오염물질의 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 실험시작 후 시간별 경과에 따른 조사 시간을 선정하여 비교하였을 때 식물 종류별 평균농도는 최소 61.6 %에서 최대 99.3 %의 유해물질이 제거됨을 관찰할 수 있었다.

우선 뽕갈고무나무와 산호수의 경우 초기농도에 비해 6시간 까지 BTEX 총 농도가 각각 81.1 %, 83.9 % 제거되는 것으로 나타났다. 뽕갈고무나무의 경우 벤젠 79.1 %, 톨루엔 83.6 %, 에틸벤젠 86.2 %, 자일렌 81.3 %의 제거율로 관찰되었으며, 산호수의 경우 벤젠 94.3 %, 톨루엔 89.9 %, 에틸벤젠 87.8 %, 자일렌 86.0 %의 제거율을 보였고 네 가지 유해오염물질 중 벤젠의 제거가 우월한 것으로 나타났다. 박쥐란과 파키라의 경우 초기농도에 비해 6시간까지 BTEX 총합 농도가 각각 90.1 %, 87.7 % 제거된 것으로 관찰되었다. 박쥐란의 경우 벤젠 77.9 %의 제거율보다 톨루엔 88.9 %, 에틸벤젠 92.9 %, 자일렌 94.9 %의 제거율이 상대적으로 높게 나타났고, 파키라의 경우 벤젠 79.7 %, 톨루엔 71.8 %보다 에틸벤젠 90.0 %, 자일렌 92.6 %이 상대적으로 더 높은 제거율을 보였다. 아이비와 아레카야자는 초기농도에 비해 6시간동안 각각 81.6 %와 85.7 %의 BTEX 총 농도합의 제거율을 보였으며, 아이비의 경우 벤젠 73.9 %, 톨루엔 72.0 %, 에틸벤젠 86.3 %, 자일렌 88.9 %의 개별물질 제거율을 보였다. 아레카야자는 벤젠 60.7 %, 톨루엔 81.7 %, 에틸벤젠 91.1 %, 자일렌 77.4 %의 제거율을 보였다. 울마와 관음죽은 초기농도에 대해 6시간동안 BTEX 총 농도 합이 각각 61.6 %, 74.2 %의 제거율을 보여 다른 여섯 가지 식물 중 가장 적은 제거율을 보였으며, 울마의 경우 벤젠 35.7 %, 톨루엔 47.4 %, 에틸벤젠 65.2 %, 자일렌 73.0 %의 제거율을, 관음죽의 경우 벤젠 59.8 %, 톨루엔 55.8 %, 에틸벤젠 79.2 %, 자일렌 93.2 %의 제거율을 보였다.

8종 식물의 경우 초기농도에 대한 6시간 경과 후 제거는 울마와 관음죽을 제외하면 나머지 6종류의 80 % 이상 VOCs가 제거되는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 24시간 경과 후 관찰한 데이터에서는 산호수, 아이비, 울마는 약 80 % 이상의 제거율을, 그 외의 모든 식물은 90 % 이상의 제거율을 보였다.

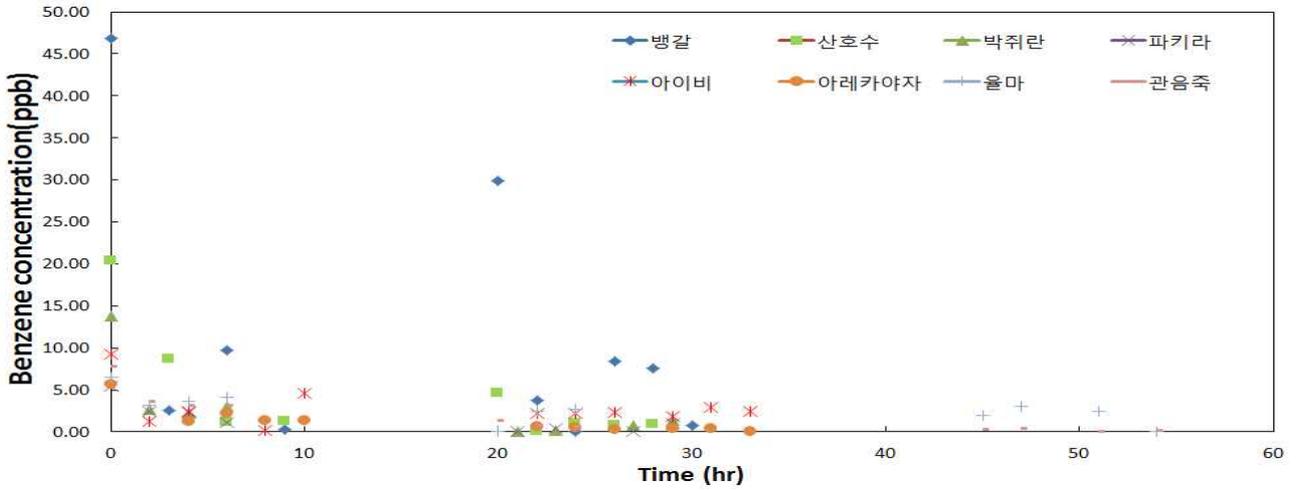


Fig. 12. Concentration variation of Benzene

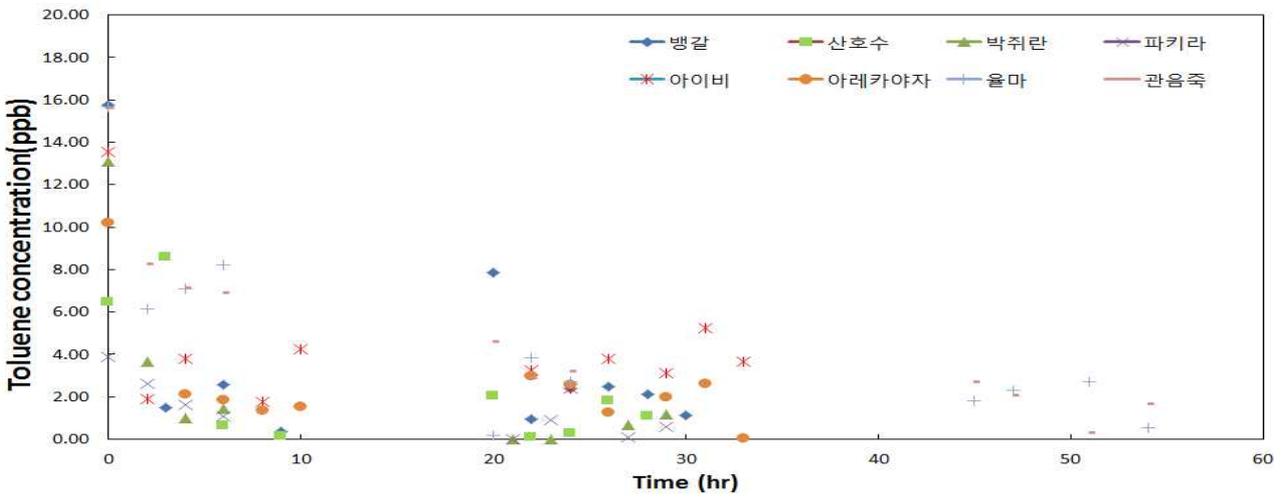


Fig. 13. Concentration variation of Toluene

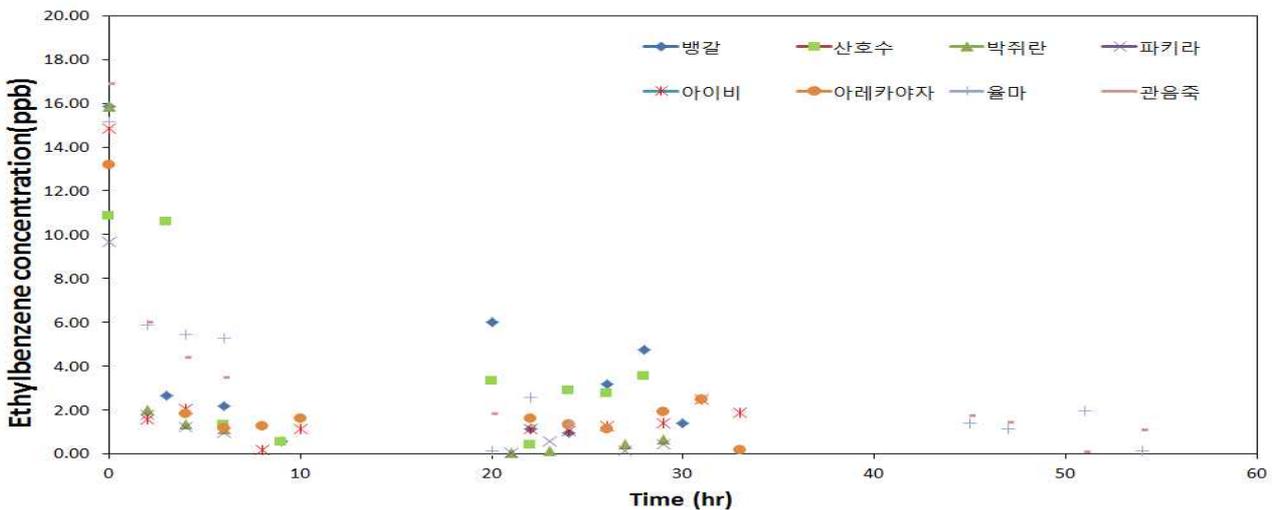


Fig. 14. Concentration variation of Ethylbenzene

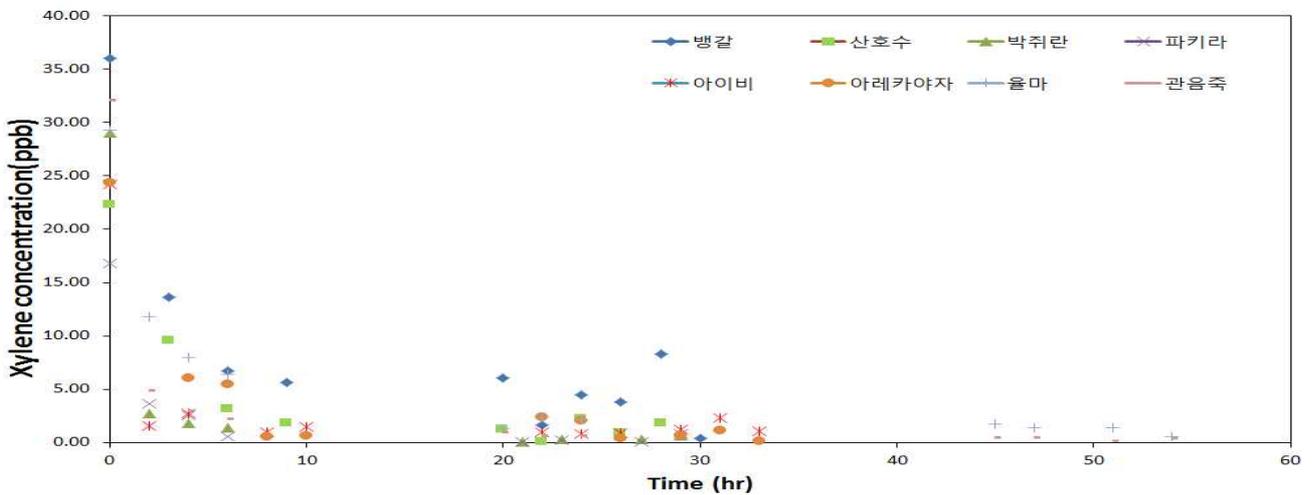


Fig. 15. Concentration variation of Xylene

24시간 기준으로 보면 박쥐란 99.3 %으로 가장 높은 제거율을 보였으며 뱅아레 카야자 90.3 %, 아이비 89.6 %, 율마 85.4 %, 산호수 82.0 %의 순으로 유해물질 제거율을 보였다.

선행연구와는 다르게 실제 햇빛을 받는 실거주 주택을 가정하여 생각한 실험으로 감안하면 시간이 지남에 따른 유해대기물질의 농도 변화는 오로지 식물에 의한 제거만을 고려할 수는 없다. 또한 VOCs 표준가스만 주입하여 광분해 정도를 알아본 예비실험 결과에서 챔버의 위치를 최대한 빛이 일정하게 들어갈 수 있도록 배치 하였지만 챔버 1번에서는 광분해 제거율이 70 % 이상 높게 나타났지만 챔버 2번에서는 자일렌의 경우만 13 % 제거되었고, 그 외의 물질은 오히려 소폭 증가 하였다. 따라서 밀폐를 가정한 챔버를 구성하였지만 시료 채취시 발생하는 오차와 챔버의 미세한 틈으로 유입되는 공기, 특히 야외 실험으로 인한 일정치 않은 광분해에 의한 VOCs의 제거 등 다양한 변수가 작용하여 오염물질의 변화가 생겼을 것으로 판단된다. 또한 시간 경과에 따라 오염물질의 농도가 이전 채취 시간보다 조금씩 상승하는 경우도 발생했는데, 이는 식물이 변화된 환경에 대한 적응과정과 챔버내 오염물질의 불완전한 혼합 등으로 인해 추후 연구가 필요하다고 여겨진다.

3.2.2 식물종류에 따른 온실가스 변화량

8종류 식물의 이산화탄소 변화 실험(Fig. 16.)에서 표준가스 주입 후 10분간 안정화 한 뒤 초기 농도는 471.4 ppm ~ 555.6 ppm으로 큰 차이 없는 농도를 보였다. 이후 7시간이 지났을 때의 결과는 식물 종류별로 차이를 보였다. 뱅갈고무나무, 산호수, 파키라, 아레카야자는 초기 농도에 비해 감소한 반면 나머지 박쥐란, 아이비, 율마, 관음죽은 초기 농도보다 소폭 증가하였다. 7시간 기준 가장 높은 제거율을 보인 식물은 산호수로 38.6 %의 이산화탄소 제거율을 보였으며 그 뒤는 뱅갈고무

나무(28.8 %), 아레카야자(9.2 %), 파키라(0.9 %)였다. 이산화탄소가 증가한 나머지 네 식물은 최소 28.3 ~ 최대 73.9 %까지 이산화탄소가 증가한 것으로 나타났다. 24시간 후 이산화탄소 농도는 8종 식물 모두 초기 농도보다 증가한 것으로 나타났다. 산호수의 경우 가장 적은 이산화탄소 증가(6.6 %)를 보였으며 그 뒤를 관음죽(31.0 %), 파키라(47.4 %), 아레카야자(57.6 %), 아이비(58.7 %), 뱅갈고무나무(88.5 %)였으며 아레카야자(137.1 %)와 박쥐란(137.6 %)의 경우 130 % 이상의 이산화탄소 증가를 보였다. 이처럼 이산화탄소가 증가한 것은 밀폐된 챔버내의 공기 감소에 따라 식물의 호흡량 조절과 갑자기 변한 환경에 대한 식물의 적응 등 여러 가지 이유로 일어났음을 생각할 수 있다.(이윤국 et al., 2015, Park et al., 2010)

메탄의 경우 실험 초기 농도가 2.17 ~ 2.34 ppm 의 범위를 보였다(Fig. 17.). 7시간 경과 후 메탄의 농도 변화를 보면 뱅갈고무나무, 울마, 관음죽의 경우 초기 농도보다 증가한 반면 나머지 5종의 식물인 산호수, 박쥐란, 파키라, 아이비, 아레카야자의 메탄농도는 줄어든 것으로 나타났다. 메탄의 경우 파키라(6.8 %), 산호수(6.0 %), 아이비(3.0 %), 박쥐란(2.3 %), 아레카야자(0.5 %)의 순으로 제거됐으며 10 %이내의 제거율을 보였다. 24시간 경과 후 메탄의 농도 변화는 박쥐란의 경우 초기농도와 동일, 아레카야자, 관음죽은 증가한 반면, 나머지 5종의 식물인 뱅갈고무나무, 산호수, 파키라, 아이비, 울마의 경우 메탄의 농도가 낮아진 것으로 확인됐다. 24시간 경과후 메탄의 제거는 산호수가 12.8 %의 제거율을 보였으며 파키라 10.7 %, 아이비 8.5 %, 울마 2.6 %, 뱅갈고무나무 1.8 % 순으로 조사되었다. 초기 7 시간의 농도변화의 양상으로만 볼 때 이산화탄소와 메탄 모두 제거가 좋은 산호수가 실내식물에 가장 적합한 것으로 판단된다.

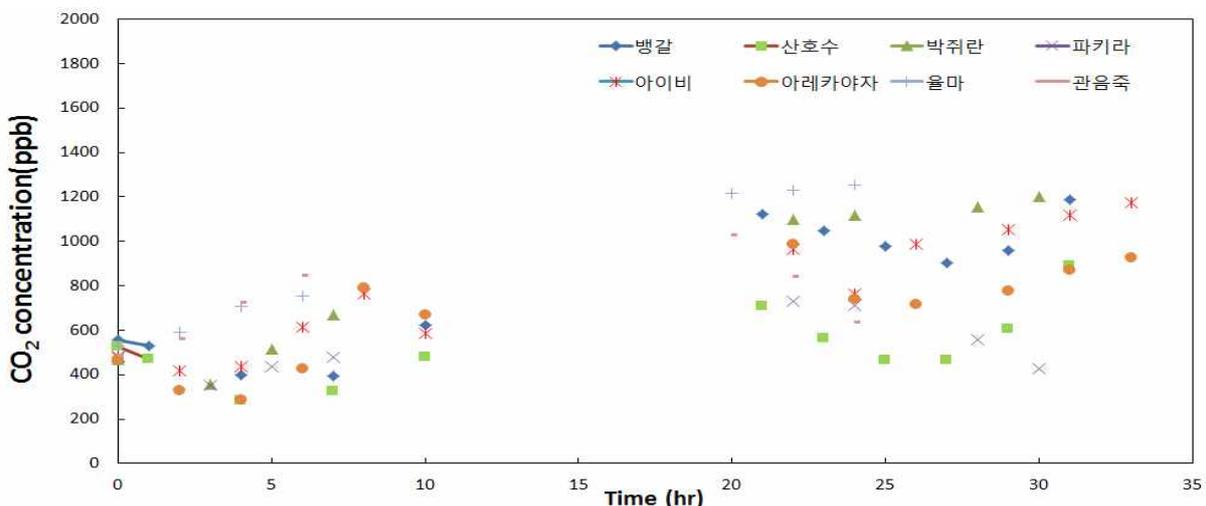


Fig. 16. Concentration variation of Carbondioxide(CO₂)

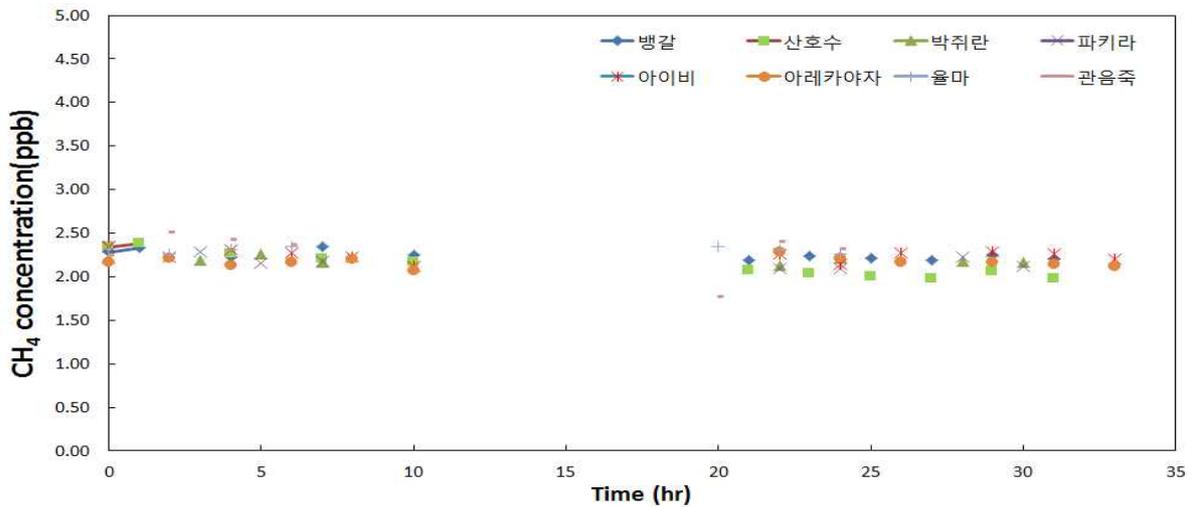


Fig. 17. Concentration variation of Methane(CH₄)

IV. 결론

본 연구에서는 쿨루프 설치 유무에 따른 온도변화, 대기 중 오염물질의 변화와 실내식물의 정화능에 관한 실험을 진행하여 시민과 지자체에서 건물 외부 및 내부에서 시행할 수 있는 기후변화 대응방법을 위한 자료를 구축하고자 하였다.

먼저 쿨루프 및 그린루프 설치 지점에서 이산화탄소의 대기 농도는 쿨루프의 설치지점의 평균농도는 460.6 ppm으로 대조지점의 454.3 ppm 보다 6 ppm 낮게 나타났고 그린루프 설치지점에서는 평균농도 457.3 ppm으로 대조지점의 457.7 ppm과 유사하게 조사되었다.

메탄은 쿨루프 및 그린루프 설치 지점에서 대조지점보다 소폭 낮은 평균값이 나타났으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 대기 온도변화의 경우 쿨루프 설치 지점이 대조지점보다 평균 2.7 °C, 그린루프 설치지점이 대조지점보다 평균 2.2 °C 낮은 대기 온도로 관찰되었으며, 습도의 경우 쿨루프 및 그린루프 설치지점이 대조지점보다 각각 6.1 %, 5.8 % 높게 나타났다. 또한 열화상카메라로 촬영한 쿨루프 및 그린루프 설치지점의 표면온도는 대조지점보다 각각 약 10 °C, 8 °C 낮게 관측되었다. 결과적으로 쿨루프와 그린루프는 오염물질에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 온도와 습도 유지에 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 도시대기의 열섬현상과 같은 이상기온을 해소하기 위해 쿨루프와 그린루프의 설치를 제도적으로 활용하면 하절기 고온현상으로 인한 질병과 피해에 효과적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 공기정화식물 8종에 대한 휘발성유기화합물질(VOCs) 제거는 초기농도에서 6시간 경과 시점까지 울마와 관음죽을 제외하면 80 % 이상의 오염물질 제거율을

보였으며, 24시간 기준으로는 박쥐란 99.3 %, 땃갈고무나무 95.8 %, 파키라 93.3 %, 관음죽 90.8 %, 아레카야자 90.3 %, 아이비 89.6 %, 울마 85.4 %, 산호수 82.0 %의 순으로 산호수, 아이비, 울마가 80 % 이상의 제거율을, 나머지 5종의 식물은 90 % 이상의 제거율을 보였다. 온실가스 중 이산화탄소의 변화량은 7시간 기준으로 산호수, 땃갈고무나무, 아레카야자, 파키라 순으로 제거율이 좋았지만 나머지 식물은 이산화탄소가 증가하였으며, 이는 식물의 호흡량과 광합성량에 의존적일 수 있고 스트레스와 환경 변화 등에 따라 달라질 수 있는 부분이다. 메탄의 경우 7시간 기준으로 파키라, 산호수, 아이비, 박쥐란, 아레카야자 순으로 제거율이 좋았으며 나머지 3종의 식물은 초기 농도보다 증가했다. 7시간 기준의 농도 양상으로 이산화탄소와 메탄 제거에 가장 효율적인 식물은 산호수로 나타났다. 따라서 산호수와 파키라가 공기정화식물로 활용도가 가장 우수하며, 앞서 언급한 쿨루프 효과와 더불어 해당 식생물을 활용하는 그린루프 또는 식생물과 쿨루프 조합한 기술을 개발하여 설치하면 열섬현상과 VOCs 및 온실가스를 저감에 효과적으로 대응할 수 있고 도심 속의 빌딩숲을 이룰 수 있을 것으로 판단된다.