

외국식물의 배치변화에 따른 폼알데하이드와 VOCs 농도저감에 관한 연구

A Study on the Reduction of Formaldehyde and VOCs by Positions of Foreign Plants

송 정 은* 김 용 식** 손 장 열***
Song, Jeong Eun Kim, Yong Shik Sohn, Jang Yeul

Abstract

With architectural technology, a building has been a far dense and close. So the thermal environment of the building has become pleasant, but the quality of indoor air has been degraded. Using synthetic products for construction materials and furniture indoors escalates the concentration of volatile organic compounds(VOCs) at indoor air, threatening the health of the residents. To reduce the concentration of volatile organic compounds at indoor air, many methods are designed, and of late, concern has been increased about the effect of air purification using air purifying plants. Field measurements were performed using *Aglaonema brevispathum*, *Pachira aquatica* and *Ficus benjamiana*, which were verified as air-purifying plants by NASA. The effect of reducing the concentration of air contaminants by plant studied in a full scale mock-up model. The variations of concentration of Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Formaldehyde were monitored. In most cases, the effect was excellent in Toluene and formaldehyde in summer.

키워드: 외국식물, 실내공기질, 휘발성유기화합물, 폼알데하이드

Keywords : Foreign Plant, Indoor Air Quality, Volatile Organic Compounds(VOCs), Formaldehyde

1. 서 론

일반 공동주택에서 실내공간의 공기질을 저하시킬 수 있는 주요 물질로는 미세먼지, CO₂, 부유세균, 라돈 등이 있으며, 특히 폼알데하이드와 휘발성유기화합물(VOCs)의 발생으로 인한 오염은 알레르기성 질환 및 호흡기 질환 등의 심각한 문제를 일으키고 있다. 현재 국내에서도 VOCs로 인한 오염을 저감시키려는 연구가 각 정부 부처에서 활발히 이루어지고 있다. 국립환경과학원은 2005년 신축공동주택의 거주기간에 따른 실내공기 오염도 변화추이 및 영향인자를 파악하기 위해, 신축공동주택을 대상으로 입주 전과 입주 후의 오염도를 조사하였다. 그 결과, 폼알데하이드의 농도변화에서 입주 전보다 입주 후의 농도가 증가하는 것을 파악하였으며, 그 원인으로 톨루엔은 생활용품보다 페인트 등 건축자재에서 주로 나오기 때문이며, 폼알데하이드는 건축자재보다 가구 등 생활용품에서 주로 나오기 때문이라고 보고하였다. 이렇게 최근 신축 주택은 다양한 건설 자재로부터 발생하는 오염물질로 인해 새집증후군을 일으키고

있으며, 이에 정부에서는 2004년 '다중이용시설 등의 실내공기질 관리법'을 제정함에 따라 거주자에게 쾌적한 공기환경을 제공하기 위해 다양한 방안을 시도하고 있다. 또한 환경부는 새집증후군을 예방하기 위해 지난 2004년부터 시중에 유통 중인 건축자재를 대상으로 오염물질 방출시험을 실시해 기준에 초과된 제품은 오염물질방출 건축자재로 고시하고 있다. 최근에는 건축물에 환경 친화적인 공간을 도입하여 자연과 인간을 유기적으로 연계하는 그린 빌딩디자인에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 웰빙의 일환으로 공기정화식물이 많이 이용되고 있다. 건축물 외부의 녹화가 대기질 개선 효과를 주었다면, 이제는 실내 공기질 개선을 위해 실내에 적극적인 식물 도입이 필요할 때이다. 실내에서 식물은 단순한 관상 목적의 차원을 넘어서 실내 환경을 개선 효과를 가지는데, 여기에는 대기 중 오염물질의 감소, 온도와 수분의 조절, 오염된 공기의 정화·여과, 소음 차단 등의 작용이 있다. 식물은 기공에서 이루어지는 가스교환 형식에 따라 가스 상의 실내오염물질을 식물 체내에 흡수한다. 또한 증산작용에 의하여 고온의 실내 온도를 저하시키고, 적정온도 이하에서는 식물체 내의 열을 외기로 전달하여 실온을 상승시키는 등 실내 환경의 개선에 도움을 준다. 이와 같이 식물에 의한 자연정화 시스템의 이용은 에너지 절약 차원에서

* 교신저자, 한양대학교 대학원 박사과정(jesong@hanyang.ac.kr)

** 인천대학교 건축공학과 교수

*** 한양대학교 건축대학 교수

뿐만 아니라 실내 공간에서 생활하고 있는 거주자의 쾌적성을 증대시키기 위하여 필요하다. 본 연구에서는 공기정화식물로 알려진 3종의 외국식물을 대상으로 식물의 배치변화에 따른 실내 공간에서 폼알데하이드와 VOCs의 농도 저감효과를 파악하고자 한다.

2. 실험 방법

실내공간에서 발생하는 폼알데하이드와 VOCs를 저감시키는 실험을 위하여 실험실 내부에 공기정화식물을 배치한 후에 측정을 실시하였다. 실험을 위하여 일반적인 주택을 축소화시킨 모델 실험실을 제작하였다. 실험실은 남향을 정면으로 바라보고 있으며, 거실과 베란다가 있는 구조로, 실험공간과 외기에 바로 인접한 베란다부분, 실험준비를 위한 복도실로 이루어졌다. 실험실은 가로 3.5m, 세로 3.5m, 높이 2.4m의 크기로, 그림 1에서와 같이, 1실과 2실의 실험실로 구성되어 있으며, 한 곳에는 식물을 설치하고, 비교실험을 위해 다른 한 곳에는 식물을 설치하지 않고 실험하였다. 대상 식물인 파키라, 아글라오네마, 벤자민고무나무는 실내공기 오염물질인 포름알데히드, 벤젠, 자일렌 등의 제거 능력이 뛰어난 식물로 알려져 있다. 벤자민고무나무는 길이가 5~12cm인 두껍고 광택이 나는 암록색의 잎을 갖고 있다. 열대지역이 원산지이므로 찬바람을 쐬고 나면 잎이 많이 떨어져버리므로, 보통실내에서 키우고 있다. 파키라는 NASA의 공기정화 실험에서도 효과가 있다고 알려진 식물로, 멕시코에서 남아프리카가 원산지인 관엽식물이다. 높이는 30~200cm까지 다양하며, 두꺼운 줄기와 거기서 뻗은 가느다란 가지가 특징적이다. 가지 끝에는 손바닥 모양으로 된 복엽(겹잎)이 달리고, 작은 잎은 긴 타원형의 모양이다. 파키라는 VOCs를 없애는 능력이 뛰어나 공기정화에 좋은 식물이기 때문에 아파트의 베란다 또는 거실에서 키우면 좋다. 세 종류의 식물은 크기가 약간씩 달랐으나, 총 부피를 같게 하여 실험실에 배치하였다. 본 연구에서는 세 종의 식물을 배치방법을 다르게 하면서 VOCs의 저감효과에 대해 파악하고자 한다. 식물의 배치방법에서는 이전의 실험에서는 창가에 가까운 양지배치와 실험실 공간의 세부분으로 나누어 분산하여 배치한 산재배치, 문 쪽에 배치한 음지배치로 나누어 실험하였으나 음지배치의 결과는 효과가 별로 없는 것으로 나타나, 본 실험에서는 양지배치와 산재배치의 효과만을 파악하였다. VOCs의 개별물질 중에서는 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠과 폼알데하이드의 농도 변화를 측정하였으며, 실험실 내에서 인위적으로 유사한 양을 발생시킨 후에 상대비교를 하였다. 식재공간인 실험실(1실)에서는 한 개의 식물을 설치한 후, 3일간 연속적으로 측정하였다. 한 종의 식물에 대한 측정이 완료된 후에 환기를 시킨 후, 다음 식물을 설치하고 동일한 방법으로 측정이 이루어졌으며, 미식재 실험실(2실)에서도 같은

방법으로 측정이 진행되었다. 그림 1은 실험실의 평면을 나타내고, 그림 2는 측정 장면을, 표 1은 실험실 개요 및 측정기기, 측정방법을 나타낸다.

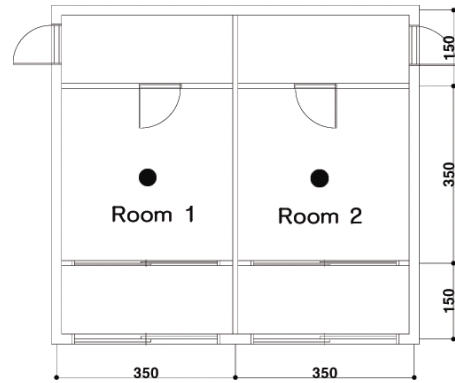


그림 1. 실험실 평면도



그림 2. 측정 장면

표 1. 실험실 개요 및 측정기기

구분	Room 1	Room 2
용도	식재 공간	미식재 공간
크기	3500(W)×3500(D)×2450(H)mm	
측정 기간	2006. 4. 11 ~ 2006. 12. 18	
온·습도	18.0~23.0℃ / 40.0~60.0%	
환기횟수	0.5 회/h	
식물 종류	아글라오네마(Aglaonema brevispathum) 파키라 (Pachira aquatica) 벤자민고무나무(Ficus benjamiana)	
Volatile Organic Compounds	GC-FID (Gas Chromatography-FID) Sampler: Charcoal tube Sampling method: Active sampling during 1 hours Desorption Method: Solvent desorption Carbon disulfide, 2ml	
Form aldehyde	HPLC (High Performance Liquid Chromatography) Sampler: DNPH cartridge Sampling method: Active sampling during 30 minutes Desorption Method: Solvent desorption Acetonitrile, 5ml	

3. 실험 결과

3.1 양지배치에 의한 VOCs 저감효과

실험실 공간의 창가 쪽에 식물을 배치한 양지배치에 의한 실험을 실시하였다. 이전에 실시했던 실험에서도 양지배치나 산재배치를 한 경우에 VOCs 저감효과가 비슷하거나 양지배치가 더 우수한 것으로 나타났으며, 식물의 공기정화능력에서 일사의 영향이 VOCs 저감효과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 반면 미식제공간에서는 대부분의 경우에서 농도가 비슷하거나 높아지는 경향을 나타냈다. 본 연구에서 창가 쪽에 식물을 집중 배치한 양지배치의 실험 결과, 각 VOCs 개별물질별로 농도가 저감되는 것을 파악하고자 한다. 그림 3부터 그림 10에서 A는 아글라오네마를, P는 파키라를, B는 벤자민고무나무를 나타내며, 각 계절마다 저감되는 모습을 보이고 있다.

벤젠의 농도 저감은 실험을 실시한 각 계절 중에서 여름철에 파키라를 식재한 경우에 저감효과가 가장 우수하게 나타났다. 그림 3을 보면, 시간이 지날수록 벤젠의 농도가 저감되는 모습이 나타나고 있으며, 특히 여름에 농도가 많이 저감되는 것을 알 수 있다. 벤젠의 저감량은 각 식물별로 아글라오네마는 $2.1\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 14.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 저감량을, 파키라는 $8.3\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 20.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, 벤자민고무나무는 $3.1\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 18.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 저감량을 나타냈다. 반면 미식재 공간에서는 각 식물별로 $0.4 \sim 4.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 농도가 높아지거나 변화가 없는 결과가 나타났다. 톨루엔의 경우에는 그림 4에서 농도가 저감되는 모습을 나타내고 있으며, 특히 아글라오네마를 여름철에 설치한 결과 톨루엔의 농도가 거의 직선적으로 떨어져 $60.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 가장 큰 저감량을 보이고 있다. 다른 계절보다는 봄과 여름철에 아글라오네마를 설치했을 때 농도 저감효과가 더 우수한 것으로 나타났으며, 봄에는 $31.3\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을에는 $10.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 겨울에는 $5.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 저감량을 나타냈다. 미식재공간에서 톨루엔의 농도는 $0.7 \sim 9.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 증가하였으며, 식재공간에서 여름철 아글라오네마 식재시 $60.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 저감되었을 경우에 미식재공간에서는 $0.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 증가하는 모습을 보였다. 에틸벤젠의 저감량도 파키라를 설치한 경우 여름철에 $28.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 저감되어 가장 효과가 우수하였다. 자일렌은 여름철 아글라오네마를 식재한 경우에, 스티렌은 파키라를 여름에 식재한 경우에 농도 저감효과가 나타났다. 폼알데하이드의 경우에는 그림 6에서 보이는 바와 같이, 농도저감효과가 크게 나타났다. 특히 벤자민고무나무를 여름철에 식재한 경우 농도저감효과가 가장 우수하였으며, 초기농도에서 측정 2일째에 큰 저감량을 나타내었다. 미식재공간과 비교했을 때, 저감량이 최고 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 차이 나기도 하여 식재에 의한 효과가 큰 것으로 나타났다. 벤자민고무나무를 식재했을 때에는 겨울에 최저 $101.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 저감되었고, 여름철에 최고 $414.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 폼알데하이드 농도가 저감된 것을 알 수 있었다.

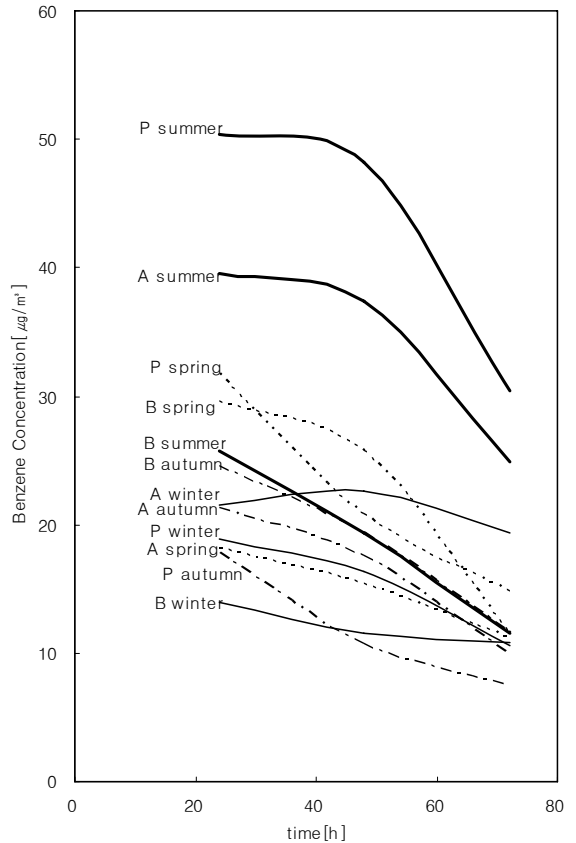


그림 3. 양지배치시 벤젠의 농도

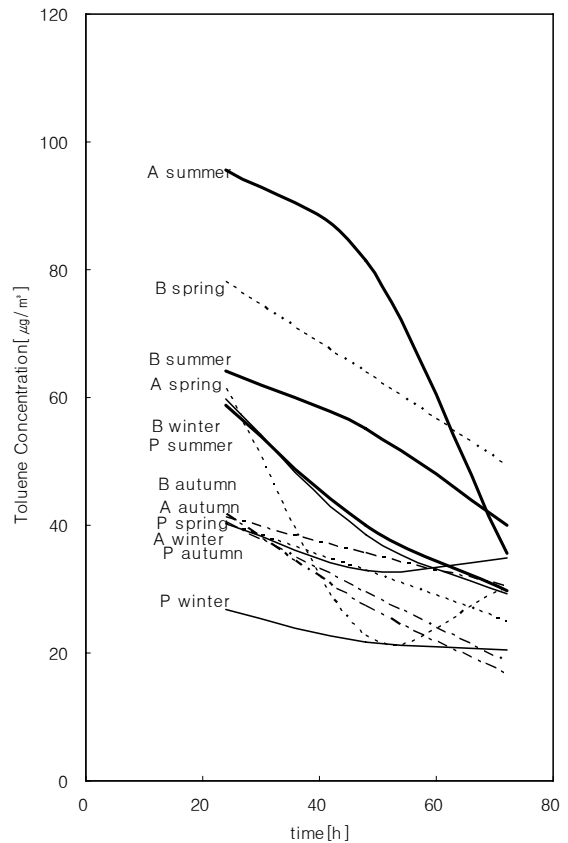


그림 4. 양지배치시 톨루엔의 농도

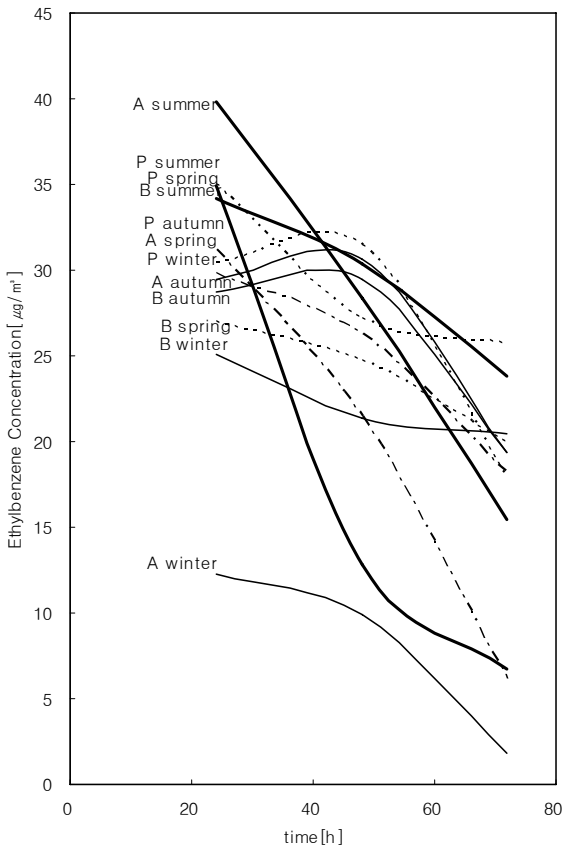


그림 5. 양지배치시 에틸벤젠의 농도

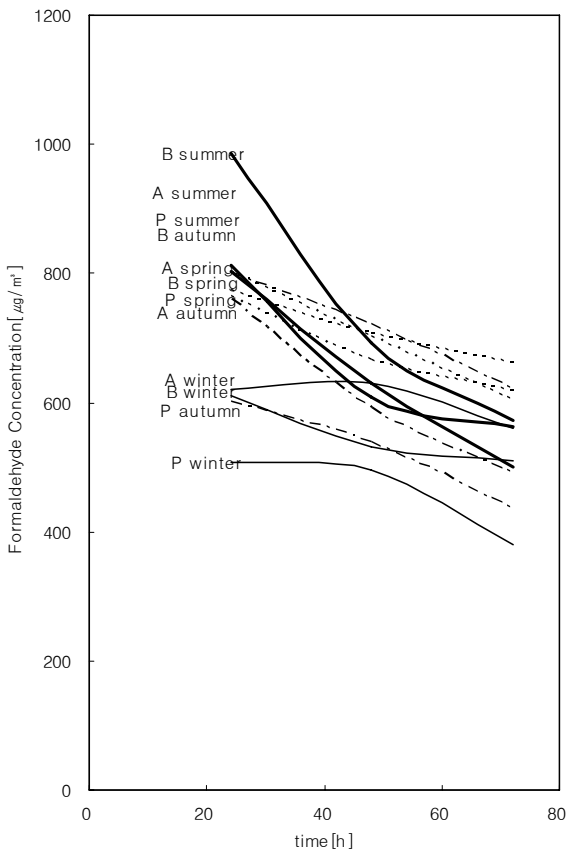


그림 6. 양지배치시 폼알데하이드의 농도

3.2 산재배치에 의한 VOCs 저감효과

식물을 세 군데로 분산하여 배치한 후 폼알데하이드와 VOCs의 농도 저감효과를 파악하였다. 실험실 공간에서 창가 쪽에 총 식물 양의 1/3을 배치하였고, 반대 쪽 두 모서리에 식물을 1/3씩 각각 배치한 후에 측정하였다. 그 결과, 거의 모든 VOCs물질에서 양지배치의 경우보다는 비교적 작은 농도저감량을 나타냈다. 산재배치의 경우에도 여름철에 농도저감효과가 두드러지게 나타났으며, 특히 폼알데하이드의 저감효과가 가장 우수하였다.

벤젠의 경우에는 각 계절별로 최저 $0.7\sim 18.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도저감량을 나타냈으며, 파키라를 여름철에 식재하였을 경우에 가장 큰 저감량을 나타냈다. 식재공간에서는 저감효과가 나타난 반면, 미식재공간에서는 $0.2\sim 7.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도증가량을 나타냈다. 그림 7에서 보여지는 바와 같이 벤젠의 농도는 각 계절마다 조금씩 다른 초기농도를 보였으며, 특히 기온이 높은 여름과 봄에 높은 농도를 나타냈다. 각 식물을 분산하여 산재배치한 경우에 톨루엔의 농도는 여름철에 가장 많이 저감되었다. 특히 아글라오네마를 설치한 경우에 $51.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 저감량으로 가장 효과가 우수하였으며, 미식재공간에서는 $3.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 증가하는 결과를 얻었다. 이와 같이, 대부분의 VOCs 물질에서 식재공간에서는 농도저감의 효과를 얻었으나, 미식재공간에서는 변화가 없거나 농도가 높아지는 결과를 얻을 수 있었다. 식재공간의 농도변화를 볼 때, 톨루엔을 저감시키기 위해서는 아글라오네마를 식재하는 것이 큰 효과가 있을 것으로 사료된다. 에틸벤젠의 경우에는 여름철에 파키라를 식재할 때 가장 큰 효과가 있었으며, 자일렌과 스티렌도 파키라의 효과가 가장 우수하였다. 또한 폼알데하이드는 그림 10에서와 같이 대부분의 경우에 모두 농도가 점차 저감되는 것을 나타내었으며, 특히하게도 아글라오네마를 여름에 식재한 경우에는 2일 째에 농도가 올라갔다가 점차 저감되는 모습을 보였다. 폼알데하이드의 경우에는 벤자민고무나무를 산재배치하여 식재했을 경우에 여름철에 가장 많이 저감되는 결과를 나타냈으며, 양지배치 시에도 벤자민고무나무의 효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 폼알데하이드의 경우에도 미식재 공간의 농도는 거의 변화가 없었으며, 효과가 가장 우수했던 여름철 벤자민고무나무 식재에서는 $280.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 저감된 반면, 미식재공간에서는 같은 조건에서 $34.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 증가하는 결과를 나타냈다. 시간이 지남에 따라 폼알데하이드의 농도가 증가하는 것을 고려할 때, 식재공간에서는 저감량 이상의 농도가 저감된 것으로 사료된다. 대부분의 VOCs를 저감시키기 위해서는 파키라의 효과가 있는 것으로 나타났으나, 톨루엔의 경우에는 아글라오네마를 식재하는 것이 가장 큰 효과를 보였다. 또한 폼알데하이드를 저감시키기 위해서는 벤자민고무나무를 실내공간에 배치하는 것이 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 사료된다.

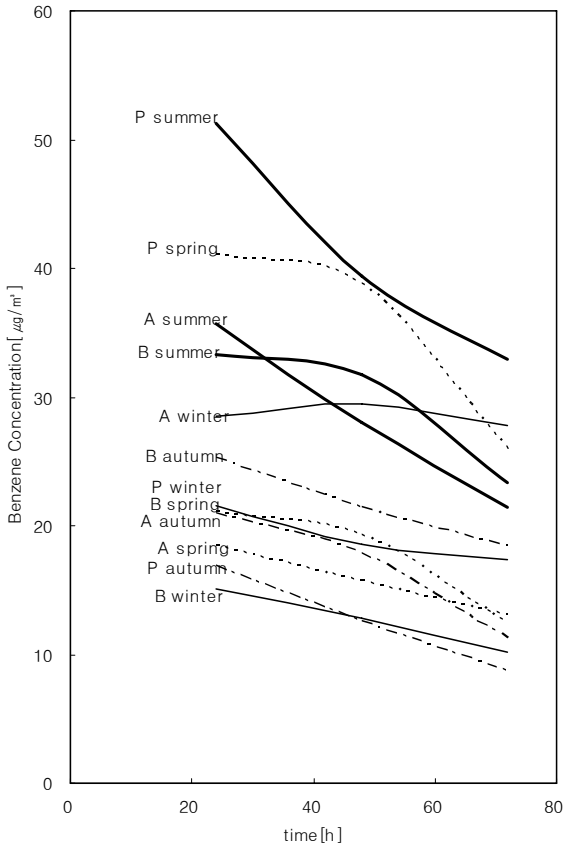


그림 7. 산재배치시 벤젠의 농도

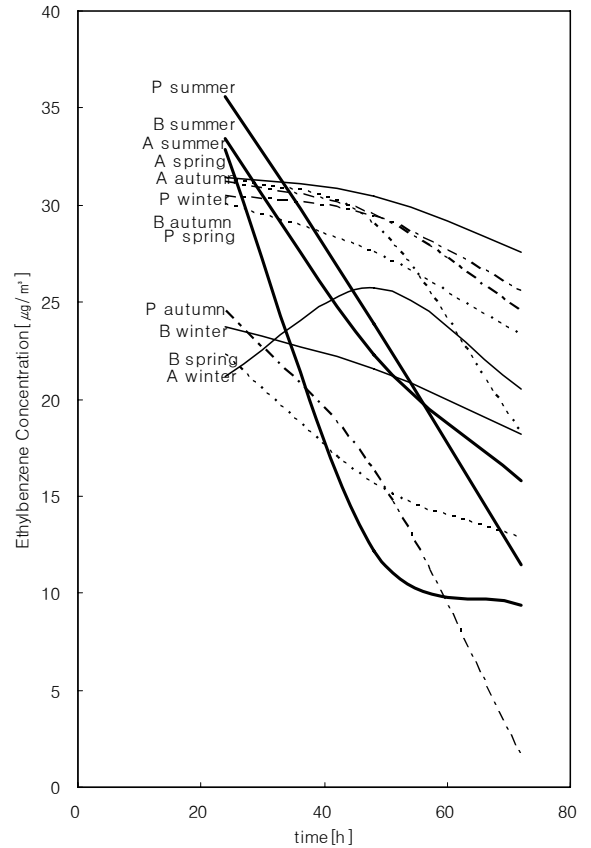


그림 9. 산재배치시 에틸벤젠의 농도

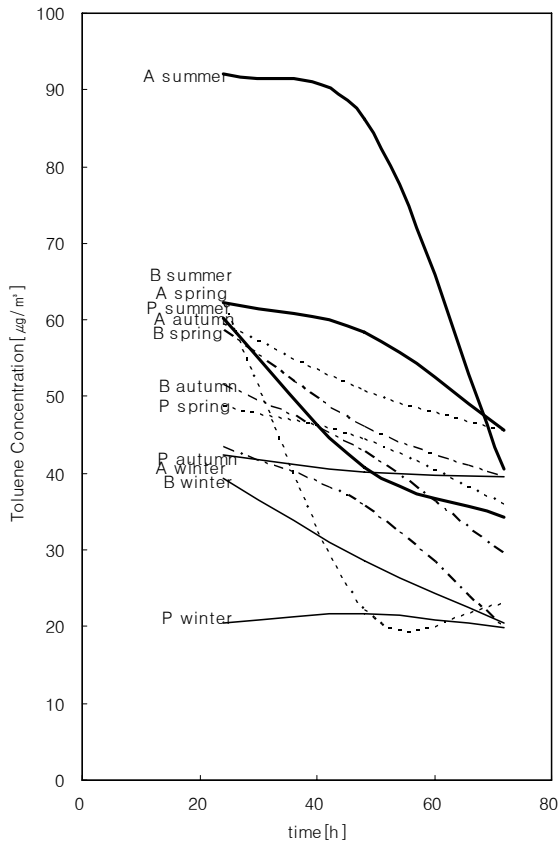


그림 8. 산재배치시 톨루엔의 농도

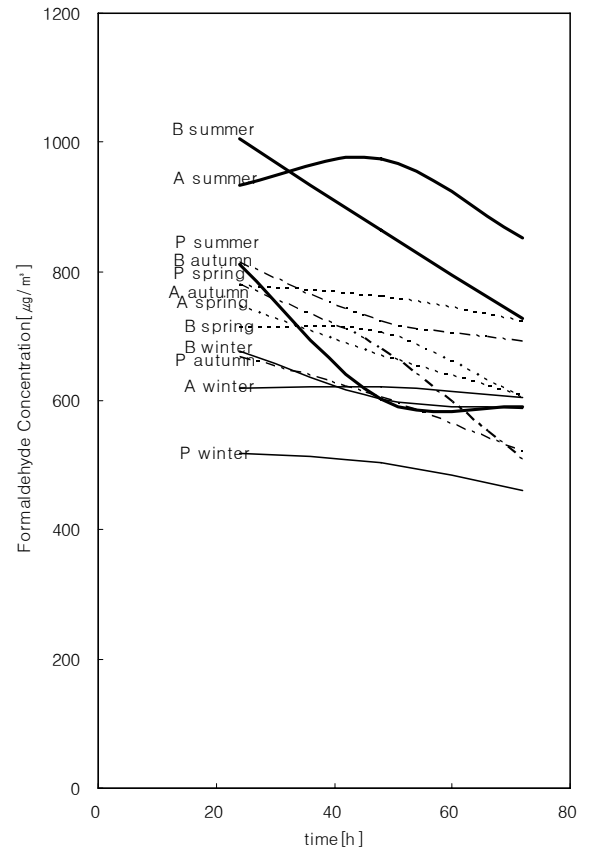


그림 10. 산재배치시 폼알데하이드의 농도

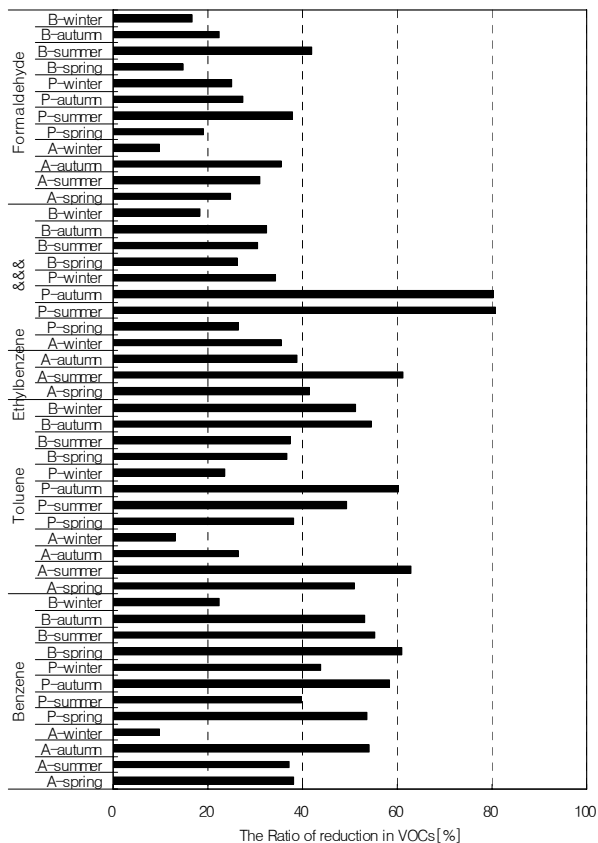


그림 11. 양지배치시 VOCs개별물질의 저감비율

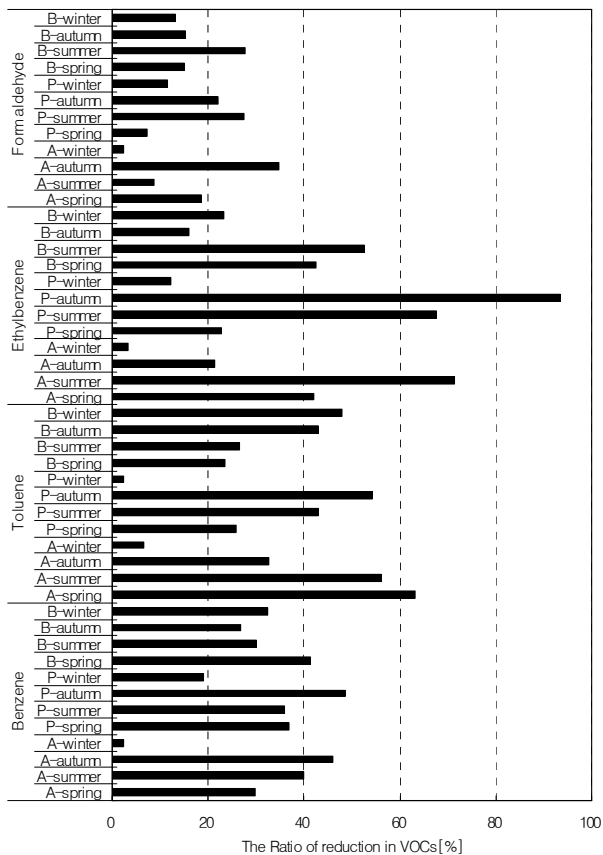


그림 12. 산재배치시 VOCs개별물질의 저감비율

그림 3에서 그림 6은 양지배치시 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 폼알데하이드의 농도를 나타내고, 그림 7에서 그림 10은 산재배치시 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 폼알데하이드의 농도를 나타낸다. 각 그림에서 굵은 선은 가장 효과가 우수한 여름철의 농도변화를 나타내고 있다. 그림11과 12는 양지배치와 산재배치시 각 VOCs 개별물질의 농도저감비율을 나타낸 것으로, 대부분의 경우에 여름과 가을철에 저감효과가 우수하게 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 공기정화식물 중 외국식물 3종을 대상으로 식물의 배치위치를 변화시킨 후에 VOCs와 폼알데하이드의 농도 저감효과를 파악하였다. 그 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 식재배치를 변화시켜 VOCs를 저감시키기 위한 실험에서는 일사를 많이 받을 수 있는 양지쪽에 배치하는 경우에 효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

(2) VOCs 개별물질 중에서는 톨루엔의 농도 저감량이 가장 크게 나타났으며, 특히 여름철에 아글라오네마를 식재했을 때 가장 큰 효과를 나타냈다. 폼알데하이드의 경우에는 여름철에 아글라오네마를 식재한 경우에 농도저감효과가 가장 우수하게 나타났다.

(3) 농도저감량의 평가에서는 폼알데하이드의 농도저감량이 각 VOCs 개별물질보다 2~3배 이상 크게 나타났다. 농도저감비율로 평가했을 경우에는 대부분의 VOCs 개별물질에서 여름과 가을에 저감효과가 우수하였다.

(4) 각 계절마다 동일한 조건으로 실험을 실시한 결과, 식재공간과 미식재공간의 실험결과에서 많은 차이가 있었다. 특히 폼알데하이드의 농도저감효과에서는 여름철에 벤자민고무나무를 식재한 경우에 414.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 저감된 반면, 미식재공간에서는 5.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 증가되었으며, 이와 같이 식물에 의한 농도저감효과를 파악할 수 있었다.

참고문헌

- J.E. Song, Y.S. Kim, J.Y Sohn, The Impact of Plant on the Reduction of Volatile Organic Compounds in Small Space, Japan Society of Physiological Anthropology, Vol.26 No.6, 2007.
- 송정은, 방승기, 김용식, 손장열, 식물을 이용한 실내공기환경정화효과에 관한 연구, 한국생태환경건축학회 논문집. 5(4), 2005.
- S.M.Owen, P.Harley, A.Guenther, C.N.Hewitt, Light dependency of VOC emissions from selected Mediterranean plant species, ATMOSPHERIC ENVIRONMENT, 2002.
- J.J.Cornejo, F.G.Munoz, C.Y.Ma, A.J.Stewart, Studies on the Decontamination of Air by Plants, Ecotoxicology, 1999.