

# 4가지 온대성 지피식물의 실내 포름알데이드 제거효과

주진희\* · 방광자\*\* · 이진희\*\*

\*상명대학교 산업과학연구소 · \*\*상명대학교 환경조경학과

## The Effect of the Formaldehyde Removal of Fore Temperate Ground Cover Plants

Ju, Jin-Hee\* · Bang, Kwang-Ja\*\* · Lee, Jin-Hee\*\*

\*Industrial Science Research Institute, Investigator of Sangmyung University

\*\* Dept. of Landscape Architecture, Sangmyung University

### ABSTRACT

This research was performed to investigate the effect of formaldehyde removal and confirm the utility of plants as indoor environment improvement systems. The plant materials used in this study were *Fatsia japonica*, *Ardisia japonica*, *Ardisia pusilla* and *Davallia mariesii*. Plants were placed in an airtight chamber under artificial formaldehyde. The initial formaldehyde concentration in the chamber was 500±30ppb, and the conditions of 1,500~2,000lux light, 25±5°C temperature and 80~90% humidity were maintained. Each chamber was treated as no plant, plant-only and Plant+soil.

The total leaf number for *Davallia mariesii*, *Ardisia japonica*, *Ardisia pusilla*, and *Fatsia japonica* was 40.8, 48.6, 62.3, and 11.8 respectively. The total leaf space area of those plant materials were 2,385cm<sup>2</sup>, 1,252cm<sup>2</sup>, 2,468cm<sup>2</sup> and 1,262cm<sup>2</sup> respectively. The formaldehyde concentration was reduced to 80~90% of the initial concentration in plant-only and Plant+Soil treatment chamber of all species in 12 hours. In the plant-only chamber, *Fatsia japonica* had removed formaldehyde density by 95% after 12 hours while *Ardisia japonica* had removed 90%. In the case of *Ardisia pusilla*, the early removal rate was higher in the plant-only treatment chamber than the Plant+Soil treatment chamber. The formaldehyde removal rate of *Davallia mariesii* was 98% after 12 hours. In the Plant+Soil treatment chamber, the amount of removal of formaldehyde per time of *Davallia mariesii*, *Ardisia japonica*, *Ardisia pusilla*, and *Fatsia japonica* was 20.42ppb/hr, 16.28ppb/hr, 25.42ppb/hr, 10.28ppb/hr respectively. In the plant-only, That was 22.50ppb/hr, 20.97ppb/hr, 20.83ppb/hr, 20.97ppb/hr respectively.

*Key Words: Indoor Environment, Plant, Soil, Fatsia Japonica, Ardisia japonica, Ardisia pusilla, Davallia mariesii*

### 1. 서론

최근 영국, 유럽 그리고 미국의 연구보고서에서 도시에서 살고 있는 대부분의 사람들이 실내에서 약 90% 이상을 보내고 있는 것으로 알려져 있다(Mann *et al.*, 1997). 실내공기에서 일산

화탄소나 일산화질소와 같은 유독성 물질뿐 아니라(Ross, 1996), 300여개 이상의 휘발성 유기화합물(VOC's)의 오염물질이 발견되었다(Weschler and Shields, 1996). 또한, 미국 환경청(U.S. EPA: U.S. Environmental Protection Agency)의 조사 자료에 의하면 학교 건물에서 약 160가지 정도의 휘발성 유기화합물이,

※: 이 논문은 2005년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-043-F00004)

**Corresponding author:** Jin-Hee Ju, Industrial Science Research Institute, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea, Tel.: +82-41-550-5298, E-mail: jjhkkc@naver.com

공공건물에서는 약 600여 종류가 검출되었다. 이러한 혼합가스들은 빌딩증후군의 주요 원인 중 하나이며 천식이나 기관지염을 악화시키는 요인으로 작용한다고 할 수 있다(Bascom, 1997). 그 가운데 포름알데히드는 단열재, 섬유판, 접착제, 실내 가구의 칠, 가스난로의 연소과정, 의약품, 옷감, 흡연 등에서 주로 발생하는 것은 알려진 휘발성 유기오염물질이다(환경부 2002). 대부분의 휘발성 유기화합물과 포름알데히드는 건축재료에서 오랜 시간에 걸쳐 서서히 실내공기로 방출하게 되며, 농도가 낮고 그 종류도 매우 다양하기 때문에 검출이 쉽지 않은 것이 특징이고, 외부 공기보다는 실내에서 더 집중되고 있어 실내에서의 호흡이 인간에게 더 많은 오염물질에 노출될 수 있다는 점이 인정되었다(Wood *et al.*, 2001). 최근 미국 환경보호청과 미국 산업안전보건청(Occupational Safety and Health Administration; OSHA)은 포름알데히드를 암발생 가능인자(possible carcinogen)로 분류하고 있다. OSHA는 8시간 근로자 노출을 0.75ppm으로, 15분 단기 한계치를 2ppm으로 제한하고 있다. 현재 미국에는 비산업적인 실내 대기에서 VOCs에 대한 규정은 없지만, EPA에 따르면 실내 포름알데히드 수준은 0.3ppm 이상으로 밝혀졌다. 이 수준은 인간의 건강에 영향을 초래할 수 있는 수준으로 미국 국립표준 연구소(American National Standards Institute)는 목재 제품에서 0.2ppm 이하의 포름알데히드 배출을 요구하고 있다. 세계보건기구(WHO)는 0.05ppm의 노출 한계치를 권고하고 있어 EPA와 OSHA보다 더 엄격한 규정을 가지고 있다.

이러한 오염물질을 정화하는 방법으로 식물을 이용한 공기정화에 대한 관심이 점차 증가하고 있으며, 이러한 실내 휘발성 유기물질의 주 제거작용은 식물의 광합성에 의한 직접 흡수와 토양내 미생물의 활동으로 알려져 있다(Wolverton, 1996). 또한, 포름알데히드는 잎에 흡수되고 식물의 호흡에 의해 이산화탄소와 물로 바뀌는 것으로 클로로피쿰 코모숨(*Chlorophytum comosum*)의 경우 용기배양기에서 포름알데히드를 0.15  $\mu\text{l/l}$ , 1  $\mu\text{l/l}$ , 10  $\mu\text{l/l}$ 를 각각 처리한 결과 1  $\mu\text{l/l}$ 에서도 잎에 약간의 피해를 보여줘 오존과 더불어 포름알데히드에 대한 내성이 높은 것으로 나타났다(Martina Giese *et al.*, 1994). 이처럼 식물을 이용한 공기정화기술은 폐쇄된 실내공간에서 적용이 가능하며 식물이 오염물질을 흡수해서 이를 생리적으로 분해하거나 저장함으로써 실내대기오염물질을 제거하는 것으로(성기준 등, 2004), 경제적이어서 다양한 오염물질에 적용할 수 있는 장점이 있다(박소영 등, 2005).

국내 실내조경에 이용되는 식물 중 도입 관엽식물이 차지하는 비율은 매우 높다고 할 수 있으나(오혜원, 2002), 이들 도입종은 겨울철의 낮은 온도로 인하여 피해를 입는 경우가 많고 이국적인 분위기로 다양한 실내조경경관을 표현하는 데는 한계가 있다고 하겠다. 이에 반해 온대산 실내식물은 한국적인 정서가 갖는 소재로서 정감 있는 실내조경 분위기를 연출할 수

있을 뿐 아니라(방광자와 이종석, 1993), 외래종에 비해 내한성이 높아 겨울철의 낮은 온도로 인한 피해를 줄일 수 있어 한번 조성하면 반영구적으로 별도의 관리없이 관상할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

실내 공기정화 식물 소재와 관련된 국내 연구로는 5가지 자생식물의 이산화황 및 이산화질소 등의 제거 효과를 밝힌 이후로(이진희, 1994), 오존에 대한 실내식물의 민감성(허정희, 1996), 몇 가지 관엽식물의 벤젠 및 포름알데히드 제거효과(홍정, 2000), 동양난에 의한 실내 오염가스 제거 효과(한승원과 이종석, 2001)를 밝혔다. 또한 9종류의 자생식물을 이용하여 휘발성 유기화합물을 제거하는데 팔손이, 까마귀쪽나무, 백량금 등이 효과적이었으며, 특히 팔손이는 장기적인 가스 처리에도 피해가 적은 것으로 보고되었으며, 대조구였던 스파티필름보다 큰 식물을 실내에 이용한다면 휘발성 유기화합물을 제거하는데 큰 효과를 볼 것으로 예측되었다(홍정 등, 2005). 한편, 드라세나 마지나타(*Dracaena marginata*), 스파티필름(*Spatiphyllum* spp.), 드라세나 리플렉사(*Dracaena reflexa*) 등 열대산 관엽식물에 대해(박소영 등, 2005), 몇몇 관엽식물과 다육식물의 포름알데히드 제거능에 대한 실험(한선우, 2005)이 수행된 바 있으나, 온대성 자생지피 식물에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 내음성 높은 온대성 지피식물에 의한 제거효과를 살펴봄으로써 실내조경공간에서의 적극적인 도입을 유도하고 실내환경 개선시스템 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## II. 연구의 범위 및 방법

공시식물로는 현재 실내조경 지피식물로 활용도가 높은 팔손이(*Fatsia japonica*), 자금우(*Ardisia japonica*), 무늬산호수(*Ardisia pusilla*), 넉줄고사리(*Davallia mariesii*)로 선정하였고, 서울시 양재동 관엽식물 전문 재배 농가에서 균일한 수종을 구입하여 이용하였다(Figure 1 참조). 접촉에 앞서, 피트모스 : 필라이트 : 버미큘라이트를 1 : 2 : 1 비율로 혼합한 인공용토로 채운 지름 12cm의 PVC 재질 화분에 분갈이를 한 후 실험 환경과 유사한 1,500lux의 광조건에서 4주간 순화처리하였으며 주 2회 관수하였다. 챔버에 투입하기 위한 화분은 시험 하루 전 충분히 관수를 하여 다음날 사용하였다.

처리는 총 3가지로 식물을 전혀 투입하지 않은 대조구(Control)와 화분과 토양을 laboratory film으로 밀폐시킨 후 식물만 노출시킨 것(Plant), 화분은 밀폐시키나 토양과 식물을 노출시킨 것(Plant+Soil) 등으로 설정하였다. 식물을 투입한 후 실험시 챔버내의 광도는 1,500~2,000lux, 온도는 25±5°C, 습도는 80~90%로 조사되었으며, 식물을 투입하지 않은 대조구 또한 유사한 환경으로 조절하였다.



Figure 1. Temperature ground cover plants selected in this experiment. from left to light, *Fatsia japonica*, *Ardisia japonica*, *Ardisia pusilla*, *Davallia mariesii*.

자생지피식물의 정화효과를 알아보기 위해 강화유리로 밀폐상태를 유지할 수 있는 20ℓ의 용량을 가진 챔버를 제작하였다(Figure 2 참조). 챔버의 상부에는 4개의 밸브가 설치되어 있어 오염물질의 유입 및 추출하여 측정할 수 있게 하였다. 챔버 내 정지된 기류에 의해 농도가 균등하게 분포될 수 있도록 챔버 내부에 팬을 설치하였고, 팬의 속도는 0.1m/s로 조정하였다. 실내공기 중에는 외에 여러 가지 오염물질이 존재하므로, 챔버 내부를 clean air(천공상태의 깨끗한 공기)로 제거하였다. 농도는 일반적 실내에서 발생되는 농도인 500±30ppm으로 조절하였는데, 이는 표준물질 1%를 10배 희석한 다음 3μℓ를 마이크로시린지를 이용하여 챔버내에 주입하여 인위적으로 오염시켰다. 제거변화는 24시간동안 1시간마다 2,4-DNPH 유도체화 HPLC 시험방법을 통하여 측정하였다.

각 수종의 총엽수는 각 식물의 지상부를 모두 자른 후 각각의 엽수를 세어서 합산하였으며, 총엽면적은 채취한 중간엽을 스캐너(Hewlett Packard ScanJet ADF)를 이용하여 그래픽파일을 만든 후 Photoshop 프로그램(Adobe photoshop cs2)에서 information tool bar의 면적계산을 참고로 전체엽면적을 구하였다(곽혜란 등, 1998).

### III. 결과 및 고찰

각각 식물의 총엽수를 측정한 결과 넉줄고사리는 40.8개, 자금우는 48.6개, 무늬산호수는 62.3개 그리고 팔손이는 11.8개로 팔손이<넉줄고사리<자금우<무늬산호수 순으로 나타났다. 각 식물에 대한 총엽면적을 조사한 결과, 넉줄고사리는 2,385cm<sup>2</sup>, 자금우 1,252cm<sup>2</sup>, 무늬산호수 2,468cm<sup>2</sup> 그리고 팔손이는 1,262cm<sup>2</sup>로 자금우<팔손이<넉줄고사리<무늬산호수 순이었다(Table 1 참조). 이는 팔손이의 경우 각각의 엽면적은 넓으나 엽수가

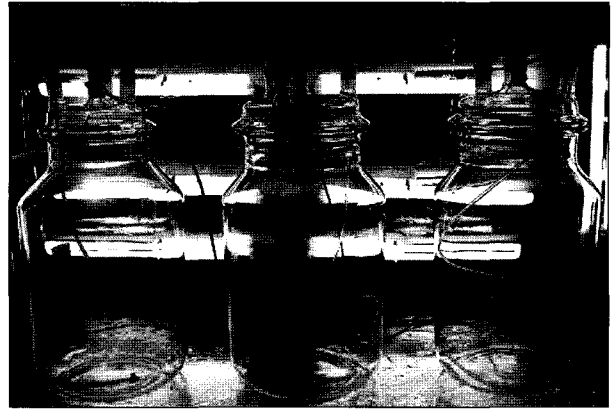


Figure 2. Experiment airtight chamber used in this research.

Table 1. Total leave number and surface area of plants selected in this experiment

Species	Total leave number (ea/plant)	Total leave surface area (cm <sup>2</sup> /plant)
<i>Fatsia japonica</i>	11.8 ± 1.7 <sup>a</sup>	1,262 ± 18.0
<i>Ardisia japonica</i>	48.6 ± 9.0	1,252 ± 36.0
<i>Ardisia pusilla</i>	62.3 ± 7.1	2,468 ± 210.6
<i>Davallia mariesii</i>	40.8 ± 4.5	2,385 ± 40.7

<sup>a</sup>Mean ± SD

적어 총엽면적이 가장 낮았으며, 무늬산호수는 각각의 엽면적은 팔손이보다 높지 않으나 총엽수가 많았기 때문에 총엽면적이 가장 높게 나타난 것으로 보여진다.

팔손이의 제거율을 살펴보면, 챔버내에 아무것도 넣지 않은 대조구(Control)에 비해 2가지 유형의 처리구가 모두 포름알데히드 제거 효과를 보여주었다. Plant+Soil 처리의 경우, 3시간 경과 후 48% 정도의 제거율을 보였으며, 12시간이 지난 후에는 약 70%의 제거율을 나타내다가 조금씩 증가하는 양상을 나타내었다. 반면, Plant 처리는 3시간 경과 후 65%로 조사되었으며, 12시간 경과 후에는 95%까지 제거한 것으로 나타났다(Figure 3 참조). 특히 Plant+Soil처리가 Plant처리보다 제거율이 낮은 것으로 나타났는데, 팔손이의 경우 포름알데히드 감소에 있어 토양매질의 효과보다는 식물 자체 즉 잎에 의한 흡착과 잎 표면을 통한 흡수(홍정 등, 2005)가 상당부분 있었을 것으로 추정된다.

자금우의 제거율에 대한 변화는 Plant+Soil처리의 경우, 1시간 경과 후 포름알데히드 초기농도의 58%의 제거율을 보이다가 처리 12시간이 경과하면서 제거율 90%로 평형상태를 유지하였다. Plant 처리는 12시간 경과 후 80%의 제거율을 보였으나 더 이상 증가하지 않았다(Figure 4 참조). 같은 휘발성 유기화합물인 벤젠에 대한 자금우의 정화효과는 팔손이보다 비

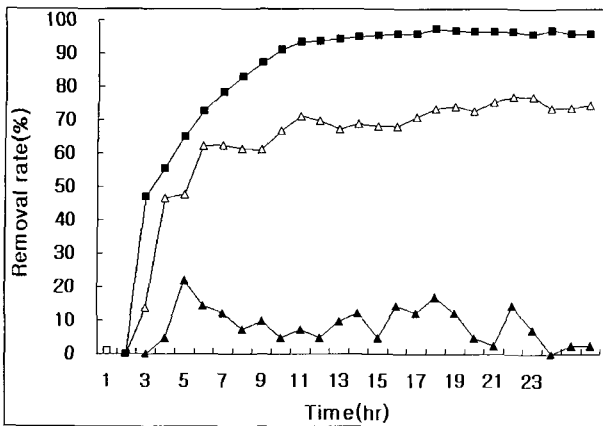


Figure 3. Changes of formaldehyde removal rate by *Fatsia japonica* in the airtight chamber after 24hrs.  
Legend: ▲: Control, ■: Plant, △: Plant+Soil

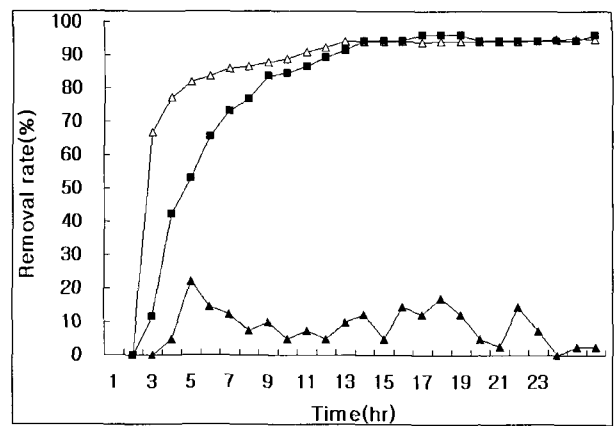


Figure 5. Change of formaldehyde removal rate by *Ardisia pumila* in the airtight chamber after 24hrs.  
Legend: ▲: Control, ■: Plant, △: Plant+Soil

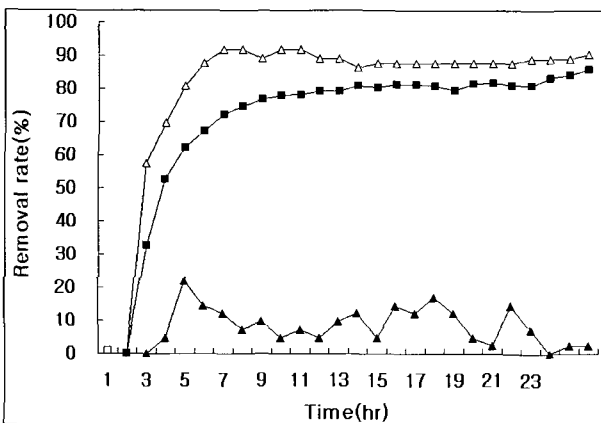


Figure 4. Change of formaldehyde removal rate by *Ardisia japonica* in the airtight chamber after 24hrs.  
Legend: ▲: Control, ■: Plant, △: Plant+Soil

교적 낮았으나(홍정 등, 2005) 본 실험결과에 의하면 약 80~90%의 높은 제거율을 보여주어 팔손이와 큰 차이를 보이지 않았다.

무늬산호수의 포름알데히드 제거율을 살펴보면, Plant+Soil 처리의 경우 1시간 경과시 초기 포름알데히드 농도의 약 67%의 빠른 정화효과를 보였다. 이에 반해 Plant 처리는 초기 제거율에 있어서는 낮았으나 시간이 경과함에 따라 점차로 증가되어 12시간이 경과한 후에는 Plant+Soil처리와 유사한 94%의 제거율을 보여주었다(Figure 5 참조). 흥미로운 사실은, 팔손이의 제거율 변화를 제외하고 3가지 식물 모두 초기 제거율에 있어 Plant+Soil처리와 같이 식물과 토양이 공존한 경우가 Plant 처리와 같이 식물만 있을 때보다 높게 나타났다는 것이다. 이는 토양의 존재가 주어진 시스템에서 초기 오염물질의 제거에 특히 기여하여 토양으로의 흡착이 주요인인 것(박소영 등, 2005)으로 해석할 수 있다.

넉줄고사리의 경우, 대조구에 비해 모두 포름알데히드 제거 효과를 보여주었다. Plant+Soil처리의 경우 3시간 경과 후 제거율이 85%로 증가되다가 그 이후로는 평행상태로 되었으나 Plant 처리는 6시간 이후 제거율이 90% 이상 증가되다가 12시간 이후에는 98%까지 증가하였다(Figure 6 참조). Wolverton의 연구(1986)에 의하면 포름알데히드 초기농도가 37,000ppb인 상황에서 클로로피쿰(*Chlorophytum* spp.)에 의해 3시간 경과시점에서 초기 포름알데히드의 41.8%의 제거율을 보여주었으며, 박소영 등(2005)의 연구결과에 의하면 스파티필름(*Spathiphyllum* spp.)의 경우 860ppb의 초기 농도가 9시간 후에 초기농도의 20%로 떨어진 것으로 보고되었다. 이와 비교해 볼 때 본 실험에서는 좀더 낮은 농도에서 6시간 경과로 Plant처리와 Plant+Soil처리에서 80% 이상의 제거율을 보여 주어 낮은 오염농도에서는 제거율이 높은 것으로 판단된다. 특히, 넉줄고사리와 같이 고사리와 식물은 실내공기 오염물질에 대한 정화능력이 탁월한 것으로 알려져 있으며(Wolverton et al., 1989), 이와 유사한 보스톤고사리(*Neprolepis exalata*)는 포름알데히드 제거율이 가장 좋은 식물로 보고되고 있어(손기철, 2004), 좀더 다양한 온대상 상록고사리에 대한 정화효과에 관한 연구가 필요하다고 본다. 정리하면, Wolverton(1996), NASA(National Aeronautics and Space Administration)과 ALCA(Associated Landscape Contractors of America)에서 다양한 화분식물의 챔버 실험 결과 휘발성 유기화합물(VOC's)의 농도를 24시간 내에 약 50~90% 감소했다는 결과와 비교해 볼 때 금번 4가지 온대상 지피식물 처리 후 12시간 내에 약 80~90% 감소한 것으로 매우 높은 포름알데히드 제거효과를 보여주었다.

4가지 온대성 지피식물의 시간당 포름알데히드 제거량을 살펴보면 Plant+Soil처리에서 팔손이가 10.28ppb/hr로 4가지 식물 중 가장 낮았고 자금우 16.28ppb/hr, 넉줄고사리 20.42ppb/hr, 무늬산호수 25.42ppb/hr 순으로 나타났다. Plant 처리의 경우, 무

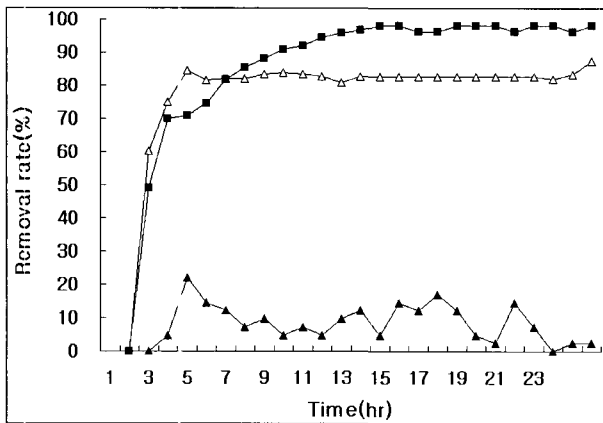


Figure 6. Change of formaldehyde removal rate by *Davallia mariesii* in the airtight chamber after 24 hrs.

Legend: ▲: Control, ■: Plant, △: Plant+Soil

니산호수가 20.83ppb/hr, 팔손이와 자금우가 20.97ppb/hr로 나타났다. 녀출고사리는 22.50ppb/hr로 가장 높은 제거량을 보였다(Figure 7 참조). 식물의 실내공기 오염물질의 정화능력의 차이는 처리한 가스의 종류와 농도, 식물의 크기와 상태, 습도, 온도, 풍속 등 다양한 변수에 따라 차이가 많이 나기 때문에 잎의 형태적인 특징으로 어떤 식물이 효과적이라고 제시할 수는 없으나 대체적으로 잎의 면적이 넓을수록 효과적이라고 볼 때 (Wolverton *et al.*, 1989), 무늬산호수와 녀출고사리가 총엽면적이 높았던 식물이었음을 감안한다면(Table 1 참조), 포름알데히드 제거효과는 식물의 총엽수보다는 총엽면적이 넓은 식물이 더 유리함을 알 수 있다.

일반적으로 포름알데히드 제거량에 대하여 식물과 토양이 함께 작용한 효과가 가장 큰 것으로 거론되고 있으나, 본 연구

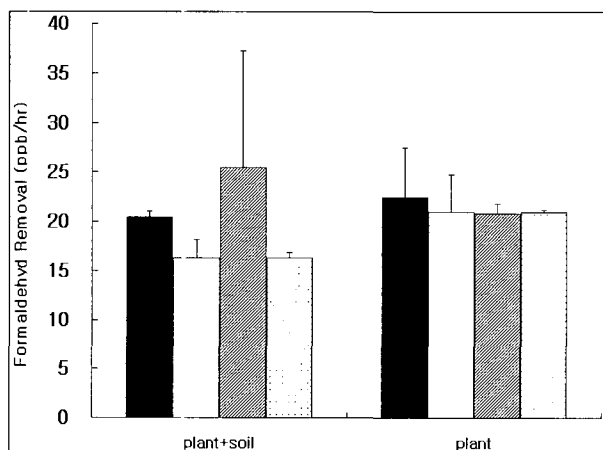


Figure 7. Formaldehyde removal amount per hour by four temperature ground cover plant. Vertical bars indicate the mean  $\pm$  SE of 3 replicates.

Legend: ■: *Davallia mariesii* □: *Ardisia japonica*  
 ▨: *Ardisia pusilla* ▩: *Fatsia japonica*

에서는 무늬산호수의 시간당 제거량이 가장 높게 나타난 것을 제외하고는 대체적으로 토양을 노출시키지 않을 때 제거량이 더 높았다. 이는 본 실험에서 일반상토가 아닌 인공토로 식재 기반을 두었기 때문에 식물근권내 서식하는 미생물에 의한 분해작용이나 토양유기물에 의한 흡착 등에 의한 포름알데히드의 제거기작(Godish and Guindon, 1989)을 적극적으로 기대하기는 어려울 뿐 아니라 토양에 인접한 PVC 화분재질에서 오염물질이 분출될 수 있다는 가능성을 배제할 수 없다. 또한, 식물의 기공을 통한 흡수에 의해서 오염물질을 제거하는 것만은 아니라 흡착에 의한 제거도 가능하며(손기철 등, 2000), 식물잎과 토양입자 표면, 토양내 수분에 의해 흡착되는 것으로도 알려져 있다(Woverton and Wolverton, 1993). 실제로 챔버내 상대습도가 80~90%임을 고려해 볼 때 습도에 잘 녹아드는 성질을 가지고 있는 포름알데히드의 특성상 챔버 내의 상대습도에 녹아서 잎 표면을 통해서도 상당량이 흡착된 것으로 보인다.

## IV. 결론

본 연구는 팔손이, 자금우, 무늬산호수, 녀출고사리 등과 같은 4가지 온대성 실내지피식물에 의한 포름알데히드 제거 효과를 살펴봄으로써 실내조경공간에서의 적극적인 도입을 유도하고 실내환경 개선시스템을 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 수행하였다. 총엽수는 녀출고사리 40.8개, 자금우 48.6개, 무늬산호수 62.3개, 그리고 팔손이 11.8개로 무늬산호수가 가장 많았고, 총엽면적은 녀출고사리 2,385cm<sup>2</sup>, 자금우 1,252cm<sup>2</sup>, 무늬산호수 2,468cm<sup>2</sup>, 그리고 팔손이 1,262cm<sup>2</sup>로 무늬산호수와 녀출고사리가 높게 조사되었다. 4가지 식물의 포름알데히드 제거율을 요약해 보면, 챔버내에 아무것도 넣지 않은 대조구보다 Plant와 Plant+Soil 처리 모두 제거율을 보여주었다. 특히, 챔버에 투입한 후 12시간 내에 약 80~90% 감소한 것으로 나타나 포름알데히드 제거효과가 비교적 높음을 알 수 있었다. 팔손이는 Plant 처리에서 95%의 초기 포름알데히드를 제거하였고, 자금우는 Plant+Soil 처리에서 90%의 제거효과를 나타내었다. 무늬산호수의 경우, 초기 제거율은 Plant+Soil처리가 Plant처리보다 높았으나, 12시간 경과후에는 두 처리 모두 94%의 제거율을 보여 주었다. 녀출고사리는 Plant처리의 경우, 12시간 이후에는 포름알데히드 제거율이 98%까지 증가하였다. 4가지 온대성 지피식물의 시간당 포름알데히드의 제거량을 살펴 보면, Plant+Soil 처리의 경우, 팔손이가 10.28ppb/hr로 4가지 식물 중 가장 낮았고 자금우 16.28ppb/hr, 녀출고사리 20.42ppb/hr, 무늬산호수 25.42ppb/hr로 나타났다. Plant 처리에서는 무늬산호수가 20.83ppb/hr, 팔손이와 자금우가 20.97ppb/hr로 나타났다. 녀출고사리는 22.50ppb/hr로 측정되었다.

## 인용문헌

1. 박혜란, 이종석, 서정남, 남유경(1998) 컴퓨터 그래픽 분석을 이용한 *Tradescantia*의 반입면적 및 정도의 검정. *한국원예과학기술지* 16(3): 364-365.
2. 박소영, 김정, 장영기, 성기준(2005) 포름알데히드로 오염된 실내공기의 정화에 미치는 식물효과에 관한 연구. *환경영향평가* 14(4): 147-155.
3. 방광자, 이종석(1993) 중부지방 조경용 자생식물개발에 관한 연구. *한국조경학회지* 21(1): 63-82.
4. 성기준, 김정, 장영기(2004) 식물을 이용한 오염된 실내공기의 정화에 관한 연구. *대한환경공학회 추계학술발표연구회 논문집* 1207-1209.
5. 손기철, 이성환, 서상규, 송중은(2000) 관엽식물 및 배양토가 실내공기 오염물질의 흡수 및 흡착에 미치는 영향. *한국원예학회지* 414(3): 305-310.
6. 손기철(2004) 실내식물이 사람을 살린다. 서울: 중앙생활사.
7. 이진희(1994) 실내조경식물의 SO<sub>2</sub> 정화능, 시각적 선호도 및 스트레스 해소 효과에 관한 연구. 고려대학교 대학원 박사학위논문.
8. 이진희(2003) 실내식물의 공기정화효율과 계량화. *한국실내조경협회지* 5(2): 73-84.
9. 오혜원(2002) 우리나라 실내조경에 있어서 자생식물의 활용 방안에 관한 연구. 서울여자대학교 석사학위논문.
10. 한선우(2005) 몇몇 관엽식물과 다육식물의 실내공기질 개선효과. 상명대학교 석사학위논문.
11. 한승원, 이종석(2001) 실내조경식물을 이용한 실내공기 개선효과의 예측 모델링. *한국실내조경협회지* 3(2): 31-40.
12. 허정희(1996) 실내식물의 오존반응에 관한 연구. 상명대학교 대학원 석사학위논문.
13. 홍정(2000) 몇 가지 실내식물을 이용한 벤젠과 포름알데히드 제거효과. 고려대학교 박사학위논문.
14. 홍정, 이종석, 박천호(2005) 실내환경에서 휘발성 유기화합물에 대한 내성이 있는 자생식물의 선발과 그들의 정화 메카니즘. *한국원예기술학회지* 23(1): 97-103.
15. 환경부(2002) 실내공간 실내공기오염 특성 및 관리방법 연구.
16. Bascom, R.(1997) Health and Indoor Air Quality in Schools, *Proceedings of Healthy Buildings*, 1(3-12).
17. Godish, T. and C. Guindon(1989) An assessment of botanical air purification as a formaldehyde mitigation measure under dynamic laboratory chamber condition, *Environmental Pollution* 61(12-20).
18. Mann, H. S., D. R. Crump and V. M. Brown(1997) The use of diffusivesamplers to measure potential exposure and area concentrations of VOCs including formaldehyde. *Proceedings of Healthy Buildings* 3: 135-140.
19. Martina Giese, Ulrike Bauer-Doranth, Christian Langebartels, and Henrich Sandermann(1994) Detoxification of Formaldehyde by the Spider Plant(*Chlorophytum comosum* L.) and by Soybean(*Glycine max* L.) Jr. *Cell-Suspension Culture*.
20. Ross, D.(1996) Continuous monitoring of NO<sub>2</sub>, CO, temperature and humidity in Uk homes. *Proceedings of Indoor Air*, 513-518.
21. Weschler, C. J. and H. C. Shields(1996) Production of the hydroxyl radical in indoor air. *Eviron. Sci. Technol.* 30: 3250-3258.
22. Wolverton, B. C.(1986) *Specce bio-technology in housing*, NASA, USA.
23. Wolverton, B. C.(1996) *How to grow fresh air*, Penguin Putnam Inc.
24. Wolverton, B. C., A. Johnson and K. Bounds(1989) Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, p. 22. NASA, John C. Stennis Space Center, MS, USA.
25. Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton(1993) Plants and soil micro-organisms: Removeal of formaldehyde, xylene, and ammonia form the indoor environment. *J. Miss. Acad. Sci.* 38: 11-15.
26. Wood, R. A., R. L. Orwell and M. D. Burchett(2001) Living plant to improve indoorair quality. *Jr. of Korea Society for Plants, People and Environment* 1(121-130).

원 고 집 수: 2007년 3월 1일  
 최종수정본 접수: 2007년 6월 19일  
 3인익명 심사필