

연구논문

## 포름알데히드로 오염된 실내공기의 정화에 미치는 식물효과에 관한 연구\*

박소영\* · 김정\*\* · 장영기\*\* · 성기준\*\*\*

(주) 오이코스 환경기술연구소\*, 수원대학교 환경공학과\*\*, 부경대학교 환경시스템공학부\*\*\*

(2005년 4월 19일 접수, 2005년 7월 4일 승인)

## A Study on Plant Effects on Decontamination of Polluted Indoor Air with Formaldehyde\*

Soyoung Park\* · Jeoung Kim\*\* · Young-Kee Jang\*\* · Kijune Sung\*\*\*

OIKOS Co., Ltd.\*, Suwon University\*\*, Pukyong National University\*\*\*

(Manuscript received 19 April 2005; accepted 4 July 2005)

### Abstract

This study was designed to investigate the effect of plant as a botanical air purification on the indoor pollution by formaldehyde. Three indoor plants such as *Dracaena marhginata*, *Spathiphyllum* and *Dracaena reflexa*, were placed in the artificially contaminated reactor under laboratory condition. Both plant and soil effects on removal of formaldehyde from contaminated indoor air were observed. Reductions in the formaldehyde levels appeared to have been associated with soil medium factors as well as plant factors. The effect of soil on formaldehyde reduction was high in the early stage of the experiment and the results suggest that sorption could be more important factor than microbial degradation in the initial dissipation of contaminants in the soil. It was suggested that the effect of plant on formaldehyde reduction might be related to the plant species, total leaf surface area of plant, degree of contribution of soil medium, and exposed concentration level. The results of this study showed that air purification using plants is an effective means of reduction on indoor formaldehyde level, though, utilization of soil media with high sorption capacity and/or supplementary purifying aids were also suggested when the source is continuous or exposed concentration level is high.

Key words : indoor air pollution, formaldehyde, indoor plant, air purification, total leaf area, sorption effect

\* 이 논문은 정부(교육 인적 자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R08-2003-000-10391-0).

Corresponding Author: Kijune Sung, Division of Environmental System Engineering, Pukyong National University, 599-1 Daeyeon 3-dong, Busan 608-737, Korea Tel: 82-51-620-6444 Fax: 82-51-620-6440 E-mail: ksung@pknu.ac.kr

## 1. 서론

산업화에 따른 경제발전예에 의하여 인간의 생활방식 및 거주환경 등에 많은 변화를 가져오게 되었으며 산업 활동의 증가와 생활수준의 향상에 따른 에너지 소비의 증가가 이를 줄이려는 에너지 절약정책과 맞물려 이제는 실외 공기질 뿐만 아니라 실내공기질도 많이 나빠진 상태이다(김강석 외 2001). 더우기 실내 공기오염에 대한 사회적인 인식이나 규제가 2004년 5월에 공포된 다중이용시설등의 실내공기질 관리법령 이전에는 거의 없었던 실정이었기 때문에 사람들은 실내에서 어떠한 오염물질과 농도수준에 노출되었는가에 대한 알권리의 상실, 외부 공기와의 환기가 규제되지 않은 상태에서 깨끗한 공기를 공급받을 수 없었던 공급권의 상실, 또한 거주 주택에 오염물질 비방출 자재를 선택할 수 없었던 선택권의 상실 상태에 있었다. 하지만 생활이 윤택하여짐에 따라 삶의 질에 더 많은 관심을 갖게 되면서 이제는 실내공기오염에 의한 건강이나 인체의 영향이 대기오염보다 더 심각함을 인식하게 되었다. 생활패턴의 변화에 따라 하루 대부분을 실내에서 생활하고 있는 현대인들, 특히 하루평균 23시간을 실내에서 보내고 있다고 조사된 사무실 근로자들에게 오염된 실내공기는 이들의 건강에 큰 위협이 아닐 수 없었다(공성용, 이희선 2004).

실내 환경을 오염시키는 유해물질은 200여종 이상이 된다고 보고되고 있는데 이 중 포름알데히드는 실내 환경내에서 보편적으로 존재하는 휘발성 유기오염물질로서 주요발생원은 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 우레아폼과 파티클보드, 섬유판, 베이아판 등의 생산시 접착제, 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 의약품, 섬유 옷감, 흡연 등으로 보고되고 있다(손부순, 양원호 2002; 환경부 2002, 2004). 포름알데히드에 의한 실내공기오염은 눈의 자극, 상부기도의 자극, 코와 목의 자극, 기침, 두통, 호흡곤란 등의 급·만성 증상을 야기시키며 천식과 암을 유발할 수 있다고 알려졌다

(Marshall Sittig, 2002; 박미진, 2001).

식물을 이용하여 오염물질을 제거하는 phytoremediation은 경제적이며 다양한 오염물질에 적용할 수 있다는 장점 때문에 오염된 토양 및 지하수의 복원에 많이 사용되어지고 있는 환경 친화적인 복원 기술이다(Macek et al., 2000; U.S. EPA, 2000). 최근에는 이러한 phytoremediation이 토양 및 지하수의 복원 외에도 식물을 이용한 공기정화 기술로의 활용이 시도되고 있는데(Cornejo et al., 1999), 특히 폐쇄된 실내 공간에서처럼 오염된 공기가 외부로 배출되지 못하고 장기간 정체되어 있는 곳에서 적용이 가능하며 이 경우 식물은 오염물질을 흡수하여 이를 분해하거나 혹은 식물체내에 저장함으로써 실내 대기 오염물질의 정화에 기여할 수 있다(성기준 외, 2004). 식물에 의한 실외대기오염물질의 제거기능(Bell, 2002)과 유사하게 실내식물을 이용한 실내 휘발성 유기물질의 주 제거기작은 식물에 의한 직접 흡수와 토양내 미생물의 활동으로 알려져있다. 식물은 잎 표면에 있는 기공을 통해 수분과 광합성 산물인 산소를 방출하고 동시에 광합성 재료인 이산화탄소를 흡수하는 기작을 가지는데 이때 이산화탄소와 더불어 휘발성 유기물질 등의 각종 대기오염물질도 흡수되며 흡수된 물질의 일부는 식물체에 의해 대사적으로 분해되는 것으로 밝혀졌다(Wolverton, 1996). 한편, 대기중의 오염물질은 확산을 통하여 토양에 유입되는데 이때 유입된 오염물질은 식물의 근권내에 존재하는 미생물에 의하여 분해되거나 다시 식물의 뿌리에 의하여 흡수되어 제거된다. 이러한 정화기작을 가지는 식물을 이용한 오염된 실내공기의 정화방법은 기존의 실내정화 시스템의 인위적인 공기정화기의 사용을 줄일 수 있는 동시에 실내조건의 미관적인 효과도 얻을 수 있는 장점을 갖는 친환경적인 실내오염정화법이라고 할 수 있다. 최근에 식물을 이용한 공기정화에 관한 관심이 점차 늘고 있지만, 실제로 이에 대한 실험은 아직 국내에서 많이 진행되지 않은 상태이며, 1980년대 중반에 실시되었던 미국 NASA의 결과를 주로 인용하여 사용하는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 실내 오염물질인 포름알데히드의 제거에 미치는 식물들의 영향을 실험을 통하여 알아보며, 이를 이용하여 실내 식물의 적정도입지수를 추정하는데 필요한 제거율 및 실내식물 존재시의 실내공기질 예측과 모형 적용시에 고려해야 할 요인들을 제공함으로써 실내식물을 이용한 실내공기정화의 실제 적용에 있어서의 정량적인 접근을 하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

식물에 의한 실내공기 정화효과를 알아보기 위해 가로 0.5m×세로 1m×높이 1m인 부피 0.5m<sup>3</sup>의 아크릴 재질의 반응기를 제작하여 사용하였다(Figure 1). 반응기의 상부에는 수분주입밸브가, 앞뒤에는 각각 3개의 밸브가 설치되어 위치별 오염물질의 유입 및 환기의 영향을 고려할 수 있도록 설계되었으며, 압력계를 설치하여 실험 기간동안의 반응기내 압력 변화를 측정할 수 있게 하였다. 대상 식물을 반응기에 넣고 실내공기가 외부로 누출되지 않도록 반응기를 밀폐한 후 먼저 오염 전 반응기내의 농도를 측정하였으며, 배경농도의 측정 후 포름알데히드 10 $\mu$ l를 마이크로 시린지를 이용하여 반응기내에 주입하여 인위적으로 오염시켰다. 반응기내의 포름알데히드 농도는 오염 후 30시간 까지 6-8회씩 측정하였다. 실험시 반응기내의 온도는 24.0 $\pm$ 3.7 $^{\circ}$ C, 반응기 밖의 온도는 23.4 $\pm$ 3.8 $^{\circ}$ C 로 유지되었으므로 두 지점간 온도차는 거의 없었다고 할 수 있다.

반응기내의 오염물질을 채취하기 위하여 반응기의 좌우 상부의 밸브를 타이곤 튜브를 이용하여 흡수병에 연결하여서 흡수병을 통과한 공기를 다시 반응기로 순환시켜 포름알데히드의 외부 유출을 방지하고 반응기내의 압력을 유지하고자 하였다. 30ml의 유리재질의 흡수병 2개를 직렬로 연결하였으며 각각의 흡수병에 흡수액 10ml를 주입하였는데, 흡수액으로는 공정시험법에 따라 초산암모늄 75g, 빙초산 1.5ml, 아세트 아세톤 1ml 및 물을 가하여 500ml로



Figure 1. The experimental reactor used in this study

한 용액에 염화나트륨 0.1g, 염화제이수는 0.25g을 물에 녹여 500ml로 한 용액을 혼합하여 1/로 조제한 흡수발색액을 사용하였다. 반응기내 공기의 포집은 소형유량펌프(Kimoto HS-7)를 이용하여 1 liter/hr의 유량으로 1시간동안 포집하였고 포집 후 흡수액은 4 $^{\circ}$ C 이하의 온도로 분석 시까지 보관하였다. 분석은 흡광도계(Shimadzu UV-1601)를 이용하여 분석하였는데, 먼저 흡수발색액에 기지의 포름알데히드(Aldrich, 37 wt %)를 주입하여 작성한 고농도부분과 저농도부분(<0.026ppm)의 2개의 검량선을 이용하여 농도를 측정하였다. 시료 분석시 분석용 시료용액 10ml와 배경농도로서의 흡수발색액 10ml를 각각 별도의 시험관에 취하고 증탕 속에서 10분간 가온한 후 파장 420 nm부근에서 10mm 셀을 사용하여 흡광도를 측정하였다.

포름알데히드를 제거하는 식물의 정화효과를 보다 정확하게 판단하기 위하여 반응기 안에 아무것도 두지 않은 채 포름알데히드 농도의 변화를 파악하는 control test를 실시하여 반응기로부터 외부로의 포름알데히드 누출가능성을 점검하였다. 또한 식물이 식재된 화분을 반응기에 배치하여 실험할 때, 알루미늄 호일을 이용하여 흡표면을 밀폐하여 대기로부터의 토양으로의 물질이동을 방지함으로써 토양흡착 및 식물 근권내에 서식하는 미생물에 의한 포름알데히드의 분해작용 등의 인자를 배제하고 식물의 잎에 의

Table 1. The plants selected in this study(Wolverton, 1996; 서정남 외 2003)

식물명(영명)	학 명	특 성
Dragon tree	<i>Dracaena marhginata</i>	광이 부족한 장소나 겨울철의 건조한 환경에서도 잘 견딘다.
Peace lily	<i>Spathiphyllum sp.</i>	실내에 두기 좋은 상록 다년초로 광이 부족한 장소에서도 잘 견디며 크기에 비해 증산량이 많다.
Song of India	<i>Dracaena reflexa</i>	줄기는 가늘고 마디가 비교적 길며 잎 가운데는 녹색이고 바깥쪽으로 노란색 줄 무늬가 있어 장식용으로 많이 사용된다.

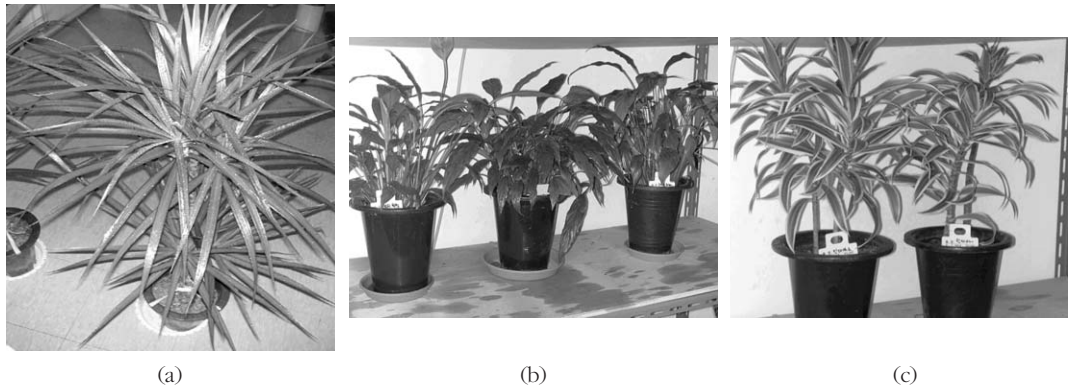


Figure 2. The plants selected in this study (a) *Dracaena Marhginata*, (b) *Spathiphyllum*, (c) *Dracaena reflexa*

Table 2. Total leaf surface area of plants selected in this study

식물종류	전체 잎표면적(m <sup>2</sup> )
<i>Dracaena marhginata</i>	0.28
<i>Spathiphyllum</i>	0.38
<i>Dracaena reflexa</i>	0.18

한 정화효과만을 고려한 경우와 토양과 식물의 효과를 함께 고려한 경우의 두가지 결과를 유도하였다.

본 연구를 위해 선택된 식물은 *Dracaena marhginata*, *Spathiphyllum*, *Dracaena reflexa* 로서(Figure 2) 이 식물들의 일반적인 특성을 Table 1에 요약하였다. 본 연구에 이용된 세 가지 식물은 대

체적으로 광이 부족한 곳이나 건조한 환경에서도 잘 생육할 수 있는 전형적인 실내식물의 특성을 가진 것으로, Table 2와 3은 전체 잎면적과 식물이 식재된 화분 내 토양의 pH, 함수율, 유기물 함량을 보여주고 있다. 실험에 사용된 식물들의 잎면적을 측정한 결과 *Spathiphyllum*의 총 잎면적이 가장 넓었으며 *Dracaena reflexa*의 총면적이 가장 적었다. 각각의 식물이 식재된 화분 내 토양의 pH는 세 경우가 중성으로 거의 비슷하였으며 토양수분의 함량은 *Spathiphyllum*이 식재된 화분내 토양의 수분함량이 다른 식물의 토양보다 더 많았다. 이는 다른 두 종류보다 수분을 많이 필요로 하는 식물특성으로 인한

Table 3. The characteristics of soil used in the experiments

Plant	pH	Moisture content(%)	Organic matter content(%)
<i>Dracaena marhginata</i> 가 식재된 화분의 토양	6.8	13.4	6.1
<i>Spathiphyllum</i> 가 식재된 화분의 토양	7	26.7	8.2
<i>Dracaena reflexa</i> 가 식재된 화분의 토양	6.8	18.2	5.5

이전의 관수조건 때문이라 사료된다. 유기물함량의 경우 *Dracaena reflexa* 가 식재된 화분의 토양이 다른 식물의 토양보다 상대적으로 낮았다.

### III. 결과 및 고찰

Figure 3은 빈 반응기에 포름알데히드(Aldrich, 37 wt %) 10 $\mu$ l를 주입하여 시간에 따른 포름알데히드의 농도변화를 보여주는 것이다. 반응기 내 포름알데히드 주입 후 농도가 점차 증가하다가 주입 후 5시간이 지난 후에 포름알데히드 농도가 평형상태에 도달하였다. 이는 주입된 포름알데히드가 반응기 내 균일하게 확산되는데 걸리는 시간이라 예측할 수 있다. 이후 30시간 동안 포름알데히드의 농도변화가 거의 없음을 관찰할 수 있었다. 평형상태에 도달한 포름알데히드의 평균 농도는 0.86ppm으로 나타났다. 이러한 결과는 주입한 포름알데히드가 반응기 내 균일하게 확산되는데 5시간 정도가 필요하고 반응기 외부로의 포름알데히드의 누출에 의한 반응기 내 포름알데히드 농도감소가 일어날 가능성은 거의 없음을 보여주는 것이다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 식물을 식재한 화분을 포함한 반응기내 포름알데히드 농도의 분석을 포름알데히드 주입 후 최소한 5시간이 지난 이후에 실시하였으며 초기농도를 0.86ppm로 하여 시간별 측정농도를 %로 계산하였다. 한편 실험기간 동안 반응기 외부인 실험실 내 대기 중의 포름알데히드 농도는 0.02에서 0.07ppm 범위로 측정되었다.

Figure 4는 *Dracaena marhginata*의 포름알데히드 정화효과를 보여 주는 것으로 토양표면을 호일로 감싸지 않은 화분을 배치한 반응기와 호일로 감싼 화분을 배치한 반응기 모두에서 포름알데히드의 농도가 시간이 지남에 따라 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이때 화분의 표면을 호일로 감싸지 않은 반응기내에서의 포름알데히드의 농도가 더 빨리 감소하여 23시간 이후에는 실내 배경농도이하로 유지됨을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 *Dracaena marhginata*에 의한 포름알데히드의 제거 기작이 식

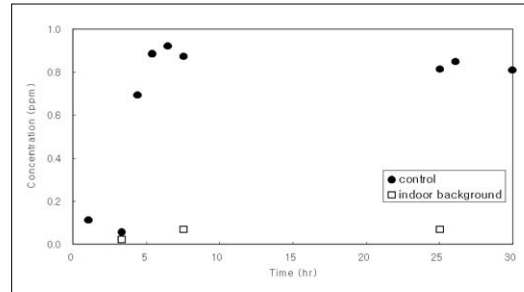


Figure 3. Concentration changes in control reactor

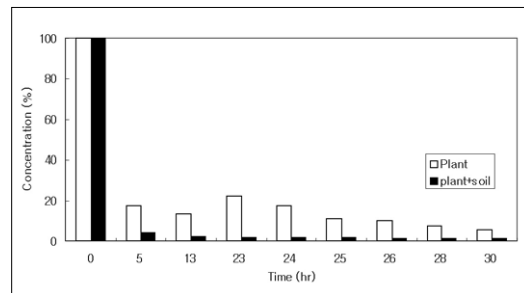
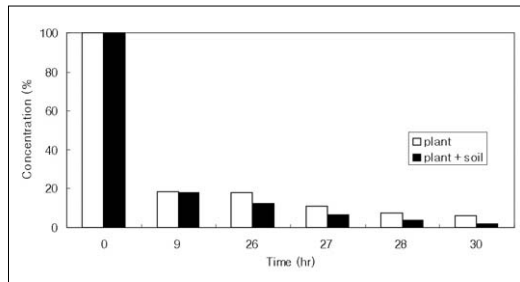


Figure 4. Concentration changes in *Dracaena marhginata* planted reactor

물의 잎에 의한 효과, 즉 식물 잎으로의 흡수와 잎 표면의 흡착뿐 만 아니라 식물이 식재된 토양매질도 포름알데히드의 제거에 중요한 영향을 미치는 것을 보여준다고 할 수 있다. 포름알데히드 농도감소에 대한 토양매질의 효과로는 식물의 뿌리에 의한 직접적인 흡수, 식물근권내 서식하는 미생물에 의한 분해작용, 토양유기물에 의한 흡착 등의 기작 등을 고려할 수 있다(Godish & Guindon, 1989). 실내 식물의 경우 일반적으로 제한된 공간에 식재됨으로 뿌리근권의 비율이 높으며, 발달된 식물의 근권을 통하여 실내식물은 토양 미생물이 잘 번식, 유지될 수 있도록 다양한 영양분을 제공함으로써 토양미생물의 생존에 긍정적인 역할을 하게 되는 것이다.

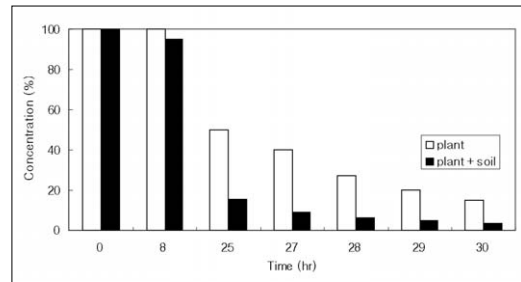
Wolverton의 연구(1986) 결과에 의하자면 포름알데히드의 초기농도가 37ppm인 상황에서 spider plants(*Chlorophyfum sp.*)에 의해 3시간 경과시점에서 초기 포름알데히드의 41.8%가 제거되는 제거율을 보여주고 있는데, 본 연구의 *Dracaena*

Figure 5. Concentration changes in *Spathiphyllum* planted reactor

*marhginata*의 경우 오염물질 주입 후 포름알데히드가 반응기내로 균일하게 확산되기전인 5시간 이내에 주어진 시스템에 의한 포름알데히드 제거가 일어났음을 보여주었다.

*Spathiphyllum*이 식재된 화분이 존재하는 반응기에서도 포름알데히드의 농도가 9시간 후에 초기농도의 20%로 떨어지고 30시간 이후에는 실내 배경농도이하로 떨어지는 것을 보여주고 있다(Figure 5). 이 경우 역시 포름알데히드 정화에 있어 식물만의 효과보다는 식물과 토양에 의한 공동 효과가 큰 것으로 나타나, *Spathiphyllum* 잎자체 뿐만 아니라 토양표면으로의 흡착과 *Spathiphyllum* 근권내에 존재하는 미생물의 분해기작도 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

*Dracaena reflexa*가 식재된 화분이 놓여 있는 반응기에서도 *Dracaena marhginata*와 *Spathiphyllum*의 경우와 마찬가지로 포름알데히드의 농도가 시간에 따라 감소함을 보여주고 있다. 화분안의 토양표면을 개방한 것과 덮은 것에서 포름알데히드 정화속도에 차이를 보여주고 있는 것으로 미루어 *Dracaena reflexa*의 잎과 뿌리, 뿌리 내 미생물, 토양의 작용으로 반응기내 포름알데히드 농도가 감소됨을 알 수 있었다(Figure 6). 하지만 반응기 내 포름알데히드 농도의 감소속도가 *Dracaena marhginata*와 *Spathiphyllum*을 이용한 실험에 비해 다소 느린 경향을 볼 수 있는데 이러한 양상은 총 잎면적과 연관이 있어 생각 할 수 있다. *Dracaena reflexa*의 경우 *Dracaena marhginata*와 *Spathiphyllum*에 비해

Figure 6. Concentration changes in *Dracaena reflexa* planted reactor

잎면적이 적은 것으로 관찰되었다(Table 1). 이는 식물에 의한 오염물질의 정화기작 중의 하나가 잎 뒤쪽 표면에 있는 기공을 통해 흡수되는 것이므로 제거효율이 잎면적에 영향을 받는다고 할 수 있으며 또한 식물의 종류에 따라 오염물질에 대한 흡수 능력이 다르다는 사실에 연관되어 있으리라 판단된다.

본 연구에서 얻어진 식물의 포름알데히드 정화효과에 대한 결과를 Wolverton 연구(1989 & 1986)의 결과와 비교하여 Table 4에 요약 정리하였다. 포름알데히드제거 효율만을 비교하자면 *Chlorophyllum sp.*을 제외하고는 24-26시간 이후의 제거효율은 본 연구의 결과가 Wolverton 연구의 제거율보다 좀 더 높은 것으로 파악되었다. 하지만 Wolverton 연구의 경우 본 연구에 비해 초기농도가 훨씬 고농도인 점을 고려한다면 오히려 제거된 포름알데히드의 절대적인 양은 많다고 할 수 있다. 하지만 이와 같은 고농도는 실내환경 하에서 발생할 수 있는 가능성이 희박한 높은 오염수준이라 할 수 있다.

Table 5는 세가지 종류의 식물을 포함한 반응기 내에서 24시간과 30시간 동안 제거되어진 포름알데히드의 양을 비교한 것이다. 24시간 동안의 결과를 살펴보면 *Dracaena marhginata*를 배치한 반응기에서 포름알데히드 제거량에 대하여 식물과 토양이 함께 작용한 효과가 가장 컸으며 그 다음에 *Spathiphyllum*, *Dracaena reflexa*의 순으로 나타났다. *Dracaena reflexa*의 경우 총 잎면적이 다른 두 식물에 비해 작아서 전체적인 제거효과가 가장 낮게 나온 것으로 판단되며, 포름알데히드의 제거에 대한 토양의 기여도는

Table 4. The comparison of the results of this study and Wolverton's study(1989&1986) of the plant purification effect on the formaldehyde

	Plant	Initial concentration(ppm)	Percent removed(%)
본 연구	<i>Dracaena marhginata</i>	0.86	98 at 24hr
	<i>Spathiphyllum</i>	0.86	88 at 26hr
	<i>Dracaena reflexa</i>	0.86	85 at 25hr
Wolverton 의 연구 (1989&1986)	<i>Dracaena Massangeana</i>	20.0	70 at 24hr
	<i>Chrysanthemum moritolum</i>	18.0	61 at 24hr
	<i>Chlorophyfum sp.</i>	37.0	78 at 6hr

Table 5. Formaldehyde removed from experimental reactors by plants and soil during 24-hr and 30-hr period

Time	Treatment	$\mu\text{g}$ HCHO removed /treatment			$\mu\text{g}$ HCHO removed/ m <sup>2</sup> leaf /hr		
		<i>Dracaena marhginata</i>	<i>Spathiphyllum</i>	<i>Dracaena reflexa</i>	<i>Dracaena maginata</i>	<i>Spathiphyllum</i>	<i>Dracaena reflexa</i>
24hr	plant	436.27	433.24	265.38	65.76	44.20	57.87
	plant+soil	519.94	462.84	448.75			
	soil effects(%)	19	7	69			
30hr	plant	499.92	496.48	450.00	61.81	43.55	83.15
	plant+soil	521.47	519.17	510.68			
	soil effects(%)	4	5	13			

다른 두 식물보다 크게 나타났다. 하지만 총 잎면적이 가장 큰 *Spathiphyllum* 보다 *Dracaena marhginata* 의 전체 제거량이 더 큼을 보여주었는데 이러한 결과는 포름알데히드의 제거에 있어서 식물과 단순한 총 잎면적의 크기보다는 토양과의 공동효과 또는 식물종에 따른 오염물질의 제거능력에도 차이가 있을 수 있음을 시사하는 것이다.

*Dracaena reflexa*를 제외한 두 가지 식물에서 시간이 지날수록 단위시간당 포름알데히드 제거율은 점차 줄어들었으며, 이는 시간이 경과에 따른 노출농도의 감소에 기인한 것으로 보여, 관련 모형에 적용 시 일률적인 제거율의 사용에는 무리가 따를 수 있음을 보여주었다. 토양에 의한 제거효과 또한 시간이 지날수록 감소하였는데 특히 *Dracaena reflexa*의 경우 시간경과에 따라 토양에 의한 제거 효과가 뚜렷이 낮아짐을 보여주어, 토양의 존재가 주어진 시스템에서 초기 오염물질의 제거에 특히 기여하며 토양으로의 흡착이 주요인인 것으로 사료되어진다. 이는 토양 내에서의 오염물질의 분배 및 분해기작에 있어서

일반적으로 물리화학적 기작이 생물학적 기작보다 우선적으로 일어나며, 특히 미생물에 의한 분해의 경우 유기화합물질에 대한 적응기간(acclimation period 혹은 lag period)이 필요하기 때문이다. 본 실험에서와 같이 일시적으로 오염물질에 노출되었을 경우 식물 단독 존재 시에도 충분히 오염물질을 제거할 수 있음이 증명되었으나 오염물질 제거에 시간이 상대적으로 많이 요구되는 갑작스러운 고농도의 오염물질 노출 혹은 지속적인 오염원에 대하여는 실내 식물의 적용시에 토양매질 또는 공기오염물질의 제거에 보조적으로 기여할 수 있는 물질의 사용 또한 바람직 할 수 있음을 나타내었다.

식물중에 따른 오염물질 제거능력은 각각의 식물에 대한 잎면적당 포름알데히드의 제거율로 비교할 수 있는데, 실험결과 24시간 경과 시에는 *Dracaena marhginata*, *Dracaena reflexa*, *Spathiphyllum* 순으로 나타났지만 30시간 경과 시에는 *Dracaena reflexa*, *Dracaena marhginata*, *Spathiphyllum* 순서로 나타나 포름알데히드의 제거능력이 본 실험

조건하에서는 24시간 경과 시에는 *Dracaena marhginata*와 30시간 경과 시에는 *Dracaena reflexa*가 가장 우수함을 보여주었다. 이는 상대적으로 총 잎면적이 작은 *Dracaena reflexa*의 잎의 단위 면적당 제거율이 상대적으로 높아졌음을 배제할 수 없어 위의 결과를 통하여 식물의 실내오염물질 정화 효과에 단순한 식물종의 구분 외에도 적용식물의 총 잎면적 및 시스템내의 식물과 토양비와 같은 식재 특성 및 노출 농도 또한 중요한 변수가 될 수 있음을 보여주었다.

#### IV. 결론

식물을 이용한 포름알데히드 제거효과를 알아보기 위해 실시한 본 연구에서 실험에 이용된 세가지 식물 모두가 포름알데히드를 제거하는데 효과가 있음을 알 수 있었다. 식물종류에 따라 다소 상이한 경향이 나타나지만 식물을 이용한 반응기 모두에서 시간에 따라 반응기내 포름알데히드의 농도는 점차 감소하고 있으며 식물 단독보다는 식물과 토양이 함께 오염물질을 제거할 때 포름알데히드 농도의 감소속도가 더 빠른 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 포름알데히드의 제거 기작이 식물의 잎에 의한 효과 뿐만 아니라 토양에 의한 효과도 함께 작용함을 보여주는 것이다. 하지만 토양의 기여도가 초기에 큼을 보여 주어서 식물근권 내 서식하는 미생물에 의한 분해작용보다는 토양표면으로의 흡착이 우선적임을 알 수 있었다. *Dracaena reflexa*가 *Dracaena marhginata*와 *Spathiphyllum*을 비해서 포름알데히드 정화속도가 느림을 관찰 할 수 있었는데 이러한 결과는 *Dracaena reflexa*가 *Dracaena marhginata*와 *Spathiphyllum*에 비해 상대적으로 좁은 총 잎면적을 가지고 있음과 관련지을 수 있었다. 이는 식물에 의한 오염물질의 정화기작중의 하나가 잎 뒤쪽 표면에 있는 기공을 통해 흡수되는 것이므로 포름알데히드 제거효율이 잎면적과도 연관성이 있다고 할 수 있다. 하지만 시간에 따른 각 식물의 단위 잎면적당 제

거효율에서 나타남과 같이 적용식물의 총 잎면적 외에도 식물간의 정화능력 및 식물과 토양의 비와 같은 식물관리 특성 및 노출 농도 또한 중요한 변수가 될 수 있음을 보여주었다. 한편 본 연구는 일시적인 오염물질의 배출조건하에서 수행되었으므로 건물의 바닥재나 벽 등에서 오염물질이 지속적으로 배출되는 상황에 대하여서는 본 연구의 결과를 직접적으로 적용하기에는 무리가 따를 수 있음을 밝혀둔다. 또한 일반적으로 식물의 오염물질 제거 기작은 passive한 메커니즘으로써, 실내공기의 인위적인 순환의 정도 또한 식물의 정화효과에 영향을 미칠 수 있다. 본 실험 조건하에서는 식물자체만으로도 충분히 오염물질을 제거할 수 있음을 보여주었지만 고농도의 오염물질의 노출 혹은 지속적인 오염원에 대하여는 실내식물의 적용시 흡착력이 큰 토양 매질 혹은 실내 공기 오염물질의 제거에 보조적으로 기여할 수 있는 물질의 사용 또한 바람직 할 수 있음을 시사하였다.

#### 사사

이 논문은 정부(교육 인적 자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R08-2003-000-10391-0).

#### 참고문헌

- 공성용, 이희선, 2004, 실내공기질 관리제도 발전 방안에 관한 연구, 한국 환경정책·평가연구원.
- 김강석, 이희선, 공성용, 구현정, 2001, 실내공기오염에 대한 국민의식 조사와 정책방안연구, 한국 환경정책·평가연구원.
- 박미진 역, 2001, 실내공기오염의 메커니즘, 동화기술.
- 서정남, 최지용, 허무룡, 박천호, 2003, 실내식물, 부민문화사.
- 성기준, 김정, 장영기, 2004, 식물을 이용한 오염된



- 실내공기의 정화에 관한 연구, 대한환경공학회 추계학술발표연구회 논문집, 1207-1209.
- 손부순, 양원호, 2002, 실내공기오염, 신광문화사.
- 환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염특성 및 관리 방법 연구.
- 환경부, 2004, 실내공기질 관리 기본계획(안).
- Bell, J.N.B., 2002, Air pollution and plant life, John Wiley & Sons Inc.
- Comejo, J.J., Munoz, F.G., Ma, C.Y., Stewart, A.J., 1999. Studies on the decontamination of air by plants. *Ecotoxicology*, 8, 311-320.
- Godish, T., Guindon, C., 1989, An assessment of botanical air purification as a formaldehyde mitigation measure under dynamic laboratory chamber conditions, *Environmental pollution*, 61, 13-20.
- Macek, T., Mackova, M., Kas, J., 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology advances*, 18, 23-34.
- Marshall Sittig, 2002, Handbook of Toxic hazardous Chemicals and Carcinogens.
- US Environmental Protection Agency, 1982, Assesment of health risks to garment workers and certain home residents from exposure to formaldehyde, Office of Pesticides and Toxic Substances.
- U.S. Environmental Protection Agency, 2000, Introduction to Phytoremediation, Cincinnati, EPA 600/R-99-107, OH. USA.
- Wolverton, B.C., Johnson, A., Bounds, K., 1989, Interior landscape plants for indoor air pollution abatement-Final report. NASA, Stennis Space Center, MS, USA
- Wolverton, B.C., 1986, Space bio-technology in housing, NASA, USA
- Wolverton, B.C., 1996, How to grow fresh air, Penguin Putnam Inc.