

## 실내오염물질 정화를 위한 수생식물의 이용가능성에 관한 연구\*

박소영<sup>1)</sup> · 김 정<sup>2)</sup> · 장영기<sup>2)</sup> · 성기준<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (주)오이코스 환경기술연구소 · <sup>2)</sup> 수원대학교 환경공학과 · <sup>3)</sup> 부경대학교 생태공학전공

### A Study on Potential of Aquatic Plants to Remove Indoor Air Pollutants\*

**Park, Soyoung<sup>1)</sup> · Kim, Jeoung<sup>2)</sup> · Jang, Young-Kee<sup>2)</sup> and Sung, Kijune<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup> OIKOS Co., Ltd., <sup>2)</sup> Suwon University, <sup>3)</sup> Pukyong National University.

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effect of aquatic plant as a botanical air purification on the indoor air pollution by formaldehyde. Three aquatic plants such as *Eichhornia crassipes*, *Cyperus alternifolius*, *Echinodorus cordifolius*, were selected for this study and they were placed in the artificially contaminated chamber under laboratory condition. The results showed that all three plants could remove the formaldehyde from the contaminated air system effectively. Reduction in the formaldehyde levels by *Eichhornia crassipes*, which is the floating plant, might be associated with the factors of plant and water. Reduction in the formaldehyde levels by *Cyperus helferi* and *Echinodorus cordifolius*, which were emergent plant, was due to the complex effect of plant, soil medium and water. In aquatic plant system, dissolution, microbial degradation in rhizosphere, uptake through root and shoot, sorption to soil and shoot, hydrolysis are known as the main mechanisms of water soluble pollutants in the given system. The advantages of indoor air quality control system using aquatic plants can be; 1) various purifying mechanisms than foliage plants, 2) effective for decontamination of water soluble pollutants; 3) easy for maintenance; 4) diverse application potential. Therefore it was suggested from the results that indoor air control system of aquatic plants should be more effective for reduction of indoor air pollutants.

Key Words : *Indoor air pollution, Aquatic plants, Formaldehyde, Uptake, Degradation.*

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

Corresponding author : Sung, Kijune, Pukyong National University,  
Tel : +82-51-620-6444, E-mail : ksung@pknu.ac.kr

## I. 서 론

에너지 절약정책에 따른 열효율을 고려한 건물의 밀폐구조가 각종 합성건축자재에서 발생하는 유해한 휘발성물질들을 실내에 가두어 버리는 결과를 초래함으로써 실내공기오염이 현대인의 건강을 위협하는 중요한 요인으로 지목되고 있다(김강석 등, 2001). 또한 많은 현대인들이 하루생활의 대부분을 실내에서 보내고 있는 상황이므로 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)라는 신조어가 등장하게 되었다. 이에 따라 환기설비, 공기청정기와 친환경 건축자재 사용 등의 다양한 노력들이 진행되고 있지만 필터의 기능저하로 인한 오염의 심화, 비용문제 등으로 인해 완전한 해결책이 되지 못한다고 할 수 있다(박미진, 2001). 실내환경을 오염시키는 유해물질은 200여종 이상이 된다고 보고되고 있는데, 이 중 포름알데히드는 실내환경 내에서 보편적으로 존재하는 휘발성 유기오염물질로서 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 목재의 접착제, 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 의약품, 섬유, 흡연 등이 주요 배출원으로 보고되고 있다(환경부, 2002; 2004a). 포름알데히드에 의한 실내공기오염은 눈의 자극, 상부기도의 자극, 코와 목의 자극, 기침, 두통, 호흡곤란 등의 급·만성 증상을 야기시키며 아직 논의가 계속되고 있는 증상인 천식과 암을 유발할 수 있다고 알려졌다(Marshall Sittig, 2002; 손부순 · 양원호, 2002).

최근 오염된 실내 공기를 식물을 이용하여 정화하고자 하는 식물 정화법에 대한 관심이 증가되고 있는데, 이는 식물과 서식공간을 활용하는 것으로 식물자체에 의한 오염물질 흡수, 토양매체로의 오염물질 흡착 및 서식 미생물의 분해 작용을 이용하는 것이다(Wolverton and Wolverton, 1993; 박소영 등, 2005). 실내식물은 이러한 오염물질의 직접적인 제거 외에도 실내공기중의 미생물농도의 저감에 기여하고(Wolverton and Wolverton, 1996)

실내의 습도를 조절하여 실내 환경을 쾌적하게 하며, 아울러 심미적이고 정신 치료적인 효과도 있는 것으로 알려져 있다(손기철, 2004).

지금까지 여러 종류의 관엽식물들에 대한 실내 휘발성 오염물질의 정화효과들이 실험적으로 증명되어 발표되었다(Wolverton, 1986; Wolverton and Wolverton, 1996; 손기철 등, 2000; 박소영 등, 2005). 최근에는 수생식물이 실내조경의 소재로 많이 사용되어지고 있는데(이종석 · 김수남, 2003), 수생식물의 경우 실내공기의 정화효과에 관한 연구는 국·내외에서 아직 진행되지 않은 상황이다. 나경호 등(2005)의 연구에 의하면 실내 정화용 청정기의 경우 습식청정기가 포름알데히드의 정화에 가장 효과가 있음을 보여주었는데, 이는 수생식물이 실내공기정화에 많은 잠재성을 갖고 있음을 나타낸다. 하지만 지금까지 수생식물의 환경정화에 관한 연구는 주로 폐수처리 및 하천의 수질정화 효과에 국한되어 연구되어졌는데, 수질정화능력이 있다고 알려진 수생식물로는 갈대(*Phragmites communis*), 줄(*Zizania latifolia*), 애기부들(*Typha angustata*), 미나리(*Oenanthe Javanica*)와 같은 정수식물; 물개구리밥(*Azolla imbricata*), 생이가래(*Salvinia natnas*), 부레옥잠(*Eichhornia crassipes*)과 같은 부수식물; 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*), 새우가래와 같은 침수식물; 연꽃(*Nelumbo nucifera*), 마름(*Trapa japonica*)과 같은 부엽식물 등으로 분류할 수 있다(권예랑 · 박철휘, 2003; 김영철 등, 2003; 김병욱 · 임재명, 2001; 김하송 · 임병선, 1998; 나규환 등, 1996; 권성환 등, 1996; 정재욱 등, 1994). 수생식물의 효과적인 실내도입은 단순한 시각적 효과이외에도 실내 온·습도의 조절 등의 부수적인 효과를 거둘 수 있고, 아울러 실내오염정화의 효과를 얻을 수 있으리라 기대된다. 본 연구에서는 신축 건물의 대표적인 오염물질인 포름알데히드의 실내 농도저감에 미치는 수생식물의 효과를 규명하기 위하여 실시되었다.

## II. 재료 및 방법

수생식물에 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 압력변화를 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 25 $\mu$ l를 마이크로 시린지를 이용하여 반응기내에 주입하여 인위적으로 오염시켰다. 반응기내의 포름알데히드 농도는 오염 후 32시간까지 9-11회씩 측정하였다. 실험시 반응기내의 온도는 24.0 $\pm$ 3.7 $^{\circ}$ C, 반응기 밖의 온도는 23.4 $\pm$ 3.8  $^{\circ}$ C 로 유지되었으므로 두지점간 온도차는 거의 없다고 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, 아세틸 아세톤 1ml 및 물을 가하여 500ml로 한 용액에 염화나트륨 0.1g, 염화제이수은 0.25g을 물에 녹여 500ml로 한 용액을 혼합하여 1 l로 조제한 흡수발색액을 사용하였다. 반응기내 공기의 포집은 소형 유량펌프(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 포

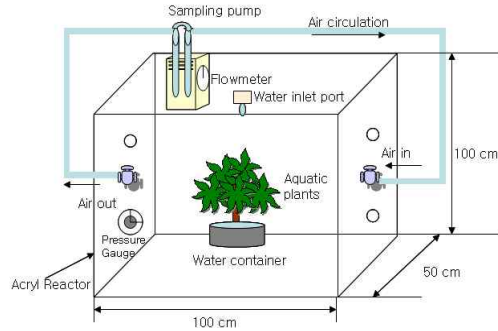


Figure 1. The experimental chamber used in this study.

름알데히드(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 중탕 속에서 10분간 가온한 후 파장 420nm부근에서 10mm 셀을 사용하여 흡광도를 측정하였다. 한편, 수생식물의 포름알데히드 정화효과를 정확하게 판단하기 위해서 반응기내 수생식물을 제거하고 물만 들어있는 수조만을 넣어두고 control test를 실시함으로써 수용성인 포름알데히드에 대한 물의 영향을 살펴보았는데, 이때 수조의 지름은 30cm, 수조에 안에 들어있는 물의 용량은 3 리터였다. 아울러 실험기간동안 수조안에서 난태성 송사리과인 거피(*Lebistes reticulatus*) 6마리를 함께 키워 오염물질의 독성효과를 조사하였다.

본 연구를 위해 선택된 수생식물은 *Eichhornia crassipes*, *Cyperus alternifolius*, *Echinodorus cordifolius*로서 *Eichhornia crassipes*의 경우 그 크기가 다른 2종에 비해 작아서 총 4분을 사용하였다(Figure 2). 사용된 식물들의 영명과 학명, 그리고 일반적인 특성을 Table 1에 요약하였다. 부수식물인 *Eichhornia*은 수계 내 영양염류와 중금속제거에 이용되는 등 수질정화효과가 있는 것으로 여러 연구를 통하여 판명되었다(김영철 등, 2003; 소규호·김복영, 1992; 변중영 등, 1985; 이규승 등, 1985). 반면 정수식물인 *Cyperus*와

**Table 1.** The plants used in this study.

Common name	Scientific name	characteristics
Water Hyacinth	<i>Eichhornia crassipes</i>	Floating aquatic plant belonging to the genus <i>Eichhornia</i> , having shiny light-green, circular leaves, that are attached to inflated stems. Proliferate at the idal speed with the best productivity unless inhibited by other growth conditions.
Umbrella plant	<i>Cyperus alternifolius</i>	Water purification plant having grass-like linear leaves, needs a direct ray of sun or light but can grow well even in the shadow up to 1.5 m height. Passing the winter in at least 5 - 8°C and must manage to be wet.
Creeping burhead	<i>Echinodorus cordifolius</i>	Growing as amphiphytes or hydrophytes in freshwater. Used for the multipurpose like water grass in the fish globe and indoor plants. Ovate leaf and white flower



(a)



(b)



(c)

**Figure 2.** The plants selected in this study(a) *Eichhornia crassipes*,(b) *Cyperus alternifolius*,(c) *Echinodorus cordifolius*.

*Echinodorus*는 지금까지 환경정화의 목적으로 연구되어진 실례가 없던 식물이다. 실험에 사용된 식물들의 잎면적을 측정된 결과 *Cyperus alternifolius*의 총 잎면적, 수면에서부터의 지상부의 높이, 수관의 폭 및 전체잎면적과 반응기부피의 비율이 가장 컸으며, *Eichhornia crassipes* 총 잎면적이 가장 적었다(Table 2). 한편 각 수생 식물을 담고 있는 물의 용량은 물만의 영향을 알아보하고자 실시한 control test에서 사용한 물의 용

량과 동일한 3 리터이다.

### III. 결과 및 고찰

본 연구를 위해 제작된 반응기내에서 포름알데히드 누출가능성을 조사하기 위해 빈 반응기에 포름알데히드(Aldrich, 37 wt %) 10 $\mu$ l를 주입하여 시간에 따른 포름알데히드의 농도변화를 살펴 보았다. 반응기 내 포름알데히드 주입 후 농도가

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

plant	total leaf area (m <sup>2</sup> )	height from water surface(cm)	diameter of plant(cm)	total leaf area/chamber volume(m <sup>-1</sup> )
<i>Eichhornia crassipes</i>	0.10	8.4	13.8	0.20
<i>Cyperus alternifolius</i>	0.31	97.8	60.5	0.62
<i>Echinodorus cordifolius</i>	0.11	25.5	45.2	0.22

점차 증가하다가 주입 후 5시간이 지난 후에 포름알데히드 농도가 평형상태에 도달하였으며 이는 주입된 포름알데히드가 반응기 내 균일하게 확산되는데 걸리는 시간이라 예측할 수 있다 이후 30시간 동안 포름알데히드의 농도변화가 거의 없음을 관찰할 수 있었는데 이러한 결과는 반응기 외부로의 포름알데히드의 누출에 의한 반응기 내 포름알데히드 농도감소가 일어날 가능성은 거의 없음을 보여주는 것이다(박소영 등, 2005). Figure 3은 물을 담은 수조만이 존재하는 반응기에 포름알데히드 25 $\mu$ l를 주입하여 시간에 따른 포름알데히드의 농도변화를 보여주는 것이다. 반응기 내 포름알데히드 주입 후 농도가 점차 증가하다가 주입 후 5시간이 지난 후에 포름알데히드 농도가 가장 높은 농도에 도달하였다. 이는 주입된 포름알데히드가 본 실험 조건에서 반응기 내 균일하게 확산되는데 걸리는 시간이며, 이때 포름알데히드의 농도는 2.13ppm으로 측정되었으며 이를 기준으로 시간별 측정농도를 %로 계산하였다. 5시간 이후에는 시간이 지남에 따라 포름알데히드의 농도가 점차 감소함을 관찰 할 수 있었는데 이는 수용성인 포름알데히드가 수조에 담긴 물에 점차 용해되어 나타난 결과라 할 수 있다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 수생식물이 존재하는 수조를 포함한 반응기내 포름알데히드 농도의 분석을 포름알데히드 주입 후 최소한 5시간이 지난 이후에 실시하였으며 최고농도 2.13ppm을 기준으로 하여 시간별 측정농도를 %로 계산하였다.

Figure 4(a)는 *Eichhornia crassipes*의 포름알데

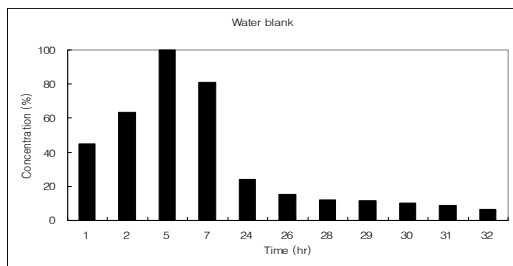


Figure 3. Relative concentration changes in the chamber with water container.

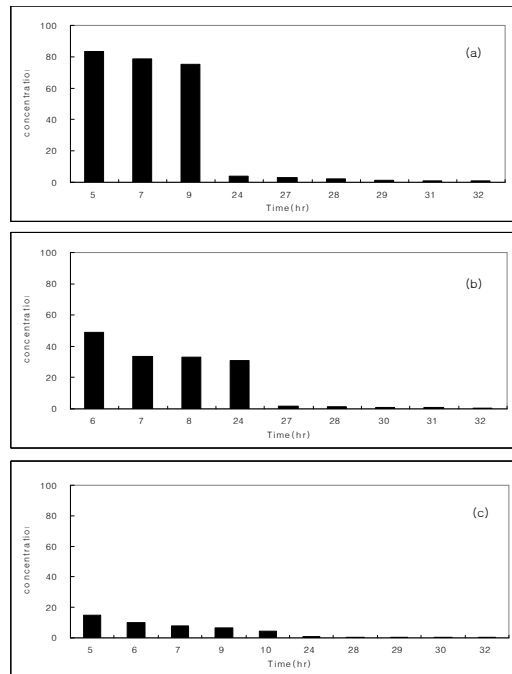


Figure 4. Relative concentration changes in planted chamber; (a)*Eichhornia crassipes*, (b)*Cyperus alternifolius*, (c)*Echinodorus cordifolius*.

히드 정화효과를 보여 주는 것으로 포름알데히드의 농도가 시간이 지남에 따라 점차 감소하다가 24시간에 도달하였을 때 급격히 감소하여 초기농도의 96%까지 제거되었다. 이를 물만 담은 수조를 포함한 반응기 내 농도변화 양상(Figure 3)과 비교해 보면, 7시간까지는 포름알데히드 농도감소에 있어 비슷한 양상을 보이다가 24시간이후에는 *Eichhornia*이 담긴 수조를 포함한 반응기에서의 포름알데히드 농도감소가 물에 의해서만 제거된 포름알데히드의 양보다 훨씬 낮은 농도를 보이므로 *Eichhornia*가 포름알데히드 제거에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. *Cyperus alternifolius*가 담긴 수조를 포함한 반응기에서는 6시간이 지난 후부터 포름알데히드의 농도가 초기농도의 50% 이하로 감소되어 27시간이 지난 후에는 98%가 제거되었다(Figure 4(b)). 이 경우 역시 물만 담긴 수조를 넣어둔 반응기에서의 농도변화 양상(Figure 3)과 비교해 보았을 때 포름알데히드에

**Table 3.** The comparison of the effect of aquatic plants(this study) and the effect of foliage plants(Park et al., 2005; Wolverton et al., 1989; Wolverton, 1986) on the formaldehyde removal.

	Plant	Initial concentration (ppm)	Percent removed (%)
This study	<i>Eichhornia crassipes</i>	2.13	96 at 24hr
	<i>Cyperus alternifolius</i>	2.13	69 at 24hr
	<i>Echinodorus cordifolius</i>	2.13	99 at 24hr
Park et al. (2005)	<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 (1989 & 1986)	<i>Dracaena Massangeana</i>	20	70 at 24hr
	<i>Chrysanthemum moritolum</i>	18	61 at 24hr
	<i>Chlorophyfum sp.</i>	37	78 at 6hr

대한 *Cyperus*의 정화효과를 확인 할 수 있었다. *Echinodorus cordifolius*이 담긴 수조를 넣어 둔 반응기에서도 *Eichhornia crassipes*와 *Cyperus alternifolius*의 경우와 마찬가지로 포름알데히드의 농도가 시간에 따라 감소함을 보여주고 있다 (Figure 4(c)). 하지만 반응기 내 포름알데히드 농도의 감소속도가 *Eichhornia crassipes*와 *Cyperus alternifolius*을 이용한 실험에 비해 다소 빠른 경향을 볼 수 있는데 5시간이 지난 후에 이미 주입된 포름알데히드의 88%가 제거되고 24시간이 경과한 후에는 98%이상 제거됨을 확인할 수 있었다. 위의 결과를 종합할 때 제거효율에서 다소 차이가 나지만 본 연구에 이용된 세 가지 식물모두가 포름알데히드를 제거하는데 효과가 있음을 알 수 있었다. 하지만 본 연구가 제한된 공간에서 일시적인 오염물질의 노출 하에서 수행되었으므로, 실제 실내 환경에서와 같이 오염물질이 지속적으로 배출되거나, 노출공간에 대한 식생의 비가 작을 경우 식물에 의한 정화효과는 작아질 수도 있을 것이다.

본 연구에서 얻어진 수생식물의 포름알데히드 정화효과에 대한 결과를 육상식물의 정화효과에 대한 연구들(박소영 등, 2005; Wolverton et al., 1989; Wolverton, 1986)의 결과와 비교하여 Table 3에 요약 정리하였다.

포름알데히드제거 효율만을 비교하자면 본 연구에서 사용된 수생식물의 포름알데히드 정화효율은 육상식물의 정화효율과 유사하게 파악되었다. 하지만 박소영 등 연구(2005)에 비해 본 연구의 초기 농도가 높았으므로 제거된 포름알데히드의 절대적인 양은 많다고 할 수 있다. Wolverton 연구(1989; 1986)와 비교할 경우 본 연구에 비해 초기농도가 훨씬 고농도였으므로 제거된 포름알데히드의 절대적인 양은 더 많다고 할 수 있지만 기존의 포름알데히드 관련 산업위생적 연구가 최대 2-3ppm 이하에서 수행되었고 최근 시행된 포름알데히드에 관한 실내공기질 유지기준이 0.10ppm 이하로 규제되는 점을 고려할 때(손부순 · 양원호 2002; 환경부, 04b) 이와 같은 고농도는 실내 환경 하에서 발생할 수 있는 가능성이 희박한 높은 오염수준이라 할 수 있다.

**Table 4.** Removal effect of formaldehyde by plants and soil during 7-hr and 24-hr period.

Time	ug HCHO removed /treatment		
	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Cyperus alternifolius</i>	<i>Echinodorus cordifolius</i>
7hr	279	874	1206
24hr	1258	907	1298

Table 4는 세가지 종류의 식물을 포함한 반응기 내에서 7시간과 24시간 동안 제거되어진 포름알데히드의 양을 비교한 것이다. 7시간 동안의 결과를 살펴보면 *Echinodorus cordifolius*을 배치한 반응기에서 포름알데히드 제거량이 가장 많았으며 그 다음에 *Cyperus alternifolius*, *Eichhornia crassipes*의 순으로 나타났다. 한편 24시간동안 제거된 포름알데히드 양을 비교해보면 *Echinodorus cordifolius*, *Eichhornia crassipes*, *Cyperus alternifolius* 순으로 나타났다. 이를 7시간동안의 결과와 종합하여 살펴보면 *Eichhornia crassipes*는 실험초기에는 제거효과가 크지 않으나 시간이 지날수록 포름알데히드 제거능력이 왕성해졌으며 *Echinodorus cordifolius*와 *Cyperus alternifolius*의 경우에는 오히려 실험초기에 제거효과가 왕성하다가 시간이 지남에 따라 효과가 점차 감소함을 확인할 수 있었다.

식물에 의한 오염물질의 정화기작중의 하나가 잎 뒤쪽 표면에 있는 기공을 통해 흡수되는 근거로 잎면적에 연관되어 있을 가능성이 있으므로, 본 실험결과에서 나타난 각 식물의 제거능력을 총 잎면적과 연관지어 살펴보았다. 24시간동안 제거된 포름알데히드의 양이 가장 적은 것으로 나타난 *Cyperus alternifolius*가 총잎면적이 가장 넓은 것으로 확인되었는데, 이러한 결과는 포름알데히드의 제거에 있어서 식물의 단순한 총 잎면적 크기보다는 잎의 형태 혹은 식물종에 따라 오염물질의 제거능력이 차이가 있을 수 있음을 시사하는 것이다. *Echinodorus cordifolius*와 *Cyperus alternifolius*의 경우, 포름알데히드제거가 식물과 물의 작용이외에도 이들 식물의 뿌리가 토양에 근간을 두는 정수식물이므로 토양 미생물의 분해 활동도 함께 작용한 복합효과라 할 수 있다. 반면 부수식물인 *Eichhornia crassipes*의 경우는 뿌리가 흠에 근간을 두고 있지 않으므로 포름알데히드의 제거가 식물과 물에 의한 영향이라고 할 수 있다. 한편 실험기간동안 수조안에서 함께 키운 구피 6마리 모두 건강하게 생존하여, 용존 포름

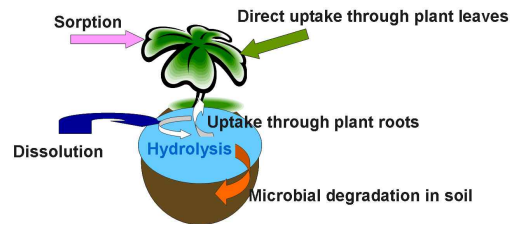


Figure 5. Mechanisms of air purification with aquatic plants.

알데히드에 의한 독성영향이 본 실험 농도수준에서 미미하였음을 알 수 있었다. 또한 수생식물을 실내에서 사용하였을 때 관상어와 함께 사용해도 무방함을 보여주었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 실내공기 중 휘발성 오염물질에 대한 수생식물의 정화기작을 정리하면 Figure 5과 같이 나타낼 수 있다. 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). 대기 중의 오염물질은 확산을 통하여 토양에 유입되는데 이때 유입된 오염물질은 식물의 근권내에 존재하는 미생물에 의하여 분해되거나 다시 식물의 뿌리에 의하여 흡수되어 제거된다. 수생식물의 경우는 이러한 알려진 기작 외에 휘발성 오염물질의 수체로의 용해, 수체내에서의 가수분해 및 식물뿌리에 의한 흡수, 부수식물인 경우에는 부유뿌리에 존재하는 미생물에 의한 분해 기작 등 다양한 방법에 의해 포름알데히드의 제거에 기여할 수 있다.

기존의 식물을 이용한 실내공기정화의 제약점 중에 하나는, 상업적인 공기정화기와는 달리 정화가 passive 하게 일어난다는 것이다. 이를 극복하기 위하여는 실내 공기의 인위적인 순환을 시키거나 식물의 위치를 주기적으로 바꾸어 주어 오염된 공기와 식물과의 접촉을 증가시켜야 하는데, 최근에는 화분내의 공기흡입장치를 부착하여

시스템내로 공기의 유입을 유도하는 방법이 제안되고 있다(Wolverton et al., 1989; 손기철, 2004). 수생식물의 경우에도 공기흡입장치를 통하여 오염된 공기를 수체내로 유입함으로써 정화 효율을 증가시킬 수 있는데, 매체의 특성상 토양으로의 흡입보다 더 용이하다. 또한 토양으로의 인위적인 공기유입이 흡착된 휘발성 오염물질을 탈착시켜 실내 대기질을 다시 악화시킬 수도 있으나, 수생식물의 경우 유입된 공기로 대기 중 수용성 오염물질의 용해를 증가시키고, 수중생물에게 필요한 산소 또한 공급할 수 있어 다양한 효과를 얻을 수 있다. 수생식물이 실내공기정화에 도입되었을 때의 또 다른 장점은 관엽식물의 경우 토양이 미생물의 분해가능농도 이상으로 오염되었을 경우 토양의 교환 및 처리가 쉽지 않으나, 수생식물인 경우 손쉽게 물을 주기적으로 교환 혹은 공급할 수 있으므로 오염 노출 후 관리가 용이하다는데 있다.

#### IV. 결 론

수생식물을 이용한 포름알데히드 제거효과를 알아보기 위해 실시한 본 연구에서 식물종류에 따라 다소 상이한 경향이 나타나지만 식물을 이용한 반응기 모두에서 시간에 따라 반응기내 포름알데히드의 농도는 점차 감소하는 결과를 확인함으로써 실험에 이용된 세가지 식물 모두가 포름알데히드를 제거하는데 효과가 있음을 알 수 있었다. 부수식물인 *Eichhornia crassipes*의 경우는 뿌리가 흙에 근간을 두고 있지 않으므로 포름알데히드의 제거가 식물에 의한 흡수와 물로의 용해에 의한 영향이라고 할 수 있다. 정수식물인 *Echinodorus cordifolius*와 *Cyperus alternifolius* 경우, 포름알데히드제거가 식물과 물의 작용이외에도 이들 식물의 뿌리가 토양에 근간을 두고 있으므로 토양미생물의 분해활동도 또한 포름알데히드의 농도감소에 기여한다고 할 수 있다. 24시간동안 제거된 포름알데히드 양을 비교해보면

*Echinodorus cordifolius*, *Eichhornia crassipes*, *Cyperus alternifolius* 순으로 나타났는데 제거된 포름알데히드의 양이 가장 작은 것으로 나타난 *Cyperus helferi*가 총잎면적이 가장 넓은 것으로 확인되어 포름알데히드의 제거에 있어서 식물의 단순한 총 잎면적보다는 식물 종에 따른 오염물질의 제거능력에 차이가 있을 수 있음을 알 수 있었다.

수생식물에 의한 실내오염물질의 제어의 장점을 요약하면 다음과 같다. 1) 기존의 관엽식물보다 오염정화기작이 다양하고, 2) 특히, 수용성 오염물질의 정화에 효과적이고, 3) 관리가 용이하며, 4) 다양한 응용이 가능하다는 것이다.

#### 사 사

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R08-2003-000-10391-0)

#### 인 용 문 헌

- 권성환 · 나규환 · 류재근 · 김종택. 1996. 미나리 (*Oenanthe javanica*(Blume) DC)를 이용한 수질정화에 관한 연구. 한국환경위생학회지 22(3) : 56-63.
- 권예량 · 박철휘. 2003. 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구. 대한환경공학회지 25(4) : 415-420.
- 김강석 · 이희선 · 공성용 · 구현정. 2001. 실내공기오염에 대한 국민의식 조사와 정책방안연구. 한국 환경정책 · 평가연구원.
- 김병욱 · 임재명. 2001. 혐기성 소화와 수생식물을 이용한 고농도 돈사폐수처리. 대한환경 공학회지 23(6) : 911-920.
- 김영철 · 정하영 · 이진우. 2003. 산화지와 부유수생식물에 의한 2차 처리수의 수질향상에 관한 연구. 대한환경공학회지 25(8) : 1022-



- 1031.
- 김하송 · 임병선. 1998. 농경지 배출수의 수질개선을 위한 수생식물의 정화능과 활용방안에 관한 연구. 한국환경관리학회 4(2) : 1-8.
- 나경호 · 손진석 · 장영기 · 성기준. 2005. 실내용 공기청정기가 실내환경개선에 미치는 성능평가. 환경영향평가학회지, 인쇄중.
- 나규환 · 권성환 · 이장훈. 1996. 수생식물을 이용한 수질정화에 관한 연구. 한국환경위생학회지 22(3) : 49-55.
- 박미진 역. 2001. 실내공기오염의 메커니즘. 동화기술.
- 박소영 · 김 정 · 장영기 · 성기준. 2005. 포름알데히드로 오염된 실내공기의 정화에 미치는 식물효과에 관한 연구. 환경영향평가학회지 14(4) : 47-53.
- 변종영 · 김문규 · 이종식. 1985. 수생식물을 이용한 수질오염원제거에 관한 연구. 제1보, 부레옥잠의 유기물 제거효과 및 생장에 미치는 제요인 한국잡초학회지 5(2) : 143-148.
- 소규호 · 김복영. 1992. 부레옥잠(수초)를 이용한 관재수중 유해 중금속 제거 연구. 한국 환경농학회지 11 : 133-139.
- 손기철 · 이성환 · 서상규 · 송종은. 2000. 관엽식물 및 배양토가 실내공기 오염물질의 흡수 및 흡착에 미치는 영향. 한국원예학회지 41(3) : 305-310.
- 손기철. 2004. 실내식물이 사람을 살린다. 중앙생활사.
- 손부순 · 양원호. 2002. 실내공기오염. 신광문화사.
- 이규승 · 김문규 · 변종영 · 이종식. 1985. 수생식물을 이용한 수질오염원제거에 관한 연구, 제2보 부레옥잠의 영양염류 및 중금속 제거효과. 한국잡초학회지 5(2) : 149-154.
- 이종석 · 김수남. 2003. 한국산 수생식물의 원예적 이용에 관한 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 6(1) : 41-50.
- 정재욱 · 류홍일 · 류재근. 1994. 중금속이 수생히야신스(부레옥잠)를 이용한 하수처리 공정에 미치는 영향. 대한환경위생지 9(2) : 110-119.
- 환경부. 2002. 실내공간 실내공기오염특성 및 관리방법 연구.
- 환경부. 2004a. 실내공기질 관리 기본계획(안).
- 환경부. 2004b. 다중이용시설등의 실내공기질 관리법 시행규칙.
- Marshall Sittig. 2002. Handbook of Toxic hazardous Chemicals and Carcinogens.
- Wolverton, B. C. 1986. Space bio-technology in housing. NASA, USA.
- Wolverton, B. C., A. Johnson and K. Bounds. 1989. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement-Final report. NASA, Stennis Space Center. MS, USA.
- Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton. 1993. Plants and soil microorganisms : removal of formaldehyde, xylene, and ammonia from the indoor environment. J. Miss. Acad. Sci 38(2) : 11-15.
- Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton. 1996. Interior plants : their influence on airborne microbes inside energy-efficient buildings. J. Miss. Acad. Sci 41(2) : 99-105.
- Wolverton, B. C. 1996. How to grow fresh air. Penguin Putnam Inc.

接受 2005年 7月 28日