환경영향평가 제15권 제6호(2006) pp.417~423

연구논문

실내식물의 휘발성유기화합물질 정화에 관한 연구

박소영 · 김정* · 장영기* · 성기준**
부경대학교 해양공학과, 수원대학교 환경공학과*, 부경대학교 생태공학전공**
(2006년 9월 18일 접수, 2006년 12월 15일 승인)

Purification Ability of Indoor Plants for Volatile Organic Compounds (VOCs)

Soyoung Park · Jeoung Kim* · Young-Kee Jang* · Kijune Sung**
Dept. Ocean Eng. Pukyong National University, Dept. Environmental Eng. Suwon University*
Ecological Eng. Major Pukyong National University**
(Manuscript received 18 September 2006; accepted 15 December 2006)

Abstract

The purification ability of indoor plants for volatile organic compounds was investigated. *Philodendron selloum and Spathiphyllum sp*. were tested for removal of toluene and trichloroethylene in the artificially contaminated reactor under laboratory conditions. Each plant was placed in right side of the reactor and the TCE and toluene concentration change with time were monitored. In the reactor with *Philodendron*, the TCE concentrations of left and right sides were compared to examine the removal effects by plant. In the reactor with *Spathiphyllum*, air was circulated before sampling, and thus average removal effects by plants on target VOC were observed.

Both plants showed clear effects on removal of VOCs from contaminated indoor air. The removal efficiency of *Philodendron* and *Spathiphyllum* were similar and showed 30 - 46% and 31 - 47% of purification effects, respectively. The results of this study showed that air purification using plants is an effective means of reduction on indoor VOCs concentration level and reduce related health risk though, supplementary purifying aids or proper ventilation were also suggested.

Key words : indoor air pollution, indoor plant, air purification, volatile organic compounds, TCE, Toluene

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

I. 서 론

각종 합성건축자재 및 가구와 열효율을 고려한 건물의 밀폐구조로 인해 발생하는 휘발성유기화합물질(VOCs) 등 실내오염물질의 증가는 일상생활의 대부분을 실내에서 보내고 있는 많은 현대인에게 건강을 위협하는 중요한 요인으로 지목되고 있다(Wolverton, 1996). 휘발성유기화합물질의 주요발생원은 건축자재와 마감재료, 페인트, 접착제 및 건물의 유지관리용품, 연소부산물, 방향제, 외부유입 등으로 나눌 수 있는데, 이들 휘발성유기화합물질은 다량으로 흡입할 경우 호흡기 장애나 중추신경 장애 및 조혈기능의 장애를 일으킨다고 알려져 이들 오염물질에 대한 대책이 시급한 실정이다(김강석 외, 2001; 환경부 2002). 우리나라에서도 "다중이용시설 등의 실내공기질 관련법령"에서 총휘발성유기화합물질(TVOCs)을 지정하여 적용 대상시설의 범위, 실내농도의 권고기준 및 환기와 같은 실내공기질 관리에 관한 세부사항을 정하고 있다(환경부 2004).

한편, 오염된 실내 공기를 식물을 이용하여 정화하는 식물정화법에 대한 관심이 최근 증가되고 있는데, 이는 식물과 서식공간을 활용해 식물자체에 의한 오염물질 흡수, 토양매체의 오염물질 흡착과 토양 미생물의 분해 작용을 이용하는 것이다(Wolverton and Wolverton, 1993; Cornejo *et al*. 1999; Macek *et al*. 2000; 박소영 등, 2005). 실내식물은 이러한 오염물질의 직접적인 제거 외에도 실내공기 중의 미생물농도의 저감에 기여하고(Wolverton and Wolverton, 1996) 실내의 습도를 조절하여 실내 환경을 쾌적하게 하며, 아울러 심미적이고 정신치료적인 효과도 있는 것으로 알려져 있다(손기철, 2004). 식물은 특히 폐쇄된 실내 공간에서와 같이 오염된 공기가 외부로 배출되지 못하고 장기간 정체되어있는 곳에서 특히 효과가 있으며 이 경우에 식물은 오염물질을 흡수하여 이를 분해하거나 혹은 식물체내에 저장함으로써 실내 대기오염물질의 정화에 기여할 수 있다(성기준 등, 2004).

식물을 이용하여 VOC로 오염된 토양 및 지하수의 정화 가능성에 대한 연구는 활발하게 진행되어 왔지만(US. EPA, 2000), 식물을 이용한 VOC로 오염된 공기정화에 관한 연구는 그리 많이 진행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 주거나 작업 환경에서 쉽게 접할 수 있는 실내의 휘발성유기화합물질인 TCE(trichloroethylene)와 톨루엔(toluene)의 제거에 기여하는 식물의 효과를 파악하고자 하였다. 이중 TCE는 토양 및 지하수의 대표적인 오염물질로 오염된 토양 및 지하수에 의하여 간접적으로 실내에 유입될 수 있으며, 톨루엔은 실내공기질 공정시험법상 다른 유기화합물질의 농도환산 기준이 되는 물질로서 독성이 강하며 담배연기, 건축재료 및 세탁용제와 페인트 등에서 발생하는 가장 일반적인 휘발성유기화합물질이다(김강석외 2001; 손부순, 양원호; 2002).

II. 재료 및 방법

식물에 의한 실내공기 정화효과를 알아보기 위해 가로 0.5m×세로 1m×높이 1m인 부피 0.5m^{3}의 아크릴 재질의 반응기를 제작하여 사용하였다(Fig 1). 본 연구를 위해 선택된 식물은 필로덴드론(*Philodendron selloum*)과 스파티필룸(*Spathiphyllum sp.*)로서(Fig 2) 이 식물들의 일반적인 특성을 Table 1에 요약하였다. 본 연구에 이용된 두가지 식물은 대체적으로 광이 부족한 곳이나 건조한 환경에서도 잘 생육할 수 있는 전형적인 실내식물의 특성을 가진 것으로, 실험에 사용된 식물들의 잎면적을 측정한 결과 *Philodendron selloum*과 *Spathiphyllum*의 총 잎

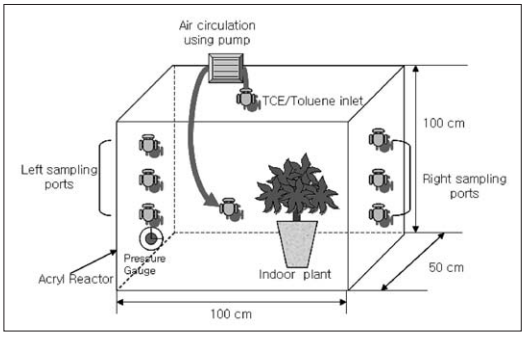

Fig. 1. The reactors used in this study

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

식물명(영명)	학 명	특 성
Saddle leaf philodendron	*Philodendron selloum*	공기가 건조하고 광이 부족한 환경에 비교적 강한 편이라서 적절한 관리를 해준다면 실내에서 잘 자랄수 있는 특성을 가지고 있다.
Peace lily	*Spathiphyllum sp.*	실내에 두기 좋은 상록 다년초로 광이 부족한 장소에서도 잘 견디며 크기에 비해 증산량이 많아 건조한 환경에서도 잘 견딘다.

(a) (b)

Fig. 2. The plants selected in this study (a) *Philodendron selloum* (b) *Spatiphyllum sp.*

면적이 각각 0.39, 0.38m^{2}으로 두식물이 비슷하게 나타났다. 본 연구에서는 두가지 실험을 실시하였는데, 먼저 *Philodendron*이 배치된 반응기의 경우, 대상식물을 반응기 우측면에 배치하였으며 실내공기가 외부로 누출되지 않도록 반응기를 밀폐한 후 먼저 오염 전 반응기내의 TCE의 배경농도를 측정하였으며, 배경농도의 측정 후 대상화합물인 TCE 10 μL을 마이크로 시린지를 이용하여 반응기 주입구를 통해 반응기 내로 주입하여 인위적으로 오염시켰다. 이때 주입된 화합물이 반응기 내에서 균등하게 분배되도록 하기위해 반응기 정면과 윗부분을 펌프와 연결하여 2시간 정도 반응기 내부 공기를 순환시킨 후 좌측면과 우측면의 상단, 중단, 하단부분에 설치된 총 6개의 채취관으로부터 gas tight 시린지를 이용하여 반응기 내부공기 5mL를 추출하여 분석한 TCE의 농도를 반응기 내 초기농도로 설정하였다. 이 후 시간별로 6개의 채취관으로부터 채취한 공기를 분석하여 반응기 내에서 식물이 존재하였던 우측면과 존재하지않았던 좌측면간의 농도차이를 조사함으로써 식물에 의한 TCE의 정화효과를 관찰하였다.

*Spathiphyllum*이 배치된 반응기에 경우, 대상식물을 반응기 오른쪽에 배치하였으며 오염물질로 TCE와 톨루엔 두 가지를 각각 10 μL을 마이크로 시린지를 이용하여 반응기 주입구를 통해 반응기 내로 주입하여 인위적으로 오염시켰으며, *Philodendron*의 경우와는 달리 매 시료 채취전에 펌프로 반응기 내부 공기를 순환시켜 전체적인 식물효과를 파악하고자 하였다. 또한 톨루엔의 정화에 미치는 토양의 영향을 조사하고자, 식물이 식재된 화분, 식물이 없이 토양만 있는 화분을 구분하였으며, TCE와 톨루엔의 복합 오염시의 정화효과 또한 톨루엔 단독 오염시와 구분하여 실험하였다. 그 외 시료채취방법과 분석방법은 두 실험이 동일하였으며, 실험시 반응기 내의 온도는 24.0±3.7℃, 반응기 밖의 온도는 23.4±3.8℃로 유지되어 두 지점간 온도차는 거의 없었다고 할 수 있다.

반응기 내 TCE와 톨루엔의 농도변화는 좌우에 위치한 6개의 채취관으로부터 채취한 시료공기내 TCE와 톨루엔의 농도를 FID가 장착된 Gas

chromatography (Hewlett packard, 5890)를 이용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 GC의 분석을 위해 J&W capillary column을 사용하였으며 injector 온도는 230℃, detector의 온도는 230℃, oven 온도는 70℃였으며 carrier gas로 N_2를 사용하였다. 실험에 사용된 토양은 실내식물 재배에 많이 사용되는 상업용 배양토로 pH는 6.2, 수분함량은 32.6%, 유기물 함량은 17.4% 인 토양을 사용하였으며 추가적인 시비는 주지 않았다.

한편 반응기 내 대상화합물의 누출, 흡착 등의 기작을 점검하여 식물의 정화효과를 보다 정확하게 판단하기 위하여 반응기 안에 아무것도 두지 않은 채 포름알데히드 농도의 변화를 파악하는 blank test를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 3은 식물을 배치하지 않은 상태에서 반응기 내의 TCE 농도변화를 살펴본 blank test 결과를 나타낸 것으로 시료채취전 반응기 내부공기를 순환시키지 않았으므로 위치별 TCE 농도에 차이가 남을 확인할 수 있었다. TCE 주입 후 48시간 경과 시 약 20%의 농도감소를 보이다가 주입 후 120시간 경과 시에는 TCE 농도가 약 50% 수준까지 줄어들었으며 이후 다시 증가하는 경향을 보이는데 이는 반응기에 주입된 TCE가 아크릴 재질의 반응기에 흡착된 후 다시 탈착된 것으로 사료된다. 168시간 경과 시 다시 80% 수준의 농도를 유지함을 보여주었다. Fig. 3은 식물이 없는 일반적인 실내 환경에서 오염물질의 흡·탈착에 의한 농도 증감의 경향을 잘 보여주고 있다.

TCE에 대한 *Philodendron* 정화효과를 알아보기 위한 실험의 경우, 반응기 내 시간별 TCE의 농도변화를 위치별로 살펴보았다(Fig. 4). 시료채취전 반응기 내 내부공기를 순환시키지 않았으므로 식물이 존재하던 위치에 따라 농도의 큰 차이를 확인할 수 있었다. 식물이 위치하고 있는 우측의 경우, 72시간 이후 TCE 잔존농도가 14-22%로 나타난 반면 식물이 존재하지 않았던 좌측의 경우 같은 시간대의 우측보다 높은 41-74%의 잔존농도를 보여주었다. 이는 TCE에 대한 *Philodendron*의 정화효과를 보여주는 결과라 할 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4의 TCE 잔존 농도를 바탕으로

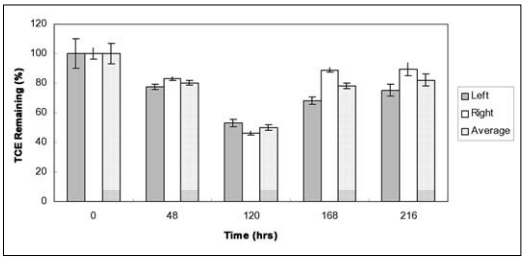

Fig. 3. The change of TCE concentration in rector without *Philodendron*

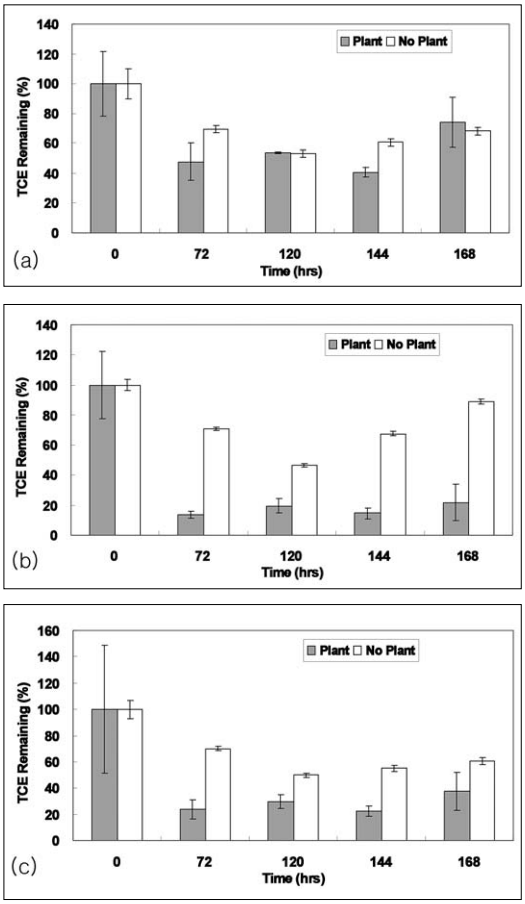

Fig. 4. The change of TCE concentration in the reactor with *Philodendron* (a) Left, (b) Right, (c) Average

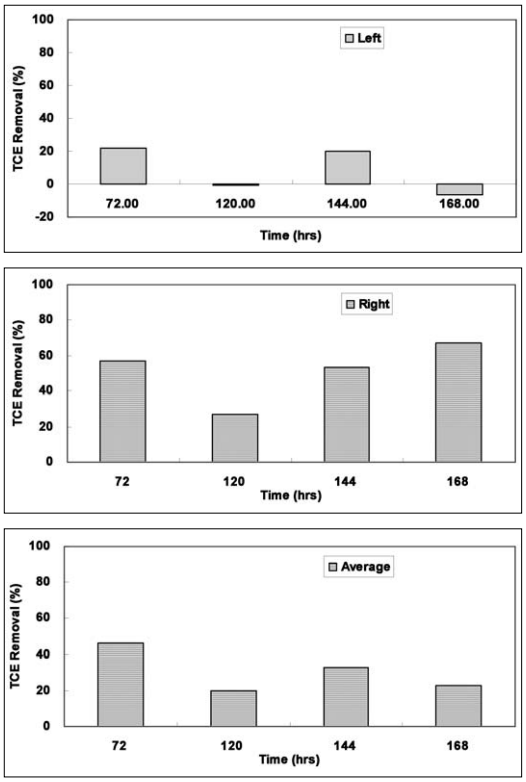

Fig. 5. The change of % removal of TCE in the reactor with *Philodendron*

TCE에 대한 Philodendron 제거효율을 계산한 것이다. 이때 blank의 결과를 고려하여 반응기 내 TCE 농도감소에 영향을 미치는 누출 및 흡착기작을 배제함으로써 TCE 제거에 대한 순수한 식물의 효과만을 확인할 수 있었다. 좌측의 경우 식물에 의한 제거효과가 있다고 말할 수 없지만 식물이 위치하고 있던 우측의 경우 식물에 의한 제거효과가 시간이 지남에 따라 증가하여 168시간 경과시에는 약 67% 처리효율을 나타내었다. 전체적으로 *Philodendron*의 존재가 실내 TCE 제거에 효과가 있음을 보여주었으며 본 연구의 조건하에서는 제거효율은 실험기간 동안 평균 30.5%, 최대 46%로 나타났다.

톨루엔에 대한 *Spathiphyllum* 정화효과를 알아보기 위한 실험의 경우, 반응기 내 톨루엔의 농도변화를 Fig. 6에 나타내었다. TCE 경우와는 달리 시료채취 전 펌프로 반응기 내 공기를 순환시켰으므로 6개 지점의 채취관으로부터 분석된 톨루엔의 농도

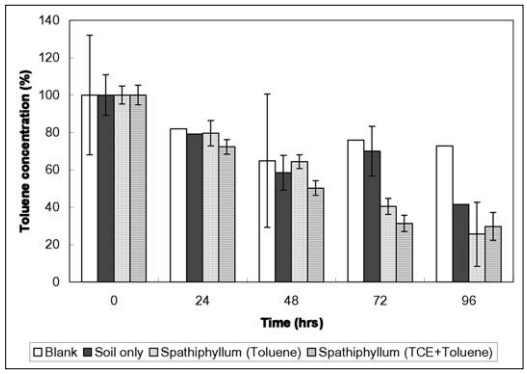

Fig. 6. The change of Toluene concentration in the reactor with *Spathiphyllum*

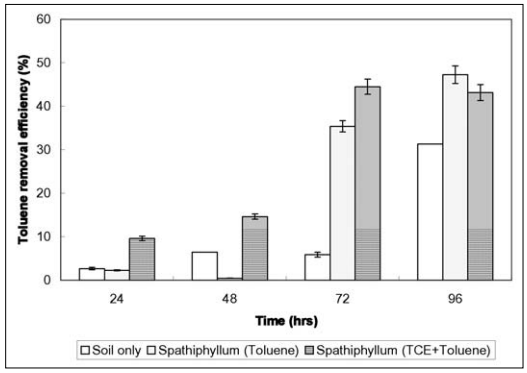

Fig. 7. The change of % removal efficiency of Toluene in the reactor with *Spathiphyllum*

는 큰 차이가 나지 않았다. 따라서 Fig. 6에 나타낸 톨루엔의 농도는 6개 채취관에서 분석된 톨루엔의 평균농도이다. 실험은 TCE 실험과 동일하게 반응기내에 1) 빈 반응기를 톨루엔으로 오염시킨 blank; 2) 톨루엔으로 오염된 반응기내에 토양만이 담긴 화분이 존재하는 경우; 3) 톨루엔으로 오염된 반응기내에 *Spathiphyllum*이 식재된 화분이 존재하는 경우; 4) TCE와 톨루엔이 함께 오염된 반응기 내에 *Spathiphyllum*이 식재된 화분이 존재하는 경우 등의 4가지 경우에 대하여 실험을 실시하였다. (1)의 실험은 반응기 내 누출 및 흡착 등의 기작에 의해 VOCs가 제거될 수 있는 가능성을 알아보기 위한 실험이며 2)의 실험은 톨루엔 제거에 기여하는 토양의 효과 (침전, 흡착, 토양내 미생물에 의한 분해)를, 3)의 실험은 톨루엔 제거에 기여하는 토양 및 식물

의 정화효과를, 4)의 실험은 TCE와의 복합오염이 톨루엔 제거에 어떤 영향을 미치는지, 즉 토양에서 많이 알려진 것 같이 톨루엔으로 오염된 실내공기에 있어서도 TCE와 톨루엔의 공동대사를 통한 분해효율의 증가가 있는지, 알아보고자 실시하였다. 실험결과, 2), 3), 4)실험별로 72시간 경과 후에 각각 70%, 40%, 31%의 톨루엔 잔존농도를 확인할 수 있었으며, 96시간 경과 후에는 각각 42%, 26%, 30%의 잔존농도를 보였다(Fig. 6). 이처럼 식물이 존재하는 경우의 톨루엔의 잔존농도가 토양만 존재하는 반응기의 잔존농도보다 낮은 것으로 나타나 톨루엔에 대한 식물의 정화효과를 확인할 수 있었으며, TCE와 함께 복합적으로 오염된 경우보다는 톨루엔 단독으로 오염되었을 경우가 식물정화효과가 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

Blank의 결과를 고려하여 반응기 내 톨루엔 농도 감소에 영향을 미치는 누출 및 흡착기작을 배제함으로써 톨루엔 제거에 대한 순수한 토양 및 식물의 톨루엔 정화효과을 살펴본 결과(Fig. 7) 48시간 경과 후에는 톨루엔과 TCE의 복합오염시 톨루엔에 대한 식물의 정화효과가 다른 두 경우(토양효과, 톨루엔 단독 오염시 식물효과)보다 더 높게 나타났으나, 시간이 경과함에 따라 톨루엔 단독 오염시의 식물의 정화효과가 점차 상승하여 96시간 경과 후에는 토양에 의한 제거, 톨루엔 단독 오염시 식물에 의한 제거, 톨루엔과 TCE의 복합오염시 톨루엔에 대한 식물에 의한 제거별로 각각 31, 47, 43%의 제거효율을 보여주어 식물에 의한 정화효과가 토양에 의한 정화효과보다 큼을 알 수 있었다. 또한 톨루엔 단독 오염시 식물의 정화효과가 톨루엔과 TCE의 복합오염시 식물의 정화효과보다 크게 나타났으나 그 차이가 크지는 않았다. 이러한 결과를 종합할 때 톨루엔에 대한 식물의 정화효과를 확인할 수 있었으나 본 연구의 조건하에서는 식물의 정화효과가 약 47% 정도로 부가적인 정화시설의 도입이 오염물질에 의한 실내에서의 건강 위해성을 감소시키는데 도움이 될 수 있음을 시사하였다.

IV. 결 론

식물에 의한 VOCs 정화효과를 알아보기 위한 실험에서 사용된 두 가지 식물(*Philodendron, spathiphyllum*) 모두에서 정화효과를 확인할 수 있었다. *Philodendron*을 이용한 TCE 정화실험에서는 식물을 배치한 반응기 우측이 좌측보다 정화효율이 높았으며, 전체적으로도 약 31%의 TCE 정화효과가 있음을 보여주었다. 톨루엔에 대한 *Spathiphyllum*의 정화효과를 반응기내 평균농도의 변화로 살펴본 결과 톨루엔의 제거는 토양에 의한 제거기작(침전, 흡착, 분해)도 효과적이었으나 식물의 존재시에 토양에 의한 것보다 더 높은 제거효율을 보여주었으며, TCE와 복합적으로 오염된 경우보다 Toluene 단독으로 오염되었을 경우에 식물의 효과가 큼을 알 수 있었다. 본 실험조건하에서 *Spathiphyllum*에 의한 톨루엔 정화효과는 평균 35%정도로 *Philodendron*의 경우와 유사하게 나타났다. 본 연구에서 식물의 도입은 실내에서의 휘발성유기화합물질 정화에 효과가 있는 것으로 나타났으며, 관련 건강위해성을 감소하는데 도움을 줄 수 있음을 보여주었다. 하지만 본 결과에서도 나타난 바와 같이 식물만으로는 완전한 오염물질의 제거가 불가능하므로 노출농도에 따라 부가적인 정화시설의 도입, 추가적인 공기청정기의 사용 및 적절한 환기 등 종합적인 실내공기질 관리가 휘발성유기화합물질에 의한 실내 건강 위해성을 줄이는데 도움이 될 수 있음을 시사하였다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 2003년도 젊은 과학자 지원사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

참고문헌

김강석, 이희선, 공성용, 구현정, 2001, 실내공기오염에 대한 국민의식 조사와 정책방안연구,

한국 환경정책 · 평가연구원.

박소영, 김정, 장영기, 성기준, 2005, 포름알데히드로 오염된 실내공기의 정화에 미치는 식물 효과에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 14(4), 47-53.

서정남, 최지용, 허무룡, 박천호, 2003, 실내식물, 부민문화사.

성기준, 김정, 장영기, 2004, 식물을 이용한 오염된 실내공기의 정화에 관한 연구, 대한환경공학회 추계학술발표연구회 논문집, 1207-1209.

손기철, 2004, 실내식물이 사람을 살린다, 중앙생활사.

손부순, 양원호(역), 2002, 실내공기오염, 신광문화사.

환경부, 2002, 실내공간 실내공기오염특성 및 관리방법 연구.

환경부, 2004, 다중이용시설등의 실내공기질관리법령.

Cornejo J. J., Munoz, F. G., Ma, C. Y., and Stewart, A. J., 1999, Studies on the decontamination of air by plants. Ecotoxicology, 8, 311-320.

Godish, T. and 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., and Kas, J., 2000, Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. Biotechnology advances, 18, 23-34.

U.S. Environmental Protection Agency, 2000, Introduction to Phytoremediation, Cincinnati, EPA 600/R-99-107, OH. USA.

Wolverton, B. C. and J. D. Wolverton, 1993, Plants and soil microorganisms: removal of formal- dehyde, xylene, and ammonia from the indoor environment. J. Miss. Acad. Sci, 38(2), 11-15.

Wolverton, B. C., 1996, How to grow fresh air, Penguin Putnam Inc.

최종원고채택 06. 12. 19