

식물을 이용한 실내공기조절시 이산화탄소의 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of CO₂ in Condition of Indoor Air Quality Control Using Plants

이 규 인* 권 민 재**
Lee, Kyu-In Kwon, Min-Jae

Abstract

The purpose of this research is to study security of CO₂ exhaust at night in indoor air quality purifying system using plants. For this purpose, two same units for experiment were built, and difference of CO₂ exhaust by existence and nonexistence of plantation were measured. To reduce error by entrance of people, automatic measurement system were developed and used. At first, baseline were measured to check standard value, and next, CO₂ exhaust by plantation were measured. As a result, in baseline experiment, values of all spaces were steady as 400~500 ppm. When plantation was set-up, value of CO₂ at night was measured high as 150 ppm, and maximum value was around 600 ppm. This result is a lot lower than maximum standard of CO₂, 1000 ppm.

키워드 : 실내공기질, 식물, 이산화탄소, 자동측정장치

Keywords : Indoor Air Quality, Plants, Carbon Dioxide, Automatic Measurement System

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대인의 일과가 대부분 실내에서 이루어지고 에너지 절약 차원에서 건물이 점차 고기밀화 되는 가운데 실내공기질에 대한 사회적 관심은 어느 때보다 높다. 최근 새집증후군에 대한 대중매체의 소개로 공기청정기 산업과 건축자재에 대한 친환경성 검증이 활발히 이루어지는 것 또한 이러한 흐름의 일부이다. 실내공기질 개선에 대한 일반인의 관심이 높아지면서 별도의 기계적 장치를 이용한 개선과 더불어 식물을 이용해 실내공기질을 개선하려는 가정이 늘고 있다. 식물은 실내에 존재하는 휘발성유기화합물질 및 폼알데하이드 등에 대한 정화 효능이 연구에 의해 밝혀짐에 따라 그 활용이 증가하고 있다. 그러나 식물을 실내에 배치할 경우 식물의 호흡작용이 활발해지는 야간에는 이산화탄소의 농도가 증가하여 이에 대한 우려가 증가하고 있다.

따라서 본 연구에서는 식물의 실내 배치 여부에 따른 이산화탄소 주·야간 농도변화를 확인하고 이의 안전성을 검토하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 식물크기의 실험체를 별도로 조성하고 식물을 배치한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하고 실험 중 사람의 출입을 제한하여 측정시 발생할 수 있는 오차를 최소화한다.

소화한다.

2. 선행 연구 및 이론적 고찰

2.1 식물의 공기 정화 원리

식물은 잎 뒷면의 기공을 통해 산소를 밖으로 배출하고 광합성의 원료가 되는 이산화탄소를 흡수하는데 이때 각종 공기오염물질을 함께 흡수한다. 흡수된 오염물질은 식물 체내에 축적되지 않고 대사 작용을 통해 다른 물질로 전환되는 데 이를 통해 오염물질이 정화된다. 또한 증산작용으로 발생하는 대류현상에 의해 오염물질이 근권부로 이동하여 뿌리에 서식하는 미생물에 의해 분해되는데 이를 통해서도 오염물질이 분해된다. 오염물질은 미생물의 영양공급원이 되어 미생물의 생장을 촉진하기 때문에 정화작용이 지속적으로 일어나게 된다.¹⁾ 다만 실외 식물과 실내식물의 공기정화기작은 차이가 있다. 즉, 외부와 달리 실내에서는 광조건이 열악하여 잎을 통한 활발한 증산작용이 어렵다. 따라서 실내 식물은 근권부의 미생물에 의한 공기정화가 실외식물에 비해 높은 비중을 차지한다.²⁾

2.2 선행연구

식물을 이용한 실내공기질 개선에 대한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있는데 그 중, 환경적 측면에서 실내식물에 의한 습도 조절기능(손기철, 2004)에 관한 연구와 식물의 종, 배치 방

1) 손기철(2004), 실내식물이 사람을 살린다, 중앙생활사
2) 한승원 · 이종석(2005), 실내식물의 기능, 생태건축강습회

* 아주대학교 건축학과 부교수, 공학박사
** 교신저자, 아주대학교 건축학과 석사과정(minjae@ajou.ac.kr)
본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음(R11-2005-056-04005-0).

식, 실내면적 대비 식재 면적을 달리하여 식물이 실내공기질의 개선에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험(송정은·방승기·김용식·손장열)등의 연구결과가 있다. 또한, 아파트 발코니에 실내정원을 설치하였을 경우 거주자의 만족도를 알아보고, 실제 온·습도를 비교하여 실내정원의 실내환경 조절효과에 관한 연구(최윤정·김정민)가 진행되기도 하였다. 그러나 위의 연구들은 식물에 의한 실내공기질의 영향을 시간상 제한적으로 진행하여 식물에 의한 공기조절 효과를 연속적으로 측정하는 연구는 매우 미진하다. 따라서 본 연구에서는 발코니와 거실을 가정한 실험체에 24시간 연속 측정 장치를 설치하여 장시간에 걸친 이산화탄소의 농도변화를 관찰하고자 한다.

2.3 이산화탄소(CO₂)³⁾

이산화탄소(CO₂)는 무색, 무취의 기체로서 미생물의 분해 작용이나 인간의 물질대사 과정, 실내에서 사용하는 각종 난방 기구에 의한 배출량이 많은 물질이다. 특히 성인 한 명이 배출하는 이산화탄소의 양은 200ppm, 실내에서 연소 기구를 사용할 경우 3,000ppm을 초과하기도 한다.

이산화탄소의 피해로는 건강한 사람이 이산화탄소 농도의 1.5%에 노출되면, 가벼운 정도의 대사 장애를 일으키고, 7~10%에서는 수분 내에 혼절한다는 연구 결과(ACGIH,1979)⁴⁾가 발표되었다. 또한, 원자력 잠수함의 승무원이 0.7~1%에 노출되었을 때, 호흡량의 증가와 혈액 중의 산성 균형의 만성적인 변화가 확인되었다. 이들 변화는 뼈 안에서의 이산화탄소 섭취와 방출에 관계가 있다고 확인되었다. 이 영향은 칼슘 방출에 의한 뼈의 밀도를 변화시키는 것이기 때문이다(Scharffer, 1979 : Tansey et al., 1979)⁵⁾.

최근 실내 공기오염물질을 정화하기 위해 다양한 방법이 시도되고 있고, 이 중 식물을 이용한 공기정화의 경우, 식물이 주간에는 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출하지만, 야간에는 호흡작용이 활발하여 이산화탄소를 배출하게 되어

실내공기질을 악화하는 원인이 될 수 있다는 점에서 본 연구는 이산화탄소에 초점을 두고 있다.

2.4 국내의 실내공기 중 이산화탄소 농도 기준

실내 이산화탄소의 위험성을 확인하기에 앞서, 각국의 공기환경 기준을 알아보고 이를 바탕으로 실험 결과와 비교하고자 한다. 우선, 세계 각국이 국민 보건과 안전을 위해 설정한 공기환경의 기준은 각각의 환경적 특성에 따라 오염물질의 발생과 재실자에게 미치는 영향 정도가 다르기 때문에 그 대상을 일반 실내 환경, 대기(외기) 및 작업 환경으로 구분하여 실행하고 있다.

외국의 실내공기환경(IAQ)기준은 유럽의 경우, WHO를 중심으로 이미 1987년에 Air Quality Guidelines for Europe을 설정하여 실내공기환경과 건강 측면의 여러 연구 결과를 축적해 오고 있다. 또한, 미국에서는 EPA와 ASHRAE를 중심으로 재실자를 위한 온열환경 조건과 실내공기질을 고려한 실내공기환경 유지를 위한 환기 규정을 제시하고 있다.

표 1. 각국의 이산화탄소 관리기준

관리기준	실내환경기준
다중이용시설 등의 실내공기질관리법(한국)	1,000ppm
건축기준법(일본)	1,000ppm
ASHRAE(미국)	1,000ppm

이와 같이 대부분의 선진외국에서는 이미 실내공간에서의 오염물질 방출에 대한 세부적 규제를 실시하고 있으며, 국내의 실내공기환경 관련기준은 현재 보건복지부(위생관리법), 건설교통부(건축법) 및 노동부(산업안전보건법) 등의 정부 기관에서 실내공기오염물질을 시설별로 분담하고 있다.

이러한 국내외의 공기질 관리 기준을 종합해 보면 이산화탄소는 1,000ppm을 기준으로 관리되고 있음을 알 수 있다.

3. 실험 조건 및 실험 방법

3.1 실내공기질 공정시험법

2003년 4월 ‘지하생활공간 공기질관리법’의 법률 명칭이 ‘다중이용시설 등의 실내공기질관리법’으로 개정되고 실내공기질 관리 대상시설에 여객터미널, 도서관, 종합병원 등이 추가되었으며, 신축공동주택의 입주 전 공기질의 측정 및 공고가 의무화되었다. 이에 따라 실내공기의 오염물질로 규정된 미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 일산화탄소, 이산화질소, 총부유세균, 라돈, 총휘발성유기화합물, 석면, 오존 등의 유지 및 권고기준에 대하여 적합성 판단이 가능하고, ISO(국제표준화기구), EPA, ASTM, NIOSH, CEN 등의 국제 기준을 만족하는 실내공기질 공정시험법이 개발되었다.

본 실험에서는 이러한 기준에 부합하고자 실내공기질 공정시험법을 바탕으로 실험 계획을 수립하였다.

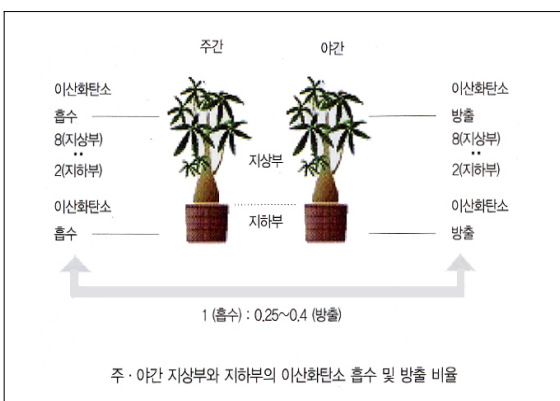


그림 1. 식물의 주·야간 이산화탄소 흡수·방출 원리
손기철(2004), 실내식물이 사람을 살린다 p47, 중앙생활사

3) 손기철(2004), 실내식물이 사람을 살린다, 중앙생활사
4) ACGIH(1979), Documentation of the threshold limit values, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio
5) Schaeffer,K,E(1979), editorial summary(preventive aspects of submarine medicine), Undersea Medical

3.2 실험 조건⁶⁾

실험은 실내공기질 공정시험법을 원용하였고 그 실험조건은 다음과 같다.

(1) 측정점 선정

각 단위세대의 거실 및 주침실의 각 실내중양부위에서 바닥으로부터 1.2~1.5m 높이에서 측정한다.

(2) 측정 방법

환기 : 오염물질의 샘플링은 대상세대의 창문, 내장가구의 문등을 모두 개방하고, 1시간 이상 사전 환기를 시행한다.

(3) 밀폐상태 확보 : 사전환기 후 외부 공기에 면한 창 및 문등의 모든 개구부를 닫고, 5시간 이상 밀폐 상태를 유지시킨다. 이 경우, 설치된 내장가구의 문은 개방한다.

신축공동주택에서의 현장측정법은 단지 전체를 대상으로 주호호를 선택하여 측정이 실시되나 본 연구에서는 단일 실험체를 대상으로 하여 주호 선정 기준은 적용되지 않았다. 또한, 측정시 사람의 출입이 필요 없는 밀폐상태에서 진행되기 때문에 각 실험에 앞선 환기는 실시하되 ‘측정 전 5시간 밀폐 조건’은 해당되지 않았다. 따라서 신축공동주택의 현장측정법은 측정 조건만을 기준으로 삼았음을 밝힌다.

3.3 실험체 조성

본 연구를 위한 실험체는 아파트의 발코니와 거실을 가정하여 실험용기의 실험실 두 개를 2005년 9월부터 2006년 2월까지의 공사 기간을 거쳐 완공하였으며, 이 실험체에서 이산화탄소 농도를 측정하였다.

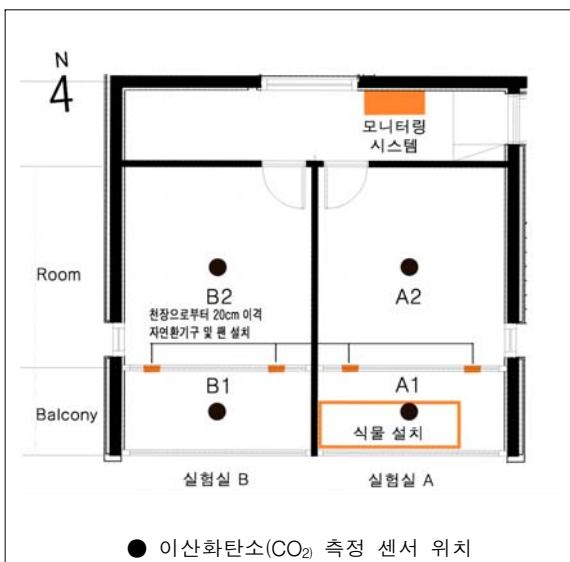


그림 2. 실험실 구성 및 측정 위치

실험실의 크기는 각각 가로 3,500mm, 세로 5,200mm(발코니 1,550mm 포함), 높이 2,300mm의 크기로 조성하였으며, 전면부는 남향으로 일조 조건을 동일하게 유지하도록 하였다. 각 실험은 [그림 2]와 같이 식물이 설치될 실험군을 A, 비교대상이 될 대조군은 B로 명명하였고, 발코니 부분은 1, 거실부분을 2로 구분하여 A1, A2, B1, B2로 구분하였다.



그림 3. 실험실 내부 식물 배치 및 CO₂센서 설치 모습

실험건물의 재료 및 마감은 일반 아파트와 동일하게 철근콘크리트 골조에 석고보드와 벽지로 마감하였고, 온수난방 방식을 채택하였다. 또한 환기에 민감한 실내공기질 관련 요소를 측정함에 있어 오차를 최소화하기 위하여 무인 자동연속 측정 장치를 통해 데이터를 수집하였으며, 내셔널 인스트루먼트사(National Instrument社)의 랩뷰(LabView 7.0)프로그램을 이용하여 자동측정시스템을 개발하였다. 이를 통해서 이산화탄소 농도를 외부에서 관찰할 수 있도록 하였다.

3.4 실험 방법

측정기간 동안 실내로 유입되는 외부 공기를 차단하기 위해 각 실험이 진행되는 5일간은 측정자의 출입을 금지하였고, 측정치는 외부 모니터링 시스템을 구축하여 연속자동측정 및 저장되도록 하였다. 온도, 습도 측정센서는 A1, A2, B1, B2의 중앙에 각각 설치되었고 천장과 벽으로부터 80cm(바닥으로부터의 높이150cm) 이격되도록 하였다.

실험실은 크게 발코니를 가정한 A1, B1과 거실을 가정한 A2, B2 두 부분으로 나뉘며 두 공간 사이에는 지름 12cm의 자연환기구를 설치하여 발코니와 거실 간의 공기 이동이 가능하도록 하였다(그림2, 3).

6) 한국건설기술연구원(2004), 실내공기질공정시험법, 국립환경연구원

표 2. 실험 개요

구분		실험실 A	실험실 B
크기 (mm)	A1, B1	3,500(가로) x 1,550(세로) x 2,300(높이)	
	A2, B2	3,500(가로) x 3,600(세로) x 2,300(높이)	
측정 기간	1차 실험	실험 조건	식물 미설치
	2차 실험		식물 설치
실험 장비	측정 기기	이산화탄소 (CO ₂)	Carbon Dioxide sensor
	모니터링 시스템	Labview 7.0을 기반으로 한 모니터링 프로그램 및 시스템 구축	

실험에 사용된 식물(표 3)은 식물을 이용한 실내공기조절시스템을 가정하여 새집증후군의 주요원인이 되는 오염물질에 정화 효능이 있다고 알려진 식물을 선별해 A1에 설치하였다.⁷⁾⁸⁾⁹⁾ 이 중 *Nephrolepis exaltata*와 *Cyclamen persicum*는 상부의 공기를 정화하기 위해 천장으로부터 80cm 떨어진 지점에 매달아 설치하였다.

표 3. 발코니에 설치된 식물의 종류

식물명	수량	식물명	수량
<i>Nephrolepis exaltata</i>	4(중대)+2(중소)	<i>Ficus benjamina</i>	2
<i>Spathiphyllum patinii</i>	2	<i>Cyclamen persicum</i>	2
<i>Ficus elastica</i>	3	<i>Pinydate palm</i>	1
<i>Ardisia pusilla</i> . DC	1	<i>Sansevieria trifasciata</i>	1
<i>Philodendron selloum</i>	3	<i>Aloe dichotoma</i>	1
<i>Fatsia japonica</i>	3	<i>Eriocereus tortuosus</i>	1
<i>Goldcrest wilma</i>	3	<i>Portulacaria afra jacp</i>	1

식물은 실험기간 동안 사람의 출입을 금지하였기 때문에 별도의 자동관수장치를 통해 1일 기준으로 8 liter의 물이 공급되었다.

7) Lee, Kyu-in · Lee, Jae-hak(2007), The Effect on the Indoor Air Quality Control Using Plants and Natural Materials, SB07 International symposium

8) 한승원 · 이종석(2005), 실내식물의 기능, 생태건축강습회

9) 손기철(2004), 실내식물이 사람을 살린다, 중앙생활사

4. 실험결과 및 분석

4.1 이산화탄소 배출량 비교 실험

식물은 그 특성상 낮에는 활발한 광합성 작용으로 이산화탄소를 흡수하고 산소를 배출하여 실내를 쾌적하게 조성하는 효과가 있으나 야간에는 광합성 작용 대신 식물의 호흡이 활발히 일어나 산소를 흡수하고 이산화탄소를 배출하게 된다. 이에 실내공기질에 중요한 영향을 미치는 이산화탄소는 우리나라에서도 실내 농도를 1,000ppm(시간당 방출량)으로 제한하고 있다. 일반적으로 이산화탄소는 거주자의 호흡 및 일상생활에서 주로 발생하며, 난방·취사 등의 활동도 주요한 발생원이다. 그러나 본 연구에서는 식물을 이용한 실내공기질 개선에 대한 연구의 일환으로 식물에서 발생할 수 있는 이산화탄소의 배출량을 통해 실내식물의 안전성에 대해 초점을 맞추었다.

실험은 A1, A2, B1, B2 네 지점의 천장에 60cm 이상 이격하여 측정 장비를 설치하였으며, 이를 통해 일차적인 Baseline(기준값)을 설정(1차 실험)하고 차후 식물을 설치(2차 실험)하여 Baseline과 비교하였다.

4.2 Baseline(기준값) 설정 (1차 실험)

식물을 배치하지 않은 상태를 가정한 Baseline실험에서는 A1, A2가 초기에 500ppm에서 서서히 감소하여 400ppm 내외로 유지되었고, B1, B2는 측정 직후 560ppm에서 야간에 감소하여 450ppm으로 낮아졌으나 실험 2일째부터 3일째까지 500ppm으로 다시 상승하였고 4일째부터는 450~70ppm 내외로 일정하게 유지하였다. 전체적으로 두 실험체 모두 발코니와 거실에서 동

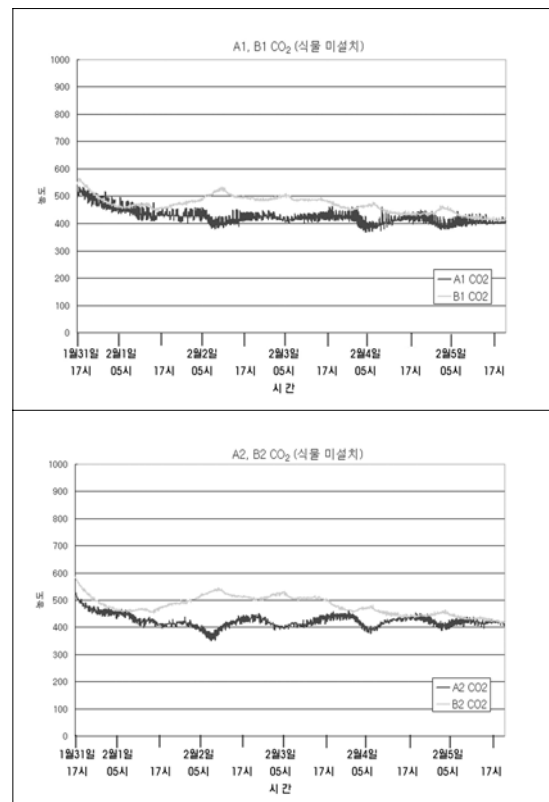


그림 4. 식물 배치 전 A1, A2, B1, B2 이산화탄소 농도

일한 경향을 나타내어 일정한 농도(400~500ppm 사이값)를 유지하는 것으로 나타났다.

4.3 식물 설치 후 이산화탄소 배출량 측정 실험 (2차 실험)

Baseline 측정에서는 네 지점이 모두 400~500ppm 사이를 일정하게 유지하였으나, 식물을 배치하였을 경우 A1과 A2가 밤과 낮을 주기로 변화하는 경향을 보였다. 즉, A1이 실험 1일째 야간에 600ppm으로 측정되었으나 3일째부터 야간 배출량이 510~530ppm으로 나타났다. 그러나 주간에는 광합성의 영향으로 14~15시경 최저 농도로 나타나 300ppm까지 감소하였다. 이는 실험 2일간은 최고 농도와 최저 농도가 나머지 3일간에 비해 높게 나타났고 이후부터는 최고 농도와 최저 농도가 낮아지긴 했으나 주·야간의 농도변화는 크게 나타난 것으로 식물의 광합성 작용과 호흡 작용이 후반에 더욱 활발했던 것으로 판단된다.

같은 기간 B1은 실험 1일째 600ppm에서 시작되었으나 점차 감소하여 430ppm으로 일정하게 유지되어 이산화탄소의 주·간 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 B1과 B2가 동일한 경향으로 나타났다. 이로서 낮에는 식물의 광합성작용으로 이산화탄소가 흡수된 A1이 B1보다 낮게 나타나고 야간에는 식물의 호흡작용으로 A1의 이산화탄소 농도가 B1보다 높게 나타났다.

A2의 경우, 식물이 배치되지는 않았으나 발코니에 배치된 식물의 영향이 소형 환기구에 의해 전이되어 A1과 유사한 경향을

나타내었다. 즉, 야간의 이산화탄소 배출량이 1일째와 2일째는 A1과 유사하게 500~600ppm으로 나타났고 3일째부터는 A1보다 최저점과 최고점이 높아 주간에는 350~400ppm으로 나타났고, 야간에는 550~580ppm까지 상승하였다.

이는 식물이 직접 배치되지 않는 경우에도 발코니와 거실 사이에 조성된 지름 12cm의 환기구로 식물의 대사작용에 의한 이산화탄소 농도가 영향을 받은 것으로 일반 가정에서 발코니에 식물을 배치하였을 경우, 사람이 주로 생활하는 거실까지 식물의 영향이 미치는 것으로 판단할 수 있다.

또한 A1과 A2의 최고 농도와 최저농도 간의 변화폭이 발코니가 거실보다 크게 나타난 것은 발코니의 부피가 작고 식물의 영향을 직접 받았던 것에 비해, A2는 환기구에 의해 간접적인 영향을 받았기 때문이다.

5. 결론

본 연구는 실내공기질을 개선하기 위해 실내에 식물을 배치할 경우, 식물로 인한 야간 이산화탄소 배출량이 실내오염을 악화할 수 있는 점을 고려하여 주간과 야간에 식물에 의한 이산화탄소 농도 변화와 이에 따른 안전성을 검토하기 위한 실험을 진행하였다.

실험 결과, Baseline 측정에서는 A1, A2, B1, B2 모두 400~500ppm사이를 일정하게 유지하였고, 식물을 배치하였을 경우 식물을 배치한 A1과 A2가 주·야간 크게 변화하는 경향을 보였다. 즉, A1의 야간 배출량이 510~600ppm으로 높게 나타난 반면, 주간에는 300ppm까지 감소하여 B1보다 야간에 높고 주간에 낮게 나타났다. A2의 경우, 3일째부터 A1보다 야간에 50ppm 높게 나타났고, 주간 역시 A1보다 최저점이 60~100ppm 높았다. 이는 발코니가 식물의 영향을 직접적으로 받는 반면, 거실은 환기구를 통한 간접 영향을 받은 결과이다. 그러나 식물을 설치하지 않은 B1과 B2는 실험 1일째를 제외한 나머지 기간 동안 430ppm내외를 유지하여 변화가 작았다.

따라서 식물이 있는 거실의 경우 야간에는 식물이 없는 거실보다 최대 150ppm 내외가 높은 것으로 나타났다. 그러나 이 경우에도 이산화탄소의 최대 기준인 1,000ppm보다 크게 못 미치는 것으로 나타나 인체에는 유해하지 않은 것으로 검증되었다.

이 연구는 식물 스케일의 실험체를 이용하여 식물을 이용한 실내공기 정화시 야간에 발생하는 이산화탄소 발생량을 24시간 자동 연속 측정장치로 측정하여 그 영향을 분석하였다는 점에 연구의 의의가 있다. 그러나, 재실자의 활동과 연소 기구 등이 이산화탄소에 영향을 미치는 다른 요인이 포함되지 못하였으므로 추가 연구가 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김정민, 최윤정(2005), 아파트 실내정원의 겨울철 실내온열환경 조절효과, 한국실내디자인학회 학술발표대회 논문집 제 7권 제1호
2. 김준연, 김선혜, 방광자(2004), 아파트발코니 간이화단의 활성화 방안, 대우건설기술 통권 제 26호
3. 손기철(2004), 실내식물이 사람을 살린다, 중앙생활사

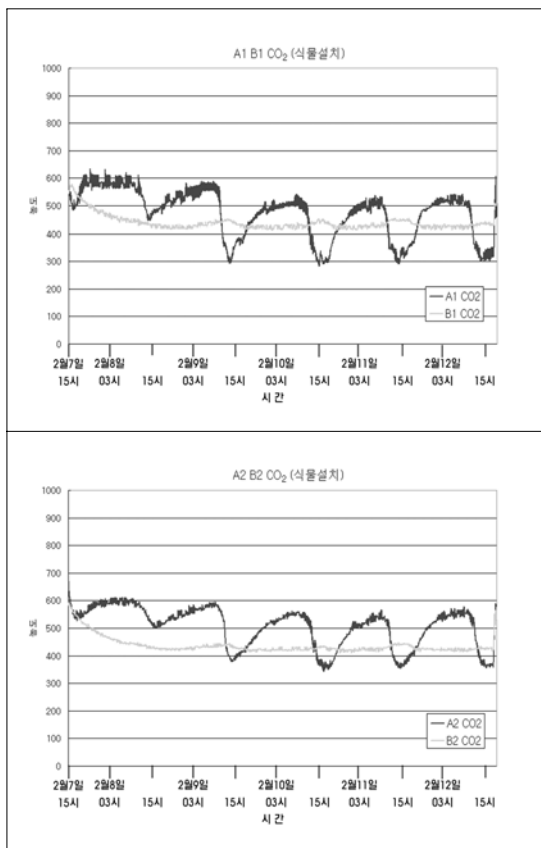


그림 5. 식물 배치 후 A1, A2, B1, B2 이산화탄소 농도

4. 송정은, 방승기, 김용식, 손장열(2005), 식물을 이용한 실내공기환경 정화효과에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집 제 6권 제 4호
5. 유형규·박진철·이연구(2006), 실내건축자재 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물의 방출특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권 7호
6. 유수훈 조동우(2003), 주거복합 건축물의 친환경성평가를 위한 평가분류체계 및 평가항목개발에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제23권 제1호
7. 이연구 · 박진철 · 신인중 · 권영철(2004), 건축환경실험, 태림문화사
8. 장성수, 강병근(2005), 실내공기조절을 위한 실내조경계획에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제21권 제12호
9. 최윤정(2005), 아파트 전면발코니의 실내환경 조절효과 비교 연구, 대한건축학회 논문집 제 21권 10호, 2005년
10. 한국건설기술연구원(2004), 실내공기질공정시험법, 국립환경연구원
11. 한국건설기술연구원(2005), 친환경건축물인증제도 세부시행지침, 건설교통부 환경부
12. 한길원 · 김현진 · 정창현 · 김윤덕 · 이윤규(2006), 신축 공동주택의 실내공기질 실태에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제 22권 제9호
13. 한승원 · 이종석(2005), 실내식물의 기능, 생태건축강습회
14. ACGIH(1979), Documentation of the threshold limit values, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio
15. ASHRAE(1980), Standards for ventilation required for minimum acceptable indoor air quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, New York
16. Lee, Kyu-in · Lee, Jae-hak(2007), The Effect on the Indoor Air Quality Control Using Plants and Natural Materials, SB07 International symposium
17. Schaeffer, K, E(1979), editorial summary(preventive aspects of submarine medicine), Undersea Medical