

스킨답서스에 LED와 Fan을 이용한 실내공기정화 시스템

김태현¹, 박준모², 김수찬^{1*}

¹한경대학교 전기전자제어공학과, ²동명대학교 전자·의용공학부

The Indoor Air Purification System Using LED and Fan for *Epipremnum aureum*

Taehyun Kim¹, Junmo Park², Soochan Kim^{1*}

¹Department of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National University

²Tongmyong University, School of Electronic and Biomedical Engineering

요 약 빛이 부족하고 공기 순환이 원활하지 않은 실내에서 식물의 지상부와 지하부를 활용한 공기 정화 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 식물의 공기정화 효과를 극대화하고자 지상부는 청색과 녹색의 LED를 조합한 혼합광과 자연광에 가까운 고연색 LED를 각각 조사하고 지하부의 토양을 필터로 활용하고자 팬을 이용하여 강제 순환하였다. 광원과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템이 식물만 배치된 경우보다 오염된 공기를 단시간에 가장 많이 제거하였다. 실내 공기정화 시스템의 혼합광과 고연색광 두 가지의 경우에서 식물만 배치된 경우보다 미세먼지는 각각 14%, 14.2%, TVOC는 7.5%, 9.4% 로 더 크게 감소하였다. 팬을 15분 동안만 가동한 실험에서도 TVOC가 97.8%로 크게 감소하였다. 식물의 광합성과 토양을 필터로 활용하는 것이 오염된 공기를 짧은 시간에 정화시킬 수 있었고 팬의 일시적인 가동으로도 지속적인 가동의 효과를 얻었다.

• 주제어 : 공기청정기, 실내오염물질, PM2.5, 근권부 미생물, TVOC

Abstract We propose an air purification system that utilizes aerial plant parts and root zone of indoor plants where light is insufficient and air circulation is bad. In order to maximize the air purification effect of the plant, the aerial plant parts illuminates mixed light combining blue and green LED and CRI(Color Rendering Index) LEDs close to natural light, respectively. And the root zone was forcibly circulated by the fan to use the soil as a filter. The indoor air purification system combined with the light source and the fan removed most polluted air in the shortest. In the case of mixed light and CRI LEDs of indoor air purification system, fine dust decreased by 14%, 14.2%, and TVOC(Total volatile organic compounds) decreased by 7.5% and 9.4%, respectively. In the experiment in which the fan was operated for 15 minutes, the TVOC decreased to 97.8%. The photosynthesis of the plant and the use of soil as a filter were able to purify polluted air in a short time. And the fan's temporary operation gave the similar effect of continuous operation.

• Key Words : air purifiers, indoor pollution, PM2.5, rhizosphere microorganisms, TVOC

Received 04 December 2018, Revised 24 December 2018, Accepted 28 December 2018

* **Corresponding Author** Soochan Kim, Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Research Center for Applied Human Sciences, Hankyong National University, Anseong, 17579, Korea. E-mail: sckim@hknu.ac.kr

I. 서론

OECD가 발표된 '대기오염의 경제적 결과' 보고서에 는 2060년에 미세먼지와 황사 등 대기오염으로 인한 조기 사망률이 OECD국가 가운데 한국이 1위로 분석되 었다[1]. 대기오염의 위험성과 더불어 실내공기 오염 (Indoor Air Pollution, IAP)의 심각성도 커지고 있다[2]. 일과의 80-90%를 밀폐된 실내에서 보내고 실내 오염 물질이 실외보다 폐에 전달될 확률이 약 1000배 높다 [3,4]. 실내 공간은 대기오염의 유입과 복합 화학물질로 구성된 건축자재 및 생활용품 등에서 수백 가지의 휘 발성 유기화합물, 일산화탄소, 라돈 등에 의한 다양한 오염원이 존재한다. 이는 건물 증후군(Sick Building Syndrome, SBS)과 같은 실내 환경문제로 졸음, 두통, 현기증, 메스꺼움, 집중력 감소, 눈의 자극, 알레르기 등 인간의 삶의 질에 영향을 주며 사회적으로 문제시 되어 실내공기 관리의 중요성이 커지고 있다. 정부는 1차 실내공기 질 관리 기본계획(2004년~2008년)을 시작 으로 현재는 3차(2015년~ 2019년)가 수립되어 관계부처 합동으로 기본계획 및 실내공기 질 관리정책의 추진방 향 및 평가, 부문별 중점 추진과제, 세부 이행계획 등 으로 중기계획 운영 중에 있다[5]. 앞으로 더욱 심각해 질 것으로 보이는 실내공기 오염으로 인하여 효율적인 공기청정기의 사용량이 급증하고 있지만, 필터 교체 의 번거로움과 비용이 들고 OIT(2-Mthyl-3(2H) -isothiazolone)나 오존 등이 방출되어 인체에 유해하며 필터의 폐기물은 또다시 환경문제로 되돌아온다[6]. 이 러한 문제의 해결책으로 생물학적인 방법이 제시되고 있다. 그 중에서도 식물을 이용하여 실내오염물질을 감소시키는 연구가 많이 이루어지고 있다[7]. 식물은 잎에 광량을 높게 하면 광합성의 속도가 증가하여 흡 수된 오염물질이 광합성의 대사산물로 이용되고 토양 내부로 흡수된 오염물질은 근권부 미생물에 의해서 제 거된다. 또한 오염물질을 자주 처리할수록 근권부 미 생물이 증가하여 제거 능력이 더욱 우수해 진다[8]. 필 터 교체나 위험성이 없는 자연 친화적인 식물을 이용 해 공기를 정화하는 방법은 에너지 소비량, 저비용의 설치비, 폐기물 발생, 실내온열 환경의 개선과 관상식 물 또는 반려식물 등으로 인간의 안정감에도 도움이 된다. 그러나 식물만으로 공기정화 하는 방법은 제거 효과가 서서히 이루어져 정화시간이 오래 걸리며 실내 공간과 식물의 도입량 및 녹시율을 고려하면 많은 식

물이 필요하다[9].

본 연구에서는 밀폐되고 빛이 부족한 실내에서 식 물의 공기정화 능력을 향상시킬 수 있도록 공기에 노 출된 식물의 잎과 줄기가 있는 지상부에는 LED를, 흡 으로 덮인 뿌리가 있는 지하부에는 팬을 사용해 원활 한 식물성장과 오염된 공기를 효율적으로 개선하는 방 법을 제안하고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1 제안하는 실내공기정화 시스템

공기정화 효과를 검증하기 위해 아크릴로 만든 챔 버(가로 50cm x 세로 50cm x 높이 70cm)를 제작하였 다. 빛이 부족한 실내 환경을 모사하고자 검은색 종이 를 챔버 표면에 부착하여 외부의 빛을 차단하였고 지 상부에는 인공 광원으로 광합성에 필요한 파장대를 혼 합한 LED와 자연광과 같은 고연색 LED를 사용하였다 [10-12]. 혼합광 LED(Red+Blue; 8.6W, Epistar, Taiwan) 는 Fig. 1과 같이 적색 42개, 청색 21개의 2:1 비율로 배열하고 고연색 LED(4.8W, Epistar, Taiwan)는 63개로 배열하였다. 오염물질의 제거는 광원의 간격 및 균일 도 등 광도에 따라 크게 영향을 받지 않고 광원의 유 무에 따라서는 상당한 차이가 있으므로 제작한 광원을 조사 유무로 나누어 실험하였다. 오전 10시~오후 5시 까지 7시간 동안만 광원을 조사하였다[13].



Fig. 1. Mixed light(Red+Blue) and high CRI LED to illuminate the light on plants(A) and LED array structure(B)

지하부는 Fig. 2와 같이 외부의 오염된 공기를 빨아 들여 근권부의 토양을 거쳐 지상으로 필터 되도록 제 작하였다. 오후 11시, 오전 3시, 그리고 오전 5시에 각 각 15분 동안만 팬을 가동하였다[14]. 실험에 사용한 식물은 스킨답서스이다. 일산화탄소의 제거량이 우수 하고, 어두운 곳에서도 잘 자랄 뿐만 아니라 가정에서 요리할 때 일산화탄소가 많이 발생하기 때문이다. 실험은 총 3회 반복하였다. 토양의 오염 및 식물의 영향

을 고려하여 각 회마다 새로운 토양과 식물을 사용하였다.

TVOC, 온도, 습도 변화는 실내 공기 질 측정기(IQ-610Xtra, Graywolf Sensing Solutions, Ireland)를 사용해 측정하였고 미세먼지 PM2.5는 공기 질 모니터(PM-P8, SainSmart, U.S.A.)를 이용하였다. 토양습도는 임피던스 변화를 이용한 토양습도센서(AS0239, ArduinoStory, China)를 활용하였다.



Fig. 2. Inside mesh structure pot and a fan installed near the root zone of the plant.

2.2 오염물질 감소 측정

어느 광원이 더 적합한가를 보기 위해 검은색 종이로 빛을 차단한 챔버 내부에 식물만 있는 경우와 인공광원(혼합광 또는 고연색LED)과 팬을 결합한 실내공기정화시스템을 비교하였다(Fig. 3). 모기향 3cm(홍키과디 모기향, Korea)를 피워 미세먼지와 TVOC를 발생시켰다[7]. 그 후 5일간 챔버 내 공기 질 변화를 관찰하였다. 실험은 식물만 있는 경우, 식물과 혼합광과 팬, 식물과 고연색 LED와 팬으로 총 3회 진행하였으며 실험 후 동일한 환경을 위해 매 회마다 식물과 토양을 새로 바꾸어 주고 챔버 내부의 오염물질을 제거 및 환기하였다.

챔버 내부의 공간 대비 오염농도가 크기 때문에 측정장비로 1일 1회 미세먼지(PM2.5)와 TVOC를 측정하였다. 챔버 내부 환경상태를 확인하기 위해 온도, 습도, 토양습도도 동시에 측정하였다. 챔버 내 온열환경(습도, 온도, 기류 등)은 실온 상태로 진행하였다.

LED는 오전 10시 ~ 오후 5시까지 7시간 동안만 조사하였다. 근권부의 팬 가동은 오후11시, 오전3시, 그리고 오전 5시에 각각 15분 동안만 팬을 가동하도록 총 3회 타이머를 이용하였다(Table 1). 측정된 오염물질의 농도 감소량은 오염물질의 농도가 각 실험의 경

우마다 다소 차이가 있으므로 감소비율도 확인하였다.



Fig. 3. Indoor Air Purification System equipment(A) and in chamber(B).

Table 1. Outline of pollution reduction measurement experiment

Classification	Plant only	Mixed light LED with a Fan (Red42+Blue21)	CRI LED with a Fan (CRI>95Ra:63)
Camber Size		500(W) * 500(D) * 700(H)mm	
Plant Type		EPIPHEMNUM ARUEUM(3 pot)	
Measurement days		5 days	
Pollutant		Mosquito (3cm)	
LED (total 7hr, am10 ~ pm5)	Unused		Use
Fan (3rd time : total 45minute)	Unused	ON : 15min, OFF : 2 hr 45min(pm11 ~ am5:15)	
Time adjustment		Time outlet	
Metrics		TVOC, PM2.5, Temperature, Relative humidity	
Measuring instrument		IQ-610Xtra, PM-P8	

2.3. 효율적인 팬 가동 확인

혼합광보다 고연색 광원일 때가 공기 정화 능력이 우수하였기에 이 광원만을 대상으로 연속적인 팬 가동과 일시적 팬 가동을 비교하였다. 실내 공기 질 측정 항목은 짧은 측정시간에도 변화량을 알 수 있는 TVOC를 측정하였고 모기향 3mm를 각 실험 때마다 사용하였다. 측정시간 중 외부의 온열환경(습도, 온도, 기류 등)은 고려하지 않은 실온 상태로 진행하였다. 빈 챔버의 경우, 식물만 배치된 경우, 식물과 고연색 LED와 팬이 가동할 경우를 두 가지로 나누었다. TVOC의 농도가 500ppb일 때 팬이 지속적으로 가동한 것과 15분 동안만 가동한 것이다. 챔버 내부에 오염물질을 발생시킨 후 1시간 동안 TVOC농도 및 온도, 습도, 토양습도를 연속 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

제안된 방법으로 실내공기정화의 효율을 확인하기

위해 오염물질의 농도감소를 미세먼지(PM2.5)와 총 휘발성 유기화합물(TVOC)의 감소율을 비교하여 정화능력이 우수한 광원을 선택하였다. 그리고 혼합광보다 공기 정화능력이 우수한 고연색 LED를 이용하여 팬의 가동방식에 따른 공기정화 성능도 비교하였다.

3.1 미세먼지(PM2.5) 감소율

챔버 내부에 오염물질을 발생시킨 후 미세먼지농도 감소량과 감소율을 Table 2에 나타내었다. 식물만 배치하여 오염을 유발시켰을 때의 미세먼지 초기값이 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 미세먼지가 제거되는데 3일이 소요되었다. 감소 비율은 5시간 경과 후 15.5%, 1일 경과 후 70.2%, 2일 경과 후 13.5%, 3일 경과 후 0.8%로 완전히 제거되었다. 이는 식물의 정화기능도 있지만 챔버 내부에서 점점 증가되는 73.5%의 높은 습도에 의해 공기 중에 떠다니는 미세먼지와 만나 바닥으로 떨어지면서 제거된 부분도 있다. 실험 종료 후 챔버 내부 내벽에 특히 바닥에서 오염물질이 많이 묻어 나왔다. 식물과 혼합광과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템을 가동했을 경우에도 미세먼지 초기값은 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 시작하였다. 감소비율은 5시간 경과 후 13.5%, 1일 경과 후 86.2%, 2일 경과 후 0.3%로 완전히 제거되었다. 미세먼지가 완전히 제거되는 기간은 2일이 소요되었고, 식물만 배치된 경우와 비교해 14% 더 감소되었다. 식물과 고연색광과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템이 가동했을 경우에도 미세먼지 초기값이 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 시작하였다. 감소비율은 5시간 경과 후 16.7%, 1일 경과 후 83.2%, 2일 경과 후 0.1%로 완전히 제거되었다. 미세먼지가 완전히 제거되는 기간은 2일이 소요되었고, 혼합광과 팬을 이용하였을 경우와 비교해 0.2% 더 감소되었다.

LED광원과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템을 가동하였을 경우 식물만 있을 경우보다 짧은 시간에 미세먼지가 감소되었다. 팬 가동 없이 LED광원만 가동한 처음 5시간 동안의 감소율은 혼합광은 13.5%, 고연색광은 16.7%로 식물만 배치한 경우 15.5%와 비교해 큰 차이가 없거나 오히려 약간 증가하였다. 식물의 광합성에 의한 오염물질의 제거는 서서히 이루어지기 때문에 큰 효과가 없었다. 여기에 팬의 가동은 오염된 공기를 직접 빨아들여 토양을 필터로 활용하므로 혼합광은 99.7%, 고연색광은 99.9%로 식물만 배치된 경우 85.7%와 비교해 각각 14%, 14.2%로 미세먼지 감소가

더 컸다.

Table 2. Comparing the reduction amount and the reduction rate of fine dust concentration

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, () Cumulative percent)

day	Plant only	Mixed light LED with a Fan	CRI LED with a Fan
초기값	999	999	999
1day	844(15.5)	864(13.5)	832(16.7)
2day	143(85.7)	3(99.7)	1(99.9)
3day	8(99.2)	0(100)	0(100)
4day	0(100)	0	0
5day	661(97.9)	280(98.7)	28(99.9)

3.2 총 휘발성 유기화합물(TVOC) 감소율

총 휘발성 유기화합물의 농도 감소량과 감소율을 Table 3에 나타내었다. 식물만 배치한 경우 TVOC 초기값이 30,957ppb에서 5일 경과 후 661ppb로 감소하였다. 감소 비율은 1일에서 5일까지 각각 73.6%, 11.7%, 6%, 2.8%, 그리고 3.8%로 감소하였다. 혼합광과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템이 가동했을 경우 TVOC 초기값이 21,516ppb에서 5일 경과 후 280ppb로 감소하였다. 날짜 경과에 따른 감소비율은 첫날 81.1%에서, 9.2%, 7.7%, 0.5%, 그리고 마지막 다섯째 날에는 0.1%였다. 식물만 배치된 경우와 비교해 최종값의 감소율은 0.8%로 거의 유사하지만 가장 많은 감소율을 보인 것은 첫째 날로 7.5%였다. 고연색광과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템이 가동했을 경우 TVOC 초기값이 26,305ppb에서 5일 경과 후 28ppb로 감소하였다. 감소 비율은 첫날 83%에서 시작하여 날이 갈수록, 6.7%, 4%, 2.5%, 그리고 마지막 날에는 3.8%로 가장 크게 감소하였다. 식물만 배치된 경우와 비교해 최종값의 감소율은 2%였지만, 가장 많은 감소율을 보인 것은 첫날인 9.4%로 오염물질을 단기간에 크게 감소시켰다.

Table 3. Comparing the reduction amount and the reduction rate of TVOC concentration

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$, () Cumulative percent)

day	Plant only	Mixed light LED with a Fan	CRI LED with a Fan
초기값	30,957	21,516	26,305
1day	8,163(73.6)	4,065(81.1)	4,461(83)
2day	4,554(85.3)	2,078(90.3)	2,710(89.7)
3day	2,712(91.2)	414(98.1)	1,677(93.6)
4day	1,851(94)	301(98.6)	1,023(96.1)
5day	661(97.9)	280(98.7)	28(99.9)

팬의 가동은 오염된 공기를 직접 빨아들여 토양으로부터 필터가 되는 효과로 1일이 지나 측정된 감소율을 보면 혼합광은 81.1%, 고연색광은 83%로 식물만 배치된 경우 73.6%와 비교해 각각 7.5%, 9.4%가 더 감소되어 단기간에 공기정화 효과가 컸다.

3.3 팬 가동방식에 따른 측정

Table 4와 Fig. 4는 각기 다른 조건에서 TVOC의 농도 감소 및 감소율과 1시간 동안 연속적인 측정 변화를 비교한 것이다.

빈 챔버의 경우 TVOC의 최고값이 3,470ppb에서 1시간 경과 후 2,724ppb로 감소하였고 감소 비율은 21.5% 이다. 식물만 배치한 경우 TVOC 최고값이 3,369ppb에서 1,256ppb로 감소하였고 감소 비율은 62.7%로 빈 챔버의 경우보다 41.2%로 더 크게 감소하였다. 고연색LED와 팬이 결합된 실내공기정화 시스템으로 TVOC가 500ppb인 시점에서 팬을 지속적으로 가동하였을 경우 TVOC의 최고값이 3,116ppb에서 1시간이 지난 후 685ppb로 감소하였고 감소비율은 78%이며 식물만 배치한 경우보다 15.3% 더 크게 감소하였다. 같은 시스템으로 TVOC가 500ppb인 시점에서 팬을 15분 동안만 가동하였을 경우 TVOC의 최고값이 3,248ppb에서 72ppb로 감소하였고 감소비율은 97.8%이다. 식물만 배치한 경우보다 35.1%, 팬을 지속적으로 가동한 경우보다도 19.8%가 더 감소하여 감소량이 가장 높았다.

Table 4. Comparing the reduction amount and the reduction rate of TVOC concentration

(unit:ppb)

TVOC value	Empty chamber	Plant only	Fan	
			continuous on	15 minutes on
Highest value	3,470	3,369	3,116	3,248
Final value	3,724	1,256	685	72
Reduction rate(%)	21.5	62.7	78	97.8

실험 결과 밀폐된 챔버 내부에 오염물질을 발생시키고 빈 챔버의 경우와 식물만 배치된 경우에서는 각각 21.5%, 62.7% 감소하였다. 고연색광원과 팬이 결합된 실내공기정화 시스템에서 팬을 지속적으로 가동한 경우는 78%로 식물만 배치된 경우보다 15.3% 더 감소하

였다. 팬을 15분 동안 가동 시 97.8%로 식물만 배치된 경우보다 35.1%로 감소하였고, 팬을 지속적으로 가동한 경우보다도 19.8%의 감소로 가장 크게 감소하였다. 따라서 공기오염을 정화하기 위해서는 팬의 지속적인 가동보다는 오염도가 높을 때 부분 가동만으로도 효율을 높일 수 있다.

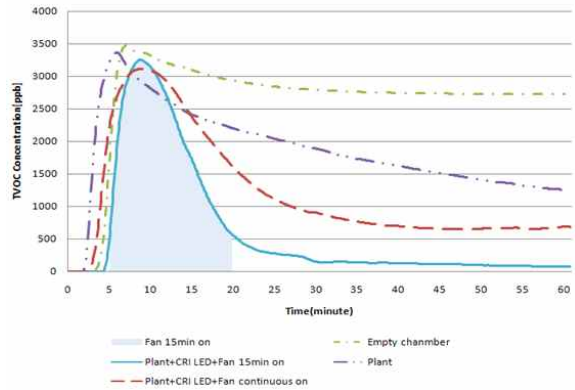


Fig. 4. A graph comparing the concentration reduction of continuous TVOC

위 실험에서 온도, 토양습도, 상대습도를 측정하였다. 온도는 팬의 가동시 낮아지고 가동하지 않을 경우에는 온도가 올라간다. 이는 식물의 수분 증발로 인한 열 교환 및 기화에 의한 것이다. 토양습도는 식물만 있는 경우에는 큰 변화가 없고 팬의 가동으로 값이 낮아지는데 이것은 토양습도가 증가되고 있는 것을 의미한다.

Fig. 5는 상대습도 그래프로 빈 챔버의 경우는 55-56% 범위 내에서 큰 변화가 없다. 식물만 있는 경우는 초기값 56%에서 최종값 64%로 범위 내에서 서서히 증가되었고 실내공기정화시스템에서 팬을 지속적으로 가동한 것은 초기값 57.4%에서 최종값 85.1%로 팬의 가동으로 급격하게 증가하다가 서서히 증가되고 있다. 실내공기정화시스템에서 팬을 15분 동안만 가동한 경우에는 초기값 51.2%에서 최종값 72.4%로 팬이 가동한 시점에는 급격하게 증가하여 81.5%까지 상승하다가 팬이 가동되지 않은 시점부터는 서서히 감소하여 최종값 72.4%로 줄었다. 챔버 내부에 수분을 함유한 식물체와 증산작용에 의해 습도는 서서히 증가하고 팬의 가동으로 습도가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 지속적인 가동은 습도를 증가시키기 때문에 효율적인 팬의 가동이 필요하다.

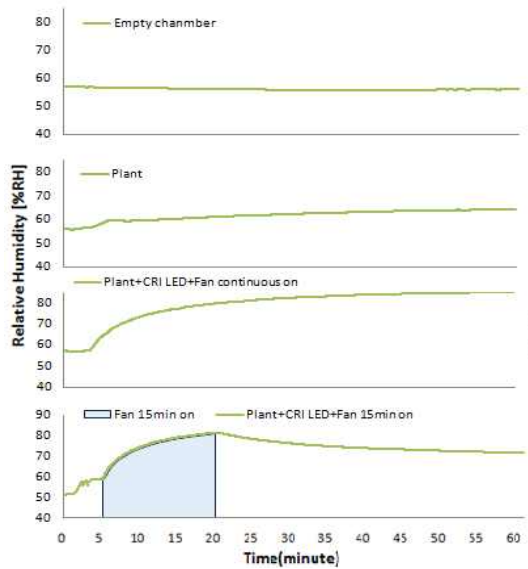


Fig. 5. The humidity change graphs were measured under four different conditions

IV. 결론

식물을 이용한 실내공기정화시스템의 제안으로 식물만 있는 경우보다 오염된 공기정화의 개선이 확인되었고 팬의 가동제어에 따라 효율적인 공기정화의 조건도 확인하였다. 따라서 실생활에서 편리한 사용을 위해 실내 환경에 따른 효율적인 광원의 조절과 실내 오염도를 고려한 팬의 가동 및 토양수분관리를 자동화하고 토양의 오염도가 크게 증가되지 않도록 토양관리(교체, 살균)의 기능 개발이 필요할 것이다.

REFERENCES

[1] OECD, "The economic consequences of outdoor air pollution," OECD, Paris, 2016.
 [2] Y. U. Hong, "A Study on Developing an Air Purifier Using House Plants. Dept. of Housing Environment and Service Technology Graduate School of Housing," Seoul National University of Science and Technology, 2017.
 [3] B. F. Yu, Z. B. Hu, M. Liu, H. L. Yang, Q. X. Kong, and Y. H. Liu, Review of research on air conditioning systems and indoor air quality control for human health. *Int. Refrig.* 32:3-20, 2009.
 [4] D. Y. Kim, "건강을 위협하는 미세먼지, 원인과 대책," 경기개발연구원, 2013.

[5] Ministry of Environment, "Basic Plans for Indoor Air Quality Management (2015~2019)," 2015.
 [6] E. S. Choi, "A Study on the Development Direction of Air Purifier Using the Kano Analysis," Graduate School of Chosun University, 2018
 [7] C. H. Lee, B. Choi, M. Y. Chun, "Stabilization of Soil Moisture and Improvement of Indoor Air Quality by a Plant-Biofilter Integration System," *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 5, pp. 751-762, 2015.
 [8] 두산 백과사전. 공기정화식물. http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?_method=view&MAS_IDX=101013000878910. (검색일: 2018. 3. 10)
 [9] M. H. Yoo, "Effects of Foliage Plant/Media/soil Microorganism, and Purification System on the Improvement of Indoor Air Quality," Doctor's Program in Horticultural Science Graduate School Konkuk University, 2005.
 [10] X. M. An, "A study on LED lighting system design for the plant growth," Dep. Of Electronic Engineering Graduate school of Wonkwang University, 2015.
 [11] C. S. Brown, A.C. Schuerger, and J. C. Sager. "Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting," *J.AMER. SOC. HORT. SCI.*, vol. 120, no. 5, pp. 808-813. 1995.
 [12] D. J. Coserove, Rapid Suppression of Growth by Blue Light. *Plant physiol.* vol. 67, pp. 584-590, 1981.
 [13] M. J. Kil, "The Effects on Formaldehyde Removal through Aerial Plant Parts, Roots, and Growing Media of Indoor Pot Plants," Dept. Bioscience and Technology Graduate School Korea University, 2008.
 [14] K. J. Kim, M. J. Kil, J. S. Song, and E. H. Yoo, K. C. Son, J. K. Stanley, "Efficiency of Volatile Formaldehyde Removal by Indoor Plants: Contribution of Aerial Plant Parts versus the Root Zone," *J.AMER. SOC. HORT. SCI.*, vol. 133, pp. 521-526, 2008.

저자 소개

김 태 현 (Taehyen Kim)



2006년 8월 : 한국방송통신대학교,
컴퓨터과학과(이학사)
2018년 8월 : 한경대학교,
전기전자제어공학과(공학석사)
2015년 3월 ~ 현재 :
안성폴리텍대학, 반도체 캐드과,
전자캐드 이론 및 실습 외래강사

관심분야 : PCB설계기술

박 준 모 (Junmo Park)



1993년 2월 : 인제대학교
의용공학과(공학사)
1996년 2월 : 인제대학교
의용공학과(공학석사)
2008년 8월 : 부산대학교
의공학협동과정(공학박사)
2018년 3월 ~현재 동명대학교

전자·의용공학부 교수

관심분야 : 신호처리, 뇌 신경계 신호 분석

김 수 찬(Soochan Kim)



1994년 인제대학교 의용공학과
(공학사)
1998년 연세대학교 대학원 생체
공학협동과정(공학석사)
2003년 연세대학교 대학원 생체
공학협동과정(공학박사)
2003년~2004년 Rensselaer

Polytechnic Institute (Post Doc.)

2004년~현재 한경대학교 전기전자제어공학과, 교수

관심분야 : 생체신호 계측 및 분석, HCI, 전자기장을
이용한 세포 성장 촉진, 바이오 임피던스 등