

# IoT와 광촉매를 이용한 담배연기물질 제거용 화장실 공기청정기

## Air purifier for removing smoke substances using photocatalysts and IoT



김서연 · 김소연 · 소지현 · 이다솔  
서울시립대학교 환경공학부

### Introduction

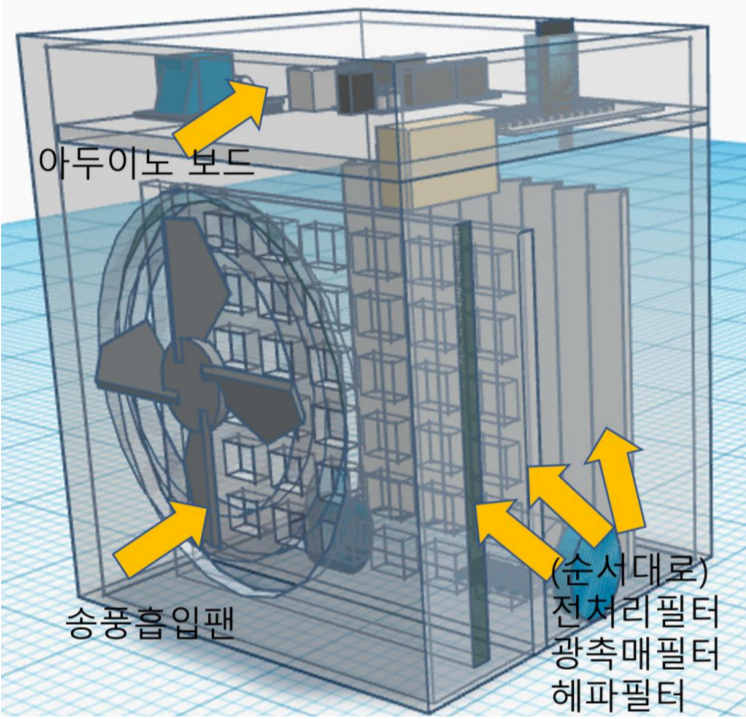
- 화장실 내 흡연으로 인한 피해 민원 약 2,844건이 국민신문고에 접수되어 사회적 문제가 대두됨.
- 화장실 내에 설치하는 공기청정기 중 직접 제거형보다 차단형 공기청정기가 더욱 높은 만족도를 가짐을 확인하여, 효율이 좋은 직접 제거형 공기청정기 개발의 필요성을 깨달음



- 완공구에 들어갈 수 있는 효율이 좋은 직접 제거형 공기청정기 제작
- 담배 연기 속 유해물질 5가지(입자상물질, 톨루엔, 암모니아, 일산화탄소, 폼알데하이드)를 전처리 필터, 광촉매필터, 에파필터로 제거한다.
- IoT를 활용하여 송풍기의 전원을 제어

### Theoretical Simulation

#### ◆ 제품의 예상 설계도



- 안국이동식구조물업종조합의 흡연부스의 개별요구사항에서 규정한 5가지 오염물질을 15분간 70%이상 제거하는 것을 목표로 설계
- 송풍기 - 전처리필터 - UV LED 램프 - 광촉매 필터 - 에파필터 순서로 삽입하여 유해물질 제거
- 아두이노를 이용하여 PM 2.5의 농도에 따라 송풍기의 전원 on/off 제어
- esp8366모듈을 이용한 IoT기술로 안드로이드로 공기청정기의 송풍기 전원제어를 가능하게 함

#### ◆ 제품의 이론적 계산

##### ◆ 예상 효율

필터의 효율	전처리 필터	광촉매 필터	에파 필터 (H13)	예상 최종 효율
	40%	90%	99.95%	99.997%

##### ◆ 송풍량

- 1) 장치 내부의 유속을 0.8m/s로 가정
- 2) 면적(A)을 부속포 필터의 면적을 기준으로 산정  
 $A = 0.16m \times 0.16m = 0.256m^2$
- 3)  $Q = Av = 0.256m^2 \times 0.8m/s = 0.205m^3/s = 1.23m^3/min = 73.8m^3/hr$

##### ◆ 체류시간

$V = Qt$ 로, 송풍량과 Prototype의 부피 고려 시  $t = 0.55s$ 로 산정.

##### ◆ 전력소요량

1. 전력소요량 = 송풍기 전력 + UV LED 전력 + 아두이노 보드 전력
2. 송풍기 팬의 정압( $P_s$ )과 동압( $P_d$ )을 더한 송풍기의 전압손실( $\Delta P$ ) 산출
3.  $\Delta P = P_s + P_d = 6.12mmH_2O + 0.039mmH_2O = 6.16mmH_2O$
4.  $P(kW) = \frac{Q \cdot \Delta P}{6120} \cdot \alpha = \frac{1.23m^3/min \cdot 6.16mmH_2O}{6120 \cdot 0.7} \cdot 1.3 = 2.3W$
5. 전력 소요량 = 2.3W + 8W + 0.25W = 10.55W

### Method

#### ◆ 실험의 가정

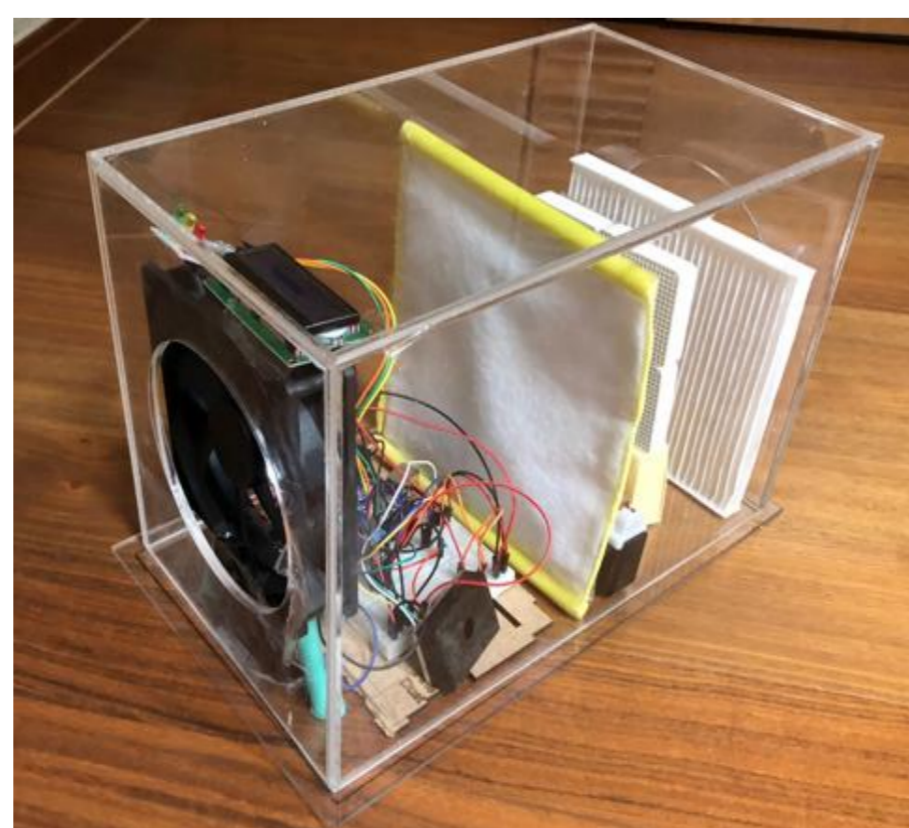
1. 샤워실 부스의 용적:  
 $1.6m \times 0.9m \times 2.25m = 3.24m^3$
2. 측정항목: HCHO, PM 2.5, TVOC
3. 담배와 측정기 사이의 거리 : 35cm

#### 5. 송풍기의 on/off 기준 및 LED의 불빛 기준

PM 2.5 ( $\mu g/m^3$ )	송풍기	LED
35 미만	off	조금불
35이상 50미만	on	노란불
50 이상	on	빨간불

#### ◆ 실험의 방법

1. 대조군 실험  
샤워실 부스의 배경농도와 부스에서 전자담배 5회 흡인 후 15분 뒤 농도 측정. (5회 실험)
2. 실험군 실험  
설계 제품을 설치한 샤워실 부스에서 전자담배 5회 흡인 후 15분 뒤 농도 측정. (5회 실험)
3. 5번씩 진행한 대조군과 실험군의 평균 도출
4. 대조군의 담배 흡인 직후 농도와 실험군의 공기청정기 작동 15분 후 농도를 이용하여 효율 측정



$$\eta = \frac{(\text{대조군의 담배 흡인 직후 농도} - \text{실험군의 공기청정기 작동 15분 후 농도})}{\text{대조군의 담배 흡인 직후 농도}} \cdot 100(\%)$$

### Result & Discussion

#### ◆ 실험의 결과

##### 1. 대조군

HCHO( $mg/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
배경농도	0.076	0.068	0.081	0.062	0.084	0.074
흡인 직후 농도	0.216	0.253	0.223	0.22	0.202	0.223
15분 후 농도	0.153	0.149	0.148	0.151	0.144	0.149

PM 2.5 ( $\mu g/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
배경농도	7	8	7	8	6	7.2
흡인 직후 농도	329	310	325	328	323	323
15분 후 농도	42	37	40	43	39	40.2

TVOC ( $mg/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
배경농도	0.542	0.564	0.587	0.573	0.565	0.566
흡인 직후 농도	0.906	0.982	0.976	0.998	0.978	0.968
15분 후 농도	0.727	0.711	0.724	0.726	0.712	0.72

##### 2. 실험군

HCHO ( $mg/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
흡인 직후 농도	0.072	0.089	0.068	0.077	0.064	0.074
15분 후 농도	0.083	0.057	0.054	0.061	0.075	0.066

PM 2.5 ( $\mu g/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
흡인 직후 농도	102	119	128	87	152	115
15분 후 농도	9	8	10	7	12	9.2

TVOC ( $mg/m^3$ )	1위차	2위차	3위차	4위차	5위차	평균
흡인 직후 농도	0.555	0.613	0.713	0.623	0.591	0.619
15분 후 농도	0.583	0.487	0.513	0.48	0.476	0.508

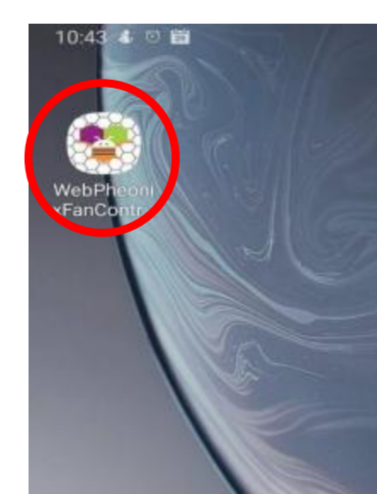
##### 3. 효율

	HCHO ( $mg/m^3$ )	PM 2.5 ( $\mu g/m^3$ )	TVOC ( $mg/m^3$ )
대조군의 흡인직후 농도와 대조군의 15분 후 농도 비교	33.12%	87.55%	25.62%
대조군의 흡인직후 농도와 실험군의 15분 후 농도 비교	70.38%	97.15%	47.54%

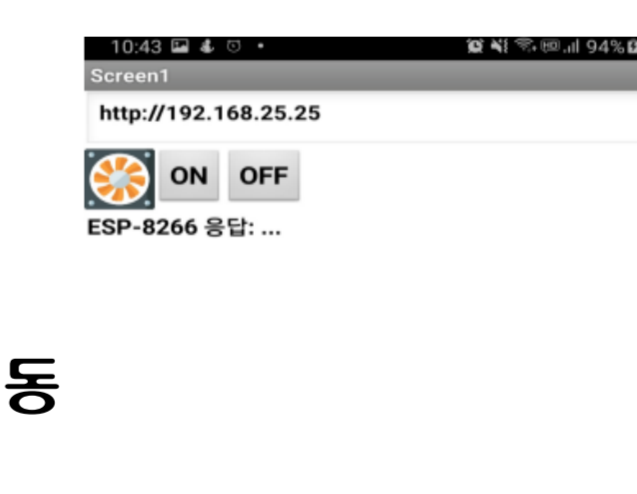
#### ◆ 실험의 고찰

이론적 계산에서 예상한 이론적인 효율은 99.997%이고, 실제 실험결과 HCHO는 70.38%, PM2.5는 97.15%, TVOC는 47.54%임을 확인할 수 있다. 이론적인 효율보다 실험적 효율이 낮은 이유는 이론적 효율을 도출하는 과정에서 각 성분마다의 특성을 고려하지 않고 모든 물질의 전반적 효율을 구했기 때문인 것으로 사료된다. 또한 전처리 필터의 경우 입자의 크기 마다 그 효율이 다른데 이를 분류하지 않고 일괄적으로 효율을 계산하여 높은 효율 값이 나온 것으로 판단된다. 또한 HCHO와 PM2.5는 목표 효율인 70%를 만족하지만 TVOC는 만족하지 못한다. TVOC는 전처리 필터, 에파 필터에서는 잘 제거되지 않지만, 광촉매필터와 UV LED로 제거가 가능하다. 따라서, TVOC의 제거효율은 광촉매 필터에 의존한다. 그러나 목표로 설정했던 톨루엔을 포함하는 TVOC는 단파장(185nm)에서 더 높은 비율로 분해가 촉진되지만 본 실험에서 사용한 UV램프는 280nm를 방출하기 때문에 제거효율이 목표치보다 낮다. 또한 톨루엔과 TVOC는 완전히 같은 물질이 아니므로 효율 산정에 있어 한계가 있었다.

#### ◆ WebpheonixControoller.apk로 휴대전화 App으로 공기청정기 제어



APP 작동



<그림2>

IoT의 연결방법 중 앱 개발 방식 선정

<그림 2>의 ON 버튼 클릭 시 공기청정기 가동  
<그림 2>의 OFF 버튼 클릭 시 공기청정기 중지

### Conclusion

1. 폼알데하이드는 70.38%, PM 2.5는 97.15%, TVOC는 47.54%의 효율을 나타냄. 폼알데하이드, PM 2.5는 목표 효율을 달성한 반면, TVOC는 목표 효율을 달성하지 못함.

#### 실험의 안계

1. 측정기기의 안계 및 예산 부족으로 초기에 목표로 선정안 5가지 물질 중 일부만 효율 도출
2. 일산화탄소 측정기가 300ppm 이상만 인식 가능하여 일산화탄소 농도 측정 불가
3. 연소 사용자 측정기의 과부하로 불가피하게 전자담배로 실험
4. 가스만을 정확하게 포집할 수 없어 측정 농도의 정확도 부족
5. 5번의 실험으로 신뢰성 다소 부족
6. 화장실 내 네트워크 내부에 설비물을 넣고 시연을 할 수 없어 실제 제품과 prototype의 오차 발생 가능

3. 실험의 정확도를 높이기 위한 개선 방안으로는 정밀한 측정기 사용, 가스 시료 채집용 테들러 백 사용, 높은 신뢰도를 위하여 실험횟수 증가, 실제 환경과 유사한 환경에서 실험을 진행하는 방법이 존재함.