

IoT 기반 실내환경 현장 검증 사례

○ 손종렬 | 고려대학교 보건환경융합과학부
정교수
E-Mail : sohn1956@korea.ac.kr

1. 서론

현대인은 하루 중 80 % 이상을 실내공간에서 생활하고 있으며, 생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 실내 환경에 대한 관심과 중요성을 인식하고 있다. 그림 1과 같이 경제성장에 따라 삶의 질 개선에 대한 국민욕구는 1997년 13 %에서 2011년 56 %로 증가하였으며, 그 중에서도 신축 공동주택 입주민 대부분 (93.9 %)에 대한 관심이 높은 것으로 나타났다.(1) 실내공기질은 실내공간에 존재하는 다양한 오염

원으로부터 발생하는 유해물질뿐만 아니라 실외 오염물질의 유입으로 악화되어 재실자들의 건강에 영향을 미친다.(2)~(3) 현대 건축물은 에너지 절약을 위해 건물의 기밀화가 증가하였고, 에너지 효율을 증가시키기 위하여 에너지 회수장치가 설치되었다. 이에 따른 환기부족과 오염된 공기의 순환으로 인하여 실내 오염물질의 농도가 지속적으로 증가하고, 재실자는 고농도의 오염물질에 장시간 노출되어 위해도가 높다.(4)

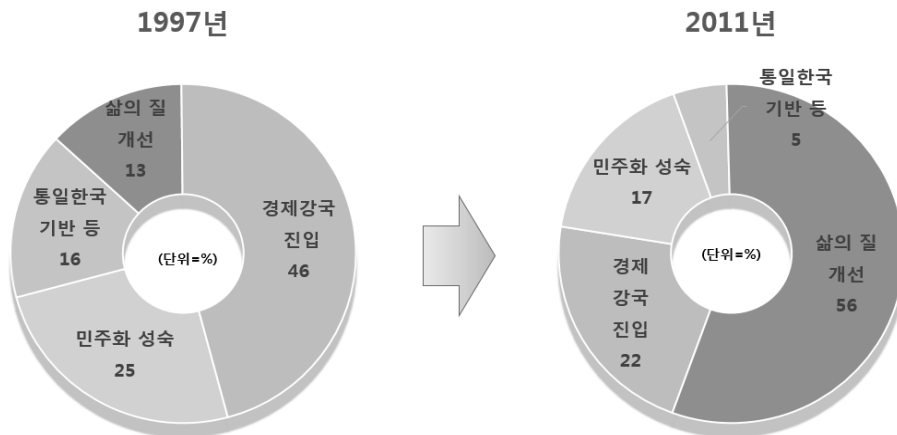


그림 1. 삶의 질 개선에 대한 국민욕구 증대('97년 13% → '11년 56%)
(환경부외 7부처, 2015)

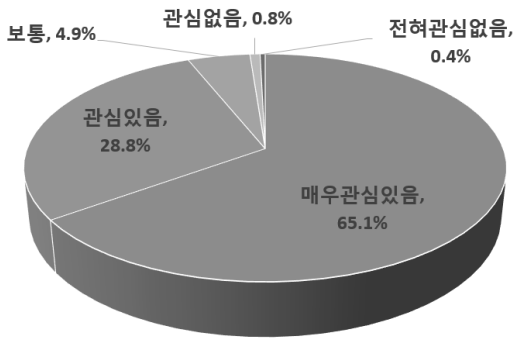


그림 2. 실내공기질에 대한 관심도(환경부, 2006)

세계보건기구(WHO)는 실내오염물질의 위해도가 심각하여 2012년에 실내오염에 의한 전 세계 사망자가 430만 명으로 추정하였다. 이는 대기오염에 따른 전 세계 추정 사망인구수인 260 만명보다 높았다. 또한 실내공기오염물질의 노출로 인하여 폐렴이나 기타 급성 하기도 감염(Other acute lower respiratory infections, ALRI)의 발병률이 2배 이상 증가한 것으로 보고하였다.(5) 우리나라의 경우, 환경성 질환인 알레르기 비염, 아토피, 천식으로 질료 받은 환자수가 17% 증가하였으며, 연간 환경성질환으로 인한료비는 3,500억원 수준인 것으로 조사되었다.(1) 따라서 실내공기질에 대한 실시간 측정·

수집·분석을 통한 관리가 필요하다.

스마트폰을 비롯한 각종 스마트 기기가 보편화되었고, 최근 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 기술이 급격한 성장세를 보이고 있다. IoT란 인간과 사물, 서비스 세 가지 분산된 환경 요소에 대해 인간의 명시적 개입 없이 상호 협력적으로 센싱, 네트워킹, 정보처리 등 지능적 관계를 형성하는 사물

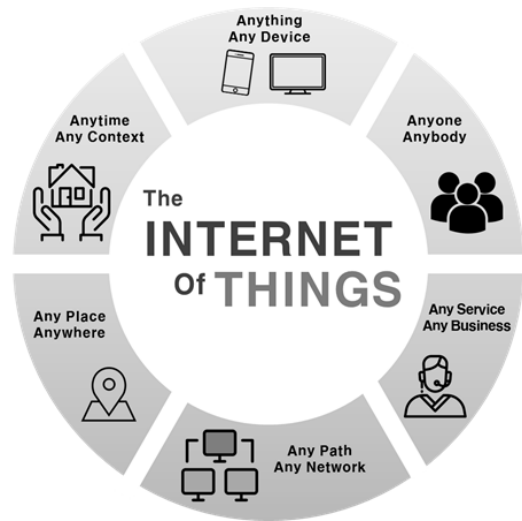


그림 4. 사물인터넷 (IoT:Internet of Things) 기술

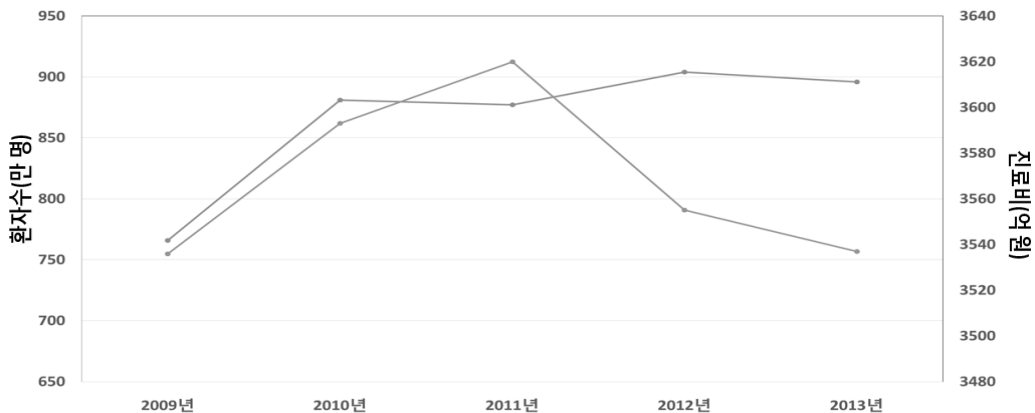


그림 3. 환경성질환의 진료 환자수 및 진료비 (환경부 외 7부처, 2015)

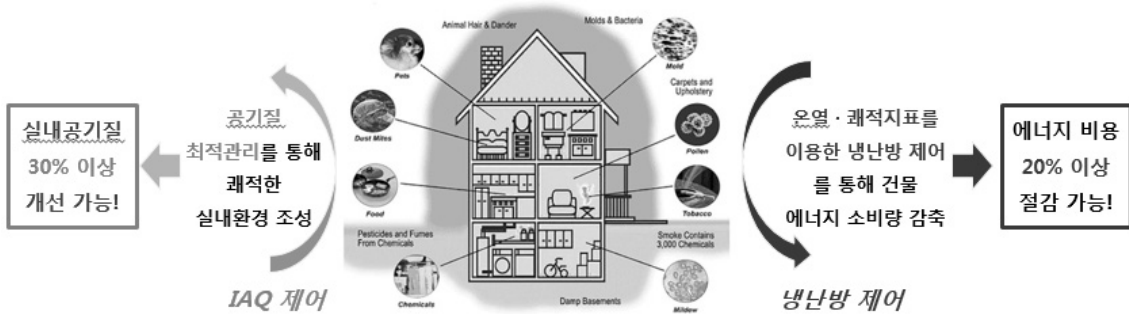


그림 5. IoT 기술을 활용한 스마트 환기 및 통합관리 시스템



그림 6. (a) 삼성전자와 (b) LG전자 그리고 (c) 코웨이 스마트 공기질케어 서비스

공간 연결망을 말한다.(5) 이런 IoT 기술의 발전으로 헬스케어, 건설, 복지 등 다양한 분야에서 IoT 기술을 접목한 기술이 소개되고 있고 있으며, 생활환경 관리에 있어서도 센서 기술과 IoT 기술을 접목한 공기질 측정 센서 제품들이 나오고 있다.

기존의 실내공기질 측정기기의 측정 방법들은 현장 채취한 후, 실험기기가 구비된 실험실에서 분석을 통해 비교적 정확한 측정결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 기존의 실내공기질 측정기기는 분석과정에서 수 시간에서 수 일이 소요되어 실시간 실내환경에 대한 평가가 어렵고, 실시간 측정이 가능한 장비들의 경우 고가이므로 일반적인 생활공간에 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

이러한 한계를 보완하기 위하여 앞서 소개된 공기질 센서를 공기청정기나 기기에 부착한 IoT 제품을 생활공간에서 활용할 수 있다.

IoT 기반의 센서는 지속적으로 변하는 오염물질의 농도를 실시간으로 측정하여 재실자에게 정보를 제공함으로써, 편리하게 실내공기질의 오염도를 파악할 수 있다. 또한 IoT 제품을 통해 측정된 결과값을 바탕으로 실내공간의 공기청정기나 환기시스템 및 냉난방기와 자동화 또는 원격제어로 연동하여 즉각적인 관리를 통한 쾌적한 실내환경 관리가 가능하며, 동시에 에너지 비용 절감이 가능하다.

이러한 실내공기질에 대한 관심 증가와 IoT 기반 공기질 측정기기에 대한 활용 가능성을 바탕으

로 센서가 부착된 IoT 제품이나 공기청정기가 많이 보급되고 있다. 현재 통신 3사와 삼성전자, LG 전자, 코웨이를 포함한 다양한 기업들이 공기청정기나 기기를 개발하고, IoT 기술을 접목하여 스마트 기기를 통한 실내공기질에 대한 실시간 정보를 제공하는 서비스 사업을 진행중에 있다. 그러나 현재 보급되고 있는 IoT 기반 공기질 측정기기의 신뢰성에 대한 실내공기질 전문가들의 의견이 분분하다. 따라서 고려대학교 손종렬 교수 연구실에서는 IoT 기반 공기질 측정기기의 신뢰성에 대한 현장 검증 평가를 진행하였다.

2. IoT 기반 공기질 측정기기 신뢰성 현장 검증

2.1 연구 방법

현재 상용화되어 있는 IoT 기반 공기질 측정기기는 보편적으로 온도, 상대습도, 이산화탄소(CO₂), 총휘발성유기화합물(TVOC), 미세먼지(PM10)에 대해 측정할 수 있다. 이에 따라 위의 5 가지 항목에 대해 실시간으로 측정 가능한 전문측정 장비 중 휴대가 편리하며, “실내공기질공정시험기준-환경부”를 충족하는 측정장비와 대등한 성능을 가진 장비를 기준장비로 선정하고, 이를 IoT 기기들의 성

능 평가를 진행하였다.

생활공간에서 발생하는 오염물질의 농도가 지속적으로 변하는 환경에서 IoT 기기의 측정값의 신뢰성을 평가하기 위하여, 5년 이내의 서울시내 아파트를 선정하고, 요리, 환기 과정을 포함하는 시나리오를 설계하여 오염물질의 농도가 증감하는 환경을 조성하여 검증 실험을 진행하였다.

현장 검증실험은 기준장비와 상용화되어 있는 IoT 기반 공기질 측정기기 중 6 대(A 제품 ~ F 제품)를 주방과 거실 중앙을 측정 지점을 택하여, 바닥에서 1.0 ~ 1.2 m 높이에 각 장비의 영향이 없도록 설치하였다.

시나리오는 기존의 조리 시 발생하는 오염물질에 대한 연구에서 오염도가 가장 높게 나타났던 고등어구이를 요리로 정하여 요리 30분, 요리 후 15분, 그리고 요리 전과 환기를 각각 10분 간 측정하였다.(6)

2.2. 기준장비 선정

우선 온도, 상대습도, 이산화탄소, 총휘발성유기화합물 항목을 동시에 실시간으로 측정할 수 있는 Gray Wolf(IQ-604)를 기준장비로 선정하였다. 미세먼지(PM10)의 기준장비는 실시간 측정을 위한 연구에서 널리 사용되며, US EPA로부터 미세먼지 모

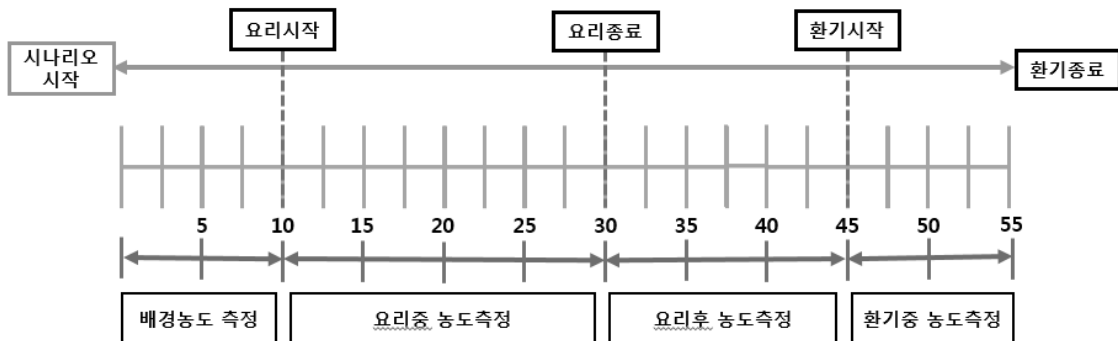


그림 7. 현장 검증을 위한 시나리오

니터링 장치로 승인받은 광산란법(Light scattering method)을 이용한 자동측정법인 Grimm 장비(Model 1.108, Germany¹⁾)로 선정하였다.(7)



그림 8. 기준장비로 선택한 실시간 전문측정 장비
(a) Digital dust monitor (Grimm Model 1.108), (b) Gray Wolf (IQ-604)

2.3. 현장 검증 결과

(1) 온도

현장 검증실험에서 상대적으로 우수한 B 제품과 기준장비의 온도 측정결과를 그림 9와 같이 시간에

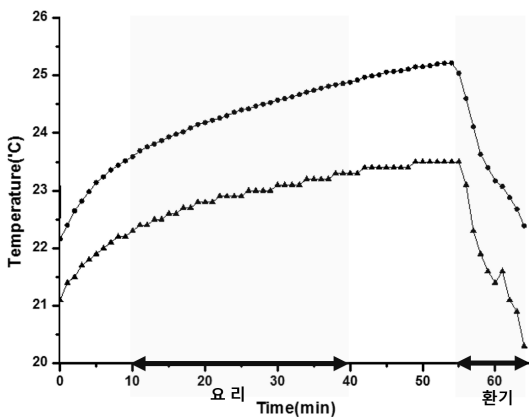


그림 9. 기준장비(—▲—)와 B 제품(—●—)의 실시간 온도 그래프

따른 온도 변화 그래프로 나타냈다, 기준장비인 Gray Wolf의 온도 범위는 21.1 ~ 23.8 °C로 환경부와 국립환경과학원에서 제시하는 주택 적정 온도 범위 내로 유지되었다.(8) B 제품의 온도 범위는 22.2~25.0 °C로 기준장비보다 높게 나타났으며, 평균적으로 1.49 °C 높게 나타났다. 반면, 실시간 온도 그래프에서 요리 시나리오에 의한 B 제품의 온도 변화 양상이 유사하여 경향성 측면에서 상대적으로 양호하다. 따라서 B 제품의 온도 센서는 측정값 정확성이 미흡하다.

(2) 상대습도

검증 대상 IoT 기기들 중에서 상대습도 센서가 상대적으로 우수한 D 제품과 기준장비의 시간에 따른 상대습도 변화를 그림 10과 같이 그래프로 나타냈다. 기준장비인 Gray Wolf의 상대습도 범위는 29.2~45.5 %RH로 환경부와 국립환경과학원에서 제시한 주택 적정 상대습도인 50 %RH보다 낮았다.(8) D 제품은 상대습도 범위가 28.0~46.8 %RH

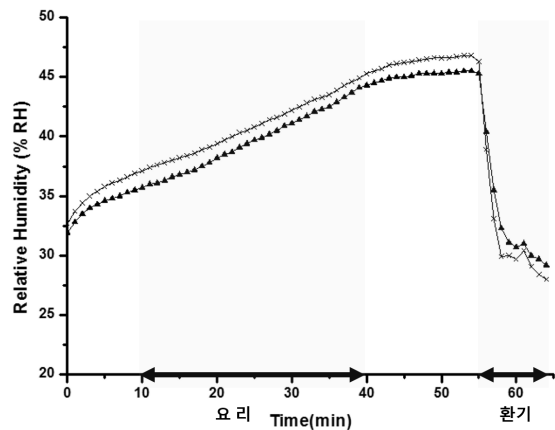


그림 10. 기준장비(—▲—)와 D 제품(—×—)의 실시간 상대습도 그래프

1) 광산란법(Light scattering method)은 대기 중에 부유하고 있는 입자상 물질에 빛을 조사하면 입자상 물질에 의해 빛이 산란하게 되는데, 산란광의 강약이 미세먼지 질량 농도에 비례하는 원리를 이용한다. 광산란법의 장점은 실시간 측정이 가능하고 용이하다.

으로 기준장비의 측정값과 평균적으로 1.05 %RH 차이를 보였고, 이는 상대습도 센서의 오차율인 2 %RH 이내로 측정값의 정확성이 우수하다. 또한 실시간 그래프에서 기준장비와 D 제품이 상대습도 변화 양상이 일치하였다.

(3) 이산화탄소

검증실험에 따른 기준장비의 이산화탄소 농도 변화와 6 대 제품 중 상대적으로 우수한 B 제품의 이산화탄소 농도 변화 그래프를 그림 11과 같이 작성하였다. 기준장비인 Gray Wolf의 이산화탄소의 농도 범위는 557~811 ppm이고, B 제품의 경우 541~812 ppm으로 실내환경 중 이산화탄소 기준인 1000 ppm을 초과하지 않았다. B 제품은 기준장비와 평균적으로 29.41 ppm 차이를 보였으며, 이는 이산화탄소 센서의 오차율인 50 ppm 이내로 측정값의 정확성이 우수하였다. 또한 기준장비와 B 제품은 이산화탄소 농도 변화에 대해 유사한 경향성을 보였다.

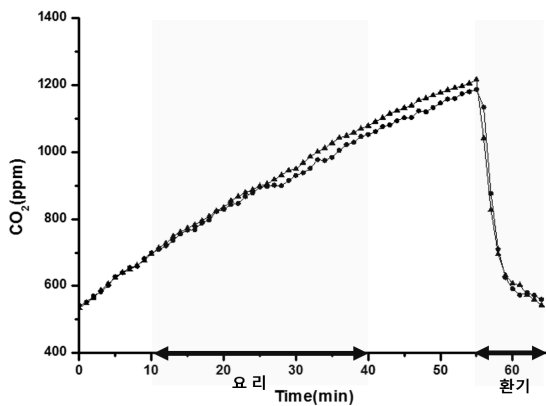


그림 11. 기준장비(▲)와 B 제품(●)의 실시간 이산화탄소 그래프

(4) 미세먼지

그림 11은 Grimm 장비와 검증 실험 결과 미세먼지 센서가 상대적으로 우수한 C 제품의 실시간 미

세먼지 그래프를 나타내었다. Grimm 장비로 측정된 미세먼지 농도 범위는 31.13~590.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, C 제품은 157~999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. C 제품의 경우, 비교장비에 비하여 미세먼지 농도 변화폭이 크고, 기준장비보다 평균적으로 249.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. 특히, 고농도에서 검출한계에 도달하여 측정치가 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타냈다. 반면 C 제품은 기준장비와 유사한 농도 변화 양상을 보였다. 따라서, C 제품의 경우 측정값의 정확성을 높여야하며, 검출한계의 개선이 필요하다.

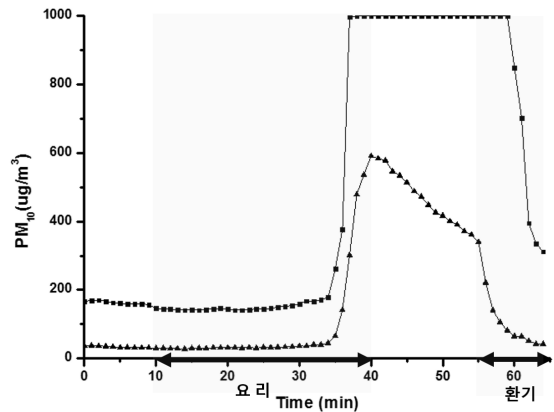


그림 12. 기준장비(▲)와 C 제품(■)의 실시간 미세먼지 그래프

(5) 총휘발성유기화합물

마지막으로 총휘발성유기화합물에 대한 기준장비와 상대적으로 우수하게 나타난 IoT 기반 공기질 측정기기인 B 제품의 실시간 농도 그래프를 그림 13과 같이 나타냈다. 기준장비의 총휘발성유기화합물 농도범위는 122~341 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 B 제품의 농도 범위는 131~628 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, B 제품이 기준장비보다 평균적으로 218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 나타났다. 반면 기준장비와 B 제품의 실시간 농도 그래프에서 농도 변화 경향성이 일치하였다. 그러나 B 제품은 측정값의 정확도가 다소 미흡하며, 농도 변화폭이 크다.

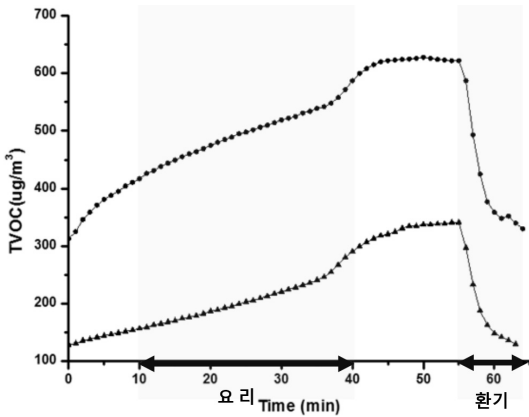


그림 13. 기준장비(▲)와 B 제품(●)의 실시간 총휘발성유기화합물 그래프

2.4. 현장검증 결론

IoT 기반 공기질 측정기에 사용하고 있는 상대습도, 이산화탄소 센서는 상대적으로 측정값의 정확도나 농도 변화 경향의 일치도가 우수하였다. 반면 온도, 미세먼지, 총휘발성유기화합물 센서의 경우 농도 변화 양상은 유사하지만, 측정값의 정확도가 다소 미흡하였으며, 특히 미세먼지와 총휘발성유기화합물 센서의 경우, 기준장비와 측정값의 차이가 크게 나타났다.

따라서 실내공기질의 지표로 사용되는 이산화탄소 항목에서 IoT 기반 공기질 측정기가 측정값의 정확도, 농도 증감에 따른 민감도가 양호한 것으로 나타났기 때문에 실내환경 관리를 위해 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 IoT 기기를 이용한 온도, 상대습도를 측정하여 재실자의 쾌적한 실내환경을 조성할 수 있을 것이다.

3. IoT 기반 공기질 측정기를 활용한 실내공기질 개선 사례

앞서 검증실험을 통해 IoT 기반 공기질 측정기의 특성을 파악한 후 병원시설에 적용하여 모니터링을 통한 실내공기질 개선 서비스를 진행한 사례가 있다.

병원시설에 호흡기센터에 IoT 기반 공기질 측정기를 설치하고 2주간 축적된 실시간 데이터를 바탕으로 실내공기질 항목의 우선순위를 정하고, 각 항목에 대한 개선 방법을 정했다.

본 사례에서 미세먼지(PM10)과 초미세먼지(PM2.5)의 농도가 평균적으로 높았고, 총휘발성유기화합물과 이산화탄소 농도가 기준치와 근접한 수치를 보였다. 이에 따라 미세먼지와 초미세먼지 저감을 개선 목표로 하고, 공조시설의 흡입구 주변에 있는 먼

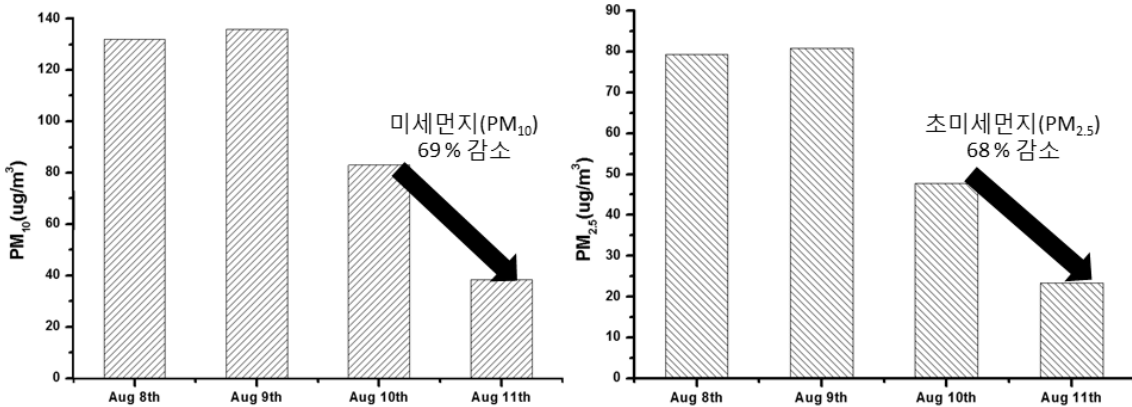


그림 14. 병원시설의 실내공기질 개선 전 후의 미세먼지 및 초미세먼지 개선 효과

지를 제거하였다. 또한 가라앉아 있거나, 천장이나 벽면에 붙어있는 먼지를 제거하기 하였다. 이에 따라 초미세먼지 농도의 경우 개선 전보다 68%, 미세먼지 농도는 개선 전보다 69% 감소한 효과를 보였다.

4. 결 론

경제성장에 따른 국민의 삶의 질 개선 욕구와 실내 공기질의 중요성에 대한 인식이 확산되면서, 쾌적한 실내환경에 대한 관심이 높아졌다. 이에 따라 센서 기술과 IoT 기술을 접목한 공기질 측정기의 제품 개발과 수요가 증가하고 있다. 기존 전문적인 측정 장비에 비하여 가격이 저렴하며 크기가 작아 일반 생활환경에서 사용하기 용이하다. 또한 재실자에게 실시간으로 실내공기질 정보를 제공함에 따라 즉각적인 대처가 가능하기 때문에 생활공간에서 활용도가 높은 것으로 평가되고 있다. 그러나 실내 공기질 전문가들은 IoT 기반 공기질 측정기기의 신뢰성이 떨어지는 것으로 평가하고 있다. 그러나 본 연구진의 현장 검증 실험 결과, 일부 IoT 기기에서 상대습도, 이산화탄소에 대한 측정값의 정확도를 확인할 수 있었고, 온도, 미세먼지, 총휘발성유기화합물 항목에서도 일부 기기들은 농도 변화를 파악하는 데 용이하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 IoT 기반 공기질 측정기기의 장점을 바탕으로 실내공간의 오염물질의 농도 증감에 대한 실시간 정보를 통해 자연환기나 환기시스템 가동을 통한 실내공기질 관리가 가능할 것이다. 더 나아가, IoT 기반 공기질 측정기기를 공기청정기, 환기시스

템이나 냉난방기와 연동하여 실내공기질의 변화에 따른 자동화 관리시스템으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다

- 참고문헌 -

1. 환경부 등, 2015, “실내공기질 관리 기본계획 (2015~2019) - 국민이 안전하고 행복한 실내환경 조성”
2. 서울연구원, 2012, 서울시 주택의 실내공기질 개선 방안
3. Commission of the European Communities, 1989, Joint research center- Institute for the Environment. European Concerted Act
4. 이세행 등, 2013, “회귀분석을 이용한 다중이용 시설 실내오염물질 특성 연구”, 한국환경분석학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 123-131.
5. UNEP, 2014, “7 Million Death Annually Linked to Air Pollution-WHO report”
6. 조리 시 발생하는 오염물질에 대한 연구 논문이나 보고서 참고문헌 추가
7. 봉춘근 등, 2015, “미세먼지 실시간 측정을 위한 광학입자 측정기 간의 상호 비교” 한국도시환경학회지, Vol. 15, No. 3, pp. 219 - 226.
8. 환경부, 국립환경과학원, 2010, “주택 실내공기질 관리를 위한 매뉴얼”
9. 이윤규, 2016, “공동주택에서 주방조리시 발생하는 미세먼지(PM10, PM2.5) 특성 및 관리방안, 공기청정기술, Vol. 29, No. 1, pp. 19~31.