

학교와 가정에서 실내 미세먼지 실태

박효진^{1,2} · 위지은¹ · 김서우³ · 송윤재³ · 지유나⁴ · 장서영⁵ · 김준수⁶ · 문병권^{1*}
¹전북대학교 과학교육학부, 과학영재교육원, ²김제 농생명 마이스터고등학교,
³전주 서신중학교, ⁴전주 해성중학교, ⁵전주 온빛중학교, ⁶섬진중학교

Assessment of Indoor Air Pollution at School and Home

Park, Hyojin^{1,2} · Wie, Jieun¹ · Kim, Sewoo³ · Song, Yunjae³
Ji, Yuna⁴ · Jang, Seo Young⁵ · Kim, Junsu⁶ · Moon, Byung-Kwon^{1**}

¹Division of Science Education and Science Education Institute for the Gifted, Chonbuk National University,
²Gimje Meister Highschool for Agriculture and Life,
³Jeonju Seoshin Middle School,
⁴Jeonju Haesung Middle School,
⁵Jeonju Onbit Middle School, ⁶Seomjin Middle School

ABSTRACT

This study is based on a research project by gifted students at Science Education Institute for the Gifted in Chonbuk National University. Particulate matter is so dangerous to humans as to be ranked among the Group 1 Carcinogens, and it becomes a more prominent cause of death. This study conducted a survey of particulate matter in houses and schools and considered an effective method of reducing particulate matter concentrations. A portable device was used to measure the concentrations. We showed that indoor particulate matter was much affected by its outdoor concentration. Besides, the particulate matter concentrations had a small variation among different points both in houses and schools. Especially, houses and schools had lower concentrations in rooms and the teachers' room, respectively. When students went to school, the concentrations in classrooms increased. Moreover, indoor particulate matter showed a small difference of concentration depending on height. The concentration was a little higher near the floor than the ceiling. Cooking with oils drastically increased the indoor particulate matter concentration in a house. Even when cooking was over, the increase of concentration continued. Ventilation was not so efficient as has been typically suggested to remove indoor particulate matter, or rather often raised the indoor concentrations. We proposed that an air purifier is essential for removing indoor particulate matter, or if it is not available, an air conditioner can be utilized. This result can be basic information for further interesting studies. We also expect that this study will contribute to reducing particulate matter both in house and school.

Key words : particulate matter, House, School, Reducing particulate matter

I. 서론

미세먼지는 대기 중에 떠다니는 입자를 말하며(한

국기상학회, 2015), 직경 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 PM10과 $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 PM2.5로 구분된다. 이와 같이 미세먼지는 매우 작기 때문에 호흡활동을 통해 몸속에

*교신저자: 문병권, E-mail: moonbk@jbn.ac.kr

**본 논문은 2017학년도 정부(과학기술진흥기금 및 복권기금)의 재원으로 한국창의재단의 지원을 받아 수행된 성과물을 정리한 것으로 2017학년도 전국 대학부설 과학영재교육원 사사과정 연구성과 발표대회에서 과학기술정보통신부 장관상을 받았다

침투하여 호흡기질환을 발생시키며 조기 사망률을 높이는 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Pope, et al., 1992). 이러한 이유로 미세먼지는 세계보건기구(WHO; World Health Organization)로부터 1군 발암물질로 지정되었으며, 경제협력개발기구(OECD; Organization for Economic Co-operation Development)에서 발표한 환경전망에 의하면 환경문제로 인한 사망원인 중 대기오염이 가장 높았다(OECD, 2012). 최근 수십 년에 걸쳐 중국에서 급격한 산업 발전이 진행되고 있다. Zhang, et al. (2017)은 중국발 미세먼지로 한국과 일본, 몽골, 북한에서 한해에 3만 명이 사망한다는 연구결과를 얻었다.

최근 수행된 국내 미세먼지 연구는 주로 중국으로부터 수송 조건(Lee, et al., 2013)이나 기상 영향(Wie & Moon, 2017) 등과 같은 실외 농도의 변화에 중점을 두고 있다. 반면에 우리가 많은 시간을 보내는 실내의 미세먼지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 환경부에서는 음식물 조리시 조리방법에 따른 오염물질 발생농도를 제시하고 있으며, 요리할 때 환기의 중요성을 강조하고 있다(환경부, 2015). 하지만 우리의 실생활에서의 실내 미세먼지 농도의 변화를 확인한 연구는 없었다.

일반적으로 실내 미세먼지 농도를 낮추는 방법으로 환기를 강조한다. 그런데 무작정 환기를 시키는 것이 과연 좋을까라는 의심에서부터 이 연구가 시작되었다. 바깥의 공기가 집안의 공기보다 나쁜 시기에 환기는 방 안의 미세먼지를 증가시킬 것이다. ‘창문과 방문을 모두 닫으면 안전할 것인지’, ‘창문을 닫았음에도 불구하고 문틈으로 들어오지 않을 것인지’에 대한 연구는 진행되지 않았다. 이 점에 착안하여 이 연구는 학생들이 많은 시간을 보내는 집과 학교의 실내 미세먼지 실태를 파악하고, 실생활에서 미세먼지 농도를 낮출 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 또한 요리를 할 때 사용되는 기름의 양이나 높낮이에 따른 미세먼지 농도 등을 측정하였다. 끝으로 아직 공기청정기를 갖추지 못한 교실에서 실내 미세먼지를 낮추는데 에어컨을 활용하는 것이 하나의 방법임을 제안하

고자 한다.

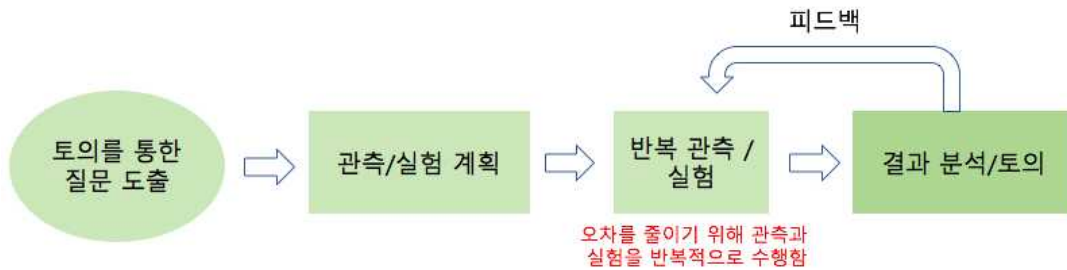
1. 측정 장치

대기 중 미세먼지는 베타선 흡수법, 광산란법, 중량농도법 등으로 측정한다(환경부, 2016). 이 연구는 광산란법을 이용하는 측정 장치(Fine Air)를 이용하였다(그림 1). 광산란법은 물질에 빛이 충돌할 때 여러 방향으로 흩어지는 원리를 이용하여 레이저 광선이 미세먼지에 의해 산란되는 정도를 측정하고 그 값으로부터 농도를 구하는 원리다. 시중의 대부분의 휴대용 미세먼지 측정기가 이 원리를 이용한다. 연구에서 사용한 Fine Air에는 작은 바람개비가 내장되어 있으며, 이것이 회전하면서 공기를 흡입하여 먼지 농도를 측정하고, 측정이 끝난 공기를 바깥으로 배출시킨다. 이 기기는 가볍고 사용하기 간편하기 때문에 가정과 학교의 미세먼지 실태를 연구하는 데 적합한 것으로 판단되었다.

이 연구에서는 미세먼지 농도를 측정할 때 주제에 따라서 장치 1개 혹은 여러 개를 동시에 활용하였고, 일정한 시간 간격을 두고 여러 번 반복하여 측정하였다. 연구 진행을 위해서 토의를 통한 문제 도출 후 관측과 실험을 계획하여 실시하였다(그림 2). 그리고 각각의 연구자가 얻은 관측 자료를 토대로 분석을 실시하여, 그 결과를 해석하고 토의하는 순서로 연구하였다.



[그림 1] 미세먼지 측정 장치 (Fine Air). 측정범위는 0-999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 크기는 55×55×20mm이며, 무게는 66g 이다.



[그림 2] 연구 방법. 먼저 토의를 통해 연구 문제를 도출하였고, 계획을 수립한 후 관측을 실시하였다. 측정 오차를 줄이기 위해 미세먼지 농도는 반복적으로 측정하였다. 결과를 분석하여 토의한 후에 필요한 경우는 관측 방법을 수정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 실외의 미세먼지 농도가 실내에 미치는 영향

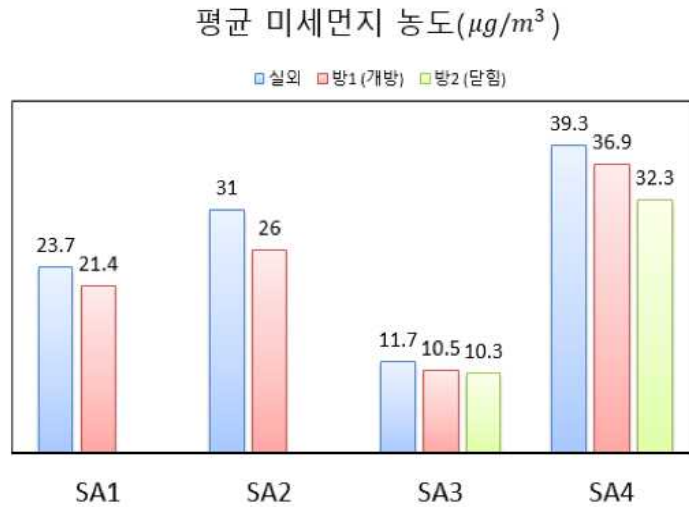
실내 미세먼지의 실태를 파악하기에 앞서 실내 미세먼지 농도가 실외 농도와 어떤 관련성이 있는지 분석하였다. 미세먼지 농도가 높은 날에는 언론에서 외출을 자제하고 실내에 있으라 한다. 실내에 있으면 안전할까? 여기서는 이 질문에 답을 찾으려한다. <표 1>은 실외와 실내에서 측정한 미세먼지 (PM2.5)의 평균 농도와 표준 편차를 정리한 것이다. 측정은 4일간 이뤄졌으며 각 날마다 23회 (8월 7일은 48회) 측정하였으니, 모두 117개 (방2의 경우는 71개) 자료를 평균한 것이다. 여기서 실내와 실외는 어떤 아파트의 방 내부와 건물 밖을 가리킨다. PM10의 분석에서도 큰 차이가 없기에 PM2.5를 분석한 결과만을 제시하였다.

예상대로 PM2.5 농도의 평균은 실외 (26.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 창문을 열어 개방된 방1 (23.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 모든 문을 닫은 방2 (21.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 순으로 작아지고 있다. 표준편차도 동일한 순서대로 작아진다. 이것은 실내의 미세먼지 농도가 실외보다 낮다는 것을 나타내며, 실내 미세먼지의 대부분이 외부 환경에서 오는 것을 암시하고 있다. 당연한 결과로 밀폐된 방의 농도가 가장 작으며, 변동성 또한 작다. 이런 특징은 평균에서 뿐만 아니라 개개의 관측 (SA1, SA2, SA3, SA4)에서도 나타난다.

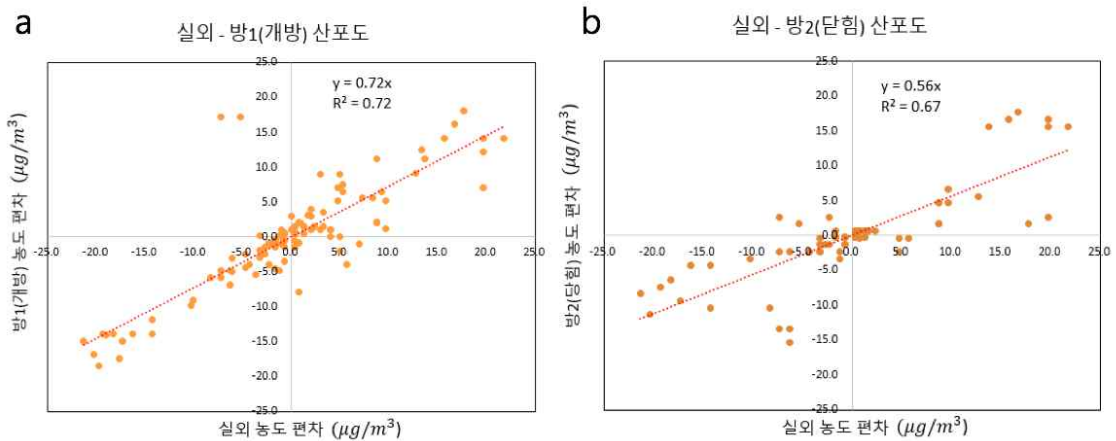
주목할 점은 밀폐된 방이라도 외부의 농도가 클 경우는 함께 농도가 증가하는 것이다[그림 3]. 이런 특징은 개방된 방에도 나타난다. 이것은 밀폐 여부를 떠나서 실내의 농도는 외부 환경에 좌우됨을 가리킨다. 실내에 미치는 외부 환경의 영향은 편차(평균을 뺀 값을 의미함)를 이용한 산포도에서 명확히 확인할 수 있다[그림 4]. 개방된 방이나[그림 4] (a) 닫힌 방이나[그림 4] (b) 모두 유의미하고 큰 결정계수(R²)를 갖는다(각각 0.72와 0.67). 결정계수가 클수록 두 변수는 비례관계가 있다고 한다. 즉 실내의 미세먼지 농도는 일차적으로 실외 농도에 의해 결정된다는 의미다. 이것은 밖의 미세먼지 농도가 높을 때는 창문이 닫힌 실내에 있어도 꽤 높은 양의 먼지에 노출된다는 것을 암시한다. 이러한 우려는 환경부 (2016)가 제시한 미세먼지가 높은 날의 수칙인 ‘실외 활동 자제’, ‘창문을 닫아 미세먼지 유입을 차단’ 등이 너무 소극적이 아닌가라는 의심을 갖게 한다. 다른 관점으로 보면 실외의 미세먼지 농도가 낮을 때는 적극적인 환기를 통해 실내 미세먼지를 낮출 수 있다는 것을 알 수 있다. [그림 5]는 이것을 잘 보여주고 있는데, 소나기로 외부의 미세먼지가 씻겨 내려가면서 실내의 농도가 급격히 감소되는 것을 알 수 있다. 즉 먼저 외부 미세먼지가 비로 인해 감소되고, 그 깨끗한 공기가 강한 바람에 유입되면서 실내 농도가 낮아졌다고 말할 수 있다. 환기와 함께 실내 미세먼지를 낮추는 다른 방법에 대해서는 뒤에 논의하였다.

〈표 1〉 실외와 실내에서 관측된 미세먼지 (PM2.5) 평균과 표준편차

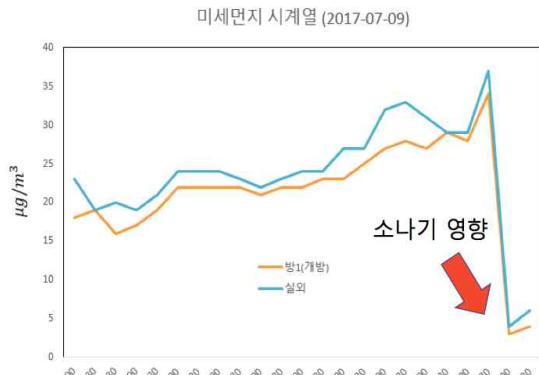
관측명	날짜 (2017년)	시간 (간격)	관측횟수	평균 농도 / 표준편차 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
				실외	방1(개방)	방2(닫힘)
SA1	07월 09일	7:00-18:30 (30분)	23	23.7 / 7.3	21.4 / 6.9	-
SA2	07월 10일	7:00-18:30 (30분)	23	31.0 / 5.7	26.0 / 4.8	-
SA3	07월 16일	7:00-18:30 (30분)	23	11.7 / 1.2	10.5 / 1.4	10.3 / 0.7
SA4	08월 07일	7:45-19:30 (15분)	48	39.3 / 11.6	36.9 / 9.7	32.3 / 8.0
평균				26.4 / 6.5	23.7 / 5.7	21.3 / 4.4



[그림 3] 관측별 평균 미세먼지(PM2.5) 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).



[그림 4] (a) 실외-방1(개방)에 대한 PM2.5 편차의 산포도. 상관관계가 뚜렷이 나타나도록 평균을 뺀 편차를 이용하였다. 직선은 회귀선이며, 회귀식과 결정계수(R^2)를 함께 나타냈다. 결정계수가 클수록 두 변수의 비례관계가 크다는 것을 알 수 있다. (b)는 실외-방2(닫힘)에 대한 산포도이며, 나머지는 (a)와 같다.



[그림 5] 관측 SA1(표 1 참조)에서 얻은 실외와 방1(개방)의 PM2.5 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 시계열. 오후 6시 무렵에 내린 소나기로 PM2.5 농도가 급격히 낮아졌다.

2. 실내 장소에 따른 미세먼지 실태

우리가 생활하는 집은 기능에 따라 여러 곳으로 구분돼 있다. 각 장소마다 미세먼지 농도가 차이가 있을까? 만약 어느 곳의 농도가 높더라면 왜 그럴까? 여기서는 이런 의문에 대해 살펴보았다.

[그림 6]은 집 안의 5곳에서 7일 동안 측정된 PM10과 PM2.5를 상자수염그림(Box-and-Whisker plot)으로 나타낸 것이다. 미세먼지 농도 분포는 방을 제외하고는 서로 엇비슷하다. 이것은 각 공간이 밀접하게 영향을 주고받는 것을 암시한다. 방은 PM10과 PM2.5에서 모두 가장 낮은 농도를 보였다. 특히 방 PM2.5 농도의 최댓값이 다른 곳의 최솟값보다도 훨씬 작기에, 방 농도가 낮은 것이 통계적으로 의미가 있는 결과다. 가장 높은 농도를 보이는 곳은 화장실이었다. 화장실이 농도가 높은 이유는 습윤하기 때문인 것 같다. 이에 대해선 뒤에 설명하겠다.

현관과 거실의 PM10과 PM2.5 농도는 서로 겹쳐 있는데, 두 공간이 물리적으로 가깝다는 것을 반영하고 있다. 주방의 PM10 농도는 화장실, 현관, 거실에 비해 약간 낮았다. 반면에 PM2.5의 경우는 현관과 거실이 유사한 분포를 보였다. 여기서 우리 결과를 모든 집의 경우로 일반화해서는 안 될 것이다. 주거 형태와 구조가 다르고, 또한 실내의 가구 배치, 활동 등의 조건이 다르기 때문이다. 따라서 앞으로는 주택을 지을 때는 측정기를 함께 설치하여 먼지 농도를 모니터링 해야 할 것이다.

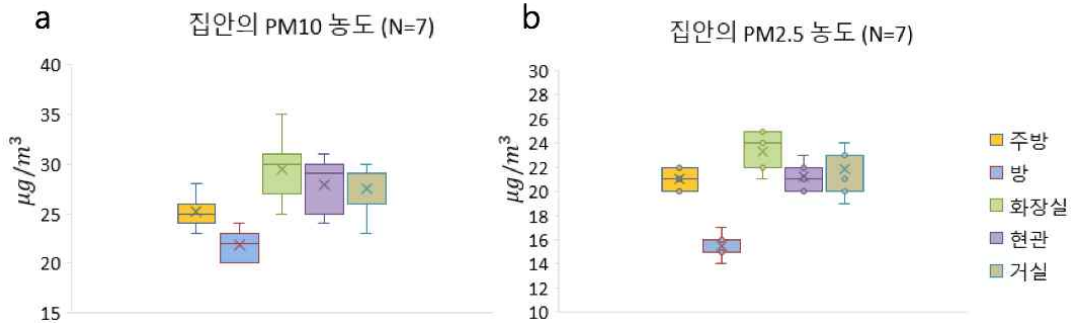
앞서 언급한 화장실에서 농도가 높은 까닭을 우리는 높은 습도 때문이라 추측했다. 이를 검증하기 위해서 밀폐된 방에서 가습기를 켜 후 미세먼지 농도 변화를 관찰했다. 가습기를 작동시킨 이후로 PM10 농도는 꾸준히 증가하였다[그림 7]. 가습기를 끄자 빠르게 초기 농도로 복귀하였다. 따라서 가습기로 인해 미세먼지가 영구적으로 증가하기 보다는 가습기 영향으로 나타난 일시적 증가임을 암시하고 있다. 다시 말하면, 가습기에서 비산되는 작은 물방울이 마치 미세먼지처럼 감지된 것으로 파악된다. 습도가 높을수록 미세 물방울이 증발하지 않고 공기 중에 떠 있게 된다(안중배 등, 2016; Wallace & Hobbs, 2006). 따라서 우리 측정에서 화장실의 미세먼지 농도가 높게 나타난 것은 높은 습도로 인한 작은 물방울 때문이라 할 수 있다.

이에 덧붙여 학교의 미세먼지 실태를 조사하였다. 먼저 교실에 학생들이 있고 없음에 따른 미세먼지의 반응을 살펴보았다[그림 8] (a). 학생들이 교실에 가득차면 PM10의 경우는 약 9% 정도 농도가 상승하였다. 이때 PM2.5는 약 7% 정도 상승이 있었다. 이것은 실내에서 많은 사람들이 모일수록 미세먼지 농도가 높아짐을 암시한다. 이때는 학생 활동으로 바닥에 있던 먼지가 뜨거나 옷가지 등에서 비산된 것으로 추측된다.

집과 마찬가지로 학교도 여러 장소로 구분된다. 우리는 교실이외도 복도, 화장실, 매점, 교무실에서 미세먼지 농도를 측정하였다. 그림 8b는 그 결과를 나타내는데, PM10의 경우는 교실, 매점, 복도, 교무실 순으로 높은 농도를 보였다. PM2.5는 교실, 복도, 매점, 교무실 순이었다. 측정 기기나 관측할 때 나타나는 오차를 고려하면 교실, 복도, 매점의 농도는 거의 비슷할 것으로 판단된다. 특히하게도 학교 화장실은 다른 곳에 비해 농도가 낮았다. 이에 대해서 두 가지 가능성을 고려할 수 있는데, 먼저 집과는 달리 학교 화장실은 건조하다는 점이다. 이때는 작은 물방울의 영향이 없었을 것이다. 또 다른 이유는 화장실은 환풍기가 작동되어 끊임없이 공기가 순환되고 있는 점이다. 이러한 이유로 일부 먼지가 제거되어 작은 농도 값으로 유지된 것으로 추정한다.

끝으로 언급할만한 점은 교무실의 농도가 현저하게 낮은 점이다. [그림 8] (b)의 결과로만 보면, 미세먼지 관점으로 교무실은 다른 곳과 분리된 것처럼 보인다.

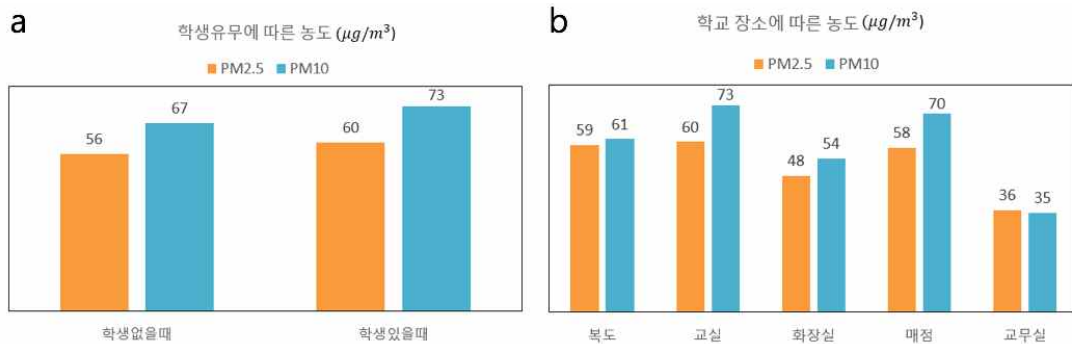
현재로는 이것의 이유는 불분명하다. 명확한 원인을 밝히기 위해서는 좀 더 정확한 관측과 정교한 실험이 필요할 것이다.



[그림 6] 집 안의 5장소에서 측정한 (a) PM10과 (b) PM2.5의 상자수염그림 (Box-and-Whisker plot). 상자수염그림이 나타내는 값은 위로부터 최댓값, 3/4 분위값, 중앙값, 1/4 분위값, 최솟값, 평균(* 표시)이다. 이 결과는 7일간 (2017년 6월 12일부터 6월 18일까지) 매일 오후 5시에 측정한 값을 토대로 생성되었다.



[그림 7] 가습기 사용에 따른 PM10 농도의 시계열 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). 가습기 사용으로 PM10 농도가 증가하고, 사용을 멈춘 후에는 농도가 급격히 감소하였다. 이 결과는 2017년 7월 15일 방문이 닫힌 방에서 1회 실험에서 얻었다.



[그림 8] (a) 교실에 학생들이 없을 때와 있을 때의 미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). 아침 등교 전후에 측정하였다. (b) 학교의 각기 다른 5곳에서 측정된 미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). 이 관측은 2017년 7월 13일에 수행되었다.

3. 높이에 따른 농도 변화

앞서 학생들이 등교하면서 미세먼지가 증가하는 하나의 이유로 먼지가 바닥에서 비산되기 때문일 것으로 추측하였다. 비록 작지만 떨어지는 속도가 0이 아닌 이상 실내의 미세먼지는 바닥으로 낙하할 것이다. 따라서 청소나 환기로 먼지를 제거하지 않는다면 바닥 부근의 미세먼지 농도는 커질 것으로 예상된다. 이것을 검증하기 위해 실내에서 바닥과 1.7m 높이의 미세먼지 농도를 측정하였다. 측정은 총 12일 동안 각 13회씩 모두 156회 수행됐다.

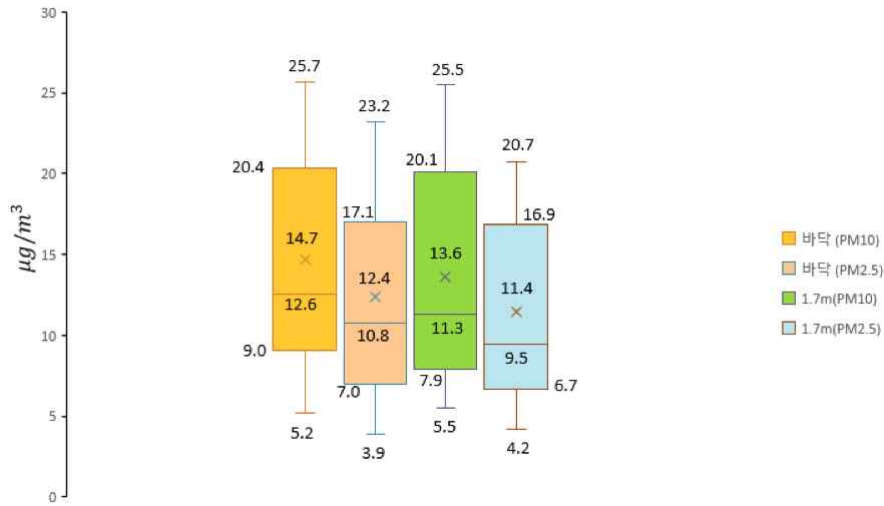
〈표 2〉는 각 관측에서 구한 평균 농도를 나타내고 있다. 일부 1.7m에서 농도가 높았던 관측도 있지만(예: KA1와 KA6의 PM10/PM2.5, KA7의 PM10), 대부분 바닥에서 높은 농도가 나타났다. 평균은 PM10에서 바닥이 1.7m 보다 8.1% 높았고, PM2.5는 8.8% 높았다. 상자수염그림을 보면 평균뿐만 아

니라 중앙값도 바닥이 1.7m에 비해 11.5% (PM10)와 13.7% (PM2.5) 높은 것을 알 수 있다(그림 9). 이 결과는 앞의 가설을 확인시켜 주고 있다. 즉 실내에서 미세먼지 농도는 천정 부근에 비해 바닥에서 높았다.

이러한 결과는 미세먼지 농도가 높은 시기에 바닥에 누워있는 것은 바람직하지 않다는 것을 의미한다. 또한 유아나 어린이가 미세먼지에 좀 더 취약할 수 있음을 보여준다. 이를 고려하면, 여기서 우리는 실내의 실태를 파악했지만, 실외를 대상으로 유사한 조사를 한다면 유용한 정보를 얻을 것으로 판단된다. 자동차 배기가스의 영향을 받는 도로변에서 어린이 높이와 어른 높이의 미세먼지 농도가 서로 다를 가능성이 있다. 만약 낮을수록 농도가 높다면, 이에 대한 경고나 적절한 조치를 해야 할 것이다. 이와 관련해서 아파트나 건물의 층에 따라 오염 물질 농도가 어떻게 다른지 등의 연구가 필요할 것으로 생각된다.

〈표 2〉 높이에 따른 미세먼지 농도 측정 결과. 각각의 관측(즉 KA1, KA2, ..., KA12)은 어느 아파트 방에서 11:05 - 12:05까지 5분 간격으로 13회 미세먼지 측정으로 이루어졌다. 이 표에는 각 관측의 평균값을 나타내며, 최댓값 등의 분포는 그림 8에 나타났다.

관측명 (측정 회수)	날짜 (2017년)	높이에 따른 미세먼지 평균 농도 (µg/m ³)			
		바닥		1.7m	
		PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
KA1 (13회)	7월 9일	5.2	3.9	5.5	4.2
KA2 (13회)	7월 10일	12.2	10.8	10.4	8.5
KA3 (13회)	7월 11일	17.4	14.7	16.2	14.5
KA4 (13회)	7월 12일	18.2	14.8	16.2	13.5
KA5 (13회)	7월 13일	25.2	21.8	21.4	18.9
KA6 (13회)	7월 18일	6.7	5.5	7.3	6.2
KA7 (13회)	7월 19일	21.1	17.8	21.5	17.7
KA8 (13회)	7월 20일	25.7	23.2	25.5	20.7
KA9 (13회)	8월 29일	11.2	9.0	9.8	8.2
KA10 (13회)	8월 30일	8.3	6.3	6.9	5.8
KA11 (13회)	8월 31일	12.9	10.8	11.8	9.8
KA12 (13회)	9월 1일	12.1	10.5	10.8	9.1
평균		14.7	12.4	13.6	11.4



[그림 9] 높이에 따른 PM10, PM2.5 농도의 상자수염그림. 상자수염그림의 의미는 그림 5와 같다. 각 상자는 총 156(=12관측×13회/관측)회 관측 값을 토대로 작성되었다 (표 2 참조).

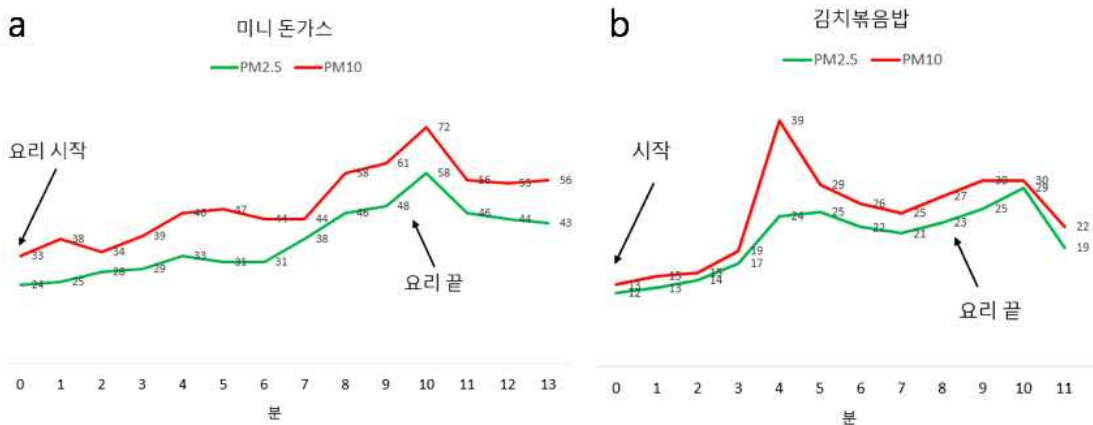
4. 요리 시 미세먼지 농도 변화

지난 2016년 고등어가 미세먼지 주범으로 등장하였다(조선일보, 2016). 이에 주목하여 우리는 집에서 자주 먹은 음식인 미니돈가스와 김치볶음밥을 요리할 때의 미세먼지 변화를 실험하였다.

미니돈가스와 김치볶음밥을 요리할 때, 미세먼지 농도는 가파르게 증가하였다(그림 10). 기름을 이용할 때는 미세한 기름방울이 날리면서 기름 냄새가 나

는 것을 경험하게 된다. 두 가지 요리를 할 때 발생한 미세한 기름방울이 미세먼지 농도를 증가시키는 역할을 했을 것으로 추정한다.

이런 결과는 기름을 사용한 요리일수록 좀 더 미세먼지 제거에 신경 써야 하는 것을 의미한다. 이를 제거하는 방법으로 쉽게 생각할 수 있는 것은 환기를 시키는 것이다. 환기에 대한 영향은 다음 절에서 분석하였다.

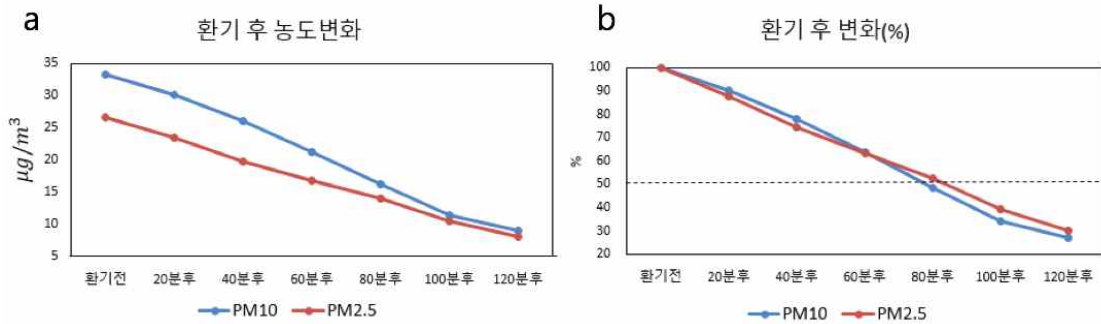


[그림 10] (a) 미니돈가스와 (b) 김치볶음밥을 만들 때 측정된 미세먼지 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 변화. 미니돈가스와 김치볶음밥은 요리할 때 기름을 사용한다. 즉 우리는 기름을 사용할 때 발생하는 미세먼지에 좀 더 중점을 두기 위해 이들 요리를 선택하였다.

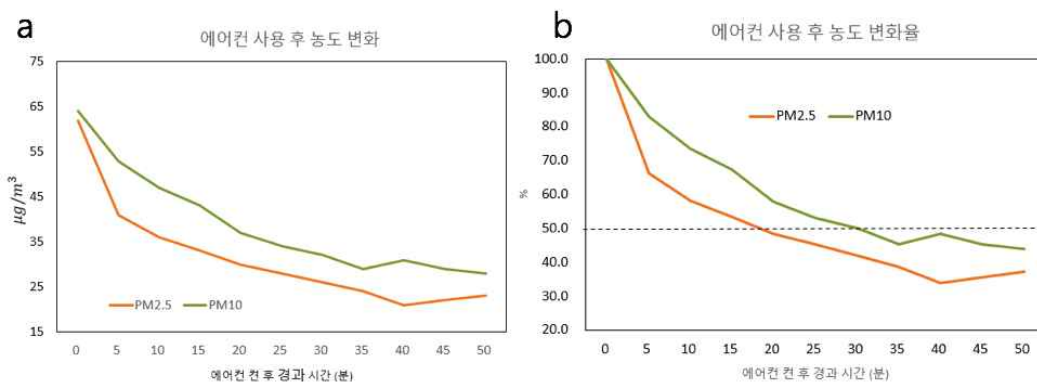
5. 환기와 에어컨에 의한 실내 미세먼지 농도 변화

앞서 언급한 바와 같이 기름을 이용한 요리에는 환기가 필수적이다. 환경부는 미세먼지가 많은 날에도 요리할 때는 환기해야한다고 제시하고 있다 (Huffingtonpost, 2016). 환기의 효과를 살펴보기 위하여 환기 후 집 안의 미세먼지 변화를 측정하였다 (그림 11). 환기를 하면 미세먼지 농도는 경과시간(분)에 대해 거의 선형적으로 감소하였다[그림 11] (a). 그런데 우리 연구에서는 미세먼지를 제거하는데 환기는 상당히 비효율적인 것으로 나타났다. 왜냐하

면 초기 농도의 50%로 낮추는 데는 80분이나 소요되었기 때문이다[그림 11] (b). 게다가 PM2.5의 경우는 PM10에 비해 약간 더디게 감소하였다. 이날은 바람이 약한 날이었다. 따라서 이 결과는 바람이 약할 때는 환기가 효과적이지 않다는 것을 암시한다. 또한 앞서 살펴본 것과 같이 실내 미세먼지 농도는 일차적으로 실외 농도에 결정되므로[그림 4], 외부 미세먼지 농도가 높은 경우에 환기는 오히려 실내 오염도를 높이는 결과를 가져올 것이다. 여기서 언급할 것은 상황에 따라서는 환기의 효율이 우리 결과와는 달리 좀 더 높아질 수 있는 점이다. 예를 들어 바람



[그림 11] (a) 환기 후 미세먼지 농도 변화 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). 이 값은 집 안의 5곳 (주방, 방, 화장실, 현관, 거실)에서 측정된 값을 평균한 것이다 (측정일: 2017년 8월 7일, 장소: 아파트 방). 여기서 환기가 되도록 창문과 방문을 모두 열어두었다. (b)는 (a)와 같으나, 초기 농도에 대한 비율(%)을 나타냈다. 즉 점선이 나타내는 50%는 농도가 처음보다 절반으로 감소했다는 것을 의미한다.



[그림 12] (a)와 (b)는 각각 에어컨 사용 후 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 농도 변화율(%)이다. 변화율의 의미는 그림 11b와 같다. 점선은 변화율 50%를 가리킨다.

이 강하게 불어 내외부의 공기가 빠르게 섞이는 경우는 환기의 효율이 좋아질 것이다([그림 4] 참조). 우리 연구는 외부 환경이 안정하고 바람이 약할 때는 자연적 환기로는 미세먼지를 제거하기는 부족하다는 것을 제시하고 있다.

환기보다 더 효율적으로 실내 미세먼지를 감소시키기 위해서는 공기청정기를 적극 활용할 필요가 있다. 왜냐하면 이 연구에서 일부 제품을 테스트했을 때, 공기청정기는 실외 미세먼지 농도가 높은 경우에도 실내 먼지를 효율적으로 제거하였다(그림은 보이지 않음). 그러므로 가정이나 학교에서 미세먼지 영향에 대비하기 위해서는 공기청정기 사용을 검토해야 한다.

여기서 우리는 교실에서 당장 활용 가능한 에어컨의 활용 가능성을 조사하였다. 에어컨에도 먼지 필터가 장착돼 있기에 어느 정도 먼지 농도를 감소시킬 것으로 예상하였다. [그림 12]는 에어컨을 켜 후에 나타나는 먼지 농도 변화를 나타내고 있다. 주목할 점은 환기를 했을 때 [그림 11]과는 다르게 먼지의 농도는 기하급수적으로 감소하였다[그림 12] (a). 특히 더 미세한 PM_{2.5} 농도가 효율적으로 제거됐다. 초기의 절반 농도로 감소하는 데는 PM₁₀이 30분, PM_{2.5}가 20분 정도 걸렸다[그림 12] (b). 따라서 외부 미세먼지 농도가 높은 경우에는 학교에서 잠깐이라도 에어컨을 가동하면 미세먼지를 효율적으로 제거할 것으로 판단된다. 쉬는 시간을 이용하여 5-10분 정도 에어컨을 가동하는 것이 단순히 창문을 닫는 것보다 훨씬 효과적 대처법이라 생각된다.

IV. 요약 및 토의

이 연구는 집과 학교의 미세먼지 실태를 파악하고, 피해를 예방할 수 있는 현실적인 방안을 제시하는 것을 목표로 삼았다. 대기 중 미세먼지 농도를 측정하기 위해서 간편한 측정 장비인 Fine Air 제품을 사용하였다. 모두 5개의 세부 주제로 구분하여 연구를 진행하였다. 각각의 주제는 세부 목적에 맞게 미세먼지를 측정하거나 실험을 실시하였다. 이때 원칙

적으로 여러 번 실험이나 측정하여 오차를 줄이려고 노력했다.

우리는 먼저 실내의 미세먼지 농도가 외부 환경과 과연 어느 정도 밀접하게 연계돼 있는지 분석하였다. 여기서는 실내 농도 변화는 전적으로 외부 농도에 좌우되는 것으로 나타났다. 이런 특징은 창문과 방문을 모두 닫은 방도 마찬가지였다. 따라서 바깥의 미세먼지 농도가 높을 경우에 단지 실내에 있는 것만으로는 안심할 수 없다는 것을 알았다. 또한 이 결과는 여러 번 관측을 통해 얻어진 것만큼 통계적으로 의미 있는 결과라 할 수 있다.

그리고 집 안의 여러 장소와 학교의 여러 장소에서 관측한 미세먼지 농도를 분석하였다. 집에서는 화장실의 농도가 가장 높았고 방이 가장 낮았다. 현관, 거실, 주방은 중간의 농도를 보였다. 학교는 교실에서 가장 높았고 교무실이 가장 낮았다. 특히 학생들이 등교한 후에 교실의 미세먼지 농도가 높아진다는 결과를 얻었다. 집 안의 미세먼지 농도는 통계적으로 의미 있다고 판단되나, 집 구조와 주거 환경이 다양할 것이므로 일반적인 특징이라 보기는 어려울 것 같다. 그러나 화장실의 미세먼지 농도가 높게 관측된 것은 높은 습도로 인한 작은 물방울이 원인일 것이다. 향후 학교 환경에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

우리 연구에서 가장 창의적 아이디어는 높이에 따른 농도 변화를 살펴본 것이다. 이를 위한 관측도 충분히 많은 156회나 수행되었다. 우리의 측정 장치가 단순하고 간단한 장비임에도 불구하고, 바닥의 농도가 높은 곳에 비해 높다는 합리적인 결과를 얻었다. 이 아이디어를 확장하면 얻을 수 있는 새로운 연구 주제가 많다. 앞서도 언급했지만, 도로와 인접한 아파트 단지에서 오염물질의 농도가 층별로 다를 가능성도 있다. 또한 어린이가 호흡하는 높이와 어른의 높이에서 먼지가 어떻게 분포하는지 확인할 필요가 있다. 우리 결과에 따르면 방바닥에 누워있는 것은 결코 바람직하지 않는 것 같다. 우리의 결론을 다시금 확인하기 위해서는 좀 더 정교하고 정밀한 관측이 필요할 것이다. 또한 현재 기상청 미세먼지 관측 센서가 올바른 높이에 설치돼 있는지 점검이 필요할 것이다.

요리에 따른 미세먼지 발생은 사람들의 관심을 크게 끌었고 논란 또한 많았던 주제다. 우리 연구에서는 기름을 사용하는 요리에 중점을 두어 실험하고 분석하였다. 이때에는 요리가 끝난 후에도 미세먼지가 증가하는 것이 주목할 만한 점이다. 이런 현상은 기름 냄새가 어느 정도 지속되는 것과 연관이 있을 것으로 추정된다.

끝으로 실내 미세먼지를 제거하기 위해 환기가 얼마나 효과적인가에 대해 연구하였다. 우리 결과에 따르면 창문과 방문을 여는 것만으로는 부족하다는 결과를 얻었다. 그러나 여기서 주의할 것은 환기의 효율은 바람의 세기와 관련될 거라는 점이다. 우리가 측정할 때는 안정하여 바람이 불지 않았던 시기였다. 강한 바람은 실내의 오염된 공기를 바깥의 깨끗한 공기로 금세 바꿔 놓을 것이 틀림없다. 그런데 외부의 먼지 농도가 높을 때는 환기는 오히려 역효과를 가져올 것이다. 좀 더 일관된 방법은 공기청정기를 가동하는 것으로 판단된다. 그런데 아직까지 교실에는 청정기가 구비가 안 돼 있다. 우리는 에어컨을 잠시 동안 가동함으로써 교실의 미세먼지를 제거할 수 있다는 결론을 얻었다. 즉 공기청정기는 없지만 에어컨이 있는 곳에서 우리가 제안한 방법을 활용할 수 있을 것이다.

V. 결론

실내 미세먼지 실태를 조사한 이 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다. 조건에 따라 다르게 나타날 것으로 판단되는 결론은 일반화하기 어렵다고 명시했다. 먼저 실외 미세먼지 농도가 높을 경우에는 실내의 농도도 높았다. 집에서는 현과, 거실, 주방, 화장실, 방 중에서 방의 먼지 농도가 가장 낮았는데 집마다 여건이 다르기 때문에 일반화하기 어렵다. 마찬가지로 학교에서 교실과 교무실 중 교무실이 농도가 낮은 것도 일반화하기 어려울 것이다. 실내 미세먼지는 천정 부근보다 바닥 부근에서 농도가 높았다. 잘 알려진 바와 같이 요리는 미세먼지를 많이 배출하였다. 바람이 불지 않을 때는 환기가 미세먼지 농도를 낮추

는데 효과적이지 못했다. 이 경우는 공기청정기가 필수적이라 판단된다. 공기청정기가 널리 보급되지 못한 학교 교실의 미세먼지 농도는 에어컨을 활용하면 효율적으로 낮출 수 있었다.

참고문헌

- 김성미, 이임학, 이경빈, 김진식, 권명희 (2017). 고등어 조리 시 발생하는 미세먼지의 입경 분석. 한국 대기환경학회지, 33(4), 361-369.
- 안중배, 김준, 류찬수, 박선기, 서명석, 이화운, 정일웅, 정형빈 (2016). 대기과학. 서울 : 시그마프레스. p.514.
- 조선일보. (2016.3.3.). 고등어... 중불에 구우면 초미세먼지 291 μ g, 센불에 태우면 2953 μ g. http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2016/06/03/2016060300265.html(검색일: 2017. 10. 20).
- 한국기상학회, 기상청. (2015). 대기과학용어사전(최신). 서울: 시그마프레스. p.800.
- 환경부 (2015.12.24.). 음식물 조리시 실내 오염 물질 이렇게 저감하세요!. <http://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=284> (검색일: 2018. 3. 14).
- 환경부 (2016.4.). 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까? <http://m.me.go.kr/issue/finedust/ebook.pdf> (검색일: 2017년 9월 3일).
- 환경부 (2017). 미세먼지 관리 종합대책. <http://www.me.go.kr/issue/finedust4/> (검색일: 2017. 10. 21).
- Lee, S., Ho, C. H., Lee, Y. G., Choi, H. J., & Song, C. K. (2013). Influence of transboundary air pollutants from China on the high-PM10 episode in Seoul, Korea for the period October 16-20, 2008. Atmospheric Environment, 77, 430-439.
- 허핑턴포스트코리아 (2016.9.7.). 미세 먼지 수준이 '나쁨'인 날에도 실내 환기가 필요한 이유가 있다. http://www.huffingtonpost.kr/2016/09/07/story_n_11886566.html (검색일: 2017. 10. 23).
- OECD. (2012). OECD environmental outlook to 2050. Paris: OECD.
- Pope III, C. A., Schwartz, J., & Ransom, M. R. (1992). Daily mortality and PM10 pollution in Utah valley. Archives of Environmental Health: An International Journal, 47(3), 211-217.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). Atmospheric

science: An introductory survey. p.483. San Diego, CA: Elsevier.

Wie, J., & Moon, B.-K. (2017). ENSO-related PM10 variability on the Korean peninsula. *Atmospheric Environment*, 167, 426-433.

Zhang, Q., Jiang, X., Tong, D., Davis, S. J., Zhao, H., Geng, G., Feng, T., Zheng, B., Lu, Z., Streets, D. G., Ni, R., Brauer, M., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Huo, H., Liu, Z., Pan, D., Kan, H., Yan, Y., Lin, J., He, K., & Guan, D. (2017) Transboundary health impacts of transported global air pollution and international trade. *Nature*, 543(7647), 705-709.

주제어 : 실내 미세먼지, 집, 학교, 미세먼지 저감

.....

- 투고일 : 2018년 3월 19일
- 심사일 : (1차) 2018년 3월 30일
- 심사일 : (2차) 2018년 4월 18일
- 게재확정일 : 2018년 4월 26일

.....

국문초록

이 연구는 전북대학교 과학영재교육원의 사사과정 과제로 수행되었다. 대기 중 미세먼지는 1군 발암물질로 지정될 정도로 위험하며, 미세먼지로 인한 사망률의 증가가 최근 논란이 되고 있다. 우리는 가정과 학교의 미세먼지 실태를 조사하고 미세먼지 농도를 감축할 수 있는 방안을 찾고자 하였다. 미세먼지 농도는 휴대용 장치를 이용하여 측정하였다. 먼저 실내의 먼지 가 외부 농도에 크게 영향을 받는다는 것을 밝혔다. 이와 더불어 집과 학교는 장소에 따라 미세먼지 농도가 약간 다르게 나타났다. 특히 집에서는 방에서, 학교에서는 교무실에서 미세먼지 농도가 낮았다. 학생들이 등교하면 교실의 농도가 증가하였다. 또한 흥미롭게도 실내의 미세먼지는 높이에 따라 약간의 농도 차이가 있었다. 미세먼지 농도는 천정부근보다는 바닥에서 약간 높았다. 기름을 사용한 요리를 할 때 집 안의 미세먼지 농도를 크게 증가시켰다. 이때는 요리가 끝난 후에도 미세먼지 농도의 증가가 지속되는 모습을 볼 수 있었다. 또한 실내의 미세먼지를 제거하기 위해 주로 제안되는 방법인 환기시키는 것이 때로는 효율적이지 못하거나 오히려 농도를 높일 수 있음을 보였다. 우리는 실내 미세먼지를 제거하기 위해서는 공기청정기가 필수적이거나 여의치 않다면 에어컨을 활용할 수 있다는 것을 제시하였다. 이 결과는 좀 더 흥미로운 연구를 위한 기초자료로 활용되거나 학교나 가정의 미세먼지 저감에 기여할 것으로 기대된다.