

학교 교실 내 식재 활용을 통한 환경보건학적 고찰

김호현 교수 (평택대학교)

우리나라의 미세먼지 평균 노출도 국가별 EPI 순위는 178개국 중 173위로 하위권이며 초미세먼지 경보 건수가 2016년 90건에서 2017년 19건으로 1.4배 증가하는 등 우리나라 미세먼지 농도는 주요 선진국 도시와 비교하였을 때 높은 현실이다. 또한, 산업화에 따른 도시와 및 고층화에 따라 실내공기 오염도가 심각해지고 있으며 국민 관심이 증대하고 있다.

2017년 교육청별 PM10 초과 학교 수에 대한 조사 결과, 전국적으로 1,200개(서울 346개, 인천 69개, 경기 371개)가 넘는 초중고교의 미세먼지 농도가 '나쁨'에 해당하는 것으로 조사되어 학교 내 실내공기질 대책 마련이 시급한 실정이다. 이에 따라 경기도교육청은 '2018 학교 고농도 미세먼지 종합대책'을 마련, 미세먼지에 대한 선제적 대응으로 학생들의 건강권을 확보하고 학교미세먼지 대응 역량을 강화하기 위한 노력을 하고 있다. 교육부는 학생들의 건강 피해를 예방하고 안전한 학교 환경 조성을 위한 대책 마련을 주요 국정과제로 정하여 추진하고 있다. 또한, 외기 미세먼지 환경기준의 강화로 인해 교실 내 머무르는 시간이 증가함에 따라 실내공기질 관리 강화를 위해 '학교 공기정화장치 설치 및 관리기준'을 마련하여 추진하는 등 실내공기질 관리를 위한 노력을 하고 있다.

미세먼지로 인한 실내공기질 저하로 미세먼지 저감 방법에 관한 국민 관심이 증가하고 많은 대책 방안 마련이 나오고 있으나 도시생활 속 원예를 통한 미세먼지 저감 효과에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 따라 학생들이 오랜 시간 머무는 학교를 대상으로 식물을 활용한 미세먼지 저감 및 실내공기질 개선 방안 개발을 위해 식물 및 공기청정기를 적용하고 그 효과를 평가하고자 하였다.

학교 교실 내 식물 활용 방법 검토

학생들이 오랜 시간 머무는 학교를 대상으로 식물을 활용한 미세먼지 저감 방법 및 시스템 표준화를 위한 학교 교실 내 식물 활용 방법을 검토를 수행하고자 하였으며, 2019년 5월부터 10월까지 약 6개월간 경기도 부천시에 위치한 중학교를 대상 공간으로 선정하여 교실 내 식물(plant)과 인테리어(interior)가 합해진 플랜테리어(planterior) 적용을 통해 식물 도입에 따른 실내공기질 저감에 대한 사전 검증을 시행하고자 하였다.

식물의 사전 적용에 앞서, 학교 교실 공간의 특성에 맞는 시공 설계를 검토하였으며 식물의 적용형태(절화장식형, 분화장식형, 부착형, 공중걸이형, 수직형, 수평형 등), 설치 위치(교실 앞, 뒤 등), 식재량, 환경 조건 등을 고려하여 수업과 학생들의 활동 범위에 방해가 되지 않는 선에서 식물을 적용하였다. 이후 플랜테리어 적용 여부에 따른 효과 평가를 위해 각 대상 교실마다 복도측과 창가측에 IoT 기반 센싱 장비를 설치하여 실내공기질 측정 데이터를 수집하였다.



그림 1. 교실 내 IoT 기반 실내공기질 측정 장비 설치 모습
(원: 전경, 중앙: 창가쪽 센서, 우:복도쪽 센서)

대상 교실인 5개 교실을 대조군 2곳, 식물 적용 교실 1곳, 식물 및 공기청정기 적용 교실 1곳, 공기청정기 적용 교실 1곳으로 나누어 식물 및 공기청정기를 적용하여 식물 및 공기청정기 적용 여부에 따른 실내공기질 개선 효과를 평가하고자 하였다.



그림 2. 교실별 식물 및 공기청정기 적용 현황

식물 적용에 따른 미세먼지 저감 효과 평가

2019년 5월부터 2019년 10월까지 약 6개월간 실시간 및 장기간 실내공기질 측정을 통해 수집된 데이터를 바탕으로 실내공기질, 온도 및 습도 등에 대해 교실별, 재실자 유무, 복도/창가 등에 따라 식물 및 공기청정기 적용 전후로 비교하고자하였다.

1) 교실 내 학생이 있는 경우 미세먼지(PM10) 농도 범위

현행 교사 내 실내공기질 유지기준은 $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (학교보건법 시행규칙 제3조, 개정 19.10.24)이다. 식물 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 $1\sim 231 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 $11\sim 268 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정

되었으며, 적용 이후에는 복도 1~191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 12~232 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다. 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 1~250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~236 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고 적용 이후에는 복도 1~154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~149 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에 복도 1~201 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 적용 이후에 복도 1~137 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 미적용 교실에서 적용 이전 복도는 각각 1~208 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~432 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 창가는 각각 1~243 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~201 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었고, 적용 이후 복도는 각각 1~158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~420 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 창가는 각각 1~197 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~179 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

표 1. 교실별 식물 및 공기청정기 적용 전후 PM10 농도 범위(재실자 있는 경우)

교실 구분	(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	설치 전		설치 후	
		복도	창가	복도	창가
식물		55.2±35.8 (1~231)	73.8±37.4 (11~268)	45.2±32.4 (1~191)	64.3±33.8 (12~232)
식물 및 공기청정기	평균 ±	52.3±36.9 (1~250)	49.5±36.1 (1~236)	29.9±23.8 (1~154)	28.1±23.2 (1~149)
공기청정기	표준편차 (최소	42.8±31.1 (1~201)	47.9±34.7 (1~243)	25.7±22.7 (1~137)	29.6±26.3 (1~165)
미적용 교실1	~ 최대)	45±32.3 (1~208)	54.8±38.6 (1~243)	32.9±24 (1~158)	43.4±31.3 (1~197)
미적용 교실2		72±69.6 (1~432)	47.7±32.7 (1~201)	77.4±94.3 (1~420)	33.5±26.3 (1~179)

2) 교실 내 학생이 있는 경우 초미세먼지(PM2.5) 농도 범위

현행 교사 내 실내공기질 유지기준은 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (학교보건법 시행규칙 제3조, 개정 19.10.24)이다. 식물 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 1~127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며 적용 이후에는 복도 7~128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 6~148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 1~138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었고 적용 이후에는 복도 1~83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에 복도 1~111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 적용 이후에 복도 1~134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 창가 1~91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 미적용 교실에서 적용 이전 복도는 각각 1~115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~281 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 창가는 각각 1~87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~273 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었으며 적용 이후 복도는 각각 1~134 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 창가는 각각 1~109 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1~99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

표 2. 교실별 식물 및 공기청정기 적용 전후 PM2.5 농도 범위(재실자 있는 경우)

교실 구분	(단위: μg/m³)	설치 전		설치 후	
		복도	창가	복도	창가
식물		29.4±19.5 (1~127)	24±17.5 (1~106)	34.1±18.7 (7~128)	39.4±20.9 (6~148)
식물 및 공기청정기	평균 ±	27.9±20.1 (1~138)	15.9±12.4 (1~85)	15±12.1 (1~83)	26.4±19.7 (1~130)
공기청정기	표준편차 (최소)	22.7±16.6 (1~111)	13.8±11.7 (1~76)	25.5±18.8 (1~134)	15.8±13.9 (1~91)
미적용 교실1	~ 최대)	23.9±17.4 (1~115)	17.5±12.6 (1~87)	29.3±21.2 (1~134)	23±16.8 (1~109)
미적용 교실2		39.5±41 (1~281)	43.5±56.5 (1~273)	25.3±17.6 (1~111)	17.8±13.9 (1~99)

3) 교실 내 학생이 있는 경우 이산화탄소(CO2) 농도 범위

현행 교사 내 실내공기질 유지기준: 1,000 ppm (학교보건법 시행규칙 제3조, 개정 19.10.24)이다. 식물 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 270~4161 ppm, 창가 321~4272 ppm이고 적용 이후에는 복도 333~3788 ppm, 창가 358~3983 ppm으로 나타났다. 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에는 복도 219~3767 ppm, 창가 249~3549 ppm이고 적용 이후에는 복도 381~3986 ppm, 창가 366~3800 ppm으로 측정되었다. 공기청정기 적용 교실에서 적용 이전에 복도 240~3923 ppm, 창가 268~3952 ppm이고 적용 이후에 복도 342~4834 ppm, 창가 325~4860 ppm이었다. 미적용 교실에서 적용 이전 복도는 각각 283~4393, 246~4197이며 창가는 각각 272~5001 ppm, 261~5001 ppm이고 적용 이후 복도는 각각 342~4838 ppm, 355~4875 ppm이며 창가는 각각 354~4925 ppm, 326~4732 ppm이었다.

표 3. 교실별 식물 및 공기청정기 적용 전후 CO2 농도 범위(재실자 있는 경우)

교실 구분	(단위: ppm)	설치 전		설치 후	
		복도	창가	복도	창가
식물		1052±824 (270~4161)	1052±834 (321~4272)	1046±755 (333~3788)	1060±765 (358~3983)
식물 및 공기청정기	평균 ±	886±663 (219~3767)	869±633 (249~3549)	1035±700 (381~3986)	1008±680 (366~3800)
공기청정기	표준편차 (최소)	995±778 (240~3923)	1290±1009 (342~4834)	997±782 (268~3952)	1236±990 (325~4860)
미적용 교실1	~ 최대)	1039±797 (283~4393)	1047±813 (246~4197)	1252±886 (342~4838)	1246±901 (355~4875)
미적용 교실2		1144±968 (272~5001)	1109±949 (261~5001)	1185±946 (354~4925)	1140±919 (326~4732)

전산유체역학 모델링을 통한 식물 최적 배치 방법 검토

식물을 통한 실내공기질 개선에 대한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 현실적으로 실생활 공간에 많은 양의 식물 배치를 통한 개선 효과 실감은 어렵다. 따라서 후속 연구를 통해 전산유체역학 모델링을 통해 실내 미세먼지 확산, 식물 종류에 따른 미세먼지 저감률 등을 분석하고 식물의 적정 배치 방법 개발을 통해 그 효과를 극대화하는 방안을 마련하고자 한다(과제명: 식물 활용 다중이용공간의 미세먼지 저감효과 극대화 방안 연구(PJ0154982020)).

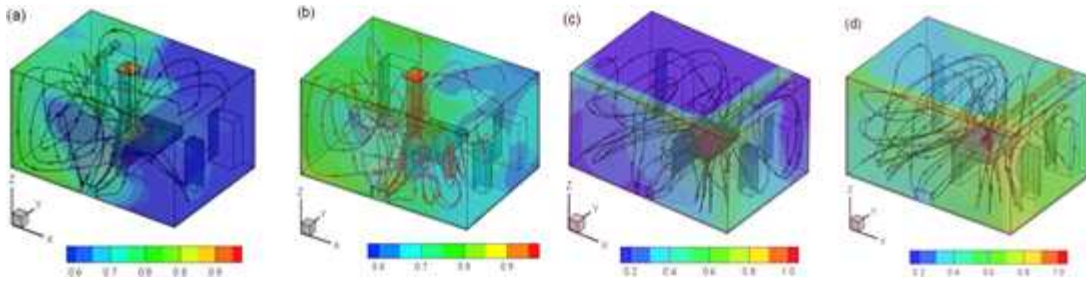


그림 3. 실내 파티클 해석 예시(Xu, 2017)

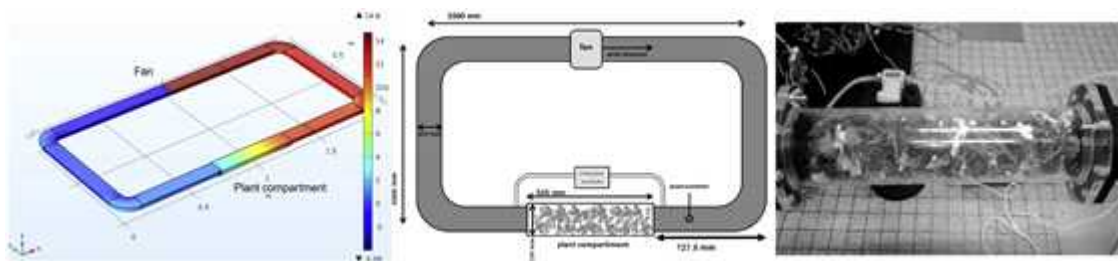


그림 4. 식물 종류에 따른 기류변화 분석 예시(Koch, 2019)

연구 종합 및 결론

미세먼지(PM10)의 경우, 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 약 22.0%, 식물 적용 교실에서 약 7.8%, 공기청정기 적용 교실에서 약 18.9% 감소하였으며, 저감 효과는 공기청정기 적용 교실, 식물 및 공기청정기 적용 교실, 식물 적용 교실 순으로 높은 것으로 나타났다. 초미세먼지(PM2.5)의 경우, 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 약 29.5%, 감소하였으며 식물 적용 교실에서 약 8.8% , 공기청정기 적용 교실에서 약 7.7% 증가하였고 저감 효과는 식물 및 공기청정기 적용 교실, 공기청정기 적용 교실, 식물 적용 교실 순으로 나타났다. 이산화탄소(CO2)의 경우, 공기청정기 적용 교실에서 약 0.1%, 식물 및 공기청정기 적용 교실에서 약 8.5% 증가하였으며, 식물 적용 교실에서 약 0.3% 감소하였고, 식물이 적용된 교실이 그렇지 않은 교실에 비해 낮은 농도 분포를 보이는 것으로 나타났다. 온도와 습도의 경우, 식물 및 공기청정기의 적용 여부에 따른 경향성이 나타나지 않았다. 본 연구에서는 기류를 형성하지 않는 수동형 식재를 적용하였으나 식물과 공기청정기가 함께 설치된 교실의 경우 공기청정기로 인한 기류 형성으로 미세먼지 저감 효과에 영향을 준 것으로 판단된다. 따라서 이후 연계 수행 중인 연구에서는 전산유체역학 모델링을 통해 학교 공간에서의 기류 형

성 등을 파악하고 식물의 최적 배치 방법을 개발을 통해 실내공기질 개선 효과를 극대화하는 방안을 마련할 예정이다. 현실적으로 생활공간에 많은 양의 식물을 적용하기 어려운 만큼 최적 배치 개발을 통해 적은 양의 식물로도 효율적인 실내공기질 개선 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 미세먼지 저감을 위해 식물을 활용함으로써 쾌적한 실내 환경 유지를 통해 건강 증진 및 피해 예방 등 긍정적인 효과를 가진 친환경적 개선 방법으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.