수직수경재배형 식생바이오필터의 PM_{10}, $PM_{2.5}$ 저감효과 분석†

최부헌* · 김태한**

*상명대학교 일반대학원 환경조경학과 · **상명대학교 환경조경학과

Ⅰ. 서론

지난 2019년 1월 15일, 최초로 수도권에서 연속 3일간 미세먼지 비상저감조치가 발령되어 미세먼지에 의한 국민의 건강에 큰 우려를 주고 있다. 이에 환경부는 2019년 2월 15일부로 '미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(미세먼지법)'을 시행하고, 서울시는 2024년까지 환경기준인 25$\mu g/m^3$보다 더욱 강화된 18$\mu g/m^3$ 수준으로 초미세먼지($PM_{2.5}$) 저감목표를 세우고 있다.

정부 및 지자체의 미세먼지 대응정책 강화와 확산은 인체 유해성에 기인하고 있으며, 이와 관련하여 배현주(2014)는 PM_{10} 및 $PM_{2.5}$에 단기노출로 인한 전체원인과 심혈관계 초과사망발생 위험이 통계적으로 유의하게 높은 것으로 보고하였고, 최종일과 이영수(2015)는 $PM_{2.5}$ 배출량 변화가 호흡기계 질환으로 인한 내원 및 입원 확률의 변화에 미치는 영향을 바탕으로 $PM_{2.5}$ 배출량 1톤당 호흡기계 질환의 편익은 2,136억 원으로 추정하고 있다.

이와 같은 미세먼지의 인체 유해성은 일반인에게 생활공간의 미세먼지 농도에 대한 우려를 유발하여, 관련 가전제품의 매출 증가의 중요한 요인으로 작용하고 있다. 반면, 가전제품에 적용되는 항균필터, 살균제 등의 문제로 보다 생태적인 미세먼지 저감방안이 요구되고 있으며, 이에 대한 대안으로 정화식물을 적용한 저감연구 및 시스템 개발이 진행되고 있다.

공기정화용 식물 중 음이온 및 습도 발생이 우수한 종을 선발하여 이를 고도화하기 위해 공기청정기와 결합된 공기정화용 실내정원 시스템 개발(Garden4U, 2014), 화분 지피방법에 따른 공기정화 효율 증가(Kim *et al.*, 2009), 생활공간별 기능에 따른 적정 실내식물 배치(김광진 등, 2014) 등 관련 연구가 수행되었다.

한편, 불특정다수인이 사용하는 건축물 내 다중이용시설의 실내공기질을 양호하게 유지하기 위해 환경부, 국토교통부, 보건복지부 등에서 환기설비의 설계, 설치 및 유지관리에 관련된 기준을 제시하고 있으며, 실내 미세먼지에 대응할 수 있는 실질적인 저감방안이 요구되고 있다.

Ⅱ. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 수직수경재배형 식생 바이오필터 목업은 stand alone형의 바이오필터 시스템으로, 식생바이오필터, 후드형 집진구, 덕트 일체형 프레임, 급기부, 순환형 관수탱크로 구성되어 있다. 상기 시스템에는 총 12개의 바이오필터가 부착되어 약 6m^2의 공기정화면적을 확보하였으며, 식생바이오필터 프레임 내 3겹의 50mm 다층형 필터에 *Hoya carnosa, Schefflera arboricola, Ficus elastica* 등 총 331본의 공기정화식물을 식재하였다. 식재된 식물의 안정적인 생육을 위하여 프레임 상부에 설치된 파이프를 통해 점적관수를 실시하였으며, 55.80L/min의 관수용수가 하부 순환형 관수탱크에서 가압식 원심 인버터 펌프를 통해 내부 카본코팅필터 층을 통과하여 근권부에 공급되도록 설계되었다.

바이오필터 목업 시스템의 프레임 상부에는 정밀제어가 가능한 저소음, 고효율 EC 모터(단상/220V, 1,850rpm, 0.5kW)가 적용된 고성능 팬이 사용되어 최대 풍량 2,000m^3/h, 정압 200Pa의 공조성능을 제공하며, 필터 전방 여과풍속 0.1~0.3m/s 구간에서 2,160~6,480m^3/h의 총풍량이 공급될 수 있도록 설계되었다.

수직수경재배형 식생바이오필터 시스템 목업의 미세먼지 저감성능평가를 위해 시스템 구동에 따른 실내 미세먼지 농도의 시계열 모니터링 인프라를 구축하였다. 발생되는 면풍속 및 토출풍속은 열선프로브(Testo 0635 15430)를 다기능 종합환경 측정기(Testo 480)에 연계하여 바이오필터 35개, 송풍구 25개의 지점에서 측정하였다(SAREK A101-2011).

실험은 2018년 11월 5일 18시 40분에서 20시 40분까지 강의실 환경을 모의한 상명대학교 환경조경학과 환경실습실에서 진행되었으며, 상기 모니터링 및 실험환경 설정에서 다음과 같이 실험을 진행하였다.

a) 시험대상 실내공간의 체적 및 시스템의 면풍속, 토출풍속을 측정하여 총풍량을 산출한다.
b) 시험대상지 중앙에 입자상 오염원 측정기를 설치하고, 시스템 목업 구동환경 설정 등 모니터링 환경을 조성한다.
c) 실험 개시 전 1시간 동안 바이오필터 시스템에 관수를 실시한다.
d) 바이오필터 시스템의 관수 종료 후, 1시간 동안 모기향과 서큘레이터를 사용하여 실험실 내부 공기를 입자상 오염원으로 포화시킨다.

† : 본 성과물은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ014270042019)의 지원에 의해 이루어진 것임.

e) 지속적인 오염원 방출로 실내 미세먼지를 포화시킨 후 모니터링을 시작하고, 시험개시 1시간 경과 후 바이오필터 시스템 목업의 송풍기를 작동하여 구동 전후의 PM_{10}, $PM_{2.5}$의 농도변화를 모니터링한다.

f) 시험 종료후 PM_{10}, $PM_{2.5}$ DB를 입자상 오염원 측정기에서 백업하여 분석한다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

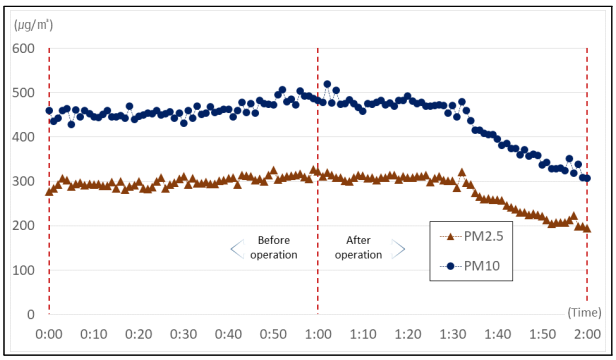

그림 1. 바이오필터 적용 전후의 PM10, PM2.5의 농도변화

바이오필터 상단부의 풍속은 이상치를 제외하고 최소 0.03m/s, 최대 0.14 m/s로 계측되었으며, 면풍속은 평균 0.086m/s (S.D.=0.033), 유입총풍량은 697.19m^3/h로 확인되었다. 바이오필터 하단부의 경우 측정오류는 발생하지 않았으며, 최소 0.00m/s, 최대 0.16m/s로 계측되어, 면풍속 평균 0.066m/s (S.D.=0.032), 유입총풍량은 538.77m^3/h으로 확인되었다. 바이오필터 상·하단부로 유입된 풍량은 총 1,235.96m^3/h가 기록되었다.

실험 대상 공간의 미세먼지 포화지점에서 바이오필터 시스템 가동 직전까지 1시간 동안 $PM_{2.5}$는 평균 299.87$\mu g/m^3$, PM_{10}은 평균 460.33$\mu g/m^3$를 기록하였으며, 시스템 가동 후 미세먼지 농도의 저감이 시작되어 1시간 동안 평균 $PM_{2.5}$ 274.93$\mu g/m^3$, PM_{10} 426.25$\mu g/m^3$의 농도를 기록하였다. 실험 종료시점에서의 미세먼지 농도는 $PM_{2.5}$는 구동 전 최대치 대비 40.4% 저감된 195$\mu g/m^3$, PM_{10}은 39.4% 저감된 307$\mu g/m^3$까지 저감되었다.

참고문헌

1. 김광진, 정현환, 김지현, 김현주(2014) 에코힐링을 위한 실내공기정화식물. 농촌진흥청 국립원예특작과학원.
2. 배현주(2014) 서울시 미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)의 단기노출로 인한 사망영향. 한국환경복원학회지 40(5): 346-354.
3. 최종일, 이영수(2015) 초미세먼지($PM_{2.5}$) 배출량이 호흡기계 질환에 미치는 영향 연구. 환경정책 23(4): 155-172.
4. Kim, K. J., M. J. Kil, M. I. Jeong, H. D. Kim, E. H. Yoo, S. J. Jeong, C. H. Park, and K. C. Son(2009) Determination of the efficiency of formaldehyde removal according to the percentage volume of pot plants occupying a room. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(2): 305-311.
5. SAREK A101-2011: 덕트 풍량 측정방법, 대한설비공학회(2011).
6. http://www.bio-wall.co.kr/garden4u_2013/.