

서울에서 강수에 의한 미세먼지 제거 효과 평가

최우석*, 윤성진**

*수원대학교 데이터과학부, **서울기술연구원 기후환경연구실
e-mail:wschoi@suwon.ac.kr

Evaluation of the aerosol removing effect by precipitation in Seoul

Woosuk Choi*, Seongjin Yun**

*Division of Data Science, University of Suwon, **Division of Climate and Environmental Research, Seoul Institute of Technology

요약

본 연구에서는 대기질 및 기상관측 지점자료를 활용하여 서울에서 강수에 의한 미세먼지 제거 효과를 규명한다. 서울에서 미세먼지 '나쁨' 수준 이상의 고농도 미세먼지가 발생했을 때 강수가 발생할 경우, 수 시간 내에 미세먼지 농도가 급격히 감소하고 관측 최대수준의 시정(20 km)이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 실제 사례 분석을 통해 미세먼지를 효율적으로 제거할 수 있는 강수 조건에 대해 파악하여, 궁극적으로 미세먼지 농도 감소를 위한 적극적인 대처방안의 기준을 도출하고자 한다.

1. 서론

대기에 부유하는 입자상 물질인 미세먼지는 대기에서 발생하는 여러 현상들에 의해 지표면으로 이동하여 대기에서 제거될 수 있다. 이러한 과정을 대기 침적이라 하며, 크게 건식 침적(dry deposition)과 습식침적(wet deposition)으로 나뉘어진다. 건식침적은 대기 중의 미세먼지나 오염물질이 강수가 없는 환경에서 직접 지표면으로 떨어져서 이동되는 것을 의미하고, 습식침적은 대기 중의 미세먼지나 오염물질이 강수에 의해 지표면으로 떨어져서 이동되는 것을 의미한다. 건식 침적은 대기에 부유하는 미세먼지 중에서도 주로 직경이 10 μm 이상인 거대입자의 제거에 효율적이며, 습식침적은 대기 중 오염물질이 강수에 의해 짧은 시간에 많은 양이 제거되는 것으로 알려져 있다.

우리나라는 중위도 편서풍대에 속해 있으며, 동아시아 풍하측에 위치하여 중국에서 발원한 황사를 비롯해 미세먼지와 대기오염물질이 수송되어 대기질이 악화될 수 있다. 특히 서울과 같이 도심이 고밀도로 발달하고 많은 수의 인구가 거주하며, 다양한 산업 활동이 이루어지는 메가시티에서는 외부로부터의 수송 뿐만 아니라 지역적인 미세먼지 배출도 대기질 악화에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. 서울에서는 주로 자동차 등 도로이동오염원에 의한 미세먼지의 직접 배출과 함께 질산염, 황산염 등 미세먼지 전구체에 의한 2차생성이

활발하게 발생하고 있다. 현재까지 각종 규제에 의해 연평균 미세먼지농도는 점차 개선되는 추세이나, '나쁨' 수준 이상의 미세먼지 고농도 사례는 최근에도 매해 수차례 발생하고 있다.

미세먼지는 호흡기를 통해 몸으로 유입되어 축적되고 혈관 속으로 침투하여 염증을 비롯한 각종 호흡기질환, 심혈관질환, 척식 등을 일으킬 수 있으며, 세계보건기구(WHO)에서는 미세먼지를 1군 발암물질로 지정한 바 있다. 미세먼지에 의한 유해성을 줄이고자, 미세먼지 고농도 사례가 발생하거나 예상될 때, 정부와 지자체에서는 미세먼지 및 대기오염물질 배출 저감조치로 대응하고 있으나, 농도 저감에는 한계가 있을 수 밖에 없다. 이미 대기에 많은 입자상 물질들이 존재하므로 대기오염물질의 추가적인 배출이 없어도 고농도 사례가 발생하기 때문이다. 따라서 대기중 미세먼지를 제거하기 위해 배출량 조절 보다 적극적인 방법에 대한 필요성이 제기되고 있다. 도심지에서는 도로변 분진 흡입이나 물청소를 통해 미세먼지 제거를 추진하고 있으나 그 공간규모가 매우 국지적이고, 지표면 근처에서 일시적인 효과를 기대할 수 밖에 없는 한계가 존재한다.

대기에서 자연적으로 발생할 수 있는 미세먼지 제거 방법은 강수에 의한 습식침적이다. 특히 서울과 같이 국외로부터 미세먼지 수송이 활발하고 지역 배출원이 많은 대도시의 경우, 지표면 뿐만 아니라 대기경계층 하부의 전체적 미세먼지

가 효율적으로 제거될 수 있는 기작은 강수뿐이라고 할 수 있다. 선행연구에서는 5 mm hr^{-1} 이상 강우강도가 발생할 때, 미세먼지 제거효과가 있으나 그 보다 적을 시 오히려 미세먼지 농도가 증가한다고 밝힌 바 있다(Yoo et al., 2014; 강원대학교, 2019). 본 연구에서는 고농도 미세먼지 현상이 지속되다가 강수가 발생함으로써 미세먼지 고농도가 급격하게 해소되는 사례를 조사하여 강수에 의한 미세먼지 제거 효과를 평가하였다. 그리고 이러한 미세먼지 제거 효과가 나타나기 위한 강수조건(예, 강우강도, 총 강수량 등)에 대해 고찰한다.

2. 자료 및 방법

2.1 대기질 측정 자료

본 연구에 활용한 대기질 측정 자료는 환경부 한국환경공단 에어코리아 홈페이지에서 제공하는 시간당 미세먼지(PM10)의 최종확정측정자료를 활용하였다. 분석에 사용된 측정소들은 서울시 도로변대기 측정소 14개 지점과 도시대기 측정소 25개 지점이다. 현재 운영되고 있는 도로변대기 측정소 중 시흥대로(111282 지점)에서는 결측이 많아 분석에 활용하지 않았다.

2.2 기상 관측 자료

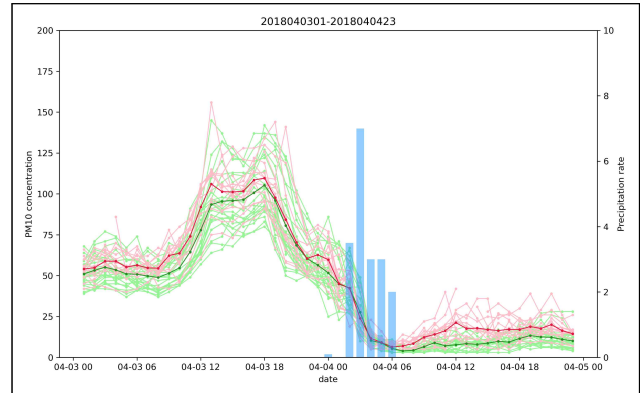
본 연구에서는 서울시 대표 지점인 송월동 기상관측소(47108 지점)에서 관측된 시간당 강수량, 상대습도, 시정을 분석에 활용하였다. 강수에 의한 대기중 상대습도 변화와 미세먼지 세정에 의한 시정의 변화를 함께 분석하고 해석하였다. 충분한 강수는 미세먼지를 세정시키고 시정 값을 증가시키지만, 적은양의 강수는 상대습도를 증가시켜 오히려 미세먼지의 흡습성장에 호조조건이 될 수 있기 때문에 여러 변수들의 종합적인 분석이 필요하다.

3. 결과

3.1 강수 발생에 따른 미세먼지 농도 변화

미세먼지 고농도가 유지되었다가 강수 발생으로 고농도가 해소된 2018년 4월 3~4일 사례를 분석하였다. 분석에 활용된 39개 측정소 모두 비슷한 변동 경향을 보였으며, 도로변 측정소에서 일반적으로 조금 더 농도가 높은 것을 확인할 수 있다. 새벽시간대에 강수가 발생하였는데, 강수 발생 약 6시간 전부터 미세먼지 농도가 점차 감소하는 모습을 보인다. 이는 강수를 유발하는 저기압이 유입되면서 바람이 강해지고 대기 경계층 내 미세먼지 혼합이 활발해지기 때문인

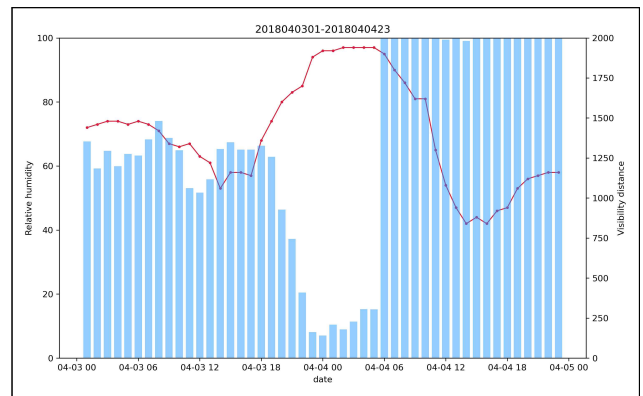
것으로 해석된다. 강수가 발생한 후에는 미세먼지 농도가 매우 낮아지다가, 도로변을 중심으로 조금씩 회복되는 양상을 보인다.



[그림 1] 2018년 4월 3~4일 기간동안 서울에서 측정된 시간별 PM10 농도($\mu\text{g m}^{-3}$, 실선)와 시간당 강수량(mm hr^{-1} , 막대그래프). 14개 도로변대기 측정소를 붉은색으로, 25개 도시대기 측정소를 연두색으로 나타내었으며, 각각의 평균을 빨간색, 짙은 녹색 실선으로 표현하였음.

3.2 상대습도와 시정 변화

강수가 발생할 때에는 상대습도가 95%에 이르고, 시정이 매우 적어지지만, 강수 종료 이후에는 점차 상대습도가 낮아지고 시정이 매우 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이 사례에서는 강수로 인해 미세먼지가 완전히 제거되어 도시가 매우 깨끗한 상태로 될 수 있다는 것을 보여준다.



[그림 2] 2018년 4월 3~4일 기간동안 서울에서 측정된 시간별 상대습도(%), 실선)와 시정(10m, 막대그래프).

참고문헌

- [1] 강원대학교, 강수에 의한 대기중 미세먼지(PM2.5) 세정효과, 2019년
- [2] Yoo, J. M., Lee, Y. R., Kim, D., Jeong, M. J., Stockwell, W. R., Kundu, P. K., Oh, S. M., Shin, D. B., and Lee, S., New indices for wet scavenging of air pollutants (O₃, CO, NO₂, SO₂, and PM10) by summertime rain, Atmos. Environ., 82, 226-237, 2014