

논문

서울의 비휴일과 휴일 간 미세먼지 농도 차이의 시·공간적 변동

Temporal and Spatial Variations of Workday-Holiday Particulate Matter Concentration Differences in Seoul

김종원, 한범순*, 백종진
서울대학교 지구환경과학부

Jong-Won Kim, Beom-Soon Han*, Jong-Jin Baik
School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University,
Seoul, Republic of Korea

접수일 2019년 11월 12일
수정일 2019년 12월 12일
채택일 2020년 1월 6일

Received 12 November 2019
Revised 12 December 2019
Accepted 6 January 2020

*Corresponding author
Tel : +82-(0)2-880-1474
E-mail : hanbs2001@snu.ac.kr

Abstract The temporal and spatial variations of workday-holiday PM₁₀ concentration differences in Seoul were investigated using observation data collected at 25 urban air quality monitoring stations from 2001 to 2017. The 17-year average workday-holiday PM₁₀ concentration difference is 9% of the average PM₁₀ concentration (54.1 μg m⁻³). The annual average PM₁₀ concentration exhibited a decreasing trend. The annual average workday-holiday PM₁₀ concentration difference was large before 2005, and the annual average PM₁₀ concentrations in workdays and holidays were not significantly different after 2005. When Saturday was included in public holidays or yellow dust events appeared more frequently in holidays, the annual average workday-holiday PM₁₀ concentration difference generally decreased. The seasonal average workday-holiday PM₁₀ concentration differences in spring, summer, fall, and winter are 3%, 8%, 13%, and 11% of the average PM₁₀ concentrations, respectively. In spring, yellow dust events reduced the workday-holiday PM₁₀ concentration difference significantly. The hourly average workday-holiday PM₁₀ concentration difference increased in the morning rush hour, up to 12% of the daily average PM₁₀ concentration. This increase was related to the difference in PM₁₀ emission between workdays and holidays which was larger in the morning rush hour. The spatial variability of the average PM₁₀ concentrations at the 25 stations is 3%, and that of the average workday-holiday PM₁₀ concentration differences is 2%. The spatial variability of the average PM₁₀ concentrations decreased in holidays due to the reduced PM₁₀ emission in commercial, business, and industrial areas. In those areas, the workday-holiday PM₁₀ concentration differences are as large as 12% of the average PM₁₀ concentration. Also, the annual average PM₁₀ concentrations in southwest and north areas of Seoul tended to increase and decrease compared to the rest of Seoul, respectively.

Key words: Particulate matter, Workday-holiday PM₁₀ concentration difference, Temporal and spatial variations, Seoul

1. 서론

미세먼지는 주요 대기 오염물질로서 호흡기 질환을 유발하고 식물의 성장을 방해한다 (Wang *et al.*, 2016; Kampa and Castanas, 2008; Grantz *et al.*, 2003; Dockery and Pope, 1994). 많은 나라들이 미세먼지에 대한 대기환경기준을 정해 이로 인한 피해를 줄이려고 노력하고 있으며, 우리나라도 PM₁₀ (직경이 10 μm

이하인 미세먼지)의 24시간 평균 농도 기준을 100 μg m⁻³ 이하로 정해 미세먼지 농도를 관리하고 있다.

도시 지역에서 주말에는 교통량이나 산업 활동이 주중에 비해 적어 미세먼지 배출량이 감소하고 이에 따라 미세먼지 농도가 주중보다 낮아진다 (Jeon and Hwang, 2014; Karar *et al.*, 2006; Lonati *et al.*, 2006). 특히 교통량의 차이가 주말의 PM₁₀ 농도 감소에 큰 역할을 하였으며 (Jones *et al.*, 2008), 교통량이 집중되

는 출근 시간대에 주중과 주말 간 PM_{10} 농도 차이가 가장 크게 나타났다(Qin *et al.*, 2004; Morawska *et al.*, 2002). Adame *et al.* (2014)에 의하면 스페인 안달루시아 지역에서 주말 낮에는 PM_{10} 농도가 주중 낮에 비해 낮았으며, 주말 밤에는 미세먼지를 배출하는 인간 활동이 활발해 PM_{10} 농도가 주중 밤보다 더 높았다. 우리나라에서는 주중과 주말 간 PM_{10} 농도 차이가 대체로 가을과 겨울에 컸으며, 봄에는 미세먼지의 장거리 수송으로 인해 크지 않았다(Kim *et al.*, 2009). 한편, 교외 지역에서는 이러한 주말의 PM_{10} 농도 감소가 나타나지 않았고, 오히려 주말의 PM_{10} 농도가 더 높은 경우도 있었다(Adame *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 2008).

주말에는 주중보다 도시 거주민들의 야외활동이 더 활발해 미세먼지에 노출되는 시간이 더 길다는 점을 고려하면 주중과 주말 간 미세먼지 농도 차이에 대한 연구는 도시 거주민의 생활 환경 평가에 활용되어 대기질 개선 정책 수립에 도움을 줄 수 있을 것이다. 하지만 서울에서 주중과 주말 간 미세먼지 농도 차이를 정량적으로 분석한 연구는 아직 부족하다.

법정 공휴일에는 주중에 비해 교통량이나 산업 활동이 적어 주말과 비슷한 PM_{10} 배출 양상을 보일 것

으로 예상할 수 있다. PM_{10} 배출 감소에 기인한 PM_{10} 농도 변동의 특성을 정확히 파악하기 위해 본 연구에서는 법정 공휴일과 주말을 휴일로, 나머지 날을 비휴일로 분류해 서울의 비휴일과 휴일 간 미세먼지 농도 차이의 시간적, 공간적 변동을 조사하였다.

2. 자료 및 분석 방법

본 연구에서는 서울시 25개 구에 위치한 도시 대기 측정소에서 2001년 1월부터 2017년 12월까지 관측된 매시간 PM_{10} 농도 자료를 사용하였다(Airkorea, 2019). 도시 대기 측정소는 차량에서의 오염물질 배출이 직접적으로 측정에 영향을 미치지 못하도록 도로에서 약간 떨어진 곳에 위치하며, PM_{10} 농도는 베타선 흡수법을 이용해 측정되었다. 그림 1은 서울의 토지이용도(Seoul metropolitan government, 2015)와 측정소의 위치를 나타낸 것이다. 비휴일과 휴일 간 PM_{10} 농도 차이를 분석하기 위해 관측 자료를 휴일에 관측된 자료와 비휴일에 관측된 자료로 분류하였다. 2004년 7월부터 주 5일 근무제를 도입하였으므로 2004년 7월 1일 이전은 일요일과 법정 공휴일을 휴일

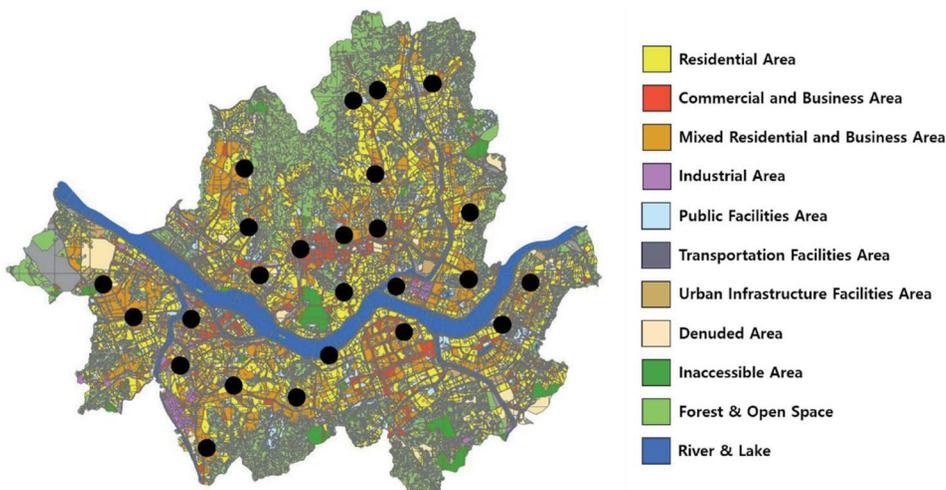


Fig. 1. Land use in Seoul (Seoul metropolitan government, 2015). The black dots indicate the locations of air quality monitoring stations.

로 간주하였고 그 이후는 토요일, 일요일과 법정 공휴일을 휴일로 간주하였다. 17년 동안 비휴일은 4418일, 휴일은 1791일이었다.

3. 결과 및 고찰

2001년부터 2017년까지 17년 동안의 서울 관측 자료를 평균한 PM₁₀ 농도는 54.1 μg m⁻³이며, 휴일과 비휴일로 구분해 평균한 PM₁₀ 농도는 휴일이 50.8 μg m⁻³, 비휴일이 55.4 μg m⁻³이다. 휴일은 비휴일에 비해 평균한 PM₁₀ 농도가 4.6 μg m⁻³ 낮다. 비휴일과 휴일 간 PM₁₀ 농도 차이를 파악하기 위해 비휴일-휴일 PM₁₀ 농도 차이 비율 *R*을 다음과 같이 정의하였다.

$$R = \frac{PM_{10_w} - PM_{10_h}}{PM_{10_a}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 PM_{10_w}는 비휴일의 평균 PM₁₀ 농도, PM_{10_h}는 휴일의 평균 PM₁₀ 농도, PM_{10_a}는 모든 날의 평균 PM₁₀ 농도를 의미한다. 17년 동안 평균한 PM₁₀ 농도의 *R* 값은 9%이다.

17년 동안 서울의 일평균 PM₁₀ 농도가 대기환경기준(100 μg m⁻³)을 넘은 날은 485일이었으며, 이 중 휴일은 108일, 비휴일은 377일이었다. 대기환경기준을 초과한 날의 휴일과 비휴일의 비율은 0.29로 2001년부터 2017년까지 모든 날의 휴일과 비휴일의 비율 0.41보다 작았다. 이는 휴일의 미세먼지 농도가 비휴일에 비해 낮아졌기 때문으로 추정된다.

비휴일과 휴일 간 PM₁₀ 농도 차이의 연변동을 조사하였다. 그림 2(a)는 2001년부터 2017년까지의 휴일, 비휴일, 모든 날의 서울의 연평균 PM₁₀ 농도를 보여준다. 서울의 연평균 PM₁₀ 농도는 대체로 감소하는 추세를 보였으며 이는 PM₁₀ 배출량이 감소하였기 때문으로 추정된다(Kim *et al.*, 2017). 이러한 서울의 PM₁₀ 농도 감소 추세는 Yeo *et al.* (2019)에서도 보고된 바 있다. 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이는 2005년 이전에 크게 나타났다. 2005년 이후에는 휴일과 비휴일의 연평균 PM₁₀ 농도는 대체로 비슷하

였으며 비휴일보다 휴일의 연평균 PM₁₀ 농도가 더 높은 해도 나타났다(2006, 2010, 2011, 2016, 2017년). 각 해의 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위해 *t-test*를 수행하였다. 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이는 2013년을 제외한 모든 해에 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의하였다.

주 5일 근무제의 도입이 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이 감소에 미치는 영향을 조사하였다. 토요일의 연평균 PM₁₀ 농도는 대체로 일요일의 연평균 PM₁₀ 농도보다 높았다. 주 5일 근무제가 도입된 이후의 기간(2004년 7월~2017년 12월) 동안의 평균 PM₁₀ 농도도 토요일(51.0 μg m⁻³)이 일요일(47.8 μg m⁻³)보다 높았으며, 주중(50.2 μg m⁻³)에는 토요일과 비슷하였다. 주 5일 근무제의 도입은 토요일의 통행 패턴에 크게 영향을 미치지 않았으며(Lee, 2006), 이에 따라 토요일의 PM₁₀ 농도에도 큰 영향을 미치지 않은 것으로 추정된다. 따라서 주 5일 근무제가 도입되어 PM₁₀ 농도가 비휴일과 비슷한 토요일이 휴일에 포함된 이

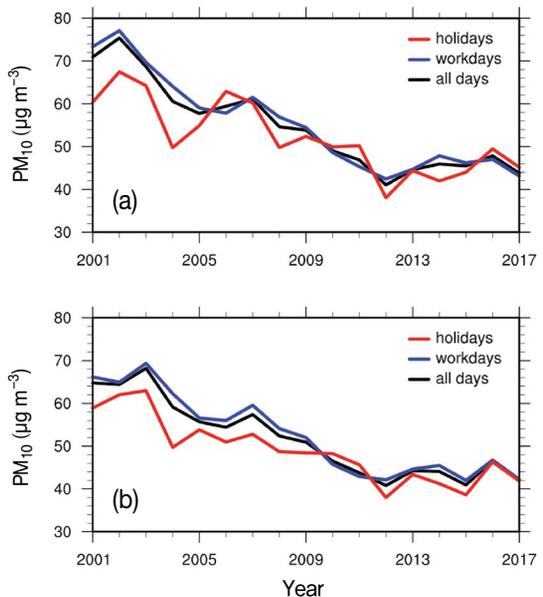


Fig. 2. Annual variations of average PM₁₀ concentrations in all days, workdays, and holidays with yellow dust event days being (a) included and (b) excluded.

후, 휴일의 PM₁₀ 농도가 높아져 비휴일과 휴일 간 PM₁₀ 농도 차이가 줄어들었다.

황사가 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이에 미치는 영향 또한 조사하였다. 그림 2(b)는 기상청의 황사 관측일(<http://www.weather.go.kr>)을 제외한 연평균 PM₁₀ 농도를 보여준다. 황사가 10회 이상 나타나고 출현 빈도가 휴일에 더 높은 해(2006, 2007, 2015, 2017년)는 황사 관측일을 제외하자 휴일의 연평균 PM₁₀ 농도가 비휴일보다 더 크게 감소하였다. 특히 휴일의 PM₁₀ 농도가 비휴일보다 더 높게 나타났던 2006년과 2017년에는 비휴일의 PM₁₀ 농도가 휴일보다 더 높아졌다. 즉 황사의 출현 빈도가 휴일에 더 높으면 휴일의 연평균 PM₁₀ 농도가 높아져 비휴일과 휴일 간 연평균 PM₁₀ 농도 차이가 대체로 줄어들었다.

그림 3은 휴일, 비휴일, 모든 날의 서울의 계절별 평균 PM₁₀ 농도를 보여준다. 비휴일과 휴일 간 계절별 평균 PM₁₀ 농도의 차이는 봄에 2.4 μg m⁻³, 여름에 3.5 μg m⁻³, 가을에 5.9 μg m⁻³, 겨울에 6.9 μg m⁻³이다. 계절별 평균 PM₁₀ 농도의 R 값은 봄에 3%, 여름에 8%, 가을에 13%, 겨울에 11%이다. 봄에 R 값이 가장 작았는데, 이는 비휴일과 휴일 간 PM₁₀ 농도 차이를 줄이는 황사의 영향이 봄에 집중되어 나타나기 때문이다. 황사가 나타난 날을 제외하였을 때 봄 평균 PM₁₀ 농

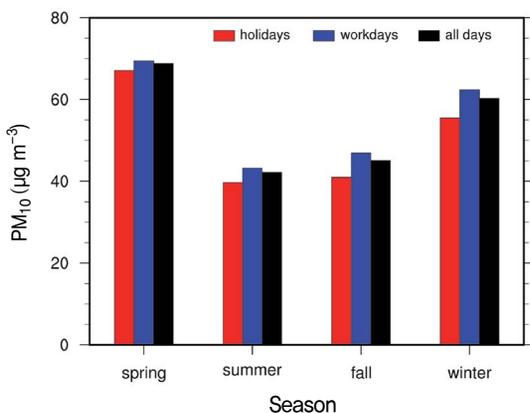


Fig. 3. Seasonal variations of average PM₁₀ concentrations in all days, workdays, and holidays.

도의 R 값은 6%로 증가하였다. Kim *et al.* (2009) 또한 봄에 주말과 주중 간 PM₁₀ 농도 차이가 감소한다고 보고하였고 그 원인을 황사로 추정하였다.

휴일, 비휴일, 모든 날의 서울의 시간별 평균 PM₁₀ 농도와 비휴일과 휴일 간 시간별 평균 PM₁₀ 농도 차이를 조사하였다(그림 4). 휴일과 비휴일의 시간별 평균 PM₁₀ 농도는 출퇴근 시간대에 증가하였으며, 극댓값은 출퇴근 시간대가 약간 지난 후(11 LST, 22 LST)에 나타났다(그림 4(a)). 출근 시간대의 PM₁₀ 농도 증가율은 비휴일에 더 컸기 때문에 비휴일과 휴일 간 시간별 평균 PM₁₀ 농도 차이는 출근 시간대에 계속 증가하였고 극댓값은 11 LST에 나타났다(그림 4(b)). 11 LST에서의 극댓값은 6.7 μg m⁻³로, 이는 17년 동안의 평균 PM₁₀ 농도(54.1 μg m⁻³)의 12%에 해당한다. 퇴근 시간대에는 비휴일과 휴일 간 시간별 평균 PM₁₀ 농도 차이가 대체로 감소하는 추세를 보였으며, 21 LST에 나타난 극댓값도 11 LST에 나타난 극댓값보다 작았다. 이는 비휴일과 휴일 간 PM₁₀ 배

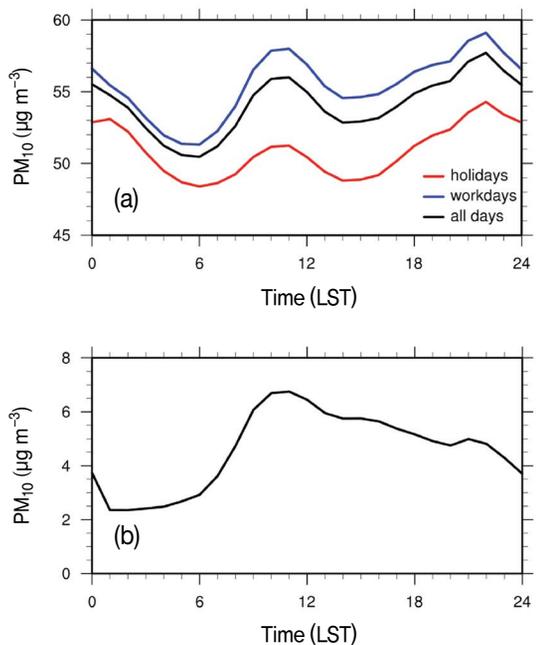


Fig. 4. Diurnal variations of (a) average PM₁₀ concentrations in all days, workdays, and holidays and (b) difference in average PM₁₀ concentration between workdays and holidays.

출량 차이가 퇴근 시간대보다 출근 시간대에 더 크기 때문으로 추정된다.

서울 내 측정소의 17년 동안의 평균 PM_{10} 농도의 공간 분포와 각 측정소의 비휴일과 휴일 간 평균 PM_{10} 농도 차이를 조사하였다(그림 5). 상업 및 업무 시설 지역 (commercial and business area)과 공업 지역 (industrial area)에 위치한 측정소의 평균 PM_{10} 농도는 다른 지역에 위치한 측정소보다 대체로 높았다(그림 5(a)). 각 지역별 평균 PM_{10} 농도는 상업 및 업무시설 지역에서 $54.9 \mu g m^{-3}$, 녹지 및 오픈 스페이스 (forest and open space)에서 $53.3 \mu g m^{-3}$, 공업 지역에서 $57.3 \mu g m^{-3}$, 혼합 지역 (mixed residential and business area)에서 $54.2 \mu g m^{-3}$, 주택 지역 (residential area)에서 $53.6 \mu g m^{-3}$ 이다. 서울 내 측정소의 평균 PM_{10} 농도의 표준 편차는 $1.6 \mu g m^{-3}$ 로, 이는 서울 내 측정소의 전체 평균 PM_{10} 농도 ($54.1 \mu g m^{-3}$)의 3%에 해당한다. 즉 서울 내에서 평균 PM_{10} 농도의 공간적 변동성은 서울 내 측정소의 전체 평균 PM_{10} 농도의 3%라고 볼 수 있다. 휴일과 비휴일에는 서울 내 측정소의 평균 PM_{10} 농도의 표준 편차가 각각 $1.4, 1.7 \mu g m^{-3}$ 이다. 휴일에는 대체로 PM_{10} 농도가 높은 상업 지역과 업무시설 지역, 공업 지역(그림 1)에서의 PM_{10} 농도가 다른 지역보다 많이 감소하기 때문에 공간적 변동성이 줄어든 것으로 추정된다(그림 5(b)). 서울 내 측정소의 비휴일과 휴일 간 평균 PM_{10} 농도 차이의 평균은 $4.6 \mu g m^{-3}$, 표준편차는 $0.8 \mu g m^{-3}$, 최댓값은 $6.3 \mu g m^{-3}$ 로, 이는 각각 서울 내 측정소의 전체 평균 PM_{10} 농도의 9%, 2%, 12%에 해당한다. 최댓값이 평균보다 37% 크므로 최댓값이 나타난 지역에서는 비휴일과 휴일의 PM_{10} 농도 차이가 다른 지역보다 훨씬 크다고 볼 수 있다. 이는 서울 내의 비휴일과 휴일의 PM_{10} 농도 차이는 지역에 따라 크게 달라진다는 것을 의미한다.

서울 내 측정소의 PM_{10} 농도의 상대적인 공간 분포의 시간에 따른 변동을 파악하기 위해 정규화된 PM_{10} 농도의 공간 차이 ND 를 다음과 같이 정의하였다.

$$ND = \frac{PM_{10,obs} - PM_{10,avg}}{PM_{10,avg}} \quad (2)$$

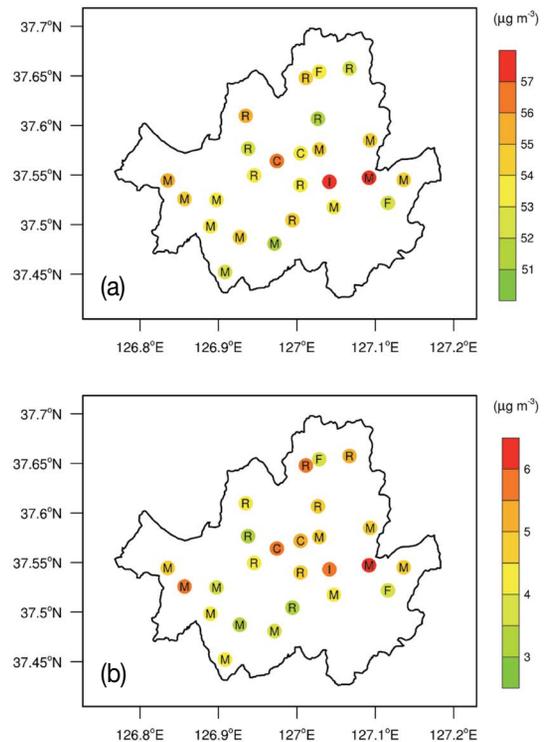


Fig. 5. Spatial variations of average PM_{10} concentrations in (a) all days and (b) differences in average PM_{10} concentration between workdays and holidays. C, F, I, M, and R represent the commercial and business, forest and open space, industrial, mixed residential and business, and residential areas, respectively.

여기서 $PM_{10,obs}$ 는 각 측정소의 PM_{10} 농도, $PM_{10,avg}$ 는 모든 측정소의 평균 PM_{10} 농도를 의미한다. 17년 동안의 연평균 PM_{10} 농도를 이용해 ND 의 공간 분포를 계산하였으며, 이 중 PM_{10} 농도의 공간 변화 추세가 잘 나타나는 2002년과 2010년의 ND 의 공간 분포를 그림 6에 나타내었다. 2002년에 비해 2010년의 ND 는 서울 남서쪽 지역(양천구, 구로구, 영등포구, 동작구, 관악구)에서 대체로 증가하였으며, 서울 북쪽 지역(은평구, 강북구, 도봉구, 노원구)에서 대체로 감소하였다. 즉 서울 내 연평균 PM_{10} 농도는 서울 남서쪽 지역에서 상대적으로 증가하는 추세를, 서울 북쪽 지역에서 상대적으로 감소하는 추세를 보였다.

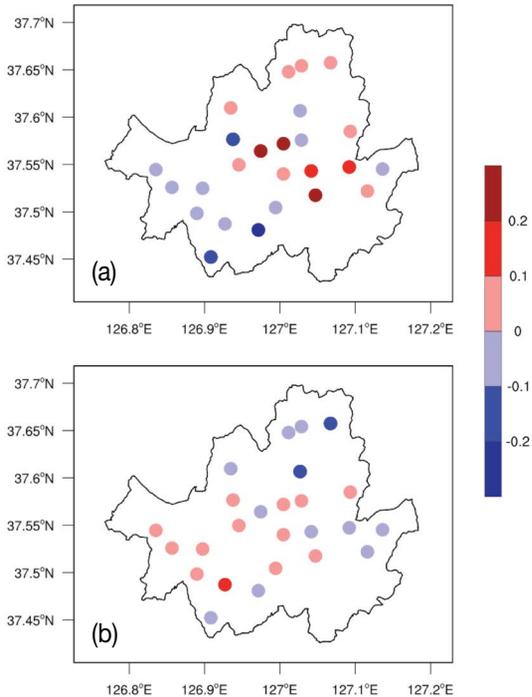


Fig. 6. Spatial variations of normalized annual average PM_{10} concentrations for (a) 2002 and (b) 2010.

4. 요약 및 결론

2001년부터 2017년까지 17년 동안의 서울 관측 자료를 사용해 비휴일과 휴일 간 PM_{10} 농도 차이의 시간적, 공간적 변동을 연구하였다. 17년 동안 평균한 비휴일과 휴일 간 PM_{10} 농도 차이는 $4.6 \mu g m^{-3}$ 이었고 비휴일-휴일 PM_{10} 농도 차이 비율은 9%이었다. 서울의 연평균 PM_{10} 농도는 2001년부터 2017년까지 대체로 감소하였다. 비휴일과 휴일 간 연평균 PM_{10} 농도 차이는 2005년 이전에 크게 나타났고, 2005년 이후에는 휴일과 비휴일의 연평균 PM_{10} 농도가 대체로 큰 차이를 보이지 않았으며, 비휴일보다 휴일의 연평균 PM_{10} 농도가 더 높은 해도 나타났다. 비휴일과 휴일 간 연평균 PM_{10} 농도 차이의 변동에는 주 5일 근무제와 황사가 큰 영향을 주었다. 토요일의 평균 PM_{10} 농도는 전체 평균 PM_{10} 농도와 비슷하기 때문에 주 5일 근무제가 도입되어 토요일이 휴일에 포함

된 이후부터는 비휴일과 휴일 간 연평균 PM_{10} 농도 차이가 감소하였다. 또한 황사의 출현 빈도가 휴일에 더 높은 해는 비휴일과 휴일 간 연평균 PM_{10} 농도 차이가 감소하였다. 계절별 평균 PM_{10} 농도의 비휴일-휴일 차이 비율은 봄(3%)이 여름(8%)과 가을(13%), 겨울(11%)보다 낮았다. 봄에는 비휴일과 휴일 간 PM_{10} 농도의 차이를 줄이는 황사의 영향이 집중적으로 나타났으며, 황사의 발생일을 제외하였을 때 봄의 비휴일-휴일 차이 비율은 6%로 증가하였다. 비휴일과 휴일 간 시간별 평균 PM_{10} 농도 차이는 출근 시간대에 크게 증가하였지만 퇴근 시간대에는 대체로 감소하는 추세가 나타났다. 이는 출근 시간대에는 비휴일과 휴일 간 PM_{10} 배출량 차이가 퇴근 시간대보다 더 크기 때문으로 추정된다. 서울 내에서 평균 PM_{10} 농도의 공간적 변동성은 서울 전체 평균 PM_{10} 농도의 3%이었다. 서울 내 측정소의 비휴일과 휴일 간 평균 PM_{10} 농도 차이의 공간적 변동성과 최댓값은 각각 서울 전체 평균 PM_{10} 농도의 2%와 12%이었다. 비휴일과 휴일 간 평균 PM_{10} 농도 차이는 대체로 상업 지역과 업무시설 지역, 공업 지역에서 다른 지역보다 컸다. 또한 서울 남서쪽 지역에서는 PM_{10} 농도가 상대적으로 증가하는 추세를, 서울 북쪽 지역에서는 PM_{10} 농도가 상대적으로 감소하는 추세를 보였다.

비휴일과 휴일 간 PM_{10} 농도 차이는 본 연구에서 언급된 PM_{10} 배출량과 황사 이외에도 기상 조건에 큰 영향을 받을 수 있다. 향후 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문의 개선을 위해 좋은 의견을 제시해 주신 두분의 심사위원께 감사드립니다.

References

Adame, J.A., Hernandez-Ceballos, M.A., Sorribas, M., Lozano, A.,

- De la Morena, B.A. (2014) Weekend-weekday effect assessment for O₃, NO_x, CO, and PM₁₀ in Andalusia, Spain (2003-2008), *Aerosol and Air Quality Research*, 14, 1862-1874, <https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.02.0026>.
- Airkorea (2019) Final confirmation annual data download, https://www.airkorea.or.kr/web/last_amb_hour_data?pMENU_NO=123.
- Dockery, D.W., Pope, C.A., III (1994) Acute respiratory effects of particulate air pollution, *Annual Review of Public Health*, 15, 107-132, <https://doi.org/10.1146/annurev.pu.15.050194.000543>.
- Grantz, D.A., Garner, J.H.B., Johnson, D.W. (2003) Ecological effects of particulate matter, *Environment International*, 29(2-3), 213-239, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2).
- Jeon, B.-I., Hwang, Y.-S. (2014) Characteristics of weekday/weekend PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at Busan, *Journal of Environmental Science International*, 23(7), 1241-1251, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5322/JESI.2014.23.7.1241>.
- Jones, A.M., Yin, J., Harrison, R.M. (2008) The weekday-weekend difference and the estimation of the non-vehicle contributions to the urban increment of airborne particulate matter, *Atmospheric Environment*, 42(19), 4467-4479, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.001>.
- Kampa, M., Castanas, E. (2008) Human health effects of air pollution, *Environmental Pollution*, 151(2), 362-367, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.012>.
- Karar, K., Gupta, A.K., Kumar, A., Biswas, A.K., Devotta, S. (2006) Statistical interpretation of weekday/weekend differences of ambient particulate matter, vehicular traffic and meteorological parameters in an urban region of Kolkata, India, *Indoor and Built Environment*, 15(3), 235-245, <https://doi.org/10.1177/1420326X06063877>.
- Kim, B.-G., Choi, M.-H., Ho, C.-H. (2009) Weekly periodicities of meteorological variables and their possible association with aerosols in Korea, *Atmospheric Environment*, 43(38), 6058-6065, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.023>.
- Kim, H.-C., Kim, S.-T., Kim, B.-U, Jin, C.-S., Hong, S.-Y., Park, R.-J., Son, S.-W., Bae, C.-H., Bae, M.-A., Song, C.-K., Stein, A. (2017) Recent increase of surface particulate matter concentrations in the Seoul Metropolitan Area, Korea, *Scientific Reports*, 7(4710), <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05092-8>.
- Lee, M.-S. (2006) A study on the changing pattern of freeway leisure trips due to the 5 workday policy, Hanyang University, (in Korean with English Abstract), http://dcolletion.hanyang.ac.kr/public_resource/pdf/000000021287_20200108174033.pdf.
- Lonati, G., Giugliano, M., Cernuschi, S. (2006) The role of traffic emissions from weekends' and weekdays' fine PM data in Milan, *Atmospheric Environment*, 40(31), 5998-6011, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.033>.
- Morawska, L., Jayaratne, E.R., Mengersen, K., Jamriska, M., Thomas, S. (2002) Differences in airborne particle and gaseous concentrations in urban air between weekdays and weekends, *Atmospheric Environment*, 36(27), 4375-4383, [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00337-0](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00337-0).
- Qin, Y., Tonnesen, G.S., Wang, Z. (2004) Weekend/weekday differences of ozone, NO_x, Co, VOCs, PM₁₀ and the light scatter during ozone season in southern California, *Atmospheric Environment*, 38(19), 3069-3087, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.035>.
- Seoul metropolitan government (2015) Land use, http://urban.seoul.go.kr/4DUPIS/sub7/sub7_7_1.jsp.
- Wang, X., Guo, Y., Li, G., Zhang, Y., Westerdaahl, D., Jin, X., Pan, X., Chen, L. (2016) Spatiotemporal analysis for the effect of ambient particulate matter on cause-specific respiratory mortality in Beijing, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(11), 10946-10956, <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6273-5>.
- Yeo, M.-J., Im, Y.-S., Yoo, S.-S., Jeon, E.-M., Kim, Y.-P. (2019) Long-term trend of PM_{2.5} concentration in Seoul, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(4), 438-450, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.4.438>.

Authors Information

김종원 (서울대학교 지구환경과학부 석사과정)
 한범순 (서울대학교 지구환경과학부 박사후연구원)
 백종진 (서울대학교 지구환경과학부 교수)