Check for updates

Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
Vol. 36, No. 3, June 2020, pp. 309-328
https://doi.org/10.5572/KOSAE.2020.36.3.309
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

논 문

부산지역 대기오염물질의 시·공간적 변화(2010~2018)

Spatial-temporal Variations in Air Pollution in Busan Metropolitan City (2010~2018)

김대현, 손윤석[1),*]
부경대학교 지구환경시스템과학부, [1)]부경대학교 환경공학과

Dae-hyeon Kim, Youn-Suk Son[1),*]
Division of Earth Environmental System Science, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea
[1)]*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan, Republic of Korea*

접수일 2020년 3월 17일
수정일 2020년 4월 12일
채택일 2020년 4월 29일

Received 17 March 2020
Revised 12 April 2020
Accepted 29 April 2020

***Corresponding author**
Tel : +82-(0)51-629-6522
E-mail : sonys@pknu.ac.kr

Abstract Busan is a representative seaport in Korea and has characteristics including commercial, industrial and residential areas. In this study, in order to evaluate the status of air quality in Busan metropolitan city, the levels of the five major air pollutants (such as PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2 and O_3) were analyzed by year, month, autonomous district and measurement station. As as result, the ambient levels of the four substances except O_3 have been shown to decrease steadily since 2010. We found that the levels of air pollutants in Busan are heavily influenced by the season. When analyzing the correlation between pollutants, PM_{10} showed a high correlation with $PM_{2.5}$ (r^2=0.70), but little correlation with ozone (r^2=0.04). As a result of analyzing the levels of air pollutants according to the characteristics of the autonomous district, the concentrations of SO_2 and O_3 were higher in autonomous districts containing ports (Yeongdo-gu and Jung-gu) than in other autonomous districts. On the other hand, the levels of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were considerably higher in the industrial areas (Sasang-gu and Saha-gu) than other areas. In addition, it was also confirmed that the levels of air pollutant differed significantly depending on the location of the monitoring site, even if they were installed in the same autonomous district.

Key words: Air pollution, PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2, Air quality monitoring station (AQMS)

1. 서 론

대기오염물질은 가스상과 입자상 물질로 구분되고 입자상 물질은 크기에 따라 미세먼지(PM_{10}: 입경 10 μm 이하)와 초미세먼지($PM_{2.5}$: 입경 2.5 μm 이하)로 분류된다. 국민의식의 향상과 미세먼지 문제의 대두로 인하여 PM_{10}과 $PM_{2.5}$에 대한 관심이 급격하게 증가하고 있고, 이에 따라 종래에 있던 PM_{10} 대기환경기준에 추가로 2015년부터 $PM_{2.5}$ 대기환경기준(연간 평균치 15 μg/m^3, 24시간 평균치 35 μg/m^3) 항목을 신설하여 시행하고 있다(Kim *et al.*, 2012a). PM_{10}과 $PM_{2.5}$는 폐 기능 감소, 기관지염 발생 등과 같은 호흡기 질환을 유발시키고, 혈관 기능 장애, 혈전증 등 심혈관계 증상의 주요 원인 물질로 알려져 있다(Deng *et al.*, 2019; Choi *et al.*, 2000).

대기오염물질 배출원은 일반적으로 발전소, 산업시설 등의 고정 오염원과 자동차, 항공기, 선박 등과 같은 이동 오염원으로 구분된다. 대기오염물질의 농도는 이와 같은 배출원의 배출강도뿐만 아니라 지형적 특성과 기상조건에도 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Seo *et al.*, 2012). 아황산가스(SO_2)는 주로 난방, 발전, 산업용 연소시설에서 석탄 및 석유와 같은

화석연료의 연소과정에서 주로 발생하며 $PM_{2.5}$의 전구물질로서 대기오염에 큰 영향을 미친다. SO_2는 인체의 호흡기를 통해 흡수되어 호흡관 내벽, 눈, 코 등에 자극을 주며, 오랜 시간 노출될 시 호흡기 질환을 유발하는 것으로 알려져 있다(Cheng and Zhang, 2018). 따라서 전 세계적으로 SO_2의 배출량을 줄이기 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다(Park *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2018). NO_x도 화석연료의 사용으로 인하여 대부분 발생되며, 자동차와 같은 도로이동오염원이 주 원인으로 알려져 있다(Jang, 2005; Sawyer *et al.*, 2000). NO_x는 그 자체로도 독성을 가지고 있지만 휘발성유기화합물(volatile organic compounds: VOCs)과 광화학 반응을 통하여 지표면 오존(O_3)을 생성한다는 점에서 사람들의 건강에 심각한 위협이 되는 대기오염물질이라고 볼 수 있다(Do *et al.*, 2013). 게다가, SO_x, CO와 같은 대기오염물질의 농도는 과거와 비교하여 낮아지고 있으나, 도로이동오염원이 주 오염원인 NO_x의 경우 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다(Busan metropolitan city IHE, 2011). 지표면 O_3은 배출원에서 직접 배출되지 않고, 대기 중에서 질소산화물과 휘발성유기화합물이 햇빛에 의한 광화학반응을 일으킬 때 2차적으로 생성된다. O_3은 호흡기를 통해 신체에 유입될 시 세포 재생 과정을 방해할 수 있으며, 탈수와 염증 등을 일으킬 수 있다. 또한, 장기간 노출 시 염증과 만성 폐 질환의 잠재적인 원인이 될 수 있으므로 천식 등 호흡계 질환자에게 치명적이며 농작물 생산량에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2012b, 2008).

부산시는 대한민국의 대표적인 항만도시로서 상업, 공업, 주거지역을 모두 포함하고 있는 특징을 가지고 있다. 2013~2017 항만정보통계자료에 따르면 부산항의 경우 2013년부터 2017년까지 연평균 70,178척의 선박이 입출항하였다. 선박은 SO_2뿐만 아니라 PM, NO_x 등의 주된 배출원으로 지목되고 있다(Ledoux *et al.*, 2018). 이와 같은 이유로, 부산항은 중국 7개 항만(Qingdao, Tianjin, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen, Ningbo, Hongkong), Dubai, Singapore와 함께 '세계 10대 초미세먼지 오염항만'으로 선정되었다(Wan *et al.*, 2016). 또한 항만도시의 경우 선박에서 배출되는 배기가스가 해안지역뿐만 아니라 내륙지역의 대기오염과 기후에 상당한 영향을 미치는 것으로도 알려져 있다(Eyring *et al.*, 2010). 항만도시는 SO_2의 농도가 내륙에 비해 높게 나타나는 경향을 보이며 해안지역의 선박배출이 SO_2뿐만 아니라 O_3의 농도에도 영향을 미치는 것으로 연구된 바 있다(Song *et al.*, 2010). 초대형 크루즈선은 경유를 사용하는 디젤 승용차 350만 대에 달하는 황산화물을 배출하는 것으로 알려져 있다(KMI, 2017). 게다가 기존의 연구들은 주로 선박을 대상으로 이루어져 왔으나, 최근에는 선박뿐만 아니라 항만하역장비, 트럭, 기관차 등과 같은 항만주변의 기반시설에 의한 대기오염 문제도 관심이 모아지고 있다(Bailey and Solomon, 2004). 전국 항만에서 항만하역장비의 대기오염물질 배출량을 비교해 본 결과, 부산항의 배출량이 전체의 약 53~58%로 가장 높고, 그 다음으로는 인천항이 약 11~13%를 차지하는 것으로 나타났다(Han *et al.*, 2011). 부산항의 배출량이 전국 항만 중 가장 높은 배출량을 보인 것은 항만시설이 부산시의 대기질에 큰 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 실제로 2016년 부산시의 대기오염물질 배출량 통계에 따르면 부산시 전체 SO_x 배출량의 71.9%가 비도로이동오염원이었으며, 이 중 98.6%가 선박에서 배출되는 것으로 보고됐다. 또한 NO_x 경우, 비도로이동오염원과 도로이동오염원의 배출량이 각각 50.8%(이 중 76.4%는 선박배출)와 31%로 대부분을 차지하는 것으로 알려져 있다(KOSIS, 2020).

본 연구는 부산시 대기오염물질의 농도를 파악하고 부산시 대기질의 특성을 분석하여 향후 부산지역의 대기질 관리 및 정책 수립 방안 등을 위한 기초자료를 제공하기 위하여 수행하였다. 이를 위하여 부산시의 지역적 특성에 따른 시간별, 공간별 대기오염물질의 현황 및 개별 오염물질들 간의 상관성 분석 등을 통하여 오염물질 들의 특성을 조사하였다.

2. 연구 방법

2.1 측정장소 및 측정기간

본 연구에서는 부산지역 내 대기오염물질의 특성 및 대기오염물질 간의 상관성을 분석하기 위하여 전국 시간별 대기오염물질 농도자료를 제공하는 '에어코리아' (https://www.airkorea.or.kr/index) 사이트의 2010년 1월부터 2018년 12월까지 9년간 부산지역 19개 도시대기측정소(Air quality monitoring station: AQMS)에서 측정된 5가지 대기오염물질들(PM_{10}, $PM_{2.5}$, O_3, NO_2, SO_2)의 최종확정자료를 사용하였다. 그림 1은 본 연구에서 사용된 부산시 도시대기측정소의 위치이다.

2.2 데이터 선정 및 분석

데이터 분석을 수행하기 위하여 우선적으로 데이터를 선별하였다. 데이터의 선별기준은 도시대기측정소에서 얻어진 모든 시간별 평균농도데이터 중에서 장비점검, 통신장애 등 이상 데이터가 발생한 경우 표기되는 "-999" 값과 오류로 인한 "0" 값을 제외한 모든 양수값을 사용하였으며 통계분석은 Excel의 다양한 함수와 매크로 기능 등을 사용하였다. 본 연구의 통계분석에 사용된 대기오염물질의 측정 농도값들의 결측률은 PM_{10} (4.7%), $PM_{2.5}$ (3.6%), O_3 (3.1%), NO_2 (3.2%), SO_2 (18.1%)로 나타났다. 이 중 SO_2의 결측률이 다른 물질에 비하여 높게 나타났는데 이는 부산시 동래구와 수영구의 도시대기측정망에서 2010년부터 2018년까지의 측정데이터가 오류로 인하여 존재하지 않기 때문이다(원본데이터 상에서 2010~2014년 자료에서는 오류로 표기, 2015~2018년 자료에서는 공란으로 표기되어 있음). 통계분석은 크게 연간, 월별, 자치구별(강서구(GS), 금정구(GJG), 기장군(GJ), 남구(NG), 동구(DG), 동래구(DR), 부산진구(BSJ), 북구(BG), 사상구(SS), 사하구(SH), 서구(SG), 수영구

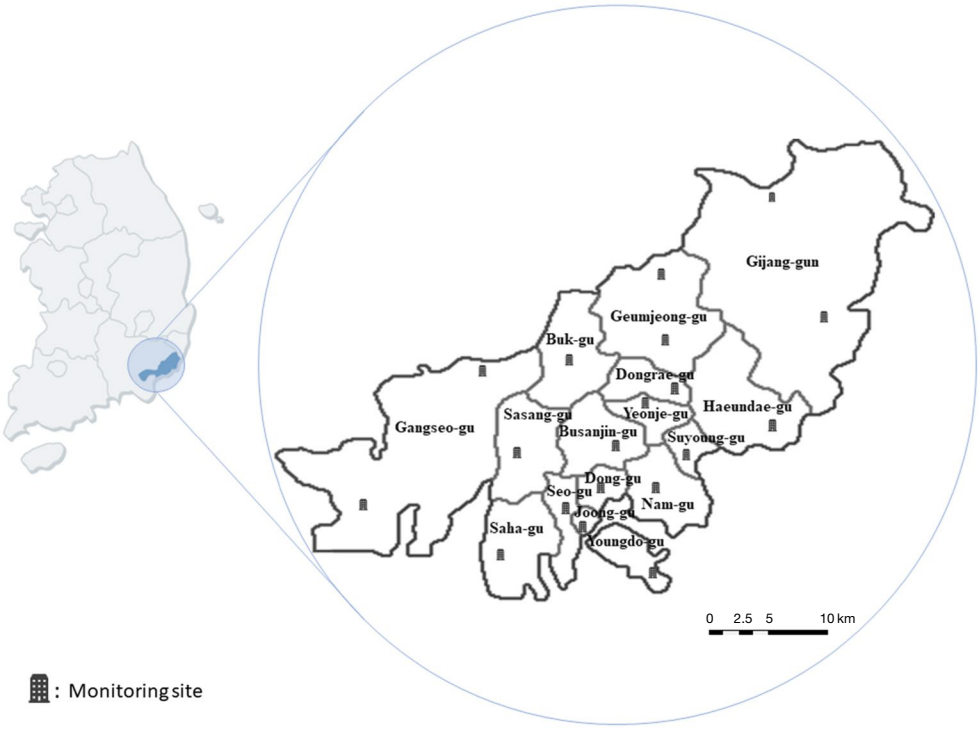


Fig. 1. Air quality monitoring stations (AQMSs) in Busan metroplitan city.

(SY), 연제구(YJ), 영도구(YD), 중구(JG), 해운대구(HUD)), 도시대기측정소별(자치구 내에 2개 이상의 도시대기측정소가 존재할 경우에 한함. 강서구 녹산동(NSD), 강서구 대저동(DJD), 금정구 부곡동(BGD), 금정구 청룡동(CRD), 기장군 기장읍(GJY), 기장군 용수리(YSR)) 간 평균치에 대해서 수행되었으며, 이들에 대한 회귀분석 등을 추가로 수행하였다.

연간 평균치 분석의 경우 2010년부터 2018년까지 9년간의 연간 평균농도의 변화를 분석하였고, 분석방법으로는 1시간 단위로 측정된 대기오염물질의 평균농도를 Excel의 평균값 함수를 사용하여 연도별 평균값을 도출하여 비교하였다. 또한 월별 평균치 분석의 경우, 앞선 연간 평균치 분석을 통해 얻어진 2015~2018년의 농도값을 월별 평균값으로 세분화하여 월별 농도의 변화를 관찰하였다. 이와 더불어 자치구별 및 도시대기측정소 간의 오염물질농도의 차이를 추가로 분석하였으며, 자치구별 대기오염물질의 농도 변화분석을 통하여 부산의 지역적 특성이 각각의 지점별 대기오염물질의 농도변화에 미치는 영향을 알아보았다. 또한, 한 자치구에 두 개 이상의 도시대기측정소가 존재하는 경우, 각 도시대기측정소에서 측정된 대기오염물질의 농도가 그 자치구를 대표할 수 있는지에 대하여 상관분석을 통하여 적합성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연도별 대기오염물질 현황

표 S1은 부산의 2010년부터 2018년까지 9년간의 대기오염물질의 연평균농도와 표준편차를 나타내고 있다. 대기환경기준은 전국적으로 적용되는 기준이며, 부산시의 대기오염특성에 맞는 지역환경기준을 2004년 1월 조례로 제정 및 공표하였으며, 2016년 11월에 개정하였다. 따라서 본 연구에서는 대기오염물질의 연평균농도 현황분석에 부산광역시의 지역환경기준을 사용하였다. 그림 2에서 PM_{10}의 농도는 2010년 48.7 μg/m^{3}에서 2018년 41.3 μg/m^{3}으로 전체적으로 감소하고 있고, 2010년도 대비 2018년에는 15.2% 감소하였다. 또한 부산광역시 대기환경기준(연간 평균치 50 μg/m^3 이하) 이하인 것으로 나타났다. 2015년도부터 측정을 시작한 $PM_{2.5}$의 경우, 2015년부터 2018년까지 4년간의 연간 평균치는 25.6 μg/m^3, 27.0 μg/m^3, 25.6 μg/m^3 23.0 μg/m^{3}로 소폭 감소하는 것으로 나타났으며, 2015년 대비 2018년의 $PM_{2.5}$ 농도는 10.2% 감소하였다. 또한 정확한 분석을 위해서는 추후 보다 오랜 기간의 측정이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 $PM_{2.5}$의 경우, 모든 해당연도의 $PM_{2.5}$ 농도가 연간 지역환경기준(연간 평균치 15 μg/m^3 이하)을 초과하는 것으로 나타났다.

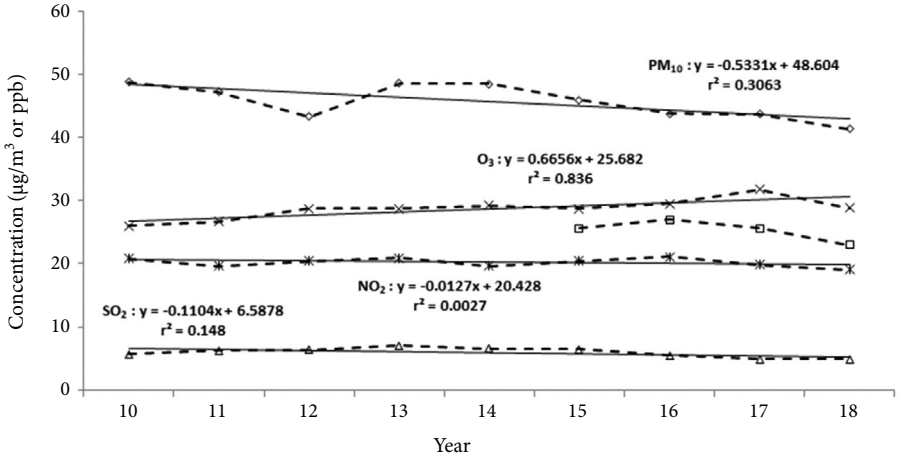


Fig. 2. Variations in annual average concentrations of air pollutant during 2010~2018.

O_3 농도는 2010년 26.0 ppb에서 2017년 31.8 ppb로 꾸준히 증가하고 있으나, 2018년 28.8 ppb로 소량 감소하였다. 증감율의 경우 2010년 대비 2018년에는 10.8% 증가하였다. O_3의 대기환경기준은 8시간 평균치와 1시간 평균치(부산시 지역환경기준 8시간: 50 ppb 이하, 1시간: 70 ppb 이하)로 구분되고 연간 평균치에 대한 대기환경기준은 존재하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 O_3의 연간 평균치를 구하여 농도변화의 경향만을 나타내었다. NO_2와 SO_2의 농도는 2010년 각각 20.9 ppb, 5.6 ppb에서 2018년 19.1 ppb, 4.9 ppb로 연간 지역환경기준(연간 평균치 NO_2: 30 ppb 이하, SO_2: 10 ppb 이하)을 만족하였고 농도는 미흡하게 감소하고 있는 실정이다. NO_2와 SO_2의 증감율의 경우 2010년 대비 2018년에 각각 8.6%와 12.5% 감소한 것을 볼 수 있었다. 일반적으로 대기 중 NO_2의 농도는 도로이동오염원에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Chung *et al.*, 2019). 그러나 본 연구의 결과에서 부산지역의 경우, 차량등록대수는 2010년 1,147,311대에서 2017년 1,333,224대로 꾸준히 증가했지만 이에 따른 NO_2 농도의 뚜렷한 증가는 확인할 수 없었다(Busan metropolitan city, 2020). 또한 2016년 부산시의 대기오염물질 배출량 통계에서 부산시 전체 NO_x 배출량의 50.8%가 비도로이동오염원이며, 도로이동오염원이 31%로 두 번째로 높은 배출량을 나타내는 것으로 알려져 부산시 NO_2의 농도의 경우, 선박에 의한 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다(KOSIS, 2020). 그러나 NO_2의 광화학반응을 통하여 생성되는 물질인 O_3의 농도는 매년 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 부산지역의 지역적 특성에 기인한 것으로 추정되며 이에 대한 정확한 원인을 규명하기 위해서는 추후 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

3. 2 월별 대기오염물질 농도변화

표 S2는 부산의 2015년 1월부터 2018년 12월까지 최근 4년간의 대기오염물질의 월별 농도변화를 나타낸 것이다. 이때, 2010년부터 2014년 사이의 농도를 제외한 이유는 $PM_{2.5}$ 농도가 2015년 이후부터 체계적 관리 및 측정되었기 때문이다. 이를 보다 상세하게 해석하기 위하여 그림 3에 2015년부터 2018년까지의 대기오염물질의 월별 농도를 표시하였다. 그 결과 2015년에서 2018년까지의 대기오염물질들의 월별 농도는 일정한 패턴에 따라 움직이고 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 대기오염물질의 농도가 계절에

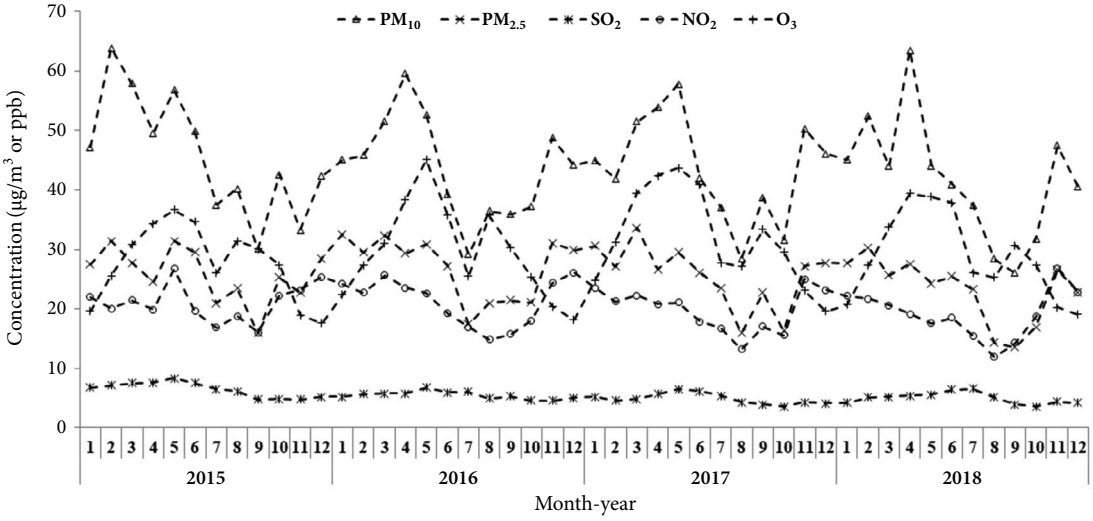


Fig. 3. Variations in monthly average concentrations of air pollutant during 2015~2018.

따라 큰 영향을 받는다는 것을 의미하고 이를 보다 심도 깊게 분석하기 위하여 각각의 대기오염물질의 농도를 계절별로 분리하여 재분석하였다.

그림 4의 (a)~(e)는 PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2, SO_2, O_3의 월별 농도를 나타낸 것이다. 그 결과, 대기오염물질의 계절별 오염 정도를 확인할 수 있었고, 대기오염물질의 농도 수준은 계절에 따라 매년 동일한 패턴을 형성하는 것을 볼 수 있었다. 우리나라는 사계절의 구분이 뚜렷하며 이러한 기후변화는 대기오염물질의 농도변화에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 봄 (3~5월), 여름 (6~8월), 가을 (9~11월), 겨울 (12~2월)로 나누어 해당 기간의 대기오염물질의 계절별 평균농도를 구한 결과, PM_{10}과 $PM_{2.5}$ 농도는 각각 봄 (53.6 μg/m^3) > 겨울 (46.6 μg/m^3) > 가을 (37.8 μg/m^3) > 여름 (37.2 μg/m^3) 및 겨울 (28.8 μg/m^3) > 봄 (28.6 μg/m^3) > 여름 (22.3 μg/m^3) > 가을 (21.7 μg/m^3) 순으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다 (그림 4(a), (b)). 봄철과 겨울철의 PM_{10}과 $PM_{2.5}$의 농도가 여름철과 가을철에 비해 상대적으로 더 높게 나타났는데, 이는 부산시가 우리나라의 가장 남동쪽에 위치하고 있으나 봄철 황사의 영향을 받기 때문으로 판단된다. 이는 PM_{10} 내에 존재하는 $PM_{2.5}$의 비율을 분석한 결과에서도 확인할 수 있었는데, $PM_{2.5}/PM_{10}$은 봄 (0.54), 여름 (0.6), 가을 (0.57), 겨울 (0.62)로 봄철에 PM_{10} 내에 존재하는 $PM_{2.5}$의 비율이 가장 적은 것을 알 수 있었고 이는 봄철 황사로 인하여 PM_{10} 내 조대입자의 비율이 다른 계절보다 많음을 의미한다. 또한 PM_{10}과 $PM_{2.5}$는 강우에 의한 세정효과 (washout)에 의해 제거되기도 하는데 이로 인하여 비교적 강수량이 적은 겨울철에 농도가 여름이나 가을에 비해 높게 나타난 것으로 보인다 (Park and Cho, 2009).

NO_2의 경우, 그림 4(c)에서 겨울 (22.9 ppb) > 봄 (21.8 ppb) > 가을 (19.8 ppb) > 여름 (16.7 ppb) 순서로 난방용 연료사용이 많은 겨울철에 최대 농도를 보였으며 여름철의 경우 장마에 의한 세정효과 (Washout)로 인하여 가장 낮은 농도를 보이는 것으로 판단된다 (Yoo *et al.*, 2014). SO_2의 농도는 봄 (6.3 ppb) > 여름 (5.9 ppb) > 겨울 (5.2 ppb) > 가을 (4.4 ppb) 순서이며, 다른 대기오염물질들에 비하여 계절 간 농도 차이가 미비하지만 봄철에 최대 농도를 보였으며, 가을철에 최소 농도를 나타내었다 (그림 4(d)). 그림 4(e)에서 O_3의 농도는 봄 (37.8 ppb) > 여름 (31.2 ppb) > 가을 (26.4 ppb) > 겨울 (22.8 ppb) 순서로 높게 나타났다. 우리나라를 포함한 동북아시아 지역은 봄철 오존농도가 증가하는 경향을 나타내며 이러한 현상이 일어나는 주요 원인은 겨울 동안 축적된 탄화수소 및 NO_x와 같은 전구물질의 활발한 반응에 의한 오존생성과 성층권과 대류권 간 경계면의 불안정 때문에 발생하는 성층권의 오존유입현상을 이유로 들 수 있다 (Kim *et al.*, 2004). 추가적으로 각각의 물질이 서로 간에 미치는 영향을 분석하였고 그 결과를 그림 S1에 나타내었다. 그 결과, PM_{10} 농도는 $PM_{2.5}$ 농도 ($r^2 = 0.70$)와 큰 상관성을 나타내며, SO_2 ($r^2 = 0.24$)와 NO_2 ($r^2 = 0.27$)에 대해서는 보통 정도의 상관성을 그리고 O_3 ($r^2 = 0.04$)과는 상관성이 낮은 것으로 나타났다. $PM_{2.5}$는 SO_2 ($r^2 = 0.15$)와 NO_2 ($r^2 = 0.23$)에 대해서는 보통 정도의 상관성을 갖는 것으로 나타났고, O_3은 SO_2 ($r^2 = 0.14$)와 NO_2 ($r^2 = 0.19$)와 약간의 상관성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

3. 3 자치구별 대기오염물질 농도분포

표 S3은 2015~2018년 부산시 자치구별 대기오염물질의 평균농도 및 표준편차를 나타낸 것이다. 이를 보다 구체적으로 보면, 그림 5와 같이 자치구별 특성에 따라 특정 대기오염물질의 농도가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 중구와 영도구는 부산지역 내에서도 대표적인 항만지역으로서 SO_2 및 O_3의 농도가 다른 구에 비하여 상대적으로 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이에 반하여, PM_{10}과 $PM_{2.5}$는 전형적인 공업지역인 사상구와 사하구에서 다른 지역에 비해 뚜렷하게 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6은 영도구와 중구를 포함한 항만지역, 사상구와 사하구를 포함한 서부산 공업지역 및 부산시 전체의 2015년부터 2018년까지의 대기오염물질 평균농

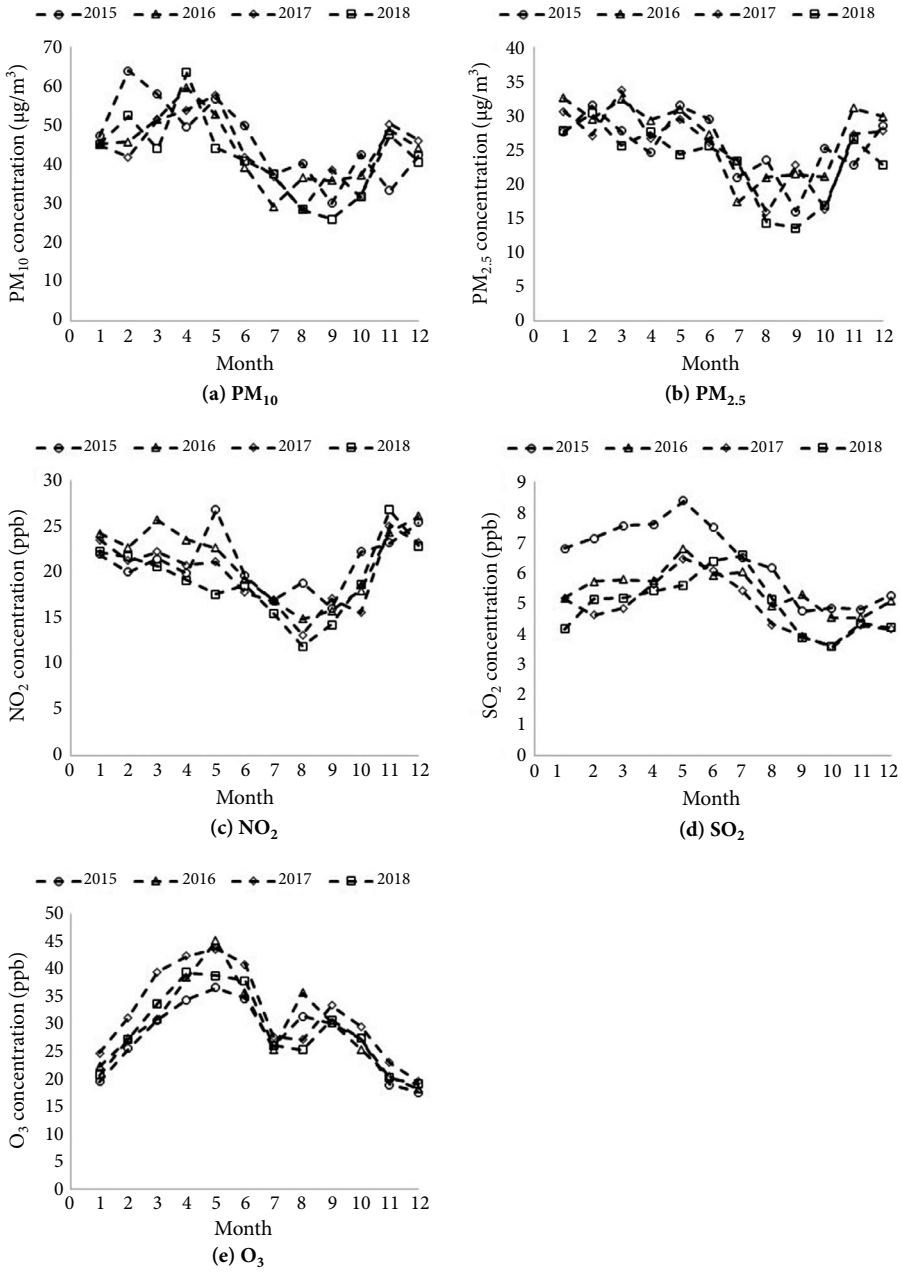
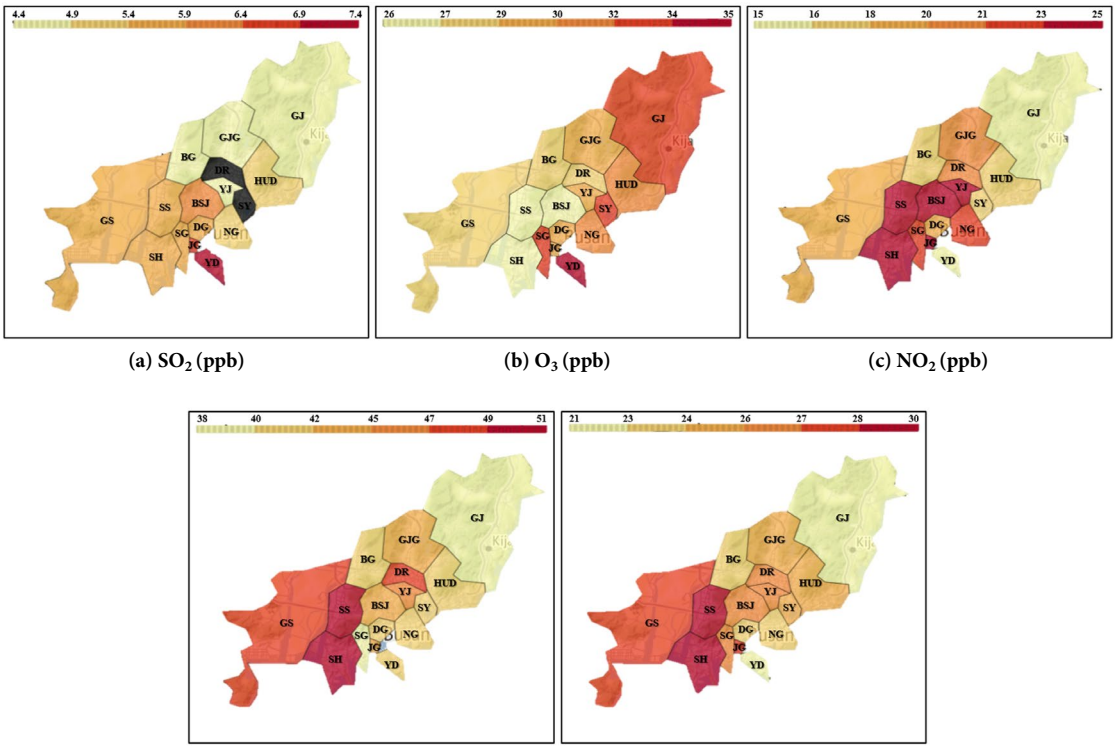


Fig. 4. Seasonal variations in concentration of air pollutant.

도를 비교한 그래프이다. 사상구와 사하구의 NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$ 평균농도는 각각 NO_2 (24.2 ppb, 24.8 ppb), PM_{10} (49.9 μg/m^3, 51.0 μg/m^3), $PM_{2.5}$ (29.6 μg/m^3, 29.9 μg/m^3)이며, 부산시 전체 농도보다 각각 NO_2 (118%, 122%), PM_{10} (114%, 116%), $PM_{2.5}$ (117%, 118%)로 매우 높은 수치를 나타냈다. 이는 서부산 공업지역에서 배출되는 대기오염물질들이 그 주변 지역에 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다(Lee *et al.*,



(a) SO_2 (ppb) (b) O_3 (ppb) (c) NO_2 (ppb)

(d) PM_{10} (μg/m^3) (e) $PM_{2.5}$ (μg/m^3)

Fig. 5. The levels of air pollutant by autonomous districts.

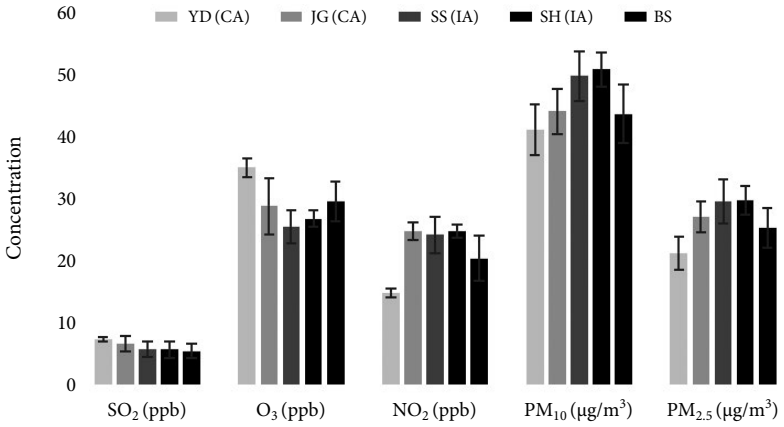


Fig. 6. Comparison of air pollution levels by regional characteristics (CA: Coastal Area, IA: Industrial Area, BS: Total Busan).

1999). 상대적으로 서부산 공업지역 내 사상구와 사하구에서의 SO_2, O_3의 농도는 각각 SO_2 (5.7 ppb, 5.7 ppb), O_3 (25.5 ppb, 26.8 ppb)으로 부산시 전체 농도인 5.5 ppb, 29.7 ppb에 비해 낮거나 비슷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 영도구와 중구로 대표되는 항만지역의 SO_2 농도는 각각 7.4 ppb, 6.7

ppb로 부산시 전체 농도보다 135%, 123% 수준으로 높게 나왔다. 이는 항만 내에 정박되어 있는 선박 및 그 부대시설에서 발생되는 SO_2가 주변지역에 영향을 미치는 것으로 판단된다(Fameli *et al.*, 2020; Mousavi *et al.*, 2018). 영도구의 O_3 농도는 35.1 ppb로 부산시 전체의 118% 수준으로 높게 나타났으나, 중구의 경우 28.9 ppb로 부산시 전체의 97% 수준으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 대기오염물질의 농도는 각 자치구의 지역적 특성에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

3. 4 부산시 도시대기측정소별 대기오염물질 농도 분석

표 S4는 2015~2018년 부산시 자치구 중 도시대기측정소가 2개 이상 존재하는 지역의 측정소별 대기오염물질의 평균농도, 표준편차 등을 각각 나타낸 것이다.

강서구의 경우, 녹산동과 대저동에 도시대기측정소가 존재하며 강서구 녹산동의 SO_2, O_3의 평균농도는 각각 6.3 ppb, 32.0 ppb이며, 부산시 전체의 115%, 108% 수준으로 매우 높게 나타났다. 또한 PM_{10}, $PM_{2.5}$의 농도는 47.0 μg/m^3, 25.3 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 107%, 107% 수준으로 높게 나타났다. 이는 녹산동이 산업단지가 존재하고 동시에 해안에 인접하고 있으며 부산신항이 존재하기 때문으로 판단된다. 반대로 NO_2 경우 20.4 ppb로 부산시 전체의 97% 수준으로 조금 낮게 나타났다. 그러나 산업단지만 존재하는 대저동의 경우 SO_2, O_3, NO_2 의 평균농도는 각각 5.1 ppb, 24.9 ppb, 15.3 ppb이며 부산시 전체의 93%, 84%, 75% 수준으로 비교적 낮게 나타났으며, 반대로 PM_{10}, $PM_{2.5}$의 농도는 48.7 μg/m^3, 27.8 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 111%, 110% 수준으로 매우 높은 수치를 나타냈다.

금정구의 경우, 부곡동과 청룡동에 도시대기측정소가 존재하며, 부곡동의 경우 NO_2, O_3의 평균농도는 20.6 ppb, 30.9 ppb로 부산시 전체의 101%, 104% 수준으로 비슷하거나 약간 높게 나타났지만 SO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 평균농도는 각각 4.5 ppb, 40.4 μg/m^3, 23.7 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 81%, 92%, 94% 수준으로 조금 낮게 나타났다. 청룡동의 경우 측정소 오류로 인하여 SO_2의 농도는 측정되지 않았으며, O_3의 경우 28.5 ppb로 부산시 전체의 96% 수준으로 조금 낮게 나타났다. 반대로 NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 경우 20.6 ppb, 45.7 μg/m^3, 26.3 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 101%, 104%, 104% 수준으로 비슷하거나 높은 수치를 나타냈다. 이는 청룡동 일대에 노포동 금정공영차고지를 기점으로 버스노선이 집중되어 있고 교통량이 많기 때문으로 판단된다(Lee *et al.*, 2014).

기장군의 경우, 기장읍과 용수리에 도시대기측정소가 존재하며 기장읍의 경우 O_3의 평균농도는 33.5 ppb로 부산시 전체의 113% 수준으로 매우 높게 나타났으며, SO_2, NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 평균농도는 각각 4.9 ppb, 15.9 ppb, 38.6 μg/m^3, 22.4 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 89%, 78%, 88%, 88% 수준으로 매우 낮게 나타났다. 용수리의 경우 O_3의 평균농도는 31.7 ppb로 부산시 전체의 107% 수준으로 높게 나타났으며, SO_2, NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 평균농도는 각각 4.6 ppb, 16.2 ppb, 37.8 μg/m^3, 21.9 μg/m^{3}으로 부산시 전체의 85%, 79%, 86%, 86% 수준으로 매우 낮게 나타났다. 기장읍과 용수리 모두 O_3의 농도가 부산시 전체보다 높게 나타났는데 이는 해안에 인접해 있는 지역은 NO_x의 적정이 약하며 O_3의 생성속도가 높기 때문으로 판단되며(Murena *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018), SO_2, NO_2, PM_{10}, $PM_{2.5}$의 농도는 부산시 전체보다 일괄되게 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 위와 같은 차이를 보다 명확하게 확인하기 위하여 각 측정소 간의 물질별로 통계분석을 수행하였고 그 결과를 표 1과 그림 S2에 나타내었다. 강서구의 경우, 두 지점에서 측정된 PM_{10}과 $PM_{2.5}$의 농도는 유의한 차이(p-values > 0.05)를 나타내지 않았지만, SO_2, O_3, NO_2는 측정지점 간에 유의한 농도 차이(p-values < 0.05)를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이와 반대로 금정구에서 측정된 결과에서는 PM_{10}과 $PM_{2.5}$ (p-values < 0.05)는 유의한 차이를 나타냈지만, O_3와 NO_2의 경우에는 유의한 차이

Table 1. The levels of air pollutant by measurement sites in areas where two urban air quality monitoring stations exist in the autonomous districts of Busan from 2015 to 2018.

Gu	Sampling site	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
		Mean	±SD	p-value	r^2	Mean	±SD	p-value	r^2	Mean	±SD	p-value	r^2	Mean	±SD	p-value	r^2	Mean	±SD	p-value	r^2
GSG	N	6.3	2.0	0.0034	0.1412	31.9	7.6	0.00002	0.5339	19.8	5.6	0.0014	0.3921	46.9	11.1	0.4235	0.6878	27.1	6.4	0.4872	0.6083
	D	5.1	1.8			24.9	7.6			16.6	3.7			48.8	11.6			28.0	6.2		
GJG	B	4.6	1.4	–	–	31.0	8.3	0.1256	0.83	20.5	4.9	0.8259	0.1794	39.8	9.8	0.0028	0.6152	23.6	5.6	0.0153	0.6859
	C	–	–			28.5	7.6			20.7	5.0			45.8	9.4			26.4	5.4		
GJN	G	5.3	2.0	0.0025	0.0318	34.5	7.9	0.0222	0.1097	16.6	3.8	0.1389	0.0873	41.1	7.9	0.0003	0.0437	23.4	3.9	0.0065	0.1554
	Y	4.2	1.1			30.8	7.5			15.5	3.3			34.9	8.2			20.7	5.6		

(p-values＞0.05)를 나타내지 않는 것으로 확인되었다. 그리고 기장군에 설치된 측정소에서는 NO_2 (p-values＞0.05)를 제외한 모든 물질이 유의한 농도 차이(p-values＜0.05)를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로 미루어볼 때, 동일한 구 안에서도 측정망의 위치에 따라 일부 구에서는 측정소 간에도 대기오염물질의 농도가 상당히 다르게 측정될 수 있음을 의미한다. 그리고 이는 앞으로 도시대기측정망을 설치하고 운영하고 그 측정값을 공포하고 정책에 반영하는 데 있어서 그 지역의 대표성을 확보하기 위해서는 측정망 위치를 보다 신중하게 선정해야 한다는 것을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 부산시의 대기오염물질 농도를 시간 및 공간 단위로 해석함으로 부산시 대기질의 실태를 파악하고, 향후 부산지역의 대기오염물질 관리 및 정책수립 등에 도움을 주고자 연구를 수행하였다. 이를 위하여 5가지 대표 대기오염물질의 연간, 월간, 자치구 간, 측정소 간 평균농도 및 오염물질 간의 상관관계 등을 회귀분석 등을 사용하여 평가하였다. 그 결과 부산시의 경우, 5가지 대표 대기오염물질 중 O_3을 제외한 모든 물질들이 2010년부터 2018년도까지 꾸준히 감소하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 월간 분석된 대기오염물질의 농도를 보면 우리나라는 4계절이 뚜렷하여 계절별로 오염물질의 농도 패턴이 확연히 구분되기 때문에 계절에 따른 대표 오염물질을 저감하고 관리하기 위한 계절별 맞춤형 전략이 절실할 것으로 판단된다. 그리고 부산지역의 경우 지역에 따른 오염물질의 분포도 확연히 다른 것을 볼 수 있었는데, 이에 따라 구별 또는 지역 간의 우선순위 오염물질에 대한 차별화된 관리 방안이 강구되어야 정책의 실효성을 보다 극대화할 수 있을 것이다. 게다가 본 논문에서는 비록 제시하고 있지는 않지만 일변화, 시간 변화 및 용도구역 특성에 따른 분석 등에 대한 연구를 추가적으로 수행하면 대기오염

물질의 관리를 보다 효율적이고 체계적으로 할 수 있을 것이다. 그리고 동일 구 안에 설치된 대기오염측정망의 농도값을 비교한 결과, 동일 구 안에서도 측정망 간의 농도값의 차이가 큰 것으로 나타났다. 따라서 향후 도시대기측정망 자료 등을 이용하여 연구 및 정책 등을 진행할 때는 사용하는 지점의 대표성 및 활용 조건 등에 따라 측정망을 적절하게 선정해야 할 것이다.

감사의 글

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University (2019 year).

References

Bailey, D., Solomon, G. (2004) Pollution prevention at ports: clearing the air, Environmental Impact Assessment Review, 24(7-9), 749-774. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.005

Busan metropolitan city (2020) statistics status of vehicle registration office, https://busan.go.kr/car/crcounty (accessed March 17, 2020).

Busan Metropolitan City IHE (2011) The Annual Report of Busan Metropolitan city Institute of Health & Environment, https://www.busan.go.kr/ihe/hedataroom04 (accessed March 17, 2020).

Cheng, G., Zhang, C. (2018) Desulfurization and Denitrification Technologies of Coal-fired Flue Gas, Polish Journal of Environmental Studies, 27(2), 481-489. https://doi.org/10.15244/pjoes/75959

Choi, C.K., Yoo, S.Y., Jeon, B.K. (2000) A Study on the Characteristics of Concentrations of Atmospheric Aerosols in Pusan (in Korean with English abstract), Korean Journal of Environmental Health Society, 26, 41-48.

Chung, T.H., Kim, S.M., Mun, S.H., Hong, H.K., Lee, S.H., Seo, S.J., Kim, J.H., Jung, S.W., Kim, I.G., Lee, J.C., Lee, J.T. (2019) A Study on NO_2/NO_x Ratio and NO_x Emission Characteristics of Heavy-Duty Diesel Vehicles, Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 41(4), 221-227 (in Korean with English abstract). https://doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.4.221

Deng, Q., Deng, L., Miao, Y., Guo, X., Li, Y. (2019) Particle deposition in the human lung: Health implications of particulate matter from different sources, Environmental Research, 169, 237-245. https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.014

Do, W.G., Jung, W.S., Yoo, E.C., Kwak, J. (2013) An Investigation into Air Quality of Main Roads in Busan using Mobile Platform Measurement, Journal of Environmental Science International, 22(9), 1199-1211 (in Korean with English abstract). https://doi.org/10.5322/JESI.2013.22.9.1199

Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. (2010) Transport impacts on atmosphere and climate : Shipping, Atmosphere Environment, 44 (37), 4735-4771. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.04.059

Fameli, K.M., Kotrikla, A.M., Psanis, C., Biskos, G., Polydoropoulou, A. (2020) Estimation of the emissions by transport in two port cities of the northeastern Mediterranean Greece, Environmetal Pollution, 257, 113598. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113598

Han, S.H., Kim, W.J., Jung, Y.W. (2011) Estimation of Air Pollutant Emissions from Port-Related Sources in the Port of Incheon, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 27(4), 460-471 (in Korean with English abstract). https://doi.org/10.5572/KOSAE.2011.27.4.460

Jang, N.S. (2005) A study of Distribution Characteristic of NO_2 Concentration at Busan Metropolitan City, Journal of Environmental Science International, 14(11), 1035-1047 (in Korean with English abstract). https://doi.org/10.5322/JES.2005.14.11.1035

Kim, H.J., Lovell, S.J., O'Farrell, J., Cho, Y.S. (2008) The Measures of Ozone Pollution : An Analysis of Ozone Concentration Data in USA, Asian Journal of Atmospheric Environment, 2(1), 47-53. https://doi.org/10.5572/ajae.2008.2.1.047

Kim, H.S., Kim, J.H., Lee, H.J. (2004) The Analysis of the Nocturnal Ozone Variations over Kangreung and Wonju, Journal of the Korean Earth Science Society, 25, 474-483 (in Korean with English abstract).

Kim, K.M., Seo, S.H., Park, J.H., Kim, T.H., Lee, J.H., Son, Y.S. (2018) A Study on Additives for Improvement of SO_2 Removal Process using an Electron Beam, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 34(6), 772-779. https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.6.772

Kim, M.K., Do, W.G., Cho, J.G. (2012a) The Analysis of Atmospheric Environment Features Using the Urban Atmospheric Environment Map in Busan, The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health Environment, 22, 177-200 (in Korean with English abstract).

Kim, M.K., Lee, H.W., Jung, W.S., Do, W.G. (2012b) Analysis on the Effect of Meteorological Factors related to Difference of Ozone Concentration at the Neighboring Areas in Gijang Busan, Journal of Environmental Science International, 21(9), 1097-1113 (in Korean with English abstract). https://doi.org/10.5322/JES.2012.21.9.1097

Korea Maritime Institute (KMI) (2017) KMI Trend Analysis, https://www.kmi.re.kr/web/trebook/view.do?rbsIdx=273&page=28&idx=30 (accessed on May. 18, 2017).

Korean statistical information service (KOSIS) (2020) http://kosis.kr/search/search.do?query=%EB%8C%80%EA%B8%B0%EC%98%A4%EC%97%BC%EB%AC%BC%EC%A7%88%C2%A0%EB%B0%B0%EC%B6%9C%EB%9F%89 (accessed on April. 08, 2020).

Ledoux, F., Roche, C., Cazier, F., Beaugard, C., Courcot, D. (2018) Influence of ship emissions on NO_x, SO_2, O_3 and PM concentrations in a North-Sea harbor in France, Journal of Enviromental Sciences, 71, 56-66. https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.030

Lee, D.H., An, S.S., Song, H.M., Park, O.H., Park, K.S., Seo, G.Y., Cho, Y.G., Kim, E.S. (2014) The Effect of Traffic Volume on the Air Quality at Monitoring Sites in Gwangju, Journal of Environmental Health Sciences, 40(3), 204-214. https://doi.org/10.5668/JEHS.2014.40.3.204

Lee, H.W., Won, G.M., Bae, S.J. (1999) The Prediction and Evaluation Air Pollutants Concentration around Industrial Complex by using Atmospheric Dispersion Models Based on ISCST3, FDM, AERMOD, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, 8(4), 485-490.

Mousavi, A., Sowlat, M.H., Hasheminassab, S., Pikelnaya, O., Polidori, A., Weiss, G.B., Sioutas, C. (2018) Impact of particulate matter (PM) emissions from ships, locomotives, and freewats in the communities near the ports of Los Angeles (POLA) and Long Beach (POLB) on the air quality in the Los Angeles county, Atmospheric Environment, 195, 159-169. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.044

Murena, F., Mocerino, L., Quaranta, F., Toscano, D. (2018) Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy, Atmospheric Environment, 187, 70-83. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.056

Park, G.H., Cho, J.G. (2009) Evaluation of Pollution Characteristics and Chemical Composition of $PM_{2.5}$ in Ambient Air in Busan, The Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, 19(1), 187-198 (in Korean with English abstract).

Park, J.H., Ahn, J.W., Kim, K.H., Son, Y.S. (2019) Historic and futuristic review of electron beam technology for the treatment of SO_2 and NO_x in flue gas, Chemical Engineering Journal, 355, 351-366. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.103

Sawyer, R.F., Harley, R.A., Cadle, S.H., Norbeck, J.M., Slott, R., Bravo, H.A. (2000) Mobile sources critical review : 1998 NARSTO assessment, Atmospheric Environment, 34(12-14), 2161-2181. https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00463-X

Seo, W.M., Shon, Z.H., Song, S.K. (2012) Characteristics of the Emissions and Concentrations of Air Pollutants with Change in Traffic Volume during the Beach Opening Period in Busan, Journal of Environmental Science International, 21(9), 1149-1162 (in Korean with English abstract). http://doi.org/10.5322/JES.2012.21.9.1149

Song, S.K., Shon, Z.H., Kim, Y.K., Kang, Y.H., Oh, I.B., Jung, C.H. (2010) Influence of ship emissions on ozone concentrations around coastal areas during summer season, Atmospheric Environment, 44(5), 713-723. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.010

Wan, Z., Zhu, M., Chen, S., Sperling, D. (2016) Pollution: Three steps to a green shipping industry, Nature, 530(7590), 275-277. https://doi.org/10.1038/530275a

Wang, H., Lyu, X., Guo, H., Wang, Y., Zou, S., Ling, Z., Wang, X., Jiang, F., Zeren, Y., Pan, W., Huang, X., Shen, J. (2018) Ozone pollution around a coastal region of South China Sea:interaction between marine and continental air, Atmospheric Chemistry and Physics, 18, 4277-4295. https://doi.org/10.5194/acp-18-4277-2018

Yoo, J.M., Lee, Y.R., Kim, D.C., Jeng, M.J., Stockwell, W.R., Kundu, P.K., Oh, S.M., Shin, D.B., Lee, S.J. (2014) New indiced for wet scavenging of air pollutants (O_3, CO, NO_2, SO_2, and PM_{10}) by summertime rain, Atmospheric Environment, 82, 226-237. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.022

Authors Information

김대현 (부경대학교 지구환경시스템과학부 석박사연계과정)
손윤석 (부경대학교 환경공학과 조교수)

SUPPLEMENTARY MATERIALS

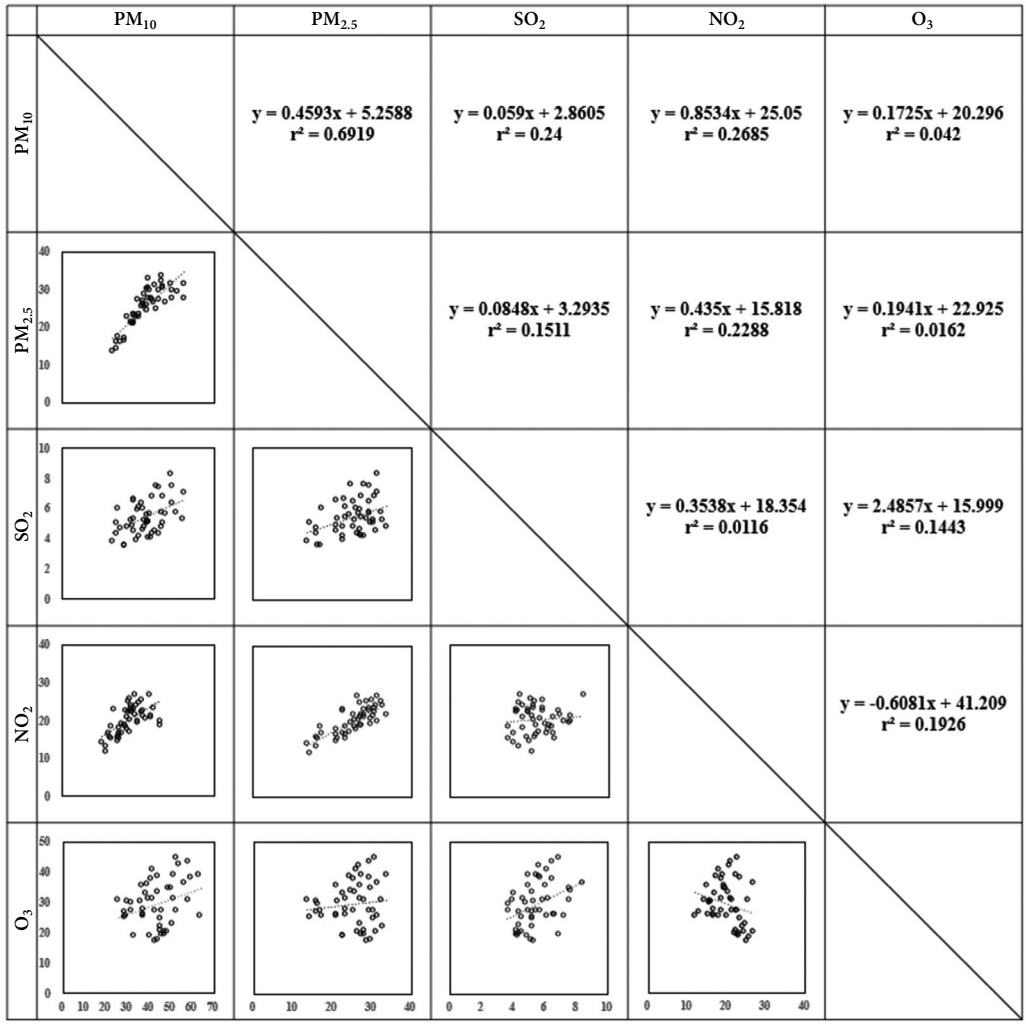


Fig. S1. The correlation analysis between air pollutants.

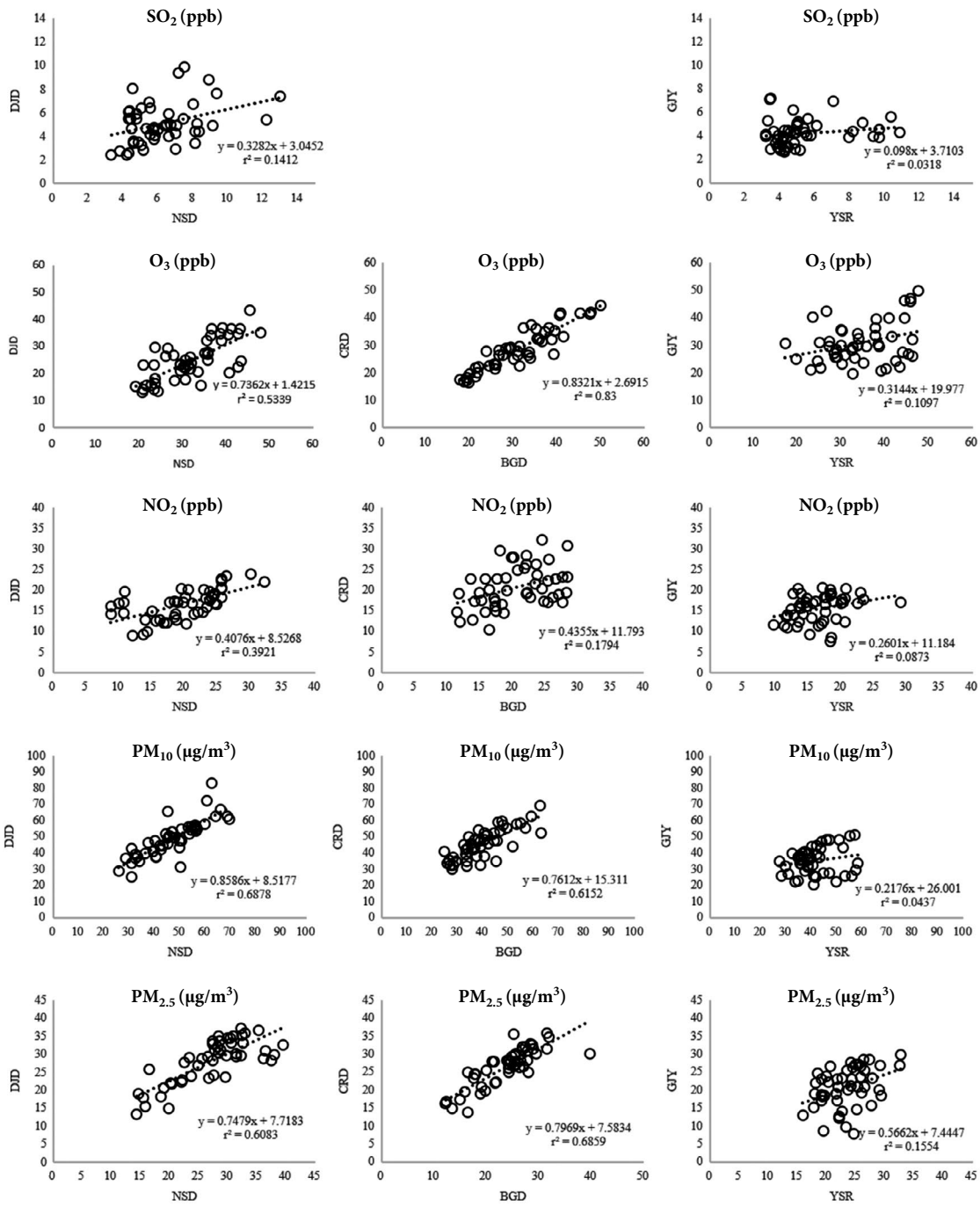


Fig. S2. The correlation analysis between air quality monitoring stations.

Table S1. Annual average concentrations of air pollutant in Busan metropolitan city during 2010~2018.

Year	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)			
	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
10	129459	5.6	4.6	1~126	142517	26.0	15.7	1~173	142416	20.9	13.6	1~182
11	122318	6.2	4.8	1~179	148305	26.6	14.9	1~121	148166	19.7	12.5	1~191
12	126634	6.4	4.1	1~103	152770	28.7	16.4	1~144	152989	20.5	12.6	1~130
13	136935	7.1	4.2	1~312	162359	28.8	16.3	1~130	161670	20.9	13.1	1~173
14	136020	6.6	3.9	1~148	160244	29.2	16.5	1~137	161632	19.7	12.4	1~156
15	135872	6.5	4.2	1~98	161913	28.8	17.2	1~160	161296	20.5	13.0	1~200
16	136439	5.5	3.6	1~77	162844	29.6	17.8	1~156	162529	21.2	12.9	1~122
17	134522	4.9	3.3	1~77	161345	31.8	18.0	1~152	161061	19.8	12.6	1~113
18	139370	4.9	3.2	1~73	165387	28.8	16.9	1~153	165012	19.1	12.2	1~112

Year	PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
10	142048	48.7	50.5	1~2510				
11	148096	47.2	38.3	2~882				
12	152096	43.3	25.3	1~265				
13	162083	48.6	28.6	2~434				
14	158579	48.5	29.4	2~321				
15	144274	45.9	27.5	2~383	158242	25.6	15.3	1~144
16	161536	43.8	26.1	2~380	161410	27.0	15.6	2~166
17	160711	43.6	23.3	1~330	160272	25.6	14.9	1~164
18	165545	41.3	25.8	1~400	165930	23.0	15.0	1~158

Table S2. Monthly average concentrations of air pollutant in Busan metropolitan city during 2015~2018.

Year	Month	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
		N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
15	1	13260	6.8	3.9	2~98	15522	19.6	10.9	1~66	15419	21.9	13.5	1~115	15369	47.2	26.3	3~258	15306	27.5	14.8	1~119
	2	11902	7.2	4.0	1~61	13938	25.6	12.8	1~86	13372	20.0	11.9	1~93	13831	63.8	43.1	4~383	13862	31.4	16.7	2~131
	3	13122	7.6	4.6	1~72	15421	30.8	15.8	1~113	15350	21.4	14.3	1~99	15372	57.9	33.7	3~332	14945	27.7	16.0	2~142
	4	12677	7.6	4.6	1~47	14573	34.4	16.2	1~103	14680	19.9	13.4	1~100	14652	49.6	28.9	3~178	14598	24.6	14.4	1~104
	5	12950	8.4	5.3	1~63	15261	36.6	21.1	1~153	15022	26.8	18.6	1~244	15348	56.8	21.5	3~173	15076	31.4	14.2	2~144
	6	12831	7.5	4.7	1~53	14977	34.6	17.5	1~135	14974	19.6	12.8	1~242	14032	49.8	25.1	3~197	14800	29.5	16.9	1~123
	7	11646	6.5	4.3	1~45	13302	26.0	17.2	1~125	13526	16.9	10.8	1~120	10338	37.4	21.5	3~151	12961	21.0	15.5	2~106
	8	12169	6.2	4.4	1~58	14827	31.4	21.4	1~160	14642	18.8	11.4	1~140	10778	40.3	18.9	2~132	14403	23.5	14.9	1~88
	9	12691	4.8	2.7	1~35	14853	30.2	14.5	1~109	14788	16.1	10.2	1~80	10327	30.1	12.6	3~140	14170	15.9	8.2	2~69
	10	12559	4.8	2.7	1~43	14802	27.4	15.8	1~101	14752	22.2	14.1	1~97	10614	42.6	22.5	3~171	14303	25.3	16.3	2~105
	11	12871	4.8	3.0	1~72	15041	19.0	12.1	1~69	15020	23.2	13.8	1~99	13052	33.2	17.6	3~132	14499	22.7	12.4	3~111
	12	12706	5.3	2.5	1~39	14964	17.6	11.0	1~55	14935	25.4	13.6	1~127	14542	42.3	22.0	4~196	14575	28.5	14.9	4~123
16	1	11681	5.2	3.0	1~32	13935	22.3	11.2	2~60	13990	24.2	14.6	1~118	13914	45.1	24.8	4~209	13945	32.6	18.4	2~137
	2	10574	5.8	3.0	1~77	13053	27.4	13.0	2~77	12808	22.7	13.9	3~122	13107	45.8	25.9	4~218	13035	29.5	17.8	2~126
	3	11375	5.8	3.3	1~39	13676	31.0	16.3	1~86	13497	25.7	14.2	3~101	13490	51.5	24.5	5~175	13568	32.3	16.4	2~141
	4	11239	5.7	3.9	1~69	13277	38.4	18.2	1~107	13122	23.5	14.0	1~98	13337	59.6	44.8	2~380	13191	29.3	15.7	3~119
	5	11498	6.8	5.1	1~64	13813	45.1	20.2	2~154	13808	22.6	14.0	2~114	13556	52.7	33.9	3~309	13556	30.9	16.2	2~125
	6	10459	5.9	4.0	1~61	12749	35.7	17.7	1~110	12767	19.2	10.5	2~88	12553	39.2	16.6	3~140	12486	27.2	12.9	2~92
	7	11204	6.1	4.6	1~75	13559	25.5	16.8	1~115	13746	17.0	8.8	1~71	13514	29.2	13.1	3~99	13301	17.4	9.9	2~83
	8	11769	4.9	3.6	1~76	13868	35.7	20.6	2~156	13969	14.9	8.8	1~90	13765	36.5	15.9	3~127	13730	21.0	13.1	2~96
	9	11429	5.3	3.7	2~51	13579	30.2	16.5	2~106	13575	15.8	9.8	1~88	13364	35.9	16.0	3~120	13368	21.4	11.5	2~78
	10	11580	4.6	2.6	1~43	13833	25.4	14.6	1~85	13770	18.0	10.2	1~71	13620	37.2	16.1	4~130	13561	21.1	10.9	3~89
	11	11426	4.5	2.4	1~34	13558	20.4	12.8	1~76	13550	24.4	12.4	1~100	13457	48.7	22.0	5~166	13492	31.1	13.7	3~116
	12	11752	5.1	2.9	1~36	13943	18.1	11.9	2~67	13926	26.1	14.5	3~111	13858	44.1	25.4	3~225	13890	29.8	17.6	3~166

Table S2. Continued.

Year	Month	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
		N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
17	1	11792	5.2	3.3	2~77	14015	24.7	12.8	1~69	14001	23.5	14.4	3~90	13924	45.0	24.0	5~209	13912	30.6	19.2	1~164
	2	10639	4.6	2.7	1~40	12625	31.2	14.7	1~93	12600	21.2	13.6	1~97	12586	41.9	19.4	5~194	12564	27.1	13.9	1~115
	3	11740	4.9	2.5	2~36	13911	39.4	18.0	1~121	13892	22.2	13.1	3~92	13830	51.5	20.4	5~167	13901	33.6	14.1	3~108
	4	11333	5.7	3.4	2~38	13123	42.4	19.1	3~118	13095	20.8	11.9	2~85	13026	53.9	23.9	3~210	13007	26.7	11.6	1~80
	5	11621	6.5	4.2	2~65	13105	43.7	19.6	1~152	13042	21.1	12.6	2~113	13064	57.8	38.3	5~330	13054	29.5	14.4	1~100
	6	11403	6.1	4.0	1~41	13039	40.9	18.3	2~132	12906	17.8	10.2	1~85	12876	41.9	16.9	2~111	12972	26.1	13.5	1~86
	7	11342	5.4	4.1	1~55	13450	27.8	17.8	1~122	13538	16.8	9.5	1~67	13491	37.1	16.3	2~153	13163	23.4	13.4	1~85
	8	11455	4.3	2.7	1~50	13454	27.2	15.7	1~111	13536	13.2	7.5	1~68	13537	28.4	10.6	3~89	13453	15.9	8.0	1~64
	9	10676	3.9	2.7	1~33	13393	33.3	19.0	1~138	13269	17.1	11.2	1~81	13314	38.7	21.2	1~149	13284	22.8	16.3	1~91
	10	10852	3.6	2.3	1~30	13853	29.6	13.4	1~111	13812	15.6	11.1	1~93	13856	31.6	14.1	5~122	13750	16.3	9.3	1~89
	11	10649	4.3	2.5	1~31	13405	23.0	13.4	1~69	13405	25.0	14.0	2~83	13265	50.3	18.6	9~209	13252	27.2	12.4	2~116
	12	11020	4.2	2.5	1~38	13972	19.6	11.4	1~52	13964	23.2	14.1	3~75	13942	46.1	24.5	3~229	13960	27.7	17.6	1~162
18	1	11049	4.2	2.2	1~48	13481	20.7	11.1	1~52	13478	22.2	13.6	1~93	13484	45.1	25.1	5~296	13528	27.7	17.1	1~125
	2	9981	5.1	2.5	2~33	11974	27.3	12.7	2~64	11889	21.7	12.8	3~112	11967	52.4	23.9	8~195	12020	30.3	16.6	1~143
	3	11293	5.2	2.9	2~46	13497	33.7	15.2	2~89	13418	20.6	12.7	2~87	13613	43.9	24.7	3~255	13598	25.6	17.1	1~158
	4	11222	5.4	3.4	1~41	13362	39.4	17.5	1~132	13307	19.1	12.7	2~93	13325	63.4	40.7	2~400	13375	27.6	14.3	2~119
	5	11621	5.6	3.9	1~73	13775	38.8	17.1	1~112	13771	17.6	11.1	1~92	13847	44.1	22.3	5~174	13763	24.3	13.5	2~94
	6	11354	6.4	4.2	1~59	13498	37.8	19.9	2~136	13497	18.5	11.3	2~94	13383	41.0	19.0	4~138	13452	25.5	15.1	2~104
	7	10936	6.6	4.6	1~61	13092	26.1	20.6	1~150	12992	15.5	10.0	1~78	13158	37.4	18.9	2~130	13192	23.3	15.3	2~119
	8	11746	5.1	3.4	1~58	13728	25.3	14.0	2~99	13805	11.9	7.1	1~55	13953	28.4	9.7	5~101	14024	14.3	7.2	2~66
	9	11265	3.9	2.2	1~26	13560	30.7	12.7	2~104	13532	14.3	8.8	1~65	13582	26.0	12.4	3~110	13551	13.6	9.0	2~73
	10	11720	3.6	1.9	1~42	13872	27.4	14.8	1~95	13809	18.7	11.4	1~81	13844	31.8	17.5	3~134	13892	16.9	11.5	2~90
	11	11396	4.4	2.6	1~50	13542	20.2	14.9	1~78	13545	26.8	13.4	4~109	13452	47.5	30.4	2~272	13514	26.6	13.3	2~108
	12	11792	4.2	2.3	1~35	14009	19.1	11.5	1~62	13976	22.8	12.9	3~112	13928	40.5	26.6	2~190	14006	22.8	16.5	1~145

Table S3. Status of air pollution concentration by Autonomous districts.

Year	Gu	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
		N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
15	GS	16791	6.9	4.6	1~54	16859	28.3	18.6	1~142	16912	16.2	10.3	1~86	14752	54.1	30.7	4~383	16788	29.2	15.4	2~131
	GJG	7632	4.8	2.5	1~33	16813	27.8	18.1	1~120	16791	22.8	13.5	1~109	14368	45.7	27.0	3~236	16598	26.1	15.1	2~116
	GJG	16979	6.5	3.6	1~55	16956	30.1	17.2	1~142	16744	18.8	10.2	2~80	14895	37.9	26.9	3~289	16488	22.2	12.9	2~96
	NG	8717	5.5	3.0	2~35	8619	29.0	16.0	2~115	8717	22.7	13.0	3~84	8547	41.0	23.6	3~284	8338	22.5	14.0	1~101
	DG	8668	6.2	4.2	1~56	8632	29.5	13.1	3~115	8657	18.0	11.6	1~117	7439	42.9	26.3	3~298	8362	21.9	14.0	2~98
	DR	–	–	–	–	8298	26.0	17.7	1~119	8312	21.2	12.9	1~85	7315	47.9	25.9	2~230	8110	25.4	14.3	1~108
	BSJ	8495	6.8	4.2	2~58	8549	25.6	16.2	1~109	8641	23.5	13.0	2~104	7563	50.1	27.2	7~290	8559	27.2	16.8	1~144
	BG	8461	5.7	4.5	2~89	8458	26.1	16.8	2~120	8450	19.5	12.0	1~200	7621	46.4	26.8	5~306	8545	22.9	14.9	2~102
	SS	8387	6.9	3.7	1~42	8391	25.0	16.8	1~109	8376	21.3	16.0	1~119	7502	53.6	27.9	5~303	8205	32.4	17.3	2~142
	SH	8476	7.6	4.6	1~98	8484	28.6	18.4	2~153	8286	24.5	13.8	2~95	7629	54.4	31.3	3~332	8166	26.9	17.3	2~123
	SG	8688	6.9	3.2	2~32	8630	32.9	17.3	1~143	8692	23.9	13.2	1~88	7565	38.0	24.1	2~313	7977	24.2	15.7	2~135
	SY	–	–	–	–	8663	34.7	17.9	1~160	8689	17.0	10.3	2~88	7018	37.3	22.4	3~215	7954	23.9	15.5	1~111
	YJ	8688	4.4	2.4	2~44	8645	27.5	18.5	1~125	8582	24.2	13.6	2~90	8535	48.0	26.4	5~271	8653	29.6	15.7	3~119
	YD	8699	7.8	4.7	1~52	8695	34.2	16.1	2~136	8644	14.9	10.0	1~66	8366	47.2	27.0	5~302	8417	21.3	13.4	2~100
	JG	8579	8.6	6.2	1~72	8575	23.7	13.1	2~109	8581	26.7	14.1	1~108	7647	49.6	29.3	3~352	8452	29.4	16.3	2~107
	HUD	8611	5.3	3.3	1~40	8645	30.7	16.2	1~116	8221	15.9	14.6	1~187	7511	40.7	22.0	3~183	8629	23.6	11.6	3~78
16	GS	16627	5.6	4.0	1~77	17160	29.2	18.6	1~150	17304	20.1	11.9	2~114	17039	47.1	28.5	4~303	17220	28.5	18.0	2~166
	GJG	8624	4.3	2.1	1~42	17290	28.4	18.3	2~140	17310	21.7	12.9	2~96	17016	42.9	25.1	3~300	17061	25.2	14.4	2~116
	GJG	16899	4.6	3.0	1~50	17013	32.1	17.0	2~139	17016	16.3	9.6	1~67	16920	39.6	22.5	4~303	16875	24.0	12.7	2~101
	NG	8710	5.1	3.4	1~36	8668	30.8	17.3	2~129	8710	22.6	13.8	2~86	8572	43.5	24.0	4~305	8578	25.5	15.1	2~114
	DG	8652	6.0	5.3	1~76	8677	29.6	14.6	2~113	8488	17.7	10.7	2~73	8588	40.7	25.2	2~323	8596	25.9	14.7	3~109
	DR	–	–	–	–	8698	27.0	17.6	1~126	8652	22.1	14.0	1~98	8667	47.8	25.7	3~321	8615	28.1	15.2	2~119
	BSJ	8611	5.8	4.2	1~64	8591	26.3	17.2	2~113	8581	25.4	14.5	2~99	8569	39.8	23.4	3~269	8525	27.4	15.6	2~119
	BG	8404	3.9	1.9	1~19	8454	28.4	18.5	1~133	8330	21.0	13.4	2~118	8531	41.4	23.4	4~267	8565	27.2	14.3	2~116
	SS	8694	6.7	3.5	2~35	8662	25.9	19.2	2~136	8694	28.3	14.1	4~106	8667	50.8	28.9	3~380	8691	31.0	16.8	3~141
	SH	8720	5.8	3.4	2~69	8720	25.7	18.1	2~133	8720	26.3	13.0	3~90	8728	51.7	31.1	4~309	8686	32.3	19.0	2~128
	SG	8290	5.7	2.7	1~32	8238	32.3	17.1	3~142	8281	22.4	12.9	1~100	8246	39.7	24.6	3~279	8228	26.2	14.9	3~120
	SY	–	–	–	–	8698	33.1	16.7	3~156	8681	14.3	8.6	1~56	8382	44.6	25.0	4~318	8158	26.9	15.6	2~115
	YJ	8642	4.3	2.4	1~63	8641	30.5	19.8	1~127	8499	25.9	15.5	3~122	8391	46.6	25.8	4~313	8447	26.6	14.6	2~111
	YD	8642	7.3	4.5	2~50	8624	35.1	17.3	2~112	8510	15.7	9.9	1~67	8478	40.2	28.0	3~361	8482	25.0	14.7	3~123
	JG	8667	6.5	4.0	2~42	8505	27.2	15.4	2~113	8478	25.2	12.8	1~85	8477	43.4	26.4	3~299	8481	29.2	17.2	2~125
	HUD	8267	5.4	3.2	1~51	8217	30.6	17.8	1~154	8287	18.7	9.0	2~73	8277	42.1	25.6	3~307	8214	25.9	14.2	3~125

Table S3. Continued.

Year	Gu	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
		N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max	N	Mean	±SD	Min~Max
17	GS	17270	4.8	3.9	1~77	17232	28.1	16.3	1~121	17244	17.7	11.6	1~85	17157	45.1	24.8	3~275	17240	26.6	16.4	1~147
	GJG	8640	3.6	1.9	1~20	17240	33.5	20.8	2~152	17215	19.7	11.7	2~84	17135	42.0	20.7	6~309	17097	25.4	14.0	1~107
	GJG	17361	4.0	21.5	1~30	17364	35.6	17.4	2~133	17270	14.8	9.6	1~72	17324	39.2	20.2	5~330	17097	23.5	13.3	1~97
	NG	8695	5.0	3.8	1~34	8623	34.0	17.5	2~127	8682	22.3	13.9	2~105	8689	43.5	21.2	5~278	8601	27.8	15.1	1~100
	DG	8169	5.1	4.2	1~50	8129	33.0	15.4	1~109	8165	18.7	11.8	2~103	8153	43.0	25.6	3~303	8147	23.7	13.0	1~92
	DR	–	–	–	–	8598	29.4	18.5	1~121	8601	19.4	12.3	1~86	8554	53.2	24.2	8~327	8550	28.9	14.4	2~107
	BSJ	8554	5.7	4.5	1~65	8553	28.4	17.3	2~120	8575	25.8	15.5	3~107	8533	43.8	24.4	6~298	8498	25.3	15.1	1~103
	BG	8607	4.4	1.8	2~22	8628	30.4	18.8	1~123	8471	16.6	10.7	1~85	8530	36.4	20.1	3~235	8528	20.6	13.2	1~100
	SS	8621	5.0	2.8	1~28	8607	28.7	19.8	1~122	8574	24.5	13.9	1~97	8453	50.9	27.5	5~290	8573	30.1	16.8	1~162
	SH	8646	4.6	2.4	1~24	8617	27.1	17.8	1~128	8467	24.5	19.1	1~93	8638	49.7	27.0	5~244	8617	30.9	18.5	1~164
	SG	8584	5.3	2.6	1~24	8608	33.4	17.6	1~104	8569	21.3	12.4	1~113	8652	41.6	22.5	1~264	8634	26.6	14.4	2~105
	SY	–	–	–	–	7095	30.5	15.7	2~123	7122	18.4	12.6	1~75	7064	41.1	19.0	6~139	6909	22.4	13.2	1~87
	YJ	5413	4.7	2.4	2~31	8136	30.1	17.7	2~120	8143	23.8	15.4	2~94	8057	48.9	22.1	4~285	8049	26.8	14.8	1~96
	YD	8645	6.8	3.9	1~43	8642	37.3	17.7	2~132	8645	15.0	10.0	1~67	8531	39.7	24.5	2~310	8599	19.6	12.2	1~84
	JG	8632	5.7	3.7	1~33	8621	34.4	17.5	2~122	8636	23.7	11.9	3~83	8570	41.6	22.3	2~278	8524	25.3	15.1	1~102
	HUD	8698	5.0	2.6	2~44	8666	32.7	16.5	1~138	8697	17.8	9.6	3~71	8685	42.8	20.6	8~251	8623	26.4	13.1	2~91
18	GS	17268	5.4	3.9	2~58	17316	28.1	17.1	1~132	17166	18.6	12.2	2~112	17117	45.0	27.6	2~324	17324	25.5	16.9	2~125
	GJG	8620	5.2	2.4	2~29	17140	29.2	18.5	2~150	17040	18.3	11.2	1~79	17085	41.5	24.0	3~400	17331	23.3	13.8	2~96
	GJG	17303	3.9	2.0	1~33	17325	32.7	17.0	1~140	17221	14.4	9.7	1~70	17392	36.0	23.0	2~273	17341	18.9	13.5	1~95
	NG	8650	4.5	3.0	1~30	8615	31.2	17.1	1~127	8633	20.5	13.6	1~83	8696	36.8	23.1	3~323	8633	19.0	14.1	1~93
	DG	8610	4.6	3.7	1~73	8623	28.1	13.0	1~126	8646	20.0	13.9	2~92	8668	36.5	24.8	2~308	8586	20.1	13.5	1~87
	DR	–	–	–	–	8655	27.6	18.0	1~143	8575	18.2	10.4	1~68	8635	45.3	27.2	3~394	8608	24.3	15.2	2~107
	BSJ	8635	5.3	3.9	2~61	8626	24.4	15.1	2~128	8618	21.7	13.1	3~94	8683	43.2	27.7	2~336	8668	22.8	15.9	2~107
	BG	8166	4.1	1.6	1~18	8168	26.1	15.8	2~140	8169	15.3	8.4	1~60	8200	41.4	24.1	5~327	8167	22.9	14.2	2~93
	SS	12285	4.3	2.1	1~32	12258	22.3	15.6	1~104	12286	22.8	12.2	2~112	12252	44.3	28.3	2~318	12234	25.1	16.2	1~158
	SH	8556	5.0	2.5	1~31	8502	25.9	16.4	1~134	8679	24.0	13.1	3~80	8715	48.0	28.3	6~319	8735	29.4	17.9	1~143
	SG	8624	4.9	2.5	2~30	8595	30.3	16.1	1~116	8613	18.5	10.7	1~71	8669	40.0	25.1	5~323	8605	25.4	14.8	2~107
	SY	–	–	–	–	8665	30.5	17.7	1~136	8659	20.8	14.3	1~90	8589	45.9	26.6	6~400	8618	24.5	14.6	1~119
	YJ	6749	4.4	2.5	2~33	6973	27.9	17.4	2~128	6968	21.9	14.2	2~93	6867	39.1	26.0	3~369	7032	22.0	13.2	2~84
	YD	8620	7.5	4.4	1~51	8639	33.9	15.8	2~129	8562	13.8	9.3	1~68	8668	37.8	22.9	4~252	8665	19.0	12.0	2~84
	JG	8628	6.2	4.9	2~59	8633	30.2	16.7	2~136	8522	23.7	13.8	2~109	8609	42.1	25.3	4~331	8701	24.5	15.1	1~104
	HUD	8655	4.7	2.2	2~35	8653	31.7	16.0	2~153	8654	17.3	9.4	1~66	8699	38.3	23.8	6~258	8681	21.2	13.1	2~94

Table S4. Status of air pollution concentration by monitoring sites.

Year	Gu	Monitoring site	SO_2 (ppb)				O_3 (ppb)				NO_2 (ppb)				PM_{10} (μg/m^3)				$PM_{2.5}$ (μg/m^3)			
			N	Mean	SD	Min~Max	N	Mean	SD	Min~Max	N	Mean	SD	Min~Max	N	Mean	SD	Min~Max	N	Mean	SD	Min~Max
15	GS	NSD	8206	7.6	5.0	1~53	8201	32.6	20.0	1~142	8220	15.6	11.0	3~86	7329	52.5	28.6	4~332	8214	31.1	17.0	2~129
		DJD	8585	6.2	4.0	2~54	8658	24.2	16.2	2~123	8692	16.7	9.5	1~69	7423	55.7	32.5	6~383	8574	27.3	13.5	2~131
	GJG	BGD	7632	4.8	2.5	1~33	8135	29.4	17.4	3~120	8099	23.0	13.2	1~93	7013	45.5	27.0	3~236	7948	24.9	15.5	2~114
		CRD	–	–	–	–	8678	26.3	18.7	1~114	8692	22.6	13.9	1~109	7355	45.9	27.0	3~228	8650	27.2	14.6	2~116
	GJ	GJY	8644	6.0	3.6	1~55	8606	31.5	17.5	1~142	8536	19.4	10.6	3~80	7431	40.7	30.2	3~289	8524	24.5	14.8	2~96
		YSR	8335	7.1	3.5	2~39	8350	28.6	16.8	1~137	8208	18.1	9.8	2~76	7464	35.2	22.7	3~203	7964	19.8	9.9	2~94
16	GS	NSD	7963	6.2	4.7	1~77	8496	32.3	18.3	1~150	8640	22.6	13.5	2~114	8582	47.2	29.6	4~303	8558	27.3	18.5	2~166
		DJD	8666	5.2	3.1	2~38	8666	26.0	18.3	2~129	8666	17.6	9.4	2~58	8459	47.0	27.4	4~294	8664	29.7	17.3	3~133
	GJG	BGD	8625	4.3	2.1	1~42	8628	29.2	17.5	3~120	8647	18.5	10.1	2~65	8595	38.5	23.0	3~286	8629	24.1	14.3	2~116
		CRD	–	–	–	–	8664	27.6	19.1	2~140	8665	24.9	14.5	3~96	8423	47.4	26.3	4~300	8434	26.4	14.3	2~108
	GJ	GJY	8200	5.1	3.0	2~50	8309	33.3	17.1	2~139	8314	16.0	9.8	2~64	8248	40.4	22.8	4~303	8202	23.3	13.4	2~101
		YSR	8701	4.1	2.9	1~46	8706	30.9	17.0	2~122	8704	16.5	9.5	1~67	8674	38.8	22.2	4~281	8675	24.5	12.1	3~94
17	GS	NSD	8625	5.0	3.9	1~51	8586	30.8	15.7	1~98	8624	19.3	12.7	2~85	8640	44.8	24.8	3~230	8634	25.6	16.6	1~138
		DJD	8646	4.6	4.0	1~77	8647	25.4	16.4	2~121	8621	11.4	10.0	1~63	8518	45.5	24.8	5~275	8607	27.6	16.2	1~147
	GJG	BGD	8640	3.6	1.9	1~20	8641	35.7	19.8	2~131	8620	21.0	12.2	2~81	8634	38.4	19.4	7~285	8626	24.1	13.6	2~91
		CRD	–	–	–	–	8600	31.2	21.5	2~152	8596	18.4	11.0	3~84	8502	45.6	21.3	6~309	8472	26.7	14.3	1~107
	GJ	GJY	8701	4.1	2.2	1~29	8699	35.2	17.0	2~126	8700	14.4	9.8	2~67	8656	39.7	20.7	5~330	8575	24.4	12.8	1~90
		YSR	8661	3.9	2.0	2~30	8666	36.0	17.7	2~133	8571	15.1	9.3	1~72	8669	38.8	19.8	6~289	8523	22.5	13.6	1~97
18	GS	NSD	8610	6.3	4.6	2~58	8661	32.2	17.1	1~132	8608	21.5	13.7	2~112	8714	43.4	28.2	3~304	8682	24.4	16.6	2~119
		DJD	8658	4.5	2.9	2~35	8655	24.0	16.1	1~128	8558	15.7	9.6	2~60	8403	46.6	26.8	2~324	8642	26.7	17.1	2~125
	GJG	BGD	8620	5.2	2.4	2~29	8628	29.5	17.6	2~131	8623	19.9	11.4	1~72	8585	39.0	23.2	3~340	8697	21.8	13.4	2~91
		CRD	–	–	–	–	8512	29.0	19.4	2~150	8417	16.6	10.8	2~79	8500	44.0	24.5	6~400	8634	24.9	14.1	2~96
	GJ	GJY	8648	4.3	2.0	2~33	8665	34.1	16.8	2~140	8651	13.7	9.6	1~61	8673	33.5	23.4	2~273	8694	17.2	13.3	1~89
		YSR	8655	3.5	1.8	1~33	8660	31.4	17.1	1~132	8570	15.1	9.7	1~70	8719	38.4	22.4	4~273	8647	20.7	13.4	1~95