

논문

충남지역 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 시공간 분포 특징

Spatial and Temporal Distributions of PM₁₀ and PM_{2.5} Concentrations in Chungcheongnam-do

김종범, 윤수향, 이상신, 김경환¹⁾, 노수진²⁾, 배귀남^{2),*}

충남연구원 서해안기후환경연구소, ¹⁾한국과학기술연구원 대기정책팀,

²⁾한국과학기술연구원 미세먼지사업단

접수일 2020년 6월 10일

수정일 2020년 7월 20일

채택일 2020년 7월 22일

Received 10 June 2020

Revised 20 July 2020

Accepted 22 July 2020

*Corresponding author

Tel : +82-(0)2-958-5676

E-mail : gnbae@kist.re.kr

Jong Bum Kim, Soo Hyang Yoon, Sang Sin Lee, Kyung Hwan Kim¹⁾,
Sujin Noh²⁾, Gwi-Nam Bae^{2),*}

Seohaean Research Institute, Chungnam Institute, Chungcheongnam-do, Republic of Korea

¹⁾Clean Air Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea

²⁾Center for Particulate Air Pollution and Health, Korea Institute of Science and Technology,
Seoul, Republic of Korea

Abstract Many large-scale air pollution sources such as a steel mill, coal-fired power stations, and petrochemical plant are located in ChungNam (CN) area. In this study, spatial and temporal distributions of PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations were analyzed using 1-h average data obtained from 29 air quality monitoring stations (AQMS) located in CN area, where is divided by three regions such as northern, southern, and southeastern regions. Among them, the highest PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations were observed in northern region where is influenced by motor vehicles in highly populated Cheonan and Asan, and large emission sources in Dangjin. Recently, annual average PM₁₀ concentrations of CN are lower than national standard, but they still do not meet local standard. And, annual average PM_{2.5} concentrations of CN are over both national and local standards. A significant difference was found among AQMSs in the same province because each AQMS might be heavily influenced by local emission sources. So, data from AQMSs located near the high emission source should be carefully interpreted. Considering distribution of various emission sources, a large number of AQMS data can be useful in analyzing local air pollution in detail.

Key words: Air quality monitoring station (AQMS), Chungcheongnam-do (ChungNam), Large-scale air pollution source, PM₁₀, PM_{2.5}

1. 서론

충청남도는 지리적으로 한국의 서쪽 중앙에 위치하여 중국으로부터 장거리 이동 대기오염물질에 가장 취약하며 (Oh, 2007), 환경적으로도 전국 60기의 석탄화력발전소 중 30기가 위치하고, 대산석유화학 단지과 당진제철소 등 대규모 배출시설이 많아 미세먼지 기여도 분석 시 주요 배출지역으로 여겨지고 있다 (Ju *et al.*, 2020; Kim *et al.*, 2017). 수도권 등 인구가

밀집되어 있는 대도시를 중심으로 대부분의 대기환경 측정·분석 정보시스템과 연구가 수행되어온 반면, 충청남도 지역은 상대적으로 관련 정보가 매우 부족한 실정이다 (Lee and Park, 2019).

대기환경보전법 및 관련 시행규칙에 의거하여 환경부 장관, 특별시·광역시 및 도지사는 대기오염측정망을 설치·운영하고 있다 (MOE, 2019a). 대기오염 측정망은 대기오염 경보체계 구축 및 효과적인 대기오염 정책수립을 위한 기초자료 확보, 개선효과 분석,

미래 예측을 위한 모델의 입력자료 생산, 대기오염물질에 의한 주변 환경 영향 분석 등 다양한 분야에서 사용되고 있다(Lozano *et al.*, 2010). 최근에는 황사나 장거리 이동 대기오염물질에 대한 근거자료 확보나 전 지구적 규모의 오염원 규명을 위한 국제 연구의 기초자료로도 활용되고 있다(Nam *et al.*, 2018). 2020년 3월 기준 전국에 717개소의 측정소가 설치되어 있으며, 이 중 지자체에서 관리하는 측정소는 544개소이다(NIER, 2020).

지자체에서 관리하는 도시대기 측정소(air quality monitoring station, AQMS)에서는 이산화황(SO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 미세먼지(particulate matter less than 10 μm, PM₁₀), 초미세먼지(particulate matter less than 2.5 μm, PM_{2.5}), 오존(O₃)을 포함한 6개 대기오염물질과 풍향, 풍속, 온·습도를 측정하여 1시간 단위로 정보를 제공하고 있다(Air-Korea, 2020). 도시대기 측정소는 인구 10만 이상의 도시에 우선적으로 설치하되, 대기질 악화가 예상되는 공업시설이나 배출원 지역에 설치하도록 권고하고 있다. 또한, 측정소 간 중복을 최소화하기 위해 기존 측정소와 4 km 이내에는 신규로 설치하지 않도록 권고하고 있다(MOE, 2019a). 이와 같은 조항으로 기존 측정소들은 대부분 서울을 포함한 수도권이나 부산, 대구, 대전과 같은 광역도시를 중심으로 설치되어 운영되고 있으며, 상대적으로 거주 인구가 적은 충청남도의 경우 2016년까지 5개의 AQMS가 천안, 아산, 서산에 설치되어 운영되고 있다. 장기적인 지역 오염도 모니터링과 정책 기반 자료 구축, 정책 반영 결과 분석을 위해 설치·운영되어야 할 측정소가 일부 구역에 편중적으로 설치·운영된다면 지역적 대표성을 갖지 못해 활용이 적을 수밖에 없다(Jeon *et al.*, 1998).

국내의 경우 AQMS 자료를 활용하여 배경지역 오염물질의 특성 분석 및 측정소의 대표성과 보완 방법 검토, 그리고 측정 자료를 바탕으로 군집분석을 통한 PM₁₀의 지역적 특성을 분석하는 연구가 진행되었고, 대도시의 고농도 오염 사례 시 영향 분석과 지역 오

염에 대한 특성 분석에도 일부 사용되었다. 하지만 대부분의 연구는 상대적으로 AQMS가 촘촘히 설치되어 있는 수도권이나 배경측정소, 대기환경연구소(집중측정소) 등 일부 특수지역의 자료를 활용하였다(Ju and Hwang, 2011; Han *et al.*, 2008; Yoo and Park, 2006; Woo *et al.*, 1997).

2000년 전국 152개소에 그쳤던 도시대기 측정소는 2005년까지 208개소로 크게 증가한 후 꾸준히 증가하였는데, 고농도 미세먼지 발생에 따른 국민적 관심이 증가하기 시작한 2016년을 기점으로 현재까지 717개소로 대폭 확대되었다. 인구수 대비 대도시를 중심으로 설치·운영되어 지역적 대기오염 특성을 분석하는 데 적합하지 않던 입지선정 방식을 벗어나 AQMS가 시·군까지 확대·설치됨에 따라 공간분포를 파악할 수 있을 정도로 해상도 높은 자료를 제공할 수 있게 되었다. 하지만 이러한 자료를 활용하여 환경정책 수립이나 관리방안 제시에 도움을 줄 수 있는 분석결과를 제시한 사례는 많지 않다.

이에 본 연구에서는 국내 지역 중 발전소와 대규모 산업단지가 밀집되어 있는 충청남도를 대상으로 AQMS 관측자료를 이용하여 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 시공간 분포를 분석하여 지역 대기환경 개선정책 수립을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 충청남도 도시대기 측정소의 현황

충청남도의 도시대기 측정소는 1993년 천안 성황동에 처음으로 설치된 후 서산의 독곶리와 동문동에 각각 1994년과 1996년 추가로 설치되었다. 2019년 12월 기준 31개 AQMS가 운영되고 있으며, 그림 1은 AQMS의 분포를 나타낸 것이다. 충청남도에서는 PM₁₀, PM_{2.5}, O₃에 대해 기준치를 초과할 경우 주의보 및 경보를 발령하고 있는데, 현재 북부(당진, 아산, 천안), 서부(태안, 서산, 홍성, 예산, 보령, 서천), 동남부(공주, 청양, 부여, 논산, 계룡, 금산) 등 3개 권역으

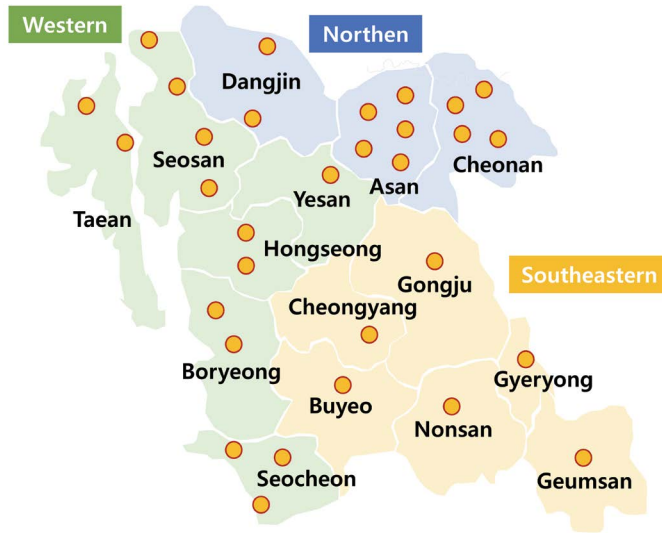


Fig. 1. Locations of 31 AQMSs installed in Chungcheongnam-do.

로 구분하여 관리하고 있다.

표 1은 충청남도에 설치되어 운영 중인 도시대기 측정소의 설치연도, 위치, 목적 등을 정리한 것이다. 2000년까지 3개소를 유지하다가 2016년까지 2개소가 증설되어 5개소가 운영되던 중 2017년 12개소, 2018년 10개소, 2019년 4개소가 증설되었다. 이것은 2013년에 발생한 고농도 미세먼지로 인해 국민적 관심이 증가하면서 국가와 도 차원의 대기환경 모니터링의 중요성이 부각되면서 나타난 정책적 대응의 일환이다. 설치목적으로 구분하면 주거지역 감시 목적이 15개소로 가장 많고, 관리지역 6개소, 공업지역 5개소, 산업지역 3개소, 녹지지역 2개소 순이다.

그림 2는 지역별 도시대기 측정소의 개소와 인구를 함께 나타낸 것이다. 도시대기 측정소는 인구 10만 명 이상인 대도시에 우선적으로 설치하도록 되어 있는데, 충청남도의 경우 10만 명이 넘는 도시는 천안(254,676명)과 아산(124,223명)뿐이었다(Chungnam, 2018). 측정소는 아산이 5개소로 가장 많이 분포하고, 천안과 서산이 각각 4개소이다. 천안은 도시대기 측정소 외에 도로변대기 측정소가 1개 설치되어 운영 중이다. 서천이 3개소로 그 뒤를 이었고, 당

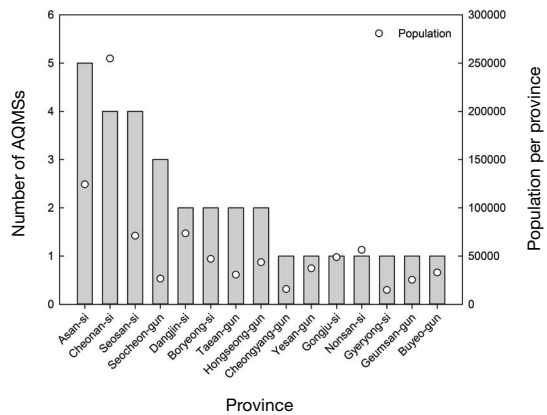


Fig. 2. Population and number of AQMSs by province.

진, 보령, 태안, 홍성이 각각 2개소, 나머지 지역에는 1개소가 설치되어 있다. 천안과 아산의 경우 충청남도 인구의 42%가 거주하는 만큼 인구 대비로 가장 많이 설치되어 있다. 서산은 대산석유화학단지가 위치하고, 서천과 당진, 보령, 태안의 경우 발전소에 대한 영향을 분석할 목적으로 다수 설치되어 운영 중이다. 홍성의 경우 기존 1개소 외에 충남도청이 내포신도시로 이전함에 따라 함께 이전한 충청남도보건환경

Table 1. Summary of 31 AQMSs installed in Chungcheongnam-do.

	Built year	Station code	Province	Site	Purpose	Note
1	1993	534111	Cheonan-si	Seonghwang-dong	Residential	Trend station
2	1994	534421	Seosan-si	Dokgot-ri	Manufacturing	
3	1996	534422	Seosan-si	Dongmun-dong	Residential	Trend station
4	2001	534112	Cheonan-si	Baekseok-dong	Manufacturing	
5	2006	534441	Asan-si	Mojong-dong	Commercial	
6	2017	534342	Gongju-si	Bonghwang-ro	Residential	
7	2017	534481	Boryeong-si	Daecheon2-dong	Residential	
8	2017	534442	Asan-si	Baebang-eup	Residential	
9	2017	534451	Nonsan-si	Simin-ro	Residential	
10	2017	534433	Dangjin-si	Songsan-myeon	Manufacturing	
11	2017	534501	Geumsan-gun	Geumsan-eup	Residential	
12	2017	534411	Buyeo-gun	Buyeo-eup	Residential	
13	2017	534502	Cheongyang-gun	Cheongyang-eup	Residential	
14	2017	534491	Hongseong-gun	Hongseong-eup	Residential	
15	2017	534471	Yesan-gun	Yesan-eup	Residential	
16	2017	534468	Taeon-gun	Iwon-myeon	Management	
17	2017	534463	Taeon-gun	Taeon-eup	Residential	
18	2018	534115	Cheonan-si	Seonggeo-eup	Manufacturing	
19	2018	534482	Boryeong-si	Jugyo-myeon	Management	
20	2018	534443	Asan-si	Dogo-myeon	Commercial	
21	2018	534444	Asan-si	Dunpo-myeon	Management	
22	2018	534445	Asan-si	Inju-myeon	Manufacturing	
23	2018	534423	Seosan-si	Daesan-ri	Commercial	
24	2018	534510	Gyeryong-si	Eomsa-myeon	Residential	
25	2018	534434	Dangjin-si	Dangjin city hall	Residential	
26	2018	735520	Seocheon-gun	Seocheon-eup	Management	
27	2018	735521	Seocheon-gun	Seo-myeon	Management	
28	2019	735522	Seocheon-gun	Janghang-eup	Residential	
29	2019	534492	Hongseong-gun	Naepo	Green	
30	2019	-	Cheonan-si	Sinbang-dong	Green	Not available
31	2019	-	Seosan-si	Seongyeon-myeon	Management	Not available

연구원이 연구 목적으로 추가로 설치하여 운영 중이다. 인구 대비 측정소 비율을 살펴보면, 서천이 8,861명당 1개소로 가장 높고, 천안이 가장 낮은 63,669명당 1개소이다. 평균적으로 29,576명당 1개소의 측정소가 운영 중이다.

2.2 시공간적 연구범위

충청남도의 대기환경 변화를 파악하기 위해 대기 오염물질의 배출량과 농도 자료를 분석하였다. 대기 오염물질 배출량은 국가미세먼지정보센터의 국가대기오염물질 배출량 서비스에서 제공하는 2016년 자료를 이용하였다(NCFDI, 2020). 대기오염물질 농도

는 한국환경공단에서 에어코리아를 통해 제공하는 자료를 이용하였다(KECO, 2020). 전국과 충청남도의 장기적 농도 변화를 검토하기 위해 2004년부터 2019년까지의 대기연보에서 부록으로 제공하는 지역통계자료를 이용하였다. 2016년까지 충청남도에는 5개의 측정소만 있었고, 그 후 설치된 자료들이 반영되어 충청남도 전 지역에 대해 농도를 대표한다고 보기가 어렵지만 최대한 활용할 수 있는 자료를 대상으로 검토하였고, 2020년까지 설치될 40개 측정소의 자료가 안정화되어 표출된다면 더욱 정밀하고 대표성을 나타내는 자료를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 월별, 계절별 변화를 파악하기 위해 2019년 1월부

터 12월까지의 1년 자료를 검토하였는데, 2019년 기준 충남에 설치된 31개 측정소 중 당시 데이터를 제공하지 않고 있던 서산의 성연면과 천안의 신방동 측정소를 제외한 29개 측정소 자료만 이용하였다. 또한, 서천 장항읍과 홍성 내포측정소의 경우 2019년 3월부터 측정자료를 제공하고 있어 1월과 2월 자료는 분석에서 제외되었다.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 충청남도의 대기오염물질 배출 현황

정부에서는 1999년부터 대기오염물질 배출목록에 근거한 대기정책지원시스템(clean air policy support system, CAPSS)을 운영하고 있으며, 점, 선, 면 오염원에서 배출되는 9가지 대기오염물질에 대해 매년 배출량을 산정하여 대기환경정책 수립, 대기오염총량제 이행, 대기질 예보 등에 사용하고 있다(NIER, 2019). CAPSS는 유럽 CONINAIR 분류체계에 기초하여 국내 현실에 맞추어 에너지산업, 비산업, 제조업 연소 등 13개로 구분된다. 그림 3(a)는 1999년부터 2016년까지 전국과 충청남도의 대기오염물질 배출량 추이를 나타낸 것이고, 그림 3(b)는 최근 5년간 전국에서 배출된 대기오염물질의 지역별 분율을 나타낸 것이다. 충남의 대기오염물질 배출량은 1999년부터 꾸준히

증가하다가 2004년을 기점으로 감소세로 돌아선 후 다시 2008년 이후 증가하는 추세이다. 특히, 2015년 이후 급격히 증가하는데, 이것은 기존에 산정하지 않았던 비산먼지와 생물성 연소가 추가되었기 때문이다. 충청남도의 대기오염물질 배출량은 경기도에 이어 2위를 차지하고, 전체적인 분율 측면에서 경기도는 증가하는 반면에, 충청남도는 조금씩 감소하고 있다.

그림 4는 2016년 기준 충청남도의 배출원 및 오염물질별 배출현황을 나타낸 것이다. 배출원별로는 생산공정이 22.9%로 가장 높고, 에너지산업 연소 19.6%, 제조업 연소 10.7%로 전체 오염물질의 53.2%가 제조 및 에너지 산업 분야에서 배출되고 있다. 오염물질별로는 NO_x가 27.5%로 가장 많고, SO_x 16.7%, VOCs 14.9%로 나타났다. 최근 문제가 되고 있는 PM₁₀과 PM_{2.5}는 각각 전체 배출량의 4.0%와 3.8%로 상대적으로 낮은 비율을 차지하고 있다. 기여가 큰 NO_x와 SO_x의 경우 발전소와 제철소에서 사용되는 연료의 연소 과정에서 많이 배출되고, VOCs의 경우 석유화학단지에서 정제 및 화학물질 생산과정에서 다양으로 배출되어 나타난 결과로 생각된다.

그림 5(a)는 2016년도 충청남도 시군별 대기오염물질의 총배출량을 나타낸 것이다. 당진이 32.8%로 가장 큰 분율을 차지하고, 서산 13.9%, 보령 9.8%, 천안 9.2%, 태안 7.8%, 아산 5.8% 순이다. 상위 6개 도시를 살펴보면, 당진(1위), 보령(3위), 태안(5위)에 발전소

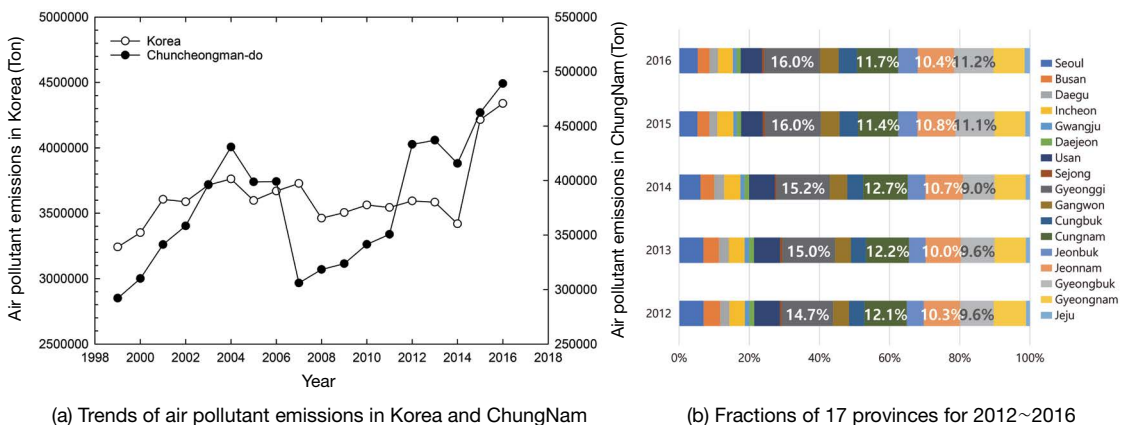


Fig. 3. Characteristics of an air pollutant emissions in ChungNam.

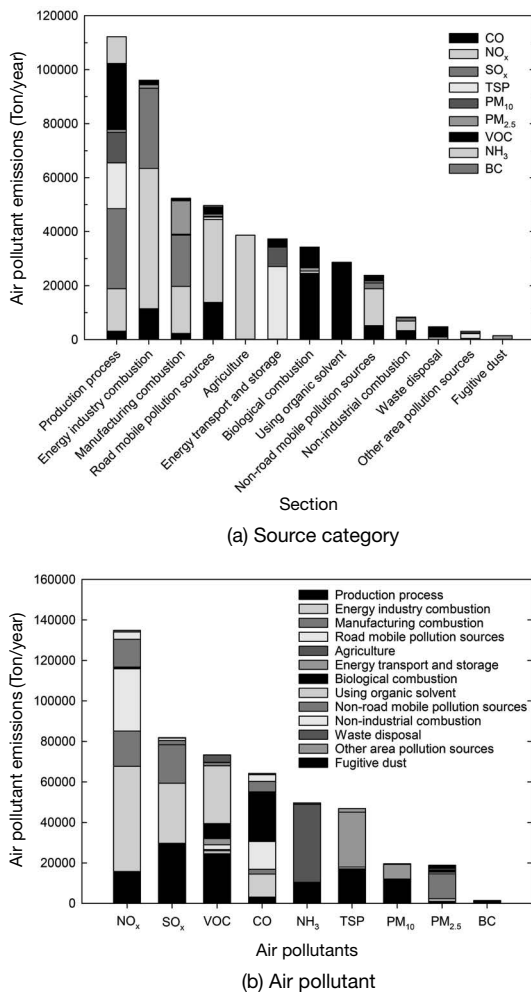


Fig. 4. Air pollutants emission by source category and air pollutant in ChungNam.

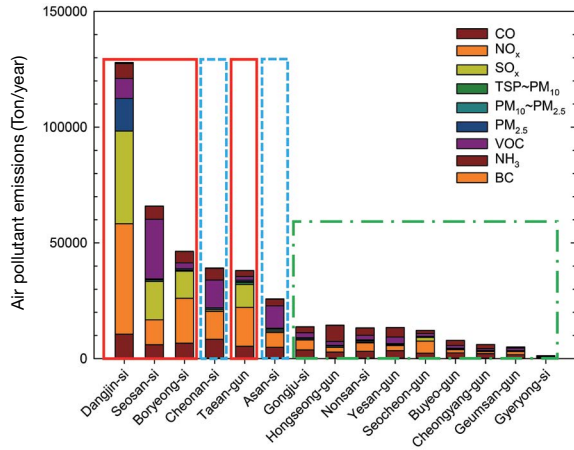
가 있고, 서산(2위)에는 석유화학단지가 있으며, 천안(4위)과 아산(6위)은 도시 지역이다. 그림 4에 나타난 바와 같이 에너지 산업 분야에 밀집되어 배출되는 충청남도의 특징을 시군별로도 세분화시킬 수 있다. 상위 6개 시군을 제외하고 농어촌 지역으로 분류되는 공주부터 계룡까지의 9개 시군의 분율은 20.8%이다.

그림 5(b)~(e)는 충청남도 시군별 배출량을 대기 오염물질별로 상세하게 나타낸 것이다. VOC 배출량은 서산(35.1%), 태안(16.4%), 천안(13.2%) 순이고, NO_x는 당진(35.4%), 보령(14.4%), 태안(12.5%) 순이

다. PM₁₀의 경우 당진이 압도적으로 높은 69.1%를 차지하고, 천안(5.6%), 아산(3.2%) 순이며, PM_{2.5} 역시 당진이 75.0%로 대부분을 차지하고, 천안(3.8%), 태안(3.6%) 순으로 나타났다. SO_x도 당진이 49.0%로 가장 높고, 서산(20.2%), 보령(14.2%) 순으로 나타났다. PM₁₀, PM_{2.5} 등의 입자상 오염물질뿐만 아니라 2차 생성 미세먼지의 전구물질인 VOC, NO_x, SO_x 등의 오염물질 배출량 또한 당진에서 가장 높은 배출 기여율을 나타내며, 특히 PM₁₀, PM_{2.5}와 SO_x는 전체 배출량의 절반 이상이다. 이것은 당진에 단일 사업장으로는 충청남도 내 배출 기여가 가장 큰 제철소가 있고, 또한 발전소도 있어 두 시설에서 배출되는 대기오염물질의 기여가 상당히 높은 것을 알 수 있다. 이것으로부터 충청남도의 대기환경을 개선하기 위해서는 당진, 서산, 보령과 같이 에너지·제조산업 관련 시설이 밀집되어 있는 지역과 천안, 아산과 같은 도시 지역의 배출량을 감소시키는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

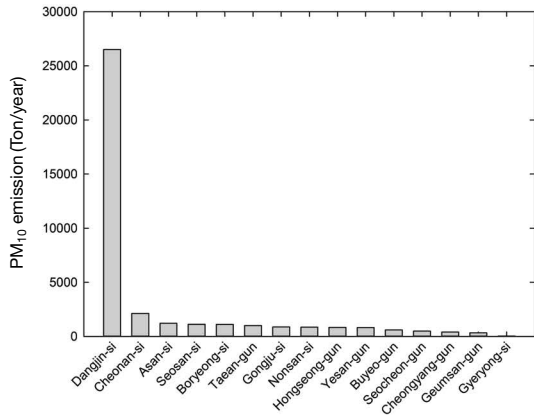
3. 2 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 연도별 추이

그림 6(a)는 2004년부터 2019년까지 전국과 충청남도의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 변화 추이를 나타낸 것이다. 충청남도의 AQMS는 2016년까지 5개소를 유지하다가 2016년 이후 급격히 증가하였는데, 그림 6(a)에 나타난 농도는 해당연도에 충청남도에 설치·운영된 모든 측정소의 자료를 이용한 것이다. 현재 대기질의 국가 기준은 연평균 PM₁₀ 50 µg/m³, PM_{2.5} 15 µg/m³이고, 충청남도에서는 PM₁₀의 경우 이보다 강력한 40 µg/m³, PM_{2.5}의 경우 상대적으로 느슨한 20 µg/m³을 조례로 지정하여 관리하고 있다(MOE, 2019b; ChungNam, 2016). 2004년부터 2015년까지는 전국 평균 PM₁₀ 농도가 충청남도보다 4~11 µg/m³까지 높았지만, 2016년에 역전되어 충청남도의 농도가 1 µg/m³ 정도 높아지더니 2019년까지 유사한 수준을 보이고 있다. 2011년부터 국가 기준인 50 µg/m³을 전국과 충청남도 모두 만족하고 있지만, 충청남도는 2018년을 제외하고 자체 기준인 40 µg/m³을 만족하지 못하고 있다. PM_{2.5} 농도는 2014년부터 측정하기 시작하였는데, 2019년까지 충청남도와 국가 PM_{2.5} 기

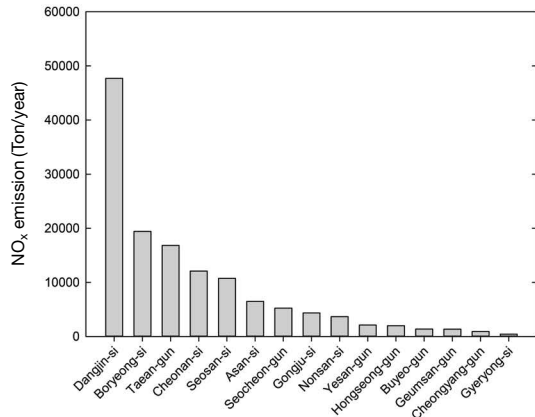


※ Solid line: plant and industrial area, medium dash line: urban area, dash-dot line: rural area

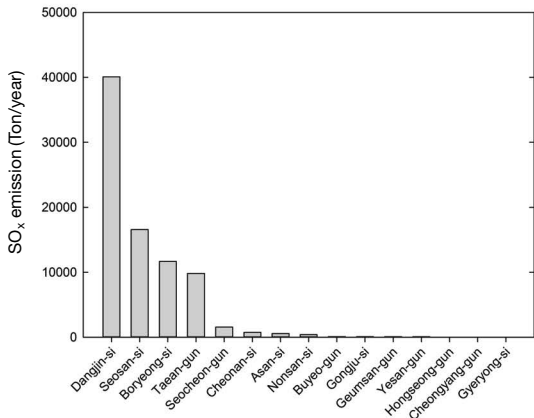
(a) Total



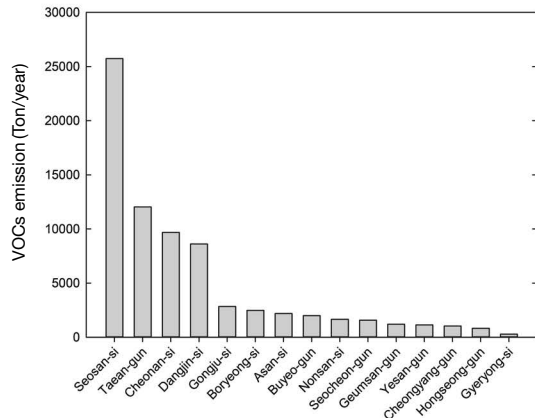
(b) PM₁₀



(c) NO_x



(d) SO_x



(e) VOCs

Fig. 5. Air pollutants emissions by province in ChungNam.

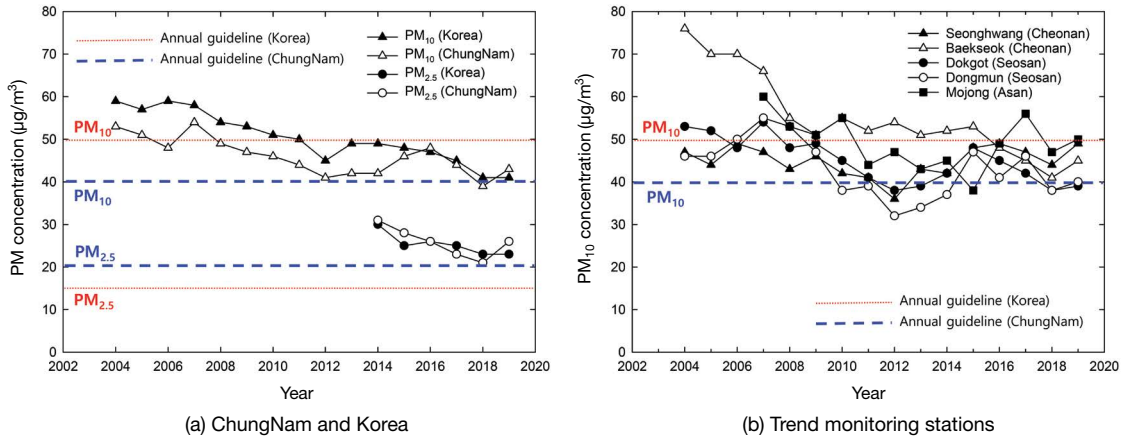


Fig. 6. Trends of annual PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations since 2004.

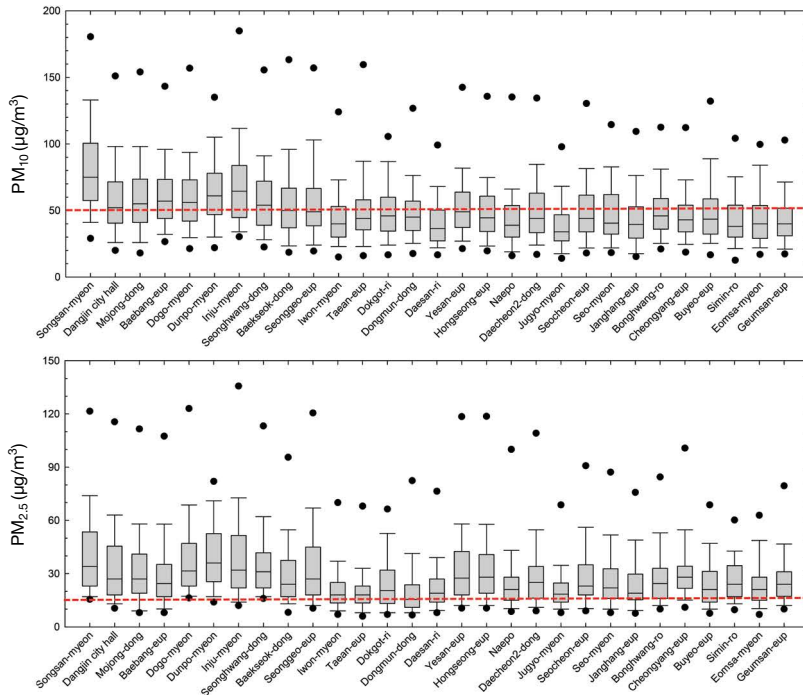
준을 한 번도 만족하지 못하고 있다. 하지만 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 지속적으로 감소하고 있는 추세이다.

그림 6(b)는 현재 추이 측정소로 지정되어 있는 성황동과 동문동 측정소를 포함하여 2006년까지 충남에 설치된 측정소의 PM₁₀ 농도의 변화 추이를 나타낸 것이다. PM_{2.5}의 경우 2015년부터 측정하였으나 측정소별로 검증된 데이터를 송출하기 시작한 것이 2016년~2017년 사이이므로 데이터 수가 적어 분석하지 않았다. 2004년 기준 백석동이 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전국과 충남의 평균농도를 초과하여 가장 높았고, 그 외 성황동, 독곶리, 동문동은 충남 평균농도와 유사하거나 낮은 수준이었다. 5개 측정소 모두 전반적으로 감소하는 추세를 보이며, 특히 백석동은 2004년 대비 2019년 농도가 40.8%나 감소한 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 2004년 대비 2019년 농도가 전국은 30.5%, 충남은 18.9% 감소한 것에 비하면 큰 폭의 농도 감소를 보였다. 하지만 평균농도는 서산에 위치한 독곶리와 동문동 측정소만 충남 평균농도보다 낮았고, 천안과 아산 등 도시에 위치한 나머지 3개 측정소는 충남 평균농도보다 높은 수준이었다. 특히, 천안에 위치한 성황동의 경우 2004년 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2019년에는 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 오히려 농도가 증가한 것으로 나타났다. 최근 5년간 충남 PM₁₀ 기준인 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족한 곳은 서산에 위치한 독곶리와 동문동이 각각 2회, 모종동 1회

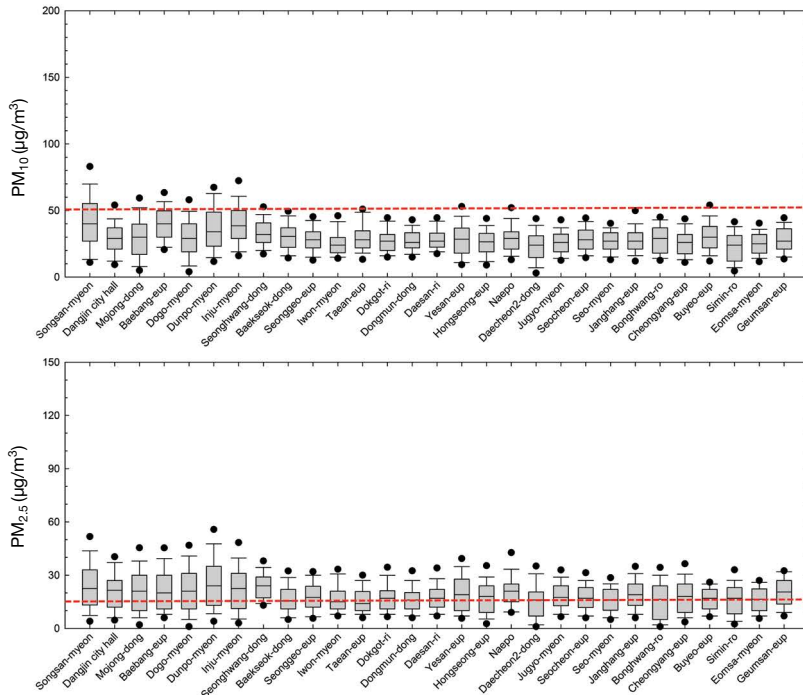
뿐이었고, 이외에는 모두 기준을 만족하지 못하였다. 백석동과 모종동은 국가 기준인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 도 각 1회씩 만족하지 못한 것으로 나타났다.

3. 3 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 계절적 차이

그림 7과 표 2는 29개 측정소에서 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도를 계절별로 구분하여 나타낸 것이다. 계절 구분 시 2019년을 대상으로 3월~5월을 봄, 6월~8월을 여름, 9월~11월을 가을, 12월~2월을 겨울로 분류하였다. 겨울 데이터 처리 시 1월 데이터가 없는 장항읍 측정소와 내포 측정소의 경우 2월과 12월 데이터만 대상으로 하였다. 계절별 농도는 PM₁₀ 기준 봄이 54 \pm 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높았고, 겨울 53 \pm 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을 37 \pm 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름 30 \pm 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 가을과 여름은 국가와 충남의 PM₁₀ 기준을 모두 만족하였으나, 봄과 겨울은 국가와 충남의 기준을 모두 초과하였다. PM_{2.5}는 겨울이 34 \pm 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 봄 31 \pm 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 가을 20 \pm 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 여름 19 \pm 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순이었다. 모든 계절에서 국가 PM_{2.5} 기준을 만족하지 못하였고, 가을과 여름만 충남 기준을 간신히 만족하였다. PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 농도가 높을수록 편차가 크게 나타났는데, 이것은 봄, 겨울의 황사나 고농도 미세먼지 등의 이벤트 발생이 미친 영향으로 생각된다. 29개 측정소를 대상으로 농도가 가

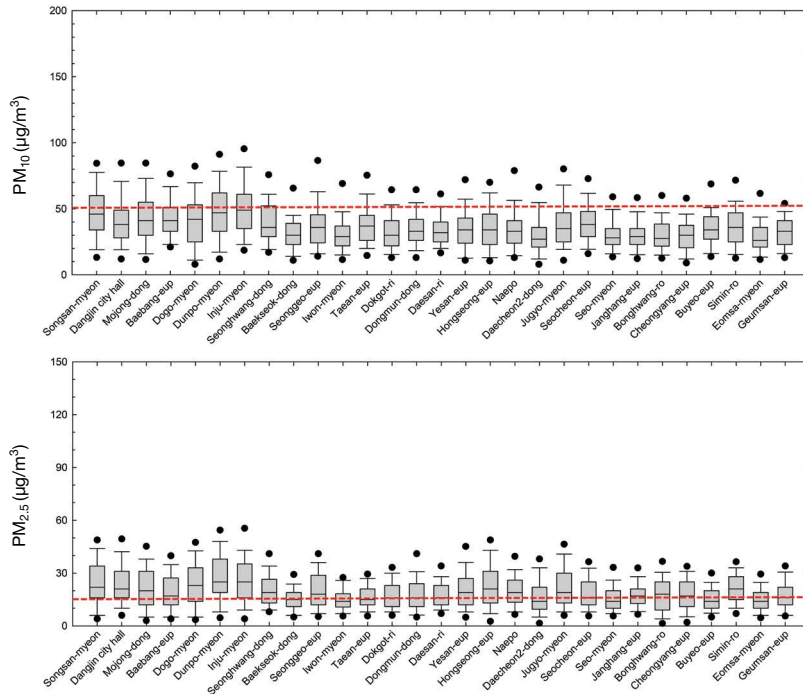


(a) PM₁₀ (top) and PM_{2.5} (bottom) concentrations in Spring

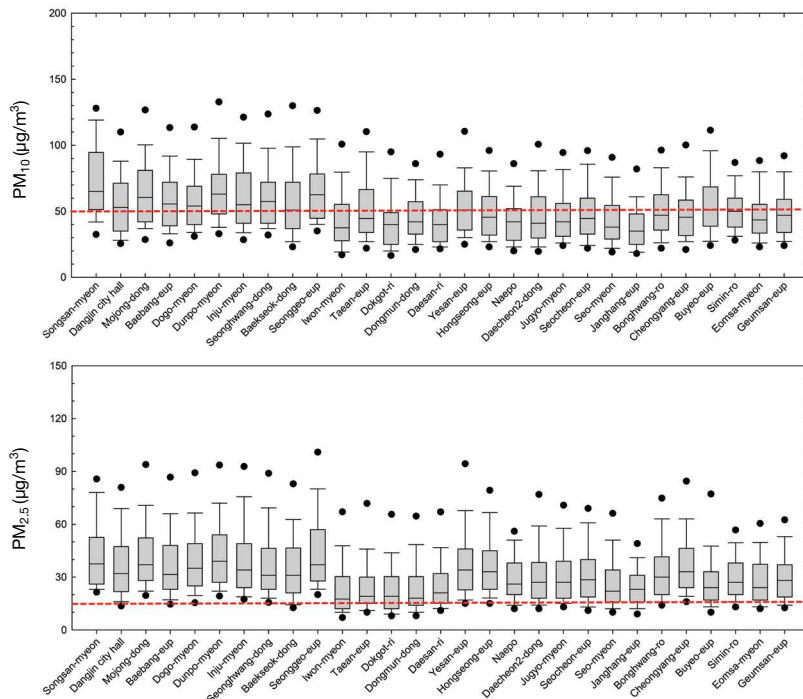


(b) PM₁₀ (top) and PM_{2.5} (bottom) concentrations in Summer

Fig. 7. Seasonal PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at AQMSs of ChungNam in 2019.



(c) PM₁₀ (top) and PM_{2.5} (bottom) concentrations in Fall



(d) PM₁₀ (top) and PM_{2.5} (bottom) concentrations in Winter

Fig. 7. Continued.

Table 2. Summary of seasonal PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations measured at 29 AQMSs in 2019.

AQMS	PM ₁₀ (µg/m ³)				PM _{2.5} (µg/m ³)			
	Spring	Summer	Fall	Winter	Spring	Summer	Fall	Winter
Songsan-myeon	82 ± 39	41 ± 20	48 ± 22	74 ± 30	43 ± 29	24 ± 14	24 ± 13	43 ± 21
Dangjin city hall	61 ± 35	29 ± 13	41 ± 19	57 ± 26	36 ± 29	21 ± 11	24 ± 12	37 ± 21
Mojong-dong	63 ± 36	30 ± 16	43 ± 21	64 ± 28	34 ± 28	21 ± 12	22 ± 13	43 ± 22
Baebang-eup	64 ± 32	40 ± 13	43 ± 16	59 ± 25	32 ± 27	22 ± 12	20 ± 12	38 ± 21
Dogo-myeon	62 ± 34	30 ± 16	41 ± 22	58 ± 23	41 ± 28	22 ± 13	24 ± 14	40 ± 22
Dunpo-myeon	67 ± 35	37 ± 17	48 ± 23	67 ± 29	42 ± 26	26 ± 15	28 ± 15	43 ± 22
Inju-myeon	72 ± 40	41 ± 16	49 ± 22	63 ± 29	41 ± 31	23 ± 14	26 ± 15	40 ± 23
Seonghwang-dong	60 ± 35	33 ± 10	40 ± 18	62 ± 27	38 ± 26	24 ± 8	20 ± 10	38 ± 21
Baekseok-dong	59 ± 38	31 ± 11	31 ± 14	59 ± 31	31 ± 23	17 ± 8	15 ± 7	36 ± 22
Seonggeo-eup	59 ± 37	28 ± 10	38 ± 21	67 ± 28	36 ± 30	18 ± 8	21 ± 12	45 ± 24
Iwon-myeon	47 ± 30	26 ± 10	32 ± 17	45 ± 25	23 ± 18	17 ± 8	15 ± 7	24 ± 17
Taeon-eup	54 ± 37	30 ± 11	39 ± 17	53 ± 28	22 ± 16	18 ± 8	16 ± 7	25 ± 18
Dokgot-ri	51 ± 25	27 ± 9	34 ± 18	43 ± 24	26 ± 20	17 ± 8	18 ± 8	24 ± 18
Dongmun-dong	51 ± 27	28 ± 8	36 ± 16	47 ± 21	22 ± 20	17 ± 8	18 ± 10	25 ± 17
Daesan-ri	42 ± 24	28 ± 8	35 ± 14	43 ± 21	24 ± 19	18 ± 8	18 ± 8	26 ± 16
Yesan-eup	55 ± 30	29 ± 13	35 ± 17	55 ± 24	35 ± 27	20 ± 11	21 ± 11	39 ± 22
Hongseong-eup	51 ± 29	26 ± 10	36 ± 17	50 ± 22	35 ± 27	18 ± 10	23 ± 13	38 ± 20
Naepo	46 ± 31	29 ± 11	35 ± 17	44 ± 21	27 ± 23	21 ± 9	20 ± 9	30 ± 16
Daecheon2-dong	52 ± 32	23 ± 12	30 ± 16	48 ± 25	32 ± 27	15 ± 10	16 ± 10	32 ± 20
Jugyo-myeon	41 ± 22	26 ± 9	38 ± 19	48 ± 24	22 ± 16	18 ± 8	22 ± 13	31 ± 18
Seocheon-eup	53 ± 33	28 ± 10	39 ± 17	50 ± 24	30 ± 23	17 ± 8	18 ± 9	32 ± 18
Seo-myeon	50 ± 32	27 ± 8	31 ± 13	45 ± 23	29 ± 23	16 ± 7	16 ± 7	28 ± 17
Janghang-eup	45 ± 27	28 ± 10	31 ± 14	39 ± 19	25 ± 19	19 ± 8	17 ± 8	26 ± 14
Bonghwang-ro	52 ± 29	29 ± 12	31 ± 14	52 ± 23	30 ± 24	16 ± 11	18 ± 10	35 ± 19
Cheongyang-eup	49 ± 26	26 ± 10	30 ± 13	49 ± 23	34 ± 24	18 ± 10	18 ± 9	38 ± 20
Simin-ro	45 ± 25	23 ± 12	37 ± 16	51 ± 18	27 ± 15	16 ± 9	22 ± 9	30 ± 13
Geumsan-eup	46 ± 27	28 ± 10	33 ± 13	49 ± 21	29 ± 19	21 ± 9	17 ± 8	30 ± 15
Eomsa-myeon	47 ± 29	25 ± 9	29 ± 15	49 ± 21	26 ± 18	16 ± 7	15 ± 7	28 ± 15
Buyeo-eup	53 ± 35	30 ± 11	36 ± 16	58 ± 30	26 ± 19	17 ± 7	15 ± 7	29 ± 21

장 높은 봄과 가장 낮은 여름의 농도 차이는 PM₁₀의 경우 14~41 µg/m³, PM_{2.5}의 경우 4~19 µg/m³이었다. PM₁₀ 기준 봄과 여름 농도의 차이가 30 µg/m³ 이상인 측정소는 송산면, 당진시청(이상 당진), 모종동, 도고면, 둔포면, 인주면(이상 아산), 성거읍(천안)까지 7개로 주로 북부권에 위치하고 있는 측정소들의 편차가 크게 나타났다. PM_{2.5} 기준 15 µg/m³ 이상 차이를 보인 측정소는 송산면, 당진시청(이상 당진), 도고면, 둔포면, 인주면(이상 아산), 성거읍(천안), 예산읍(예산), 홍성읍(홍성), 대천2동(보령), 청양읍(청양)까지 10개로 북부권 외에도 일부 서부권 측정소의 농도 편차도 크게 나타났다.

3. 4 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 권역별 분포

표 3과 그림 8은 2019년 충청남도 29개 측정소에서 1년간 측정된 농도를 정리한 것이다. 충남의 연평균 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 각각 43 µg/m³과 26 µg/m³로 나타났다. 권역별로는 PM₁₀ 기준 북부권(49 µg/m³) > 남동부권(40 µg/m³) > 서부권(39 µg/m³)으로 나타났고, PM_{2.5} 역시 북부권(28 µg/m³) > 남동부권(24 µg/m³) > 서부권(23 µg/m³) 순이었다. 도시별로는 PM₁₀ 기준 당진이 54 µg/m³으로 가장 높았는데, 이것은 38 µg/m³으로 가장 낮은 농도를 보인 보령, 청양, 계룡에 비해 16 µg/m³이나 높다. PM_{2.5} 역시 당진과 아산이 31 µg/m³으로 가장 높았고, 20 µg/m³으로 가장 낮은 농도를 보인 태안에 비해 11 µg/m³ 높아 고농도 지역

Table 3. Summary of annual PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations measured at 29 AQMSs in 2019.

Region	Location	AQMS	PM ₁₀ (µg/m ³)			PM _{2.5} (µg/m ³)			
			Mean ± S.D.	Max	Min	Mean ± S.D.	Max	Min	
Northen	Dangjin	Songsan-myeon Dangjin city hall	N1	61 ± 34	215	9	33 ± 22	143	2
			N2	47 ± 28	192	6	29 ± 21	146	1
	Asan	Mojong-dong	N3	50 ± 30	190	2	30 ± 22	143	1
		Baebang-eup	N4	51 ± 25	177	13	28 ± 21	137	1
		Dogo-myeon	N5	48 ± 28	158	1	31 ± 22	142	1
		Dunpo-myeon	N6	54 ± 30	211	6	34 ± 22	152	1
		Inju-myeon	N7	56 ± 31	213	7	32 ± 23	154	1
	Cheonan	Seonghwang-dong	N8	49 ± 27	197	9	30 ± 19	138	5
		Baekseok-dong	N9	45 ± 30	202	6	24 ± 18	125	2
		Seonggeo-eup	N10	48 ± 30	202	8	30 ± 23	153	3
Western	Taeon	Iwon-myeon	W1	37 ± 24	189	6	20 ± 14	106	2
		Taeon-eup	W2	44 ± 27	213	6	20 ± 14	110	3
	Seosan	Dokgot-ri	W3	39 ± 22	145	10	21 ± 15	109	4
		Dongmun-dong	W4	40 ± 21	158	8	20 ± 15	110	2
		Daesan-ri	W5	37 ± 19	151	7	21 ± 14	115	4
	Yeosan	Yesan-eup	W6	43 ± 25	165	5	28 ± 21	132	2
	Hongseong	Hongseong-eup	W7	41 ± 23	159	5	28 ± 20	135	1
		Naepo	W8	38 ± 22	166	5	24 ± 16	116	3
	Boryeong	Daecheon2-dong	W9	38 ± 26	180	1	24 ± 20	144	1
		Jugyo-myeon	W10	38 ± 21	149	6	24 ± 15	108	1
	Seocheon	Seocheon-eup	W11	43 ± 25	200	5	24 ± 17	121	1
		Seo-myeon	W12	38 ± 23	194	6	22 ± 16	126	1
		Janghang-eup	W13	36 ± 20	147	2	22 ± 14	107	2
Southeastern	Gongju	Bonghwang-ro	S1	41 ± 23	189	5	25 ± 19	142	1
	Cheongyang	Cheongyang-eup	S2	38 ± 22	148	4	27 ± 19	126	1
	Nonsan	Simin-ro	S3	44 ± 27	207	4	22 ± 16	132	1
	Guesan	Geumsan-eup	S4	39 ± 21	141	2	24 ± 13	87	1
	Gyeryong	Eomsa-myeon	S5	38 ± 22	172	3	21 ± 14	101	1
	Buyeo	Buyeo-eup	S6	39 ± 21	168	2	24 ± 15	108	1

과 저농도 지역의 농도 차이가 매우 크게 나타났다. 15개 시·군 중 연평균농도보다 낮은 농도를 보인 시·군은 PM₁₀과 PM_{2.5}가 각각 11개와 10개 시·군으로 전체 연평균농도를 결정할 때 상대적으로 높은 4~5개 시·군의 영향이 큰 것으로 나타났다. PM₁₀의 경우 당진, 아산, 천안, 논산이 평균농도보다 높았고, PM_{2.5} 농도는 당진, 아산, 천안, 예산, 청양이 평균농도보다 높았다. 북부권에 위치한 당진, 아산, 천안은 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 평균농도 이상이었으며, 충남의 미

세먼지 농도에 북부권에 위치한 당진, 아산, 천안의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 그림 5(c)에서 당진의 PM₁₀ 배출량이 충남의 69.1%로 압도적으로 많았고, 서산 5.6%, 천안 3.2% 순이었었는데, 이러한 특징이 반영된 것으로 생각된다.

측정소별로는 PM₁₀ 기준 성산면 측정소(당진)가 61 µg/m³으로 가장 높았고, 장항읍 측정소(서천)가 36 µg/m³으로 가장 낮게 나타났다. PM_{2.5} 농도는 둔포면 측정소(아산)가 34 µg/m³으로 가장 높았고, 이원

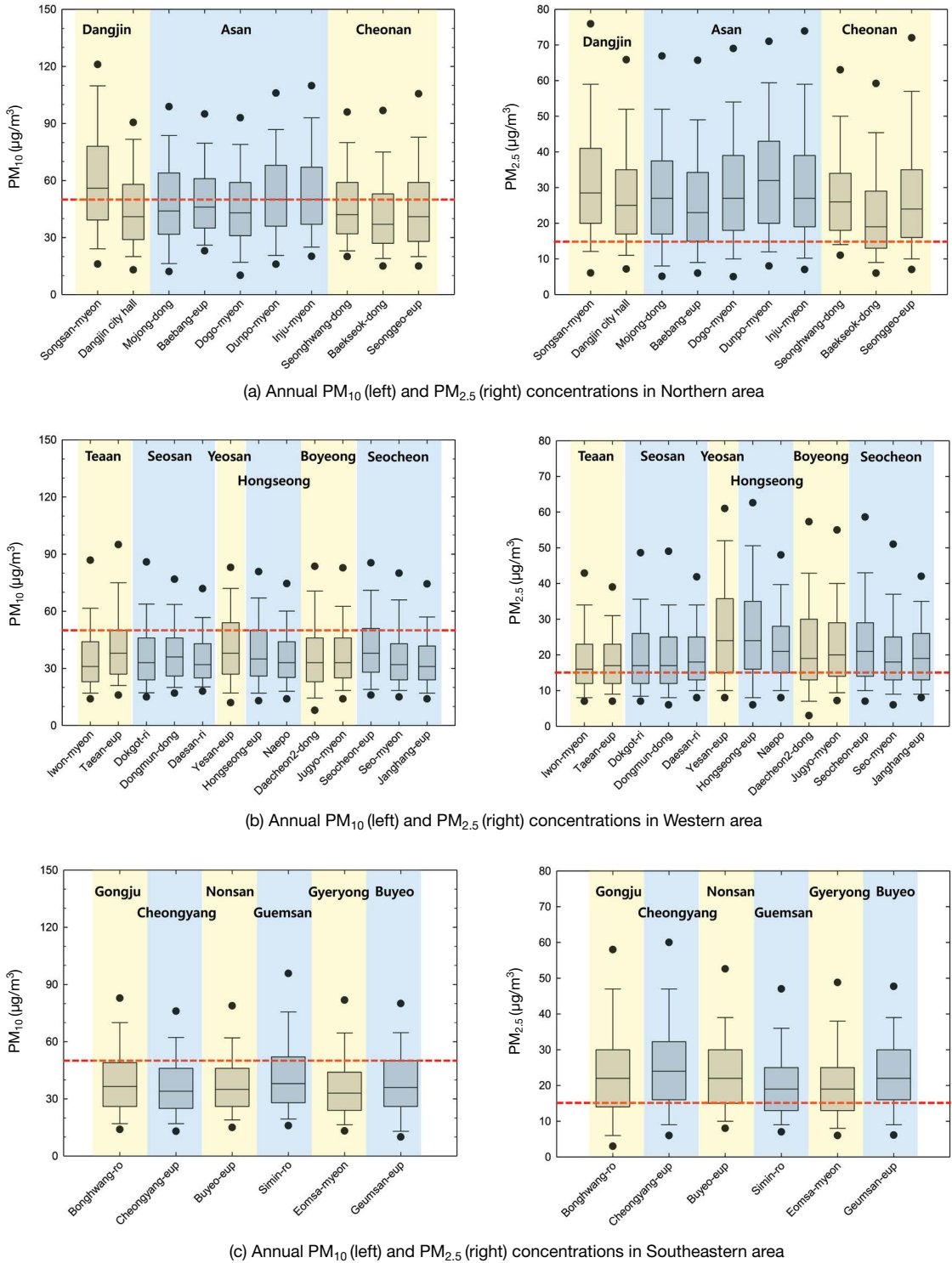


Fig. 8. Annual PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at AQMSs of ChungNam in 2019.

면 측정소(태안), 태안을 측정소(태안), 동문동 측정소(서산)가 각각 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 낮게 나타났다. 측정소의 확대에 따른 지역 평균농도에 대한 영향을 분석하기 위해 2016년 이전에 설치된 5개 측정소와 그 이후에 설치된 24개 측정소를 포함한 충남의 평균 농도를 검토하였다. PM₁₀은 앞서 분석한 5개 측정소를 대상으로 한 평균농도는 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, 29개 전체 측정소의 평균농도는 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 차이가 난다. PM_{2.5}의 경우 5개 측정소 평균농도 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 29개 전체 측정소 농도 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 지역 평균농도는 유사하게 나타났다.

충남의 15개 시·군 중 한 지역에 3개 이상의 측정소가 설치된 곳은 천안, 아산, 서산, 서천 4곳으로 다수 측정소가 설치된 지역을 대상으로 각 측정소 간 농도 분포를 검토하였다. 천안에는 3개 측정소가 있다. PM₁₀ 농도는 성황동이 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높게 나타났고, PM_{2.5} 농도는 성황동과 백석동이 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 주거 밀집지역에 위치하고 있는 성황동의 농도가 가장 높게 나타났다. 일반 산업단지 내 위치하고 있는 성거읍과 백석동 측정소의 경우 PM_{2.5}/PM₁₀ 비율이 각각 0.5와 0.67로 백석동의 PM_{2.5}/PM₁₀ 비율이 높게 나타났다. 이것은 같은 일반산업단지라고 해도 백석동 측정소 인근 지역이 성거읍 지역에 비해 자동차나 연소 등에서 기인한 미세한 입자의 영향을 더 크게 받고 있다는 것을 의미한다.

아산의 측정소는 5개로 충남에서 가장 많은 도시 대기 측정소가 위치하고 있다. PM₁₀ 농도는 인주면이 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높고, 최고농도와 최저농도의 차이가 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. PM_{2.5} 농도는 둔포면이 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 최고농도와 최소농도의 차이는 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며, 타 측정소에 비해 인주면과 둔포면 측정소의 농도가 높다. 이것은 주거 밀집지역이나 도심지에 위치한 나머지 3개 측정소에 비해 인주면과 둔포면 측정소가 산업단지 내부에 위치하고 있기 때문인 것으로 생각된다.

서산에는 3개 측정소가 있는데, 독곶리 측정소는 석유화학단지 인근, 동문동 측정소는 중심지역, 대산

리는 주거지역에 위치하고 있다. PM₁₀ 농도는 동문동 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 독곶리 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대산리 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, PM_{2.5} 농도는 동문동, 독곶리, 대산리가 20~21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 세 곳에서 유사한 수준을 보였다. 독곶리의 경우 석유화학단지 바로 앞에 위치하고 있어 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도가 다른 지역에 비해 높을 것으로 예상되었으나, 이전 연구에 의하면 석유화학단지 인근 지역에서 VOCs 등은 시간대에 따라 매우 높은 농도와 큰 변화를 보였으나 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 도심지역과 유사한 수준이었다(Kim *et al.*, 2019).

서천에는 3개 측정소가 있고, 서천읍 측정소는 시내, 서면 측정소는 주거 밀집지역, 장항읍 측정소는 항과 인접한 주거지역에 위치하고 있다. 서천읍 측정소의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 각각 43, 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 것으로 나타났다. 서천읍 측정소의 경우 비교적 도심지역에 위치하여 한적한 주거밀집지역이나 바닷가와 인접한 타 지역에 비해 높은 농도를 보였고, 특히 PM₁₀ 농도는 가장 낮은 장항읍 측정소에 비해 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이나 높다.

3개 이상의 측정소가 위치하고 있는 4개 지역을 대상으로 측정소 간 농도 차이를 살펴보면, PM₁₀이 3~8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}가 1~6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 차이가 난다. 이것은 측정소의 설치 목적에 따라 주변 영향이 다르므로, 측정소의 위치에 따라 지역 농도가 다르게 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 예를 들면, 당진에 설치된 송산면 측정소의 경우 제철소 바로 앞에 위치하고 있어 제철소로부터 배출된 오염물질이 직간접적으로 영향을 미쳐 타 측정소들에 비해 항상 농도가 높게 나타나고 있는데, 이러한 측정소 농도를 그 지역의 대표 농도로 간주하기보다는 측정소가 설치된 목적과 환경을 감안하여 데이터를 해석하고 활용하여야 한다.

표 4와 5는 29개 측정소에 측정된 PM₁₀과 PM_{2.5}를 피어슨 상관계수를 통해 측정소 간 상관성을 분석한 것이다($p < 0.01$). 각 측정소는 권역별로 구분하여 표 3에 나타난 약어로 표시하였고, 자료 분석에서 1월~

Table 4. Pearson correlation coefficient between PM₁₀ concentrations at AQMSs of ChungNam area in 2019 (p < 0.01).

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W9	W10	W11	W12	S1	S2	S3	S4	S5	S6
N1	1																										
N2	.927	1																									
N3	.916	.960	1																								
N4	.922	.951	.972	1																							
N5	.911	.953	.974	.955	1																						
N6	.904	.956	.969	.954	.947	1																					
N7	.918	.953	.950	.957	.950	.950	1																				
N8	.899	.946	.971	.963	.947	.956	.934	1																			
N9	.894	.925	.938	.951	.910	.930	.918	.951	1																		
N10	.875	.929	.953	.921	.931	.937	.905	.972	.932	1																	
W1	.865	.931	.869	.882	.868	.857	.878	.877	.874	.857	1																
W2	.859	.947	.890	.897	.884	.883	.892	.895	.888	.867	.973	1															
W3	.846	.906	.837	.846	.837	.870	.849	.837	.819	.824	.927	.898	1														
W4	.865	.934	.895	.899	.891	.884	.893	.882	.879	.852	.942	.963	.876	1													
W5	.846	.934	.875	.877	.870	.874	.876	.880	.847	.865	.958	.949	.935	.905	1												
W6	.922	.965	.975	.967	.970	.951	.948	.956	.938	.936	.891	.906	.849	.899	.887	1											
W7	.896	.972	.958	.946	.956	.949	.948	.939	.910	.920	.907	.932	.875	.923	.909	.974	1										
W9	.897	.943	.926	.931	.914	.906	.913	.924	.904	.900	.923	.935	.874	.928	.904	.945	.955	1									
W10	.796	.888	.876	.837	.857	.852	.831	.864	.788	.857	.846	.872	.840	.844	.904	.878	.905	.882	1								
W11	.814	.891	.881	.873	.874	.847	.874	.886	.837	.865	.890	.910	.826	.892	.870	.879	.909	.921	.865	1							
W12	.860	.914	.888	.907	.880	.870	.887	.905	.887	.870	.926	.939	.856	.923	.898	.909	.926	.968	.858	.948	1						
S1	.883	.916	.941	.945	.918	.911	.899	.945	.917	.921	.864	.878	.827	.866	.858	.944	.928	.938	.844	.890	.923	1					
S2	.898	.943	.955	.951	.939	.923	.916	.951	.934	.930	.901	.917	.845	.905	.887	.969	.954	.959	.878	.908	.933	.961	1				
S3	.856	.921	.927	.917	.905	.905	.882	.929	.896	.906	.894	.920	.837	.907	.895	.931	.935	.938	.900	.921	.931	.949	.951	1			
S4	.843	.901	.917	.916	.893	.907	.886	.925	.902	.906	.883	.908	.808	.907	.890	.925	.924	.936	.860	.915	.931	.943	.949	.963	1		
S5	.845	.885	.910	.908	.886	.892	.860	.934	.895	.920	.851	.865	.820	.850	.851	.913	.894	.920	.848	.889	.910	.959	.936	.951	.948	1	
S6	.788	.834	.869	.826	.856	.832	.791	.868	.796	.881	.777	.799	.758	.808	.803	.851	.844	.848	.829	.828	.812	.880	.878	.894	.874	.917	1

Table 5. Pearson correlation coefficient between PM_{2.5} concentrations at AQMSs of ChungNam area in 2019 (p < 0.01).

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W9	W10	W11	W12	S1	S2	S3	S4	S5	S6
N1	1																										
N2	.964	1																									
N3	.933	.938	1																								
N4	.940	.945	.980	1																							
N5	.947	.939	.949	.959	1																						
N6	.963	.952	.946	.952	.951	1																					
N7	.963	.956	.945	.950	.961	.972	1																				
N8	.922	.927	.948	.962	.928	.934	.928	1																			
N9	.902	.899	.930	.935	.909	.895	.909	.935	1																		
N10	.918	.923	.960	.952	.924	.929	.922	.963	.932	1																	
W1	.884	.916	.855	.871	.849	.848	.881	.872	.864	.851	1																
W2	.871	.905	.870	.875	.851	.839	.876	.858	.863	.853	.950	1															
W3	.889	.916	.838	.848	.840	.873	.866	.854	.792	.837	.914	.891	1														
W4	.885	.919	.868	.880	.865	.867	.889	.860	.827	.844	.924	.943	.903	1													
W5	.907	.940	.884	.899	.879	.884	.897	.888	.858	.876	.959	.948	.947	.949	1												
W6	.943	.959	.967	.967	.966	.946	.956	.948	.938	.950	.890	.886	.860	.881	.903	1											
W7	.946	.965	.953	.951	.957	.949	.962	.929	.906	.936	.890	.894	.879	.906	.913	.969	1										
W9	.914	.928	.919	.929	.922	.901	.927	.922	.900	.911	.898	.883	.861	.887	.903	.939	.958	1									
W10	.833	.863	.871	.856	.835	.823	.835	.821	.792	.849	.836	.893	.852	.907	.887	.861	.885	.848	1								
W11	.887	.898	.890	.901	.879	.878	.890	.909	.847	.900	.870	.865	.866	.880	.899	.894	.926	.943	.865	1							
W12	.891	.909	.883	.901	.891	.875	.900	.918	.861	.895	.900	.880	.874	.881	.907	.909	.927	.962	.838	.967	1						
S1	.906	.897	.946	.951	.933	.917	.910	.928	.887	.925	.820	.826	.825	.841	.859	.932	.934	.928	.843	.915	.895	1					
S2	.912	.917	.954	.955	.940	.911	.924	.939	.926	.946	.875	.873	.829	.857	.882	.960	.954	.961	.848	.925	.927	.954	1				
S3	.893	.900	.906	.927	.896	.896	.905	.925	.885	.898	.881	.872	.842	.884	.885	.906	.917	.923	.837	.940	.926	.922	.934	1			
S4	.831	.839	.882	.888	.852	.833	.859	.877	.883	.887	.843	.884	.810	.835	.848	.882	.858	.857	.825	.845	.843	.868	.900	.888	1		
S5	.869	.862	.906	.921	.888	.879	.874	.932	.883	.917	.827	.827	.814	.833	.848	.903	.889	.906	.824	.915	.899	.947	.934	.941	.895	1	
S6	.768	.765	.835	.821	.802	.803	.783	.817	.747	.836	.681	.708	.721	.730	.735	.811	.811	.801	.772	.814	.779	.878	.845	.828	.807	.901	1

2월 측정자료가 누락된 내포 측정소(W8)와 장항읍 측정소(W13)는 제외하였다. 모든 지역에서 상대적으로 높은 결정계수를 보였는데, PM₁₀의 경우 0.758~0.975, PM_{2.5}는 0.681~0.98이고, 음영으로 처리된 부분은 결정계수가 0.9 이상인 것이다. 가장 낮은 상관계수는 PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 W1(이원면 측정소, 태안)과 S6(봉황로 측정소, 공주)에서 나타났는데, 이것은 충청남도 서북쪽 끝 바닷가 부근과 내륙 지역에 따른 지역 및 해양기후에 따른 차이가 영향을 미친 것으로 생각된다. 특히, 북부권(N1~N10)에 위치한 측정소 간 상관성이 매우 높게 나타났는데, 이것은 배출원은 상이하나 오염물질 배출량이 높은 상태에서 타 지역에 비해 상대적으로 좁은 지역에 밀집되어 있어 이동, 확산과정에서 서로 영향을 미쳐 나타난 것으로 여겨진다. 반대로 내륙에 위치하고 있는 동남권(S1~S6)의 경우 대부분 농업 중심지역이어서 특별한 배출원이 없고, 측정소 위치도 넓게 분포하여 상대적으로 낮은 상관성을 보인 것으로 여겨진다.

4. 결 론

2016년 이후 고농도 미세먼지의 발생 사례가 증가하여 미세먼지에 대한 국민적 관심이 높아졌고, 이에 따른 국민적 알권리 충족과 대기환경 정보를 구축하기 위해 도시대기 측정소가 증가하고 있다. 충남의 경우 2016년까지 5개에 머무르던 측정소가 2020년 현재 31개까지 증가하였고, 2020년 말까지 40개소로 확대할 계획이다. 이에 본 연구에서는 충청남도의 도시대기 측정소 자료를 분석하여 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 시공간적 분포 특징을 파악하였다.

현재 충남은 전체 지역을 북부권, 서부권, 남동부권의 3개 권역으로 구분하여 관리하고 있으며, 2019년 자료를 분석하면 대도시 형태의 천안, 아산과 배출량이 많은 당진의 측정소에서 대부분 높은 농도를 나타냈고, 상대적으로 배출원이 적은 농어촌 지역인 남동부권의 농도는 낮은 수준을 보였다. CAPSS 자료를

기준으로 배출량 정보를 에너지산업 지역과 도시 지역, 농어촌 지역의 3가지 특징으로 분류하였는데, 대기오염 농도 또한 이와 유사하게 나타났다. 이것은 대기오염 관리계획 수립 시 인근의 지리적 특성보다는 그 지역의 산업환경적 특성을 고려한 할당과 관리 대책 수립이 더 필요하다는 것을 의미한다.

또한, 시군별로 3개 이상의 측정소가 설치된 지역의 측정소별 편차는 PM₁₀이 3~8 µg/m³, PM_{2.5}가 1~6 µg/m³이었는데, 이것은 측정소의 설치위치와 목적에 따라 지역 오염물질의 공간분포에 대한 다양한 해석이 가능하다는 것을 의미한다. 따라서 한 지역의 대표 농도를 정의할 때 지금까지처럼 모든 측정소의 농도를 단순 평균하여 제시하는 것보다는 측정소의 설치 목적에 맞게 분석 및 해석되어야 데이터의 일반화에 따른 오류를 줄일 수 있을 것이다.

향후 증가할 측정소에서 생산될 데이터들에 대한 정확한 정보해석과 정책지원을 위해 환경문제 인식과 빅데이터 해석을 동시에 수행할 수 있는 기술자들을 육성하여 분석하면, 측정소에서 생산된 자료가 더욱 의미있게 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 충청남도의 “화력발전소 주변 지역 기후환경영향 연구” 과제 및 2017년도 정부(과학기술정보통신부, 환경부, 보건복지부)의 재원으로 한국연구재단-미세먼지국가전략프로젝트사업의 지원(2017M38A1071980)을 받아 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Chungcheongnam-do (2016) Chungcheongnam-do Environmental Basic Ordinance.
- Chungcheongnam-do (2018) Chungnam Statistical Year Book, (in Korean).

- Han, J.H., Lee, M., Kim, Y.S. (2008) Cluster analysis of PM₁₀ concentrations from urban air monitoring network in Korea during 2000 to 2005, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 24(3), 300-309, (in Korean with English abstract).
- Jeon, M.K., Lim, D.S., Kwon, Y.S., Park, J.H. (1998) Study of the optimal allocations of air pollution monitoring stations in Gyeonggi-do, *Research Report of Gyeonggi Research Institute*, 98-8, 13-15, (in Korean).
- Ju, J.H., Hwang, I.J. (2011) A study for spatial distribution of principal pollutants in Daegu area using air pollution monitoring network data, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27(5), 545-557, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2011.27.5.545>
- Ju, S., Yu, G.H., Park, S., Lee, J., Lee, S., Jee, J., Lee, K., Lee, M. (2020) Pollution characteristics of PM_{2.5} measured during fall at a season site in Chungcheong province, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(3), 329-345, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2020.36.3.329>
- Kim, J.B., Park, D., Park, S., Michael, V., Lee, Y., Lee, S.S., Park, J.S., Kim, J. (2019) Concentration characteristics of particulate matter and volatile organic compounds in petrochemical industrial complex using real-time monitoring devices, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(6), 683-700, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.6.683>
- Kim, S.T., Kim, O., Kim, B.U., Kim, H.C. (2017) Impact of emission from major point sources in Chungcheongnam-do on surface fine particulate matter concentration in the surrounding area, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(2), 159-173, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2017.33.2.159>
- Korea environment Corporation (KECO) (2020) AirKorea Data Retrieve, https://www.airkorea.or.kr/eng/contents/contentView/?pME_NO=169&cntnts_no=21 (accessed on Feb. 18, 2020).
- Lazano, A., Usero, J., Vanderlinden, E., Raez, J., Contreras, J., Navarrete, B., Blkouri, H.E. (2010) Optimization of the design of air quality monitoring networks and its application to NO₂ and O₃ in Seville, Spain, *Air Quality*, 49-64.
- Lee, B.J., Park, S.S. (2019) Temporal and spatial variabilities of concentrations of criteria air pollutants during early summer in 2018 in South Chungcheong Province, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(2), 265-281, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.2.265>
- Ministry of Environment (MOE) (2019a) Installation and operating instructions of air quality monitoring station, 2019, (in Korean).
- Ministry of Environment (MOE) (2019b) Enforcement decree of the framework act on environmental policy, (in Korean).
- Nam, K.P., Lee, D.G., Lee, J.B., Choi, K.C., Jang, L.S., Choi, K.H. (2018) A study on the utilization of air quality model to establish efficient air policies: focusing on the improvement effect of PM_{2.5} in Chungcheongnamdo due to coal-fired power plants shutdown, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(5), 687-696, (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.5.687>
- National Center for Fine Dust Information (NCFDI) (2020) National Air Pollutants Emission Service, (in Korean). <http://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do> (accessed on Feb. 25, 2020).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2019) National Air Pollutants Emission, (in Korean).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2020) Monthly report of air quality, March 2020, (in Korean).
- Oh, S. (2007) Concentrations of atmospheric fine particles measured during 2005 in Chungnam, Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 23(1), 132-140, (in Korean with English abstract).
- Woo, J.H., Kim, S.T., Kim, J.W. (1997) Evaluation and complement of the representativeness of air quality monitoring stations using passive air sampler, *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, 13(6), 415-426, (in Korean with English abstract).
- Yoo, E.C., Park, O.H. (2006) The assessment of air quality monitoring network considering the change of various environment factors in Busan, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(4), 405-420, (in Korean with English abstract).

Authors Information

김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)
 윤수향 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)
 이상신 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)
 김경환 (한국과학기술연구원 대기정책팀 선임연구원)
 노수진 (한국과학기술연구원 미세먼지사업단 연구원)
 배귀남 (한국과학기술연구원 미세먼지사업단 단장)