

논문

## 충청남도의 지역별 오염 특성과 관리방안 연구: 농도 및 배출량 분석을 중심으로

# A Study on Regional Pollution Characteristics and Management Policy in Chungcheongnam-do: Focusing on Concentration and Emission Analysis

황규철, 장은희, 김창혁<sup>1)</sup>, 노수진<sup>2)</sup>, 김동호<sup>3)</sup>, 김정호<sup>4)</sup>, 신인철<sup>5)</sup>, 김종범\*

충남연구원 서해안기후환경연구소, <sup>1)</sup>국립환경과학원 대기환경연구과,  
<sup>2)</sup>대림대학교 안전보건학과, <sup>3)</sup>강원대학교 미세먼지관리 특성화대학원,  
<sup>4)</sup>열린공간, <sup>5)</sup>충청남도 보건환경연구원 환경조사팀

Kyuchoel Hwang, Eunhee Jang, Chang Hyeok Kim<sup>1)</sup>, Sujin Noh<sup>2)</sup>,  
Dongho Kim<sup>3)</sup>, Jeongho Kim<sup>4)</sup>, In-Chul Shin<sup>5)</sup>, Jong Bum Kim\*

Seohaean Research Institute, Chungnam Institute, Hongseong, Republic of Korea

<sup>1)</sup>Climate & Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research,  
Incheon, Republic of Korea

<sup>2)</sup>Department of Health & Safety, Daelim University, Anyang, Republic of Korea

<sup>3)</sup>Department of Integrated Particulate Matter Management, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea

<sup>4)</sup>Open Space, Seoul, Republic of Korea

<sup>5)</sup>Chungcheongnam-do Institute of Health & Environmental Research, Hongseong, Republic of Korea

접수일 2025년 1월 6일  
수정일 2025년 1월 16일  
채택일 2025년 1월 17일

Received 6 January 2025  
Revised 16 January 2025  
Accepted 17 January 2025

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)41-630-3924  
E-mail : kjb0810@cni.re.kr

**Abstract** Environmental pollution management in Korea began with the enactment of the Framework Act on Environmental Policy in 1991. To manage air quality, national emissions inventories and pollutant concentration measurements have been conducted to set objectives and evaluate improvement efforts. Chungcheongnam-do, the focus of this study, is classified as part of the central region under the Air Quality Control Act and is managed by the Geum River Basin Environmental Office. However, uniform policies applied across the five provinces in the central region often fail to account for regional characteristics. This study analyzes air pollutant emissions and concentration data from 15 cities in Chungcheongnam-do to identify priority sectors and substances for management. Based on major emission sources and pollutants, the regions are categorized into four types: Energy-Industrial, Agricultural, Rural-Urban mixed, and Urban-Rural mixed. The diverse emission sources, environmental conditions, and topographical variations across these regions indicate that uniform policies may not effectively mitigate air pollution. To address this, the study proposes tailored regional policies that reflect the emission characteristics and major sources specific to each locality in Chungcheongnam-do. This approach underscores the importance of region-specific strategies for efficient air quality management and offers valuable insights for optimizing future environmental policies.

**Key words:** Region-specific air quality management, Environmental policy, Chungcheongnam-do, Clean Air Policy Support System (CAPSS), Air Quality Monitoring Station (AQMS)

### 1. 서론

국내 대기질에 영향을 미치는 대기오염물질은 지역

별로 다양한 배출특성을 가진다. 중국에서 유입되는 장거리 오염물질은 주로 겨울과 봄에 영향을 주며, 연구 사례에 따라 차이는 있으나 많게는 국내 오염물질

의 50% 이상을 차지하는 것으로 보고되었다(Fadnavis *et al.*, 2024; Bae *et al.*, 2016; Hageman *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2006; Kang *et al.*, 1993). 국내에는 석탄화력 발전소, 제철소, 산업단지 등으로 대표되는 대형배출 시설과 이동오염원인 자동차, 선박, 항공기, 농업 및 건설기계 등이 있다(Hwang *et al.*, 2023a). 배출원으로부터 배출된 오염물질은 대기 중에서 확산, 이동, 희석, 반응 등 기상 및 주변 지형, 환경조건에 따라 변형을 거쳐 주변 지역에 영향을 미친다(Xu *et al.*, 2021). 이러한 이유로 대기오염은 해당 지역의 국지적 문제임과 동시에 광역적 영향을 바탕으로 포괄적인 범위에서의 조사와 연구가 수행되고 있다(Lim *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2007).

우리나라는 환경오염 관리를 위해 1991년 제정한 환경정책기본법을 바탕으로 토양, 물, 자연, 대기에 대한 환경보전법을 신설했고(MOE, 1996a, 1996b, 1996c, 1996d, 1995), 대기질 관리의 목표설정과 개선효과 분석을 위해 배출량 산정과 농도측정을 수행하고 있다(MOE, 2023). 배출량의 경우 1999년부터 대기정책지원시스템(clean air policy support system, CAPSS)으로 산정하고 있다. CAPSS는 초기 총부유분진(total suspended particulate, TSP)을 포함한 7개 항목이 대상이고, 2011년에 초미세먼지(particulate matter less than 2.5  $\mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ )가 포함된 후 2014년에 검댕(black carbon, BC)이 추가되어 현재 총 9개 물질에 대해 배출량을 산정하고 있다(NAIR, 2022). 최근 2021년도 배출량을 산정하면서 기존 산정방법론을 개정하여 version 5에서 version 6으로 산정 체계를 개선했고, 개선된 산정방법론을 적용하여 2016년부터 2020년까지 자료를 재산정 및 고시했다(NAIR, 2023a). 배출량 산정방법론 개정과 신규물질 및 항목 추가로 정확한 배출량 비교는 어렵지만, 전반적으로 대기오염물질 배출량은 꾸준히 감소하는 추세이다(Park *et al.*, 2024; Park *et al.*, 2023). 농도자료는 대기환경측정망 설치·운영지침에 의거하여 측정망을 설치 후 1998년부터 자료를 생산하고 있다(Shin *et al.*, 2023; MOE, 2022a). 측정항목은 환경정책기본법에서 제시하고 있는 환경기준물질을 대상으로 하고 있으며, 신규물질이 추가되는 경

우 대상 항목을 추가 측정하여 보고하고 있다. 대상물질은 2024년 기준  $\text{PM}_{2.5}$ 를 포함한 총 8개 항목으로, 연도별 차이가 있으나 오존(ozone,  $\text{O}_3$ )을 제외한 모든 물질이 감소 추세에 있다(NIER, 2023).

$\text{O}_3$ 을 제외한 대부분의 대기오염물질 농도가 감소하고 있음에도 불구하고, 고농도 미세먼지는 꾸준히 발생하고 있으며, 국민적 관심과 우려가 증가하고 있다(Hur and Kang, 2022; Yeo and Kim, 2019). 2018년 “미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)”이 관계부처 합동으로 수립되었고(MOE, 2019), 세부적인 사항이 명시된 신규 특별법들이 제정되었다(MOE, 2024a, 2024b). 또한, “대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(대기관리권역법)”은 2003년 이후 수도권(서울, 인천, 경기)을 중심으로 운영되던 권역관리 개념을 전국으로 확대하였으며(MOE, 2003), 배출량과 기상여건 등을 고려하여  $\text{PM}_{2.5}$ 에 대한 기여도가 높은 지역을 관리 권역으로 선정하였다.

충청남도(충남)는 대기관리권역법에 따라 대전광역시(대전), 세종특별자치시(세종), 충청북도(충북), 전북특별자치도(전북)와 함께 중부권으로 분류되었으며, 중부권의 대기질 관리를 위해 금강유역환경청이 관리주체로 지정되었다. 이에 따라 금강유역환경청에서는 “제1차 중부권 대기환경관리 기본계획(2020~2024)”을 수립하였고(MOE, 2020), 계획에서 명시하고 있는 목표 달성을 위해 중부권 5개 시·도는 “대기환경관리 시행계획”을 수립하여 추진하고 있다. 하지만 중부권 내 5개 시·도를 획일적인 방법으로 관리함에 따라 지역별 특성을 고려하지 못한 정책이라는 의견도 제시되고 있다(Choi *et al.*, 2023). 충남의 면적은 총 8,229  $\text{km}^2$ 로 대전과 세종의 540  $\text{km}^2$  및 645  $\text{km}^2$ 보다 12.8~15.2배 크며, 충남을 구성하고 있는 15개 시·군에 대해 평균 면적은 550  $\text{km}^2$ 로 1개 시·군의 크기가 중부권 내 대전, 세종과 유사한 면적을 가진다(MOLIT, 2024). 이전 연구에서 Hwang *et al.* (2023b)이 수정된 배출량을 기준으로 충남을 3개 특성으로 분류하였고, 이들은 서로 다른 배출특성과 환경을 가지므로 지역에 적합한 정책이 추진되어야 한다고 제안하였다. 그러나 해당 연구에서는 농도 수준이 고려

되지 않았으며, 주요 배출원 등의 비교를 통한 통합적인 지역 세분화가 이루어지지 못한 한계점을 가진다.

본 연구에서는 국가에서 산정 및 측정하여 고시하고 있는 환경자료(농도, 배출량)와 주요 배출원 등을 고려하여 각 시·군별 대기질 관리방안을 제안하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 공간범위 선정 및 자료수집

본 연구의 공간범위는 충남을 대상으로 하였다. 충남은 지리적으로 한반도의 정서쪽 중앙에 위치해 있으며 위쪽으로는 경기, 충북, 우측으로는 대전, 세종, 아래쪽으로는 전북과 인접해 있다. 석탄화력발전소, 제철소, 석유화학단지 등 대형배출시설이 다수 위치하며, 이들에 의한 대기오염물질 배출 기여도가 높은 것으로 알려져 있으며(Choi *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2021), 2021년 CAPSS 기준 전국 4위의 배출량을 나타내고 있다(NAIR, 2023b). 이와 더불어 온실가스 배출량 1위(GIR, 2024), 화학물질 배출량 전국 2위(NICS, 2022) 등 지역적으로 환경 관련 이슈가 큰 지역이다. 지역 내 환경특성 분석을 위해 배출량 자료와 농도 자료를 활용하였다. 배출량 자료는 국가미세먼지정보센터에서 제공하고 있는 CAPSS 자료(2016~2021)를 활용하였고, 농도 자료는 환경부 에어코리아에서 제공하는 확정 농도 자료(2018~2022)를 분석에 활용하였다.

### 2.2 대상기간 선정

지역적 대기오염물질 배출특성 분석을 위해 사용된 CAPSS의 경우 1999년부터 자료를 제공하고 있고, 2020년도 배출량 산정과정에서 새로운 산정방식이 적용되었다. 본 연구의 대상기간은 새로운 산정방식이 적용되어 고시된 2016년부터 가장 최근 자료인 2021년 까지의 자료이다. 대기오염물질 농도 자료는 1999년부터 측정 자료를 제공하고 있다. 그러나 충남의 경우 2016년까지 15개 시·군에 단 6개소의 도시대기측정망이 운영되었다. 충남의 경우 전체 면적이

8,229 km<sup>2</sup>로 서울의 605 km<sup>2</sup>보다 약 13.6배 큰 면적을 가지고 있다(MOLIT, 2024). 서울의 경우 25개 구에 1개씩 측정망이 설치되어 있다. 이를 기준으로 공간적인 분포로 살펴보면, 1개 측정망이 담당해야 하는 면적이 서울 24 km<sup>2</sup>/측정소, 충남 1,372 km<sup>2</sup>/측정소에 해당하며, 충남은 측정망이 매우 부족한 상황이었다. 하지만 2017년 이후 고농도 미세먼지 발생사례가 증가하면서 전국적으로 측정망 개소 수가 증가하였고, 2024년 기준 충남에는 40개소의 도시대기측정망이 운영되고 있다(NIER, 2024). 본 연구에서는 장기적인 추이분석에는 2000년부터 2022년까지를 대상으로 선정하였고, 지역별 특성 분석에는 추가로 설치된 측정망의 자료가 안정적으로 제공되기 시작한 2018년부터 2022년까지를 대상으로 하였다.

### 2.3 지역 우선관리 부문과 물질 선정

Hwang *et al.* (2023b)은 선행 연구에서 CAPSS 배출량을 기준으로 충남의 시·군별 배출특성을 분석 후 15개 시·군의 배출특성을 고려해 3개 권역으로 제시하였다. 하지만 본 연구에서 제시된 시·군별 특성을 살펴보면 15개 시·군별로 서로 다른 배출특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 15개 시·군을 대상으로 배출량과 농도 기반 주요 배출원과 고농도 물질을 선정하였다. CAPSS 기반 부문별 배출특성을 분류하고 각 시·군별로 주요 배출원과 고배출물질을 선정하였다. 지역별 주요 배출원은 전체 대기오염물질 배출량 대비 기여율이 10% 이상인 분야를 대상으로 하였고, 동일한 조건으로 주요 배출물질을 선정하였다. 농도 자료의 경우 도시대기측정망에서 측정하고 있는 6개 환경기준물질을 대상으로 하였고, 각 물질별로 상위 5개 시·군을 고농도 물질로 선정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 충청남도 및 시·군별 대기오염물질 배출특성

정부의 장기적이고, 적극적인 대기질 개선정책 추

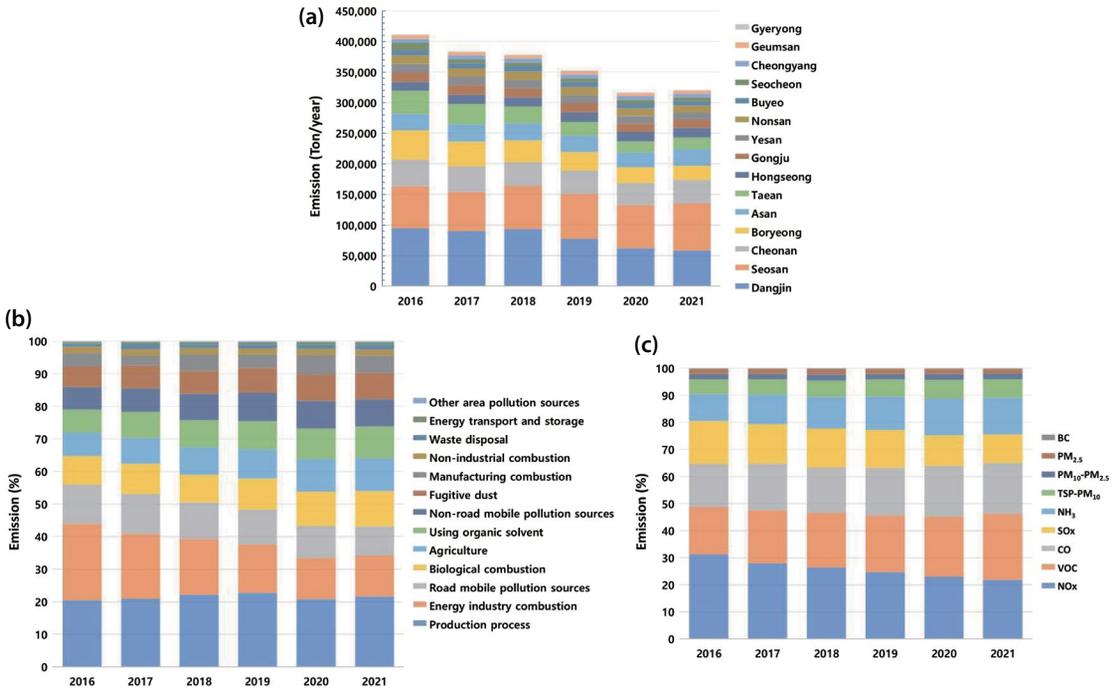


Fig. 1. Trends in air pollutant emissions in Chungcheongnam-do (2016~2021).

진으로 대기오염물질의 배출량과 O<sub>3</sub>을 제외한 대부분의 대기오염물질의 농도가 개선되고 있는 것으로 나타나고 있다(Shim *et al.*, 2023). 충남 지역도 전국적인 배출량 감소 추세와 같은 경향을 보인다. 그림 1a는 2016년부터 2021년까지 최근 6년간의 충남의 배출량을 시·군별로 누적하여 나타낸 것이다. 2016년 충남의 총 대기오염물질 배출량은 411,184 톤이었으나 2021년 320,637톤으로 90,548톤(22.0%)이 감소한 것으로 나타났다. 시·군별로는 당진이 2016년 대비 2021년 배출량이 36,427톤(38.5%) 감소하여 가장 큰 감축량을 보였으며 그 다음으로는 보령이 24,983톤(52.1%), 태안이 18,617톤(49.3%), 서천이 5,672톤(46.3%) 감축된 것으로 나타났다. 보령과 서천의 경우 보령 1, 2호기와 서천화력의 폐쇄로 인해 배출량이 급감한 것으로 판단되며, 태안과 당진의 경우 총량관리제도와 자발적 감축협약 추진, 최정방지기술(best available technology, BAT)의 적용으로 배출량이 감소한 것으로 판단된다(Kim *et al.*, 2024; Nam *et al.*, 2018). 그림 1b와 c

는 각각 부문별과 오염물질별 기여도를 나타낸 것이다. 부문별로 살펴보면 2016년 배출기여도는 에너지산업연소(Energy industry combustion)가 23.5%로 가장 높은 비중을 차지하였고, 생산공정(Production process) 20.5%, 도로이동오염원(Road mobile pollution sources) 12.0%, 생물성연소(Biological combustion) 8.9% 등의 순서로 나타났다. 하지만 2021년 에너지산업연소의 비중이 12.6%로 감소하면서 생산공정이 21.6%로 가장 높은 기여도를 보였고, 생물성연소 11.0%, 농업(Agriculture) 10.1%로 농업관련 기여도가 높게 나타났다. 이는 충남의 지역적 특성상 에너지산업부문의 기여도가 높았으나 대기질 개선정책 추진으로 관련 분야의 배출량이 낮아지면서 상대적으로 에너지생산 외 주요산업인 농업부문의 기여도가 증가한 것으로 판단된다. 오염물질별로는 2016년 기준 NO<sub>x</sub> 31.2%, VOCs 17.6%, CO와 SO<sub>x</sub>가 각각 15.9%로 높은 비중을 차지하였으나 2021년의 경우 VOCs가 24.4%로 가장 높은 배출기여도를 보였고, 그 뒤를 이어 NO<sub>x</sub>

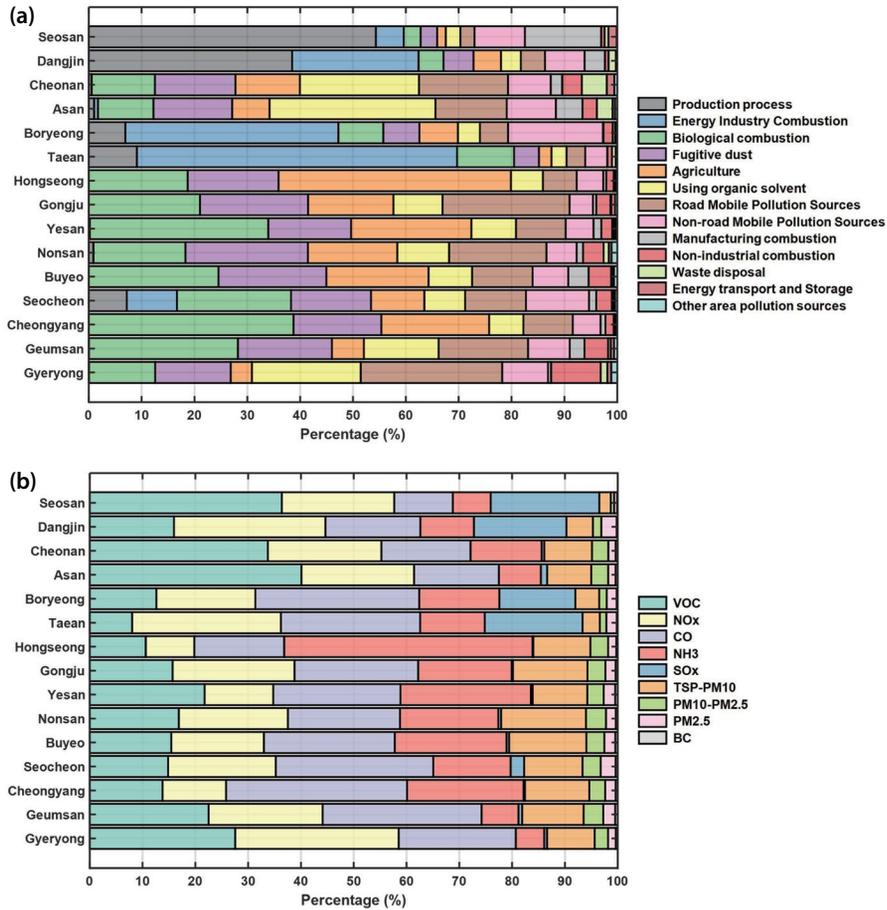


Fig. 2. Emission contribution of each region (2021): (a) by sectors, (b) by pollutants.

21.8%, CO 18.9%, NH<sub>3</sub> 13.6%로 나타났다. 대형배출시설에 대한 BAT 기술적용과 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, TSP를 대상으로 하는 총량관리제도가 추진되면서 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>의 배출기여도가 감소한 반면 VOCs의 경우 서산을 필두로 한 석유산업에서의 배출량 증가로 인해 기여도가 증가하였다. 또한 NH<sub>3</sub> 역시 증가 추세를 보이고 있는데 NH<sub>3</sub>의 경우 충남 지역에 위치한 대규모 축산업단지로 인한 결과로 해석된다. NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>의 경우 화력발전소와 산업단지의 영향으로 대기오염물질 배출량이 타 지역보다 높아 2차 반응에 의한 PM<sub>2.5</sub>에 생성에 영향을 미칠 수 있어, 향후 2차 미세먼지 생성에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

그림 2는 2021년도 배출량을 기준으로 충남 지역의 15개 시·군의 부문별 (a), 오염물질별 (b) 기여도를 충남 15개 시·군의 배출량 순으로 나타낸 것이다.

서산은 전국 3대 석유화학단지라 불리는 대산석유화학단지가 있으며, 2021년 기준 충남 대기오염물질 배출량 1위 지역이다. 2020년 이전까지 석탄화력발전소와 제철소가 함께 위치하고 있는 당진이 도내 대기오염물질 배출 1위의 지역이었다. 하지만 당진의 경우 꾸준히 배출량을 감소시켜온 반면, 서산의 경우 배출량 증가를 반복하고 있어 2020년 이후 2년 연속 지역 배출량 1위를 차지하고 있다. 2021년 기준 배출기여율은 24.1%로 충남 전체 배출량의 1/4 수준이다. 부문별

로는 생산공정이 55%로 압도적으로 높은 비율을 보이며, 제조업연소(Manufacturing combustion) 15%, 비도로이동오염원(Non-road mobile pollution sources) 9%로 상위 3개 부문에서 전체 배출량의 79%를 차지하는 것으로 확인되었다. 오염물질별로는 VOCs 36%, NOx와 SOx 각각 21%, CO 11%로 상위 4개 물질이 전체 배출량의 89%를 차지하였다.

당진은 석탄화력발전소, 제철소 등 대형배출시설이 가장 많이 입지해 있어 중부권 내 주요 대기오염물질 배출지역으로 구분된다. 전국 석탄화력발전소 59기 중 17%에 해당하는 10기가 운영 중에 있으며, 현대제철을 비롯한 산업철강단지가 송산면에 분포하고 있다. 배출기여도 역시 2020년 전까지 부동의 1위를 차지하고 있었으나 다양한 환경개선정책과 기업들의 노력에 의해 지난 6년간(2016~2021년) 38.5%의 감소율을 보였다. 2021년 기준 충남 내 배출기여율은 18.2%로 서산에 이어 2위이다. 부문별 배출기여율은 생산공정 38%, 에너지산업연소 24%의 2개 부문에서 압도적으로 높은 기여율을 보였고, 그 뒤를 이어 비도로이동오염원 7%, 농업 6%, 도로이동오염원과 농업이 각각 5% 순으로 나타났다. 오염물질별로는 NOx 29%, CO와 SOx 각 18%, VOCs 16%였다.

천안은 충남 전체 인구 219만 명 중 67.7만 명이 거주하고 있는 충남 최다 인구 밀집지역으로 도시화가 가장 많이 진행된 곳이다. 2021년 기준 충남 전체 대기오염물질 배출량 중 12%를 차지한다. 부문별로는 유기용제 사용(Using organic solvent) 24%, 도로이동오염원 18%, 농업 13%, 비산먼지(Fugitive dust)와 생물성연소가 각각 12%를 차지하며, 상위 5개 부문에서 전체 배출량의 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염물질별로는 VOCs가 34%로 가장 높은 배출기여도를 보였고, NOx 22%, CO 17%, NH<sub>3</sub> 13%로 상위 4개 물질이 전체 배출기여도의 86%를 차지하며, 도시배출과 농촌지역 배출이 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있다.

아산은 충남 제2의 도시로 542 km<sup>2</sup>의 면적에 35만 명이 거주하고 있으며, 대기오염물질 배출량 기준 4

위(8.5%)의 지역이다. 천안과 아산의 경우 도시화가 충남에서 상대적으로 많이 진행된 지역으로 석탄화력발전소가 위치하고 있는 보령, 태안보다 높은 배출량을 보이고 있다. 부문별로는 유기용제사용이 33%로 가장 높은 비율을 보이며, 도로이동오염원 14%, 비산먼지 12%, 생물성연소 10%, 비도로이동오염원 9%로 상위 5개 부문에서 전체 배출량의 78%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염물질별로는 VOCs 34%, NOx 22%, CO 17%, NH<sub>3</sub> 13%로 상위 4개 물질에서 86%의 기여율을 보였다.

보령의 경우 전국으로 운영 중인 59기 석탄화력발전기 중 8기가 운영(보령 6기, 신보령 2기)되고 있으며, 전체 대기오염물질 배출량 중 7.2%로 충남 지역 내 5위의 배출기여도를 보이고 있다. 부문별로는 에너지산업연소가 40%로 압도적인 비율을 보이며, 비도로이동오염원 18%, 생물성연소와 농업이 각각 8%, 생산공정 7%로 상위 5개 부문에서 전체 배출의 81%를 차지하고 있다. 오염물질별로는 CO 31%, NOx 19%, NH<sub>3</sub> 15%, SOx 14%, VOCs 13%로 상위 5개 물질이 전체 배출량의 92%를 차지하는 것으로 나타났다.

태안의 경우 보령, 당진과 함께 석탄화력발전소가 위치한 지역으로 총 10기의 화력발전기가 운영되고 있다. 2021년 기준 충남 내 대기오염물질 배출기여율은 6.0%이며, 2016년부터 2021년까지 꾸준한 감소를 보이고 있다. 부문별로는 에너지산업연소가 61%로 압도적으로 높은 비율을 차지하고 있으며, 생물성연소 11%, 생산공정 10%로 상위 3개 부문에서 전체 배출량의 81%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염물질별로는 NOx 28%, CO 26%, SOx 19%, NH<sub>3</sub> 12%로 화석연료 연소에 따른 배출특성을 뚜렷하게 보이고 있다. 하지만 제10차 전력수급 기본계획에 따르면 2025년 1, 2호기, 2028년 3호기, 2029년 4호기를 단계적 폐쇄할 계획을 고시하고 있어 향후 관련 배출량은 더욱 뚜렷하게 감소할 것으로 예측된다(MOTIE, 2023).

홍성은 전체 배출량의 4.9%를 차지하며, 충남에서 가장 큰 축사 밀집지역이다. 농림축산식품부의 통계에 따르면 충남은 2022년 사육두수 기준 돼지 1위, 소(한

육우와 젓소)와 닭 3위로 나타났다(MAFRA, 2023). 전체적인 대기오염물질 배출량은 2016년 14,578톤에서 2021년 15,774톤으로 꾸준히 증가하고 있는 것으로 확인되었다. 부문별 기여율은 농업이 47%로 가장 높은 기여율을 보였고, 그 뒤를 이어 생물성연소 19%, 비산먼지 14%로 농업관련 기여율이 타 시·군 대비 압도적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 오염물질별로도 농업 기인의 NH<sub>3</sub>가 47%로 가장 높게 나타났고, CO 17%, TSP와 VOCs가 각각 11%로 확인되었다.

공주는 인구 10만으로 전체 충남 주민 대비 많지 않은 인구가 거주하고 있으나 864 km<sup>2</sup>로 가장 큰 면적을 차지하고 있다. 충남 전체 대기오염물질 배출량 중 기여도는 4%로 매우 낮은 수준이다. 부문별로는 도로 이동오염원이 25%로 가장 높은 기여도를 보이며, 생물성연소 21%, 농업과 비산먼지 17%로 상위 4개 부문에서 전체 배출량의 81%를 차지하는 것으로 나타났다. 오염물질별로는 NO<sub>x</sub>와 CO가 각각 23%, NH<sub>3</sub> 18%, VOC 16%로 상위 4개 물질에서 80%의 배출기여도를 보였다.

예산은 대기오염물질 배출기여율 3.8%의 낮은 기여율을 보이고 있으며, 배출량 역시 지난 6년간 꾸준한 감소 추세를 보이고 있다. 부문별로는 생물성연소가 34%, 농업 24%, 비산먼지 13%, 비도로이동오염원 10%로 홍성, 서천, 청양과 같이 농업관련 배출기여도가 높은 것으로 나타났다. 오염물질별로는 NH<sub>3</sub> 25%, CO 24%, VOCs 22%, NO<sub>x</sub> 13%로 상위 4개 물질이 전체 배출량의 84%를 차지하는 것으로 확인되었다.

논산의 대기오염물질 배출기여율은 3.5%이며 지역 내 큰 배출원이 없다. 지리적으로는 익산, 완주 등 전북 지역과 인접해 있는 지역이다. 부문별로는 비산먼지 20%, 도로이동오염원 19%, 농업과 생물성연소 각각 18%, 유기용제사용 11%로 상위 5개 부문에서 전체 배출의 86%를 차지하는 것으로 확인되었다. 오염물질별로는 CO와 NO<sub>x</sub> 21%, NH<sub>3</sub> 19%, VOCs 17%, TSP 16%로 다양한 오염물질이 혼재되어 배출되는 것으로 나타났으며, 다른 곳과 다르게 TSP의 기여율이 상대적으로 높게 나타났다.

부여는 2021년 기준 전체 배출량의 2.2%의 낮은 배출기여율을 보이며, 2016년부터 2021년까지 15.6%의 감소율을 보이고 있다. 부문별로는 생물성연소 25%, 농업 21%, 비산먼지 17%, 도로이동오염원 12% 등 농업관련 배출원의 기여도가 높게 나타났다. 오염물질별 배출기여도는 CO 25%, NH<sub>3</sub> 21%, NO<sub>x</sub> 18%, VOCs 15%였다.

서천의 경우 2016년까지 서천화력발전이 운행되면서 에너지관련 배출량이 높았지만 2016년말 관련 시설이 폐쇄되면서 2017년부터 배출량이 급격히 감소하여, 2021년 기준 충남 배출량의 2.1%의 기여율을 보이고 있다. 부문별로는 생물성연소 22%, 비산먼지 13%, 도로 및 비도로이동오염원이 각각 12%, 농업 11% 등 농촌지역의 전형적인 배출특성을 보이고 있다. 오염물질별로는 CO 30%, NO<sub>x</sub> 20%, NH<sub>3</sub>와 VOCs가 각각 15%로 상위 4개 물질이 전체 배출량의 80%를 차지하는 것으로 확인되었다. 하지만 2021년부터 신서천화력의 시운전이 시작되면서 향후 2022년부터는 에너지생산관련 배출 부문이 추가될 것으로 예상된다.

청양은 충남 정중앙 내륙지역에 위치하고 있으며, 특별한 대기배출원이 없어 충남 내 배출기여율 역시 1.8%로 계룡, 금산 다음으로 13위를 차지하고 있다. 2016년 대비 2021년 배출량도 약 7.5%의 감소한 것으로 확인되었다. 부문별 배출기여율은 생물성연소 39%, 농업 22%, 비산먼지 14%, 도로이동오염원 10%로 농업관련 배출기여도가 높게 나타났다. 오염물질별로는 CO 34%, NH<sub>3</sub> 22%, VOCs 14%, NO<sub>x</sub> 12%로 확인되었다.

금산은 충남 동남쪽 끝에 위치하고 있어 대전, 전북과 인접하고 있으며, 충남 중 유일하게 대기관리 지역에서 제외된 지역이다. 2021년 기준 배출기여율은 1.5%로 계룡보다는 높은 14위에 해당한다. 부문별 기여율은 생물성연소 28%, 도로이동오염원 18%, 유기용제사용 15%, 비산먼지 14%로 도시오염원과 농촌오염원이 혼재되어 나타나고 있다. 오염물질별로는 CO 30%, VOCs 23%, NO<sub>x</sub> 22%로 상위 3개 물질에서 전체 배출량의 74%를 차지하는 것으로 확인되었다.

계룡은 60 km<sup>2</sup>로 충남 내 가장 작은 면적을 가지며, 4.4만 명으로 가장 적은 인구가 거주하고 있다. 배출량 비율 역시 0.4%로 가장 낮은 기여를 하고 있다. 하지만 대전과 인접하고 있고, 주변 환경영향으로 관리가 필요할 것으로 판단되어 현재 중부권 내 대기환경 관리지역으로 설정되어 있다. 부문별 배출기여도는 도로이동오염원이 28%로 가장 높으며, 유기용제 사용 22%, 생물성연소와 비산먼지가 각각 12%, 비산업연소(Non-industrial combustion) 10%, 비도로이동오염원 9%로 나타났다. 오염물질별로는 NO<sub>x</sub> 31%, VOCs 28%, CO 22% 등 상위 3개 물질에서 81%의 배출기여도를 보였다.

종합적으로 다시 정리하면 충남 서북부 지역의 서산, 당진, 천안, 아산에서 충남 전체 배출량의 62%를 배출하는 것으로 나타났다. 생산공정 부문은 서산과 당진에서 전체 배출량의 94%가 배출되었고, 제조업 연소 또한 서산과 당진에서 전체 배출량의 80%가 배출되었다. 에너지산업연소 부문은 석탄화력발전소가 위치한 서산, 당진, 보령, 태안에서 충남 전체의 98%가 배출되었으며, 도심 지역에서 주로 배출되는 것으로 알려진 유기용제 사용 부문은 천안과 아산에서 전체 배출의 58%가 배출되었다. 반면, 부여, 서천, 청양, 금산, 계룡의 경우 각각의 시군에서 충남 전체 배출량의 3% 미만을 배출하여 충남의 전체 배출량에 기여가 상대적으로 작은 것으로 분석되었다.

### 3.2 시·군별 대기오염물질 오염도 분석

대기 중 오염물질은 인근 배출원에서 배출되거나 장거리 이동에 의한 유입, 또는 대기 중 물리화학적 반응으로 생성되며, 주변 환경과 기상 조건을 통해 대기질에 영향을 준다. 노출 농도는 지역 주민의 건강과 환경피해를 발생시킬 수 있으므로 지속적인 모니터링이 중요하다(Ho et al., 2005). 환경부는 1999년부터 전국을 대상으로 주요 대기오염물질에 대해 모니터링을 수행해오고 있다. 하지만 앞서 언급한 것처럼 충남의 경우 단 6개의 측정소가 운영되었으며, 이를 지역 단위로 묶으면 4개 시(천안, 아산, 서산, 당진)에 국한

되게 된다. 이후 꾸준히 증가하여 2018년부터는 충남 지역 내 15개 시·군에 1개소 이상의 측정망이 설치되어 각 지역의 농도 자료를 확보할 수 있게 되었다. 그림 3은 1999년부터 가장 최근 확정자료인 2022년까지를 대상으로 각 시·군별 농도변화를 나타낸 것이다. 시·군별 평균자료는 측정망의 목적과 상관없이 지역 내 모든 측정망의 자료를 대상으로 평균하여 나타낸 것이며, 이러한 이유로 측정소가 복수로 있는 천안, 아산, 서산과 같은 지역보다 1개소만이 운영 중인 계룡, 금산, 부여의 경우 자료의 해상도가 낮을 수밖에 없다. 하지만 현 시점에서 활용할 수 있는 자료의 한계를 감안하고 본 분석을 수행하였다.

CO의 경우 연소과정에서 불완전연소에 의해 발생하며, 연소가 발생하는 모든 장소에서 배출된다. 측정 초기인 1999년 충남의 CO 농도는 0.913 ppm이었고, 이후 지속적으로 감소하여 2022년에는 0.378 ppm으로 감소하였다. 환경기준물질인 CO에 대한 기준은 8시간과 1시간 평균 기준이 있는데 8시간 평균농도 기준이 9 ppm인 것을 감안한다면 매우 낮은 수치이다. 모든 측정망이 설치된 2018년부터 2022년까지의 평균으로 보면 충남 내 평균농도는 0.437 ppm 수준이고, 천안, 서산, 논산, 계룡, 당진, 부여, 태안 등 7개 지역에서 0.500 ppm으로 평균 이상의 농도를 보였다. 하지만 환경기준을 감안했을 때 관리가 필요한 수준의 농도는 아닌 것으로 판단된다.

NO<sub>2</sub>는 대기 중 연소과정에서 발생하며, 연소과정에서 생성된 NO가 급격히 산화되어 NO<sub>2</sub>로 전환된다. 1999년 충남의 NO<sub>2</sub> 농도는 0.022 ppm 수준이었고, 이 농도는 NO<sub>2</sub>의 연평균 기준인 0.030 ppm보다 낮은 수치이다. 이후 지속적으로 감소하여 2022년에는 충남 전체 평균 0.011 ppm으로 1999년 대비 절반수준으로 감소한 것으로 나타났다. 최근 5년간 평균으로 봤을 때 충남의 평균 농도는 0.012 ppm으로 확인되었고, 지역 내 평균보다 높은 곳은 천안이 0.020 ppm으로 가장 높은 농도를 보였고, 그 뒤를 이어 아산 0.015 ppm, 서산, 논산, 계룡, 당진이 각각 0.014 ppm 순으로 나타났다.

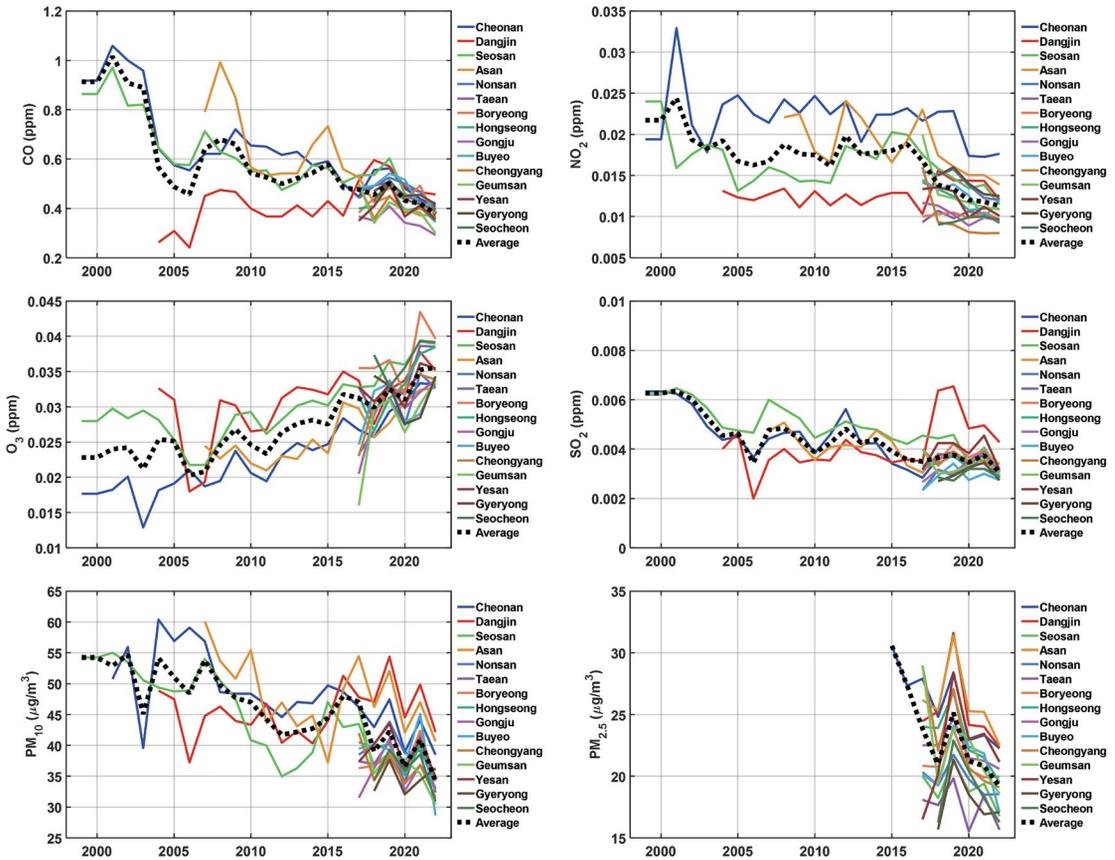


Fig. 3. The trend of annual average concentration change by each region (1999~2022).

O<sub>3</sub>은 VOCs와 NO<sub>x</sub>의 광화학 반응으로 생성되는 2차 생성물질이며, “제3차 대기환경개선 종합계획(2023~2032년)”에서 PM<sub>2.5</sub>와 함께 관리물질로 선정되었다(MOE, 2022b). 1999년 충남의 평균농도는 0.023 ppm이었다. O<sub>3</sub> 역시 연평균 기준이 없고, 1시간 및 8시간 평균 기준이 있는데 8시간 평균 기준이 0.060 ppm으로 환경기준의 절반 수준의 농도이다. 하지만 꾸준히 증가하여 2022년에는 0.036 ppm으로 36% 증가하였다. O<sub>3</sub>의 경우 앞서 언급한 것처럼 VOCs와 NO<sub>x</sub>의 반응에 의해 순간적으로 생성되었다가 급격히 사라지는 특성을 가지며, 특히 여름철 복사강제력이 높은 기간에 가장 높은 농도를 보인다. 2016~2022년까지 측정소별 환경기준 달성률은 1시간의 경우 12.0~41.1%, 8시간은 0~0.7%로 매우 낮다(NIER,

2023). 기준 달성률이 낮다는 문제점과 더불어 중요한 점은 지속적인 증가 추세에 있어 이에 대한 대책 마련이 시급한 것으로 나타났다. 2022년 기준 충남의 O<sub>3</sub> 평균농도는 0.033 ppm으로 확인되었고, 보령, 서산, 서천의 경우 0.037 ppm, 태안 0.034 ppm으로 기준 이상인 농도를 나타냈다.

SO<sub>2</sub>는 화석연료에 포함되어 있는 황성분이 연소과정을 통해 배출되는데, 전 세계적으로 환경관리가 시작되게 된 대표 대기오염물질이다. 1990년대 이후 꾸준히 황 성분 감소를 위한 정책과 기술이 적용되었고, 최근에는 가장 높은 개선효과를 보이고 있다. SO<sub>2</sub>에 대한 환경기준은 연평균 0.020 ppm이나 2022년 연평균 농도는 0.003 ppm으로 나타났으며, 최근 5년 평균 역시 0.004 ppm으로 매우 낮은 농도를 보이고 있다.

현재 대기환경측정망에 설치·운영 중인 측정장비의 검출한계(limit of detection, LOD)가 0.001 ppm임을 감안한다면 향후 중장기 모니터링 필요성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

PM<sub>10</sub>은 1983년부터 측정해오던 TSP를 대신하여 1993년 추가되었다. 1999년 충남의 농도는 54 µg/m<sup>3</sup>였고, 이후 지속적인 저감 정책으로 인해 2022년 농도는 34 µg/m<sup>3</sup>까지 감소하였다. 최근 5년간 충남의 연평균 농도는 39 µg/m<sup>3</sup>이고, 당진 48 µg/m<sup>3</sup>, 아산 46 µg/m<sup>3</sup>, 천안 42 µg/m<sup>3</sup>로 3개 지역에서 평균보다 높은 수치를 보였다. 현재 PM<sub>10</sub>에 대한 연평균 기준이 50 µg/m<sup>3</sup>인 것을 감안하면 낮은 수치이다. 하지만 해외 선진국들의 연평균 기준이 영국과 EU 40 µg/m<sup>3</sup>, 호주 25 µg/m<sup>3</sup>, WHO 15 µg/m<sup>3</sup>로 강화되면서 내외부적으로 기준 강화에 대한 요구가 증가하고 있다.

입자상 오염물질의 경우 크기가 중요한 변수로 작용하는 만큼 좀 더 미세한 크기의 입자에 대한 관측과 관리가 요구되면서 2015년 PM<sub>2.5</sub>가 환경기준물질로

추가되었다. 이후 2018년 미세먼지에 대한 이슈가 증가하면서 기준 강화가 추진되었는데 그 결과 연평균 기준이 15 µg/m<sup>3</sup>로 설정되었다. 2015년 충남의 PM<sub>2.5</sub> 농도는 31 µg/m<sup>3</sup>였고, 2022년의 경우 19 µg/m<sup>3</sup>로 39% 감소하였으나 아직까지 2018년 개정된 환경기준에 만족하는 수준에는 도달하지 못하고 있다. 최근 5년간 충남의 PM<sub>2.5</sub> 평균농도는 21 µg/m<sup>3</sup>이고, 가장 높은 아산(26 µg/m<sup>3</sup>)을 비롯하여 당진(26 µg/m<sup>3</sup>), 천안(24 µg/m<sup>3</sup>), 홍성, 예산(23 µg/m<sup>3</sup>), 공주, 청양(22 µg/m<sup>3</sup>) 등 많은 시·군에서 평균치 이상의 농도를 보이고 있다.

표 1은 최근 5년(2018~2022년)간 각 지역별로 측정된 오염물질별 평균농도와 표준편차를 나타낸 것이며, 충남 평균농도 대비 높은 수준을 보이는 곳을 음영으로 표시하였다. SO<sub>2</sub>와 CO의 경우 환경기준보다 매우 낮아 평균 이상 여부 확인이 불필요하여 제외하였다. 분석 결과 충남 전체 평균농도 대비 높은 지역은 O<sub>3</sub>는 4개 지역(보령, 서산, 태안, 서천), NO<sub>2</sub> 6개 지

**Table 1.** Annual average and standard deviation concentrations of environmental standard pollutants by region (2018~2022), with shaded areas indicating above-average levels.

Region	Unit: ppm				Unit: µg/m <sup>3</sup>	
	CO	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Boryeong	0.443 ± 0.051	0.037 ± 0.004	0.010 ± 0.000	0.004 ± 0.000	38 ± 3	21 ± 2
Seosan	0.480 ± 0.089	0.037 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.004 ± 0.001	37 ± 3	19 ± 2
Dangjin	0.515 ± 0.064	0.033 ± 0.004	0.014 ± 0.001	0.005 ± 0.001	48 ± 5	25 ± 4
Taeon	0.456 ± 0.044	0.034 ± 0.004	0.010 ± 0.001	0.003 ± 0.000	37 ± 4	17 ± 2
Yesan	0.408 ± 0.057	0.033 ± 0.003	0.012 ± 0.002	0.004 ± 0.001	39 ± 4	23 ± 3
Hongseong	0.408 ± 0.055	0.033 ± 0.005	0.012 ± 0.001	0.003 ± 0.000	38 ± 3	23 ± 3
Cheongyang	0.392 ± 0.036	0.033 ± 0.002	0.008 ± 0.001	0.003 ± 0.000	35 ± 3	22 ± 3
Buyeo	0.477 ± 0.058	0.031 ± 0.003	0.012 ± 0.002	0.003 ± 0.000	38 ± 6	21 ± 3
Gongju	0.344 ± 0.042	0.032 ± 0.002	0.010 ± 0.001	0.003 ± 0.000	36 ± 3	22 ± 2
Seocheon	0.438 ± 0.046	0.037 ± 0.003	0.010 ± 0.000	0.003 ± 0.000	36 ± 3	19 ± 3
Nonsan	0.476 ± 0.050	0.031 ± 0.003	0.014 ± 0.002	0.003 ± 0.000	39 ± 3	20 ± 1
Cheonan	0.489 ± 0.069	0.030 ± 0.003	0.020 ± 0.003	0.003 ± 0.000	42 ± 4	24 ± 2
Asan	0.403 ± 0.033	0.030 ± 0.003	0.015 ± 0.001	0.004 ± 0.000	46 ± 4	26 ± 3
Gyeryong	0.460 ± 0.033	0.032 ± 0.003	0.014 ± 0.001	0.003 ± 0.000	35 ± 2	18 ± 2
Geumsan	0.368 ± 0.048	0.030 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.003 ± 0.000	36 ± 3	21 ± 2
Average	0.437 ± 0.046	0.033 ± 0.003	0.012 ± 0.001	0.004 ± 0.000	39 ± 3	21 ± 2

역(서산, 당진, 논산, 천안, 아산, 계룡), PM<sub>10</sub> 3개 지역(당진, 천안, 아산), PM<sub>2.5</sub> 7개 지역(당진, 예산, 홍성, 청양, 공주, 천안, 아산)이 평균농도 이상인 것으로 확인되었다.

### 3.3 시·군별 농도 및 배출량 분포 특성

충남은 현재 중부권 내 포함되어 “중부권 대기환경관리 기본계획”의 목표달성을 위해 “충청남도 대기환경관리 시행계획”을 수립하여 추진 중에 있으며, 금산을 제외한 14개 시·군이 해당 권역으로 포함되어 동일 정책을 추진 중에 있다. 허나 앞서 선행연구 및 앞서 분석된 연구결과에서 충남 내 15개 시·군은 다양한 배출특성을 가지며, 농도 또한 균일한 분포를 가지지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 앞서 분석된 배출량과 농도 자료를 기반으로 충남도 내 오염도 분포특성을 검토하였다. 그림 4는 분석 당시 가장 최근 자료인 2021년의 배출량 자료 중 TSP를 제외한 8종을 대상으로 분석한 결과이다. 그림 5도 마찬가지로 분석 당시 가장 최근 자료인 2022년의 확정자료를 대상으로 각 시·군의 모든 측정소 평균농도를 가시화하여 나타낸 것이며, 대상은 환경기준물질 6종으로 하였다. 배출량과 농도 간의 연도 차이가 존재하나, 본 연구에서는 지역 현안에 적용하기 위해 분석 당시 획득 가능한 가장 최신의 자료를 활용하였다. 배출량 및 농도 연도별 추이 분석을 통해 1, 2년 사이에 주요 배출원과 배출형태 등이 달라지지 않음을 확인하였다(그림 1, 3). 시·군별 배출량과 농도 자료의 결과는 우선관리 물질의 단계별 선정을 위해 자료를 정규화한 후 이용하였다. 이후 단계 구분은 정규화된 값을 기준으로 1군(0.7~1), 2군(0.4~0.7), 3군(0.1~0.4), 4군(0~0.1)으로 구분하였으며, 1군 지역은 충남 내에서 해당 물질에 대한 상대적인 기여도가 높은 지역이고 4군 지역은 해당 물질에 대한 상대적인 기여도가 낮은 지역이다.

PM<sub>10</sub> 배출량의 경우(그림 4a) 당진의 배출량이 압도적으로 높아 1군으로 분류되었고, 그 뒤를 이어 천안, 아산, 서산, 보령, 태안, 홍성, 공주, 예산이 3군으로

분류되었다. 4군으로는 부여, 서천, 청양, 금산, 계룡으로 상대적으로 낮은 배출량을 보였다. PM<sub>10</sub> 배출량은 2군이 따로 나타나지 않았으며, 이는 당진의 PM<sub>10</sub> 배출량이 충남 내에서 지배적인 것으로 분석된다. PM<sub>10</sub> 농도 자료(그림 5a)에서도 당진이 기여도가 높은 지역으로 나타났고, 당진과 함께 서산, 천안이 1군으로 분류되었다. 2군 지역은 계룡, 예산, 논산, 보령이었으며, 이외에 부여군을 제외한 시·군이 3군으로 분류되었다. 앞서 배출량이 가장 높아 유일하게 1군으로 분류된 당진의 경우 농도 역시 1군으로 분류되었고, 앞서 배출량 부분에서는 3군으로 분류되었던 아산, 천안의 경우 농도에서 당진과 같은 1군으로 분류되었다. 배출 부문에서 가장 낮은 군으로 분류되었던 청양, 부여, 서천, 금산의 경우 농도 역시 낮은 군으로 분류되었으나 배출량에서 가장 낮은 군으로 분류되었던 계룡의 경우 농도 부분에서는 인접한 논산과 같이 3군으로 분류되어 지역 내에서 배출되는 PM<sub>10</sub> 외 논산이나 주변 지역의 영향이 작용하고 있다는 것을 예측할 수 있었다.

PM<sub>2.5</sub> 배출량 부분(그림 4b)에서도 당진이 유일하게 1군으로 나타났고, 2군은 분류되지 않았다. 이는 PM<sub>10</sub>과 유사하게 당진 지역의 PM<sub>2.5</sub> 배출이 충남 내에서 지배적인 것으로 분석된다. 이외에 태안, 천안, 보령, 서산, 아산이 3군으로 분류되었고, 나머지 지역은 4군으로 분류되었다. PM<sub>2.5</sub> 농도(그림 5b)에서는 인접해 있는 당진, 아산, 천안, 예산, 공주가 1군으로 분류되었고, 보령, 홍성, 청양, 금산, 논산이 2군으로, 부여와 계룡이 3군으로 분류되었다. PM<sub>2.5</sub>의 배출량의 경우 앞서 PM<sub>10</sub>과 유사한 패턴을 보이고 있으나 PM<sub>2.5</sub>의 경우 배출량과 상이한 분포도를 보이고 있다. 농도의 경우 1군으로 분류되는 당진, 아산, 천안과 인접해 있고 동북쪽에서 남서쪽으로 인접 지역을 기점으로 점차 농도가 낮아지는 형태를 보이고 있다. 이는 PM<sub>2.5</sub>의 경우 배출량에 의한 직접적인 영향보다는 주변 지역의 농도와 환경 조건에 의한 지역 내 2차 생성이 PM<sub>2.5</sub> 농도에 더 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

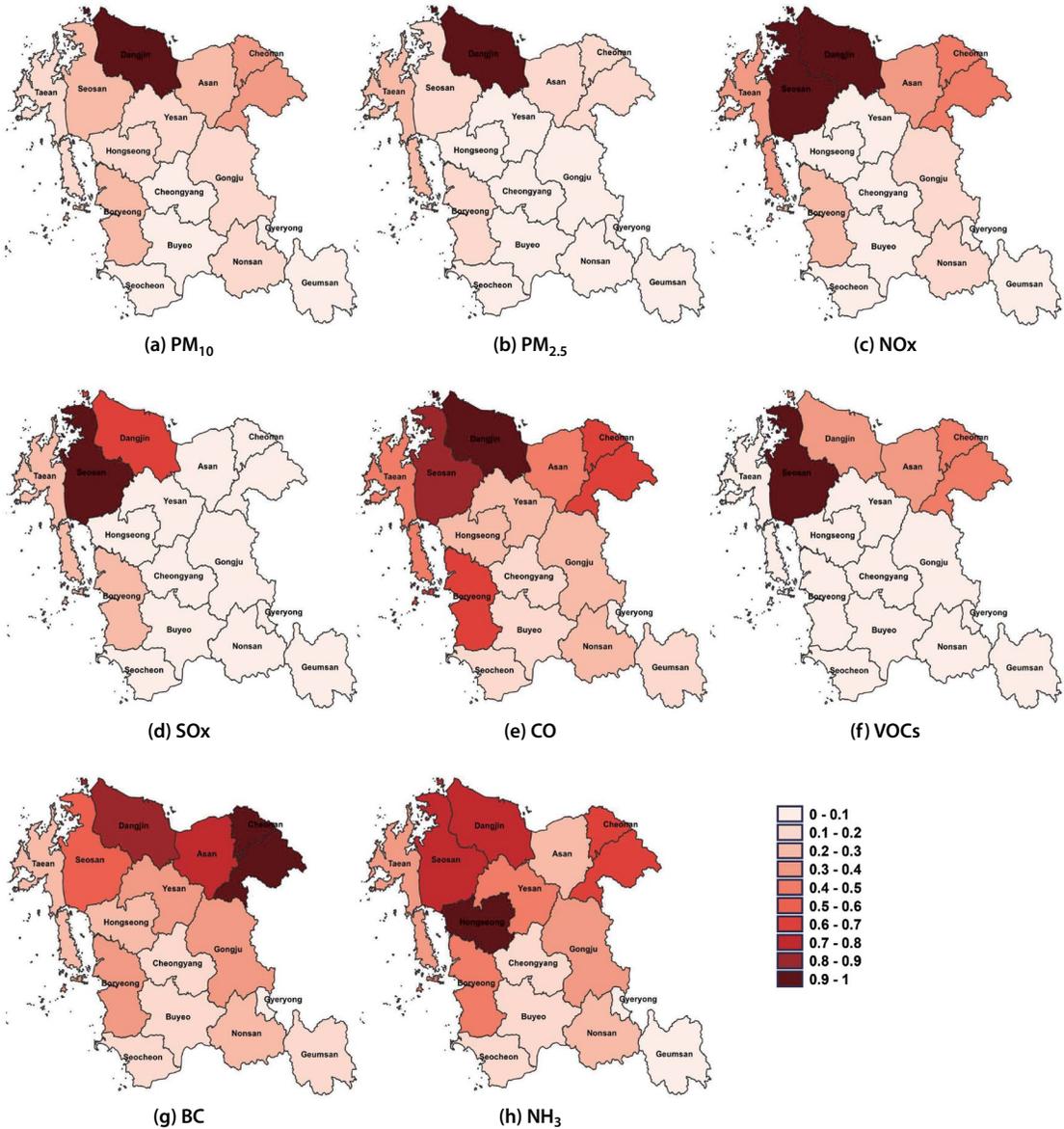


Fig. 4. Spatial distribution of normalized air pollutant emissions by region (2021).

NO<sub>x</sub> 배출량의 경우(그림 4c) 당진과 서산이 1군으로 분류되었고, 천안이 단독으로 2군, 아산, 태안, 보령, 공주, 논산이 3군으로 분류되었다. 이외 지역은 4군으로 분류되었다. 농도(그림 5c)의 경우 NO<sub>2</sub>로 산정되기 때문에 NO<sub>x</sub> 배출량과 동일한 지표로 볼 수는 없지만 천안이 단독으로 1군으로 분류되었고, 아산,

당진, 부여, 논산, 계룡이 2군으로 분류되었다. 최저 농도값이 나타난 청양은 4군으로 분류되었고, 이외 지역은 모두 3군으로 분류되었다. 앞서 입자상 오염물질인 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 경우 어느 정도 배출량과 농도의 분포가 일치하는 경향을 보였으나 NO<sub>x</sub>와 NO<sub>2</sub>의 경우 상관성이 높지 않은 것으로 나타났다. 당진과 서

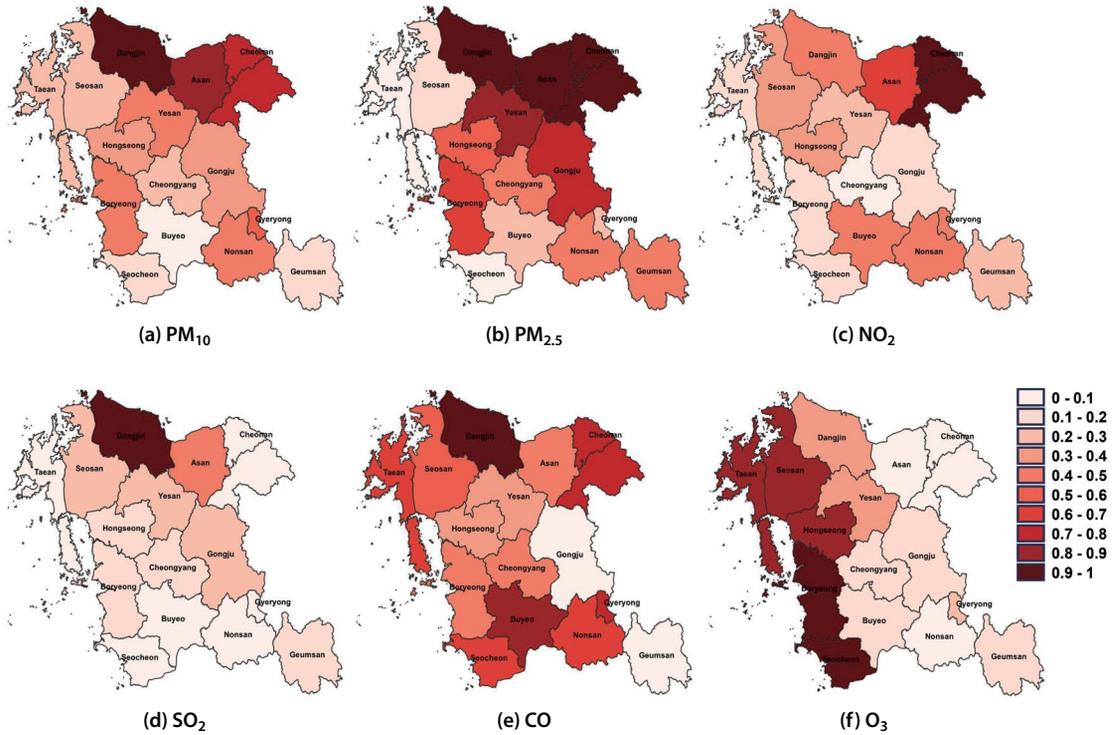


Fig. 5. Spatial distribution of normalized air pollutant concentration by region (2022).

산에서 배출량이 가장 높은 반면 농도가 가장 높은 지역은 천안으로 확인되었고, 배출량에서 4군으로 나타났던 부여, 논산, 계룡이 농도에서는 2군 지역으로 확인되었다. 다만 배출량에서 가장 낮은 4군으로 분류된 청양의 경우 농도에서도 가장 낮은 등급으로 분류되었다.

SOx 배출량의 경우(그림 4d) 서산이 단독으로 1군으로 분류되었으며, 당진이 2군, 태안과 보령이 3군으로 분류되었다. 이외 지역은 4군으로 분류되었다. SO<sub>2</sub> 농도의 경우(그림 5d) 당진이 배출량과 동일하게 단독으로 1군으로 나타났으며, 인접 지역인 아산이 2군으로 분류되었다. SOx와 SO<sub>2</sub> 역시 NOx와 NO<sub>2</sub>의 관계처럼 직접적으로 같다고 볼 수는 없지만, 당진 지역이 지배적으로 농도와 배출량 모두에서 1군으로 나타났다. 배출량의 경우 지역 내 산업 특성이 반영되는 반면 농도는 배출량 외 주변 환경(지형, 기상 등)이 변

수로 작용하기 때문에 SO<sub>2</sub> 농도 역시 배출량보다는 농도가 높은 지역의 주변 지역의 농도가 희석·확산되면서 퍼지는 형태가 나타난다. 앞서 PM<sub>2.5</sub>의 경우 동북에서 서남쪽으로 확산되어 희석되는 농도분포를 보았다면, SO<sub>2</sub>의 경우 북쪽에서 남쪽으로 희석되어 농도가 낮아지는 분포를 보이고 있다.

환경기준물질과 배출량 간 비교가 가능한 마지막 물질인 CO의 경우 배출량(그림 4e)에서 당진과 서산이 1군으로 분류되었고, 보령, 천안, 태안, 아산이 2군으로 분류되었으며, 배출이 거의 확인되지 않은 계룡시를 제외한 시·군은 모두 3군으로 나타났다. CO 농도의 경우(그림 5e), 당진, 보령, 천안, 계룡이 1군으로 분류되었고, 태안, 논산, 서천, 서산, 아산, 보령이 2군으로, 예산, 홍성이 3군으로 나타났다. 배출량이 높은 당진의 경우 농도에서도 1군으로 분류되긴 하였으나 배출량에서 4군으로 계룡 또한 농도에서는 1군으로

분류되어 상이한 결과를 보였다. 인접 지역에 배출량이 평균보다 높은 지역이 위치하지 않아 이 지역에 대한 고농도 발생 이유에 대해서는 추가적인 검토가 필요해 보인다.

VOCs 배출량의 경우(그림 4f) 서산이 압도적으로 높은 1군으로 나타났고, 천안 2군, 아산과 당진이 3군으로 확인되었다. 서산의 경우 대규모 석유화학단지가 위치하고 있어 VOCs의 배출량이 많은 지역으로 최근 수년간 지속적으로 배출량이 증가하면서 고농도 배출지역으로 선정되었다. 천안과 아산, 당진의 경우도 도장시설을 비롯한 소규모 배출시설과 생활배출이 집중되면서 높은 배출특성을 보이는 것으로 판단된다.

현재 BC에 대한 배출량 산정이 일부 생산공정이나 제조업/비산업 연소나 폐기물처리(Waste disposal)에서 기인하는 것으로 집계되고 있으나 대부분 도로이동오염원과 생물성연소에서 배출되는 것으로 산정되고 있다. BC의 경우 자동차 배기가스의 주요 지표물질로 활용되고 있으며(Han and Naehar, 2005), 최근에는 기후변화에 기인하는 물질로 여러 연구가 수행되고 있다(Ramanathan and Carmichael, 2008). 배출

량을 기반으로 봤을 때(그림 4g), 인구밀집도가 가장 높은 천안, 아산, 당진이 1군으로 분류되었고, 이후 서산이 2군으로 분류되었다.

마지막으로 NH<sub>3</sub> 배출량의 경우(그림 4h) 일부 산업공정에서 배출되는 것으로 알려져 있으나 충남의 경우 대부분 농업, 특히 축산분야에서도 많은 부분 기인하는 것으로 나타나고 있다. 앞서 언급한 것처럼 충남은 전국 최대 축산업 지역이다. 배출량에서는 홍성, 당진, 서산이 1군으로 분류되고 있으며, 천안, 보령, 예산이 2군으로 분류되었다.

### 3.4 시·군별 주요 관리분야 선정

배출량과 농도 자료 기반으로 충남 및 각 시·군별 배출특성 및 분포를 확인 후 이를 기반으로 각 시·군별 우선관리 분야와 물질을 선정하였다(표 2). 주요 물질은 3.3절의 분석 결과에서 4군을 제외한 상위 3개 물질로 선정하였다.

CO와 SO<sub>2</sub>의 경우 시계열 분석 결과(그림 3)에서 연평균 기준치에 비해 현재 농도가 매우 낮은 기저 수준을 보이고 있어 현재 상태를 유지하되 추가적인 개선정책은 필요하지 않을 것으로 판단되어 주요 관리

**Table 2.** Region-specific priority management items for air quality improvement.

Region		Emission		Concentration	Classification
Name	Characteristic	Main sources	Main pollutants	Main pollutants	
Boryeong	CP <sup>1</sup> , DP <sup>2</sup> , LS <sup>3</sup>	Energy-industrial combustion, Non-road mobile	CO, NH <sub>3</sub> , BC	O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub>	Energy-Industrial type
Seosan	CP, PC <sup>4</sup> , DP, AC <sup>5</sup>	Production process, Manufacturing combustion	VOCs, SOx, NOx	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>	
Dangjin	CP, DP, AC, LS	Production process, Energy-industrial combustion	NOx, CO, PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	
Taeon	CP	Energy-industrial combustion, Biological combustion	CO, NOx, NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	
Yesan	AL, AC, LS	Biological combustion, Agriculture, Fugitive dust	NH <sub>3</sub> , BC, CO	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , O <sub>3</sub>	Agricultural type
Hongseong	DP, LS	Agriculture, Biological combustion, Fugitive dust	NH <sub>3</sub> , BC, CO	O <sub>3</sub> , PM <sub>2.5</sub>	
Cheongyang		Biological combustion, Agriculture, Fugitive dust	CO, NH <sub>3</sub> , BC	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	
Buyeo	AC	Biological combustion, Agriculture, Fugitive dust	BC, NH <sub>3</sub> , CO	NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub>	
Gongju	DP	Road mobile, Biological combustion, Agriculture	BC, NH <sub>3</sub> , CO	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub>	Rural-urban mixing type
Seocheon		Biological combustion, Fugitive dust, Non-road mobile	CO, BC, NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>	
Nonsan	DP, AC, LS	Fugitive dust, Road mobile, Agriculture	NH <sub>3</sub> , BC, CO	NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>	
Cheonan	DP, LS	Organic solvent, Road mobile, Agriculture	BC, NH <sub>3</sub> , CO	NO <sub>2</sub> , PM <sub>2.5</sub>	Urban-rural mixing type
Asan	DP, AC	Organic solvent, Road mobile, Fugitive dust	BC, CO, VOCs	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>	
Gyeryong		Road mobile, Organic solvent, Fugitive dust		PM <sub>10</sub> , NO <sub>2</sub>	
Geumsan		Biological combustion, Road mobile, Fugitive dust	BC, CO	PM <sub>2.5</sub> , NO <sub>2</sub>	

<sup>1</sup>CP: coal-fired power plant, <sup>2</sup>DP: densely populated area (> 100,000 people), <sup>3</sup>LS: livestock (> 200,000 animals), <sup>4</sup>PC: petrochemical complex, <sup>5</sup>AC: agriculture (> 15,000ha)

물질에서 제외하였다.

앞서 Hwang *et al.* (2023b)에서 2020년 배출량을 기반으로 충남 지역을 3개 지역으로 구분하였고, 본 연구에서는 2021년을 기반으로 재산정하였다. 그 결과 동일한 3개 권역으로 선정하되 도·농복합형으로 구분되었던 7개 시·군에 대해 좀 더 세부적으로 구분하였다. 도·농복합형으로 구분되는 7개 시·군 중 공주, 서천, 논산의 경우 농촌형 특성을 좀 더 크게 나타내는 반면, 천안, 아산, 계룡, 금산의 경우 도시형 배출특성에 더 가깝다. 이에 관련 정책을 수립하여 추진할 경우에도 앞선 3개 시·군에는 농촌형 개선 정책을, 그 외 4개 시·군에는 도시형 개선 정책을 우선적으로 추진해야 한다.

에너지산업형으로 분류되는 보령, 서산, 당진, 태안의 경우 에너지산업연소, 비도로이동오염원, 생산공정, 제조업 연소에 대한 관리 정책이 집중되어야 하며, 주요 관리물질로는 VOCs와 NOx, SOx, CO가 선정되었다. 다만 4개 시·군 중 보령, 서산, 태안에서 농도관리 측면에서 O<sub>3</sub>이 주요 관리물질로 선정되었다. O<sub>3</sub>의 경우 배출원에 대한 문제도 중요하지만 도·농복합형으로 분류되는 서천과 함께 해안가에 위치한 지역의 특성으로 판단되며, 향후 이에 대한 원인 분석과 개선방안 마련을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

농촌형으로 분류되는 예산, 홍성, 청양, 부여의 경우 농업, 비산먼지, 생물성연소에 대한 중점관리가 필요하며, 주요 관리물질로는 NH<sub>3</sub>와 BC, CO가 선정되었다. 최근 NH<sub>3</sub>가 SOx 및 NOx와 반응하여 2차 PM<sub>2.5</sub>를 생성하는 것으로 알려지면서 전 세계적으로 관심이 증가하고 있는데 (Cheng and Wang-Li, 2019; Feng *et al.*, 2012; Behera and Sharma, 2010), 충남의 경우 다수의 대형배출시설로 인해 타 지역 대비 전구물질이 풍부하게 존재하고 있어 이에 대한 영향이 더 클 것으로 예상된다. 농도 기반 주요 관리물질 또한 4개 시·군 모두에서 PM<sub>2.5</sub>가 선정되어 이를 뒷받침해주고 있다.

마지막으로 도·농복합형으로 구분되는 7개 시·군에 대해서는 도시형과 농업형으로 세분화하였다. 도

시와 농촌의 특징이 혼재되어 나타나지만 주요 배출원과 오염물질 분석 결과, 우선 관리정책이 확연히 다른 지역이다. 앞서 제시한 것처럼 농촌형 특징을 가지는 3개 지역에서는 생물성연소, 농업, 비도로이동오염원, 비산먼지에 대한 개선정책 추진이 필요하며, 도시형 특징을 가지는 4개 시·군에서는 유기용제 사용, 도로이동오염원, 비산먼지 부문을 개선할 수 있는 정책이 우선적으로 추진될 필요가 있다. 농촌형 지역에서는 NH<sub>3</sub>와 더불어 BC, CO가 주요 관리물질로 선정되었고, 도시형 지역에서는 VOCs와 BC, CO가 선정되었다. 결과적으로 BC와 CO가 공통 관리물질이라고 봤을 때 농촌지역은 NH<sub>3</sub>에, 도시지역은 VOCs에 초점을 맞춘 정책 수립과 추진이 필요한 것으로 나타났다. 농도 부문에서는 아무래도 배출량이 상대적으로 높은 도시지역에서 PM<sub>2.5</sub>를 비롯하여 PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>가 관리 필요물질로 선정되었다. 이는 도 차원의 정책 추진 시 도·농복합지역의 경우 농촌형 지역보다는 도시형 지역에 우선적으로 개선정책이 추진되어야 한다는 것을 의미한다.

#### 4. 결 론

대기환경 개선에 대한 국민적 관심과 기대가 증가하면서 대기관리권역법이 수립되었다. 충남은 대전, 세종, 충북, 전북과 함께 중부권으로 분류되었고, 중부권의 목표 달성을 위해 시행계획을 수립하여 추진해 오고 있다. 하지만 해당 계획은 중부권 내 5개 시·도에 동일하게 적용되는 사항으로 상대적으로 좁은 면적을 가지는 대전, 세종의 경우 높은 개선효과를 보일 수 있으나 다수의 기초지자체가 묶여있는 도단위 지역에는 정책 추진에 어려움이 있다. 또한 현재 대기개선 정책은 광역단위로 이루어지고 있으며, 충남의 경우 15개 시·군이 서로 다른 배출특성과 지형, 환경 조건을 가지고 있어 각 지역에 맞는 정책 수립과 추진이 필요하다.

기후변화의 경우 기초지자체 차원의 계획 수립과

추진이 이루어지고 있으나, 대기환경 분야는 지역 역량 부족과 기반 미비로 광역단위의 정책이 수립되어 추진되고 있다. 지난 1차 계획에서 충남에서 유일하게 제외되었던 금산 지역은 현재 2차 계획 수립 단계에서도 별다른 사전 검토 없이 제외되어 계획이 수립되고 있기에, 향후 관련 부분에 대한 검토와 권역 내 포함 여부가 논의되어야 할 것으로 판단된다.

2003년 수도권을 중심으로 추진되었던 권역 계획이 1단계라고 한다면, 2020년 이후 대상 권역을 전국으로 확대한 것을 2단계 권역 관리정책으로 볼 수 있다. 광역시단위 외 도단위의 경우 단일 정책 추진에 따른 효과가 크지 않을 수 있다. 향후에는 도단위의 경우 기초지자체 차원의 계획 수립과 추진의 3단계로의 전환이 요구되며, 3단계로의 전환을 위해서는 기초지자체의 역량 강화와 기반 마련이 수반되어야 할 것이다. 이러한 관점에서 지역 환경문제 해결을 위한 인력양성과 역량 강화가 요구되며, 국가 및 지자체 차원의 지원과 투자가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 충청남도의 재원으로 충남연구원 전략연구과제 “충청남도 시·군별 대기오염 특성 분석 연구(24JU0002)”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Bae, C., Kim, B.-U., Kim, H.C., Yoo, C., Kim, T. (2016) Long-Range Transport Influence on Key Chemical Components of PM<sub>2.5</sub> in the Seoul Metropolitan Area, South Korea, during the Years 2012-2016, *Atmosphere*, 11, 48. <https://doi.org/10.3390/atmos11010048>
- Behera, S.N., Sharma, M. (2010) Reconstructing Primary and Secondary Components of PM<sub>2.5</sub> Composition for an Urban Atmosphere, *Aerosol Science and Technology*, 44, 983-992. <https://doi.org/10.1080/02786826.2010.504245>
- Cheng, B., Wang-Li, L. (2019) Responses of Secondary Inorganic PM<sub>2.5</sub> to Precursor Gases in an Ammonia Abundant Area in North Carolina, *Aerosol and Air Quality Research*, 19, 1126-1138. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2018.10.0384>
- Choi, E., Lim, Y.B., Kim, Y.P. (2023) Characteristics and Reduction Directions of Fine Particles by Regions in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(5), 600-614, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.5.600>
- Choi, W.Y., Park, M.H., Jung, C.H., Kim, Y.P., Lee, J.Y. (2021) Characterization of Atmospheric Dispersion Pattern from Large Sources in Chungnam, Korea, *Particle and Aerosol Research*, 17(3), 55-69, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.11629/jpaar.2021.17.3.055>
- Fadnavis, S., Sonbavwne, S.M., Laakso, A., Ploeger, F., Rap, A., Heinnold, b., Sabin, T.P., Muller, R. (2024) Long range transport of South and East Asian anthropogenic aerosols counteracting Arctic warming, *Climate and Atmospheric Science*, 7, 101. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00633-1>
- Feng, J.L., Guo, Z.G., Zhang, T.R., Yao, X.H., Chan, C.K., Fang, M. (2012) Source and formation of secondary particulate matter in PM<sub>2.5</sub> in Asian continental outflow, *Journal of Geophysical Research*, 117(D3). <https://doi.org/10.1029/2011JD016400>
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR) (2024) National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- Hageman, K.J., Bogdal, C., Scheringer, M. (2015) Long-Range and Regional Atmospheric Transport of POPs and Implications for Global Cycling, *Comprehensive Analytical Chemistry*, 67, 636-387. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63299-9.00011-9>
- Han, J.S., Kim, Y.M., Ahn, J.Y., Kong, B.J., Choi, J.S., Lee, S.U., Lee, S.J. (2006) Spatial Distribution and Variation of Long-range Transboundary Air Pollutants Flux during 1997-2004, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(1), 99-106, (in Korean with English abstract).
- Han, X., Naeher, L.P. (2005) A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world, *Environment International*, 32(1), 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.05.020>
- Ho, C.K., Robinson, A., Miller, D.R., Davis, M.J. (2005) Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring, *Sensors*, 5(1), 4-37. <https://doi.org/10.3390/s5010004>
- Hur, Y.G., Kang, M.G. (2022) The effects of urban spatial structure

- and meteorological factors on the high concentration of fine dust pollution, *Journal of Korea Planning Association*, 57(1), 145-160, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.17208/JKPA.2022.02.57.1.145>
- Hwang, K., Park, S., Lee, G., Noh, S., Kim, J., Lee, J.Y., Park, J.-S., Kim, J.B. (2023a) Analysis of Chemical Characteristics of PM<sub>2.5</sub> by Region in Chungnam, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(6), 1007-1021, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.6.1007>
- Hwang, K., Park, S., Lee, G., Noh, S., Kim, J., Lee, J.Y., Park, J.-S., Kim, J.B. (2023b) Policy Recommendation for Region Air Quality Management and Change of Air Pollutants Emission in ChungNam base on Modified CAPSS, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(4), 492-524, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.4.492>
- Kang, D.-K., Kim, S.-T., Kim, J.-W. (1993) A Study on the Long-range Transport of Air Pollutants in the North East Asia, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 9(4), 329-339, (in Korean with English abstract).
- Kim, C.-H., Son, H.-Y., Kim, J.-A., Ahn, T.-K. (2007) Classification of Synoptic Meteorological Patterns for the Environmental Assessment of Regional-scale Long Range Transboundary Air Pollutants, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 16(1), 89-98, (in Korean with English abstract).
- Kim, S.-H., Park, S., Hwang, K., Choi, Y.-N., Lee, S.S., Park, S., Lee, G., Kim, J., Noh, S., Kim, J.B. (2024) Air Pollution Impact in the Area Around Coal-fired Power Plant in Chungnam, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 40(1), 149-165, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2024.40.1.149>
- Lee, S., Hong, H.-S., Kim, C.H., Hwang, E.Y., Yoon, S.H., Lee, S.S., Noh, S., Kim, J.B. (2021) Characteristic Analysis of Urban Air Pollution of Northwest Cities in ChungNam, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 37(4), 561-577, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2021.37.4.561>
- Lim, J.H., Kwak, K.K., Kim, J., Jang, Y.K. (2018) Analysis of Annual Emission Trends of Air Pollutants by Region, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(1), 76-86, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.1.076>
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2023) Statistical Yearbook of MAFRA.
- Ministry of Environment (MOE) (1995) Framework Act on Environmental Policy.
- Ministry of Environment (MOE) (1996a) Soil Environment Conservation Act.
- Ministry of Environment (MOE) (1996b) Water Quality Conservation Act.
- Ministry of Environment (MOE) (1996c) Natural Environment Conservation Act.
- Ministry of Environment (MOE) (1996d) Clean Air Conservation Act.
- Ministry of Environment (MOE) (2003) Special Act on the Improvement of Air Quality in Seoul Metropolitan Area.
- Ministry of Environment (MOE) (2019) Special act on the reduction and management of fine dust.
- Ministry of Environment (MOE) (2020) Basic Plan for Atmospheric Environment Management in the Central Region.
- Ministry of Environment (MOE) (2022a) Guideline for Installation and Operation of Air Quality Monitoring Station, (in Korean).
- Ministry of Environment (MOE) (2022b) 3rd Comprehensive Plan for Air Quality Improvement.
- Ministry of Environment (MOE) (2023) press release, National air pollutants in line with the improvement of the calculation method emissions disclosure.
- Ministry of Environment (MOE) (2024a) Special Act on the Reduction and Management for Fine Dust.
- Ministry of Environment (MOE) (2024b) Special Act on the Improvement of Air Control in Air Control Zones.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2024) Statistical Year Book of MOLIT in 2023.
- Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE) (2023) 10th Basic plan for Electricity support (2022-2036).
- 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<sub>2.5</sub> in Chungcheongnam-do due to Coal-fired Power Plants Shutdown, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(5), 842-865, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.5.687>
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2022) Handbook of estimation methods for national air pollutant emissions V, (in Korean).
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2023a) National Air Pollutant Emissions in 2020 and Recalculations of National Air Pollutant Emissions for the Past Year 2016 to 2019, (in Korean).
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2023b) National Air Pollutant Emission 2021.
- National Institute of Chemical Safety (NICS) (2022) Survey

- Results of Chemical Emission in 2021.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2023) Annual Report of Air Quality in Korea 2022, (in Korean).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2024) Monthly Report of Air Quality, June, 2024.
- Park, J., Kim, E., Kang, Y.-H., Kim, S. (2024) Assessment of Provincial Air Quality based on Air Quality Index during 2016-2022, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 40(2), 225-241, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2024.40.2.225>
- Park, S.-K., Kim, H.-C., Kim, J.-H., Oh, H.S., Kim, S., Yoo, C., Bae, C. (2023) A Study on Estimating the Contributions by Emission Source Sector and Province Based on CAMx-PSAT for the Region-Specific Analysis of the Causes of High PM<sub>2.5</sub> Concentrations, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(5), 842-865, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.5.842>
- Ramanathan, V., Carmichael, G. (2008) Global and regional climate changes due to black carbon, *Nature Geoscience*, 1, 221-227. <https://doi.org/10.1038/ngeo156>
- Shin, H.J., Song, I.H., Jung, H.J., Ahn, J.Y., Kim, D.G., Park, J.M. (2023) Major Achievement Based on the Regional Air Quality Research Center in NIER, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(5), 588-599, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.5.588>
- Shim, C., Choi, K.-C., Gong, S., Hahn, J., Lee, S., Chung, Y., Jung, E., Na, G. (2023) The Significance of the 3rd Comprehensive National Air Quality Improvement Plan and Directions for Policy Implementation, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(5), 710-722, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.5.710>
- Xu, L., Liu, X., Gao, H., Yao, X., Zhang, D., Bi, L., Liu, L., Zhang, J., Zhang, Y., Wang, Y., Yuan, Q., Li, W. (2021) Long-range transport of anthropogenic air pollutants into the marine air: insight into fine particle transport and chloride depletion on sea salts, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(23), 17715-17726. <https://doi.org/10.5194/acp-21-17715-2021>
- Yeo, M.J., Kim, Y.P. (2019) Trends of the PM<sub>10</sub> concentrations and High PM<sub>10</sub> concentration cases in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(2), 249-264, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2019.35.2.249>

## Authors Information

- 황규철 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)  
(kchwang@cni.re.kr)
- 장은희 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)  
(jangpro@cni.re.kr)
- 김창혁 (국립환경과학원 대기환경연구과 전문위원)  
(kimchanghyeok@korea.kr)
- 노수진 (대림대 안전보건학과 교수)  
(sjnoh@daelim.ac.kr)
- 김동호 (강원대 미세먼지관리 특성화대학원 박사과정)  
(kdh7144@naver.com)
- 김정호 (열린공간 소장)  
(jeonghoflux@naver.com)
- 신인철 (충청남도보건환경연구원 환경조사팀 팀장)  
(sic33@korea.kr)
- 김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)  
(kjb0810@cni.re.kr)