

논문

개정된 CAPSS 기반 충남의 대기오염물질 배출량 변화와 지역 대기질 개선을 위한 정책 제언

Policy Recommendation for Region Air Quality Management and Change of Air Pollutants Emission in ChungNam base on Modified CAPSS

황규철, 박세찬, 이가혜, 노수진¹⁾, 김정호²⁾, 이재영³⁾, 박종성⁴⁾, 김종범*

충남연구원 서해안기후환경연구소, ¹⁾대림대 보건안전학과, ²⁾(주)미세먼지연구소,
³⁾아주대 환경안전공학과, ⁴⁾국립환경과학원 대기환경연구과

Kyucheol Hwang, Sechan Park, Gahye Lee, Sujin Noh¹⁾, Jeongho Kim²⁾,
Jae Young Lee³⁾, Jong-Sung Park⁴⁾, Jong Bum Kim*

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

¹⁾Department of Health & Safety, Dealim University, Anyang, Republic of Korea

²⁾Fine Particle Lab CO., Ltd., Incheon, Republic of Korea

³⁾Department of Environmental and Safety Engineering, Ajou University, Suwon, Republic of Korea

⁴⁾Climate & Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea

접수일 2023년 7월 7일
수정일 2023년 7월 31일
채택일 2023년 7월 31일

Received 7 July 2023
Revised 31 July 2023
Accepted 31 July 2023

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

Abstract Since 1999, the Ministry of Environment has been utilizing the Clean Air Policy Support System (CAPSS) to assess and establish for air quality management based on the quantification of domestic air pollutant emissions. CAPSS categorizes nine air pollutants released within the area into point, area, and mobile sources, and proceeds to calculate their emissions. This process relies on scientific calculation methods, which take into account factors such as the raw materials utilized in each region, activity data, and emission factors. As a result of the recent modification in the calculation methodology, CAPSS has undergone an upgrade from version 5 to version 6, necessitating a comprehensive comparative analysis. Hence, this research aims to examine the emission characteristics of each city and county within Chungcheongnam-do, a region known for its concentration of major domestic large-scale discharge facilities, in light of both the previous and revised CAPSS. Specifically, Chungcheongnam-do hosts the nation's largest coal-fired power generation belt, spanning across Dangjin, Taean, Boryeong, and Seocheon in the northwest. Furthermore, the area houses the Seosan (Daesan) Petrochemical Complex, which is acknowledged as one of the nation's three largest petrochemical complexes. It is located between Dangjin and Taean. To effectively address air quality management, it is crucial to analyze the multifaceted sources of emissions and establish tailored emission reduction policies for each region. However, the current approach of implementing nationwide management measures by dividing the country into four regional zones raises concerns regarding its effectiveness. In the case of Chungcheongnam-do, it is categorized into three types based on emission characteristics: energy industry, urban-rural mixing, and agricultural production types. In order to achieve more impactful improvements in the future, it is imperative to propose customized policies that take into account the specific emission characteristics of each type, thus overcoming the challenges associated with the current management approach.

Key words: Modified CAPSS, ChungNam, Environmental policy, Air pollutants emission, Region characteristics

1. 서론

환경은 전 지구를 대상으로 모든 지역에 걸쳐 영향을 미치고 있으며, 이 과정에서 오염물질을 배출하기도 하고, 환경용량 안에서 스스로 정화시키기도 한다 (Lee and Choi, 2007; Kim, 2001). 환경오염은 전달되는 매체에 따라 대기, 수질, 토양 등으로 구분되며, 대기오염은 개방된 계를 통해 전 지구적으로 이동 및 확산되기 때문에 매우 중요하다 (Xu *et al.*, 2021; Moran *et al.*, 2013). 대기오염관리를 위한 주요 인자는 배출량과 농도이다. 배출원으로부터 배출된 오염물질은 대기 중에서 희석, 확산, 반응을 통해 유해성이 감소하거나 혹은 증가할 수 있으며, 환경조건(기상, 기후, 지형)에 따라 해당 지역 환경에 영향을 미치게 된다 (Ha *et al.*, 2017). 이러한 이유로 배출량에 대한 관리가 환경관리에서 매우 중요한 부분으로 인식되어 왔다 (Yu, 2022; Kim *et al.*, 2018). 미국환경보호청 (United State Environmental Protection Agency, U.S. EPA)은 국가 배출원 인벤토리 (National Emissions Inventory, NEI)를 1970년부터 작성하기 시작하여 배출량을 산정해 왔으며, 점오염원 (point sources)과 비점오염원 (non-point sources), 도로배출원 (onroad sources), 비도로오염원 (nonroad sources), 연소배출 (fire sources)로 구분하고 있다. 현재 일산화탄소 (carbon monoxide, CO), 초미세먼지 (particulate matter less than 2.5 μm , PM_{2.5})를 포함하여 7가지 항목을 대상으로 하고 있으며, 3년 단위로 자료를 생산하고 있다 (U.S. EPA, 2023). 유럽의 경우 유럽환경청 (European Environment Agency, EEA)에서 1990년부터 오스트리아를 포함한 EU 회원 27개국을 대상으로 배출량을 조사하여 1년 단위로 보고하고 있다 (EEA, 2023).

국내의 경우 환경부에서 대기정책지원시스템 (Clean Air Policy Support System, CAPSS)이란 이름으로 1999년부터 1년 단위로 배출량을 산정하고 있다 (NAEIR, 2022a). 대기오염물질 배출원 및 배출량에 대한 조사는 대기환경보전법 제17조와 대기환경보전법 시행규칙 제16조에 의거하여 추진되고 있다. CAPSS

의 분류체계는 EEA의 European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)에서 개발한 CORE Inventory Air Emissions (CORINAIR) 배출원 분류체계인 Selected Nomenclature for Air Pollution 97 (SNAP 97)을 기반으로 산정되고 있다 (NAEIR, 2022b). 2017년까지 에너지산업 연소를 포함한 총 11개 항목에 대해 산정하던 것을 2017년 이후 비산먼지와 생물성 연소가 포함된 13개 항목으로 확대하여 산정하고 있다. CAPSS는 대부분 활동도 자료나 원료사용량에 배출계수를 반영하여 배출량을 산정한다. 배출계수는 국내에서 개발한 계수를 우선적으로 사용하고, 그 외 국내에서 아직 개발되지 못한 계수는 유럽의 SNPA 97이나 미국의 air pollutant emissions factors 42 (AP-42)를 적용하고 있다 (NAEIR, 2015). 배출계수는 배출량을 산정하는 매우 중요한 변수로 그 동안 다양한 연구를 통해 계수에 대한 타당성 검증이 이루어져 왔으며 (Lee *et al.*, 2022; Kim *et al.*, 2016a, 2014; Jin *et al.*, 2014; Jung *et al.*, 2012; Jang *et al.*, 2011, 2009), 대기환경 개선을 위한 정책수립과 대기관리 및 기후변화 대응, 대기질 예측을 위한 입력자료 등에 활용되고 있다 (Choi *et al.*, 2020).

한편 환경부 (Ministry of Environment, MOE)에서는 2015년부터 반영된 배출량 산정방법 (version 5)을 2023년 산정된 2020년 배출량부터 수정된 산정방법 (version 6)을 도입하여 산정하고, 기존의 2016년부터 2019년 자료 역시 수정된 산정방법을 활용하여 재산정하여 고시하였다. 개선된 산정방법에 따라 발전·산업 부분은 제철소에서 사용되는 무연탄의 사용량 중복성을 개선하고 누락된 배출원에 대해 배출량에 추가하였으며, 수송의 경우 강화된 기준 (EURO 6)에 맞는 배출계수 적용, 자동차 운행속도를 고려한 배출계수 세분화, 기존에 누락되었던 CNG 버스나 화물 (특수) 차량의 입자상 오염물질 배출량이 추가로 포함되었다. 이처럼 수정된 배출량 산정방법에 따라 2016년 대비 2020년 대기오염물질 배출량은 PM_{2.5} 16.1%, 황산화물 (sulfur oxide, SOx) 42.5%, 질소산화물 (nitrogen oxide, NOx) 26.8%가 각각 감소한 것으로 나타났다

(MOE, 2023). 앞서 언급한 것처럼 대기오염물질 배출량은 정책추진의 근거자료 확보와 정책추진의 효과 분석에 활용되며(MOE, 2023), 수정된 배출량에 따라 각 지자체별 배출량 관리대책에도 많은 영향이 있을 것으로 판단된다. 충남은 제철소와 석유화학단지, 석탄화력발전소 등 다수의 대형배출시설이 있어 발전·산업부분의 배출기여도가 높은 지역으로(Lee *et al.*, 2021), 이들에 대한 배출량 재산정에 따라 정책 추진의 목표와 방향을 재산정해야 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 수정된 CAPSS를 기반으로 전국과 충남의 배출량 변화 특징을 검토하고, 충남 내 포함되어 있는 15개 기초지자체의 배출특성을 파악하여 향후 정책 추진의 방향성을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 배출량 자료선정

전국과 충남, 그리고 충남에 포함되어 있는 15개 시군의 대기오염물질 배출량 분석을 위해 국가미세먼지

정보센터에서 제공하는 CAPSS를 기초자료로 활용하였다. 활용기간은 2016년부터 최신자료인 2020년을 대상으로 하였다. 기존의 version 5와 6의 차이분석을 위해 전국을 대상으로 부문별, 물질별 비교분석을 하였고, 그 외 충남과 각 시군은 새로 제시된 version 6을 기반으로 산정된 결과를 기반으로 분석을 수행하였다. Version 6으로 수정보완된 자료가 2016년부터 제공되고 있기 때문에 2016년 이전 자료는 분석에서 제외하였다.

2.2 배출량 자료분석

CAPSS 자료를 기반으로 본 연구에서는 3가지 목적으로 분석을 수행하였다. 첫 번째는 기존의 version 5 대비 6으로 변경되면서 전국적인 배출량의 차이와 세부적으로 어떤 부문과 물질에서 배출량이 변화하였는지에 대한 검토를 목적으로 분석을 수행하였다. 두 번째는 변화된 배출량 산정방식에 따라 충남의 배출량 변화 특징분석이다. 기존의 version 5에서는 압도적인 배출량 1위인 경기도에 이어 경상북도와 2, 3등을 다투고 있었는데 변화된 배출량에 따라 5년간 어떠한

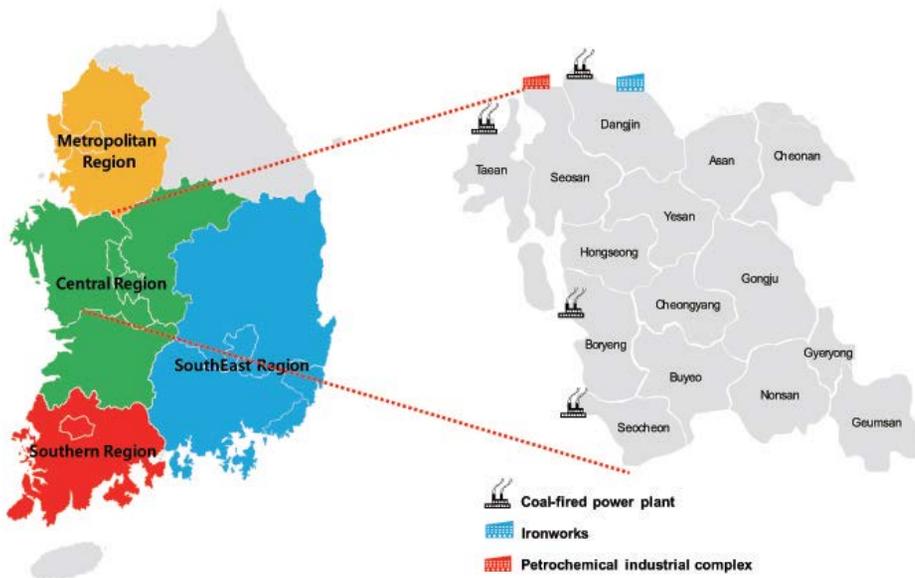


Fig. 1. Management area according to the Atmospheric Management Area Act and current status of large-scale emission facilities in ChungNam.

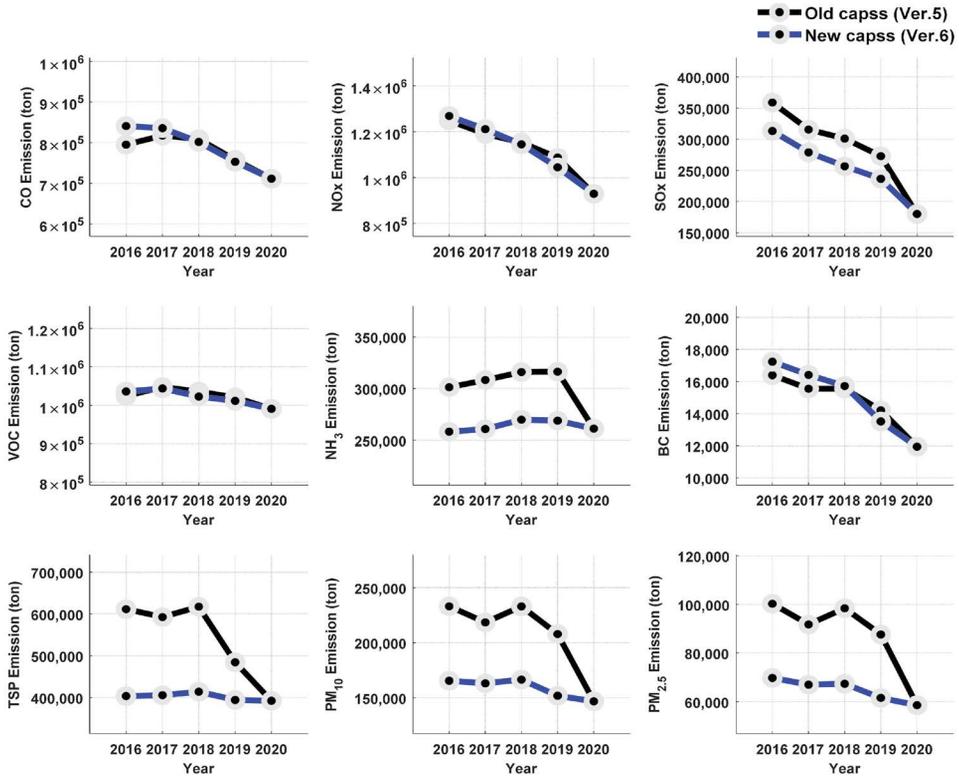


Fig. 2. Differences in emissions by pollutant before and after CAPSS revision.

변화와 배출특성을 가지는지 분석하였다. 현재 전국은 대기질 관리를 위해 4개의 권역으로 분리하여 관리를 하고 있으며 (MOE, 2019a), 충남은 대전, 세종, 충북, 전북과 함께 중부권으로 분류된다(그림 1). 마지막으로 세 번째는 중부권으로 묶여 동일한 기본계획에 따라 개선정책을 추진 중인 충남, 충북, 대전, 세종, 전북을 대상으로 배출특성을 목록화하여 각 지역별 특성을 파악한 뒤, 충남지역의 15개 시군을 대상으로 배출특성을 파악하여 각 지역별 배출특성과 현재 추진 중인 정책과의 부합성을 검토하였다. 여기서 부문별 배출량을 대상으로 도시별 주요 배출원 중심의 특성을 분류하였다. 분류기준은 각 도시별로 배출 기여도가 높은 2~3개 물질을 선정하여 이 물질의 배출 기여도가 50% 이상을 차지하면 그 지역을 대표 배출원에 대한 지역으로 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 개정된 CAPSS에 따른 부문별, 오염물질별 배출량 변화

그림 2와 3은 기존 CAPSS (old capss, ver. 5)와 2023년에 개정된 CAPSS (new capss, ver. 6)의 자료를 2016년부터 2019년까지 오염물질별, 부문별로 나타낸 것이다. CO는 기존 산정방법 대비 새로 개정되면서 2016년 배출량이 소폭 증가하였고, 이후 2017~2019년도에는 1% 전후로 큰 차이를 보이지는 않는다. NOx와 휘발성유기화합물 (volatile organic compounds, VOCs)은 배출량 산정방법 수정 전후의 배출량이 유사하게 나타나고 있으며, 각각 -1.3~4.0% 정도의 편차를 보였다. 암모니아 (Ammonia, NH₃)와 SOx는 앞서 3개 물질에 비해 큰 폭의 변화를 보였다.

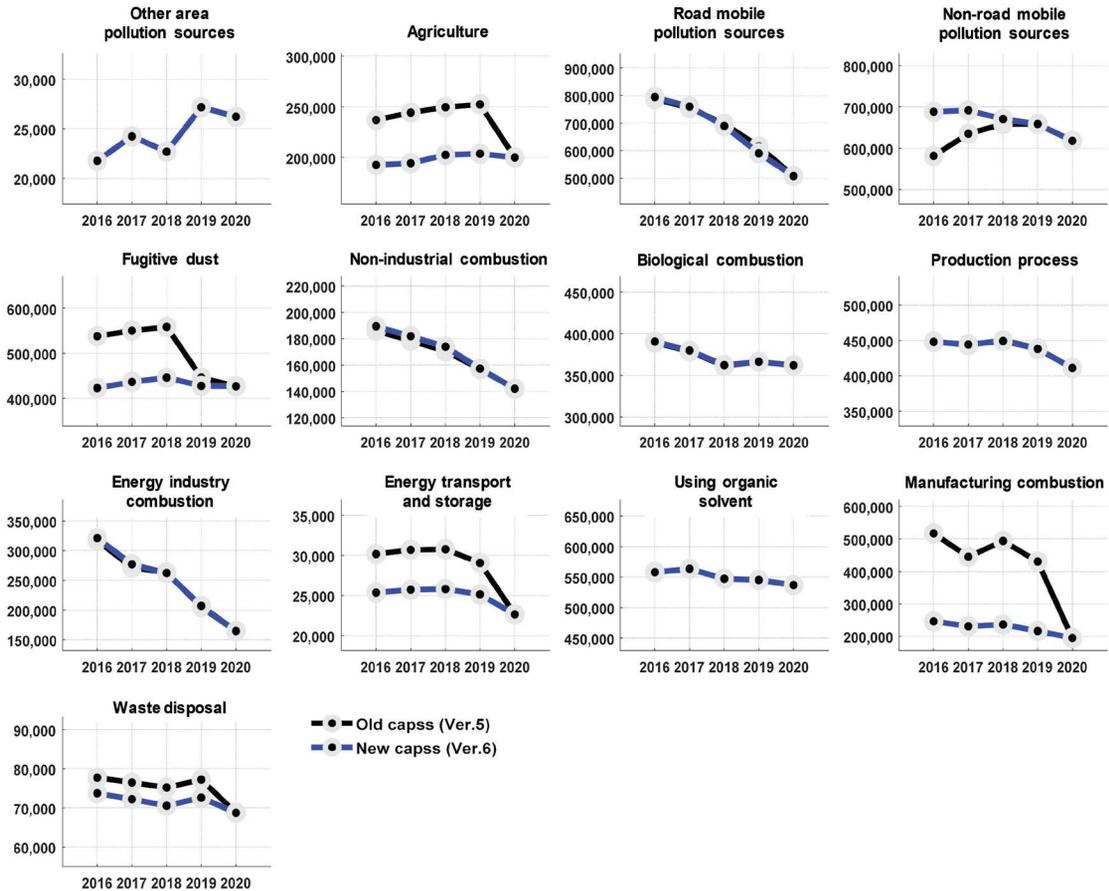


Fig. 3. Differences in emissions by sector before and after CAPSS revision.

NH₃의 경우 기존 대비 신규산정 배출량이 16.7~18.2% 낮은 수준으로 나타났고, SO_x의 경우 13.1~17.3%까지 낮은 수준을 보였다. 기존 CAPSS에서는 2016년 대비 2019년까지 VOCs 0.4%, CO 4.7%, NO_x 12.9%, SO_x 24.0%로 물질별 차이는 있지만 대부분 감소추세를 보였고, NH₃만 5.0% 증가한 것으로 나타났다. 하지만 수정된 CAPSS의 경우 VOCs 2.3%, CO 10.5%, NO_x 17.6%, SO_x 24.5%로 기존 대비 감소량이 소폭 증가한 것으로 확인할 수 있다. NH₃ 역시 기존 5% 증가와 유사하게 4.1% 증가한 것으로 나타났다. 가스상 오염물질은 NH₃와 SO_x를 제외하고 유사한 경향을 보인 반면, 입자상 오염물질들은 매우 큰 폭의 차이를 보였다. 총부유분진(total suspended particu-

late, TSP)으로 대표되는 입자상 오염물질은 기존 대비 수정 산정 결과, 연별로 22.8~51.5%까지 큰 차이를 보였다. 차이는 2016년에서 2019년으로 갈수록 감소하였지만, 이는 절대적인 배출량이 감소함에 따라 상호 배출량의 폭이 적어지면서 나타난 현상으로 판단된다. 미세먼지(particulate matter less than 10 μm, PM₁₀)와 PM_{2.5} 역시 34.0~46.1%의 큰 차이를 보이고 있다. TSP가 2016년에서 2019년으로 갈수록 수정 전후의 배출량 폭이 적어지는 반면 PM₁₀과 PM_{2.5}는 증감을 반복하며 유사한 양 차이를 보이고 있다.

부문별로는 제조업 연소, 농업, 에너지수송 및 저장, 폐기물 처리, 도로이동오염원, 비산면지에서 큰 차이를 보였다. 최종 연도인 2019년도만을 대상으로 하면

제조업 연소는 기존 대비 수정배출 CAPSS의 배출량이 98.6% 감소한 것으로 나타났고, 농업 23.9%, 폐기물 6.4% 감소한 것으로 나타났다. NH₃의 경우 농업부문에서 돼지와 닭 사육에 따른 배출계수를 개선한 것으로 보고하고 있는데 이에 따른 영향인 것으로 판단되며, 입자상 오염물질의 경우 기존 TSP 배출에서 많은 부분을 차지하던 비산먼지에 대한 나대지와 제철소 무연탄 사용량 중복산정 개선에 따른 효과가 큰 것으로 예측된다. 충남지역의 경우 전 지역에 걸쳐 농업이 이루어지고 있고, 제철소와 대산석유화학단지가 위치하고 있어 이들에 의한 배출저감 효과가 클 것으로 판단된다.

3.2 수정된 CAPSS에 따른 전국의 배출량 변화

그림 4는 2016년부터 2020년까지를 대상으로 전국의 대기오염물질 배출량을 부문별(그림 4a)과 오염물질별(그림 4b) 변화추이를 나타낸 것이다. CAPSS 데이터 산정 시 PM₁₀ 안에 PM_{2.5} 배출량이 포함되어 있고, TSP 배출량 안에 PM₁₀ 배출량이 포함된다. 여기에서는 통계처리 시 PM₁₀의 경우 PM₁₀에서 PM_{2.5}를 제외하였고, 표시를 PM₁₀-PM_{2.5}로 하였으며, TSP 역시 동일한 방법으로 산정 후 TSP-PM₁₀으로 표기하였다. 2016년 기준 전국 총 대기오염물질 배출량은 4,137,600톤이었고, 2020년까지 지속적으로 감소하여

2020년에는 16.0%가 감소한 3,476,915톤을 배출한 것으로 나타났다. 오염물질별로는 SO_x가 42.5%의 감축률로 가장 높은 감축비율을 보였고, 검댕(black carbon, BC)이 그 뒤를 이어 30.7%, NO_x 26.8%, PM_{2.5} 16.1% 순으로 나타났다. 대부분의 물질이 감소추세인 반면 NH₃와 조대입자(TSP-PM₁₀)는 각각 1.1%와 3.1% 증가한 것으로 나타났다. 부문별로는 에너지산업 연소에서 49.2%로 매우 큰 감소폭을 보였고, 그 뒤를 이어 도로이동오염원 35.4%, 비산업 연소 25.0%, 제조업 연소 19.9%로 높은 감소추이를 보였다. 반면 기타면오염원 18.8%, 농업 3.9%, 비산먼지 2.6%의 증가추이를 보였다. 부문별과 오염물질별 배출량을 종합적으로 분석해보면 에너지산업 연소와 비산업 연소 부문에서 SO_x와 NO_x의 저감이 두드러지게 나타났고, 반대로 기타면오염원과 농업, 비산먼지 부문에서 TSP와 NH₃ 배출이 증가한 것으로 나타나 향후 국가 차원에서는 이들에 대한 우선 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 충남의 연도별, 부문별 오염물질 배출특성 분석

국가미세먼지정보센터에서 배출량 산정방법을 변경하면서 발전·산업부문의 제철소에서 사용되는 무연탄의 중복산정을 개선한 것으로 보고하였다(MOE,

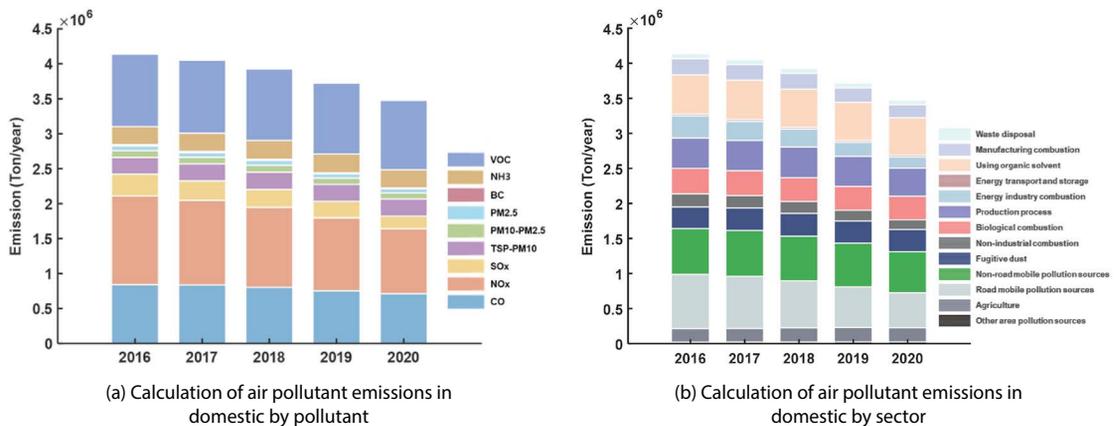


Fig. 4. Nationwide air pollutant emission trend by pollutant and sector based on CAPSS (2016~2020).

2023). 충남은 그동안 PM 등에 대한 기여도가 당진시가 가장 높게 나타났고, 그중 제철소의 기여도가 매우 높은 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2020). 그림 5는 2016년부터 2020년까지 15개 시군의 오염물질별 배출량을 누적으로 나타낸 것이다. 2016년 충남 15개 시군 전체 배출량은 411,184톤이었고, 그중 NO_x가 128,231톤(31.2%)으로 가장 높은 기여도를 보였다. 그 뒤를 이어 VOCs가 72,316톤(17.6%)이었고, CO와 SO_x가 각각 65,348톤과 65,245톤(15.9%)으로 나타났다. 이후 충남 전체 배출량은 2017년 383,849톤, 2018년 378,630톤과 같이 지속적으로 감소하여, 2020년에는 316,640톤으로 5년간 전체 배출량의 23.0%가 저감된 것으로 나타났다. 오염물질별로는 SO_x가 44.8%로 가장 큰 감축을 보였고, NO_x가 그에 조금 못 미치는 43.2%의 감축을 보였다. 그 뒤를 이어 BC 32.8%, PM_{2.5} 21.6%의 감축을 보였다. 이와 반대로 NH₃의 경우 4.7%의 증가를 보였다.

그림 6은 2016년부터 2020년까지 충청남도 내 15개 시군의 부문별 배출량을 누적으로 나타낸 것이다. 2016년 기준 가장 많은 배출비율을 차지하는 것은 에너지산업 연소 부문으로 23.5%를 차지하였고, 보령(33.6%), 태안(30.5%), 당진(26.4%) 순으로 나타났다. 이들은 모두 석탄화력발전소가 위치한 지역으로 전력 생산과정에서 배출된 것으로 판단된다. 그 뒤를 이어 생산공정이 충남 전체 배출량의 20.5%를 차지하는 것으로 나타났으며, 서산 47.0%와 당진 45.4%로 두 지역에서 전체 배출의 92.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 서산에 위치하고 있는 대산석유화학단지과 당진에 위치하고 있는 제철소의 영향이 지배적으로 나타난 결과로 해석된다. 그 뒤로는 도로이동오염원 12.0%, 농업 7.2%, 비도로이동오염원 7.0% 순으로 나타났다. 도로이동오염원은 충남지역 내 최대도시인 천안에서 24.3%로 가장 높은 비율을 보였고, 그 뒤를 이어 아산과 공주가 각각 11.4%, 당진 9.5%, 논산 8.9% 순으로 나타났다. 농업은 홍성이 12.5%로 가장 높은 배출을 보였고, 그 뒤를 이어 천안 12.2%, 당진 10.7%, 예산 10.6% 순이었다. 2020년의 경우 생산공정

이 20.8%로 가장 높은 배출기여도를 보였고, 그 뒤를 이어 에너지산업 연소가 12.6%, 생물성 연소 10.5%, 농업 10.1% 순으로 나타났다. 2016년 96,483톤으로 23.5%를 차지했던 에너지산업 연소 부문이 2020년에는 39,937톤으로 58.6%를 감축한 것으로 나타났다. 앞서 에너지산업 연소는 보령, 태안, 당진 3곳에서 지역 대부분의 배출인 90.5%를 배출하는 것으로 나타났는데 이는 3 발전사의 시설개선과 다양한 정책 추진(계절관리제, 비상저감조치, 상한제약 등), 자발적 감축의 결과로 해석된다. 생산공정 역시 2016년 84,174톤에서 2020년 65,881톤으로 21.7% 감축한 것으로 나타났다. 이 역시 에너지산업 연소 부문보다는 미미하지만 비약적인 감축량을 확인할 수 있었다. 대형배출시설에 의한 배출기여도가 높은 충남의 특성상 에너지산업 연소와 생산공정의 저감으로 전체 삭감량의 79.2%가 이 부분에 감축된 것을 확인할 수 있었다.

지역별로는 2016년 기준 당진이 23.0%로 가장 높은 비율을 보였고, 그 뒤를 이어 서산 16.7%, 보령 11.7%, 천안 10.6%, 태안 9.2% 순으로 나타났다. 충남에서는 배출량이 많고 지역적 농도가 높은 천안, 아산, 당진, 서산을 충남 서북부지역으로 분류하여 관리하고 있는데 2016년의 경우 4개 지역의 배출 기여도는 총 56.8%로 나타났다. 하지만 2020년에 들어오면서 배출량 1위는 서산으로 22.2%를 차지하며, 그 뒤를 이어 당진 19.7%, 천안 11.4%, 보령 8.3%, 아산 7.6% 순으로 나타나 지속적으로 배출량 1위를 차지하던 당진의 지속적인 감축노력으로 서산이 1위로 올라서게 되었다. 지난 5년간 당진은 2016년 94,696톤에서 2020년 68,273톤으로 34.2%의 감축률을 보였고, 이 사이 서산은 2016년 68,661톤에서 2020년 70,269톤으로 소폭 증가함에 따라 순위가 바뀌게 되었다. 당진의 경우 제철소와 석탄화력발전소가 위치해 있어 충남지역 내에서도 대형배출시설의 기여도가 가장 높은 곳이었는 데, 앞서 나타난 바와 같이 대형배출시설들의 다양한 노력과 정책추진 결과로 배출량이 대폭 감소됨에 따라 나타난 결과로 해석된다. 특이한 점은 충남은 2019년 신설된 “대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특

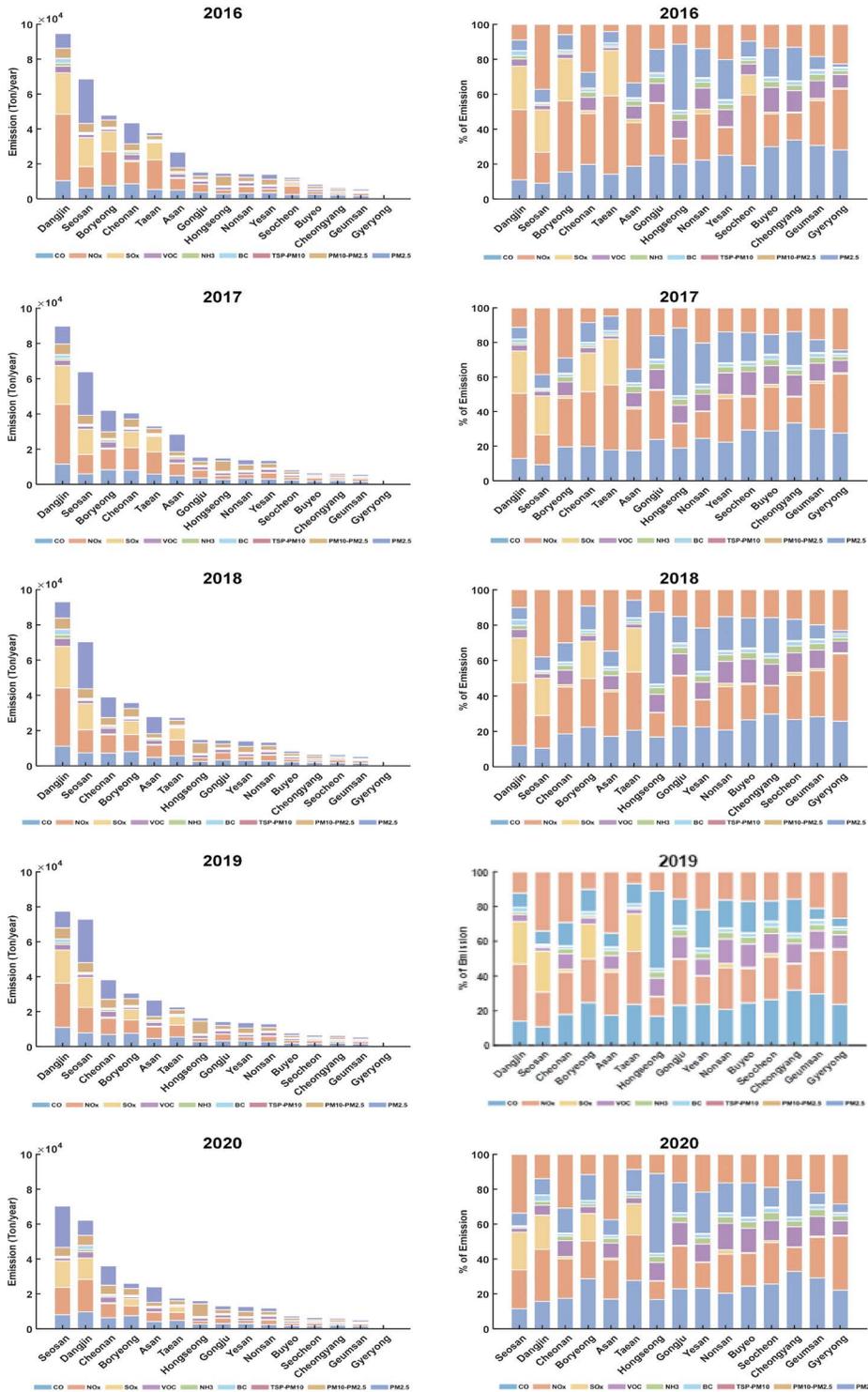


Fig. 5. Trend and contribution of each pollutant in 15 cities (2016~2020).

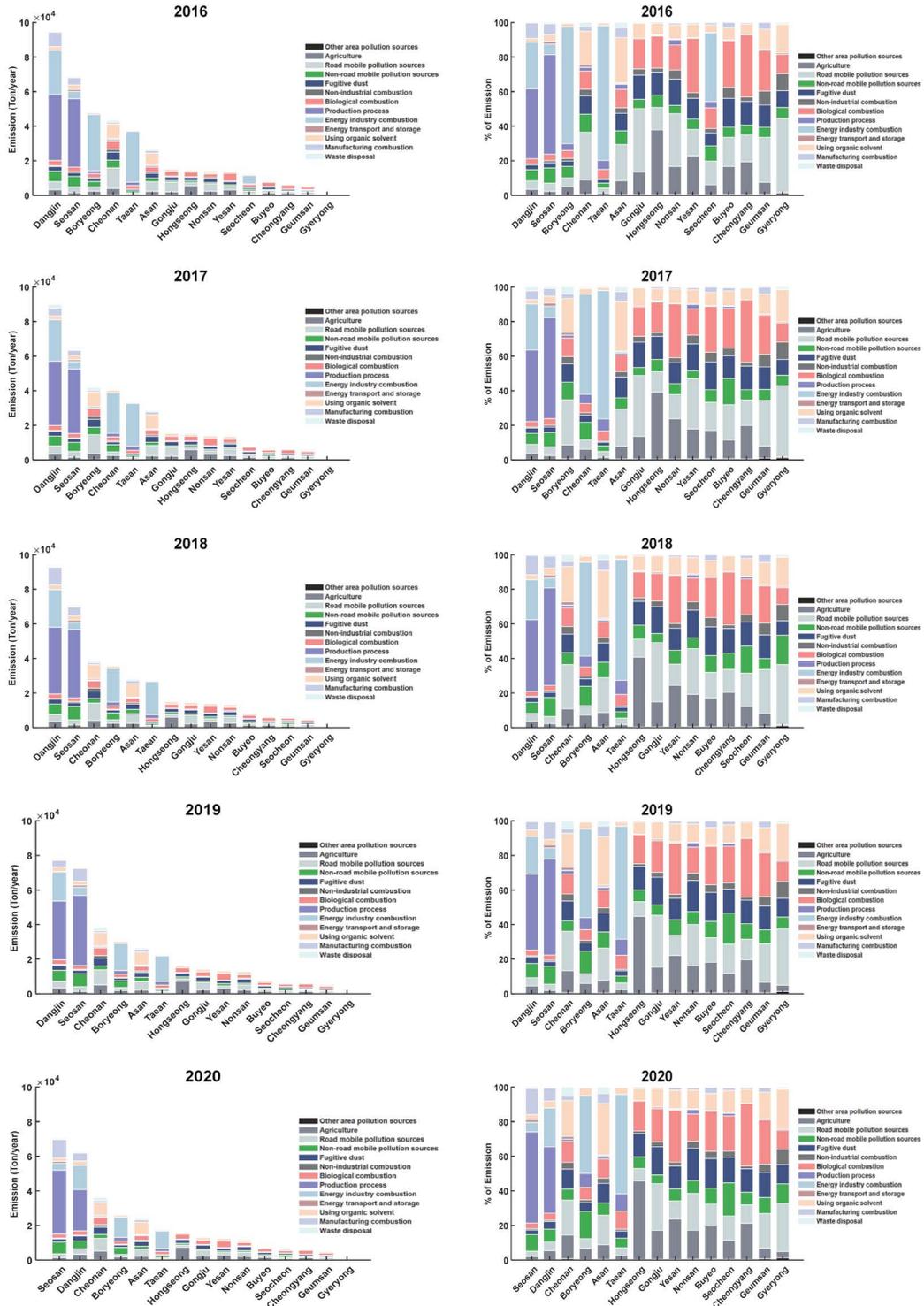


Fig. 6. Trend and contribution of each sector in 15 cities (2016~2020).

별법(이하 대기관리권역법)”에 따라 중부권으로 분류되고 있으며(MOE, 2019a), 충남 내 15개 시군 중 금산을 제외한 14개 시군이 관리권역으로 설정되어 있다(MOE, 2020). 하지만 본 조사 결과 금산은 2016년 배출량 5,586톤으로 전체 14위에 해당하며, 가장 낮은 배출량은 계룡시로 금산군 배출량의 22.4%에 해당하는 1,251톤으로 확인되었다. 이는 2020년 배출량에서 유사하게 확인되는데 금산의 배출량이 5,013톤으로 소폭 감소하여 14위를 차지하였고, 계룡은 2016년도 유사한 1,242톤으로 가장 낮은 배출량을 보이고 있다. 분석된 결과 계룡군의 배출량은 충남에서 가장 낮음에도 불구하고 중부권으로 분류되어 대기관리권역법의 관리를 받지만, 금산군의 배출량은 계룡군보다 많음에도 불구하고 대기관리권역법의 관리를 받지 않아, 이에 대한 현실적인 대안이 필요한 실정이다.

3. 4 시군별 대기오염물질 배출특성 분석

2020년 기준 전국의 대기오염물질을 부문으로 분류하였을 때 비도로이동오염원과 도로오염원에 의한 배출 기여도가 가장 크고, 그 뒤를 이어 유기용제 사용 및 생산공정에 의한 배출 기여도가 높게 나타난다(그림 7). 도로이동오염원의 경우 서울을 포함한 수도권 및 광역도시에서 차량 이동과정 중 배출되는 오염물질의 영향이고, 비도로이동오염원은 전국에 걸쳐 진행되는 농사와 여객, 항만, 건설기계에서 배출되는 오염원에 기인한 것으로 판단된다. 유기용제 사용과 생산공정은 울산, 여수, 대산으로 대표되는 석유화학

산업단지를 포함하여 전국에서 분포하고 있는 산업단지 생활권 배출원(도장시설, 세탁소, 주유소 등)의 영향이 클 것이다. 이처럼 CAPSS를 기반으로 주요 배출원에 대한 기여도 분석 결과는 지역적 배출이 어느 분야에서 주로 나타나는지를 파악할 수 있는 중요 지표로 사용될 수 있다.

그림 8은 충남을 포함하여 중부권으로 분류되고 있는 5개 시도 중 군산, 익산, 전주만이 포함되어 있는 전북을 제외한 4개 시도에 대한 대기오염물질 배출 기여도를 나타낸 것이다. 대전과 세종은 인구밀집 대도시로 분류되며, 충남과 충북은 각각 15개와 11개 시군의 연합으로 이루어져 있다. 대전의 경우 1995년 대전광역시로 지정된 이후 대한민국의 주요 대도시로 역할을 해오고 있으며, 전형적인 도시대기오염의 특징인 도로이동오염원(28.3%)과 유기용제 사용(24.4%)의 비중이 높게 나타났다. 세종시의 경우 충남 연기군을 2012년 세종특별자치시로 전환하면서 신설된 신도시로 도시화되기 전까지 농업 위주의 지방 소도시였다. 이러한 특성이 아직도 남아 있어 농업에 대한 특성(농업 12.0%, 생물성 연소 10.3%, 비산먼지 13.6%)과 도시의 특성(도로이동오염원 14.8%, 유기용제 사용 16.7%)이 혼재되어 나타나고 있다. 충남과 충북은 대전, 세종과 다르게 각 지역에 포함되어 있는 기초지자체들의 영향을 고루 반영하여 나타나게 된다. 충남의 경우 석탄화력발전, 제철소, 석유화학단지 등 대형배출시설에 의한 영향이 크다 보니 생산공정 20.3%, 에너지산업 연소 12.4%, 제조업 연소 6.0%가

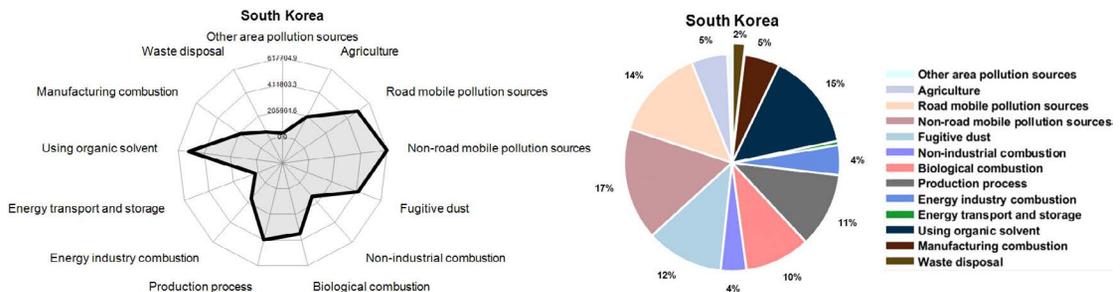


Fig. 7. Emission contribution of air pollutants in national scale based on CAPSS.

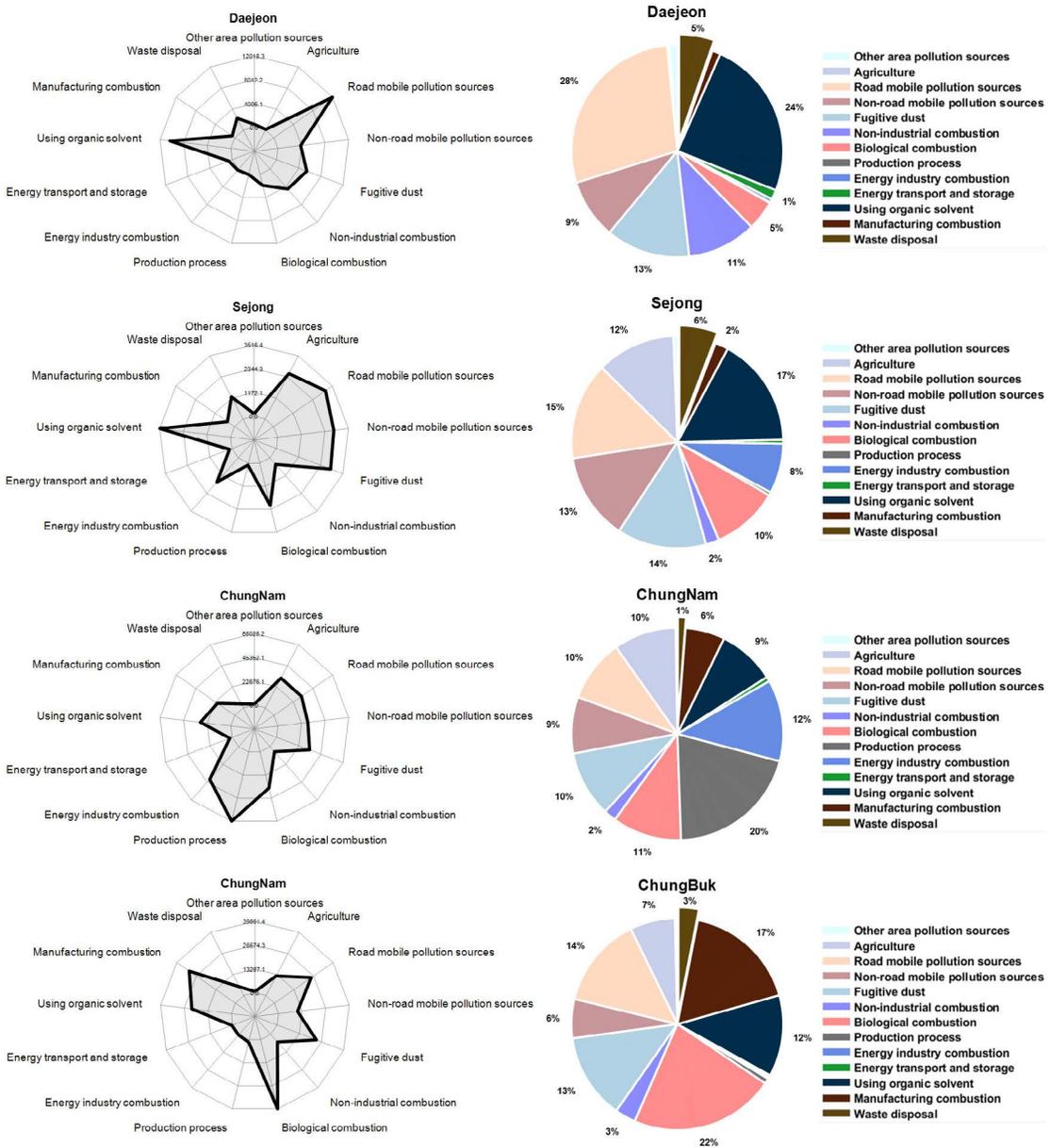


Fig. 8. Emission contribution of air pollutants in central region based on CAPSS.

전체 배출의 38.7%를 차지하는 것으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 지역의 주요 산업인 농업에 의한 배출(농업 9.5%, 비산먼지 10.1%, 생물성 연소 10.6%)이 30.2%로 에너지 산업과 농업에 의한 배출이 68.9%로 높은 비율을 보였다. 충북 역시 청주 및 오송 인근에 산업단지들

이 위치해 있으며, 충남과 마찬가지로 산업배출과 농업에 의한 배출이 혼재되어 있는 것으로 확인되었다. 충남의 경우 서해 바닷가를 끼고 석탄화력발전소가 운영됨에 따라 에너지산업 연소 부분의 비중이 높은 것에 반해 충북은 제조업 연소 17.5%, 유기용제 사용

12.4%가 높게 나타났고, 농업관련 지표인 농업 6.9%, 비산먼지 13.1%, 생물성 연소 22.2%로 나타났다. 특히 하게 타 지역 대비 생물성 연소의 비율이 22.2%로 높게 나타났다.

대전, 세종과 같이 좁은 면적에 인구가 밀집되어 있고, 도시형태의 지역일 경우 일정한 패턴의 배출특성을 나타내게 되며, 대전과 같이 오래된 도시지역일 경우 도로이동오염원이나 유기용제 사용의 비중이 크게 나타나는 유사한 특징을 보인다. 반면 충남과 충북과 같이 다양한 배출특성을 가지는 여러 기초지자체가 모여있는 지역들은 그 기초지자체의 산업특성에 따라 다양한 배출특성을 보일 수 있다. 그림 9는 충남에 포함되어 있는 15개 시군에 대한 배출량 자료를 나타낸 것이다. 충남은 앞서 언급한 것과 같이 서해안을 끼고 당진, 태안, 보령, 서천에 석탄화력발전소가 운영되고 있으며, 당진에 제철소가, 서산에 석유화학단지가 위치해 있어 대형배출시설의 영향이 크게 나타나고 있다. 천안, 아산의 경우 다른 시군에 비해 도시화가 잘 진행되어 대도시의 배출특성을 보이며, 별다른 배출원 없이 농축산업이 주인 지역이 있는 반면, 도심 배출특성과 농축산업의 특징이 같이 나타나는 지역이 있다. 천안, 아산, 공주, 논산, 서천, 금산, 계룡의 경우 도시의 특징인 도로이동오염원과 유기용제 사용의 비중이 높으면서, 농촌의 특징인 농업과 비산먼지, 생물성 연소의 배출이 높은 기여도를 보인다. 이 주요 5가지 배출부문에 대한 기여도는 73.1~90.2%로 높게 나타난다. 이러한 경우 도농복합형으로 분류될 수 있다. 석탄화력발전소와 제철소, 석유화학단지가 위치해 있는 당진, 서산, 태안, 보령의 경우 제조업 연소, 에너지 산업 연소, 생산공정의 기여도가 높게 나타난다. 주요 3개 배출원에 대한 기여도는 52.4~72.2%이다. 서천의 경우 신서천 화력발전소가 신설되어 운영되고 있지만 21년도 6월부터 상업운전을 시작하여 2020년도 배출량 자료를 기반으로 분석한 본 연구에서는 반영되지 않았다. 홍성, 예산, 청양, 부여의 경우 농어촌형의 특징이 많이 확인되었다. 농어촌형의 배출특성으로 분류되는 농업, 비산먼지, 생물성 연소의 기여도가 61.2~

77.0%까지 나타났다. 충청남도 15개 시군의 물질별, 대분류별 배출량 시계열 그래프(2016~2020)는 그림 S1~S15에 각각 제시하였다. 지역별 배출량 세부 분석 결과, 충남지역은 배출량 자료를 기반으로 도농복합형, 에너지산업형, 농어촌형으로 크게 3가지로 분류할 수 있는 것으로 확인되었다. 그림 10은 충남 내 위치한 15개 시군을 앞서 분류한 3개 분류로 구분하여 나타낸 것이다.

3.5 정책 제언

1991년 환경정책기본법이 제정된 이후 다양한 분야에 대한 환경개선을 위한 노력이 추진되어 왔다. 대기분야의 대기환경보전법이 같은 연도에 개정되었고, 동 법에 따라 측정망 설치, 환경위성 구축, 대기질 예측 등 다양한 정책이 수립 및 시행되어 왔으며, 2003년에는 “수도권 대기환경개선에 관한 특별법”이 시행되어 수도권에 대한 대기질 개선을 위한 사업들이 추진되었다. 이 법에 따라 서울, 인천, 경기지역이 수도권 대기관리권역으로 지정되었고, 지정지역에 대한 수도권 대기환경관리를 위한 기본계획 및 시행계획 수립, 사업장 오염물질 총량관리, 배출허용기준 강화, 저공해 자동차 보급, 노후 차량의 조기폐차 지원, 대기오염물질별 최적방지시설 설치 등이 시행되었다(MOE, 2005). 각 사업에 대한 평가 결과 서울의 대기질은 꾸준히 개선되고 있으며, 특별법에 따른 효과도 긍정적인 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2016b; Lee, 2016; Mo, 2014). 하지만 우리나라는 지리적으로 편서풍대에 위치하고 있어 중국이나 몽골로부터 유입되는 오염물질에 직접적인 영향을 받으며, 기후변화 등의 영향으로 대기정체가 빈번히 발생하고 있다(Lee *et al.*, 2018). 이로 인해 2016년 이후 미세먼지에 대한 국민적 관심과 우려가 증가하면서 정부 차원의 대기질 개선대책 마련이 시작되었다. 2019년도에 관계부처 합동으로 “미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)”이 수립되었고, 이에 대한 근거 마련을 위해 “미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(이하 미세먼지법)”과 “대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(이하 대기관

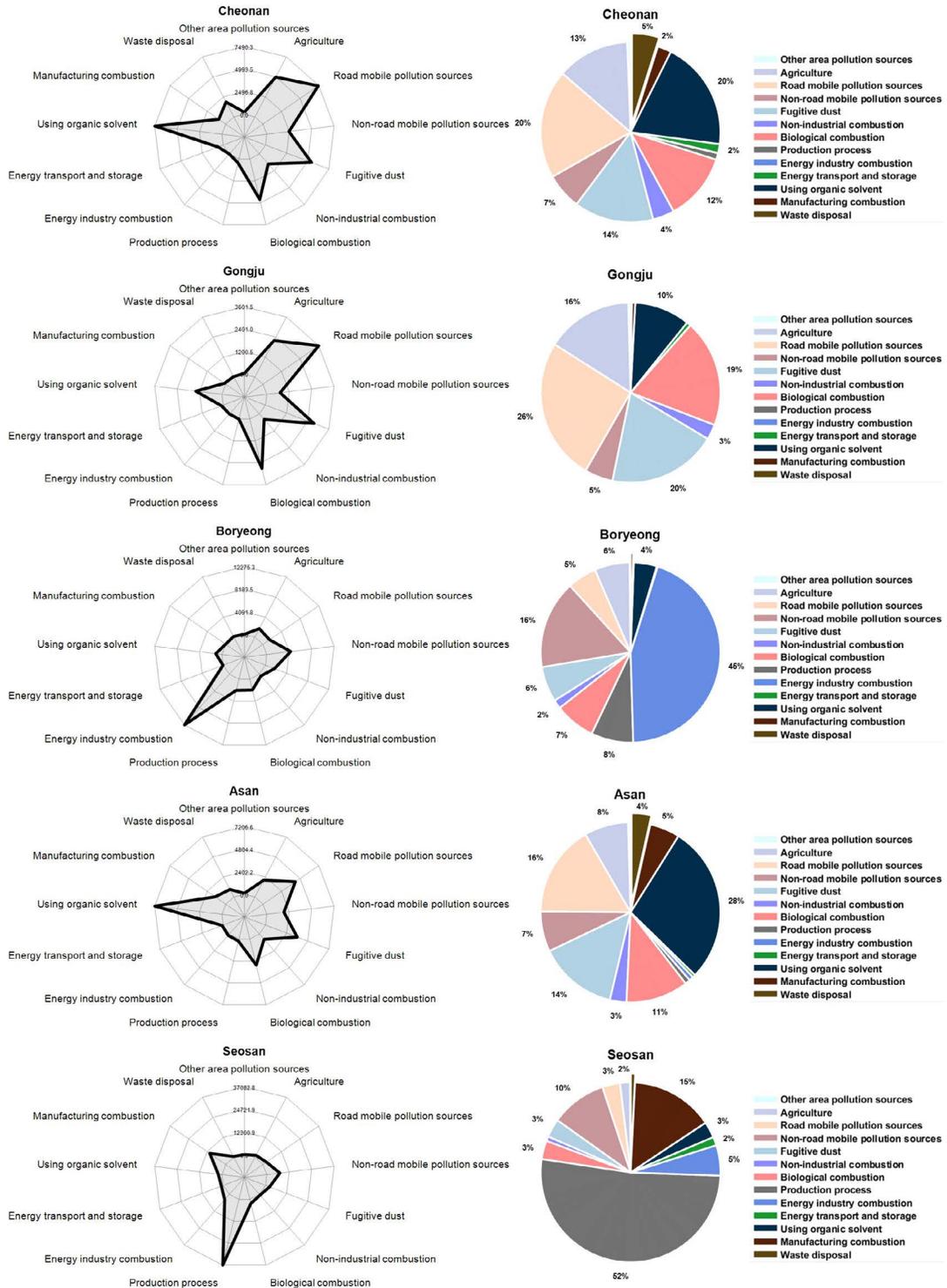


Fig. 9. Emission contribution of air pollutants in ChungNam region based on CAPSS.

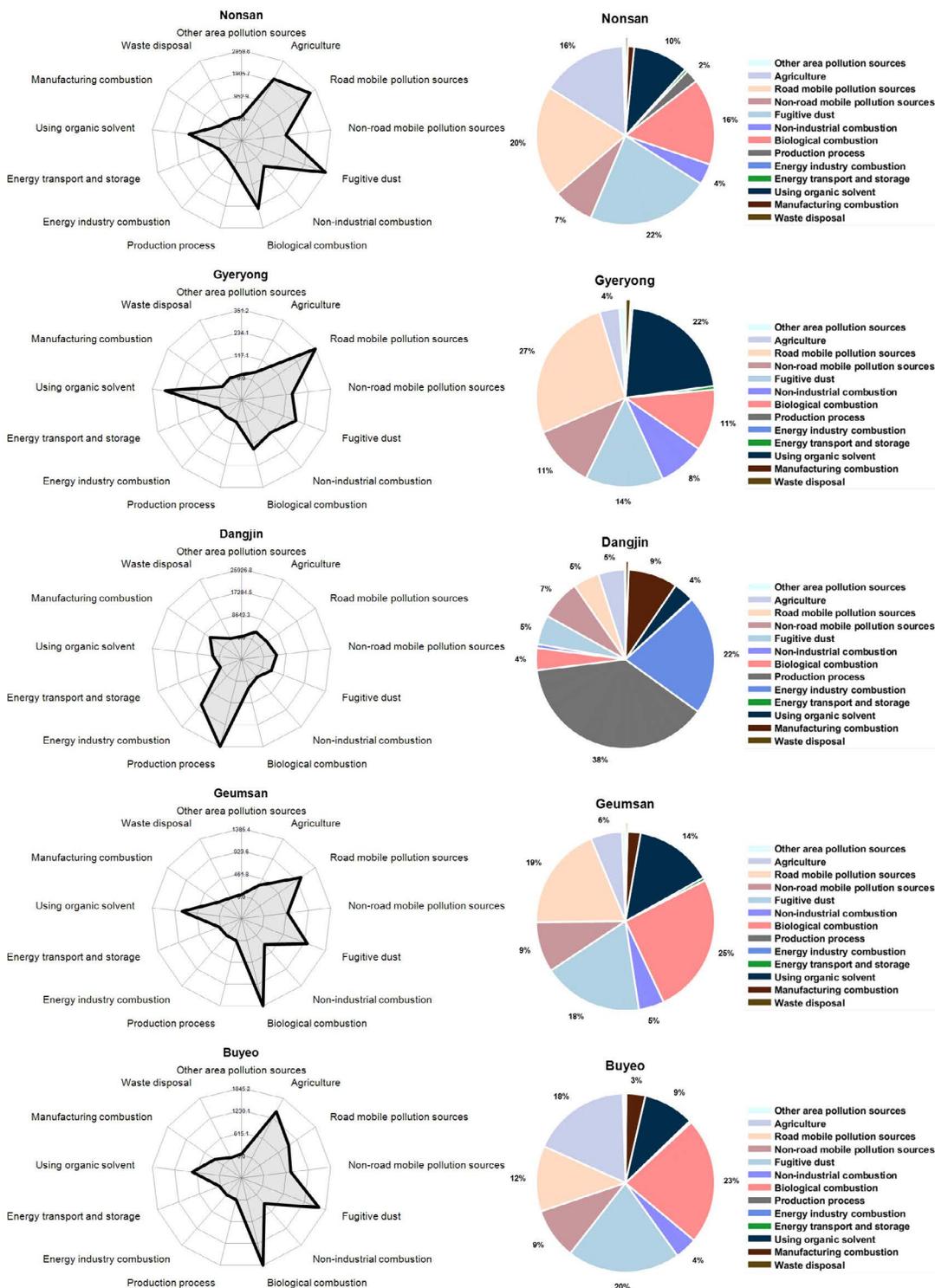


Fig. 9. Continued.

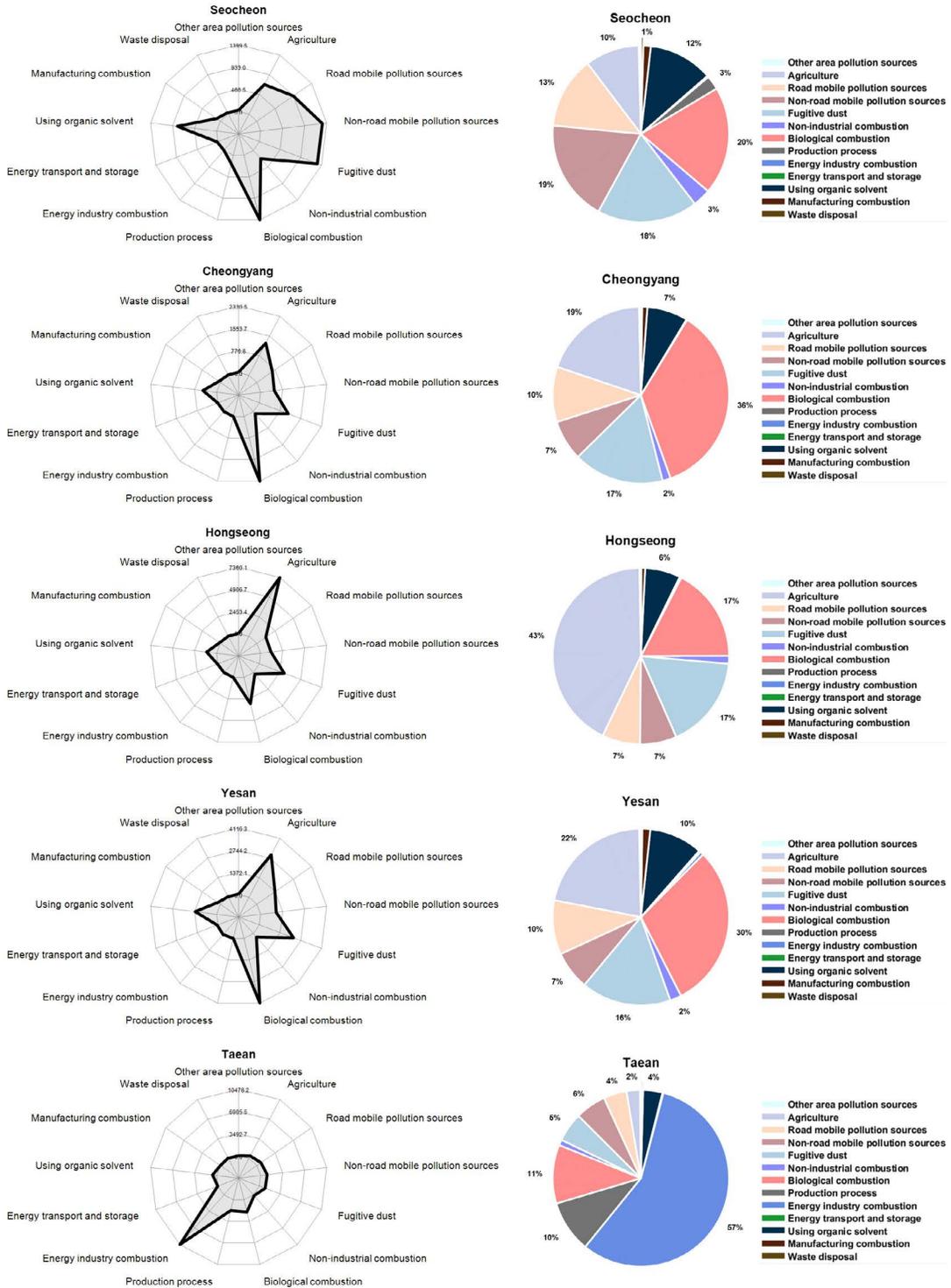


Fig. 9. Continued.

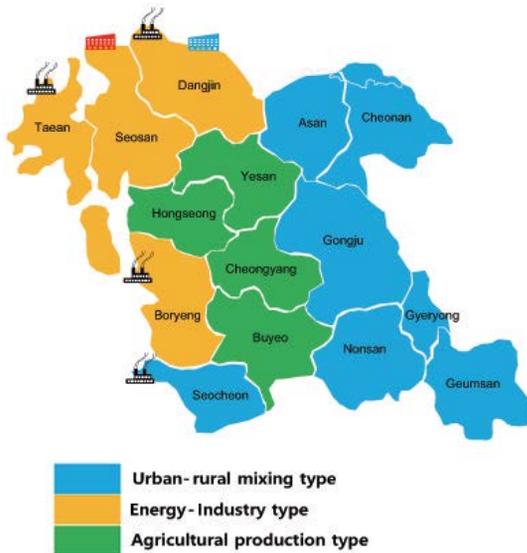


Fig. 10. Classification of emission characteristics in Chung-Nam based on CAPSS analysis results.

리권역법)이 수립되었다(MOE, 2019a, 2019b). 대기 관리권역법에서는 그동안 수도권을 중심으로 관리해 오던 집중관리권역을 중부권과 남부권 동남권으로 확대하였다. 이에 따라 4개 권역에 대한 기본계획이 수립되었다. 충남은 대전, 세종, 충북, 전북과 함께 중부권으로 분류되고 있으며, 중부권 기본계획에 따라 시행계획을 수립하여 추진 중에 있다. 앞서 배출량을 기준으로 분류 시 충남지역 자체에서도 3개의 특성으로 분류할 수 있다. 하지만 현재 중부권 기본계획에 묶여 서로 상이한 배출특성에도 불구하고 유사한 정책이 추진되고 있어 지역별로 최적의 개선효과를 내기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 과거 서울을 중심으로 한 수도권 관리가 1단계 개선정책이라고 한다면, 이를 전국으로 확대하여 4개 권역으로 분류하여 관리하기 시작한 것이 2단계라고 볼 수 있다. 하지만 배출량 특성을 분석한 결과 지역을 권역으로 묶어 동일한 개선대책 추진보다는 지역별로 배출특성을 고려한 맞춤형 정책 추진시 좀 더 효과적일 것으로 사료되며, 향후 지역 맞춤형정책 수립 및 추진의 3단계로의 전환이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

CAPSS는 국가 대기질 개선정책 추진의 기본자료로 활용되고 있으며, 2020년 배출량이 산정되면서 기존 대비 개선된 산정방법을 적용하였다. 이에 본 연구에서는 CAPSS 수정 전후의 자료의 비교분석과 지역적 특성을 비교분석하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 발전·산업 및 생활, 수송 등 부문별로 적용되던 배출계수의 개선과 활동도 자료를 현실화하였다. 그 결과 version 5 대비 version 6의 배출량이 감소한 것으로 나타났고, 가스상 오염물질보다 입자상 오염물질의 감소폭이 더 큰 것으로 나타났다. 부문별로는 제조업 연소, 농업, 에너지수송 및 저장, 도로 이동오염원, 비산먼지에서 큰 차이를 보였다.
- 대형배출시설이 다수 존재하는 충남의 경우 2016년부터 2020년까지 지속적인 감소세를 보이고 있으며, 에너지산업 연소 23.5%, 생산공정 20.5%, 도로이동오염원 12.0%, 농업 7.2%가 감소한 것으로 나타났다. 특히 그동안 배출 기여도가 가장 높았던 당진의 감소량이 커지면서 2020년 기준 충남의 배출량 1위 지역은 서산으로 확인되었다.
- 대기관리권역법에 따라 충남지역은 금산을 제외한 14개 시군이 관리지역으로 지정되어 관리되고 있으나 배출량만으로 봤을 때 계룡이 금산 배출량의 1/4 수준으로 가장 낮은 지역으로 확인되어 추후 이에 대한 실효성 검토가 필요할 것으로 판단된다.
- 배출량을 부문별로 분류하여 배출 기여도를 분석한 결과 전국과 서울 그리고 중부권으로 분류되는 대전, 세종, 충남, 충북이 서로 상이한 배출특성을 보였다. 충남을 세부적으로 분석한 결과 도농 복합형(천안, 아산, 공주, 논산, 서천, 금산, 계룡)과 에너지산업형(당진, 서산, 태안, 보령), 농촌형(홍성, 예산, 청양, 부여)으로 구분하여 제시하였다.
- 배출량을 기준으로 전국과 서울, 중부권 내 지역을 분류하여 분석한 결과 서로 상이한 배출특성을 가

지고 있어 이들에 대해 동일한 개선정책 추진 시 효
과적이지 않을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

수정된 CAPSS를 기반으로 지역별 배출량 세부 분
석 결과 충남과 같은 도단위의 지역은 다양한 환경과
배출특성을 가지기 때문에 일관된 정책 추진보다는
지역별로 맞춤형 정책 개발과 추진이 필요하다는 것
을 확인할 수 있었다. 과거 수도권 중심의 개선정책이
1단계라면 현재 권역으로의 확대 관리의 2단계를 거
쳐, 향후 기초지자체별 상세 분석을 통한 지역 맞춤형
개선대책 수립을 위한 3단계 추진이 필요할 것으로
판단된다.

감사의 글

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지
원을 받아 수행된 과제의 일부 결과이며, 이에 감사드
립니다(NIER-2023-04-02-056).

References

- Choi, S.-W., Kim, T., Lee, H.-K., Kim, H.-C., Han, J., Lee, K.-B., Lim, E.-H., Shin, S.-H., Jin, H.-A., Cho, E., Kim, Y.-M., Yoo, C. (2020) Analysis of the National Air Pollutant Emission Inventory (CAPSS 2016) and the Major Cause of Change in Republic of Korea, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 14(4), 422-445. <https://doi.org/10.5572/ajae.2020.14.4.422>
- European Environment Agency (EEA) (2023) *European Union Emission Inventory Report 1990-2021*.
- Ha, M., Lee, T., Lee, I.-h., Jeon, E.-C. (2017) Analysis about CO Diffusion Change Caused by Climate Change Using CALPUFF, *Journal of Climate Change Research*, 8(2), 81-89, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2017.8.2.81>
- Jang, K.-W., Kim, H.-C., Lee, Y.-M., Song, D.-J., Jung, N., Kim, S.-K., Hong, J.-Y., Lee, S.-J., Han, J.-S. (2011) Estimating PM Emission Factor from Coal-Fired Power Plants in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27(5), 485-493, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2011.27.5.485>
- Jang, K.-W., Lee, J.-H., Jung, S.-W., Kang, K.-H., Hong, J.-H. (2009) A Study on the Comparison of Emission Factor Method and CEMS (Continuous Emission Monitoring System), *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(5), 410-419, (in Korean with English abstract).
- Jin, H., Lee, T., Park, H., Son, J., Kim, S., Hong, J., Jeon, S., Kim, J., Choi, K. (2014) An Estimation of Age-, Power-, and Type-Specific Emission Inventories for Construction Equipments Using Improved Methodologies and Emission Factors, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 30(6), 555-568, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.6.555>
- Jung, N.-E., Jo, M.-R., Heo, S.-H., Kim, H.-C., Park, J.-M., Lee, D.-G., Hong, J.-H., Lee, S.-J., Lee, Y.-J. (2012) Estimation of Particulate Matter Emission Factors from Open Burning, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(3), 348-356, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2012.28.3.348>
- Kim, B.-U., Kim, H.-C., Kim, S. (2018) A Recently Improved Approach to Develop Effective Emission Inventory for Air Quality Planning in US, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(2), 342-355, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.2.342>
- Kim, D.-Y., Choi, M.-A., Han, Y.-H., Park, S.-K. (2016a) A Study on Estimation of Air Pollutants Emission from Agricultural Waste Burning, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 32(2), 167-175, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2016.32.2.167>
- Kim, D.-Y., Han, Y.-H., Choi, M.-A., Park, S.-K., Jang, Y.-L. (2014) A Study on Estimation of Air Pollutants Emission from Wood Stove and Boiler, Wood-pellet Stove and Boiler, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 30(3), 251-260, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2014.30.3.251>
- Kim, J.-B., Yoon, S.-H., Lee, S.-S., Kim, K.-H., Noh, S., Bae, G.-N. (2020) Spatial and Temporal Distributions of PM₁₀ and PM_{2.5} Concentrations in Chungcheongnam-do, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(4), 464-481, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2020.36.4.464>
- Kim, S.H. (2001) A Preliminart Study on Environmental Capacity Concept and Case Study Analysis, *The Korea Spatial Planning Review*, 32, 195-207, (in Korean with English abstract).

- abstract).
- Kim, Y.-J., Jeong, H.-S., Kim, S., Ma, Y.-I., Lee, W.-K., Kim, J., Sunwoo, Y. (2016b) Seasonal Nitrogen Oxides Improvement due to On-road Mobile Air Pollution Source Emission Control Plan in Seoul Metropolitan Area, *Journal of Korean Society of Environmental Engineering*, 38(5), 269-278, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.4491/KSEE.2016.38.5.269>
- Lee, C.-E., Yoon, A.-S., Ha, W.-S., Cho, H.-S. (2022) Investigation of CAPSS NOx Emission Factors for Natural Gas Facility, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B*, 46(11), 581-591, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.3795/KSME-B.2022.46.11.581>
- Lee, C.-K., Choi, S.-W. (2007) A Study on Evaluation of Atmospheric Environmental Critical Loads and an Analysis on Emissions for Total Emission Standard Regulation of PM₁₀ in Daegu, *Journal of Nkdonggang Environmental Research Institute*, 12(1), 75-84, (in Korean with English abstract).
- Lee, H.-C. (2016) A Study on the improvement of air quality in the metropolitan area - focusing on PM₁₀ and PM_{2.5} occur on the road -, Ph.D. diss, University of Suwon, (in Korean with English abstract).
- Lee, H.-J., Jeong, Y., Kim, S.-T., Lee, W.-S. (2018) Atmospheric Circulation Patterns Associated with Particulate Matter over South Korea and Their Future Projection, *Journal of Climate Change Research*, 9(4), 423-433, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.15531/KSCCR.2018.9.4.423>
- 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>
- Ministry of Environment (MOE) (2005) Special act on the improvement of air quality in Seoul metropolitan area.
- Ministry of Environment (MOE) (2019a) Special act on the improvement of air control in air control zones.
- Ministry of Environment (MOE) (2019b) 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) (2023) press release, National air pollutants in line with the improvement of the calculation method emissions disclosure.
- Mo, T.-Y. (2014) Air Quality Improvement in accordance with Expanding the Atmosphere Control Zone of Air Pollutant Emission-Cap Management System of the Seoul Metropolitan Area, M.S. diss, University of Seoul, (in Korean with English abstract).
- Moran, M.D., Dastoor, A., Morneau, G. (2013) Long-Range Transport of Air Pollutants and Regional and Global Air Quality Modelling, *Air Quality Management*, 69-98, https://doi.org/10.1007/978-94-007-7557-2_4
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAEIR) (2015) Air pollutant emission factor.
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAEIR) (2022a) National Air Pollutants Emission.
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAEIR) (2022b) Manual on National Air Pollutant Emission Calculation Methods.
- United State Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (2023) 2023 National Emission Inventory Plan.
- 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>
- Yu, C. (2022) A Study on the Establishment System of a National Air Quality Management Policy for the Protection of Public Health, Ph.D. diss, Ajou University, (in Korean with English abstract).

Authors Information

- 황규철 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)
(kchwang@cni.re.kr)
- 박세찬 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)
(psc89@cni.re.kr)
- 이가혜 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)
(gahya1129@cni.re.kr)
- 노수진 (대림대 보건안전학과 교수) (sjnoh@daelim.ac.kr)
- 김정호 (㈜미세먼지연구소 소장) (jeonghoflux@naver.com)
- 이재영 (아주대 환경안전공학과 교수) (jaeylee@ajou.ac.kr)
- 박종성 (국립환경과학원 대기환경연구과 환경연구사)
(psofc@korea.kr)
- 김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)
(kjb0810@cni.re.kr)

Supplementary Materials

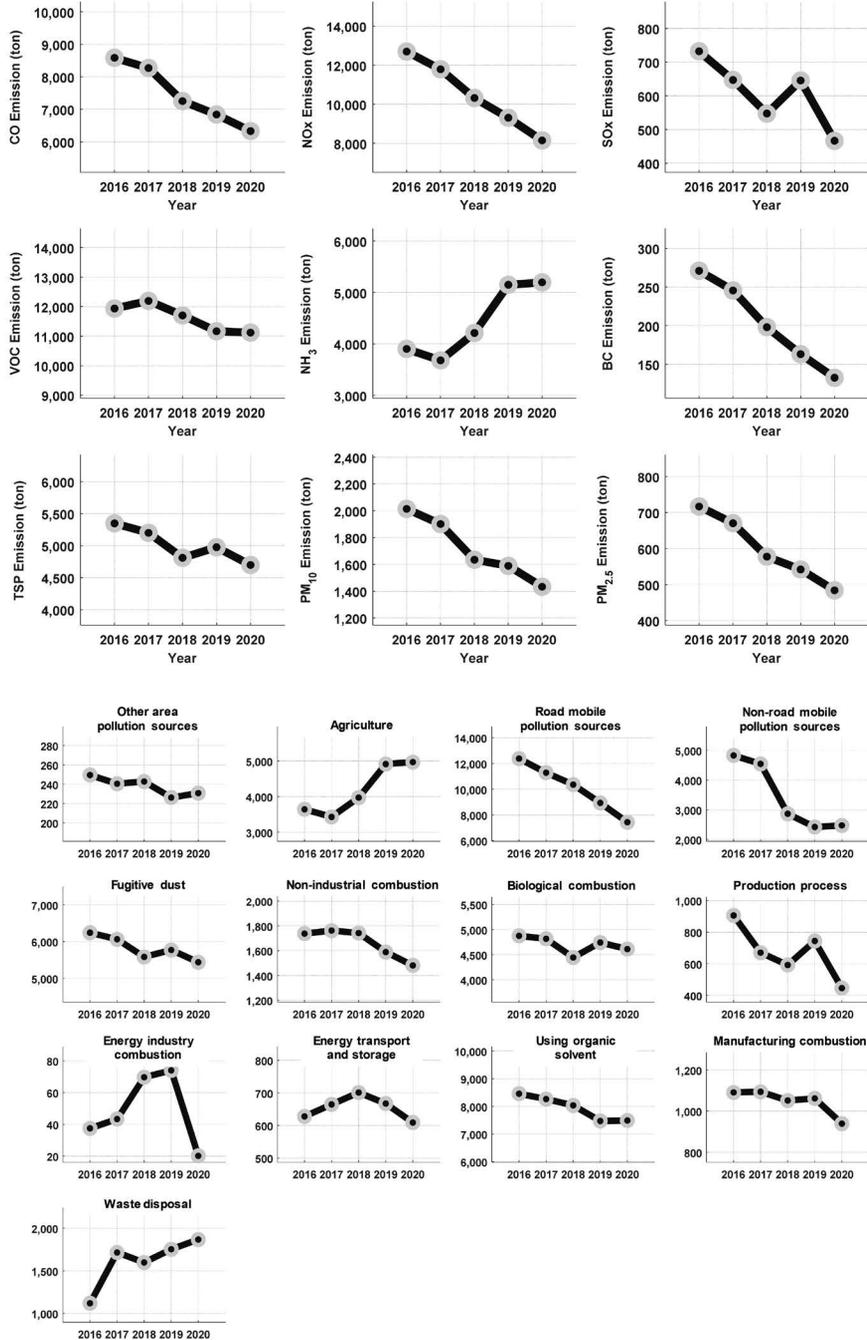


Fig. S1. Emission trend of Cheonan-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

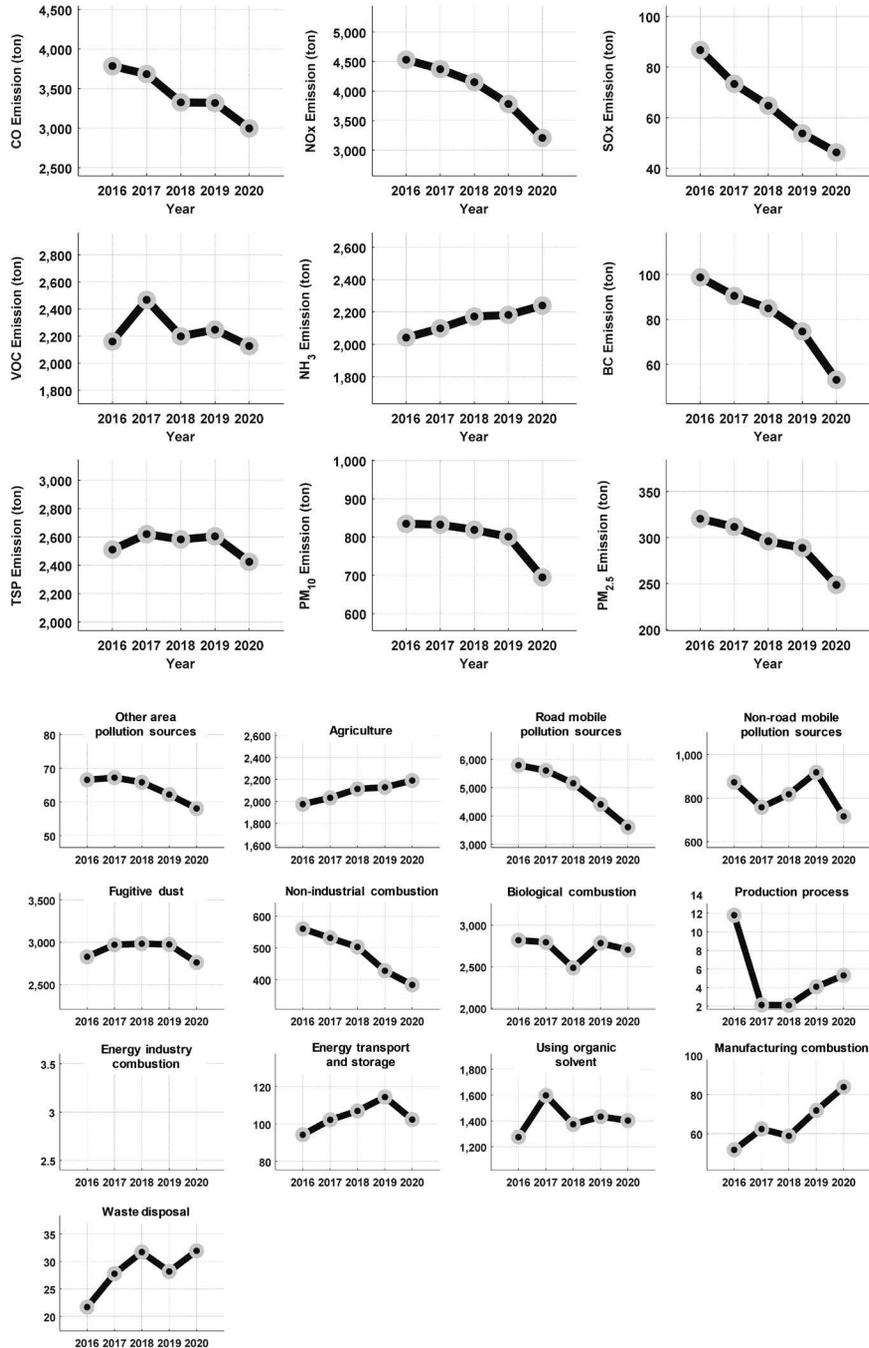


Fig. S2. Emission trend of Gongju-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

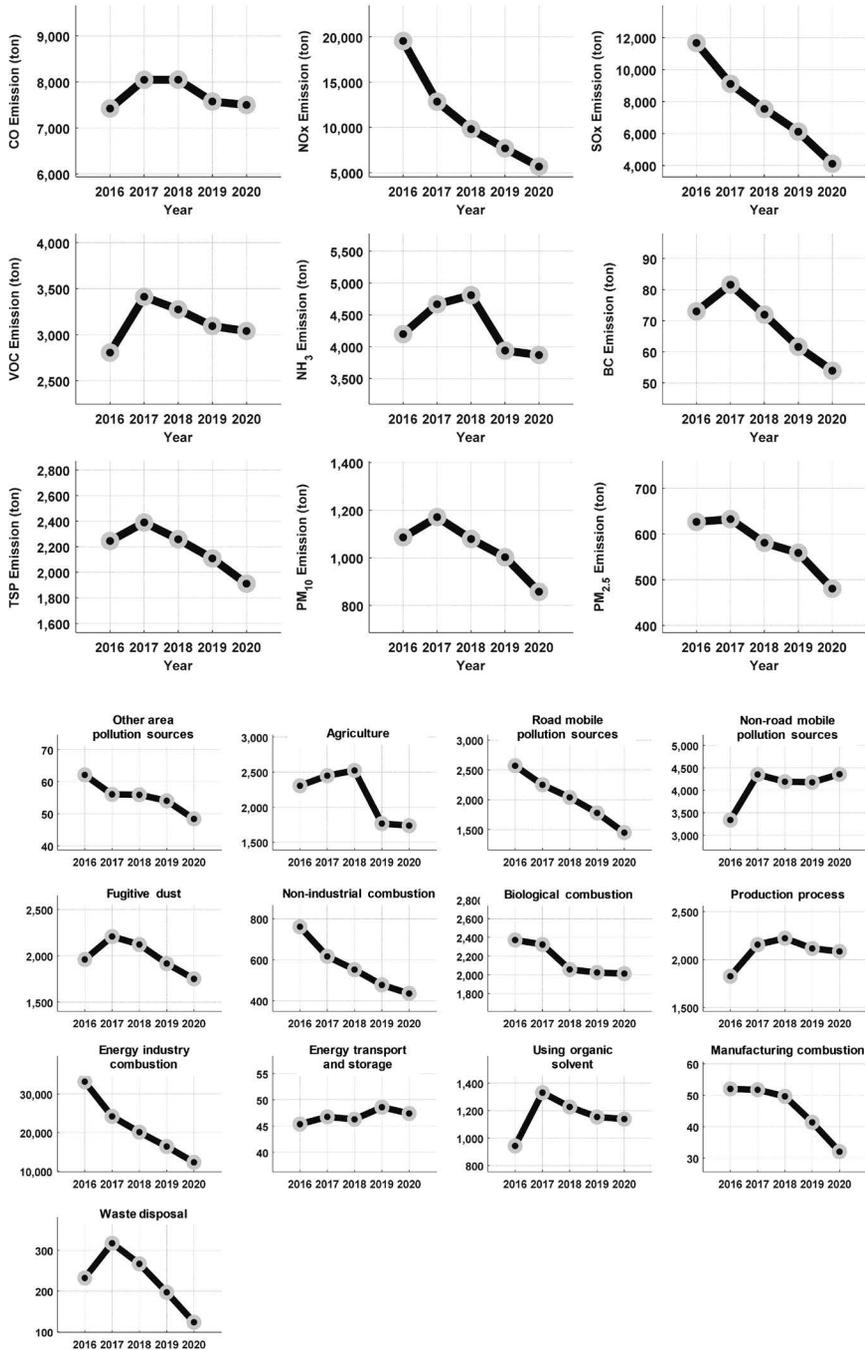


Fig. S3. Emission trend of Boryeong-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

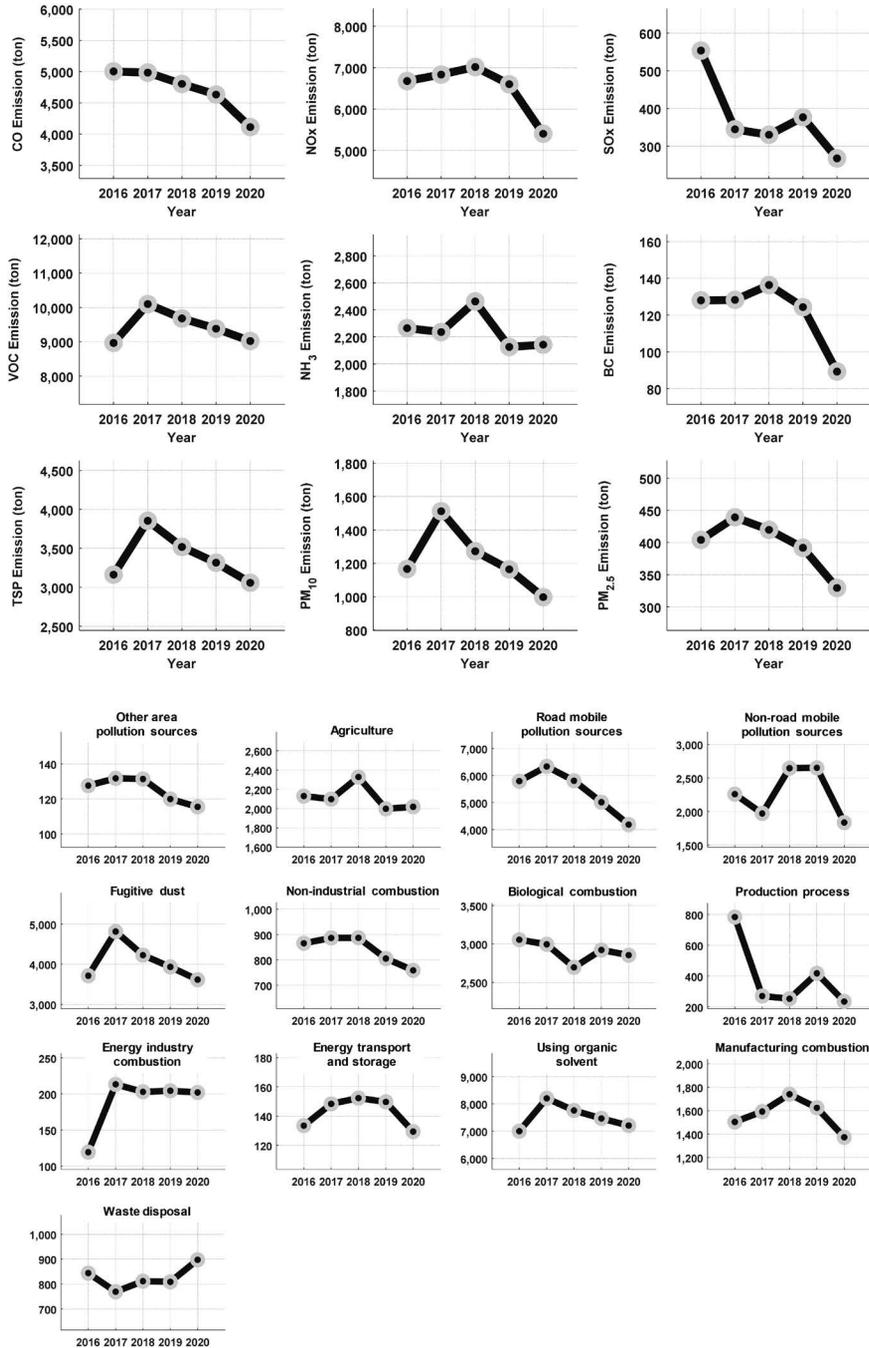


Fig. S4. Emission trend of Asan-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

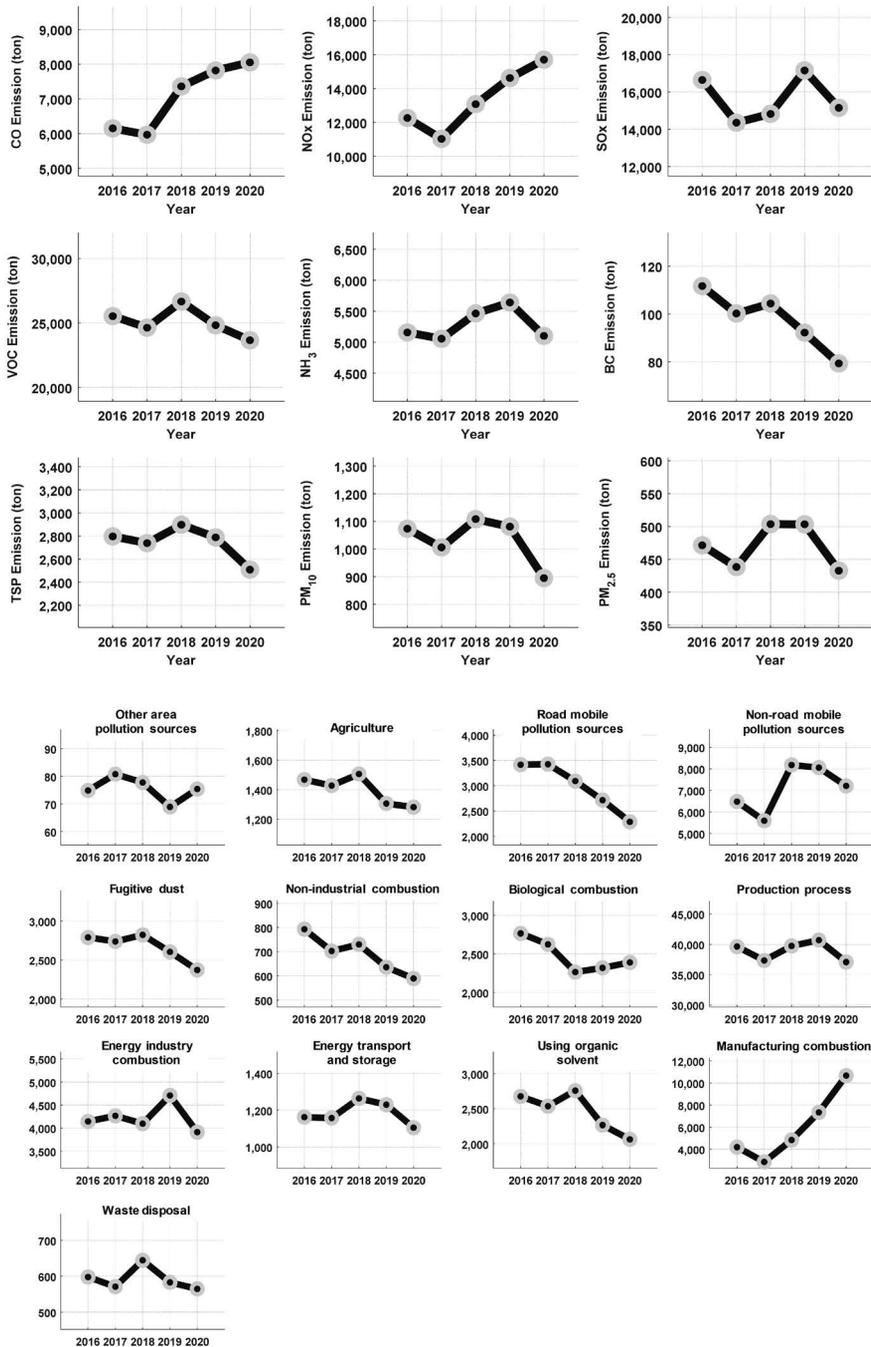


Fig. S5. Emission trend of Seosan-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

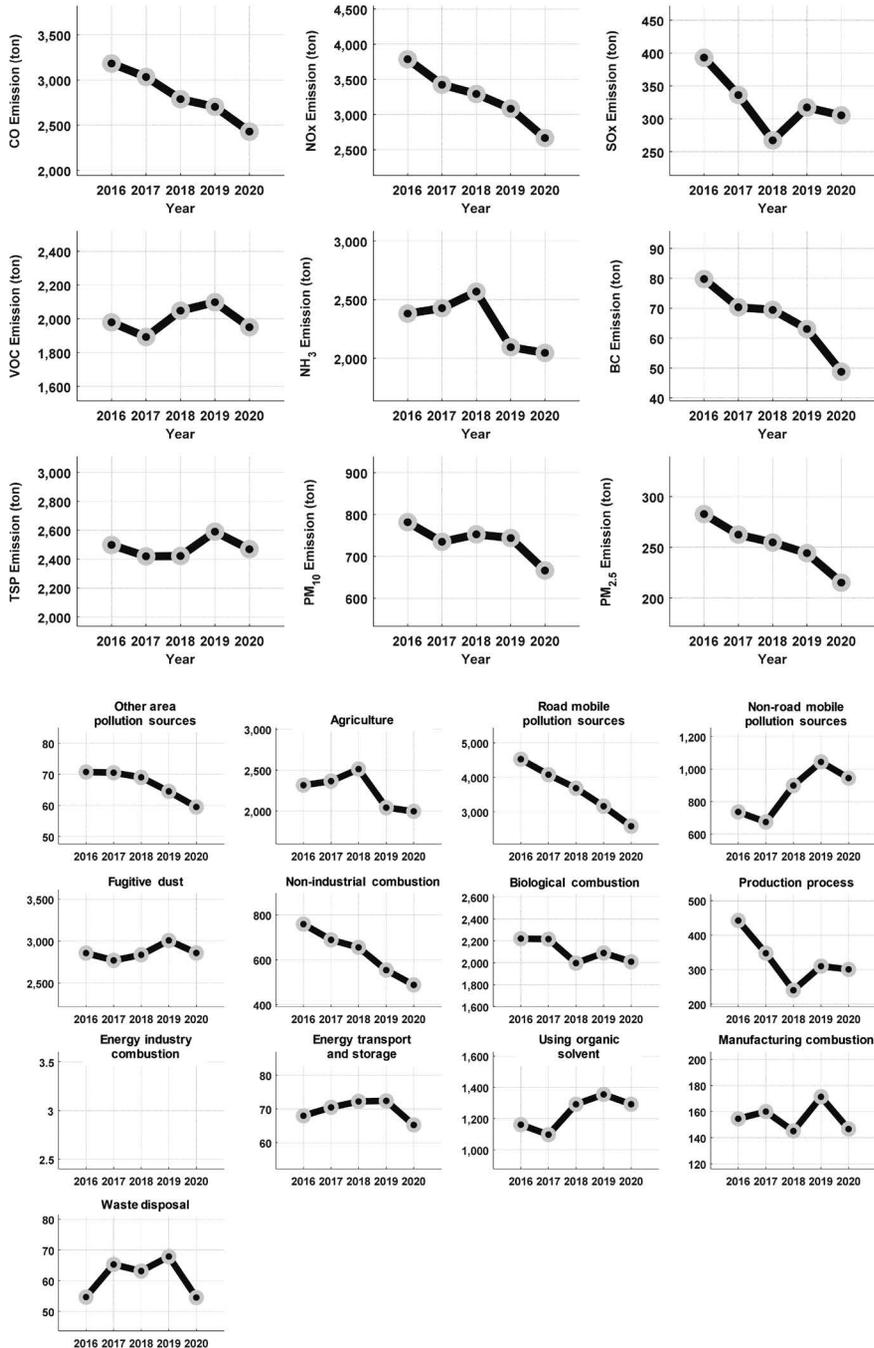


Fig. S6. Emission trend of Nonsan-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

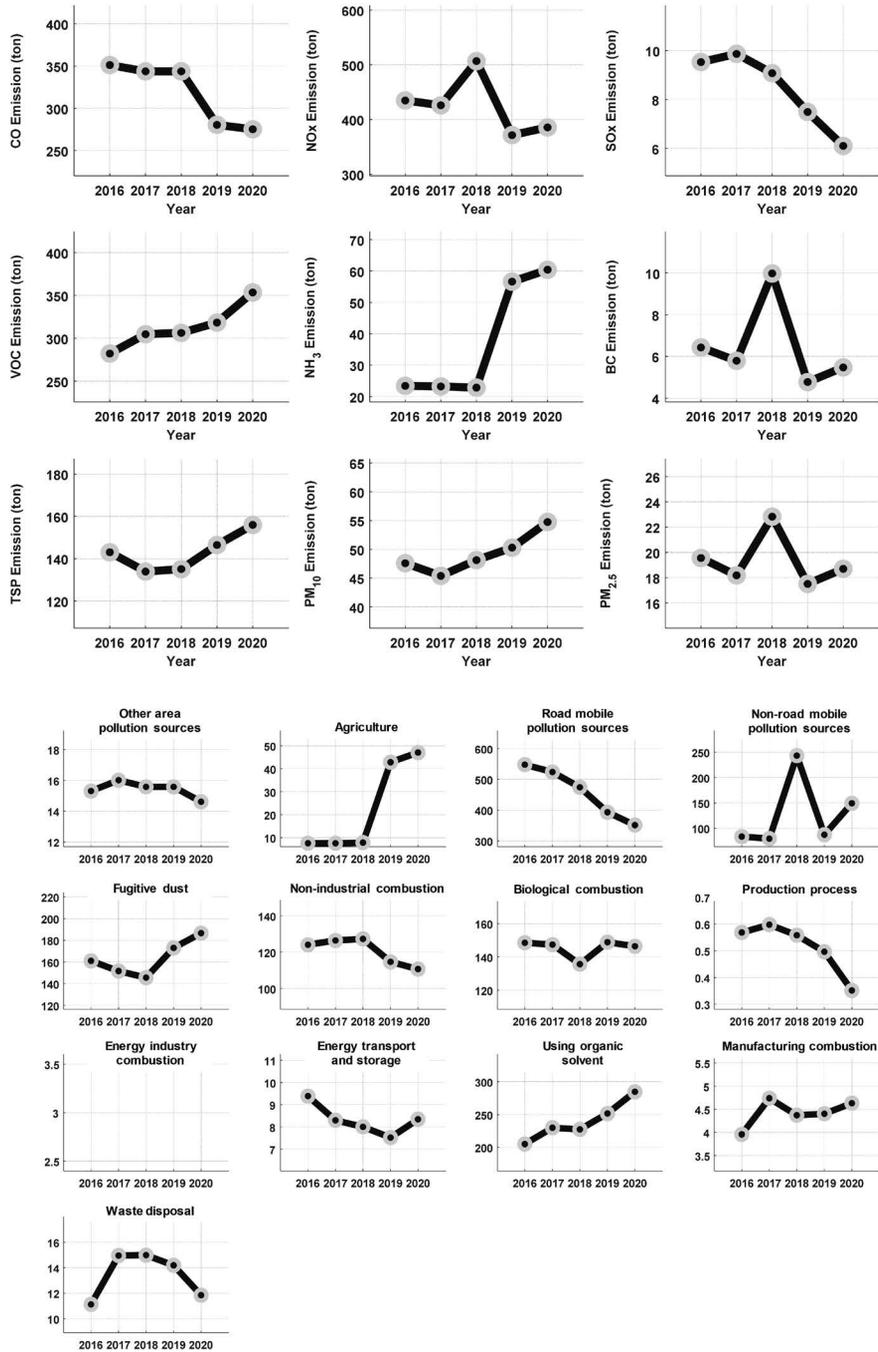


Fig. S7. Emission trend of Gyeryong-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

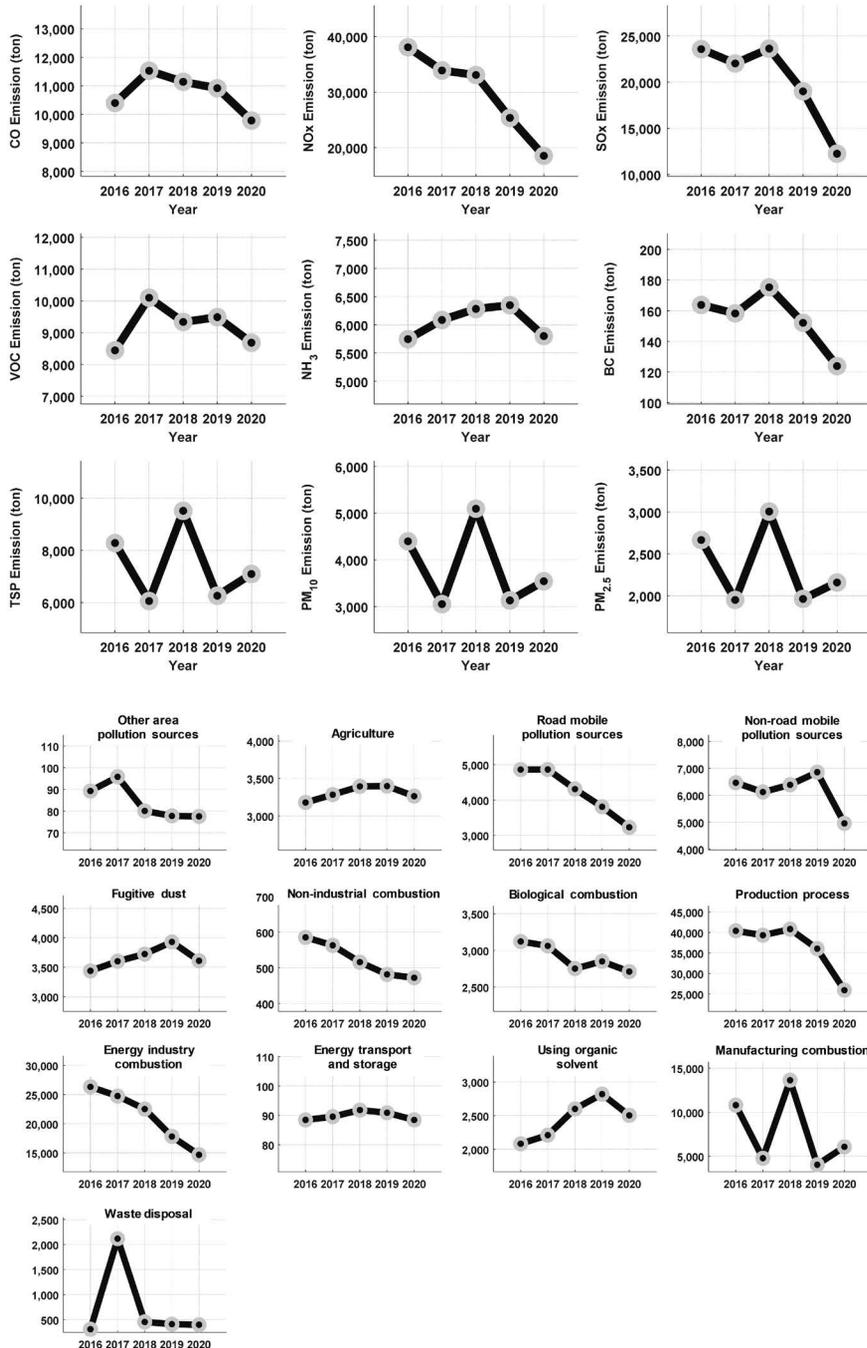


Fig. S8. Emission trend of Dangjin-si calculated by modified CAPSS (2016~2020).

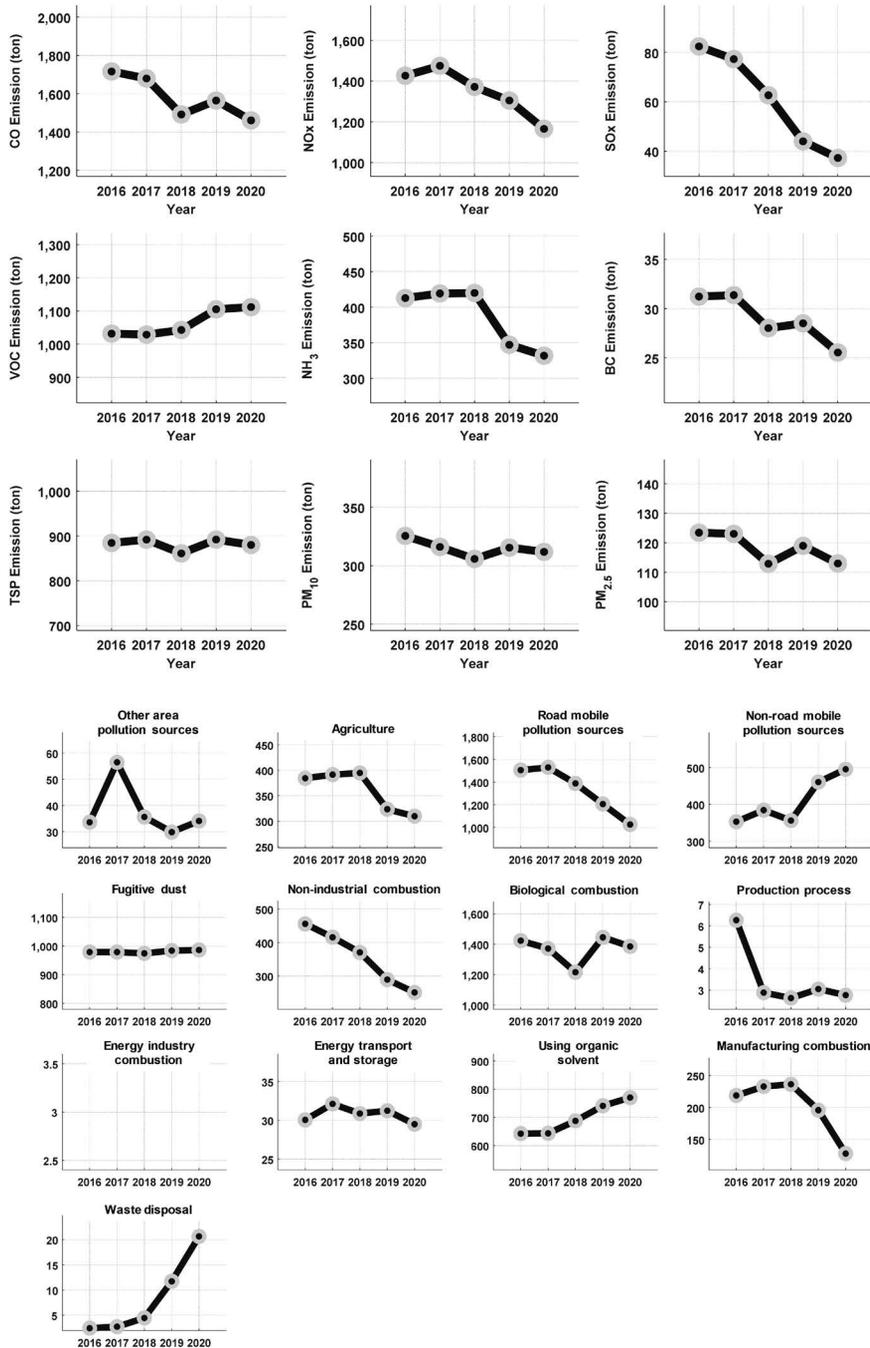


Fig. S9. Emission trend of Geumsan-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

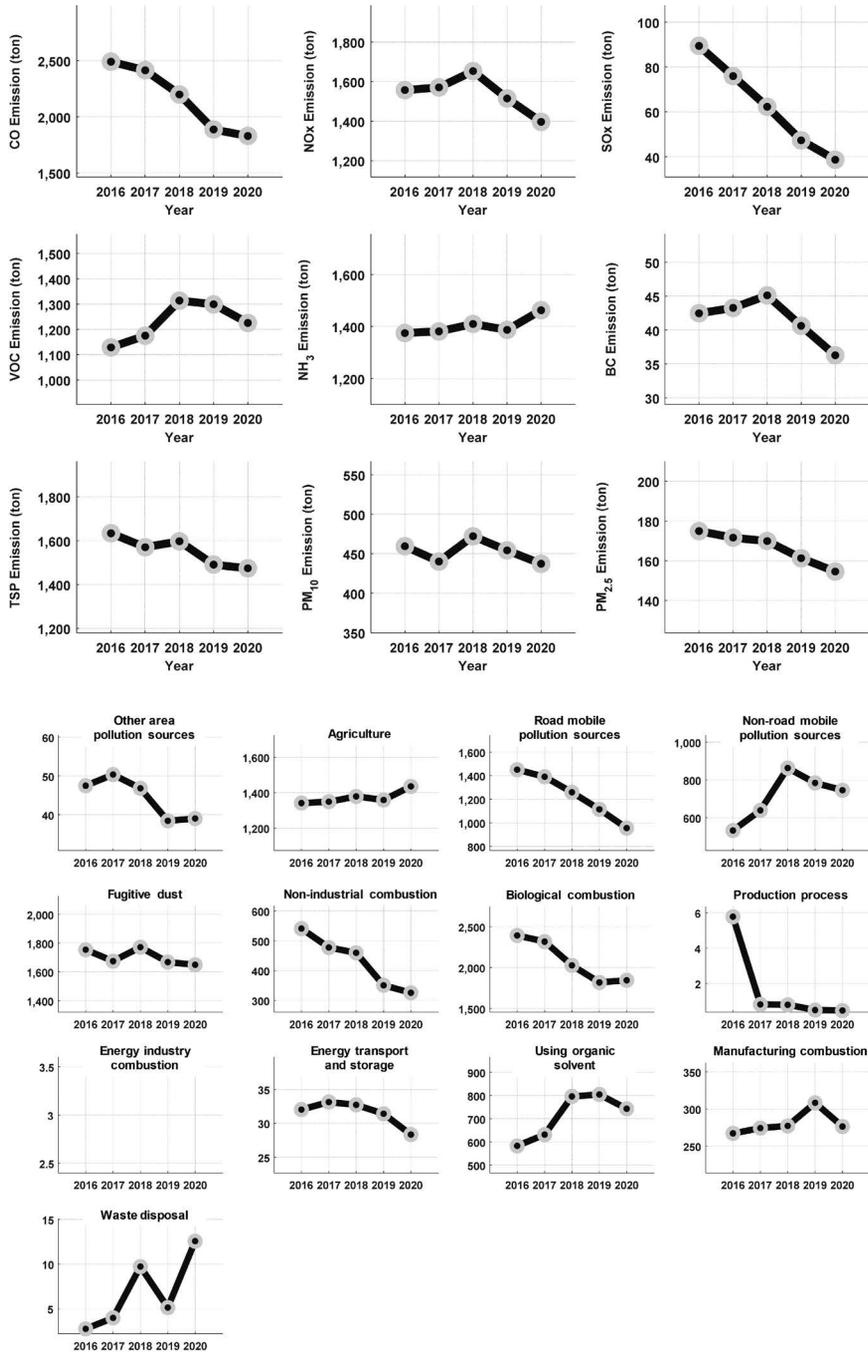


Fig. S10. Emission trend of Buyeo-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

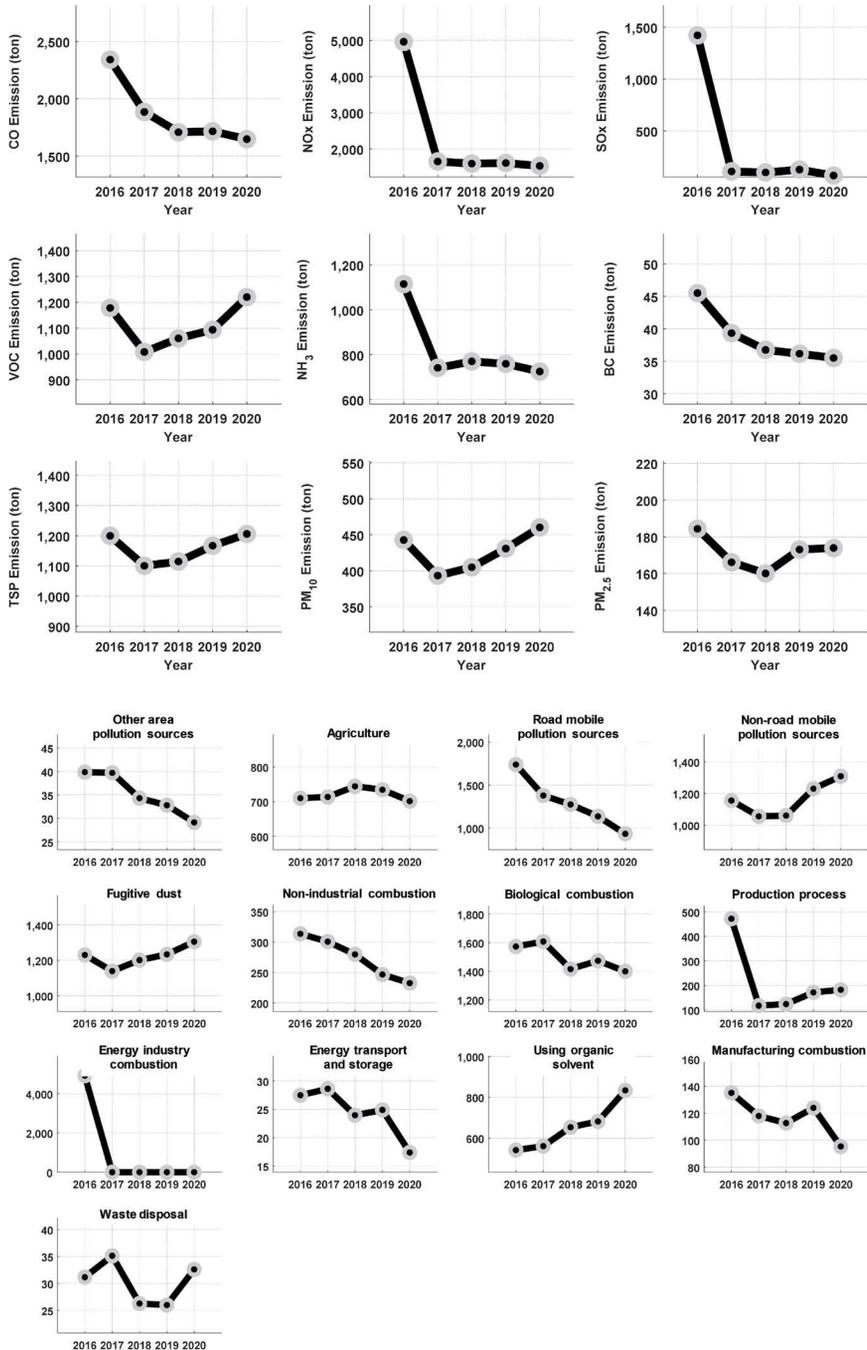


Fig. S11. Emission trend of Seocheon-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

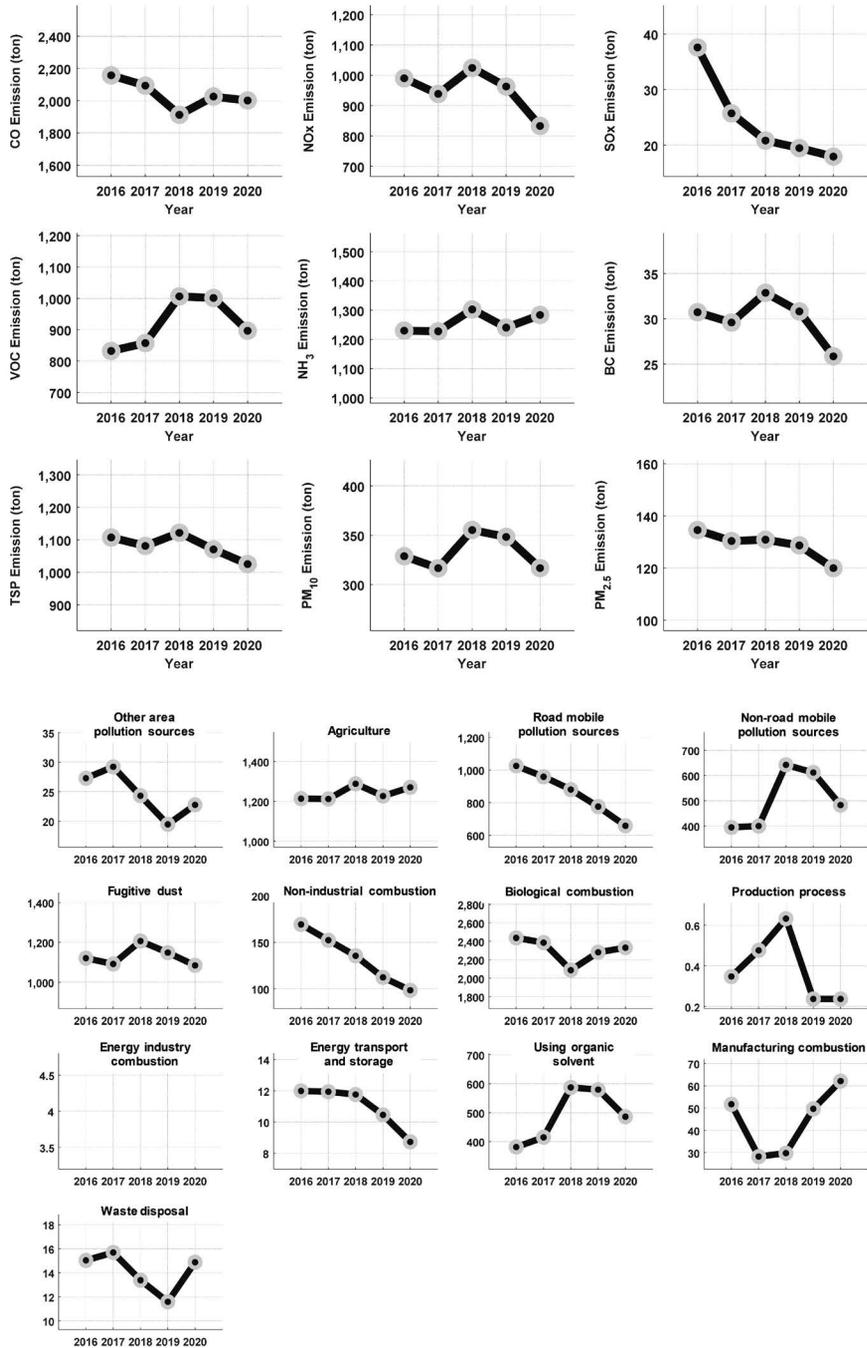


Fig. S12. Emission trend of Cheongyang-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

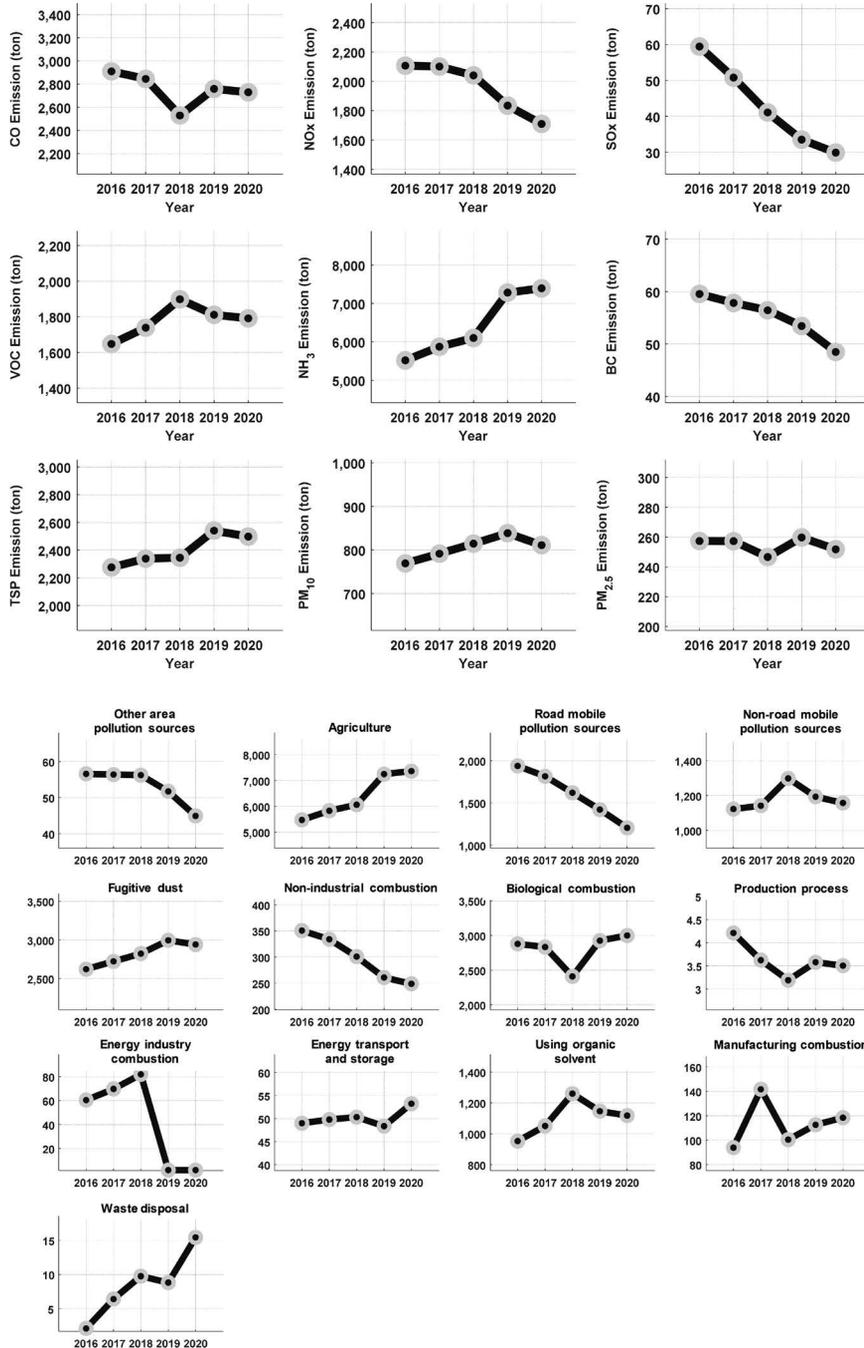


Fig. S13. Emission trend of Hongseong-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

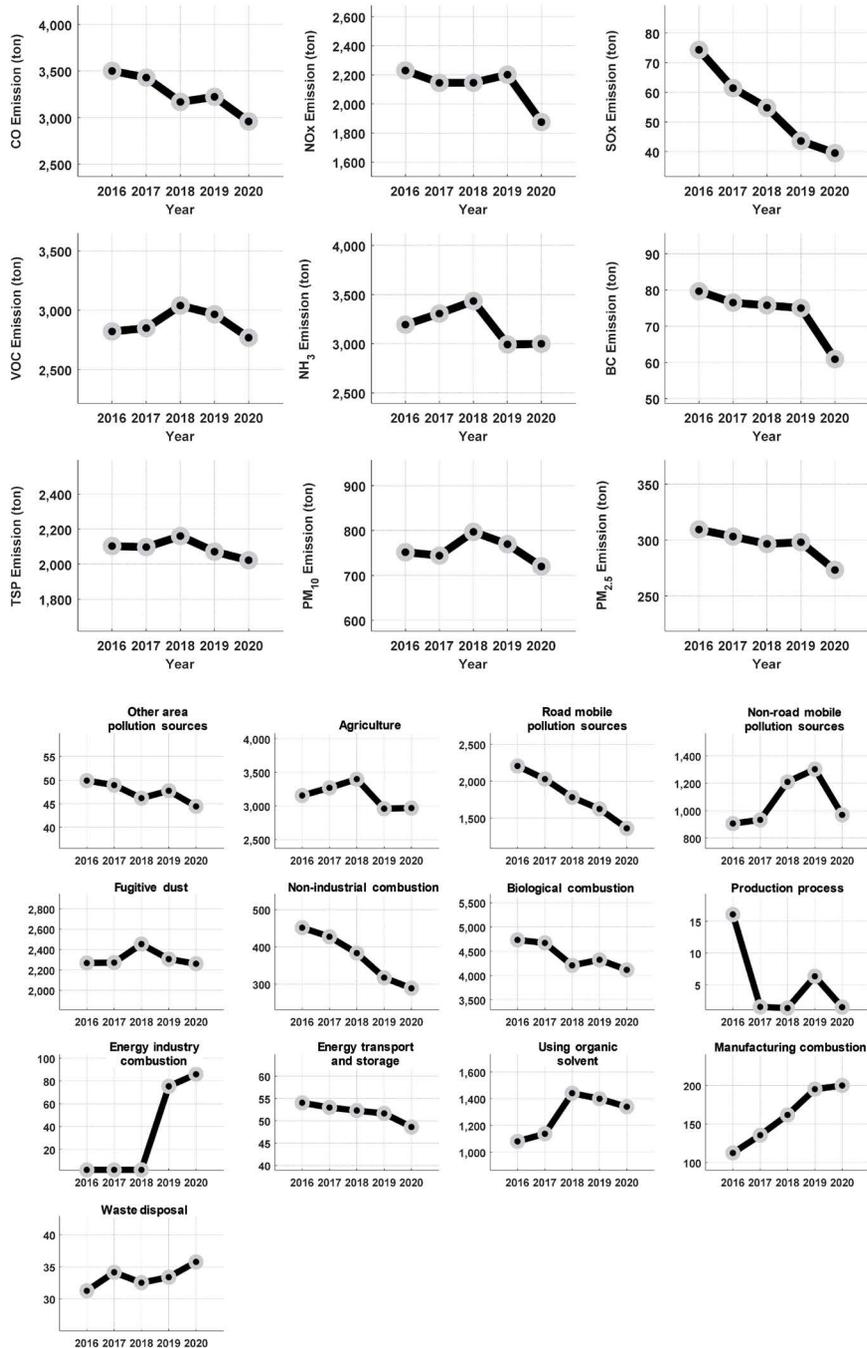


Fig. S14. Emission trend of Yesan-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).

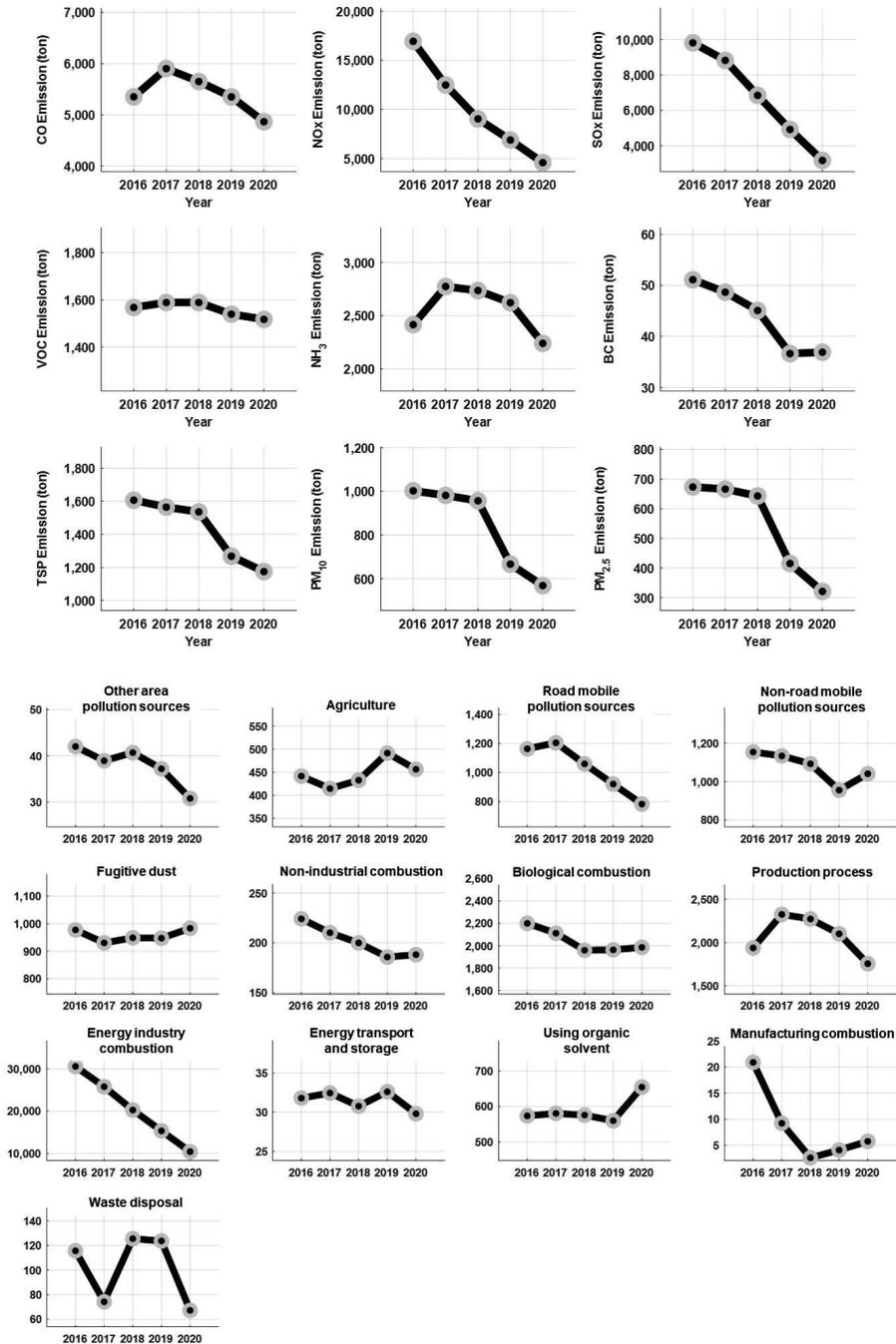


Fig. S15. Emission trend of Taean-gun calculated by modified CAPSS (2016~2020).