

논문

여수지역의 CAPSS 배출량 특성에 관한 연구

A Study on the CAPSS Emissions Characteristics in Yeosu

박상훈, 김성천*

군산대학교 환경공학과

Sang-Hun Park, Seong-Cheon Kim*

Department of Environmental Engineering, Gunsan National University,
Gunsan, Republic of Korea

접수일 2024년 6월 18일
수정일 2024년 7월 10일
채택일 2024년 7월 22일

Received 18 June 2024
Revised 10 July 2024
Accepted 22 July 2024

*Corresponding author
Tel : +82-(0)63-469-1875
E-mail : ksc@kunsan.ac.kr

Abstract This study investigated the characteristics of CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC₅ and NH₃ by year and substance using CAPSS emissions (Version 6) data for six years from 2016 to 2021 in Yeosu. It also compared the characteristics of air pollutant emissions in other port areas (Suyeong-gu, Busan, Gunsan). Yearly changes in emissions by CO, PM₁₀ and NH₃ did not show significant. But NO_x and SO_x showed a decreasing trend and VOC₅ showed an increase in emissions. The emission source characteristics of six air pollutants in Yeosu were investigated mainly from non-road transportation sources and production processes for CO, non-road transportation sources for PM₁₀ and production processes for fugitive dust and NH₃. The sources of NO_x were investigated from non-road transportation sources and energy industry combustion, and the sources of SO_x were investigated mainly from production processes and energy industry combustion. The sources of VOC₅ were investigated in the production process. In the case of the proportion of emission sources by air pollutant, CO was 32.83% from non-road transportation source and 26.87% from production processes and PM₁₀ was 39.95% from non-road transportation source and 26.95% from fugitive dust. In the case of NH₃, the ratio of petroleum product processing in the production process was 83.55%. In the case of NO_x, non-road transportation source was 38.81% and energy industry combustion was 22.35%. And in the case of SO_x, production processes was 55.45% and energy industry combustion was 25.01%. And in the case of VOC₅, organic chemicals was 56.40% and petroleum products was 24.94%.

Key words: Yeosu, National Industrial Complex, VOC₅, CAPSS, Petroleum

1. 서론

부산, 인천, 울산 등을 포함한 국내 주요 항만지역에서 발생하는 대기오염물질 배출량은 크게 선박 배출원과 육상배출원으로 구분하고 있다. 선박 배출원은 주로 선박에서 기인하며 화물, 레저, 여객, 어선이 있으며, 육상배출원의 경우 선박 이외의 항만 하역장비, 철도, 화물차에서 다양한 배출원으로 발생하고 있다.

CAPSS (Clean Air Policy Support System)는 대기오염물질을 배출목록 (Air Pollutant Emission Inventory)에 기반한 배출 정보 종합시스템이며, 기초자료 수집

및 체계적 관리를 통한 대기환경 정책 수행에 필요한 배출량 통계 정보를 산정하여 제공하는 시스템이다 (Lim *et al.*, 2018). CAPSS 배출량 자료를 이용한 선행 연구에서 경상북도 대기오염물질 배출량 및 대기오염 측정망 미세먼지의 농도분포는 2016년 기준 경상북도 배출원별 대기오염물질 배출 및 현황의 경우 TSP는 제조업 연소 46%와 비산먼지의 배출원은 44%이며, PM₁₀과 PM_{2.5}는 제조업 연소에서 각각 62%와 66%로 나타났다 (Hwang *et al.*, 2021). 국가대기오염물질 배출량 (CAPSS)의 2020년 산정방법 개정에 따른 군산 인근 지역 비교에 관한 연구에서 군산시의 Ver-

sion 5 CAPSS 배출량과 Version 6 배출량을 비교한 결과 Version 5 CAPSS 물질별 배출량보다 Version 6 CAPSS 물질별 배출량의 경우 CO 39.76%, PM₁₀ 9.98%, VOC_s 5.53%, NH₃ 9.24%로 감소하며, NO_x와 SO_x는 각각 2.86%와 1.97% 증가하였다(Park and Kim, 2023).

현재 인천을 포함한 부산, 울산 등의 우리나라 국내 주요 항만지역 내 미세먼지 농도가 육상 대도시 수준에 근접하고 있으므로, 사회적인 문제로 나타나고 있다(Lee *et al.*, 2020). CAPSS 배출량 자료를 이용한 연구는 미세먼지와 도시대기농도를 중심으로 연구가 되었으나, 배출량 저감과 함께 대기질 개선을 위해서는 산업단지 부문별 배출량 인벤토리 구축이 필요한 시점이다(Park *et al.*, 2023).

2016년부터 2021년까지 전라남도 물질별 배출량에서 여수지역이 차지하는 비율은 CO 21.78%, NO_x 32.88%, SO_x 52.65%, PM₁₀ 8.60%, VOC_s 50.20%, NH₃ 20.63%로 조사되었다(NAEIRC, 2024). 항만지역인 여수시는 국가산업단지 입주와 더불어 지속적인 경제 성장으로 국가 기반산업의 중심지이다. 전라남도 지역 중에서 대기오염물질 배출량은 가장 큰 비율을 차지하고 있지만, 지리적인 특성, 기상학적 요인과 인자, 측정 지점의 변수 등 정확한 연구 진행에 어려움이 있다. 기존의 선행연구 결과는 개선 전 Version 5 CAPSS 배출량 자료를 이용하여 모델링 및 통계분석하여 지역 특성 및 배출량 증감 원인을 분석을 하였다.

본 연구에서는 여수시의 2016년에서 2021년까지 개선된 CAPSS 배출량 Version 6.0 자료를 이용하여 지역의 물질별(CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃) 배출량을 배출원 특성군별로 계산하고 분석하였다. 또한 산업단지가 있는 군산시와 산업단지가 없는 부산 수영구의 배출량의 영향을 비교하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

2.1 자료수집 및 분석

여수시의 대기오염물질 배출량 자료조사를 위해 환

경부 국가미세먼지정보센터에서 제공하는 2016년부터 2021년까지 CAPSS 배출량 통계(시·군구별 배출원소분류별 연료별) Version 6.0 자료를 이용하였다.

환경부 국가미세먼지정보센터는 배출정보 관리위원회 규정 별표 4 (배출량 이력관리 및 재산정 지침)에 의한 2020년 12월 국가대기오염물질 배출량 개선 이행안(2020~2024)을 마련하였고(MGL, 2023) 이를 기반으로 누락 배출원 발굴과 노후화된 배출계수 개선 등 배출량 개선연구를 수행하고 있다. 그리고 기존의 연구 결과로 도출한 제철용 무연탄 사용량 증복 개선을 포함한 17개 배출량 산정방법 개선사항을 CAPSS에 반영하여 2020년 배출량부터 Version 6.0 기준으로 산정하고, 그 방법으로 2016년부터 2019년 물질별 배출량 자료를 재산정하였다.

CAPSS 배출량 통계자료는 대기오염물질 배출원 대분류 13개 항목(에너지산업 연소, 비산업 연소, 제조업 연소, 생산공정, 에너지수송 및 저장, 유기용제 사용, 도로이동오염원, 비도로이동오염원, 폐기물처리, 기타 면오염원, 농업, 비산먼지, 생물성 연소)에서 발생한 CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, VOC_s, TSP, NH₃, BC의 9가지 대기오염물질 배출량이 포함된 통계 자료이다. 배출원 분류체계와 배출개수, 배출량 산정 방법의 개선 사항 등은 국가대기오염물질 배출량 산정 편람에 명시되어 있다(NAEIRC, 2022).

2.2 연구 방법

본 연구에서는 2016년부터 2021년까지의 CAPSS 배출량 통계자료 (Version 6)를 이용하였다. 대기오염물질은 CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOC_s, NH₃, BC로 9개 항목 중에서 TSP, PM_{2.5}, BC는 공통된 대기오염물질이다. 그중 TSP 오염원에는 PM₁₀과 BC도 포함하여 배출량 총량 계산 시 과다 계산 결과가 발생할 수 있다. 따라서 이번 연구에서는 3가지(TSP, PM_{2.5}, BC)를 제외한 나머지 배출량을 물질별로 계산하고 배출량 차이와 특성을 조사하였다. 그리고 여수지역의 배출량 특성과 다른 항만지역(군산시, 부산 수영구) 배출량 특성의 차이를 조사 연구하였다.

여수시는 전라남도(시·군) 전체 면적인 12,345.20

km² 중에서 512.08 km²로 약 4.14%를 차지하며, 지리적인 영향으로 북쪽은 순천시와 광양시가 인접해 있다. 2022년 12월 기준으로 여수국가산업단지 (234개), 오천일반산업단지 (51개), 울촌제1일반산업단지 (31개), 화양농공단지 (28개)와 일반기업 (314개)으로 구성되어 있다(YC, 2023).

2020년 12월 기준으로 한국 산업단지공단 (산업입지연구소)에서 전국국가산단 주요 업종지도 (생산액)의 범례 (전기전자, 석유화학, 섬유 의복, 철강, 운송 장비, 기계, 음식료, 비제조, 비금속, 목재종이, 그 외) 중 여수국가산업단지는 석유화학 96%, 기계 2%, 철강 1%로 조사되었다(KICC, 2024).

여수국가산업단지의 2022년 국내 생산 기준으로 살펴보면, 물질별 국내 생산 비율이 정유(GS칼텍스(주)) 24%, 석유화학 (LG화학, 롯데케미칼(주), 여천NCC) 46%, 비료 (남해화학) 49%를 보이고 있다(KOTRA, 2022).

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 여수시의 대기오염물질(CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃)별 총배출량 연도별 변화

2016년부터 2021년도까지 6년간 여수시의 6가지 대기오염물질별 CAPSS 배출량을 연도별 변화를 그림 1에 나타내었다. 대기오염물질별 배출량 연도별 변화는 CO의 경우 2016년부터 2018년까지 증가하고 2019년에 감소하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 에너지 산업 연소에서 석유정제시설 (클린시스용) 배출량이 2017년 639 ton/yr에서 2018년 728 ton/yr로 증가하고 2019년 22 ton/yr로 급격하게 감소하였다. 이는 여수 지역은 42개 사업장에서 CleanSYS 시스템을 가동하고 있어 배출량이 감소한 영향으로 사료된다(CleanSYS, 2024). CleanSYS 시스템은 2019년 12월 1일부터 제철·제강, 민간발전, 석유화학 등 대형사업장을 대상으로 하고 있으며, 2020년 4월 3일부터 TMS 부착 전체 사업장을 대상으로 확대하여 운영하고 있다.

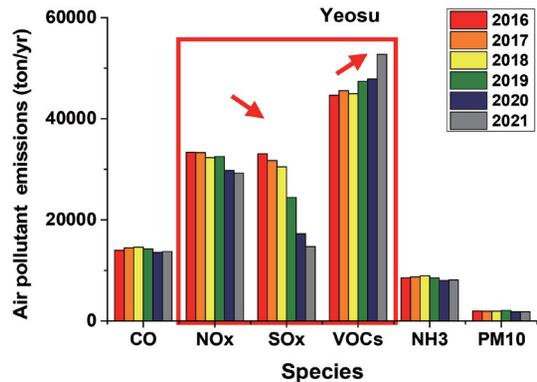


Fig. 1. Yearly changes in CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s and NH₃ air pollutant emissions in Yeosu from 2016 to 2021.

PM₁₀의 경우 2016년부터 2019년까지 증가하고 2020년에 감소하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 비산먼지에서 건설공사 (주거시설) 배출량이 2018년 21 ton/yr에서 2019년 144 ton/yr로 증가하고 2020년 11 ton/yr로 급격하게 감소하였다. 이는 국가통계자료에서 여수지역의 주택 보급률이 표 1과 같이 2016년 101.6%, 2017년 103.1%, 2018년 103.2%, 2019년 103.1%, 2020년 102.9%, 2021년 105.5%로 대체로 증가하여 PM₁₀ 배출량에 영향을 받은 것으로 사료된다(KOSIS, 2024).

NH₃의 경우 2017년부터 2018년까지 증가하고 2019년에 감소하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 생산공정에서 NH₃ 배출량이 2017년 1,428 ton/yr에서 2018년 1,451 ton/yr로 증가하다가 2019년 1,340 ton/yr로 감소하였다. 이는 국가대기오염물질 배출량 산정편람에서 여수지역 NH₃는 제품 생산 과정에서 탈질설비로부터 배출되는 암모니아 배출량을 산정하므로, NH₃ 배출량에 영향을 준 것으로 사료된다(NAEIRC, 2022).

NO_x의 경우 2017년부터 2018년까지 감소하고 2019년은 증가하다가 2020년에 감소하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 에너지산업 연소의 공공발전 배출량은 2016년 3,790 ton/yr에서 2021년 2,100 ton/yr로 감소하였으며, 마찬가지로 민간발전 배출량도

2,816 ton/yr에서 2021년 1,623 ton/yr로 감소하였다. 이는 국가 통계자료에서 여수지역 공공용 전력사용량이 2016년 138,921 MWh에서 2021년 18,060 MWh로 감소한 영향으로 사료된다(KOSIS, 2024).

SO_x의 경우 2016년부터 점차 감소하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 에너지산업 연소에서 석유정제시설 배출량이 2016년 5,677 ton/yr에서 2021년 46 ton/yr로 급격하게 감소하였다. 이는 CO와 마찬가지로 CleanSYS의 영향으로 사료된다.

VOC_s의 경우 2017년 증가하고 2018년에 감소하다가 2019년부터 증가하는 추세를 보이는데, 조사기간 동안 생산공정에서 유기화학제품 배출량이 2016년 18,845 ton/yr에서 2021년 25,410 ton/yr로 증가하였다. 이러한 이유는 화학물질 및 화학제품 제조업체가 2016년 67개에서 2021년 85개로 증가한 영향으로 사료된다(KOSIS, 2024). 여수지역의 석유화학산업단지는 석유화학계 기초화학물질 제조, 원유 정제처리, 합성고무와 합성수지 제조업 등 다양한 사업장에서 배출되는 VOC_s 물질이 대기 중으로 직접 비산되는 경우가 많으므로 (Jeong *et al.*, 2022). 고온산화, 촉매산화,

흡착·흡수, 냉각응축 등 VOC에 대한 제어 시설을 보다 강화해야 한다고 사료된다.

CO, PM₁₀, NH₃는 조사기간 동안 배출량은 큰 변화는 보이지 않았지만, NO_x와 SO_x는 조사기간 동안 감소 추세를 보였고, VOC_s는 조사기간 동안 배출량이 증가하였다. 조사기간 동안 여수시의 산업 및 농공단지 생산액은 2016년 702,680(억원), 2017년 840,342(억원), 2018년 884,222(억원), 2019년 633,092(억원), 2020년 516,095(억원), 2021년 791,407(억원)로 생산액 증가는 VOC에 배출량 증가와 상관성이 있다고 사료된다.

여수시의 6년간(2016~2021) 6가지 대기오염물질별 총배출량을 조사한 결과, 먼저 CO는 84,567 ton/yr이었는데, 생산공정의 석유제품산업-석유제품가공에서 20,487 ton/yr (24.22%), 비도로이동오염원의 선박레저에서 18,165 ton/yr (21.48%)로 조사되었다. PM₁₀은 11,544 ton/yr이었는데, 비도로이동오염원의 선박화물에서 3,736 tot/yr (32.36%), 비산면지에서 1,966 ton/yr (17.03%)로 조사되었다. NH₃는 50,877 ton/yr이었는데, 생산공정에서 39,693 ton/yr (78.01%)로 조

Table 1. Factors contributing to air pollutant emissions sources highly in at Yeosu 2016 to 2021.

Factors	Year					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Non-transportation (ship leisure) Put in, depart (A ship)	15,091	14,775	14,465	14,132	16,770	18,983
Non-transportation (ship cargo) ocean marine cargo (Ton)	139,024	146,124	150,126	311,033	275,370	148,849
Combustion in energy production (public, private power) power usage (MWh)	14,359,276	15,295,606	15,177,227	14,164,154	13,870,805	14,992,246
Production process (petroleum, organic chemistry) chemical manufacturing (Num.)	72	73	80	78	87	89
Fugitive dust (dust scattering on road) a car registration (Car)	123,860	127,301	133,334	133,810	137,340	139,041
Fugitive dust (construction work) housing supply rate (%)	101.6	103.1	103.2	103.1	102.9	105.5

사되었다. NO_x 는 190,434 ton/yr이었는데, 비도로이동 오염원의 선박화물에서 65,719 ton/yr (34.51%), 에너지산업 연소에서 33,350 ton/yr (17.51%)로 조사되었다. SO_x 는 151,666 ton/yr이었는데, 생산공정은 석유제품산업-유황회수에서 78,223 ton/yr (51.57%), 에너지산업 연소에서 30,714 ton/yr (20.25%)로 조사되었다. VOC_s 는 283,117 ton/yr이었는데, 생산공정의 유기화학제품에서 80,405 ton/yr (63.72%), 석유제품에서 55,316 ton/yr (19.53%)로 조사되었다.

여수시의 6년간 물질별 배출원의 변화를 보면(표 1), 비도로이동오염원에서 선박레저(CO)와 선박화물(NO_x , PM_{10})의 배출량이 높았는데, 그 이유는 여수항의 선박 입·출항과 해운화물 수송량의 영향으로 사료된다. 또한 이 기간 동안 그리고 비산먼지에서 도로 재비산먼지와 건설공사(PM_{10}) 배출량이 높았는데, 그 이유는 자동차 등록대수 증가와 주택보급의 영향으로 사료된다. 에너지산업 연소는 공공발전과 민간발전에서(NO_x)의 배출량이 높았는데, 그 이유는 발전소와 전력생산의 영향으로 사료된다. 생산공정은 석유제품(CO , SO_x , NH_3)과 유기화학제품(VOC_s)의 배출량이 높았는데, 그 이유는 화학물질 제조업체와 석유정제 제조업체가 증가한 영향으로 사료된다.

3.2 여수시의 대기오염물질별 배출원 특성

2016년부터 2021년까지 여수시의 대기오염물질별 배출량을 각각 합한 값으로 배출원별 특성을 나타내었다(그림 2, 3). 에너지산업 연소(Combustion in energy production: Ciep), 비산업 연소(Non industrial combustion: Nic), 제조업 연소(Combustion in manufacturing industry: Cimi), 생산공정(Production process: Pp), 에너지수송 및 저장(Energy storage and transport: Est), 유기용제 사용(Solvent utilization: Su), 도로이동오염원(Road transportation: Rt), 비도로이동오염원(Non road transportation: Nrt), 폐기물처리(Waste disposal: Wd), 농업(Agriculture: Ag), 기타 먼오염원(Other sources: Os), 비산먼지(Fugitive dust: Fd), 생물성 연소(Biological combustion: Bc)로 구분이

된다.

대기오염물질별 배출원 특성과 비율을 보면, CO의 경우 비도로이동오염원 32.83%와 생산공정 26.87%이었으며, 비도로이동오염원 중에서 선박레저의 비율은 65.43%, 생산공정 중에서 석유제품산업-석유제품가공의 비율은 90.15%로 조사되었다. PM_{10} 의 경우 비도로이동오염원 39.75%와 비산먼지 26.95%이었으며, 비도로이동오염원 중에서 선박화물의 비율은 81.44%, 비산먼지 중에서 건설공사의 비율은 37.23%, 도로 재비산먼지의 비율은 25.98%로 조사되었다. NH_3 의 경우 생산공정 중에서 석유제품가공의 비율은 83.55%로 조사되었다. NO_x 의 경우 비도로이동오염원 38.81%와 에너지산업 연소 22.35%이었으며, 비도로이동오염원 중에서 선박화물의 비율은 88.91%, 에너지산업 연소 중에서 공공발전과 민간발전의 비율은 45.37%와 32.84%로 조사되었다. SO_x 의 경우 생산공정 55.45%와 에너지산업 연소 25.01%이었으며, 생산공정 중에서 석유제품산업-유황회수의 비율은 93.01%와 에너지산업 연소 중에서 석유정제와 공공발전의 비율은 49.39%와 31.57%로 조사되었다. VOC_s 의 경우 생산공정 중에서 유기화학제품의 비율은 56.40%, 석유제품의 비율은 24.94%로 조사되었다.

3.3 여수시, 부산 수영구, 군산시의 대기오염물질 배출량 특성 비교

여수시의 대기오염물질 배출량 특성을 비교하기 위해서 부산 수영구, 군산시 CAPSS 배출량 통계(시·군구별 배출원소분류별 연료별) Version 6.0 자료를 이용하였다. 여수시(YS), 부산 수영구(BS), 군산시(GS)의 대기오염물질 배출량을 표 2에 나타내었다.

2016년부터 2021년까지 여수시의 대기오염물질 배출량 범위는 CO 13,979~13,751 ton/yr (16.53~16.26%), NO_x 33,344~29,221 ton/yr (17.51~15.34%), SO_x 33,072~14,707 ton/yr (21.81~9.70%), PM_{10} 1,962~1,816 ton/yr (17.00~15.73%), VOC_s 44,632~52,741 ton/yr (15.76~18.63%), NH_3 8,545~8,126 ton/yr (16.80~15.97%)로 조사되었다. 부산 수영구는 CO 2,087~

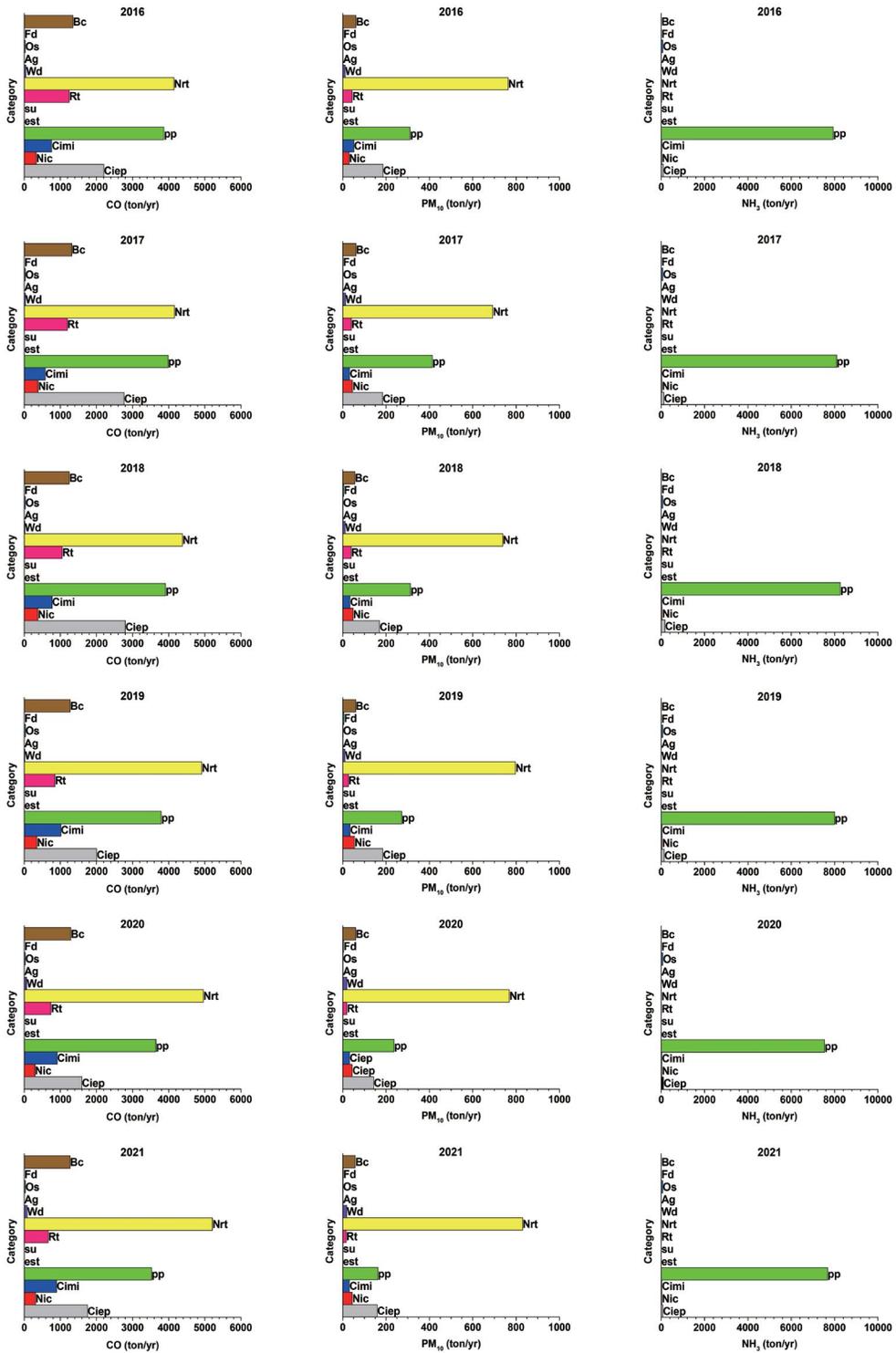


Fig. 2. Characteristics of air pollutant emissions sources in Yeosu from 2016 to 2021 (CO, PM₁₀, NH₃).

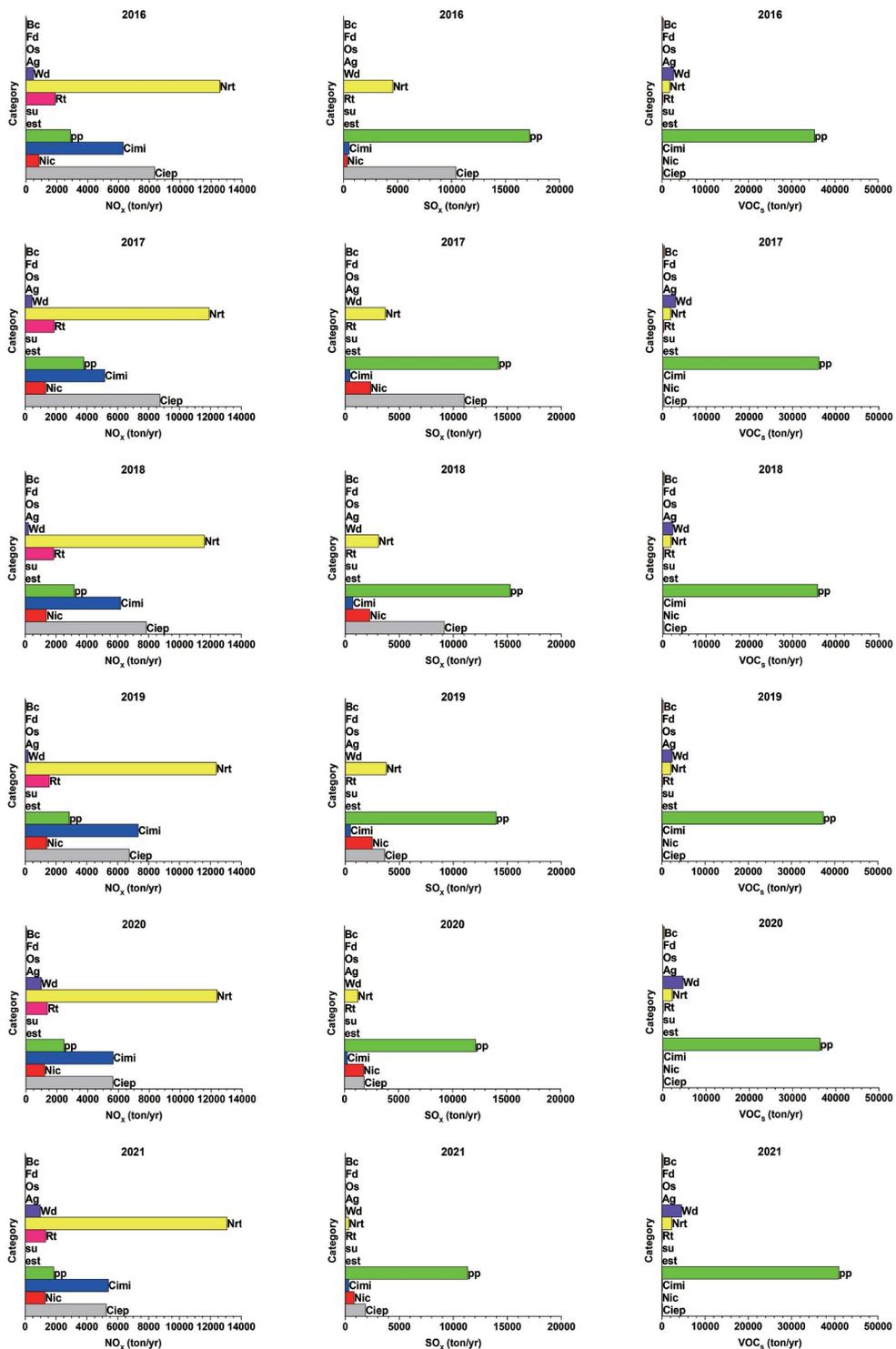


Fig. 3. Characteristics of air pollutant emissions sources in Yeosu from 2016 to 2021 (NO_x, SO_x, VOC_s).

Table 2. The comparison of emissions (ton/yr) of air pollutant in Yeosu, Suyeong-gu, Busan and Gunsan from 2016 to 2021.

Year		Species					
		CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	VOC _s	NH ₃
2016	YS	13,979	33,344	33,072	1,962	44,632	8,545
	GS	5,012	10,345	4,352	971	33,599	1,375
	BS	2,087	1,122	7.39	198	1,617	64.35
2017	YS	14,448	33,299	31,716	1,920	45,544	8,723
	GS	4,353	8,976	4,030	871	26,472	1,429
	BS	2,452	1,671	5.90	327	2,193	63.86
2018	YS	14,589	32,293	30,507	1,928	44,970	8,953
	GS	4,393	8,855	2,491	856	23,566	1,597
	BS	2,271	1,130	4.58	230	1,814	58.64
2019	YS	14,257	32,516	24,405	2,089	47,380	8,526
	GS	4,454	8,875	3,764	952	31,334	1,814
	BS	2,311	1,171	5.03	221	1,858	54.20
2020	YS	13,534	29,761	17,259	1,829	47,850	8,004
	GS	3,860	7,479	3,328	862	27,624	1,857
	BS	2,429	1,168	4.11	264	1,981	52.31
2021	YS	13,751	29,221	14,707	1,816	52,741	8,126
	GS	3,965	7,701	2,357	902	29,646	1,931
	BS	2,452	1,019	3.66	254	1,909	50.91

*YS: Yeosu, BS: Busan Suyeong-gu, GS: Gunsan

2,452 (14.91~17.51%), NO_x 1,122~1,019 (15.41~13.99%), SO_x 7.39~3.66 (24.10~11.94%), PM₁₀ 198~254 (13.26~17.00%), VOC_s 1,617~1,909 (14.22~16.79%), NH₃ 64.35~50.91 (18.69~14.79%)로 조사되었다. 군산시는 CO 5,012~3,965 (19.25~15.23%), NO_x 10,345~7,701 (19.81~14.74%), SO_x 4,352~2,357 (21.41~11.60%), PM₁₀ 971~902 (17.94~16.66%), VOC_s 33,599~29,646 (19.51~17.21%), NH₃ 1,375~1,931 (13.75~19.31%)로 조사되었다.

대기오염물질 배출량의 크기는 여수시는 VOC_s>NO_x>SO_x>CO>NH₃>PM₁₀, 군산시는 VOC_s>NO_x>CO>SO_x>NH₃>PM₁₀, 부산 수영구가 CO>VOC_s>NO_x>PM₁₀>NH₃>SO_x 순이었다. 이러한 대기오염물질별 배출량의 차이가 나타난 이유는 산업 규모에 따른 차이로 인한 영향으로 사료된다. 여수시의 국가산업단지는 주로 석유화학의 생산 비율이 높고, 군산시는 운송장비, 철강, 음식료의 생산 비율이

높게 조사되었다. 반면에 부산 수영구는 산업단지가 조성되어 있지 않으므로, 여수시와 군산시에 비해 배출량이 전체적으로 낮은 결과로 사료된다.

2020년 기준으로 전국의 대기오염물질을 부문별로 분류하였을 때, 비도로이동오염원과 도로이동오염원의 배출 기여도가 가장 컸으며, 다음으로 유기용제 사용과 생산공정에 의한 배출 기여도가 높게 나타난 것으로 조사되었다(Hwang *et al.*, 2023). 또한 Kim *et al.* (2020)은 부산 미세먼지 최근 경향 분석을 수도권과 비교 연구를 진행한 결과 서울은 NO_x와 PM_{2.5}의 경우 도로이동오염원, SO_x는 비산업 연소로 조사되었으며, 부산이 NO_x, SO_x, PM_{2.5}의 경우 비도로이동오염원으로 조사되었다.

대기오염물질 배출원 특성과 비율을 살펴보면 CO의 경우 여수시와 부산 수영구는 비도로이동오염원(선박 레저), 군산시가 에너지산업 연소(공공·민간 발전)이며, 배출원 비율은 부산 수영구는 비도로이동

오염원 71.52%, 군산시는 에너지산업 연소 24.87%로 조사되었다. NO_x의 경우 여수시와 군산시가 비도로 이동오염원(선박 화물), 부산 수영구는 도로이동오염원(승용차)이며, 배출원 비율은 군산시는 비도로이동오염원 25.65%, 부산 수영구가 도로이동오염원 55.22%로 조사되었다. SO_x의 경우 여수시는 에너지산업 연소(공공발전), 부산 수영구는 비산업 연소(상업 및 공공기관시설), 군산시가 생산공정-유리(탄소 제거공정)이며, 배출원 비율은 부산 수영구는 비산업 연소 72.20%, 군산시는 생산공정 49.61%로 조사되었다. PM₁₀의 경우 여수시가 비도로이동오염원(선박 화물), 부산 수영구는 비도로이동오염원(선박 레저), 군산시는 비산먼지(농업활동)이며, 배출원 비율은 부산 수영구가 비도로이동오염원 22.48%, 군산시는 비산먼지 56.34%로 조사되었다. VOC_s의 경우 여수시가 생산공정(유기화학제품), 부산 수영구는 유기용제(기타 유기용제 사용), 군산시도 유기용제(도장시설)이며, 배출원 비율은 부산 수영구는 유기용제 51.09%, 군산시가 유기용제 51.07%로 조사되었다. NH₃의 경우 여수시는 생산공정(석유제품산업), 부산 수영구는 기타 면오염원(동물), 군산시가 농업(분뇨관리)이며, 배출원 비율은 부산 수영구가 기타 면오염원 77.24%, 군산시는 농업 56.28%로 조사되었다. 여수시가 배출량이 높게 나타난 이유는 부산 수영구와 군산시에 비

해 산업 규모가 크고, 석유화학 생산 비중이 높은 영향으로 사료된다.

조사기간 동안 여수시, 부산 수영구, 군산시 대기질 농도와 배출량의 상관계수를 표 3에 나타내었다. 여수시 대기오염물질 연평균 농도의 경우 CO는 큰 변화가 보이지 않았지만, NO₂, SO_x, PM₁₀은 감소 추세를 보였다(JIHE, 2024). 여수시 대기오염물질 배출량과 대기오염물질 농도의 상관성은 NO_x 배출량과 NO₂ 농도의 상관계수 R² 값은 0.82, SO_x 배출량과 SO₂ 농도의 상관계수 R² 값은 0.97로 상관성이 있는 것으로 보이며, CO, PM₁₀ 배출량은 CO, PM₁₀ 농도와 상관성이 없는 것으로 조사되었다. 이는 여수지역의 지리적 특성으로 사료된다.

부산시의 대기질 농도는 2016년부터 CO, NO₂, SO₂, PM₁₀의 농도는 감소하는 추세를 보였으며(BMC, 2024), 군산시의 대기질 농도는 2016년부터 CO, NO₂, SO₂, PM₁₀의 농도는 증감 추세를 보였다(JIHER, 2024). 대기질 농도와 배출량 상관계수의 경우는 부산시 수영구가 SO_x 배출량과 SO₂ 농도의 상관계수 R² 값은 0.69로 약간의 상관성이 있는 것으로 조사되었다. 군산시는 CO 배출량과 CO 농도의 상관계수 R² 값은 0.80, NO_x 배출량과 NO₂ 농도의 상관계수 R² 값은 0.93, SO_x 배출량과 SO₂ 농도의 상관계수 R² 값은 0.87로 상관성이 높은 것으로 조사되었다.

Table 3. Correlation coefficient between air quality concentrations and emissions in Yeosu, Suyeong-gu, Busan and Gunsan from 2016 to 2021.

Year	Species											
	YS				GS				BS			
	CO (ppb)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (ppb)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM ₁₀ (µg/m ³)	CO (ppb)	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM ₁₀ (µg/m ³)
2016	600	19	7	34	510	15.7	5.1	46	400	21	5	44
2017	500	18	6	33	470	14.5	4.5	43	400	20	5	44
2018	500	16	6	32	530	12.8	4.0	42	400	19	5	41
2019	500	13	5	32	480	11.7	4.4	46	400	19	5	36
2020	500	13	4	26	390	10.1	3.7	34	400	16	4	30
2021	500	12	3	29	360	10.6	3.4	36	300	15	3	32
R ²	-0.13	0.82	0.97	0.65	0.80	0.93	0.87	0.62	-0.41	0.44	0.69	0.01

4. 결 론

2016년부터 2021년까지 6년간 여수시의 CAPSS 배출량 통계자료 Version 6을 이용하여 배출원 특성군 별로 연도별, 물질별로 대기오염물질 총배출량 및 배출량 차이와 특성을 비교하였으며, 또한 다른 항만 지역(부산 수영구, 군산시)의 배출량 특성을 비교하였다.

전라남도 지역 전체에 비해서 여수지역의 CO, NO_x, SO_x, VOC_s, NH₃의 배출량이 높은 이유가 조사기간 동안 산업 및 농공단지 가동률이 연도별로 증가되었기 때문으로 사료된다. NO_x와 SO_x는 조사기간 동안 감소 추세를 보였고, VOC_s는 조사기간 동안 배출량이 증가하였다. CO, NH₃, SO_x, VOC_s 총배출량은 주로 생산공정, 특히 석유화학이나 화학물질 및 화학제품 제조과정에서 높게 조사되었는데, 그 이유는 여수시가 울산 다음으로 석유화학 생산 비중과 석유류 소비량이 많으며, 산업 경제 구조는 광업보다 석유제조업 규모가 큰 영향으로 사료된다.

여수시의 6가지 대기오염물질별 배출원 특성은 CO는 비도로이동오염원과 생산공정, PM₁₀은 비도로 이동오염원과 비산먼지 부분에서 배출되었고, 그리고 NH₃는 생산공정에서 조사되었다. NO_x는 비도로이동 오염원과 에너지산업 연소, SO_x는 생산공정과 에너지 산업 연소에서 배출되었고, 그리고 VOC_s 배출원은 생산공정에서 조사되었다. 생활부문보다 산업부문에서 배출원 특성이 높은 이유는 여수항과 광양항의 화물 수송량과 선박 입·출항의 영향을 많이 받은 것으로 사료된다.

대기오염물질별 배출량 크기를 보면, 부산 수영구가 여수시와 군산시에 비해 매우 낮게 조사되었는데, 부산 수영구에 산업단지가 없어서 배출량이 낮게 조사되었으며, 산업단지의 유무에 따라 배출량은 영향을 준다고 사료된다. 여수시 대기질 농도의 경우 CO, NO₂, SO₂, PM₁₀은 부산 수영구와 군산시와 다르게 농도가 감소하는 추세를 보였는데, 이는 지역의 지리적인 영향을 받는 것으로 사료된다.

군산시는 선박 제조분야에서 VOC_s 배출량이 가장 높게 조사된 반면에, 여수시는 석유화학 제조 및 가공 분야에서 VOC_s 배출량이 가장 높게 조사되었으므로 여수지역 대기질 향상을 위해서는 강도 높은 VOC_s 제어 장비 투자가 절대적으로 필요하다고 사료된다.

여수시의 복잡한 산업 규모와 지리적인 특성에 기반한 배출량 자료 분석은 대기오염물질 정책, 관리와 배출량 인벤토리 작성에 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 추후 연구에서는 배출량 자료와 지리공간 데이터를 분석 및 가공하여 활용할 수 있는 시스템인 GIS 자료를 이용하여 지역 특성을 고려한 정확한 배출량 자료 분석을 하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 군산대학교 2024년 교수 연구년 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Busan Metropolitan City (BMC) (2024) <https://www.busan.go.kr/ihe/hedataroom04> (accessed on Jul 7, 2024).
- CleanSYS (CSYS) (2024) <https://cleansys.or.kr/index.do> (accessed on Jul 7, 2024).
- Hwang, I.J., Lee, T.J., Kim, T.O., Bae, G.N. (2021) Characteristics of Air Pollutant Emissions and Distribution for Particulate Matter Concentration of Air Pollution Networks in Gyeongsangbuk-do, *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment*, 37(3), 536-551. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2021.37.3.536>
- Hwang, K.C., Park, S.C., Lee, G.H., Noh, S.J., Kim, J.H., Lee, J.Y., Park, J.S., Kim, J.B. (2023) Policy Recommendation for Region Air Quality Management and Change of Air Pollutants Emission in Chung Nam base on Modified CAPSS, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 39(4), 492-524. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2023.39.4.492>
- Jeollanam-do Institute of Health and Environment (JIHE) (2024) <https://jihe.go.kr/main/na/ntt/selectNttList.do?mi=9146&bbsId=2> (accessed on Jul, 7 2024)

- Jeonbuk state Institute of Health & Environment Research (JIHER) (2024) https://jihe.jeonbuk.go.kr/home/jihe/pds/pds_01/pds_01_03/page.wscms (accessed on Jul 7, 2024).
- Jeong, J.H., Kim, I.S., Oh, E.H., Lee, J.R., Kim, H.S. (2022) A Study on the Distribution Air Pollutants in Petrochemical Industrial Complex On Summer, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 44(5), 161-174. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2022.44.6.161>
- Kim, J.M., Jo, Y.J., Yang, G.H., Heo, G.H., Kim, C.H. (2020) Analysis of Recent Trends of Particulate Matter Observed in Busan - Comparative Study on Busan vs. Seoul Metropolitan Area (I), *Journal of Environmental Science International*, 29(2), 177-189. <https://doi.org/10.5322/JESI.2020.29.2.177>
- Korea Industrial Complex Corporation (KICC) (2024) <https://www.kicox.or.kr> (accessed on Jun 6, 2024).
- Korea Trade-Investment Promotion Agency (KOTRA) (2022) https://www.investkorea.org/ik-kr/bbs/i-2483/detail.do?ntt_sn=14 (accessed on Nov, 2022).
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) (2024) https://www.kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?vwcd=MT_ZTITLE&menuld=M_01_01 (accessed on Jul 7, 2024)
- Lee, J.S., Choi, S.I., Lee, C.D., Bang, K.I., Kwon, M.J., Dong, J.I. (2020) A Study on the Improvement of Temporal Resolution and Application of CMAQ Simulations for Quantitative Assessment on Source Contribution of Emission from Cargo Ships Focused on PM_{2.5}, *Journal of Korea Society for Atmospheric Environment*, 36(1), 93-107. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2020.36.1.093>
- 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. <https://doi.org/10.5572/KOSAE.2018.34.1.076>
- Ministry of Government Legislation (MGL) (2023) <https://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000187785&vSct=> (accessed on Dec 12, 2023).
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAEIRC) (2022) National air pollution estimation method manual, pp. 21-33.
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAEIRC) (2024) <https://www.air.go.kr/capss/emission/sido.do?menuId=31> (accessed on Jul 7, 2024).
- Park, S.H., Kim, D.S., Kim, S.C. (2023) A Study on the Investigation of Air Pollutnat Emissions (2015~2019) in Gunsan, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 45(4), 171-180. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2023.45.4.171>
- Park, S.H., Kim, S.C. (2023) A study on the Comparison of Areas Near Gunsan according to the Revision of the National Air Pollution Emissions (CAPSS) in 2020, *Journal of Environmental Health Sciences*, 49(4), 190-200. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2023.49.4.190>
- Yeosu City (YC) (2023) <https://www.yeosu.go.kr/www/sphere/industry/policy> (accessed on Nov 11, 2023).

Authors Information

- 박상훈 (국립군산대학교 환경공학과 박사과정)
(skiu1207@nate.com)
- 김성천 (국립군산대학교 환경공학과 교수)
(ksc@kunsan.ac.kr)