

국가대기오염물질 배출량(CAPSS)의 2020년 산정 방법 개정에 따른 군산 인근지역 비교에 관한 연구

박상훈 , 김성천* 

군산대학교 환경공학과

A Study on the Comparison of Areas Near Gunsan according to the Revision of the National Air Pollutant Emissions (CAPSS) in 2020

Sang-Hun Park and Seong-Cheon Kim*

Department of Environmental Engineering, Gunsan National University

ABSTRACT

Background: Gunsan has been constantly affected by pollutants generated by the Saemangeum development and the construction industry since the completion of the Saemangeum seawall on April 27, 2010. However, there are limitations to its study, such as taking into consideration weather conditions, geographical factors, and foreign inflows.

Objectives: In this study, we compared the Existing-CAPSS emissions of Gunsan with Recalculated-CAPSS emissions data to analyze the differences in emissions characteristics by year (2016~2019).

Methods: Using Existing data on CAPSS emissions (2016~2019) and Recalculated-CAPSS emissions (2016~2019) for Gunsan, which were Recalculated following the improvement of emissions calculations for 2020, we organized CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, and NH₃ emissions by substance and investigated the differences and characteristics of the Recalculated emissions by year.

Results: For Re-CO and Re-PM₁₀, the emission characteristics of CO were examined as energy industry combustion and PM₁₀ emission characteristics were examined as ship cargo from non-road transportation sources, as ship leisure sources were excluded from non-road transportation source emissions.

Conclusions: Comparing the emissions of Existing-CAPSS and Recalculated-CAPSS in Gunsan, the emissions of Recalculated-CAPSS by substance decreased by 39.76% for CO, 9.98% for PM₁₀, 5.53% for VOC_s, and 9.24% for NH₃, while Re-NO_x increased by 2.86% and Re-SO_x increased by 1.97%. On the other hand, when comparing the emissions characteristics of Existing-CAPSS and Recalculated-CAPSS in Gunsan, Jeonju, and Iksan, the emission characteristics of Re-NO_x, Re-SO_x, Re-VOC_s and Re-NH₃ were similar to those of Ex-NO_x, Ex-SO_x, Ex-VOC_s, and Ex-NH₃. As such, Gunsan, Iksan, and Jeonju, showed differences in the comparison of different emission characteristics due to the geographical characteristics of the region (population, area, topography, weather factors) and the characteristics of the industrial complex (metal, petrochemical).

Key words: Existing-CAPSS, Recalculated-CAPSS, non-road transportation, Gunsan, port area

Received July 20, 2023

Revised August 23, 2023

Accepted August 25, 2023

Highlights:

- Comparison of Existing-CAPSS emissions (Version 5) and Recalculated-CAPSS emissions (Version 6) in Gunsan.
- Recalculated-CAPSS emissions by substance CO 39.76%, PM₁₀ 9.98%, VOC_s 5.53%, NH₃ 9.24% decrease.

*Corresponding author:

Department of Environmental Engineering,
Gunsan National University, 558 Daehak-
ro, Gunsan 54150, Republic of Korea
Tel: +82-63-469-1875
Fax: +82-0504-016-1875
E-mail: ksc@gunsan.ac.kr

I. 서론

미세먼지 발생요인은 다양하며, 국외 유입을 제외한 국내 배출원의 경우 내륙지역에서 뿐만 아니라 해안에 근접한 항만지역에서 발생하는 대기오염이 심각한 상황이다. 군산, 부산, 인천 등 항만지역에서 발생하는 대기오염물질 배출원은 주로 선박에 기인하며 선박 이외에도 항만하역장비나 물류수송 차량의 다양한 배출원에서 발생하고 있으며, 항만 인근 대기질에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁻⁴⁾ 2019년을 기준으로 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS)에서 국내 대기오염물질 배출량 중에서 선박에 기인하는 오염물질은 CO가 14.8%, NO_x가 15.0%, SO_x가 13.3%, PM_{2.5}가 9.8%를 차지하는 것으로 나타났다.⁵⁾ CAPSS는 대기오염물질 배출목록(Air Pollutants Emission Inventory)에 기반한 대기질관리종합시스템이며, 체계적인 기초자료 수집과 관리를 통한 대기환경개선 대책, 대기오염총량관리제 등 정책 수행에 필요한 양질의 배출량 통계와 정보를 산정하여 제공하는 시스템이다.⁶⁾ CAPSS 배출량을 이용한 선행연구에서 Kim 등(2019)⁷⁾은 수도권 미세먼지 집중배출지역 분석 연구에서 전체 배출원으로 분석한 결과 PM₁₀은 신도시와 산업단지 개발 등 건설활동에 의한 비산먼지, PM_{2.5}는 대규모 사업장의 영향으로 에너지산업 연소와 생산공정, NO_x도 에너지산업 연소가 주요 배출원으로 나타났다. Kim 등(2020)⁸⁾은 부산지역 미세먼지 최근 경향 분석을 수도권과 비교 연구한 결과 서울의 경우 NO_x와 PM_{2.5}는 도로 이동오염원, SO_x는 비산업 연소로 나타났으며, 부산은 NO_x, SO_x, PM_{2.5}는 모두 비도로 이동오염원으로 나타났다. Park 등(2023)⁹⁾은 군산시 배출량 조사에 관한 연구를 진행하였다.

군산시는 전라북도를 대표하는 항만 공업도시로서 도심 주변에 국가산업단지 3개소(군산 국가산업단지, 군산2 국가산업단지, 새만금 국가산업단지[조성 중-2008~2030]), 자유무역지역 1개소(군산 자유무역지역), 일반산업단지 1개소(군산 일반산업단지)와 도심 외곽으로 농공단지 4개소(옥구[서군산], 서수[동군산], 성산, 임피)가 조성되어 있다.¹⁰⁾ 2010년 4월 27일 새만금 방조제 준공 이후 지속적으로 새만금 개발 및 조성 산업에서 발생하는 오염원의 영향을 받을 수 있는 지역이지만, 기상 조건, 지리적 요인, 국외 유입 등 연구의 제한점이 있다. 본 연구에서는 군산시 CAPSS 기존 배출량(2016~2019) 자료와 배출정보 관리위원회 규정 별표4 배출량 이력관리 및 재산정 지침¹¹⁾에 의거하여 개선된 2020년 배출량 산정방법을 적용한 CAPSS 재산정 배출량(2016~2019) 자료를 이용하여 CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃를 물질별로 정리하고 연도별 배출량 차이와 특성을 비교 분석하였다. 또한 군산시와 인접한 전주, 익산 지역의 배출량 특성 차이를 비교 분석하였다.

II. 재료 및 방법

1. 자료수집

환경부 국가미세먼지정보센터는 대기오염물질 배출량 CAPSS 통계 자료를 제공하고 있다. 매년 대기오염물질 배출량을 산정하여 대기오염물질 배출량 보고서를 작성해왔으며, 2020년 국가 대기오염물질 배출량 산정편람(IV)에 의하면 배출원 분류체계, 배출량 산정방법 및 개선사항, 배출계수에 대한 내용이 포함되어 있다.¹²⁾ CAPSS 배출원 분류체계는 EU CORINAIR 배출원 분류체계(SNAP 97)를 기초로 하며, 2007년 자료의 경우 배출원 분류체계를 국내 현실에 맞추어 기존 11개 대분류에서 비산먼지 항목을 추가한 12개 대분류로 변경하여 반영하였다. 2011년 자료는 생물성 연소를 추가하여 13개 대분류로 보완하였으며, CAPSS에서 사용하는 배출계수는 국내 연구기관에서 개발한 배출계수를 적용하고, 국내 미개발 배출계수는 EU CORINAIR SNAP 97과 미국 EPA AP-42 등을 검토하여 적용하였다.

대기오염물질의 배출원 대분류 체계는 에너지산업 연소(01), 비산업 연소(02), 제조업 연소(03), 생산공정(04), 에너지수송 및 저장(05), 유기용제 사용(06), 도로 이동오염원(07), 비도로 이동오염원(08), 폐기물처리(09), 농업(10), 기타 면오염원(11), 비산먼지(12), 생물성 연소(13)로 분류된다. 참고로 대기배출원 관리시스템(Stack Emission Management System, SEMS)은 대기환경보전법 등에 따라 대기배출원을 체계적으로 관리하고 신뢰성 있는 자료 구축을 위해 대기 1~3종 사업장을 대상으로 사업장 정보, 시설운영현황 등 기초자료를 수집·관리하는 시스템이다.

2. 연구방법

본 연구에서는 환경부 국가미세먼지정보센터의 CAPSS 기존(Ex-CAPSS) 자료인 대기오염물질 배출량(2016~2019)과 2020년 배출량 산정방법이 개선되어 적용된 CAPSS 재산정(Re-CAPSS) 대기오염물질 배출량(2016~2019) 자료를 이용하였으며, 해당 대기오염물질은 CO, NO_x, SO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, VOC_s, NH₃, BC 9개 항목이 있다. 이번 연구에서는 TSP, PM_{2.5}, BC는 공통된 물질인데, 오염원 총량 계산 시 과다 계산결과가 나타날 수 있어 제외하였다. CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃ 6개 배출량을 물질별로 계산하고 재산정된 연도별(CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃) 배출량 차이와 특성을 조사하였다. 또한 전주와 익산의 기존과 재산정된 CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, VOC_s, NH₃ 배출량 차이와 특성을 비교하였다. Existing CAPSS (Version 5)는 CAPSS를 이용하여 13개 대분류로 구분하여 산정한 2014년 배출량 산정을 기준으로 한다. Recalculated-CAPSS (Version 6)는 정확한 배출량 산정을 위해 2020년 12월 국가 대기오염물질 배출량 개선이행안

(2020~2024)으로 마련하여 이를 기반으로 누락 배출원 발굴, 노후화된 배출계수 개선 등 배출량 개선연구를 수행하였다. 그 간 연구 결과로 도출한 제철용 무연탄 사용량 증폭 개선 등 17 개 배출량 산정방법 개선사항을 CAPSS에 반영하여 2020년 배출량을 산정하고 산정 이력을 Version 6.0 기준으로 설정하였다. 각각의 물질별 배출량에 대해 기존방법(Version 5)과 재 계산된 방법(Version 6)으로 계산하여 비교하였다.

III. 결 과

1. 군산시 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량의 연도별 변화 비교와 특성

군산시의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량을 연도별 (2016~2019)로 나타내었다(Table 1). 2016년부터 2019년까지 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량을 비교한 결과, Ex-CAPSS 물질별 배출량에 비해 Re-CAPSS 물질별 배출량이 CO 39.76%, PM₁₀ 9.98%, VOC_s 5.53%, NH₃ 9.24% 감소하였으

Table 1. The ratio of Ex-CAPSS emissions (Version 5) and Re-CAPSS emissions (Version 6) in Gunsan (ton/yr)

Species \ Year	2016	2017	2018	2019	Average	%
Ex-CO	5,443 (18.00)	7,397 (24.47)	8,955 (29.62)	8,436 (27.91)	7,557	-39.76
Re-CO	5,012 (27.52)	4,353 (23.90)	4,393 (24.12)	4,454 (24.46)	4,553	
Ex-NO _x	9,633 (26.76)	8,679 (24.11)	8,701 (24.17)	8,983 (24.96)	8,999	+2.86
Re-NO _x	10,345 (27.92)	8,976 (24.23)	8,855 (23.90)	8,875 (23.95)	9,263	
Ex-SO _x	4,152 (28.94)	3,985 (27.77)	2,452 (17.09)	3,761 (26.21)	3,587	+1.97
Re-SO _x	4,352 (29.73)	4,030 (27.53)	2,491 (17.02)	3,764 (25.72)	3,659	
Ex-PM ₁₀	998 (24.62)	974 (24.01)	1,000 (24.65)	1,083 (26.72)	1,013	-9.98
Re-PM ₁₀	971 (26.61)	871 (23.86)	856 (23.45)	952 (26.08)	912	
Ex-VOC _s	33,896 (27.85)	28,030 (23.03)	25,924 (21.30)	33,847 (27.81)	30,424	-5.53
Re-VOC _s	33,599 (29.22)	26,472 (23.03)	23,566 (20.50)	31,334 (27.25)	28,742	
Ex-NH ₃	1,515 (22.14)	1,576 (23.03)	1,743 (25.46)	2,010 (29.36)	1,711	-9.24
Re-NH ₃	1,375 (22.12)	1,429 (22.99)	1,597 (25.70)	1,814 (29.19)	1,553	
Ex-Total	55,637	50,641	48,775	58,120	53,293	-8.65
Re-Total	55,654	46,131	41,758	51,193	48,684	

(): Ratio %.

Table 2. Characteristics of Ex-CAPSS emissions (Version 5) and Re-CAPSS emissions (Version 6) in Gunsan

	Ex	Re
CO	NRT: Ship Leisure (84.63%) RT: Passenger Car (46.46%)	RT: Passenger Car (47.60%) CIEP: Public Power Plants (50.07%) Private Power Plants (49.95%)
NO _x	RT: Truck (52.46%) NRT: Ship Cargo (62.30%)	RT: Truck (53.26%) NRT: Ship Cargo (64.02%)
SO _x	PP: Glass Carbon Removal Process (86.06%) CIEP: Private Power Plants (96.31%)	PP: Glass Carbon Removal Process (86.06%) CIEP: Private Power Plants (96.31%)
PM ₁₀	FD: Dust Scattering On Roads (33.50%), Construction Work (23.55%), Agriculture (20.58%) NRT: Ship Leisure (40.89%), Ship Cargo (37.17%)	FD: Dust Scattering On Roads (35.98%), Construction Work (25.29%), Agriculture (22.10%) NRT: Ship Cargo (63.84%)
VOC _s	SU: Ship Manufacturing (78.80%) PP: Whiskey And Other Liquor (96.03%)	SU: Ship Manufacturing (78.80%) PP: Whiskey And Other Liquor (96.03%)
NH ₃	AG: Manure Management (70.05%) PP: Selective Non Catalytic Reduction (84.74%)	AG: Manure Management (63.62%) PP: Selective Non Catalytic Reduction (84.74%)

NRT: non-road transportation, RT: road transportation, CIEP: combustion in energy production, PP: production process, FD: fugitive dust, SU: solvent utilization, AG: agriculture.

며, Re-NO_x 2.86%, Re-SO_x 1.97% 증가하였다. 그리고 6가지 항목의 총 배출량을 비교한 결과 Ex-Total 배출량에 비해 Re-Total 배출량은 8.65% 감소하였다.

Re-CO, Re-PM₁₀, Re-VOC_s 배출량이 감소한 이유는 비도로 이동오염원의 Ex-CAPSS 배출량은 선박레저 배출원이 포함되어 있고, 비도로 이동오염원 Re-CAPSS 배출량에서 선박레저 배출원은 포함되지 않은 영향으로 판단된다. 비도로 이동오염원의 Ex-CAPSS 배출량 대비 Re-CAPSS 배출량은 각각 CO는 83.35%, PM₁₀은 33.76%, VOC_s가 88.81%만큼 감소하였다. 환경부 국가미세먼지정보센터의 배출량 통계(시군별)자료에 의하면,¹³⁾ 타 지역 시군별 비도로 이동오염원 배출량의 경우, 인천

남동구, 경기도 평택시, 전라남도 함평군, 경상북도 울릉군의 비도로 이동오염원의 Ex-CAPSS 배출량은 선박레저 배출원이 포함되었으나, 비도로 이동오염원 Re-CAPSS 배출량에서 선박레저 배출원은 포함되지 않아 군산시와 유사한 결과를 보였다. 부산 수영구, 강원도 속초시, 전라남도 여수시, 완도군, 경상북도 포항시 북구, 경상남도 통영시, 사천시, 거제시, 남해군, 제주도 제주시, 서귀포시는 비도로 이동오염원 Ex-CAPSS 배출량에서 선박레저 배출원은 포함되지 않았고, 비도로 이동오염원 Re-CAPSS 배출량은 선박레저 배출원이 포함되어 위의 지역들과 정반대 현상을 보였다.

군산시의 2016년부터 2019년까지 농업 Ex-NH₃ 배출량

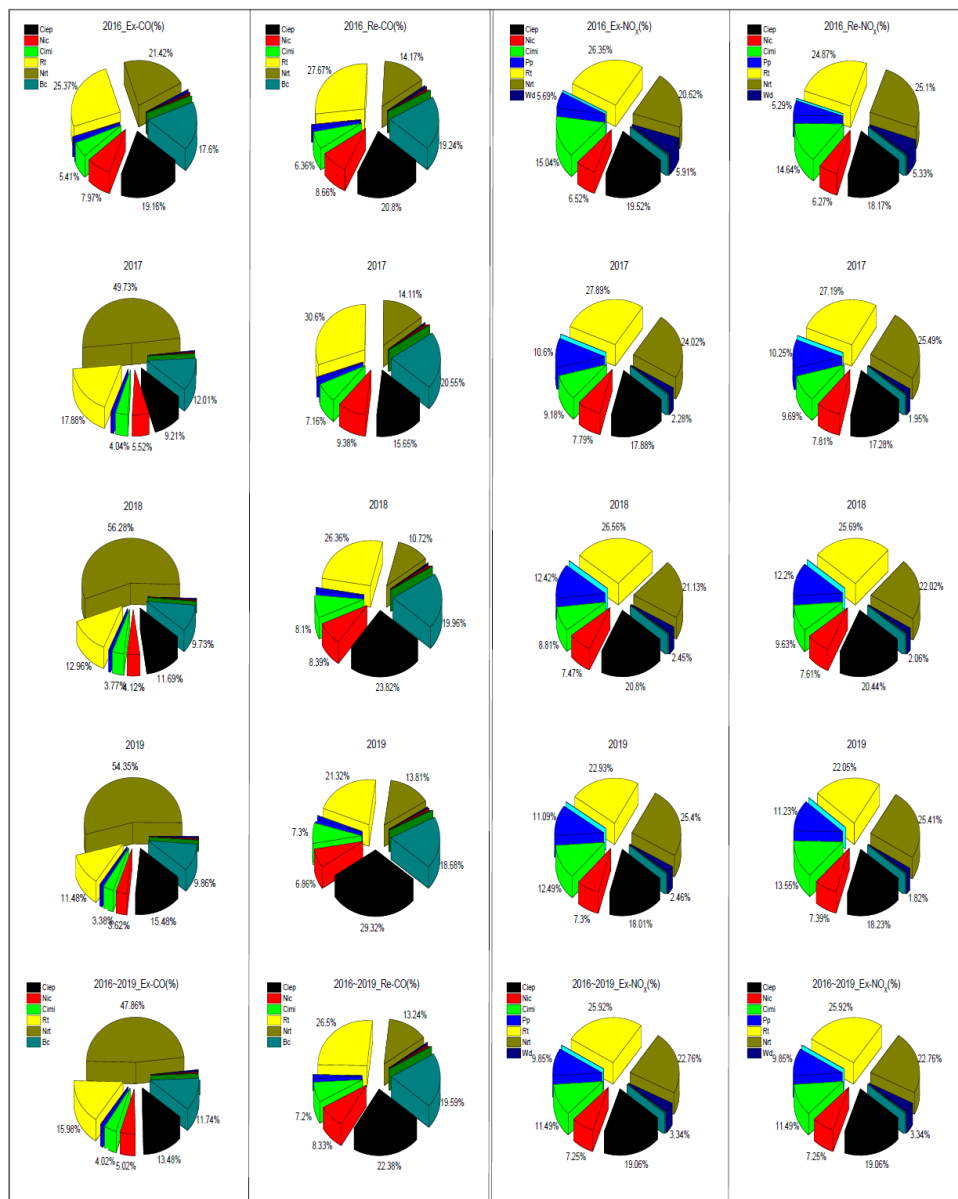


Fig. 1. The Trends in Ex-CAPSS and Re-CAPSS of CO, NO_x sources in Gunsan 2016~2019

(Version 5)의 분뇨관리 배출원 범위는 668~939 ton/yr이었으며, 농업 Re-NH₃ 배출량(Version 6)의 분뇨관리 배출원은 497~705 ton/yr범위로 조사되었다. 동일 기간에 기존 배출량 계산방법(Version 5)과 재산정된 배출량 계산방법(Version 6)을 비교한 결과 재산정된 방법이 평균 25.17% 감소되게 계산되었다.

Re-NO_x와 Re-SO_x 배출량이 증가한 가장 큰 이유는 비도로 이동오염원의 선박화물 배출량이 증가한 영향으로 사료된다. 2016년부터 2019년까지 선박화물 Ex-CAPSS와 Re-CAPSS 배출량 범위는 Ex-NO_x 1,089~1,424 ton/yr, Re-NO_x 1,566~1,424 ton/yr로 조사되었고, Ex-SO_x 445~515 ton/yr,

Re-SO_x 641~515 ton/yr로 조사되었다. 동일한 기간에 기존 배출량 계산방법(Version 5)과 재산정된 배출량 계산방법(Version 6)을 비교한 결과 재산정된 방법이 NO_x는 평균 12.32%, SO_x가 평균 13.23% 증가되게 계산되었다.

군산시의 2016년부터 2019년까지 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량의 각각 합산 값을 이용하여 배출량 특성을 조사하였다(Table 2, Fig. 1~3). Table 2는 물질별에 대한 상세한 특성과 Fig. 1~3은 물질별 대분류 특성을 나타내었다. 배출량 특성은 연료연소 배출원(1) 에너지 산업 연소 Combustion In Energy Production [CIEP], (2) 비산업 연소 Non Industrial Combustion [NIC], (3) 제조업 연

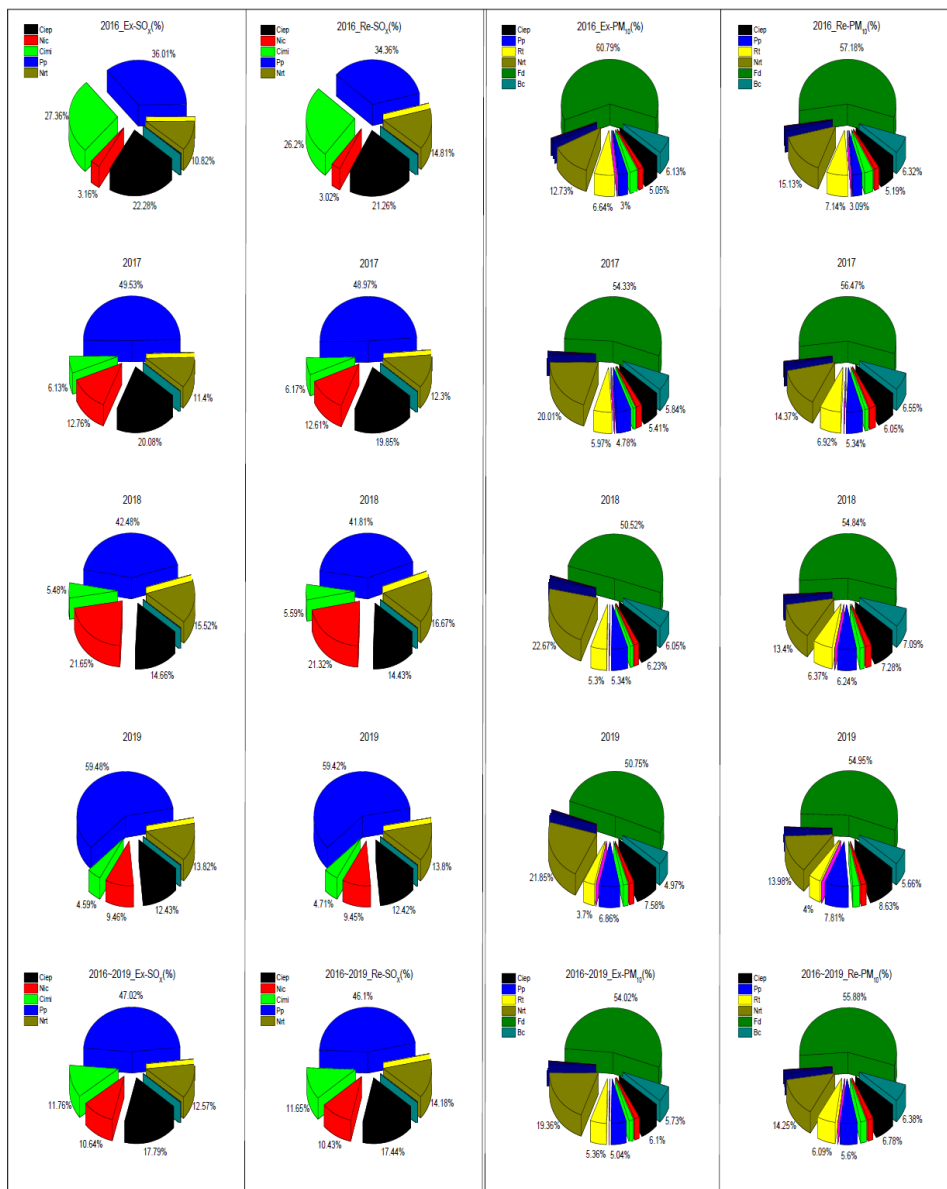


Fig. 2. The Trends in Ex-CAPSS and Re-CAPSS of SO_x, PM₁₀ sources in Gunsan 2016~2019

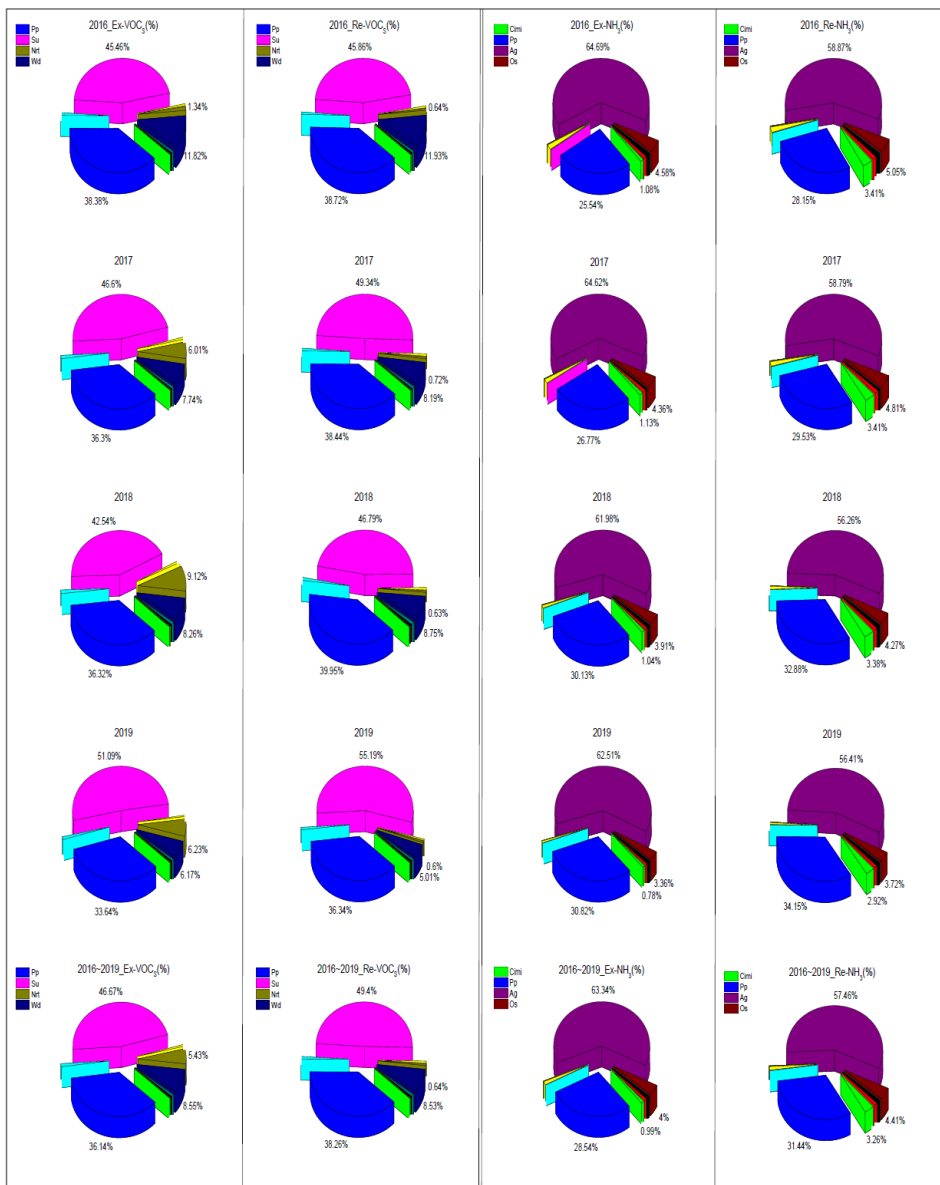


Fig. 3. The Trends in Ex-CAPSS and Re-CAPSS of VOC_s, NH₃ sources in Gunsan 2016~2019

소 Combustion In Manufacturing Industry [CIMI]), 제조업 공정에서 발생하는 배출원((4) 생산공정 Production Process [PP]), 주유소 및 저유소의 휘발유 증유((5) 에너지 수송 및 저장 Energy Storage and Transport [EST]), 페인트 등((6) 유기용제 사용 Solvent Utilization [SU]), 자동차((7) 도로 이동오염원 Road Transportation [RT]), 항공, 해상선박, 건설장비 등((8) 비도로 이동오염원 Non Road Transportation [NRT]), 폐기물소각((9) 폐기물처리 Waste Disposal [WD]), 비료사용 농경지, 분뇨관리((10) 농업 Agriculture [AG]), 산불 및 화재((11) 기타 면오염원 Other Sources [OS]), 도로재 비산먼지, 건설공사 등((12) 비산먼지 Fugitive Dust [FD]), 고기구이, 숯가마 등((13) 생물성

연소 Biological Combustion [BC])로 구분 된다.

CO는 비도로 이동오염원 47.86%, 도로 이동오염원 15.98%이었다. 비도로 이동오염원 중에서 선박레저 84.63%와 도로 이동오염원의 승용차 46.46%로 조사되었다. 한편 NO_x는 도로 이동오염원 25.92%, 비도로 이동오염원 22.78%이며, 도로 이동오염원에서 화물차 52.46%, 비도로 이동오염원의 선박화물 62.30%로 조사되었다. SO_x의 경우 생산공정 47.02%, 에너지산업 연소 17.79%이었다. 생산공정에서 유리(탄소제거공정) 86.06%, 에너지산업 연소 중에서 민간발전 96.31%로 조사되었다. PM₁₀은 비산먼지 54.02%, 비도로 이동오염원 19.36%이었고, 비산먼지는 각각 도로재 비산먼지 33.50%, 건

설공사 23.55%, 농업 20.58%, 비도로 이동오염원에서 선박레저 40.89%와 선박화물 37.17%로 조사되었다. VOCs는 유기용제 사용이 46.67%, 생산공정에서 36.14%이며, 유기용제 사용은 선박제조 78.80%, 생산공정 중에서 위스키 등 독주는 96.03%로 조사되었다. NH₃의 경우 농업 63.34%와, 생산공정은 28.54%이었다. 농업은 분뇨관리에서 70.05%, 생산공정의 암모니아 소비(SNCR) 84.74%로 조사되었다.

그리고 Re-CAPSS 배출량 특성을 보면, CO는 도로 이동오염원 26.50%, 에너지산업 연소 22.38%이었고, 도로 이동오염원의 경우 승용차 47.60%, 에너지산업 연소는 공공발전 50.07%와 민간발전 49.95%로 조사되었다. NO_x는 도로 이동

오염원 24.95%와 비도로 이동오염원 24.53%이며, 도로 이동오염원 중에서 화물차 53.26%, 비도로 이동오염원의 경우 선박화물 64.02%로 조사되었다. SO_x의 경우 생산공정 46.1%와 에너지산업 연소는 17.44%이었다. 생산공정에서 유리(탄소 제거공정) 86.06%, 에너지산업 연소의 경우 민간발전 96.31%로 조사되었다. PM₁₀은 비산먼지 55.88%와 비도로 이동오염원 14.25%이며, 비산먼지는 각각 도로재 비산먼지 35.98%, 건설공사 25.29%, 농업 22.10%, 비도로 이동오염원은 선박화물 63.84%로 조사되었다. VOCs의 경우 유기용제 사용 49.4%, 생산공정 38.26%이었다. 유기용제 사용은 선박제조 78.80%와 생산공정 중에서 위스키 등 독주 96.03%로 조사되었다.

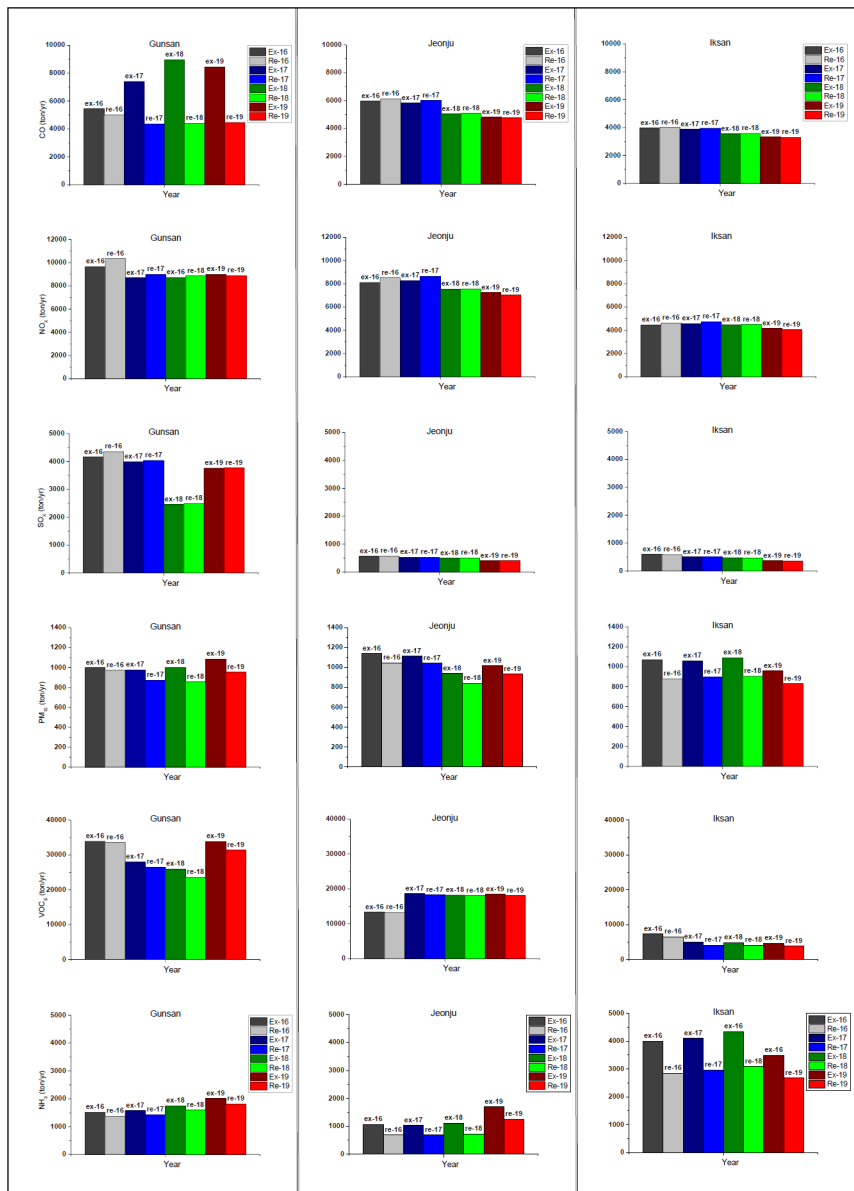


Fig. 4. Comparison of Ex-CAPSS emissions (Version 5) and Re-CAPSS emissions (Version 6) in Gunsan, Jeonju and Iksan 2016~2019

NH₃는 농업 57.46%, 생산공정 31.44%이며, 농업은 분뇨관리 63.62%, 생산공정은 암모니아 소비(SNCR) 84.74%로 조사되었다. Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성 차이는 Re-CO와 Re-PM₁₀의 배출량 특성에서 차이를 보였다. 이는 Re-CO와 Re-PM₁₀은 비도로 이동오염원 배출량에서 선박레저 배출원이 제외되면서 Re-CO의 배출량 특성은 에너지산업 연소로 조사되었으며, Re-PM₁₀ 배출량 특성은 비도로 이동오염원의 선박화물로 조사되었기 때문이다. Re-CO와 Re-PM₁₀은 Ex-CO, Ex-PM₁₀의 배출량 특성과 서로 다르며, 반면에 Re-NO_x, Re-SO_x, Re-VOC_s, Re-NH₃는 Ex-NO_x, Ex-SO_x, Ex-VOC_s, Ex-NH₃의 배출량 특성과 비슷하게 조사되었다. VOC_s의 경우 비도로 이동오염원 Ex-VOC_s 배출량에서 선박레저 배출원이 포함된 배출량은 6,611 ton/yr이었으며, 비도로 이동오염원 Re-VOC_s 배출량에서 선박레저 배출원을 제외한 배출량은 740 ton/yr이었다.

2. 군산, 전주, 익산 지역의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성 비교(2016~2019)

한국 산업단지공단(전국 국가산업단지)의 전국 국가산업단지 주요업종 지도(2020년 12월 생산액 기준)의 범례(전기전자, 석유화학, 섬유 의복, 철강, 운송장비, 기계, 음식료, 비제조, 비금속, 목재종이, 그 외) 중에서 군산 국가산업단지는 운송장비 33%, 철강 21%, 기계 26%로 조사되었으며, 군산2 국가산업단지의 경우 음식료 31%, 철강 18%, 기계 23%와 익산 국가산업단지는 석유화학 46%, 음식료 26%, 전기전자 14%로 조사되었다.¹⁴⁾ 전주 탄소소재 국가산업단지는 조성 중(2019~2026)이며, 생산액 기준에 포함되지 않았다. 전라북도 전체 인구는 2021년 기준 약 178만명으로 이 중에서 군산, 전주, 익산 인구가 약 120만명으로 67%를 차지하며, CAPSS 배출량이 많은 지역이다. 2016~2019년 전라북도 대기오염물질 전체 총 배출량(Version 5)에서 군산, 전주, 익산 지역이 차지하는 대기오염물질 배출량과 비율은 CO 66,537 ton/yr (36.95%), NO_x 84,774 ton/yr (54.15%), SO_x 18,260 ton/yr (87.66%),

Table 3. Ex-CAPSS emissions (Version 5) and Re-CAPSS emissions (Version 6) in Gunsan, Jeonju and Iksan 2016~2019 (ton/yr)

Year	Species	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	VOC _s	NH ₃	Total	%
2016	Ex-G	5,443	9,633	4,152	998	33,896	1,515	55,637	+0.04
	Re-G	5,012	10,345	4,352	971	33,599	1,375	55,654	
	Ex-J	5,949	8,103	561	1,138	13,287	1,063	30,101	+0.05
	Re-J	6,121	8,513	566	1,043	13,190	683	30,116	
	Ex-I	3,959	4,456	592	1,071	7,266	3,999	21,343	-9.24
	Re-I	4,015	4,612	588	879	6,433	2,846	19,373	
2017	Ex-G	7,397	8,679	3,985	974	28,030	1,576	50,641	-8.91
	Re-G	4,353	8,976	4,030	871	26,472	1,429	46,131	
	Ex-J	5,821	8,264	525	1,113	18,599	1,031	35,353	-0.48
	Re-J	6,005	8,647	526	1,040	18,277	690	35,185	
	Ex-I	3,872	4,563	504	1,058	5,029	4,099	19,125	-10.25
	Re-I	3,948	4,736	500	899	4,125	2,958	17,166	
2018	Ex-G	8,955	8,701	2,452	1,000	25,924	1,743	48,775	-14.39
	Re-G	4,393	8,855	2,491	856	23,566	1,597	41,758	
	Ex-J	5,039	7,543	491	937	18,206	1,117	33,333	-1.68
	Re-J	5,078	7,558	496	838	18,089	716	32,775	
	Ex-I	3,552	4,467	473	1,090	4,832	4,337	18,751	-11.19
	Re-I	3,582	4,491	469	905	4,116	3,091	16,654	
2019	Ex-G	8,436	8,983	3,761	1,083	33,847	2,010	58,120	-11.92
	Re-G	4,454	8,875	3,764	952	31,334	1,814	51,193	
	Ex-J	4,794	7,236	400	1,016	18,442	1,699	33,587	-1.10
	Re-J	4,755	7,024	403	933	18,083	1,243	33,220	
	Ex-I	3,320	4,146	364	957	4,602	3,486	16,875	-10.77
	Re-I	3,300	4,048	359	831	3,843	2,678	15,059	

G: Gunsan, J: Jeonju, I: Iksan.

PM₁₀ 12,435 ton/yr (29.55%), VOC_s 211,960 ton/yr (73.03%), NH₃ 27,675 ton/yr (20.39%)로 조사되었다. 동일한 기간의 전라북도 대기오염물질 전체 총 배출량(Version 6)에서 군산, 전주, 익산 지역이 차지하는 배출량과 비율은 CO 55,016 ton/yr (36.24%), NO_x 86,680 ton/yr (59.12%), SO_x 18,544 ton/yr (93.84%), PM₁₀ 11,018 ton/yr (33.54%), VOC_s 201,127 ton/yr (75.77%), NH₃ 21,030 ton/yr (22.56%)로 조사되었다.

Fig. 4와 Table 3은 군산, 전주, 익산 지역의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성을 연도별(2016~2019)로 나타내었고, 군산 G, 전주 J, 익산 I로 표현을 하였다. 군산, 전주, 익산(2016~2019)의 Ex-CAPSS 배출량을 합산 값에서 군산이 차지하는 배출량과 비율은 CO 30,231 ton/yr (45.43%), NO_x 35,996 ton/yr (42.46%), SO_x 14,350 ton/yr (78.58%), PM₁₀ 4,055 ton/yr (32.60%), VOC_s 121,679 ton/yr (57.40%), NH₃ 6,844 ton/yr (24.72%)로 조사되었다. 전주는 CO 21,603 ton/yr (32.46%), NO_x 31,146 ton/yr (36.74%), SO_x 1,977 ton/yr (10.82%), PM₁₀ 4,204 ton/yr (33.80%), VOC_s 68,534 ton/yr (32.33%) NH₃ 4,910 ton/yr (17.74%)로 조사되었다. 익산은 CO 14,703 ton/yr (22.09%), NO_x 17,632 ton/yr (20.79%), SO_x 1,933 ton/yr (10.58%), PM₁₀ 4,176 ton/yr (33.58%), VOC_s 21,729 ton/yr (10.25%) NH₃ 15,921 ton/yr (57.52%)로 조사되었다.

그리고 Re-CAPSS 배출량의 경우 군산은 CO 18,212 ton/yr (33.10%), NO_x 37,051 ton/yr (42.74%), SO_x 14,637 ton/yr (78.93%), PM₁₀ 3,650 ton/yr (33.12%), VOC_s 114,971 ton/yr (57.16%) NH₃ 6,215 ton/yr (29.12%)로 조사되었다. 전주는 CO 21,959 ton/yr (39.91%), NO_x 31,742 ton/yr (36.61%), SO_x 1,991 ton/yr (10.73%), PM₁₀ 3,854 ton/yr (34.97%), VOC_s 67,639 ton/yr (33.62%) NH₃ 3,332 ton/yr (15.84%)로 조사되었다. 익산의 경우 CO 14,845 ton/yr (26.98%), NO_x 17,887 ton/yr (20.63%), SO_x 1,916 ton/yr (10.33%), PM₁₀ 3,514 ton/yr (31.89%), VOC_s 18,517 ton/yr (9.20%), NH₃ 11,573 ton/yr (55.03%)로 조사되었다.

군산, 전주, 익산의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량을 비교 조사한 결과 군산은 Ex, Re-NO_x, SO_x, VOC_s 배출량이 전주와 익산에 비해 높게 조사되었고, 전주는 Ex, Re-PM₁₀ 배출량, 익산은 Ex, Re-NH₃ 배출량이 높은 것으로 조사되었다. 익산이 NH₃가 높은 이유는 농공단지 4개소(황등, 낭산, 삼기, 왕궁)와 축산업(1,079호수)의 영향으로 사료된다.¹⁵⁾ 익산은 암모니아 등의 발생량이 높아 가스에서 입자상 물질로 변환되어 PM_{2.5}의 농도가 매우 높은 지역이다. 군산은 CO, 전주와 익산은 NH₃가 Ex-CAPSS와 Re-CAPSS 배출량에서 차이를 보였다. 군산의 Re-CO는 비도로 이동오염원의 선박레저 배출원이 제외되면서 Re-CO 배출량이 감소하였으며, 전주와 익산의 Re-NH₃는 농업의 분뇨관리 배출원이 감소하여 Re-NH₃ 배출

량이 감소하였다.

Ex-CAPSS 배출량 특성에서 CO의 경우 군산은 비도로 이동오염원의 선박레저에서 많이 배출되었으며, 전주와 익산은 도로 이동오염원인 승용차에서 배출되었다. NO_x는 군산, 전주 익산은 도로 이동오염원에서 배출이 되었으며, 군산과 익산은 화물차, 전주는 RV(레저용) 차량에서 배출되었다. SO_x의 경우 군산은 생산공정에서 유리(탄소제거공정)에서 배출되었으며, 전주는 제조업 연소의 연소시설과 익산은 에너지산업 연소의 민간발전에서 배출이 되었다. PM₁₀은 군산, 전주, 익산이 비산먼지에서 배출되었으며, 군산은 도로재 비산먼지, 전주는 건설공사, 익산이 축산활동에서 배출되었다. VOC_s는 군산의 경우 유기용제 사용은 도장시설인 선박제조에서 배출되었으며, 전주와 익산은 유기용제 중에서 기타 유기용제 사용에서 배출되었다. NH₃는 군산, 전주, 익산은 농업의 분뇨관리에서 배출되었다.

한편, Re-CPASS 배출량 특성에서 CO는 군산, 전주, 익산이 도로 이동오염원의 승용차에서 배출되었다. PM₁₀의 경우 군산, 전주, 익산은 비산먼지에서 배출되었으며, 군산과 익산은 도로재 비산먼지이며, 전주는 건설공사에서 배출되었다. 군산, 전주, 익산의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성의 경우 군산은 Ex-CO와 Re-CO, 전주는 Ex-NH₃와 Re-NH₃, 익산은 Ex-PM₁₀, Re-PM₁₀과 Ex-NH₃, Re-NH₃는 서로 다른 차이를 보였다. 이는 지리적인 특성(인구, 면적, 지형, 기상 요소)이며, 더불어 군산, 전주는 산업단지 특성(운송장비, 철강, 기계, 음식료)과 익산은 농공단지와 축산업 차이로 인한 영향으로 사료된다.

IV. 고 찰

군산시에서 군산항은 항내 수면적이 164 km²로 총 7개의 부두(1부두, 2부두, 3부두, 4부두[자동차], 5부두, 6부두, 7부두[유연탄, 민자])를 갖추고 있으며, 선박 입출항 횟수는 2020년 3,334척(37,167 ton), 2021년 3,788척(51,679 ton), 2022년 3,644척(52,359 ton)이었다. 기존 군산시 대기오염물질 배출량 연구에서 연도별 CO, PM₁₀, NH₃ 배출량은 증가, NO_x, SO_x, VOC_s 배출량은 감소하였다. 이번 연구에서 군산시는 Ex-CAPSS 배출량(Version 5)과 Re-CAPSS 배출량(Version 6) 변화에서 큰 차이를 보였는데, 특히 Version 6에 의한 배출량 계산결과 Re-CO, Re-PM₁₀, Re-VOC_s, NH₃ 배출량이 감소하였다. Ex-CAPSS 배출량에서 비도로 이동오염원의 선박레저 배출원은 포함이 되었으나, 반면 Re-CAPSS 배출량은 비도로 이동오염원에서 선박레저 배출원이 제외되어 배출량이 감소한 경향을 보였다. 군산시는 항구도시로 선박에서 배출되는 오염원의 영향을 많이 받는 지역이다. Ex-CAPSS 배출량에서 비도로 이동오염원의 선박 배출원이 차지하는 비율은 CO 91.34%, PM₁₀ 79.61%, VOC_s 94.78%로 조사되었으며, Re-CAPSS 배출

량은 CO 43.15%, PM₁₀ 66.34%, VOC_s 48.78%로 조사되었다. Re-CAPSS 배출량이 Ex-CAPSS 배출량 대비 CO는 48.19%, PM₁₀은 13.27%, VOC_s는 46.00%로 감소하였으며, 군산시는 비도로 이동오염원에서 선박 배출원이 차지하는 비율이 큰 것으로 사료된다. 군산시는 CAPSS 배출량에서 비도로 이동오염원의 선박레저 배출원 포함여부에 따라 배출량에 큰 영향을 받아 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 자료분석에서 차이를 보이고 있다. Ex-CAPSS 배출량에서 Ex-NH₃ 농업 분뇨관리 배출원의 평균 범위는 759 ton/yr이었으며, Re-CAPSS 배출량의 Re-NH₃ 농업 분뇨관리 배출원은 568 ton/yr 범위로 동일 기간에 기존 배출량 계산방법(Version 5)과 재산정된 배출량 계산방법(Version 6)을 비교한 결과 재산정된 방법이 평균 25.17% 감소하였다.

군산시 외에도 타 지역 시 군별 배출량 자료에서도 인천 남동구, 경기도 평택시, 전라남도 함평군, 경상북도 울릉군은 비도로 이동오염원에서 Ex-CAPSS 배출량은 선박레저 배출원이 포함되었으나, 비도로 이동오염원의 Re-CAPSS 배출량에서 선박레저 배출원은 포함되지 않아 군산시와 유사한 경향의 결과를 보였다. 이와 반대로 부산 수영구, 강원도 속초시, 전라남도 여수시, 완도군, 경상북도 포항시 북구, 경상남도 통영시, 사천시, 거제시, 남해군, 제주도 제주시, 서귀포시는 비도로 이동오염원 Ex-CAPSS 배출량에서 선박레저 배출원은 포함되지 않았고, 비도로 이동오염원 Re-CAPSS 배출량은 선박레저 배출원이 포함되어 위의 지역들과 정반대 현상을 보였다. 이와 같이 지역별로 포함여부가 달라서 Ex-CAPSS 배출량(Version 5)과 Re-CAPSS 배출량(Version 6)은 총 배출량 차이가 발생되어 정확하고 일관된 배출량의 계산이 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

군산 지역의 Ex-CAPSS 배출량과 2020년 재산정된 배출량 산정편람에 의거해 개선되어 재산정된 Re-CAPSS 배출량 자료를 이용하여 연도별(2016~2019) 배출량 특성 차이를 비교 분석하였다. 또한 전주와 익산 지역의 Ex-CAPSS와 Re-CAPSS 배출량 특성 차이를 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

군산시의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량을 비교한 결과, Ex-CAPSS 물질별 배출량에 비해 Re-CAPSS 물질별 배출량은 CO 39.76%, PM₁₀ 9.98%, VOC_s 5.53%, NH₃ 9.24% 감소하였으며, Re-NO_x 2.86%, SO_x 1.97% 증가하였다.

군산시의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성 차이는 Re-CO와 PM₁₀의 배출량 특성에서 서로 다른 차이를 보였다. Re-CO와 Re-PM₁₀은 비도로 이동오염원의 선박레저 배출원이 제외되면서 CO의 배출량 특성이 에너지산업 연소로 조사되었으며, PM₁₀ 배출량 특성은 비도로 이동오염원에서 선박화물로 조사되었기 때문이다. 반면에 Re-NO_x, Re-SO_x,

Re-VOC_s, Re-NH₃는 Ex-NO_x, Ex-SO_x, Ex-VOC_s, Ex-NH₃ 배출량 특성과 비슷하게 조사되었다.

군산, 전주, 익산 지역의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량을 비교 조사한 결과 군산은 Ex, Re-NO_x, SO_x, VOC_s 배출량이 전주와 익산에 비해 높게 조사되었고, 전주는 Ex, Re-PM₁₀ 배출량, 익산은 Ex, Re-NH₃ 배출량이 높은 것으로 조사되었다.

군산, 전주, 익산의 Ex-CAPSS 배출량과 Re-CAPSS 배출량 특성을 비교해보면 군산은 Ex-CO와 Re-CO, 전주는 Ex-NH₃와 Re-NH₃, 익산은 Ex-PM₁₀, Re-PM₁₀과 Ex-NH₃, Re-NH₃는 서로 다른 차이를 보였다. 이는 지리적인 특성(인구, 면적, 지형, 기상 요소)이며, 더불어 군산, 전주는 산업단지 특성(운송장비, 철강, 기계, 음식료)과 익산은 농공단지와 축산업 차이로 인한 영향으로 사료된다. Ex-CAPSS 배출량 보다 Re-CAPSS 배출량은 정확한 오염원에 따른 배출량 산정을 하는 장점이 있다. 그러나 지역별로 Re-CAPSS 배출량 계산시 오염물질 포함여부가 다르므로 일관성 있는 계산 방법을 적용한다면 더욱 정확한 배출량 계산이 되리라 사료된다.

지역별 배출량 자료분석은 지역 특성에 기반하여 향후 대기 오염관리 및 배출량 인벤토리 구축에 활용할 수 있으며 공단지역 뿐만 아니라 주거지역, 상업지역의 배출량 계산이 더 필요하다고 사료된다. 향후 연구에서는 오염원에서 나온 SEMS 배출량 자료와 지리공간 데이터를 이용한다면 CAPSS 배출량 자료보다 좀 더 신뢰성 있는 결과를 기대해 볼 수 있을 것으로 사료된다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

1. Fan Q, Zhang Y, Ma W, Ma H, Feng J, Yu Q, et al. Spatial and seasonal dynamics of ship emissions over the Yangtze River Delta and East China Sea and their potential environmental influence. *Environ Sci Technol*. 2016; 50(3): 1322-1329.
2. Zheng M, Cheng Y, Zeng L, Zhang Y. Developing chemical signatures of particulate air pollution in the Pearl River Delta region, China. *J Environ Sci (China)*. 2011; 23(7): 1143-1149.
3. Eyring V, Isaksen ISA, Berntsen T, Collins WJ, Corbett JJ, Endresen O, et al. Transport impacts on atmosphere and climate: shipping. *Atmos Environ*. 2010; 44(37): 4735-4771.
4. Lee YM, Song M, Kim EY, Oh SH, Park C, Choi W, et al. Source identification of PM_{2.5} major elemental components at the harbor industrial area in Busan: comparison of trace elemental concentrations using two XRFs. *J Korean Soc Atmos Environ*. 2020; 36(2):

- 216-227.
5. Lee J, Lee H. A study on calculation of air pollutant emissions from ships at Incheon port and the effects of eco-friendly policies. *J Korea Port Econ Assoc.* 2022; 38(1): 129-142.
 6. National Institute of Environmental Research (NIER). National air pollution emission. Incheon; 2022. p.5.
 7. Kim DY, Choi M, Yoon B. Analysis of PM hot-spot emission zone in Seoul metropolitan area. *J Korean Soc Atmos Environ.* 2019; 35(4): 476-501.
 8. Kim JM, Jo YJ, Yang GH, Heo G, Kim CH. Analysis of recent trends of particulate matter observed in Busan - comparative study on Busan vs. Seoul metropolitan area (I). *J Environ Sci Int.* 2020; 29(2): 177-189.
 9. Park SH, Kim DS, Kim SC. A study on the investigation of air pollutant emissions (2015~2019) in Gunsan. *J Korean Soc Environ Eng.* 2023; 45(4): 171-180.
 10. Gunsan City. Available: <https://www.gunsan.go.kr/main/m289> [Accessed 13 April 2023].
 11. Korean Law Information Center. Available: [https://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000187785&vSct=#\]2061783](https://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000187785&vSct=#]2061783) [Accessed 3 May 2023].
 12. National Institute of Environmental Research (NIER). National air pollution estimation method manual. Incheon; 2020. p.22-25.
 13. National Air Emission Inventory and Research Center. Available: <https://www.air.go.kr/article/list.do?boardId=10&menuId=32> [Accessed 3 May 2023].
 14. Korea Industrial Complex Corporation. Available: <https://www.kicox.or.kr/home/mwrc/policyRsrch/fdrmPblictN/fdrmPblictN04.jsp> [Accessed 13 July 2023].
 15. Iksan City. Available: https://www.iksan.go.kr/index.iksan?menuCd=DOM_000002004014005000# [Accessed 10 August 2023].

〈저자정보〉

박상훈(박사과정), 김성천(교수)