

배출계수법과 연속자동측정법에 의한 배출량 비교 연구

A Study on the Comparison of Emission Factor Method and CEMS (Continuous Emission Monitoring System)

장기원 · 이주형 · 정성운 · 강경희 · 홍지형^{1)*}
국립환경과학원 대기제어연구과, ¹⁾국립환경과학원 교통환경연구소
(2009년 5월 26일 접수, 2009년 8월 17일 수정, 2009년 9월 22일 채택)

Kee-Won Jang, Ju-Hyoung Lee, Sung-Woon Jung,
Kyoung-Hee Kang and Ji-Hyung Hong^{1)*}
Air Quality Control Research Division, National Institute of Environmental Research
¹⁾*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research*
(Received 26 May 2009, revised 17 August 2009, accepted 22 September 2009)

Abstract

Generally, air pollutant emission at workplace is estimated by two methods: indirect methods using emission factors and direct methods based on CEMS (Continuous Emission Monitoring System). CAPSS (Clean Air Policy Support System) is a representative indirect method and the national air pollutant database of Korea. However, characteristics of some workplaces may create a gap between CAPSS and CEMS data. For improving of emission data accuracy, emission data of CEMS (named CleanSYS) equipped at 138 target workplaces were compared with those of CAPSS. As a result, SO_x and PM₁₀ emission levels obtained by CAPSS were lower than those of CleanSYS. SO_x and PM₁₀ emission ratios were 61.5% and 71.2% lower respectively, showing the biggest gaps. On the other hand, NO_x emission of CAPSS was higher by 10.4%. SO_x showed the biggest difference in 'Energy industry combustion' and NO_x did in 'Production Process' within the SCC category. PM₁₀ presented a large gap in 'Manufacturing industry combustion.' The differences in SO_x between the two systems occurred because some large-size facilities lack pollution controllers or efficient pollution controllers. Based on this study, CAPSS emission database of Korea will improve accuracy through adopting CEMS emission system, which enables more efficient national atmospheric policies and workplace management.

Key words : Emission, Emission factor, CAPSS, CleanSYS, CEMS

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-7600, E-mail : jhong@me.go.kr

1. 서 론

사업장에서의 대기오염물질 배출량 산정방법은 크게 2가지로 구분할 수 있다. 배출계수와 활동도를 이용한 간접 배출량 산정법과 굴뚝에서 연속자동측정 등에 의한 실측 자료의 직접 배출량 산정법이다. 간접 배출량 산정법의 대표적인 사례로 CAPSS(Clean Air Policy Support System)와 직접 배출량 산정법의 대표적인 사례로 CleanSYS(굴뚝원격감시체계, 구 굴뚝 TMS)가 있다. 간접 배출량 산정법인 CAPSS는 국가 대기오염물질 배출량 산정이라는 거시적 관점에서는 대기오염총량관리와 대기정책수립 등에 대단히 유용하게 활용되나, 개별 사업장의 오염물질별 배출량은 사업장의 여러 조건에 따라 실측 배출량과 다소 차이가 있다. 더욱이 국내 사업장 특성을 고려하지 않은 외국 배출계수(U.S. EPA AP-42 및 EEA CORINAIR 등)를 적용했을 경우 실측 배출량과의 격차는 조금 더 커질 수도 있다. 이런 면에서 Pham *et al.* (2008)은 다양한 자국의 산업 배출계수를 개발하여 해외배출계수를 대체하거나 활용 가능한 CEMS 자료를 이용하여 배출량의 신뢰도를 높이는 것이 중요하다고 주장하였다.

CleanSYS는 1989년 국내 최초로 울산·온산·여수지역 사업장 등의 대형 굴뚝에 부착된 것을 시작으로 굴뚝에서 배출되는 오염물질을 자동으로 관리하는 체계를 마련하였다. 이후 2002년도부터는 전국적인 굴뚝원격감시체계를 완성하여 매년 대상사업장 및 측정대상 굴뚝을 확대하고 있다(박기혁 등, 2007). CleanSYS는 3종 이상의 대기배출 사업장 중 일정규모 이상의 배출시설에 부착하도록 규정하고 있으며(신원근 등, 2007), 측정항목으로는 먼지, SO₂, NO_x, HCl, HF, NH₃, CO의 7개 오염물질과 산소, 유량, 온도 등을 측정하고 있다(환경부, 2007; EPA, 2003). 2006년 12월 현재, CleanSYS는 전국을 4개 권역으로 나뉘어 주요 사업장 굴뚝에 설치되어 있으며 권역별 설치현황은 표 1과 같다.

CleanSYS의 가장 큰 장점은 운전조건 변화에 탄력적이고, 개별 사업장마다 연속적 실측값을 바탕으로 과학적 배출원 관리가 가능하다는 것이다. 이와 대조적으로 국립환경과학원에서 개발한 CAPSS 사업장 자료는 배출계수와 활동도에 의해 배출량이 산정

Table 1. CleanSYS Status in 2006.

(Standard date: 2006. 12. 31)

	Total	Sudokwon	Youngnamkwon	Honamkwon	Joongbukwon
Workplace	379	118	118	68	75
Stack	892	244	287	178	183

되므로 운전조건 변화에 유연하지 못하다는 단점이 있으며, 또한 국내 산업특성을 고려하지 않은 외국 배출계수를 적용함에 따른 배출량 정확성 및 신뢰성에 대한 오차 발생 가능성을 내포하고 있다. 이에 국립환경과학원에서는 사업장 배출량 신뢰도 향상을 위한 다양한 방안을 검토하고 있으며, 이 가운데 CleanSYS 배출량 자료를 CAPSS에 적용하는 방안도 포함하고 있다. 2006년 기준으로 CAPSS 대기오염물질 배출량의 대부분은 점오염원과 이동오염원에서 배출되고 있으며 특히, 점오염원 중 대형 사업장의 배출기여도는 90% 이상인 것으로 나타났다. 따라서 대형 사업장 배출량에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있다면 프랑스, 네덜란드 등의 선진국과 같이 효율적이고 강력한 대기정책을 수립하는 데 일조할 수 있을 것으로 사료된다(Coutinho *et al.*, 2006; 전의찬, 2005; 노재식, 1996). 이런 배경하에 본 연구에서는 사업장 배출량 신뢰도 향상을 위하여 SO_x, NO_x, PM₁₀의 CAPSS 배출량과 CleanSYS 배출량을 비교 검토해 보고자 하며, 굴뚝 중심의 배출량인 CleanSYS를 배출시설별 중심의 CAPSS와의 비교를 위하여 재산정 작업을 실시하였다.

2. 자료 입수 및 산정 방법

2.1 자료 입수

그림 1과 같이 SODAC(Source Data Collection, 배출업소자료수집프로그램)은 환경관리인에 의해 기재된 사업장별 월별 연료사용량 및 제품생산량, 방지시설(Air Pollution Control Devices, APCDs) 정보, 굴뚝 및 배출량 정보 등의 사업장 자료가 있으며 이는 CAPSS 점오염원 배출량 산정 시 활동도로 활용하고 있다. 또한 실시간 전송되는 CleanSYS 자료의 경우 환경관리공단에서 관리하고 있지만 국립환경과학원의 SODAC과 연계되어 있어 CleanSYS 자료를 입수

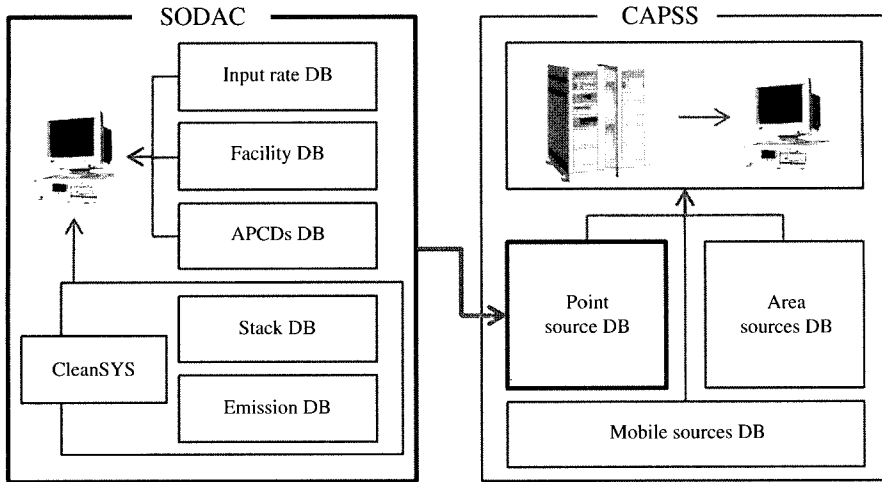


Fig. 1. Flow diagram of CAPSS with SODAC.

Table 2. Existence and nonexistence of CAPSS and CleanSYS emission.

Section	CAPSS	CleanSYS	Remark
CASE I	○	○	Available
CASE II	○	×	
CASE III	×	○	Unavailable
CASE IV	×	×	

시 SODAC 자료를 활용하였다.

2.2 산정 방법

SODAC에서 입수된 CleanSYS 배출량 자료와 CAPSS 배출량 자료를 비교하기 위하여 본 연구에서는 굴뚝에서 측정된 CleanSYS 배출량을 배출시설 또는 SCC(Source Classification Code)별 CAPSS 배출량으로 재산정하는 작업을 실시하였다. 그러나 이런 재산정 작업 시 CAPSS 배출량의 유무, CleanSYS 배출량 유무에 따라 자료처리기준을 각각 달리하기에 본 연구에서는 표 2와 같이 4가지로 구분하여 재산정 작업을 실시하였다. CASE I은 CleanSYS 배출량과 CAPSS의 시설별 배출량 모두 존재하는 경우, CASE II는 CleanSYS 배출량은 존재하지 않으나, CAPSS 시설별 배출량이 존재하는 경우, CASE III는 CleanSYS 배출량은 존재하나, CAPSS 배출량이 존재하지 않은 경우, CASE IV는 CleanSYS 배출량과

CAPSS 배출량 모두 미기재되어 있는 경우로 본 연구에서 CAPSS 중심의 SCC별 배출량 비교를 위하여 CAPSS 배출량 자료가 없는 CASE III과 CASE IV는 제외하였다. 한편 SODAC은 단일 배출시설에 다중 굴뚝이 연계된 경우는 사업장 자료 입력이 불가하게 설계되어 있어, 본 연구에서 제외하였다. 연구 대상 사업장은 2006년 기준으로 138개 사업장의 굴뚝 및 배출시설을 선별하여 배출량을 재산정하였다.

2.2.1 CASE I과 CASE II

1) CASE I: H 사업장의 NOx 배출량 중심으로

H 사업장의 1번 굴뚝은 배출시설 3개가 연계된 전형적인 CASE I 형태이다. 3개의 배출시설 모두 연소시설(보일러)이며, 활동도는 연료사용량이다. CleanSYS 배출량은 2006년 기준 34.5톤이 발생하였으며, CAPSS 배출량은 76.0톤으로 산정되었다. 이를 배출시설별 CAPSS 최종배출량으로 변환하면 그림 2와 같으며, 1번 배출시설은 0.597, 2번 배출시설은 0.099, 3번 배출시설은 0.303의 값이 배출비율로 적용되었다.

2) CASE II: S 사업장의 SOx 배출량 중심으로

S 사업장의 3번 굴뚝은 배출시설 2개가 연계된 CASE II 형태이다. 2개의 배출시설 모두 연소시설(공정로)이며, 활동도는 연료사용량이다. CleanSYS 배출량은 2006년 기준으로 측정되지 않았으나,

Table 3. Example of the CASE I.

CleanSYS		CAPSS			Final emission		
Stack No.	NO _x emission (ton/yr)	Stack No.	Facility No.	NO _x emission (ton/yr)	Stack No.	Facility No.	NO _x emission (ton/yr)
1	34.5	1	1	45.4	1	1	20.6
			2	7.6		2	3.4
			3	23.0		3	10.5
Total	34.5			76.0			34.5

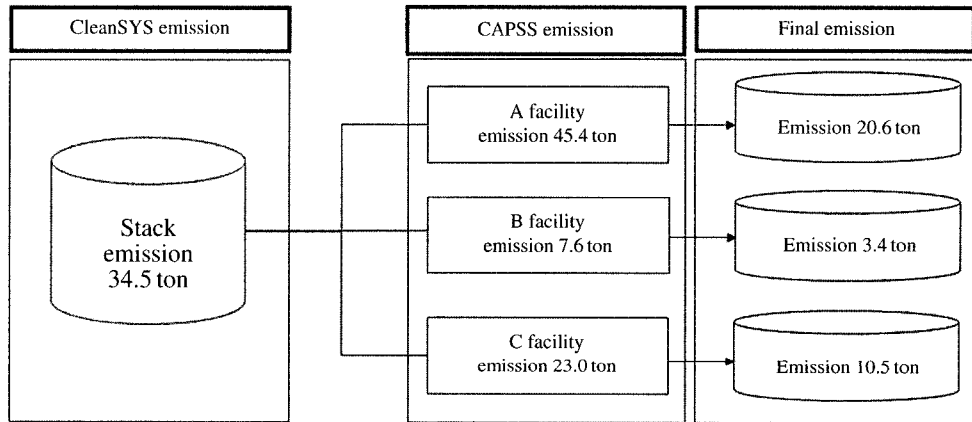


Fig. 2. Flow diagram of the CASE I.

CAPSS 배출량은 158.6톤으로 산정되었다. 따라서 CAPSS 최종배출량 역시 1번 배출시설 98.0톤, 2번 배출시설 60.6톤의 합산 값인 158.6톤으로 확정한다.

2.2.2 월별 배출량 배분방법

CAPSS 배출량의 기본 자료는 월간 배출량이다. 배출량 산정은 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(국립환경과학원, 2007)의 산정방법을 적용하였으며, 사업장별 배출량 역시 대기오염물질 배출량(국립환경과학원, 2008)에 기재된 배출량과 같다. 반면에 CleanSYS에서는 연속 자동측정된 자료가 자료수집기(Data Logger)에서 5분 자료로 생성하고, 이를 30분 자료로 환산하여 유·무선 통신방식으로 관제센터에 전송되며(신원근 등, 2007), 전송된 자료를 다시 월평균 배출량으로 산정한다. 하지만 CAPSS와 CleanSYS 월간 배출량이 매월 동일하게 산정되는 것만은 아니다. 특히 배출량 기여도가 높은 공공발전 시설의 경우, 여름철 휴무나 정기보수 등으로 CleanSYS 월간 배출량이 없는 경우도 있어서 이들

월간 배출량에 대한 명확한 처리 기준을 제시해야 한다.

먼저 CleanSYS에 의한 12개월 합산 배출량을 연간 배출량으로 확정한다. 이후 CleanSYS에 의한 배출량이 누락된 달은 입력자료 미기재로 설정하고 그림 4와 같이 CAPSS 월간 배출량 비율을 적용하여 CleanSYS 연간 배출량을 분배하고 시설별 CleanSYS 배출량으로 확정하였다.

2.2.3 배출량 누락

사업장별 CleanSYS 배출량을 CAPSS 배출량으로 배분할 때 발생하는 주요 문제는 CAPSS 배출량이 존재하고 CleanSYS 배출량은 존재하지 않는 CASE II의 경우이다. 이는 다시 SODAC에 기재된 연료사용량/소각량을 활동도로 산정된 CAPSS 배출량과 제품생산량을 활동도로 산정된 CAPSS 배출량이 존재하지만 CleanSYS에서 측정되지 않는 2가지 경우로 구분된다.

Table 4. Example of the CASE II.

CleanSYS		CAPSS			Final emission		
Stack No.	NO _x emission (ton/yr)	Stack No.	Facility No.	NO _x emission (ton/yr)	Stack No.	Facility No.	NO _x emission (ton/yr)
3	-	3	1	98.0	1	1	98.0
			2	60.6		2	60.6
Total	-			158.6			158.6

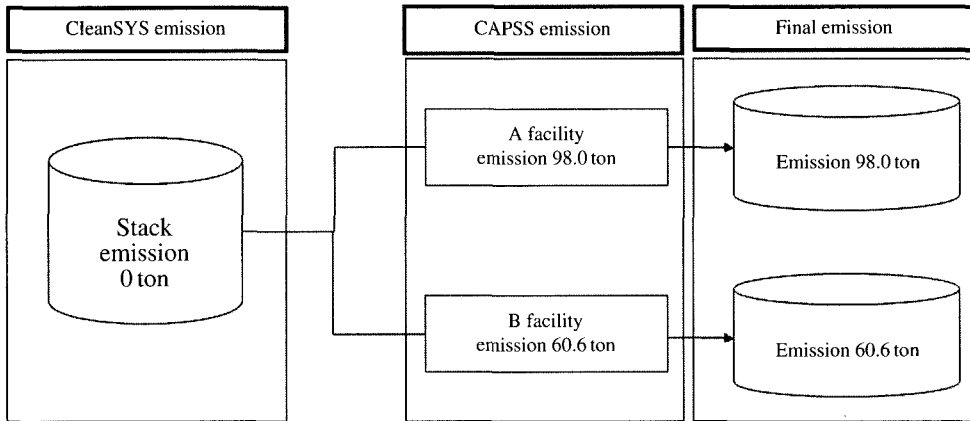


Fig. 3. Flow diagram of the CASE II.

1) CASE II-1: 연료사용량/소각량에 의한 배출량

SODAC의 배출시설에 연료사용량/소각량이 기재되어 CAPSS 배출량으로 산정되거나 동일한 배출시설을 포함하는 CleanSYS 굴뚝 배출량이 없는 경우이다. 이런 경우는 CleanSYS 시스템 오작동, 자료누락 및 배출량 산정 오류 등으로 판단하여 CAPSS 배출량을 그대로 적용한다. 예를 들어 표 5와 같이 2006년 기준 A화학의 배출시설에서 B-C (0.3%)유 사용량을 SODAC에 기재하였음에도 불구하고 이 배출시설을 포함하는 CleanSYS의 SO₂ 배출량이 누락되어 있는 경우이다.

따라서 표 5와 같이 활동도(연료사용량)가 SODAC에 기재된 경우, A화학의 3번 굴뚝에서의 배출량은 '0'이 아니고 표 6과 같이 CAPSS에서 산정된 월간 배출량을 합산하여 2006년 연간배출량으로 적용한다.

2) CASE II-2: 제품생산량에 의한 배출량

CAPSS 배출량과 CleanSYS 배출량과의 차이가 발생하는 주요 원인 가운데 하나는 제품생산량에 의한

배출량 산정이다. 실시간 측정되는 CleanSYS는 굴뚝 측정기이어서 제품생산 공정시설에서 발생하는 오염물질 배출량이 일부 측정되거나 또는 전혀 측정되지 않을 수도 있다. 그 결과, 공정시설에서 제품생산량에 의한 CAPSS 배출량과의 차이가 발생한다. 따라서 CleanSYS 배출량이 전무할 경우, 제품생산에 의한 CAPSS 배출량을 그대로 적용하였다.

3. 배출량 산정 결과 및 비교

3.1 사업장 분류 결과 및 비교

CleanSYS가 부착된 사업장 가운데 138개 사업장의 굴뚝 및 배출시설을 대상으로 배출량을 산정하였다. 표 7과 같이 사업장 수는 같으나 CAPSS에서 배출시설이 많은 이유는 CAPSS의 산정방법론상 연료사용량, 제품생산량, 소각량과 같은 개별 활동도에 따라 각각 배출량이 산정되어 활동도가 다수인 동일 배

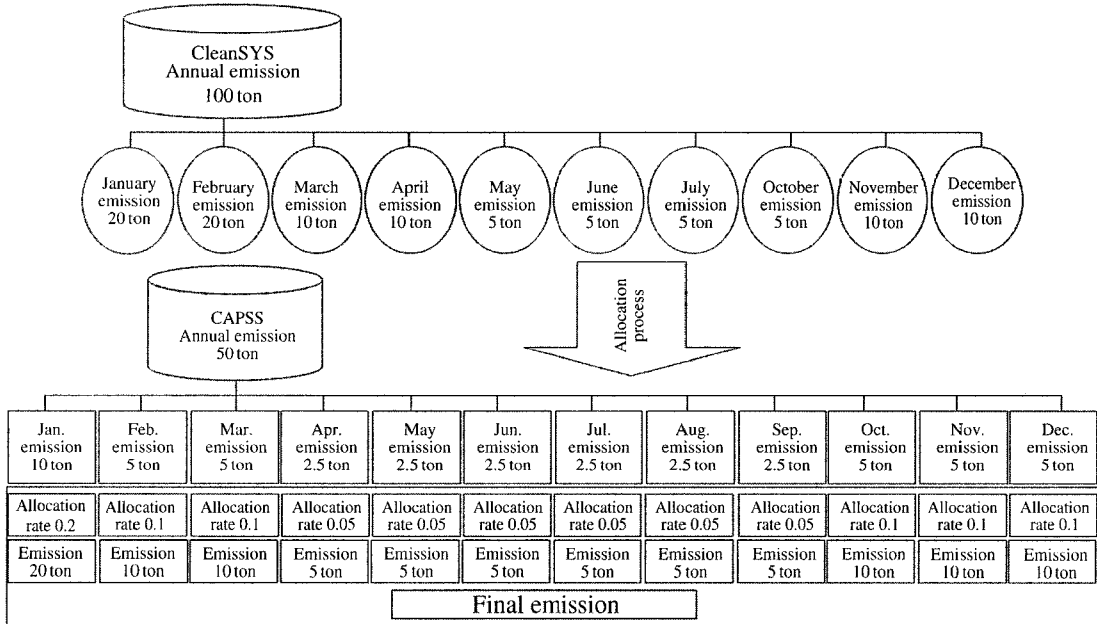


Fig. 4. CleanSYS emission allocated to final CAPSS monthly emission.

Table 5. Monthly fuel consumption recorded in SODAC database.

Year	Workplace name	Scale	Industry type								Stack No.	CleanSYS No.	Facility
2006	A Chemical. co. ltd	1	Fertilizer manufacturing								3	7	Boiler 5
Fuel	Unit	Total	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
B-C (0.3%)	kL	1,726	-	-	429	-	-	-	-	5	1,021	271	-

Table 6. Final CAPSS monthly emission estimated by CAPSS database.

Year	Workplace name	Scale	Facility name								Facility information	Pollutants
2006	A Chemical. co. ltd	1	Boiler								3-5-1-1	SO _x
Unit	Total	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
kg	7,059	-	-	1,755	-	-	-	-	20	4,176	1,108	-

출시설이 중복되었기 때문이다. 이는 연료사용과 제품생산이 동시에 이뤄지는 배출시설의 경우, CAPSS에서는 분류체계상 제조업연소와 제품생산으로 구분되지만 CleanSYS에서는 굴뚝 배출량을 기준으로 하므로 하나의 시설로 간주되기 때문이다.

3.1.1 배출원 분류 결과 비교

분류체계는 CAPSS의 11개 대분류체계 가운데 점오염원이 산정되는 에너지산업연소, 비산업연소, 제조업연소, 제품생산공정, 폐기물처리부문의 5개 분류체계만 적용하여 구분하였으며, 사업장 수 역시 동일 사업장의 배출시설이 대분류별로 각각 나뉘질 수 있

Table 7. Workplace and facilities classified by provincial areas.

Provincial areas	CleanSYS		CAPSS	
	Workplace number	Facilities number	Workplace number	Facilities number
Seoul	10	18	10	19
Incheon	18	74	18	83
Busan	7	19	7	22
Daegu	6	15	6	20
Gwangju	3	4	3	6
Daejeon	4	12	4	12
Ulsan	31	183	31	233
Gyeonggi	53	129	53	161
Gangwon	5	24	5	40
Jeonnam	1	1	1	1
Total	138	479	138	597

Table 8. Workplace and facilities by CAPSS SCC.

SCC	Source categories	CleanSYS		CAPSS	
		Workplace number	Facilities number	Workplace number	Facilities number
01	Energy industry combustion	32	152	32	197
02	Non-industry combustion	2	2	2	3
03	Manufacturing industry combustion	49	202	49	248
04	Production process	10	27	15	46
09	Waste treatment and disposal	67	96	67	103
	Total	160 (138)	479	165 (138)	597

*() is original workplace number

Table 9. Comparison of air pollutants emission between the regions.

(Unit: ton/year)

Region	SO _x			NO _x			PM ₁₀		
	CAPSS	CleanSYS	Difference	CAPSS	CleanSYS	Difference	CAPSS	CleanSYS	Difference
Seoul	1,328.2	81.7	1,246.5	134.4	288.2	-153.8	20.7	12.7	8.2
Incheon	36,227.7	3,839.6	32,388.1	3,204.0	7,845.8	-4,641.7	671.8	453.2	218.6
Busan	10,282.6	955.7	9,326.9	1,381.9	1,202.2	179.9	384.7	91.0	293.7
Daegu	2,880.0	1,207.9	1,672.1	2,595.0	936.9	1,658.1	124.5	40.0	84.5
Gwangju	248.7	55.3	193.5	53.0	75.1	-22.1	5.3	1.8	3.5
Daejeon	1,347.7	685.7	662.0	737.5	555.2	182.3	9.6	21.5	-11.8
Ulsan	28,051.7	28,084.3	-32.6	28,904.3	14,619.2	14,285.1	6,008.6	918.2	5,090.5
Gyeonggi	25,286.0	9,165.0	16,121.0	9,020.3	16,542.1	-7,521.8	475.6	337.5	138.0
Gangwon	30,336.1	8,334.3	22,001.8	8,526.5	18,171.9	-9,645.5	235.9	406.2	-170.3
Jeonnam	2.7	0.1	2.6	0.1	0.2	-0.2	0.04	0.04	0.0
Total	135,991.4	52,409.5	83,581.9	54,557.0	60,236.7	-5,679.7	7,937.0	2,282.2	5,654.9

기 때문에 동일사업장이 중복 산정될 수 있다. 표 8 과 같이 사업장을 대분류별로 살펴보면 폐기물처리 부문의 사업장 수가 가장 많고, 제조업연소부문, 에너

지산업연소부문 순으로 나타났다. 배출시설은 제조업 연소부문, 에너지산업연소부문, 폐기물처리부문 순으로 폐기물처리부문이 사업장 대비 배출시설이 적고

Table 10. Comparison of air pollutants emission by SCC.

(Unit: ton/year)

Source categories	SO _x			NO _x			PM ₁₀		
	CAPSS	CleanSYS	Difference	CAPSS	CleanSYS	Difference	CAPSS	CleanSYS	Difference
Energy industry combustion	98,513.8	24,013.9	74,499.9	20,671.6	32,554.1	-11,882.5	1,827.9	1,038.8	789.1
Non-industry combustion	277.6	7.3	270.3	0.9	46.9	-46.1	1.2	1.7	-0.5
Manufacturing industry combustion	24,322.3	16,155.6	8,166.7	15,718.9	26,319.3	-10,600.5	5,815.4	1,095.0	4,720.3
Production process	7,662.2	11,711.2	-4,049.0	17,474.0	154.8	17,319.2	201.3	64.0	137.3
Waste treatment and disposal	5,215.4	521.4	4,694.0	691.7	1,161.6	-469.9	91.3	82.7	8.6
Total emission	135,991.4	52,409.5	83,581.9	54,557.0	60,236.7	-5,679.7	7,937.0	2,282.2	5,654.9

에너지산업연소부문, 제조업연소부문은 사업장 수는 적으나 배출시설 수가 상대적으로 많음을 알 수 있다.

3. 2 사업장 배출량 결과 및 비교

3. 2. 1 시도별 배출량 비교

2006년 배출량이 산정된 138개 사업장의 CAPSS 배출량과 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량은 표 9와 같다. SO_x, NO_x, PM₁₀의 3가지 오염 물질을 대상으로 배출량을 비교하였다.

SO_x의 경우 울산울산을 제외한 전 지역에서 CAPSS에 비해 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 더 적게 나타났다. CleanSYS 총배출량은 CAPSS 총배출량보다 61.5% 감소된 5.2만 톤이며, 지역별로는 울산광역시에서 배출량이 가장 많았으며, 경기도와 강원도 순으로 배출량이 산정되었다. 배출량 차이는 CAPSS 배출량 대비 CleanSYS 배출량의 89.4%가 감소된 인천광역시에서 가장 많은 3.2만 톤으로 나타났다. 강원도와 경기도에서도 감소량이 많음을 알 수 있다. 특이한 점은 울산광역시에서 CAPSS 배출량과 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 거의 비슷하다는 점이며, 그 차이는 CAPSS 배출량 대비 CleanSYS 배출량이 불과 0.1% 증가한 2.8만 톤이다.

NO_x는 SO_x와 달리 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 CAPSS 배출량보다 많게 나타났으며 10개 시도 가운데 3개 시도를 제외한 7개 시도에서 배출량이 증가하였다. CleanSYS 총배출량은 CAPSS 배출량에 비해 10.4% 증가한 6.0만 톤이며

강원도와 경기도에서 배출량이 가장 많았다. 배출량 차이는 CAPSS 배출량보다 1.4만 톤이 감소한 울산광역시에서 가장 많았으며, 1.0만 톤이 증가한 강원도, 0.8만 톤이 증가한 경기도 순으로 나타났다.

PM₁₀은 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 CAPSS 배출량보다 더 적게 나타났으며, 10개 시도 가운데 2개 시도를 제외한 8개 시도에서 배출량이 감소하였다. 오염물질가운데 CAPSS 대비 감소율이 가장 크며, CleanSYS 배출량은 CAPSS 배출량 대비 71.2% 감소한 0.2만 톤이다. PM₁₀ 배출량 차이의 대부분은 울산광역시에서 발생하였으며, CleanSYS 배출량이 CAPSS 배출량 대비 84.7% 감소한 0.5만 톤으로 나타났다.

3. 2. 2 배출원별 배출량 비교

CAPSS의 배출원 분류에 의한 배출량 분류 결과는 표 10과 같다. CAPSS 배출량과 CleanSYS 배출량 모두 에너지산업연소부문에서 SO_x, NO_x 배출량이 가장 많았으며, 그 가운데 공공발전의 기여도가 가장 높았다. 사업장수가 가장 적은 에너지산업연소부문에서 높은 배출량 기여도를 나타낸 것은 이 부문에서 화력발전소와 같은 초대형 배출시설이 존재함을 의미한다. PM₁₀의 경우 제조업연소부문에서 가장 많이 배출됨을 알 수 있다.

CAPSS와 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량을 비교한 결과 SO_x와 PM₁₀은 총배출량이 감소하였으나, NO_x의 경우는 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량에서 높게 나타났다.

SO_x의 경우 에너지산업연소부문 등에서 약 7.5만

톤의 배출량 감소가 이뤄져, 전체 감소량의 89.1%를 차지하였다. 연료사용량만 활동도로 활용하는 에너지 산업연소부문은 일부 대형사업장에서 흡수탑과 같은 적절한 방지시설을 설치했음에도 불구하고 SODAC에 미기재함으로써 방지효율이 적용되지 않았거나 실제처리효율보다 낮은 방지효율이 적용됨으로써 실 측정값과의 배출량 차이가 크게 나타났다. 한편 일부 사업장에서는 방지시설의 연식에 따라 실 효율은 저하되나 매년 설계 효율만을 입력함으로써 실 측정 배출량인 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 상대적으로 높게 나타난 경우도 있었다. 유일하게 생산공정부문에서 0.4만 톤이 증가하였으나 전반적으로 배출량이 감소하였음을 알 수 있다. CleanSYS 총배출량은 5.2만 톤이며, CAPSS 배출량 대비 배출량 차이는 8.4만 톤이다.

NO_x 는 SO_x 와 달리 생산공정부문에서 배출량이 가장 많이 감소하였으나, 에너지산업연소, 제조업연소부문에서도 비슷한 양의 배출량이 증가하였다. 따라서 전체 CleanSYS 배출량은 6.0만 톤으로 CAPSS 배출량 대비 0.6만 톤이 증가하였다. 재회수과정, 내부 확산, 화학반응기작 등 생산공정 부문에서의 배출량으로 인하여 굴뚝에서 측정되는 CleanSYS 배출량이 CAPSS 배출량에 비하여 감소한 것으로 사료된다. 이와 달리 화력발전소와 같은 대형사업장에서 설치된 방지시설 가운데 저 NO_x 버너 등은 일반적으로 방지효율이 20~50%에서 적용되고 있으나(환경부, 2004) 일부 저 NO_x 버너 가운데 Ultra 저 NO_x 버너의 경우에는 60% 이상의 효율을 나타내기도 한다. 따라서 CleanSYS에서 배출량이 CAPSS 배출량보다 더 적게 나타나는 원인이 될 수도 있다.

PM_{10} 의 경우는 비산업연소부문을 제외한 모든 배출원에서 CleanSYS에서 측정된 굴뚝 값을 적용한 배출량이 감소하였다. CleanSYS 총배출량은 0.2만 톤으로, CAPSS 대비 배출량 차이는 0.6만 톤이며 특히 PM_{10} 감소량의 83.5%가 제조업연소부문에서 감소되었다. 제조업연소부문은 크게 연소시설과 공정로 부문으로 구분되며 연소시설에서 0.5만 톤의 감소가 이루어졌으나, 공정로에서는 0.03만 톤의 배출량이 증가하였다. 연소시설의 0.5만 톤의 감소량이 이뤄진 주요 업종은 1차 비철금속을 제조하는 사업장으로 연소시설의 연료로 유연탄을 사용하지만, 방지시설을 미기재한 결과 발생량이 그대로 배출량으로 산정되

었기 때문이다.

4. 결 론

CleanSYS가 부착되어 있는 379개 사업장 가운데 138개 사업장에 대한 실측값을 적용한 CleanSYS 배출량을 기존 배출계수를 이용한 CAPSS 배출량과 상호 비교·분석한 결과는 다음과 같다.

1) CleanSYS 배출량과 CAPSS 배출량을 비교한 결과 SO_x 의 경우 CAPSS 배출량 대비 61.5%, PM_{10} 은 71.2% 감소하였으며 반대로 NO_x 는 10.4% 증가하였다. 감소량은 황산화물이 8.4만 톤으로 가장 많았으나, 감소율은 PM_{10} 이 더 큰 것으로 나타났다.

2) 시도별 배출량은 SO_x 의 경우 울산광역시에서 가장 많이 배출되었으나 CleanSYS 배출량과 CAPSS 배출량이 상호간 비슷하며 배출량 차이는 CAPSS 배출량보다 89.4% 감소한 인천광역시에서 가장 많았다. CleanSYS의 NO_x 배출량은 강원도에서 가장 많은 1.8만 톤을 배출하였으나, 배출량 차이는 1.4만 톤 감소한 울산광역시에서 가장 많았다. PM_{10} 은 울산광역시에서 CAPSS 배출량 대비 84.7% 감소한 0.09만 톤으로 가장 많이 배출하였으며, 배출량 차이가 가장 많이 나는 지역 역시 울산광역시이다.

3) 배출량을 CAPSS SCC에 의해 분류한 결과 SO_x 는 에너지산업연소부문, NO_x 는 생산공정부문, PM_{10} 은 제조업연소부문에서 가장 많은 배출량 차이를 나타냈다. SO_x 의 경우 방지시설의 미적용 및 방지효율 적용 차이가 그 원인으로 판단되며, NO_x 는 생산공정에서 발생하는 오염물질을 굴뚝에 부착된 CleanSYS에서 측정하지 못하거나, NO_x 방지시설의 효율을 제대로 적용하지 못하여 배출량 차이가 발생하는 것으로 추정된다. PM_{10} 의 배출량 차이는 1차 비철금속을 제조하는 사업장에서 방지시설을 미기재한 것이 주요 원인이 되었다.

4) 점오염원 특히, 사업장 배출량 산정은 대기정책 수립 및 배출원 관리를 위한 중요한 기본 자료로서 신뢰성 및 정확성의 확보가 매우 중요하다. 본 연구는 기존의 배출계수법을 적용한 CAPSS 배출량 자료의 단점을 보완하고자 실측값인 CleanSYS 배출량 자료를 CAPSS에 적용해 보고자 하였으며, 그를 위한 재산정 작업을 실시하여 비교 분석하여 보았다.

비교 결과, 기존 CAPSS 배출량과 CleanSYS를 적용한 CAPSS 배출량에는 다소 차이가 발생하나 사업장 배출량 신뢰도 향상을 위하여 실 배출량 자료를 이용한 배출량 산정법 개발을 시도한 연구로서 의미가 크다고 사료된다. 궁극적으로 CleanSYS 배출량을 CAPSS 배출량에 반영하기 위해서는 전문가 의견 수렴, 배출량 신뢰도 평가 등을 통해 CleanSYS 배출량의 신뢰성을 확보함과 동시에 산정기법에 대한 보완 작업이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 국립환경과학원 (2007) 대기오염물질 배출량 산정방법 편람, 국립환경과학원 연구보고서 11-1480523-000189-01.
- 국립환경과학원 (2008) 대기오염물질 배출량 2006, 국립환경과학원 연구보고서 11-1480523-000198-10.
- 노재식 (1996) 대기질 관리정책의 현황과 평가, 한국대기환경학회 21세기 정책수립을 위한 대토론회 요지집, 11-23.
- 박기혁, 박영호, 이창호, 전정수, 이광호, 유재진, 안성준, 이혜영 (2007) 굴뚝 CleanSYS (굴뚝원격감시체계) 활용을 통한 2006년도 오염물질 발생현황, 한국대기환경학회 2007 추계학술대회 논문집, 224-225.
- 신원근, 이호균, 윤영봉, 김홍록, 마영일, 우정현, 신우영 (2007) 굴뚝자동측정기기를 이용한 대기배출시설의 계절적 배출경향 분석, 한국대기환경학회 2007 추계학술대회 논문집, 221-223.
- 전의찬 (2005) 대기환경관리와 기후변화협약 대응 정책의 통합관리 및 평가 방안, 한국대기환경학회 2005 추계학술대회 논문집, 47-53.
- 환경부 (2004) 대기오염물질 배출 사업장 중 산정방법 변경에 따른 업무처리지침.
- 환경부 (2007) 굴뚝원격감시체계 업무편람.
- Coutinho, M., R. Rodrigues, J. Ferreira, M. Lopes, and C. Borrego (2006) Comparison of european national legislation efficiency on the reduction of air pollutant emissions, J. Air & Waste Manage. Assoc., 56, 317-321.
- Pham, T.B.T., K. Manomaiphiboon, and C. Vongmahadlek (2008) Development of an inventory and temporal allocation profiles of emissions from power plants and industrial facilities in Thailand, Science of the Total Environment, 397, 103-118.
- U.S. EPA (2003) Part 75 CEMS Field Audit Manual.