SRF 사용 시 발생되는 대기오염물질 (PM, NO_x)의 국가배출량 기여도 평가

SRF Combustion Pollutants' Impact on Domestic Emissions Assessments

김상균·장기원·김종현·유 철·홍지형·김형천* 국립환경과학원 대기공학연구과 (2012년 10월 10일 접수, 2012년 11월 1일 수정, 2012년 11월 7일 채택)

Sang-Kyun Kim, Kee-Won Jang, Jong-Hyeon Kim, Chul Yoo,
Ji-Hyung Hong and Hyung-Chun Kim*

Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research
(Received 10 October 2012, revised 1 November 2012, accepted 7 November 2012)

Abstract

Recently, yearly production of SRF (Solid Recovered Fuel) as an alternative fuel has been rapidly increasing because of the limited waste disposal, rise in oil prices and reduction of greenhouse gas emission. However, SRF using facilities are excluded from the National Air Pollutant Emission Estimation because SRF using facilities are not yet included among the SCC (Source Classification Code). The purpose of this research was to estimate the emission and emission factor of SRF using facilities' PM and NO_x , in order to investigate whether or not they are included in the National Air Pollutant Emission Estimation.

The emission factors of SRF using facilities' PM and NO_x are calculated as 0.216 kg/ton, and 3.970 kg/ton, and the emission was estimated based on the yearly total SRF usage of 2011. The results above was 18.7% for PM and 12.8% for NO_x emissions from combustion facility (SCC2) in manufacturing industry combustion (SCC1) of CAPSS. If CAPSS estimate the emission by adding SCC on unlisted SRF in case of Boiler (SCC3) fuel, both PM and NO_x 's emissions would increase by 15.8% and 11.3% compare to the emissions for the existing combustion facility. As a result, emissions caused by SRF should be considered when calculating the National Air Pollutant Emission Estimation. In addition, further researches to develop emission factor and improve subdivided SCC should be done in the future, for the accurate and reliable estimation of National Emission.

Key words: SRF, CAPSS, SCC, Emission factor, Emission, PM, NO_x

Tel: +82-(0)32-560-7347, E-mail: khcwing@korea.kr

^{*}Corresponding author.

1. 서 론

국민의 '삶의 질' 개선에 대한 욕구에 부응하고자 정부는 연료규제, 배출허용기준 제정 및 강화 등 다 양한 대기관리정책을 추진하였다. 그 결과 일반 대기 오염물질에 대한 저감 목표를 달성한 바 있다. 특히 아황산가스, 일산화탄소 농도와 같은 경우 이미 대기 환경기준에 훨씬 밑도는 수준을 유지하고 있는 상황 이다. 또한 미세먼지 (PM₁₀), 휘발성유기화합물 (VOCs) 등 새롭게 부각되는 유해대기오염물질에 대한 대책 마련을 위한 노력을 경주하고 있다. 이러한 정책 수 립 및 시행의 바탕에는 국립환경과학원에서 운용하고 있는 대기정책지원시스템 (Clean Air Policy Support System, CAPSS)이 있으며, 동 시스템은 국가대기오 염물질 배출량을 산정하여 지원하고 있다. 대기오염 물질 배출량 자료는 통계자료로서의 정확도 및 신뢰 도 확보가 필수적이다. 따라서 CAPSS 역시 배출량 자료의 질적 향상을 위하여 과학적이고 체계적인 기 초자료 수집 및 분석, 배출원 추가, 배출계수 및 활동 도 개선 등을 이루고 있다. 이를 통해 대기오염물질 배출량 산정 방법론 개선, 배출량 산정 및 검증 절차 표준화 등의 노력을 기울이고 있다(NIER, 2010).

최근, 안정적인 에너지 확보를 위하여 신ㆍ재생에 너지 개발 및 생산이 보다 시급히 해결하여야 하는 문제로 부각되고 있으며, 이에 따라 신ㆍ재생에너지 사용이 급증하고 있다. 신ㆍ재생에너지 중에서는 폐 기물고형연료(Solid Recovered Fuel, SRF)가 약 80% 이상을 차지하고 있고, 이 부분에 대한 대기오염물질 배출량 산정 및 검증 절차가 요구되고 있다(MEV, 2008). 폐기물을 이용한 에너지화 기술은 폐기물의 지속적인 증가 및 처리의 한계, 화석연료 대체, 온실 가스 저감 등의 문제를 동시에 해결할 수 있는 효과 적인 대책방안으로 인식되었다. 따라서 전세계적으로 1990년 초반부터 많은 폐기물 에너지화 기술이 개 발 · 공급되고 있고, 우리나라도 2008년 '폐기물 에너 지화 종합대책'이 수립되어 폐기물 에너지화 기술이 탄력을 받으면서, SRF 사용시설이 급증하고 있다 (NIER, 2011a). 이로 인하여 SRF가 기존 화석연료를 대체함으로써 화석연료 사용량이 감소되고 있다. 그 러나 현재 국가 대기오염물질의 배출량 산정시 SRF 사용시설을 대상으로 한 배출량을 산정하지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우선 SRF 사용시설에서의 대기오염물질 중 TSP(이하 PM) 및 NO_x 배출계수를 개발하고, 이들 오염물질 배출량을 산정하였다. 또한, 국가 대기오염물질 배출량과 비교하여 SRF사용에 따른 배출기여도를 평가하였다. 이를 바탕으로 궁극적으로 CAPSS 배출원 분류체계 목록(Source Classification Code, SCC) 부여를 검토하고 국가 대기오염물질 배출량 산정에 필요한 필수자료 생성을 목적으로 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 추진 과정

대기오염물질 배출량 자료는 대기보전 정책수립에 필요한 가장 중요한 기초자료이다. 주로 대기관리정 책 수립 및 평가에 활용되며 기존 배출원 관리 및 신규 배출원 평가, 대기질 모델링 입력자료 활용, 환 경영향평가 등의 다양한 분야에 활용된다(Kim et al., 2008). 국가 대기오염물질 배출량을 산정하는 CAPSS 는 유럽 환경청의 CORINAIR (CORe Inventory of AIR emissions)와 한국표준산업분류(Korean Standard Industrial Classification, KSIC)를 기반으로 4개의 분류 체계로 구성되어 있다(Lee et al., 2011; EEA, 2006). 이것은 대분류(SCC1, 12개), 중분류(SCC2, 58개), 소 분류(SCC3, 334개) 및 세분류(SCC4, 578개)로 이루 어진다. 배출량 산정 대상항목은 CO, NO,, SO,, TSP, PM₁₀, VOC, NH₃이다 (NIER, 2011b). 물질별 배출량 산정을 위한 배출계수는 대부분 AP-42 5th ed. (US EPA, 1995~2000) 등 국외 자료를 이용하고 있다. 그 러나 일반적으로 사업장의 오염물질별 배출량은 국 외 배출계수(기본값)를 적용했을 경우 실측을 기반 으로 산정한 배출량과는 차이를 보이는 것으로 알려 져 있다(Jang et al., 2009). 따라서 세계적으로 각 국 가별 고유값이 있는 경우에는 기본값에 앞서서 자국 의 고유배출계수를 적용하도록 권고하고 있으며, 선 진국에서도 이러한 고유값을 확보하고자 다양한 연 구가 진행되고 있다(Jeon et al., 2007; AGO, 2001; US EPA, 2000). 우리나라 역시 배출원별·항목별 고유 배출계수 마련이 시급한 실정이다. CAPSS에서는 신 뢰성 높은 배출량 산정을 위하여 국외 배출계수보다 국내 특성에 맞는 배출계수를 개발하여 대체하고, 이와 더불어 배출량 산정에 있어서 누락되어 있는 SCC를 부여하는 작업을 지속적으로 추진하고 있다.

본 연구에서는 사용량이 급증하고 있는 SRF의 SCC 부여 가능성을 검토하고자 SRF 사용시설에서의 PM 및 NO_x의 배출계수 개발, 배출량 산정 및 배출 량에 대한 기여도 평가 등을 수행하였다.

2.2 국내 SRF 제조 및 사용 현황

US ASTM (American Society for Testing Materials) 에서는 RDF (Refuse Derived Fuel)를 7가지로 구분하

Table 1. The quality and grade standard of SRF.

	Grade			
	1st	2nd	3rd	4th
Net calorific value (kcal/kg)	>6,500	5,500~ 6,500	4,500 ~ 5,500	3,500~ 4,500
Chlorine (% wt.)	< 0.5	$0.5 \sim 1.0$	$1.0 \sim 1.5$	$1.5 \sim 2.0$

고 있다. RDF-1부터 RDF-2까지는 가공을 전혀 하지 않았거나 단순 가공을 한 것이다. RDF-3부터 RDF-7 까지는 연료의 형태를 갖추어 수송이나 저장이 가능 하며, 산업용 연료로서 가치가 있는 것으로 분류하고 있다(NIER, 2010). 국내에서의 SRF는 구성성분에 따라 RDF, RPF (Refuse Plastic Fuel), TDF (Tire Derived Fuel), WCF (Wood Chip Fuel)의 4종류로 분 류된다. SRF는 저위발열량, 염소량에 따라 표 1과 같 이 1~4단계로 나누어 등급을 부여하며, 회분 및 수 분량의 기준을 설정하여 표 2와 같이 품질 등급을 부여하고 있다(MEV, 2009). 2007년 이후 SRF 제조 업체 및 생산량은 그림 1과 같이 매년 증가하고 있 으며, 2011년 말 현재 총 540,000 ton/yr을 생산하였 다. SRF 중에서 RPF (44.4%), WCF (38.9%)가 대부분 을 차지하고 있다(NIER, 2011a). RPF와 WCF는 원 료공급이 안정되어 있어 대량 생산이 가능하며, 성분 의 균질화로 인하여 대체연료로 주로 사용하고 있다. 특히 RPF는 B-C유 수준의 높은 발열량을 지니고 있

Table 2. The net calorific value and chlorine grade of SRF.

Fuel type	Component	Net calorific value	Chlorine	Ash	Moisture
RDF	Combustible (without incombustibles, Organic matter and PVC	3rd	3rd∼4th	(Fuel weight)	
RPF	Waste Plastic (60% over)	$1st \sim 2nd \qquad \qquad 1st \sim 4th$		20% below	(Fuel weight)
TDF	Waste Tires	1st	1st	(Fuel weight) 4 % below	20% below
WCF	Waste Wood (1st and 2nd class)	4th	1st	(Fuel weight) 8% below	

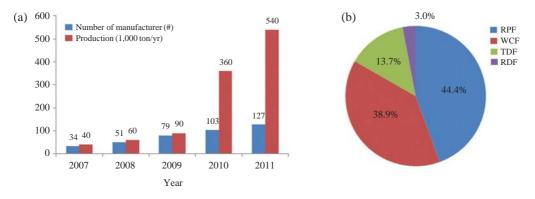


Fig. 1. (a) Yearly status of solid recovered fuel manufacturer and output (b) Solid recovered fuel usage ratio in 2011.



Fig. 2. Example of RPF.

Table 3. General information of the target facilities.

Facilities	Industrial type	Capacity (ton/day)	Boiler type	Control device
A	Dyeing and Finishing of Fibers and Yarns	14.4	Stoker	Cyclone, SDR, B/F
В	Manufacture of Starches and Glucose or Maltose	19.2	Stoker	Cyclone, SDR, B/F
C	Dyeing and Finishing of Fibers and Yarns	15.6	Stoker	Cyclone, SDR, B/F
D	Dyeing and Finishing of Fibers and Yarns	17.9	Stoker	Cyclone, SDR, B/F
E	Manufacture of Shaped Wood Products and Wood for Special Purpose	20.3	Stoker	SNCR, SDR, B/F
F	Dyeing and Finishing of Fibers and Yarns	9.5	Circulating fluidized bed	Cyclone, SDR, B/F

어 더욱 각광받고 있으며, 그 형태는 그림 2와 같다.

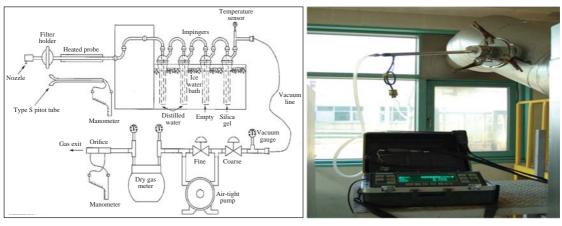
2.3 대상시설 선정 및 일반 현황

RPF를 비롯한 대부분의 증기생산을 위한 시설에 서 화석연료의 대체연료로서 사용된다. 단, 화력발전 및 시멘트 소성시설과 같은 대형연소시설에서는 화 석연료의 보조연료로 사용하고 있다. 본 연구에서는 SRF 중 국내 사용량이 가장 많은 RPF를 사용하는 시 설을 대상시설로 선정하였다. 선정 방법은 국립환경 과학원 (National Institute of Environmental Research, NIER) 대기배출원관리시스템 (Stack Emission Management System, SEMS)의 DB를 이용하였다. 전용연소 보일러를 사용하는 1~2종 사업장 중 연소방식, 방지 시설 등을 고려하여 6개 대상시설을 선정하였다. 조 사 대상 6개 시설 중 A와 F는 기존의 화석연료 사용 시설을 변형한 시설이며 다른 4개 시설은 RPF를 대 체연료로 사용하기 위한 신규 시설이었으며 방지시 설의 현황, 시설용량 등의 기초자료는 표 3과 같다. 대상시설 모두 CAPSS 분류체계 중 제조업연소에 포

함되며, 공정에 필요한 증기 생산을 위해 화석연료의 대체연료로 RPF를 사용하는 시설이다. 방지시설은 대부분의 시설에서 입자상 물질을 제거하기 위해 원 심력집진시설 (Cyclone)과 여과집진시설 (Bag Filter, B/F)을 운영하고 있다. 또한 가스상 물질 제거를 위해서 반건식 반응탑(Semi-Dry Reactor, SDR)을 운영하고 있다. 일부 사업장에서는 NO_x 제거를 위하여 선택적 비촉매환원장치(Selective Non-Catalystic Reduction, SNCR)를 운영하고 있다.

2.4 시료채취 및 분석

배출가스 중 PM의 시료채취는 방지시설을 거친 굴뚝에서 각 대상시설별로 대기오염공정시험기준 중 ES 01301.1 (EPA M-5와 동일)에 준하여 3회씩 시료를 채취하였다(그림 3). 배출가스의 유속, 온도, 압력 (동압, 정압), 수분량 등을 측정하여 등속흡인속도와 유량을 조절하였다. 흡인펌프의 흡인 능력을 감안하여 최적의 노즐직경을 선정한 후, 시료채취 시간을 결정하였다. 시료채취의 유량은 예비실험을 통하여



(a) Sampling device

(b) Portable NO_x analyzer

Fig. 3. Schematic of PM & NO_x sampling.

Table 4. Emission factor equation of PM, NO_x.

Pollutants	Equation	Parameter	
PM, NO _x	Emission factor (kg/ton)= $\frac{Q_i \times C}{M} \times 10^6$	Qj=Total gas volume (m³/hr) C=Concentration (ton/m³) M=Fuel consumption (ton/hr)	

각 사업장별 최적 유량으로 선정하였으며, 최소 1 m³ 이상의 유량으로 하였다. 시료채취가 완료된 여지는 배출가스의 온도와 동일한 온도에서 건조하여 수분을 증발시켰다. 이후 데시케이터 내에서 실온까지 냉각하여 무게를 0.1 mg까지 정확히 칭량하였다. 칭량된 무게에 온도와 압력을 보정한 건조가스유량(Sm³)으로 나누었다. 마지막으로 SRF 사용시설에서의 표준산소농도(12%)를 적용하여 표준농도로 환산한 후최종적으로 PM 농도(ton/Sm³)로 산출하였다.

NO_x는 B시설을 제외(기기 고장으로 인하여 측정 누락)한 5개 시설을 대상으로 PM 시료채취가 이루어지는 동안 휴대용 가스분석기(BACARACHI, ECA-450)(그림 3)를 이용하여 1분 간격으로 측정하였다. NO_x는 전기화학식 센서를 사용하여 NO, NO₂로 나누어 분석하였으며, 두 값의 합을 NO_x 측정값으로 하였다. 교정가스는 NO 250 ppm, NO₂ 100 ppm을 사용하였다. 측정값은 가스분석기에 자동 저장된 수 백개 데이터의 평균농도(ppm)에 표준산소농도를 적용하여 환산한다. NO_x 배출량 산정을 위하여 측정된 ppm 농도에 기체 체적(22.4 m³) 당 NO₂ 분자량(46 mg)을

곱한 후 표준산소 농도 보정을 하여 중량단위의 NO_x 농도 (mg/Sm^3) 를 산출하였다.

2.5 배출계수 및 배출량 산정

본 연구에서 도출하고자 하는 RPF 사용시설에서의 PM 배출계수는 방지시설 후단에서 측정한(Controlled) 배출계수이다. NOx의 경우 5개 시설 중 E사업장을 제외한 4개 시설은 NOx 방지시설이 설치되지 않은(Uncontrolled) 배출계수이며 산정방법은 표 4와 같다. 배출계수 산정 중 PM 및 NOx 농도(mg/Sm³)와유속(m/sec)은 실측에 의한 값들이다. 배출가스의 유량(m³/hr)은 유속과 굴뚝 내경(m)을 이용하여 계산하였다. 연료사용량(ton/hr)은 각 사업장에 따라 증기생산량을 조절하기 때문에 시간별로 연료사용량이일정하지 않는다. 따라서 정확한 배출계수 산정을 위하여 측정시간 동안의 연료사용량을 확인하여 적용하였다.

RPF 사용시설에서 PM 및 NO_x 의 연간 배출량은 본 연구를 통하여 도출된 Controlled 배출계수와 연간 RPF 사용량을 활동도로 하여 산정하였으며, 산정

식은 다음 식(1)과 같다.

배출량(ton/yr)=Controlled 배출계수(kg/ton)
× RPF연간사용량(1,000 ton/yr) (1)

2.6 국가배출량 기여도 평가 과정

본 연구에서는 국가 대기오염물질 배출량 중 SRF 사용시설에 의한 기여도 평가를 다음과 같이 수행하 였다. 첫째, RPF 사용시설에서의 PM 및 NO, 배출계 수를 도출하였다. 둘째, RPF, WCF, TDF, RDF 각 연 료별 조성 및 특성이 상이하여 물질별 배출계수는 다 르지만, SRF 사용량을 RPF 사용량과 같다고 가정한 후 활동도로 적용하였다. 셋째, 배출계수와 활동도를 이용하여 PM 및 NO,의 배출량을 산정하였다. 마지막 으로 현재 CAPSS는 Coal 및 B-C유 등의 화석연료 배출계수만을 제시하고 있어 SRF를 사용하는 연소 시설에서의 PM 및 NO_x 배출량은 국가배출량 산정에 누락되어 있다. 이를 보완하기 위하여 본 연구에서 산정된 배출량과 CAPSS 배출량을 비교하였다. 이후 최종적으로 산정된 배출량의 기여도를 평가하고 제 조업의 연소부문 중 연소시설에서 사용되는 SRF를 기존의 화석연료와 같이 연소시설에서 사용하는 연 료로써 SCC를 부여하는 방안을 검토하였다. 이 과정 에서 CAPSS의 SCC체계와 동일하게 부여하기 위해 굴뚝 후단에서 측정된 오염물질별 Controlled 배출계 수는 Uncontrolled 배출계수로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PM 및 NO_√ 농도

대상시설 선정 및 일반현황에서 언급한 바와 같이 기존 시설(2개소)과 신규 시설(4개소)로 혼재 되어 있어 RPF 사용시설에서의 PM 배출계수를 산정하는 과정에서 각 시설별 PM 농도의 경우 다소 큰 편차를 보였으며 표 5와 같다. A시설이 16.7~18.0 mg/Sm³으로 가장 높았으며, 다음으로 F시설로 6.5~7.2 mg/Sm³이었다. 나머지 시설은 1.3~1.8 mg/Sm³으로 비슷한 농도를 보였으며, 전체 평균농도는 5.3 mg/Sm³이었다. A와 F시설과 다른 4개 시설의 결과가 다소 큰 차이를 보이는 이유는 A와 F시설의 경우 기존의화석연료 사용 시와 동일한 시설을 변형하여 운영하

Table 5. Emission concentration of PM & NO_x.

		PM		NO_x		
Facilities	Test no.	Concentration (mg/Sm³)	Test no.	Concentration (mg/Sm ³)		
	1	17.8	Max	97.6		
A	2	18.0	Min	44.6		
	3	16.7	Avg.	67.3		
	1	3.3	Max	_		
В	2	3.2	Min	_		
	3	3.4	Avg.	_		
	1	1.7	Max	96.4		
C	2	1.7	Min	66.7		
	3	1.6	Avg.	80.1		
	1	1.6	Max	212.8		
D	2	1.6	Min	71.9		
	3	1.3	Avg.	105.1		
	1	1.8	Max	118.5		
E	2	1.8	Min	73.8		
	3	1.4	Avg.	103.5		
	1	7.1	Max	95.8		
F	2	7.2	Min	34.2		
	3	6.5	Avg.	69.7		
	Sub-avg.	5.3	Avg.	89.6		

는 관계로 연료투입이 연속적으로 정량 투입되는 자동 공급 장치와는 달리 반자동식으로써 일정한 연료 공급이 이루어지지 않아 불완전연소가 반복적으로 이루어지기 때문이며, 방지서설의 노후화 등 시설관리 미흡 문제가 또 다른 요인으로 작용하였다고 판단된다.

NO_x는 PM 측정이 이루어지는 동안 연속 모니터링 방식으로 1분 간격으로 자동 저장하는 방식으로 측정하였다. 저장된 수 백개의 데이터는 평균값, 최대값 및 최소값으로 표현하였다. A와 F시설에서 NO_x 농도는 각각 67.3, 69.7 mg/Sm³으로 다른 3개 시설에 비해 낮았으며, C, D, E시설의 경우는 각각 80.1, 105.1, 103.5 mg/Sm³이었다. 전체 시설의 평균농도는 89.6 mg/Sm³이었으며, 모든 시설에서 배출허용기준을 초과하지는 않았다(표 5).

 NO_x 의 경우 연료의 조성, 연소 조건 등에 따라 배출농도에 차이를 보인다($Van\ et\ al.$, 1997). 본 연구에서의 시설별 NO_x 결과는 PM 농도와 반비례의 상관성을 보이는 것으로 보아 연소로에서 완전 및 불완전 연소의 차이에 의해 발생하는 온도에 의한 영향

이라 판단된다. E시설의 경우 SNCR이 부착되어 있음에도 상대적으로 높은 농도로 분석된 것은 이러한 영향 때문인 것으로 추정되며 보다 정확한 분석을 위하여 향후 추가적인 시설운영 실태 및 측정이 필요할 것으로 본다.

3. 2 배출계수 및 배출량 산정

RPF 사용시설에서 도출된 PM 배출계수는 방지시 설 후단에서 측정된 Controlled 배출계수이다. 반면, NO,는 E시설을 제외한 4개 시설은 방지시설이 갖춰 있지 않아 Uncontrolled 배출계수이며 표 6,7과 같다. 각 시설에서 PM의 배출계수 평균값은 0.216 kg/ton 이며, NO_x의 배출계수 평균값은 3.970 kg/ton이다. 현 재 국가 대기오염물질 배출량을 산정하는 CAPSS 배 출계수는 기본적으로 방지시설 전단에서 측정한 Uncontrolled를 사용한다 (Jang et al., 2011). 따라서 RPF 사용시 배출되는 대기오염물질의 배출계수와 CAPSS 에서 제시하고 있는 화석연료 배출계수를 비교하기 위하여 Controlled 배출계수로 산정된 결과를 Uncontrolled 배출계수로 역환산하였다. 이를 위하여 대상 시설(6개 사업장)에서 매년 입력해야 하는 국가통계 자료인 SEMS에 입력한 자사의 방지시설별(대기오염 물질별) 실제효율을 적용하였다. 다음으로 RDF, LNG, B-C유, 무연탄, 유연탄의 배출계수와 비교하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다. PM의 Uncontrolled 배출계 수는 13.8 kg/ton로 LNG (0.03 kg/ton) 및 B-C유(0.7 kg/ton)에 비하여 수십에서 수백(약 20~460)배 높게 산정되었다. 반면, 무연탄(200 kg/ton)과 유연탄(50 kg/ ton)과 비교 시 낮은 수준이었다. 또한, 동일한 고형

연료인 RDF의 경우 34.8 kg/ton으로 RPF에 비해 약 2.5배 높았다. NO_x 배출계수는 5.4 kg/ton으로 RDF에 비해 약 2배 이상 높은 수준이었으며, B-C유에 비하여 다소 낮았다. 무연탄 및 유연탄 배출계수와 비교한 결과 PM과 달리 비슷한 수준이었다. 기존의 화석연료를 사용하는 시설은 대부분 탈질설비를 가동하고 있는 반면, RPF를 사용하는 시설은 본 연구 조사결과 전체 6군데 가운데 1군데만이 탈질설비를 갖추고 있었다. 이에 화석연료와 RPF 사용시설에 NO_x 최종 배출량은 큰 차이가 발생할 것으로 예상된다. 따

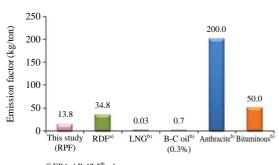
Table 6. Emission factor of PM (Controlled).

Facilities	PM emission factor (kg/ton)
A	0.644
В	0.090
C	0.091
D	0.043
E	0.069
F	0.357
Sub-avg.	0.216

Table 7. Emission factor of NO_x (Uncontrolled).

Facilities	NO _x emission factor (kg/ton)
A	3.461
В	_
C	4.346
D	3.726
E	4.735*
F	3.584
Sub-avg.	3.970

^{*:} Controlled





7 5.6 6 Emission factor (kg/ton) 5 3.7 4 3 2.5 2 1 This study B-C oil^{b)} Anthracite^{b)}Bituminous^{b)} LNG^{b)} RDF^{a)} (RPF) (0.3%)

Fig. 4. Comparison of PM, NO_x emission factors between this study result and others (Uncontrolled).

라서, RPF 사용시설에서의 탈질설비에 관한 엄격한 시설관리가 반드시 필요하다. 배출계수의 정확도 및 신뢰도를 평가하기 위해 US EPA AP-42에서 제시하는 등급(US EPA, 1997)에 적용한 결과 A~D 등급 중 "B" 등급에 해당하였다. 측정방법은 EPA 참고시험법 및 명시된 방법에 의하여 실측하였으나, 충분한

Table 8. Estimated pollutants emission using developed emission factor in this study.

Pollutants	Emission factor (kg/ton)	SRF consumption (1,000 ton/yr)	Emission (ton/yr)
PM	0.216	540	117
NO _x	3.970		2,144

수의 시설을 대상으로 할 수 없었다. 이것은 현행 국 내 배출시설 분류를 명확히 세분화하지 못한 것이 주 요 원인이라고 할 수 있다.

본 연구에서 도출된 배출계수와 연간 사용량을 활동도로 배출량을 산정한 결과 PM 117 ton/yr, NO_x 2,144 ton/yr가 배출되는 것으로 산정되었다(표 8).

3.3 국내 배출량에 미치는 영향 평가 및 SCC 부여 결과

2009년 CAPSS 배출량 가운데 제조업연소(SCC1) 중 연소시설(SCC2)에서 PM 및 NO_x 배출량은 그림 5와 같이 각각 622 ton/yr와 16,750 ton/yr이다. 본 연구에서 산정한 SRF 사용시설의 PM 및 NO_x 배출량을

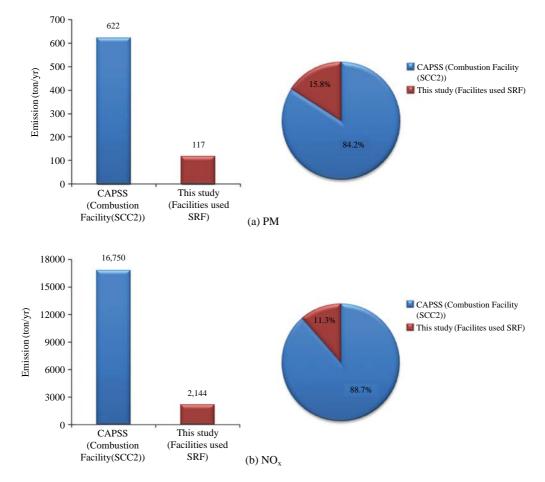


Fig. 5. Comparison of pollutants emission and assessment for PM (a) and NO_x (b) between CAPSS (2009) and this study.

SCC No.	SCC1	SCC2	SCC3	Target fuel	Pollutant	Emission factor (kg/ton)
030010100	Manufacturing industry combustion	Combustion facility	Boiler	CDE	PM	13.8
			Doller	SRF	NO _x	5.4

Table 9. The pollutants emission factors on facility using SRF. SCC was applied to the CAPSS code.

위의 CAPSS 배출량과 비교시 18.7%, 12.8%에 해당한다. 또한 SRF에 대한 SCC를 부여하여 CAPSS 배출량에 포함시킬 경우 제조업연소(SCC1) 중 연소시설(SCC2)의 배출량은 PM 15.8%, NO_x 11.3%가 증가하다.

향후 RPF를 비롯한 SRF는 화석연료 대체연료로 써 사용량은 매년 증가할 것으로 전망된다. SRF 사용시설에서 발생하는 대기오염물질에 대한 기여도 평가는 기존의 화석연료를 대체할 수 있어 이에 대한 국가배출량 산정시 현재와 같이 누락될 경우, 향후 실제 국가배출량이 과소평가될 우려가 있다. 따라서 CAPSS에서 제조업연소(SCC1)-연소시설(SCC2)-보일러(SCC3)에 대한 배출량 산정의 정확도 및 신뢰도 향상을 위해서는 표 9와 같이 SRF에 대한 SCC를 부여하는 것이 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 SRF 사용시설을 대상으로 PM 및 NO_x 의 배출계수 개발과 배출량을 산정하였다. 이를 바탕으로 CAPSS 제조업연소(SCC1)-연소시설(SCC2)의 배출량과 비교함으로써 국내 연소시설의 PM 및 NO_x 배출량 중 차지하는 기여도를 분석하고, 보일러 (SCC3) 연료로써의 SRF에 대한 SCC 부여 여부를 검토하였으며 결과는 다음과 같다.

- 1) 대상시설에서의 PM 및 NO_x 의 평균농도는 5.3 mg/Sm³, 89.6 mg/Sm³이었으며, Uncontrolled 배출계수는 각각 13.8 kg/ton, 5.4 kg/ton으로 산정되었다.
- 2) SRF 사용시설에서의 PM 및 NO_x 배출량은 각각 117 ton/yr, 2,144 ton/yr으로 산정되었다. CAPSS의 제조업연소(SCC1)-연소시설(SCC2)의 배출량의 산정된 PM과 NO_x의 배출량은 18.7%, 12.8%에 해당하는 양이며, SCC를 부여하여 국가배출량에 포함시키면 15.8%, 11.3%의 배출량 증가 효과를 보인다.

3) 국가배출량 기여도 평가에 있어 제조업연소 (SCC1)-연소시설 (SCC2)-보일러 (SCC3)에 화석연료의 대체연료로써 각광받고 있는 SRF에 대한 SCC를 부여하는 것은 필수적이라고 판단된다.

현재 국외에서는 SRF에 관한 연구가 1990년 이후 활발히 진행되고 있으나 우리나라는 2008년 이후 SRF 중 RDF 및 RPF에 관한 소수의 연구만이 진행 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 SRF 대표연료인 RPF 사용시설에서 의 PM 및 NO_x 배출계수를 도출하여 SRF에 관한 SCC 부여의 필요성을 판단하는 기초자료를 제공했다는 점에서 큰 의의가 있다고 할 수 있다. 향후 도출된 배출계수의 신뢰성 및 정확도 향상을 위하여 추가 연구가 진행되어야 할 것이며, RPF를 제외한 WCF 등의 타 재생연료에 대한 연구가 반드시 추진되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

Australian Greenhouse office (2001) Technical guidelines (Generator efficiency standards version 1.2, 14-33.

European Environment Agency (EEA) (2006) EMEP/CORI-NAIR Emission Inventory Guidebook 2006. Technical report No 11/2006, Copenhagen K, Denmark.

Jang, K.W., H.C. Kim, Y.M. Lee, D.J. Song, N. Jung, S.K. Kim, J.H. Hong, S.J. Lee, and J.S. Han (2011) Estimating PM Emission Factor from Coal-Fired Power Plants in Korea, Journal of Korea Society for Atmospheric Environment, 27(5), 485-493.

Jang, K.W., J.H. Lee, S.W. Jung, K.H. Kang, and J.H. Hong (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.

Jeon, E.C., S.H. Myeong, J.H. Jeong, S.H. Lee, J.W. Sa, G.W. Roh, K.H. Kim, and W.S. Bae (2007) Development

- of Emission Factors for Greenhouse Gas (CO₂) from Anthracite Fired Power Plants in Korea, Journal of Korea Society for Atmospheric Environment, 23(4), 440-448.
- Kim, D.G., K.H. Kang, K.W. Jang, J.H. Lee, S.W. Jung, J.H. Hong, and D.I. Jung (2008) Trend Analysis of Air Pollutants Emission in Korea (2001-2006), Proceeding of the 47th Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment, 137-138.
- Lee, D.G., Y.M. Lee, K.W. Jang, C. YOO, K.H. Kang, J.H. Lee, S.W. Jung, J.M. Park, S.B. Lee, J.S. Han, J.H. Hong, and S.J. Lee (2011) Korean National Emissions Inventory System and 2007 Air Pollutant Emissions, Asian Journal of Atmospheric Environment, 5-4, 278-291.
- Ministry of Environment (2008) "Comprehensive measures for waste".
- Ministry of Environment (2009) Enforcement Rule of the act on the promotion of saving and recycling of resources, Article 20-(3)-2.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010)

 A Study of Emission Characteristics of Air Pollutants from Facilities using Reclaiming Fuel, No.

- 2010-76-1251.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2010)

 National Air Pollutant Emission Calculation Method

 Manual.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2011a)

 A Study of Air Pollutants Reduction Plan for Waste
 Solid Fuel Fired Facilities, No. 2011-1437.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2011b)

 National Air Pollutants Emission 2009, No GP20111310
- US Environmental Protection Agency, AP-42 5th ed., "Solid Waste Disposal".
- US Environmental Protection Agency (2000) Carbon dioxide emissions from the generation of electric power in the united states.
- US Environmental Protection Agency (1997) Procedures for preparing emission factor documents, EPA 454/R-95-015 REVISED.
- Van der lans, R.P., P. Glarborg, and K. Dam-Johansen (1997) Influence of process parameters on nitrogen oxide formation in pulverized coal burners, Energy Combustion, 23(1997), 349-377.