

외열킬른형 열분해용융시설의 N₂O 배출계수 개발

윤현기* · 이대겸*** · 조창상** · 강성민* · 윤영중* · 전영재* · 전의찬****

*세종대학교 환경에너지융합학과, **세종대학교 기후변화센터, ***세종대학교 기후변화협동과정,
****세종대학교 환경에너지공간융합학과

The Development of N₂O Emission Factor at Killn Type Pyrolysis Melting Facility

Yun, Hyun-Ki*, Lee, Dae Kyeom***, Cho, Changsang**, Kang, Seongmin*,
Yoon, Young joong*, Jeon, Youngjae* and Jeon, Eui Chan****†

*Dept. of Environment and Energy, Sejong Graduate School, Sejong University, Seoul, Korea

**Sejong Climate Change Research Center, Sejong University, Seoul, Korea

***Cooperate Course for Climate Change, Sejong Graduate School, Sejong University, Seoul, Korea

****Dept. of Environment, Energy and Geoinformatics, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

In this study, the N₂O emission factor of the facility was developed by measuring the kiln type pyrolysis melting facility. This used PAS (Photoacoustic Spectroscopy) method and measured the N₂O emission concentration. From March 2016 to April 2016, it was measured over a total of two times and N₂O concentrations were measured continuously for 24 hours using a 24 hour continuous measuring instrument (LSE-4405). The measured N₂O emission concentration of the pyrolysis melting facility was 0.263 ppm on average and the emission concentration distribution in the range of 0.013~0.733 ppm was obtained. Therefore, the N₂O emission factor of the kiln-type pyrolysis melting facility was estimated to be 0.829 gN₂O/ton-Waste. As a result of comparing the N₂O emission factor of the thermal kiln type pyrolysis melting facility and the previous study, previous studies were about 18 times higher. It is estimated that this is due to the difference of furnace temperature, oxygen concentration and denitrification facilities. It is considered that the study of the emission factor of pyrolysis melting facility is an important factor in improving the credibility of greenhouse gas inventory in waste incineration sector.

Key words: Greenhouse Gas, Municipal Solid Waste, Kiln Type Pyrolysis Melting Facility, N₂O Emission Factor

1. 서 론

우리나라의 온실가스 총 배출량은 2013년 기준 694.5 백만 tonCO₂eq이며, 이 중 폐기물분야에서 배출되는 온실가스 배출량은 15 백만tonCO₂eq로 국가 온실가스 배출량의 2.2%를 차지하고 있다. 폐기물분야의 온실가스 배출원은 소각, 매립, 하·폐수처리, 기타 등으로 구분하고 있으며, 폐기물분야의 2013년 온실가스 배출량 중 소각부문의 배출량이 46.7%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

국내 폐기물소각시설은 스토커방식, 유동상방식, 열분해용융방식, 고정상방식 등으로 구분할 수 있다. 국내에서 운영되

고 있는 소각방식은 지방자치단체의 시설을 중심으로 2011년 기준 스토커방식이 131개소로 가장 많고, 그 다음으로는 고정상방식이 18개소, 열분해용융방식이 15개소로 조사되었다. 열분해용융시설은 생활폐기물의 안정적·친환경적인 처리를 강화하기 위해 2008년 이후로 꾸준히 증가하고 있다. 폐기물소각부문의 열분해용융시설은 폐기물의 무해처리 및 대기오염의 극소화에 대한 해결책으로 환경적 문제를 해결하기 위해 추진되고 있는 공법이다.

폐기물소각부문에서 배출되는 온실가스 중 CO₂에 대한 연구는 다수 진행되고 있으나(Kim, 2011; Lee, 2012; Lim, 2012; Kang, 2014), N₂O 관련 연구는 매우 부족한 실정이다. 폐기물

† Corresponding author: ecjeon@sejong.ac.kr

Received May 29, 2017 / Revised August 14, 2017 / Accepted August 30, 2017

소각 시설에서 배출되는 온실가스(CO₂, N₂O)에 대한 연구는 주로 스토커소각시설을 중심으로 이루어졌으며, 열분해용융 시설에 대한 연구는 미흡하다.

본 연구에서는 열분해용융시설의 N₂O 배출량을 보다 정확하게 산정하기 위해 외열킬른형(R-21) 열분해용융시설의 N₂O 배출계수를 개발하고자 한다. 이를 통해 생활폐기물 부문의 국가 온실가스 인벤토리 신뢰도 향상에 기여하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 대상시설 선정 및 현장조사

본 연구 대상시설은 200 ton-waste/day(100 ton-waste/day × 2) 규모의 외열킬른형 열분해용융시설로 24시간 폐기물을 소각하는 연속방식이다. 대상시설의 공정은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 열분해드럼과 용융로를 이용하여 폐기물을 소각하고 있다. 연소가스 냉각설비의 경우 고온공기가열기와 폐열보일러를 이용하여 연소가스를 냉각하고 있다. 연소가스 처리공정은 1차 여과집진기, 반건식 반응탑(SDR), 2차 여과집진기, 가스가열기, 선택적 촉매반응탑(SCR) 순서로 구성되어 있다.

현장측정은 2016년 3월에서 4월까지 총 2회에 걸쳐 실시하였다. 1차는 3월 29일부터 3월 31일까지, 2차는 4월 26일부터 4월 28일까지 측정하였다.

2.2 N₂O 농도 측정

본 연구에서는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 광음향분광법(Photo-Acoustic Spectroscopy; PAS) 측정기를 이용하여 대상 시설에서 배출되는 N₂O 농도를 측정하였다. 대상시설에서 배출된 연소가스는 전처리장치를 이용하여 일정온도로 냉각시킨 후 수분을 제거한다. 전처리장치를 거친 연소가스는 1 Liter/min의 유량으로 측정기에 공급하도록 설정하였으며, 공급된 유량 중 측정기에서 필요로 하는 유량을 제외하고 외부로

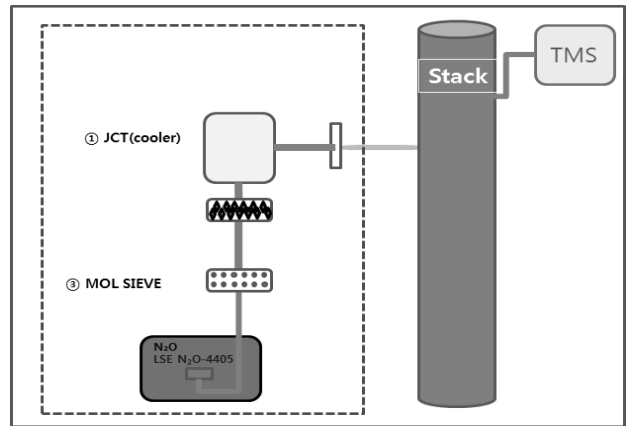


Fig. 2. Flue gas sampling schematic diagram of the pyrolysis melting facility.

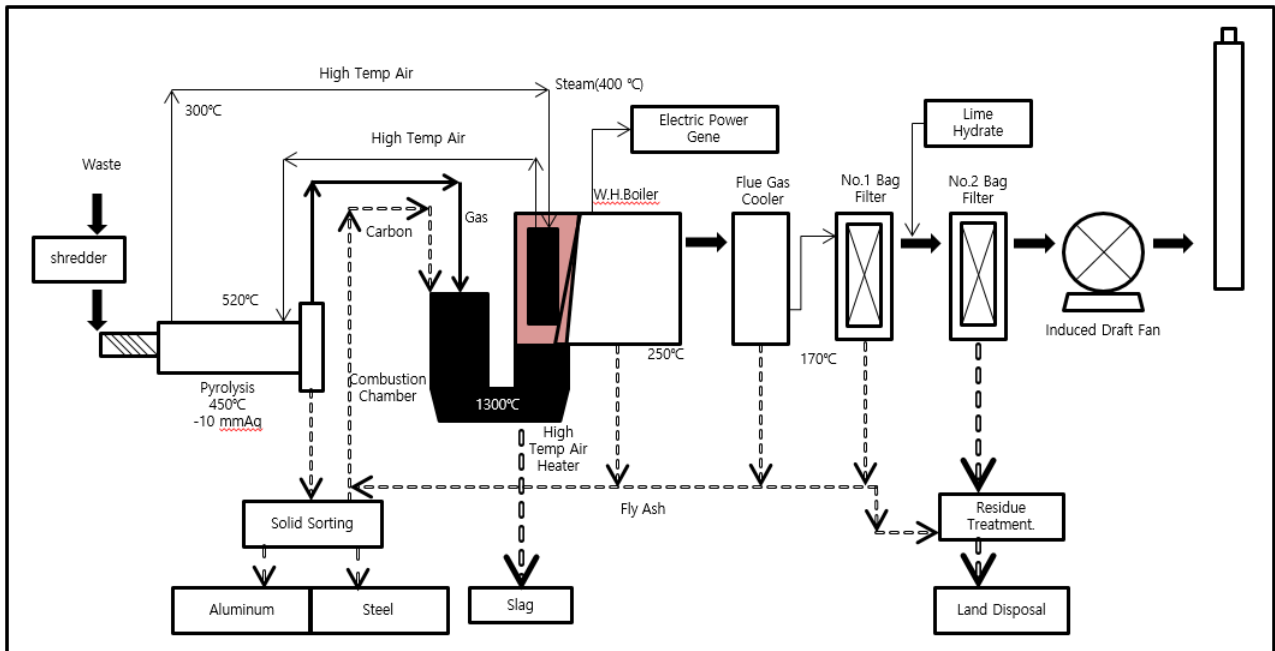


Fig. 1. Process flow chart of the pyrolysis melting facility.

배출되도록 설정하였다. LSE-4405는 기기주변 온도가 높을 경우 측정이 정지되는 점을 고려하여 주변온도가 낮고 환기가 원활한 곳에 측정기를 위치시켰다. 전처리장치에서 수분이 완벽하게 제거되지 않기 때문에 흡착제가 채워진 trap을 설치하여 수분과 간섭물질을 제거하였다.

2.3 정도관리(QA/QC)

본 연구에서 사용할 광음향분광법(PAS)측정기의 정도관리를 위해 농도변화에 따른 응답시간과 직선성, 반복성을 평가하였다. N₂O 농도에 따른 반응속도 평가는 N₂O 표준가스 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm(Rigas, Korea)의 농도변화에 따른 증가 응답시간과 감소 응답시간을 구분하여 측정하였다. 증가 응답시간의 경우, 저농도에서 고농도로 변화할 경우 측정기기가 목표농도의 95%에 도달하는 시점까지의 시간을 기준으로 하였다. 감소 응답시간의 경우, 고농도에서 저농도로 변화시켰을 때 측정기기 목표농도의 5% 이내에 도달한 시점까지의 시간을 기준으로 하였다(Sah *et al.*, 2008). 직선성의 경우 표준가스를 측정하여 확인하였고, 반복성의 경우 한 농도의 표준가스를 10회 측정하여 확인하였다.

2.3.1 Photoacoustic Spectroscopy(PAS) 방법의 응답 시간

Photoacoustic Spectroscopy(PAS) 방법은 연속 측정하는 방법이기 때문에 농도변화에 따른 응답성이 우수해야 한다. 최초응답시간의 경우 3분 20초대로 나타났으며, 표준가스의 농도를 증가하였을 때 목표 농도까지 안정화되는데 7분 10초의 시간이 걸렸다. 고농도에서 저농도로 N₂O 농도를 변화시킨 경우의 증가 응답시간은 7분 정도로 나타났으며, 저농도에서 고농도로 N₂O 농도를 변화시킨 경우의 감소 반응시간은 증가 응답시간과 큰 차이를 나타내지 않았다. Fig. 3은 측정 농도에 따른 반응시간을 나타낸 것이다.

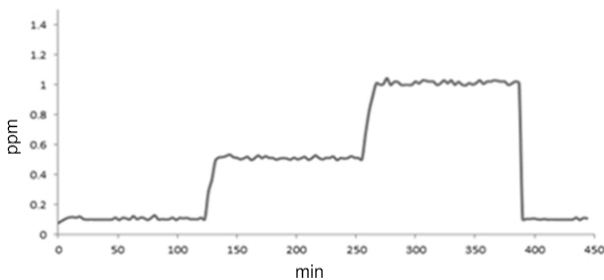


Fig. 3. The response time of the PAS due to the change in the flue gas concentration.

2.3.2. Photoacoustic Spectroscopy(PAS) 방법의 직선성 평가

본 연구에서는 정도관리(QA/QC)를 위해 서로 다른 농도의 N₂O 표준가스를 5회 이상 측정하였다. 표준가스의 농도는 각각 0.1 ppm, 0.25 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm이며, 1 ppm을 제외한 모든 농도는 1 ppm의 표준가스(Rigas, Korea)를 희석하여 측정하였다. 4개의 표준가스를 5회 반복 측정하고, 검량선을 작성하여 직선성을 확인하였다. 확인 결과, Fig. 4와 같이 R²값이 0.99 이상으로 매우 우수한 직선성을 나타냈다.

2.3.3 Photoacoustic Spectroscopy(PAS) 방법의 반복성 평가

PAS 방법의 반복성 평가는 Table 1에서 보는 바와 같이 1 ppm 표준가스(Rigas, Korea)를 10회 반복 측정하여 평가하였다. 측정결과, 평균 농도는 1.047 ppm으로 나타났으며, 표준편차의 경우 0.014, 상대표준편차는 1.31%를 나타냈으며, 표준가스의 농도보다 평균 0.05 ppm 높게 측정되었다.

PAS 방법의 상대표준편차는 선행연구(M.GOMES DA SILVA, 2006)의 반복성 결과와 유사한 1%로 나타났으며, ISO 1564에서 제시하고 있는 재현성 3%보다 낮게 측정되어 우수한 반복성을 나타냈다.

2.4 N₂O 배출계수 개발 방법

N₂O 배출계수 개발을 위한 배출량 산정은 ‘온실가스·에너지 목표관리제 지침’에서 제시하고 있는 굴뚝연속자동측정기에 의한 배출량 산정방법을 적용하였다. 굴뚝연속자동측정기에 의한 배출량 산정방법은 CO₂ 배출량 산정식만 제시하고 있다. 이 식을 이용하여 N₂O 배출량 산정식을 작성하고, N₂O 배출량을 산정하였다. 산정한 N₂O 배출량을 소각량으로 나누어

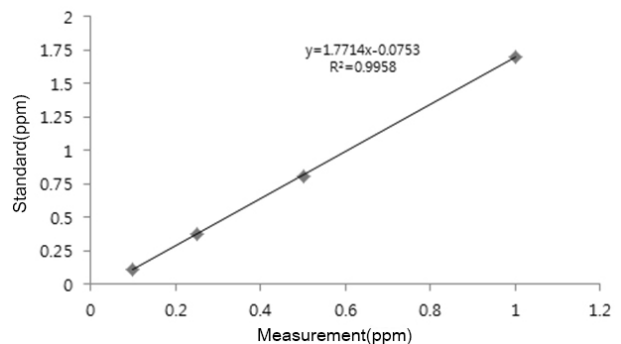


Fig. 4. Evaluation of the linearity of the PAS.

Table 1. Reproducibility of N₂O concentration

Order	N ₂ O concentration (ppm)
1	1.015
2	1.031
3	1.037
4	1.048
5	1.053
6	1.043
7	1.053
8	1.054
9	1.062
10	1.050
Mean	1.040
SD	0.014
RSD (%)	1.31

배출계수를 개발하였다.

배출계수 산정식은 식 (1)과 같다. 열분해용융시설의 N₂O 배출계수 개발에 필요한 유량자료는 대상사업장의 Clean SYS data를 이용하였으며, 유량은 1일 적산 유량을 기입하였다. 식 (1)의 44/22.4 kg/m³은 N₂O의 분자량 44 kg, 표준상태 기체의 1 mol당 부피 22.4 m³를 의미하며, 소각량의 경우 대상사업장의 자료를 사용하였다.

$$\text{Emission factor}_{N_2O} = [K \times C_{N_2O} \times Q_{day} \times 10^{-3}] / W \quad (1)$$

Emission factor_{N₂O} = N₂O 배출계수(gN₂O/ton-waste)

C_{N₂O} = N₂O의 일 평균농도(ppm, 건연소가스 기준)

K = 44/22.4 kg/m³

Q_{day} = 1일 적산 유량(Sm³/day) (건연소가스 기준),

$$\left(\sum_{i=1}^{48} Q_i \right) \text{ (} i=30\text{분 단위 적산유량)}$$

W = 1일 소각량(ton-Waste/day)

3. 연구 결과

3.1 N₂O 농도 측정 결과

본 대상시설 연소가스의 N₂O 농도는 광음향분광법을 이용

한 실시간측정기(LSE monitors, LSE-4405)를 이용하여 측정하였다. 측정은 2016년 3월부터 2016년 4월까지 총 6회에 걸쳐 측정하였다. 측정 결과, N₂O 최소농도는 0.013 ppm 최고농도는 0.733 ppm으로 나타났으며, N₂O 농도의 평균값은 0.263 ppm이었다.

1차 조사(3/29~3/31) 기간의 N₂O 일 평균농도는 0.216~0.231 ppm의 범위로 측정되었으며, 전체평균농도는 0.223 ppm, 표준편차는 0.039, 상대표준편차는 17.38%로 나타났다.

2차 조사(4/26~4/29) 기간의 N₂O 일 평균농도는 0.259~0.368 ppm의 범위로 측정되었으며, 전체평균농도는 0.302 ppm, 표준편차는 0.093 ppm, 상대표준편차는 30.31%로 나타났다. 측정결과는 Table 2에 정리하였다.

3.2 N₂O 배출계수 개발

Table 4에서 보는 바와 같이, N₂O 배출계수 개발 결과는 0.829 gN₂O/ton-waste로 나타났다. 대상시설의 로내온도는 1,231~1,408℃로서 스토커소각시설에 비해 평균온도가 높기 때문에 N₂O 농도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

1차 조사(3/29~3/31)의 평균 N₂O 배출계수는 0.741 gN₂O/

Table 2. N₂O concentration by PAS method

(Unit: ppm)

Stie survey	Sampling date	N ₂ O concentration
1 st survey	29th March, 2016	0.216
	30th March, 2016	0.222
	31th March, 2016	0.231
	Mean	0.223
	S.D.	0.039
	RSD(%)	17.38
2 nd survey	4/26	0.259
	4/27	0.280
	4/28	0.368
	Mean	0.302
	S.D.	0.093
	RSD(%)	30.31
	Max	0.733
	Min	0.013
Mean	0.263	

ton-waste로 산정되었다. 2차 조사(4/26~4/28)의 평균 N₂O 배출계수는 0.893 gN₂O/ton-waste로 산정되었다. 전체 평균 N₂O 배출계수는 0.829 gN₂O/ton-waste로 나타났다.

대상시설의 폐기물소각량은 전체 측정일 기준으로 평균 87 ton/day이며, 1차 조사(3/29~3/31)의 일 평균 소각량은 86.7 ton-waste/day, 2차 조사(4/26~4/28)의 일 평균 소각량은 86.3 ton-waste/day로 거의 차이를 보이지 않았다.

Clean SYS를 통해 확보한 유량의 경우, 1차 조사는 145,120 Sm³/day, 2차 조사는 127,349 Sm³/day로 1차 조사의 평균 유량이 2차 조사의 평균 유량보다 더 크게 나타났다. 평균 로내 온도는 1차 조사의 경우 평균 1,323℃이며, 최소 1,241℃에서 최대 1,408℃의 온도분포를 나타냈다. 2차 조사의 평균 로내 온도는 1,316℃로 나타났으며, 최소 1,231℃에서 최대 1,394℃ 온도를 나타냈다.

본 연구에서 조사한 외열킬른형 열분해용융시설의 N₂O 농도는 평균 0.263 ppm이며, 선행연구인 샤프트로 열분해용융시설의 평균 N₂O 농도인 2.96 ppm과 비교하여 약 11배 이상 작은 값을 보였다(Lee *et al.*, 2015).

Table 4에서 보는 바와 같이 평균 로내 온도의 경우 외열킬른형이 1,316.5℃, 샤프트로 방식이 991℃로 약 300℃ 이상의 차이를 보이며, 굴뚝에서 배출되는 NO_x 농도의 경우, 각각 34.64

ppm, 28.29 ppm으로 외열킬른형이 평균 6 ppm 이상 높게 나타났다.

본 연구의 외열킬른형 열분해용융기술과 선행연구인 샤프트로방식 열분해용융기술의 배출계수가 다르게 나타난 것은 로내온도와 산소농도의 차이에 따른 것으로 추정된다. 본 연구의 대상시설은 저산소 상태에서 평균 1,300℃에서 운전되고 있으며, 선행연구의 대상시설은 순산소를 투입하여 평균 992℃에서 공정이 이루어지고 있다. 기술별 일 단위 소각량을 비교해 보면 큰 차이를 나타내지는 않지만, N₂O 배출계수는 선행연구가 약 18배 이상 높게 나타났다. 이것은 외열킬른형 열분해용융시설의 노내 평균온도가 약 1,300℃이고, 샤프트로의 노내 평균온도가 약 990℃인데, 폐기물소각 시설에서 배출되는 N₂O 농도가 990~1,030℃에서 최대로 생성되며, 1,030℃ 이상에서는 감소하는 특성을 가지고 있기 때문이다(Jeong MS, 2012). 또한, N₂O 농도는 소각 시 투입되는 O₂ 농도에 따라서 변화가 있는 것으로 알려져 있으며(Kim JM, 2011), O₂ 농도가 낮을수록 NO_x 분해율이 증가하고, N₂O 생성률이 감소하는 특징(이우찬 외, 2012)을 보이고 있다. 이에 따라 저산소를 사용하는 대상시설의 N₂O 배출계수가 순산소를 사용하는 선행연구보다 N₂O 배출계수가 작게 나타나는 것으로 분석된다. 더불어 본 연구의 탈질시설인 SNCR이 설치된 경우, SCR이 설

Table 3. The N₂O emission factor of the pyrolysis melting facility

Classification	Flow rate (Sm ³ /day)	Average of furnace temperature (°C)	Incineration (ton-waste/day)	N ₂ O emission factor (gN ₂ O/ton-waste)	
1st	3/29	144,387	1,315	85	0.725
	3/30	145,729	1,321	87	0.731
	3/31	145,245	1,332	88	0.749
	Mean	145,120	1,323	87	0.741
2nd	4/26	112,392	1,315	84	0.683
	4/27	139,892	1,325	88	0.876
	4/28	129,762	1,291	87	1.084
	Mean	127,349	1,310	86	0.893
Total mean	136,235	1,316.5	87	0.829	

Table 4. Average N₂O and NO_x concentration of flue gas and the furnace temperature of pyrolysis melting facilities

Classification	Technology	N ₂ O concentration (ppm)	NO _x concentration (ppm)	Furnace temperature (°C)
This study	Kiln type	0.263	34.64	1,316.5
Lee <i>et al.</i> (2015)	Shaft furnace type	2.960	23.60	991.0

Table 5. Comparison of N₂O emission factor of the waste incineration facility

References	Type of incinerator	Combustion technology	N ₂ O emission factor (gN ₂ O/ton-waste)
This study	Pyrolysis melting facilities	Kiln type	0.829
Lee <i>et al.</i> , (2015)	Pyrolysis melting facilities	Shaft furnace type	15.500
IPCC G/L 2006	Stoker	-	47.000
	Fluidized bed	-	67.000

치된 경우보다 N₂O 배출농도가 약 1.5배 높게 나타남을 보여주는 선행연구결과(Mario Grosso, 2013; Sanwon Park *et al.*, 2011)도 있으므로, 탈질시설의 차이도 N₂O 배출계수에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PAS 방법을 이용하여 외열킬른형 열분해용 시설의 N₂O 배출농도를 측정하고, 대상시설의 N₂O 배출계수를 개발하였다. 대상시설의 소각용량은 200 ton-waste/day (100 ton-waste/day × 2)이며, 평균 소각량은 87 ton-waste/day (2호기)이다.

본 연구는 2016년 3월부터 4월까지 2차에 걸쳐 N₂O 농도를 측정하였다. 굴뚝측정공에 N₂O 연속측정기기인 LSE-4405를 설치하고, PAS 방법을 이용하여 24시간 연속 측정하였다. 측정시, 전처리기기(냉각, 펌프)를 이용하여, 배기가스의 수분을 제거하여 측정기기에 공급하고, 전처리기기와 측정기기 사이에 흡착제가 채워진 trap을 설치하여 2단계에 걸쳐 수분과 간섭물질을 제거하였다.

본 연구에서 측정된 열분해용시설의 N₂O 배출농도는 평균 0.263 ppm으로 나타났으며, 0.013~0.733 ppm 범위의 배출농도 분포를 나타냈다. 이를 바탕으로 외열킬른형 열분해용시설의 N₂O 배출계수는 0.829 gN₂O/ton-waste로 산정되었다.

2006 IPCC G/L에 표기된 폐기물소각시설의 N₂O 배출계수는 스토커 방식, 유동상 방식의 배출계수만 제시하고 있으며, 열분해용시설의 N₂O 배출계수는 제시하고 있지 않다. 선행연구(Lee *et al.*, 2015)의 N₂O 배출계수와 본 연구의 N₂O 배출계수를 비교해 보면 열분해용기술에 따라서 배출농도가 다르다는 것을 알 수 있다. 이는 열분해용시설의 종류에 따라 N₂O 배출계수에 영향을 미치는 로내 온도와 과잉공기(산소)량이 다르기 때문인 것으로 추정된다. 본 연구 결과를 통해 같은 종류의 소각기술방식과 비슷한 수준의 소각량을 처리해도 순산소 투입 여부, 로내 운전온도에 따라 시설에서 배출되는 N₂O 배출농도의 차이는 크게 나타나는 것을 알 수 있

다. 같은 종류의 시설임에도 적용기술에 따라 온실가스 배출농도차가 크게 날 것으로 예상되며, 추후에 이러한 연구를 통해 시설 수가 증가하고 있는 열분해용시설의 온실가스 배출량을 보다 정확하게 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 열분해용소각시설의 배출계수 연구는 폐기물 소각부문의 온실가스 인벤토리 신뢰도를 향상시키는데 도움이 될 것으로 판단된다. 또한, 파리 기후변화협약에 따라 앞으로 2023년부터 5년마다 이행점검이 진행될 예정이므로, 사업장폐기물 소각시설의 온실가스 배출계수 개발은 폐기물 소각분야 온실가스 인벤토리 신뢰도 향상 측면에서 중요한 요소라고 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Jeon BI. 2005. Effect of secondary air on residence time and combustion characteristics in a pyrolysis melting incinerator (in Korean with English abstract). Yonsei University.
- Kang SY. 2015. Estimation of N₂O emission for wood chip combustion facility (in Korean with English abstract). Sejong University.
- Kim MH. 2013. Formation of N₂O in NH₃-SCR DeNOxing reaction with V₂O₅/TiO₂-based catalysts for fossil fuels-fired power stations (in Korean with English abstract). Korean Chemical Engineering Research(HWAHAK KONGHAK) 51(2):159-163.
- Kim YR. 2004. Study on the characteristics and the recycling of the melted slag depending on the various chars generated from a pyrolysis/gasification process (in Korean with English abstract). Yonsei University.

- Kim JM. 2011. A study of the mechanism of NO_x and N₂O generated in the Urea-SNCR process (in Korean with English abstract). University of Seoul.
- Sa JH, Yoon SK, Roh GH, Jeon EC. 2008. Analysis methods for measurement of ammonia concentration (in Korean with English abstract). *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 24(1):43-54.
- Lee JW. 2016. Developing new methodology of Non-CO₂ emissions in waste incineration facilities (in Korean with English abstract). Sejong University.
- Lee JW, Kang SM, Kim SJ, Kang SY, Lee SH, Jeon EC. 2015. Development of non-CO₂ emission factors from MSW pyrolysis melting treatment in Korea. *Environmental Earth Sciences* 74(5). doi:10.1007/s12665-015-4441-4
- Son JH. 2006. The behavior of hazardous air pollutants including dioxins in a pyrolysis/melting facility of MSWs (in Korean with English abstract). Hankuk University of Foreign Studies.
- Jin J. 2014. Numerical study on the NO_x control in municipal solid waste incinerator by spray of food wastewater (in Korean with English abstract). Hoseo University.
- Oh HJ. 2008. Photoacoustic measurements of catalytic effects for CO₂ reforming reaction with methane over perovskite La_{1-x}NiO₃-1.5x catalysts (in Korean with English abstract). Yonsei University.
- Yun HK. 2016. Development of N₂O emission factor from municipal solid waste pyrolysis-melting facility (in Korean with English abstract). Sejong University.
- Lee WC, Kim JM, Dong JI, Lee WK, Yeo SG, Hyun SM. 2012. A study on reduction of NO_x and emission characteristic of N₂O according to oxygen from urea- SNCR process (in Korean with English abstract). *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 2012(5): 124.
- Jung MS. 2011. A study on the characteristics of N₂O generation at SNCR process using urea and additives (in Korean with English abstract). University of Seoul.
- Choi SS, Kim SH, Kim KL. 2004. The MSW pyrolysis & melting plant DONGBU R-21. KOSCO SYMPOSIUM 28:314.
- Pyeun HB. 2015. Patent trends of the plasma gasification-melting and the energy recovery technologies for wastes treatment (in Korean with English abstract). Chungnam National University.
- Korea Environment Corporation. 2015. National waste generation and processing status(2014).
- Korea Environment Corporation. 2006. Proper processing technology of MSW for the construction recycling oriented.
- Ministry of Environment. 2006. The development of asbestos containing hazardous waste processing pyrolysis melting technique: Hazardous waste treatment and disposal technology.
- Ministry of Environment. 2007. Chimney remote monitoring system business handbook.
- Ministry of Environment. 2007. Waste official test method.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories 5(5): Incineration and Open Burning of Waste.
- Grosso M, Rigamonti L. 2013. Experimental assessment of N₂O emissions from waste Incineration: The role of NO_x control technology. DIIAR. Environmental section.
- Park SW, Choi JH, Park JW. 2011. The estimation of N₂O emissions from municipal solid waste incineration facilities: The Korea case, *Waste Management* 31:1765-1771. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.010>
- Koskinen V, Fonsen J, Kauppinen J, Kauppinen I. 2006. Extremely sensitive trace gas analysis with modern photoacoustic spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy* 42:239-242. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2006.05.018>
- Yoo YC. 2007. Study on proper introduction of the pyrolysis melting technology for incineration of municipal wastes (in Korean with English abstract). Yonsei University.
- Hong YJ. 2016. Optimal sampling methodology for the analysis of greenhouse gases from combustion facilities (in Korean with English abstract). Sejong University.