

폐목재 소각시설에서의 다이옥신과 가스상 물질의 배출 특성

김남찬[†] · 이재인
광운대학교 환경공학과

Emission Characteristics of PCDDs/DFs and Gaseous Matter from Waste Wood Incinerators

Nam-Chan Kim[†] and Jae-In Lee

Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

Received October 20, 2011/Revised December 23, 2011

In this study, the emission characteristics of PCDDs/DFs and gaseous matter from waste wood incinerators with capacity of 0.06~0.18ton/hr was evaluated based on the type and general features of waste wood; industrial pallet (material lumber), waste furnitures (medium density fiberboard, MDF), mixture of pallet and waste furniture, dismantling wood from construction work (material lumber) and waste vessels. The emission concentrations of PCDDs/DFs were 0.137, 1.835, 9.665, 6.585 and 128.316 ng-iTEQ/Sm³ for pallet+MDF, pallet, MDF, dismantling wood from construction work and waste vessels, respectively. The concentrations of PCDDs/DFs from the first four incinerators were lower than the allowable exhaust standard of 10 ng-iTEQ/Sm³, but that from the last incinerator was almost 13 times higher than standard. In the distribution ratio of PCDFs and PCDDs, the former was more higher than the latter in all incinerators. CO concentrations of three incinerators were under the allowable exhaust standards, 200 ppm, and it could mean that the incineration of waste wood was operated with good combustion conditions. The emission concentration of sulfur oxides were not detected or very low compared with the allowable exhaust standards, 100 ppm. In all incinerators, the emission of nitrogen oxides was under the allowable exhaust standards, 150 ppm.

Key words: PCDDs/DFs, Gaseous Matter, Small Capacity Incinerators, Industrial Pallet, Waste Furnitures, Mantling Wood

1. 서 론

우리는 도시화와 산업화 과정을 거치면서 화석에너지의 급속한 소비증가와 더불어 고유가 시대를 맞이하고 있다. 주요 에너지원인 석유가 고갈되어감에 따라 석유값이 폭등하고 각 나라들은 자원확보에 온 힘을 쏟고 있다. 국내에서도 연료로 사용할 수 있는 목재의 수요가 문화생활의 향상과 더불어 지속적으로 증가하면서 2009년의 연간 목재소비량은 2,700만m³에 달하지만, 목재자급율은 약 9%로 목재의 대부분을 수입에 의존하고 있다¹⁾²⁾. 폐목재의 발생량은 연간 1,000만m³로 추정되는데 이 중에서 건설 및 산업가공 폐목재가 전

체의 50%이상을 차지하며, 일반적으로 폐목재는 다른 물질과 혼합 형태로 배출되어 처리가 매우 어렵다¹⁾²⁾. 이런 혼합형태의 폐목재는 물질회수 또한 어려워 70% 이상은 단순 매립 및 소각 등의 방법으로 처리하고 있는 실정이나, 단순 매립 및 소각을 하면 환경오염 및 경제적 손실을 가져올 뿐만 아니라 산림의 황폐화를 야기할 수도 있다.

나무와 식물은 고사 후 오랜 기간 깊은 땅 속의 고온·고압 상태에서 석유나 석탄으로 만들어지며, 현재 널리 사용되는 가장 유용한 에너지원들이다. 하지만 지속적인 경제규모의 확대와 국민 생활수준의 향상으로 에너지의 수요는 날로 증가하고 있으나, 지구에 존재하

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-2-940-5182, Fax: 82-2-911-2033, E-mail: kimnc@kw.ac.kr

는 에너지 자원은 한계가 있다. 특히 원유가 한 방울도 나지 않으며 석탄의 질마저 떨어져 대부분의 에너지 자원을 외국에 의존하고 있는 우리나라로서는 에너지의 다양화가 필요하며 여러 분야에서 에너지의 효율적인 이용을 도모하기 위하여 대체에너지의 개발이 절실한 실정이다. 대체에너지는 주종 에너지를 석유, 석탄, 원자력 및 천연가스로 볼 때 이들을 대체할 수 있는 에너지원으로는 태양에너지, 바이오 에너지, 풍력·조력 그리고 폐기물 에너지 등을 들 수 있으나 실제로 활용되는 에너지는 총 수요량의 0.28%에 지나지 않는다. 이들 가운데 폐기물은 상당한 잠재적인 에너지를 가지고 있으며, 현재 국내 대체에너지 이용량의 약 62.6%를 폐기물 에너지가 차지하고 있다³⁾. 하지만 아직은 화석 자원에 의존한 대량생산 및 소비를 추구하는 현재의 사회 시스템은 과도한 화석자원의 이용으로 지구온난화와 각종 공해물질의 범람 등과 같은 심각한 환경문제를 야기하여 우리 생존 자체를 위협하고 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 지속가능한 사회로의 전환이 대두되고 있으며, 이런 사회를 만들기 위해서는 현재 우리가 사용하고 있는 화석자원을 대체할 새로운 자원의 발굴과 이용이 요구되는데 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 자원중의 하나가 biomass 자원이다. Biomass는 생물자원(bio)과 량(mass)를 나타내는 개념으로 재생 가능한 생물유래의 유기성 자원으로서 화석자원을 제외한 것을 통칭하는 용어이다. Biomass는 지구상에 비치는 태양에너지를 사용하여 무기물질인 물과 이산화탄소로부터 생물이 광합성 작용을 통해 생성하는 유기물로서 우리들의 life cycle 중에 생명체와 태양이 존재하는 한 지속적으로 재생산이 가능한 자원이다. 또한 biomass는 한정된 화석연료에 대한 의존성을 줄임과 동시에 CO₂를 고정시킴으로써 온실효과의 저감에 기여할 수 있는 가능성을 가지고 있어 환경 친화적이면서 재생 가능한 에너지원으로 인식되어 왔다⁴⁾⁵⁾.

국내에서는 목재를 벌채하거나 수입하여 가공·처리 과정을 거쳐 상품화하고 폐기처분하기까지 여러 과정에서 폐목재가 발생된다. 이렇게 발생된 폐목재는 활용 가치가 높은 순서대로 환경적으로 건전하고 안전하게 재활용되는 것이 바람직하다. Biomass 중 하나인 폐목재는 에너지 회수 및 연료로서 재활용할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 폐목재 중 일부는 페인트·기름·방부제·접착제 등 이물질질을 함유한 혼합 형태로 배출되기 때문에 에너지 회수시 열화학적·생화학적 전환에 따른 배출 특성을 동시에 조사할 필요성이 있다⁶⁾⁷⁾.

본 연구에서는 다양한 폐목재의 일반적인 성상 및 특성을 파악함과 동시에 폐목재 조각시 배출되는 가장 유해한 물질로 알려진 다이옥신류와 가스상 물질의 배출 특성을 파악하고자 사업장 파렛트(원목), 폐가구류(Medium Density Fiberboard, MDF), 파렛트와 폐가구류 혼소, 건설계 해체목 및 폐선박 해체목을 소각하는 0.06~0.18 ton/hr의 5개 시설을 선정하였다. 이러한 소형 목재 조각시설에서의 다이옥신류와 가스상 물질의 조사·분석을 통하여 에너지로서 폐목재의 적용 가능성을 알아보하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 시료 채취

배출가스 중 다이옥신의 시료채취는 대기오염공정시험법 제3장 제2절 제29항 다이옥신 및 퓨란류의 분석방법에 따라 등속흡인하였다⁸⁾¹⁴⁾. 시료채취는 500 ml 임핀저에 포화증류수/포화증류수/공병/XAD-2수지홀더/디에틸렌글리콜/공병을 배치하여, 2차 연소실의 온도가 850°C 이상으로 유지시킨 후 최종배출구의 측정공에서 흡인가스량 3 Nm³ 이상을 4시간 이상 채취하였으며, 시료의 회수는 대기오염공정시험법에 따랐다.

2.2. 분석 방법

배출가스 중의 다이옥신은 앞 항의 분석방법을 토대로 전처리하여 고분해능 가스크로마토그래프/질량분석계(High Resolution Gas Chromatography/High Resolution Mass Spectrometry, HRGC/HRMS, VG社, 모

Table 1. Analytic condition of HRGC/HRMS for PCDDs/DFs

HRGC
Column SP-2331 (60 m×0.25 mm×0.20 μm)
Oven Temp. 100°C (1.0 mim), 200°C (20°C/mim, 0.0 mim), 260°C(2°C/mim)
Injector Temp. 260°C
Injection Mode Splitless (60 sec)
HRMS
Resolution above 10,000
Ionization Electron Impact (EI)
Ionization Voltage 70 eV
Accel. Voltage 10.0 kV
Trap Current 1,000 μA
Ion Chamber Temp. 260°C

델 Autospec Ultima, 이하 GC/MS라 함)로 분해능 (Resolution) 10,000에서 Table 1의 조건으로 분석하였다. 가스상 물질의 경우 Green line 2000을 사용하여 1분 간격으로 측정하였으며 소각운전에 따른 연소조건을 확인하였다.

2.3. 배출시설 선정

본 연구에서는 사업장 파렛트(원목), 폐가구류(Medium Density Fiberboard, MDF), 파렛트와 폐가구류 혼소, 건설계 해체목(원목형태) 및 폐선박 해체목을 별도로 소각하는 용량 0.06~0.18 ton/hr의 소형소각로를 대상으로 하였다. 방지시설 등에 차이가 있는 경우 오염물질의 특성 평가에 많은 차이가 있을 것으로 사료되어 2개의 그룹으로 나누어 조사하였다. Table 2에서와 같이 A~C의 3개 시설은 1차 연소실, 2차 연소실, 사이클론 및 굴뚝으로 구성된 간단한 방지시설(Fig. 1(a) 참조)로 되어 있으며, 주로 가구 등의 제작과정에서 발생하는 MDF 조각이나 폐파렛트 등을 소각하는 시설이다. D~E의 2개 시설은 폐열보일러와 여과집진장치가 추가로 설치되어 있는 시설(Fig. 1(b) 참조)로 건설 현장에서 배출되는 폐목 및 산업체에서 발생하는 폐목을 주로 소각하는 시설이다. 다이옥신의 측정은 현재 설치운영 중인 소각용량 0.2 ton/hr 미만인 소형 소각시설에서 실시하였다. 방지시설 중 사이클론만 설치된 시설에서는 파렛트만 소각하는 경우, MDF만 소각하는 경우, 파렛트와 MDF를 혼소하여 소각하는 경우로 나누어 굴뚝에서 1회씩 측정하였으며, 여과집진시

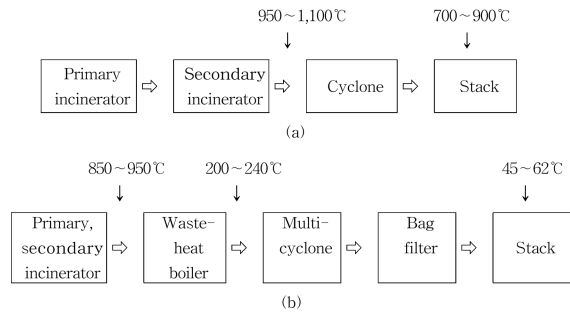


Fig. 1. Configuration of each incinerator.

설을 갖추고 있는 2개 시설의 경우는 건설계 폐기물과 폐선박 해체목을 소각하는 시설을 대상으로 굴뚝에서 1회씩 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 측정결과

Table 3은 각 시설별로 다이옥신 측정시 조사된 값을 나타낸 것이다. 5개 시설의 등속흡인계수는 97.1~101.8%로 기준 95~105%를 모두 만족하였으며, 시료량은 3.0517~3.6488S m³로 채취하였다. A시설의 경우 2차 연소실 후단 온도가 1,000°C 이상에서 운전되어 배출가스의 온도가 약 900°C 이상으로 배출되었으나, B, C시설은 약 700~760°C로, 폐열보일러와 여과집진장치가 설치되어 있는 D, E 시설은 각각 61°C 및 45°C로 배출되었다.

Table 2. Selected facility configuration

Plant	Material	Capacity(ton/hr)	Configuration
A	Pallet+MDF	0.06	Fig. 1(a)
B	Pallet	0.094	Fig. 1(a)
C	MDF	0.06	Fig. 1(a)
D	Dismantling wood	Construction Work	Fig. 1(b)
E		Waste vessels	Fig. 1(b)

Table 3. Measurement result of sampling condition

Plant	A	B	C	D	E
Coefficient of isokinetic variation (%)	101.8	99.3	99.7	101.3	97.1
Sample volume (Sm ³)	3.2121	3.0517	3.6824	3.5111	3.6498
Moisture (%)	11.94	9.42	6.89	7.39	1.51
Temperature of flue gas (°C)	913.6	702.7	756.2	61.4	45
Velocity of flue gas (m/s)	16.6	8.19	10.73	6.2	17.81
Flow rate of flue gas (Sm ³ /hr)	1,340	1,209	1,159	3,747	7,052

3.2. 분석 결과

3.2.1 PCDDs/DFs

Fig. 2에 5개 시설에서 측정된 다이옥신 결과를 나타내었다. 각각의 소각시설에서의 다이옥신류의 총 농도값($\text{ng-iTEQ}/\text{Sm}^3$)은 파렛트+MDF 소각시 0.137, 파렛트 소각시 1.835, MDF 소각시 9.665, 건설계 소각시 6.585 그리고 폐선박 해체목 소각시 128.316로 분석되어 4개 시설의 경우 기존 시설의 기준¹⁴⁾인 $10 \text{ ng-iTEQ}/\text{Sm}^3$ 보다 낮게 검출되었으나, 폐선박 해체목의 경우는 기준치 보다 약 13배 정도 높게 검출되었다. 황등에 따르면 0.2 ton/hr 미만인 소형소각로의 PCDDs/

DFs의 평균농도는 $15.3 \text{ ng-iTEQ}/\text{Sm}^3$ 인 것으로 조사되었다¹⁴⁾. 대상 폐목재에서 다이옥신류 중 PCDFs와 PCDDs의 분포를 살펴보면, 파렛트+MDF 혼소 소각시와 MDF 단일 소각시는 83:17, 파렛트 단일 소각시는 76:24로 나타났으며, 건설계 및 폐선박 해체목의 경우에도 70:30과 74:26으로 모두 PCDFs가 우세하게 분포하였으며 2,3,7,8-치환이성질체의 농도분포 역시 유사한 형태를 나타내었다. 4개 시설에서 2,3,4,7,8-PeCDF의 농도가 가장 높게 검출되었으나 파렛트와 MDF를 혼소 소각한 A시설에서는 2,3,4,6,7,8-HxCDF가 가장 높게 나타났다.

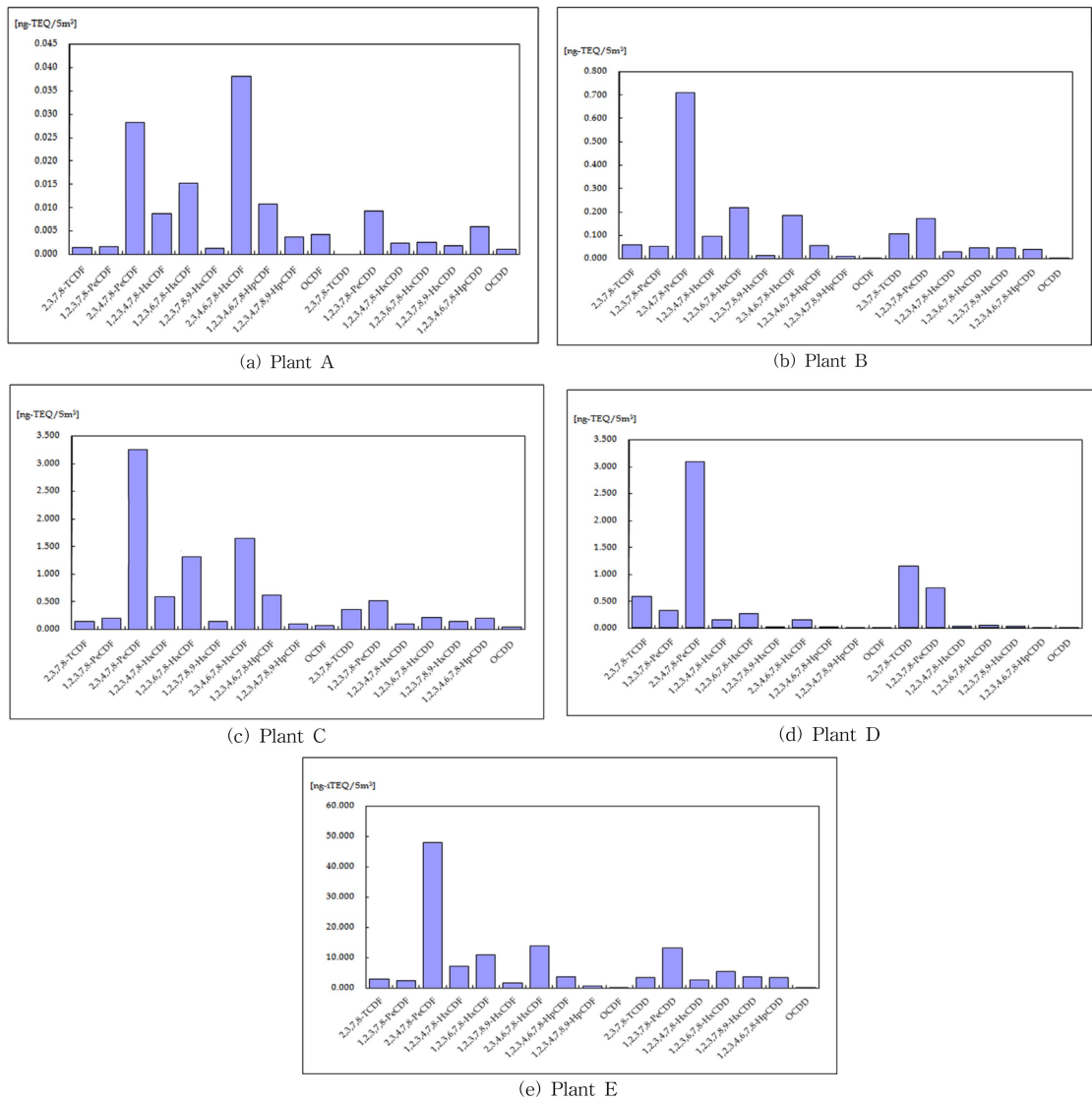


Fig. 2. I-TEQ concentrations of PCDDs/DFs from plant A~E.

A시설의 경우 폐파렛트와 MDF를 혼소하여 소각하였지만 다이옥신 농도는 0.137 ng-iTEQ/Sm³로 매우 양호하게 나타났다. 2차 연소실 출구온도는 1,000~1.150°C로 완전연소 상태를 유지하였으며, 그 결과 배출가스의 온도가 900°C 이상으로 운전되어 다이옥신의 재합성¹⁵⁾⁻¹⁶⁾ 등의 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단되었다. 폐파렛트를 소각하는 B시설의 경우 2차연소실 출구온도가 850~950°C로 높게 나타났음에도 불구하고 다이옥신 농도가 A시설에 비해 1.835 ng-iTEQ /Sm³로 다소 높게 측정되었다. C시설의 경우는 주방기구 및 장롱 등을 만드는 과정에서 발생하는 폐MDF를 소각하는 시설로 소각물질도 파렛트 소각에 비해 질이 많이 떨어질 것으로 판단된다. 4시간 측정중 약 50분간 불완전 연소가 심하게 발생하였고 측정값도 A나 B시설에 비하여 아주 높은 9.665 ng-iTEQ/Sm³로 나타났으며, 산소농도 또한 15%가 넘게 측정되어 9~10%로 운전된 시설에 비해 산소보정 다이옥신 농도값이 A, B시설에 비하여 과대평가된 것으로 여겨진다. D와 E시설은 소각용량이 200 kg/hr 이하인 소형소각로이지만 A, B, C시설에 비해 멀티사이클론과 여과집진장치가 설치되어 있다. D시설은 주로 건설계 폐기물을 소각하는 시설로 발열량이 높지 않은 원인 등으로 연소실 온도가 850°C 이하에서 운전되었다. 여과집진장치가 설치되어 있고 연소조건도 타 측정시설에 비해 열악하지는 않았으나 다이옥신 농도는 6.585 ng-iTEQ/Sm³로 다소 높게 측정되었다. E시설에서는 폐선박 해체목을 소각하

였는데 연소조건이 열악하고 산소농도가 19%로 높게 측정되어 다이옥신 농도도 128.316 ng-iTEQ/Sm³로 매우 높게 측정되었다. E시설의 경우 산소농도를 12% 전후로 운전한다 해도 다이옥신 농도는 20 ng-iTEQ/Sm³ 이상이 예상되므로 연소조건 확립 및 방지시설의 관리에 많은 노력이 요구될 것으로 보인다. 위의 결과로부터 다이옥신류의 발생은 대기오염방지시설이 매우 열악한 소형 소각시설이라 하더라도 연소실의 우수연소 조건만 만족시킨다면, 보다 나은 방지시설을 갖추고 있으면서 운영·관리가 제대로 이루어지지 않는 시설에 비해 오염농도를 낮출 수 있을 것으로 판단된다¹⁷⁾.

Fig. 2는 시설 A~E에서 측정한 각 시설별 다이옥신 독성등가 환산농도를 나타낸 것이다.

3.2.2. 가스상 물질

다이옥신 측정시 각 시설에서의 가스상 물질은 Green line 2000을 사용하여 일산화탄소(CO), 황산화물(SO₂), 질소산화물(NO_x)의 농도를 측정하였다. Table 4는 각 시설별로 다이옥신의 측정기간 동안에 1분 간격으로 측정한 가스상 물질의 평균값, 최고값 및 최저값을 나타낸 것이다.

3.2.2.1 일산화탄소

일산화탄소의 경우 3개의 소각시설에서는 배출허용 기준인 200 ppm에 미치지 않는 것으로 나타났으며, 이것은 투입시료가 좋은 연소 조건에서 연소되고 있음을

Table 4. Concentration range of gaseous matter from plant A~E

Plant	Value	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO [ppm(12)]	NO _x [ppm(12)]	SO ₂ [ppm(12)]
A	Average	15.3	3.1	1.2	47.9	2.6
	Maximum	16.5	3.7	171.0	71.0	5.0
	Minimum	14.2	2.5	0.0	12.0	0.0
B	Average	9.0	6.8	0.0	51.2	0.0
	Maximum	11.0	8.2	0.0	61.0	0.0
	Minimum	6.5	5.6	0.0	43.0	0.0
C	Average	9.9	6.1	709.1	97.7	3.7
	Maximum	18.0	10.6	54710.5	297.0	10.3
	Minimum	1.0	2.1	0.0	0.0	0.0
D	Average	14.0	3.5	4.8	41.2	1.8
	Maximum	15.9	4.2	76.0	72.0	4.0
	Minimum	12.5	2.8	0.0	30.0	0.0
E	Average	18.3	1.4	1747.8	84.8	0.2
	Maximum	20.1	2.4	9979.0	154.0	6.0
	Minimum	16.6	0.4	105.0	13.0	0.0

주) 가스상 물질의 농도 표기중 (12)는 표준산소농도 12%에서의 측정치를 의미한다.



Fig. 3. Concentrations of gaseous matter from plant A~E.

뜻하는 것이다. 5개 시설 모두 2차 연소실의 보조 버너를 가동한 상태에서 측정된 값으로, 각 시설 4시간 측정 평균값이 1.2 ppm, 0 ppm, 709.1 ppm, 4.8 ppm, 3265.2 ppm으로 운전조건에 따라 많은 차이를 보이고 있다. 또한 4개 시설의 일산화탄소 농도가 큰 차이는 없으나, 폐선박의 해체목인 방부목을 소각하는 E시설의 경우 실험대상 시료가 완전 건조되지 못한 상태로 실험이 진행되었기 때문에 연소시 다른 시료에 비해 좋은 연소조건이 이루어지지 못한 것으로 사료된다.

3.2.2.2 황산화물

목재의 특성상 황 성분을 극미량 함유하고 있기 때문에 황산화물 항목에 대하여 배출허용기준이 적용되지 않는다. 문헌조사 결과를 보면 네 가지 대상시료의 황 함유량이 1%에도 미치지 않음을 알 수 있다¹⁾. 따라서 실규모 실험을 통한 측정 결과의 경우에도 황산화물의 배출량이 거의 배출되지 않거나 아주 낮은 수치를 나타내는 것을 볼 수 있었다. 소각시설의 배출허용기준인 100 ppm과 비교하였을 때 실제 측정값은 현저하게 낮은 값을 알 수 있다. 이는 소각대상 폐목재의 황 성분 함량과 밀접한 관계가 있음을 나타낸다.

3.2.2.3 질소산화물

질소산화물의 배출현황을 보면, 파렛트+MDF 소각시 47.9(12) ppm, 파렛트 소각시 51.2(12) ppm, MDF 소각시 97.7(12) ppm, 건설계 해체목 소각시 41.2(12) ppm 그리고 폐선박 해체목 소각시 96.7(12) ppm으로 소각시설의 배출허용기준인 150(12) ppm을 넘지 않는 것으로 나타났다. 일산화탄소에서 언급하였듯이 폐선박 해체목을 소각할 때 연소조건이 좋지 못하고 산소 측정값이 평균 19.2%로 높아 과잉공기로 인하여 질소산화물의 배출량이 높게 나타난 것으로 보인다.

한편, Fig. 3은 시설 A~E에서 측정한 각 시설별 경시변화에 따른 가스상 물질의 농도 변화를 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 폐목재의 일반적인 성상 및 특성을 파악함과 동시에 폐목재 소각시 배출되는 다이옥신류와 가스상 물질의 배출 특성을 파악하고자 사업장 파렛트(원목), 폐가구류(MDF), 파렛트와 폐가구류 혼소, 건설계 해체목(원목형태) 및 폐선박 해체목을 별도

로 소각하는 0.06~0.18 ton/hr 범위의 소형 소각시설을 대상으로 조사하였다.

1. 파렛트+MDF, 파렛트, MDF 및 건설계 해체목 소각시에는 다이옥신류 총 농도값이 기존시설의 배출허용기준인 10 ng-iTEQ/Sm³ 보다 낮은 0.137, 1.835, 9.665, 6.585 ng-iTEQ/Sm³로 검출되었으나, 폐선박 해체목 소각시에는 배출허용기준 보다 훨씬 높은 128.316 ng-iTEQ/Sm³로 검출되었다. PCDFs와 PCDDs의 분포는 5개 시설 모두 PCDFs가 우세하게 분포하였으며, 2,3,7,8-치환이성질체의 농도분포 역시 5개 시설 모두 유사한 형태를 나타내었다.
2. 일산화탄소의 경우 3개의 소각시설은 배출허용기준인 200 ppm 보다 훨씬 낮은 값으로 나타났으며, 이것은 투입시료가 좋은 연소조건에서 연소되고 있음을 뜻하는 것이다. 5개 시설 모두 2차 연소실의 보조 버너를 가동한 상태에서 측정된 값으로, 각 시설 4시간 측정 평균값이 1.2 ppm, 0 ppm, 709.1 ppm, 4.8 ppm, 3265.2 ppm으로 운전조건에 따라 많은 차이를 보임을 알 수 있다.
3. 황산화물의 배출량은 거의 배출되지 않거나 아주 낮은 수치를 나타내었다. 소각시설의 배출허용기준인 100 ppm과 비교하였을 때 실제 측정값이 현저하게 낮게 나타났다.
4. 질소산화물의 배출현황은 파렛트+MDF 소각시 47.9(12) ppm, 파렛트 소각시 51.2(12) ppm, MDF 소각시 97.7(12) ppm, 건설계 해체목 소각시 41.2(12) ppm 그리고 폐선박 해체목 소각시 96.7(12) ppm으로 소각시설의 배출허용기준인 150(12) ppm 보다 크게 밑도는 것을 알 수 있다.

목재연료는 매우 매력적인 자원으로서 장기적으로 볼 때 목질계 직접연소에 대한 수요가 지속적으로 늘어날 것으로 예상된다. 따라서 다양한 폐목재를 소형 목재 소각시설에서 연소시킬 때 발생하는 다이옥신류와 가스상 물질의 조사·분석은 에너지로서 폐목재의 적용 가능성을 확인시켜 주었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 임업연구원, 폐목재의 발생실태 및 재활용 촉진방안, 1999, 농림부.
2. 임업연구원, 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안, 2000, 연구자료 제159호.
3. 동종인, 기후변화대응 및 신재생 에너지 확보를 위한 폐자원 에너지 기술, 2009, 53-71.
4. 최병철, 기후변화대응 및 신재생 에너지 확보를 위한 폐자원 에너지 기술, 2009, 1-24.
5. 강창용, 박현태, 농촌경제, 2007, 29(5), 79-95.
6. 윤현명, 강희석, 장용철, 장혜진, 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, 2005, 487-490.
7. 윤현명, 강희석, 장용철, 한국폐기물학회 춘계학술연구발표논문집, 2006, 30-33.
8. 문동호, 황태웅, 박금정, 이상원, 주창한, 옥곤, 한국폐기물학회지, 2007, 24(1), 29-35.
9. 함상이, 최기인, 김희중, 서동준, 이동훈, 한국폐기물학회 추계학술연구발표논문집, 2005, 483-486.
10. 홍종기, 양정수, 신정화, 안윤경, 이대운, 한국분석과학회지, 2003, 17(2), 184-191.
11. 김태욱, 천만영, 한국환경분석학회지, 2005, 8(1), 13-17.
12. 송금주, 경종대, 주종호, 김경섭, 임숙현, 김우일, 최경희, 한국환경분석학회지, 2007, 10(2), 114-123.
13. 박지현, 정봉길, 김철수, 이석형, 황성민, 박노진, 정유진, 옥곤, 한국환경분석학회지, 2007, 10(4), 226-236.
14. 황태웅, 김삼권, 이동훈, 한국환경분석학회지, 2008, 11(3), 173-180.
15. 安原昭夫, ダイオキシ類の生成機構と物性, 1999, 20(1), 55-60.
16. P. S. Kulkarni, J. G. Crespo, C. A. M. Afonso, *Environment International*, 2008, 34, 139-153.
17. Nakao, T., Aozasa, O., Ohta, S., Miyata, H., *Chemosphere*, 2001, 46, 429-437.