

국내 도시 쓰레기 소각로에서의 운전조건과 다이옥신 배출량과의 상관관계에 관한 연구

양 원* · 신동훈* · 최진환* · 최상민**
(1998년 5월 22일 접수)

PCDD/PCDFs Emission and Operating Conditions of Domestic MSW Incinerators

Won Yang, Donghoon Shin, Jinhwan Choi and Sangmin Choi

Key Words: Incinerator (소각로), PCDD/PCDFs (다이옥신/퓨란류 또는 다이옥신류), Operating Condition(운전조건), de Novo Synthesis(de Novo 합성), Temperature History(온도이력)

Abstract

In order to minimize emission of polychlorinated dibenzo dioxins and polychlorinated dibenzo furans (PCDD/PCDFs) from municipal solid waste incinerators, it is important to maintain optimized operating conditions along with the system modification/improvement. Operating conditions of MSW incinerator make very complicated influence on formation of PCDD/PCDFs in each unit apparatus. For revealing these influences, concentrations of PCDD/PCDFs are measured from the stack and from the fly ash, while monitoring the plant operating conditions. The effects are grouped into 3 main categories, combustion conditions, de Novo synthesis effects, and adsorption/destruction effects in the flue gas treatment system. Interpretation of the results showed that de Novo synthesis effect, reformation by metallic catalyst, especially Cu in fly ash in the temperature range of 250~500°C, is found to influence most dominantly on the concentration of PCDD/PCDFs. A plausible mathematical model for predicting concentration of PCDD/PCDFs is proposed, and discussed.

1. 서 론

폐기물 소각로에서 배출되는 물질 중 독성이 큰 것으로 알려진 다이옥신/퓨란류(PCDD/PCDFs, polychlorinated dibenzo dioxins and polychlorinated dibenzo furans)가 최근에 사회적으로 크게 문제가 되고 있다. 다이옥신류의 생성은 폐기물의 소각이 일어나는 연소실에서의 불완전 연소와 배가스 처리장치를 지나가면서 250~500°C 온도대역에서 일어나는 de Novo 합성에 의해 일어나는 것으로 알려져 있다⁽¹⁾. 이것을 억제하기 위해서는 연소실에서의 연소와 보일러 및 배가스 처리장치에서의 적절한 운전이 중요하게 된다. 그러나 이러한 것들을 실제 소각시스템에 적용하여 운전이 반영하는 데에는 많은 어려움이 있는

데, 그것은 소각로의 운전조건들이 위의 사항들에 대하여 복잡하게 서로 얽혀있어서 골똘을 통해 나오는 배가스중의 다이옥신류의 생성 원인을 규명하기가 용이하지 않기 때문이고, 또한 운전 상황을 판단하는 근거가 될 수 있는 가시적인 인자들의 연관성이 명확하지 않기 때문이다.

이런 가운데 소각로의 운전조건과 다이옥신류 농도와의 상관관계를 밝혀내기 위한 연구는 주로 소각로 단위장치에서의 다이옥신의 생성 및 파괴 메커니즘을 규명하는 선에서 수행되어 왔었고, 전체 시스템과 연관되어서는 최근에 연구가 이루어지기 시작했다. 이를 위해 T.G. Bina⁽²⁾ 등은 각 후처리장치 종류별로 각각의 조합이 다이옥신 저감에 미치는 영향을 정리하였고 신⁽¹⁾ 등은 폐열회수 보일러의 출구 온도 및 집진기에서의 온도, 그리고 SCR의 존재 및 운전조건이 다이옥신류의 생성 및 파괴에 영향을 끼침을 밝혀내고 이를 수식화하여 나타내었다. 그러나 실제 소각로에서의 다이옥신 생성과 파괴에 영향을 끼치는 운전인자

* 한국과학기술원 대학원 기계공학과

** 회원, 한국과학기술원 기계공학과

들은 훨씬 다양하고 체계적으로 설정되어야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 지금까지 수행된 연구에 근거하여 실제 다이옥신의 생성 과정에 대해 가설을 세우고, 국내 도시 폐기물 소각로에서의 다이옥신 측정결과를 바탕으로 더욱 다양한 운전조건에 따른 다이옥신류의 생성 요인을 규명하는데 목적을 두었다.

2. 가설 - 다이옥신 농도에 영향을 끼치는 인자들

지금까지 알려진 연구결과와 공학적 실시자들이 공감하고 있는 평가에 의하면 도시 폐기물 소각로에서 나오는 다이옥신 농도에 영향을 끼치는 요인은 다음과 같이 크게 세 가지로 나누어진다.

1. 연소실에서의 연소상황 (생성 및 파괴요인)
2. 보일러에서 후처리장치를 지나는 가운데 나타나는 재생성 (생성요인)
3. 후처리 장치 중 다이옥신의 흡착 또는 파괴 효과 (제거 요인)

위 세 가지 요인은 모두 폐기물의 성분과도 깊은 관계가 있다.

연소상황, 다이옥신이 처음으로 생성되는 요인은 연소실 내에서의 불완전연소이다. 일본의 경우 연소실에서의 운전상황 변화에 따라 출구에서의 다이옥신류의 농도가 크게 변화되는 결과가 보고되었다⁽⁴⁾. 그러나 연소실 내 연소상황을 판단한다는 것은 내부 상황의 실험적 관찰이 난이하다는 한계 때문에 어려움이 많다. 연소실 출구의 온도 및 출구에서의 산소, CO농도등의 관찰은 이루어질 수 있지만, 연소실 내에서의 발생 분진량, 연소실 내 열유동 상황, 그리고 연소가스의 연소실 내 체류시간 분포 등에 대한 파악 등에 있어 여러 가지 인자들이 복잡하게 얽혀있어서 연소상황 진단을 통한 다이옥신류의 예측이 쉽지 않다.

연소실 이후에서의 재생성, 연소실에서 배출된 가스는 보일러(또는 수냉각기) 및 그 이후의 후처리 장치를 지날 때 250~500℃ 온도대역에서 de Novo 합성으로 불리는 재생성을 일으키며^(5,6), 이러한 재합성은 이 온도 대역에서 비산재 중 금

속 성분을 촉매로 하여 일어나게 된다. 연소실 이후에서의 다이옥신류 재합성을 줄이기 위해서는 연소가스가 냉각되어 굴뚝으로 배출되기까지 250~500℃ 온도 범위에서의 체류시간이 최소화되어야 한다. 또한 온도이력은 소각시스템의 공정흐름과 설계조건과도 밀접한 관계를 갖고 있으며 특히 집진장치의 종류에 따라 달라지게 된다. 또한 촉매 반응에 참여하는 비산재 중 중금속 농도 역시 재합성에 있어서 중요한 인자이며, 이는 폐기물의 성분과 관련되어 있다. 분진에 포함되어 다이옥신류 생성에 기여하는 금속은 Cu, Cr, Fe, Ni, Al 등이다⁽⁷⁾. 이 중에서도 Cu의 함량이 다이옥신류 생성에 가장 큰 영향을 끼치고 있는 것으로 알려져 있다^(8,9).

후처리 장치에서의 운전조건, 후처리 장치에서의 다이옥신 제거는 흡착과 파괴를 통해 이루어진다. 활성탄은 배가스 중 오염물질의 흡착에 의한 제거를 위해 많이 사용되고 있다^(10,11). 활성탄은 배가스와 직접접촉을 크게 하기 위해 주로 백필터의 전단에 투입되는 경우가 많으나^(12,13), 경우에 따라서는 세정탑에서 사용되기도 한다. 또한 NOx 저감을 목적으로 주로 사용되는 선택적 촉매 반응기(Selective Catalytic Reactor, SCR)에 사용되는 촉매 중 바나듐 성분(V₂O₅)이 일정한 온도 대역에서 다이옥신 파괴효과를 나타내는 것으로 알려지면서⁽⁴⁾ 다이옥신 저감을 위한 설비로도 채택되고 있는 것이 현재의 추세이다. SCR에서의 다이옥신 파괴효과에 영향을 끼치는 인자들은 촉매의 종류 및 함유량외에도 온도와 면적속도로^(14,15,16), 면적속도가 클수록 장치 내의 유속이 커지면서 다이옥신 제거 효율은 떨어지게 된다.

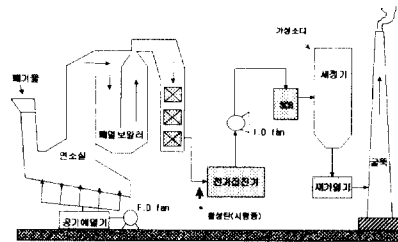
3. 실측 대상 소각로

Table 1에 실험 대상인 국내 대형 도시 쓰레기 소각장들의 공정 흐름을 나타내었다. M3와 M9 소각장을 제외하고는 모두 폐열회수 보일러를 사용하고 있다. 후처리 장치 및 이들의 배열이 조금씩 다르고, M1, M5, M6, M8, M11 소각장에는 NOx를 제거하기 위한 장치가 설치되어 있다. 이 소각장들의 공정흐름은 측정이 있었던 1997년의 자료이며, 측정치가 발표된 후에도 계속하여 시설개선이 이루어지고 있다.

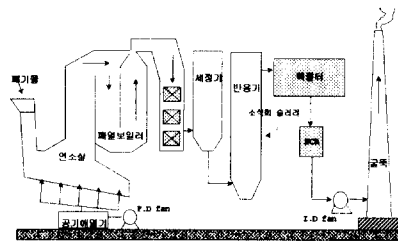
Table1 Process flow for each MSW incinerator.

Inc. #	Process flow
M1	FDF-CC-Boiler-EP-IDF-SCR-WS-RH-Stack
M2	FDF-CC-Boiler-SDA-BF-IDF-Stack
M3	FDF-CC-WC-EP-IDF-Stack
M4	FDF-CC-Boiler-EP-IDF-WS-RH-Stack
M5	FDF-CC-Boiler-WS-SDA-BF-SCR-IDF-Stack
M6	FDF-CC-Boiler-EP-WS-SCR-IDF-Stack
M7	FDF-CC-Boiler-EP-IDF-WS-RH-Stack
M8	FDF-CC/SNCR-Boiler-SDA-BF-IDF-Stack
M9	FDF-CC-WC-BF-IDF-Stack
M10	FDF-CC-Boiler-EP-WS-IDF-Reheater-Stack
M11	FDF-CC-Boiler-EP-WS-IDF-SCR-Stack

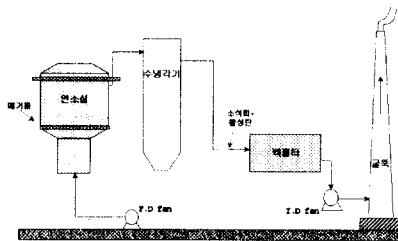
FDF : Forced Draft Fan CC : Combustion chamber
 WC : Water Cooler EP : Electrostatic Precipitator
 IDF : Induced Draft Fan BF : Bag Filter
 WS : Wet Scrubber RH : ReHeater
 S(N)CR : Selective (Non-) Catalytic Reactor



(a) M1 incinerator



(b) M5 incinerator



(c) M9 incinerator

Fig. 1 Typical process flow⁽³⁾.

오염물질들의 측정값들은 각 소각장에서 사용하고 있는 연속 모니터링 측정치의 시간 평균값을 이용하였다. 다이옥신의 경우에는 대기오염 공정시험법을 따라 소각로별로 굴뚝에서 샘플링하여 측정된 값을 사용하였다.

4. 다이옥신 배출량 및 운전결과

4.1 연소상황

Fig. 2와 Fig. 3에 굴뚝에서의 산소 및 일산화탄소 농도와 다이옥신 농도와 상관관계를 나타내었다. 산소농도에 있어서는 대체로 10~11% 범위에서 다이옥신류의 농도가 낮은 것을 볼 수 있는데, 이것은 실제로 연소실 출구에서의 산소 농도가 아니므로 실제 다이옥신류 농도가 최소화되는 곳은 더 낮은 산소농도 범위내에 형성되어 있을 것으로 보인다. 이는 산소 농도가 과잉일 때는 연소 효율 및 혼합의 문제로 인해, 산소 농도가 부족할 때는 불완전연소로 인해 연소 상황이 양호하지 않아 다이옥신 농도가 높게 나오는 결과와 어느 정도 일치하고 있다. 그러나 측정된 산소 농도가 평균값만을 고려한 것을 감안하면 산소농도와 다이옥신 농도 사이의 일정한 상관관계를 제시하기에는 무리가 있다. 반면에 일산화탄소의 농도는 다이옥신류의 농도와 비례적인 관계가 나타나는 것으로 보인다. 이는 CO농도와 다이옥신의 농도가 직접적인 상관관계는 없으나 CO가 불완전연소 생성물이기 때문에 불완전연소 중의 다이옥신 생성을 막기 위해 CO농도를 낮게 유지해야 한다는 여러 연구자들의 결론과 어느정도 일치한다. 그러나 연소상황을 평가하는 데 있어서 출구에서의 산소와 일산화탄소의 농도만으로 연소상황을 판단하는 것은 많은 무리가 있다. 무엇보다도 연소실 내에서의 공기와 연소가스와의 혼합이 어떻게 이루어지고 있는지가 파악되어야 연소실 내에서의 연소가 잘 이루어지고 있는지를 알 수 있으며, 평균값 못지 않게 간헐적으로 나타나는 CO 피크 발생 빈도등도 연소조건과 밀접한 관계가 있기 때문에 이러한 부분까지 고려해야 한다. 출구값으로만 보았을 때는 어느정도 경향성이 나타나고 있는 것으로 보아 연소조건이 다이옥신류의 농도에 많은 영향을 끼치고 있음을 알 수 있으나, 좀 더 자세한 조사와 측정이 있어야만 연소상황과 다이옥신류의 농도관계

를 정확하게 진단할 수 있다. 여기에서는 연소실의 운전이 모두 정상적으로 이루어지고 있다면, 연소실 출구에서의 다이옥신 농도 수준은 후류에서 재생성되는 양에 비하여 낮게 유지되고 있다고 평가하였다.

레하는 것을 보여주고 있으며, 이는 체류시간이 증가하면서 재생성의 가능성이 높아짐에 따라 다이옥신 농도가 증가하는 것으로 볼 수 있다. 백필터와 반건식 세정기를 쓰는 소각로에 대해서는 체류시간이 짧기 때문에 고려하지 않았다.

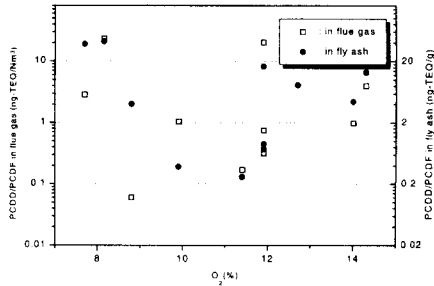


Fig. 2 PCDD/PCDF concentration vs O₂ concentration.

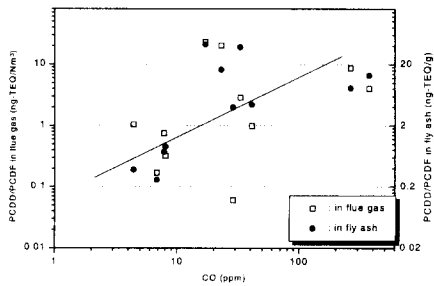
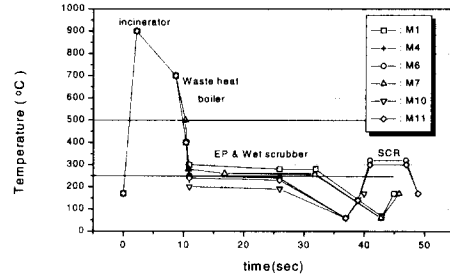
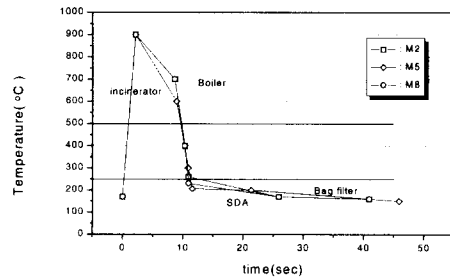


Fig. 3 PCDD/PCDF concentration vs CO concentration.



(a) Incinerators using EP + Wet Scrubber



(b) Incinerators using SDA+Bag Filter

Fig. 4 Temperature history of comb. gas.

4.2 재합성 관련인자

Fig. 4 에 각 장치별 온도측정 결과를 이용하여 장치 내 온도분포가 입출구 온도에 대해 선형적이라는 가정 하에 소각장들의 온도 이력곡선을 나타내었다. 전기집진기와 습식세정탑을 사용하고 있는 소각로에서 긴 시간대동안 다이옥신 재생성 구간에서 연소가스가 체류하고 있는 것을 볼 수 있다. 백필터와 반건식 세정탑을 쓰고 있는 소각장들에서는 보일러 출구 온도가 비교적 낮게 운전이 이루어지면서 재생성 구간에서 체류시간이 짧다. Fig. 4의 결과를 수치화한 Fig. 5에서는 전기집진기와 습식 세정기를 쓰는 소각로에서 다이옥신 재생성이 일어나는 온도 (250~500°C)에서의 가스 체류시간과 다이옥신 농도가 비

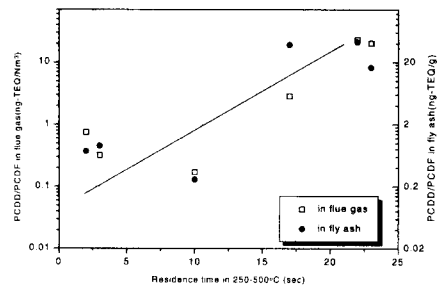
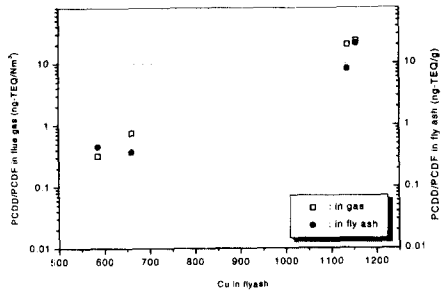
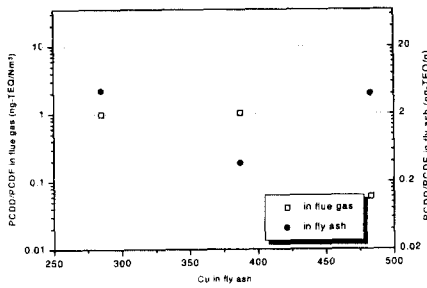


Fig. 5 Concentration of PCDD/PCDF vs residence time in 250~500°C.



(a) Incinerators using EP + Wet Scrubber



(b) Incinerators using SDA+Bag Filter

Fig. 6 Concentration of PCDD/PCDF vs [Cu] in fly ash for each type of incinerator.

Fig. 6 에 비산재 내 중금속에서 다이옥신류 재생성에 가장 많이 기여하는 촉매성분으로 알려진 구리 농도와 다이옥신류 농도 사이의 관계를 나타내었다. 재생성 온도에서의 배가스 체류시간이 긴 전기집진기를 쓰는 소각로들의 경우에 구리 성분이 영향을 끼치고 있다. 그러나 체류시간이 짧은 소각로들의 경우에는 특별한 경향성을 찾아볼 수 없다. 여기에서 다이옥신류의 생성에 폐기물의 성분이 중요한 영향을 끼치고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과에서와 같이, 다이옥신류의 재합성은 연소가스의 온도이력에 의하여 뚜렷한 경향성을 나타내고 있는 것을 볼 수 있고 비산재 중 중금속의 농도와도 관련되어 있으며 이는 기존 연구들의 결과와도 일치하고 있다. 연소실 출구에서의 다이옥신 수준이 무시할만 하다면 재합성에 의한 다이옥신의 생성량은 다음과 같은 모델의 형태로 나타낼 수 있을 것이다.

$$C_{de\ Novo} = \alpha \{ \sigma(T) t_{res} \}^p [Cl_2]^q [Cu]^{r_{Cu}} \prod_i [heavy\ metal]_i^{r_i}$$

σ : Gaussian distribution function in 250 ~ 500°C

T : temperature of gas

p, q, r_{Cu}, r_i : fitting parameters

이밖에 후처리장치에서 다이옥신이 제거되는 주 요인으로 실험 대상 소각로들에서는 SCR에서의 V_2O_5 촉매가 있지만 다른 운전조건들에 비하여 받는 영향이 크지 않고 SCR 전후단에서의 샘플링이 용이하지 않아 실험적으로 경향을 파악하기 어렵다.

4.3 배가스 오염물질과의 관계

Fig. 7 ~ Fig. 10 에는 굴뚝에서의 각 오염물질들의 농도와 다이옥신류 농도와와의 관계를 나타내었다. 대체로 오염물질의 농도가 증가할수록 다이옥신류의 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이 결과들을 통하여 연소실 및 후처리장치들의 운전이 잘 되고 있는 소각로에서 다이옥신류의 배출 농도가 낮다는 사실을 알 수 있다. 이러한 오염물질이 다이옥신의 생성에 직접적으로 관여하고 있다고 보기는 어렵지만, 오염물질의 농도를 높인 여러 가지 요인들이 다이옥신류의 생성에 관계하고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 전체 소각 시스템의 운전상황 및 성능과 관계되어 있는 것으로 다이옥신의 생성과 파괴에 관련해서는 추가적으로 고려하지 않아도 될 것으로 보인다.

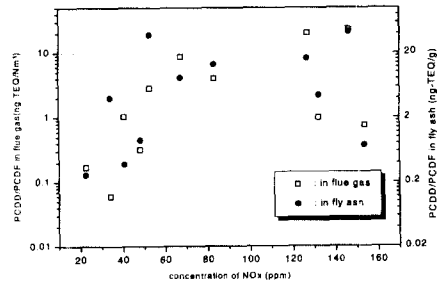


Fig. 7 PCDD/PCDF concentration vs NOx concentration.

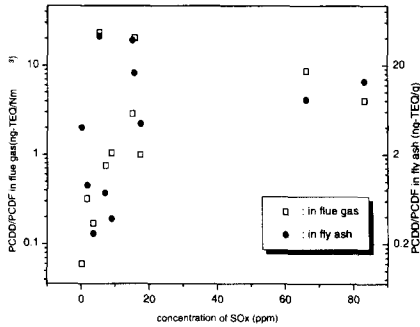


Fig. 8 PCDD/PCDF concentration vs SOx concentration.

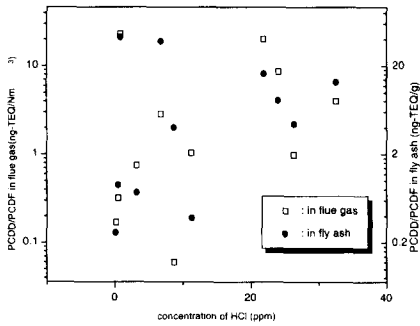


Fig. 9 PCDD/PCDF concentration vs HCl concentration.

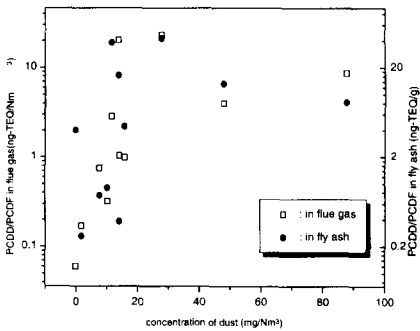


Fig. 10 PCDD/PCDF concentration vs dust concentration.

5. 예측모델의 방향 및 한계

다이옥신 생성 및 제거에 관련된 운전인자들이 상호간에 복잡하게 얽혀있고, 다이옥신 농도가

pg~ng단위의 극미량이며, 실제적으로 측정하고 조사할 수 있는 운전인자들이 한계가 있기 때문에 다이옥신류 배출 농도를 수학적인 모델을 통해 예측한다는 것은 매우 어려운 일이며 많은 부분을 가정과 경험에 의존해야 한다. 신⁽¹⁾ 등은 도시폐기물 소각로에서의 다이옥신류 농도에 재생성 및 SCR에서의 촉매에 의한 파괴효과가 많은 영향을 끼치고 있다고 생각하고 보일러 출구온도와 집진기 출구온도, 그리고 SCR에서의 면적속도를 인자로 하는 개략적인 실험식을 제안하였다. 그러나 실제로는 더욱 다양한 운전인자들이 다이옥신류의 생성 및 제거에 영향을 끼치고 있다. 이러한 운전인자들이 각각 다이옥신 농도에 어떤 영향을 끼치고 있는지를 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Effects on PCDD/PCDF concentrations for each operating parameter.

- + : positive effect to formation of PCDD/PCDF
- : negative effect to formation of PCDD/PCDF
- 0 : different effect for various conditions

	parameter	effect	
formation in comb. chamber	$[CO]_{exit}$	+	
	$[O_2]_{exit}$	+	above 6% O_2
	T_{exit}	-	below 850°C
	$[Cl_2]$	+	
	residence time in comb. chamber, t_{res1}	-	
	mixing effect factor, F	-	0~1
de Novo synthesis	residence time in 250-500°C band, t_{res2}	-	
	$[Cu]$ in fly ash	+	
	$[Cl_2]$	+	
Activated Carbon	T_{gas}	-	by adsorption
	amount (mass/time)	+	
SCR	area velocity, A_v	+	V_2O_5 catalyst
	T_{gas}	0	
stack	$[dust]$	+	
	PCDD/PCDF in dust	+	

이러한 인자들을 고려하여 다이옥신 농도 예측 모델을 다음과 같은 형태로 제안할 수 있다.

$$C_{dxn,stack} = C_{in comb.} + C_{de Novo} - C_{AC} - C_{SCR} + C_{dust} \cdot C_{dxn,dust}$$

where

$C_{dxn,stack}$ = conc. of dioxin(TEQ) from stack

$C_{in comb.}$ = conc. of dioxin(TEQ)
from combustion chamber

$C_{de Novo}$ = conc. of dioxin(TEQ)
by de Novo synthesis

C_{AC} = removed conc. of dioxin(TEQ)
by absorption in Activated Carbon

C_{dust} = conc. of dust in stack

$C_{dxn,dust}$ = conc. of dioxin(TEQ) in dust

또한 각각에 대하여 영향을 끼치는 인자들을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{in comb.} = C_{in comb.}([CO]_{exit}, [O_2]_{exit}, [T_{exit}], t_{res1}, F)$$

$[A]_{exit}$: concentration of A
at the exit of comb. chamber

t_{res1} : residence time in comb. chamber

$$C_{de Novo} = C_{de Novo}([Cu], [Cl_2], t_{res2})$$

t_{res2} : residence time in 250 ~ 500^oC

$$C_{AC} = C_{AC}(T_{gas,AC}, m)$$

$T_{gas,AC}$: gas temperature when activated
carbon injected

m : amount of activated carbon

$$C_{SCR} = C_{SCR}(T_{gas,SCR}, A_v)$$

$T_{gas,SCR}$: gas temperature in SCR

A_v : area velocity

하지만 이상의 가설에 대하여 물리적으로 신빙성을 높이기 위해서는 추가적인 실험과 분석이 뒤따라야 한다. 먼저, 전체 소각 공정의 열 및 물질생산의 파악이 실험적으로 더욱 분명하게 이루어져야 하고, 각 단위장치들의 입출구에서의 다이옥신 측정을 통해 각각의 장치들이 다이옥신의 생성 및 제거, 흡착에 어떤 영향을 끼치고 있는지가 정량적으로 밝혀져야 한다. 이와 아울러, 다이옥신류의 패턴이 어떻게 나타나고 있는지, 또한 분진에 붙어 있는 다이옥신(solid phase)과 가스 중의 다이옥신(gas phase)이 각각 운전상황에 대하여 어떤 경향을 보이는지가 밝혀져야 한다.

6. 결론

소각로에서 배출되는 다이옥신류의 농도와 운전조건의 상관관계를 연소조건, de Novo 합성 효과, 후처리장치에서의 흡착 및 파괴 효과로 나누어 여러 운전인자들이 이들에 대하여 어떠한 영향을 끼치게 될지를 정리하였다. 이러한 가설을 바탕으로 국내 11개 소각장의 다이옥신 측정치와 여러 운전인자들과의 관계를 정리한 결과, 많은 부분에서 여러 운전 조건들의 복잡한 상관관계들로 인해 운전조건에 따른 다이옥신류의 생성경향을 명확하게 밝혀낼 수 없었다. 다만, de Novo 합성 효과, 특히 연소가스의 온도이력과 비산재 중의 중금속 농도가 다이옥신의 배출에 큰 영향을 끼치고 있는 사실을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 굴뚝으로 배출되는 다이옥신 농도를 예측하기 위한 경험식에 포함되어야 할 주요 변수를 지목하였다. 이를 통한 다이옥신류의 예측을 정량화하고 신빙성을 높이기 위해서는 다이옥신 생성 메커니즘에 대한 연구와 함께 계속적인 운전인자의 조사 및 측정으로 자료가 축적되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

저자들은 환경부가 환경관리공단을 통하여 발주한 연구용역에 참여하였으며 본 논문에는 국내 소각로의 실태파악 및 다이옥신 배출측정 결과 중 대외적으로 발표가능한 자료를 사용했습니다.

참고문헌

- (1) 신동훈, 최진환, 양원, 최상민, 1998, "도시폐기물 소각로에서의 다이옥신류 및 퓨란류 생성 및 저감 공정에 관한 연구", 한국화학공학회 논문집(인쇄중)
- (2) T.G Bina and C.B. Sedman. 1988, "Municipal Waste Combustion Study : Flue Gas Technology", EPA 87-206108
- (3) 한양대학교 환경공학 연구소, 1997, "소각시설 배출 다이옥신등 유해물질 분석에 관한 조사연구", 환경관리공단 보고서
- (4) Kashiwabara, K., Kita, T., Murata, T. and

- Fujimoto, H., 1996, "The Municipal Solid Waste Incineration Process For Low Dioxins Emission," *The 7th ISWA International Congress and Exhibition*, Pacifico Yokohama.
- (5) Stieglitz, L., Bautz, H., Roth, W. and Zwick, G., 1997, "Investigation of Precursor Reactions in the De-Novo Synthesis of PCDD/PCDF on Fly Ash," *Chemosphere*, Vol.34, Nos.5~7, pp.1083~1090.
- (6) Huang, H. and Buekens, A., 1995, "On The Mechanisms of Dioxin Formation In Combustion Process," *Chemosphere*, Vol.31, No. 9, pp.4099~4117.
- (7) Akimoto, Y., Nito, Shin'icki and Inouye, Y., 1997, "Comparative Study on Formations of Polychlorinated Dibenzo-dioxins, Polychlorinated Dibenzofurans and Related Compounds in a Fluidized bed solid waste Incinerator Using Long Term Used Sand and Fresh Sand", *Chemosphere*, Vol. 34, No. 4, pp. 791~799.
- (8) Cains, P.W. and Eduljee, G.H., 1997, "Prediction of PCDD and PCDF Emissions From Municipal Solid Waste (MSW) Incinerators," *Chemosphere*, Vol.34, No. 1, pp.51~69.
- (9) Gullett, B.K., Bruce, K.R., Beach, L.O. and Drago, A.M., 1992, "Mechanistic Steps in the Production of PCDD and PCDF During Waste Combustion," *Chemosphere*, Vol.25 No. 7~10 pp.1387~1392.
- (10) Sierhuis, W.M., Vries, C. and Born, J.G.P., 1996, "PCDD/F Emissions Related to the Operating Conditions of the Flue Gas Cleaning System of MWI-Amsterdam," *Chemosphere*, Vol. 32, No. 1, pp. 159~168.
- (11) Tejima, H., Nakagawa, I., Shinoda, T. and Maeda, I., 1996, "PCDDs/PCDFs Reduction by Good Combustion Technology and Fabric Filter With/without Activated Carbon Injection," *Chemosphere*, Vol. 32, No. 1, pp. 169~175.
- (12) Milligan, M.S. and Altwicker, E.R., 1996, "Chlorophenol Reactions on Fly Ash. 2. Equilibrium Surface Coverage and Global Kinetics," *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 30, pp. 230~236.
- (13) Fujii, T., Murakawa, T., Maeda, N., Kondo, M., Nagai, K., Hama, T. and Ota, K., 1994, "Removal Technology of PCDDs/PCDFs In Flue Gas From MSW Incinerators by Fabric Bag Filter and SCR System," *Chemosphere*, Vol, 29, Nos. 9~11, pp. 2067~2070.
- (14) Ide, Y. Kashiwabara, K., Okada, S., Mori, T. and Hara, M., 1996, "Catalytic Decomposition of Dioxin From MSW Incineration Flue Gas," *Chemosphere*, Vol.32, No.1, pp.189~198.
- (15) Hiraoka, M., Takeda, N., Kasakura, T., Imoto, Y., Tsuboi, H. and Iwasaki, T., 1991b, "Catalytic Destruction of PCDDs/PCFFs," *Chemosphere*, Vol.23, Nos.8~10, pp.1445~1452.
- (16) Clark, D.M., Maaskant, O.L. and Yistra, W., "A Novel Approach to the Removal of Nitrogen Oxides (NOx) From Waste Incinerator and Other Flue Gas Streams Using the Shell De-NOx System," *The 1st International Symposium on Incineration & Flue Gas Treatment Technologies*, Flue Gas Treatment Part, Session 4, Sheffield Univ., 7-8th July, 1997, IChemE.