

폐기물 소각시설 단위방지장치 다이옥신류 처리효율 특성분석

동종인 · 서성석 · 윤종수

서울시립대학교 환경공학부

Dioxin Removal Characteristics in Control Devices of Large-Scale Waste Incinerators

Jong-In Dong · Seong-Seok Seo · Jong-Soo Yoon

Faculty of Environmental Engineering, University of Seoul

1. 서론

우리나라에서는 1996년 소각시설의 다이옥신 파동 이후 우선 시간당 2톤 이상의 생활폐기물소각시설에 대해서 다이옥신 배출기준을 정하여 관리하였으나 현재는 시간당 2톤 미만의 생활폐기물 소각시설은 물론 사업장 폐기물 소각시설에 대해서도 배출기준을 설정하여 관리하고 있으며 2005년에는 다이옥신 국가배출목록이 발표되었다. 이와 같이 우리나라는 비교적 짧은 기간에 소각시설에서 배출되는 다이옥신 제어 면에서 매우 괄목할만한 성과를 제시하였다. 이는 매우 의미 있는 결과이지만 일각에서는 너무 민감하게 다이옥신 문제를 접근, 해결했다는 부정적 일면을 거론하기도 한다. 엄밀히 이야기하자면 우리나라의 소각기술은 그리 길지 않다. 위에서 언급했듯이 1996년 있었던 다이옥신 파동을 해결하고자 각계에서 많은 노력과 관심을 두다 보니 이후 상당한 발전이 있었다. 하지만, 여전히 소각시설을 새로이 건설하는데는 여러 가지 장애에 봉착하고 있다. 그 중 관심의 대상은 여전히 다이옥신의 문제이다. 분명한 것은 우리나라처럼 인구밀도가 높고 국토가 좁은 나라에서 소각시설을 포함한 재활용시설 및 중간처리시설의 추가 설치의 필수불가결한 것이다. 2002년 현재 우리나라의 소각처리율은 14.5%이다. 이 수치는 우리나라와 비슷한 여건인 일본 및 유럽국가들의 처리율을 고려했을 때 많이 부족한 실정이다. 소각시설의 개선은 주로 운전의 개선과 방지시설의 개선 및 추가설치 위주로 진행되고 있는데 여기서는 방지시설에 대해서 중점적으로 분석하여 보고자 한다. 특히, 대형소각시설을 위주로 생활계폐기물과 사업장폐기물을 구분하여 알아보기로 하겠다. 먼저 많은 개선이 진행되었던 생활계폐기물의 현황 및 개선사항들을 점검하면 이후 사업장폐기물 소각시설의 나아갈 방향을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 앞에서 언급되었듯이 1996년 다이옥신 파동 이후 생활계폐기물 소각시설에 대해서는 많은 시설 개선이 이루어졌지만 사업장폐기물 소각시설은 최근에서야 개

선되기 시작하였다. 이것은 2006년부터 다이옥신 기준이 더욱 강화된 것과 상관성이 있다. 이에 생활폐기물은 1996~1997년, 사업장폐기물은 2003~2004년을 기준으로 소각시설 및 방지시설의 현황을 파악하는 것이 합리적인 것으로 사료된다. 생활폐기물 소각시설의 방지시설 현황 및 효율은 1999년 국립환경연구원에서 발표한 자료¹⁾를 위주로 살펴보고 사업장폐기물 소각시설에 대해서는 2003~2004년에 본 연구진이 실측한 자료를 위주로 정리하였다.

2. 국내의 폐기물발생 및 처리현황 분석

2.1. 폐기물 발생량

우리나라의 폐기물 총 발생량은 외환위기로 인해 경제활동과 소비가 위축된 1998년을 제외하면 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 이 가운데 생활폐기물(사업장생활계폐기물 포함)의 발생량은 1997년 외환위기 이후 감소하였다가 경제 회복 및 소비수준의 향상에 따라 매년 증가하고 있어 2002년도의 생활폐기물은 2000년 대비 약 7.5%가 증가한 49,902톤/일이 발생하여 외환위기 이전의 수준에 근접하고 있다. 사업장폐기물은 산업활동 증가와 경제규모의 확대 등으로 최근 10년 동안 지속적으로 증가하고 있다. 특히, 재건축·재개

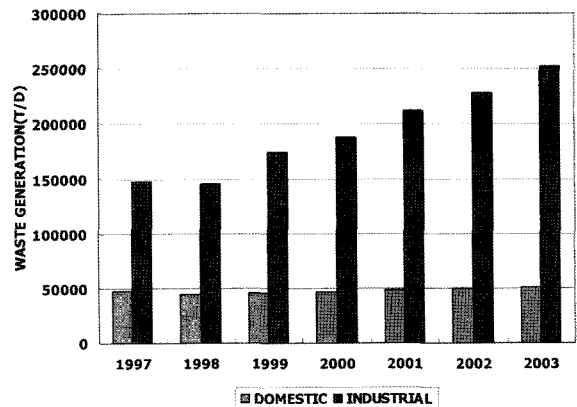


Fig. 1. Waste generation trend in Korea.

E-mail: jidong@uos.ac.kr

Tel: 02-2210-2532

Fax: 02-2210-2878

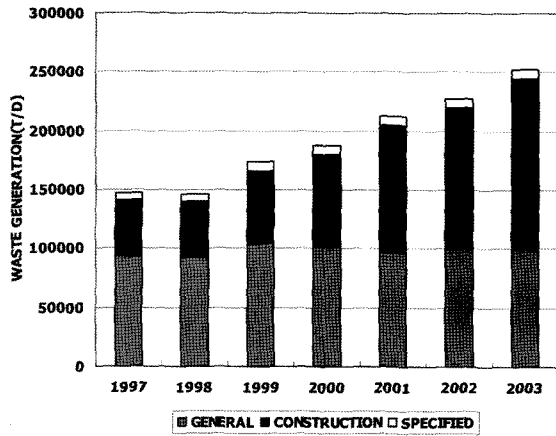


Fig. 2. Industrial waste generation trend in Korea.

발 사업 등이 활발하게 이루어지면서 건설폐기물의 증가 폭이 두드러지게 나타나고 있다. 이를 Fig. 1~2에 나타내었다.

2.2. 폐기물 처리 현황

폐기물의 처리방법에는 생활폐기물과 사업장폐기물 모두 재활용과 소각처리의 비율이 지속적으로 늘어가는 반면, 매립률은 점차 줄어드는 추세를 보이고 있다. 이를 Fig. 3~4에 나타내었다. 생활폐기물의 경우, 소각률이 1996년 5.5%에서 2002년 14.5%로 상승한 반면, 매립률은 1996년의 68.3%에서 2002년 41.5%로 낮아졌다. 사업장폐기물은 대체로 각각의 사업장에서 배출되는 폐기물의 종류와 성상에 큰 변화가 없고 배출량에 대한 예측이 가능하며, 어떤 사업장에서는 불필요한 폐기물이라도 다른 사업장에서는 원료로 사용할 수 있는 경우가 많기 때문에 생활폐기물에 비해 재활용이 용이하여 2002년 현재 발생량 대비 평균 75.7%의 높은 재활용율을 보이고 있다. 또한, 매립률은 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있으나, 소각률은 큰 변화를 보이지 않고 있다.¹⁾ 사업장폐기물의 경우, 2011년까지 감량목표를 8%, 재활용률 80%로 계획하고 있으며, 처리해야 할 사업장폐기물 중 소각이 가능한 것은 가급적 소각처리 후 매립을 원칙으로 하여 소각률을 점차 높여려는 계획을 하고 있다.^{2,5)}

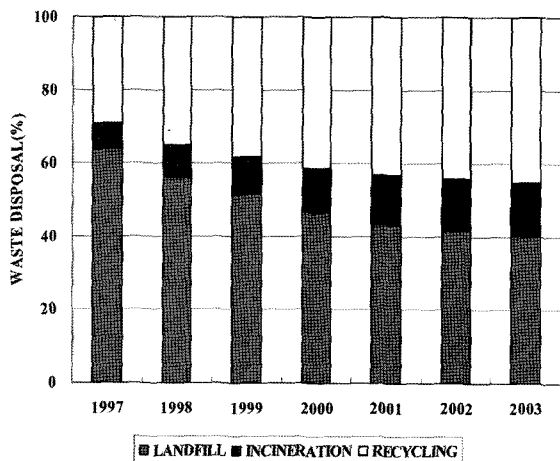


Fig. 3. Domestic waste disposal trend in Korea.

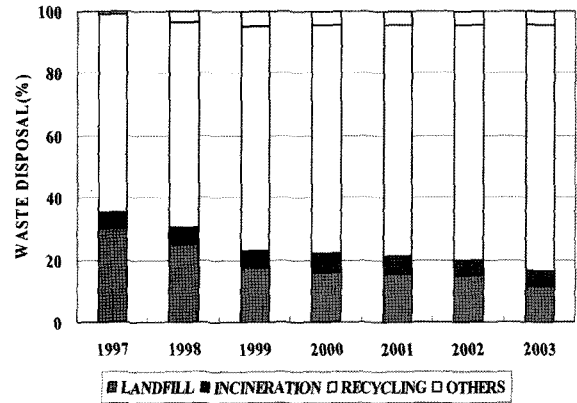


Fig. 4. Industrial waste disposal trend in Korea.

3. 다이옥신의 생성 요인 및 저감방안

일반적으로 다이옥신은 아주 강한 독성 때문에 관심의 대상이 되어 왔으며 연소공정 특히, 쓰레기 소각시설이 주요한 배출원임이 밝혀지고 있다.⁷⁾ 소각공정의 다이옥신류 배출 원인은 아직 명확히 밝혀지지 않았으나 여러 연구를 통해 현재까지 알려진 다이옥신류 배출 원인은 크게 2가지로 요약되는데, 첫째는 폐기물 소각 시 발생하는 경우이고 둘째는 냉각시설 및 방지시설에서 재합성되는 경우이다. 특히, 폐기물 소각 시 생성되는 경우는 다음과 같이 4가지로 요약될 수 있다. (1) 쓰레기 중에 함유되어 있는 다이옥신류가 소각로에서 열분해, 산화 분해되지 않고 그대로 배출되는 경우, (2) 염소치환형의 벤젠핵을 가지고 있는 다이옥신류의 전구물질들(PCBs, CBs, CPs, CNs)로부터 다이옥신류가 생성되는 경우, (3) PVC, CCl₄, 4염화에틸렌(C₂Cl₄), 클로로포름(CHCl₃) 등과 같이 벤젠핵을 가지고 있지 않지만 염소원을 함유하고 있어 고온에서 열화학반응에 의해 다이옥신류 및 전구물질이 생성되는 경우, (4) 리그닌 및 폴리프로필렌(PP) 등과 같이 벤젠핵과 염소성분을 함유하고 있지 않은 유기물과 탄소 등이 염소원(HCl, Cl₂, NaCl, AlCl₃)과의 반응에 의해 다이옥신류가 생성되는 경우가 있다. 또한, 냉각시설 및 방지시설 등에서 재합성은 비교적 저온인 냉각시설이나 방지시설 등에 퇴적된 비산재 표면에서 주로 일어나는 반응에 의해 다이옥신이 재합성되는 것으로서 이를 디노버합성(*de Novo synthesis*)이라고 한다. 이때 비산재는 표면재공뿐만 아니라 탄소 공여체의 역할도 하고 있으며 비산재 속에 포함된 중금속들(Cu, CuCl₂ 등)은 이 반응을 촉진시키는 역할을 하고 있다. 특히, 재합성으로 인한 농도의 증가를 줄이기 위해서는 급속냉각을 통한 다이옥신 재합성 온도 범위에서의 체류시간을 최소화시키는 것이 필요하다.^{6,9,12)} 또한, 최적의 방지시설을 설치하여 추가적인 제어가 필요하다. 방지시설별 다이옥신 제거를 위한 핵심 기술들을 살펴보면 (1) 전기집진기 운전온도의 저온화, 전단에 활성탄 분무, (2) 여과집진기는 소석회 및 활성탄 주입, 운전온도의 저온화, (3) 습식세정탑은 세정수를 재순환하여 사용하지 않고 세정수에 활성탄 혼합사용, (4) 선택적촉매환원장치는 Ti-V계의 저온촉매층 사용 등을 들 수 있다.

4. 대형 생활폐기물 소각시설의 다이옥신 배출 및 저감실태 분석

4.1. 소각시설 설치현황³⁾

다이옥신 문제가 사회적인 이슈화가 된 1990년대 후반 당시 다이옥신을 제거 또는 저감시키기 위하여 방지시설의 설치가 필수적이었는데 우리나라의 소각시설에서 배출되는 다이옥신 제거 등에 가장 효율적인 방지시설이 무엇인지에 대한 체계적인 분석이 이루어지지 못한 상태에서 외국에서 개발된 기술을 도입하여 설치하였다. 주로 설치된 방지시설은 먼지 제거용으로는 전기집진기(EP), 여과집진기(BF)이었고 산성가스 제거용으로는 습식세정탑(WS), 반건식반응탑(SDR), 질소산화물 제거용으로는 선택적촉매환원장치(SCR), 선택적비촉매환원장치(SNCR) 등이었다. 또한 이 때는 다이옥신에 대한 주민들의 관심이 극대화된 시점이라 비교적 고가인 SCR을 대부분 설치하였다. 앞에서 언급했듯이 이 당시 가동 중인 소각시설의 대부분은 외국의 기술에 의해 설계된 것으로 주로 1990년도 초에 건설되기 시작한 것들인데, 대기오염방지시설로 전기집진기(EP)와 습식세정기(WS)를 많이 채택하고 있는 것으로 나타나 다이옥신 등 미량유해물질의 흡착제거보다는 산성가스 및 중금속 등의 제거를 목적으로 방지시설들이 설치되었던 것으로 보인다. 또한, 대부분의 소각시설들이 운전경험이 짧은 우수연소를 위한 운전기술의 축적이 미미하였다. 1997년 당시 가동 중인 대형 생활폐기물 소각시설의 설치 현황을 Table 1에 나타내었다. 한편, 생활폐기물 소각시설의 다이옥신 배출기준은 Table 2와 같다.

Table 1. Capacities and control devices in MSW incinerators ('97)³⁾

Facility	Capacity(ton/day)	Controldevices	Years founded
I	300	EP/SCR/WS	'92~'95
P	200	SDA/BF	'91~'93
J	200	EP/WS	'92~'95
M	400	SDA/BF	'92~'96
S	800	EP/WS/SCR	'93~'97
SS	200	EP/WS	'90~'92
C	200	SDA/BF	'93~'95
D	200	EP/WS	'93~'95
H	400	EP/WS/SCR	'94~'96

Table 2. Emission standard level of dioxins in large-scale MSW incinerators(Unit: ng-TEQ/Nm³)

	Standard Level	Period of Effectiveness
New Facility	0.1 (Standard)	after '97.7.1
Old Facility	0.5 (Recommended)	'97.7.1~'99.6.30
	0.5 (Standard)	'97.7.1~'03.6.30
	0.1 (Standard)	after '03.7.1

Table 3. Removal efficiency of dioxin emissions in EP¹⁾

Facility	Removal Efficiency(%)	Inlet Temp.(°C)	AC Injection
D	67.6	155	○
S	85.7	200	×
J	95.4	219	○
SS	71.4	243	○
H	-113.3	225	×
I	-44.0	271	×
Average	47.9		

4.2. 방지시설별 다이옥신 제거효율 분석³⁾

1) 전기집진기(EP)

전기집진기의 다이옥신 제거효율은 Table 3과 같이 -113.3~95.4%(평균 47.9%)로 나타났으며 J시설의 경우 전기집진기 유입온도를 200°C 이하로 낮추고 전단에 활성탄을 분무하여 최고 95%까지 향상시켰으나 H 소각시설과 I 소각시설에서는 오히려 전기집진기 후단에서 농도가 증가하였다. 위의 결과를 토대로 판단해 보았을 때 전기집진기에서는 운전 온도의 저온화와 활성탄 분무의 적용으로 효율 향상을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 반건식반응탑(SDR)/여과집진기(BF)

이 시스템의 다이옥신 제거효율은 Table 4와 같이 97.7%~98.9%(평균 98.5%)로 조사대상 방지시설 중에서 가장 높은 제거효율을 나타내고 있다. 위의 결과를 토대로 판단해 보았을 때 폐기물 소각시스템에서는 활성탄의 분무가 필요하며 소석회와의 혼합 또는 분리 분무에 따른 효과의 차이는 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

3) 습식세정탑(WS)

습식세정탑의 다이옥신 제거효율은 Table 5에서 보는 바와 같이 -5,730.8~82.5%(평균 -80.7%)로 나타났다. 세정수에 활성탄을 혼합사용하지 않는 경우는 전부 습식세정탑 후단에서 농도가 증가하는 것으로 나타났고, 세정수에 활성탄을 혼합사용하는 경우는 -44.3%에서 82.5%까지 활성탄의 사용농도가 증가할수록 제거효율이 향상되는 것으로 조사되었다. 한편 세정수를 순환하여 사용할 경우에는 다이옥신이 증가하였는데 이는 기억효과(memory effect)에 의한 것으로 사료

Table 4. Removal efficiency of dioxin emissions in SDR/BF¹⁾

Facility	Removal Efficiency(%)	Inlet Temp. (°C)	
M	98.9	140	Mixture (Lime+AC)
P	98.5	160	Separate Inj. (Lime, AC)
C	97.7	160	Mixture (Lime+AC)
Average	98.5		

Table 5. Removal Efficiency of Dioxin Emissions in WS¹⁾

Facility	Removal Efficiency(%)	
J	-5,730.8	No AC Injected in Scrubbing Water
D(1st)	-24.7	
H	-31.8	
S	-47.9	
I	-78.6	
D(2nd)	-34.5	
Average	-135.0	
SS	-44.3	AC Concentration: 400 ppm
D(3rd)	67.5	AC Concentration: 14,300 ppm
	82.5	AC Concentration: 18,300 ppm
Average	14.3	
Total Average	-80.7	

된다. 이로 판단해 불 때 세정수에 활성탄을 혼합사용하고, 세정수를 순환하지 않는다면 제거효율을 높일 수 있는 것으로 사료된다.

4) 선택적촉매환원장치(SCR)

SCR의 다이옥신 제거효율은 Table 6과 같이 20.8~96.5% (평균 88.6%)로 나타났다. D 소각시설 1개소에 대하여 SCR의 운전온도를 315℃에서 240℃로 변화시켜 측정된 결과 온도가 낮아질수록 다이옥신류의 제거효율은 36.8%에서 96.5%로 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따라 SCR에 의한 다이옥신류의 효율적인 제거를 위해서는 다이옥신이 합성되기 쉬운 300~320℃에서 운전되는 환원촉매보다는 210~260℃에서 운전되는 산화촉매가 효율적인 것으로 판단되나, 아황산가스에 의한 촉매독을 고려하여 운전온도를 결정하는 것이 타당할 것으로 보인다.

5) 요약

조사결과 SDR/BF에 활성탄을 분무하는 시스템이 가장 안정적이면서 높은 효율을 보였다. 그다음이 SCR이지만 이것에서는 저온 운전이 요구된다. 그 외 현재까지 상용화 실적이 가장 많은 EP와 WS에는 오히려 후단에서 농도가 증가하는 경우가 있었다. EP에서는 저온화 및 활성탄 분무가 필요하고 WS에서는 활성탄 분무와 세정수를 순환하지 않는 조치가 필요하다.

Table 6. Removal Efficiency of Dioxin Emissions in SCR¹⁾

Facility	Removal Efficiency(%)	Inlet Temp.(℃)
H	89.2	311
S	92.7	309
I	88.5	257
M	20.8	196
D	36.8	315
	59.9	280
	96.5	240
Average	88.6	

이후 새로 설치되는 대형 생활폐기물 소각시설에서는(SNCR)/SDR/AC/BF/(SCR) 시스템 위주로 방지시설이 구성되었다. 다만 SCR 또는 SNCR을 설치할 것인가는 선택적인 부분으로 남겨져 있다. 한편, 기존시설의 경우에는 시설 개·보수 시 위의 사항을 참조하여 그 시설에 적합하게 시스템을 결정하여야 할 것이다.

5. 대형 사업장폐기물 소각시설

5.1. 개요

과거 시간당 2톤 이상의 대형 생활폐기물 소각시설을 위주로 다이옥신 배출특성조사, 다이옥신 규제기준 설정 및 소각시설의 개·보수를 위한 국고지원 등이 이루어져 왔다. 그러나 사업장폐기물 소각시설에 대해서는 생활폐기물소각시설보다 실태자료가 부족하고 적정관리방안이 미미한 상태여서 완화된 기준을 적용하고 있었다. 그러나 2006년을 기점으로 사업장폐기물 다이옥신 기준이 강화됨으로 다이옥신류의 배출실태 및 운영개선방안이 필요하고 향후 이런 추세는 지속될 전망이다. 사업장폐기물 소각시설에서의 다이옥신 강화 기준은 Table 7과 같다.

5.2. 대형 사업장폐기물 소각시설의 현황

1) 대상시설의 선정

2004년 현재 운영중인 시간당 소각용량 2톤 이상인 대형 사업장폐기물 소각시설 중 소각로형식, 소각대상폐기물 및 냉각방식에 따라 20개 시설을 선정하여 각 방지시설별 다이옥신류의 제거효율 및 배출특성을 분석하였다.

2) 각 대상시설의 개요

조사대상시설은 소각로 형식별로 구분하여 스토커식 소각로 10개, 로타리킬른식 소각로 4개, 스토커·로타리킬른 혼합형 1개, 유동상식 소각로 4개, 회전로상식 소각로 1개 시설이었다. 소각 대상 폐기물 종류별로 구분하면, 지정폐기물 소각시설이 1개 시설이었으며, 지정 및 사업장일반폐기물 혼합 소각시설이 8개 시설, 사업장일반폐기물 소각시설이 총 11개 시설이었다. 방지시설의 종류는 다양하였는데 먼지 제거용 집진기로는 전기집진기(EP), 여과집진기(BF), 원심력집진기(CY) 등이 있었다. 산성가스 제거용은 습식세정탑(WS), 벤추리스크러버(VS), 회전흡수탑(RS), 회전막흡수탑(RMS), 층진탑(PT), 흡수탑(ST), 반건식세정탑(SDR), 건식세정탑(DS) 등이 있었다. 그리고 질소산화물 제거용 시설로는 선택적촉매 환원장치(SCR)가 있었다. 이를 Table 8에 나타내었다.

Table 7. Emission Standard Level of Dioxin in Large-Scale Industrial Waste Incinerators(Unit: ng-TEQ/Nm³)

Capacity	New Facility	Old Facility	
		Before(*05.12.31)	After(*06.1.1)
larger than 4 ton/h	0.1	20	1
2 ton/h ~ 4 ton/h	1	40	5
25 kg/h ~ 2 ton/h	5	40	10

Table 8. Capacities and Control Devices of Industrial Waste Incinerators Investigated

System	Capacity (ton/hr)	Control Devices
S-1	3.25	CY - SDR - BF
S-2	3.95	SDR - BF - WS
S-3	3.75	CY - VS - WS - Wet EP
S-4	3.00	SDR - CY - BF - WS
S-5	2.00	CY - DS - BF
S-6	4.00	CY - ST - CS - RMS
S-7	3.50	SDR - BF
S-8	2.00	CY - EP
S-9	3.75	CY - RMS - RS
S-10	3.75	SDR - BF
R-1	6.25	EP - VS - WS - SCR
R-2	3.54	EP - WS - WS
R-3	2.00	CY - VS - BF
R-4	2.00	Hot CY - WHB - EP - WS
R-5	4.00	CY - SDR - BF
F-1	3.80	BF - WS
F-2	3.70	SDR - BF - WS
F-3	2.30	CY - SDR - BF
F-4	2.30	WHB - BF
M-1	2.00	CY - BF - Wet EP

Remark] S(Stoker), R(Rotary kiln), F(Fluidized-bed combustor), M (Moving-bed combustor), CC(Combustion Chamber), WHB(Waste Heat Boiler), CT(Cooling Tower), EP(Electrostatic Precipitator), CY(Cyclone), BF(Bag Filter), DS(Dry Scrubber), CS(Cyclone Scrubber), VS(Venturi Scrubber), WS(Wet Scrubber), SDR(Spray Drying Reactor), PT(Packed Tower), RMS(Rotary Membrane Scrubber), RS(Rotary Scrubber), ST(Spray Tower), AP(Air Preheater), SH(Steam Heater), GH(Gas Heater), RD(Rotary Dryer), SCR(Selective Catalytic Reduction)

5.3. 주요 방지시설별 다이옥신 제거효율

주요 방지시설별 다이옥신 제거효율을 총괄적으로 나타내면 Table 9와 같다. 집진기의 경우는 BF가 가장 처리효율이 좋았다. CY와 EP의 경우는 집진기를 통과 후 다이옥신 농도가 오히려 증가함을 보였다. 특히, EP의 경우는 더욱 그러하다. 그리고 산성가스 제거용 시설에서는 WS가 SDR보다 다이옥신 제거효율이 높게 나왔다. 그러나 SDR이 BF와 조합할

Table 9. Removal Efficiency of Dioxin Emissions by Control Device

Device	Average	Range
CY (n=6)	-57.0	-260.7 ~ 11.6
EP (n=2)	-314.0	-568.8 ~ -59.1
BF (n=7)	59.2	-65.7 ~ 95.9
SDR (n=6)	-7.0	-184.0 ~ 54.6
SDR+BF (n=5)	66.9	27.1 ~ 97.4
WS (n=8)	16.1	-123.2 ~ 88.1
SCR (n=1)	85.6	83.6 ~ 87.5

경우(SDR/BF)는 훨씬 높은 제거효율 뿐만 아니라 안정적인 성능을 보였다(방지시설 중 유일하게 제거효율이 전부 양(+))의 영역임). SCR의 경우는 비교적 높은 제거효율을 보였지만 실험대상이 1개로 향후 실험대상 수를 늘려 객관성을 확보해야 할 필요가 있다. SCR의 경우는 생활폐기물소각시설에 비해 설치된 수가 적었다. 그러나 2006년 이후에는 생활폐기물 소각시설에서와 같이 SCR을 설치하는 소각시설이 많아질 것으로 사료된다.

5.4. 방지시설별 다이옥신 제거효율 분석

1) 원심력집진기(CY)

CY의 다이옥신 제거효율을 Fig. 5에 나타내었다. CY는 비교적 큰 먼지를 제거하는 장치로서 CY를 거치면서 다이옥신 농도가 오히려 증가되는 경향을 보였다. S-3와 S-4시설의 경우는 다이옥신 제거효과가 있었으며 이는 CY전단에 소석회와 활성탄을 분사하였기 때문이라 사료된다. 이로 판단해 볼 때 CY에서의 다이옥신 제거효율은 그 전단에 소석회 또는 활성탄의 분사유무가 더욱 중요할 것으로 판단된다.

2) 여과집진기(BF)

BF의 다이옥신 제거효율을 Fig. 6에 나타내었다. BF를 거치면서 대체로 다이옥신 농도가 감소되는 경향을 보였지만 F-1시설에서는 오히려 증가하는 경향을 보였다. BF는 CY와 달리 미세한 먼지도 제거가 가능하여 다이옥신 제거효율이 전반적으로 높았다.

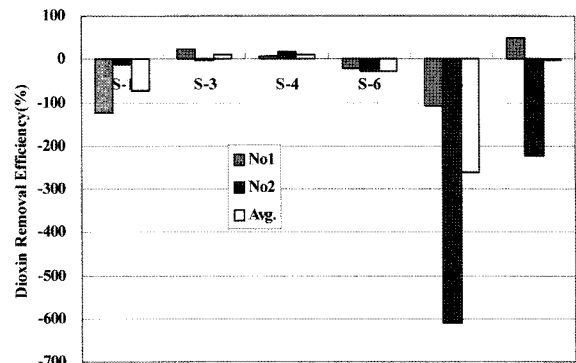


Fig. 5. Removal efficiency of dioxin in CY.

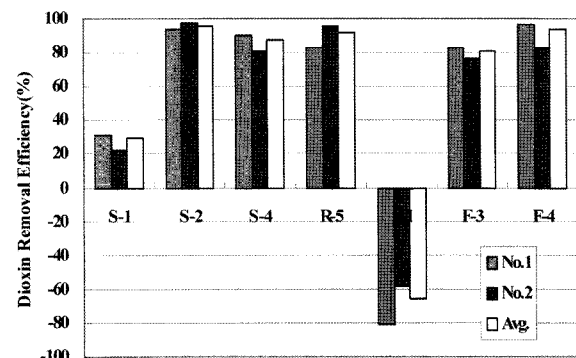


Fig. 6. Removal efficiency of dioxin in BF.

Table 10. Removal Efficiency of Dioxin in EP

System	Removal Efficiency(%)		
	No.1	No.2	Avg.
R-1	10.0	-174.3	-59.1
R-2	-920.3	-348.0	-568.8

3) 전기집진기(EP)

EP의 다이옥신 제거효율을 Table 10에 나타내었다. EP를 거치면서 다이옥신 농도가 증가되는 경향을 보였다. EP 통과 후 다이옥신 농도가 오히려 증가한 것은 EP 전단 온도가 약 350℃ 정도로 다이옥신의 재합성이 용이한 온도조건이었기 때문이라 사료된다. 앞에서 살펴본 생활폐기물 소각시설에서도 이러한 경향을 보인 사례가 있었으며, 이를 개선하기 위하여 EP 운전온도의 저온화와 EP 전단에 활성탄을 분사하여 효과를 본 사례가 있다.^{1,4,8,11)}

4) 반건식반응탑(SDR)여과집진기(BF)

SDR/BF의 다이옥신 제거효율을 Fig. 7에 나타내었다. 최근 들어 SDR/BF의 조합이 선호되고 있는 추세이며 보통 이 시스템을 하나의 시스템으로 간주하기도 한다. 또한 다이옥신을 비롯한 미량 독성물질의 보다 안정적인 처리를 위해 소석회와 함께 활성탄을 분사하여 활성탄 흡착에 의한 제거효과를 본 사례가 많다.^{3,11)}

Fig. 7에서 보는 바와 같이 이 시스템을 통과할 경우 다이옥신은 모두 안정적으로 제거됨을 알 수 있다. 이런 결과는 앞에서 살펴본 생활폐기물 소각시설에서도 입증된 바 있다.^{1,4,10)}

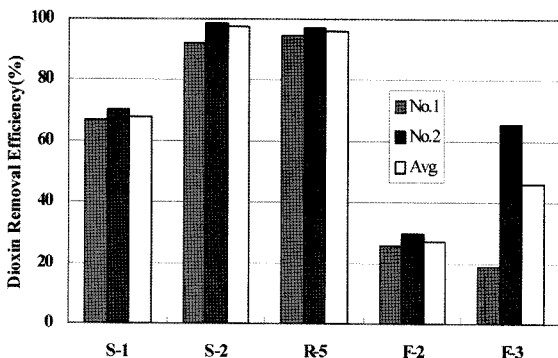


Fig. 7. Removal efficiency of dioxin in SDR + BF.

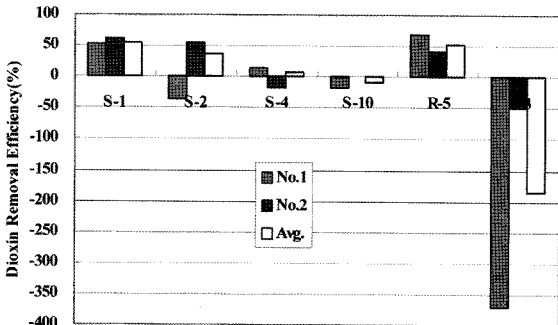


Fig. 8. Removal efficiency of dioxin in SDR.

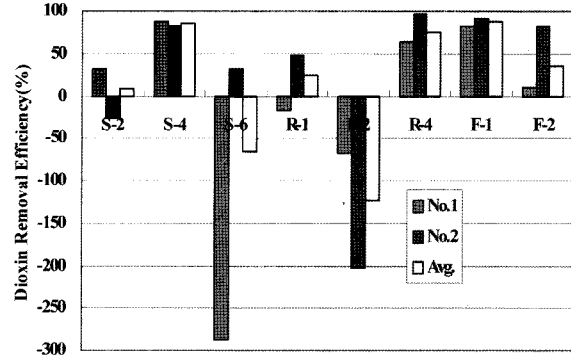


Fig. 9. Removal efficiency of dioxin in WS.

5) 반건식반응탑(SDR)

Fig. 8에서 볼 수 있듯이 SDR은 산성가스를 제거하는 장치이지만 반응기내에서 흡수, 흡착이 진행되므로 다이옥신이 일부 흡착에 의해 제거되기도 한다.

6) 습식세정탑(WS)

WS는 산성가스를 제거하는 습식장치이지만 반응기내에서 입자상물질이 응집, 제거되므로 다이옥신이 일부 제거되기도 하는데 이는 Fig. 9에서 보는 바와 같다. 하지만 일부에서는 오히려 WS를 통과 후 다이옥신이 증가하는 경우도 있는데 이는 세정수의 순환에 의해 장치내 부착된 다이옥신이 가스상으로 전이되어 나타나는 메모리 효과(memory effect) 때문이라 사료된다.

특히, 이런 현상은 습식세정탑이 두 대가 직렬로 설치된 시설(S-6: ST/CS, R-1: VS/WS, R-2: WS/WS)에서 두드러짐을 알 수 있었다. 생활폐기물 소각시설의 경우에도 이런 메모리 효과가 나타났으며, 이런 영향을 억제하기 위해 세정수를 재순환하지 않고 활성탄을 물속에 분사시키는 등의 운전개선을 시도하여 효과를 볼 수 있을 것이다.^{1,4,13)}

7) 요약

집진기의 경우는 BF가 처리효율이 가장 좋았다. CY와 EP의 경우는 집진기를 통과한 후 다이옥신 농도가 오히려 증가하였다. 산성가스 제거용 시설에서도 일부 다이옥신 제거효과를 확인하였는데 WS에서는 입자의 응집효과로, SDR에서는 흡착효과의 영향으로 사료된다. 현재 여러 가지 방치시설의 조합이 시도되고 있지만 대형 사업장폐기물 소각시설에서는 SDR/AC/BF 시스템이 효율성 뿐만 아니라 안정성면에서도 우수함이 확인되었다. 앞에서 살펴본 대형 생활계폐기물소각시설에서도 확인되었듯이 향후 사업장폐기물 소각시설의 신설 시에는 이 SDR/AC/BF 시스템 및 이를 응용한 시스템이 유리할 것으로 사료된다.

6. 결론

1990년대 후반 국내에 사회적 이슈로 제기되었던 폐기물소각시설의 다이옥신 배출문제를 기술적으로 해결하기 위하여

다양한 방법과 시스템들이 적용되어 왔다.

본 연구에서는 기존에 적용되었던 생활폐기물 소각시설들의 저감 시스템과 현재 적용되고 있는 사업장폐기물 소각시설들의 저감 시스템에 대하여 다이옥신 저감 효율성을 평가, 분석하여 보았다.

그 결과, 과거에 주로 설치되었던 전기집진기 및 습식세정 시설들보다 활성탄 및 반응제 투입, 여과집진기에 의한 집진 시스템이 다이옥신 제거측면에서 월등한 성능을 나타내고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

현재, 소각시설에서 가장 선호될 수 있는 방지시설의 조합은(SNCR)/SDR/AC/BF/(SCR)으로 분석되었다. 이 중 SNCR과 SCR은 여러 가지 요소들을 고려하여 둘 중 한 방지시설이 선정될 수 있을 것이다. 그러나 향후 소각시설에서 질소산화물의 규제가 강화됨에 따라 두 방지시설 모두를 설치하는 Hybrid System도 고려될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김삼권, 도시쓰레기 소각시설의 방지시설별 다이옥신류 제거효율 연구, 도시쓰레기 소각효율 제고를 위한 기술 세미나, 국립환경연구원, pp. 19~48(1999).
2. 김지태, 한국의 자원순환형 폐기물관리정책, 2004 환경의날기념국제세미나, pp. 19~25(2004).
3. 서성석, 폐기물소각시설 SDA+B/F시스템의 활성탄 투입량과 백차압에 따른 다이옥신류 배출 특성 변화, 서울시립대학교 환경공학부 석사학위 논문, pp. 61~62(2000).
4. 이준홍, 도시쓰레기 소각시설의 방지시설별 다이옥신 제거 패턴, 대전시 소각로 준공기념 Workshop, 한국폐기물학회지, 147~164(1999).
5. 제2차국가폐기물관리종합계획(2002-2011), pp. 13,51, 환경부(2002).
6. Cains, P. W., Eduljee, G. H., Prediction of PCDD and PCDF Emissions From Municipal Solid Waste(MSW) Incinerators: *Chemosphere*, **34**(1), 51~69(1997).
7. Fiedler, H., Hutzinger, O., Timms, C. W., Dioxins: Sources of Environmental Load and Human Exposure, *Toxicol. Environ. Chem.*, **29**, pp. 157(1990).
8. Funcke, W., Hovemann, A., Luthardt, P., Influence of the electrostatic precipitator on concentrations of organic compounds in flue gas: *Chemosphere*, **26**(5), 863~870 (1993).
9. Gullett, B. K., Mechanistic steps in the production of PCDD and PCDF during waste combustion: *Chemosphere*, **25**(7-10), 1387~1392(1992).
10. Hahn, J., Technologies for dioxin control at Municipal Waste Combustion(MWC) beyond Good Combustion Practices(GCP) and Dry Scrubers/Fabric Filters(DS/FF): *Chemosphere*, **25**(1-2), 57~60(1992).
11. Schoner, P., Investigation of the reduction of PCDD and PCDF emissions at Hazardous, waste incineration plant: *Chemosphere*, **25**(7-10), 1421~1427(1992).
12. Thompson, D., An Evaluation of the heat of formation of chlorinated dioxins and its application to isomer abundance predictions: *Chemosphere*, **29**(12), 2545~2554(1994).
13. Uegg, H., Sigg, A., Dioxin removal in a wet scrubber and dry particulate remover: *Chemosphere*, **25**(1-2), 143~148(1992).