서울特別市 保健環境硏究論文集 第37號 (2001)
Report of S.I.H.E., 37:220~227 (2001)

소각시설에서 다이옥신 시료채취에 관한 연구

대기화학팀

오석률 · 조기찬 · 신진호 · 김정영 · 김영두 · 이동식 · 신정식

A Study on the Sampling Method of Dioxin in Incineration Facilities

Atmospheric Chemistry Team

Seok-ryul Oh, Gi-chan Cho, Jin-ho Shin, Jung-young Kim, Young-doo Kim, Dong-sig Lee, and Jung-sik Shin

Abstract

Recently, dioxin generated from municipal solid waste incinerators has become one of the environmental problems.

The dioxin sampling conditions of three countries were compared to determine optimum dioxin sampling condition from various parameters of dioxin sampling in this study.

Dioxin samples taken from different points of sampling apparatus were analyzed to compare the distribution of dioxin concentrations at different positions.

The results could be summarized as follows.

1. The dioxin sampling condition of Korea is similar to that of Japan. the dioxin sampling conditions of Korea and Japan are considered more effective than that of America for calculation of dioxin concentration in stack.
2. The distribution of dioxin concentration in each sampling process showed 54.5% at cleansing solvent, 25.5% at XAD-2Resin, 16.5% at condensate, 2.9% at filter, 0.6% at diethylene glycol, respectively.
3. The toxic equivalency quantity(TEQ) of dioxin concentration was evaluated using improved dioxin sampling condition in two incinerators. the isokinetic coefficients of dioxin sampling in N incinerator were 102.57% and 101.07%. Those of dioxin sampling in Y incinerator were 99.54% and 99.47%, which were within the limit of standard(95%~110%).

Key words : dioxin, incineration, facilities, toxic equivalency quantity

서 론

다이옥신은 의도적으로 합성되지는 않지만 여러 가지 경로를 통하여 생성될 수 있다. 그 중 화학공장에서 불순물로 생성되는 과정과 폐기물 소각로에서 생성되는 과정이 중요한 두가지 생성 경로로 알려져 있으며[1,2] 산불, 번개, 화재 또는 화산활동 등 자연적 연소과정에 의해서도 생성된다.[3] 이와같이 여러 가지 경로를 통해 다이옥신이 생성되지만 미국, 일본, 유럽 여러 나라에서의 다이옥신 생성원과 그 추정 배출량자료를 살펴보면 폐기물 소각과정에서의 다이옥신 생성량이 가장 많은 것으로 나타났다.[4]

폐기물의 중간처리 과정인 연소 및 소각공정은 가연성 물질의 부피를 감소시켜 매립지의 이용효율을 증대시키고 폐기물을 무기질화하여 위생적이고 안정한 물질로 전환시키며, 소각시 발생하는 폐열을 회수하여 에너지로 이용할 수 있는 장점이 있지만 연소 과정에서 2차 오염물질인 유독한 다이옥신류의 배출로 인해 인간의 건강에 위해를 끼치고 있다.[5]

우리 나라에서 다이옥신 문제가 제기된 것은 1987년 목동 자원회수시설에서 도시 쓰레기를 소각하기 시작하면서부터이다. 1998년 2월말 현재 우리나라 소각시설은 사업장폐기물 소각로 10,290개소 및 생활폐기물 소각로 3,551개소 등 총 13,841개의 소각시설이 운영되고 있다.[6,7]

다이옥신류는 소각로에서 먼지에 흡착된 상태 및 가스상으로 배출되며 이에 대한 정확한 시료채취를 위해서는 굴뚝과 덕트의 단면적에서 볼 때 유속과 오염농도가 지점별로 다르므로 채취된 시료가 오염도를 대표할 수 있도록 대기오염공정시험방법에 규정된 여러 지점에서 등속흡인 방법으로 채취하여야 한다.

도시폐기물중의 음식물 함유량에 따라 연소가스 중 수분농도는 차이가 있으나, 일반적으로 약 20% 정도의 많은 수분량, 배출가스온도, 오염물질 방지시설의 성능, 폐기물 연소에 의한 시간에 따른 유속의 변화등으로 인한 측정의 어려움으로 등속흡인을 하는데 어려움이 많다. 소각시설에서 실제로 발생되는 양이 배출가스 m^3당 나노그람(10^{-9}g)에서 피코그람(10^{-12}g)정도의 극미량이므로 이들을 정확히 측정 · 분석하기 위해서는 많은 비용과 숙련된 기술이 필요하다. 다이옥신류는 그 종류가 많고 각 성분이 미량이므로 측정 · 분석이 쉽지 않다.[8] 더구나 세계적으로 측정방법이 통일되어 있지 않아 측정데이터의 상호비교가 곤란한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 여러나라의 다이옥신 시료 채취방법에 대하여 비교 고찰하고 소각시설에서의 다이옥신 시료채취 방법의 개선을 통하여 다이옥신 배출농도를 정확히 측정하고자 하였으며 시료채취 장치의 각 단위장치별 다이옥신 포집효율을 실제 시료채취 및 분석을 통하여 그 분포특성을 구하고 시료채취 과정상의 개선을 도모하고자 하였다.

조사 대상 및 방법

1. 조사대상

본 조사에서는 개선된 다이옥신 측정조건을 이용한 측정방법으로 도시 생활폐기물 소각시설인N ,Y소각시설 2곳에 대하여 2000년 4월, 10월에 각각 3회씩, 2001년 4월에 2회 연속하여 다이옥신을 측정 · 분석하였으며 다이옥신 Sampling 부위별 다이옥신 포집량과 분포를 알아보기 위해 M소각장 배출구에서 4시간 측정한 후 시료채취 부위별로 구분하여 분석하였다.

2. 측정 · 분석방법

다이옥신 측정기기는 미국 CAE(Clean Air Engineering)에서 제작한 stack sampling system을 사용하였다. 다이옥신 분석에 사용된 가스크로마토그래피는 Fison사의 GC8000 series이며 컬럼은 SP-2331(SUPELCO, 60m×0.32mm id × 0.25㎛ film thickness)모세관 컬럼을 사용하였다. 분석에 사용된 HRMS는 Micromass사의 VG Autospec Ultima를 사용하였으며 분해능 10,000(10%valley기준)에서 SIM (Selected Ion Monitoring)방법으로 검출하였다. 측정 · 분석방법은 대기오염공정시험법 제3장 제2절 제29항(다이옥신 및 퓨란류)의 측정 · 분석방법을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 소각시설 배출가스의 다이옥신 시료채취 방법에 관한 고찰

우리나라의 다이옥신 시료채취방법은 일본의 채취방

법과 유사하며, 다이옥신 시료채취시에 많은 임핀저와 연결관을 사용하므로서 시료채취시 누출(Leak)문제의 해결이 어렵고, 입자상물질을 제거하는 여지홀더부분이 수평배열로 응축수의 수분함침이 발생하여 내부압력으로 인한 여지파손이 빈번하고, 누출문제의 보완이나 빈번한 여지교체 등으로 인한 작업중단으로 등속흡인에 대한 일관성이 유지되지 않아 등속계수가 대기오염공정시험방법의 규정치(95~110%)를 벗어나 정확한 시료채취가 이루어지지 않는 경우가 있었다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 여지홀더를 Probe후단과 임핀저 사이에 수직으로 배열하고 임핀저, 여지홀더, XAD-2수지 흡착관 및 모든 연결관 부위의 볼조인트에 실리콘 패킹을 부착하는 방법으로 개선한 결과 시료의 누출문제가 개선되었고, 여지내에 수분함침이 줄어 들었으며, 이로 인해 여지파손 현상도 줄어들어 소각시설에서 다이옥신 시료채취기간 중 여지의 교체 횟수를 줄일수 있었다.

다이옥신 시료채취방법를 다른 나라와 비교하기 위해 우리나라와 일본 및 미국의 다이옥신 시료채취방법을 Table 1에 나타내었다. 우리나라와 일본에서는 원통여지를 사용하고 있으며, 미국에서는 원형여지를 사용하고 있다. 여지의 배열은 모두 Probe후단에 위치시키고 있으며, 여지홀더부분에 응축수 방지수단으로 미국에서는 가열방식을 채택하고 있어 수분에의한 여지의 찢어짐이 없으나 대기공정오염시험법에는 입자상을 제거하는 여지부분에 수분건조장치가 없어서 여지가 잘 찢어지는 구조를 가지고 있어 시료채취시에 자주 갈아주는 단점이 있다.[8] 개선된 시료채취방법에서는 여지를 수직으로 배열시키므로서 응축수의 다량발생으로 인한 압력의 손실수두에 의하여 여지가 파손되는 단점을 보완하기 위하여 자연 유하력을 높여 여지의 파손을 줄일수 있었다.

XAD-2수지 흡착관은 미국에서는 가열시스템이 있어 임핀저 전단부에 위치시키고 있으나 우리나라와 일본에서는 가스 1.2 흡수부(임핀저) 중간부에 위치 시키고 있으며, 응축수의 처리관계로 우리는 배열형태를 수직으로 하였다.

가스의 냉각방식은 미국에서는 흡착관의 2중벽으로 냉각수를 순환시키고 있으나 우리나라와 일본에서는 Ice Bath를 이용하는 자연냉각방식을 채택하고 있다.[9]

다이옥신의 최종 흡수액으로 우리나라와 일본에서는 디에틸렌글리콜을 사용하고 있으나 미국에서는 이를 사용하지 않고 있다. 다이옥신 분석용 시료의 범위는 미국에서는 다이옥신의 물에 대한 용해도 및 증기압이 매우 낮으며 지용성이라는 물리적 성질에 근거하여 측정시 회수된 응축수분을 사용하지 않고 있으며, 여지와 XAD-2수지, 흡착관 전단부의 연결관 세척액만을 분석시료로

Table 1. Comparison of dioxin sampling conditions of different countries (Korea, Japan, U.S.A.)

구분 / 국명	한 국	일 본	미 국
여 지 종 류	원통형여지	원통형여지	원형여지
여지 배열위치	Probe 후단부	Probe 후단부	Probe 후단부
여지 배열형태	수평 배열 (수직 배열)	수평 배열	수평 배열
여지의 응축 방지 수단	자연식	자연식	가열(Heating)
XAD-2수지 흡착관 위치	가스 1.2흡수부의임핀저 중간	가스 1.2흡수부의임핀저 중간	임핀저 전단부
XAD-2수지 흡착관 배열형태	수평 배열 (수직 배열)	수평 배열	수직 배열
XAD-2수지 흡착관및 가스냉각	Ice Bath를 이용한 자연식	Ice Bath를 이용한 자연식	흡착관 2중벽사이로 냉각수순환
임핀저 형태	Ball Type(누출 방지용 실리콘 패킹 부착)	Ball Type	Ball Type
응축 수분회수	임 핀 저	임 핀 저	임 핀 저
다이옥신 최종흡수액	디에틸렌 글리콜	디에틸렌 글리콜	사용치 않음
최종 수분제거수단	제습용 실리카겔	제습용 실리카겔	제습용 실리카겔
다이옥신 분석용 시료범위	여지, XAD-2수지, 응축수분, 디에틸렌 글리콜, 임핀저 및 연결관 세척액	여지, XAD-2수지, 응축수분, 디에틸렌 글리콜, 임핀저 및 연결관 세척액	여지, XAD-2수지, 흡착관 전단부의 연결관 세척액

사용하고 있으나, 우리나라와 일본에서는 여지, XAD-2 수지, 응축수분, 디에틸렌글리콜액, 임핀저 및 연결관 세척액 전부를 시료로 사용하고 있어 Table 1에 나타난 것처럼 보다 정확한 농도산정을 위해서는 미국보다 정확하고 효과적인 것으로 사료된다.

2. 다이옥신 시료채취 부위별 다이옥신 포집량과 분포

다이옥신 시료채취 부위별 다이옥신 포집량과 분포를 알아보기 위해 본 조사에서는 도시생활 폐기물 소각시설인 M소각장 배출구에서 4시간 측정한 후 시료채취 부위별로 구분하여 분석하였다. 다이옥신 시료채취 부위는 크게 probe(nozzle포함), 여지(filter), 가스제1흡수부(Impinger1,2,3), XAD-2Resin, 가스제2흡수부(Impinger4,5)로 구성되는데 본 조사에서는 Sampling 부위에 포집된 시료를 여지(filter), XAD-2Resin, 응축수, 디에틸렌글리콜, Impinger와 Probe(nozzle포함) 및 연결관 세척액(메탄올, 톨루엔)으로 구분하여 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다. 분석결과 포집된 다이옥신량을 백분율로 환산하면 세척액 54.5%, XAD-2Resin 25.5%, 응축수 16.5%, 여지 2.9%, 디에틸렌글리콜 0.6%로 나타났다. 세척액에서 전체의 54.5%가 포집되어 가장 높은 값을 나타내었으며 이는 측정후 보다 세심한 세척이 요구된다 하겠다. 최종흡수액으로 사용되는 디에틸렌글리콜에서는 0.6%로 매우 낮은 값을 보였다. 다이옥신이 물에 대한 용해도 및 증기압이 매우 낮고 지용성이라는 일반적인 이론에도 불구하고 응축수내에서 전체량의 16.7%가 포집되었다. XAD수지 부분에서 25.5%의 값을 나타낸 것은 방지시설을 통과한 배출가스에서 가스상의 dioxin류가 전체 dioxin류중의 상당부분을 차지하기 때문에 XAD수지에 의한 흡착효율은 상당부분 나타낸다고 할 수 있다. 또한, 노즐등의 세척액 부분을 제외한다면 가장 높은 dioxin류 분포를 나타내어 다이옥신 측정에 있어서 특히 방지시설을 통과하여 농도가 매우 낮을 경우에는 가장 중요한 포집위치라는 것을 알 수 있다. 여지에 포집된 다이옥신량은 2.9%로 이는 측정지점에서 포집되는 입자상 물질의 포집량과 관계되는 것으로 본 조사를 한 소각장에서는 방지시설(EP+WET Scrubber)을 통과하는 과정에서 입자상 물질이 대부분 제거되어 입자상물질이 여지에 포집되는 양이 적어 상대적으로 낮게 나타난 것으로 사료된다. 이는 방지시설 및 측정위치에 따라 변화 될수 있으므로 이에 관한 사항은 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Table 2. Dioxin isomers distributions at different units of sampling process (unit : pg-TEQ/Nm^3)

	Cleansing Solvent	XAD-2Resin	Conde-nsate	Filter	Diethylene glycol
2,3,7,8-TCDF	5.60	11.04	3.10	0.19	0.05
2,3,4,7,8-PeCDF	7.93	7.09	1.89	0.21	0.06
1,2,3,7,8-PeCDF	113.73	55.12	39.92	4.00	0.64
1,2,3,4,7,8-HxCDF	24.51	6.58	5.32	1.14	0.22
1,2,3,7,8,9-HxCDF	31.96	7.19	5.94	1.46	0.23
1,2,3,6,7,8-HxCDF	47.10	8.18	9.77	2.81	0.23
2,3,4,6,7,8-HxCDF	13.43	2.09	3.18	0.60	0.16
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	9.14	0.73	1.18	0.72	0.03
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1.66	0.14	0.31	0.17	0.02
OCDF	0.40	0.02	0.07	0.08	0.00
2,3,7,8-TCDD	10.96	18.25	5.33	0.69	0.50
1,2,3,7,8-PeCDD	5.73	22.47	8.73	0.00	0.37
1,2,3,4,7,8-HxCDD	5.77	1.44	1.90	0.50	0.12
1,2,3,6,7,8-HxCDD	14.22	2.82	3.64	1.21	0.20
1,2,3,7,8,9-HxCDD	9.01	1.39	2.18	0.98	0.28
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	7.64	0.48	1.06	1.20	0.04
OCDD	0.89	0.05	0.12	0.32	0.01
Total	309.68	145.09	93.67	16.28	3.16
% of Total	54.5	25.6	16.5	2.9	0.6

윤[10]의 Table 3은 집진기 전단에서 다이옥신 시료채취시스템으로 시료를 채취하여 각 구간별 다이옥신류의 농도 분포를 나타낸 것이다. TEQ환산 농도를 기준으로 할 때 세척액(임핀저) : 여지 : 노즐(노즐, 흡인관) : 수지 = 56 : 21 : 12 : 11으로 세척액의 다이옥신류 비율이 다른 구간에 비해 56%로 상당히 높고 그 다음 여지가 21%로 높은 비율을 나타내고 있다. 본 조사와는 Sampling 부위별 분석을 달리하여 나타내고 있으나 여

Table 3. Dioxin level distribution for the sample of dust before dust collection system

Unit	Total	Nozzle	Filtera	Cleansing Solvent	Resin
ng-TEQ/Nm^3	0.73	0.09	0.15	0.41	0.08
%	100	12	21	56	11
ng/Nm^3	23.08	5.33	7.89	7.71	2.15
%	100	23	34	34	9

지 부위의 경우 21%로 본 조사의 2.9%와는 상당한 차이를 보이고 있다. 본 조사에서는 집진시설을 통과하면서 다이옥신를 포함하고 있는 입자상물질이 제거되어 상대적으로 낮게 분포되고 있는 것으로 판단된다. 최종 가스흡수액인 디에틸렌글리콜에서도 낮은 농도 비율이지만 0.6%로 나타나 모든 시료채취 부위에서 다이옥신이 검출되는 것을 알 수 있다. 실험특성에 따라 다이옥신류 시료채취시스템의 구간별로 농도비율에 차이가 나지만 전반적으로 세척액 부분의 다이옥신류가 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 시료채취 부위별로 포집되는 다이옥신 농도비율은 방지시설 및 측정위치에 따라 변화될 수 있으므로 이에 관한 사항은 보다 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3. 소각시설에서 다이옥신 측정결과에 관한 고찰

본 조사에서는 개선된 다이옥신 측정방법으로 소각장(N,Y소각장) 2곳에 대하여 2000년 4월, 10월에 각각 3회씩, 2001년 4월에 2회 연속하여 다이옥신을 측정한 N, Y소각시설에 관한 내용은 Table 4에 나타내었다. 그 결과를 Table 5, 6, 7에 나타내었다. 측정결과는 Table 7에 나타난 바와 같이 N소각장이 평균

Table 4. Summary of test incineration facilities

Item \ Site	Y-incinerator	N-incinerator
Capacity	200ton/day×2	400ton/day×2
Emission control system	Semidry Scrubber +Bag Filter+SCR	EP+Wet Scrubber +SCR
Layout of incineration process	F.Dfan→ Combuster→Boiler→ Semidry Scrubber →Bag Filter→SCR→ I.D fan→Stack	F.D fan→ Combuster→Boiler →EP→Wet Scrubber→SCR →I.D fan→Stack
Manufacturer	SEGHERS(Belgium)	D.B.A(Germany)
Measuring point (From ground)	31m	16.7m
Stack height	150m	150m
Average velocity of emission gas	12.65 m/s	18.18 m/s
Average temperature of emission gas	188.6℃	215.5℃
Moisture content of emission gas	20.45%~22.41%	21.95%~23.63%

0.050ng-TEQ/Nm^{3}과 0.046ng-TEQ/Nm3이었으며, Y소각장이 0.010ng-TEQ/Nm^{3}과, 0.023ng-TEQ/Nm^{3}로 나타났다.

각 소각장에서 분진(다이옥신 함유)제거장치로서 N소각장은 전기집진기, Y소각장은 백필터를 사용하고 있으며, 다이옥신을 포함한 가스상 물질의 제거설비로는 N소각장이 습식세정장치, SCR(선택적 촉매환원장치)을, Y소각장은 반건식 세정장치, SCR을 사용하고있다. SCR은 NOx와 다이옥신 제거를 위한 설비로도 사용되고 있으며, 특히 분진제거장치인 전기집진기(N소각장에서 사용)는 분진제거능력은 우수하나 250℃~450℃범위에서 다이옥신의 재생 우려가 상존하므로 운전시 주의가 요구되며, 폐기물조성이 유사한 도시생활폐기물 소각시설인 N, Y소각장에서 측정결과 Y소각장에 비해 N소각장의 다이옥신 농도가 2배 이상 높게 나타나 방지시설로 백필터보다 전기집진기를 설치한 소각장들의 다이옥신 배출농도가 일반적으로 높게 나타나고 있는 경향과도 일치하고 있다[11]

조사대상 소각장 2곳 모두가 대형소각시설로서 시설용량 면에서는 N소각장이 400Ton/day로 Y소각장의 200Ton/day보다 2배이며 측정구 위치는 지상으로부터 Y소각장이 30m, N소각장이 15m 위치에 설치되어있다. 년 중 다이옥신 측정결과 Table 5, 6에 나타난바와 같이 시료채취의 정확도를 나타내는 척도인 등속계수는 N소각장이 평균 102.57%와 101.07%, Y소각장이 99.54%와 99.47%로 나타나 두곳 모두 대기오염공정시험법의 규정치(95%~110%)이내이며 비교적 정확한 시료채취가 이루어진 것으로 사료된다.

등속계수 산정을 위한 측정값들을 검토한 결과 배출가스 유속이 Y소각장이 평균 12.65m/s, N소각장이 18.18m/s로 나타나 측정점의 동압 및 측정기기의 오리피스 차압(사용 Stack Sample의 오리피스계수:1.67 inHg)의 적정성을 감안하여 시료 채취시 흡인노즐의 직경을 Y소각장은 8mm, N소각장은 6.3mm를 사용하여 측정한 결과 등속흡인에 의한 정확한 시료채취를 할 수 있었으며, 배출가스 유속의 정도에 따라 사용노즐의 직경, 측정점의 평균 동.정압, K-factor 및 오리피스차압(ΔH)이 결정되므로 Y소각장과 N소각장에서 이들 항목들에 대한 차이점은 배출가스유속의 차이에 기인되는 것이다.

Table 5, 6에 나타난 바와 같이 수분율을 측정한 결

Table 5. The Calculation results of isokinetic coefficient at Y incineration facility

Item	Symbol	2000. 04				2000. 10				Unit
		1st	2nd	3rd	mean	1st	2nd	3rd	mean	
Isokinetic coefficient	I	99.33	100.12	99.18	99.54	99.25	99.61	99.55	99.47	%
Pitot tube factor	Cp	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	-
Diameter of nozzle	Dn	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	mm
Gravity	g	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	m/sec^2
Differential pressure of Orifice	ΔH	1.47	1.60	1.60	1.56	1.39	1.41	1.36	1.39	$in.H_2O$
Dynamic pressure	ΔP	0.35	0.38	0.38	0.37	0.33	0.33	0.32	0.33	$in.H_2O$
K-factor	Kf	4.20	4.21	4.21	4.21	4.21	4.27	4.25	4.24	-
Static pressure	Ps	-1.90	-2.00	-2.00	-1.97	-2.10	-2.10	-2.10	-2.10	$in.H_2O$
Atmospheric pressure	Pa	757.0	753.0	753.0	754.3	762.0	762.0	761.0	761.7	mmHg
Temperature of DGM	θm	31.4	27.7	30.6	29.9	24.8	24.8	28.4	26.0	℃
Temperature of emission gas	θs	192.4	192.0	192.9	192.4	184.7	184.9	184.9	184.8	℃
Temperature of filter	θf	93.0	92.1	93.2	92.8	89.9	91.2	91.2	90.8	℃
Concentration of oxygen	O_2	9.81	9.72	9.78	9.77	9.75	9.82	9.77	9.78	%
Concentration of carbon dioxide	CO_2	10.81	10.88	10.82	10.84	10.85	10.78	10.83	10.82	%
Concentration of carbon	CO	10.43	12.71	10.53	11.22	17.44	29.80	32.96	26.73	ppm
Volume of condensed monoxide	Vic	951.0	1015.0	1005.0	990.3	855.0	870.0	843.0	856.0	ml
Volume of sample	Vm	4.6525	4.8478	4.8421	4.7808	4.4459	4.5365	4.4856	4.4893	m^3
Calibratedfactor of DGM	Yd	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	-
Timeofsampling	t	240	240	240	240	240	240	240	240	min
Crosssection of nozzle	An	0.5024	0.5024	0.5024	0.5024	0.5024	0.5024	0.5024	0.5024	cm^2
Moisture content of emission gas	Bwo	22.10	22.39	22.41	22.30	20.60	20.56	20.45	20.54	%
Density of emissiongas	γ	0.7560	0.7525	0.7510	0.7532	0.7735	0.7731	0.7721	0.7729	kg/m^3
Velocityofemissiongas	Vs	12.76	13.33	13.34	13.14	12.12	12.32	12.01	12.15	m/s
Standard volume of sample	Vmstd	4.1709	4.3781	4.3311	4.2937	4.1003	4.1839	4.0816	4.1219	Nm^3

Table 7. Dioxin concentrations measured at two incineration facilities

Site	Sampling date	Concentration ($ng\text{-}TEQ/Nm^3$)		Remark
N	2000. 10. 26	1st	0.046	Emisson requirement for dioxin : 0.1ng-TEQ/Nm^3
		2nd	0.052	
		3rd	0.052	
		mean	0.050	
	2001. 04. 24	1st	0.045	
		2nd	0.047	
		mean	0.046	
Y	2000. 04. 20	1st	0.010	
		2nd	0.010	
		3rd	0.010	
		mean	0.010	
	2000. 10. 12	1st	0.023	
		2nd	0.022	
		3rd	0.024	
		mean	0.023	

과 Y소각장이 평균 22.30%와 20.54%, N소각장이 23.60%와 23.18%이었는데, 1회 측정시(240분 기준) 임핀저에 포집되는 응축수분의 량은 Y소각장이 평균 990.3ml와 856.0ml, N소각장이 953.6ml와 740.0ml로 다량의 응축수분이 포집되므로 실제 현장에서 다이옥신 측정시에는 임핀저의 용량과 내부압력 및 유속을 감안할 때 응축된 수분으로 인해 XAD-2수지 흡착관이나 디에틸렌글리콜이 침수될 우려가 있어 측정 개시후 120분이 경과되는 시점에서 잠시 측정을 중단하고 임핀저내에 포집된 응축수를 제거한 후 측정을 계속하는 방식을 채택하였다.

결 론

소각시설에서 개선된 다이옥신 측정조건을 이용한 측

Table 6. The Calculation results of isokinetic coefficient at N incineration facility

Item	Symbol	2000. 10				2000. 04			Unit
		1st	2nd	3rd	mean	1st	2nd	mean	
Isokinetic coefficient	I	101.64	102.93	103.13	102.57	100.76	101.37	101.07	%
Pitot tube factor	Cp	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	-
Diameter of nozzle	Dn	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	mm
Gravit	g	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	m/sec^2
Differential pressure of Orifice	ΔH	1.19	1.22	1.22	1.21	0.83	0.93	0.88	$in.H_2O$
Dynamic pressure	ΔP	0.76	0.80	0.79	0.78	0.51	0.57	0.54	$in.H_2O$
Static pressure	Ps	-0.84	-0.78	-0.88	-0.83	-1.30	-1.30	-1.30	$in.H_2O$
K-factor	Kf	1.57	1.53	1.54	1.55	1.63	1.63	1.63	-
Atmospheric pressure	Pa	751.0	757.0	757.0	755.0	759.0	759.0	759.0	mmHg
Temperature of DGM	θm	23.6	24.8	29.6	26.0	28.9	30.3	29.6	℃
Temperature of emission gas	θs	212.7	213.2	214.1	213.3	217.6	220.1	218.9	℃
Temperature of filter	θf	96.2	96.1	97.0	96.4	97.3	97.5	97.4	℃
Concentration of oxygen	O_2	9.42	10.02	9.72	9.72	9.43	9.31	9.37	%
Concentration of carbondioxide	CO_2	11.18	10.58	11.6	11.12	5.75	5.83	5.79	%
Concentration of carbonmonoxide	CO	4.80	2.43	3.94	3.72	10.08	10.59	10.34	ppm
Volume of condensed moisture	Vic	935.0	965.0	961.0	953.6	725.0	755.0	740	ml
Volume of sample	Vm	4.1233	4.2507	4.2988	4.2243	3.4462	3.6529	3.5496	m^3
Calibrated factor of DGM	Yd	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	-
Time of sampling	t	240	240	240	240	240	240	240	min
Cross section of nozzle	An	0.3116	0.3116	0.3116	0.3116	0.3116	0.3116	0.3116	cm^2
Moisture content of emission gas	Bwo	23.63	23.57	23.59	23.60	24.14	22.21	23.18	%
Density of emission gas	γ	0.7205	0.7256	0.7242	0.7234	0.7199	0.7165	0.7182	kg/m^3
Velocity of emission gas	Vs	19.25	19.68	19.59	19.51	15.78	16.58	16.18	m/s
Standard volume of sample	Vmstd	3.7613	3.8931	3.8747	3.8430	3.1056	3.2910	3.1983	Nm^3

정 · 분석한 결과와 시료채취 부위별로 구분하여 측정 · 분석한 결과를 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 다이옥신의 채취방법에 있어서 한국과 일본은 서로 유사하고, 미국은 시료 채취장치의 배열형태나 다이옥신 분석용 시료범위를 각각 달리하고 있으며, 한국이나 일본의 다이옥신 시료 채취방식이 미국에 비해 다이옥신 분석용 시료의 대상이 광범위하여 정확한 농도산정을 위해서 효과적인 것으로 사료된다
2. 시료채취 부위별 분석결과 모든 시료채취 부위에서 다이옥신이 검출 되었으며 포집된 다이옥신 농도비율은 세척액에서 다이옥신류의 비율이 가장 높게 나타나고 있어 세척액에 의한 다이옥신 손실되지 않도록 주의 해야 되며 측정후 보다 세심한 세척이 요구된다 하겠다. 시료채취 부위별로 포집되는 다이옥신 농도비율은 방지시설 및 측정위치에 따라 변화 될수 있으므로 이에 관한 사항은 보다 더 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다.
3. 소각시설의 다이옥신 농도를 개선된 다이옥신 측정조건을 이용해서 연속적으로 측정 · 분석한 결과 N, Y소각시설에서 각각 일정한 농도값을 얻어 측정의 신뢰도를 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Czuczwa, J. M., Hites, R. A : Environ. Sci. Technol. 20, 195, (1986)
2. Karask, F. W., Hutzinger, O : Anal. Chem. 58, 633A (1986)
3. Addink, R., Olie, K : Environ. Sci. Technol. 29, 1425 (1995)

4. 한국과학기술연구원 환경연구센터 : 다이옥신 핸드북, (1995)
5. 국립환경연구원 대기공학 : 다이옥신 측정분석, (1997)
6. 김삼권 : 도시폐기물소각시설 다이옥신류 저감을 위한 단계적 기술 전략, 첨단환경기술, (1999)
7. 환경부 : 환경백서, (1998)
8. 장윤석, 경종대, 이재환, 이경태, 이준홍 : 도시 폐기물 소각로와 소형소각로의 다이옥신 샘플링 비교 고찰, 한국대기보전학회 춘계학술대회요약집, pp. 286-287 (1998)
9. 이동식외 5명 : 대형소각시설의 Dioxin 분석용 시료채취방법에 관한 비교검토, 서울특별시 보건환경연구원보 36, pp. 239~245 (2000)
10. 윤균덕 : 굴뚝의 시료채취 상황이 다이옥신류 농도에 미칠 가능성 검토, (2000)
11. 환경관리공단 : 소각시설 배출 다이옥신등 유해물질분석에 관한 조사 연구, p. 27 (1997)