

## EROD-microbioassay에 의한 학교 소각로 잔재 중 다이옥신 유사물질의 측정

윤원진 · 오승민 · 정규혁<sup>†</sup>

성균관대학교 산업과학대학원 산업보건학과 성균관대학교 약학부

### Determination of Dioxin-like Components in the School Waste Incinerator Residues by EROD-microbioassay

Wan Jin Yoon, Seung Min Oh and Kyu Hyuck Chung<sup>†</sup>

Department of Industrial Health Graduate School of Industrial Sciences, College of Pharmacy,  
SungKyunKwan University, Suwon-si, Kyungkido 440-746, Korea

(Received 29 June 2000 ; Accepted 29 August 2000)

#### ABSTRACT

There are among the most relevant toxic emissions from incinerators such as polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), dioxin-like polychlorinated biphenyls (PCBs). Induction of cytochrome P4501A1 catalyzed 7-ethoxyresorufin O-deethylase (EROD) activity in mammalian cell culture (EROD bioassay) is thought to be a selective and sensitive parameter used for the quantification of dioxin-like components. In this study, the toxic emissions from several school waste incinerators were evaluated by determination of CYP1A catalytic activity and cytotoxicity using cell culture microbioassay. The incinerator residue and soil samples were collected from the schools located in Kyunggi province from April to June 1999. The samples were extracted in a Soxhlet apparatus using toluene for 20 hours. In order to clean-up, concentrated crude extracts were applied to basic alumina column. The EROD activities of extracts in the H4IIE cells were from  $1.91 \pm 0.32$  ng-TEQ/g to  $24.54 \pm 3.48$  ng-TEQ/g of biochemical-TEQ value. In soil samples, CYP1A catalytic activity was  $0.09 \sim 0.64$  ng-TEQ/g. EROD bioassay, seems to be a useful short-term bioassay when information about the biological response of complex environmental samples is needed. Although further study is needed, these results indicate that the potent toxic emissions are produced from school waste semi-incinerators.

**Keyword :** EROD-microbioassay, H4IIE, School waste semi-incinerator, Fire residues, Biochemical-TEQ

#### I. 서 론

고도 경제성장과 대량생산 및 소비형태의 생활 양식의 변화로 인한 쓰레기 발생량 및 종류의 증가와 처리 문제가 환경문제에 큰 비중을 차지하게 되었다. 우리나라는 좁은 국토 여건에 의하여 매립장들이 포화상태에 이르면서 기존에 주로 매립에 의존했던 처리 방식이 재활용 및 소각처리로 전환되기 시작했으며 건설비용 및 건설과정 운영상의 제반규제를 피할 수 있다는 편리함으로 인하여 대형 소각로 대신 소형 소각로가 관공서와 학교, 아파트 단지에 손쉽게 설치되기 시작하였다. 특히 1995년 종량제 전국 실시 이후 쓰레기 봉투 값

절약을 이유로 소형 소각로 설치는 더욱 증가되었다.

1999년 국립 환경연구원 조사자료에 의하면 전체 소각장 1만 3천 8백여개 중 약 95%가 시간당 소각량 100 kg 미만의 중·소형 소각장이며 이들로부터도 다이옥신과 일산화탄소, 먼지 등 대기오염 물질이 방출되고 있으나 대기오염 물질 배출규제 기준조차 없어 대책이 필요하다고 제시하고 있다. 이러한 요인으로 1999년 8월 폐기물 관리법이 개정됨에 따라 폐기물 처리시설에 대한 관리기준에 의거하여 시간당 소각량 25 kg 미만 소각장 신설은 금지되었고 기존의 25 kg미만 소각장은 5년 후에 폐쇄하도록 조치가 내려졌으나, 학교 소각로의 경우에는 대부분이 30 kg이상 규모라서 규제 대상이 되지 않고 있다. 그러나 학교에서 쓰레기 분리수거가 잘 안될 경우에는 패트병, 사발면 용기, 비닐류 등 기타 여러 가지 유독성분을 함유한 쓰레기가 포함되어 소각시 유해물질이 발생할 우려가 매우 높으며 이

<sup>†</sup>Corresponding author : College of Pharmacy, SungKyunKwan University, Suwon-si, Kyungkido 440-746, Korea  
Tel: 031-290-7714, Fax: 031-292-8800  
E-mail: khchung@skku.ac.kr

로 인하여 성장기 학생들 및 주변 거주민들에게 노출될 가능성이 있어 인체 건강 영향을 조사할 필요성이 있다.

쓰레기 소각시에는 연소물질 자체에 의한 것과 연소과정 및 불완전 연소 등에 의해 생성되는 물질 즉 분진, 산성가스, 질소화합물, 중금속 및 유기물질 등의 오염물질이 발생한다는 것은 잘 알려져 있다. 이들 중 독성이 강한 물질로는 다이옥신류를 들 수 있는데 소각과정에서 발생하는 PCDDs(polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins), PCDFs(polychlorinated dibenzofurans), PCBs(polychlorinated biphenyls) 및 PAHs(polyaromatic hydrocarbons)는 동물실험에서 체중감소, 흉선위축, 면역독성, 간독성 및 포르피린증, 염소성 여드름, 피부손상, 발암, 최기형성, 생식독성 및 내분비계 이상이 보고되고 있다.<sup>1,7)</sup> 또한 이들 물질들은 지용성이고 대사가 느려 먹이연쇄를 통해 인체에 축적되어 건강상 유해한 결과를 초래하는 것으로 알려져 있다.<sup>2,8,9)</sup>

소각으로 인한 위해 물질의 발생을 조사하기 위해 다이옥신을 검출하는 방법으로는 일반적으로 기기분석에 의한 화학적 방법을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 많은 비용이 소요되어 최근에는 신속하고 저렴한 방법으로 생물학적 marker를 이용하는 방법이 제시되고 있다. 특히 다이옥신류가 특이적으로 세포내 CYPIA 생성량의 증가를 유도하는 작용기전이 있다는 점을 이용하여 이를 biomarker로 하는 EROD(7-erhoxyresorufin-O-deethylase) 활성 측정법이 가장 많이 연구되고 있다. EROD bioassay의 결과에 대한 정량방법으로 bio-TEQ(2,3,7,8-TCDD induction equivalent)가 있는데 이는 dioxin류의 화학물질 중 가장 독성이 강한 TCDD와의 농도반응성을 비교한 결과치로 이들 결과는 기기분석에 의한 화학적 분석 정량치인 TEQ(2,3,7,8-TCDD equivalent)와 비교한 결과 유사하거나 약간 높은 값이 얻어 지고 있어 화학적 방법의 단점을 보완할 수 있는

우수한 정량법으로 고려되고 있다.<sup>3)</sup> 더욱이 오염물질이 혼재된 상태의 독성효과를 정량적으로 평가할 수 있어 소각시 발생하는 주성분으로서 75개의 동족체로 존재하는 PCDDs 및 135개의 동족체로 존재하는 PCDFs와 같은 혼합체의 독성영향 평가에 매우 유용하다. 이에 본 조사에서는 학교 간이 소각로가 설치되어 가동되고 있는 경기도 성남시에 소재한 중·고등학교를 대상으로 소각로로부터 발생한 소각잔재와 소각로 주변토양을 채취하여 이들 중에 존재하는 planar aromatic compound와 같은 다이옥신 유사물질을 Bruser 변법<sup>4)</sup>에 의해 추출하고 이의 함유량을 H4IIE cell line을 이용한 EROD-microbioassay에 의해 bio-TEQ를 측정하여 소각로로부터 발생하는 다이옥신 유사물질의 함유량을 정량하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 시료 채취

소각잔재 시료는 소각로가 설치 가동되고 있는 경기도 성남시 소재 중학교 4개교 및 고등학교 4개교 등 총 8개교를 대상으로 1999년 4월부터 6월까지 3개월간 소각장에서 발생한 소각하고 남은 잔재 약 300g씩을 소각 후 48시간 이내에 채취하였으며, 5월에는 소각잔재 외에 간이 소각로 1m 이내의 주변 토양 약 800g을 채취하였다. 조사대상 학교의 소각로 및 주요 쓰레기 성상 등은 Table 1과 같다.

소각잔재 시료의 물리·화학적 성상을 측정한 결과 평균 함유율은 4, 5, 6월 각각 3.97%, 14.47% 및 4.08%이었으며, 평균 강열감량은 6.93%, 8.23% 및 7.45%로 나타났다.

### 2. 시료 전처리

소각잔재 시료의 전처리는 Kopponen 등<sup>5)</sup>의 방법을

Table 1. Characteristics of school & incinerator

School	Classification	Incinerator	
	Major composition of wastes	Volume	Foundation
A	Boys', Middle	Paper, Can, Vinyl	30 kg/hr 1997
B	Boys', Middle	Paper, Can, Vinyl	50 kg/hr 1996
C	Girls', Middle	Paper, Can, Vinyl, Pad	30 kg/hr 1996
D	Girls', Middle	Paper, Can, Plastic, Pad	50 kg/hr 1996
E	Coeducational High	Paper, Can, Vinyl	50 kg/hr 1997
F	Boys', High	Paper, Can, Vinyl	50 kg/hr 1997
G	Girls', High	Paper, Plastic, Pad	50 kg/hr 1997
H	Boys', Technical high	Paper, Vinyl, Plastic	50 kg/hr 1997

변형시켜 수행하였으며 시료 추출물의 clean-up은 Buser<sup>4)</sup>의 방법에 따라 실시하였다.

각 시료는 표준망체(No.18, 1.0 mm)를 통과시켜 균질화하여 75°C oven에서 12시간동안 건조시켰다. 건조된 시료는 소각잔재시료 5g, 토양시료 10g씩을 취하여 toluene 250 ml를 이용하여 20시간동안 cellulose extraction thimble이 내장된 Soxhlet 장치 내에서 추출하였다.

시료를 정제하기 위해 toluene으로 추출된 시료를 증발 건조시키고 hexane 4 ml에 녹인 후 c-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 4 ml를 가하여 교반하였다. 원심분리 후 상층(n-hexane층)을 취하여 pasteur pipette(10 cm×4 mm i.d.)에 glass wool과 10 cm 높이로 basic alumina가 충전된 column에 vacuum manifold를 이용하여 통과시켰다.<sup>4)</sup> CYP1A, 즉 EROD활성을 유도할 수 있는 planar aromatic compound(PACs) 분획을 얻기 위해 alumina에 흡착된 유효성분을 10 ml의 n-hexane:dichloromethane(1:1, v/v)으로 추출하였다.<sup>5)</sup> 이 분획을 감압증발시켜 500 µl의 100% DMSO(dimethylsulfoxide)에 녹인 다음 시험에 사용하였다. 시험계에 적용된 시료량은 소각잔재 시료량으로서 10 mg이고 인근토양 시료량으로서 200 mg이었다.

전처리하지 않은 시료의 경우 농황산으로 전처리한 시료에 비해 약 40~50% 정도 세포독성이 더욱 유도되었으며 EROD 값은 전체적으로 감소하였고 시료 전처리 방법에 따라 clean-up한 시료에서는 세포독성이 유발되지 않아 Kopponen 등<sup>6)</sup>의 보고와 같이 본 전처리 방법이 방해물질로 추정되는 성분을 제거하기에 적합하였다.

**3. 세포배양 및 EROD 활성 측정**

EROD 활성 측정에 사용된 H4IIE(Rat hepatoma cell) cell line은 American Type Culture Collection으로부터 구입하여 사용하였다. H4IIE세포는 MEM(Eagle's minimum essential medium, Gibco)에 5% FBS(fetal bovine serum, Hyclone, Logan, UT)를 첨가하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub> incubator(Forma scientific, U.S.A.)에서 배양하였다.

EROD 활성 측정은 Burke and Mayer<sup>7)</sup>의 방법을 변형한 Drenth 등<sup>10)</sup>의 방법으로 하였다. 24-well plate에 H4IIE(rat hepatoma cell) cell을 4×10<sup>5</sup> cell/ml씩 seeding한 후 80%정도 잘 때까지 배양한다. 세포가 적절히 성장하였을 때 전처리한 시료를 각 well의 배양액 1 ml당 1 ml씩 가하여 vehicle량이 0.1%가 넘지 않도록 처리한 후 48시간 배양하였다. 48시간 배양 후 각

well을 phosphate buffered saline(PBS)로 2회 세척하고, 5 µM dicumarol 및 4 µM ethoxyresorufin이 첨가된 배양액을 가하여 37°C에서 30분간 배양하였으며 각 well의 배양액을 분리하여 ethoxyresorufin-O-deethylase에 의해 대사된 resorufin의 형광을 excitation 530 nm, emission 588 nm에서 측정하였다.

대조군으로는 0.1% DMSO를 처리하였으며 공시험의 경우에는 시료를 넣지 않은 soxhlet tube를 이용하여 시료 전처리법과 동일한 방법으로 준비하였다. EROD의 활성 값은 양성대조군으로 사용된 TCDD의 최대 EROD 활성 농도인 10<sup>-9</sup>M의 EROD 활성 유도값을 기준으로 하여 상대적인 값(TRA:TCDD relative activity)을 구하였다. bio-TEQ(2,3,7,8-TCDD induction equivalent)값은 TCDD의 용량반응곡선에 대한 1차함수와 시료의 용량반응곡선에 대한 1차함수의 비를 통해 EROD활성 효과를 TCDD에 해당하는 농도로 환산하였다.

**4. 세포독성 시험**

각 well에서 상층을 취하여 EROD 활성을 측정할 후 남은 세포를 PBS 및 증류수로 각각 2회 세척하여 NaOH 500 µl를 가한 후, 37°C에서 3시간 정도 단백질을 용해시켰다. 이 액 500 µl을 취해 Lowry등<sup>11)</sup>의 방법에 의해 단백질 정량을 하여 대조군의 protein양의 값을 100으로 한 상대적 비교치로 환산하여 세포독성을 측정하였다.

**5. 통계처리**

실험결과 유의성을 Student-t-test에 의해 검정하였으며, p<0.05일 때 유의적인 차이를 인정하였다. 또한 각 군간의 유의적인 차이를 판정하기 위하여 ANOVA test를 실시하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**1. TCDD의 용량 반응성**

PCDD, PCDF 및 PAH류와 같은 planar aromatic compound(PACs) 물질은 소각시 발생하는 유독물질로서 cytochrome P4501A에 의해 촉진되는 EROD 활성을 특이적으로 유도한다.<sup>4)</sup> 따라서 다이옥신류 화합물질을 정량하기 위해 선택적이고 민감한 방법으로써 EROD-microbioassay가 활용되고 있다. 특히 소각잔재 등 환경시료 중에는 다양한 종류의 PACs가 혼재되어 있기 때문에 이들 복합 성분에 의한 잠재독성을 결정하는 방법으로 선호되고 있다. 복합성분인 PACs를 정량적으로 평가하기 위한 기준으로서 독성이 가장 강한

2,3,7,8-TCDD와의 상대독성치의 개념이 개발되어<sup>8,9)</sup> 위해성평가를 규격화하고 보다 간편화하고 있다. 이 방법은 종래에는 화학적 분석법에 의해 측정된 다이옥신류를 정량적으로 평가하기 위한 방법으로 주로 사용되었으나, 최근에는 EROD 측정법 등 생물학적 방법에도 응용이 시도되고 있다.

Behnisch 등<sup>12)</sup>에 의하면 소각재를 대상으로 실험한 화학적 분석치인 TEQ에 대한 H4IIE 세포를 이용한 생화학적 분석치인 bio-TEQ의 비율을 구한 결과 1.0~1.2로 각각 나타나 화학적 분석결과와 생화학적 분석결과가 매우 일치함을 보고한 바도 있다. Schwirzer 등<sup>3)</sup>은 하수슬러지, 퇴비, 토양, 퇴적토, 비산재, 집진여과먼지 및 소각잔재 등 여러 환경시료 중의 PHAH (polyhalogenated aromatic hydrocarbons) 혼합류 분석을 EROD 활성측정에 의한 bio-TEQ 및 분석학적-TEQ를 각각 시험하여 비교 검토한 결과 유사하거나 약간 높은 수치를 보인다고 보고한 바 있다. 약간 높게 나타나는 경우에 대해서는 polyhalogenated azo 또는 azoxy compounds, biphenyl ethers, naphthalenes, sulfur-analogue dioxins, 및 alkylated, brominated, mixed halogenated divenzodioxins/furans 등의 일부는 현 분석기술로는 분석되지 않으나, CYP1A를 유도하는 물질이기 때문에 생화학적 측정법에 의한 TEQ값이 높게 나타날 수 있으며, 또한 여러 화학물질이 혼합되어 존재할 때의 복합독성 효과에 의해 상승효과가 일어남에 따라 EROD 활성이 증가하였을 가능성도 제시하고 있다. 따라서 Schwirzer 등<sup>3)</sup>은 환경 중의 PHAH 혼합

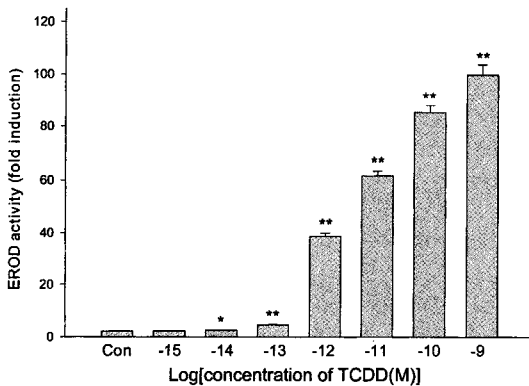


Fig. 1. Concentration-response curves based on the fold induction of EROD activity in H4IIE cells grown in 24-wells plate after 48 hrs incubation treated with different dilution of TCDD in MEM with 5%(v/v) FBS. Value is significantly different from that of control at \*\*p<0.01, \*p<0.05.

물질에 대한 위해성 평가를 하기 위해서는 화학적 분석 및 EROD-bioassay 기법에 의한 평가 방법이 종합적으로 이용되는 것이 이상적일 것이라고 하였다.

본 조사에서 채취한 소각잔재에 함유되어 있는 다이옥신 유사성분을 정량하기 위해 표준물질로서 독성이 가장 강한 2,3,7,8-TCDD를 농도별로 실험계에 투여한 후 EROD 활성을 측정하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 10<sup>-14</sup>M 농도에서부터 대조군에 비해 EROD 활성이 유의성 있게 증가하여 용량 의존적인 증가를 나타내었으며, 10<sup>-9</sup>M에서 최고 활성유도가 나타났다.

### 2. 학교 소각로 소각잔재의 EROD 활성

조사대상 학교 소각잔재 시료 10 mg의 세포독성을 측정된 결과 모든 군에서 세포독성은 유발되지 않았으며(자료미기재), EROD 활성의 경우에는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 모든 시료에서 대조군에 비해 매우 유의성 있는 증가(p<0.01)를 나타내어 PACs 즉 다이옥신 유사 물질이 함유되어 있는 것으로 추정되었다. 시료의 EROD 활성 측정값을 양성 대조물질인 2,3,7,8-TCDD의 최대반응 농도인 10<sup>-9</sup>M에서의 반응성을 100으로 하여 상대 비교치로 환산한 결과 Table 2에서 보는 바와 같이 최저 5.92%±1.00, 최고 76.22%±10.08로 나타나 소각잔재의 TCDD양으로서 반응성이 비교적 높음을 알 수 있다. 특히 E학교의 6월시료, G학교의 5월 시료 및 H학교의 4월, 5월 시료의 경우 특히 EROD 활성이 매우 높게 나타났다.

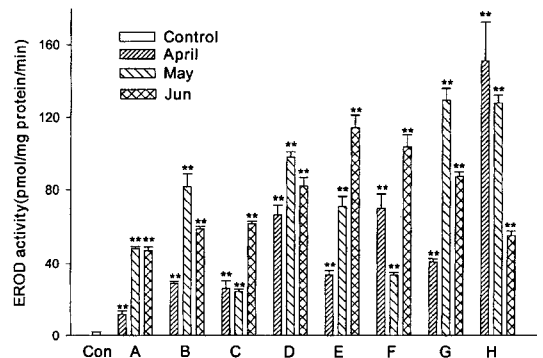


Fig. 2. EROD induction in H4IIE cells grown in 24-well plates after 48 hrs incubation with various school waste incinerator residues in MEM with 5%(v/v) FBS. Control wells were incubated with 0.1%(v/v) DMSO only. Each point represents the mean and standard deviation of three measurements. EROD activity is exposed as the amount of resorufin(pmol) formed per minute per milligram of protein. All values are significantly different from that of control at \*\*p<0.01.

**Table 2.** TCDD relative activity(TRA) and bio-TEQ of school waste incinerator residue samples

(Unit of bio-TEQ : ng/g)

Samples	April		May		June	
	TRA(%) <sup>1)</sup>	bio-TEQ <sup>2)</sup>	TRA(%)	bio-TEQ	TRA(%)	bio-TEQ
A	5.92 ± 1.00	1.91 ± 0.32	24.21 ± 0.60	7.79 ± 0.19	23.65 ± 1.06	7.61 ± 0.34
B	14.62 ± 0.58	4.71 ± 0.19	41.02 ± 3.71	13.21 ± 1.19	29.77 ± 0.61	9.59 ± 0.20
C	13.26 ± 2.13	4.27 ± 0.69	12.33 ± 0.64	3.97 ± 0.21	31.29 ± 0.63	10.07 ± 0.20
D	33.64 ± 2.72	10.83 ± 0.88	49.31 ± 1.61	15.88 ± 0.52	41.37 ± 2.43	13.32 ± 0.78
E	16.99 ± 1.15	5.47 ± 0.37	35.88 ± 2.70	11.55 ± 0.87	57.60 ± 3.48	18.55 ± 1.12
F	35.42 ± 3.79	11.40 ± 1.22	16.86 ± 0.75	5.43 ± 0.24	52.31 ± 3.26	16.84 ± 1.05
G	20.60 ± 0.94	6.63 ± 0.30	65.19 ± 3.36	20.99 ± 1.08	44.07 ± 1.27	14.19 ± 0.41
H	76.22 ± 10.80	24.54 ± 3.48	64.48 ± 2.22	20.76 ± 0.71	27.91 ± 1.30	8.99 ± 0.42

Values represent mean ± Standard deviation of triplicate experiments.

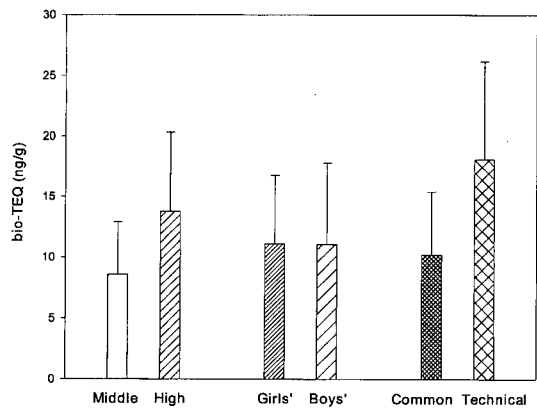
<sup>1)</sup>TCDD relative activity(TRA) is the value compared to the maximal induction caused by 1 nM 2,3,7,8-TCDD has been given the value 100.

<sup>2)</sup>bio-TEQ means 2,3,7,8-TCDD induction equivalent calculated by the calibration curve of TCDD dose-response in H4IIE cells. Volume of incinerator residue treatment : 10 mg of sample/ml.

A, B, C, D, E, F, G, H : Sampling sites of school waste incinerator residue.

EROD 활성을 정량적으로 평가하기 위하여 TCDD에 대한 시료의 상대적 활성영향을 비교한 bio-TEQ 값을 계산하였다(Table 2). 소각잔재시료의 경우 공업계 고등학교인 H학교의 경우 4월 시료에서 24.54 ng-TEQ/g의 가장 높은 bio-TEQ값을 나타냈으며, 남자 중학교인 A 학교의 경우 4월 시료에서 1.91 ng-TEQ/g으로 가장 낮은 수치를 나타냈다. Schwirzer 등<sup>3)</sup>에 의하면 도시 폐기물 소각장의 경우 대체적으로 소각잔재 중의 다이옥신류의 함량이 약 0.26~0.98 ng-TEQ/g 정도로 나타났으며 인체 노출 가능성이 많은 소각재에서도 소각잔재와 유사한 약 0.60 ng-TEQ/g 정도가 검출됨을 보고한 바 있다. Till 등<sup>13)</sup>은 도시 폐기물 소각장의 소각재에서 다이옥신류가 0.66~49.97 ng-TEQ/g 정도 측정되었다. 따라서 본 연구에서 측정된 소각잔재 중의 다이옥신 유사물질의 함량은 이들 보고와 유사하거나 높게 나타나 학교 간이 소각로에서도 많은 양의 다이옥신 유사물질이 배출됨을 추정할 수 있다.

남학교와 여학교, 중학교와 고등학교, 인문계 및 공업고등학교 특성별로 구분하여 3개월간의 각 시료를 평균한 값을 비교한 결과 Fig. 3에서 보는 바와 같이 고등학교가 중학교에 비해 1.6배정도, 공업고등학교가 일반 고등학교보다 1.8배정도 높게 나타났으나 각각 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 남·여 학교별로는 차이가 거의 나타나지 않았다. 전반적으로 학교별로는 큰 차이가 나타나지 않은 것은 소각장으로 배출되는 쓰레기의 특성 및 양이 거의 유사하기 때문인 것으로 추정되었다. 단지 공업고등학교의 경우 타학교에 비해 높



**Fig. 3.** School type variation of EROD induction in H4IIE cells treated with school waste incinerator residues. Each point represents the mean and standard deviation of three measurements.

게 측정되어 다이옥신 유사물질이 배출될 수 있는 조건이 많은 것으로 추정되었다.

### 3. 학교 간이 소각로 주변 토양의 EROD 활성

학교 간이 소각로에서 배출된 오염물질에 의한 토양 오염을 조사하기 위해 조사기간 중 5월에 간이 소각로 1 m 이내의 인근주변 토양을 채취하여 EROD 활성을 조사하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 채취한 모든 시료에서 세포독성은 유발되지 않았으나, EROD 활성은 유의성있게 유도되는 것으로 나타났다.

**Table 3.** EROD activity and cytotoxicity of soils collected near to the school waste incinerator in May, 1999

Samples	EROD Activity	TCDD Relative Activity	bio-TEQ	Cytotoxicity
	pmol/mg protein/min	%	ng/g	% of control
A	57.85±2.74**	29.11±1.38	0.47±0.02	111.02±3.01
B	18.70±0.69**	9.41±0.35	0.15±0.01	108.61±1.08
C	11.08±0.46**	5.58±0.23	0.09±0.00	102.32±4.51
D	20.33±0.84**	10.23±0.42	0.17±0.01	101.16±2.11
E	13.52±0.39**	6.80±0.19	0.11±0.01	98.51±2.75
F	79.40±2.08**	39.95±1.05	0.64±0.02	89.63±1.01
G	65.67±1.83**	33.04±0.92	0.53±0.02	93.94±2.83
H	76.05±0.81**	38.26±0.41	0.62±0.01	102.07±4.24

Values represent mean±Standard deviation of triplicate experiments.

\*\*Value is significantly different from that of control at  $p<0.01$

Volume of soil treatment : 200 mg-sample/ml.

A, B, C, D, E, F, G, H : Sampling sites of waste incinerator residue.

각 학교 토양시료의 EROD 활성값을 양성 대조물질인  $10^{-9}$ M의 2,3,7,8-TCDD의 반응성과의 상대 비교치로 환산한 결과 Table 3에서 보는 바와 같이 최고  $39.95\pm 1.05$ , 최저  $5.58\pm 0.23$ 으로 나타났다. 정량적으로 평가하기 위하여 TCDD의 calibration curve에 의한 bio-TEQ 값을 계산한 결과 F학교에서 채취한 토양이  $0.64$  ng-TEQ/g으로 가장 높았고 C학교에서 채취한 토양이  $0.09$  ng-TEQ/g으로 가장 낮게 나타났다.

Schwirzer 등<sup>3)</sup>에 의하면 도시지역 토양에서 약  $1.4\sim 3.8$  pg-TEQ/g이 측정되었고 본 실험실에서 국내의 소각시설이 인근에 없는 도시지역 토양시료를 측정해본 결과  $1.9$  pg-TEQ/g 정도가 측정되었으며 일본 환경청의 토양 중의 다이옥신류에 관한 검토 자료에서는 소각시설 주변의 토양오염 실태조사 결과  $4.6\sim 20.7$  pg/g의 다이옥신류가 검출되었다고 발표한 바 있다.<sup>10)</sup> 따라서 본 조사에서 측정된 학교 간이 소각장 인근 토양의 다이옥신 유사물질 함량인  $90\sim 643$  pg-TEQ/g 값은 매우 높은 농도의 오염도를 나타내는 것으로 판단되었다.

#### IV. 결 론

학교 간이 소각로로부터의 유해물질 배출 상태를 조사하기 위해 EROD-microbioassay에 의한 CYP1A 효소 활성 및 세포독성 측정 시험을 이용하여 경기도 성남시에 소재한 중·고등학교에 설치 가동되고 있는 간이 소각로에서 쓰레기의 소각 후에 파생된 잔재물과 소각로 주변 토양을 채취하여 다이옥신 유사물질의 함유량을 측정하였다. 경기도 소재 중학교 4개교 및 고등학교 4개교인 총 8개교를 대상으로 소각잔재 및 1m 이내의 인근 토양시료를 채취하여 실험한 결과 소각잔재

중 함량은 bio-TEQ량으로써  $1.91\sim 24.54$  ng-TEQ/g이었고 주변 토양중의 함량은  $0.09\sim 0.64$  ng-TEQ/g으로 나타나 학교 간이소각장의 소각잔재중에 다이옥신 유사물질이 많이 함유되어 있으며 소각장 주변토양이 오염되어 있는 것으로 나타났다. 따라서 쓰레기 분리수거 또는 연소방법 등 원인을 규명하여 유해물질의 배출을 줄이는 것과 더불어 소각잔재의 적절한 처리가 요구되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 1999년도 삼성학술연구비에 의하여 수행된 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

- 1) Lucier G. W.: Receptor-mediated carcinogenesis. In : Vainio H., Magee P. N., McGregor D. B., and McMichael A. J.,(eds) Mechanism of carcinogenesis in risk identification, *IARC SCI Publ*, **116**, Oxford University Press, Oxford. 87-112, 1992.
- 2) Rappe C., and Buser H. R.: Chemical and physical properties, analytical methods, sources and environmental levels of halogenated dibenzo-dioxins and dibenzofurans In : Kimbrough R. D., Jensen A. A.,(eds) Halogenated biphenyls, terphenyls, naphthalenes, dibenzodioxin and related products, *Elsevier. Amsterdam*, 71-102, 1989.
- 3) Schwirzer S. M. G., Hofmaier A. M., Ketrup A., Nerdinger P. E., Schramm K. W., Thoma H., Wegenke M., and Weibel F. J.: Establishment of a sample cleanup procedure and bioassay for determining 2,3,7,8,-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin toxicity equivalents of environmental samples, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*

- 41, 77-82, 1998.
- 4) Buser H. R.: Analysis of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans in chlorinated phenols by mass fragmentography. *J. Chromatogr.*, **107**, 295-310, 1975.
  - 5) Kopponen P., Törrönen R., Tarhanen J., Ruuskanen J., and Kärenlampi S.: Cytochrome P4501A1 induction in mouse hepatoma cell culture as an indicator of polycyclic organic compounds in fly ash, *Chemosphere*, **22**, 895-904, 1991.
  - 6) Kopponen P., Törrönen R., Mäki-Paakanin J., von Wright A., and Kärenlampi S.: Comparison of CYP1A1 induction and genotoxicity in vitro as indicators of potentially harmful of environmental samples, *Arch Toxicol.*, **68**, 167-173, 1994.
  - 7) Burke M. D., and Mayer R. T.: Ethoxyresorufin : direct fluorimetric assay of a microsomal *O*-dealkylation which is preferentially inducible by 3-methyl-cholanthrene, *Drug Metab. Disp.*, **2**, 583-588, 1974.
  - 8) Safe S.: Polychlorinated biphenyls(PCBs), dibenzo-*p*-dioxins(PCDFs), dibenzofurans(PCDFs), and related compounds : Environmental and mechanistic considerations which support the development of toxic equivalency factors (TEFs), *Crit. Rev. Toxicol.*, **21**, 51-88, 1990.
  - 9) Ahlborg U. G., Brouwer A., Fingerhut M. A., Jacobson S. W., Kennedy S. W., Ketrup A. A. F., Koeman J. H., Poiger H., Rappe C., Safe S. H., Seegal R. F., Tuomisto J., and van den Berg M.: Impact of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls on human and environmental health, with special emphasis on application of the toxic equivalency factor concept, *Eur. J. Pharmacol.*, **228**, 179-199, 1992.
  - 10) Drenth H. J., Bouwman C. A., Seinen W., and van den Berg M.: Effects of some persistent halogenated environmental contaminants on aromatase (CYP-19) activity in the human choriocarcinoma cell line JEG-3, *Toxicol. Appl. pharmacol.*, **148**, 50-55, 1998
  - 11) Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., and Randall R. J.: Protein measurement with the folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275, 1951.
  - 12) Behnisch P., Fujii K., Hosoe K., Shiozaki K., Schramm K. W., and Sakai S.: Validation and establishment of the Micro-EROD bioassay, *Organized by Japan society of endocrine disrupters research*, **55**, 1999.
  - 13) Till M., Behnisch P., Hagenmaier H., Bock K. W. and Schrenk D.: Dioxinlike components in incinerator fly ash: A comparison between chemical analysis data and results from a cell culture bioassay, *Environ Health Perspect.*, **105**, 1326-1332, 1997.
  - 14) 토양중의 다이옥신류에 관한 검토회 제1차 보고서, 토양중의 다이옥신류에 관한 검토회(일본), 1998년 11월.