

공단지역 대기 중 PCBs의 오염농도 및 발생원 추정

김경수[†] · 송병주* · 박석운* · 김종국**

전북대학교 화학물질안전관리연구소 · *전북대학교 환경공학과 · **전북대학교 공업기술연구소

(2004년 7월 9일 접수, 2005년 3월 29일 채택)

Source Estimation and Concentration Levels of PCBs in Ambient Air of an Industrial Area

Kyoung-Soo Kim[†] · Byung-Joo, Song* · Seok-Un Park* · Jong-Guk Kim**

Center for Chemical Safety Management, Chonbuk National University

*Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

**Research Institute of Industrial Technology, Chonbuk National University

ABSTRACT : To understand the pollution level by polychlorinated biphenyls (PCBs) in ambient air of industrial area, PCBs concentrations were measured at Sihwa and Banwol industrial region, Korea. The concentrations of total PCB and WHO-TEQ ranged from 2,080 to 5,820 pg/m³ (median value is 2,760) and from 0.19 to 1.01 pgTEQ/m³ (median value is 0.42), respectively. In terms of homologues composition, the fraction of highly chlorinated biphenyls (from hexa-CB to deca-CB) were higher than the air samples of other regions such as jeonju and yokohama area. The cluster analysis was conducted to study the relation between the air samples and sources such as incinerator flue gases and Aroclor samples. The isomer fractions in the homologue were used as input variables. Based on the results, the industrial ambient air samples were divided from source samples with long Euclidian distance. This suggest that the ambient air samples of Sihwa and Banwol were not on the influence of Aroclor and incinerators. Therefore, further investigation on systematical air monitoring will be required to estimate the sources of PCBs in the above industrial areas.

Key Words : PCBs, Ambient Air, Aroclor, Flue Gases, Cluster Analysis

요약 : 공단지역 대기 중 PCBs의 오염 수준을 조사하기 위하여, 시화 및 반월 공단 지역에서 PCBs를 측정하였다. 총 농도 및 WHO-TEQ 농도는 각각 2,080~5,820 (중앙값 2,760) pg/m³과 0.19~1.01 (중앙값 0.42) pgTEQ/m³으로 검출되었다. 동족체 조성에 있어서는, 고염소화 동족체 (6염화물에서 10염화물까지)의 존재 비율이 다른 지역의 일반 대기시료에 비하여 높았다. 측정된 대기 시료를 PCBs의 발생원으로 알려진 소각로 배가스 및 Aroclor시료와의 연관성을 조사하기 위하여 군집분석을 행하였다. 각 동족체 중 각각의 이성질체의 비율을 입력변수로써 이용하였다. 그 결과, 공단지역 대기 시료는 발생원으로 입력한 시료들과는 거리가 먼 하나의 그룹으로 형성되었다. 이것은 시화와 반월 공단 지역의 대기 시료는 지금까지 알려진 소각로 배가스나 Aroclor의 영향보다는 지역적인 특정 발생원의 영향을 받고 있음을 시사한다. 이러한 결과는 이성질체의 패턴 비교를 통해서도 알 수 있었다. 따라서, 이 지역의 PCBs 발생원을 밝히기 위해서는 추가적인 모니터링 조사가 필요할 것으로 사료된다.

주제어 : PCBs, 대기 시료, Aroclor, 소각로 배가스, 군집분석

1. 서 론

Polychlorinated Biphenyls(이하 PCBs라고 함)는 잔류성 유기오염물질(POPs, Persistent Organic Pollutants)로서 강한 독성과 환경 중 잔류성, 생물농축성이 높기 때문에 최근에 사회적으로 관심을 받고 있는 화합물 중 하나이다.

현재 우리나라에서는 소각로에 대한 다이옥신(여기서는 PCDDs+PCDFs) 배출기준을 설정하여 관리를 하고 있으나 PCBs에 대한 배출기준치는 설정되어 있지 않은 실정이다. 일본의 경우에는 PCBs를 다이옥신류(PCDDs+PCDFs+PCBs)

로서 배출기준을 정하여 관리를 행하고 있으며, 일반환경 대기 중 다이옥신류의 농도기준도 0.6 pgTEQ/m³으로 설정 되어 있다.

다이옥신류 섭취경로의 대부분은 식품으로 알려져 있으며, 어패류에 의한 다이옥신 섭취량은 식품을 통한 섭취량의 약 60%를 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ Naito et al.,²⁾에 의하면, 일본의 동경만을 대상으로 한 연구결과 Co-PCBs가 다이옥신에 비해 생물농축계수 (BSAFs)가 높은 것으로 보고하고 있으며, 환경 중 PCBs의 잔류농도도 높기 때문에, 어패류에 의한 섭취량 중 PCBs가 차지하는 비율은 높을 것으로 예상된다.

PCBs의 주요한 배출원으로서 과거 사용했던 PCBs 함유 제품으로부터의 휘발이나 누출이 주된 것으로 보고되고 있으며, 소각 등의 연소과정을 통해서도 배출되고 있다.³⁾

[†] Corresponding author

E-mail: skysil99@empal.com

Tel: 063-270-2448

Fax: 063-270-2449

미국의 경우에는 주로 Aroclor 제품으로서 사용되었으며, 일본의 경우에는 Kanechlor 제품으로서 사용되는 등, 국가에 따라서 다른 이름으로 PCBs 제품들이 사용되었다. 현재 이들 제품들의 새로운 생산과 사용은 법적으로 금지되어 있으나, 지금도 환경 중에서 검출되고 있다. 이들 발생원으로부터 배출된 PCBs는 주로 대기를 매체로 하여 이류나 확산, 침적 등의 과정을 통하여 토양이나 수계 등 다른 환경 매체로 이동하기 때문에, 환경 중에서의 거동을 파악하는데 대기는 중요한 환경 매체 중의 하나로 여겨진다.

PCBs에 대해서는 현재 인벤토리가 명확하게 알려져 있지 않으며, 과거 변압기나 콘덴서 등의 제품으로서 사용된 양이나 환경 중으로의 방출량 등에 대한 정보가 부족하기 때문에, 수용체 모델 (Receptor model) 등을 사용하여 환경 매체로부터 발생원을 추정하는 방법이 이용될 수 있다. 또한 PCBs는 환경 중에서 비교적 안정한 화합물이기 때문에 이러한 수용체 모델을 이용하는 것이 용이하다. 金⁴⁾과 小倉⁵⁾는 연구결과에서 다이옥신 및 PCBs의 환경 중 거동은 동족체별로 다르다는 것을 보고했으며, 따라서 수용체 모델을 이용하는 경우 동족체별로 분석을 수행하는 것이 모델의 정도를 높일 수 있을 것이다. 동족체별로 해석을 하기 위해서는 2,3,7,8-치환이성질체나 Co-PCBs 이외의 보다 많은 이성질체 정보가 필수불가결하나, PCBs에 대한 환경매체나 소각로 등의 발생원에 대한 이성질체 분석 데이터는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 시화와 반월 공단지역 대기를 대상으로 PCBs의 오염정도 및 분리 가능한 모든 이성질체 분포에 대한 정보를 획득하여 발생원 해석에 대한 기초 자료로 활용하고자 하였으며, 다변량 통계해석방법의 하나인 군집분석(Cluster analysis)을 행하여 측정된 지점의 대기와 Aroclor 및 소각로 배가스와와의 관련성을 조사하였다.

2. 실험방법 및 연구방법

2.1. 시료채취 및 분석방법

시료채취 지점은 공단 지역으로 시화(S)와 반월(B) 국가산업단지를 선정하여, 2002년 2월, 3월, 6월에 각각 1회씩 채취하였다. 시료채취 지점을 Fig. 1에 나타내었다.

시료채취는 세척한 여지(GFF)와 polyurethane foam plug (PUF)를 장착한 high volume air sampler(SIBATA社)를 사용하여 유량은 800 L/min로 24시간 채취하여, 총 유량은 1,000 m³ 이상으로 하였다. 채취된 대기 시료의 분석은 EPA Method 1613과 1668에 따라 행하였으며, 먼저 증류된 톨루엔으로 24시간 Soxhlet추출을 하였으며 추출전에 13C12-labeled PCBs 표준물질(MBP-MXP, MBP-MXK, WP-LCS)을 주입하였다. 주입한 표준물질은 Co-PCBs 12개 이성질체와 각 동족체별로 1개 이상의 이성질체가 포함되도록 하였다.

속실험 추출액은 1 mL까지 농축한 후 황산실리카겔 컬럼 (컬럼의 아래부터 유리섬유, 무수 황산나트륨, Wako

silicagel 0.5 g, 황산실리카겔 10 g, Merck silicagel 1 g, 무수황산나트륨 순으로 충전)으로 정제하고 활성탄 컬럼으로 PCBs를 분획하여, Mono-ortho PCBs 및 1~10염소화물 PCBs를 25 mL의 디클로로메탄:헥산 1:3 (v/v)으로 회수하였으며, Non-ortho PCBs (PCB-81, 77, 126과 169)는 톨루엔 250 mL을 사용하여 회수하였다. 최종 농축액은 HRGC (HP 6890)/HRMS(Autospec Ultima, Micromass)로 분해능 10,000 이상에서 SIM모드로 분석을 행하였다. 사용한 표준물질과 기기분석의 조건에 대한 보다 자세한 내용은 김 등⁶⁾의 연구결과를 참고하였다.

PCBs 209개 이성질체의 정성은 시료의 크로마토그램상에서 염소계 천연 동위체비의 이론치에 대하여 ±15% 이내에 들며, 표준물질 및 내부표준물질과의 상대머무름시간 (RRT, Relative retention time)이 일치하고, S/N비가 2.5 이상인 피크를 대상으로 하였다. 시료의 추출전에 주입한 PCBs의 표준물질의 회수율은 4염소화 동족체 이상에서는 50~85%으로 나타났으나 저염소화 동족체 (1염소화~3염소화)에서는 25~50%의 낮은 회수율을 나타냈다. 그러나 EPA 1668A에 의해 제시된 PCBs의 허용 회수율은 25~150%, cleanup standard의 경우 30~135%의 범위로 되어 있어, 분석상의 문제점은 없는 것으로 판단된다.

2.2. 군집분석

최근에 발생원의 해석에 많이 사용되고 있는 수용체 모델은 기본적으로 발생원으로부터 배출된 화학물질이 수용체에 도달하는 동안의 변화는 무시할 정도로 작다는 가정하에 시작한다. 본 연구에서 대상물질인 PCBs는 환경 중에서 매우 안정한 물질로서, 앞에서 논한 바와 같이 환경 중에서의 거동은 동족체별로 유사하다는 점으로부터, 발생원의 특징이 수용체에 그대로 전달이 된다고 볼 수 있다. 따라서 분석된 대기 시료와 이미 알려진 소각로 배가스, Aroclor 시료와의 이성질체 패턴의 연관성을 추정·비교함으로써 이들 발생원의 영향 여부를 추정할 수 있을 것이다. PCBs는 209개의 많은 이성질체를 가지고 있기 때문에 단순히 이성질체의 패턴을 나열하여 비교하는데 어려움이 있

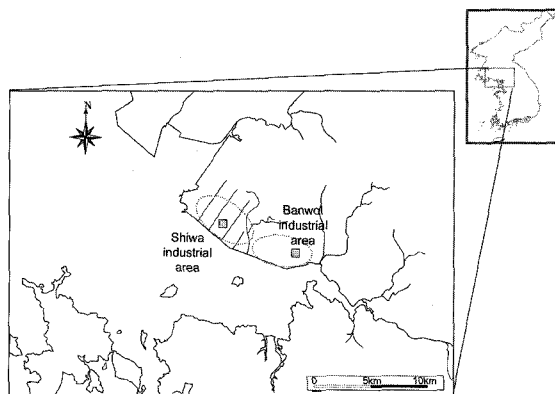


Fig. 1. Sampling location in Sihwa and Banwal industrial area.

기 때문에 균질분석을 행하였으며, 환경 중의 동족체별 거동과 발생원시료와의 단위가 다르다는 점 등을 고려하여, 각 동족체 중 이성질체(isomer)의 비율을 입력변수로서 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 농도분포

본 연구에서 분석한 시화 반월 공단 지역 대기 중 PCBs 이성질체 농도를 Table 1에 나타내었다.

대기 중 PCBs 총농도는 2,080-5,820(평균 3,260)pg/m³, WHO-TEQ농도는 0.19-1.01(평균 0.59)pgTEQ/m³의 범위로 일본 다이옥신류의 대기환경기준치인 0.6 pg-TEQ/m³에 근접하는 농도로 검출되었다. 우리나라 전국의 내분비계장애물질 조사연구결과⁷⁾에 따르면 안산시 3개 지점의 평균 다이옥신 농도는 0.48 pg I-TEQ/Nm³(0.253~0.875 pg I-TEQ/Nm³)으로, 본 연구조사 결과를 포함하면 이 지역의 대기 중 다이

Table 1. Concentration of PCB congeners in industrial air samples

IUPAC No. ^a	S-2	S-3	S-6	B-2	B-3	B-6
81	0.47	4.11	0.92	5.69	3.15	3.98
77	2.78	9.59	5.93	14.75	15.92	7.94
123	0.56	1.97	3.68	3.24	3.07	1.72
118	3.80	12.62	12.87	20.69	21.44	16.67
114	0.40	2.25	0.87	3.57	3.46	2.74
105	1.18	5.47	5.76	8.21	9.03	6.01
126	0.63	4.00	1.13	7.99	9.07	3.62
167	0.40	1.57	0.53	4.22	7.90	1.54
156	0.79	3.53	1.45	9.71	15.76	3.85
157	0.27	1.15	141.33	2.57	5.40	1.35
169	0.37	2.50	0.59	6.35	8.77	3.90
189	0.47	1.92	1.20	12.46	17.14	3.26
Mono-CB	82.25	240.47	16.20	792.15	556.46	23.67
Di-CB	1031.97	562.88	1361.82	1655.83	647.48	496.07
Tri-CB	560.24	601.62	1297.05	459.26	425.52	786.06
Tetra-CB	191.17	514.19	286.33	1087.30	267.42	522.80
Penta-CB	73.43	199.22	207.08	357.18	279.29	273.53
Hexa-CB	68.54	209.54	267.84	629.74	200.49	176.69
Hepta-CB	61.21	244.59	91.03	538.46	172.34	152.26
Octa-CB	4.68	15.95	4.58	66.11	77.96	26.74
Nona-CB	1.74	9.03	2.87	63.44	103.24	27.49
Deca-CB	2.66	109.69	4.62	168.28	91.72	99.96
Co-PCB	12.11	50.69	176.26	99.46	120.11	56.58
Total Conc.	2077.89	2707.17	3539.42	5817.75	2821.92	2585.28
Total TEQ ^b (pgTEQ/m ³)	0.07	0.43	0.19	0.88	1.01	0.41

^a IUPAC NO. is elution order from DB-5 column.

^b TEQ concentration is calculated using WHO-TEF.

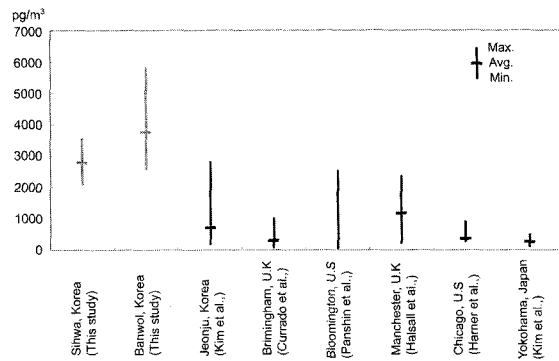


Fig. 2. Comparison of PCB concentration between this study and other studies.

옥신류의 농도는 일본의 기준치를 상회하는 것으로 나타났다. 시화공단에 비해 반월공단의 대기 중 PCBs 농도가 약 1.3배 정도 높게 검출되었으며, 반월공단에서 채취한 2월, 3월의 경우에는 PCBs 농도만으로도 일본의 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 전주 지역 일반 대기 중 농도인 180-2,790(평균 703)pg/m³보다 평균 4.6배 높은 값을 나타내었다.⁶⁾ Fig. 2에 본 연구에서 검출된 대기 농도와 외국의 대기농도를 비교하였다. 외국의 도심지역의 농도에 비해서도 평균값에 있어서 2배 이상의 비교적 높은 농도를 나타내었다.^{8~11)}

따라서, 조사 대상 지역 대기 중 PCBs 추가적인 모니터링 조사가 필요할 것으로 판단되며, 이를 바탕으로 발생원의 추정과 이에 대한 저감대책도 마련되어야 할 것으로 사료된다.

3.2. 동족체 및 이성질체 분포

Fig. 3에 대상지역 대기 시료 중 PCBs 동족체 조성을, Fig. 4에는 각 동족체 중 PCBs 이성질체 농도의 총합을 100%로 했을 때의 각 이성질체 분포를(tetra-CBs~hepta-CB까지) 나타내었다.

Fig 3에서 보이는 바와 같이 대상지역 대기 중 PCBs는 대부분 mono-CB부터 penta-CB까지의 저염소화 동족체의 존재비율이 높았으며, 이 중 di-CB, tri-CB, tetra-CB의 비율이 다른 동족체에 비해 높았다. 또한 시화공단에 비해 반월공단 지역이 octa-CB, nona-CB, deca-CB의 고염소화 동족체 비율이 높은 것으로 나타났다.

김 등⁶⁾의 전주지역 대기 중 PCBs 동족체 패턴은 3염소화합물과 4염소화합물이 전체의 52%를 차지하고 있으며, mono-CB에서 penta-CB까지가 전체 PCBs 농도의 93% 이상을 차지하는 것으로 보고하고 있으나, 본 연구 대상 지역의 대기 중 고염소화합물(hexa-CB~deca-CB)의 비율은 평균 18% 정도로 일반 지역 대기보다 높은 비율을 나타내고 있고, PCBs 제품으로 알려진 Kanechlor나 Aroclor 제품에는 고염소화합물의 존재비율이 매우 적은 점을 고려해 볼 때, 고염소화합물을 배출하는 소각시설의 영향이 있는 것으로 추정된다.

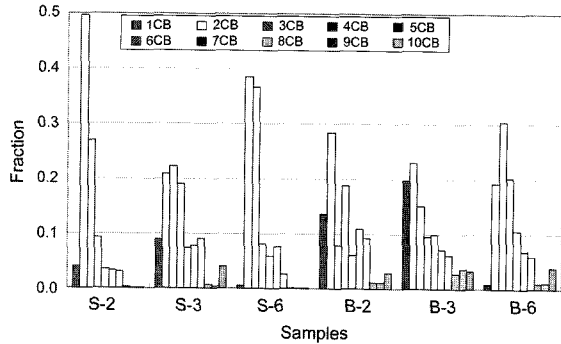


Fig. 3. Composition of PCB homologues in ambient air of industrial area.

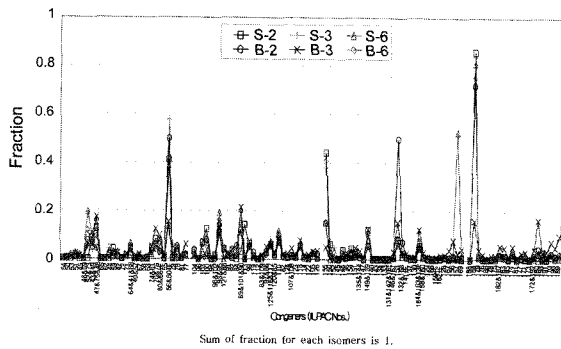


Fig. 4. Isomer patterns of PCBs in ambient air of industrial area.

김 등⁶⁾에 의하면, 연소 유래 즉, 소각시설 배가스의 특징을 나타내는 이성질체로서 PCB-81, 77, 114, 122, 126, 169, 173, 191, 189, 204, 197, 205, 208, 207, 209 등으로 보고하였다. 그러나, 시화·반월 대기에서는 위의 이성질체들이 특징적으로 나타나지 않았으며, PCB-56&60, 93&95, 155, 184 등이 각 동족체 중에서 높은 비율을 차지하고 있었다. 특히 PCB-184는 전주지역의 일반 대기⁶⁾나 일본의 대기¹²⁾중에서는 거의 검출되지 않은 이성질체로서, 대상지역에 특정 발생원이 존재하고 있을 가능성이 시사되어, 보다 정밀한 조사가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

이와 같이 채취된 시료의 PCBs 각 동족체 패턴은 서로 상이하게 나타났으나, 각 동족체 중 이성질체(isomer) 패턴은 전체적으로 유사하였다.

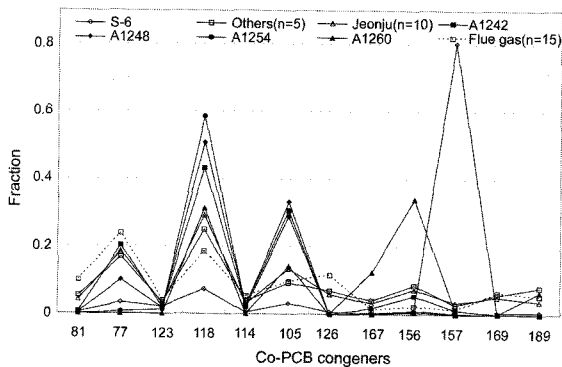


Fig. 5. Patterns of Co-PCBs congeners in ambient air of industrial area.

3.3. Co-PCBs 이성질체 분포

Fig. 5에 본 연구대상 지점 대기와 전주지역 대기, Aroclor, 소각로 배가스 시료 중 Co-PCBs 이성질체 분포를 나타내었다.

분석된 대기 시료 중 Co-PCBs 패턴은 거의 유사하였으며, S-6시료만이 다른 패턴을 나타내어 따로 분리하여 표시하였다. S-6의 시료의 경우, 다른 환경매체나 알려진 발생원 패턴과는 다르게 PCB-157 이성질체가 80% 정도로 높은 비율을 차지하고 있었으며, A1260 (Aroclor 1260)시료의 경우는 PCB-156 이성질체가 30% 이상의 높은 비율을 나타내었다. S-6 시료 이외의 대기 시료의 경우(그림에서 others), 전주 지역의 대기와 매우 유사한 패턴을 나타내어, 일반적으로 분석되어지는 12개의 Co-PCBs 이성질체 결과로는 다른 지역의 대기시료와의 차이점을 구분할 수 없었다. 소각로 배가스 시료는 PCB-81, 77과 126 이성질체, 즉 non-ortho PCBs 이성질체가 다른 비교대상 시료에 비해 높은 비율을 나타내었다.

4. 군집분석을 이용한 발생원 추정

군집분석의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. S-2의 경우, 다른 시료에 비해 이성질체(isomer) 패턴이 매우 다르게 나타나, 결합거리가 길어서(다른 시료들과의 결합거리가 190), 다른 시료들 간의 군집정도를 판별할 수 없었기 때문에 S-2 시료를 제외하고, 다시 군집분석을 행하여 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에서 보이는 바와 같이 Aroclor의 경우 A1242, A1248과 A1254의 이성질체(isomer) 패턴이 비교적 유사함을 알 수 있었으며, 소각로 배가스의 경우 그 패턴에 따라서 크게 3가지의 그룹으로 구분되었다 (결합거리 1을 기준).

S-3, B-6, B-2와 S-6시료는 다른 소각로 배가스, Aroclor 시료와의 결합거리가 4 이상으로서 다른 군집으로 구별할 수 있으며, 이것은 동족체 내의 이성질체 패턴이 매우 다르다는 것을 의미하기 때문에, 기존에 알려진 소각시설이나 Aroclor 등의 발생원으로부터의 영향을 받았을 가능성은

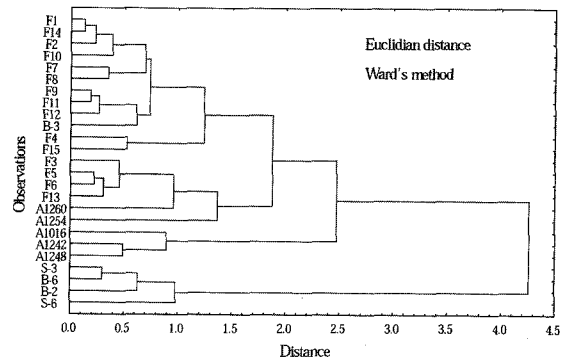


Fig. 6. Dendrogram for flue gas samples, Aroclor and Air samples by cluster analysis.

매우 적은 것으로 추정된다. 따라서, 대상 지역 대기 중 PCBs 전 이성질체 분석에서 얻어진 데이터를 기초로, 주성분 분석이나 인자분석 등의 수용체 모델을 이용한 발생원의 동정은 어려울 것으로 판단되며 (수용체 모델을 이용하여 발생원의 특정 이성질체는 추정이 가능하나 기존의 알려진 발생원과의 연계가 어렵기 때문에) 추가적인 모니터링을 행하고, 인벤토리 조사를 수행하는 것이 발생원을 밝히는 데 보다 효율적인 방법으로 사료된다.

또한 Kim et al.¹³⁾에 의한 다른 PCB제품, Kanechlor 시료의 분석결과 동족체 중의 이성질체 패턴과 EPA¹⁴⁾의 Aroclor 동족체 중의 isomer 패턴을 비교해 본 결과, 매우 유사한 것으로 나타나, 다변량 통계분석을 이용한 발생원의 추정 및 기여율을 산정하는데 어려움이 있을 것으로 예상되기 때문에, 국내에 수입된 PCBs 제품에 대한 조사도 병행되어야 할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구는 일반 대기 환경이 아닌 시화와 반월 공단지역의 대기를 대상으로, PCBs 전 이성질체 분석을 통하여 대상 지역의 오염수준과 이성질체 패턴의 비교를 통하여 발생원을 추정하는 것을 목적으로 하였다. 분석결과, 대기 중 PCBs의 총농도는 2,080-5,820(평균 3,260)pg/m³, WHO-TEQ농도는 0.19-1.01(평균 0.59)pgTEQ/m³의 범위로 검출되어 일반 대기 환경보다 높은 농도를 나타내었으며, 다이옥신류의 TEQ농도를 2002년도 내분비계장애물질 조사결과를 근거로 추정하면, 일본의 대기 중 다이옥신류 기준농도(0.6pgTEQ/m³)보다도 높은 것으로 나타났다.

동족체 패턴에 있어서, hexa-CB 이상의 고염소화합물의 비율이 일반 대기 환경에 비해 높은 비율을 차지하고 있었다. 그러나, 대기 시료간의 이성질체(isomer) 패턴은 일부 이성체를 제외하고 비교적 유사하였다.

기존에 알려진 소각로 배가스, Aroclor 시료와 대상 대기 시료와의 이성질체 패턴의 관련성을 조사하기 위해 실시한 군집분석 결과, 대상 대기 시료는 다른 하나의 그룹으로 구분이 되었으며, 이들 발생원으로부터의 영향을 받았을 가능성은 매우 적은 것으로 판단되어 대상 지역의 대기에 관한 추가적인 모니터링 조사와 인벤토리 조사가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 전북대학교 공업기술연구센터의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김경심, 김종국, 김만영, "우리 나라 시판 식품을 통한 다이옥신 섭취량 평가," 대한환경공학회지, **22**(7), 1345~1355(2000).
2. Naito, W., Jin, J., Kang, Y. S., Yamamuro, M., Masunaga, S., and Nakanishi, J., "Dynamics of PCDDs/DFs and coplanar-PCBs in an aquatic food chain of Tokyo Bay," *Chemosphere*, **53**, 347~362(2003).
3. 김경수, 김종국, 김경심, 송병주, 문성연, 박석운, "소각로 배가스 중 PCBs 전 이성질체 농도 및 분포특성에 관한 연구," 한국분석과학회 춘계학술대회 논문집, 한국분석과학회, 속초시, pp. 105(2003).
4. 金暎洙, "大氣中PCB의舉動及びMass Balanceに關する研究," 横浜國立大學, 博士論文(2004).
5. 小倉 勇, "大氣中ダイオキシン類の排出から沈着に至る舉動の解析," 横浜國立大學, 博士論文(2001).
6. 김경수, 송병주, 김종국, "대기 시료 중 PCBs 전 이성질체 분석에 관한 연구," 분석과학회지, **16**(4), 309~319(2003).
7. 국립환경연구원, "2002년도 내분비계장애물질 조사연구 결과 보고서,"(2002).
8. Currado, G. M. and Harrad, S., "Factors influencing atmospheric concentrations of polychlorinated biphenyls in Birmingham, U.K.," *Environ. Sci. Technol.*, **34**, 78~82(2000).
9. Panshin, S. Y. and Hites, R. A., "Atmospheric concentrations of polychlorinated biphenyls at Bloomington, Indiana," *Environ. Sci. Technol.*, **28**, 2008~2013(1994).
10. Halsall, C. J., Lee, R. G., Coleman, P. J., Burnett, V., Harding-Jones, P., and Jones, K. C., "PCBs in U.K. urban air," *Environ. Sci. Technol.*, **29**, 2368~2376(1995).
11. Harner, T. and Bidleman, T. F., "Octanol-air partition coefficient for describing particle/gas partitioning of aromatic compounds in urban air," *Environ. Sci. Technol.*, **32**, 1494~1502(1998).
12. Kim, K. S., Masunaga, S. and Kim J. G., "Concentration and congener pattern of PCB in air at the Yokohama," 한국분석과학회 춘계학술대회 논문집, 한국분석과학회, 대전, pp. 158(2002).
13. Kim, K. S., Hirai, Y., Kato, M., Urano, K., and Masunaga, S., "Detailed PCB congener patterns in incinerator flue gas and commercial PCB formulations (Kanechlor)," *Chemosphere*, **55**(4), 539~553(2004).
14. U.S. Environmental Protection Agency Home Page, http://www.epa.gov/toxteam/pcbldownload/aroclor_frame.xls.