

한국과 일본의 환경대기 중 폴리염화비페닐(PCB)의 농도수준 및 발생원 해석에 관한 연구

김경수[†] · 송병주* · 김종국* · 김교근**

전북대학교 화학물질안전관리연구소 · *전북대학교 환경공학과 · **청주대학교 환경공학과

(2004년 8월 24일 접수, 2005년 2월 5일 채택)

A Study on Pollution Levels and Source of Polychlorinated Biphenyl (PCB) in the Ambient Air of Korea and Japan

Kyoung Soo Kim[†] · Byung-Joo Song* · Jong-Guk Kim* · Kyeo-Keun Kim**

Center for Chemical Safety Management, Chonbuk National University

*Environmental Engineering, Chonbuk National University · **Environmental Engineering, Chongju University

ABSTRACT : This study was conducted to investigate the level of PCBs and distribution of PCB congeners in the ambient air of Korea and Japan. The source of PCBs were also studied by a statistical method. The TEQ concentration of PCB in the ambient air of Korea and Japan were between 0.003 and 1.01 pgTEQ/m³ (mean value : 0.22 pgTEQ/m³) and between 0.002 and 0.014 pgTEQ/m³ (mean value: 0.007 pgTEQ/m³), respectively. The ambient air of industrial area of Korea showed a fluctuation in PCB concentration than other sampling area. The isomer distribution patterns in the ambient air was more or less similar in all sampling places. In addition, highly chlorinated homologues (7~10CB) were detected in the only Korea industrial area. This observation suggests that there is a possibility of specific source of PCBs in the industrial area. The source identification of PCB in ambient air was performed using multivariate statistical analysis(principal component analysis). As a result, it is estimated that the Korean ambient air was more influenced by combustion process than the ambient air of Japan and also the effect of PCB commercial products was relatively a small.

Key Words : Ambient Air, PCB, Pollution Level, Congener Distribution, PCA, Source

요약 : 한국과 일본의 환경대기 시료를 대상으로 PCB 전이성질체 분석을 통하여, 오염정도 및 이성질체 분포 특성을 파악하고 통계적 처리기법을 통하여 발생원을 추정하였다. 환경대기 중 PCB 농도는 한국이 0.003~1.01 pgTEQ/m³ (평균 0.22 pgTEQ/m³), 일본이 0.002~0.014 pgTEQ/m³ (평균 0.007 pgTEQ/m³)으로 나타났다. 한국의 환경대기 중 PCB 농도는 공단지역이 도시지역간의 농도 변화 폭이 매우 크게 나타났다. 이성질체 분포에 있어서는 대체로 유사한 경향을 나타내었으나 한국의 공단 지역에서는 7~10CB의 고염소화 동족체가 검출되어 특정한 오염원이 존재할 가능성이 시사되었다. 주성분 분석을 통하여 한국과 일본의 환경대기 중 PCB 오염원을 추정한 결과 한국 환경대기 시료가 일본 환경대기 시료에 비하여 소각로 영향을 많이 받고 있으며 PCB 제품 영향은 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 판단된다.

주제어 : 환경대기, PCB, 오염농도, 이성질체 분포, 주성분 분석, 발생원

1. 서론

최근 다이옥신과 polychlorinated biphenyls(이하 PCB로 표기) 등 잔류성 유기오염물질에 관한 스톡홀름 협약이 발효된 이후 이들 물질에 대한 오염실태 조사와 처리방안이 시급한 현안 문제로 대두되고 있다.

PCB의 주요 발생원으로는 과거에 사용된 PCB 제품의 분실 및 파손 등으로 인한 유출이나, 보관 중인 제품으로부터의 휘발 및 현재 사용되고 있는 제품으로부터의 누출 등이 있으며 소각 등 연소과정을 통한 환경 증으로 배출도 보고되고 있다. PCB는 비교적 안정한 화합물이기 때문에

대기로 유입되면 휘발, 확산, 흡수 및 흡착 등의 과정을 통하여 다른 환경 매체로 이동하고 먹이사슬을 통해 축적되어 인체에 영향을 미친다.

스톡홀름 협약 이후 대부분의 국가에서 다이옥신에 대한 배출량 조사를 활발하게 시행하고 있으나 PCB에 대해서는 명확하게 보고되어 있지 않으며 연구 조사가 가장 활발한 일본도 2003년에 처음으로 PCB에 대한 발생량 조사결과가 보고되었다.¹⁾ 따라서 현 시점에서 PCB가 환경 증으로 유입되는 양에 대한 조사는 발생량 조사 결과를 통해서만 파악할 수 없기 때문에 매스밸런스 모형 등을 이용하여 그 유입량을 추정하는 방법들이 시도되고 있다.

한편, PCB에 의한 환경오염 배경은 국가별로 큰 차이를 나타내고 있다.

일본의 경우 직접 PCB 제품을 제조하여 대량으로 사용

[†]Corresponding author

E-mail: skysil99@empal.com

Tel: 063-270-2448

Fax: 063-270-2449

하였으나 1968년 카네미유증 사건으로 PCB에 대한 관심이 높아진 이후 1972년에 제조가 중지되었다. 그동안 일본에서는 PCB 제품 및 폐기물을 적절하고 안전한 처리방법을 찾을 때까지 의무적으로 보관하도록 법적 조치가 취해져 왔으며, 최근에 스톡홀름 협약을 계기로 PCB폐기물에 관한 특별조치법을 제정하여 관리를 하고 있다.

우리나라에서는 1979년 전기사업법에 의해 신규 전기기에 PCB 사용이 금지되기 시작하였고 이후 1996년 유해화학물질관리법에 의해 PCB 물질의 수입, 제조 및 사용이 금지되었다. 또한 폐기물관리법에서는 2 ppm 이상 PCB를 함유한 폐기물을 지정폐기물로서 관리해 왔다. 그러나 우리나라의 경우 PCB를 제품으로 직접 생산하지 않고 전량 수입하여 사용하였기 때문에 사용량과 보관실태 등에 관한 자료는 아직 명확하게 밝혀져 있지 않은 실정이다.

우리나라의 경우 PCB 209개 전 이성질체를 대상으로 한 연구결과는 거의 보고되지 있지 않으며, 소각로에 대한 규제나 환경매체에 대한 규제치가 없는 상황이다. 이에 반하여 일본의 경우 다이옥신류로서 PCB를 규제하고 있으며 매년 전국일제조사를 통하여 각 매체 중 PCB농도가 보고되고 있다. PCB에 대한 대부분의 지금까지 연구는 독성이 강한 co-PCB만을 대상으로 하고 있으며 전 이성질체에 대한 보고는 거의 없는 실정이다. 그러나, 환경매체의 분석을 통하여 발생원을 추정하는 데에는 보다 많은 이성질체 정보가 필요하게 된다.

PCB를 대상으로 발생원 해석을 수행한 기존의 연구는 매우 적으나 다이옥신에 관해서는 1990년대 후반부터 연구^{2~6)}가 수행되어져 왔다. 이들 대부분의 연구는 주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)을 통하여 대상 환경매체에 영향을 미치는 발생원을 동정하고 Chemical Mass Balance를 통하여 발생원으로부터의 기여율을 산정하였다. 그러나 다이옥신류에는 많은 이성질체가 존재하고 있음에도 불구하고, 독성이 강한 17개의 PCDD/Fs나 12개의 co-PCB만의 데이터 (또는 일부 이성질체)를 이용한 경우가 많았다. 그 결과 다이옥신의 발생원으로서의 소각과 다이옥신이 불순물로서 포함된 농약류 (CNP, PCP 등)이었으며, PCB의 경우에는 소각 등의 연소공정과 과거에 제품으로 사용된 PCB (Aroclor, Kanechlor 등)이었다.

본 연구에서는 이러한 한국과 일본간의 PCB 제품에 관한 상황의 차이와 대기를 통해 오염물질이 전지구적으로 확산되는 주 매체임을 고려하여, 한국과 일본의 환경대기 시료를 대상으로 연구를 수행하여 현상태의 오염정도를 파악하고, 통계적 처리기법을 통한 발생원 추정을 하기 위해 PCB 209개 전 이성질체를 분석하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료채취

환경대기 시료는 세척한 여지(GFF)와 폴리우레탄폼(PUF)을 장착한 고용량공기포집장치(high volume air sampler)를 이용하여 지점당 총 유량 1,000 m³ 이상 채취하였다.

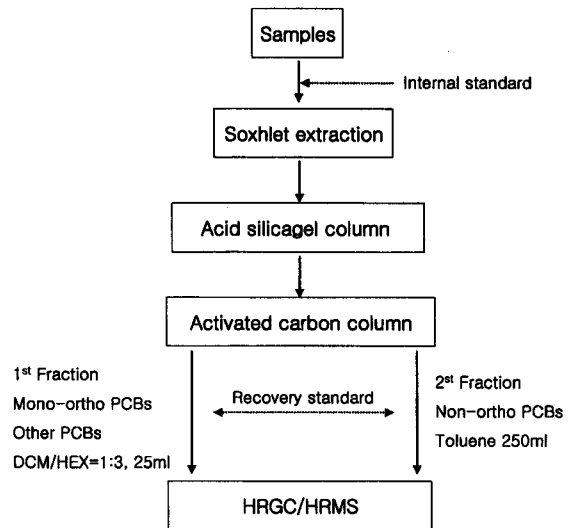


Fig. 1. Analysis procedure of ambient air samples.

한국 시료는 2000년 12월에서 2002년 6월까지 대전시(n=3), 시화와 반월 공단(n=6), 전주시(n=4), 진안군(n=2) 등 청정지역, 도심지역 및 공단지역에서 채취하였으나, 일본 시료는 샘플링 여건상 2002년 3월부터 2003년 2월까지 요코하마 시내(n=11) 한 지점에서 채취하였다.

2.2. 시료의 정제 및 분석방법

채취한 시료는 EPA Method 1613과 1668에 따라 분석을 수행하였다.

PUF와 GFF는 각각 아세톤과 톨루엔으로 24시간 속실판 추출을 행하였으며 추출액은 1 mL까지 농축한 후 황산실리카 컬럼과 활성탄 컬럼으로 정제하여 방해물질을 제거하였다. 정제된 시료는 고분해능가스크로마토그래피/고분해능질량분석(HRGC/HRMS) 장치로 DB-5 컬럼을 사용하여 분해능 10,000 이상에서 정량 분석하였다.²⁾ 분석대상 물질은 1 CB에서 10CB까지 모든 동족체를 대상으로 하였으며 정량 결과는 각각의 동족체 농도와 이성질체 농도로 나타내었다.

또한 고용량공기포집장치(high volume air sampler)를 사용하여 대기 시료를 채취시 breakthrough에 의한 영향을 살펴보기 위하여 채취된 PUF를 상단과 하단으로 나누어 분석을 실시하였다. 그 결과 하단의 PUF에 포집된 PCB 농도는 전체 PUF의 0.03~0.43으로 나타나 breakthrough에 의한 영향은 없는 것으로 판단되었다.

PCB의 회수율은 4염소화 동족체 이상에서는 50~85%으로 나타났으나 저염소화 동족체 (1염소화~3염소화)에서는 25~50%의 낮은 회수율을 나타냈다. 그러나 EPA 1668A에 의해 제시된 PCB의 허용 회수율은 25~150% 범위로 되어 있어, 분석상의 문제점은 없는 것으로 판단된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 환경대기 시료 중 PCB 농도 및 분포 특성

한국과 일본의 환경대기 시료 중 PCB 농도를 Table 1에

나타내었다.

환경대기 시료 중 PCB 농도는 한국이 180~5,800 pg/m³ (평균 1,700 pg/m³) 범위였으며 일본은 130~500 pg/m³ (평균 300 pg/m³)으로 검출되어 한국이 일본에 비해 평균값으로 약 6배 정도 높은 값을 나타냈다. 그러나, 한국의 도심지역에서만 채취된 대기시료의 경우 PCB 총 농도는 252~861 pg/m³ (평균 541 pg/m³)으로 일본과 비슷하거나 약간 높은 농도를 나타내었다. 또한 독성등가(TEQ) 농도로 환산한 값은 한국이 0.003~1.01 pgTEQ/m³ (평균 0.22 pgTEQ/m³) 일본이 0.002~0.014 pgTEQ/m³ (평균 0.007 pgTEQ/m³)으로 한국이 일본에 비해 높게 나타났으며, 한국의 도심지역만의 경우에도 1.77~15 pgTEQ/m³ (평균 6.65 pgTEQ/m³)로 일본에 비해 높게 검출되었다.

환경대기 중 PCB 농도에 영향을 주는 요인으로서 발생원의 유무, 토지 이용 형태, 기온 등의 기상조건 등이 고려될 수 있으나 본 연구에서는 시료 채취 시 이러한 요인들에 대한 검토가 어려웠기 때문에 한국과 일본의 농도 레벨의 차이에 대한 직접적인 비교가 어려워 채취된 지점의 상황만을 고려한 비교를 행하였다.

한편, 한국 환경대기 중 PCB 농도를 자세히 살펴보면 시화와 반월공단지역에서 검출된 농도(2,080~5,820 pg/m³)가 다른 일반 주거 지역인 대전(250~450 pg/m³)이나 전주(240~2,800 pg/m³)에 비하여 높게 나타났으며 배경농도 지역인 진안의 경우는 180~280 pg/m³으로 검출되어 시료 채취 지점 간에 농도변화의 폭이 매우 크게 나타났다. 반면, 일본의 경우 특정한 발생원이 없는 요코하마 시내의 동일 지점에서 장기간에 걸쳐 시료를 채취하였기 때문에 농도변화의 폭이 상대적으로 적게 나타난 것으로 판단된다. 특히 7월과 8월에는 기온이 가장 높았음에도 불구하고 1주일간의 샘플링 기간 대부분 강우의 영향으로 매우 낮은 농도를 나타내었다. 이러한 농도 변화는 기온의 변동, 강우의 유무 및 강우량 등 기상조건에의 영향과 주변 지역의 발생원의 영향으로 판단된다.

Table 1. Concentration of PCBs in ambient air samples (pg/m³)

| Homologue | Korea (n = 15) | Japan (n = 11) |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| Mono-CBs | 16~790 (190) | 0.24~62 (16) |
| Di-CBs | 58~1660 (490) | 4.7~64 (34) |
| Tri-CBs | 42~1300 (380) | 29~320 (130) |
| Tetra-CBs | 15~1090 (290) | 37~150 (74) |
| Penta-CBs | 5.5~360 (110) | 10~69 (32) |
| Hexa-CBs | 2.0~630 (110) | 6.4~22 (12) |
| Hepta-CBs | 0.93~540 (87) | 1.4~4.4 (2.3) |
| Octa-CBs | 0.35~78 (15) | 0.26~0.87 (0.51) |
| Nona-CBs | 0.22~100 (15) | 0.04~0.29 (0.13) |
| Deca-CBs | 0.17~170 (33) | 0.03~0.29 (0.13) |
| ΣCo-PCBs | 0.87~180 (38) | 2.1~11 (4.9) |
| ΣPCBs Conc. | 180~5800 (1700) | 130~500 (300) |
| Total TEQ Conc. | 0.003~1.01 (0.22) | 0.002~0.014 (0.007) |

() value is mean value.

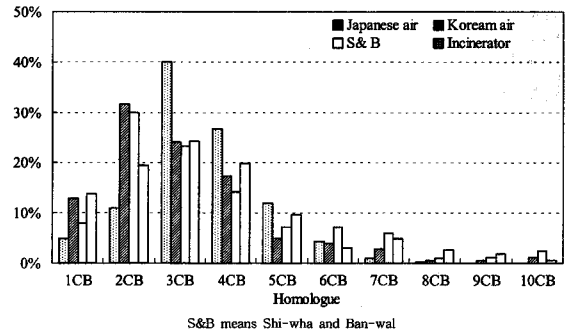


Fig. 2. Homologue distribution of PCB in ambient air samples.

Fig. 2에 환경대기 시료 중 PCB 동족체의 평균 농도 분포를 나타냈다.

한국 시료 경우 샘플링 지역 모두에서 2CB, 3CB 등 저염소화 동족체가 높은 비율 (36~77%)을 나타내었고 8CB~10CB의 고염소화 동족체도 검출되었다. 반면 일본 시료에서는 3CB와 4CB가 전체 동족체 중에서 높은 비율 (57~80%)을 차지하여 한·일 환경대기 시료 중 PCB의 동족체 분포에 차이가 있는 것으로 나타났다.

특히 한국의 시화 및 반월 공단지역에서는 검출된 PCB 동족체 분포는 다른 도시 지역이나 일본에서 채취한 시료에 비해 6CB, 7CB 및 10CB의 고염소화 동족체가 상대적으로 높은 비율을 차지하였다. 일반적으로 Aroclor나 Kanechlor 등 PCB 제품은 제품에 따라서 특정 염소화 동족체의 비율만이 높으며, 소각로 배출가스⁷⁾에서는 8CB~9CB 고염소화 동족체의 비율이 다른 매체에 비해 높은 것으로 알려져 있다. 따라서 시화와 반월공단 지역에서는 고염소화 PCB를 배출하는 특정한 발생원이 환경대기에 영향을 미칠 가능성이 있을 것으로 사료되며, 이에 대한 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 3에 한국과 일본의 환경대기 시료에서 동족체별 각각의 동족체를 구성하고 있는 이성질체 농도 분포를 나타내었다.

이성질체가 하나인 10CB는 9CB와 합하여 100%로 나타내었다. 한국과 일본 각각의 환경대기 시료에서 이성질체 분포는 대체로 일정한 경향을 나타내었으며 한국과 일본의 국가간 시료 사이에서도 비교적 일치하는 경향을 나타내었다.

그러나 두 나라의 시료에서 IUPAC No. PCB-47&75&48, PCB-56&60의 이성질체 그룹과 PCB-155, PCB-164의 이성질체가 매우 다르게 분포하는 것으로 나타났다. 한국 시료에서는 이 그룹의 이성질체가 상당히 높은 비율을 차지하였으나 일본 시료에서는 높은 분포를 나타내지 않았다. 특히 PCB-56&60, 155, 184의 이성질체는 한국의 시화와 반월공단 지역에서 채취한 시료에서 다른 시료보다 매우 높은 비율을 나타내었다. 이들 이성질체는 기존의 환경매체나 소각로 배출가스, PCB 제품에서는 낮은 비율로 존재하는 이성질체로서 샘플링 채취 지역만의 특이한 오염원의 존재 가능성이 시사되어 이에 대한 보다 정밀한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

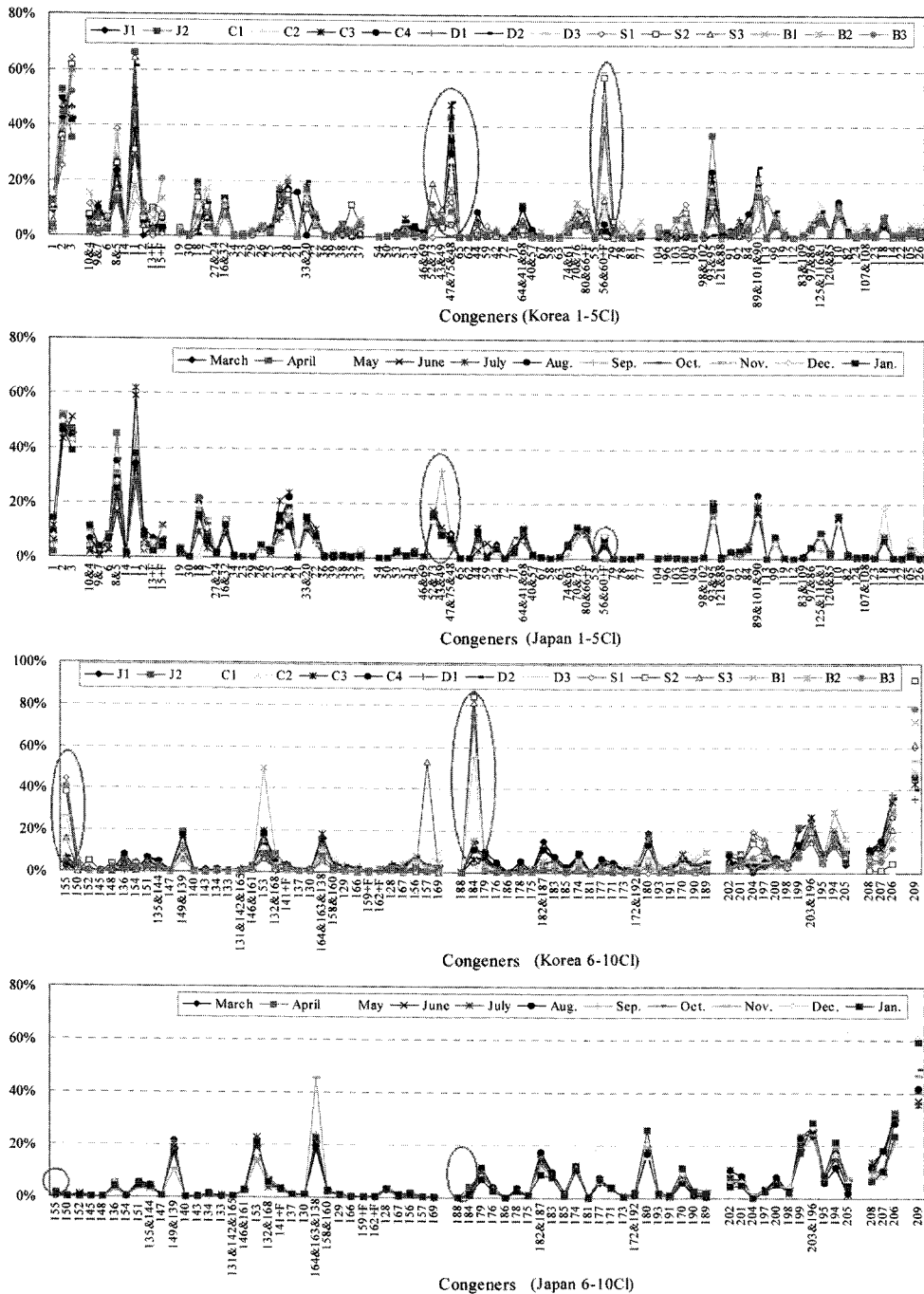


Fig. 3. Isomer distribution of PCB in ambient air samples.

이와 같이 한국과 일본의 환경대기 중 PCB 농도 분포는 전체적으로는 유사한 것으로 나타나 시료채취 지점에 특별한 발생원이 없는 경우의 대표적인 분포로 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 환경대기 시료 중 Co-PCB의 분포 특성

Fig. 4에 다이옥신과 유사한 독성을 가지는 Co-PCB의 이성질체 분포를 나타내었다.⁸⁻¹⁰⁾

Co-PCB의 TEQ 기여율은 한국과 일본 모두 PCB-126 이성질체가 80% 이상을 차지하였으나 분포 패턴에서는 서로

다른 경향을 나타내었다. 한국 환경대기 시료에서는 PCB-118(30%), PCB-77(22%), PCB-105(13%)의 순이었으나 일본의 경우는 PCB-118이 가장 높은 비율(57%)을 나타내었으며 다음으로 PCB-105(21%), PCB-77(9%)의 순이었다.

또한 소각로 배출가스 시료에서 높은 비율을 나타내고 있는 PCB-126, PCB-169 이성질체는 일본 시료에서는 매우 낮은 비율을 차지하였으나 한국의 경우 시료채취 장소에 관계없이 높은 비율을 나타내어 일본의 환경대기 시료에 비하여 한국 환경대기 시료가 소각로의 영향을 많이 받고 있을 가능성을 시사하였다.

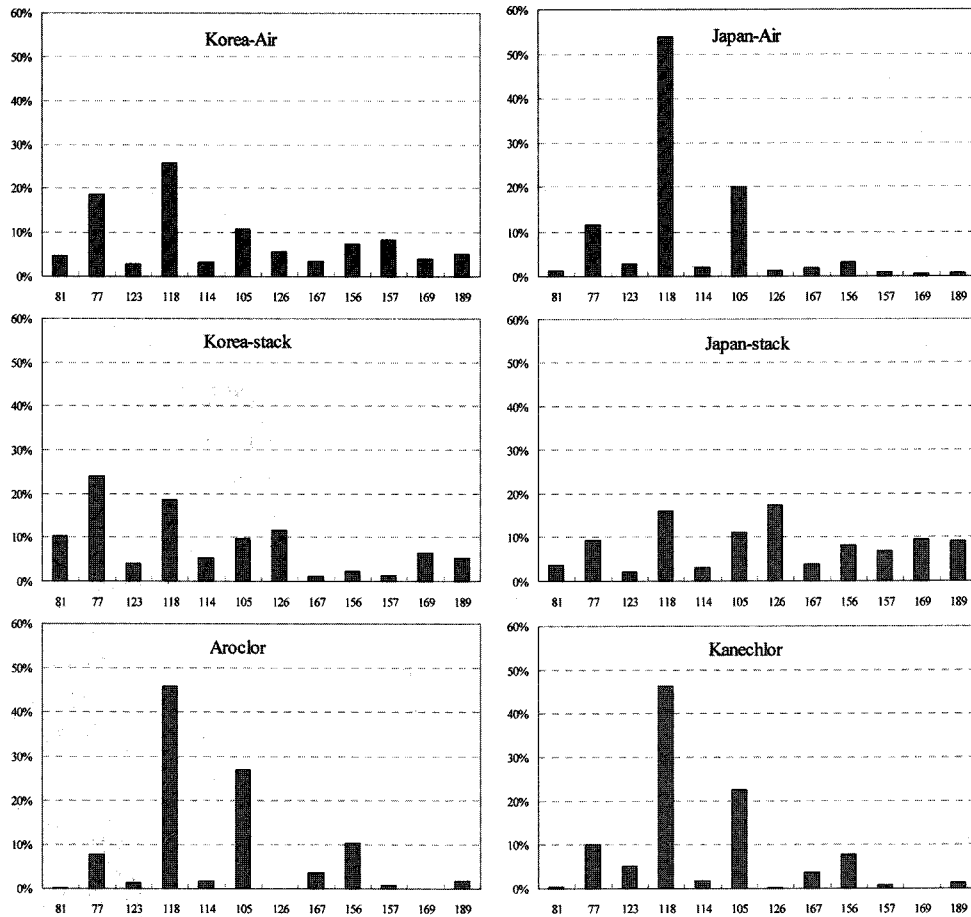


Fig. 4. The distribution of Co-PCB congeners in ambient air samples and source samples.

3.3. 주성분분석을 통한 발생원 추정

PCB의 다양한 발생원이 환경대기 중 오염농도에 기여하는 정도를 정량적으로 추정하기 위하여 주성분분석을 수행하였다. 분석된 모든 환경대기 시료에 대하여 변수로서 PCB의 이성질체 농도를 이용하였다.

Fig. 5와 Table 2에 한국과 일본의 환경대기 시료 중 PCB의 주성분분석 결과를 나타내었다.

한국 시료에서 주성분 3까지의 누적기여율은 89.2%였으며, 그 이하의 주성분의 기여율은 매우 낮았기 때문에 주성분 3까지 기준화 varimax회전을 행하여 축의 해석을 수행하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 주성분 1과 상관성이 높은 이성질체는 소각로 배출가스 시료의 특성을 나타내는 이성질체로서,¹¹⁾ 주성분 1의 양의 축은 연소에 의한 기여로 해석하였다. 주성분 2와 상관성이 높은 이성질체는 PCB 제품인 Kanechlor(KC) 300과 400의 특성을 나타내는 이성질체로서 주성분 2는 KC에 의한 기여로 해석을 하였다.

KC의 경우 제품별로 함유된 염소수에 따라서 미국에서 주로 사용된 Aroclor와 대응이 될 수 있다. 일본의 경우에는 과거에 주로 KC 제품이 사용되었으나 한국의 경우에는 아직까지 명확한 자료는 없지만 Aroclor의 사용이 많았던 것으로 추정되고 있기 때문에 주성분 2는 Aroclor 1242, 1248의 기여로도 해석할 수 있을 것이다.

일본 시료에서 대해서도 같은 방법으로 해석하였으며 주성분 3까지의 누적기여율이 77.5%였다. 주성분 2는 연소 지표³⁾가 되는 이성질체와의 상관성이 높았기 때문에 주성분 2의 양의 축은 연소 기여를 나타내는 것으로 해석하였다. 주성분 1은 대부분의 이성질체와 양의 상관성이 강한 것으로 나타났으며 특히 KC 제품의 지표³⁾가 되는 이성질체와의 상관성이 강했기 때문에 주성분 1의 양의 축은 KC의 기여를 나타내는 축으로 해석을 하였다. 또한 주성분1, 2와 상관성이 강한 (Fig. 4에서 점선의 반원부분) 이성질체와 기온과의 관계를 조사한 결과, 제1주성분과 상관성이 강한 이성질체일수록 그 농도는 기온의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 따라서 제1 주성분은 기온의 변동에 의한 대기 농도의 변화 즉, 휘발의 영향으로 최종적으로 해석을 하였다. 주성분 3은 일부 이성질체(PCB-125&116, 92, 181, 134, 56&60, 140)와의 상관성이 강하였으나 기존의 발생원과 특정한 관계를 연계시켜 해석하기가 어려웠다.

주성분 분석결과에서 각 주성분의 기여율이 반드시 각 발생원으로부터의 기여율을 의미하는 것은 아니지만, Table 2의 결과로 미루어 볼 때, 한국 환경대기 시료가 일본 환경대기 시료에 비하여 소각로 영향이 많이 받고 있으며 PCB 제품 영향은 일본에 비해 상대적으로 적은 것으로 판단된다. 한국의 경우는 청정지역, 도심지역 및 공단지역에

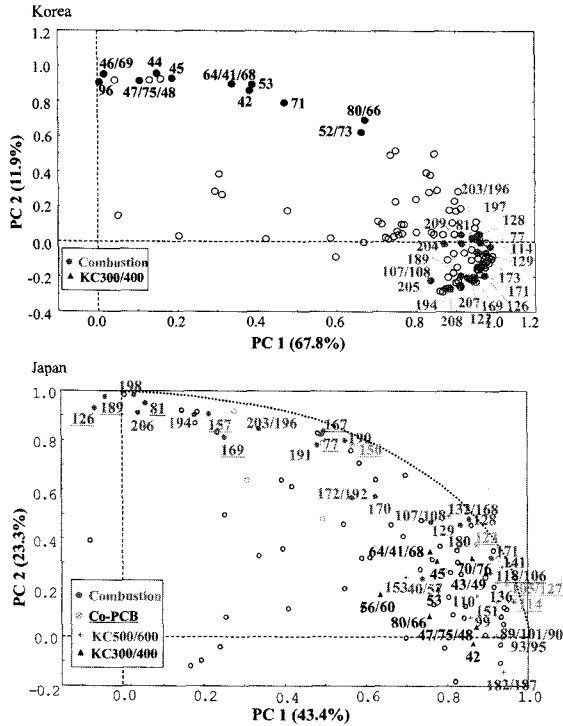


Fig. 5. The loading plot with PC 1 vs. PC 2 in Korea(upper) and Japan(lower) ambient air samples.

Table 2. Principal components and interpretation of axis from PCA result

| PC. (Factor) | Korean ambient air samples | | | Japanese ambient air samples | | |
|--------------|----------------------------|------------|----------------|------------------------------|------------|----------------|
| | Combustion (%) | Eigenvalue | Interpretation | Combustion (%) | Eigenvalue | Interpretation |
| PC1 | 67.8 | 83 | Combustion | 44.0 | 53.6 | Volatilization |
| PC2 | 11.9 | 15 | KC300 KC400 | 23.2 | 28.3 | Combustion |
| PC3 | 9.5 | 12 | Unknown | 10.4 | 12.7 | Unknown |

서 다양하게 채취된 시료로서 공간적인 대표성이 있으나, 일본의 경우에는 도심지역에서만 채취된 시료로서 지역적인 특성의 영향을 많이 받고 있기 때문에 객관적인 비교를 위해 보다 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

한국과 일본의 환경대기 시료를 대상으로 PCB 농도분포 및 발생원 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

환경대기 시료 중 PCB 총 농도는 한국이 180~5,800 pg/m³ (평균 1,700 pg/m³), 일본이 130~500pg/m³ (평균 300 pg/m³) 범위였으며 독성등가(TEQ) 농도로 환산한 값도 한국이 0.003~1.01 pgTEQ/m (평균 0.22 pgTEQ/m³) 일본이 0.002~0.014 pgTEQ/m³ (평균 0.007 pgTEQ/m³)으로 나타나 한국 시료가 일본에 비해 높은 값을 나타냈다. 그러나, 한국의 도심지역에서만 채취된 대기시료의 경우 PCB 총 농도는 252~861 pg/m³ (평균 541 pg/m³)으로 일본과

비슷하거나 약간 높은 농도를 나타내었으며, TEQ농도도 1.77~15 pgTEQ/m³ (평균 6.65 pgTEQ/m³)로 일본에 비해 높게 검출되었다.

이성질체 분포에 있어서는 한·일 환경대기 시료 모두 유사한 경향을 보였으나, PCB-47&75 & 48과 PCB-56 & 60의 이성질체 그룹에서 다른 경향을 나타내었으며, 특히 시화와 반월공단 지역의 경우 PCB-155, PCB-164의 이성질체에서는 한국의 다른 도시나 일본의 시료와는 다른 경향을 나타내었으며, 이들 이성질체는 기존의 소각로 배출가스나 PCB 제품과의 관련성은 적은 것으로 나타나 지역적인 특정 발생원의 가능성이 시사되었다.

주성분 분석을 통하여 발생원을 추정 결과 한국의 환경대기 시료에서 검출된 PCB는 소각에 의한 기여가 가장 크고 다음으로 PCB 제품인 것으로 나타났다. 일본의 환경대기 시료는 PCB 휘발에 의한 기여가 가장 컸으며 소각로의 영향은 상대적으로 낮게 나타나 환경대기 시료에 미치는 발생원 영향이 한·일간에 서로 다른 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 발생원의 영향은 시료채취지점의 지역적인 특성에 의한 영향도 무시할 수 없으므로 객관적인 비교를 위해 일본의 다양한 지점에서 많은 조사연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 전북대학교 공업기술연구센터에 의해 지원되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. (株) エックス都市研究所, ヘキサクロロベンゼン等排出インベントリ"[整備調査業務 結果報告書], 2003. 3.
2. Masunaga, S., Yao, Y., Takada, H., Sakurai, T., and Nakanishi, J., "Sources Apportioning of Dioxin Pollution Recorde in Tokyo Bay Sediment Core Based on Congener Composition", 地球化學, **35**, 159~168(2001).
3. Kobayashi, N., Masunaga, S., and Nakanishi, J., "Source Identification and Behavior of PCDD/Fs and Dioxin-Like PCBs in Japanese River Water," *Journal of Japan Society on Water Environment*, **26**, 655~662(2003).
4. Grundy, S. L., Bright, D. A., Dushenko, W. T., Englander, S., Johnston, K., Pier, D., and Reimer, K. J., "Dioxin and Furan Signatures in Northern Canadian Soils : Correlation to Source Signatures Using Multivariate Unmixing Techniques," *Chemosphere*, **34**, 1203~1219(1997).
5. Imamoglu, I. and Christensen, E. R., "PCB Sources, Transformations, and Contributions in Recent Fox River, Wisconsin Sediments Determined from Receptor Modeling," *Water Res.*, **36**, 3449~3462(2002).
6. Fiedler, H., Lau, C., Kjeller, L. O., and Rappe, C.,

- "Patterns and Sources of Polychlorinated dDibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans Found in Soil and Sediment Samples in Southern Mississippi," *Chemosphere*, **32**, 421~432(1996).
7. Shin, S. K., Kim, K. S., You, J. C., Song, B. J., Kim, J. K., "Concentration of Polychlorinated Biphenyls and the Congener Patterns in Industrial and Municipal Waste Incinerator Flue Gas in Korea"(submitted).
 8. 김경수, 송병주, 김종국, "대기 시료 중 PCBs 전 이성질체 분석에 관한 연구," *분석과학회지*, **16**(4), 309~319 (2003).
 9. 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**, 539~553(2004).
 10. U.S. Environmental Protection Agency Home Page, http://www.epa.gov/toxteam/pcbldownload/aro-clor_frame.xls.
 11. 김경수, 김종국, 김경심, 송병주, 문성연, 박석운, "소각로 배가스 중 PCBs 전 이성질체 농도 및 분포특성에 관한 연구," *한국분석과학회 춘계 학술대회*, pp. 105(2003).