

부산지역의 대기 중 잔류성 유기오염물질의 거동특성 연구

정태욱[†] · 정재은 · 조은정

부산광역시 보건환경연구원 폐기물분석과 (다이옥신분석센터)

Seasonal Distribution Characterization of POPs in Atmosphere of Different sites in Busan City

Tae-Uk Jeong[†], Jae-Eun Jeong and Eun-Jeong Cho

Dioxin analysis center

Abstract

Co-planar PCBs (polychlorinated biphenyl), POPs (persistent organic pollutants) pesticides and PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) in the ambient air of Busan city were investigated for their concentration, phase distribution, seasonal and site variation.

Annual average of co-planar PCBs (WHO-TEQ, 2005) in industrial site was the highest with 0.049 pg WHO-TEQ/Sm³ among all investigated sites such as industrial sites, commercial site, resident site and control site. Co-planar PCBs concentration at industrial sites was highest in cold weather similar to that of PCDDs/PCDFs. On the other hand, co-planar PCBs concentrations in summer were higher than those of any other season at all sites except for industrial sites. The results of phase distribution showed that particle co-planar PCBs was higher in winter than in other seasons. In the case of the POPs pesticides, only hexachlorobenzene (HCB) was detected with annual average 0.06-0.18 ng/Sm³. The results of PAHs showed that PAHs concentration in industrial site and winter had highest one. The carcinogen PAHs such as benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indono(1,2,3-c,d)pyrene and dibenzo(a,h)anthracene in winter were dominant at all sites.

Key Words : Co-planar PCBs, POPs, PAHs

서 론

인간의 산업활동에 의해서 의도적으로 또는 비의도적으로 생성되는 많은 화합물들은 여러 가지 형태로 환경에 노출되어 사람의 건강이나 생태계에 많은 피해를 야기시킨다. 이러한 화학물질들 중에서는 환경 내에서 광화학적, 생물학적 또는 화학적으로 분해가 느리게 진행되고 환경내에 오랫동안 잔류하면서 사람 및 환경에 위해를 끼치는 화학물질들을 잔류성유기오염물질(POP; Persistent Organic Pollutants)이라고 하며, 이러한 잔류성유기오염물질들은 환경 내에 반감기가 길어 잘 분해가 되지 않고 먹이사슬을 통해 축적되며 장거리 이동특성을 갖고 있는 유기화합물들이다¹⁾. POPs 물질은 암, 알레르기, 중추 및 말초신경계의 손상, 생식장애 및 면역체계 파괴 등의 특이적 영향을 일으키는 독성이 매우 강한 물질이다. 또한 “grasshopper effect”라 불리는 과정을 통해 순환하여 증발 및 침전의 과정을 반복하면서 장거리 이동을 하게되고, “bioaccumulation”이라는 과정을 통해 생물체에 농축된다²⁾.

이러한 POPs 물질로부터 인간 및 생태계의 보호가 일부 국가의 노력에 의해서만 이루어 질 수 없고, 또한 법적 구속력이 있는 국제규제의 필요성이 제기 되어 유엔환경계획(UNEP; United Nations Environment Programme) 주도하여 1997년부터 정부간 협상회의를 거쳐 2001년 5월에 스톡홀름 협약(Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants)이 체결되었으며, 2004년 5월 17일 발효되었다³⁾. 우리나라는 본 협약에 2001년 10월 4일에 서명을 하였으며, 지난 2007년 1월 25일에 비준을 하였다. 이에 대한 국내 이행 입법으로써 2007년 1월에 「잔류성유기오염물질관리법」을 제정하여 2008년 1월 27일에 시행되었으며, 이 법을 통해서 POPs 물질들에 대한 환경관리, 제조 및 사용제한, 배출시설 관리, 폐기물 관리 및 오염기기 관리 등을 할 예정에 있다⁴⁾.

스톡홀름 협약과 잔류성유기오염물질 관리법이 정하는 대상 물질은 Aldrin, Chlordane, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Mirex, Toxaphene, HCB (Hexachlorobenzene), PCB, DDT, PCDF (Poly chlorinated dibenzn furan), PCDD (Poly

[†] Corresponding author. E-Mail: masang048@busan.go.kr
Phone: 051-761-7575, Fax: 051-759-2964

chlorinated dibenzo dioxin) 등이 있으며, 이들 물질 외에 잔류성이나 생물농축성, 장거리 이동성 그리고 독성 등의 여러 가지 특징을 파악하여 새로운 POPs 물질로 등재하기 위하여 논의 중에 있다³⁾.

POPs 물질 중의 하나인 PCB (Poly chlorinated biphenyl) 는 변압기 절연유에서 주로 사용되었으며, 폐기물 소각 등 연소과정에서 비의도적으로 환경 중으로 배출되기도 한다.

PCBs는 총 209개의 동족체가 있으며, 이 중에서 구조적으로 다이옥신과 비슷한 co-planar PCBs는 다이옥신과 유사한 독성을 지닌다. co-planar PCBs는 일반적으로 염소수가 증가할수록 잔류성이 증가하고 생물분해가 되기 어려운 성질을 가지고 있으며, 비교적 안정된 화합물이기 때문에 환경 중으로 배출되면 휘발, 확산, 흡수 및 흡착 등의 과정을 통하여 이동을 하게 되고, 나아가서는 먹이사슬을 통해 축적되어 궁극적으로는 인간과 생태계에 영향을 미친다⁴⁾. PCBs의 경우 1979년 전기사업법에 의해서 신규 전기기기에는 사용이 금지되었고, 1996년에는 유해화학물질관리법에 의해 PCB 물질의 수입이나 제조 또는 사용이 금지되었으나, 폐기물 소각 등 연소과정에서 비의도적으로 배출되고 있는 PCBs에 대해서는 아직 규제를 하고 있지 않은 실정이다⁵⁾.

POPs 물질 중 농약류도 마찬가지로 농약관리법에서는 1969년 이후 등록취소를 그리고 유해화학물질관리법에서는 1991년 이후 사용금지를 하였으나, 환경 중 잔류성이 뛰어나기 때문에 사용금지 이후에도 상당기간 환경 중에 잔류할 가능성이 많은 물질들이다⁶⁾.

다환방향족 화합물(PAHs ; Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) 또한 스톡홀름 협약에서 추가로 논의되고 있는 POPs 물질들 중의 하나이며, UN/ECE (United Nations Economic Commission for Europe)에서는 이미 규제대상 물질로 선정된 물질들이다⁷⁾. PAHs는 주로 산업공정이나 석탄 연소 배출물, 자동차 연료 및 배출가스, 자동차 폐오일, 담배 연기 등 인위적으로 발생되며, 화산이나 산불 또는 원유 등 자연적으로도 발생한다⁸⁾. PAHs는 벤젠고리가 2개 이상인 화합물의 총칭으로 약 200여종의 이성질체가 존재하며, 이중 미국 환경청(US-EPA)에서는 16종(Benzo(e)pyrene을 제외해서 16종임)을, 그리고 WHO에서는 33종(31개 PAH 및 2개의 알킬 유도체)을 관리하고 있다⁹⁾. PAHs는 분자량이 낮은 경우 자연환경에서 생분해되지만 대부분 안정적인 화합물로서 높은 용점과 끓는점을 가지는 강한 불용성 물질이다. 벤젠고리의 수가 증가함에 따라 휘발성이 낮아지며, 따라서 먼지 등에 흡착되어 입자상 물질로 존재하는 경향이 많다¹⁰⁾.

이러한 PAHs의 일반적인 특징은 비점이 높고, 끓는점 또한 높으며 증기압이 낮다. 또한 탄소와 수소의 비율이 커질수록 화학적으로 안정하며, 이러한 안전성은 벤젠고리가 밀집된 형태에서 나타난다. 그러나 벤젠고리가 직선형태로 배열된 경우에는 분자량이 증가할수록 화학적으로 불안정하다. 또한 탄소 중 비틀어진 위치의 탄소가 화학적으로 약한 이중결합을 하고

있어 반응성이 크다⁸⁾. 그리고 PAHs는 화합물의 종류에 따라 입자상 또는 기체상으로 존재하면서 두 상간에서 서로 분배되는 관계에 있다. 입자상과 기체상에 분배하는 정도는 주위의 온도나 습도 또는 분자의 형태 등 여러 가지 조건에 의존한다⁸⁾.

또한 PAHs류는 석탄이나 석유 등 화석연료를 사용하는 가정난방이나 발전소, 자동차 및 각종 산업시설들에서 환경 중으로 배출된 후 습식침적 과정인 강수 등에 의해 토양이나 식생 등으로 유입되며, 또한 건식침적 과정으로 대기 중으로 방출되어 대기 부유분진에 흡착되거나, 가스상의 형태로 지표면으로 유입된다¹¹⁾.

이러한 PCBs를 포함한 POPs 물질이나 PAHs류들은 발암성 물질 또는 발암잠재성이 있는 물질로써, 부산시의 경우 일반적인 대기오염물질은 대기 측정망을 통해 실시간 조사를 하고 있지만 이러한 잔류성유기오염물질에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 부산지역 5개 지역에 대해서 계절별로 대기 중으로 배출되는 co-planar PCBs, POPs 물질 중 농약류 및 PAHs류에 대한 농도수준과 congeners와 이성질체들의 거동특성에 관한 연구를 하였으며, 또한 이들의 농도분포와 다이옥신 농도와의 상관성을 검토하였다.

재료 및 방법

시료채취

Co-planar PCBs, POPs 중 농약류 및 PAHs분석을 위한 대기 시료 채취는 입자상 물질과 가스상 물질을 동시에 채취할 수 있도록 high volumn air sampler (Sibata, Japan)를 이

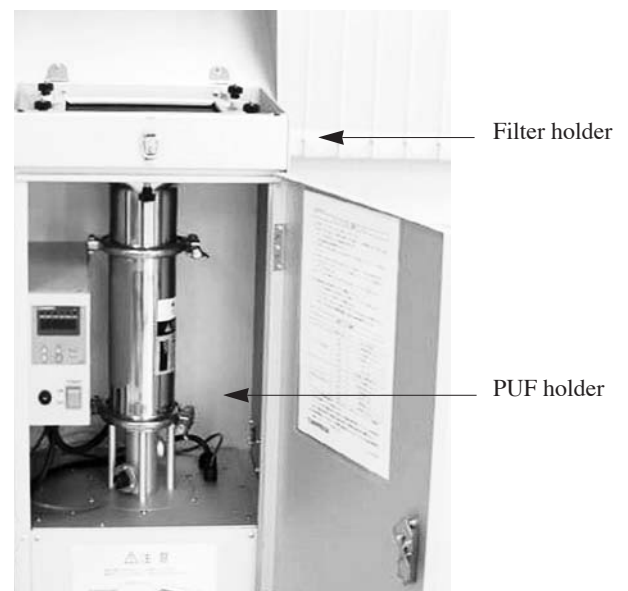


Fig. 1. High volumn air sampler used in ambient sampling.

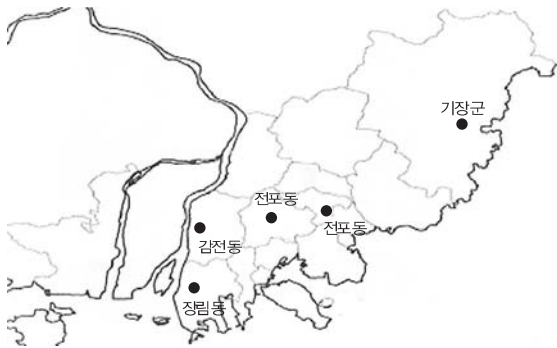


Fig. 2. Ambient sampling sites in Busan city.

용하여 시료를 채취하였다. Fig. 1에 나타난 것처럼 High volumn air sampler에 입자상 물질 포집용 여지(Sibata, Japan)와 가스상 물질 포집용 PUF (Poly uretane form, Sibata, Japan)를 장착하여 분당 0.65 Sm³의 유속으로 24시간 동안 약 939.1 Sm³의 공기를 포집하였다.

본 실험에서 사용된 여지는 사용하기 전에 전기 회화로 (Thermolyene, USA)를 이용하여 600에서 약 5시간 이상 태워서 불순물을 모두 없앤 다음 사용하였으며, Poly Uretane Form (PUF)는 사용 전에 미리 Acetone (Wako, 다이옥신분 석용)을 이용하여 Soxhlet (Sibata, Japan)으로 24시간 동안 추출한 다음 데시케이터에서 건조시킨 후 사용하였다.

시료채취시기는 계절별 co-planar PCBs, POPs 중 농약류 및 PAHs의 계절별 분포특성을 파악하기 위하여 1월, 4월, 7월, 10월 등 총 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 시료채취지역으로는 Fig. 2에 나타난 것과 같이 부산지역을 대표할 수 있도록 지역을 세분화하여 공업지역 2군데(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 그리고 대조지역(기장군 기장읍) 1군데 등 총 5개 지역의 시료를 채취하였다.

채취된 시료는 입자상 물질과 가스상 물질을 구분하기 위하여 시료채취에 사용했던 filter 및 PUF를 각각 구분하여 Soxhlet 추출하였다. Soxhlet 추출에 사용한 용매는 Toluene을 사용하였으며, 매초 1방울의 속도로 24시간 이상을 추출하였다. 추출된 시료는 50℃의 수조에서 회전증발농축기(Buchi, Switzerland) 및 질소농축기를 이용하여 농축한 다음 keeping solvent로 n-nonane을 500 uL를 첨가한 후 계속 농축하여 Hexane으로 용매를 전환하였다. 용매전환한 시료는 10 mL로 messup한 다음 co-planar PCBs, POPs 중 농약류 및 PAHs 분석을 위해 3등분하여 사용하였다.

실험방법

Co-planar PCBs의 경우 일본의 표준분석방법(Japanese Industrial Standard ; JIS) JIS K 0311, K 0312^{21,13} 및 US-EPA method 1668 revision B¹⁴에 따라 multi-silica column 및 Alumina column을 이용하여 정제하였다. 검량선

작성용 표준물질(Calibration standard solution, CS1, CS2, CS3 및 CS4), 정제용 내부표준물질(Labelled compound solution ; 13C-3,4,4',5-TeCB 등 동위원소 12종) 및 시린지 첨가용 내부표준물질(Internal standard solution ; 13C-2,3',4',5-TeCB 등 4종) 등은 Wellington Laboratories Co.(USA) 제품을 사용하였으며, 정제용 내부표준물질(WP-LCS, 1000 ng/mL)은 Acetone으로 그리고 시린지 첨가용 내부표준물질(WP-ISS, 1000 ng/mL)은 nonane으로 각각 100배 희석하여 사용하였다.

그리고 시료 중의 수분제거를 위해 사용한 Na₂SO₄ anhydrous는 methylene chloride로 행군 다음 전기 회화로 (Thermolyne, USA)를 이용하여 400℃에서 4시간 이상 활성화시킨 다음 진공 데시케이터에 보관하여 사용하였으며, 본 실험에 사용한 칼럼 충전제로는 Silica gel(Merck, 70~230 mesh ASTM) 및 Alumina (Merck, 활성도 I, basic, 70~230 mesh ASTM)를 사용하였다. Alumina는 전기 회화로를 이용하여 600℃에서 24시간 이상 활성화시킨 다음 130℃에서 보관하여 사용하였으며, HRGC/ HRMS (HP 6890/Autospec Ultima)를 사용하여 분해능 10,000 이상의 조건으로 조절한 다음 분석하였다.

POPs 물질 중 농약류의 경우 검량선 작성용 표준물질(Ultrascientific 021307-847, 16종 혼합 표준품)을 이용하여 20, 50, 100, 150 및 200 ppb의 농도로 검량선을 작성하였으며, 각각의 피크들은 개별 표준품(Ultrascientific PST)들을 이용하여 확인하였다. 그리고 본 실험에 사용한 칼럼 충전제로는 US-EPA method 3620C¹⁵에 따라 플로리실(J.T.Baker 3372-07)을 사용하였으며, 전개용매로는 Diethyl ether : Hexane (5:95, V/V) 및 Diethyl ether : Hexane (20:80, V/V)을 각각 사용하였다. 정제된 시료는 GC의 주입구 온도는 260℃, 오븐 온도는 50℃에서 3분간 유지한 후 200℃까지 분당 20℃씩 승온시키고 다시 280℃까지 분당 2.5℃씩 승온시켜 10분간 유지시키는 조건으로 DB5-MS가 장착된 GC/MS(HP 6890/5973N MSD)를 사용하여 기기분석을 하였다.

PAHs의 경우 검량선 작성용 표준물질(Supelco 4-8743, 16종 혼합 표준품)을 이용하여 2-80(고농도의 경우 40-1600) ppb의 농도로 검량선을 작성하였으며, 시린지첨가용 내부표준물질(Supelco 4-8743, Acenaphthene-d10 등 3종을 최종 시료농축액에 첨가하였다. 대기오염공정시험방법¹⁶ 및 US-EPA method 610¹⁷에 따라 칼럼 충전제로는 실리카겔(Merck, 70~230 mesh ASTM)을 dry oven (Eyela, Japan)을 이용하였으며, 전개용매로는 methylene chloride : Hexane (10:90, V/V)을 사용하였다. 정제된 시료의 PAHs 분석을 위하여 DB5-MS가 장착된 GC/MS (HP 6890/5973N MSD)를 사용하였다. GC의 주입구 온도는 280℃이고, 오븐 온도는 100℃에서 1분간 유지한 후 180℃까지 분당 15℃씩 승온시키고 다시 300℃까지 분당 5℃씩 승온시켜 2분간 유지시켰다.

Table 1. The real values and WHO-TEQ of co-planar PCBs according to the sampling times

Sites	Conc.	Sampling time				Average	
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.		
Industrial sites	Gamgeon-dong	pg/Sm ³	16.993	12.178	12.086	6.921	12.045
		WHO-TEQ	0.117	0.027	0.033	0.018	0.049
	Janglim-dong	pg/Sm ³	13.028	16.761	18.704	9.223	14.429
		WHO-TEQ	0.018	0.023	0.013	0.012	0.016
Commercial site	Jeonpo-dong	pg/Sm ³	10.091	13.232	98.153	14.738	34.054
		WHO-TEQ	0.031	0.010	0.040	0.010	0.023
Resident site	Yeonsan-dong	pg/Sm ³	7.968	8.024	24.012	5.652	11.414
		WHO-TEQ	0.013	0.010	0.028	0.012	0.017
Control site	Gijang-eup	pg/Sm ³	7.490	6.264	27.702	2.618	11.019
		WHO-TEQ	0.011	0.007	0.019	0.003	0.023

결과 및 고찰

Co-planar PCBs 거동특성

각 지역의 시료채취 시기별 co-planar PCBs 농도

부산시내 각 지역을 토지이용형태별로 구분하여 공업지역(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 및 녹지지역(기장읍) 등 총 5군데의 시료를 계절별로 2007년 1월, 4월, 7월 및 10월에 각각 채취하여 분석한 결과는 Table 1과 같다.

연평균 실측값의 경우 상업지역인 전포동 지역이 34.054 pg/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 장림동(14.429) > 감전동(12.045) > 연산동(11.414) > 기장읍(11.019) 순으로 나타났다. 계절별 추이를 살펴보면 겨울철인 1월에 가장 많이 검출된 감전동 지역을 제외한 나머지 4개 지역에서는 여름철인 7월에 가장 많이 검출되었으며, 전체 평균값 또한 7월에 36.132 pg/Sm³으로 가장 높게 나타났다. 전포동과 연산동 그리고 기장읍의 경우 7월이 다른 시기에 비해 특이하게 높게 검출되었으며, 특히 2007년 7월 전포동 지역에서는 98.153 pg/Sm³으로 매우 특이하게 높게 검출되었는데, 이는 시료채취일의 기상현상이나 오염물질의 정체 등에 의해 순간적으로 높게 검출된 것으로 판단되었다. Eduljee 등¹⁸도 기상현상이 다이옥신류의 농도에 중요한 원인이 된다고 보고하였다.

WHO에서 2005년에 재설정된 독성등가값을 적용시켰을 경우 연평균 농도는 공업지역인 감전동 지역이 0.049 pg WHO-TEQ/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 전포동(0.023) > 연산동(0.017) > 장림동(0.016) > 기장읍(0.010) 순으로 나타났다. 이러한 연구결과는 허 등¹⁹이 경기도 지역의 대기 중 co-planar PCBs의 지역분포 특성에 대한 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.

계절별 검출특성을 살펴보면 감전동 지역의 경우 겨울철인 1월에 0.117 pg WHO-TEQ/Sm³으로 가장 높게 나타나 일반적인 대기 중의 다이옥신 검출특성과 비슷한 경향을 나타내었

다. 반면 전포동과 연산동 그리고 기장읍의 경우에는 실측값과 마찬가지로 여름철인 7월에 0.040, 0.028 및 0.019 pg WHO-TEQ/Sm³으로 각각 나타나 다른 시기에 비해 상대적으로 높게 검출되었다. 계절별 전체 평균 농도는 겨울철인 1월이 0.038 pg WHO-TEQ/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 여름철(7월, 0.027) > 봄철(4월, 0.016) > 가을철(10월, 0.011) 순으로 검출되었다. Kazutoshi S. 등²⁰은 PCB는 다이옥신과는 달리 여름철에 높게 검출된다고 보고하였고, 반면 Maggie P.K.C. 등²¹은 풍향이나 대기혼합 등의 영향으로 겨울철 PCBs의 농도가 더 높게 검출된다고 보고하였다. 또한 Peter J. C 등²²은 다이옥신에 비해 PCBs는 계절적으로 큰 변화없이 연중 매우 안정한 상태로 있다고 보고하였다. 따라서 대기 중의 PCBs의 농도는 지역별로는 발생원의 영향을 받지만 계절적으로는 온도보다는 풍향이나 대기혼합 등 기상의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다.

입자상/가스상 분포특성

지역별 WHO-TEQ값의 입자상/가스상 물질의 분포특성은 Fig. 3 및 Table 2에 나타내었다. 공업지역인 감전동지역과 장림동 지역의 경우 1월과 4월에서는 입자상 물질이 훨씬 많이 검출되었으며 7월과 10월에는 이와 반대로 가스상 물질이 많이 검출되는 것으로 나타났다. 또한 조사대상 전지역에서 농도가 가장 높게 검출된 겨울철에는 입자상 물질이 많이 검출되었는데, 이는 Kim K. S. 등²³이 co-planar PCBs에 치환되어 있는 염소수가 증가할수록 그리고 시료채취시의 온도가 낮을수록 입자상 물질이 많이 검출된다고 보고한 연구결과와 비슷한 경향이였다. 또한 1월을 제외한 나머지 시기에서는 연산동 지역의 10월을 제외하고는 가스상 물질이 오히려 많이 검출되었다. 이는 허 등¹⁹의 겨울철을 제외하고는 co-planar PCBs의 농도는 가스상이 많이 검출되었다고 보고한 연구결과와 유사한 경향을 나타내었다.

Table 2. The ratio of particulate/vapor co-planar PCBs

Sampling sites		p/v ratio			
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.
Industrial sites	Gamjeon dong	12.2	2.1	0.4	0.6
	Janglim dong	5.2	1.7	0.1	0.5
Commercial site	Jeonpo dong	10.1	1.0	0.1	0.3
Resident site	Yeonsan dong	439	0.6	0.1	1.1
Green site	Gijang eup	4.7	0.5	0.1	0.4

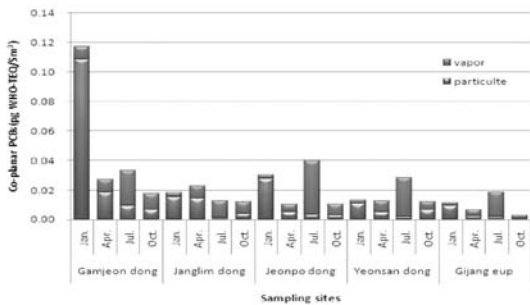


Fig. 3. Distributions of particulate and vapor co-planar PCBs.

POPs 물질 중 농약류 거동특성

부산시내 각 지역을 토지이용형태별로 구분하여 공업지역(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 및 녹지지역(기장읍) 등 총 5군데의 시료를 계절별로 2007년 1월, 4월, 7월 및 10월에 각각 채취하여 POPs 물질 중 농약류를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

대사산물을 포함해서 총 15종의 물질을 분석한 결과 HCB를

제외한 나머지 물질들은 전혀 검출되지 않았다.

HCB는 co-planar PCBs와 마찬가지로 비의도적으로 발생되는 부산물로서 공업지역인 감전동 지역과 장림동 지역에서 많이 검출되었으며, 이는 Tremblay 등²⁴과 Jonathan L. B. 등²⁵의 공업지역의 대기 중 HCB 농도가 높게 검출되었다고 보고한 연구결과와 유사한 경향이였다. 또한 내분비계장애물질조사·연구사업 결과보고²⁶에 따르면 조사 전 지역의 농도범위가 0.02-0.62 ng/Sm³로써 본 연구결과도 이와 비슷한 농도범위를 나타내었다.

계절적인 분포특성을 보면 조사대상 전 지역에서 겨울철인 1월에 가장 많이 검출되었다. 또한 co-planar PCBs의 분포특성과는 달리 입자상물질로는 전혀 검출되지 않았으며, 가스상 물질로만 검출되었다.

PAHs 거동특성

각 지역의 시료채취 시기별 PAHs 농도

부산시내 각 지역을 토지이용형태별로 구분하여 공업지역(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 및 녹지지역(기장읍) 등 총 5군데의 시료를 계절별로 2007년 1월,

Table 3. POPs compounds(HCB) concentrations according to the sampling times in Busan city

Sampling sites		Sampling time				Average
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
Gamjeon dong	Particulate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Vapor	0.35	0.13	0.00	0.13	0.15
	Total	0.35	0.13	0.00	0.13	0.15
Janglim dong	Particulate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Vapor	0.49	0.12	0.00	0.11	0.18
	Total	0.49	0.12	0.00	0.11	0.18
Jeonpo dong	Particulate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Vapor	0.26	0.10	0.11	0.11	0.14
	Total	0.26	0.10	0.11	0.11	0.14
Yeonsan dong	Particulate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Vapor	0.11	0.00	0.00	0.11	0.06
	Total	0.11	0.00	0.00	0.11	0.06
Gijang eup	Particulate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Vapor	0.12	0.11	0.10	0.10	0.11
	Total	0.12	0.11	0.10	0.10	0.11

Table 4. PAHs concentration according to the sampling times at Gamjeon dong in Busan city (unit : ng/Sm³)

No.	Compounds	Abbre.	Sampling time				Average
			Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
1	Naphthalene	NaP	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
2	Acenaphthylene	AcPy	0.15	0.15	0.00	0.08	0.09
3	Acenaphthene	AcP	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
4	Fluorene	Flu	0.47	0.11	0.04	0.08	0.17
5	Phenanthrene	PhA	3.46	1.35	0.20	1.13	1.53
6	Anthracene	AnT	7.11	2.77	0.42	2.32	3.15
7	Fluoranthene	FluA	3.98	1.33	0.53	0.85	1.67
8	Pyrene	Pyr	3.19	0.65	0.49	0.81	1.29
9	Benzo(a)anthracene	BaA	1.76	0.30	0.30	0.41	0.69
10	Chrysene	Chr	2.99	0.35	0.40	0.25	1.00
11	Benzo(b)fluoranthene	BbF	5.40	0.45	0.65	0.32	1.70
12	Benzo(k)fluoranthene	BkF	6.31	0.50	0.74	0.36	1.98
13	Benzo(a)pyrene	BaP	0.16	0.07	0.36	0.53	0.28
14	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	InP	19.42	1.07	2.84	1.21	6.13
15	Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	5.31	0.14	0.16	0.15	1.44
16	Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	7.93	0.10	1.81	0.93	2.69
Σ carc ¹⁾			38.36	2.52	5.04	2.98	12.22
Σ total			67.69	9.32	8.94	9.43	23.84

1) No 9, 11, 12, 13, 14, 15의 합계

Table 5. PAHs concentration according to the sampling times at Janglim dong in Busan city (unit : ng/Sm³)

No.	Compounds	Abbre.	Sampling time				Average
			Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
1	Naphthalene	NaP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Acenaphthylene	AcPy	0.15	0.08	0.08	0.00	0.08
3	Acenaphthene	AcP	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
4	Fluorene	Flu	0.23	0.10	0.02	0.04	0.10
5	Phenanthrene	PhA	1.34	0.87	0.45	0.69	0.84
6	Anthracene	AnT	2.76	1.78	0.92	1.43	1.72
7	Fluoranthene	FluA	1.81	0.53	0.94	1.11	1.10
8	Pyrene	Pyr	1.75	0.42	0.93	1.86	1.24
9	Benzo(a)anthracene	BaA	2.46	0.15	0.40	0.33	0.84
10	Chrysene	Chr	1.83	0.23	0.27	0.44	0.69
11	Benzo(b)fluoranthene	BbF	3.70	0.41	0.32	0.82	1.31
12	Benzo(k)fluoranthene	BkF	4.32	0.45	0.35	0.94	1.51
13	Benzo(a)pyrene	BaP	0.20	0.06	0.36	0.73	0.34
14	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	InP	12.10	0.36	1.50	2.13	4.02
15	Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	3.39	0.13	0.05	0.18	0.94
16	Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	5.38	0.02	1.25	1.73	2.10
Σ carc ¹⁾			26.17	1.56	2.97	5.13	8.96
Σ total			41.43	5.59	7.83	12.42	16.82

1) No 9, 11, 12, 13, 14, 15의 합계

4월, 7월 및 10월에 각각 채취하여 PAHs를 분석한 결과는 Table 4~8과 같다.

공업지역인 감전동지역의 PAHs의 분석결과는 Table 4에 나타내었듯이 총 PAHs의 경우에는 겨울철인 1월에 67.69 ng/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 외 나머지 시기에서

는 8.94 9.43 ng/Sm³으로 비슷하였다. 또한 발암성 PAHs도 총 PAHs와 마찬가지로 1월에 가장 많이 검출되었다. 물질별로는 1월, 4월, 7월 및 10월에는 indeno (1,2,3-c,d)pyrene, anthracene, indeno (1,2,3-c,d)pyrene 및 anthracene 이 각각 가장 많이 검출되었으며, 전체 평균은 indeno (1,2,3-

Table 6. PAHs concentration according to the sampling times at Jeonpo dong in Busan city (unit : ng/Sm³)

No.	Compounds	Abbre.	Sampling time				Average
			Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
1	Naphthalene	NaP	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
2	Acenaphthylene	AcPy	0.08	0.00	0.08	0.00	0.04
3	Acenaphthene	AcP	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
4	Fluorene	Flu	0.31	0.06	0.04	0.04	0.11
5	Phenanthrene	PhA	2.06	0.79	0.73	0.86	1.11
6	Anthracene	AnT	4.23	1.63	1.49	1.77	2.28
7	Fluoranthene	FluA	2.20	0.54	0.99	0.69	1.10
8	Pyrene	Pyr	1.49	0.27	0.91	0.65	0.83
9	Benzo(a)anthracene	BaA	2.47	0.04	0.24	0.30	0.76
10	Chrysene	Chr	1.74	0.05	0.38	0.32	0.62
11	Benzo(b)fluoranthene	BbF	3.26	0.07	0.44	0.48	1.06
12	Benzo(k)fluoranthene	BkF	3.80	0.06	0.49	0.54	1.22
13	Benzo(a)pyrene	BaP	0.11	0.01	0.50	0.67	0.32
14	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	InP	8.89	0.08	1.85	2.11	3.23
15	Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	0.67	0.02	0.08	0.17	0.23
16	Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	1.61	0.02	1.35	1.50	1.12
Σ carc ¹⁾			19.20	0.28	3.60	4.26	6.83
Σ total			32.91	3.66	9.58	10.08	14.06

1) No 9, 11, 12, 13, 14, 15의 합계

Table 7. PAHs concentration according to the sampling times at Yeonsan dong in Busan city (unit : ng/Sm³)

No.	Compounds	Abbre.	Sampling time				Average
			Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
1	Naphthalene	NaP	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02
2	Acenaphthylene	AcPy	0.15	0.00	0.00	0.00	0.04
3	Acenaphthene	AcP	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
4	Fluorene	Flu	0.28	0.02	0.00	0.00	0.07
5	Phenanthrene	PhA	1.48	0.35	0.15	0.25	0.56
6	Anthracene	AnT	3.04	0.10	0.32	0.51	0.99
7	Fluoranthene	FluA	1.87	0.62	0.91	0.44	0.96
8	Pyrene	Pyr	0.92	0.27	0.75	0.47	0.60
9	Benzo(a)anthracene	BaA	0.89	0.24	0.17	0.26	0.39
10	Chrysene	Chr	1.48	0.45	0.30	0.25	0.62
11	Benzo(b)fluoranthene	BbF	1.79	0.65	0.34	0.38	0.79
12	Benzo(k)fluoranthene	BkF	2.08	0.70	0.37	0.42	0.89
13	Benzo(a)pyrene	BaP	0.11	0.39	0.27	0.58	0.34
14	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	InP	5.56	1.09	1.37	1.30	2.33
15	Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	0.26	0.29	0.08	0.13	0.19
16	Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	1.14	0.03	0.91	1.01	0.77
Σ carc ¹⁾			10.69	3.36	2.59	3.07	4.93
Σ total			21.14	5.22	5.92	6.01	9.57

1) No 9, 11, 12, 13, 14, 15의 합계

c,d)pyrene > anthracene > benzo (g,h,i)perylene 순으로 많이 검출되었다.

공업지역인 장림동 지역의 PAHs의 분석결과는 Table 5에 나타내었다. 감전동 지역과 마찬가지로 겨울철인 1월에 가장 많이 검출되었으며 그 다음으로는 10월 > 7월 > 4월 순으로 많

이 검출되었다. 발암성 PAHs 또한 총 PAHs와 마찬가지로 1월에 26.17 ng/Sm³으로 가장 많이 검출되었다. 물질별로는 1월에는 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene > Benzo (g,h,i)perylene > Benzo (k)fluoranthene 순으로 많이 검출되었으며, 4월에는 anthracene > phenanthrene > fluoranthene 순으로, 7

Table 8. PAHs concentration according to the sampling times at Gijang eup in Busan city (unit : ng/Sm³)

No.	Compounds	Abbre.	Sampling time				Average
			Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
1	Naphthalene	NaP	0.01	0.00	0.08	0.00	0.02
2	Acenaphthylene	AcPy	0.08	0.07	0.08	0.00	0.06
3	Acenaphthene	AcP	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Fluorene	Flu	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02
5	Phenanthrene	PhA	1.04	0.38	0.17	0.17	0.44
6	Anthracene	AnT	2.15	0.13	0.34	0.35	0.74
7	Fluoranthene	FluA	1.89	0.54	0.60	0.33	0.84
8	Pyrene	Pyr	0.93	0.24	0.53	0.26	0.49
9	Benzo(a)anthracene	BaA	0.97	0.20	0.11	0.14	0.35
10	Chrysene	Chr	1.33	0.32	0.22	0.15	0.51
11	Benzo(b)fluoranthene	BbF	1.66	0.32	0.26	0.23	0.62
12	Benzo(k)fluoranthene	BkF	1.92	0.35	0.28	0.24	0.70
13	Benzo(a)pyrene	BaP	0.10	0.25	0.19	0.24	0.19
14	Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	InP	5.25	1.17	0.99	0.69	2.02
15	Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	0.33	0.03	0.05	0.06	0.12
16	Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	0.97	0.03	0.64	0.49	0.53
Σcarc ¹⁾			10.22	2.33	1.88	1.59	4.01
Σtotal			18.68	4.07	4.57	3.35	7.67

1) No 9, 11, 12, 13, 14, 15의 합계

월에는 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene > Benzo (g,h,i)perylene > Fluoranthene 순으로, 그리고 10월에는 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene > Pyrene > Benzo (g,h,i)perylene 순으로 많이 검출되었다. 또한 공업지역의 총 PAHs 농도도 다른 지역에 비해 높게 검출되었으며, 이러한 결과는 옥 등²⁷⁾의 및 백 등²⁸⁾의 공업지역 PAHs의 농도가 다른 지역에 비해 높게 검출되었다는 연구결과와도 같은 경향이였다. 또한 Martina 등²⁹⁾도 금속 제련소나 석유화학관련 공장 등의 영향으로 공업지역의 PAHs의 농도가 교외지역의 PAHs의 농도보다 높게 검출되었다고 보고하였다.

상업지역인 전포동 지역의 PAHs 분석결과는 Table 6에 나타내었다. 공업지역과 마찬가지로 겨울철인 1월에 가장 많이 검출되었으며 그 다음으로는 10월 > 7월 > 4월 순으로 많이 검출되었다. 발암성 PAHs 또한 총 PAHs와 마찬가지로 1월에 19.20 ng/Sm³으로 가장 많이 검출되었다. 물질별로는 1월에는 Benzo(k)fluoranthene이, 4월에는 anthracene이, 7월과 10월에는 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene이 가장 많이 검출되었다. 발암성 PAHs의 경우에는 1월에는 Benzo (k)fluoranthene 이 그리고 나머지 시기에서는 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene이 가장 많이 검출되었다.

주거지역인 연산동 지역의 PAHs의 분석결과는 Table 7과 같다. 공업지역이나 상업지역과 마찬가지로 겨울철인 1월에 21.14 ng/Sm³으로 가장 많이 검출되었으며, 발암성 PAHs 또한 1월에 10.69 ng/Sm³으로 가장 많이 검출되었다. 물질별로는 조사대상 전 시기에서 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene이 가장

많이 검출되었다.

대조지역으로 선정된 녹지지역인 기장읍 지역의 PAHs의 분석결과는 Table 8과 같다. 다른 지역과 마찬가지로 겨울철인 1월에 18.68 ng/Sm³으로 가장 많이 검출되었으나, 농도는 타지역에 비해 높지 않았다. 물질별로는 조사대상 전 시기에서 타지역과 마찬가지로 Indeno (1,2,3-c,d)pyrene이 가장 많이 검출되었으며, Indeno (1,2,3-c,d)pyrene의 연평균 농도는 2.02 ng/Sm³이었다. 조사대상 전 지역에서 겨울철인 1월에 가장 높게 검출되었으며, Mandi 등³⁰⁾, Caricchia 등³¹⁾ 및 Guo 등³²⁾ 및 Papageorgeorgopoulou³³⁾등도 여름철에는 대기 중에 확산이나 분해 등으로 인하여 겨울철 PAHs의 농도가 여름철보다 더 높다고 보고하였다. 또한 이러한 결과는 백 등²⁸⁾과 강 등³⁴⁾ 그리고 표 등³⁵⁾의 연구결과와도 유사한 경향이였다.

PAHs 분포특성

발암성 PAHs/총 PAHs

부산시내 각 지역을 토지이용형태별로 구분하여 공업지역(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 및 녹지지역(기장읍) 등 총 5군데의 시료를 계절별로 2007년 1월, 4월, 7월 및 10월에 각각 채취하여 발암성 PAHs/총 PAHs류의 비를 분석한 결과는 Fig. 4 및 Table 9와 같다.

총 PAHs의 농도가 가장 높았던 1월에는 총 PAHs 중 발암성 PAHs가 50% 이상이였으며, 나머지 시기에서는 27~57%의 범위였다. 전포동 지역의 경우 4월에는 특이하게 발암성 PAHs가 거의 검출되지 않았다. 각 지역별 연평균 발암성

Table 9. The ratio of carcinogen PAHs/total PAHs

Sampling sites		Carcinogen PAHs/total PAHs ratio				Average
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
Industrial sites	Gamjeon dong	0.57	0.27	0.56	0.32	0.43
	Janglim dong	0.63	0.28	0.38	0.41	0.42
Commercial site	Jeonpo dong	0.58	0.08	0.38	0.42	0.36
Resident site	Yeonsan dong	0.51	0.57	0.44	0.51	0.51
control site	Gijang eup	0.55	0.49	0.41	0.47	0.48

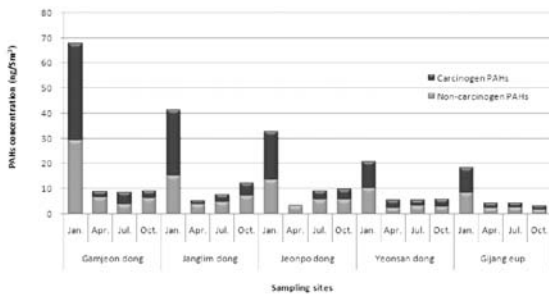


Fig. 4. Distributions of carcinogen PAHs and non-carcinogen PAHs.

PAHs/총 PAHs의 비는 0.36~0.51의 범위였으며, 전포동 지역의 경우 발암성 PAHs가 가장 낮게 검출된 4월의 영향으로 발암성 PAHs/총 PAHs의 비가 0.36으로 가장 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 Manoli E. 등³⁰⁾과 Papageorgiorgopoulou A. 등³³⁾의 연구결과에서 나타난 0.32~0.37 및 0.21~0.38보다는 약간 높은 경향을 나타내었다.

**입자상 PAHs/가스상 PAHs 분포비
총 PAHs의 입자상/가스상 물질 분포비**

총 PAHs 중 입자상/가스상 물질의 분포비는 Fig. 5 및 Table 10과 같다. 감전동, 장림동 및 전포동 지역의 4월을 제외하고는 조사대상 전 지역 및 전 시기에서 입자상 물질이 가스상 물질보다 많이 검출되었으며, 그 비가 가장 높은 1월에는 2.96, 8.32였다. 각 지역별 연평균 입자상물질/가스상 물질의

비는 감전동, 장림동, 전포동, 연산동 및 기장읍 지역에서 각각 약 2.61, 3.21, 1.89, 2.89 및 3.22로 나타났다. 일반적으로 PAHs는 벤젠고리가 적을수록 가스상 물질로, 그리고 벤젠고리가 많을수록 입자상의 상태로 많이 존재하게 되는데^{28,35,37)} 본 연구결과 조사 대부분의 지역 및 시기에서 입자상 물질이 많이 검출되는 것으로 보아 저분자 PAHs 보다는 고분자 PAHs가 많이 검출되었기 때문인 것으로 판단되었다.

발암성 PAHs의 입자상/가스상 물질 분포비

발암성 PAHs 중 입자상/가스상 물질의 분포비는 Fig. 6 및 Table 11과 같다. 발암성 PAHs는 조사대상 전지역 및 전 시기에서 입자상 물질이 가스상 물질에 비해 훨씬 더 많이 검출되었으며, 특히 1월의 경우 그 비가 236.6~814.5로 나타나 대부분 입자상 물질인 것을 알 수 있었다. 조사대상 전 지역 및

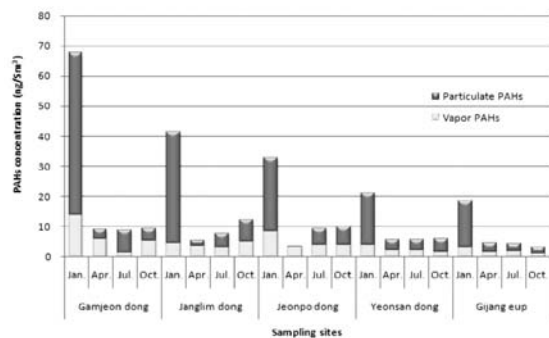


Fig. 5. Distributions of Particulate PAHs and vapor PAHs of total PAHs.

Table 10. The ratios of particulate PAHs/vapor PAHs ratio of total PAHs

Sampling sites		Carcinogen PAHs/total PAHs ratio				Average
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
Industrial sites	Gamjeon dong	3.89	0.55	5.77	0.81	2.61
	Janglim dong	8.32	0.57	1.57	1.53	3.21
Commercial site	Jeonpo dong	2.96	0.13	1.45	1.54	1.89
Resident site	Yeonsan dong	4.38	1.55	1.70	2.79	2.89
Green site	Gijang eup	5.10	1.94	1.63	2.29	3.22

Table 11. The ratios of particulate PAHs/vapor PAHs ratio of carcinogen PAHs

Sampling sites		Carcinogen PAHs/total PAHs ratio				Average
		Jan.	Apr.	Jul.	Oct.	
Industrial sites	Gamjeon dong	361.7	40.1	56.9	33.6	142.7
	Janglim dong	814.5	46.8	37.6	39.5	132.5
Commercial site	Jeonpo dong	354.6	6.7	32.3	23.7	72.6
Resident site	Yeonsan dong	298.3	3.8	16.0	75.4	20.2
Green site	Gijang eup	236.6	54.7	19.0	43.5	73.6

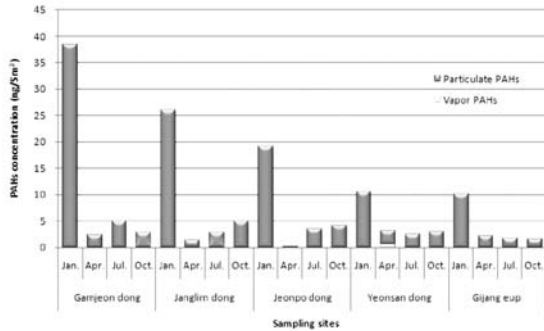


Fig. 6. Distributions of Particulate PAHs and vapor PAHs of carcinogen PAHs.

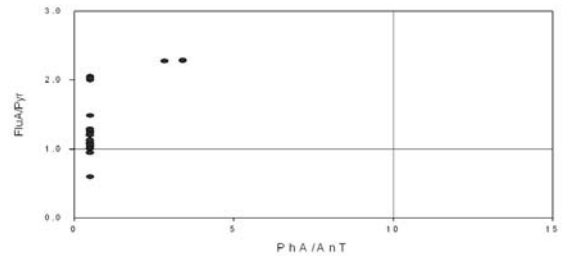


Fig. 7. Relationship between FluA/Pyr and PhA/AnT.

전 시기에서 발암성 PAHs의 입자상물질/가스상 물질의 비가 1 이상이었으며, 각 지역별 평균 입자상/가스상 물질의 비가 20.2~142.7로써 발암성 PAHs는 대부분 입자상 물질로 존재하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Alexander A. 등³⁶의 연구결과에서도 보고되었듯이 16개 PAHs 중에서 발암성 PAHs는 대부분 분자량이 상대적으로 높은 물질들로 이루어져 있기 때문에 대부분 가스상 보다는 입자상 물질로 존재하는 것으로 판단되었다.

Source of PAHs

16종의 PAHs 중 오염원을 추정할 수 있는 parameter가 바로 Phenanthrene/Anthracene의 비와 Fluoranthene/Pyrene의 비율이다. 일반적으로 Phenanthrene/Anthracene의 비가 10보다 작고, Fluoranthene/Pyrene의 비가 1보다 크면 오염원은 열분해이고, 반대로 Phenanthrene/Anthracene의 비가 10보다 크고, Fluoranthene/Pyrene의 비가 1보다 작으면 오염원은 화석 연료로 알려져 있는데^{38,39} Fig. 7 및 Table 12에서 보는바와 같이 조사대상 전 지역 및 조사대상 전 시기에서 Phenanthrene/Anthracene의 비가 10보다 작고, Fluoranthene/Pyrene의 비는 10월의 장림동 및 연산동 지역을 제외하면 전부 1 이상으로 나타나 부산시내에서 오염된 PAHs의 대부분은 연소에서 기인한 것으로 판단되었다.

오염물질 및 기상조건과의 상관관계

Co-planar PCBs

Co-planar PCBs와 PAHs와의 상관관계는 Fig. 8에서 나타내었듯이 co-planar PCBs 실측값과 PAHs와는 유의성이 없었으며, 반면 co-planar PCBs TEQ값과 PAHs와는 r²값이 0.582로 서로 유의한 결과가 나왔다.

Co-planar PCBs와 온도 및 PM-10과의 상관관계는 Fig. 9와 같다. co-planar PCBs의 실측값 및 TEQ값 모두 온도와는 r²값이 각각 0.183 및 0.022로 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 염소수가 적은 것을 제외하고는 대체로 온도가 낮을수록 농도가 증가한다는 Maggie P. K. 등²¹ 및 Kim K. S. 등²³의 결과와는 다른 경향이었으나, Peter J. C. 등²²의 PCDDs/PCDFs의 농도는 연간 변동이 심하지만 co-planar PCBs의 농도는 상대적으로 온도의 영향을 덜 받고 보고한 연구결과와는 비슷한 결과를 나타내었다. 또한 Kazutoshi S. 등²⁰은 여름철 PCBs 농도가 다이옥신과는 달리 오히려 더 높게 검출되었다고 보고하기도 하였다.

Co-planar PCBs와 PM-10과의 r²값도 각각 0.130 및 0.042로 온도와 마찬가지로 유의성이 거의 없는 것으로 나타났다. 허 등¹⁹은 입자상 co-planar PCBs와 PM-10과는 유의한 상관관계가 있다는 연구결과를 보고하였듯이, 본 연구에서도 co-planar PCBs의 상분포별 PM-10과의 상관관계를 추가로 파악할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

PAHs와 온도 및 PM-10과의 상관관계는 Fig. 10과 같다. PAHs와 온도는 r²값이 0.353인 부의 상관이었으며, PM-10

Table 11. The ratios of particulate PAHs/vapor PAHs ratio of carcinogen PAHs

		Phenanthrene/Anthracene	Fluoranthene/Pyrene
Gamjeon dong	Jan.	0.487	1.248
	Apr.	0.486	2.051
	Jul.	0.484	1.082
	Oct.	0.486	1.051
Janglim dong	Jan.	0.486	1.035
	Apr.	0.486	1.270
	Jul.	0.486	1.011
	Oct.	0.486	0.598
Jeonpo dong	Jan.	0.487	1.479
	Apr.	0.486	1.997
	Jul.	0.486	1.088
	Oct.	0.486	1.071
Yeonsan dong	Jan.	0.486	2.032
	Apr.	3.392	2.283
	Jul.	0.484	1.207
	Oct.	0.485	0.949
Gijang eup	Jan.	0.486	2.025
	Apr.	2.824	2.274
	Jul.	0.484	1.130
	Oct.	0.484	1.291

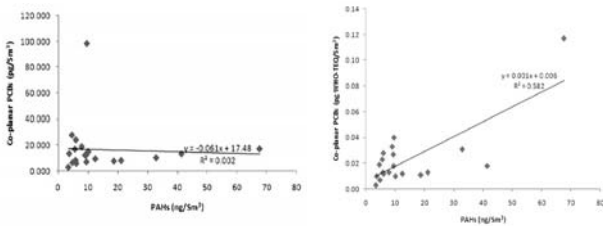


Fig. 8. Relationship between co-planar PCBs and PAHs.

과는 1%값이 0.005로 유의성이 없는 것으로 나타났다. PAHs는 분자량에 따라 상분포가 각각 다르며, 또한 대기 온도에 따라 상분포가 많이 달라진다는 Papageorgeorgopoulou A. 등³³⁾의 결과로 보아 본 연구에서도 PAHs의 상분포별 각 개별 물질들과 온도 및 PM-10과의 상관관계를 추가로 파악할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

결론

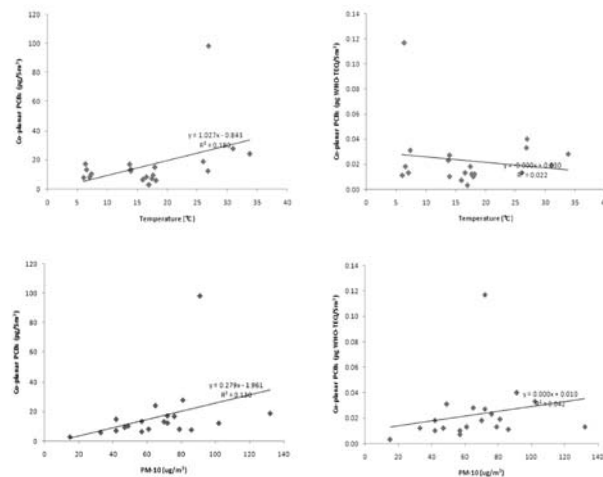


Fig. 9. Relationship between co-planar PCBs and temperature/PM-10

부산시내 각 지역을 토지이용형태별로 구분하여 공업지역(감전동, 장림동), 상업지역(전포동), 주거지역(연산동) 및 녹지지역(기장읍) 등 총 5군데의 시료를 계절별로 2007년 1월, 4월, 7월 및 10월에 각각 채취하여 co-planar PCBs, POPs 중 농약류 및 PAHs류의 분석한 결과는 다음과 같다.

Co-planar PCBs 분석 결과 연평균 실측값의 경우 상업지역인 전포동 지역이 34.054 pg/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 장림동(14.429) > 감전동(12.045) > 연산동(11.414) > 기장읍(11.019) 순으로 나타났다. 계절별 추이를 살펴보면 겨울철인 1월에 가장 많이 검출된 감전동 지역을 제외한 나머지 4개 지역에서는 여름철인 7월에 가장 많이 검출되었다. WHO에서 2005년에 재설정된 독성등가값을 적용시켰을 경우에는 연평균 농도는 감전동 지역이 0.049 pg WHO-TEQ/Sm³으로 가장 높게 검출되었으며, 그 다음으로는 전포동(0.023) > 연산동(0.017) > 장림동(0.016) > 기장읍(0.010) 순으로 나타났다. 계절별 검출특성을 살펴보면 감전동

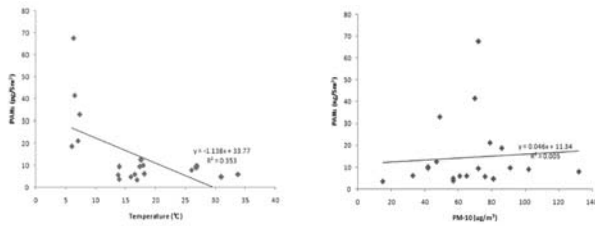


Fig. 10. Relationship between PAHs and temperature/PM-10.

지역의 경우 겨울철인 1월에 0.117 pg WHO-TEQ/Sm³으로 가장 높게 나타나 일반적인 대기 중의 다이옥신 검출특성과 비슷한 경향을 나타내었다. 반면 전포동과 연산동 그리고 기장읍의 경우에는 실측값과 마찬가지로 여름철인 7월에 0.040, 0.028 및 0.019 pg WHO-TEQ/Sm³으로 각각 나타나 다른 시기에 비해 상대적으로 높게 검출되었다. 이러한 결과는 대기 중의 PCBs 농도는 지역별로는 발생원의 영향을 받지만 계절적으로는 온도보다는 풍향이나 대기혼합 등 기상의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다. co-planar PCBs의 상분포를 보면 조사대상 전지역에서 농도가 가장 높게 검출된 겨울철에는 입자상 물질이 많이 검출되었고, 1월을 제외한 나머지 시기에서는 연산동 지역의 10월을 제외하고는 가스상 물질이 오히려 많이 검출되었다.

POPs 중 농약류 분석결과 대사산물을 포함한 총 15종의 농약류 중 Hexachlorobenzen (HCB)만 검출되었다. 공업지역인 감전동과 장림동 지역의 HCB 농도가 상대적으로 약간 높게 검출되었으며, 대조지역으로 조사한 녹지지역인 기장읍 지역에서도 비교적 많이 검출되었다. 또한 조사 전지역 및 전시기에서 검출된 HCB는 모두 가스상물질에서 검출되었으며, 조사대상 지역의 연평균 HCB 농도는 0.06~0.18 ng/Sm³으로 나타났다.

PAHs류의 분석결과 지역적으로는 공업지역이 타 지역에 비해서 높게 검출되었으며, 조사대상 전 지역에서 1월에 가장 높게 검출되었다. 또한 발암성 PAH류로 분류된 benzo(a)anthracene, benzo (b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indono (1,2,3-c,d) pyrene 및 dibenzo (a,h)anthracene 등도 조사대상 전 지역에서 1월에 가장 높게 검출되었다. 조사 전 지역 및 전 시기에서 가스상 보다는 입자상 PAHs가 많이 검출되었으며, 특히 발암성 PAHs류의 대부분은 입자상 PAHs류인 것으로 나타났다. 조사대상 PAHs 16종의 profiling 결과 조사대상 전 지역 및 조사대상 전 시기에서 Phenanthrene/Anthracene의 비가 10보다 작고, Fluoranthene/Pyrene의 비는 10월의 장림동 및 연산동 지역을 제외하면 전부 1 이상으로 나타나 부산시내에서 오염된 PAHs의 대부분은 연소에서 기인한 것으로 판단되었다.

Co-planar PCBs TEQ값과 PAHs와는 r²값이 0.582로 서로 유의한 결과가 나왔으나, 온도와 PM-10과는 유의성이 없

는 것으로 나타났다. 앞으로는 co-planar PCBs의 전체 농도 뿐만아니라 각 congeners들의 상분포별 온도와 PM-10과의 상관관계를 추가로 파악할 필요가 있을 것으로 판단되었다

PAHs와 온도는 r²값이 0.353인 부의 상관이었으며, PM-10과는 r²값이 0.005로 유의성이 없는 것으로 나타났다. PAHs는 분자량에 따라 상분포가 각각 다르며, 또한 대기 온도에 따라 상분포가 많이 다르기 때문에 앞으로는 co-planar PCBs와 마찬가지로 16개 PAHs 물질들 각각의 상분포별 온도와 PM-10과의 상관관계를 추가로 파악할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. 이동수, 신용승, 조규탁, “잔류성유기오염물질의 국제공동규제에 대한 대응방안”, 한국화학공학회지, 18(5), pp543-550(2000)
2. 유엔환경계획(UNEP), “잔류성유기오염물질의 국제적 규제를 위한 스톡홀름 협약”, 유넵프레스, (2003)
3. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants(POPs), <http://www.pops.int>, (2007)
4. 환경부, <http://www.moe.go.kr>, (2007)
5. 서용찬, “슬러지 건조 상 인근 대기 중의 PCBs 분석”, 한국환경분석학회지, 9(4), pp230-234(2006)
6. 김경수, 송병주, 김종국, 김교근, “한국과 일본의 환경대기 중 폴리염화비페닐의 농도수준 및 발생원 해석에 관한 연구”, 대한환경공학회지, 27(2), pp170-176(2005)
7. 김지현, “잔류성유기오염물질의 규제협약 대응방안에 관한 연구”, 환경정책, 10(1), pp33-64(2002)
8. 김태승, 신선경, “환경 중의 다환방향족탄화수소류의 배출 및 분석현황”, 한국분석과학회지, 14(4), pp47A-74A(2001)
9. International Agency for Research on Cancer, <http://www.iarc.fr>, “Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans”, pp43-53(1991)
10. 김상조, 정용현, 옥근, “창원시 토양 중 다환방향족탄화수소화합물의 농도수준 및 분포특성”, 한국환경분석학회지, 3(3), pp171-175(2000)
11. 옥근, 문효방, 지성희, 한영호, “대기 부유분진 중 다환방향족탄화수소의 농도 수준 및 특성”, 한국환경분석학회지, 1(3), pp265-274(1998)
12. JIS method K 0311, Method for determination of tetra-through octachloro dibenzo- p-dioxins, tetra-through octachlorodibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in stationary source emissions, Japanese Industrial Standard, (2005)

13. JIS method K 0312, Method for determination of tetra-through octachloro dibenzo-p-dioxins, tetra-through octachlorodibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls in industrial water and waste water. Japanese Industrial Standard, (2005)
14. US EPA method 1668 revision B, "Chlorinated Biphenyl Congeners in Water, Soil, Sediment, and Tissue by HRGC/HRMS", (1999)
15. US EPA method 3620C, "Florisil Cleanup", (2000)
16. 환경부, 대기오염공정시험방법, (2007)
17. US EPA method 610, "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons".
18. Eduljee G. H. and Dyke D., "An updated inventory of potential PCDD and PCDF emission sources in the UK.", *Sci. Total Environ.*, 177, pp303-321(1996)
19. 허종원, 김구환, 이진경, 김동기, 박익범, 문희천, "경기 도내 대기 중 PCDDs/PCDFs와 co-PCBs의 분포특성", *경기도보건환경연구원보*, 19, pp99-104(2006)
20. Kazutoshi S., Shozo A., Tetsuaki Y., Tsuyoshi O., Mitsuhiro O. and Sumio G., "Survey of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated biphenyls in urban air", *Chemosphere*, 29(9-11), pp2215-2221(1994)
21. Maggie P. K. C., Simon K. M. H., Benny K. L. S., Zongwei C., Alexis K. H. L. and Ming H. W., "PCDD/F and dioxin-like PCB in Hong Kong air in relation to their regional transport in the Pearl River Delta region", *Chemosphere*, 71(2), pp211-218(2008)
22. Peter J. C., Robert G. M. L., Ruth E. A. and Kevin C. J., "Observations on PAH, PCB and PCDD/F trends in U.K. urban air, 1991-1995", *Environ. Sci. Technol.*, 31(7), pp2120-2124(1997)
23. Kim K. S. and Shigeki M., "Behavior and source characteristics of PCBs in urban ambient air of Yokohama, Japan", *Environmental Pollution*, 138(2), pp290-298(2005)
24. Tremblay and Gilman A. P., "Human health, the Great Lakes and environmental pollution", *Environ Health Perspect*, 103, pp1-120(1995)
25. Jonathan L. B., Andrew J. S., Dolf van Wijk and Kevin C. J., "Hexachlorobenzene in the global environment : Emissions, levels, distribution, trends and processes", *Science of the Total Environment*, 349(1-3), pp1-44(2005)
26. 국립환경과학원, "제 8차 내분비계장애물질 조사 · 연구 사업 결과보고", (2007)
27. 옥곤, 문효방, 지성희, 한영호, "대기 부유분진 중 다환방향족탄화수소의 농도 수준 및 특성", *한국환경분석학회지*, 1(3), pp265-274(1998)
28. 백성옥, 최진수, "환경대기 중 다환방향족탄화수소의 출현양상과 거동(1)", *대한환경공학회지*, 18(4), pp465-480(1996)
29. Martina R., Andrea M., Laura M., Olf H. and Alica R., "Polycyclic aromatic hydrocarbons associated with particles in ambient air from urban and industrial areas", *Science of Total Environment*, 348(1-3), pp199-210(2005)
30. Manoli E., Kouras A. and Samara C., "Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece", *Chemosphere*, 56(9), pp867-878(2004)
31. Caricchia A. M., Chiavarini S. and Pezza M., "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmospheric particulate matter in the city of Naples(Italy)", *Atmosphere Environment*, 33(23), pp91-100(1999)
32. Guo H, Lee S. C., Ho K. F., Wang X. M. and Zou S. C., "Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong", *Atmosphere Environment*, 37(38), pp5307-5317(2003)
33. Papageorgopoulou A., Manoli E., Touloumi E. and Samara C., "Polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air of Greek towns in relation to other atmospheric pollutants", *Chemosphere*, 39(3), pp2183-299(1999)
34. 강정원, 김기범, 이창복, "동해 상 대기의 입자상 PAHs 농도수준 : 기단 이동양상과의 관련성", *한국환경분석학회지*, 7(2), pp53-60(2004)
35. 표희수, 홍지은, 이강진, 박송자, 이원, "대기중 다환방향족탄화수소류의 분석에 관한 연구", *한국분석과학회지*, 13(4), pp453-465(2000)
36. Alexander A., Eva L. G., Helene B. and Eric V., "Polycyclic aromatic hydrocarbons, nitrated PAHs and oxygenated PAHs in ambient air of the Marseilles area(South of France) : Concentrations and sources", *Science of Total Environment*, 384(1-3), pp280-292(2007)
37. 백성옥, 최진수, "대기 중 다환방향족탄화수소의 기체-

- 입자상 농도분포에 미치는 주변 온도의 영향”, 한국대기보전학회, 14(2), pp117-132(1998)
38. Hyo-Bang Moon, Sung-Kyung Kang, Hye-Seon Kim, Min-Kyu Choi, Jun Yu, Hee-Gu Choi and Jong-Soo Park, “Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in seawater and marine sediments from Mokpo coast in Korea”, J. of the Korea Society for Environmental Analysis, 10(2), pp83-90(2007)
39. Juan C. C., Emillen P., Charles B., Michel K. and Jose A. C., “Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study : Rio de la plata estuary, Argentina”, Environ. Sci. Technol., 23, pp888-894(1989)