

먼지 입경별 다이옥신의 분포특성 연구

정태욱[†] · 정승열 · 송복주 · 권동민
산업환경과

Particle-Bound Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in the Ambient Air of Busan

Jeong Tae-uk[†], Jeong Seung-ryul, Song Bok-ju and Kwon Dong-min
Industrial Environment Division

Abstracts

The particle-bound polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the ambient air by sampling TSP, PM10 and PM2.5 in aerodiameter were measured at two sampling sites (industrial site and residential site) during April and June 2012, respectively. TSP, PM10 and PM2.5 were simultaneously collected by means of high volumn air sampler, PM10 impactor and PM2.5 impactor. And the concentration of PCDDs/PCDFs in TSP, PM10 and PM2.5 were assessed. The results were as follows.

The TSP concentration in industrial site was 176.0 and 128.3 ug/m³ in April and June, respectively. The contribution rate of PM10 and PM2.5 in TSP was 75.5 and 55.7%, respectively. In the case of residential site, the TSP concentration in April and June was 68.5 and 69.0 ug/m³, respectively. And the contribution rate of PM10 and PM2.5 in TSP was 70.1 and 59.2%, respectively. More than 50% of the PCDDs/PCDFs were associated with particles of <2.5um in both sites. And over 80% of the PCDDs/PCDFs were associated with particles of <10um except for the sample that was sampled at residential site in June. Generally a smaller particle had a higher PCDDs/PCDFs contents, regardless of sampling sites.

Key words : TSP, PM10, PM2.5, PCDDs/PCDFs

서 론

인간의 산업활동에 의해서 의도적 또는 비의도적으로 생성되는 많은 화학물들은 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(POPs ; Persistent Organic Pollutants)이라고 하며, 이러한 잔류성유기오염물질들은 환경 내에 반감기가 길어 잘 분해가 되지 않고 먹이사슬을 통해 축적되며 장거리 이동특성을 갖고 있

는 유기화합물들이다^{1,2)}. 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 농축된다. 또한 이들 물질들은 환경 내에서 다양한 형태로 배출되어서 생물의 몸에 축적되어 먹이사슬을 통해 인간에 노출된다. 전세계적으로 다이옥신류와 같은 미량의 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants ; POPs)들은 사회적·환경적으로 큰 문제가 되고 있으며, 이러한 물질들은 환경 내 잔류성이 커서 오

[†] Corresponding author, E-mail : masango48@korea.kr
Tel : +82-51-309-2958, Fax : +82-51-309-2739

염원으로부터 장거리 이동이 가능하고, 생물 내 축적·농축성이 있어 생태계를 교란시키고 있다.

특히 다이옥신은 물리화학적으로 매우 안정하고 옥탄올-물 분배계수(Kow)가 높아 지용성이 높고 수용성이 낮아 생물체 내에 축적되기 쉬우며, 급만성 독성 및 발암성 등 다양한 독성을 나타내는 내분비계 장애물질로써, 국제암연구센터(International Agency for research on Cancer ; IARC)에서도 2,3,7,8-TCDD를 발암물질로 규정하고 있으며, 기타 독성으로는 간질환, 만성신장염, 면역성 저하, 염소좌창 같은 피부질환, 자궁내막증식증, 선형성 기형독성, 유전자 이상 등 돌연변이원성 등을 유발하는 물질로 보고하고 있다³⁾.

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) 주도하에 1997년부터 정부간 협상회의를 거쳐 2001년 5월에 스톡홀름 협약(Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants)이 체결되었으며, 2004년 5월 17일 발효되었다⁴⁾. 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 하고 있다.

이러한 오염물질들은 대부분 먼지입자에 흡착되어 대기 중에 존재하는 것으로 알려져 있는데⁵⁾, 먼지입자의 경우

입경이 큰 조대입자들은 대부분 파쇄, 연마, 바람에 의한 비산먼지 등과 같이 물리적 과정을 통해 발생하는 입자들이며, 연소와 같은 화학적 과정을 통해 발생하거나 대기 중에서 응축 등과 같은 과정을 통해 생성되는 입자는 대부분 미세입자들이다. 또한 미세입자의 경우 쉽게 침착되지 않고 장거리 이동이 가능하기 때문에 환경에 미치는 영향이 매우 크며, 또한 폐까지 침투할 수 있어 인체에 미치는 영향이 훨씬 크다고 알려져 있다⁶⁾.

따라서 최근에는 대기 중에 부유하고 있는 미세입자에 관한 연구가 다양하게 이루어지고 있으며^{7,8)}, 우리나라에서도 2015년부터 대기환경기준에 초미세먼지(PM2.5)가 추가가 될 예정이다. 또한 2013년부터는 대기 중금속 조사도 총부유분진(TSP)에서 미세먼지(PM10)으로 변경될 예정이다. 이처럼 미세먼지에 대한 인체 및 환경적 영향이 점차 커지고 있는 추세이지만 미세먼지에 흡착되는 다이옥신의 특징에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 미세입자에 흡착되는 다이옥신의 농도를 파악하기 위하여 TSP, PM10 및 PM2.5에 흡착되어 있는 다이옥신의 분포특성을 조사하여 부산시 대기질 관리에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

시료채취

시료 채취는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 공업지역(학장동) 및 주거지역(연산동) 각 1개지점 등 총 2개 지점에 대하여 4월과 6월에 각각 1회씩 총 2회 시료를 채취하였으

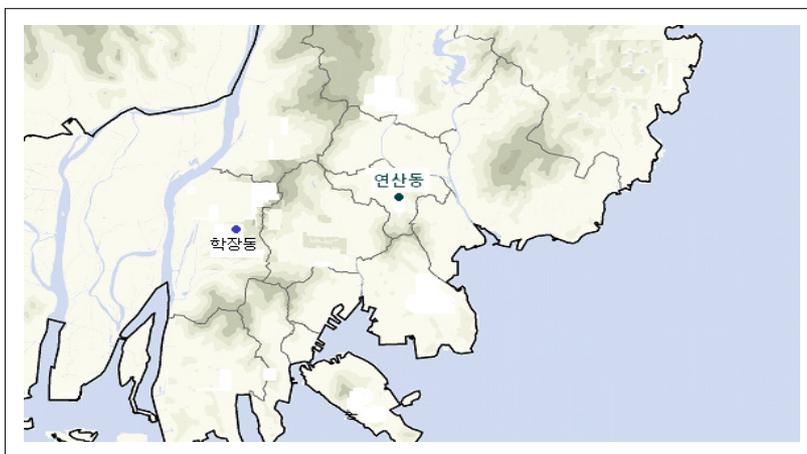


Fig. 1. Sampling sites.

며, 시료채취당일 기상조건은 Table 1과 같다. 시료채취는 High volumn air sampler (Sibata, Japan)를 이용하여 분당 1.0 Sm³의 유속으로 48시간 동안 약 2,880 Sm³의 공기를 포집하였다. 먼지 입경별 다이옥신의 분포 특성을 알아보기 위하여 먼지만 포집하였으며, 먼지는 TSP, PM10 및 PM2.5로 각각 구분하여 같은날 동시에 시료를 채취하였다. 본 실험에서 사용된 여지는 사용하기 전에 전기 회화로(Thermolyene, USA)를 이용하여 600℃에서 약 5시간 이상 태워서 불순물을 모두 없앤 다음 사용하였다.

실험방법

본 연구에서 조사한 물질은 Table 2에 나타낸 것과 같이 2,3,7,8-TCDD 등 다이옥신류 17종이며, 실험방법은 잔류성유기오염물질 공정시험기준 및 EPA method

1613B에 따라 수행하였다. 시료채취한 여지는 가로, 세로 0.5 cm 이하로 잘게 자른 다음 톨루엔 300 mL로 16시간 이상 속실텐 추출을 하였으며, 추출용매는 n-Hexane으로 용매전환한 다음 정제하였다. 추출시료의 정제는 다층 실리카겔 칼럼(Multi layer silica gel column: 70-230 mesh, 중성, Merck) 및 활성알루미나 칼럼(Activated alumina column: 70-230 mesh, 활성도, Merck)을 사용하여 정제하였다. 검량선 작성용 표준물질(Calibration standard solution, CS1, CS2, CS3, CS4 및 CS5), 정제용 내부표준물질(Labelled compound solution ; 13C-2,3,7,8-TCDF 등 동위원소 15종) 및 시린지 첨가용 내부표준물질(Internal standard solution ; 13C-1,2,3,4-TCDD 등 2종) 등은 Wellington Laboratories Co.(Canada) 제품을 사용하였으며, 정제용 내부표준물질(EPA-1613 LCS,

Table 1. Sampling information and meteorological conditions for the collected aerosol samples

Sampling site	Type of aerosols	Sampling period	Temperature (°C)	Wind speed (m/s)	Wind direction	RH(%)
Hakjang-dong	Industrial area	2012.4.23-4.25	18.6	3.1	WNW	58.2
Yeonsan-dong	Residential area	2012.4.18-4.20	14.8	1.4	NW	63.8
Hakjang-dong	Industrial area	2012.6.4-6.6	23.5	2.3	WNW	57.9
Yeonsan-dong	Residential area	2012.6.5-6.7	24.0	1.8	S	69.3

Table 2. Target compounds and Toxic Equivalent Factor in this study

PCDFs		PCDDs	
Compounds	I-TEF ¹⁾	Compounds	I-TEF ¹⁾
2,3,7,8-TCDF	0.100	2,3,7,8-TCDD	1.000
1,2,3,7,8-PeCDF	0.050	1,2,3,7,8-PeCDD	0.500
2,3,4,7,8-PeCDF	0.500	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.100
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.100	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.100
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.100	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.100
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.100	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.010
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.100	OCDD	0.001
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.010		
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.010		
OCDF	0.001		

¹⁾ I-TEF : International Toxic Equivalent Factor(1997)

100~200 ng/mL)은 Acetone으로 그리고 시린지 첨가용 내부표준물질(EPA-1613ISS, 200 ng/mL)은 nonane으로 각각 10배 희석하여 사용하였다. 그리고 시료 중의 수분제거를 위해 사용한 Na₂SO₄ anhydrous는 methylene chloride로 행군 다음 전기회화로(Thermolyne, USA)를 이용하여 400℃에서 4시간 이상 활성화 시킨 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 전기회화로를 이용하여 600℃에서 24시간 이상 활성화 시킨 다음 130℃에서 보관하여 사용하였으며, 정제된 시료의 다이옥신 분석을 위하여 HRGC/HRMS(HP 6890/Autospec Ultima)를 사용하여 분해능 10,000 이상의 조건으로 조절한 다음 분석하였으며, 기기분석 조건은 Table 3에 나타내었다.

결과 및 고찰

지점별 먼지 입경분포

부산지역 2개 지점에 대한 먼지의 입경분포는 Fig. 2

및 3에 나타내었다. 공업지역인 확장동 지역의 TSP 농도의 경우 4월과 6월에 각각 약 176.0 및 128.3 ug/Sm³이었으며, PM10의 경우 각각 약 111.9, 112.1 ug/Sm³, PM2.5의 경우 각각 약 86.0 및 80.1 ug/m³으로 나타났다. PM10 농도는 평균 TSP 농도의 약 75.5%, PM2.5 농도는 평균 TSP 농도의 약 55.7%를 차지하였다. 주거지역인 연산동 지역의 TSP 농도는 4월과 6월에 각각 약 68.5 및 69.0 ug/m³이었으며, PM10 농도는 각각 약 45.9 및 50.6 ug/m³, PM2.5 농도는 각각 약 35.7 및 45.8 ug/m³으로 나타났다. PM10 농도의 경우 평균 TSP 농도의 약 70.1 %, PM2.5 농도의 경우 평균 TSP 농도의 약 59.2%의 기여율을 나타내었다.

공업지역인 확장동 지점의 경우 PM10의 연평균 및 24시간 평균 기준치인 50 및 100 ug/m³을 모두 초과하였고, 2015년부터 시행예정인 PM2.5의 연평균 및 24시간 평균 기준치인 25 및 50 ug/m³도 모두 초과하였으나, 전⁹⁾의 보고에 따르면 최근 부산시의 미세먼지 농도는 점차 감소추세에 있으며, 이는 부산시의 미세먼지 관리대책이 어느 정도 실효성을 거두고 있는 것으로 판단된다고 보고하였다. 그러나 초미세먼지인 PM2.5의 경우 미국 EPA의 기준치인 15 ug/m³과 WHO 기준치인 10 ug/m³를 많이 초과하고 있는 것으로 나타나 배출원에서 배출되는

Table 3. Condition of gas chromatography and mass spectrometry

Descriptor	Condition	Descriptor	Condition
Instrument	HP 6890	Instrument	Autospec Ultima
Column	SP-2331 (60m × 0.25mm ID × 0.2um film thickness)	Source temp.	260 °C
Carrier gas	Helium 1.0 ml/min	Electron energy	35.0 eV
Injection mode	Splitless mode	Resolution	over 10,000
Inlet temp.	260°C	Ionization mode	Electron Ionization Positive Mode (EI ⁺)
Oven ramping	Initial temp. 100°C(5min.) 20°C/min. → 200°C(7min.) 5 °C/min. → 260°C(36min.) 10°C/min. → 270°C(2min.)	Selected Ion Mode (SIM)	M+ and M+2 or M+2 and M+4
Injection volumn	2 uL	Interface temp.	
		- Capillary line 1	260°C
		- Capillary line 2	260°C
		- Re-entrant	260°C
		- PFK septum	160°C

질소산화물, 황산화물, 암모니아, 휘발성 유기화합물 등의 관리가 필요할 것으로 판단되며 또한 자동차 배출가스 규제 등 향후 PM2.5 저감에 대한 대책이 있어야 할 것으로 판단된다.

먼지 입경별 다이옥신 농도

부산지역 2개 지점에 대해서 2012년 4월과 6월에

TSP, PM10 및 PM2.5에 대한 다이옥신 농도 및 먼지의 입경 기여율을 조사한 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 공업 지역인 학장동 지점의 총 다이옥신 농도는 4월과 6월에 각각 약 0.155 및 0.028 pg-TEQ/Sm³이었으며, 주거지역인 연산동 지점의 다이옥신 농도인 0.019 및 0.004 pg-TEQ/Sm³에 비하여 훨씬 높게 나타났다. 이는 공업 지역의 경우 주거지역에 비하여 다이옥신 배출원의 영향

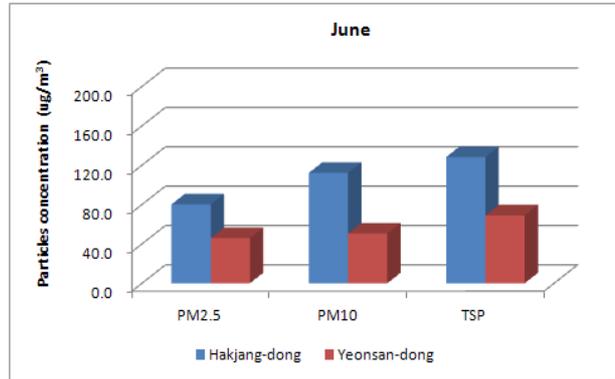
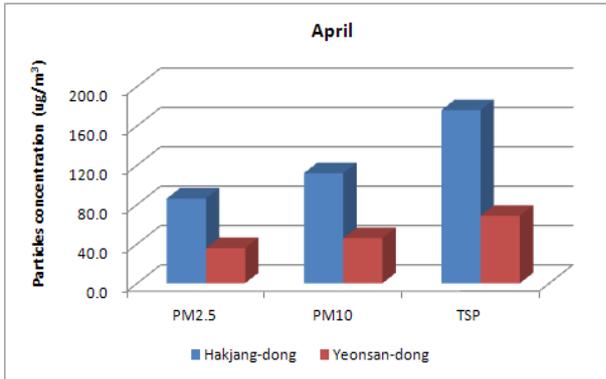


Fig. 2. Size distribution of total suspended solid according to the sampling sites.

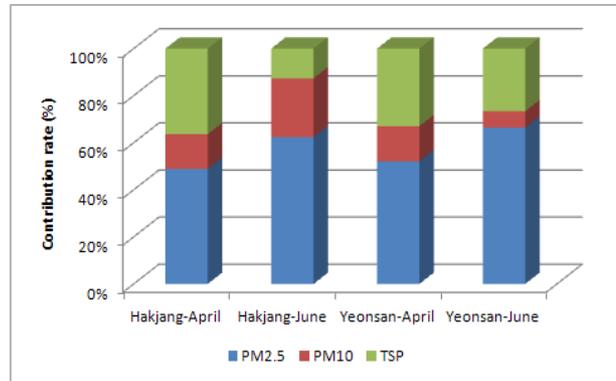
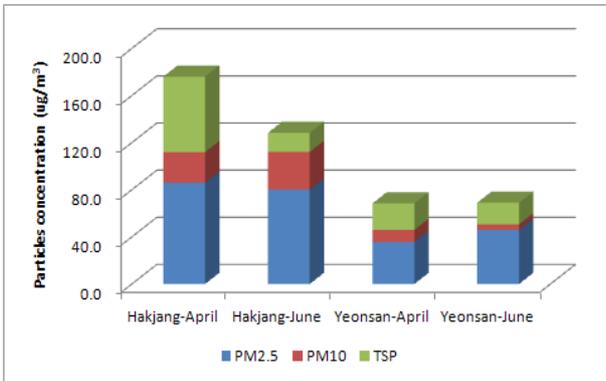


Fig. 3. Distribution of particle matter with respect to particle size.

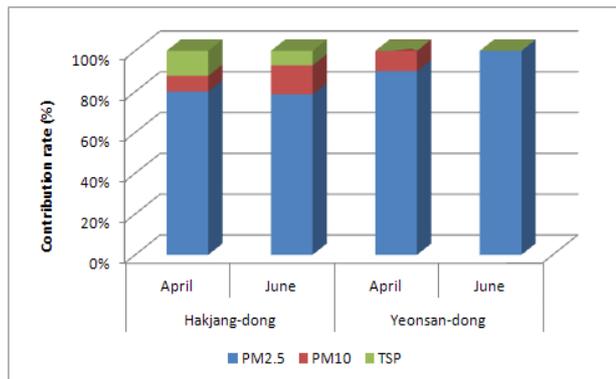
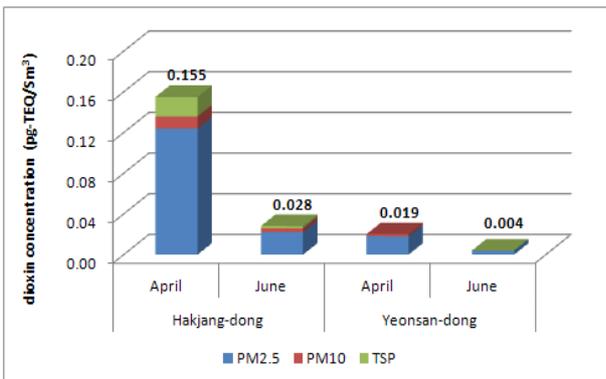


Fig. 4. Distribution of dioxin concentration with respect to particle size.

을 직접 받기 때문인 것으로 판단되었다.

먼지입경별 다이옥신 농도의 경우 학장동 지점에서는 TSP 대비 PM10의 기여율이 4월과 6월에 각각 약 87.7 및 92.9%였으며, PM2.5의 기여율은 각각 약 80 및 78.6%이었다. 또한 상대적으로 다이옥신 농도가 낮은 연산동 지점의 경우에는 TSP 대비 PM10 및 PM2.5의 기여율이 더 높은 것으로 조사되었다. Kaupp 등¹⁰⁾과 Chao 등¹¹⁾도 입경별 다이옥신 농도분포의 경우 큰 입자보다는 미세입자의 기여율이 더 크다고 보고하였으며, 이는 큰 입자의 경우 토양과 같은 자연에서 유래한 것이고, 미세입자의 경우 소각장과 같은 연소시설 등 인위적인 오염원에 의한 것이기 때문인 것으로 보고하였다. 또한 Poster 등¹²⁾ 및 Manolis 등¹³⁾은 PAHs 및 PBDEs 등도 다이옥신과 마찬가지로 큰 입자보다는 미세입자에서의 기여율이 더 크다고 보고하였으며, 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.

먼지 입경별 다이옥신 이성체 분포

각 지점별 TSP 대비 PM2.5 및 PM10에 포함되어 있는 다이옥신 농도의 상대 기여율을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 학장동 지점의 경우 TCDF, HpCDF, HxCDD 및 HpCDD는 모두 PM2.5에 존재하는 것으로 나타났으며, 연산동 지점의 경우 HxCDF 및 HpCDF가 PM2.5에 모두 존재하는 것으로 나타났다. TSP, PM10 및 PM2.5를 각각 별도로 시료채취를 하였기 때문에 다이

옥신 congener들의 개별농도의 경우 TSP에서보다 PM10 및 PM2.5에서 더 많이 검출되는 경우도 있었지만 대체적으로 다이옥신의 경우 큰 입자보다는 미세입자에 더 많이 흡착되어 있는 것으로 나타났으며, 분자량이 작은 저염화 다이옥신의 경우 고염화 다이옥신에 비하여 상대적으로 큰 입경에 더 많이 흡착되어 있는 것으로 나타났다.

오 등¹⁴⁾은 먼지 입경별 다이옥신 이성체들의 분포는 이들 물질들의 환경 중 거동 및 인체노출을 이해하는데 반드시 필요한 연구라고 하였으며, 일반적으로 다이옥신이 소각장 등 배출원으로부터 배출되면 응집 또는 휘발 및 흡착반응에 의하여 $D_p > 2.0\mu m$ 의 큰 입자에 흡착되며, 저염화 다이옥신의 경우 고염화 다이옥신에 비하여 미세입자로부터 더 빨리 휘발되어 큰 입자에 흡착되는 것으로 알려져 있다¹¹⁾. Kaupp 등¹⁰⁾은 본 연구결과와는 달리 다이옥신 이성체 패턴은 모든 먼지입경에서 비슷한 분포패턴을 보였다고 보고하였으나, Kurogawa 등¹⁵⁾은 염소수가 적은 다이옥신의 농도는 먼지입자의 크기가 커질수록 증가한다고 하였으며, 이는 PAHs와 마찬가지로 입자에 흡착되어 있는 다이옥신의 가스화의 영향 때문인 것으로 보고하였다. 또한 Venkataraman 등¹⁶⁾ 및 Allen 등¹⁷⁾도 PAHs와 다이옥신과 같은 오염물질들이 연소와 관계되는 처리공정으로부터 발생하는 미세입자에 흡착되어 배출되면 좀 더 휘발성이 강한 물질들은 미세입자에서 휘발되고 동시에 큰 입자에 재농축된다고 보고하였으며, 다이옥신과 특징이 비슷한 PBDE의 경우에도 시료채취지역에 관

Table 4. Contribution rate of PCDDs/PCDFs in the different particle size fraction

(unit : %)

	Hakjang-dong			Yeonsan-dong			
	PM2.5	PM10	TSP	PM2.5	PM10	TSP	
PCDFs	TCDF	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	100.0
	PeCDF	59.8	77.7	100.0	100.0	98.2	100.0
	HxCDF	89.0	97.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	HpCDF	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	OCDF	93.1	63.1	100.0	70.4	100.0	100.0
PCDDs	TCDD	-	-	-	-	-	-
	PeCDD	51.3	81.5	100.0	-	-	-
	HxCDD	100.0	98.4	100.0	30.9	0.0	100.0
	HpCDD	100.0	82.1	100.0	78.6	85.7	100.0
	OCDD	88.8	82.1	100.0	100.0	81.7	100.0

계없이 미세입자에 더 많이 분포한다는 보고도 있었다¹³⁾.

결론

부산시내 각 지역을 용도지역별로 구분하여 공업지역 및 주거지역 각 1개 지점을 선정하여 4월과 6월에 각각 1회씩 총 2회 먼지 시료를 채취하였으며, TSP, PM10 및 PM2.5로 각각 구분하여 시료채취하여 먼지 입경별 다이옥신의 분포특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 각 지점별 먼지의 입경분포를 조사한 결과 공업지역인 학장동 지점의 4월 및 6월의 TSP 농도는 각각 약 176.0 및 128.3 ug/m³이었으며, PM10 농도의 경우 평균 TSP의 약 75.5%, PM2.5 농도는 평균 TSP의 약 55.7%를 차지하였다. 연산동 지점의 4월 및 6월의 TSP 농도는 68.5 및 69.0 ug/m³이었으며, PM10 농도의 경우 평균 TSP의 약 70.1%, PM2.5 농도의 경우 평균 TSP의 약 59.2%의 기여율을 나타내었다.
 2. 각 지점별 TSP, PM10 및 PM2.5에 대한 다이옥신 농도 및 기여율을 조사한 결과 2개 지점 모두 TSP 대비 PM10의 기여율은 87% 이상이었으며, PM2.5의 기여율은 78% 이상이었다.
 3. 다이옥신 congener들의 개별농도의 경우 TSP에서보다 PM10 및 PM2.5에서 더 많이 검출되는 경우도 있었지만 대체적으로 다이옥신의 경우 큰 입자보다는 미세입자에 더 많이 흡착되어 있는 것으로 나타났다.
 4. 따라서 향후 부산지역 대기 중의 다이옥신 제어를 위해서는 자동차 배출가스와 질소산화물, 황산화물, 암모니아 등과 같은 가스상 오염물질의 변환 등에 의해 영향을 받는 미세입자를 동시에 제어해야 효과적인 것으로 판단된다.
4. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants(POPs), <http://www.pops.int>(2008).
 5. Jeong T. U., Jeong S. R., Jo J. G., Yoo P. J. and Ryu B. S., Distribution Characteristics of Dioxin and co-Planar PCBs in Ambient Air of Busan, South Korea, Organohalogen Compounds, 73(2011).
 6. Kang C. H. and Hu C. G., Continuous measurements of size separated atmospheric aerosol number concentration in background area, J. of the Environmental Sciences, 21(4) : pp.535~543(2012).
 7. Bigi A. B. and Gherman G., Particle number size distribution and weight concentration of background urban aerosol in a Po valley site. Water Air Soil Pollution, 220 : pp.265~278 (2011).
 8. Sharma D. K., Rai J., Israil M. and Sin P., Summer variations of atmospheric aerosol number concentration over roorkee, india, J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 65 : pp.1007~1019(2003).
 9. 전병일. 부산지역 PM10과 PM2.5 농도의 시간 및 공간적 변화 특성. 한국환경과학회지. 19(8) : pp.1013~1023(2010).
 10. Kaupp H., Towara J. and McLachlan M. S., Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in atmospheric particulate matter with respect to particle size. Atmospheric Environment, 28(4) : pp.585~593 (1994).
 11. Chao M. R., Hu C. W., Ma H. W., Chang-Chien G. P., Lee W. J., Chang L. W. and 썸 K. Y., Size distribution of particle-bound polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of a municipal incinerator. Atmospheric Environment, 37 : pp.4945~4954 (2003).
 12. Poster D. L., Hoff R. M. and Baker J. E., Measurement of the particle-size distributions of semivolatile organic contaminants in the atmosphere. Environmental Science and Technology. 29 : pp.1990~1997(1995).
 13. Manolis M., Athanasios B. and Euripides G. S.,

참고문헌

1. 이동수, 신용승, 조규탁, "잔류성유기오염물질의 국제 공동규제에 대한 대응방안", 한국화학공학회지, 18(5), pp.543~550(2000).
2. 유엔환경계획(UNEP), "잔류성유기오염물질의 국제적 규제를 위한 스톡홀름 협약", 유넵프레스(2003).
3. International Agency for Research on Cancer (IARC), <http://www.iarc.fr>.

- Particle-size distribution and gas/particle partitioning of atmospheric polybrominated diphenyl ethers in urban areas of Greece. *Environmental Pollution*, 157 : pp.1227~1233(2009)
14. Oh J. E., Chang Y. S., Kim E. J. and Lee D. W., Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans(PCD/Fs) in different sizes of airborne particles. *Atmospheric Environment*, 36 : pp.5109~5117 (2002).
 15. Kurogawa Y., Takahiko M., Matayoshi N., Satoshi T. and Kazumi F., Distribution of PCDD/Fs in various sizes of airborne particles. *Chemosphere*, 37 : pp.2161~2171 (1998).
 16. Venkataraman C. and Friedlander S. K., Size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons and elemental carbon. 2. Ambient measurements and effects of atmospheric process. *Environmental Science and Technology*, 28 : pp.563~572(1994).
 17. Allen J., Dookeran N., Smith K., Sarofim A., Taghizaden K. and Lafleur A., Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons associated with size-segregated atmospheric aerosols in Massachusetts. *Environmental Science and Technology*, 30 : pp.1023~1031(1996).