

국내 부산물 다염화비페닐 (PCBs) 배출량 예비 평가

김경미, 조규탁¹, 이지윤, 이지은, 이동수*

서울대학교 환경대학원 환경계획연구소, ¹이엔위즈(주) 부설연구소

Preliminary Estimation of National Emission Inventory for the Unintentionally Produced Polychlorinated Biphenyls

Kyoung-Mi Kim, Kyu-Tak Cho¹, Jee-Yoon Lee, Jee-Eun Lee and Dong-Soo Lee*

Department of Environmental Planning, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

¹E & WIS institute, Seoul 151-818, Korea

ABSTRACT

The main objectives of this study were to identify from literature review the potential sources and to provide a preliminary national emission inventory for the unintentionally produced polychlorinated biphenyls (PCBs) (i.e., by-product PCBs).

In Korea, fuel combustion, waste combustion, thermal industrial processes, and transportation were identified as potential sources of by-product PCBs. According to the availability of the emission factors and/or activity data, emission inventory could be assessed only for fuel combustion, waste combustion, steel industry, non-ferrous industry, and non-metallurgical industry. The total national emission of by-product PCBs was estimated to be 1087 kg for the year 2000. The preliminary estimation further indicated that the steel manufacturing was the single dominant emission category, contributing 93% to the total emission. Of the steel manufacturing processes, the contribution of the electric arc furnace was about 80% of the total emission.

Due to high uncertainty associated with both the emission factors and activity statistics, the emission estimates in this study are likely to contain significant errors. However, the results of the present work could serve the first step toward future efforts to establish national source and emission inventories of by-product PCBs.

Key words : unintentionally produced PCBs (by-product PCBs), potential source, emission inventory

서 론

다염화비페닐 (Poly Chlorinated Biphenyls, 이하 'PCBs'라 함)은 열에 안정하고 절연성이 우수하여 전세계적으로 광범위하게 사용되었으며 우리나라도 예외는 아니다. 1930년 이후 꾸준히 사용량이

증가하여 1960년대 가장 많이 사용되었던 PCBs는 잔류성과 독성이 알려지게 됨에 따라 세계적으로 1970년대부터 생산이 중단되기 시작하였으며 우리나라를 포함한 많은 국가에서 현재는 생산 및 사용이 법적으로 금지되어 있다. 그러나 실제로 제품의 형태로 일부 사용되고 있거나 재고나 폐기물의 형태로 존재할 가능성이 매우 높으며 산업생산공정의 열공정이나 연소과정(연료연소, 쓰레기소각, 철 산화 공정)에서 부산물로 발생, 지속적으로 환

* To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-2-880-852; E-mail: leeds@snu.ac.kr

경 중으로 배출되고 있다. 따라서 2004년 5월에 발표된 예정인 스톡홀름 협약에서 PCBs를 대표적인 잔류성 유기오염물질 (Persistent Organic Pollutants, 이하 POPs라 함)로 지정하고 지구적인 차원에서 사용 및 배출에 대한 규제가 요구되고 있다. 이 협약에 의하면 각국에서는 PCBs의 배출 목록을 작성하여 배출원별 배출량을 평가 보고하고 배출량을 줄이기 위한 계획과 성과도 주기적으로 평가하여 UNEP에 보고하는 것을 의무화하고 있다.

부산물 PCBs의 경우 지금은 생산물 PCBs에 비해 상대적으로 관리 우선순위가 낮을 수도 있지만 지속적인 배출원기 때문에 향후 생산물 PCBs의 감축이 어느 정도 진행된 이후에는 주된 PCBs 배출원이 되므로 이에 대한 관리가 매우 중요하다. 또한 스톡홀름 협약은 부속서 A와 부속서 B에서 생산물 PCBs를 규정함과 동시에 부속서 C에서 산업 생산공정, 폐품의 이용, 쓰레기 폐기·연소 등에 의해 비의도적으로 발생하는 부산물 PCBs를 명시하고 있어 부산물 PCBs의 배출원을 파악하고 배출량평가를 요구하고 있지만 우리나라는 이에 대한 기초자료도 작성하고 있지 못하다. 따라서 신뢰성있는 배출자료의 구축은 매우 시급하게 진행되어야 할 형편이다.

외국의 경우를 살펴 보면, 유럽을 포함한 일부 국가에서는 현재 국가별 연간 배출량을 제시하고는 있지만 배출량 평가를 위한 구체적인 배출원 분류체계, 배출계수, 활동도 및 기타 관련 사항 등에 대해서는 충분한 자료를 확보하고 있지 못하다. 영국은 (NAEI, 2002) 국가 배출목록 작성기관인

National Atmospheric Emission Inventory (이하 NAEI라 함)를 두고 국가 배출량을 작성하고 있으며 배출원 분류체계, 배출계수, 활동도 등에 대한 자료를 제공하고 있다. 미국의 경우에는 (USEPA, 1987) 주로 폐기물 소각부분의 PCBs의 배출량을 평가하고 있으며, 다른 배출원에 대해서는 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

현재 전 세계적인 PCBs 연구 추세를 살펴보면 주로 생산물 PCBs의 현황 파악에 중점을 두고 우선적으로 PCBs 현사용량, 재고량, 폐기량 등을 파악하고자 노력하고 있으며 부산물 PCBs에 대한 연구는 상대적으로 더 기초적인 수준에 머무르고 있다. 따라서 특히 부산물 PCBs 배출량평가 관련 자료는 매우 제한적인 정보를 담고 있으며 획득한 자료의 불확실성 또한 매우 높은 실정이다 (UNEP Chemical, 2002; Breivik *et al.*, 2002). 현재까지 알려진 부산물 PCBs의 주요 배출원은 주로 연료연소, 폐기물소각, 열공정 수반 생산공정, 이동배출원 등으로 주로 고온 조건에 염소가 포함된 유기화합물을 제공하는 환경이다 (USEPA, 1998; NAEI, 2001; MSC-E, 2002; UNECE/EMEP, 2002).

Table 1은 2000년도 유럽의 일부 국가에서 평가한 PCBs 배출량을 나타내고 있다 (UNECE/EMEP, 2002). 주로 연료연소부분, 소각부분, 생산공정, 유기용제 등에서 많은 배출량을 보여주고 있다. 국가별로 배출량의 차이가 상당히 크게 나타나는 것은 각 국가의 배출 목록 작성수준 및 범위의 차이에 기인한다. 일부 국가는 변압기, 축전기와 같은 생산물 PCBs가 포함된 PCBs 배출 목록을 작성하여 보

Table 1. National PCBs emission estimates in 2000

(Unit: kg/year)

	Fuel combustion			Production	Solvent	Road	Other mobiles	Waste Incineration	Total
	Energy	Comm/Inst/Res	Industrial						
Bulgaria	40.64	141.37	5.15			41.24	0.08		228.48
Czech Republic	3.59	372.08	14.13			13.35	10.59	60.34	474.08
France	3.30	15.70	2.30					20.90	42.20
Lithuania	1.45	9.31	0.00						10.75
Monaco	0.43								0.43
Poland	377.00	97.90	78.00	80.00	1632.00				2264.90
Slovakia	16.74	11.27	35.99			66.27	0.85	1.74	132.86
Slovenia	20.00				123.00				143
United Kingdom	52.90	11.52	1222.35	249.63				169.90	1706.30

고하고 있으며 일부 국가는 부산물의 형태로 발생되는 PCBs만을 국가 배출목록으로 작성하고 있다 (USEPA, 1998; UNECE/EMEP, 2002)

PCBs에 대한 국내의 배출원이나 배출량 평가는 아직 이루어진 적이 없다. 그러나 국내에도 연료연소, 발전, 산업공정, 폐기물 소각 등의 부산물 PCBs 배출원이 다수 존재하며 이들 배출원의 활동 규모를 고려하면 상당량의 PCBs가 배출될 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 우리나라의 부산물 PCBs의 잠재 배출원을 살펴보고 각 배출원별로 배출량 평가에 필요한 배출계수, 활동도 등을 문헌 연구를 바탕으로 정리하여 국내 예비 배출 목록을 작성하였으며 이를 스톡홀름 협약의 국가 이행계획 수립의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

방법 및 내용

1. 연구방법

1) 배출량 평가방법

배출량 평가방법은 크게 배출원 중심의 평가방법 (Source oriented method)과 수용체 중심의 평가방법 (Receptor oriented method)으로 나눌 수 있으며 대부분의 배출량 평가는 배출원 중심 평가방법을 이용하고 있다. 배출원을 중심으로 하여 배출량의 평가를 하는 경우 특히 물질수지법 (Mass balance method) (Breivik *et al.*, 2002)과 배출계수법 (Emission factor method) (USEPA, 1998; DEFRA, 2001; NAEI, 2001; MSC-E, 2002; UNECE/EMEP, 2002)이 가장 일반적으로 이용되고 있는데 본 연구에서는 배출 계수법을 이용하여 연간배출량을 평가하였다. 이 방법에 의한 배출량 산정은 일반적으로 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E = EF \times A$$

E : 배출량 (kg/yr)

EF : 배출계수 (kg/ton, kg/kl 또는 kg/m^3)

A : 활동도 (ton/yr, kl/yr 또는 m^3/yr)

2) 배출계수, 활동도

국내외 각종 문헌과 관련자료를 바탕으로 부산물 PCBs의 주요 배출원을 검토하여 국내 잠재배출원을 선정하고 이들을 대상으로 부산물 PCBs 배출원에 대한 배출량 예비평가를 수행하였다. 배출

계수의 경우 국내 연구의 부재로 인해 외국의 배출계수를 적용할 수 밖에 없었다. 본 연구에서 참고한 배출원 부산물 PCBs의 배출 계수는 Table 2에 요약하였다.

부산물 PCBs의 배출계수의 경우 폐기물 소각부문을 제외하고는 자료의 이용이 매우 제한적이었다. 따라서 본 연구는 영국의 NAEI에서 2001년 기준으로 사용하고 (NAEI, 2001) 있는 배출계수를 주로 사용하였으며 USEPA (USEPA, 1998)와 기타 문헌의 자료 (MSC-E, 2002; Dyke *et al.*, 2003)를 부가적으로 사용하였다. 또한 생산공정 부문의 펄프 산업과 자동차와 같은 이동 배출원 등은 적용 가능한 배출 계수를 찾을 수 없어 본 연구에서는 제외하였다.

앞서 검토된 배출 계수를 바탕으로 각 배출원별 활동도 자료는 2000년도를 기준으로 수집하였다. 활동도자료는 국가 통계를 기본으로 하였고 관련협회나 기관, 해당 사업체의 자료 등을 입수하여 사용하였다. 또한 국내 활동도 자료가 미비한 일부 세부 배출원은 예비 평가에서 제외되었다. 예를 들면, 연료연소 부문의 경우 석탄류와 석유류를 연료로 사용하는 배출원은 활동도 자료가 비교적 잘 갖추어져 있으나, 목재, 폐타이어, 도시고형폐기물을 연료로 하는 경우와 자가발전, 화장터, 농업, 철도, 고형연료 연소 부문은 해당 활동도 통계치를 구하지 못하여 포함시키지 못하였다. 또한 철강산업(소결로)의 경우 선철 생산량을 바탕으로 작성된 배출계수를 사용함에도 불구하고 통계자료가 없어서 근접 자료인 전로 조강량을 활동도로 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 주요 배출원 선정

국내외 선형연구를 바탕으로 추정된 결과 주로 연료연소, 폐기물소각, 열공정을 포함한 생산공정, 이동 배출원이 국내에 존재가능한 배출원으로 나타났다. 각 부문별로 살펴보면 연료 연소는 가정용, 상업 공공, 발전용, 산업용 기타로, 소각은 생활 폐기물, 병원성 폐기물, 유해 폐기물, 하수 슬러지의 소각, 생산공정은 다시 철강산업, 비철금속산업, 비금속광물산업에서의 열공정으로 구분될 수 있다.

Table 2. Emission factors of unintentionally formed PCBs

Level 1	Level 2	Emission Factor	Unit	Reference	
Fuel Combustion	Agricultural	Coal (0.462), Straw (0.289)	kg/Mt*	NAEI	
	Collieries	Coal (0.462)	kg/Mt	NAEI	
	Domestic	1440		ng/kg	AEAT/R/ENV/0517 issue1
		Coal (8.612), Wood (1.992)		kg/Mt	NAEI
	Industrial	556		ng/kg	AEAT/R/ENV/0518 issue1
		Waste Oils (390)		mg/Mg	FIRE
	Miscellaneous	1×10^{-6}		lb/lbPCBs	EPA
		Coal (0.462), Wood (0.093)		kg/Mt	NAEI
	Power Stations	Coal (0.462), MSW (2.173)		kg/Mt	NAEI
		Power Plant (11000~12000), Local Heating (9500~28000)		ng/t	MSC-E note 11/2002
	Public Services Railways	Coal (0.897), Fuel Oils (3.701), Scrap Tires (1.275), MSW (2.173)		kg/Mt	NAEI
		Coal (1.444)		kg/Mt	NAEI
Mobile	Gasoline	100	ng/t	MSC-E note 11/2002	
	Oils	10	ng/t	MSC-E note 11/2002	
Production	Cement	1250	ng/t	MSC-E note 11/2002	
	Iron and Steel	Scrap Tyres (1.275), Coal (0.462), Waste Oils (23.521)	kg/Mt	NAEI	
		Sinter(27000~1183000)	ng/t	MSC-E note 11/2002	
	Lime	Coal (0.462), Sinter (3.283), Coal (0.462), Basic Oxygen Furnace (1.8), Electric Arc Furnace (47.28)	kg/Mt	NAEI	
		24500	ng/t	MSC-E note 11/2002	
the 2nd Aluminium	Coal (0.462)	kg/Mt	NAEI		
Waste Incinerator	Chemical Waste	16652000	ng/t	MSC-E note 11/2002	
		0.002	lb/t	EPA	
		0.03	g/kg	FIRE	
		0.00000008	lb/pound	FIRE	
	Medical Waste	2.446	kg/Mt	NAEI	
		4.65×10^{-5}	lb/t	EPA	
		2000	mg/t	MSC-E note 11/2002	
		1.674	kg/Mt	NAEI	
	Miscellaneous	4.65×10^{-5}	lb/t	EPA	
		0.00018	lb/t		
		61	$\mu\text{g}/\text{kg}$		
		0.00126~0.001352	lb/t	FIRE	
		24	$\mu\text{g}/\text{kg}$		
		0.0068~0.000816	lb/t		
		1.18	mg/Megagram		
		Small Scale waste Burning (54.2), Scrap Tire (0.08928)	kg/Mt	NAEI	
		0.17	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Boers <i>et al.</i> (1994)	
0.25~0.55	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Pernin <i>et al.</i> (1998)			
1.7~25.6	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Pernin <i>et al.</i> (1998)			
0.41	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Behnisch 1997			
1.3	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Behnisch 1997			
7.5	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Miyata 1994			
0.1	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Ide <i>et al.</i> (1994)			
1.65~2.55	$\mu\text{g}/\text{TEQ}/\text{t}$	Kamiyama <i>et al.</i> (1994)			

Table 2. Continued.

Level 1	Level 2	Emission Factor	Unit	Reference
Waste Incinerator	Municipal Solid Waste	0.0085 ~ 0.03	μg/TEQ/t	Kamiyama <i>et al.</i> (1994)
		< 0.015	μg/TEQ/t	Kamiyama <i>et al.</i> (1994)
		0.18 ~ 1	μg/TEQ/t	Nakamura (1999)
		0.000027	μg/TEQ/t	Sakai personal comm 1999
		14	μg/TEQ/t	Sakai personal comm 1999
		5.5 × 10 ⁻⁶	lb/t	EPA
		16	ng/t	MSC-E note 11/2002
		0.16	μg/TEQ/t	Sakai <i>et al.</i> (1996)
		Tire (3.78 × 10 ⁻⁶)	lb/ton	EPA
		0.000026	lb/t	FIRE
		2.173	kg/Mt	NAEI
		5	μg/TEQ/t	Sakai <i>et al.</i> (1993)
Sewage Sludge		1.08 × 10 ⁻⁵	lb/ton	EPA
		0.000033	kg/Mt	NAEI

* Mt : 10⁶ ton

Table 3. Summary statistics of the emission factors, the activities, and the emission estimates in Korea

Level 1	Level 2	Level 3	Emission Factor (kg/MT)	Activities (ton)	Emission Estimates (kg/yr)	Contribution (%)	
Fuel Combustion	Domestic	Coal	Anthracite	8.612	1,191,564	10.26	0.95
			Bituminous	8.612	0	0	0
	Public Services	Coal	Anthracite	0.897	2,848,015	32.48	2.99
			Bituminous	0.897	33,368,516	17.95	1.65
	Power Stations	Coal	Anthracite	3.701	4,850,103	3.50	0.32
			Bituminous	0.462	116,592		
Industrial	Coal	Bituminous	0.462	27,024,177			
Incineration	Municipal Solid Waste			2.173	5,673,955	12.33	1.14
	Sewage Sludge			4.899	93,163	0.46	0.04
	Medical Waste			1.674	9,681	< 0.1	< 0.01
	Chemical Waste			2.446	584,000	1.43	0.13
Production	Coke prod.	Coal		0.462	49,575,000	9.04	0.83
	Sinter	Pig Iron		3.283	24,666,000	80.98	7.47
	Iron and Steel	Basic Oxygen Furnace	Crude Steel	1.800	24,666,000	44.40	4.09
			Crude Steel	47.280	18,441,000	871.89	80.38
	2nd Aluminium		Production	1.665E-02	220,431	< 0.1	< 0.01
	Cement		Production	1.250E-06	51,255,129	< 0.1	< 0.01
	Lime		Production	2.450E-06	1,171,358	< 0.1	< 0.01
Total Quantity					1,084.74		

2. 국내배출량 예비평가 및 분석

1) 배출원별 배출량 산정결과
 예비평가 결과 우리 나라의 연간 부산물 PCBs

배출량은 약 1,085 kg으로 철강산업부문이 1,006 kg (92.77%), 연료연소부문이 64 kg (5.92%), 소각부
 분이 14 kg (1.31%), 비철금속산업이 0.00367 kg, 비
 금속산업이 0.00009 kg으로 나타났다. Table 3에 각

배출원별 배출계수, 활동도, 추정 배출량을 요약하였다.

부산물 PCBs의 예비평가결과 산업공정, 특히 철강산업에 의한 배출기여도가 93%로 압도적으로 높음을 알 수 있다. 철강부분 중에서도 특히 전기로(Electric arc furnace)를 이용해 고철로부터 철강을 생산하는 공정이 전체 배출기여도의 80.4%인 연간 872 kg의 PCBs를 배출하고 있는 것으로 나타났다. 이 외에도 일관 제철 공정중 소결공정과 전로를 사용하여 철강을 생산하는 공정, 석탄에서 코크스를 생산하는 공정 등도 높게 나타나 전반적으로 철강산업 공정의 배출기여도가 매우 높게 나타났다.

연료연소부분의 PCBs 추정배출량은 연간 64 kg으로 전체 부산물 PCBs 배출량의 5.9%를 차지하고 있다. 배출량을 기준으로 발전용 석탄류, 발전용 석유류, 가정용 석탄류, 산업용기타 석탄류 순으로 나타났다. 이는 주로 석탄류의 연소에 의해 PCBs가 배출되며 석탄류의 사용은 발전용으로 가장 많이 사용하고 있기 때문에 발전용 석탄류에 의한 배출 기여도가 가장 높게 나타났음을 보여준다. 또한 가정용 석탄류의 연소의 경우 발전용으로 동일한 연료를 사용할 경우보다 약 6배 높은 PCBs를 배출하고 있으며(8.612 kg/10⁶ton), 산업용보다는 무려 19배나 많은 PCBs를 배출하는 등 동일한 연료 사용에 있어서도 용도에 따라 배출계수(배출원단위)의 차이가 크게 나타났다.

소각부분의 PCBs 추정 배출량은 연간 14 kg으로 전체 배출량에 대한 배출 기여도는 1.31% 정도로 추정되었다. 소각부분 가운데 생활 폐기물이 가장 큰 배출원인데 이는 소각량이 컸기 때문이다.

2) 불확실성

본 연구결과의 불확실성은 국내 부산물 PCBs 배출량 예비 평가과정에 사용된 배출원 분류체계, 배출계수, 활동도에 기인하고 있다.

우선 배출원 분류 체계의 경우, 연료연소, 소각, 생산공정, 이동 배출원 등으로 분류하였고 각 부문은 상이한 수준의 세 분류 체계를 바탕으로 배출량을 평가하였다. 이러한 상이한 수준에서 구축된 배출계수 및 활동도의 불확실성이 배출량 산정결과의 불확실성을 가중시킬 수 있다. 부산물 PCBs의 유력한 배출원은 에너지생산, 가정 혹은 산업용 연소

반응, 소각 등의 발열반응을 동반한 공정으로 이러한 발열공정은 매우 광범위한 부문에 산재되어 있어 배출원조사에 어려움이 많다. 또한 본 연구에서는 주로 유럽 및 미국의 배출 목록 작성기법을 고찰하여 배출량을 평가하였으므로 본 연구에서 다루어지지 않은 주요배출원이 국내에 존재할 가능성도 있다.

부산물 PCBs의 배출량 평가에 이용한 배출계수를 개발한 국가도 매우 적으며 다른 배출계수에 비해 불확실성이 매우 높다고 계수개발 국가들이 자체적으로 평가하고 있다. 현재 여러국가에서 배출계수 개발을 준비하고 있거나, 일부 배출원에 대한 측정실험을 진행하는 수준이며, 이미 개발되어 적용하고 있는 배출계수의 불확실성을 감소시키기 위한 후속 연구가 진행되고 있다. 따라서 본 연구에 사용된 배출계수가 국내실정과는 상당한 차이를 나타낼 수 있어 배출량 평가의 신뢰성을 높이기 위해서 가장 먼저 배출계수에 대한 연구와 평가가 우선되어야 한다.

부산물 PCBs의 배출량을 평가하기 위해서는 적절한 배출원 분류체계, 배출계수와 함께 관련 활동도를 파악할 수 있는 적절한 통계자료가 필요하다. 그러나 우리나라의 경우 부산물 PCBs 배출량 평가를 위한 통계자료가 매우 부족하여 본 연구에 사용된 활동도는 배출 분류체계나 배출계수에 적합하지 않아서 추정하거나 누락된 것들이 발생하였는데 이러한 한계는 배출량 평가의 불확실성을 증가시키게 된다.

이처럼 부산물 PCBs의 배출량 추정에는 큰 불확실성이 존재하기 때문에 그 불확실성 정도를 평가하여 배출량과 함께 정량적으로 표현할 수 있는 불확실성 평가체계에 대한 연구도 시급하다.

결 론

일반적으로 부산물 PCBs는 주로 연료연소, 폐기물소각, 열공정 수반 생산공정, 이동배출원에서 배출되는 것으로 알려져 있다. 이중 배출량 평가가 가능한 연료연소, 폐기물소각, 철강산업, 비철금속, 비금속광물 등의 배출원에 대해 국내예비평가를 시행하였다.

예비평가결과 본 연구에 포함된 배출원들 중에

서는 산업공정, 특히 철강산업에 의한 배출기여도가 약 93%로 가장 높게 나타났는데, 전기로(Electric Arc Furnace) 제강공정에서 연간 872 kg (배출기여도 80.4%)을 배출하는 것으로 평가되었으며, 소결공정과 전로공정에 의한 배출량도 큰 것으로 평가되었다.

그러나 본 연구에서 사용한 배출계수의 불확실성이 매우 높으며 활동도와 관련된 통계자료가 정확하지 않아 추정된 배출량의 불확실성도 매우 클 가능성이 높다. 또한 부산물 PCBs의 배출연구는 이제 초기단계이므로, 배출원 조사 및 평가과정에서 중요한 배출원을 누락시켰을 가능성도 높다.

이상의 예비평가 결과를 근거로 부산물 PCBs 배출원 조사의 우선순위를 선정하였는데, 소결로 및 전기아크로, 석탄연소 시설, 소각시설 등이 우선 조사대상 배출원으로 평가되었다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2003년 차세대 핵심환경기술개발사업 기획과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Breivik K, Sweetman A, Pacyna JM and Jones KC. Toward a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach 1. Global production and consumption, *The Science of the Total Environment* 2002; 290: 181–198.
- DEFRA. Review and assessment: estimating emissions, feasibility study—pollution inventory, <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/pollinven/study>, 2001.
- Dyke PH, Foan C and Fiedler H. PCB and PAH releases from power stations and waste incineration processes in the UK, *Chemosphere* 2003; 50: 469–480.
- MSC-E EMEP Workshop on emission and emission factor estimates, MSC-E Note 11, 2002.
- NAEI PCB Emission Factors, 2001.
- NAEI UK emissions of air pollutants 1970 to 1999, 2002.
- UNECE/EMEP emission database, WebDab 2002 (<http://webdab.emep.int>), 2002.
- UNEP Chemical, Regionally based assessment of persistent toxic substances. Regional Report (<http://www.chem.unep.ch/pts>), 2002.
- USEPA. 1990 Emissions inventory of section 112 (c) (6) Pollutants: Final report, 1998.
- USEPA. Locating and estimating air emission from sources of Polychlorinated Biphenyls (PCB), US EPA-450/4-84-007n. 1987.