

GC/TOF-MS를 이용한 상수도계통에서 PCBs 조사연구

An Analytical Study on PCBs by GC/TOF-MS in Drinking Water Supply System

김상은, 이수원, 이인숙, 박현, 오세종, 박수환, 이강봉*, 어연우*, 박일용*

Kim, Sang-eun Lee, Su-won Lee, In-sook Park, Hyeon Oh Sea-jong Park, Soo-hwan Lee, gang-bong*,

Eo, Yeon-u* Park, Il-yong*

서울특별시 상수도연구소, 한국과학기술연구원*

1. 서론

PCBs는 환경오염 물질 중 광범위하게 연구된 것들 중 하나로 다양한 환경 매질에서 검출되고 있고, 동물의 면역계와 신경계 그리고 내분비계에 영향을 줄뿐만 아니라 암의 원인이 된다는 연구 결과가 발표된 바 있고 인간이나 동물에게 노출되었을 때 면역시스템에 심각한 영향을 미친다는 것이 알려져 있다.

PCB congeners는 상업적으로는 1926년부터 Acelor, Aroclor, Clophen, Montar, PCBs, Sovol, Turbinol 등 여러 가지 이름으로 생산되었고 무색, 무취의 결정(상업적 혼합물은 맑고 끈적끈적한 액체)이다. 비록 물리적 화학적 성질은 종류에 따라 다양하지만 물에 대한 용해도와 증기압은 낮고, 비극성 용매, Oils, Fats에 높은 용해도를 보인다.

PCBs의 오염경로는 PCBs를 포함한 유독한 쓰레기, 폐품(오래된 형광등 설비, PCBs 축전기를 장착한 전기장치)을 허가된 매립지에 버리지 않고 일반 매립지에 버리는 경우, PCBs 변압기를 수리할 때, 산업폐수로 버려지는 경우 등이 있다.

1930년대부터 생산된 PCBs의 양은 130만톤으로 추정된다. 이 가운데 30% 정도는 흙이나 바다에 잔류된 것으로 보이고 나머지 70%의 향방은 아직 밝혀내지 못했으며, 일부는 건물 변압기의 부품, 컵라면 용기, 플라스틱 컵, 산모의 젖, 갓난아기의 피하지방, 철갑상어 알이나 참치회 등에 녹아들어 있지만 70% 가까운 생산량의 소재가 확인되지 않은 상태로서 PCBs의 환경오염은 현재 진행형으로 추정할 수 있다.

본 연구에서는 PCBs에 대한 서울시 수도물 공급계통에서의 분포를 확인하고 오염 시 그 오염원을 추정하고자 PCBs congener 62종에 대하여 GC/MS의 최적 조건을 수립하고, 시료를 액체-액체 추출법으로 처리·분석하고, 2002년 2003년 3차에 걸쳐 서울시 수도물의 상수원으로 이용되는 한강수계 상수원수, 한강분류에 영향을 미치는 지류천, 취수장 원수, 정수, 관말 수도꼭지의 상수도계통에서 실태조사를 하였다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취

한강 본류로 유입되어 취수의 수질에 영향을 미칠 가능성이 있는 팔당댐 부근의 경안천과 구의취수장 부근에 위치한 왕숙천 2지점과 한강 본류의 강북, 구의, 자양취수장의 취수원수와 정수 시료를 채수하였고 원수에 PCBs가 유입될 경우 기존정수처리로의 제거 가능성이나 배급수계통에서의 오염 여부를 확인하고자 구의정수장 수계를 조사대상으로 선정하였다.

전체 채수 지점과 상수원 및 지류천, 구의 수계의 채수 지점 위치는 표 1 및 그림 1과 같다.

표 1 시료채수지점 및 주소

번호	지점명	채수 지점	시료명	주소
1	양수리	양수교	상수원	경기도 양평군 양서면 양수리(양수교)
2	경안천	309번 도로 수중보	지류천	경기도 양평군 초월면 정지리
3	왕숙천	하수처리장 방류구 하류 100m 지점	지류천	경기도 구리시 토평동
4	강북원수	강북 취수장	원수	경기도 남양주시 와부읍 도곡리 1124번지
5	구의원수	구의취수장	원수	서울시 광진구 광장동 산 18번지
6	자양원수	자양취수장	원수	서울시 광진구 자양동 701번지
7	강북정수	송수실	정수	경기도 남양주시 삼패동 432-1
8	구의정수	#4공장	정수	서울시 광진구 구의동 산 38
9	뚝도정수	#3공장 송수펌프실	정수	서울시 성동구 성수동 1가 642
10	우이파출소	화장실세면대	구의직수	서울시 강북구 우이동 2011-4

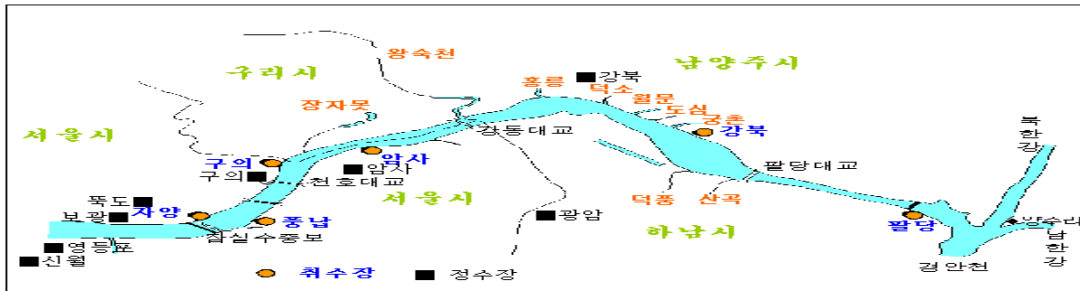


그림 1. 한강유역 채수지점 위치

2.2 분석방법

표준물질과 대용 표준물질은 표 2와 같이 각각 Wellington Laboratories BP-MS와 MBP-CG를 사용하였고 내부표준물질은 Accustandard사의 Phenanthrene-d₁₀을 사용하였다. 무수황산나트륨 (Na₂SO₄)과 염화나트륨(NaCl)은 PCBs 시험용을 사용하였고, 실리카겔 카트리지는 Waters사의 Sep-Pak Plus Silica을 사용하였다. GC는 Agilent 6890N, Mass Spectrometer는 Pegasus III (Leco, USA), 컬럼은 5%-diphenyl-95%dimethyl polysiloxane capillary column (J&W, USA)을 사용하였다.

표준물질(BP-MS)은 원액 2000µg/L을 n-헥산 1mL에 희석하여 20, 50, 100, 200, 500µg/L로 제조하였고 대용표준물질(MBP-CG)은 원액 5µg/L을 10µL 씩 시료에 첨가하였다. 내부표준물질 (phenanthrene-d₁₀)은 원액 1000µg/L을 희석하여 50µg/L으로 만들어 시료에 2µL씩 첨가하였다.

표 2 BP-MS에 혼합된 PCBs 62종과 MBP-CG에 혼합된 대용표준물질 ¹³C PCBs 10종

BP-MS		MBP-CG	
PCB congener	IUPAC No.	PCB congener	IUPAC No.
Monochloro	1, 3	4-Chloro [¹³ C]	3
Dichloro	4, 8, 10, 15	4,4'-Di-Chloro	15
Trichloro	18, 19, 22, 28, 33, 37	2,4',5-Tri-Chloro	31
Tetrachloro	44, 49, 52, 54, 70, 74, 77, 81	2,2',5,5'-Tetra-chloro	52
Pentachloro	87, 95, 99, 101, 104, 105, 110, 114, 118, 119, 123, 126	2,3',4,4',5-Penta-chloro	118
Hexachloro	128, 138, 149, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 167, 168, 169	2,2',4,4',5,5'-Hexa-chloro	153
Heptachloro	170, 171, 177, 178, 180, 183, 187, 188, 189, 191	2,2',3,4,4',5,5'-Hepta-chloro	180
Octachloro	194, 199, 201, 202, 205	2,2',3,3',4,4',5,5'-Octa-chloro	194
Nonachloro	206, 208	2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nona-chloro	206
Decachloro	209	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Deca-chloro	209

전처리하는 시료 1L를 눈금실린더를 이용하여 2L의 분액깔때기에 취하고 염화나트륨 약 30g과 대용표준물질(25ng~50ng)을 첨가하여 충분히 혼합하여 녹인 후 n-헥산 100mL를 넣고 10분간 진탕 추출하고 충분히 정치한 후 물 층을 다른 분액깔때기에 옮겼다. 물 층에 n-헥산 50 mL를 넣어 진탕 추출 조작을 반복하여 n-헥산층을 합하고, 무수황산나트륨으로 탈수한 후 회전식 감압농축기를 사용하여 30°C에서 약 1mL까지 감압 농축하였다. 미리 n-헥산 10 mL로 씻은 실리카겔 카트리지에 피펫으로 시료의 전처리액을 부하하고, 소량의 n-헥산으로 농축용기를 씻은 액을 카트리지에 부하한 후 20mL의 n-헥산을 흘려보내 분석대상물질을 용출하였다. 용출액은 회전식 감압 농축기를 사용하여 30°C에서 약 1mL까지 감압 농축하고 눈금이 있는 튜브에 옮긴 후 질소 기체를 불어넣어 0.5mL까지 농축하고, 내부표준물질 Phenathrene d₁₀(50ng)을 시린지를 사용하여 첨가하여 측정용 시료 액으로 하였다.

PCBs 분석을 위한 GC/MS의 운영조건은 다음 표 3, 4, 5와 같고, 시료분석 시간을 단축하면서 최적의 분리조건 설정하고자 GC의 운영조건을 1차, 2차, 3차 분석 시 달리하였다. 표준물질 및 대용표준물질의 확인 및 정량이온은 표 6, 7에 나타내었다.

표 3 GC/MS 1차 분석시 운영조건

Gas Chromatograph				Mass Spectrometer	
Column	DB-XLB(25m×0.2mm×0.33μm)			Interface Temp.	300°C
Carrier Gas	He (99.9999%) at 1.2ml/min			Ionization Mode	Electron Impact
Injection port Temp.	275°C			Electron energy	70eV
Inlet Mode	splitless, purge time : 1min, 1μL injection			Ion Source Temp.	220°C
Oven Temp. Program	Rate (°C/min)	Target Temp. (°C)	Duration (min)	Analyzer	Time-of-Flight
	Initial	40.00	1.00	Detection Mode	Scan Mode or Extracted ion monitoring
	100.00	140.00	0.00		
	20.00	340.00	1.00		

표 4 GC/MS 2차 분석시 운영조건

Gas Chromatograph				Mass Spectrometer	
Column	DB-XLB(25m×0.2mm×0.33 μ m)			Interface Temp.	300 $^{\circ}$ C
Carrier Gas	He (99.9999%) at 0.8ml/min			Ionization Mode	Electron Impact
Injection port Temp.	275 $^{\circ}$ C			Electron energy	70eV
Inlet Mode	splitless, purge time : 1min, 1 μ L injection			Ion Source Temp.	220 $^{\circ}$ C
Oven Temp. Program	Rate ($^{\circ}$ C/min)	Target Temp. ($^{\circ}$ C)	Duration (min)	Analyzer	Time-of-Flight
	Initial	40.00	1.00	Detection Mode	Scan Mode or Extracted ion monitoring
	50.00	140.00	0.00		
10.00	340.00	1.00			

표 5 GC/MS 3차 분석시 운영조건

Gas Chromatograph				Mass Spectrometer	
Column	DB-5(10m×0.181mm×0.18 μ m)			Interface Temp.	300 $^{\circ}$ C
Carrier Gas	He (99.9999%) at 1.2ml/min			Ionization Mode	Electron Impact
Injection port Temp.	275 $^{\circ}$ C			Electron energy	70eV
Inlet Mode	splitless, purge time : 30sec, 1 μ L injection			Ion Source Temp.	220 $^{\circ}$ C
Oven Temp. Program	Rate ($^{\circ}$ C/min)	Target Temp. ($^{\circ}$ C)	Duration (min)	Analyzer	Time-of-Flight
	Initial	50.00	1.00	Detection Mode	Scan Mode or Extracted ion monitoring
	20.00	300.00	3.00		

표 6 PCBs 표준물질의 측정이온

표준물질	정량이온	확인이온	표준물질	정량이온	확인이온
Mono-chlorobiphenyl	188	190	Hexa-chlorobiphenyl	360	362
Di-chlorobiphenyl	222	224	Hepta-chlorobiphenyl	394	396
Tri-chlorobiphenyl	256	258	Octa-chlorobiphenyl	428	430
Tetra-chlorobiphenyl	290	292	Nona-chlorobiphenyl	462	464
Penta-chlorobiphenyl	324	326	Deca-chlorobiphenyl	498	500

표 7 대용표준물질의 측정이온

대용표준물질	정량이온	확인이온	대용표준물질	정량이온	확인이온
4-Chloro [13 C]	200	202	2,2',4,4',5,5'-Hexa-chloro	372	374
4,4'-Di-Chloro	234	236	2,2',3,4,4',5,5'-Hepta-chloro	406	408
2,4',5-Tri-Chloro	268	270	2,2',3,3',4,4',5,5'-Octa-chloro	440	442
2,2',5,5'-Tetra-chloro	302	304	2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nona-chloro	474	476
2,3',4,4',5-Penta-chloro	336	338	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Deca-chloro	510	512

3. 연구결과

3.1. 분석방법 표준화

PCBs 표준물질 62종의 GC/MS 크로마토그램은 그림 2와 같고, 대용표준물질(Surrogate Standard)의 GC/MS 크로마토그램은 그림 3과 같으며, PCBs의 물질군별 측정이온에 따른 크로마토그램은 그림 4~13에 나타내었다.

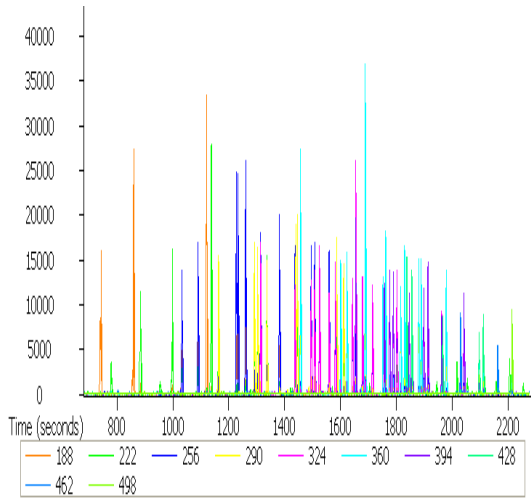


그림 2 PCBs(62종) 표준물질의 GC/MS 크로마토그램

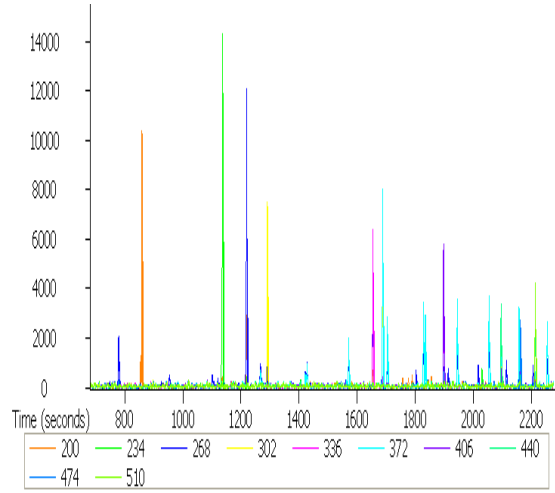


그림 3 대용표준물질(10종)의 GC/MS 크로마토그램

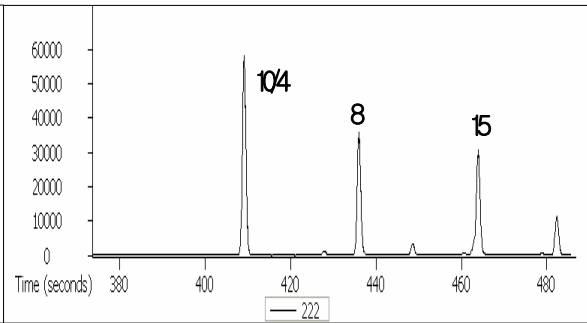
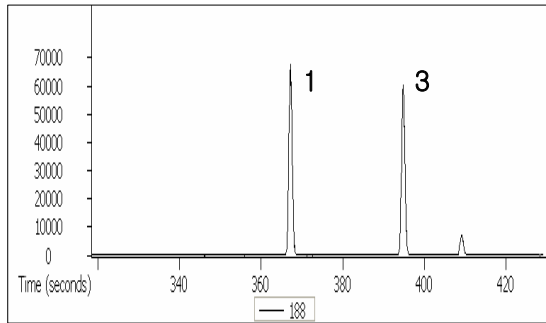


그림 4 염화비페닐(Mono-chlorobiphenyl)의 측정이온.

그림 5 2염화비페닐(Di-chlorobiphenyl)의 측정이온

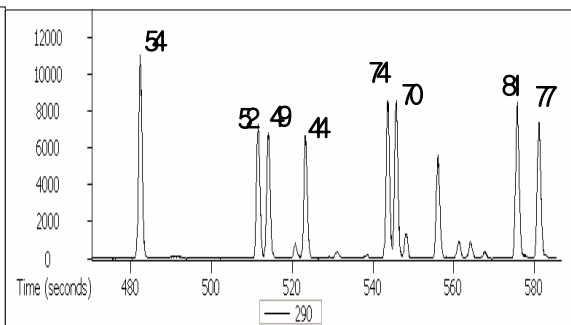
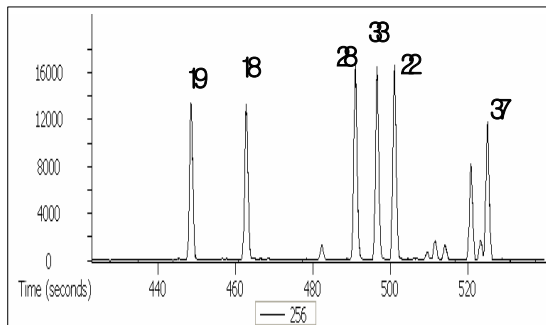


그림 6 3염화비페닐(Tri-chlorobiphenyl)의 측정이온

그림 7 4염화비페닐(Tetra-chlorobiphenyl)의 측정이온

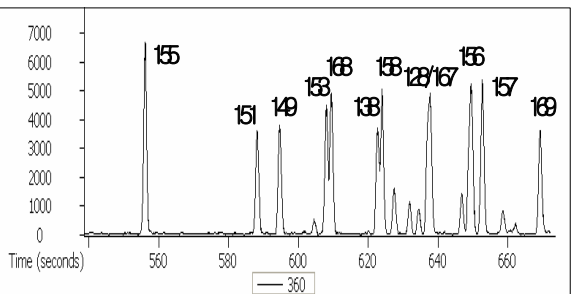
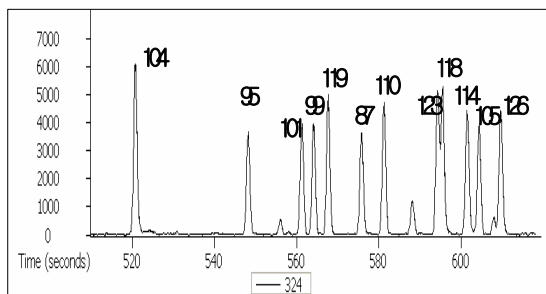


그림 8 5염화비페닐(Penta-chlorobiphenyl)의 측정이온

그림 9 6염화비페닐(Hexa-chlorobiphenyl)의 측정이온

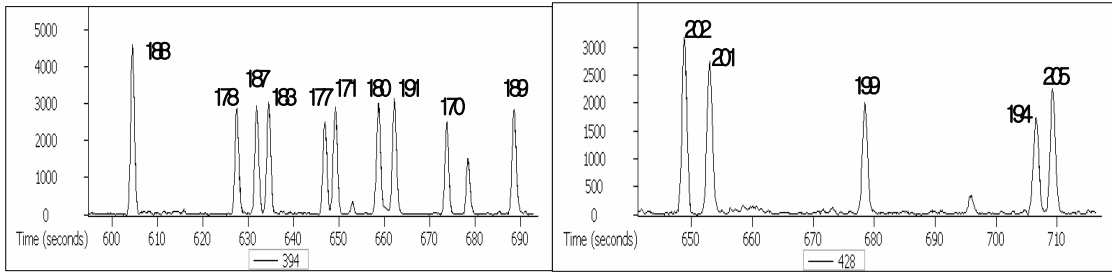


그림 10 7염화비페닐(Hepta-chlorobiphenyl)의 측정이온 그림 11 8염화비페닐(Octa-chlorobiphenyl)의 측정이온

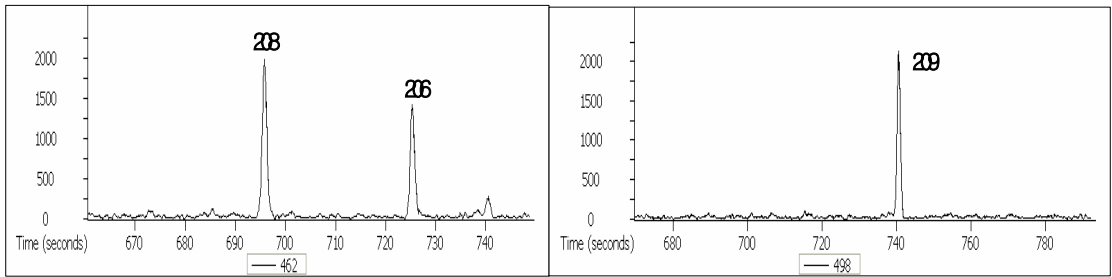


그림 12 9염화비페닐(Nona-chlorobiphenyl)의 측정이온 그림 13 10염화비페닐(Deca-chlorobiphenyl)의 측정이온

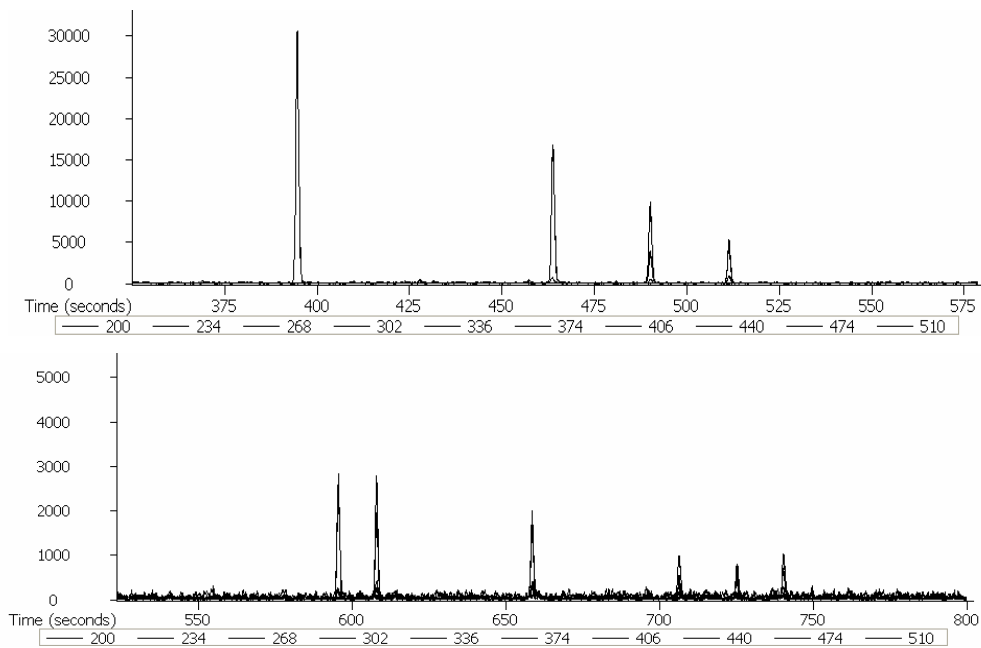


그림 14 대용표준물질(Surrogate Standard)의 측정이온

본 연구의 PCBs의 물질군 별 목표검출한계는 10ng/L로, 시료 분석 시 매회(3회) 검출한계를 측정하였으며, 측정결과 물질군별 검출한계는 2.2 ~ 7.1ng/L로 나타나 목표 검출한계를 만족하였다. Total PCBs의 검출한계는 3회 모두 5ng/L 이하였으며, 각각의 검출한계는 표 9와 같다.

시료 분석 시 매회(3회) 회수율을 측정하였으며, 1차 측정결과 회수율 88.3 ~ 113.6%, 상대표준편차 4.8 ~ 7.4%로 나타났으며, 2차 측정결과 회수율 61.3 ~ 94.1%, 상대표준편차 4.2 ~ 11.2%, 3차 측정결과 회수율 111.7 ~ 130.9%, 상대표준편차 0.5 ~ 4.7%로 측정되어 USEPA에서 허용하는 회수율 70 ~ 130%를 일부 벗어나기도 하였다. 그러나 대부분의 동족체에 대한 회수율 측정결과가 허

용범위 이내였고, 상대표준편차는 10% 이내로 나타나 재현성이 매우 우수하였다. 동족체별 회수율 및 상대표준편차는 표 10과 같다.

검량선의 작성은 검출한계 부근과 예상되는 검출농도 수준을 포함한 5개의 표준액(20~500 ng/L)을 조제 후 감도계수법과 검량선법을 모두 사용하였다. 사용된 각각의 congener에 대한 검량선은 부록에 표시하였으며, 세로축에 표시된 비(ratio)는 표준물질에 대한 내부표준물질의 비를 나타내며 매우 좋은 직선성을 보였다. 함께 표시된 상대반응계수는 분석물질의 양을 계산할 때 사용하였다.

시료 10점당 1점씩 동일 시료 2점을 반복 시험한 결과 시료의 정량값의 차이가 오차범위 30% 이내로서 정도관리 요건을 만족시켰다.

분석수행능 평가를 위하여 Accustandard사의 정도 관리용 시약으로 분석하였으며(PCB congener별 분리 정성, 정량) 정확도는 92.7±7.11(%)으로 측정되어 USEPA 기준인 70 ~ 130% 범위를 만족시켰다.

표 8 PE sample 분석결과

분석항목	측정값 (µg/L)	참값 (µg/L)	정확도(%)
Aroclor 1260	0.0927	0.1	92.7±7.11(RSD)

표 9 시료분석시 검출한계

PCB Congeners	Detection Limits (1.943s) ng/L		
	1차	2차	3차
Mono-chlorobiphenyl	2.7	6.2	2.6
Di-chlorobiphenyl	2.8	3.6	2.8
Tri-chlorobiphenyl	2.6	4.2	3.4
Tetra-chlorobiphenyl	3.3	2.5	3.7
Penta-chlorobiphenyl	4.6	3.0	4.7
Hexa-chlorobiphenyl	4.1	2.6	4.2
Hepta-chlorobiphenyl	3.5	3.5	3.2
Octa-chlorobiphenyl	3.4	2.8	6.6
Nona-chlorobiphenyl	2.7	3.8	5.8
Deca-chlorobiphenyl	2.2	7.1	4.9
Total PCBs	3.2	3.9	4.2

표 10 시료분석시 회수율 및 상대표준편차

PCBs	1차		2차		3차	
	Average	RSD (%)	Average	RSD (%)	Average	RSD (%)
Mono-	88.3	5.4	61.3	11.2	111.7	2.2
Di-	92.9	5.4	75.3	5.8	116.1	2.0
Tri-	95.9	4.8	92.8	5.3	114.5	1.8
Tetra-	95.7	5.6	92.5	4.2	125.8	2.2
Penta-	106.5	5.4	94.1	5.5	110.2	3.4
Hexa-	96.5	7.4	90.4	5.9	122.7	2.1
Hepta-	104.1	6.0	88.1	7.0	124.4	0.5
Octa-	93.0	7.0	84.0	5.2	128.5	4.7
Nona-	113.6	5.8	78.3	5.4	130.9	3.3
Deca-	104.0	5.5	87.3	8.3	117.8	4.3
Total	99.1	5.8	84.4	6.4	120.3	3.2

3.2 시료분석결과

시료 채수 시 현장에서 잔류염소, pH, 수온 등을 측정하였으며, 측정결과는 표 11와 같으며, 1차, 2차, 3차 채수 시점에서 기본적인 수질에 큰 차이는 없는 것으로 판단되었다.

표 11 시료 수질조사 결과

번호	지점명		1차(2002.11.18)				2차(2003.2.17 -18)				3차(2003.4.21-22)			
			잔류염소		pH	수온(℃)	잔류염소		pH	수온(℃)	잔류염소		pH	수온(℃)
			Total	Free			Total	Free			Total	Free		
1	상수원	양수리	-	-	8.4	4.3	-	-	8.4	4.3	-	-	8.4	4.3
2	지류천	경안천	-	-	7.6	4.8	-	-	7.6	4.8	-	-	7.6	4.8
3		왕숙천	-	-	7.3	9.2	-	-	7.3	9.2	-	-	7.3	9.2
4	원수	강북원수	-	-	8.1	7.8	-	-	8.1	7.8	-	-	8.1	7.8
5		구의원수	-	-	8.2	7.9	-	-	8.2	7.9	-	-	8.2	7.9
6		자양원수	-	-	8.7	9.1	-	-	8.7	9.1	-	-	8.7	9.1
7	정수	강북정수	1.16	0.92	8.2	9.2	1.16	0.92	8.2	9.2	1.16	0.92	8.2	9.2
8		구의정수	1.04	0.85	8.4	9.4	1.04	0.85	8.4	9.4	1.04	0.85	8.4	9.4
9		뚝도정수	0.95	0.82	8.3	9.2	0.95	0.82	8.3	9.2	0.95	0.82	8.3	9.2
10	관말 직수	우이 파출소	0.84	0.57	7.4	9.4	0.84	0.57	7.4	9.4	0.84	0.57	7.4	9.4

한강 상수도계통에서 PCBs의 분포실태를 조사하기 위하여 취수원인 한강으로 유입되는 지류천과 취수장, 정수지, 수도꼭지에서 PCBs를 3회에 걸쳐서 정량분석 하였으며, 그 결과는 표 20 - 22에 수록하였다.

이번 연구에서 PCBs 동족체 62종을 한강으로 유입되는 지류천과 취수장, 정수지, 수도꼭지 지점까지 한강 상수도계통에서의 오염실태를 조사한 결과, 모든 시료에서 불검출로 나타났다. 이는 환경부의 「내분비계장애물질 환경 잔류실태 조사」 및 「수돗물에서의 미량유해물질 분석법 연구 및 함유실태조사」 결과와 일치하는 것으로 서울시의 상수원으로부터 수돗물 공급 지점까지 한강상수도 계통에서의 PCBs 오염은 없음을 확인하였다.

표 12 1차 분석 결과

	D.L (ng/L)	상수원	지류천			원수			정수			수돗물
		양수리	경안	왕숙	강북	구의	자양	강북	구의	뚝도	관말	
Mono-chlorobiphenyl	2.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Di-chlorobiphenyl	2.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tri-chlorobiphenyl	2.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetra-chlorobiphenyl	3.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Penta-chlorobiphenyl	4.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexa-chlorobiphenyl	4.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hepta-chlorobiphenyl	3.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octa-chlorobiphenyl	3.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nona-chlorobiphenyl	2.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Deca-chlorobiphenyl	2.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCBs	3.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

* 1. D.L : Detection Limit , 2. ND : Not Detected

표 13 2차 분석결과

	D.L	상수원	지류천		원수			정수			수돗물
	(ng/L)	양수리	경안	왕숙	강북	구의	자양	강북	구의	뚝도	관말
Mono-chlorobiphenyl	6.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Di-chlorobiphenyl	3.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tri-chlorobiphenyl	4.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetra-chlorobiphenyl	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Penta-chlorobiphenyl	3.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexa-chlorobiphenyl	2.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hepta-chlorobiphenyl	3.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octa-chlorobiphenyl	2.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nona-chlorobiphenyl	3.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Deca-chlorobiphenyl	7.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCBs	3.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

* 1. D.L : Detection Limit, 2 ND : Not Detected

표 14 3차 분석 결과

	D.L	상수원	지류천		원수			정수			수돗물
	(ng/L)	양수리	경안	왕숙	강북	구의	자양	강북	구의	뚝도	관말
Mono-chlorobiphenyl	2.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Di-chlorobiphenyl	2.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tri-chlorobiphenyl	3.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetra-chlorobiphenyl	3.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Penta-chlorobiphenyl	4.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexa-chlorobiphenyl	4.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hepta-chlorobiphenyl	3.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Octa-chlorobiphenyl	6.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nona-chlorobiphenyl	5.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Deca-chlorobiphenyl	4.9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total PCBs	4.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

* 1. D.L : Detection Limit, 2 ND : Not Detected

4. 결 론

본 연구과제의 수행을 통하여 일반적으로 PCBs의 분석에 이용해왔던 피크 패턴법과 계수비교법의 단점(동수의 염소가 치환된 PCBs 이성질체 간 감도가 달라 오차 유발)을 개선하여, 수질시료 중 PCBs 동족체 62종의 분리, 정성 및 정량하는 분석방법을 제시하였으며 이들 분석방법에 대한 유효성을 검증하였다. 개선된 초정밀 분석방법을 이용하여 한강 상수도계통에서 수질시료에 대한 분석을 실시한 결과 PCBs 동족체 62종이 검출되지 않았음을 확인하였다.

참고문헌

1. 김태승 외, 환경 중 폴리염화비닐의 특성 및 분석법(I), 분석과학, 16, 1A-14A, 2003.
2. 내분비계장애물질(환경호르몬) 조사·연구결과, 환경부 보도자료, 2000
3. 내분비계장애물질(환경호르몬)환경잔류실태조사(2차년도) 결과 발표, 환경부 보도자료, 2001.
4. 내분비계장애물질(환경호르몬)환경잔류실태조사(3차년도) 결과 발표, 환경부 보도자료, 2002.
5. 박송자 외, 수돗물에서의 미량유해물질 분석법 연구 및 함유실태 조사(8차), 환경부, 2000.
6. 신선경 외, 환경 중 폴리염화비닐의 특성 및 분석법(II), 분석과학, 16, 15A-27A, 2003.
7. Baird, C., Environmental Chemistry. W.H. Freeman and Company, New York, 1999.
8. Carmichael, H., Chemistry in Britain October, 25-28. Royal Society of Chemistry, London, 1998.
9. Ahmed, F. E., in : Molat, C. F., Whittle, K. J., (Ed.), Environmental Contaminants in Food, She. eld Academic Press, England, Ch.13, p. 500, 1999.
10. Sierra, I., et. al., Chemosphere 53, 609-618, 2000.
11. Lauber, J. D., PCBs and the Environment, vol. III. CRC Press, Boca Raton, 83-151, 1986.
12. Erickson, M. D., Analytical Chemistry of PCBs, 2nd Edition, CRC Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 1997.
13. Patlak, M., Environmental Science & Technology, 30, 210A-211A, 1996.
14. Survey of Currently Available Non-Incineration of PCB Destruction Technologies, United Nations Environment Programme, August 2000.
15. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/horumon/horumonpast/kekka1998.htm>
16. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/horumon/horumonpast/kekka1999.htm>
17. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/horumon/kaigi/kaigi10/kasen.htm>
18. <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/kansi/mizu/horumon/14nenn/13hyousi.html>
19. <http://www.waterworks.metro.tokyo.jp>
20. http://www.kfda.go.kr/korea/endocrine/99/internal_2001.html, 한국인 지방, 간 및 혈액중의 PCB류 분포
21. http://www.kfda.go.kr/korea/endocrine/99/internal_2003.html, 식품중 PCBs 모니터링
22. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1101.html>
23. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1201.html>
24. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1202/index.html>
25. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1203/index.html>
26. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1301/index.html>
27. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1302/index.html>
28. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1401/index.html>
29. <http://www.env.go.jp/chemi/end/kento1402/index.html>