

토양 시료의 PCBs 분석법 비교

김교근 · 손기항

청주대학교 이공대학 환경공학과

Comparison of PCBs Analytical Methods in Soil Sample

Kyeo-Keun Kim, Kee Hang Son

Chongju University, Environmental Engineering Department,
Sangdang-gu Naedok-dong, Chongju, 360-764, Korea

The three different methods(Korea:I, EPA:II, Japan:III) of PCBs analytical methods were compared using 62 kinds of PCBs isomers. To do this, the cleanup process considered before proceeding the established each methods. The 2,3,4,4',5-PeCB(IUPAC No. 114) showed the lowest recovery, but 2,2',3,4,5'-PeCB(IUPAC No. 87), 2,2',3,3',4,4',5'-HpCB(IUPAC No. 170) and 2,2',3,3',4,4',5,5' -OcCB(IUPAC No. 194) were represented the recoveries over 120% in 62 PCBs isomers. The recovery ranges following the number of Cl were obtained 68.54%(8 Cl)~95.69%(10 Cl) for Korea, 41.50%(1 Cl)~101.00%(10 Cl) for USA, and 68.30%(8 Cl)~89.53%(4 Cl) for Japan. Also, the average recoveries of 14 kinds coplanar-PCBs were obtained 79.69% for method I, 88.05% for method II and 73.38% for method III.

Key words: PCBs, 회수율, coplanar, 토양시료, PCB 이성체

1. 서 론

많은 화학물질들이 인간 생활에 이용되어 왔으나, 일부 화학물질들은 인체의 유해성과 환경오염문제 등으로 사회적 문제로 대두되면서 사용이 금지되기도 하였다. 이러한 물질 중 폴리염화비페닐(Polychlorinated biphenyls, PCBs)이 대표적인 사례이다. PCBs는 1881년 Schmidt에 의해 최초로 합성되고, 1929년 미국에서 상업적으로 생산이 시작된 이래, 사용이 금지될 때까지 전 세계적으로 약 100만 톤이 생산되었으며 그 중 35% 정도가 자연계에 유출된 것으로 추정되고 있다. 우리나라의 경우는 1975년부터 1984년까지 약 560톤이 수입되었다.¹⁾ 유기 염소계 화합물 중 이성체가 209종에 이르는 PCBs(Poly chlorinated Biphenyls)는 biphenyl기(C₁₂H₁₀)에 하나 또는 그 이상의 수소원자가 염소로 치환된 물질을 총칭하며, 물리 화학적으로 매우 안정하고 전기절연성이 매우 우수하여 변압기 및 콘덴서 등 전기관련 절연체로 널리 사용되어 왔으며, 냉각성, 화학안전성 및 침투성이 좋고 물에 잘 녹지 않아 열매체, 윤활유, 가소제 및 도료의 첨가제로 사용되어

왔다^{2~4)}. PCBs 분석법 현황⁵⁻¹²⁾을 살펴보면, 우리나라는 폐기물공정시험법(제4장 제14항)⁵⁾ 및 토양오염공정시험법(제3절 제11항)⁶⁾에서 폐기물 및 토양 중의 PCBs 분석시험법을 정하고 있으며, 두 방법 모두 피이크패턴법으로 GC/ECD를 이용한 방법이 가장 널리 사용되어 왔으며, 우리나라의 공정시험방법에서는 피이크 패턴일치법을 정량법으로 채택하고 있다⁵⁻⁶⁾. 그러나 PCBs는 209개의 이성체가 존재하여 GC/ECD를 이용하여 전 이성체를 분리·정량하는데 한계가 있으므로, 질량분석방법을 이용하여 분석하는 방법이 시도되고 있다. 그러므로, 본 연구에서는 62종의 PCBs 이성체를 사용하여 현재 사용되고 있는 PCBs 분석법을 비교·검토하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 시료의 조제

공시토양 10 g에 62종의 PCBs standards가 포함된 BP-MS(Wellington Laboratories) 200ppb(ng/mL) 100 µL를 spiking한 후, n-hexane(잔류농약분석용,

Table 1. Selected compounds.

	IUPACNo.	CB congener	CAS No.	Quantitation ion	Confirmation ion			
1 Cl	1	2-MoCB	2051-60-7	188.0	190.0			
	3	4-MoCB	2051-62-9		152.0			
2 Cl	4	2,2'-DiCB	13029-08-8	222.0	224.0 152.0			
	8	2,4'-DiCB	34883-43-7					
	10	2,6-DiCB	33146-45-1					
	15	4,4'-DiCB	2050-68-2					
3 Cl	18	2,2',5-TrCB	37680-65-2	256.0	258.0 186.0			
	19	2,2',6-TrCB	38444-73-4					
	22	2,3,4'-TrCB	38444-85-8					
	28	2,4,4'-TrCB	7012-37-5					
	33	2',3,4-TrCB	38444-86-9					
	37	3,4,4'-TrCB	38444-90-5					
4 Cl	44	2,2',3,5'-TeCB	41464-39-5	289.9	291.9 293.9			
	49	2,2',4,5'-TeCB	41464-40-8					
	52	2,2',5,5'-TeCB	35693-99-3					
	54	2,2',6,6'-TeCB	15968-05-5					
	70	2,3',4',5-TeCB	32598-11-1					
	74	2,4,4',5-TeCB	32690-93-0					
	77	3,3',4,4'-TeCB	32598-13-3					
	81	3,4,4',5-TeCB	70362-50-4					
5 Cl	87	2,2',3,4,5'-PeCB	38380-02-8	325.9	323.9 327.9			
	95	2,2',3,5',6-PeCB	38379-99-6					
	99	2,2',4,4',5-PeCB	38380-01-7					
	101	2,2',4,5,5'-PeCB	37680-73-2					
	104	2,2',4,6,6'-PeCB	56558-16-8					
	105	2,3,3',4,4'-PeCB	32598-14-4					
	110	2,3,3',4',6-PeCB	38380-03-9					
	114	2,3,4,4',5-PeCB	74472-37-0					
	118	2,3',4,4',5-PeCB	31508-00-6					
	119	2,3',4,4',6-PeCB	56558-17-9					
	123	2',3,4,4',5-PeCB	65510-44-3					
	126	3,3',4,4',5-PeCB	57465-28-8					
6 Cl	128	2,2',3,3',4,4'-HxCB	38380-07-3	359.8	361.8 357.8			
	138	2,2',3,4,4',5'-HxCB	35065-28-2					
	149	2,2',3,4',5',6-HxCB	38380-04-0	359.8	361.8 357.8			
	151	2,2',3,5,5',6-HxCB	52663-63-5					
	153	2,2',4,4',5,5'-HxCB	35065-27-1					
	155	2,2',4,4',6,6'-HxCB	33979-03-2					
	156	2,3,3',4,4',5-HxCB	38380-08-4					
	157	2,3,3',4,4',5'-HxCB	69782-90-7					
	158	2,3,3',4,4',6-HxCB	74472-42-7					
	167	2,3',4,4',5,5'-HxCB	52663-72-6					
	168	2,3',4,4',5,6-HxCB	59291-65-5					
	169	3,3',4,4',5,5'-HxCB	35065-30-6					
	7 Cl	170	2,2',3,3',4,4',5-HpCB			35065-30-6		
		171	2,2',3,3',4,4',6-HpCB			52663-71-5		
177		2,2',3,3',4',5,6-HpCB	52663-70-4					

Table 1. continued.

	IUPAC No.	CB congener	CAS No.	Quantitation ion	Confirmation ion
7 Cl	178	2,2',3,3',5,5',6-HpCB	52663-67-9	393.8	395.8 397.8
	180	2,2',3,4,4',5,5'-HpCB	35065-29-3		
	183	2,2',3,4,4',5',6-HpCB	52663-69-1		
	187	2,2',3,4',5,5',6-HpCB	52663-68-0		
	188	2,2',3,4',5,6,6'-HpCB	74487-85-7		
	189	2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	39635-31-9		
	191	2,3,3',4,4',5',6-HpCB	74472-50-7		
8 Cl	194	2,2',3,3',4,4',5,5'-OcCB	35694-08-7	429.8	427.8 431.8
	199	2,2',3,3',4,5,5',6'-OcCB	52663-75-9		
	201	2,2',3,3',4,5',6,6'-OcCB	40186-71-8		
	202	2,2',3,3',5,5',6,6'-OcCB	2136-99-4		
	205	2,3,3',4,4',5,5',6-OcCB	74472-53-0		
9 Cl	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6-NoCB	40186-72-9	461.7	463.7 465.7
	208	2,2',3,3',4,5,5',6,6'-NoCB	52663-77-1		
10 Cl	209	DeCB	2051-24-3	497.7	499.7 495.7

Table 2. Monitoring ion of internal standard.

Internal standard	Quantitation ion	Confirmation ion
4-Chloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	188.0	202.1
4,4'-DiChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	222.0	236.0
2,4',5-TriChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	256.0	270.0
2,2',5,5'-TetraChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	289.9	304.0
2,3',4,4',5-PentaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	325.9	337.9
2,2',4,4',5,5'-HexaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	359.8	373.9
2,2',3,4,4',5,5'-HeptaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	393.8	407.8
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	429.8	441.8
2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	461.7	475.8
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-DecaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	497.7	511.7

Table 3. Experimental and analytical conditions for PCBs.

Exp. Methods	Contents
Comparison Method	Method I <ul style="list-style-type: none"> • Silicagel : n-hexane 100 mL • Aluminar(I) : 2% DCM : n-hexane 100 mL, 50% DCM n-hexane 150 mL
	Method II <ul style="list-style-type: none"> • Silicagel : n-hexane 25 mL • Florisil : 6% ether ; hexane 100 mL
	Method III <ul style="list-style-type: none"> • Silicagel : n-hexane 150 mL • Aluminar(II) : 2% DCM : n-hexane 100 mL, 50% DCM : n-hexane 150 mL
Instrument	<ul style="list-style-type: none"> • GC/MS • Column • Column temp. • Injector temp. • Ion source • Ionization volt • Ionization method • Injection mode • Carrier gas
	<ul style="list-style-type: none"> • HP 5973N • DB-5MS(60 m 0.32mm 0.25um) • 105°C(1min)→10°C/min→245°C(2min)→3°C/min→290°C(8min) • 300°C • MS Source 230°C, MS Quad. 150°C • 70eV • EI • Splitless mode • He(1 mL/min)

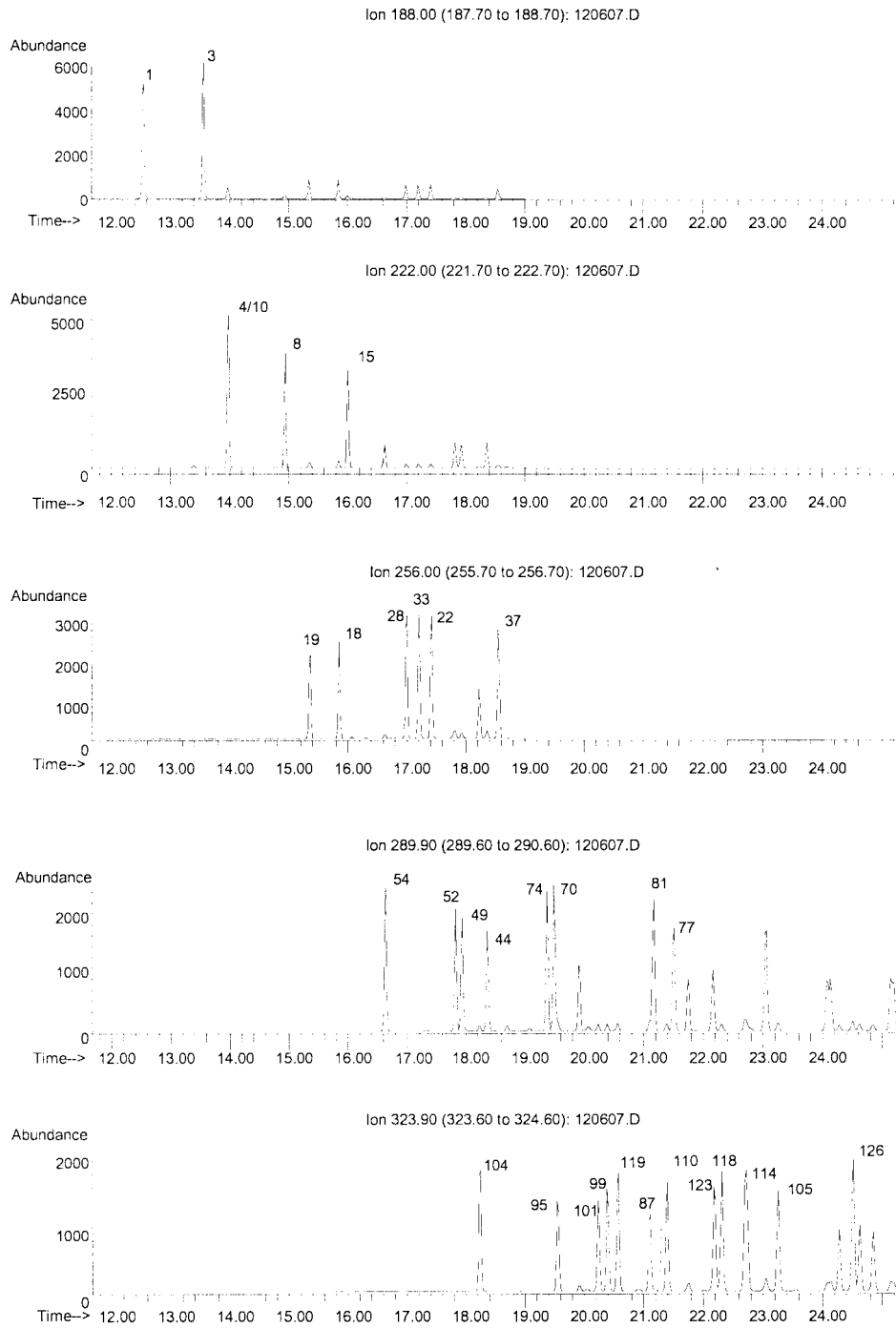


Fig. 1. Mass Chromatogram of PCBs.

Kanto Chemical)으로 완전히 함침시킨 후, 실온의 fume hood에서 n-hexane을 증발시킨 후 사용하였다.

2.2. 대상 항목 선정

미국 EPA⁷⁾, WHO³⁾ 및 일본⁹⁾ 등의 문헌 및 관련자료 조사 결과를 토대로 현재 각국에서 모니터링이 되거나 표준물질로 시판되고 있는 62종의 PCBs를 Table 1 및 Table 2와 같이 선정하였다.

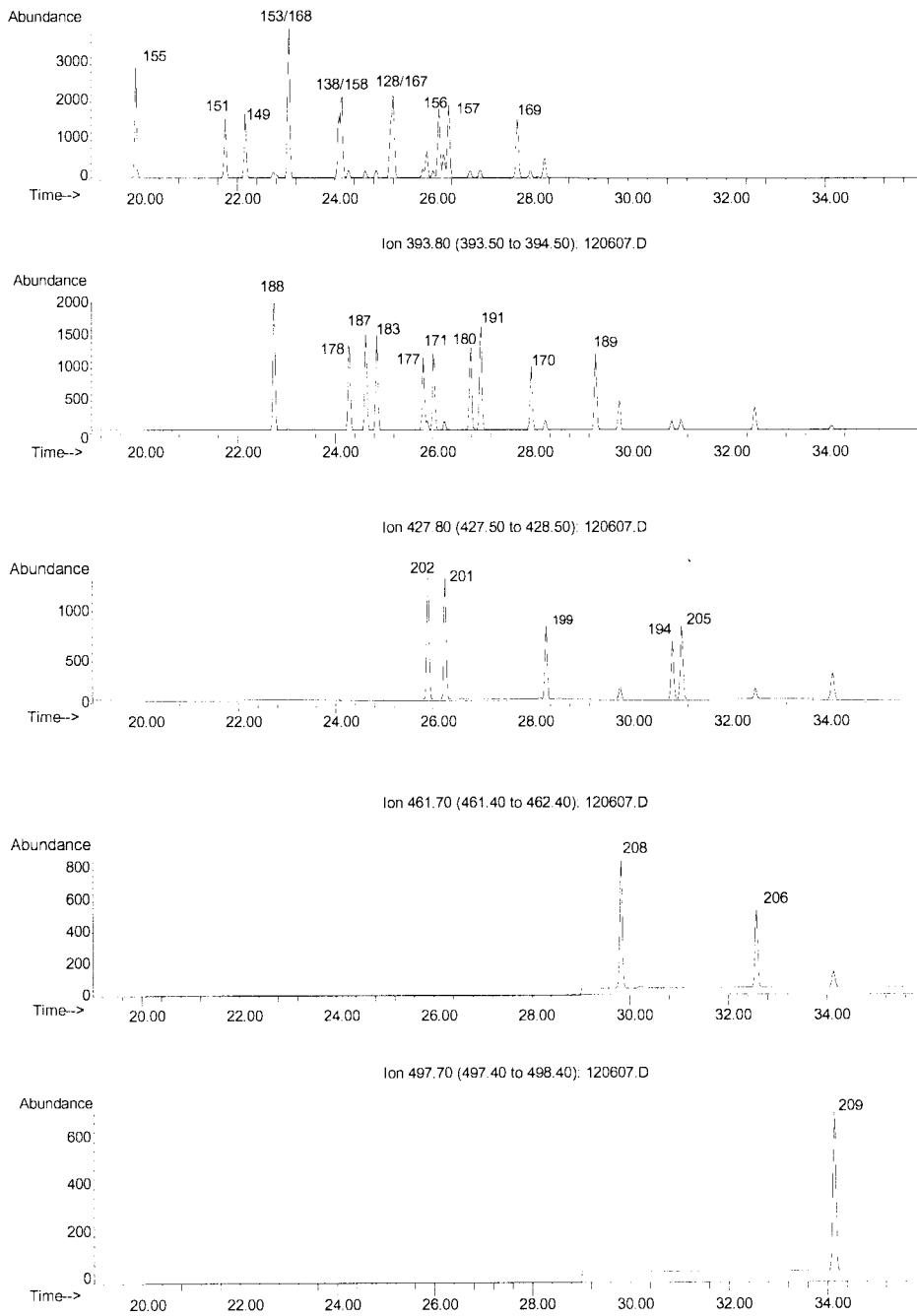


Fig. 1. continued.

2.3. 전처리 및 분석방법

62종의 PCBs 화합물을 이용하여 현재 사용되고 있는 우리나라(분석법 I)⁵⁻⁶⁾, 미국(분석법 II)⁷⁾ 및 일본(분석법 III)⁸⁾을 토대로 이들 PCBs 개별이성체의 분석방법을 비교하였다. PCBs의 추출, 정제 방법 및 분석기

기의 조건 등을 확립하고 토양 중 이들 물질의 용출 및 정제특성을 파악하기 위해 62종의 PCBs 화합물을 토양에 흡착시켜 실험을 수행하였다. 추출방법으로 속 싨렛 추출에 따른 추출용매별 선정대상화합물의 회수율 싨험을 수행하였으며, 정제방법은 정제를 위한 증진

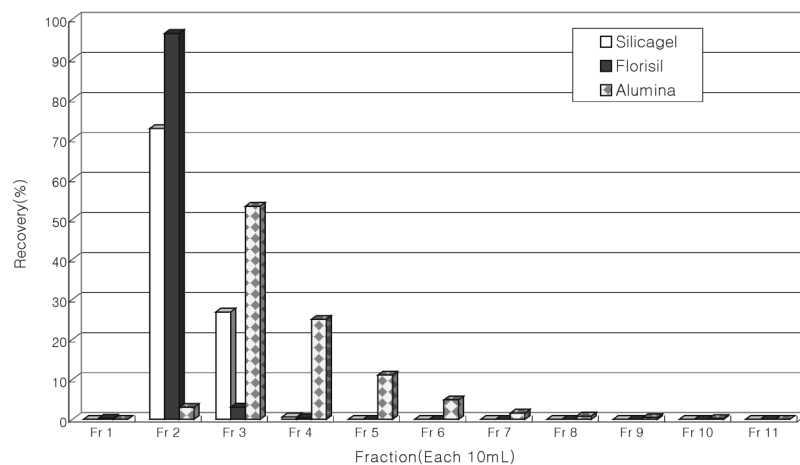


Fig. 2. Recoveries of PCBs in cleanup processing.

Table 4. Recoveries of PCBs in three different methods.

	IUPAC No.	CB congener	Method I	Method II	Method III
1 Cl	1	2-MoCB	63.79	41.01	76.73
	3	4-MoCB	60.38	41.99	70.00
2 Cl	4	2,2'-DiCB	73.04	49.23	89.30
	8	2,4'-DiCB	75.50	53.87	86.48
	10	2,6-DiCB	73.04	49.23	89.30
	15	4,4'-DiCB	76.45	60.85	88.56
3 Cl	18	2,2',5-TrCB	84.99	61.47	97.94
	19	2,2',6-TrCB	69.68	53.70	81.43
	22	2,3,4'-TrCB	83.21	66.20	90.28
	28	2,4,4'-TrCB	81.21	64.79	91.03
	33	2',3,4-TrCB	84.58	64.30	92.53
	37	3,4,4'-TrCB	85.86	77.82	98.00
4 Cl	44	2,2',3,5'-TeCB	84.25	71.42	90.54
	49	2,2',4,5'-TeCB	86.19	72.29	94.63
	52	2,2',5,5'-TeCB	72.65	61.25	80.87
	54	2,2',6,6'-TeCB	79.51	63.64	92.90
	70	2,3',4',5'-TeCB	86.28	79.53	92.62
	74	2,4,4',5'-TeCB	84.78	76.41	89.67
	77	3,3',4,4'-TeCB	82.43	89.31	86.72
	81	3,4,4',5'-TeCB	82.92	86.25	88.31
5 Cl	87	2,2',3,4,5'-PeCB	121.61	120.73	125.37
	95	2,2',3,5,6-PeCB	88.07	81.24	97.18
	99	2,2',4,4',5-PeCB	80.11	79.17	86.94
	101	2,2',4,5,5'-PeCB	84.00	78.40	88.66
	104	2,2',4,6,6'-PeCB	74.20	63.72	84.52
	105	2,3,3',4,4'-PeCB	84.76	71.45	86.49
	110	2,3,3',4',6-PeCB	72.31	72.40	73.84
	114	2,3,4,4',5-PeCB	46.95	46.92	42.97
	118	2,3',4,4',5-PeCB	89.58	88.20	72.56
	119	2,3',4,4',6-PeCB	73.65	69.88	75.82
	123	2',3,4,4',5-PeCB	67.71	74.96	68.32
	126	3,3',4,4',5-PeCB	89.58	88.20	72.56

Table 4. continued.

	IUPAC No.	CB congener	Method I	Method II	Method III
6 Cl	128	2,2',3,3',4,4'-HxCB	73.42	81.20	68.69
	138	2,2',3,4,4',5'-HxCB	82.06	93.82	79.60
	149	2,2',3,4',5,6-HxCB	87.86	89.22	93.57
	151	2,2',3,5,5',6-HxCB	68.62	70.83	76.74
	153	2,2',4,4',5,5'-HxCB	78.03	81.67	75.80
	155	2,2',4,4',6,6'-HxCB	72.94	66.53	80.22
	156	2,3,3',4,4',5-HxCB	88.62	102.68	78.24
	157	2,3,3',4,4',5'-HxCB	84.31	99.58	77.99
	158	2,3,3',4,4',6-HxCB	82.02	93.82	79.60
	167	2,3',4,4',5,5'-HxCB	73.42	81.20	68.69
	168	2,3',4,4',5,6-HxCB	78.03	81.67	75.80
	169	3,3',4,4',5,5'-HxCB	87.26	111.95	74.77
	7 Cl	170	2,2',3,3',4,4',5-HpCB	102.22	121.55
171		2,2',3,3',4,4',6-HpCB	68.21	79.06	64.89
177		2,2',3,3',4,5,6-HpCB	66.56	75.44	63.63
178		2,2',3,3',5,5',6-HpCB	70.91	75.91	71.13
180		2,2',3,4,4',5,5'-HpCB	70.41	92.75	70.99
183		2,2',3,4,4',5,6-HpCB	78.97	86.47	74.64
187		2,2',3,4',5,5',6-HpCB	83.87	91.24	79.16
188		2,2',3,4',5,6,6'-HpCB	66.65	68.82	70.12
189		2,3,3',4,4',5,5'-HpCB	65.46	77.72	50.05
191		2,3,3',4,4',5,6-HpCB	84.71	100.42	77.96
8 Cl	194	2,2',3,3',4,4',5,5'-OcCB	108.84	130.23	80.48
	199	2,2',3,3',4,5,5',6'-OcCB	88.36	104.50	76.63
	201	2,2',3,3',4,5',6,6'-OcCB	78.90	89.70	76.04
	202	2,2',3,3',5,5',6,6'-OcCB	66.58	76.80	63.61
	205	2,3,3',4,4',5,5',6-OcCB	62.81	70.41	44.72
9 Cl	206	2,2',3,3',4,4',5,5',6-NoCB	79.67	84.47	49.54
	208	2,2',3,3',4,5,5',6,6'-NoCB	82.38	98.15	65.34
10 Cl	209	DeCB	95.69	101.00	62.96

물질의 종류 및 용출용매의 종류에 따른 용출패턴 등의 실험을 수행하였다. 일반적인 전처리 조건 및 분석 조건은 Table 3과 같으며, 62종 PCBs 각 염소별 GC/MS 크로마토그램은 다음 Fig. 1과 같다.

3. 분석 결과

3.1. 정제과정의 회수율 비교

일반적으로 많이 사용되고 있는 컬럼 정제과정의 회수율 실험을 수행하였다. 사용된 정제 컬럼은 본 연구에서 제시된 세가지 분석방법에서 사용되는 실리카겔, 플로리실 및 알루미늄 정제과정을 수행하였다. 실리카겔 정제는 산, 페놀, 염화페놀, 폴리클로로페녹시페놀

등의 극성화합물을 제거하는 정제과정으로, 다이옥신류 및 PCBs 등의 비극성 유기화합물을 분석하기 위해서 일반적으로 사용되는 방법이며, 플로리실 정제는 PCB와 다이옥신의 효과적인 분리를 위해서 사용되고 있는 정제과정이나, 일반적으로는 알루미늄 정제과정이 더 효과적인 정제과정으로 알려져 있다.

또한, 사용된 전개용매는 실리카겔 및 플로리실 컬럼이 주로 n-hexane 및 6% 에틸에테르/헥산을 사용하였으며, 알루미늄이나 디클로로메탄/헥산 혼합용매를 사용하였으며, 결과는 다음의 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 실리카겔 및 플로리실은 분액 2(20 mL) 및 3(30 mL)에서 거의 대부분이 용출되었으나, 알루미늄은 분액, 2~7(20~70 mL)의 범위에 걸쳐 용출되었다.

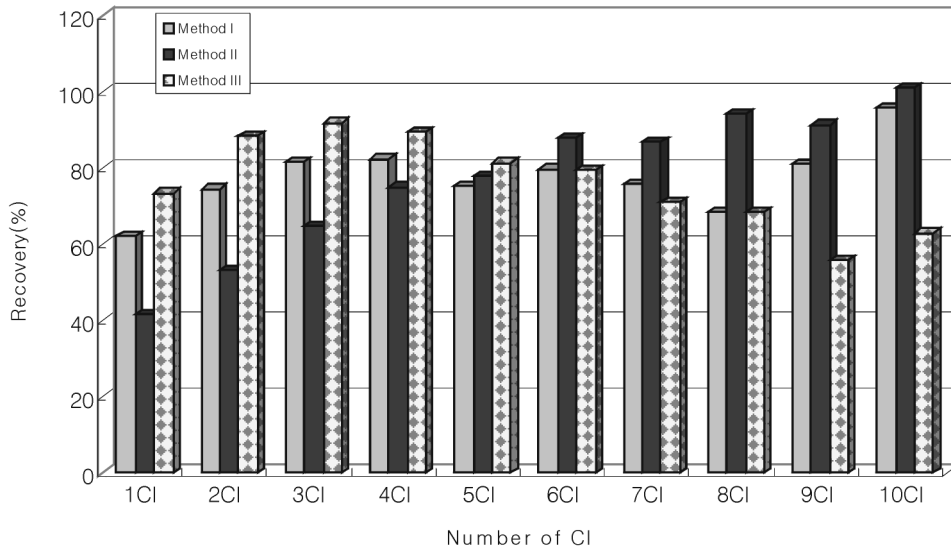


Fig. 3. Recovery following the number of chlorine in three methods.

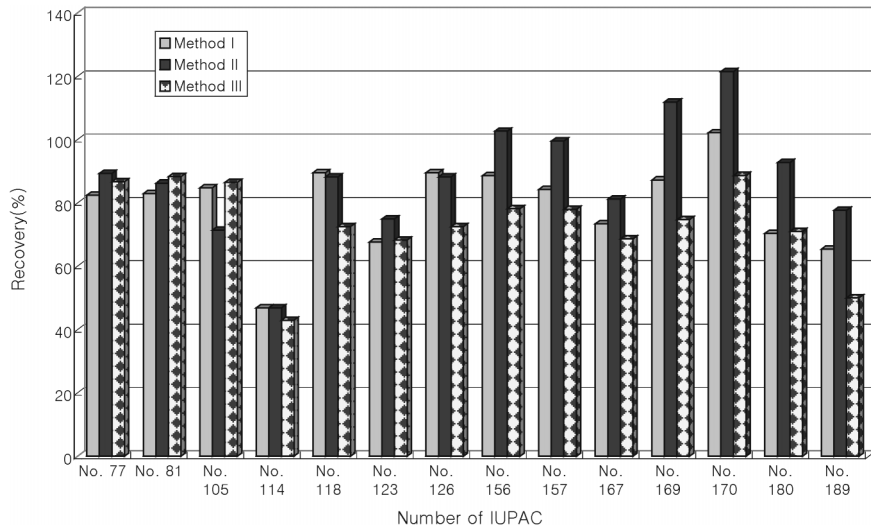


Fig. 4. Recovery following the coplanar-PCBs in three methods.

3.2. PCBs 분석법 비교

본 연구에서는 토양시료를 톨루엔, 디클로로메탄 및 아세톤; 헥산으로 추출하였으며, 극성 및 착색물질 제거를 위해 대부분의 나라에서 사용하고는 있는 실리카 겔 정제과정과 염화벤젠 등의 비극성물질을 제거하고 PCBs를 분석하기 위해 플로리실 및 알루미늄 정제과정을 수행하여, 분석방법 I, II 및 III에서 제시한 분석법이 PCBs 분석결과에 미치는 영향을 파악하였다.

Table 4는 현재 사용되고 있는 우리나라(분석법 I),

미국(분석법 II) 및 일본(분석법 III)의 62종의 PCBs 회수율을 정리하여 나타낸 표이며, Fig. 3은 염소별 평균회수율을 그리고 Fig. 4는 coplanar-PCBs 14종의 평균회수율을 나타낸 것이다. Table 4에서 보는 바와 같이, 개별 이성체에 대한 편차가 크게 나타나는 것으로 조사되었으며, 가장 낮은 회수율을 보인 PCBs 이성체는 2,3,4,4',5-PeCB(IUPAC No. 114)로 세가지 방법에서 모두 동일하게 나타났다. 또한, 2,2',3,4,5'-PeCB(IUPAC No. 87), 2,2',3,3',4,4',5'-HpCB(IUPAC

No. 170) 및 2,2',3,3',4,4',5,5'-O₂CCB(IUPAC No. 194) 등의 회수율은 120% 이상으로 나타나, 정제과정에 대한 검토가 필요한 것으로 생각된다.

Fig. 3.에서 보는 바와 같이 분석법 I은 68.54%(8 Cl) ~95.69%(10 Cl), 분석법 II는 41.50% (1 Cl) ~101.00%(10 Cl) 및 분석법 III은 68.30%(8 Cl) ~89.53%(4 Cl)의 범위로 염화물의 회수율이 나타났다. 비교된 세 방법 중 1 Cl에서 5 Cl의 저염화물은 본 연구 및 일본의 방법이 미국의 방법보다 높은 회수율을 나타내는 반면에, 6 Cl에서 10 Cl의 고염화물은 미국의 방법이 가장 높은 회수율을 보이고 있어, PCBs 개별 이성체에 대해 보다 높은 회수율을 얻기 위해서는 용출 용매에 따른 분액 실험이 더 이루어져야 할 것으로 생각된다.

또한, Fig. 4.의 coplanar-PCBs의 평균회수율은 분석법 I이 79.69%, 분석법 II가 88.05% 및 분석법 III이 73.38%로 나타났으며, 세 가지 방법 모두 가장 낮은 PCBs 이성체의 회수율은 IUPAC No. 114이 나타내었으며, 가장 높은 회수율은 IUPAC No. 170으로 나타났다. 이들 세 가지 방법 중 분석법 II가 PCBs 개별 물질에 대한 편차가 가장 크게 나타났으며, 분석법 III이 가장 낮은 편차를 보여주고 있다.

4. 결 론

토양에 잔류하는 화학물질로서 지속적으로 토양 환경에 영향을 미치고 있는 PCBs에 대한 분석을 위해 많은 연구들이 이루어져 왔다. 본 연구에서는 62종의 PCBs 이성체를 사용하여 현재 사용되고 있는 미국 및 일본의 PCBs 분석법 및 본 연구에서 제시한 분석법을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실리카겔, 플로리실 및 알루미늄을 사용한 컬럼 정제과정의 회수율 실험을 수행한 결과, 실리카겔 및 플로리실은 분액 2(20 mL) 및 3(30 mL)에서 거의 대부분이 용출되었으나, 알루미늄은 분액 2~7(20~70 mL)의 범위에 걸쳐 용출되었다.

2. 우리나라, 미국 및 일본의 62종의 PCBs 회수율을 조사한 결과, 가장 낮은 회수율을 보인 PCBs 이성체는 2,3,4,4',5-PeCB(IUPAC No. 114)이었으며, 2,2',3,4,5'-PeCB(IUPAC No. 87), 2,2',3,3',4,4',5-HpCB(IUPAC No. 170) 및 2,2',3,3',4,4',5,5'-O₂CCB(IUPAC No. 194) 등의 회수율은 120% 이상으로 나타났다.

3. 염소별 평균회수율은 우리나라는 68.54%(8 Cl)~95.69%(10 Cl), 미국은 41.50% (1 Cl)~101.00%(10 Cl) 및 일본은 68.30%(8 Cl)~89.53%(4 Cl)의 범위로 염화물의 회수율이 나타났다.

4. Coplanar-PCBs 14종의 평균회수율은 우리나라가 79.69%, 미국이 88.05% 및 일본이 73.38%로 나타났으며, 세 가지 방법 모두 가장 낮은 PCBs 이성체의 회수율은 IUPAC No. 114이 나타내었으며, 가장 높은 회수율은 IUPAC No. 170으로 나타났다.

참고 문헌

- 1) 국립환경연구원, *해양오염감시망 구축 및 오염실태 변화에 관한 연구(III)*, 1996
- 2) T. Colborn, D. Dumanoski and J. P. Myers, "Our Stolen Future", 1st ed., 1996, Dutton, USA
- 3) WHO, *Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls*, 2nd ed., 1993, Environmental Health Criteria 140
- 4) S. H. Safe, *Critical Rev. Toxicol.*, 1994, 24(2), 87
- 5) 환경부, "폐기물공정시험방법", 2000
- 6) 환경부, "토양오염공정시험방법", 1998
- 7) USEPA, "1668 Method", USA, 1999
- 8) 일본 후생성, "배출가스 중의 다이옥신류 및 coplanar PCBs 분석방법", 2001
- 9) 국립환경연구원, "내분비계장애물질측정분석법", 1999
- 10) J. D. Berset, R. Holzer, *Chemosphere*, 1996, 32, 2317-2333
- 11) M. Lores, M. Llompert, R. Gonzalez-Garcia, C. Gonzalez-Barreiro, R. Cela, *Chemosphere*, 2002, 47, 607-615
- 12) M. D. Erickon, "Analytical Chemistry of PCBs", 1997, Lewis Publishers, New York, U.S.A.