

낙동강 유역에 서식하는 붕어와 황소개구리 체내의 Polychlorinated biphenyls의 축적도와 분포특성

문지용 · 이성인 · 송희영 · 이경진 · 최경희* · 정기호*

부산대학교 화학과, *국립환경연구원 위해성평가과

(2004. 5. 13 접수, 2004. 6. 11 승인)

Accumulation Levels and Distribution Characteristics of Polychlorinated Biphenyls in Crucians and Leopard Frogs from the Nakdong River Basin

Ji Yong Moon, Sung In Lee, Heeyoung Song, Kyoung Jin Lee, Kyunghye Choi* and Gi Ho Jeong*

Dept. of Chemistry, Pusan National University, Busan, 609-735, Korea

*Risk Assessment Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea

(Received May. 13, 2004, Accepted Jun. 11, 2004)

요 약 : 본 연구에서는 낙동강과 그 유역에 서식하는 붕어와 황소개구리 체내의 polychlorinated biphenyls (PCBs)의 축적도와 분포특성을 조사하였다. 낙동강의 구미부터 하구언까지 모두 5개 지점에서 붕어와 황소개구리를 채집하였으며, 이들의 근육 부분을 최종 분석시료로 하였다. PCBs의 정량분석은 GC-MSD 시스템으로 처리하였으며, PCBs 총농도를 대변할 수 있는 62개 congener를 분석항목으로 선정하였다. 붕어에서는 모두 24개의 congener가 검출되었고 총 PCBs 농도는 0.74~5.41 ng/g wet weight 범위로 나타났다. 황소개구리에서는 낙동강 하구언 1개 지점에서 단지 2개의 congener가 검출되었고 그 농도도 0.24 ng/g wet weight로서 붕어보다 약 22배 정도 낮게 검출되었다. 전체적으로, PCB 153이 가장 높게 검출된 congener이고, penta- 및 hexa-CBs가 총 PCBs의 78%를 차지하였다.

Abstract : We collected crucians (*Carassius auratus*) and leopard frogs (*Rana pipiens*) along the Nakdong River and the basin area at five locations from Koomi to Nakdong-estuary. The muscular tissue were separated and a GC-MSD system was used for quantification of PCBs. The 62 PCB congeners which represent total PCB levels were selected as analytes. We determined concentrations of PCBs and studied distribution characteristics by individual congeners and homologs. In the crucian, 24 congeners were detected and total PCB levels ranged from 0.74 to 5.41 ng/g wet weight. In the leopard frog, however, only 2 congeners were detected from Nakdong estuary only. The PCB level was 0.24 ng/g wet weight, around 22 times lower than the crucians. The PCB 153 showed the highest concentrations in the congeners and penta- and hexa-CBs showed the strong predominance which accounted for 78% of the total PCBs.

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)51-510-2246 Fax : +82+(0)51-510-3294

E-mail : ghjeong@pusan.ac.kr

Key words : pcb, polychlorinated biphenyls, fish, crucian, frog

1. 서 론

낙동강은 그 길이가 약 525 km로서 우리나라에서 가장 긴 강이며 총 인구 7백만을 헤아리는 대구광역시와 부산광역시의 주요 상수원이다. 따라서 낙동강 유역에 설립된 많은 공업단지로부터 배출되는 다양한 환경오염물질이 어느 정도 수질에 영향을 미치는지 큰 관심이 되고 있다. 특히 다이옥신과 같은 내분비계 장애물질에 대한 오염 정도는 환경단체뿐만 아니라 일반 시민들로부터도 지대한 관심의 대상이 되고 있다. PCBs도 다이옥신에 버금가는 유해성을 가진 내분비계 장애물질로서 그 생산, 판매 및 사용이 오래 전에 금지되었음에도 불구하고 세계 전역의 대부분의 환경매질에 널리 분포되어 있는 것으로 조사되고 있다.

PCBs는 축전기와 변압기 내에 절연체로 사용되는 등 다양한 용도에 상업적으로 생산된 혼합물이다. 가장 큰 PCBs 제조회사는 미국의 Monsanto사였으며 Aroclor[®]란 상품명으로 1930년부터 1977년까지 판매되었다. Aroclor는 변압기, 축전기, 인쇄용 잉크, 페인트, 살충제 등 많은 분야에 이용되었다. PCBs는 환경 중에서 잘 분해되지 않고 친지질성이기 때문에 잔류성이 강하며 생체 내에서 농축되는 경향이 있다. 살충제, 잉크, 페인트 등에 사용된 PCBs는 대기 중에 바로 노출되어 환경 중에 저농도로 광범위하게 방출되게 하였으며, 변압기나 축전지 등 밀폐된 상태에서 사용된 PCBs도 누출, 부적절한 처리 혹은 폐기로 인하여 환경 중에 방출되었다. 이들은 초기 오염지역으로부터 점진적인 이류(advection)에 의해 다른 지역으로 광범위하게 퍼져나갔다. Jensen과 그의 동료들이 PCBs가 해양 생물체 내에 축적되어 있음을 발표한 이후¹ PCBs의 환경 중 거동에 대한 수많은 연구가 수행되어 왔다.

오늘날 PCBs는 대기, 토양, 퇴적물, 생물체 및 사람 등 모든 환경 매질과 전세계 모든 지역에서 검출되고 있다.²⁻⁶ 우리나라에서도 PCBs는 환경 중에 광범위하게 분포되어 있는 것으로 보고되고 있다.⁷⁻¹¹ 야생 생물체에 대한 PCBs의 노출은 주로 먹이 사슬을 따라 위로 이동되며, 물고기와 같이 지질 함량이 높은 조직에 농축된다. 본 연구에서는 낙동강 및 그 유역에 서식하는 붕어

(*Carassius auratus*)와 황소개구리(*Rana pipiens*)를 채집하여 체내에 잔류하는 PCBs의 함량을 정량분석하고 그 분포특성을 조사하였다. 붕어는 국내 하천에서 가장 널리 서식하고 있으므로 민물고기를 대표하는 어종으로 선정되었고, 황소개구리 또한 우리나라에서 가장 광범위하게 서식하는 양서류의 대표종으로 선정되었다. 본 연구결과는 수서 생물체에 대한 PCBs 잔류실태를 파악하고 생물 축적도 및 인체건강 위해성 평가를 위한 기초자료로서 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험

2.1. 시료의 채취

생물시료는 낙동강을 따라 구미, 고령, 남강, 남지, 낙동강하구언 등 5개 지점에서 2002년 4월부터 6월까지 채집하였으며, 시료 채취 지점은 Fig. 1에 나타내었다. 분석용 시료는 근육부분을 분리하여 균질화한 후 사용하였고 -4 °C 이하에서 냉동보관하였다.

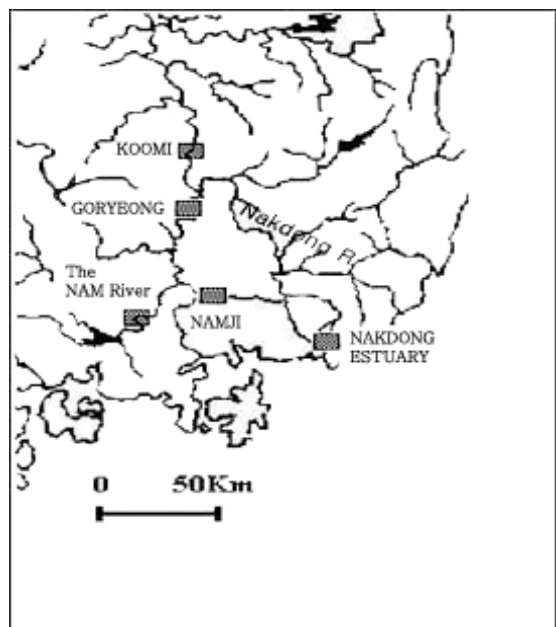


Fig. 1. Sampling sites along the Nakdong River

2.2. 실험 기구 및 시약

시료의 추출에 사용된 속실텍 추출장치는 지름 50 mm, 용량 200 mL의 몸통과 500 mL의 플라스크, 지름 43 mm, 길이 125 mm의 유리 섬유제 텀블(thimble), 그리고 냉각장치 및 수조로 구성된 것이다. 시료의 농축에 사용되는 진공회전증발기는 Büchi사의 Rotavapor R-114를 사용하였고, 건조에 사용된 기구는 일신사의 TDF5505 동결건조기이다.

중류수는 3차중류수를 n-헥산으로 세정한 후 24시간 동안 방치한 것을 사용하였고, 모든 유기용매는 잔류농약 분석용, 무수 황산나트륨은 잔류농약 분석용 또는 특급시약, 그리고 기타 시약들은 특급 혹은 그 이상의 것을 사용하였다.

2.3. 표준물질

PCBs 표준물질은 Wellington Lab.의 BP-MS를 (Table 1 참조), 정제용 내부표준물질은 Wellington Lab.의 MBP-CG를 사용하였다 (Table 2 참조). 실린지 첨가용 내부표준물질은 페리렌-d₁₂ (264.2)를 사용하였다.

Table 1. PCB congeners mixed in the standard BP-MS

PCB congeners	IUPAC No.
Monochlorobiphenyl	1, 3
Dichlorobiphenyl	4, 8, 10, 15
Trichlorobiphenyl	18, 19, 22, 28, 33,37
Tetrachlorobiphenyl	44, 49, 52, 54, 70, 74, 77, 81
Pentachlorobiphenyl	87, 95, 99, 101, 104, 105, 110, 114, 118, 119, 123, 126
Hexachlorobiphenyl	128, 138, 149, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 167, 168, 169
Heptachlorobiphenyl	170, 171, 177, 178, 180, 183, 187, 188, 189, 191
Octachlorobiphenyl	194, 199, 201, 202, 205
Nonachlorobiphenyl	206, 208
Decachlorobiphenyl	209

2.4. 실험방법

2.4.1. 시약 및 초자의 준비

분석에 사용되는 모든 초자는 세제용액으로 세척한 후 중류수로 세척하여 건조시킨 후 사용하였다. 5% 함유 실리카겔 컬럼은 다음과 같이 제조하였다. 컬럼크로

Table 2. ¹³C-PCB congeners mixed in the internal standard MBP-CG

PCB congener	IUPAC No.
4-Chloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	3
4,4'-DiChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	15
2,4',5-TriChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	31
2,2',5,5'-TetraChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	52
2,3',4,4',5-PentaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	118
2,2',4,4',5,5'-HexaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	153
2,2',3,4,4',5,5'-HeptaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	180
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	194
2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	206
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-DecaChloro[¹³ C ₁₂]biphenyl	209

마토그래피용 실리카겔 (Wakogel S-1, Japan)을 130 ℃에서 15시간 가열하여 활성화시킨 다음 95 g을 300 mL의 갈색 유리병에 넣고 실온까지 냉각한다. 실리카겔을 교반하면서 흡피펫을 사용하여 헥산 세정수 5 mL를 적하하여 함수시키고, 발열이 끝날 때까지 혼합한다. 다시 진탕기에서 30분간 진탕시킨 후 실리카겔 데시케이터에서 24시간 이상 보관한 것을 사용한다.

2.4.2. 분석방법 흐름도

전체적인 분석과정은 아래의 분석방법 흐름도를 Fig. 2에 정리하였다.

2.4.3. 기기분석 및 GC-MSD의 조건

기체크로마토그래피-질량선택검출기 (GC-MSD)는 Hewlett Packard사의 HP6890 GC-Agilent 5973N MSD를 사용하였다. 기체크로마토그래피 분석의 시료주입은 Agilent사의 10 µL 실린지를 사용하였다. 구체적인 GC-MSD 기기 조건은 Table 3에 정리하였다.

실험을 시작하기 전에 분석장비인 HP 6890GC 및 Agilent 5973N MSD의 성능을 평가하여, 기준을 만족하는지의 여부를 확인 한 후 측정하였으며 그 과정은 다음과 같다. PFTBA (perfluorotributylamine)를 사용하여 MS parameter를 조절하는 autotune을 실시하고 피이크 모양과 m/z 69, 219, 512에 대한 mass assignment가 ± 0.2 amu 내에 있는지, 피이크 너비가 0.5±0.05 amu 범위에 있는지 확인한다. p,p'-DDT, benzidine 및 pentachlorophenol의 1 mg/L 혼합표준액 1 µL를 GC-MSD에 주입하여 scan mode에서 측정하여 p,p'-DDT의 p,p'-DDD 및 p,p'-DDE

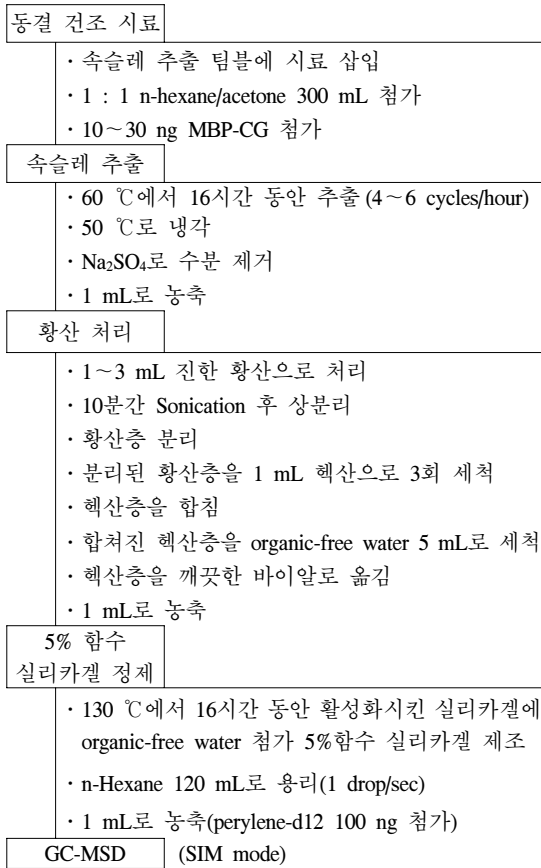


Fig. 2. Flowchart for Analytical Method.

로의 분해정도가 20%를 넘지 않는가를 확인하고 ben-zidine과 pentachlorophenol이 현저한 테일링이 없는 것을 확인한다. 이것을 만족하지 않을 경우에는 insert를 교환하고, 컬럼의 앞쪽 끝을 절단하거나 컬럼을 교환한다. 검량선의 최하한 농도를 측정하여 필요한 감도가 얻어지는 지를 확인한다.

GC 자동주입장치로 Agilent 9301-0713을 사용하여 주입구 온도는 250 °C, 전량주입의 조건으로 2 µL 주입한다. 시료주입 전후로 n-헥산으로 10회, 메탄올로 5회 이상 세척한다. 질량검출기에서 각 동족체의 2~3개 이온을 선택이온검출법(SIM)으로 검출하고, 그 선택이온의 머무름 시간과 면적비를 검사하여 PCBs인 것을 확인한 다음 가스크로마토그램의 피이크 면적에 대해 동위원소와 표준물질로부터 구한 RF를 이용하여 감도계수법으로 정량한다.

2.4.4. 검량선 작성

다섯 단계 (1, 10, 25, 50, 100 ng/mL)의 검량선 작성용 표준용액 2 µL를 GC-MSD에 주입하고 얻은 크로마토그램의 표준물질과 내부표준물질과의 피이크 세기(면적 또는 높이)의 비로부터 검량선을 작성하였다.

2.4.5. 분석결과의 계산

다섯 단계 (1, 10, 25, 50, 100 ng/mL)의 표준용액 2 µL를 GC-MSD에 주입하여 아래 식과 같이 감도계수(RF)를 구하였다.

Table 3. Instrument conditions for determination of PCBs

		Conditions		
GC	· column	HP5-MS (5% Phenyl Methyl Siloxane) (30 m×0.25 mm I.D.×0.25 µm film thickness)		
	· carrier gas	He (99.999%) at 40 cm/s		
	· injection port temp.	250 °C		
	· injection mode	Splitless, 2 µL injection		
	· oven temp. programing	initial	rate	final
MS		70 °C 2 min	30 °C/min, 5 °C/min	170 °C 0 min 300 °C 10 min
	· interface temp.	280 °C		
	· ionization mode	electron ionization		
	· electron energy	70 eV		
	· ion source temp.	220 °C		
	· detection mode	Selected Ion Monitoring (SIM)		
	· solvent delay	6.5 min		

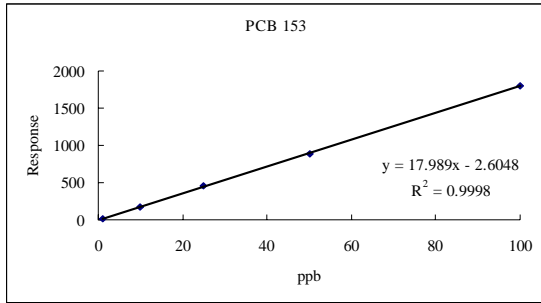


Fig. 3. Calibration curve of standard PCB 153.

$$RF = \frac{(A_s \times C_{is})}{(A_{is} \times C_s)}$$

- 여기서, A_s = 표준물질 측정이온의 피이크 면적
- A_{is} = 정제용 내부표준물질 측정이온의 피이크 면적
- C_{is} = 검량선작성 표준액 중의 정제용 내부 표준물질의 양 (ng)
- C_s = 검량선작성 표준액 중의 표준물질의 양 (ng)

감도계수 (RF) 값을 이용하여 아래의 식에 따라서 시료를 정량하였다.

$$\text{시료의 농도 (ng/g)} = \frac{(A_a \times C_{is})}{(A_{is} \times RF \times \text{시료량 (g)})}$$

- 여기서 A_a = 분석대상물질 측정이온의 피이크 면적
- A_{is} = 정제용 내부표준물질 측정이온의 피이크 면적
- C_{is} = 검량선 작성 표준액 중의 정제용 내부 표준물질의 양 (ng)

RF의 상대표준편차가 15% 이하의 경우에는 평균 RF를 이용하여 시료를 정량하였으며, 매 시료 분석전에 검량선 작성용 표준용액의 중간농도에 해당하는 표준액을 측정하여 얻어진 정량값이 농도의 $\pm 15\%$ 이내에 있는 경우 평균 RF를 그대로 시료정량에 적용하였고, $\pm 15\%$ 를 넘는 경우에는 모든 표준액을 측정하여 새로운 평균 RF를 구하여 시료정량에 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 검출한계 및 분석 회수율

검출한계를 구하기 위하여 검량선 최하한 농도의 2 ~ 5배 (또는 목표검출한계의 2 ~ 5배)가 되도록 핵산 세정수에 분석대상물질을 넣고 첨가회수시험을 7회 수행하였다. 검출값의 표준편차(s)를 구하고 다음 식에서 검출한계 (DL)를 구하였으며, PCBs의 각 homolog별 검출한계를 Table 4에 정리하였다.

$$DL = 1.943s$$

Table 4. Observed Detection Limit of PCBs

		(unit : $\mu\text{g/kg}$)
PCBs	Detection Limit	
Mono-chlorobiphenyl	0.05	
Di-chlorobiphenyl	0.05	
Tri-chlorobiphenyl	0.07	
Tetra-chlorobiphenyl	0.07	
Penta-chlorobiphenyl	0.07	
Hexa-chlorobiphenyl	0.07	
Hepta-chlorobiphenyl	0.07	
Octa-chlorobiphenyl	0.07	
Nona-chlorobiphenyl	0.05	
Deca-chlorobiphenyl	0.04	

회수율은 정확한 조성이 알려진 CRM (CARP-2, Wellington Lab., Canada)을 이용하여 동일한 분석방법으로 분석하여 측정하였고, 60 ~ 130% 범위를 벗어나면 정제과정을 다시 수행하였다. 회수율을 3회 측정하여 평균한 결과는 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Recovery rate of CRM CARP-2 (unit : %)

Cl no.	PCB #				Average	Relative
		1	2	3	recovery	standard
					rate	deviation
3	18	67.0	68.2	67.4	67.5	0.6
	28	87.4	91.2	87.7	88.7	2.1
	52	93.1	103.6	99.6	98.8	5.3
4	44	90.1	98.7	95.1	94.6	4.4
	5	118	69.8	72.2	73.1	71.7
6	153	78.2	75.5	79.1	77.6	1.9
7	180	85.7	86.4	88.6	86.9	1.5
8	194	79.4	74.2	80.2	78.1	3.4
9	206	90.1	79.1	85.2	84.8	5.5

3.2. PCBs의 분포 특성

낙동강을 따라 5개 시료채취 지점에서 채집한 붕어와 황소개구리에 대하여 총 62개 PCB congener의 측정을 수행하였으며 전체적으로 붕어에서 검출빈도와 농도가 황소개구리보다 훨씬 높게 나타났다. 붕어에서는 24개의 congener가 검출되었지만 황소개구리에서는 2개의 congener만 검출한계 이상으로 나타났다.

황소개구리: 낙동강하구연 1개 지점에서 단지 2개의 congener가 검출되었다. 검출된 congener는 PCB 153과 180이며 각각 0.13 및 0.11 ng/g(습중량)이었다.

붕어: 구미 등 5개 전 지점에서 골고루 검출되었다. 낙동강 상류로부터 하류로 이어지는 순서대로 구미, 고령, 남지, 낙동강하구연의 각 지점에서 검출된 congener 별 농도와 분포 특성은 Fig. 4-8에 나타내었다. 각 지점에서의 총 PCBs 농도는 구미 0.88 ng/g, 고령 3.71 ng/g, 남지 0.74 ng/g, 낙동강하구연 5.41 ng/g, 그리고 낙동강에 합류되는 큰 지류인 남강 지점에서 4.43 ng/g으로 나타났다. 고령 지점과 남강 지점이 합류된 직후에 있는 남지 지점에서 가장 낮은 농도를 보여주고 있다. 이것은 한 지점에서 채집된 붕어 체내의 PCBs 축적도가 상류 지점의 영향을 받지 않는 것으로 보인다. Fig. 9은 각 지점에서의 총 PCBs 농도를 도표로 나타낸 것이다.

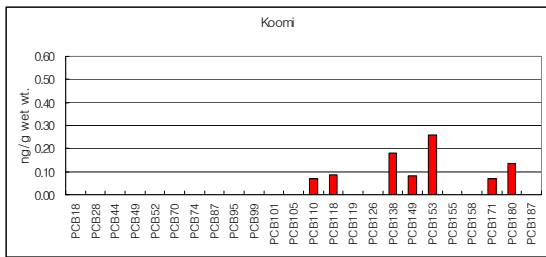


Fig. 4. PCB congener profiles in crucian from Koomi.

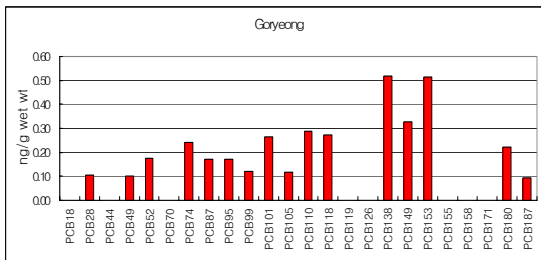


Fig. 5. PCB congener profiles in crucian from Goryeong.

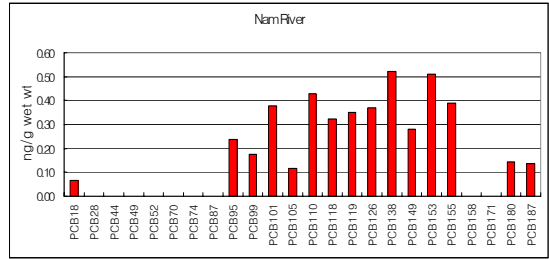


Fig. 6. PCB congener profiles in crucian from the Nam River

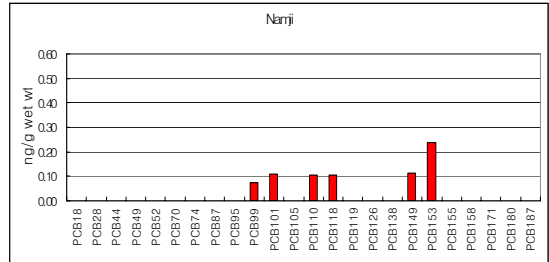


Fig. 7. PCB congener profiles in crucian from Namji.

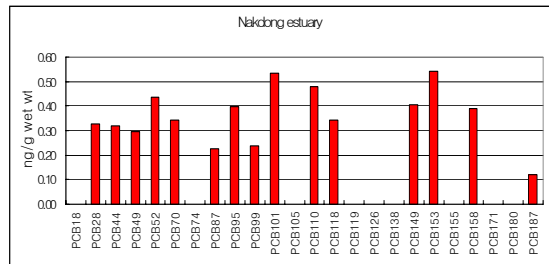


Fig. 8. PCB congener profiles in crucian from Nakdong estuary.

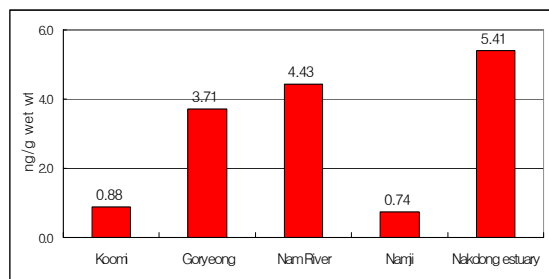


Fig. 9. Total PCB levels in crucian from the 5 sites along the Nakdong River.

일반적으로 PCB 101, 118, 138, 153, 180 등이 물고기로부터 검출되는 PCBs의 주요 congener에 해당된다. 이러한 경향은 본 연구에서도 같이 나타났다. Fig. 10는 5개 지점에서 채집한 붕어 체내에서 검출된 PCBs congener들을 모두 합친 값들을 나타낸 것이며, PCB 153이 가장 높은 농도이고, 그 다음으로 PCB 110, 101, 138, 149, 118의 순서를 보여준다. 이들 6개의 congener들이 붕어로부터 검출된 총 농도의 55% 정도를 차지하고 있다.¹² Manirakiza 등이 아프리카 Burundi의 Tanganyika호에서 채집한 Capitaine (Nile perch와 비슷한 농어류의 물고기, 학명: *Lates angustifrons*) 등 7종의 물고기 체내에 축적된 PCBs의 분석에서도 PCB 153, 138, 149 등이 가장 농도가 높은 congener로 관찰되었다. 한편, 아르헨티나의 호수 물고기의 난소 (ovary), 간 (liver), 근육 등을 분리하여 PCB의 농도를 측정된 결과에서도 조직의 종류에 상관없이 같은 경향을 나타내고 있다.¹³ 낙동강 지점에서 관찰된 붕어 체내의 PCBs 농도 수준은 낮은 지점은 개발도상국을 대표한다고 볼 수 있는 캄보디아에서 채집한 민물고기 체내의 농도 수준과 비슷하며,¹⁴ 높은 지점은 영국 템즈강 상류에서 채집한 잉어 (roach)¹⁵ 또는 스페인의 Turina강에서 채집된 송어 (trout)¹⁶에서 관찰된 PCBs 농도 수준과 비슷하다.

Fig. 11은 PCBs에 결합된 염소 원자의 개수에 따라 분류한 homolog에 따른 농도를 표시한 것이다. Penta-CBs가 총 PCBs의 43%를 차지하며 가장 높은 값을 보인다. 다음으로 hexa-CBs가 35%를 차지하는 것으로 나타났다. 이들 두 종류의 homolog가 총 PCBs의 약 78%에 해당되어 전체 농도의 대부분을 차지하고 있다. 다음으로 tetra-CBs 13%, hepta-CBs 6.1% 그리고 tri-CBs가 3.3%를 차지하고 있다. 가벼운 homolog인 mono- 및 di-CBs 그리고 무거운 homolog인 octa-, nona- 및 deca-CBs는 검출되지 않았다.

황소개구리와 붕어 체내의 PCBs 축적도는 매우 큰 차이를 보여주고 있다. 황소개구리는 낙동강하구인 1개 지점에서만 검출되었고 총 PCBs 농도는 0.24 ng/g (습중량)에 불과하였다. 이것은 같은 지점에서 채집한 붕어 체내의 총 PCBs 농도와 비교하면 대략 23분의 1에 해당된다. 붕어를 채집한 5개 지점을 모두 합친 총 PCBs 농도는 15.17 ng/g (습중량)으로서 황소개구리의 0.24 ng/g에 비하여 63배정도 높은 값이다. 붕어 체내의 PCBs 축적도가 황소개구리에 비하여 훨씬 높게 나타나는 경향은 같은 시료를 분석한 다른 결과와 일치한

다.^{8,9} 황소개구리에서 관찰된 PCB 농도 수준은 미국 South Carolina주 Pickens County에 위치한 유해 폐기물 처리지역과 오염된 하천 유역에서 채집한 황소개구리 (bullfrogs, 학명: *Rana catesbeiana*) 체내에 축적된 2.3 μg/g 보다는 훨씬 낮은 수준이며, 이들이 대조 지점에서 관찰한 50 ng/g 보다는 낮은 수준이다.¹⁷

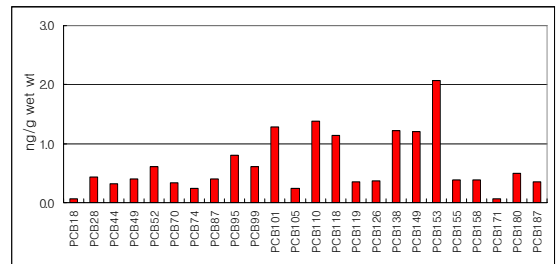


Fig. 10. Congener specific total PCB levels in crucian from the 5 sites along the Nakdong River.

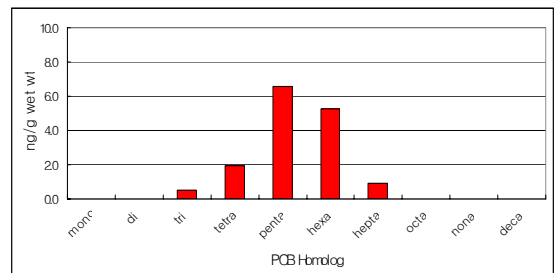


Fig. 11. Homolog specific total PCB levels in crucian from the 5 sites along the Nakdong River.

4. 결 론

본 조사의 결과에 의하면 붕어 체내에 축적된 총 PCBs 농도는 비슷한 지점에서 채집한 황소개구리 체내에 축적된 총 PCBs 농도보다 훨씬 높다. 이러한 PCBs 체내 축적도의 차이는 서식 환경과 먹이 사슬의 차이에 기인되는 것으로 보인다. 한편, 고령 지점과 남강 지점에서 상대적으로 높게 나타난 총 PCBs 농도가 바로 하류 지점인 남지 지점에서의 농도에 영향을 미치지 않는 것으로 나타남으로써 상류 오염원이 하류에 영향을 주지 않는 것으로 보인다. 이것은 PCBs가 물에 잘 녹지 않기 때문에 대부분의 PCBs는 수중의 부유물질에 쉽게

흡착되고 결과적으로 침적하여 퇴적물로 가라앉기 때문 일 것이다. 이렇게 흡착된 PCBs가 음식 사슬을 통하여 생물체에 이르는 오염원으로 거동하게 된다. PCBs 중 TEF 값이 0.1로서 가장 높은 독성을 나타내는 것으로 알려진 PCB 126은 남강 지점에서만 0.37 ng/g (습중량)으로 낮은 농도로 검출되었다. 따라서 이번 조사에서 봉어에서의 PCBs에 기인된 총 TEQ 값은 매우 낮은 수준을 나타낸다.

감사의 글

본 연구는 환경부와 국립환경연구원의 지원에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. S. Jensen, A. G. Johnels, M. Olsson and G. Olterlin. *Nature* **224**, 247-250(1969).
2. J. E. Haugen, F. Wania and Y. D. Lei, *Environ. Sci. Technol.*, **33**, 2340-2345(1999).
3. A. Motelay-Massei, D. Ollivon, B. Garban, M. J. Teil, M. Blanchard and M. Chevreuil, *Chemosphere*, **55**, 555-565(2004).
4. M. Frignani, L. G. Bellucci, C. Carraro and S. Raccanelli, *Chemosphere*, **43**, 567-575(2001).
5. K. Weber and H. Goerke, *Chemosphere*, **53**, 667-678(2003).
6. Y. H. Yang, Y. S. Chang, B. H. Kim, D. C. Shin and M. G. Ikonomou, *Chemosphere*, **47**, 1087-1095(2002).
7. Y. B. Kim, S. I. Lee, G. H. Jeong and S. W. Lee, *Organohalogen Compounds*, **62**, 85-88(2003).
8. G. H. Jeong, Y. B. Kim, D. Y. Kim, M. O. Kim, J. Y. Lee, C. H. Joo and D. H. Moon, *Organohalogen Compounds*, **59**, 25-28(2002).
9. G. H. Jeong, D. Y. Kim, M. O. Kim, J. Y. Lee and Y. B. Kim, *Organohalogen Compounds*, **51**, 344-347(2001).
10. G. H. Jeong, H. J. Kim, Y. J. Joo, Y. B. Kim and H. Y. So, *Chemosphere*, **44**(6), 1403-1411(2001).
11. G. H. Jeong, Y. B. Kim and H. Y. So, *Organohalogen Compounds*, **46**, 391-394(2000).
12. P. Manirakiza, A. Covaci, L. Nizigiymana, G. Ntakimazi and P. Schepens. *Environmetal Pollution*, **117**, 447-455(2002).
13. M.A.Gonzalez Sagrario, K.S.B. Miglioranza, J.E.A. Moreno, V.J. Moreno and A.H. Escalante. *Chemosphere*, **48**, 1113-112(2002).
14. I. Monirith, H. Nakata, S. Tanabe and T.S. Tana. *Marine Pollution Bulletin*, **38**, 604-612(1999).
15. N. Yamacuchi, D. Gazzard, G. Scholey and D.W. Macdonald. *Chemosphere*, **50**, 265-273(2003).
16. L.R. Bordajandi, G. Gómez, M.A. Fernández, E. Abad, J. Rivera and M.J. González. *Chemosphere*, **53**, 163-171(2003).
17. L.W. Fontenot, G.P. Noblet, J.A. Akins, M.D. Stephens and G.P. Cobb. *Chemosphere*, **40**, 803-809(2000).