

부산신항만 공사 진행에 따른 수달 배설물 내 폴리클로로비페닐(PCBs)의 농도 분포

위성욱¹ · 이다희¹ · 차현기² · 윤명희^{3,†}

¹경남대학교 도시환경공학과, ²국립생태원 생태보전연구소, ³경성대학교 화학생명과학부

Concentration Distribution of Polychlorinated Biphenyls in Otter Scats from Active Construction Sites of the Busan New Port

Sung-Ug We¹, Da-Hee Lee¹, Hyeon-Gi Cha², and Myung-Hee Yoon^{3,†}

¹Department of Urban Environmental Engineering, Kyungnam University, Changwon 51767, Korea

²Division of Ecological Conservation, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

³School of Chemistry and Life Sciences, Kyungsoo University, Busan 48434, Korea

Received November 17, 2017/Revised December 2, 2017/Accepted December 4, 2017

This study was conducted to investigate the contamination status and distribution of the isomers of polychlorinated biphenyls (PCBs) in otter (*Lutra lutra*) scats collected from 17 localities in 3 regions (I-III) near the Busan New Port from 2003 to 2014. Detectable levels of Σ PCBs were found in all the samples. The mean concentration of Σ PCBs ranged from 3.40 to 50.4 ng/g in three of the study regions. The levels of Σ PCBs in the three regions were compared. A relatively high level of Σ PCBs was detected in region I, where the construction works were the most active. However, this had no statistical significance. Congener profiles showed that PCB-153 (mean contribution=28%) was predominant, followed by PCB-138 (24%), PCB-118 (17%), PCB-180 (11%), and PCB-52 (5%). High levels of PCB-153 and PCB-138, which are usually found at high levels in fish, in the otter scats suggest that the PCBs might have originated from fish, which are the primary source of food for otters. The results obtained suggest that otters ingest PCBs when they consume contaminated fish in coastal areas with active construction works.

Key words: PCBs, Eurasian otter, *Lutra lutra*, Scat, Busan New Port

1. 서 론

유라시아 수달(*Lutra lutra*) 개체군은 지난 수 십년 동안 전 세계적으로 크게 감소하였으며, 현재 대부분의 국가에서 이 종은 멸종위기에 처해있다. 서유럽의 경우 1950년대부터 1980년대까지 서식지 파괴와 사냥 등에 의하여 그 수가 급격히 감소하였고^{1,2)} 인도네시아 서부와 수마트라 섬에서도 멸종위기에 처했음이 보고된 바 있다.³⁾ 특히, 일본에서는 근대화에 따른 환경악화로 1990년대에 수달이 멸종한 바 있다.⁴⁾

수달 개체수는 많은 환경요인에 의해 영향을 받았다.

사냥 및 낚시 그물에 많은 개체수가 포획되었지만, 유기염소계농약과 PCBs (Polychlorinated biphenyls)의 생물농축에 따른 수환경의 오염은 수달의 개체수를 전 세계적으로 감소시킨 가장 높은 원인 중 하나로 생각되고 있다.⁵⁻⁷⁾ 수달은 현재 IUCN Red list,⁸⁾ 베른 협약(부속서 II) 및 CITES 협약(부속서 D)에 의거하여 전 세계에서 완전히 보호되고 있다.⁹⁾ 우리나라에서는 멸종위기종 1급 및 천연기념물 제330호(1968년)로 지정되어 있으며, 해안 및 하천 주변에 분포되어 있다.¹⁰⁾ 그러나 우리나라에서도 1960년대 이후 급속한 산업화에 따른 각종 개발 및 제방이나 댐 축조 등으로 인하여 하천 주변

[†]To whom correspondence should be addressed.

의 서식지가 상당히 파괴되어 수달의 생존을 위협하며, 개체수 감소를 가져왔고, 해안의 경우 특히, 남해안에서 수달의 서식 영역이 축소되었음이 보고된 바 있다.¹¹⁾

한편, 유기염소계농약과 PCBs (Polychlorinated biphenyls)의 생물농축에 따른 해양환경의 오염은 수달의 광범위한 감소를 야기시켰다. PCBs는 물리·화학적으로 안정되어 환경 중에 유입되면 높은 잔류성과 난분해성 그리고 생물독성이 강한 환경오염물질이다.¹²⁾ 수역에 배출된 지용성인 유기염소계화합물은 유기물질로 흡착, 분배되어 그 입자성물질은 저층으로 침강·퇴적되며, 저서생물에 의해 이용된다.¹³⁾ 이들 축적된 PCBs는 먹이사슬의 하위단계에서 상위단계로 전위되어 생태계 내 먹이사슬에 따라 이동하면서 생물농축되고 최종적으로 생체 내 갑상선 호르몬 대사 방해와 같은 내분비계 교란을 일으키는 것으로 보고되고 있다.¹⁴⁾

수달은 먹이사슬의 최상위 포식자들과 마찬가지로 PCBs나 유기염소계 화합물 같은 독성 화합물의 축적 및 생물농축에 노출되어 있다. 특히 가덕도 일원은 부산신항만 공사가 1997년부터 시행된 이래 수달의 주요 서식지가 사라지고 있으며¹⁵⁾ 인근의 녹산 국가산업단지 업체 수의 증가로 인하여 수계에 유입되는 오염물질의 부하량이 증가하고 있고 조사지역 인근의 토양에서는 PCBs 화합물이 2005년 이후 지속적으로 증가하였음이 보고된 바 있다.¹⁶⁾ 이러한 급속한 환경오염은 수달의 먹이원인 어류 등 해양생물의 감소를 초래했을 가능성이 크다고 판단되어진다.

따라서 본 연구에서는 부산신항만 공사가 진행 중인 가덕도 일원에서 수달 배설물을 채취하여 유엔환경계획 (United Nations Environment Programme, UNEP)에서 배출감소 및 규제를 위한 우선적 오염물질로 규정하고 있는 PCBs의 오염도를 파악하여 이 지역에서 서식하는 수달의 보호 방안을 세우기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구지역 및 시료채취

본 연구지역은 1997년부터 현재까지 국지적으로 부산신항만 공사가 진행되고 있는 가덕도 일원의 총 12개 섬의 16개 지역을 대상으로 실시하였다. 연구지역 구분은 수달 암컷 한 개체의 중핵지(Core area)의 범위가 해안에서는 0.5~1.6 km 정도¹⁷⁾인 점으로부터 조사지역 반경 1 km 범위에 포함되는 섬들을 암컷 1개체의 중점

서식지로 판단하여 16개 지역을 5개 영역(I~V)으로 나누었다. I영역에는 가덕도의 두문, 천성, 대항, 새바지 및 외양포, II영역에는 가덕도 북서부의 호남도, 토도 및 입도, III영역에는 가덕도 서부의 대죽도, 중죽도, IV영역에는 창원시 남동부의 연도 및 수도, V영역에는 창원시 남서부 지역의 음지도, 우도, 초리도 및 지리도가 포함된다. 그러나 II 영역과 IV 영역의 최단거리가 약 1.7 km인 점, I 영역과 III 영역이 수달의 주요 먹이원인 어류의 서식지가 공유되는 점 등을 토대로, 이를 다시 3개의 영역(A, B 및 C)으로 구분하였다(Fig. 1).

수달배설물 채집은 2003년부터 2014년까지 각 분기별로 3개 영역(16개 지역)에서 해안선을 따라 이동하는 수달의 생태적 습성을 고려하여 해안선을 따라 도보로 관찰하며, 배설물을 채취하였다. 수거한 배설물은 각각 폴리에틸렌 비닐 백에 넣어 밀봉한 후 실험실로 이송한 다음 분석 전까지 -30°C 냉동고에 보관하였다. 각 분기별로 3개 영역에서 채집한 수달배설물은 수달의 행동양식 및 출산시기 등을 고려하여 먹이원 및 행동양식이 유사한 계절(봄-겨울 및 여름-가을)의 배설물을 혼합하여 분석용 시료로 사용하였다.

2.2. 추출 및 정제

실험에 사용되는 모든 초자기구는 초음파 세척 후 아세톤, n-헥산으로 각각 3회 이상 세척하여 오염물질을 제거하였고, 실험에 사용된 모든 용매는 AR 또는 HPLC급 시약을 사용하였다.

요약하면, 속슬렛 추출용 원통여지에 건조된 수달배설물 10~15 g에 회수를 검정을 위한 내부 표준물질 PCB-103, PCB-198을 각각 50 ng 첨가한 다음 속슬렛 추출기에서 염화메틸렌(ultra residue analysis, J.T. Baker, USA) 300 mL를 추출용매로 16시간 이상(추출 회차수 24회 이상) 추출하였다. 추출액은 무수황산나트륨(PCB analysis grade, Wako, Japan)을 이용하여 수분을 제거한 후 회전증발농축기를 이용하여 약 2~3 mL까지 농축하였다. 농축된 추출액은 GPC 컬럼, 그리고 130°C에서 18시간 동안 활성화시킨 실리카겔(Wakogel S-1, PCB analysis grade, Wako, Japan) 3 g이 충전된 컬럼크로마토그래피를 이용하여 정제하였으며, 용리액으로서 150 mL의 n-헥산을 넣어 1초 1방울의 유속으로 추출액을 용출하였다. 용출액은 회전증발농축기를 이용하여 약 2~3 mL까지 농축한 다음 질소기류 하에서 0.5 mL까지 농축한 후 TCMX (tetrachloro-m-xylene) 기체크로마토그래프 내부표준물질을 10 ng을 첨가하여

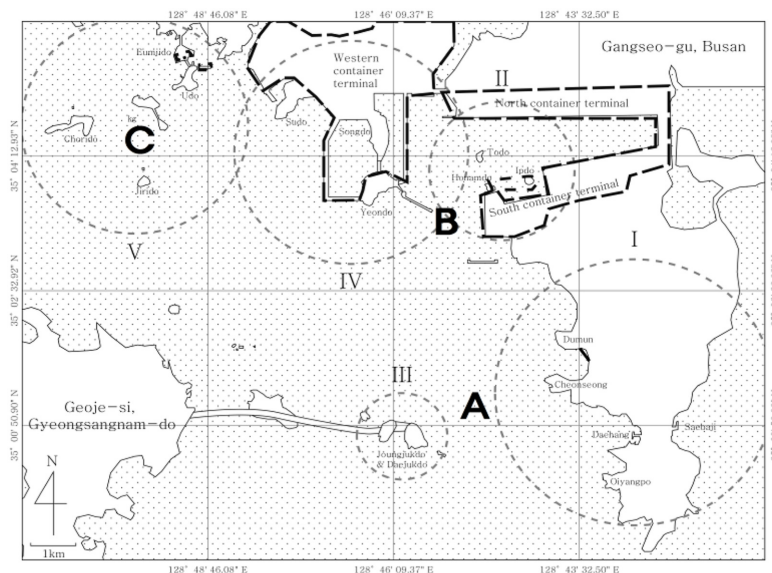


Fig. 1. Maps of study areas and construction sites (broken lines) conducted during the period from 2003 to 2014.

GC- μ ECD를 이용하여 분석하였다.

2.3. 기기분석

PCB 화합물은 GC- μ ECD (Hewlett Packard 6890 Series GC, ^{63}Ni electron capture detector μ ECD, USA)를 이용하여 정성-정량 분석하였다. 분석에 이용된 컬럼은 DB-5 (30 m \times 0.25 mm I.d., 0.25 μm)이며, Carrier Gas는 질소를 이용 1.0 mL/min의 조건에서 시행하였다. PCBs의 가스크로마토그래피의 온도 프로그램은 주입구의 온도 250°C에서 splitless mode로 검출기의 온도는 300°C를 유지하였다. 컬럼 오븐의 운전조건은 100°C (2 min hold), 15°C/min to 160°C (1 min hold), 5°C/min to 300°C (15 min)의 운전조건으로 검출하였다.

2.4. 정성 및 정량(QA/QC)

PCB 화합물의 표준물질은 순도, 농도 및 신뢰성이 검증된 것을 구입하여 사용하였다. PCB 화합물의 표준용액 및 내부표준물질은 AccuStandard사에서 구매하여 n-헥산으로 조제, 희석하여 사용하였다. 내부표준물질로 첨가된 PCB-103 및 PCB-198의 회수율은 82~105%의 범위로 나타났다. 기기의 검출한계(3 σ , limit of detection, LOD)는 0.01~0.53 ng/g이었으며 평균반복성(1 σ)은 10% 이내로 정량치가 검출한계 이하일 경우에는 불

검출로 처리하였다. 본 연구에서는 14개의 PCB 이성체 (IUPAC no. 20, 28, 31, 44, 52, 101, 105, 118, 138, 149, 153, 170, 180 및 194)를 분석하였고 농도 합계를 Σ PCBs로 표시하였다. 바탕시료(blank sample) 분석은 용매나 초자로부터 방해물질 또는 오염을 검토하기 위하여 6개 시료마다 1개씩 동시에 분석하였다. 지방함량은 수달배설물 2~3 g을 칭량하여 속슬렛을 이용한 에테르 추출법으로 추출한 다음 중량법을 이용하여 지방함량을 계산하였다.

2.5. 통계 분석

수달배설물 내 PCBs 농도분포의 정규성(Normality) 검증은 Shapiro-Wilk test를 수행하였다. PCBs 농도에 대한 지역 간 농도비교는 일원적 분산분석(one way ANOVA) 수행 후, 사후 검증으로 Bonferroni post-hoc test를 이용하여 유의한 차이를 검증하였으며, 번식기와 비번식간 대상물질의 유의한 농도차이는 Mann-Whitney U test를 적용하여 검증하였다. 피어슨 상관분석(Pearson's correlation analysis)은 PCBs 이성체의 관련성을 파악하기 위하여 사용되었고 통계적 유의성은 유의계수 (p) 0.05 이하로 하였으며, 결과 해석을 위한 데이터의 통계분석은 SPSS 23.0 K (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

부산신항만 공사가 진행되고 있는 가덕도 일원에서 채집된 수달배설물 내에 잔류하고 있는 PCBs의 농도를 Table 1에 나타내었다. 수달배설물 내 ΣPCBs의 잔류농도는 3.40~50.4 ng/g (lipid weight basis)의 범위로 3개 영역에서 채취된 모든 배설물에서 PCBs가 검출되었으며, 평균±표준편차는 24.4±12.3 ng/g이었다(Table 1).

각 영역별 수달배설물 내 ΣPCBs의 잔류농도는 가덕도 북서부의 호남도, 토도 및 입도 그리고 창원시 남동부의 연도 및 수도를 포함하는 B 영역이 28.1±13.2 ng/g로 A 영역(22.8±10.5 ng/g) 및 C영역(21.1±12.3 ng/g)에 비하여 다소 높은 농도로 검출되었으나 분산분석(One-way ANOVA) 방법으로 평가한 결과 95% 신뢰수준에서 ΣPCBs 농도와 각 영역별 유의한 상관성은 나타나지 않았다($F=1.558, p=0.222$). PCB 이성체에 대한 각 영역 간 One-way ANOVA 분석 결과에서도 PCB-194 ($F=5.295, p<0.01$)에서만 유의한 상관성이 나타났을 뿐 다른 PCB 이성체에서는 유의한 상관성은 없었으나 대부분의 PCB 이성체들의 농도 값은 B영역이 높은 농도로 검출되었다.

가장 높은 농도로 검출된 B 영역은 등대공사 및 컨테이너 부두공사가 진행되어 폐쇄성이 심한 해역으로 변화된 바 있으며, 또한 수달의 활동 및 건강에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 준설투기장 공사와 대규모 준설이 실시되어 각종 오염물질 및 퇴적물의 증대로 유기염소계 화합물의 오염이 우려되어 왔다. 연안퇴적물에 포함된 유기염소계 화합물들은 저서생물에 의해 이용되

며¹¹⁾ 이들 축적된 유기염소계 화합물은 먹이사슬의 하위단계에서 상위단계로 전이되어 이곳에 서식하는 어류 등 해양생물에 쉽게 축적될 수 있고, 이를 먹이로 하는 수달의 체내에 생물농축을 통하여 축적되므로 수달의 건강을 위협할 수 있다. 또한, 인근의 녹산 국가산업 단지의 업체수와 근무자 수 및 공업 제품의 연 생산량이 부산 신항 공사가 진행됨에 따라 지속적으로 증가함으로써, B 영역으로 유입되는 오염부하량도 더욱 증가했을 것으로 예측된다. 실제로 조사지역 인근의 토양에서는 내분비계장애물질인 PCBs 화합물이 2005년 이후 지속적으로 증가하였고, 인근 해역에서는 유해중금속인 As와 Pb 등이 2008년 이후 증가하였음이 보고된 바 있다.¹⁶⁾ 본 연구에서도 B 영역의 수달배설물 내 ΣPCBs 잔류농도는 2004년 17.6 ng/g에서 2005년 34.1 ng/g로 약 2배 정도 증가하였으며, 2012년(45.4 ng/g)까지 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다(Fig. 2). 이러한 급속한 PCBs의 수계 유입은 생물농축을 통하여 수달의 먹이원인 어류 등 해양생물의 감소를 초래했을 가능성이 크다고 판단되어지며, PCBs에 의한 수질 오염이 지속될 경우 수달의 개체수가 급감할 것으로 예상되어진다.

그러나 유기염소계화합물의 분포특성은 조사지역 주변특성에 따른 사용량의 차이, 휘발성, 옥타놀-물 분배계수(Octanol-water partition coefficient, Kow), 용해도, 분해성 등의 물리·화학적 특성과 같은 다양한 환경적 요인을 고려할 수 있어 보다 명확한 오염 발생원 규명을 위해서는 향후 부산신항만 공사가 진행되고 있는 가덕도 일원의 산업단지에 대한 대상오염물질의 LCA (Life cycle analysis), 물질수지 등 과학적 방법

Table 1. Concentrations (ng/g lipid weight) of PCB congeners in Scats of the European Otter (*Lutra lutra*)

Congeners	A area (n=14)		B area (n=19)		C area (n=15)		Total (n=48)		p value ^a
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	
PCB-52	1.11±1.38	n.d~4.22	1.03±1.19	n.d~3.78	1.19±1.91	n.d~7.34	1.10±1.47	n.d~7.34	0.949
PCB-101	0.60±0.63	n.d~2.18	0.71±0.53	n.d~0.62	0.75±1.07	n.d~4.03	0.69±0.75	n.d~4.03	0.866
PCB-118	3.88±1.67	1.58~8.37	4.58±2.16	1.87~8.00	3.08±2.07	n.d~6.64	3.91±2.06	n.d~8.37	0.104
PCB-153	6.46±3.06	2.34~13.4	8.44±4.62	2.58~19.7	6.11±4.11	1.79~14.2	7.14±4.12	1.79~19.7	0.202
PCB-105	1.09±0.37	0.54~1.56	1.44±0.84	0.36~2.93	1.05±0.74	n.d~2.76	1.21±0.71	n.d~2.93	0.216
PCB-138	5.49±2.79	2.13~11.3	6.90±3.42	2.30~13.3	4.94±3.09	0.70~11.1	5.88±3.20	0.70~13.3	0.182
PCB-180	2.54±1.09	0.85~4.69	3.21±1.97	0.65~9.09	2.50±1.70	0.70~6.57	2.80±1.67	0.65~9.09	0.382
PCB-170	0.85±0.38	0.39~1.56	1.16±0.79	0.11~2.66	0.84±0.61	n.d~2.11	0.97±0.64	n.d~2.66	0.257
PCB-194	0.52±0.59	0.02~1.84	0.33±0.32	n.d~1.17	0.06±0.10	n.d~0.42	0.30±0.42	n.d~1.84	0.009**
Σ ₁₄ PCBs	22.85±10.45	8.59~43.8	28.13±13.24	9.22~50.4	21.10±12.21	3.40~43.2	24.40±12.31	3.40~50.4	0.222

N.D. is not detected: the measurement was below the detection limit.

Mean: arithmetic mean, SD: standard deviation, Range: minimum~maximum.

^aSignificantly higher when compared to other area (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, p value in one way ANOVA t-test).

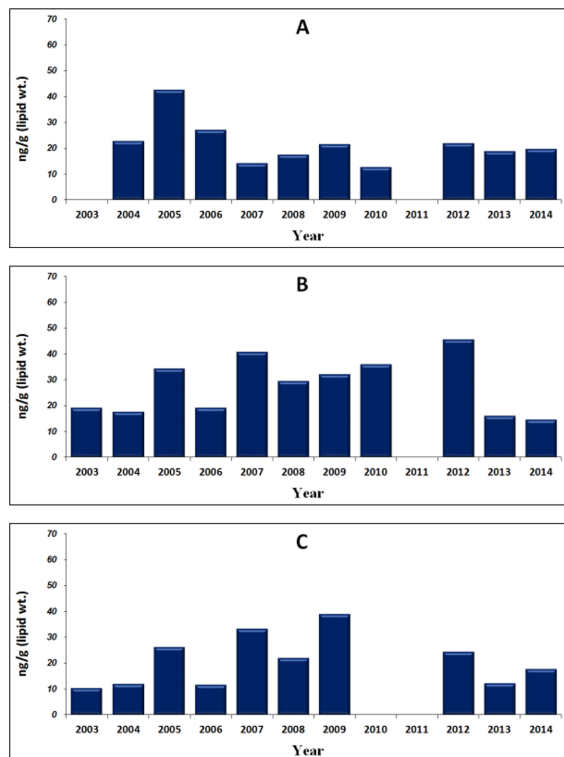


Fig. 2. Yearly variations of PCB Concentrations (ng/g lipid weight) in Scats of the European Otter (*Lutra lutra*).

을 통한 배출원 조사가 필요할 것이다.

Table 2는 수달배설물 내 PCB 화합물의 이성체별 농도를 번식기와 비번식기로 나누어 나타내었다. A 영역은 번식기(21.9 ± 14.3 ng/g)에 비하여 비번식기의 Σ PCBs 잔류농도가 23.6 ± 7.4 ng/g으로 다소 높은 농도를 보였으나 유의한 상관성은 나타나지 않았다(Mann-Whitney Utest). B영역과 C영역은 번식기의 Σ PCBs 잔류농도가 비번식기에 비하여 다소 높은 농도로 검출되었으나 95% 신뢰수준에서 통계적인 유의성은 나타나지 않았으며(Table 2), PCB의 주요 이성체인 PCB-118, 138 및 153에서도 유의한 상관성은 나타나지 않았다(Fig. 3).

가덕도 일원에서 서식하는 수달의 먹이에 관한 연구에¹²⁾ 의하면 수달은 주로 어류를 섭취하는 것으로 보고하였다. 국내 연안의 어류 중 PCB 이성체별 분포 경향은 penta-CBs, hexa-CBs가 가장 고농도로 축적되어 있으며, 대부분의 연구에서도 동일한 것으로 나타났다.^{18,19)} 특히, hexa-CBs인 PCB-138, PCB-153 등은 어류체내에서 거의 대사작용을 받지 않고 지속성이 강해 많이 축적된다고 보고되고 있다.²⁰⁾ 본 연구에서 수달배설물 내 PCB 이성체별 분포 경향은 PCB-153이 29.1%로 가장 높은 분포를 보였으며, 다음으로 PCB-138, 118 순이었다. 다른 이성체에 비하여 비교적 높은 조성을 보이는 PCB-138, 153은 주로 para-(i.e., 4,4') 위치에 염소가

Table 2. Concentration (ng/g lipid weight) of PCB congeners in 2 seasons from 2003 to 2014

Conge- ners	Breeding Season			Non-Breeding Season		
	A area (n=6)	B area (n=9)	C area (n=9)	A area (n=8)	B area (n=10)	C area (n=6)
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
PCB-18	0.07 \pm 0.17	0.02 \pm 0.07	0.02 \pm 0.07	0.01 \pm 0.02	0.10 \pm 0.32	0.31 \pm 0.51
PCB-28	0.07 \pm 0.18	0.05 \pm 0.09	0.01 \pm 0.02	0.02 \pm 0.05	n.d \pm n.d	0.01 \pm 0.01
PCB-31	0.29 \pm 0.47	0.21 \pm 0.27	0.01 \pm 0.03	0.04 \pm 0.11	0.01 \pm 0.02	0.14 \pm 0.22
PCB-20	0.08 \pm 0.20	0.11 \pm 0.20	0.05 \pm 0.09	0.02 \pm 0.05	n.d \pm n.d	n.d \pm n.d
PCB-52	2.05 \pm 1.56	1.40 \pm 1.34	1.75 \pm 2.31	0.40 \pm 0.70	0.69 \pm 0.98	0.35 \pm 0.56
PCB-44	0.07 \pm 0.17	0.14 \pm 0.16	0.02 \pm 0.07	n.d \pm n.d	n.d \pm n.d	0.02 \pm 0.04
PCB-101	0.95 \pm 0.80	0.93 \pm 0.60	0.58 \pm 0.58	0.34 \pm 0.30	0.52 \pm 0.40	1.00 \pm 1.60
PCB-149	0.03 \pm 0.05	0.03 \pm 0.05	0.23 \pm 0.65	n.d \pm n.d	n.d \pm n.d	0.42 \pm 0.80
PCB-118	3.27 \pm 1.59	4.96 \pm 2.73	3.58 \pm 2.04	4.33 \pm 1.69	4.25 \pm 1.54	2.33 \pm 2.05
PCB-153	5.79 \pm 3.68	8.69 \pm 5.85	6.48 \pm 4.70	6.96 \pm 2.66	8.22 \pm 3.49	5.56 \pm 3.35
PCB-105	0.98 \pm 0.45	1.61 \pm 1.07	1.34 \pm 0.80	1.17 \pm 0.30	1.28 \pm 0.58	0.62 \pm 0.37
PCB-138	5.09 \pm 3.69	7.36 \pm 4.43	5.39 \pm 3.40	5.80 \pm 2.13	6.49 \pm 2.36	4.28 \pm 2.73
PCB-180	2.14 \pm 1.28	3.10 \pm 2.57	2.55 \pm 1.96	2.84 \pm 0.90	3.31 \pm 1.36	2.42 \pm 1.40
PCB-170	0.78 \pm 0.44	1.13 \pm 0.87	0.93 \pm 0.64	0.90 \pm 0.36	1.19 \pm 0.75	0.71 \pm 0.60
PCB-194	0.21 \pm 0.21	0.24 \pm 0.19	0.04 \pm 0.04	0.76 \pm 0.69	0.41 \pm 0.39	0.10 \pm 0.16
Σ PCBs	21.87 \pm 14.30	29.98 \pm 17.09	22.98 \pm 12.55	23.59 \pm 7.44	26.47 \pm 9.20	18.29 \pm 12.23

N.D. is not detected: the measurement was below the detection limit.

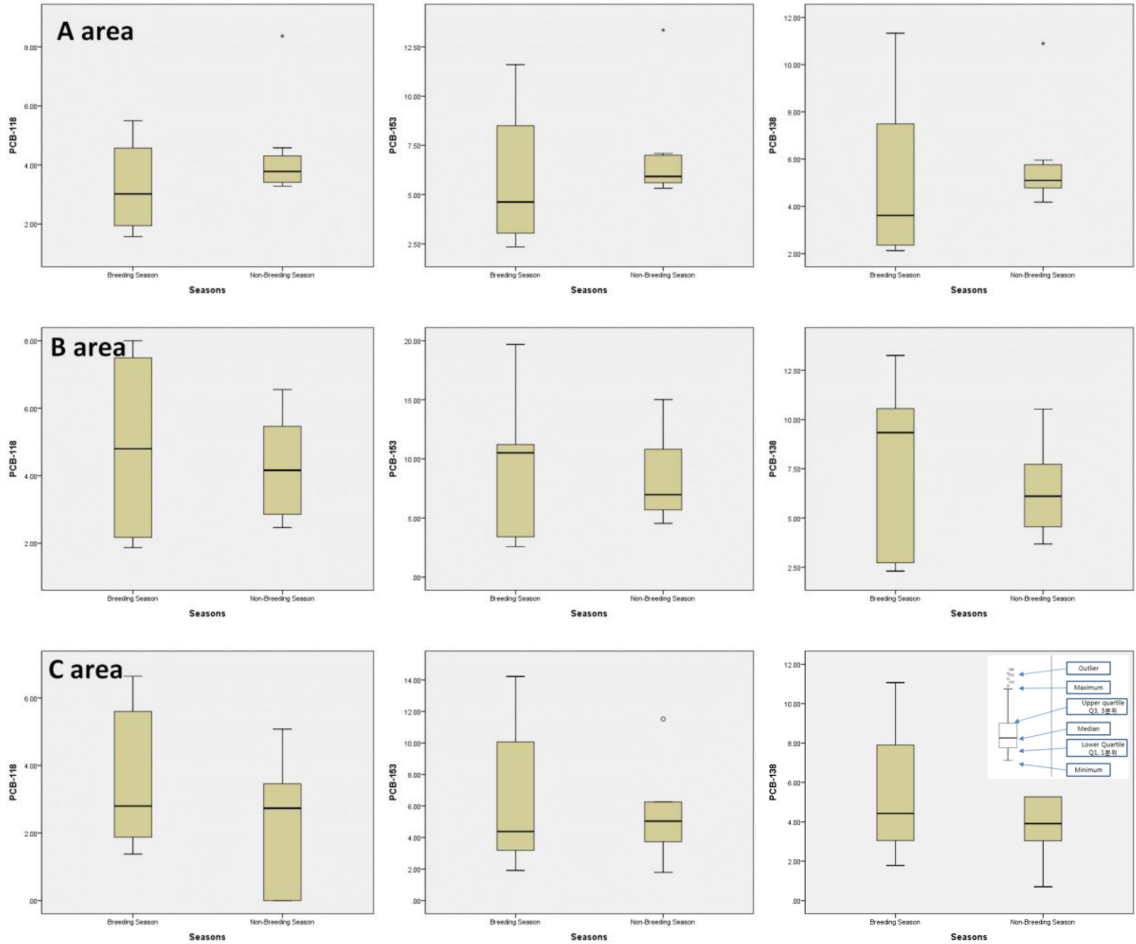


Fig. 3. Comparison of PCB-118, 153 and 138 concentrations in 2 seasons from 2003 to 2014.

치환된 이성체로서 저염소 치환체(1~4 CBs)보다 제거 반감기가 길고 높은 옥타놀-물 분배계수(Octanol-water partition coefficient, K_{ow})와 생체내에서 분해속도가 느려 대부분의 생체 조직에서 높은 농도로 검출되는데 본 연구에서도 유사한 결과로 PCB-118, 138, 153의 합은 Σ PCBs의 68% 이상으로 모든 시료에서 높은 농도로 검출되었으며(Table 1), 피어슨 상관 분석(Pearson's correlation coefficients) 결과 PCB-138, 153의 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 또한, Σ PCBs 농도에 비례하여 PCB 153은 가장 높은 중상관계수($r=0.823$)를 보였다. 한편, 본 연구에서 15.9%의 조성비를 보인 PCB-118은 다이옥신과 유사한 독성을 나타내는 *mono-ortho* 치환 PCBs로서 PCB-118의 농도값을 통하여 dioxin-like PCBs와 독성등량치(Toxic equivalent quan-

tity, TEQ)의 충분한 지표가 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

2003년부터 부산신항만 공사가 진행되고 있는 가덕도 일원에서 2003년부터 2014년에 걸쳐 매년 각 분기별로 3개 영역(16개 지역)에서 수달배설물을 수집하여 PCBs의 농도 분포와 이성체별 분포 특성에 따른 오염 실태를 조사한 결과, 채취된 모든 배설물에서 PCBs가 검출되었다. 또한, 준설토 투기장 공사가 활발히 진행되었던 BI영역에서 비교적 높은 농도의 PCBs가 검출되었다. PCB 이성체 분포 패턴을 비교하면, 일반적으로 어류에서 가장 높은 농도로 검출되는 PCB-138과 153이 수달배설물에서 가장 높은 구성비로 검출되는 점

에서, 수달에서 검출된 PCB는 주로 건설현장에서 발생한 오염원에 노출된 물고기를 먹음으로써 오염되었음이 시사되었다. 이상, 수달의 배설물 분석 결과, 천연기념물인 수달이 공사현장에서 발생하는 오염원에 노출되어 있음이 밝혀졌다. 따라서 수달의 지속적인 보전 및 관리를 위해서는 오염원 방지를 위한 개선책이 요구되며, 미량 유해물질에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. S. Erlinge, "Food Studies on captive otter (*Lutra lutra* L.)", *Oikos*, **1968**, 19, 81-98.
2. S. M. MacDonald, and C. F. Mason, "Status and conservation needs of the otter (*Lutra lutra*) in the western Palearctic", *Council of Europe*, **1994**, 67, 12-44.
3. P. Foster-Turley, and C. Santiapillai, "Action plan for Asian otters. In Otters: an action plan for their conservation (P. Foster-Turley, S. Macdonald and C. Mason, eds.)", *Proceedings of the International Union for the Conservation of Nature, Otter Specialist Group Meeting, Gland, Switzerland*, **1990**, 52-63.
4. M. Ando, "The Japanese otter: Lessons from Its Extinction", **2008**, University of Tokyo Press, Tokyo, 1995, 233.
5. C. F. Mason, and S. M. Macdonald, **1986**, Otters, ecology and conservation, Cambridge: Cambridge University Press.
6. C. F. Mason, and A. B. Madsen, "Organochlorine pesticide residues and PCBs in Danish otters (*Lutra lutra*)", *Science of the Total Environment*, **1993**, 133, 73-81.
7. H. Kruuk, J. W. H. Conroy, and A. Webb, "Concentrations of mercury in Otters (*Lutra lutra* L.) in Scotland in relation to rainfall", **1997**, *Environmental Pollution*, 96, 13-18.
8. IUCN, 2008, *Lutra lutra* in the section of the IUCN Red List of Near Threatened Species, <http://www.iucnredlist.org/apps/redlist/details/12419/0>
9. CITES, 2010, *Appendices I, II and III*, <http://www.cites.org/eng/app/appendices.shtml>
10. M. Ando, S. W. Son, and S. Shiraiishi, "The common otter, *Lutra lutra*, in Southern Korea", *Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ*, **1985**, 40, 1-5.
11. M. Ando, "Comparison of river otter habitat deterioration between Japan and Korea", **1995**, Proceedings of Korea-Japan otter Symposium, March 30-31. Kochi, Japan.
12. I. Tolosa I. M. Bayona, and J. Albaiges, J, "Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons and sulfur/oxygen derivatives in Northwestern Mediterranean sediments: spatial and temporal variability, fluxes and budgets", *Environ. Sci. Technol.*, **1996**, 30, 2495-2503.
13. B. Strandberg, C. Bandh, B. van Bavel, P. A. Bergqvist, C. Broman, R. Ishaq, C. Naf, and C. Rappe, "Organochlorine compounds in the Gulf of Bothnia: sediment and benthic species", **2000**, *Chemosphere*, 40, 1205-1211.
14. R. T. Zoeller, "At the cutting edge. Environmental chemicals as thyroid hormone analogues: New studies indicate that thyroid hormone receptors are targets of industrial chemicals", **2005**, *Mol. Cell Endocrinol.*, 242, 10-15.
15. C. W. Han, "Change in the distribution of otter (*Lutra lutra*) in the constructional areas at the Busan New port (2003-2010)", **2011**, The 66th Annual Meeting of the Korean Association of Biological Sciences, August 8-18, Chuncheon, Korea.
16. Busan Regional Maritime Affairs & Port Office, Busan New Port Co., Ltd. and Busan Port Authority, "A report on the environment investigation after the Busan New Port development work", **2011**, Busan Regional Maritime Affairs & Port Office, Busan New Port Co., Ltd. and Busan Port Authority, Busan, Korea.
17. H. Kruuk, "Otters: Ecology, Behaviour and Conservation", **2006**, Oxford University Press, Oxford, 265.
18. S. Burreau, Y. Zebuhr, D. Broman, and R. Ishaq, "Biomagnification of PBDEs and PCBs in food webs from the Baltic Sea and the northern Atlantic Ocean", *Sci. Total Environ.*, **2006**, 366, 659-672.
19. H. B. Moon, and G. Ok, "Dietary intake of PCDDs, PCDFs and dioxin-like PCBs, due to the consumption of various marine organisms from Korea", *Chemosphere*, **2006**, 62, 1142-1152.
20. J. Falandysz, B. Wyrzykowska, J. Warzocha, I. Barska, A. Garbaci-Wesoowska, and P. Szefer, "Organochlorine pesticides and PCBs in perch *Perca fluviatilis* from the Odra/Oder river estuary, Baltic Sea", *Food Chem.*, **2004**, 87, 17-23.