

우리나라 거제지역에 서식하는 수달의 식이물 중금속 및 미량원소 분석에 대한 연구

조희선 · 이상돈*

이화여자대학교 공과대학 환경학과

Heavy and Trace Metal Analysis of River Otter (*Lutra lutra*) Spraints from the Geoje Island

Heesun Cho and Sang-Don Lee*

Department of Environmental Science and Engineering, College of Engineering, Ewha Womans University

Abstract – The population of river otter (*Lutra lutra*) has been declined most of the world due to hunting, habitat destruction and indirect or direct influences of eutrophication, acidification and toxic chemicals. This study is conducted to identify the population decline of river otter in Korea with relation to environmental pollution caused by accumulation of heavy and traced metals. The field survey was conducted during Jan ~ Dec, 2004 at a monthly basis by collecting spraints. A total of 228 spraints were collected and analysis was done by ICP-AES. The concentrations of fourteen metals (Cr, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Co, Mn, Mg, Cu, Al, Ba Hg, As) have been determined. Annual concentrations of Cd ($1.38 \mu\text{g g}^{-1}$), Zn ($599.06 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb ($5.54 \mu\text{g g}^{-1}$) at Gucheon were higher than those of Yeonchocheon. Concentrations of Cr ($5.01 \mu\text{g g}^{-1}$), Ni ($1.91 \mu\text{g g}^{-1}$), Co ($0.25 \mu\text{g g}^{-1}$) were higher at Yeonchocheon. Most metals in winter were significantly increased ($P < 0.05$) as season progressed from spring to winter. Pb ($15.58 \mu\text{g g}^{-1}$), Cu ($15.15 \mu\text{g g}^{-1}$) at Guchoen and Cr ($5.77 \mu\text{g g}^{-1}$) at Yeonchocheon were high in the downstream of winter.

Key words : Otter (*Lutra lutra*), Geoje Island, Gucheon, Yeonchocheon, Heavy metal, Korea

서론

최근 산업화에 따른 각종 개발로 인한 환경의 변화는 자연 생태계를 기반으로 생활하는 생물사회에 생태계 교란 등 많은 위협을 가하고 있다. 특히, 제방이나 댐 축조 및 하천의 콘크리트화로 인한 서식지 파괴와 남획, 농약 및 생활오폐수에 의한 수계의 오염은 수달 (*Lutra*

lutra)의 생존을 위협하며 개체수 감소를 가져왔다.

수달은 습지와 수로의 건강한 수환경을 나타내는 지표종 (Indicators of healthy wetlands and waterways)으로 정의되어있다 (IUCN 1990; Kruuk 1995). 수달 개체군은 CITES에 고시되어 있으며 국제적인 멸종위기종이다 (Nowak, 1999). 우리나라도 수달이 생태계에 미치는 영향을 인식하고 종 자체를 천연기념물 제330호 (1968년) 지정하였으나, 우리나라 하천오염의 진행상황을 고려하면 천연기념물인 수달의 서식지는 크게 위협받고 있는 상태이다.

* Corresponding author: Sang-Don Lee, Tel. 02-3277-3545, Fax. 02-3277-3545, E-mail. lsd@ewha.ac.kr

1950년대 후반부터 1960년대에는 사냥, 서식지 파괴와 직간접적인 부영양화, 산성화, 독성물질에 의해 서유럽 대부분의 지역에서 수달 (*lutra lutra*)이 급격히 감소하였다. 특히 유기염소 살충제와 PCB (Polychlorinated biphenyls)의 생물농축에 따른 수환경의 오염은 수달의 광범위한 감소를 야기 시켰다(Manson 1989).

유기염소 살충제 (OCP), PCB 및 중금속은 인간뿐만 아니라 야생동물에도 해로운 영향을 끼친다. 그래서 미국 북부, 일본 및 유럽에서는 수계 생태계 오염에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Laws 1993; Chapman 1995; Yamaguchi *et al.* 2003). 영국에서는 이러한 오염물질에 의해 1950년~1960년대에 개체군 감소가 이루어졌으며(Manson *et al.* 1982; Manson and Wren 2001), 영국의 수달 개체군 복원은 여전히 어려운 실정이다(Jefferies 1989; Manson 1993).

하천생태계의 오염여부를 확인하는 것은 수질과 하천 및 수변지역에 서식하는 야생동물을 보호하는데 중요하다. 대부분 수달에게 직접적으로 영향을 주는 원인물질은 기름, 유기염소, 중금속 등으로 이들 오염물질은 분해되지 않고 생체 내에 축적된다. 특히, 먹이사슬에 따른 독성물질의 체내 축적 부하량이 크다고 알려져 있다(Laws 1993). 수달의 식이습성에 대한 안정성 평가는 수달의 보전에 필수적이나, 주요먹이인 어류의 오염에 관한 연구도 거의 이루어지지 않은 실정이다(Manson *et al.* 1982; Gazzard and Yorke 1993). 비록 오염물질에 의한 식이성 오염(dietary contamination)과 육식 동물의 부정적 영향에 대한 관계는 알려진 바는 거의 없으나, 수계 오염에 의한 최상위 포식자의 잠재적 위해성을 평가하기 위해 American mink의 식이 습성과 관련한 위해성 연구가 실시되었다(Henry *et al.* 1998).

우리나라는 경남 거제시에 위치한 연초댐에서 수달의 사체와 배설물을 통해 중금속 분석을 실시한 결과 Cd과 Pb이 수달 성체의 성장과정 중에 오염원으로부터 체내에 축적되었다는 연구가 있었으나 본 연구는 표준편차를 제시하지 않는 등 자료로의 신뢰도는 낮았다(한 2003). 지리산 권역의 주요 유역별 수계에서 채집한 배설물에서는 Pb (5.92 ppm)과 Cu (6.9 ppm)으로 남강에서 높았다는 보고가 있었으나(민 2002), 지리산지역의 수계에 대한 명확한 근거를 제시하지 않는 등 포유동물과 배설물에 대한 명확한 분석은 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구는 수달이 많이 분포하고 있다고 알려진 경상남도 거제시 연초천과 구천의 중금속 오염현황 및 수계 최상위 포식자에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

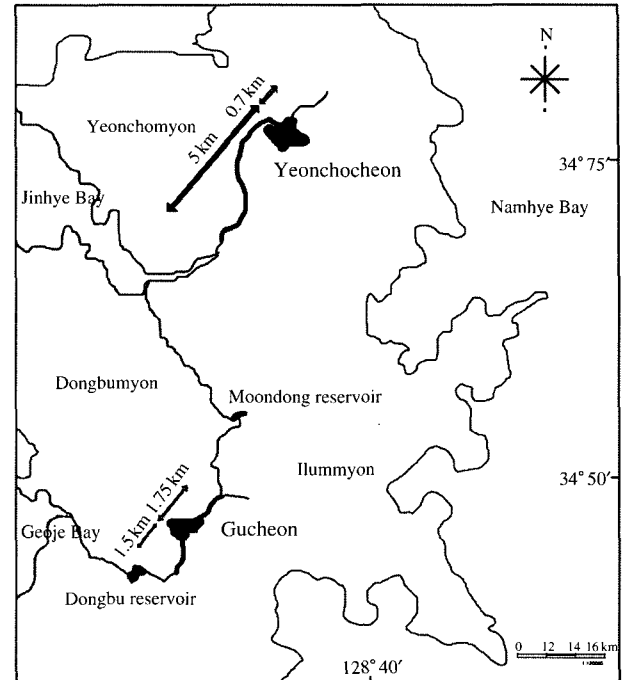


Fig. 1. Location of the sampling sites along the Gucheon and Yeonchocheon in Goeje Island

연구범위 및 방법

1. 연구 지역

중금속 오염 분석은 2004년 1~12월까지 경상남도 거제시 구천과 연초천에서 채집한 수달의 배설물을 통해 이루어졌다(Fig. 1). 연구 지역인 구천은 거제시 동부면 구천리, 신현을 삼거리, 문동리, 일운면 지세포리에 위치하며, 하류의 주변 지역은 가축을 방목하고 있다. 구천댐의 유역 면적은 12.7 km²로 유역면적의 90% 이상이 임야이며, 농경지는 3%로 농경지에서 유출되는 영양 염류 양이 매우 적다. 연초천은 연초면 명동리, 이목리, 천곡리에 위치하며 상수원 보호구역으로 지정(1982년 7월 14일)되었다. 1999년부터 연초천 일대에서는 하천 정비공사가 실시되었으며, 2004년에는 본 연구지역에 해당하는 죽전교(연장 34 m, 폭 10.5 m)를 비롯하여, 다공교, 중리교 및 문암교 인근 마을까지(연장 1.1 km, 폭 20 m)의 정비 사업이 이루어졌다(거제시청 2004). 또한 연초댐계통 용수공급 지역이 남강광역(II 단계)으로 전량 전환(2004년 9월 8일)에 따라 연초댐 상류 오염물질 유입 저감과 저수지 주변정비 등의 종합적인 환경개선사업을 위해 댐내 배수 작업을 시행하였다. 2004년 6월은 27,700톤/일의 비상방류를 실시하였으며, 9월 이후부터

는 78,000톤/일의 방류를 실시하였다. 연초댐의 유역면적은 11.7 km²로 농경지 비율이 농경지가 댐과 유입하천에 매우 가깝게 인접하여 강우시 토사 등이 댐 내로 유출되는 시간이 짧다(한국수자원 공사 2004).

2. 실험 재료

배설물 채집은 배설물 채집은 댐의 취수문을 기준으로 수문 위쪽은 상류지역, 물의 방류가 이루어지는 곳을 하류지역으로 하여 2004년 1~12월까지 월 1회에 실시하였다. 배설물 채집은 하천을 따라 이동하는 수달의 생태적 습성을 고려하여 하천과 주변지역을 도보로 관찰하며 배설물 수집을 실시하였다. 8월은 장마로 인해 채집할 수 없었으며, 연초천은 댐내 오염물질 유입 저감, 저수지 주변 정비사업 및 홍수대비 수위조절로 인해 수달의 서식지가 물에 잠기는 관계로 7~10월 및 12월 하류에서 배설물 채집이 이루어지지 않았다. 또한 배설물에 대한 중금속 정도를 파악하기 위해 배경농도를 측정할 필요가 있었으며, 이를 위해 하천을 대상으로 토양 및 물에 대한 채취가 이루어졌고, 이들의 농도 측정을

동일한 방법으로 실시하였다. 배경농도측정을 위한 수집은 구천 상, 하류, 연초 상, 하류 지역 등 4곳에서 10~11월에 걸쳐 이루어졌다.

3. 중금속 분석

채집된 배설물은 -16°C까지 냉동보관 하였으며, 중금속 분석 시 90°C 오븐에서 3~4시간 동안 항량건조하여 건조중량 0.5000 g을 pyrex glass beaker에 넣었다. 여기에 HNO₃ 6~8 mL를 취한 다음 시계접시를 덮고 Hot plate에서 백연이 발생할 때까지 가열분해 하였다. 유기물 분해가 완전히 이루어지면 증류수를 가하여 산을 휘발시키고, 방냉하여 유리섬유 여과지(Whatman filter paper No. 44)로 여과한 다음, 20 mL 용량 플라스크에 맞추었다. 기기분석은 ICP-AES에 의해 Cr, Zn, Cd, Pb, Ni, Fe, Co, Mn, Mg, Cu, Al, Ba Hg, As 총 14개 원소에 대해 실시하였다. 검출한계 (detection limit)는 Hg과 As는 0.1 ppm Al과 Pb은 0.05 ppm이며, Cr, Zn 등 기타 원소는 0.01 ppm이었다(138 ultrace, KBSI).

Table 1. Number of spraints at Gucheon and Yeonchocheon by month (No. of spraint/No. of spot)

Location		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Gucheon	Upper stream	8/7	3/2	-	4/4	7/8	8/8	17/17	1/1	6/5	11/11	7/7	72/70
	Down stream	13/13	10/8	7/4	23/23	8/9	12/9	1/5	2/2	10/10	6/7	3/3	95/93
	Sum	21/20	13/10	7/4	27/27	15/17	20/17	18/18	3/3	16/15	17/17	10/10	167/158
Yeonchocheon	Upper stream	5/4	-	1/1	1/1	-	2/1	-	-	-	3/3	6/6	18/16
	Down stream	1/1	10/7	12/3	5/1	8/6	4/4	-	-	-	3/2	-	43/24
	Sum	5/5	10/7	13/4	6/2	8/6	6/5	-	-	-	6/5	6/6	60/40
Total		26/25	23/17	20/8	33/29	23/23	26/22	18/18	3/3	16/15	23/22	16/16	227/198

Table 2. Annual concentrations of metals in spraints Gucheon and Yeonchocheon

	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Ba	Fe	Mn	Mg	Al
Gucheon (n=167)	1.81 ±0.34	1.38 ±0.03	5.54 ±0.86	1.08 ±0.19	0.09 ±0.28	5.45 ±0.56	599.06 ±13.95	91.51 ±2.79	2311.83 ±112.30	238.21 ±6.25	6405.99 ±505.47	3692.56 ±53.34
Soil	220.14 ±0.00	13.96 ±0.00	103.27 ±0.00	40.61 ±0.00	140.62 ±0.00	295.85 ±0.00	1449.82 ±0.00	3661.82 ±0.00	562011.41 ±0.46	15067.19 ±0.00	101657.65 ±0.07	682332.13 ±0.37
p-value	***	***	***	***	***	***	n.s	***	n.s	***	***	***
Water	N.D	N.D	0.03 ±0.00	0.02 ±0.00	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1.80 ±0.00	N.D
Yeonchocheon (n=60)	5.01 ±0.16	0.17 ±0.01	1.25 ±0.82	1.91 ±0.19	0.25 ±0.17	6.37 ±0.55	376.24 ±5.92	59.30 ±7.07	2460.60 ±146.02	233.60 ±6.52	6605.53 ±336.95	3253.77 ±58.08
Soil	301.44 ±0.00	4.76 ±0.00	206.54 ±0.00	126.60 ±0.00	208.40 ±0.00	158.70 ±0.00	1296.72 ±0.00	3481.07 ±0.00	674572.71 ±0.33	12591.34 ±0.01	134928.26 ±0.07	740413.74 ±0.17
p-value	***	***	***	***	***	***	n.s	***	***	*	***	***
Water	N.D	N.D	0.03 ±0.00	0.02 ±0.00	N.D	N.D	N.D	0.01 ±0.01	N.D	N.D	1.79 ±0.1	0.01 ±0.02

***P<0.001, **P<0.01, *P<0.05; n.s = not significantly different (P>0.05)

4. 통계분석

두 하천에서 채집한 수달의 배설물을 통계적으로 비교하기 위해 댐 수문을 기준으로 구천 상·하류, 연초천 상·하류로 권역을 구분하여 권역별 상하류 지역에 대한 배설물차이를 분석하였으며, 계절별(봄 3~5월; 여름 6~8월; 가을 9~11월; 겨울 12~2월) 차이를 분석하였다. 권역에 대한 계절별 금속원소의 농도 차를 알아보기 위해 ANOVA를 이용하였다 ($p < 0.05$). Paired T-test는 배설물과 토양의 관계 ($p < 0.05$), 각 하천의 상류와 하류에 대한 금속원소의 농도 차를 확인하는데 이용하였다 ($p < 0.05$).

결 과

1. 구천 및 연초천의 중금속 및 미량원소의 연평균 농도

2004년 1~12월까지 채집한 수달의 배설물은 총 228개로 198개 지역에서 수거되었다 (Table 1). 중금속분석은 2004년 10~11월동안 환경오염공정시험방법에 따라 구천과 연초천 상·하류 각 4지점에서 수집한 토양 및 물에 대해 중금속 분석을 실시하였다. 구천의 연평균 농도는 Cd, Pb, Zn, Ba이 연초천보다 높게 나타났으며, 연초천은 Cr, Ni, Co가 높았다 (Table 2). 수달의 오염정도를

Table 3. Concentrations of metals based on spraints, upper and downstream at Gucheon and Yeonchocheon

Location	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Ba	Fe	Mn	Mg	Al	
Gucheon	Upper (n=72)	1.96 ±0.00	2.02 ±0.03	2.27 ±0.66	0.72 ±0.18	0.09 ±0.17	4.25 ±0.39	712.58 ±16.87	91.32 ±0.95	2282.05 ±93.13	185.82 ±2.87	6218.13 ±245.87	3644.92 ±58.19
	Down (n=95)	2.06 ±0.50	0.93 ±0.03	7.02 ±0.91	1.10 ±0.18	0.05 ±0.31	6.95 ±0.59	459.42 ±10.85	83.25 ±3.26	1891.48 ±101.94	249.70 ±8.56	6282.19 ±605.33	2866.90 ±48.93
	p-value	n.s	n.s	*	*	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s
Yeonchocheon	Upper (n=17)	4.48 ±0.05	0.11 ±0.02	0.94 ±0.78	0.31 ±0.18	0.66 ±0.20	6.09 ±0.29	264.55 ±4.60	69.90 ±0.47	4420.18 ±103.51	280.12 ±3.87	5668.46 ±84.55	5871.91 ±73.09
	Down (n=43)	5.50 ±0.24	0.25 ±0.00	1.60 ±0.88	3.18 ±0.23	0.08 ±0.15	7.52 ±0.66	442.29 ±6.00	58.9 ±12.2	1827.96 ±199.62	244.62 ±8.99	6920.63 ±534.08	2477.48 ±54.46
	p-value	n.s	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	n.s	*	n.s	n.s	*

*P < 0.05; n.s = not significantly different (P > 0.05)

Table 4. Concentrations of metals (±SD) based on spraints at Gucheon and Yeonchocheon by season

	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Ba	Fe	Mn	Mg	Al	
Gucheon	Spring (n=49)	0.50 ±0.19	0.39 ±0.00	4.23 ±0.97	0.12 ±0.17	0.14 ±0.38	7.77 ±0.43	547.91 ±8.59	103.49 ±1.75	2349.94 ±49.80	203.94 ±3.73	5940.48 ±117.75	3078.93 ±57.75
	Summer (n=38)	N.D	0.01 ±0.00	1.03 ±0.64	0.13 ±0.10	N.D	4.64 ±0.38	560.48 ±18.45	65.61 ±0.72	1633.00 ±32.85	160.68 ±2.34	5785.55 ±148.99	2373.71 ±46.04
	Autumn (n=36)	0.92 ±0.87	0.749 ±0.08	4.14 ±0.97	1.40 ±0.30	0.19 ±0.21	0.52 ±0.78	589.05 ±21.22	67.07 ±1.60	3008.26 ±74.44	266.53 ±6.25	7305.94 ±147.38	3917.21 ±47.39
	Winter (n=44)	5.20 ±0.15	3.933 ±0.02	11.24 ±0.79	2.34 ±0.16	N.D	8.59 ±0.57	685.95 ±9.06	121.22 ±6.40	2029.83 ±265.63	295.85 ±11.38	6385.17 ±1488.93	4960.77 ±59.76
	***	*	***	***	*	**	n.s	***	n.s	**	***	**	
Yeonchocheon	Spring (n=27)	2.94 ±0.11	0.104 ±0.00	1.43 ±0.83	1.63 ±0.14	0.06 ±0.18	8.36 ±0.49	379.12 ±5.21	42.83 ±0.58	2441.79 ±65.12	244.81 ±4.35	5973.39 ±132.21	2193.62 ±52.28
	Summer (n=6)	N.D	0.033 ±0.00	1.02 ±0.76	N.D	N.D	9.63 ±1.12	553.74 ±12.12	10.31 ±0.19	902.42 ±23.59	87.74 ±1.37	8341.92 ±147.43	953.37 ±58.91
	Autumn (n=6)	0.67 ±0.00	N.D	0.40 ±0.53	0.67 ±0.13	0.69 ±0.10	5.89 ±0.16	487.92 ±8.85	62.87 ±0.52	3659.94 ±145.49	214.74 ±2.16	7421.59 ±80.99	4405.46 ±58.41
	Winter (n=21)	10.19 ±0.32	0.341 ±0.00	1.44 ±0.91	3.25 ±0.30	0.39 ±0.16	3.45 ±0.53	276.95 ±3.58	90.92 ±18.03	2599.01 ±267.90	277.29 ±11.87	6386.86 ±690.17	4696.84 ±63.50
	***	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	

***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05; n.s = not significantly different (P > 0.05)

확인하기 위해 바탕시료가 되는 토양과 물에 대해서도 분석을 실시한 결과, 물에서는 중금속과의 상관관계가 유의하지 않은 것으로 나타났다 ($P > 0.05$). 구천지역의 토양에서는 Zn과 Fe를 제외한 전 농도에서 원소 농도가 높을수록 배설물에서도 높은 것으로 나타났으며 ($P < 0.01$), 연초천 지역에는 Zn을 제외한 전 원소에서 토양의 농도가 배설물보다 높게 나타났다 ($P < 0.05$). 특히, 구천은 Cd (1.38 ppm), Zn (599.06 ppm)이 배설물과 토양에서 높게 나타났으며, 연초천은 Cr (5.01 ppm), Ni (1.91 ppm), Co (0.25 ppm)가 높게 나타났다. Fe, Mn, Mg, Al은 두 지역에서 비슷한 양상을 보였다.

2. 구천 및 연초천의 권역별 오염

권역별에 대한 중금속 오염을 분석한 결과 구천은 Pb, Ni, Mn은 하류에서 높게 나타났으며 ($p < 0.05$) 연초천은 Co, Fe, Al이 상류에서 높게 나타났으며 ($P < 0.05$), 하류에서는 Cd, Pb, Zn이 높았다. 다른 원소는 대부분 일정한 경향을 보이지 않았다 (Table 3).

3. 구천 및 연초천의 계절별 오염

계절에 따른 원소의 농도변화는 다음과 같다 (Table 4). 구천의 Cr, Cd, Pb, Ba, Al은 봄에서 여름으로 갈수록

Table 5. Seasonal concentrations of meals at upper and downstream of Gucheon

	Cr	Cd	Pb**	Ni	Co***	Cu***	Zn**	Ba	Fe	Mn	Mg	Al	
Upper	Spring (n=12)	N.D	0.45 ±0.00	2.09 ±0.79	0.28 ±0.14	0.47 ±0.12	9.95 ±4.40	503.28 ±4.40	91.34 ±0.54	2339.18 ±43.56	173.93 ±1.82	5743.32 ±101.27	2905.18 ±48.29
	Summer (n=25)	N.D	N.D	1.16 ±0.60	0.06 ±0.08	N.D	6.01 ±0.34	676.18 ±22.93	74.56 ±0.89	1661.22 ±35.14	160.37 ±2.79	5803.91 ±170.20	2216.51 ±49.15
	Autumn (n=18)	0.53 ±0.23	0.41 ±0.09	2.46 ±1.07	1.50 ±0.38	0.10 ±0.18	1.48 ±0.22	791.81 ±23.64	81.00 ±1.03	2712.27 ±99.26	214.78 ±4.20	6826.18 ±114.39	3894.12 ±60.35
	winter (n=17)	7.34 ±0.25	7.39 ±0.01	3.73 ±0.26	1.11 ±0.15	N.D	1.09 ±0.63	811.83 ±9.30	124.91 ±1.19	2679.19 ±197.84	199.47 ±2.29	6475.53 ±570.80	5831.70 ±74.64
Down	Spring (n=37)	0.28 ±0.16	0.27 ±0.00	3.31 ±0.88	0.06 ±0.14	0.05 ±0.31	6.18 ±0.38	497.51 ±12.63	78.77 ±1.48	1810.70 ±38.28	183.84 ±3.54	5964.13 ±120.26	2188.512 ±57.8
	Summer (n=13)	N.D	0.03 ±0.00	0.90 ±0.73	0.28 ±0.13	N.D	1.75 ±0.46	307.42 ±8.41	47.01 ±0.39	1669.64 ±30.07	169.50 ±1.40	5707.06 ±98.25	2835.05 ±40.11
	Autumn (n=18)	1.96 ±2.02	1.40 ±0.09	6.90 ±0.93	1.23 ±0.29	0.18 ±0.20	N.D	356.80 ±17.48	70.26 ±1.12	1699.41 ±46.10	289.32 ±9.94	7291.19 ±222.79	1971.97 ±40.35
	Winter (n=27)	5.77 ±0.14	2.00 ±0.03	15.58 ±1.02	2.94 ±0.17	N.D	15.51 ±0.68	550.80 ±4.86	116.91 ±8.79	1949.21 ±257.64	358.61 ±18.53	6336.06 ±1832.64	4493.87 ±46.28

***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05

Table 6. Seasonal concentrations of metals at upper and downstream of Yeonchocheon

	Cr	Cd	Pb	Ni	Co	Cu	Zn	Ba	Fe	Mn	Mg	Al	
Upper	Spring (n=2)	1.36 ±0.19	0.19 ±0.00	0.77 ±0.87	0.85 ±0.48	N.D	8.53 ±0.39	294.81 ±2.05	71.65 ±0.98	7934.56 ±159.90	459.86 ±4.09	7264.51 ±183.38	8120.93 ±109.31
	Summer (n=2)	N.D	N.D	1.78 ±0.99	N.D	N.D	12.99 ±0.89	369.32 ±4.66	4.69 ±0.10	813.00 ±11.44	77.64 ±1.89	8597.28 ±102.62	732.68 ±82.05
	Autumn (n=3)	1.23 ±0.00	N.D	N.D	1.01 ±0.06	1.39 ±0.20	8.64 ±0.06	435.71 ±9.83	79.68 ±0.72	6418.12 ±274.65	286.67 ±2.98	6330.39 ±82.25	7794.84 ±65.49
	Winter (n=10)	7.20 ±0.04	0.16 ±0.00	1.13 ±0.88	N.D	0.73 ±0.19	2.80 ±0.21	166.61 ±3.27	82.09 ±0.34	3694.15 ±48.26	283.34 ±4.64	4289.02 ±56.19	5873.37 ±64.64
Down	Spring (n=25)	3.02 ±0.10	0.11 ±0.01	1.56x ±0.01	1.79 ±0.12	0.05 ±0.18	9.27 ±0.51	419.59 ±5.04	44.84 ±0.52	2183.04 ±59.51	259.06 ±4.91	5720.69 ±127.53	2111.03 ±50.96
	Summer (n=4)	N.D	0.04 ±0.00	0.64 ±0.64	N.D	N.D	7.95 ±1.24	645.94 ±15.85	13.12 ±0.24	947.13 ±29.67	92.80 ±0.25	8214.24 ±169.84	1063.72 ±47.33
	Autumn (n=3)	0.39 ±0.00	N.D	0.80 ±0.72	0.32 ±0.19	N.D	3.14 ±0.25	540.14 ±7.88	46.07 ±0.32	901.76 ±16.33	142.81 ±1.33	8512.79 ±79.74	1016.07 ±51.34
	Winter (n=11)	13.55 ±0.68	0.57 ±0.00	2.16 ±1.02	7.50 ±0.48	0.17 ±0.12	5.06 ±0.87	400.71 ±4.38	103.31 ±41.09	1629.89 ±563.67	287.06 ±21.30	8462.76 ±1532.83	3954.46 ±64.11

***P < 0.001, **P < 0.01, *P < 0.05

감소했다가 가을, 겨울에는 증가하는 경향을 보였다 ($p < 0.05$). 구천의 Ni은 계절적으로 증가 추세를 보이는 데 특히 겨울에 높게 나타났으며, Zn은 통계적으로 유의성은 없으나 봄에서 겨울로 갈수록 증가하였다. 연초천은 Cr($p < 0.05$)과 Ba이 겨울에 현저히 높았다.

4. 구천 및 연초천의 권역에 대한 계절별 금속 오염

구천의 상·하류에 대한 계절별 오염을 조사한 결과, 구천은 Pb, Co, Cu, Zn에서 차이가 났다 ($p < 0.05$) (Table 5). Pb은 여름에는 감소했다가 가을, 겨울로 갈수록 오염도가 높게 나타났으며, 상류보다 하류에서 농도가 높았다. Zn은 하류의 봄을 제외하고 권역에 대한 계절적 농도 변화가 증가하였으며, 상류에서 현저히 높은 것으로 나타났다. Co는 상·하류에서 여름과 겨울에는 불검출되었으나, 봄철 상류의 농도가 하류보다 훨씬 높은 것으로 조사되었다. Cu는 봄에서 겨울로 갈수록 감소하는데, 겨울철 하류에서 농도가 높게 나타났다. 연초천은 Cr과 Ba은 여름이후에 농도가 증가하다가 겨울철 하류에서 현저히 높게 나타났다. 하지만 모든 원소에 대한 유의성은 없는 것으로 조사되었다 (Table 6).

고 찰

수달은 수계 먹이 사슬의 최상위 포식자이며, 수계생태계의 건전성을 나타내는 지표로 활용된다. 우리나라 수달은 현재 개체수가 지속적으로 감소하고 있으나 하천생태계의 다양성을 상징하는 생물로 활용되고 있다. 이는 수달이 수환경에서 좋은 지표 (integrator)가 되며, 야생동물과 인간의 화학오염물질에 대한 노출 및 이들의 잠재적 위해성을 결정하는데 이용할 수도 있음을 의미한다 (Kannan *et al.* 1999).

이와 같은 수달의 중요성에도 불구하고 수달의 생태학적 고찰은 물론 이에 대한 행동, 번식, 식이물분석 등에 대한 연구가 전무하였다. 더욱이 하천의 오염이 심각해지고 있으며 이로 인해 개체군의 감소가 나타나는 수달에 대한 연구는 전무하였으며, 현재는 천연기념물(제 330호) 뿐만 아니라 환경부 지정 멸종위기야생동식물 I급으로 지정되어 있는 실정이다.

본 연구는 수달이 출현이 빈번한 경상남도 거제시의 두개의 하천에 대한 수달의 중금속 축적에 관한 연구를 실시하였다. 이들 수달은 주로 먹이로 어류를 80% 이상 섭취하며, 설치류, 곤충 및 조류를 포식하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 나타난 식이물의 중금속 현황을 파악하기 위해 배설물을 이용하였다. 먼저 수달의 배

설물 농도는 주변의 토양농도와 비교하여 현저히 낮은 수치를 나타내고 있으며 이는 연초천 및 구천지역에서 동일하게 파악되었다.

월별 오염도와 관련하여 1월과 2월에 Pb, Cd, Ba 등 중금속 농도가 높은 것으로 조사되었는데, 수달의 식이 습성과 관련한 연구에서 겨울철에는 하천의 수량이 여름철에 비해 현저히 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이로 인한 어류 등 주 먹이성분의 식이물 중금속 농도가 증가하여 배설물 농도의 증가로 나타나는 것으로 판단된다. 이는 상류의 하천의 중금속 농도가 하류 하천에 비해 현저히 낮은 것으로 파악된다 (Table 3).

권역별 오염도와 관련하여 농업활동이 활발한 구천 및 연초천 하류 지역에서 Pb의 농도가 높게 나타났는데 농업활동이 활발한 구천은 농약 및 살충제에 의한 주위 환경 오염으로부터 수달에게 간접적인 영향을 준 것으로 여겨진다.

본 연구는 1997년도에 거제지역에서 조사된 수달의 배설물을 통해 중금속 분석을 실시한 결과 (한 2003)를 비교하여 중금속농도의 축적의 진행상황을 보고자 하였다. 1997년 연구는 2004년 본 연구에서 실시한 중금속 분석결과 모든 원소가 높게 나타났으며, 구천천에서는 Cd, Pb, Zn 농도 및 연초천의 Cr 농도는 97년보다 4배 이상 증가한 것으로 조사되었다. 이는 현재 구천 및 연초천이 위치한 지역에서 하천 정비 사업으로 주변 하천이 오염이 진행되고 있으며, 인구가 증가한 것에 기인한 것으로 여겨진다.

계절에 따른 원소의 농도변화는 구천의 Cr, Cd, Pb, Ba, Al은 봄에서 여름으로 갈수록 감소했다가 가을, 겨울에는 증가하는 경향을 보였으며, 연초천은 Cr과 Ba이 겨울에 현저히 높았다. 일반적으로 중금속 및 미량원소는 여름에는 유기물 분해가 활발히 이루어지나 겨울에는 그렇지 못하기 때문에, 겨울철에 오염도가 높은 것으로 판단된다 (신 1997).

Cu는 Zn, Fe과 같이 생체내에 비교적 다량으로 존재하는 필수원소이나 과량 섭취시에는 독성을 유발하는 것으로 알려져 있는 원소이며 Cd, Pb은 수달성체의 성장과정 중에 오염원으로부터 체내에 축적된다 (한 2003) 수달은 여러 오염물질에 노출되어 있으며 또한 서식지 감소도 수달의 번식 및 증식에 위협을 가하고 있다 (Mazet *et al.* 2004). 뿐만 아니라 산업화로 인해 미량원소들이 방출되어 수환경으로 들어와 자연의 생물학적 평형을 바꾸고 있다 (Henry *et al.* 2000). 본 연구에 의한 수달의 중금속 오염에 대한 연구는 우리나라의 부족한 생태학연구의 시작이라 볼 수 있다. 멸종위기종이며 천연기념물인 수달개체군의 지속적인 보전 및 관리를 위

해 먹이자원에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다. 금속 및 미량원소의 잠재적 위험 및 영향에 대한 체계적인 지침을 마련하기 위해서는 수달의 생체에 대한 중금속 오염 연구가 향후 보완되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (R01-2003-000-10317-0) 지원에 의해 수행되었습니다. 중금속분석의 기기 사용에 도움을 주신 기초과학지원연구원 윤혜은박사님께 감사의 말씀을 드립니다. 수달 현지조사에 도움을 제공한 경남대 한성용박사님께 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

- 신제성. 1997. 농경지 토양현황과 관리, 오염 토양복원 기술 국제세미나. 한국토양환경학회지, 23-30.
- 민희규. 수달의 서식환경과 식이물 분석에 관한 연구. 2002. 경상대학교 출판부. 1-46.
- 한성용. 2003. 한국 수달의 생태에 관한 연구. 경남대학교 출판부. 1-91.
- 한국수자원공사 홈페이지 2004. www.kowaco.co.kr
- Chapman, JC 1995. The role of ecotoxicity testing in assessing water quality. *Aust. J. Ecol.* 20:20-27.
- Gazzard DN and G Yorke 1993. The Determination of Selected Pesticides and Heavy Metals in Fish Sampled from the River Wey. National Rivers Authority. Thames Resion. Reading.
- Henry, KS., K Jannan, BW Nagy, NR Kevern, MJ Zabik and JP Giesy. 1998. Concentrations and hazard assessment of organochlorine contaminations and mercury in small-mouth bass from a remote lake in the Upper Peninsula of Michigan. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 34:81-86.
- IUCN. 1990. IUCN Red list of threatened animals. IUCN Report, Gland, Swiss
- Jefferies, DJ 1989. The changing otter population of Britain, 1970-1989. *Biol. J. Linn. Soc.* 38:61-69.
- Kannan K, RA Grove, K Senthikumar, CJ Henny and JP Giesy. 1999. Butyltin Compounds in River Otters (*Lutra canadensis*) from the Northeastern United States. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36:462-468.
- Kruuk H 1995. Wild Otters. Predation and populations. Oxford University Press. Oxford. UK
- Laws, EA 1993. Aquatic Pollution; An Introductory Text, John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Manson CF 1989. Water pollution and otter distribution: a review. *Lutra* 32:97-131.
- Manson CF 1993. Regional trends in PCB and pesticide contamination in northern Britain as determined in otter (*Lutra lutra*) scats. *Chemosphere* 26:941-944.
- Manson CF, MacDonald and SM, Aspden. 1982. Metals in freshwater Fishes in the United Kingdom. The Vincent Wildlife Trust. London.
- Manson CF and CD Wren 2001. Ecotoxicology of Wild Mammals, John Wiley & Sons. Chichester. 315-370.
- Mazet A, G Keck, and P Berny. 2004. PCBs in Fish of the Ardeche River : Potential Implications for the Survival of the Otter (*Lutra lutra*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 72:784-790.
- Nowak RM 1999. Walker's mammals of the world. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Yamaguchi N, D Gazzard, G Scholey and D MacDonald. 2003. Concentrations and hazard assesment of PCBs, organochlorine pesticides and mercury in fish species from the upper Thames: River pollution and its potential effects on to top predator. *Chemosphere* 50:265-273.

Manuscript Received: June 21, 2005

Revision Accepted: July 30, 2005

Responsible Editorial Member: Wonchoel Lee
(Hanyang Univ.)