

금호강에 서식하는 소형포유류의 중금속축적에 관한 연구

이 상 돈

이화여자대학교 공과대학 환경학과

Heavy Metal Accumulation of Small Mammals in Gumho River Basin

Sang-Don Lee

Department of Environment at Science and Engineering, Ewha Womans University,
Seoul 120-750, Korea

Abstract - Population of small mammals (*Apodemus agrarius* and *Crocidura lasiura*) was monitored to identify the bioaccumulation of heavy metals in Gumho river basin around Daegu city. The small mammals were captured during 28 of May~12 of June, 2002. The techniques of live-trapping and snap-trapping were applied to capture the animals. A total of 39 animals were captured among which 53.3% (16/30) of population were reached to breeding. Heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd) were analyzed. According to the analysis of heavy metal elements, Zn was more accumulated in kidney (6.83 mg kg^{-1}) than in liver (3.66). However, the accumulation of Cu was higher in liver than in kidney. Even though this site was relatively away from major industrial zones, heavy metals were wide spread along the stream of Gumho River. This is the first quantitative study of small mammal bioaccumulation of heavy metals in Korea so that further research should be followed in other industrial areas that heavy metals were widely dispersed.

Key words : bioaccumulation, heavy metals, small mammals, Gumho river

서 론

금호강은 길이 116 km, 유역면적 2,053.3 km²로 경북 영일군에서 발원하여 대구광역시를 관통하는 낙동강의 6개 지류 중의 하나이다. 금호강은 고경천, 복연천, 고촌천, 불로천, 동화천, 달서천, 신천 등 16개의 지천으로 이루어져 있으며, 주변에 많은 공업단지가 조성되어 있어 중금속 및 기타 물질에 의한 오염의 가능성이 높아, 낙동강 오염의 한 원인이 되고 있다.

금호강은 그 곳을 근거지로 생활하는 시민 뿐만 아니라 동식물에게도 매우 중요한 서식처이다. 현재 여러 중

류의 공사로 인하여 동식물상의 단순화가 빠른 속도로 확산되고 있다. 또한 금호강은 수량 부족으로 자정 능력이 상실되어 수많은 생명체들이 사라지는 강으로 변해가고 있다. 금호강은 1993년 페놀사건 이후 해마다 수질이 조금씩 나아져가고 있으나 지역 하천으로서의 기능을 발휘하기 위해서는 여러 가지 측면에서 대책이 필요한 것으로 사료된다. 급속한 산업화 및 인구 증가에 의해 배출된 오염물질은 물질순환을 통해 생태계의 상위 단계에 유입된다. 식물은 중금속 및 농약오염에 의해 독성물질이 체내에 축적된다. 특히 농산물의 중금속 등 오염물질 축적은 인간의 건강상 문제 뿐만 아니라 세계적인 통상문제로까지 대두되어 식품의 국제규격기준이 설정되기에 이르렀다. 특히, 수은, 납, 비소, 카드뮴 등의 유해 금속류는 적은 양으로도 생물에 중독 증상을 나타내며

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

토양에서 쉽게 분해되지 않고 장기간 잔류하게 된다. 따라서 이러한 오염된 지역에서 재배된 식물을 인간이나 동물이 섭취할 경우 심각한 문제가 발생할 가능성이 있다.

금호강은 급속한 도시화와 산업의 발달에 따라 수계의 환경오염 부하량은 매우 커졌으며, 우리 나라의 여느 강과 마찬가지로 일반인들에 의한 소규모의 경작 및 대단위의 경작화 사업이 진행되고 있다. 만약 금호강이 여러 원인에 의해 오염되어 인체에 유해한 중금속을 함유하고 있다면 금호강을 농업용수로 사용하는 주변 농경지는 중금속 오염에서 안전 할 수 없으며, 흙수를 통하여 식물에 유입되고 축적됨은 당연하다.

금호강변에 서식하는 동식물상의 중금속현황을 파악하기 위해서는 생태계의 구성요소 인자들에 대한 개체군변동 및 영향을 파악하여야 한다. 따라서 일차생산자인 식생에 대한 현황을 분석하고 먹이사슬의 상위단계인 2차소비자에 대한 개체군변동의 파악이 필요하다. 중금속에 의한 생물종의 성장저해와 지역환경의 건강에 대한 위협은 매우 심각한 지경에 도달하였다(Anthony and Kozlowski 1982). 특히 중금속 중 납과 카드뮴의 증가는 두드러졌으며 지역환경에서 중금속의 노출을 측정하는 기준으로 활용되었다. 이러한 생물종의 중금속농축에 대한 연구는 그 생물종의 번식, 건강을 위협하는 척도뿐만 아니라 생태계를 구성하고 있는 인간에 대한 건강위협의 기준으로 활용될 수 있다.

금호강변의 중금속축적 정도를 알기 위하여 포유류상 군집변화연구가 필요하다. 포유류상의 변화는 이 지역에 축적되어 있는 중금속에 대한 생태변화를 파악하는 척도가 되며 이를 통해 생태계중금속 오염현황에 대한 조사를 실시하였다. 포획된 포유류는 장기를 통해 축적된 중금속함유여부를 실시하여 이 지역의 생태계 지표로 삼는다(Allison *et al.* 2002). 또한 포유류의 중금속함유여부를 파악하므로써 금호강지역의 생태계전반에 대한 이해를 돕는다.

본 연구과제는 중금속 축적 정도에 따른 2차소비자인 육상동물의 오염정도를 파악하여 중금속오염정도와 먹이사슬과의 관계를 밝혀 금호강지역의 생태계 전반에 대한 이해를 높이기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

본 연구는 상류에 비산염색단지가 위치하며 염색폐수가 유입되는 달서천이 금호강에 합류하는 대구시 달서구 파호동 일원의 달서습지로 낙동강과 합류하는 지점에서 조사가 실시되었다. 이 지역은 하천지역에는 버드나무, 갈풀군락이 우점하고 있으며 하상의 상류지역에는 퇴적

암의 형성으로 인한 참느릅군락이 분포하고 있다(대구광역시 2001). 버드나무, 갈풀군락에는 갈풀, 왕버들, 나도겨풀, 아카시나무, 명석딸기, 망초(*Erigeron canadensis*) 개망초(*E. annuus*) 등이 분포하고 있으며 초본식생으로는 썩은잎사초, 소리쟁이(*Rumex crispus*), 명아자여뀌, 고마리 등이 분포하고 있다.

포유류상의 조사는 포유류의 활동이 가장 빈번한 늦은 봄에서 여름철사이(5~6월)에 중점적으로 포획을 실시하였다. 포유류의 포획을 위해 2종류의 트랩이 사용되었다. Sherman트랩은 박스형 트랩(7.6×8.9×22.9 cm)이고, 스냅트랩(snap-trap)은 박물관용으로 제작된 트랩으로 포유동물을 포획하였을 때 두개골부분이 손상되지 않도록 고안된 것이다. 포획시기는 2002년 5월 28일부터 6월 12일까지 실시되었다. 산채로 포획이 가능한 서만트랩은 땅콩버터와 면화를 사용하였으며 저녁무렵에 설치를 하고 다음날 아침 동물의 포획을 확인하였다(Lee 1995). 스냅트랩은 유인덫으로 땅콩버터를 사용하였으며 면화나 기타 다른 먹이는 사용하지 않았다. 포획된 동물은 성별과 번식가능유무를 확인하고 체중을 측정하였다. 번식가능유무는 수컷인 경우 고환의 크기 및 색깔을 보고 판별하였으며 암컷의 경우 임신상태(배의 존재 유무)로 번식상태에 있는지 파악하였다(Lee 1997).

포획된 포유동물은 거의 대부분 죽은채로 발견되었으므로 비닐백에 보관하여 냉동고에 보관하였으며 포유동물의 신장(kidney)과 간(liver)이 중금속 오염분석을 위해 추출되었다(Hegstrom and West 1989). 추출된 신장과 간은 스테인레스 도구를 질산염(HNO₃)에 소독한 후 탈이온화수로 세척한 후 사용하였다. 장기는 바일(broccolate glass vials)에 분석될 때까지 보관하였다.

분석시 장기는 75°C에 48시간 동안 건조하였으며 건조된 장기의 무게변화가 거의 나타나지 않을 때까지 지속되었다. 분석시 과염소산(Perchloric Acid)와 고농도질산(Nitric Acid)로 플라스크를 씻은 다음 과염소산(4 ml), 질산(8 ml)를 혼합한 후 120°C로 끓인다. 조직을 잘 녹이기 위해서 플라스크를 장갑을 끼고 흔든 후 부유물질이 제거를 위해 원심분리기를 이용하였다. 전처리과정을 거친후 샘플을 AAS(Atomic Absorption Spectrophotometer-Vario6)를 이용하여 중금속(Cd, Pb, Cu, Zn)분석을 실시하였다.

결 과

1. 개체의 체중과 번식의 상관관계

트랩의 설치결과 포획된 종은 등줄쥐(*Apodemus ag-*

Table 1. List of species captured in Dalseong wetland near Kumho river, Daegu. Species name, trap type, body weight (g), sex, breeding condition were described

Species ¹	Trap type	Body weight (g)	Sex	Breeding condition ²	Remarks ³
	Snap	30	M	○	2×1
	Snap	18	F	×	
	Sherman	28	M	○	0.7×1.3
	Snap	10	F	×	
	Snap	8	M	×	
	Snap	2.8	?	?	?
	Snap	35.7	M	○	1.5×1
	Sherman	13.7	M	×	
	Snap	11	?	?	
	Snap	28	F	○	1.1×0.8 (5 emb)
	Snap	28.7	?	?	
	Snap	19.22	M	?	0.3×0.3
	Snap	22.5	F	×	
	Snap	35.7	M	○	1.7×1
	Snap	25	M	×	0.6×0.4
	Sherman	27.5	M	○	1×1
	Snap	4.5	?	?	?
	Snap	28.2	F	○	0.3×0.1 (4 emb)
APAG	Sherman	36.85	F	○	1×1 (4 emb)
	Sherman	9.13	M	×	
	Snap	8.24	M	×	1×0.4
	Snap	28.6	F	×	
	Snap	9.41	M	×	?
	Snap	?	?	?	?
	Sherman	28.7	F	○	1.5×1 (5 emb)
	Sherman	25.15	M	○	2×1
	Sherman	20.7	M	?	?
	Snap	24.7	M	×	
	Snap	37.3	M	○	1×1
	Snap	7.3	F	×	
	Sherman	30.1	M	?	?
	Sherman	5	F	?	
	Snap	22.7	M	○	1×1
	Snap	30.7	M	○	2×1.2
	Sherman	26.7	M	○	2×1
	Sherman	31.3	M	×	?
	Snap	32.4	M	○	2×1.1
CRLA	Snap	22	F	×	
	Sherman	16.7	M	○	0.3×0.3

1: APAG = *Apodemus agrarius*, CRLA = *Crocidura lasiura*

2: ○ = breeding, × = non-breeding

3: Breeding male based on the length×width of testes, and breeding females based on length×width of embryos

arius)와 우수리땃쥐 (*Crocidura lasiura*) 2종이었다. 포획된 개체수는 39마리에 이르렀으나 사체가 심하게 훼손된 중 5마리를 제외하면 34마리로 중금속분석을 실시

Table 2. Range of body weight, breeding condition and number of species by each sex of *Apodemus agrarius* in Gumho river around Daegu city

	Number of animals	Breeding condition (Number of animals)	Range of body weight (g)
Female	10	Breeding (4) non-breeding (6)	28.0~36.8 7.3~28.6
Male	20	Breeding (12) non-breeding (8)	16.7~35.7 8.2~31.3
Total	30		

Table 3. Amounts of Zn (mg kg⁻¹) and Cu in each kidney and liver of *Apodemus agrarius* of Gumho river around Daegu city

	Number	Mean of Zn (range)	Mean of Cu (range)
Kidney	23	6.83 (0.93~10.24)	0.0
Liver	28	3.66 (0.86~15.47)	0.34 (0.06~0.82)
Total	51		

하였다. 그 중 암수의 구분이 곤란한 4개체는 이번 분석에서 제외하였다. 따라서 분석에 이용된 총 개체수는 30마리로 파악되었다 (Table 1). 30마리 중 번식상태에 이른 개체는 53.3% (16/30마리)에 이르렀다 (Table 2). 포획된 종에 대한 체중과 번식유무의 상관관계를 조사하였다.

우수리땃쥐는 서만과 스냅트랩에 의해 각각 1마리씩 포획되었으며 수컷 (16.7 g, 번식)과 암컷 (22 g, 비번식)으로 조사되었다 (Table 1).

2. 중금속분석

중금속의 분석은 AAS에 의해 실시되었는데 모두 4가지 중금속항목이 조사되었다 (Zn, Cu, Pb, Cd). 조사된 4개의 중금속 항목 중 Zn과 Cu의 측정치가 높게 조사되었으며 반면에 Pb과 Cd은 검출되지 않았다. 장기별 중금속의 차이가 높게 나타났다. 신장에서 검출된 아연의 양은 6.83 (mg kg⁻¹)으로 간에서 검출된 아연의 양보다 훨씬 높게 나타났으며 간에서 구리의 양은 평균 0.34로 나타났다 (Table 3).

반면 우수리땃쥐의 아연의 함량은 평균을 훨씬 상회 (14.04 mg kg⁻¹)하는 것으로 조사되었으며 아연 이외의 다른 중금속은 검출되지 않았다.

고 찰

금호강일대에 서식하는 동물상(포유류)의 밀도변화를

파악하고 동물내에 축적된 중금속축적을 시도하여 금호강변의 생태현황을 종합적으로 파악하고자 본 연구는 시도되었다. 본 연구는 우리나라에서 최초로 시도된 포유류 중금속 분석에 관한 연구이다. 본 연구를 통해 우리나라 서식하는 포유류 중 습지지역을 선호하는 포유류는 등줄쥐가 우점하는 것으로 조사되었다. 등줄쥐는 서식환경이 매우 다양한 편이다. 농경지로부터 하천의 습지지역까지 널리 분포하는 것으로 조사되었다. 이번에 포획된 등줄쥐는 우리나라 들쥐의 74%로 서식밀도 1위를 차지하고 있는 종이다(윤 1997). 산아래부터 정상에 이르기까지 거의 전지역에 분포한다. 다만 습한 지역을 싫어하는 것으로 나타났으나 본 조사결과 습지지역에도 상당부분 출현하는 것으로 조사되었다. 일반적으로 습지를 싫어할 수는 있으나 서식환경의 변화 및 번식기에 들어선 점을 감안하면 등줄쥐는 습지지역도 상당부분 분포하는 것으로 나타났다. 또한 등줄쥐는 조사기간이 짧은 것을 감안하면 매우 높은 밀도를 유지하고 있는 것으로 보인다. 우수리땃쥐는 우리나라 땃쥐 중 가장 흔한 종으로 혼성림주변이나 경작지주변의 토양 혹은 습지지역에 주로 서식한다. 본 연구는 단지 2마리의 포획에 그쳤지만 우수리땃쥐를 다른 방법(pitfall trapping)을 적용하면 보다 많은 개체를 포획할 수 있었을 것으로 판단된다.

포유류 중 번식에 참여하는 등줄쥐는 체중의 범위가 수컷인 경우 16.7~35.7 g이었으며, 암컷의 경우 28.0~36.8 g인 것으로 나타났다. 이러한 조사결과는 등줄쥐의 번식범위를 고려하면 상당히 몸무게가 많이 나가는 것으로 나타났다. 포유동물의 체중과 번식이 시작되는 시기는 밀접한 관계가 있다(Grum *et al.* 1995). 습지지역의 종들의 밀도가 높을 경우 번식에 들어서는 시기가 늦어질 수 있으며 등줄쥐의 평균체중으로 미루어보아 이 지역에 서식하는 등줄쥐의 밀도가 상당히 높은 것으로 판단된다. 하지만 본 연구는 개체군동태학(population dynamics)에 대한 자료의 축적이 부족하므로 확실한 단정은 어렵다.

본 조사는 하천의 오염정도에 따라 중금속이 생체내에서 축적되는 양에 대한 조사가 목적이었다. 하지만 금호강변의 달성습지는 주변에 공장지대가 별로 존재하지 않으며 갈대나 다른 습지식물이 무성한 지역이다. 따라서 본 지역은 중금속오염이 다른 지역에 비해 상대적으로 적은 대조구라 할 수 있다. 하지만 본 지역에서 조사된 포유류에서 검출된 Cu의 양은 상당히 높게 나타났다. 따라서 본 조사지역의 생물의 중금속(Cu)함량을 표본으로 볼 때 다른 지역과의 중금속오염 정도에 대한 비교를 실시할 수 있다. 비둘기에서 조사된 중금속 함량

의 결과도 간과 신장에서 높게 나타났으며 이는 다른 근육조직에 비해 높은 함량을 보이는 것으로 조사되었다(김 등 2001; Nam *et al.* 2001). 비둘기의 조사에 의하면 철은 간에서, 아연과 납은 뼈에서 높은 농도로 조사되었다. 본 조사에서 높게 나타난 아연의 농도도 신장($41.02 \pm 21.82 \text{ mg kg}^{-1}$)과 간(28.55 ± 4.67)보다 높게 나타났다. 특히 조사된 지역 중 산업폐수가 많이 발생하는 지역에서 높게 나타났다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 금호강변 지역은 하류부근인 달성습지지역에서 아연의 농도가 높게 검출되었다. 뼈 조직에 축적된 납의 양은 몸전체 총 축적량의 90% 이상을 차지하므로 뼈 조직은 납성분의 오염지표로 이용될 수 있다(Kendall and Scanlon 1982; Cardwell *et al.* 2002; Canli and Atli 2003). 또한 설치류 중 식충목인 땃쥐의 아연의 축적량은 높게 나타났다. 이는 땃쥐는 주로 토양에 서식하는 곤충류 및 토양무척추동물을 섭취하기 때문이다(Lee 1995). 본 조사결과 땃쥐는 단지 2개체만이 포획되었으나 향후 지속적인 관찰과 포획방법의 다양화를 추진하면 보다 심도 있는 연구를 할 수 있을 것이다.

본 조사는 대구시를 관통하는 금호강수변의 동물상 조사를 통하여 이 지역의 서식밀도, 중금속축적정도, 오염에 따른 주변생태계영향에 대하여 고찰하였다. 본 조사는 여름 번식기간에 걸쳐 이루어진 바 보다 심도있는 연구를 위하여는 장기적인 관찰과 연구가 필요하다. 포유동물에 대한 중금속농도를 비교할 수 있는 연구자료가 부족하므로 생태계의 중금속오염의 중요지표종인 소형동물에 대한 축적된 자료가 필요하다(Lee *et al.* 2002). 또한 본 연구를 통해 얻어지는 포유류의 중금속축적자료를 바탕으로 생태계전반을 대상으로 하는 생태계보전 대책을 수립할 수 있다.

적 요

소형포유류는 생태계의 생체내 중금속축적에 대한 지표종으로 많이 활용되고 있다. 본 연구는 금호강에 서식하는 소형포유류의 생물축적에 대한 연구를 위해 2002년 5월 28일~6월 12일에 걸쳐 포획을 실시하였다. 포획을 위해 셔만트랩과 스냅트랩이 사용되었으며 등줄쥐와 우수리땃쥐 등 2종 총 39마리를 포획하였다. 그 중 동정이 가능한 30마리에 대한 중금속조사를 실시하였으며 개체군 중 16마리(53.3%)가 번식기에 접어든 것으로 나타났다. 중금속 4가지(Cu, Pb, Zn, Cd)에 대하여 분석이 실시되었으며 그 중 등줄쥐의 Zn은 신장(6.83 mg kg^{-1})이 간(3.66 mg kg^{-1})보다 높은 축적을 나타내었다.

하지만 Cu의 축적은 간이 신장보다 높게 나타났다. 이 지역이 대구시 달서구의 염색공단에서 비교적 거리가 있는 지역임에도 불구하고 Cu, Zn의 축적은 금호강변에 높은 것으로 조사되었다. 본 연구는 우리나라 소형포유류에 대한 최초의 정량적인 연구이며 향후 중금속 오염이 진행되는 산업단지에 본 조사의 연구결과가 기초자료로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 대구지역환경기술개발센터(DETEC)에 의해 지원되었습니다. 중금속분석을 위해 도움을 준 계명대학교 지구환경보건학과 박지연, 서성원, 이욱현학생과 김영훈박사에게 고마움을 표합니다. 논문심사를 맡아주신 경희대 구태회교수님과 용인대 김판기교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 대구광역시. 2001. 대구자연생태공원 조성대상지 생태계 조사 연구보고서. pp. 1-236.
- 김정수, 한상희, 이두표, 구태회. 2001. 서울지역 집비둘기, *Columbia livia*의 서식지별 중금속 오염. 한국생태학회지. 24:303-307.
- 윤명희. 1997. 야생동물. 대원사.
- Allison G, M Nishikawa, S DeSilva, L Laurenson and K DeSilva. 2002. Observations on metal concentrations in Tilapia in reservoir of South Sri Lanka. Ecotoxicology and Environmental Safety 51:197-202.
- Anthony R and R Kozlowski. 1982. Heavy metals in tissues of small mammals inhabiting waste-water irrigated habitats. Journal of Environmental Quality 11:20-22.
- Canli M and G Atli. 2003. The relationships between heavy metal levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution 121:129-136.
- Cardwell AJ, D Hawker and M Greenway. 2002. Metal accumulation in aquatic macrophytes from southwest Queensland, Australia. Chemosphere 48:653-663.
- Grum L, G Bujalska and SD Lee. 1995. Changes in body mass of bank voles inhabiting Crappable island. Journal of Polish Ecology 21:413-421.
- Hegstrom LJ and SD West. 1989. Heavy metal accumulation in small mammals following sewage sludge application to forests. Journal of Environmental Quality 18: 345-349.
- Kendall R and PF Scanlon. 1982. Tissue lead concentrations and blood characteristics of Rock doves from an urban setting in Virginia. Arch. Environ. Contamin. Toxicol. 11:265-268.
- Lee IS *et al.* 2002. Heavy metal concentrations and enzyme activities in soil from a contaminated Korean shooting range. Journal of Bioscience and Bioengineering 94:406-411.
- Lee SD. 1995. Comparison of population characteristics of three species of shrews and the shrew-mole in habitats with different amounts of coarse woody debris. Acta Theriologica 40:415-424.
- Lee SD. 1997. Relationships between small mammal community and coarse woody debris in forest ecosystem. Korean Journal of Ecology 20:251-258.
- Nam D, SH Han, D Lee and T Koo. 2002. Heavy metal concentrations in tissues of feral pigeons (*Columba livia*) from urban areas in Korea. Korean Journal of Ecological Sciences 1:155-158.

Manuscript Received: April 8, 2003

Revision Accepted: June 16, 2003

Responsible Editorial Member: Pan Gyi Kim
(Yongin Univ.)