

있다. 그러므로 철새의 월동지에서 오염물질의 노출 정도를 파악하는 일은 해당 종의 개체군 동태를 이해하는데 매우 중요한 요소라고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 우리나라에서 아비류의 월동지인 부산 연안에서 수집한 아비류 3종을 대상으로 체내 조직 중 카드뮴과 납 축적 레벨을 밝히고, 오염수준을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

연구대상 조류는 아비류 3종 25개체로 1999년부터 2003년의 겨울(12~2월) 동안 부산 일대 연안, 강 하구, 해변에서 수집하였다(Table 1). 수집한 아비류의 모든 개체는 깃털에 소량의 유류가 묻어 있었으며, 사망하거나 사망 직전인 상태였다. 사망 직전인 개체는 수집 후 2일 이내에 모두 사망하였다. 육안관찰 결과, 모든 개체는 가슴근육이 위축된 상태였고 외상의 흔적은 발견되지 않았으며 사망원인은 확인할 수 없었다. 수집된 조류는 즉시 폴리에틸렌 봉투에 넣어 중금속 분석 전까지 -20℃로 냉동 보관하였다.

중금속 분석을 위해 상온에서 해동시킨 후 해부하여 간, 근육(가슴근육), 신장, 뼈(대퇴부) 등의 조직을 추출하였다. 추출한 조직은 건조기에서 80℃로 12시간 동안 항량(constant)이 될 때까지 건조시켰다. 건조시킨 각 조직을 균질화 한 다음, 시료 1~5 g을 취하여 황산, 질산, 과염소산으로 가열분해한 후 분해액을 100 mL로 희석하였다. 분해액은 DDTC-MIBK법에 의해 농축추출한 후 원자흡광광도계(Shimadzu AA-6400)로 카드뮴과 납의 농도를 측정하였다(Lee et al. 1989).

모든 통계처리는 SPSS-WIN version 12.0 프로그램을 이용하여 ANOVA tests를 실시하였다. 통계학적 유의성은 p=0.05 수준에서 판정하였으며, 분석한 중금속 농도(μg/g)는 건중량으로 나타내었다.

결과 및 고찰

분석한 아비류 3종의 체내 조직 중 카드뮴과 납 농도는 Table 2와 같다. 간, 근육, 신장, 뼈 조직 중 카드뮴과 납 농도는

Table 1. Basic data on loon samples analyzed

Species	Sampling date				Total
	Winter 1999~00	Winter 2000~01	Winter 2001~02	Winter 2002~03	
Red-throated Loon <i>Gavia stellata</i>	-	2	1	1	4
Pacific Loon <i>G. pacifica</i>	6	1	2	-	9
Arctic Loon <i>G. arctica</i>	1	3	2	6	12

아비류 3종간에 통계학적 유의성이 없었다(p>0.05). 이는 3종이 서식지, 먹이 등에 있어서 비슷한 생태학적 지위를 가지고 있기 때문으로 사료된다.

카드뮴(Cd) 농도

아비류 3종의 평균 카드뮴 농도는 간에서 3.45~6.34 μg/g, 근육에서 0.45~0.71 μg/g, 신장에서 11.8~18.3 μg/g, 뼈에서 0.2~0.10 μg/g의 범위로(Table 2), 신장에서 가장 높고 뼈에서 가장 낮은 경향을 보였다(p<0.05). 이와 같은 농도 범위 및 조직 분포패턴은 번식지인 러시아에서의 건강한 아비류와 다른 해양 조류에 대하여 보고된 결과와 차이가 없었다(Honda et al. 1990, Garcia-Fernandez et al. 1996, Kim et al. 1996, Kim et al. 1998).

일반적으로 카드뮴은 먹이로부터 체내에 흡수된 후 우선 간으로 운반되어 메탈로치오네인과 결합하여 축적되고 그 후 신장과 기타 조직으로 운반되지만 최종적으로는 상대적으로 생물학적 반감기가 긴 신장에서 가장 높은 농도를 보인다. 따라서 조류의 경우, 간과 신장의 농도를 비교해 봄으로써 급성과

Table 2. Concentrations (mean ± SD and range in parenthesis, μg/g dry wt) of Cd and Pb in the liver, muscle, kidney and bone of loons

Metals	Tissues	Red-throated loon	Pacific loon	Arctic loon
		<i>Gavia stellata</i> (n=4)	<i>Gavia pacifica</i> (n=9)	<i>Gavia arctica</i> (n=12)
Cd	Liver	6.34 ± 2.39 ^b (4.10 ~ 9.67)	5.30 ± 2.21 ^b (2.25 ~ 9.96)	3.45 ± 1.83 ^b (0.85 ~ 6.44)
	Muscle	0.45 ± 0.41 ^c (0.14 ~ 1.05)	0.71 ± 0.44 ^c (2.25 ~ 9.96)	0.58 ± 0.49 ^c (0.12 ~ 1.46)
	Kidney	18.3 ± 2.95 ^a (14.5 ~ 21.5)	13.9 ± 6.80 ^a (3.49 ~ 25.2)	11.8 ± 11.0 ^a (1.11 ~ 40.3)
	Bone	0.03 ± 0.04 ^d (ND ~ 0.08)	0.10 ± 0.11 ^d (0.01 ~ 0.33)	0.02 ± 0.02 ^d (ND ~ 0.07)
Pb	Liver	0.19 ± 0.07 ^b (0.14 ~ 0.29)	1.22 ± 1.17 ^{ab} (0.17 ~ 4.01)	0.49 ± 0.27 ^{ab} (ND ~ 0.83)
	Muscle	0.03 ± 0.04 ^c (ND ~ 0.09)	0.46 ± 0.43 ^b (ND ~ 1.27)	0.20 ± 0.39 ^b (ND ~ 1.35)
	Kidney	0.95 ± 0.15 ^{ab} (0.80 ~ 1.12)	0.76 ± 0.41 ^{ab} (0.17 ~ 1.24)	0.60 ± 0.37 ^{ab} (0.06 ~ 1.19)
	Bone	0.91 ± 0.49 ^a (0.80 ~ 1.12)	1.28 ± 0.63 ^a (0.19 ~ 2.24)	1.49 ± 1.96 ^a (0.26 ~ 6.72)

ND: not detected.

No significant difference was found among the three species (p>0.05). Significant differences among tissues using a ANOVA test are shown by letters (a ~ c).

만성노출 여부를 추정해낼 수 있다. 즉, 카드뮴의 농도가 간이나 신장보다 높은 경우는 비교적 최근에 노출되었음을 알 수 있다 (Scheuhammer 1987). 본 연구의 경우, 간의 카드뮴 농도가 모든 개체에서 신장보다 월등히 낮은 것으로 나타나($p < 0.05$), 월동지에서의 급성 노출은 없는 것으로 추정된다.

본 연구의 아비류 간 조직 중 농도(평균 3.45 ~ 6.34 $\mu\text{g/g}$)를 다른 나라에서 보고된 농도와 비교해 본 결과(Table 3), 러시아, 영국, 미국 등에서의 농도(평균 ND ~ 7.11 $\mu\text{g/g}$)와 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 연구의 아비류가 수집 당시 깃털이 소량의 유류에 오염된 채로 사망했거나 사망 직전의 상태였음을 고려해 보면, 유류오염 또는 사망 원인은 카드뮴의 조직 축적과 관련이 없음을 알 수 있다.

해양성조류의 신장에서 30 $\mu\text{g/g}$ 이상 고농도의 카드뮴은 신장 조직에 손상을 주어 신장장애를 일으키며(Nicholson and Osborn 1983), 흰꼬리너조(*Lagopus leucurus*)는 47.4 ~ 188 $\mu\text{g/g}$ 의 농도 범위에서 신장 조직에 손상을 준다고 보고된 바 있다(Larison et al. 2000). 또한 Eisler(1985)는 실험연구에서 신장 조직 중 약 30 $\mu\text{g/g}$ 은 신장에 해를 주는 오염수준으로 구분하였는데, 본 연구의 큰희색머리아비 1개체가 40.3 $\mu\text{g/g}$ 으로 이에 해당되었으나, 해부시 신장의 외부형태 이상은 발견되지 않았다. 또한 기 보고된 연구에서도 높은 카드뮴 농도를 보인 아비류의 신장을 비롯한 다른 조직 및 기관들에 대한 장애의 증거는 보고된 바 없어 이 개체가 카드뮴에 의한 독성영향으로 사망했는지는 단정할 수 없다.

납(Pb) 농도

아비류 3종의 체내 조직 중 평균 납 농도는 간에서 0.19 ~ 1.22 $\mu\text{g/g}$, 근육에서 0.03 ~ 0.46 $\mu\text{g/g}$, 신장에서 0.60 ~ 0.95 $\mu\text{g/g}$,

뼈에서 0.91 ~ 1.49 $\mu\text{g/g}$ 의 범위를 보였다(Table 2).

납 농도는 일반적으로 뼈 조직에 가장 높았으며 근육에서 가장 낮은 경향을 보였다($p < 0.05$). 이러한 조직 분포패턴은 비오염 지역에서 채집된 정상적인 여러 해양조류와 동일하였다(Furness and Monaghan 1987). 뼈 같은 경조직에서의 높은 납 농도는 골화과정(ossification) 동안 납이 칼슘(Ca^{2+})대사와 상호작용을 하기 때문으로 알려져 있다(Hutton and Goodman 1980).

본 연구의 간 조직 중 평균 납 농도(0.19 ~ 1.22 $\mu\text{g/g}$)는 비오염 수준의 북방아비 농도(0.21 $\mu\text{g/g}$)와 비슷한 수준이며, 낚시 및 어업용 추를 주어먹고 납에 오염된 개체들의 농도(15 ~ 138.3 $\mu\text{g/g}$)보다는 현저히 낮은 수준이었다(Table 4). 따라서 본 연구 지역인 부산 연안 일대의 아비류 취식지에서 낚시 및 어업용 추와 같은 납의 고농도 노출(급성 중독)은 없는 것으로 보인다.

Sidor 등(2003)은 1987 ~ 2000년 동안 미국 뉴잉글랜드 지역에서 사망하거나 사망 직전인 북방아비(522개체)의 간 조직 중 납 농도(습중량 농도 $\times 3$)를 조사한 자료를 바탕으로 $> 18 \mu\text{g/g}$ 은 납 중독수준(poisoned level), 6 ~ 18 $\mu\text{g/g}$ 은 오염수준(exposed level), 0.15 ~ 3.0 $\mu\text{g/g}$ 은 비오염수준(background level)으로 판정하였다. 이 기준으로 보면, 본 연구의 아비류는 모두 비오염수준에 해당하는 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 우리나라에서 월동하는 아비류 3종의 체내 조직 중 카드뮴 및 납 농도는 다른 여러 나라에서 보고된 아비류의 축적 수준 및 경향과 큰 차이를 보이지 않았다. 큰희색머리아비 1개체(카드뮴 오염 수준)를 제외한 모든 개체들은 카드뮴과 납의 비오염수준(background level)에 해당되므로 부산 연안의 아비류 월동지는 카드뮴과 납의 고농도 노출은 없는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서 제시된 아비류 조직 중 카드뮴 및 납 농도는 향후 해양생태계의 중금속 모니터링 연구에

Table 3. Cadmium concentrations ($\mu\text{g/g}$ dry wt) in the liver of loons from different areas

Species	Sampling area, year	N	Cd	State of samples	Source
Red-throated, pacific, arctic loon	Busan, Korea, 1999 ~ 2003	25	3.45 ~ 6.34	Dead or moribund	This study
Red-throated loon	Northeast Siberia, Russia, 1993	1	2.13	Collected by shooting	Kim et al. 1996
Arctic loon	Northeast Siberia, Russia, 1993	1	3.33	Collected by shooting	Kim et al. 1996
Common loon	Norfolk, England, 1985	1 (J)	3.39 ^a	Dead	Mason and MacDonald 1988
Common loon	Michigan, USA, 1988 ~ 1993	54	7.11 ^a	Dead or ill and later dying	O'Brien et al. 1995
Common loon	New England, USA, 1989 ~ 1990	8 (A) 5 (I)	6.6 (A) ^a 2.7 (I) ^a	Dead or moribund	Pokras et al. 1991
Common loon	New England, USA, 1989 ~ 1992	25 (A) 8 (I), 5 (C)	5.4 (A) ^a 2.04 (I) ^a ND (C) ^a	Dead or moribund	Pokras et al. 1992

^a Originally reported as ppm on a wet weight basis and converted as dry weight basis with conversion factor 3.0.

J: juvenile, A: adult, I: immature, C: chick.

Table 4. Lead concentrations ($\mu\text{g/g}$ dry wt) in the liver of loons from different areas

Sampling area, year	N	Pb ^a	Necropsy findings	State of samples	Source
Busan, Korea, 1999 ~ 2003	25	Ranged 0.19 ~ 1.22	Oil-contaminated	Dead or moribund	This study
New York, 1972 ~ 1996	21 48	>15 0.21	Ingested Pb fishing weights Not digesting Pb sinkers	Dead or debilitated	Stone and Okoniewski 2001
Squam Lake, New Hampshire, 1976	1 (F)	61.8	Ingested Pb fishing sinker	Dead	Locke et al. 1982
Little Lake, Wisconsin, 1980	1 (M)	138.3	Ingested Pb fishing sinker	Dead	Locke et al. 1982
Norfolk, England, 1985	1 (J)	7.62	Unknown	Dead	Mason and MacDonald 1988
Michigan, 1988 ~ 1993	54	8.07	Unknown	Dead or ill and later dying	O'Brien et al. 1995
New England, 1989 ~ 1990	8 (A) 5 (I)	17.4 0.15	Unknown	Dead or moribund	Pokras et al. 1991
New England, 1989 ~ 1992	12 13	32.91 8.25	Ingested Pb Not ingested Pb in gizzard	Dead or moribund	Pokras et al. 1992
Wisconsin, 1976 ~ 1991	14	Ranged 14.1 ~ 138.3	Fishing weights (Pb) were found in the stomachs	Emaciated or in poor body condition	Franson and Cliplef, 1992

^a Originally reported as ppm on a wet weight basis and converted as dry weight basis with conversion factor 3.0.

F: female, M: male, J: juvenile, A: adult, I: immature, C: chick.

비오염수준(background level)의 자료로 활용될 수 있다.

적 요

부산 연안에서 월동 중 사망한 아비류 3종 25개체의 체내 조직 중 카드뮴과 납 축적 레벨을 밝히고 오염 수준을 파악하였다. 카드뮴과 납 농도는 아비, 회색머리아비, 큰회색머리아비 3종간에 중간차가 인정되지 않았다($p > 0.05$). 조직 중 카드뮴 농도는 $0.02 \sim 18.3 \mu\text{g/g}$ 의 범위로 신장에서 가장 높고 뼈에서 가장 낮은 정상적인 조직분포를 보였다. 간 조직 중 카드뮴 농도 ($3.45 \sim 6.34 \mu\text{g/g}$)는 다른 나라에서 보고된 아비류 농도($\text{ND} \sim 7.11 \mu\text{g/g}$)와 비슷하였다. 큰회색머리아비 1개체를 제외한 모든 개체의 신장 조직 중 카드뮴 농도는 비오염수준($< 30 \mu\text{g/g}$)에 해당하였다. 조직 중 납 농도는 $0.03 \sim 1.49 \mu\text{g/g}$ 의 범위로 뼈에서 가장 높고 근육에서 가장 낮은 정상적인 조직분포를 보였다. 간 조직 중 납 농도($0.19 \sim 1.22 \mu\text{g/g}$)는 보고된 정상적인 아비류 농도와 비슷하였다. 대부분의 간 조직 중 납 농도는 비오염수준($0.15 \sim 3.0 \mu\text{g/g}$)에 해당되었다.

인용문헌

원병오 1981. 한국동식물도감 제 25권 동물편(조류생태). 삼화서적주식회사 pp. 684-686.
이두표 1991. 야생동물 수중에 대한 중금속 및 유기염소계화합물의 오염실태 조사연구. 한국자연보존협회 연구보고서 11: 1-10.
이두표 2003. 한국산 맹금류의 납 및 카드뮴 축적레벨. 한국조류학

회지 10(2): 103-108.
환경부. 2004. 겨울철 조류 동시 센서스 종합보고서(1999-2004). 환경부. 620p.
Belant JL, Anderson RK. 1990. Environmental contaminants in common loons from northern Wisconsin. Passenger Pigeon 52(4): 307-310.
Burgess NM, Evers DC, Kaplan JD. 2005. Mercury and other contaminants in common loons breeding in Atlantic Canada. Ecotox 14: 241-252.
Carboneras C. 1992. Family Gaviidae (Loons). In J. Hoyo, A. Elliott and J. Sargatal (eds) Handbook of the Birds of the World. Vol. 1. Lynx Edicions, Barcelona, pp 162-172.
Eisler R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. US Fish and Wildlife Service Biological Report 85(1.2), MD, USA, 85p.
Franson JC, Cliplef DJ. 1992. Causes of mortality in common loons, from Proceedings from the 1992 conference on the loon and its ecosystem: status, management, and environmental concerns. USFWS, MD, USA, 247p.
Furness RW, Monaghan P. 1987. Seabird ecology. Chapman and Hall in association with Methuen. pp 117-121.
Garcia-Fernandez AJ, Sanchez-Garcia JA, Gomez-Zapata M, Luna A. 1996. Distribution of cadmium in blood and tissues of wild birds. Arch Environ Contam Toxicol 30: 252-258.
Honda K, Marcovecchio J, Kan S, Tatsukawa R, Ogi H. 1990. Metal concentrations in pelagic seabirds from the North Pacific Ocean. Arch Environ Contam Toxicol 19: 704-711.
Honda K, Min BY, Tatsukawa R. 1985. Heavy metal distribution in organs and tissues of the eastern great white egret, *Egret alba modesta*. Bull Environ Contam Toxicol 35: 781-789.
Hutton M, Goodman GT. 1980. Metal contamination of feral pigeons *Columba livia*

- lumba livia* from the London area: part 1-tissue accumulation of lead, cadmium and zinc. *Environ Pollut Ser A* 22: 207-217.
- Kim E, Goto R, Tamabe S, Tanaka H, Tatsukawa R. 1998. Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds. *Arch Environ Contam Toxicol* 35: 638-645.
- Kim EY, Ichihashi H, Saeki K, Atrashevich G, Tanabe S, Tatsukawa R. 1996. Metal accumulation in tissues of seabirds from Chaun, northeast Siberia, Russia. *Environ Pollut* 92: 247-252.
- Larison JR, Likens GE, Fitzpatrick JW, Crock JG. 2000. Cadmium toxicity among wildlife in Colorado Rocky Mountains. *Nature* 406: 181-183.
- Lee DP, Honda K, Tatsukawa R, Woo PO. 1989. Distribution and residue level of mercury, cadmium and lead in Korean birds. *Bull Environ Contam Toxicol* 43: 550-555.
- Locke LN, Kerr SM, Zoromski D. 1982. Lead poisoning in common loons (*Gavia immer*). *Avian Diseases* 26: 392-396.
- Mason CF, MacDonald SM. 1988. Pollutant burden of a great northern diver *Gavia immer*. *Bird Study* 35: 11-12.
- Nicholson J, Osborn D. 1983. Kidney lesions in pelagic seabirds with high tissue levels of cadmium and mercury. *J Zoo Lond* 200: 99-118.
- O'Brien DJ, Poppenga RH, Ramm CW. 1995. An exploratory analysis of liver element relationships in a case series of common loons (*Gavia immer*). *Prev Vet Med* 25: 37-49.
- Pokras M, Chafel F. 1992. Lead toxicosis from ingesting fishing sinkers in adult common loons (*Gavia immer*) in New England. *J Zoo Wildl Med* 23: 92-97.
- Pokras MA, Press C, Rohrbach S, Chafel R, Perry C, Burger J. 1992. Environmental pathology of 124 common loons from the north-eastern United States, 1989-1992, from Proceedings from the 1992 conference on the loon and its ecosystem: status, management, and environmental concerns. USFWS, MD, USA, 247p.
- Pokras MA, Chafel RM, Gibson M. 1991. Environmental pathology of the common loon in New England. *Trans NE Sect Wildl Soc* 48: 31-38.
- Scheuhammer AM. 1987. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury, and lead in birds: a review. *Environ Pollut* 46: 263-295.
- Scheuhammer AM, Perrault JA, Bond DE. 2001. Mercury, methylmercury, and selenium concentrations in eggs of common loons (*Gavia immer*) from Canada. *Environ. Monit Assess* 72: 79-94.
- Sidor IF, Pokras MA, Major AR, Poppenga RH, Taylor KM. 2003. Mortality of common loons in New England, 1987 to 2000. *J Wildl Dis* 39(2): 306-315.
- Stone WB, Okoniewski JC. 2001. Necropsy findings and environmental contaminants in common loons from New York. *J Wildl Dis* 37: 178-184.

(2006년 10월 25일 접수; 2006년 12월 21일 채택)

K C I