

유류에 오염된 아비류 (Loons)의 체내 조직 중 필수원소 농도

김 상 진, 이 종 남¹, 이 두 표*

호남대학교 생명과학과, ¹경성대학교 조류관

Concentrations of Essential Metals in Tissues of Oiled Loons

Sang-Jin Kim, Jong-Nam Lee¹ and Doo-Pyo Lee*

Department of Biological Science, Honam University, Gwangju 506-714, Korea

¹Institute of Wild Bird, Kyungsung University, Busan 608-736, Korea

ABSTRACT

Concentrations of four essential metals (Fe, Cu, Mn and Zn) were determined in apparently oil-polluted dead or near-dead three loon species collected in the Busan coast, Korea. Fe, Cu, Mn and Zn concentrations were generally high in liver, and also, Mn and Zn were high in bone. There were significant differences in some tissue concentrations of Fe, Cu, Mn and Zn among three species, but did not show any consistent evidence of species-specific accumulation. Mean concentration of Fe was $11,635 \pm 4010 \mu\text{g/g}$, Cu $64.3 \pm 30.7 \mu\text{g/g}$, Mn $13.1 \pm 2.32 \mu\text{g/g}$, and Zn $121 \pm 24.8 \mu\text{g/g}$ in liver of all three species examined. Mn and Zn levels in this study were similar to those of normal loons and other seabirds reported from different countries. However, Fe and Cu liver levels were extraordinarily higher than those of reported. This result suggests that unusual accumulations of essential metals such as Fe and Cu may partially arise from long-term starvation due to oil pollution.

Key words : seabirds, essential metals, oil pollution, heavy metals

서 론

유류오염 (oil pollution)은 많은 해양조류들에게 악영향을 미치는데 특히 아비류 (loons)를 포함한 논병아리류 (grebes), 사다새류 (pelecaniforms), 바다 오리류 (alcids) 등과 같은 잠수성 해양조류들은 생활사중 많은 시간을 해수면과 접하고 있기 때문에 더 큰 피해를 입고 있다 (Piatt *et al.*, 1990).

유류는 다양한 영향으로 해양조류를 사망케 하는데, 그 주요 영향은 깃털의 방수능력을 파괴시키

는 것이다. 유류가 묻은 해양조류는 깃털의 방수능력을 회복시키기 위해 즉시 깃다듬기를 실시하지만, 이로 인해 유류의 독성물질을 흡입하게 되어 발달, 생식, 면역, 삼투조절 및 영양상태 등의 생리적인 과정에서 다양한 병리적 상태에 놓이게 된다 (Briggs *et al.*, 1996). 유류가 묻은 조류의 경우 신장, 간 및 소화관에서의 유류 독성이 주요 사망원인이 될 수 있다는 보고가 있다 (Leighton, 1991). 또한 유류에 오염된 잠수성 해양조류는 잠수능력이 약화되어 먹이섭취 부족으로 인한 굶주림으로 사망할 수 있다.

조류에서 중금속 축적은 노출된 강도 및 기간, 그리고 물질대사 및 생리기능과 관련된 여러 요소들에 의해 좌우될 뿐만 아니라 연령, 성별, 질병의

※ To whom correspondence should be addressed.
Tel: +82-62-940-5434, Fax: +82-62-940-5434
E-mail: dplee@honam.ac.kr

진행 상태, 유류오염의 유무 등에 의해서도 영향을 받는다고 알려져 있다(Debacker *et al.*, 2000). 특히 필수원소는 번식, 절식(fasting), 성장단계 및 털갈이 등의 다양한 생리작용에 따라 특이적인 분포 경향을 나타낸다(Honda *et al.*, 1986a, b; 이두표, 1996). 또한 단기간의 절식 또는 기아(starvation)는 미량필수무기질 뿐만 아니라 특히 Zn과 Cu 같은 필수원소의 운용(mobilization) 및 물질대사에 영향을 준다고 알려져 있으며 이는 바다오리류 *Somateria mollissima* (Norheim and Borch-Johnsen, 1990), 흰눈썹바다오리 *Uria aalge* (Wenzel and Adelung, 1996) 등의 야생조류에서 입증되었다.

현재 유류에 오염된 해양조류의 중금속 축적 연구는 여러 나라에서 많이 진행되어 왔지만 유류오염과 필수원소 축적간의 관계를 이해하기 위한 활용가능한 자료는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 부산 연안지역에서 수집한 유류에 오염된 아비류를 대상으로 체내 조직 중 필수원소 농도를 측정하고 이들 원소의 축적과 유류오염과의 관계를 파악하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상

본 연구대상 조류는 아비목(Gaviformes) 아비과(Gaviidae)의 아비 *Gavia stellata*, 회색머리아비 *G. pacifica*, 큰회색머리아비 *G. arctica*의 3종으로 이들의 생태학적 특성은 유사한 편이다. 한국에 도래하는 아비류는 주로 시베리아 북동부, 북극 주변 습지, 늪, 호수 등지에서 번식하며 동해안과 남해안 일대 연안 및 강 하구 등지에서 월동한다(원병오, 1981; Carboneras, 1992). 아비류는 주로 어식성으

로 민물(번식지)에서는 송어류(*Salmo trutta*), 연어류(*Salmo salar*), 잉어과 어류(*Rutilus rutilus*) 등을 먹으며, 바다(월동지)에서는 대구류(*Gadus morhua*, *Melanogrammus aeglefinus*), 청어류(*Clupea harengus*, *Sprattus sprattus*), 민어과 어류(*Merlangius merlangus*) 등을 먹는다. 또한 수생 무척추동물, 개구리, 갑각류(새우류 및 게류) 및 식물질을 먹기도 한다(Carboneras, 1992).

분석한 아비류는 1999년부터 2003년 겨울 동안 부산 근처 해안가, 만(bay) 및 강 하구에서 수집하였다(Table 1). 수집된 개체는 모두 깃털에 약간의 유류가 묻어 있었으며 사망 직전이거나 사망한 상태였다. 사망 직전의 개체는 수집 후 2일 이내에 모두 사망하였다. 육안관찰 결과 수집된 개체는 모두 가슴근육이 위축된 상태였고 외상의 흔적은 발견되지 않았으며 사망원인은 알 수 없었다. 시료는 수집 즉시 폴리에틸렌 봉투에 넣어 중금속 분석 전까지 -20°C 에 냉동 보관하였다.

2. 중금속 분석

필수원소인 Fe, Cu, Mn 및 Zn 분석을 위해 냉동된 시료는 상온에서 해동시킨 후 해부하여 간, 근육(가슴근육), 신장 그리고 뼈(대퇴부) 등의 조직을 추출하였다. 추출한 조직은 건조기에 80°C 로 12시간 동안 향량이 될 때까지 건조시켰다. 각 조직을 균질화하여 시료 1~3g를 취하여 황산, 질산, 과염소산을 가하여 가열 분해한 후 분해액을 100 mL로 희석하여 원자흡광광도계(Shimadzu AA-6400)로 필수원소를 측정하였다(Lee *et al.*, 1989).

3. 통계처리

모든 통계처리는 SPSS-WIN version 12.0 프로그램

Table 1. Basic data on loon samples analyzed

Species	Sampling date				Total	Sampling site
	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	Busan (beach, breakwater, estuary)
Arctic loon <i>G. arctica</i>	1	3	2	6	12	

램을 이용하여 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA)을 실시하였다. 통계학적 유의성은 $p=0.05$ 수준에서 판정하였다. 조직의 모든 원소 농도는 ($\mu\text{g/g}$) 건중량으로 나타내었다.

결과 및 고찰

아비류 체내 조직 중 필수원소 분석결과는 Table 2에 나타냈다. 아비류 3종의 Fe과 Cu 농도는 간에서 높고 뼈에서 낮았으며, Mn과 Zn은 간과 뼈에서 높고 근육에서 낮아 이들 필수원소들은 체내 조직 간 축적특이성을 보였다. 또한 분석한 체내 조직 중 필수원소 농도는 Fe이 가장 높고, Zn, Cu, Mn 순으로 나타났다.

아비류 3종에서 Fe, Cu, Mn, Zn의 농도는 일부 조직에서 통계학적으로 종간에 유의차가 나타났지만 (Table 2) 그 차이는 개체의 연령, 성별, 몸 크기 등에 의한 생물학적 변동 폭 이내로 (이두표, 1995) 필수원소의 종특이적 축적현상은 보이지 않았다.

1. Fe 농도

아비류의 체내조직 중 평균 Fe 농도는 393~

12,914 $\mu\text{g/g}$ 의 범위로, 간 조직 (평균 11,166~12,914 $\mu\text{g/g}$)에서 가장 높고 뼈 조직 (평균 393~593 $\mu\text{g/g}$)에서 가장 낮았다 ($p<0.05$, Table 2). 이러한 경향은 Kim 등 (1996)이 보고한 아비류 및 다른 해양조류에서의 조직분포 패턴과 비슷하였다. 일반적으로 간 조직 중 높은 Fe 농도는 연령에 따른 미오글로빈 (myoglobin), 헤모글로빈 (hemoglobin)의 증가와 페리틴 (ferritin) 또는 헤모시테린 (hemosiderin)같은 Fe 저장 단백질에 기인한다 (Underwood, 1971).

아비류 3종의 간 조직 중 평균 Fe 농도는 11,653 $\pm 4,010$ $\mu\text{g/g}$ 로 번식지인 러시아지역에서 채집된 아비 및 큰회색머리아비 (정상개체)보다 약 5배 이상 높았고, 다른 잠수성 해양조류인 바다오리과 (Alcidae) 및 가마우지과 (Phalacrocoracidae) 조류의 농도보다 약 10배 이상 높게 나타났다. 그러나 미국 Michigan 지역에서 수집한 사망하거나 또는 병들거나 사망 직전인 북방아비 (*Gavia immer*)의 평균 농도보다는 약 4배 높았으나 농도범위를 보면 그중 일부 시료는 본 연구의 농도에 필적하는 높은 농도를 보였다 (Table 3). 이와 같이 약간의 유류에 오염되어 사망 직전인 본 연구의 시료와 질병으로 사망 직전인 Michigan 지역의 일부 시료에서 모두 간 조직 중 Fe 농도가 특이하게 높은 것을 알

Table 2. Concentrations (mean \pm SD and range in parenthesis, $\mu\text{g/g}$ dry wt) of essential metals in the liver, muscle, kidney and bone of loons

Tissues	Metals	Red-throated loon <i>Gavia stellata</i> (n=4)	Pacific loon <i>Gavia pacifica</i> (n=9)	Arctic loon <i>Gavia arctica</i> (n=12)
Liver	Fe	12,914 \pm 4,587 (9,232~18,907)	11,691 \pm 4,764 (5,296~19,881)	11,166 \pm 3,463 (4,663~15,729)
	Cu	60.4 \pm 13.1 (47.3~75.3)	62.1 \pm 29.8 (15.6~115)	67.3 \pm 36.3 (28.4~139)
	Mn	11.6 \pm 1.70 (9.10~12.7)	12.9 \pm 2.75 (9.35~17.2)	13.7 \pm 2.05 (10.5~17.3)
	Zn	106 \pm 21.1 (82.8~133)	112 \pm 20.6 (74.8~137)	134 \pm 24.2 (111~186)
Muscle	Fe	1,591 \pm 373 (1,052~1,892)	1,177 \pm 484 (596~1,877)	1,508 \pm 689 (811~3,246)
	Cu	55.6 \pm 10.1 ^a (42.4~65.7)	32.7 \pm 15.9 ^b (11.9~65.1)	36.7 \pm 10.7 ^{ab} (19.2~51.9)
	Mn	1.50 \pm 0.54 ^{ab} (0.77~2.07)	1.25 \pm 0.23 ^b (0.89~1.57)	2.54 \pm 1.36 ^a (1.28~6.43)
	Zn	85.4 \pm 8.81 (73.6~92.4)	73.1 \pm 20.8 (35.0~98.8)	81.6 \pm 27.5 (44.6~132)
Kidney	Fe	1,274 \pm 324 (946~1,171)	1,264 \pm 431 (628~1,911)	1,187 \pm 234 (853~1,592)
	Cu	30.0 \pm 6.71 (21.1~37.3)	25.2 \pm 10.1 (8.48~39.7)	19.5 \pm 12.6 (10.4~55.2)
	Mn	9.85 \pm 1.13 (9.03~11.4)	8.53 \pm 6.64 (3.68~21.5)	5.74 \pm 1.13 (4.49~8.12)
	Zn	93.8 \pm 13.3 (74.2~103)	96.5 \pm 26.9 (65.6~148)	93.0 \pm 29.1 (65.5~155)
Bone	Fe	593 \pm 143 ^a (474~799)	393 \pm 67.4 ^b (291~487)	437 \pm 107 ^b (307~619)
	Cu	3.10 \pm 0.64 ^{ab} (2.30~3.85)	3.89 \pm 0.72 ^a (2.75~4.67)	2.43 \pm 0.57 ^b (1.46~3.15)
	Mn	9.46 \pm 1.21 ^b (9.03~11.5)	11.4 \pm 2.54 ^{ab} (8.08~15.9)	14.5 \pm 2.95 ^a (7.70~18.6)
	Zn	137 \pm 9.13 ^a (128~146)	96.5 \pm 26.9 ^b (64.8~130)	108 \pm 15.6 ^b (77.5~133)

^{ab}For each species, means followed by different letters are significantly different ($p<0.05$)

Table 3. Concentrations (mean \pm SD and range in parenthesis, $\mu\text{g/g}$ dry wt) of essential metals in the liver of loons and seabirds in different areas

Family Species	N	Fe	Cu	Mn	Zn	Sampling area, year	References
Gaviidae							
Three species of loons	25 O	11,635 \pm 4,010 (4,663 ~ 19,881)	64.3 \pm 30.7 (15.6 ~ 139)	13.1 \pm 2.32 (9.10 ~ 17.3)	121 \pm 24.8 (74.8 ~ 186)	Busan coast, Korea, 1999 ~ 2003	This study
Red-throated loon <i>Gavia stellata</i>	1 NO	2,203	18.9	17.9	123	Northeast Siberia, Russia, 1993	Kim <i>et al.</i> , 1996
Arctic loon <i>G. arctica</i>	1 NO	627	12	20.9	133	Northeast Siberia, Russia, 1993	Kim <i>et al.</i> , 1996
Common loon ¹⁾ <i>G. immer</i>	54 U	2,947 (192 ~ 20,923)	60.3 (36.9 ~ 1,042)	40.8 (30.2 ~ 57.9)	154 (72.9 ~ 577)	Michigan, USA, 1988 ~ 1993	O'Brien <i>et al.</i> , 1995
Alcidae							
Ancient murrelet <i>Synthliboramphus antiquus</i>	9 NO	519 \pm 205	25.4 \pm 4.21	9.76 \pm 1.58	120 \pm 48.2	Canadian Pacific coast, 1990	Elliott and Scheuhammer, 1997
Ancient murrelet ¹⁾ <i>S. antiquus</i>	7 NO	801 \pm 176.1	18.0 \pm 1.98	9.03 \pm 1.14	86.7 \pm 11.5	North Pacific Ocean, 1986	Honda <i>et al.</i> , 1990
Rhinoceros auklet <i>Cerorhinca monocerata</i>	9 NO	1,033 \pm 266	22.2 \pm 2.57	11.6 \pm 1.35	111 \pm 16.6	Canadian Pacific coast, 1990	Elliott and Scheuhammer, 1997
Common guillemot ¹⁾ <i>Uria aalge</i>	6 NO	846 \pm 238	16.2 \pm 1.44	8.25 \pm 1.29	68.4 \pm 4.74	North Pacific Ocean, 1986	Honda <i>et al.</i> , 1990
Common guillemot <i>U. aalge</i>	30 O	1,54 \pm 0.87 (0.26 ~ 4.12)	1.01 \pm 0.63 (0.29 ~ 2.15)	0.99 \pm 0.69 (ND ~ 3.23)	73.3 \pm 12.7 (26.7 ~ 100)	Galician coast, 2002 ~ 2003	Pérez-López <i>et al.</i> , 2006
Atlantic puffin <i>Fratricula arctica</i>	24 O	27.0 \pm 8.2 (14.9 ~ 40.2)	27.0 \pm 8.2 (14.9 ~ 40.2)	39.4 \pm 15.5 (17.2 ~ 48.6)	27.0 \pm 8.2 (14.9 ~ 40.2)	Galician coast, 2002 ~ 2003	Pérez-López <i>et al.</i> , 2006
Razorbill <i>Alca torda</i>	43 O	0.99 \pm 0.69 (ND ~ 3.23)	0.99 \pm 0.69 (ND ~ 3.23)	39.4 \pm 15.5 (17.2 ~ 48.6)	39.4 \pm 15.5 (17.2 ~ 48.6)	Galician coast, 2002 ~ 2003	Pérez-López <i>et al.</i> , 2006
Phalacrocoracidae							
Olivaceous cormorant <i>Phalacrocorax olivaceus</i>	6 NO	1,098 \pm 311	20.3 \pm 3.0	11 \pm 1.8	98 \pm 18	Southeast gulf of California, 2000	Ruelas-Inzunza and Pérez-Ogúna, 2004
Great cormorant <i>P. carbo</i>	4 NO	36.5 \pm 1.1	36.5 \pm 1.1	19.0 \pm 0.48	166 \pm 4	Lake Biwa and Mie, Japan, 2003	Nam <i>et al.</i> , 2005
Tenninck's cormorant ¹⁾ <i>P. capillatus</i>	2 NO	993	16.47	15.4	76.8	Sea of East, 1987	Honda <i>et al.</i> , 1990

O: oiled; NO: non-oiled; U: unknown.

¹⁾Originally reported as ppm on a wet weight basis and converted as dry weight basis with conversion factor 3.0.

수 있다. 이 두 경우 모두 수집 전까지 기아가 장기간 지속되었다는 공통점이 있는 것으로 보아 장기간의 기아가 체내에서의 Fe 대사 및 축적에 영향을 미칠 수 있다는 사실을 암시해 준다.

2. Cu 농도

아비류 3종의 체내 조직 중 평균 Cu 농도는 2.43~67.3 µg/g의 범위로, 연조직인 간 조직(평균 60.4~67.3 µg/g)에서 가장 높고 경조직인 뼈 조직(평균 2.43~3.89 µg/g)에서 가장 낮게 나타났다($p < 0.05$, Table 2). 간은 Fe와 마찬가지로 Cu의 저장고로서 역할을 하는데 본 연구의 조직분포 경향은 다른 해양조류의 경향과 비슷하였다(Kim *et al.*, 1998).

아비류 3종의 간 조직 중 평균 Cu 농도는 64.3 ± 30.7 µg/g (15.6~139 µg/g)로 미국 Michigan 지역에서 사망하거나 또는 병들거나 사망 직전인 북방아비의 농도와 큰 차이가 없었으나 정상적인 러시아의 아비와 큰회색머리아비 농도보다는 약 3~5배 정도 높게 나타났다. 그리고 잠수성 해양조류인 바다오리과 및 가마우지과 조류의 평균 농도보다 약 2~3배 정도 높은 경향을 보였다(Table 3). 이와 같이 간 조직중 높은 Cu 농도는 Fe와 마찬가지로 장기간에 걸친 기아로 인한 체내 Cu 대사이상에 의한 것으로 사료된다.

3. Mn 농도

아비류의 체내 조직 중 평균 Mn 농도는 1.25~67.3 µg/g의 범위로, 간(평균 11.6~13.7 µg/g)과 뼈 조직(평균 9.46~14.5 µg/g)에서 높고 근육 조직(평균 1.25~2.54 µg/g)에서 가장 낮은 경향을 보였다($p < 0.05$, Table 2). 이러한 경향은 Kim 등(1996)이 보고한 아비류의 분포패턴과 비슷하며, Klasing (1998)의 조류에서 Mn은 뼈, 간, 횡장 및 신장 조직이 가장 활동적으로 흡수하는 조직으로 높은 축적이 일어난다는 보고와도 일치하였다.

아비류 3종의 간 조직 중 평균 Mn 농도는 13.1 ± 2.32 µg/g로 미국 Michigan 지역에서 수집한 북방아비의 농도보다는 낮았지만 큰 차이는 보이지 않았다. 또한 러시아에서 수집한 정상적인 아비와 큰회색머리아비의 농도와 비슷하였으며, 다른 해양조류인 바다오리과 및 가마우지과 조류들의 농도와

도 큰 차이가 없었다(Table 3).

해양조류에서 활용할 수 있는 Mn의 농도에 대한 정보는 부족한 편이다. 현재 Mn은 미국 및 캐나다 등의 나라에서 휘발류(gasoline)에 Pb 대신에 첨가제로 사용되고 있으며(Cooper, 1984), 멕시코 Culiacán 계곡의 집약적인 농경지에서 살균제로서 이용되고 있는데(Páez-Osuna *et al.*, 1993) 이러한 이유로 환경 중의 Mn 농도는 주의 깊게 고려되고 있다. 따라서 다른 국가들로 이들의 사용이 확장되기 전에 기초 자료를 확보하는 면에서 본 아비류의 Mn 농도는 중요할 것이라고 사료된다.

4. Zn 농도

아비류의 조직 중 평균 Zn 농도는 73.1~137 µg/g의 범위로, 간(평균 106~134 µg/g), 뼈(평균 96.5~137 µg/g), 신장(평균 93.0~96.5 µg/g)이 근육 조직(평균 73.1~85.4 µg/g)보다 높은 경향을 보였다($p < 0.05$, Table 2). 이러한 경향은 Kim 등(1996)의 러시아지역 아비류의 간에서 가장 높고 근육에서 가장 낮은 축적경향과 일치하였다. 일반적으로 Zn은 연조직인 근육, 간장, 신장보다 경조직인 뼈나 깃털 등에 높게 축적되는 조직 특이성을 보인다고 알려져 있으나 본 연구에서 Zn 농도는 연조직과 경조직간의 축적차이는 없었다.

아비류 간 조직 중 평균 Zn 농도는 121 ± 24.8 µg/g로 러시아 및 미국 Michigan 지역에서 수집한 아비류의 농도와 비슷한 수준이었다. 또한 해양조류인 바다오리과 및 가마우지과 조류들의 농도와도 큰 차이를 보이지 않았다(Table 3).

5. 유류오염과 필수원소 축적과의 관계

분석한 유류에 오염된 아비류의 간 조직 중 필수원소 농도는 보고된 정상적인 아비류와 잠수성 해양조류의 농도보다 Fe 농도는 약 5~10배, Cu 농도는 약 2~5배 정도 높게 나타났으나, Mn과 Zn의 농도는 큰 차이를 보이지 않았다.

간 조직 중의 Fe 농도는 조류의 성장단계와 절식에 의해 변동하며, 그 생물학적 변동 폭은 약 2배 정도로 알려져 있다(이두표, 1995). 그 예로 중대백로(*Egretta alba modesta*) 성조의 간 조직 중 Fe 축적레벨은 유조에 비해 낮고(Honda *et al.*, 1986a), 남극의 펭귄(*Pygoscelis adeliae*)에서는 절식의 진

행과 함께 농도가 상승한다는 보고가 있다(Honda *et al.*, 1986b). 또한 Hunt 등(1981)은 잠수성 해양 조류인 바다오리류의 경우 산소를 저장해야 하기 때문에 Fe 결합단백질인 미오글로빈을 많이 함유하고 있을 것으로 보았다. 간 조직 중 Cu 농도는 메탈로티오네인(metallothionein)에 의해 물질대사적으로 제어된다고 알려져 있다(Anan *et al.*, 2001). 그러나 Parker와 Holm(1990)은 산란기간 동안 바다오리류(*Somateria mollissima*)의 간 무게는 63% 감소하며, 산란초기에서 부화기까지 체중의 46%, 간 무게의 27%가 더 감소한다고 하였는데, Savinov 등(2003)은 이러한 절식으로 인해 바다오리류의 간 조직 중 농도가 증가할 수도 있다고 하였다. 그러나 본 연구의 Fe과 Cu 농도는 이러한 생물학적 변동에 의한 축적보다는 유류오염으로 인한 취식행동 감소로 장기간의 절식 및 기아, 질병 등의 불리한 생리적 조건으로 고농도 축적이 일어난 것으로 사료된다.

Pérez-López 등(2005)은 해양조류의 조직 내 Cu, Zn의 농도는 유류에 오염된 개체와 그렇지 않은 같은 개체를 비교했을 때 농도는 비슷하거나 낮은 것으로 유류오염으로 인한 농도차이는 크지 않다고 하였다. Nybø 등(1996)의 보고에 의하면 Zn은 항상성에 의해 조절되는데, 그 메커니즘은 초과된 Zn의 유입은 내장(gut)으로 배출을 증가시키거나 흡수를 감소시켜 Zn의 축적이 더 이상 증가하지 않는다고 하였다. 또한 대부분 수생 무척추동물(아비류의 먹이)의 Zn 농도는 환경 중의 농도에 의존하는데 수생 무척추동물도 체내 Zn 농도를 조절할 수 있다고 하였다(White and Rainbow, 1982; Devineau and Amiard-triquet, 1985). 따라서 보고된 농도와 큰 차이를 보이지 않은 아비류의 Zn 농도는 항상성에 의해 조절되는 것으로 보이며, 또한 환경 중에서 Zn의 양이 증가하여도 먹이생물과 아비류 개체 양쪽에서 조절되어 일정 농도 이상으로 Zn이 축적되지 않는 것으로 사료된다.

그러나 Saeki 등(1999)은 유류에 함유된 vanadium이 물범류에 있어서 Fe, Cu 같은 원소와 양의 상관관계가 있다고 하였다. 또한 Wenzel와 Adelung(1996)은 유류가 묻은 동물의 영양상태는 특히 Cu, Zn 같은 중금속 농도에 영향을 준다고 하였으며, Debacker 등(2000)은 간과 신장 조직 중 필수원소 농도는 질병의 진행 상태와 직접적인 관

련이 있다고 하였는데, 유류의 유무는 Fe의 축적에 영향을 주지만 Cu, Zn은 큰 영향이 없다고 하였다. 이와 같이 대부분의 연구결과는 유류오염은 필수원소의 농도에 큰 영향을 미치지 않는다고 하였으나 이는 대형 유조선 사고 등으로 인한 다량의 유류에 해양조류가 노출되어 곧바로 사망했을 경우에 해당되며, 본 연구의 시료처럼 약간의 유류가 깃털에 묻어 있어 장기간 경과 후 기아로 사망하는 경우와는 차이가 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 조직 중 Fe 및 Cu의 특이적으로 높은 농도는 약간의 유류오염으로 인한 장기간에 걸친 기아의 영향으로 생각되지만, 정확한 원인을 파악하기 위해서는 앞으로 유류오염과 필수원소 축적간의 관계에 대한 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 원병오 한국동식물도감 제25권 동물편(조류생태), 삼화서적주식회사 1981; 684-686.
- 이두표. 조류의 조직 중 중금속 축적레벨의 중간차에 관한 연구, 호남대학교산업기술연구논문집 1995; 2: 165-176.
- 이두표. 조류의 조직 중 중금속 레벨의 상관관계에 관한 연구, 경희대학교 조연보 1996; 5(1): 59-67.
- Anan Y, Kunito T, Watanabe I, Sakai H and Tanabe S. Trace element accumulation in hawkbill turtle (*Eretmochelys imbricate*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyama Islands, Japan, *Environ Toxicol Chem* 2001; 20: 2802-2817.
- Briggs KT, Yoshida SH and Gershwin ME. The influence of petrochemicals and stress on the immune system of seabirds, *Reg Toxicol Pharmacol* 1996; 23: 145-155.
- Carboneras C. Family Gaviidae (Loons). In: Hoyo J, Elliott A and Sargatal J (eds), *Handbook of the birds of the world*, Vol. 1. Lynx Edicions, Barcelona 1992; 162-172.
- Cooper WC. The health implications of increased manganese in the environment resulting from the combustion of fuel additives: a review of the literature, *J Toxicol Environ Health* 1984; 14: 23-46.
- Debacker V, Jauniaux T, Coignoul F and Bouquegneau JM. Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (*Uria aalge*) at the Belgian coast from 1993 to 1998, *Environ Res Section A* 2000; 84: 310-317.
- Devineau J. and Amiard-triquet C. Patterns of bioaccumulation of an essential trace element (zinc) and a pollutant

- (cadmium) in larvae of the prawn *Palaemon serratus*, Mar Biol 1985; 86: 139-143.
- Elliott JE and Scheuhammer AM. Heavy metal and metallothionein concentrations in seabirds from the Pacific coast of Canada, Marine Pollution Bulletin 1997; 34(10): 794-801.
- Honda K, Marcovecchio JE, Kan S, Tatsukawa R and Ogi H. Metal concentrations in pelagic seabirds from the north Pacific ocean, Arch Environ Contam Toxicol 1990; 19: 704-711.
- Honda K, Nin BY and Tatsukawa R. Organ and tissue distribution of heavy metals, and age-related changes in the eastern great white egret, *Egretta alba modesta*, in Korea, Arch Environ Contam Toxicol 1986a; 15: 185-197.
- Honda K, Yamamoto Y, Hidaka H and Tatsukawa R. Heavy metal accumulation in Adélie penguin, *Pygoscelis adeliae*, and their variations with the reproduction processes, Mem Natl Inst Polar Res Spec Issue 1986b; 40: 443-453.
- Hunt Jr GL, Burgeson B and Sanger GA. Feeding ecology of seabirds in the eastern Bering Sea. In: Hood DW and Calderv JA (eds), The eastern Bering Sea shelf: Oceanography and Resources (Vol. 2), University of Washington Press, Seattle, WA, 1981; 629-648.
- Kim EY, Goto R, Tanabe S, Tanaka H and Tatsukawa R. Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds, Arch Environ Contam Toxicol 1998; 35: 638-645.
- Kim EY, Ichihashi H, Saeki K, Atrashevich G, Tanabe S and Tatsukawa R. Metal accumulation in tissues of seabirds from Chaur, northeast Siberia, Russia, Environ Pollut 1996; 92: 247-252.
- Klasing KC. Comparative avian nutrition, Cambridge University Press 1998; 234-276.
- Lee DP, Honda K, Tatsukawa R and Woo PO. Distribution and residue level of mercury, cadmium and lead in Korean birds, Bull Environ Contam Toxicol 1989; 43: 550-555.
- Leighton FA. The toxicity of petroleum oils to birds: an overview. In: White J and Frink L (eds), The effects of oil on wildlife: research, rehabilitation and general concerns, The Effects of Oil on Wildlife 1991; 43-57.
- Nam DH, Anan Y, Ikemoto T, Okabe Y, Kim EY, Subramanian A, Saeki K and Tanabe S. Specific accumulation of 20 trace elements in great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) from Japan, Environ Pollut 2005; 134: 503-514.
- Norheim G. and Borch-Johnsen B. Svalbard: trace elements in liver from eider. In: Låg J (eds), Excess and deficiency of trace elements in relation to human and animal health in arctic and subarctic regions, The Norwegian Academy of Sciences and Letters 1990; 217-219.
- Nybø S, Fjeld PE, Jerstad K and Nissen A. Long-range air pollution and its impact on heavy metal accumulation in dipper *Cinclus cinclus* in Norway, Environ Pollut 1996; 94(1): 31-38.
- O'Brien DJ, Poppenga RH and Ramm CW. An exploratory analysis of liver element relationships in a case series of common loons (*Gavia immer*), Prev Vet Med 1995; 25: 37-49.
- Páez-Osuna F, Osuna-López JI, Izaguirre-Fierro G, Zazueta-Padilla H. Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin, Bull Environ Contam Toxicol 1993; 50: 696-702.
- Parker H and Holm H. Patterns of nutrient and energy expenditure female common eiders nesting in the High Arctic, The Auk 1990; 107: 660-668.
- Pérez-López M, Cid F, Orpesa AL, Fidalgo LE, Beceiro AL and Soler F. Heavy metal and arsenic content in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain), Sci Total 2006; 209-220.
- Piatt JF, Carter HR and Nettleship DN. Effects of oil pollution on marine bird population, The oil symposium Herndon Virginia 1990; 125-141.
- Ruelas-Inzunza J and Páez-Osuna F. Trace metals in tissues of resident and migratory birds from a lagoon associated with an agricultural drainage basin (SE Gulf of California), Arch Environ Contam Toxicol 2004; 47: 117-125.
- Saeki K, Nakajima M, Noda K, Loughlin TR, Baba N, Kiyata M, Tatsukawa R and Calkins DG. Vanadium accumulation in pinnipeds, Arch Environ Contam Toxicol 1999; 36: 81-86.
- Savinov VM, Gabrielsen GW and Savinova TN. Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences, Sci Total Environ 2003; 306: 133-158.
- Underwood EJ. Trace elements in human and animal nutrition (3rd ed.), Academic press Inc 1971.
- Wenzel C. and Adelung D. The suitability of oiled guillemots (*Uria aalga*) as monitoring organisms geographical comparisons of trace element contaminants, Arch Environ Contam Toxicol 1996; 31(3): 358-377.
- White SL. and Rainbow PS. Regulation and accumulation of copper, zinc and cadmium by the shrimp *Palaemon elegans*, Mar Ecol Prog Ser 1982; 8: 95-101.