

대한민국 새만금 갯벌지역에 도래하는 도요류 3종의 중금속 농도¹

이화수² · 김정수² · 구태희^{2*}

Heavy Metal Concentrations in Three Shorebird Species in Saemankeum Mudflat, Korea¹

Hwa-Su Lee², Jung-Soo Kim², Tae-Hoe Koo^{2*}

요 약

본 연구는 대한민국 서해안 새만금 갯벌지역에서 1999~2000년에 도래한 섭금류 3종의 간에서 철(Fe), 아연(Zn), 구리(Cu), 납(Pb) 그리고 카드뮴(Cd) 농도를 측정하여 비교하고, 각 원소 사이의 상관관계를 분석하였다. 연구결과 철(ANOVA, $p=0.018$), 구리(ANOVA, $p=0.043$), 납(ANOVA, $p<0.001$) 그리고 카드뮴(ANOVA, $p=0.016$)은 종간에 유의한 차이가 나타났지만 아연에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 본 연구에서 나타난 철, 아연 그리고 구리와 같은 필수원소는 조류의 체내 신진대사에 필요한 정상범위 내의 농도로 생각된다. 오염원소인 납 농도는 붉은어깨도요 *Calidris tenuirostris*($5.76\pm 2.14\mu\text{g/dry g}$)는 비오염수준이었지만 좀도요 *Calidris ruficollis*($29.4\pm 10.6\mu\text{g/dry g}$)와 뒷부리도요 *Xenus sinereus*($15.9\pm 11.9\mu\text{g/dry g}$)는 오염수준이었으며, 특히 좀도요는 중독수준에 근접하였다. 카드뮴 농도는 뒷부리도요($0.82\pm 1.12\mu\text{g/dry g}$)와 붉은어깨도요($0.45\pm 0.53\mu\text{g/dry g}$)는 비오염수준의 농도였으나, 좀도요($17.5\pm 22.1\mu\text{g/dry g}$)는 오염기준($3\mu\text{g/dry g}$)을 초과하였다. 원소간의 상관관계에서는 납과 카드뮴에서만 유의한 관계가 나타났고($r=0.067$, $p<0.01$), 다른 원소는 상관관계가 나타나지 않았다.

주요어 : 섭금류, 필수원소, 오염원소, 상관관계

ABSTRACT

We studied concentrations of trace elements such as iron, zinc, copper, lead and cadmium in three shorebird species from Saemankeum mudflat, Korea(1999~2000), and also analysed correlations between elements in livers. Iron(ANOVA, $p=0.018$), copper(ANOVA, $p=0.043$), lead(ANOVA, $p<0.001$) and cadmium (ANOVA, $p=0.016$) concentrations significantly differed among shorebird species, but zinc concentrations wasn't different among species. We suggested that iron, zinc, and copper concentrations were within a range for normal and are maintained by normal homeostatic mechanisms for wild birds. Lead concentrations in Great Knots *Calidris tenuirostris*($5.76\pm 2.14\mu\text{g/dry g}$) were at the background level but Red-necked Stints *Calidris ruficollis*($29.4\pm 10.6\mu\text{g/dry g}$) and Terek Sandpipers *Xenus sinereus*($15.9\pm 11.9\mu\text{g/dry g}$) were within the exposed level for wild birds. In particular, Red-necked Stints were nearly poisoned level. Cadmium concentrations in Terek Sandpipers and Great Knots were at the background concentration, but Red-necked Stints were greater than the poisoned level($3\mu\text{g/dry g}$). We found significantly correlations between lead and cadmium concentrations, but other elements didn't find.

1 접수 10월 22일 Received on Oct. 22, 2007

2 경희대학교 환경학 및 환경공학 전공 Department of Environment Science and Engineering Kyung Hee University, Gyoenggi(446-701), Korea

* 교신저자 Corresponding author(thkoo@khu.ac.kr)

KEY WORD : SHOREBIRD, ESSENTIAL ELEMENT, POLLUTANTS, CORRELATION

서 론

도요과 조류는 장거리를 이동하는 대표적인 종이며 (Cramp and Simmonds, 1983), 이동 중 몇몇 지역의 해변가에서만 서식하는 습성을 가지고 있다(Skagen and Knopf, 1993; Piersma *et al.*, 1994). 특히 우리나라의 서해안에서 관찰되는 도요과의 조류는 시베리아와 알래스카를 포함한 동북아시아와 중부아시아에서 번식을 하고(Parish, 1987), 월동을 위해 호주와 뉴질랜드까지 이동한다. 중간기착지와 월동지의 해변가와 갯벌에서 대부분의 취식 행동이 이루어지기 때문에, 이 지역은 그들에게 매우 중요한 서식지역이다(Burger *et al.*, 1977; Schneider, 1978; Evans *et al.*, 1979). 그러나 개발로 인한 갯벌의 파괴는 그들의 서식에 많은 부정적인 영향을 미치고 있으며(Piersma *et al.*, 1996; Piersma and Baker, 2000), 그로 인해 많은 수의 도요류가 최근 10년간 48%이상 감소하였다(Piersma *et al.*, 1996; Morrison *et al.*, 2001; International Wader Study Group, 2003). 이러한 개발로 인한 갯벌 파괴 외에 조개 채취나 낚시용 미끼를 잡는 행위도 도요과 조류에게는 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있지만(Goss-Custard *et al.*, 2000; Warnock *et al.*, 2002), 인간의 여러 활동으로 인해 발생하는 방해로 취식지의 질이 떨어지는 것이 가장 큰 문제이다(Cayford, 1993; Goss-Custard and Verbonen, 1993; De Boer and Logamane, 1996).

우리나라의 서해안은 섬금류의 중간기착지이며, 수많은 섬금류가 동아시아와 호주 경로의 중간지점에 있는 중국 충밍 동탄 지역을 거쳐 우리나라 서해안으로 이동한다(Barter *et al.*, 1997; Barter, 2002; Ma *et al.*, 2002). 우리나라에서 중간기착하는 섬금류의 규모는 춘계에는 대양주에서 월동하는 전체 개체수의 12%정도이고, 추계 통과 개체수는 약 5%이며, 그 중에서도 새만금방조제가 있는 만경강과 동진강 하류는 춘계 기준으로 우리나라에서 가장 많은 개체수가 도래하는 지역이다(이정연, 2001).

중금속은 생태계의 안정성에 심각한 위협을 주며, 특히 환경 중의 오염원소가 체내에 축적될 경우 특정조직 및 원소 간에 상호 배타적인 축적 경향을 나타내고, 독성방어와 항상성 기작 등의 복잡한 생리작용이 나타난다(Scheuhammer, 1996; Świergosz and Kowalska, 2000). 대부분의 납은 인류에 의해 환경 중으로 유입되었고, 이는 특별한 오염 문제를 일으키며, 조류의 생존에 큰 영향을 미친다(Pain and Amiard-Triquet, 1993). 대기 중의 카드뮴은 지각 속에 저장

되어 있다가 토양입자에 흡착되어 생태계로 나오게 되며, 용해된 카드뮴은 쉽게 식물에 흡착되어 급격히 심층토와 지표수를 오염시키며(Cabrera *et al.*, 1998), 또한 높은 독성과 저항성으로 음식물과 환경에서 가장 위험한 원소중의 하나로 알려져 있다(Battaglia *et al.*, 2005).

본 연구지역인 새만금 갯벌지역은 1992년부터 대단위의 간척사업으로 인한 환경오염 중 부영양화와 중금속 오염이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 인근 갯벌과 연안에서의 중금속오염에 관한 연구가 수행 되었지만(김종구 등 2003; 방동훈과 김옥배 2005), 이들의 연구는 하천수 및 퇴적물에 대해서만 연구되었고, 서식하는 생물의 체내 중금속 축적에 관해서는 황갑수 등(2002)에 의해 패류에 관한 연구만이 보고되었다. 조류에 관한 연구에서는 최근에 우리나라 영종도에 도래하는 섬금류의 체내 중금속 축적에 대한 연구가 이루어 졌다(Kim *et al.*, 2007).

이에 본 연구는 우리나라 서해안의 새만금 갯벌지역에 도래하는 도요과 조류 3종 28개체를 이용하여 간 조식 중의 중금속 농도를 파악하여, 중금속 농도의 중간차이와 축적농도 및 오염수준 그리고 원소별 상관관계를 비교, 분석하였다.

재료 및 방법

연구대상 조류는 도요목 도요과의 3종으로 좁도요 *Calidris ruficollis* 11개체, 뒷부리도요 *Xenus sinereus* 9개체, 붉은어깨도요 *Calidris tenuirostris* 8개체였다. 채집지역은 전라북도 군산시 옥구의 새만금 갯벌 지역이었으며 (Figure 1), 그물(mist net)을 이용해서 채집하였다. 채집은

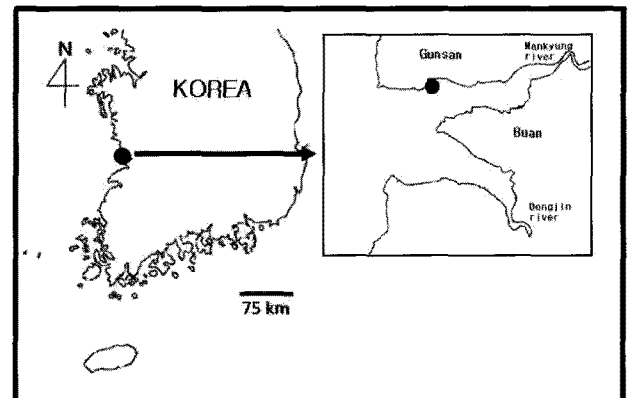


Figure 1. Collecting location of shorebirds in 1999~2000, from Saemankeum mudflat, Korea

Table 1. Heavy metal concentrations of shorebirds(Mean±SD, $\mu\text{g}/\text{dry g}$) in livers from Saemakeum mudflat, Korea

Species		Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
Red-necked Stint (n=11)	Mean±SD	641±450 ^a	91.8±148	16.6±5.73b	17.5±22.1a	29.4±10.6a
	Range	51.8-1384	1.84-475	10.5-30.1	0.11-64.8	16.9-54.3
Terek Sandpiper (n=9)	Mean±SD	604±377a	93.8±36.0	11.6±5.56b	0.82±1.12b	15.9±11.9b
	Range	82.8-1181	15.9-133	4.15-22.3	0.04-3.73	6.38-42.67
Great Knot (n=8)	Mean±SD	166±55.3b	140±151	25.7±18.5a	0.45±0.53b	5.76±2.14c
	Range	186-242	15.4-469	12.1-67.7	0.11-1.70	3.05-54.28
<i>p</i> value		0.018	NS	0.043	0.016	<0.001

NS: Not significant

^a: Means sharing same letter were not significantly different among species

1999년에서 2000년 이동기(춘계: 쯤도요, 뒷부리도요, 추계: 붉은어깨도요)에 이루어졌으며, 채집 즉시 폴리에틸렌 봉지에 넣어 해부하여 분석할 때까지 -20℃에서 냉동 보존하였다. 냉동된 시료는 해동시킨 후 해부하여 간 조직을 채취하였으며, 조직은 75℃에서 24시간동안 완전히 건조시킨 후 질산, 황산, 과염소산에 의해 켈달분해법으로 가열분해하였다. 분해액은 100ml로 정량 하였으며 철, 아연 및 구리는 원자흡광광도계로 직접 측정하였다. 또한 납과 카드뮴은 분해액을 DDTC-MIBK법에 의해 농축하여 추출한 다음 원자흡광광도계를 이용하여 측정하였다(Lee, 1989). 원소별 검출한계는 철과 아연은 $1\mu\text{g}/\text{dry g}$, 구리와 납은 $0.1\mu\text{g}/\text{dry g}$ 그리고 카드뮴은 $0.01\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이었다. 중금속 농도의 종간비교는 one-way ANOVA로 분석하였으며, 원소 간 비교에는 pearson 상관계수를 이용하여 유의성을 검정하였다. 또한 모든 통계분석은 SPSS 12.0을 이용하였다.

결 과

섭금류 3종의 간에서 철(ANOVA, $p=0.018$), 구리(ANOVA, $p=0.043$), 납(ANOVA, $p<0.001$) 그리고 카드뮴(ANOVA, $p=0.016$)의 농도는 종간에 유의적인 차이가 있었지만, 아연은 유의적인 차이가 없었다. 철 농도는 붉은어깨도요($166\pm 55.3\mu\text{g}/\text{dry g}$)가 쯤도요($641\pm 450\mu\text{g}/\text{dry g}$)와 뒷부리도요($604\pm 377\mu\text{g}/\text{dry g}$)보다 낮았으며, 구리농도는 붉은어깨도요($25.7\pm 18.5\mu\text{g}/\text{dry g}$)가 쯤도요($16.6\pm 5.73\mu\text{g}/\text{dry g}$)와 뒷부리도요($11.6\pm 5.56\mu\text{g}/\text{dry g}$)에 비하여 높았다. 납 농도는 쯤도요($29.4\pm 10.6\mu\text{g}/\text{dry g}$)의 간에서 가장 높았고, 다음은 뒷부리도요($15.9\pm 11.9\mu\text{g}/\text{dry g}$) 그리고 붉은어깨도요($5.76\pm 2.14\mu\text{g}/\text{dry g}$)의 순이었다. 카드뮴농도는 쯤도요($17.5\pm 22.1\mu\text{g}/\text{dry g}$)가 뒷부리도요($0.82\pm 1.12\mu\text{g}/\text{dry g}$)와 붉은어깨도요($0.45\pm 0.53\mu\text{g}/\text{dry g}$)보다 높았다. 쯤도요의 간에서 구리를 제외한 납, 카드뮴 그리고 철의 농도가 뒷부리도요와 붉은어깨도요에 비하여 높은 것으로 나타났다

(Table 1).

섭금류 3종의 원소사이의 상관관계는 납-카드뮴에서만 상관관계가 나타났으며($r=0.607$, $p=0.01$) 다른 원소 사이에는 상관관계가 나타나지 않았다(Table 2).

고 찰

일반적으로 간 조직 중 높은 철 농도는 연령에 따른 미오글로빈(myoglobin), 헤모글로빈(hemoglobin)의 증가와 페리틴(ferritin) 또는 헤모시데린(hemosiderin)같은 철 저장 단백질에 영향을 준다(Underwood, 1971; 김상진 등 2006). 본 연구에서의 철 농도는 평균 $166-641\mu\text{g}/\text{dry g}$ 의 범위였고, 종 간에 농도 차이가 있었다. 미국 캘리포니아 남부에서 섭금류인 Black-billed plover *Pluvialis squatarola*와 Willet *Catoptrophorus semipalmatus*의 암수를 대상으로 한 연구에서는 평균 $1,269-2,233\mu\text{g}/\text{dry g}$ 의 농도범위와 함께 종 간의 농도 차이가 보고되었다(Hui, 1998).

Table 2. Correlation coefficient(*r*) between the concentrations of Pb, Cd, Cu, Zn and Fe in livers of shorebirds

Pair of metal	<i>r</i>	N	
Pb-Cd	0.607	28	**
Pb-Cu	-0.105	28	
Pb-Zn	-0.005	27	
Pb-Fe	0.325	27	
Cd-Cu	0.068	28	
Cd-Zn	0.260	27	
Cd-Fe	0.338	27	
Cu-Zn	0.009	27	
Cu-Fe	-0.051	27	
Zn-Fe	-0.064	27	

N: Number of data pair

**: significant at $p=0.01$

그러나 본 연구에서의 철 농도는 우리나라에서 선행되어진 연구(Honda *et al.*, 1986; 김상진 등 2006; Kim and Koo, 2008; Kim *et al.*, 2008)와 비교해볼 때 낮은 농도였으며, 체내 항상성 유지를 위한 정상농도로 생각된다.

아연은 많은 효소의 기능에 필수적인 미량원소이지만, 과다한 투여는 이미 스트레스를 많이 받은 조류에게 또 다른 스트레스를 주는 원인이 된다. 또한 아연은 다른 필수 원소의 신진대사를 조절하기 때문에, 금속에 노출되는 만큼 체내의 농도가 증가되지는 않고, 환경수준에서의 잠재적인 변화량은 감소한다(Walsh, 1990; Wenzel *et al.*, 1996; Ek *et al.*, 2004). 또한 일반적으로 조류에게 수용되는 아연의 한계량은 존재하지 않지만(Taggart *et al.*, 2006), 청둥오리의 간을 이용한 임상실험에서 아연 중독의 농도는 473-1,990 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이었고(Levengood *et al.*, 1999), 해양성 조류의 간에서 아연 중독의 수준은 280-2,900 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이었다(Sileo *et al.*, 2003). 본 연구의 아연 농도 범위는 91.8-140 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 로 다른 연구의 농도보다 훨씬 낮았으며, 서해안 영종도에서 수행된 Kim *et al.*(2007)의 연구와 비슷한 농도였다.

수조류에서 구리농도의 체내 한계량은 존재하지 않지만, 종종 종간 차이 및 종에 따라 나타나는 역치 값의 차이가 크다(Parslow *et al.*, 1982; Mateo and Guitart, 2003). 캐나다기러기 *Branta canadensis*의 간에서 구리 중독농도는 187-387 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 였고(Henderson and Winterfield, 1975), 스페인의 5개 습지의 수조류 13종에 관한 연구에서도 간에서 구리의 농도는 0.84-599 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 로서 종 간 차이가 크게 나타났다(Mateo and Guitart, 2003). 또한 구리광산으로 오염된 지역의 연구(Vermeer and Castilla, 1991)와 백로과 조류를 이용한 연구(Kim and Koo, 2007)에서 식이물의 구리농도와 체내 구리농도사이에는 상호연관성이 나타나지

않았다. 본 연구에서의 구리농도(7.36-41.1 $\mu\text{g}/\text{dry g}$)는 서해안 영종도(Kim *et al.*, 2007)의 농도(0.03-47.7 $\mu\text{g}/\text{dry g}$; $\mu\text{g}/\text{wet g} \times 3 = \mu\text{g}/\text{dry g}$), Baltic Sea(Blomqvist *et al.*, 1987)의 민물도요 *Calidris alpina*(7.71-27.3 $\mu\text{g}/\text{dry g}$)와 Curlew Sandpipers *Calidris ferruginea*(11.0-28.2 $\mu\text{g}/\text{dry g}$)의 농도 범위였다(Table 3).

조류에서의 카드뮴농도는 신장에서 가장 높고, 간에서 낮은 수치를 보이며, 근육에서는 간보다 더 낮다(Nicholson, 1981; Thompson, 1990). 간은 체내에 축적되는 카드뮴 양의 절반 정도를 흡수하지만, 매우 안정적이고, 카드뮴의 독성효과에 대한 저항성이 매우 커서, 간에서 카드뮴의 농도를 측정하는 것은 전체 노출량의 감시할 때와 인체투입량을 추산할 때 가장 좋은 방법이다(Scheuhammer, 1987). 또한 Scheuhammer(1987)는 간에서 3 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이상의 농도가 검출 될 경우 오염수준으로 규정하였다. 본 연구의 뒷부리도요와 붉은어깨도요는 카드뮴 농도는 영종도(Kim *et al.*, 2007)와 낙동강(Lee *et al.*, 1987)의 연구보다 낮은 농도를 보였으나, 좁도요에서는 다른 두 종보다 훨씬 높았다(Table 4). 그리고 본 연구의 좁도요의 개체 중 45%정도가 오염수준 이상으로 나타났다. 본 연구에서 나타난 카드뮴 농도의 종간차이는 칠레(Vermeer and Castilla, 1991)와 영국(Evans *et al.*, 1987)의 연구에서도 보고되었다.

본 연구의 납 농도는 이전의 여러 섭금류 연구결과와 매우 큰 차이를 보였다. 야생조류 간에서의 납 농도는 <6 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이면 비오염수준, 6-30 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 이면 오염수준, >30 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 은 중독수준이다(Clark and Scheuhammer, 2003). 본 연구에서는 4개체(14.3%)가 비오염수준 이었고, 18개체(64.3%)는 오염수준이었으며, 6개체(21.4%)는 중독수준이었다. 좁도요는 11개체중 5개체가 중독수준이었으며, 비오

Table 3. Copper concentration(arithmetic mean, $\mu\text{g}/\text{dry g}$) in livers of shorebirds from various locations and this study

Species	Site	Level	Source
Red-necked Stint	Saemakeum, Korea	16.6	This study
Terek Snadpiper	Saemakeum, Korea	11.6	
Terek Snadpiper	Yeongjong Island, Korea	19.1 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Great Knot	Saemakeum, Korea	25.7	This study
Great Knot	Yeongjong Island, Korea	10.6 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Kentish Plover	Yeongjong Island, Korea	16.5 ^a	
Mongolian Plover	Yeongjong Island, Korea	16.0 ^a	
Dunlin	Yeongjong Island, Korea	25.9 ^a	
Dunlin	Ottenby, Sweden	13.7 ^a	Blomqvist <i>et al.</i> (1987)
Curlew sandpiper	Ottenby, Sweden	16.9 ^a	
Sanderling	Chile	30.6 ^a	Vermeer and Castilla (1991)
Whimbrel	Chile	27.2 ^a	
Common snipe	Albufera de Valencia, Spain	19	Metao and Guitart(2003)

^a: Original data were wet basis. Wet basis was converted to dry basis($\times 3$)

Table 4. Average cadmium concentration(arithmetic mean, $\mu\text{g}/\text{dry g}$) in livers of shorebirds from various locations and this study

Species	Site	Level	Source
Kentish Plover	Yeongjong Island, Korea	1.68 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Dunlin	Yeongjong Island, Korea	2.22 ^a	
Dunlin	Nakdong River, Korea	2.10 ^a	Lee <i>et al.</i> (1987)
Dunlin	Ottenby, Sweden	0.32 ^b	Blomqvist <i>et al.</i> (1987)
Great Knot	Yeongjong Island, Korea	1.98 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Great Knot	Saemakeum, Korea	0.45	This study
Terek Sandpiper	Yeongjong Island, Korea	1.35 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Terek Sandpiper	Nakdong River, Korea	3.93 ^a	Lee <i>et al.</i> (1987)
Terek Snadpiper	Saemakeum, Korea	0.82	This study
Red-necked Stint	Saemakeum, Korea	17.5	
Curlew Sandpiper	Ottenby, Sweden	1.26 ^b	Blomqvist <i>et al.</i> (1987)
Sanderling	Chile	16.2 ^a	Vermeer and Castilla (1991)
Whimbrel	Chile	130.8 ^a	

^a: Original data were wet basis. Wet basis was converted to dry basis($\times 3$)

^b: We used data from adult concentration

염수준의 농도를 보인 개체는 없었다. 뒷부리도요는 1개체만이 중독수준이었으며, 나머지는 오염수준이었고, 붉은어깨도요는 4개체가 오염수준, 나머지는 비오염수준이었다. 이 중 뒷부리도요의 축적농도는 영종도에서 이루어진 Kim *et al.*(2007)의 연구에서 가장 높은 농도를 보인 흰물떼새 *Charadrius alexandrinus*의 14.3 $\mu\text{g}/\text{dry g}$ 와 비슷했지만, 좁도요는 2배 이상 높은 농도였다. 또한 본 연구지역에서의

섭금류의 납 농도는 우리나라 낙동강(Lee *et al.*, 1987), 영국 Severn Estuary(Ferns and Anderson, 1997), 미국 Texas coast(White *et al.*, 1980) 그리고 스웨덴 Ottenby(Blomqvist *et al.*, 1987)의 농도보다 훨씬 높게 나타났다(Table 5).

납은 간에서 헤모글로빈의 합성을 방해하기 때문에 납 농도가 높은 개체에서는 독성 발현에 의해 비헤모글로빈 철이 간에 축적됨으로서 간에서의 철농도가 증가한다

Table 5. Average lead concentration(arithmetic mean, $\mu\text{g}/\text{dry g}$) in livers of shorebirds from various location and this study

Species	Site	Level	Source
Kentish Plover	Yeongjong Island, Korea	14.3 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Dunlin	Yeongjong Island, Korea	11.3 ^a	
Dunlin	Nakdong River, Korea	ND	Lee <i>et al.</i> (1987)
Dunlin	Bristol Channel, UK	4.2	Ferns and Anderson(1997)
Dunlin	Texas coast, USA	0.8	White <i>et al.</i> (1980)
Dunlin	Ottenby, Sweden	0.2	Blomqvist <i>et al.</i> (1987)
Great Knot	Yeongjong Island, Korea	12.8 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Great Knot	Saemakeum, Korea	5.76	This study
Terek Sandpiper	Yeongjong Island, Korea	3.60 ^a	Kim <i>et al.</i> (2007)
Terek Sandpiper	Nakdong River, Korea	0.12 ^a	Lee <i>et al.</i> (1987)
Least Sandpiper	Texas coast, USA	0.6	White <i>et al.</i> (1980)
Sanderling	Texas coast, USA	3.1	
Western Sandpiper	Texas coast, USA	2.5	
Curlew Sandpiper	Ottenby, Sweden	0.2	Blomqvist <i>et al.</i> (1987)
Red-necked Stint	Saemakeum, Korea	29.4	This study
Terek Snadpiper	Saemakeum, Korea	15.9	

^a: Original data were wet basis. Wet basis was converted to dry basis($\times 3$)

ND: Not Detected

(Underwood, 1971). 이두표(1996)의 연구에서는 납 중독에 의해 사망한 고니류의 철 농도를 비교한 결과, 납 중독 개체가 그렇지 않은 개체에 비해 월등히 높은 농도를 보였고, 간에서 철과 납사이의 상관관계를 알 수 있었다. 또한 이러한 결과는 집비둘기 *Columba livia* 체내의 중금속 농도를 연구한 남동하 등(2002)의 연구에서 공단지역으로 가정한 부산지역에서도 위와 같은 상관관계가 나타났다. 이에 반해 본 연구에서는 이두표(1996)의 연구에서와 같이 철과 납사이의 상관관계는 나타나지 않았지만(Table 2), 납 중독수준과 오염수준을 보인 줌도요와 뒷부리도요에서 그렇지 않은 붉은어깨도요에 비해 약 4배정도의 높은 철 농도를 보였다.

독성원소와 필수원소간의 상호작용은 신진대사 중에 일어나며(Goyer, 1995), Nam and Lee (2006)에 의해 수행된 서울과 안산의 집비둘기의 중금속 축적에 관한 연구와 Kim et al.(2008)의 우리나라 올빼미류 3종의 중금속 축적에 관한 연구에서는 독성원소인 납, 카드뮴과 필수원소인 아연에서 높은 상관관계가 보고되었다. 그러나 본 연구에서는 납과 카드뮴에서만 상관관계가 나타났으며, 이러한 상관관계는 호주와 푸에르토리코에서 열대 제비갈매기류의 깃털을 이용한 연구에서도 보고되었다(Burger and Gochfeld, 1991). 그러나 본 연구에서 납과 아연 그리고 카드뮴과 아연 간에는 상관관계가 나타나지 않았다. 따라서 본 연구에서도 출된 이러한 원소간의 상관관계에 대해 더 정밀한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

우리나라 새만금 갯벌지역에서 중간기착하는 도요류 3종의 간에서의 중금속 농도측정 결과, 대상종의 필수원소에서는 정상범위의 농도였지만, 납 농도는 뒷부리도요와 줌도요에서, 카드뮴은 줌도요에서 오염농도에 해당하였다. 또한 체내 농도는 다른 지역에 비해 높았지만, 퇴적물에 대한 조사에서는 다른 지역에 비해 농도가 비교적 낮았다. 따라서 우리나라를 거쳐 이동하는 섬금류와 이들의 중간기착지에 대한 지속적인 모니터링을 통해 이들 조류의 중금속 오염에 대한 근본적인 원인을 파악하여 이들의 보호 및 관리계획을 수립하여야 할 것이다.

인용문헌

- 김상진, 이종남, 이두표(2006) 유류에 오염된 아비류(Loons)의 체내 조직 중 필수원소 농도. 한국환경독성학회지 21(3): 267-273.
- 김종구, 유전재, 조은일, 안옥성(2003) 새만금갯벌의 중금속 분포 특성. 한국수산학회지 36(1): 55-61.
- 남동하, 이두표, 구태희(2002) 비둘기의 체내 조직중 중금속 농도의 상관관계. 한국생태학회지 25(5): 335-339.
- 방동훈, 김옥백(2005) 새만금 유입하천 퇴적물 및 하천수의 주요 용존 이온과 중금속 원소 분포 특성. 한국지구시스템공학회지 42(2): 69-78.
- 이두표(1996) 조류의 조직 중 중금속 레벨의 상관관계에 관한 연구. 경희대학교 한국조류연구소 5(1): 59-67.
- 이정연(2001) 한국 서해안에 도래하는 섬금류의 생태. 경희대학교 대학원 박사학위논문, 189쪽.
- 황갑수, 신형선, 김강주, 여성구, 박성민, 임규재(2002) 새만금지역 갯벌 환경(패류, 저질)에서의 중금속 분포특성. 한국물환경학회지 18(4): 341-354.
- Barter, M.(2002) Shorebirds of the Yellow Sea-importance, threats and conservation status. Canberra, Australia.
- Barter, M., D. Tonkinson, S.X. Tang, X. Yuan and F. Qian(1997) Staging of Great Knot *Calidris tenuirostris*, Red Knot *C. canutus* and Bar-tailed Godwit *Limosa lapponica* at Chongming Dao, Shanghai: Jumpers to Hoppers? *Stilt* 31: 2-11.
- Battaglia, A., S. Ghidini, G. Campanini and R. Spaggiari(2005) Heavy metal contamination little owl(*Athene noctuna*) and common buzzard(*Buteo buteo*) from Northern Italy. *Ecotoxicol. Environ. Safety* 60: 61-66.
- Blomqvist, S., A. Frank and L.R. Peterson(1987) Metals in liver and kidney tissues of autumn-migrating Dunlin *Calidris alpina* and Curlew sandpiper *Calidris ferruginea* staging at the Baltic Sea. *Mar Ecol. Prog.* 35: 1-13.
- Burger, J., M.A. Howe, D.C. Caldwell and J. Chase(1977) Effect of Tide cycles on habitat selection and habitat partitioning by migrating shorebirds. *Auk* 94: 743-758.
- Burger, J. and M. Gochfeld(1991) Lead, Mercury, and Cadmium in feathers of tropical Terns in Puerto Rico and Australia. *Arch. Environ. contam. Toxicol.* 21: 311-315.
- Cabrera, C., E. Ortega, M. Lorenzo and M. Lopez(1998) Cadmium contamination of vegetable crops, farmlands and irrigation waters. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 154: 55-81.
- Cayford, J.(1993) Wader disturbance: a theoretical overview. *Wader study Group Bulletin* 68: 3-5.
- Clark, A.J. and A.M. Scheuhammer(2003) Lead poisoning in up-landforaging Birds of Prey in Canada. *Ecotoxicology* 12: 23-30.
- Cramp, S. and K.E.I. Simmons(1983) The birds of the western Palearctic, vol. III. Waders to Gulls. Oxford University Press, Oxford.
- De Boer, W.F. and F.A. Longamane(1996) The exploitation of intertidal food resources in Inhaca Bay, Mozambique, by shorebirds and humans. *Biol. Conserv.* 78: 295-303.
- Ek, K.H., G.M. Morrison, P. Lindberg and S. Rauch(2004) Comparative tissue distribution of metals in birds in Sweden using ICP-MS and laser ablation ICP-MS. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 47: 259-269.
- Evans, P.R., D.M. Herdson, P.J. Knights and M.W. Pienkowski(1979) Short-term effects on reclamation of part of

- Seal Sands, Tees-mouth, on wintering waders and shelduck. I. Shorebird diets, invertebrates. *Oecologia* 41: 183-206.
- Evans, P.R., J.D. Uttley, N.C. Davidson and P. Ward(1987) Shorebirds (S. Os Charadrii and Scolopaci) as agents of trans-ger of heavy metals within and between estuarine ecosystems. *Pollutant Transport and Fate in Ecosystems*, ed. P.J. Coughtrey, M.H. Martin and M.H. Unsworth, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 337-352
- Ferns, P.N. and J.I. Anderson(1997) Lead in the diet and body tissues of Dunlins, *Calidris alpina*, from the Bristol Channel, UK. *Environ. Pollut.* 96: 35-42.
- Goss-Custard, J.D. and N. Verbonen(1993) Disturbance and feeding shorebirds on the Exe estuary. *Waderstudy Group Bulletin* 68: 59-66.
- Goss-Custard, J.D., R.A. Stillman, A.D. West, S. McGrorty, S.E.A. Le V.dit Durell and R. Caldwell(2000) The role of behavioural models in predicting the ecological impact of harvesting. In Gosling L. M. and Sutherland W. J.(eds), *Behaviour and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 65-82 .
- Goyer, R.A.(1995) Nutrition and metal toxicity. *Am Clin Nutr (Suppl)*. 61: 646S-650S.
- Henderson, B. M. and R.W. Winterfield(1975) Acute copper toxicosis in the Canada goose. *Avian Dis.* 19: 385-387.
- Honda, K., B.Y. Min and R. Tatsukawa(1986) Distribution of heavy metal and their age-related changes in the eastern Great White Egret, *Egretta alba modesta*, in Korea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 15: 185-197
- Hui, C.A.(1998) Metal and trace element burdens in two shorebird species at two sympatric wintering sites in southern California. *Environ. Monitor. Assess.* 50: 233-247.
- International Wader Study Group(2003) Waders are declining worldwide. Conclusions from the 2003 International Wader study Group Conference, Cádiz, Spain. *Wader Study Group Bulletin* 101/102: 8-12.
- Kim, J. S., and T. H. Koo(2007) Heavy metal concentrations in diet and livers of black-crowned night heron *Nycticorax nycticorax* and grey heron *Ardea cinerea* chicks from Pyeongtaek, Korea. *Ecotoxicology* 16: 411-416.
- Kim, J.S., and T.H. Koo(2008) Heavy metal distribution in chicks of two Heron species from Korea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 54: 740-747.
- Kim, J. S., H. Lee and T. H. Koo(2008) Heavy metal concentrations in three Owl species from Korea. *Ecotoxicology* 17: 21-28.
- Lee, D.P.(1989) Heavy metal accumulation in birds: Use of feathers as monitoring without killing. Ph. D. Thesis, Ehime Univ., Matsuyama, Japan.
- Lee, D.P., K. Honda and R. Tatsukawa(1987) Comparison of tissue distribution of heavy metals in birds in Japan and Korea. *J. Yamashina Inst. Ornithol.* 19: 103-116.
- Levengood, J.M., G.C. Sanderson, W.L. Anderson, G.L. Foley, L.M. Skowron, P.W. Brown and J.W. Seets(1999) Acute toxicity of ingested zinc shot in game-farm mallards. III. *Nat. Hist. Surv. Bull.* 36: 1-36.
- Ma, Z.J., K. Jing, S.M. Tang and J.K. Chen(2002) Shorebirds in the eastern intertidal areas of Chongming island during the 2001 northern migration. *Stilt* 41: 6-10.
- Mateo, R. and R. Guitart(2003) Heavy metals in livers of waterbirds from Spain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44: 398-404.
- Morrison, R.I. G., Y. Aubry, R.W. Butler, G.W. Beyersbergen, C. Downes, G.M. Donaldson, C.L. Gratto-Trevor, P.W. Hicklin, V.H. Johnston and R.K. Ross(2001) Declines in north American shorebird populations. *Wader Study Group Bulletin* 94: 34-38
- Nam, D.H. and D.P. Lee(2006) Reproductive effects of heavy metal accumulation on breeding feral pigeons (*Columba livia*). *Sci. Total Environ.* 366: 682-687.
- Nicholson, J.K.(1981) The comparative distribution of zinc, cadmium and mercury in selected tissues of the herring gull (*Larus argentatus*). *Comp. Biochem. Physiol. C-Toxicol. Pharmacol.* 68: 91-94.
- Parish, D.(1987) Conservation of wader habitats in East Asia. In: Davidson N.C. and Pienkowski M.W.(eds), *The Conservation of International Flyway Population of Waders*. Wader Study Group Bulletin No. 49 Suppl./ IWRB Special Publication No. 7: 4-14.
- Parslow, J.L.F., G.J. Thomas and T.D Williams(1982) Heavy metals in the livers of waterfowl from the Ouse Washes, England. *Environ. Pollut.* 29: 317-327.
- Pain, D.J. and C. Amiard-Triquet(1993) Lead poisoning of raptors in France and elsewhere. *Ecotoxicol. Environ. Safe* 25: 183-192.
- Piersma, T., Y. Verkuil and I. Tulp(1994) Resources for long-distance migration of knots *Calidris canutus islandica* and *C. c. canutus*: how broad is the temporal exploitation window of benthic prey in the western and eastern Wadden Sea? *Oikos* 71: 393-407.
- Piersma, T., J. Van Gils and P. Wiersma(1996) Family Scolopacidae(sandpipers, snipes and phalaropes). In Del Hoyo J., Elliott A. and Sargatal J.(eds). *Handbook of the Birds of the World*. Vol. 3. Hoatzin to Auks. Lynx Editions, Barcelona, pp. 444-533.
- Piersma, T. and A.J. Baker(2000) Life history characteristics and the conservation of migratory shorebirds. In: Gosling L. M. and Sutherland W. J.(eds), *Behaviour and Conservation*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 105-124.
- Scheuhammer, A.M.(1987) The chronic toxicity aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: a review. *Environ. Pollut.* 46:

- 263-295.
- Scheuhammer, A.M.(1996) Influence of reduced dietary calcium on the accumulation and effects of lead, cadmium, and aluminum in birds. *Environ. Pollut.* 94: 337-343.
- Schneider, D.(1978) Equalization of prey number by migratory shorebirds. *Nature, Lond.* 271: 353-354.
- Sileo, L., W. N Beyer and R. Mateo(2003) Pancreatitis in wild zinc-poisoned waterfowl. *Avian Pathol.* 32: 655-660.
- Skagen, S.K. and K.L. Knopf(1993) Towards conservation of mid-continental shorebird migrations. *Conserv. Biol.* 7(3): 533-541.
- Świergosz, R. and A. Kowalska(2000) Cadmium accumulation and its effects in growing pheasants *Phasianus colchicus*(L). *Environ. Toxicol. Chemist.* 19(11): 2742-2750.
- Taggart, M.A., J. Figuerola, A.J. Green, R. Mateo, C. Deacon, D. Osborn and A. A. Meharg(2006) After the Aznalóllar mine spill: arsenic, zinc, selenium, lead and copper levels in the livers and bones of five waterfowl species. *Environ. Res.* 100: 349-361.
- Thompson, D.R.(1990) Metal levels in marine vertebrates. In: Furness R. W. and P. S. Rainbow(eds), *Heavy Metals in the Marine Environment*. CRC Press Boca Raton, pp. 143-182.
- Underwood, E.J.(1971) Trace element in human and anti-malnutrition(3rd ed.). New York, Academic press.
- Vermeer, K. and J.C. Castilla(1991) High cadmium residues observed during a pilot study in shorebirds and their prey downstream from the El Salvador copper mine, Chile. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 46: 242-248.
- Walsh, P.M.(1990) The use of seabirds as monitors of heavy metals in the marine environment. In: Furness R. W., P. S. Rainbow (eds), *Heavy Metals in the Marine Environment*. CRC Press Boca Raton, pp. 183-204.
- Warnock, N., C. Elphick and M.A. Rubega(2002) Shorebirds in the marine Environment. In: Schreiber E.A. and Burger J.(eds). *Biology of Marine Birds*. CRC Press LLC, Florida, pp. 581-615.
- Wenzel, C., D. Adelung and H. Theede(1996) Distribution and age-related changes of trace elements in kittiwake *Rissa tridactyla* nestlings from an isolated colony in the German Bight, North Sea. *Sci. Total Environ.* 193: 13-26.
- White, D.M., K.A. King and R.M. Prouty(1980) Significance of organochlorine and heavy metal residues in wintering shorebirds at Corpus Christi, Texas, 1976-1977. *Pest Monit. J.* 14: 58-63.