한국환경생태학회지 16(3) : 233~238, 2002
Kor. J. Env. Eco. 16(3) : 233~238, 2002

비둘기 깃털을 이용한 납 오염 모니터링[1]

남동하[2] · 이두표[3] · 구태회[2]

The Use of Feral Pigeon's (*Columba livia*) Feathers as a Monitor for Lead Pollution in Korea[1]

Dong-Ha Nam[2], Doo-Pyo Lee[3], Tae-Hoe Koo[2]

요 약

비둘기 깃털을 이용하여 섬지역(경기도 덕적도), 도심지역(서울), 공단지역(여천, 안산, 울산, 부산)의 납 오염 수준을 모니터링 해본 결과, 깃털의 평균 납 농도는 섬지역이 2.55 ㎍/wet g, 도심 지역이 4.99 ㎍/wet g, 공단지역이 3.08~9.01 ㎍/wet g으로 각 지역간에 유의한 농도 차이가 있는 것으로 조사되었다($p<0.05$). 다만, 여천 공단의 경우 다른 공단에 비해 상대적으로 낮게 나타났으며 섬지역과 비슷한 수준의 납이 검출되었다. 이러한 각 지역간 깃털의 납 농도는 대기오염 농도와도 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 납 농도가 비교적 낮은 덕적도와 여천 공단의 경우 간과 깃털 조직간에 정의 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌지만($p<0.05$) 그 외의 지역에서는 상대적으로 간 농도에 비해 깃털의 농도가 높았으며, 두 조직간에 상관관계가 없는 것으로 조사되었다($p>0.05$). 이와 같은 결과는 덕적도와 여천 공단지역의 깃털 중 납의 대부분은 체내 조직으로부터 깃털로 이행되어진 것으로 판단되지만, 그 외 지역에서는 체내 조직에서 깃털로 이행된 양보다는 외부로부터 깃털에 부착된 양이 더 크다는 것을 시사한다.

주요어 : 섬지역, 도심지역, 공단지역, 상관관계

ABSTRACT

In this study, we investigated the lead exposure conditions using feathers of pigeons as a monitor for lead pollution from rural (Duckjeok Island), central urban (Seoul), and industrial complex areas (Yochon, Ansan, Ulsan, and Busan) in Korea. The feathers were taken from breast body parts and their lead analysis was performed without washing the feathers to reflect lead particles attached to the surface. The tissue lead concentrations were also compared with levels of atmospheric concentrations. The lead levels in the feathers were increased when the atmospheric lead levels were higher, so that the lead levels in the feathers of the pigeons from the industrial complex area with highest atmospheric lead levels were about four times greater than those of the rural areas. A positive correlation was found between the lead concentration of the pigeon's livers and feathers in rural, and the Yochon industrial complex area with the lowest lead levels. This result means that most of lead in feathers is transported

1 접수 9월 6일 Recieved on Sept. 6. 2002
2 경희대학교 환경응용화학부 College of Environment and Applied Chemistry, Kyung Hee Univ., Suwon, Korea
3 호남대학교 자연과학부 School of Natural Science, Honam Univ., Gwangju, 506-714, Korea

from body tissues during the molting period without attached atmospheric lead. Thus, the feather lead concentrations could be discussed in the light of the metabolism known to occur between the liver and feathers. However, there were not significant correlations in the other areas with higher atmospheric lead levels, and observed relatively higher lead accumulation ratio in feathers than in livers compared with rural and the Yochon industrial complex areas. It is therefore suggested that the former was more exposure conditions and mainly influenced by outer pollutant sources than by the metabolism as the latter.

KEY WORDS : RURAL, URBAN, INDUSTRIAL COMPLEX, CORRELATION

서 론

지난 수 십년 동안 여러 나라에서 조류를 이용하여 생태계의 오염을 모니터링해 왔으며, 맹금류나 어식성 조류와 같은 먹이 연쇄상의 상위에 속하는 조류가 주를 이루어 왔다(Burger, 1993; Movalli, 2000). 그러나 이러한 맹금류나 어식성 조류는 이동 범위가 매우 크며 넓은 지역에서 취식(foraging)을 하기 때문에 특정 지역의 오염 수준을 평가하는데 어려움이 따른다(Burger and Gochfeld, 1997). 최근에는 특정 지역의 중금속 오염을 모니터링하기 위하여 박새류 등의 소형 참새목 조류(Llacuna *et al.*, 1995; Cahill *et al.*, 1998; Dauwe *et al.*, 1999; Eens *et al.*, 1999; Dauwe *et al.*, 2000; 2002a; 2002b) 및 비둘기류(Janiga *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 2001)와 같이 이동 범위가 작고 제한적인 취식 지역을 갖는 정착성 조류를 생물 지표종으로서 활용하고 있다. 뿐만 아니라, 조류의 깃털을 이용한 중금속 오염 측정은 수집 및 저장이 간편하고, 체내 조직의 농도와 외부의 오염원이 그대로 반영될 수 있는 장점으로 최근 많은 연구 결과가 보고되고 있다(Movalli, 2000; Burger and Gochfeld, 2000a; 2000b; 2000c; Janssens *et al.*, 2001; Dauwe *et al.*, 2000; 2002a; 2002b).

비둘기(*Columba livia*)의 경우, 주변의 서식 환경과 주위 여건에 따라 차이가 있지만 보통 10~30km 이내의 이동거리를 가지며, 주간(daylight) 중 대부분을 일광욕, 목욕, 깃털 다듬기 등의 휴식과 비행, 취식 등을 위해 보내면서 외부 환경에 노출되어 있기 때문에(Johnston and Janiga, 1995) 주변 환경의 오염원에 영향을 받을 가능성이 크다. 그러나 아직까지 한국산 비둘기의 깃털에 대한 중금속 오염에 관한 정보는 전무한 실정이다.

이에 본 연구는 비둘기의 깃털을 이용하여 섬지역(덕적도), 도심지역(서울), 공단지역(여천, 안산, 부산, 울산)의 납 오염을 모니터링 하는데 그 목적이 있으며, 각 지역의 대기 농도와 깃털의 납 축적 농도와의 연관성에 대해서도 조사하였다.

재료 및 방법

연구대상지 선정은 환경부와 국립환경연구원에서 측정한 대기 중의 중금속 오염 자료를 참고로 하여 도심지역(서울시 중구), 공단지역(여천: 여수시 중흥동, 안산: 반월, 울산: 여천동, 부산: 감전동)과 대조지역인 섬지역(덕적도)으로 구분하였고(Figure 1), 2000년 9월에서 12월 사이에 성조(Adult)를 대상으로 적정 개체를 채집하였다.

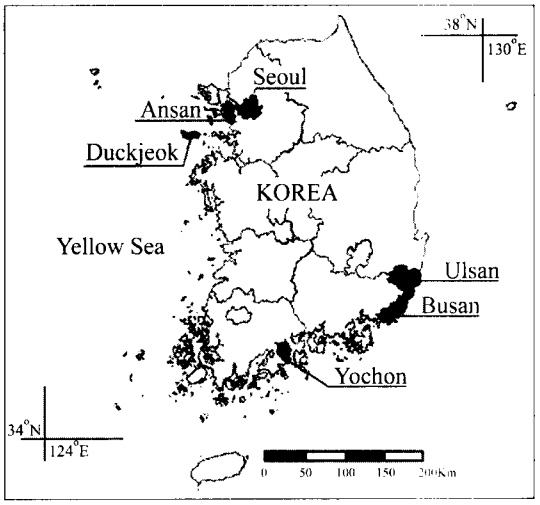

Figure 1. Sample collecting locations in the study area

이들 조류는 채집 즉시 폴리에틸렌 봉지에 넣어 해부시까지 -20℃에서 냉동 보관하였다. 기본적인 외부 측정을 실시한 후 세척하지 않은 깃털(breast feather), 간 등의 조직을 적출하였다. 냉동 보존한 각 조직은 균질화 한 다음 약 3~5g을 황산, 질산, 과염소산으로 가열분해한 후 분해액을 100 ㎖로 희석하였다. 납(Pb)은 분해액을 DDTC-MIBK에 의해 추출 농축한 후 원자흡광광도계(atomic absorption spectrophotometry)를 이용으로 측정하였다(Lee, 1989). 중금속 농도의 지역간 비교는 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range tests에 의해서 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 납 농도

간 조직과 깃털에서의 납 농도를 측정한 결과, 깃털은 평균 2.55 ㎍/wet g(덕적도)~9.05 ㎍/wet g(안산 공단), 간 조직은 1.57 ㎍/wet g(덕적도)~2.09 ㎍/wet g(서울)으로 깃털이 간 조직에 비해 월등히 높게 검출되었다. 지역간 비교에서 간 조직 중 납 농도는 지역간에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 깃털에서의 납 농도는 덕적도와 여천 공단에서 각각 평균 2.55 ㎍/wet g, 3.08 ㎍/wet g으로 비교적 낮게 나타났고, 울산, 부산, 안산 공단에서는 6.83~9.01 ㎍/wet g으로 상대적으로 높은 농도가 검출되었다(Table 1). 대기 농도는 안산 공단에서 0.29 ㎍/m³으로 다른 지역에 비해 높은 수치를 보였으며 여천 공단은 0.01 ㎍/m³으로 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 깃털의 납 농도는 대기 중의 납 농도와 대체로 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다(Table 2).

2. 간 조직과 깃털과의 상관관계

깃털 중 납 농도가 비교적 낮은 덕적도와 여천 공

Table 1. Lead concentrations in liver and feather of feral pigeons

Site		N	Lead (㎍/wet g)	
			Liver	Feather
Rural	Duckjeok	8	1.57±0.27 [a]	2.55±0.49 [a]
Urban	Seoul	10	2.09±0.57 [a]	4.99±1.21 [b]
	Yochon	17	1.44±0.38 [a]	3.08±1.55 [a]
Industrial	Ansan	12	1.87±0.52 [a]	9.01±3.00 [c]
complexes	Busan	11	2.02±0.63 [a]	7.76±2.01 [c]
	Ulsan	9	1.68±0.48 [a]	6.83±2.51 [c]

*Each value indicates mean ± SD. Mean values with different letter indexes in a column are significantly different by one-way analysis of variance and Duncan's multiple range tests ($p<0.05$).

Table 2. Atmospheric lead concentrations

Site		Lead (㎍/m³)
		Atmosphere*
Rural	Duckjeok	–
Urban	Seoul	0.09 (0.05~0.15)
	Yochon	0.01 (0.00~0.02)
Industrial complexes	Ansan	0.29 (0.10~1.00)
	Busan	0.16 (0.06~0.97)
	Ulsan	0.08 (0.04~0.14)

*Monthly mean concentrations between January 1998 and September 2000 (Source: Ministry of Environment & National Institute of Environmental Research: Monthly Report of Air Quality, 1998~2000). A "-" indicates that no atmospheric data available.

Table 3. Correlation coefficient (r^2) between the concentrations of lead in the liver and the concentrations in the feather

	Rural	Urban	Industrial complexes			
	Duckjeok (8)	Seoul (10)	Yochon (17)	Ansan (12)	Busan (11)	Ulsan (9)
Liver-Feather	0.85*	0.37	0.85*	0.11	0.19	0.42

Numbers in parentheses *p < 0.05

단지역에서는 간 조직과 깃털간 정의 상관관계가 있는 것으로 밝혀졌으나, 그 외 지역에서는 상대적으로 간 조직에 비해 깃털에서 농도가 높았으며 두 조직간에 상관관계가 없는 것으로 밝혀졌다(Table 3). 특히, 덕적도의 경우에는 모든 개체에서 간 : 깃털의 납 농도 비율이 1 : 2이하로 나타났으며, 여천 공단의 경우에 약 2/3의 개체가 1 : 2 이하의 비율로 조사되었다. 반면, 울산, 부산, 안산 공단에서는 간 조직의 납 농도에 비해서 깃털의 납 농도가 월등히 높은 것으로 나타났다(Table 1).

3. 고찰

비둘기 깃털을 세척하지 않고 납 오염 농도를 모니터링 한 결과, 섬 지역인 덕적도의 평균 2.55 ㎍/wet g에 비해서 안산, 부산, 울산 공단이 평균 6.83~9.01 ㎍/wet g으로 약 3배 이상 높은 농도가 검출되었다. 또한 다른 공단과는 대조적으로 여천 공단은 깃털의 납 농도가 3.08 ㎍/wet g으로 덕적도와 비슷한 수준의 농도가 검출되었다. 이러한 깃털의 납 농도는 대기오염 농도와도 대체로 비슷한 경향을 보였으며, 지역간 납 노출 정도를 일정 부분 반영하고 있는 것으로 판단된다.

특히 깃털에서의 납 농도가 비교적 낮은 덕적도와 여천 공단에서는 간과 깃털 조직간에 정의 상관관계가 있는 것으로 나타났으며 덕적도의 경우에 모든 개체에서 간 : 깃털의 비율이 1 : 2 미만으로 나타났고, 여천 공단은 약 2/3 개체에서 1 : 2 미만으로 조사되었다. 일반적으로 조류는 호흡기 또는 소화기를 통해 중금속과 같은 독성물질이 체내에 들어오면 털갈이 시기에 깃털로 이행시킴으로써 체내에서 독성 발현을 억제시키는 생체 방어 기작을 갖고 있다(Lee, 1989). 지금까지 비둘기를 비롯하여 명금류, 맹금류, 해양성 조류, 수금류 등 다양한 조류를 대상으로 한 연구에서 깃털 중 납 농도는 간 조직의 납 농도와 정의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있으며 이러한 경향은 주로 깃털에 부착된 오염 물질을 세척한 후 분석한 결과로써 깃털의 납 농도가 체내 조직의 납 농도를 그대로 반영하고 있다는 것을 나타낸다(Kendal and Scanlon, 1981; Burger and Gochfeld, 1995; 2000b; 2000c; Burger, 1993; 1998; Llacuna *et al.*, 1995; Cahill *et al.*, 1998; Dauwe *et al.*, 1999; Eens *et al.*, 1999; Dauwe *et al.*, 2000; 2002a; 2002b). 따라서 덕적도의 경우, 깃털 중의 납 농도와 간 조직과의 정의 상관관계가 나타난 점을 고려해 보면, 대기 즉, 외부로부터 깃털에 부착되어진 납이 거의 없는 것으로 판단되며, 여천 공단지역의 경우에도 현저히 낮은 대기 중 납 농도를 고려해 볼 때 깃털 중의 납은 외부의 오염에 의한 영향보다는 대부분 체내 조직으로부터 깃털로 대부분 이행된 것으로 판단된다. 반면, 안산, 부산, 울산 공단은 덕적도에 비해 깃털의 납 농도가 상대적으로 높게 나타났을 뿐만 아니라 간 조직의 납 농도에 비해서도 월등히 높게 나타났고, 간과 깃털 조직간 정의 상관관계가 없는 것으로 밝혀졌다. 이러한 사실은 깃털 중의 납이 체내 조직에서 깃털로 이행된 양보다는 외부에서 깃털에 부착되어진 양이 훨씬 크다는 것을 의미한다.

미국 Mayland 근처의 교통량이 각기 다른 지역에 서식하는 찌르레기(*Sturnus vulgaris*)의 경우, 교통량에 따른 서식지의 납 노출 증가로 깃털의 납 농도가 현저히 증가하는 것으로 조사되었고(Grue *et al.*, 1986), 금속 제련소에서 인접한 지역에 서식하는 박새류(*Parus*)의 깃털 중 납이 대조 지역보다 10~40배 정도 높게 검출되었다(Dauwe *et al.*, 2002b). 또한 폴란드의 오염지역 주변에 서식하는 박새류(*Parus*)의 세척하지 않은 깃털에서 평균 145 ㎍/dry g의 납이 검출되었고(Sawicka-Kapusta *et al.*,1986), 도심 주변에 서식하는 박새(*Parus major*)의 깃털에서 37 ㎍/wet g의 납이 검출되었다(Breitschwerdt and Schmidt, 1987). 이러한 결과들은 깃털이 특정 지역의 오염

정도를 잘 대변할 수 있다는 것을 나타내며, 대기 중의 오염물질이 깃털의 납 농도에 크게 영향을 끼칠 가능성을 시사하고 있다. 한편, 대기 오염물질이 깃털의 납 농도에 주요한 요인 중 하나라면 이것은 각 개체의 나이보다는 깃털의 나이에 더욱 영향을 끼칠 수 있다는 지적들이 있으며(Dauwe *et al.*, 2002b), 깃털을 활용한 모니터링시 이러한 사항에 대해서도 고려해야 할 것으로 판단된다.

더욱이 비둘기에 잠재적인 위해 영향을 끼칠 수 있는 깃털의 납 축적에 대한 연구는 지금까지 거의 없으며 향후 번식생태를 포함하여 납의 위해성 모니터링이 요구된다. 다만, 지금까지 해양성 조류의 깃털 중 납 농도(세척 이후)가 4 ㎍/dry g 정도이면 치사수준 이하의 농도이지만 지각 능력, 체온 조절, 취식행동 및 이동, 새끼의 생존률, 번식률 등에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Burger and Gochfeld, 1995b; 2000b; Burger, 1998). 뿐만 아니라, 깃털 중의 납, 카드뮴, 수은, 셀레늄 농도와 각 체내 조직간 축적 비율을 통해서 오염수준, 치사수준 및 번식 등의 위해 정도를 평가하는 방법이 소개 되어있다(Burger and Gochfeld, 2000c; Burger, 1993). 따라서 이러한 조직간 상관관계를 통해서 주변 지역의 오염 모니터링 뿐만 아니라 생태적 위해 정도 및 영향 등에 대한 접근 역시 요구된다.

인 용 문 헌

Breitschwerdt, G. and K.L. Schmidt(1987) Populationskologische ergebnisse aus biomonitorun-tersuchungen bei der kohlmeise (*Parus major*). J. Ornithol. 128: 111-113.

Burger, J(1993) Metals in avian feathers: bioindicators of environmental pollution. Rev. Environ. Toxicol. 5: 203-311.

Burger, J. (1998) Effects of lead on sibling recognition in young herring gulls. Toxicol. Sci. 43: 155-160.

Burger, J. and M. Gochfeld(1995) Effects of varying temporal exposure to lead on behavioral development in herring gull (*Larus argentatus*) chicks. Pharmacol. Biochem. Behav. 52: 601-608.

Burger, J. and M. Gochfeld(1997) Age differences in metals in the blood of Herring (*Larus argentatus*) and Franklin' s (*Larus pipixcan*) fulls. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 33: 436-440.

Burger, J. and M. Gochfeld(2000a) Metals in albatross feathers from Midway Atoll: influence of species, age, and nest location. Environ. Res. 82: 207-221.

Burger, J. and M. Gochfeld(2000b) Effects of lead on Larids: a review of laboratory and field studies. J. Toxicol. Environ. Health 3: 59-78.

Burger, J. and M. Gochfeld(2000c) Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. The Sci. of the Total Environ. 257: 37-52.

Cahill, T.M., D.W. Anderson, R.A. Elbert, B.P. Perley and D.R. Johnson(1998) Elemental profiles in feather samples from a mercury-contaminated lake in central California. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 35: 75-81.

Dauwe, T., L. Bervoets, R. Blust, R. Pinxten and M. Eens(1999) Are eggshell and egg contents of great and blue tits suitable as indicators of heavy metal pollution. Belg. J. Zool. 129: 439-447.

Dauwe, T., L. Bervoets, R. Blust, R. Pinxten and M. Eens(2000) Can excrement and feathers of nestling songbirds be used as biomonitors for heavy metal pollution? Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39: 541-546.

Dauwe, T., L. Bervoets, R. Blust and M. Eens(2002a) Tissue levels of lead in experimentally exposed zebra finches (*Taeniopygia guttata*) with particular attention on the use of feathers as biomonitor. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 42: 88-92.

Dauwe, T., L. Bervoets, E. Janssens, R. Blust, R. Pinxten and M. Eens(2002b) Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. Ecological Indicators 20: 1-8.

Eens, M., R. Pinxten, R.F. Verheyen, R. Blust and L. Bervoets(1999) Great and blue tits as indicators of heavy metal contamination in terrestrial ecosystems. Ecotox. Environ. Safety 44: 81-85.

Grue, C.E., D.J. Hoffman, W. Nelson-Bayer and L.P. Franson(1986) Lead concentrations and reproductive success in European starlings *Sturnus vulgaris* nesting within highway roadside verges. Environ. Poll.(A) 42: 157-182.

Janiga, M., B., Mankovsk, M. Bobal' ova and G.

Durcova(1990) Significance of concentration of lead, cadmium, and iron in the plumage of the feral pigeon. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 19: 892-897.

Janssens, E., T. Dauwe, L. Bervoets and M. Eens(2001) Heavy metals and selenium in feathers of great tits (*Parus major*) along a pollution gradient. Environ. Toxicol. Chem. 20: 2815-2820.

Johnston, R.F. and M. Janiga(1995) Feral pigeons. Oxford university press, pp. 45-211.

Kendall, R.J. and P.F. Scanlon(1981) Effects of chronic lead ingestion on reproductive characteristics of ringed turtle doves (*Streptopelia risoria*) and on tissue lead concentrations of adults and their progeny. Environ. Pollut. (Series A) 26: 203-213.

Kim, J.S., S.H. Han, D.P. Lee and T.H. Koo(2001) Heavy Metal Contamination of Feral Pigeons Columba livia by Habitat in Seoul. Kor. J. Eco.24 (5): 303-307.

Lee, D.P.(1989) Heavy metal accumulation in birds: Use of feathers as monitoring without killing. Ph. D.Thesis, Ehime University, Matsuyama, Japan.

Llacuna, S., A. Gorriz, C. Sanperra and J. Nadal(1995) Metal accumulation in three species of passerine birds (Emberiza cia, Parus major, and Turdus merula) subjected to air pollution from a coal-fired power plant. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 28: 298-303.

Movalli, P.A.(2000) Heavy metal and other residues in feathers of laggar falcon Falco biarmicus jugger from six districts of Pakistan. Environ. Pollut. 109: 267-275.

Sawicka-Kapusta, K., J. Kozlowski and T. Sokolowska(1986) Heavy metals in tits from polluted forest in southern Poland. Environ. Pollut. (42A): 297-310.