

Research Paper

환경모니터링을 위한 집비둘기 깃털의 중금속 축적특성 연구

이장호 · 이종천 · 이상희 · 김명진 · 이유진 · 한아름 · 심규영

국립환경과학원 자연환경연구과

The Characteristics of Heavy Metal Accumulations in Feral Pigeon (*Columba livia*) Feathers for Environmental Monitoring

Jangho Lee · Jongchun Lee · Sang Hee Lee · Myungjin Kim ·
Eugene Lee · Areum Han · Kyuyoung Shim

Natural Environment Research Division, National Institute of Environmental Research

요약 : 집비둘기는 도시지역에서 환경오염물질의 생물축적 모니터링을 위한 지표종으로 알려져 있으며, 집비둘기 알은 생물 자체를 죽이지 않고도 생물축적의 경향을 모니터링할 수 있는 시료로서 유용하다. 하지만 알은 유기 오염물질 축적은 잘 되는 반면, 납, 카드뮴 같은 특정 중금속은 저농도로 축적되는 특성이 있기 때문에 중금속에 대한 적절한 모니터링을 위해 대체 시료의 연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 집비둘기의 세척깃털을 이용하여 중금속 축적 특성을 연구하였고, 중금속 모니터링 시료로서의 가능성을 검토하였다. 도시지역인 서울 한강공원과 농촌지역인 함평군 함평공원을 대상으로 2013년 4월~5월에 집비둘기 개체 포획 및 알 채집을 실시하였고, 생체 조직, 세척깃털, 알의 중금속 5종(Pb, Cd, Total Cr, Ni, As)에 대한 축적 농도를 분석하였다. 중금속 5종의 생체 조직 내 축적 특성을 보면, 납(Pb)과 카드뮴(Cd)은 나머지 3종(Total Cr, Ni, As)에 비해 생체 조직 내 축적이 두드러지게 높게 나타났다. 특히, 납은 다른 중금속에 비해 지역 간 비교에서도 두드러진 농도 차이를 보였는데, 뚝, 간, 혈액에서 통계적으로 유의하게 농촌지역인 함평공원보다 도시지역인 한강공원이 높은 농도를 보였다. 이러한 경향은 깃털에서도 나타났다. 알 시료(알 내용물, 껍데기)는 깃털보다는 상대적으로 낮은 농도로 납이 축적되는 경향을 보였다. 깃털 중에서는 꼬리깃과 날개깃이 각각 신장 및 뼈 조직의 납 농도와 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 이상의 결과로 볼 때, 중금속 배출경로 요소(깃털, 알, 배설물 등) 중 하나인 깃털로 축적되는 납 농도는 다른 요소(예: 알)에 비해 상대적으로 높고, 환경 오염요소(대기, 토양, 먹이 등) 내 납 농도가 서로 차이 나는 지역들 내의 집비둘기의 생체 축적농도 차이를 깃털이 어느 정도 반영할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 집비둘기, 중금속 축적, 깃털

Abstract : Feral pigeon (*Columba livia*) has been known as a good indicator for accumulations of chemical pollutants in urban areas. However, it is against the animal rights to kill the indicator

species in order to monitor pollutants accumulations in wild birds. Eggs and feathers of birds, therefore, have been used as non-invasive monitoring materials. Even though eggs are a good indicator for accumulations of lipophilic pollutants, but unsuitable for some heavy metals such as lead and cadmium because bird's ovary builds a sort of barrier to inhibit higher accumulations of some heavy metals in the eggs. Therefore, feathers instead of eggs have been used as a non-invasive indicator for accumulations of heavy metals. However, there are few studies of heavy metal accumulations of feral pigeon in Korea. In this study, we characterized the characteristics of heavy metal accumulations of feathers in relation to internal organs (bloods, viscera and bones) in feral pigeons between two sites (Hangang Park representing urban area and Hampyeong Park for rural area). The samples from the Hangang Park showed significantly higher lead (Pb) concentrations in the blood, liver and bone than those from Hampyeong Park. The Pb concentration in the feathers was also significantly higher at Hangang Park than at Hampyeong Park. The analytical result for the breast, wing and tail feathers, and the internal organs (blood, lung, liver, kidney and bone) indicated that the Pb concentrations in the feathers were significantly positively correlated with the levels in the kidney and bone. Overall, feathers of feral pigeon may be candidate for bioindicator to monitor for Pb accumulations in urban areas.

Keywords : Feral Pigeon, Heavy Metal Accumulation, Feather

I. 서론

국가환경시료은행은 도시 등 인간 주거지역에서 환경오염물질의 생물축적 모니터링을 위해 집비둘기 알을 시료로 채취하고 있다. 집비둘기 알은 생물 자체를 죽이지 않고도 생물축적 경향을 모니터링할 수 있는 장점이 있고, 알 속의 지질(lipids) 성분으로 인해 친유성(親油性, lipophilic property)을 띠는 유기오염물질(PCBs, DDE 등)에 대한 축적이 잘 이루어지기 때문에 이에 대한 모니터링 연구가 활발히 진행되어 왔다(Klein *et al.*, 2012; Nagel and Haag-Wackernagel, 2001; Paulus, *et al.*, 2010). 하지만 낱, 카드뮴 같은 특정 중금속은 난소(ovary)에 형성된 방해기작으로 인해 저농도로 알에 축적되는 특성이 있다(Paulus, *et al.*, 2010). 이에 중금속 생물축적 모니터링을 위해 조류의 깃털을 활용한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다(Brait and Antoniosi Filho, 2011; Dauwe *et al.*, 2002; Drasch, 1987; Seco Pon *et al.*, 2011).

낱이나 카드뮴 같은 중금속은 소화기나 호흡기를 통해 흡수된 후 혈액을 통해 간, 신장 등의 생체조직으로 운반된다(Johnson and Janiga, 1995). 깃털은

생체 조직 내에 축적된 중금속이 외부로 배출되는 경로에 해당하는데, 털갈이 시기에만 이들 생체조직으로부터 혈액을 통해 축적되고, 털갈이가 완료되면 생체조직으로부터의 물질 유입은 차단된다(Janiga and Žemberyová, 1998; Joanna *et al.*, 2007).

낱이나 카드뮴 같은 중금속의 생물축적량은 오염원이 집중되어 있는 지역일수록 높게 나타나는데, Brait와 Antoniosi Filho(2011)가 브라질 도심, 교외, 농촌 지역 간 집비둘기 세척깃털(날개깃과 꼬리깃)의 중금속 농도를 비교한 연구에 따르면, 인구밀도와 교통량이 많은 지역(농촌<교외<도심)으로 평균 낱 농도도 높게 나타났고, 카드뮴은 도심지역이 다른 두 지역(교외, 농촌)에 비해 높은 농도를 보였다고 보고한 바 있다. Janiga 등(1990)은 체코슬로바키아 도심과 주변지역 간 집비둘기 세척깃털(목과 가슴부위)의 평균 낱 농도를 비교하였는데, 도심 지역의 낱 농도가 주변지역에 비해 다소 높게 나타났다고 보고하였다. Nam 등(2002)이 수행한 섬지역(덕적도), 도심지역(서울), 공단지역(여천, 안산, 울산, 부산)의 집비둘기 비세척 가슴깃털의 낱 농도 비교 결과에 따르면, 섬지역, 도심지역, 공단지역 순으로 높은 낱 농도를 나타냈다고 보고하였다.

깃털 시료의 사용에 있어서 세척 유무에 따라 중금속 모니터링에 장단점이 있을 수 있다(Brait and Antoniosi Filho, 2011). 미세적 깃털을 사용하면 체내 유입을 통한 축적과 깃털 표면에 흡착되는 총량을 모니터링할 수 있지만, 체내 생체조직(간, 신장, 뼈 등)에 축적되는 농도와 깃털의 축적농도를 서로 비교할 때는 세척된 깃털을 사용하는 것이 체내에 흡수, 축적되는 경향을 파악하는 데 유리하다. 이에 본 연구에서는 환경오염 지표종으로 알려져 있는 집비둘기의 세척깃털을 이용한 중금속 축적 특성을 생체조직(간, 신장, 뼈 등)의 축적 특성과 비교하여 파악하였고, 중금속 모니터링 시료로서 깃털 시료의 활용 가능성을 검토하였다.

II. 연구방법

연구지역은 도시지역인 서울 한강공원과 농촌지역인 함평군 함평공원을 대상으로 하였다. 집비둘기 개체 포획은 2013년 4월에 실시하였고, 알 채집은 4월~5월에 실시하였다. 집비둘기 포획은 동지 내에 있는 개체를 직접 잡거나 지상에 트랩을 설치하여 포획하였다. 한강은 총 11마리를 포획하였고, 총 18개 알을 채집하였다. 함평은 14마리를 포획하였고, 34개 알을 채집하였다.

해부를 통해 성별을 구분하여 지역별로 각각 암수 3마리씩 총 6마리를 무작위로 선택하였다. 한강공원 집비둘기 무게는 평균 312.5 g(범위 290~330 g)이었고, 함평공원은 평균 344.7 g(범위 335~353 g)이

었다. 생체조직으로 간, 신장, 허파를 적출하였고, 뼈는 왼쪽다리 정강이뼈를 적출한 후 동결건조 후 분쇄하였다. 채집한 알은 썩은 알을 제외한 후 한강공원 10개와 함평공원 14개를 선택하였다. 한강공원 알 무게는 평균 14.25 g(범위 9.42~19.18 g)이었고, 함평공원 알은 17.75 g(범위 15.48~20.52 g)이었다. 알 내용물은 동결건조 후 분쇄하였고, 알 껍데기는 초음파 세척기(Branso 5510, Branson Ultrasonics사, USA)에 증류수(deionized water)를 넣고 30분간 세척을 실시하고 동결건조 후 분쇄하였다. 혈액 샘플은 심장에서 채취하였고, 동결건조 후 분쇄하였다.

깃털 샘플은 날개, 꼬리, 가슴 부위에서 채취하였다(Figure 1). 분석시간과 비용을 고려하여 깃털 전부를 분석하는 대신 특정 부위를 임의로 선택했는데, 분석 시료량을 고려하여 날개깃은 좌측, 우측 각각의 날개에서 첫째 날개깃(primaries) 4번과 5번, 둘째 날개깃(secondaries) 4번과 5번을 채취하였고, 꼬리깃(tail)은 3번과 10번을 채취하였다(Figure 1(B)). 이후 증류수(deionized water) → 아세톤 → 증류수 → 질산(2%) → 증류수 순으로 세척을 실시하였고(Cardiel *et al.*, 2011; Dauwe *et al.*, 2003), 동결건조 후 분쇄하였다.

중금속 분석항목은 5개로 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Total Cr), 니켈(Ni), 비소(As)를 대상으로 하였다. 전처리 및 기기분석은 전북대학교 공동실험실습관에 의뢰했으며, 전처리는 마이크로웨이브(Mars5, CEM사, USA)와 히팅 블록(HSR200,

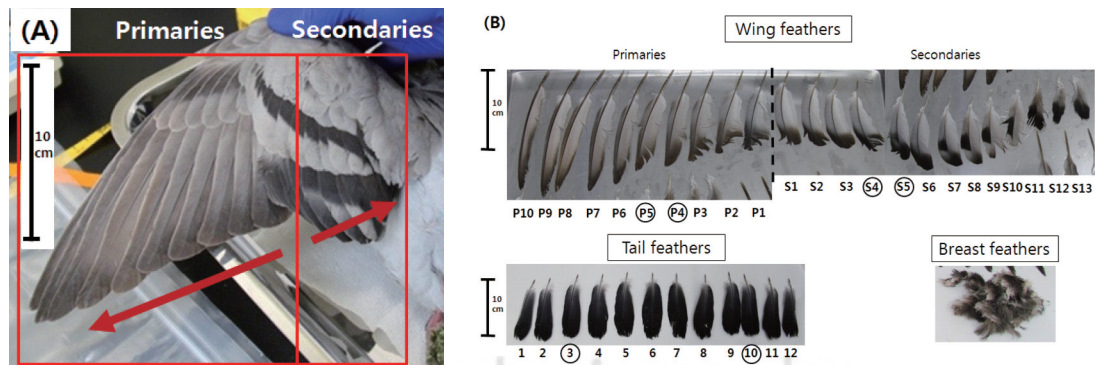


Figure 1. (A) Sampling parts of wing feathers and (B) types and sampling positions of feathers

HUMAS, 한국)으로 실시하였고, 기기분석은 ICP-MS(Agilent 7500A, Agilent Technologies사, Japan)를 사용하였다. 생체조직, 깃털, 알 시료의 전처리에는 15 ml 코니컬 튜브에 시료량 0.03~0.1 g을 넣고 무게를 잰 후, 질산 0.6 ml 넣고, 히팅블록으로 산분해하였다. 모래 등 광물은 테프론 용기에 시료량 0.03~0.3 g을 넣고 무게를 잰 후, 질산(2 ml)과 불산(3 ml)을 넣고, 마이크로웨이브로 산분해한 후 ICP-MS로 중금속 농도를 측정하였다.

통계 분석은 SPSS(SPSS for Windows 10.0, SPSS사, USA)를 이용하였다. 평균비교는 Mann-Whitney test로 분석하였고, 상관분석은 Spearman rank correlation coefficients를 사용하였으며, 유의성 표시는 NS(non-significant), *($p < 0.05$), **($p < 0.01$)로 하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 집비둘기 부위별 중금속 축적 특성

중금속 5종(Pb, Cd, Total Cr, Ni, As)의 생체 조직(internal organs) 내 축적 특성을 보면, 납(Pb)과 카드뮴(Cd)은 나머지 3종(Total Cr, Ni, As)에 비해 생체 조직(internal organs) 내 축적이 두드러지게 높게 나타났다(Figure 2(E), (K); Figure 3(E), (K), (Q); Appendix 1). 납은 5개 조직 중 뼈(bone)(한강공원: 평균 16.621 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원: 4.858 $\mu\text{g/g}$ dry basis)에 상대적으로 가장 많은 농도로 축적되었고(Figure 2(E)), 그 다음으로 신장(kidney)(한강공원: 2.116 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원: 1.490 $\mu\text{g/g}$ dry basis)에 많이 축적되었다. 1999년에 서울 지역 집비둘기를 대상으로 한 연구에서도 뼈에서 납 농도가 평균 7.77~52.07 $\mu\text{g/g}$ wet basis로 가장 높았고, 다음으로 신장에서 평균 5.75~6.13 $\mu\text{g/g}$ wet basis로 중간 범위를 나타냈고, 간(liver)에서 1.13~1.45 $\mu\text{g/g}$ wet basis로 낮은 값을 보였다(Kim *et al.*, 2001). 이러한 경향은 영국의 도시지역 집비둘기의 납 축적경향(뼈>신장>뇌, 간>심장>근육)과도 일치하는 결과이다(Johnston and Janiga, 1995).

일반적으로 납은 생물체로 흡수되면 뼈에 가장 높은 농도로 축적되는 것으로 알려져 있는데, 이는 뼈의 구성물질인 칼슘과 경쟁하면서 뼈 조직 내에 결합되는 성질과 관련이 있기 때문이다(Rabinowitz, 1991; Wiemann *et al.*, 1999). 또한 납에 고농도로 노출되면 우선적으로 간 조직의 납 농도가 높아지지만, 저농도로 장시간 노출될 때는 간보다는 신장이나 뼈에 상대적으로 높은 농도로 납이 축적된다고 알려져 있다(Shin *et al.*, 2008; Honda *et al.*, 1986). 이에 본 연구에서 분석된 집비둘기의 납에 대한 노출은 저농도로 장시간 이루어진 것으로 판단된다.

지역 간에는 뼈(bone), 간(liver), 혈액(blood)에서 통계적으로 유의하게 한강공원이 높은 농도를 보였다. 이러한 경향은 깃털(feather)에서도 나타나 한강공원(2.070 $\mu\text{g/g}$ dry basis)이 함평공원(0.692 $\mu\text{g/g}$ dry basis)에 비해 통계적으로 유의하게 높게 나타났다(Figure 2(F)). 알(egg)의 경우는 알 내용물(egg content)에서 한강공원 0.149 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원 0.216 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 지역 간에 통계적인 유의성은 없었고, 알 껍데기(egg shell)에서는 한강공원 0.131 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원 0.082 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 통계적으로 유의하게 한강공원이 높게 나타났지만 두 시료 모두 깃털(feather)에 비해 저농도로 축적되었다. 이는 중금속 모니터링 시료로서 알 시료의 한계(저농도 축적)를 지적한 자료와 일치한다(Paulus *et al.*, 2010).

생체 내 중금속 축적은 대기, 토양, 먹이원 등을 통해 체내로 유입되면서 이루어지는데, 한강공원이 속한 서울과 함평공원이 속한 전라남도나 함평공원에 인접한 광주광역시의 대기나 토양 중 납 농도를 비교해 보면(Figure 2(A), (B)), 서울이 다소 높은 평균값을 보였지만 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 집비둘기 모래주머니(gizzard) 속 모래알갱이의 납 농도는 한강공원과 함평공원 간에 비슷한 값을 보였고(Figure 2(C)), 모이주머니(crop) 속 먹이의 납 농도는 한강공원이 높았지만, 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(Figure 2(D)). 이들 개별 환경요인(대기, 토양, 먹이)의 납 농도는 서울지역이 대체로 높은 값을 보였지만 통계적으로 유의한 차이를 보

이지 않는데 반해, 집비둘기 생체 조직(internal organs)과 깃털 내 납 축적 농도는 지역 간에 두드러진 차이를 보였다(Figure 2(E), (F)). 이상의 결과로 볼 때, 지역 간에 대기, 토양, 먹이 등의 개별 환경요소 내 납 농도 차이는 적더라도 장기간에 걸쳐 생체 내로 유입, 축적되는 과정을 통해 생체조직 내 납 농도가 지역 간에 뚜렷한 축적농도 차이를 보일 수 있고, 배출경로인 깃털에서도 그러한 경향이 반영될 수 있음을 의미한다고 판단된다.

카드뮴(Cd)의 경우, 생체 조직(internal organs) 중 신장의 축적 농도(한강공원: 8.773 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원: 4.463 $\mu\text{g/g}$ dry basis)가 상당히 높게 나타났다(Figure 2(K)), Shin 등은 우리나라 야생조류의 카드뮴 농도에 관한 연구에서 우리나라 야생조류는 전반적으로 신장에서 높은 농도를 보였고, 신장의 가장 높은 농도는 13.2 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 바다쇠오리(*Synthliboramphus antiquus*)에서 나타났다고 보고한 바 있다(Shin *et al.*, 2008). 일반적으로 카드뮴은 먹이로부터 체내에 흡수된 후 우선적으로 운반되어 메칼로치오네인과 결합하여 축적되고, 그 후 신장과 기타 조직으로 운반되지만 최종적으로는 생물학적 반감기가 긴 신장에서 가장 높은 농도를 보이는 것으로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2006).

총크롬(Total Cr)의 생체 조직(internal organs) 내 5개 부위(혈액, 폐, 간, 신장, 뼈)별 농도의 단순 산술평균농도는 한강공원에서 0.200 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원에서 0.207 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 모래주머니 내 모래알갱이 농도에 비해 각각 11/100과 4/100 수준으로 낮았고, 모이주머니 내 먹이 농도에 비해서는 각각 29/100과 60/100 수준으로 낮았다(Appendix 1, Figure 3(E)). 깃털이나 알은 생체조직 내에 축적된 중금속이 외부로 배출되는 경로에 해당되는데, 이들 배출요소(깃털, 알 내용물, 알 껍데기)별 총크롬 농도의 단순 산술평균농도는 한강공원에서 0.525 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원에서 0.635 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 생체 조직 내 평균농도에 비해 각각 2.6배와 3.1배씩 높은 수준을 보였다. 이는 모래, 먹이 같은 환경요소의 중금속 농도에 비해 생체 내 축적은 덜 이루어지는 반면, 외부 배출경로 요소(깃털, 알)에 의해 어

는 정도 배출·제거가 이루어지는 특성을 보인다고 볼 수 있다. 이러한 양상은 니켈(Ni)과 비소(As)에서도 비슷하게 나타났다(Appendix 1, Figure 3(K), (Q)). 니켈은 생체 조직 내 단순 산술평균농도 값이 모래알갱이 또는 먹이 내 농도에 비해 7/100~26/100 수준으로 낮았지만, 배출요소(깃털, 알 내용물, 알 껍데기)의 단순 산술평균농도 값은 생체조직 내 평균농도에 비해 2.2배(한강공원) 또는 3.0배(함평공원)로 높은 수준을 보였다. 비소는 생체 조직 내 산술평균농도 값이 모래알갱이 또는 먹이 내 농도에 비해 2/100~57/100 수준으로 낮았지만, 배출요소의 산술평균농도 값은 생체조직 내 평균농도와 비슷한 수준(한강공원: 1.0배, 함평공원: 0.9배)을 보였다. 하지만 카드뮴의 경우는 생체조직 내 단순 산술평균농도가 한강공원에서 2.076 $\mu\text{g/g}$ dry basis, 함평공원에서 1.102 $\mu\text{g/g}$ dry basis로 모래주머니 내 모래알갱이 농도에 비해 각각 6배와 27배씩 높았고, 모이주머니 내 먹이 농도에 비해서는 각각 6배와 10배씩 높은 농도를 보였다(Appendix 1). 이에 비해 배출경로 요소(깃털이나 알)로는 두 지역 모두 생체조직 내 축적농도에 비해 3/100 수준의 낮은 농도를 나타내었다. 따라서 카드뮴의 경우, 환경요소 내 농도에 비해 생체 내 축적이 큰 반면, 외부 배출경로 요소에 의한 배출·제거는 적게 이루어지는 특성을 보인다고 볼 수 있다. Nam 등이 수행한 집비둘기의 체내 납과 카드뮴 축적 연구 결과를 살펴보면(Nam *et al.*, 2001), 납의 경우, 새끼에 비해 성조의 뼈 축적농도가 3배(안산) 또는 6배(서울) 정도 높은 반면, 카드뮴은 새끼에 비해 성조의 신장 축적농도가 9배(안산) 또는 18배(서울) 높은 것으로 나타나 카드뮴의 신장 축적율이 상당히 높을 가능성이 있는 것으로 추측된다.

2. 집비둘기 부위별 시료 간 납 농도 상관관계

집비둘기 생체 조직에 축적된 중금속 5종 중 도시 지역 한강공원과 농촌지역 함평공원 간에 두드러진 차이를 보인 것은 납이었다. 또한 깃털 시료도 두 지역 간에 차이를 보였다. 여기서는 지역 간에 두드러진 농도 차이를 보인 납을 대상으로 생체 조직 등과

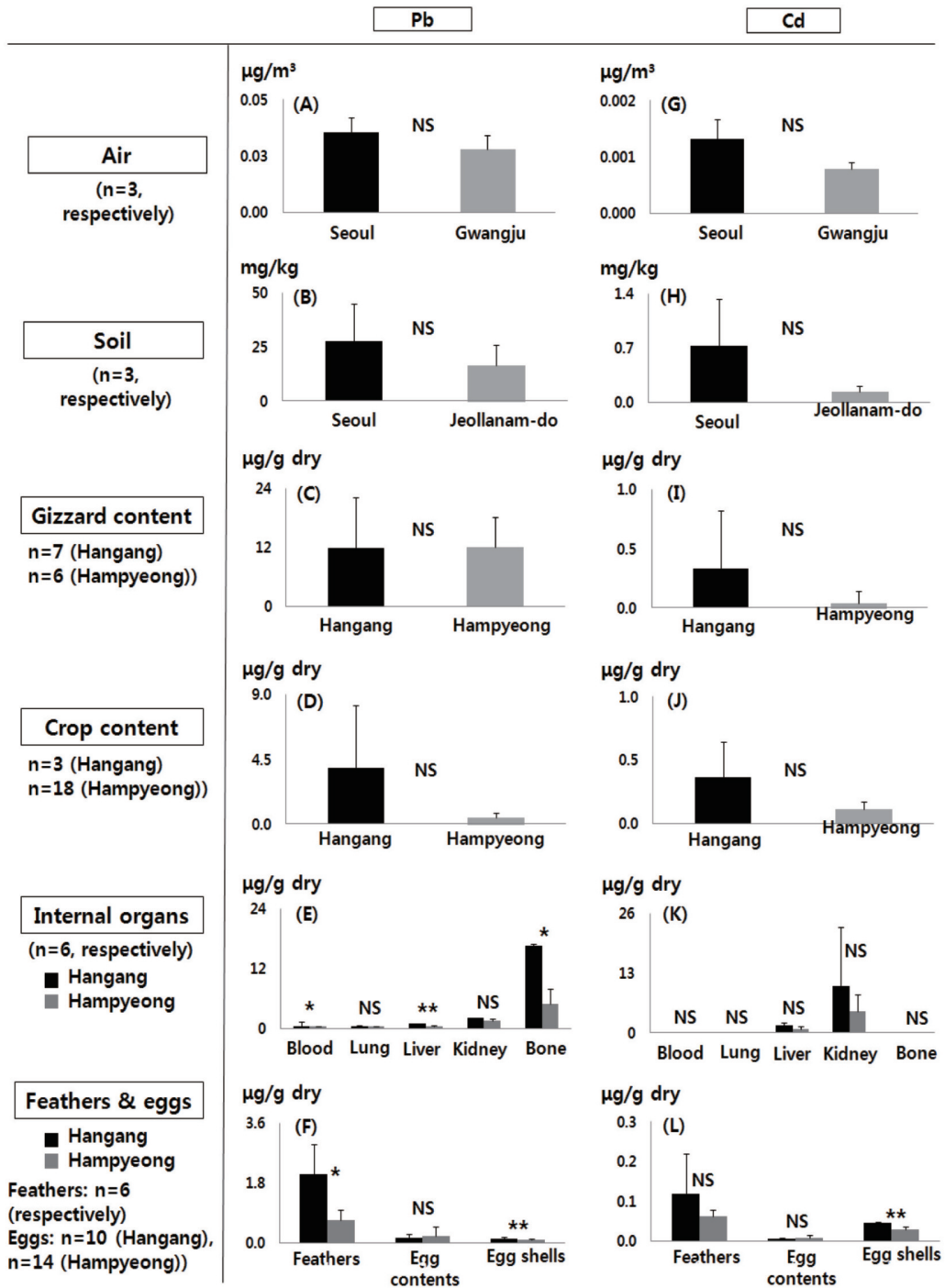


Figure 2. Concentrations (mean \pm standard deviation) of lead (Pb) and cadmium (Cd) in environmental components (air, soil, and food) and feral pigeon (internal organs, feathers, and eggs) in urban and rural sites

* Mann-Whitney test, NS (non-significant), * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$); The concentrations of feathers: the value averaged with the concentrations of wing, tail, and breast feathers; Air data: average concentrations of heavy metal in air pollution from 2010 to 2012 (Seoul: 5 sites, Gwangju Metropolitan city: 3~4 sites, <http://kosis.kr>); Soil data: average concentrations of heavy metal in soil pollution from 2009 to 2011 (Seoul: 199~211 sites, Jeollanam-do: 156~163 sites, <http://kosis.kr>)

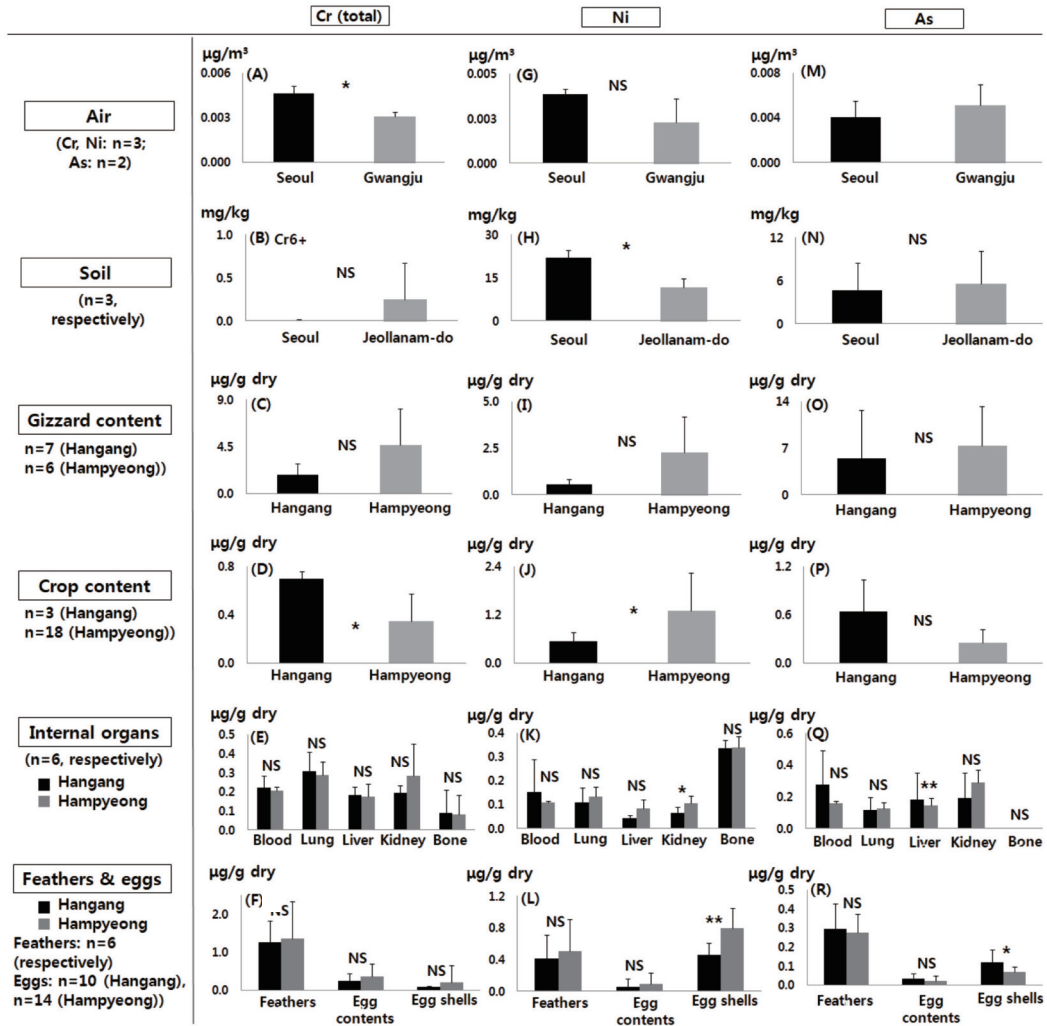


Figure 3. Concentrations (mean \pm standard deviation) of Chromium (Cr), Nickel (Ni), and Arsenic (As) in environmental components (air, soil, and food) and feral pigeon (internal organs, feathers, and eggs) in urban and rural sites

※ Mann-Whitney test, NS (non-significant), * ($p < 0.05$), ** ($p < 0.01$); The concentrations of feathers: the value averaged with the concentrations of wing, tail, and breast feathers; Air data: average concentrations of heavy metal in air pollution from 2010 to 2012 (Seoul: 5 sites, Gwangju Metropolitan city: 3-4 sites, <http://kosis.kr>); Soil data: average concentrations of heavy metal in soil pollution from 2009 to 2011 (Seoul: 199-211 sites, Jeollanam-do: 156-163 sites, <http://kosis.kr>)

깃털 시료 간의 상관관계를 살펴보았다. Table 1의 봄철 한강공원 집비둘기 부위 간 납 농도 상관계수를 살펴보면, 깃털 시료 중 꼬리깃(tail)이 신장(kidney)과 상관계수 0.9의 높은 양의 상관을 통계적으로 유의하게 보였고, 우측 날개깃(right wing)은 뼈(bone)와 0.7의 다소 높은 양의 상관을 보였지만, 통계적으로 유의하지는 않았다. 함평공원에서 꼬리깃이 신장과 상관계수 0.7로 다소 높은 양의 상관을 보였지

만 통계적으로 유의하지는 않았고, 우측 날개깃은 뼈와 0.9의 높은 양의 상관을 통계적으로 유의하게 보였다(Table 2). 이에 비해 가슴깃(breast)은 통계적으로 유의하지는 않지만, 신장이나 뼈와 음의 상관을 보였고, 좌측 날개깃(left wing)은 통계적으로 유의하지 않은 낮은 양의 상관을 보였다. 이러한 부위별 깃털(날개, 꼬리, 가슴)과 생체조직(신장, 뼈 등)과의 상관관계에서 나타나는 차이는 부위별 깃털의 털갈

Table 1. The lead (Pb) correlation coefficients between feathers and internal organs in Hangang Park (n=6)

		Feathers				Blood	Lung	Liver	Kidney	Bone
		Breast	Wing (left)	Wing (right)	Tail					
Feathers	All feathers	0.0	1.0**	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3
	Breast	-	0.0	0.3	-0.5	-0.3	0.0	0.4	-0.4	-0.1
	Wing (left)	-	-	0.8	0.7	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3
	Wing (right)	-	-	-	0.4	0.7	0.7	0.4	0.4	0.7
	Tail	-	-	-	-	0.6	0.7	0.3	0.9**	0.4
Blood		-	-	-	-	-	0.4	-0.2	0.5	0.5
Lung		-	-	-	-	-	-	0.8	0.8*	0.8*
Liver		-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.5
Kindey		-	-	-	-	-	-	-	-	0.5

Spearman rank correlation coefficient, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

Table 2. The lead (Pb) correlation coefficients between feathers and internal organs in Hampyeong Park (n=6)

		Feathers				Blood	Lung	Liver	Kidney	Bone
		Breast	Wing (left)	Wing (right)	Tail					
Feathers	All feathers	-0.1	0.9**	0.4	0.7	-0.4	-0.2	0.1	0.1	0.4
	Breast	-	-0.3	-0.8*	-0.3	0.7	0.3	0.2	-0.4	-0.6
	Wing (left)	-	-	0.6	0.5	-0.6	-0.3	0.0	0.0	0.6
	Wing (right)	-	-	-	0.3	-0.7	0.0	0.1	0.3	0.9*
	Tail	-	-	-	-	0.1	0.1	0.3	0.7	0.4
Blood		-	-	-	-	-	0.7	0.5	0.4	-0.4
Lung		-	-	-	-	-	-	0.9**	0.5	0.2
Liver		-	-	-	-	-	-	-	0.6	0.3
Kindey		-	-	-	-	-	-	-	-	0.4

Spearman rank correlation coefficient, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$.

이 시기 및 순서 등의 차이와 관련이 있을 것으로 추측되나(Dauwe *et al.*, 2003), 이를 좀 더 상세히 고찰하기 위해서는 본 연구에서 취한 부분 샘플링(첫째 및 둘째 날개깃 각각 4번과 5번, 꼬리깃 3번과 10번)이 아닌 전체 날개깃 및 꼬리깃 샘플링 및 농도분석 연구를 향후에 추가하여 고찰하는 작업이 필요할 것으로 판단된다.

혈액(blood), 허파(lung), 간(liver)의 경우, 깃털 시료와 상관관계가 적게 나타났는데, 그 이유를 살펴보면, Figure 2(E)에서 보듯이 혈액, 허파, 간에 축적되는 납 농도 수준이 깃털의 납 농도 수준보다 대체로 낮는데 기인한다고 볼 수 있다. 혈액은 기본적으로 끊임없이 외부환경과 내부 조직 간의 물질 흐름을 매개하는 역할을 하기 때문에 납이 축적되는 상태

보다는 혈액 채취 당시의 납 오염원에 노출된 상태를 대변한다고 볼 수 있다(Hu *et al.*, 1998; Keil *et al.*, 2011). 이로 인해 성장기간 동안만 축적이 이루어지는 깃털과 납 농도 상관관계가 높지 않을 수 있다. 집비둘기가 알에서 부화한 후 살아가는 동안 중금속 등의 물질들이 끊임없이 유입되지만, 납의 경우 허파, 간에 저농도로 축적되는 경향을 본 연구에서는 보였고, 이에 비해 깃털은 깃털 성장시기라는 제한된 기간에 납이 유입되었지만, 그 농도가 허파, 간으로 유입된 납 농도에 비해 상대적으로 높았다. 또한 납에 단시간 동안 고농도로 노출될 때에는 우선 간 조직의 납 농도가 높아지지만 저농도로 장시간 노출될 때는 간보다는 신장이나 뼈에 상대적으로 높은 농도로 납이 축적된다고 알려져 있다(Shin *et al.*, 2008;

Honda *et al.*, 1986). 이에 본 연구에서 분석된 집비둘기의 납에 대한 노출은 저농도로 장시간 이루어진 것으로 판단되며, 이러한 축적 특성으로 인해 허파·간과 깃털 간의 납 농도의 상관관계가 낮은 것으로 추측된다.

IV. 결론

본 연구에서는 환경오염 지표종으로 알려져 있는 집비둘기의 생체 조직과 세척깃털 등의 중금속 축적 특성을 연구하였다. 중금속 5종(납, 카드뮴, 총크롬, 니켈, 비소)의 생체 조직 내 축적 특성을 보면, 납과 카드뮴은 나머지 3종(총크롬, 니켈, 비소)에 비해 생체 조직 내 축적이 두드러지게 높게 나타났다. 특히, 납은 다른 중금속에 비해 지역 간 비교에서도 두드러진 농도 차이를 보였는데, 뚝, 간, 혈액에서 통계적으로 유의하게 농촌지역인 함평공원보다 도시지역인 한강공원이 높은 농도를 보였다. 이러한 경향은 깃털에서도 나타났다. 이에 비해 알 시료(알 내용물, 껍데기)는 깃털보다는 상대적으로 낮은 농도로 축적되는 경향을 보였다. 깃털 중에서는 꼬리깃과 날개깃이 각각 신장 및 뼈 조직의 납 농도와 높은 양의 상관관계를 보였다. 이상의 결과로 볼 때, 중금속 배출경로 요소 중 하나인 깃털로 축적되는 납 농도는 다른 요소(예: 알)에 비해 상대적으로 높고, 환경 오염요소(대기, 토양, 먹이 등) 내 납 농도가 서로 차이 나는 지역들 내의 집비둘기의 생체 축적농도 차이를 깃털이 어느 정도 반영할 가능성이 있을 것으로 판단된다. 다만, 부위별 깃털(날개, 꼬리, 가슴)과 생체조직(신장, 뼈 등)과의 상관관계에서 나타나는 차이는 부위별 깃털의 털갈이 시기 및 순서 등의 차이와 관련이 있을 것으로 추측되기 때문에 향후 털갈이 시기 및 순서에 따른 중금속 축적농도 패턴 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 국립환경과학원에서 2013년 '환경오염 지표종인 집비둘기 시료의 부위별 중금속 농축특성 연구'(NIER-RP2013-340)의 일환으로 수행되었습니다.

인용문헌

- 김상진, 이종남, 이두표. 2006. 한국에 도래하는 아비류의 카드뮴과 납 축적 레벨. *J. Eco. Field Biol.* 29(6): 539-543.
- 김정수, 한상희, 이두표, 구태회. 2001. 서울지역 집비둘기 *Columba livia*의 서식지별 중금속 오염. *한국생태학회지*. 24(5): 303-307.
- 김정수, 이두표, 구태회. 2003. 서울지역에 서식하는 집비둘기 *Columba livia*의 깃털을 이용한 중금속오염 모니터링. *한국생태학회지*. 26(3): 91-96.
- 남동하, 이두표, 구태회. 2001. 비둘기의 체내 납과 카드뮴 축적에 영향을 미치는 요인. *Kor. J. Orni.* 8(2): 107-115.
- 남동하, 이두표, 구태회. 2002. 비둘기 깃털을 이용한 납 오염 모니터링. *한국환경생태학회지*. 16(3): 233-238.
- 신주렬, 김정수, 구태회. 2008. 우리나라 야생조류의 납과 카드뮴 농도. *Korean J. Environ. Biol.* 26(1): 8-14.
- Brait, C. H. H. and N. R. Antoniosi Filho. 2011. Use of feathers of feral pigeons as a technique for metal quantification and environmental monitoring. *Environmental Monitoring Assessment*. 179: 457-467.
- Cardiel, I. E., M. A. Taggart, and R. Mateo. 2011. Using Pb-Al ratios to discriminate between internal and external deposition of Pb in feathers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74: 911-917.
- Dauwe, T., B. Lieven, and J. Ellen. 2002. Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. *Ecological Indicators*. 1: 227-234.
- Dauwe, T., L. Bervoets, R. Pinxten, R. Blust, and M. Eens. 2003. Variation of heavy metals within and among feathers of

- birds of prey: effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution*. 124: 429-436.
- Drasch, G. A. 1987. The urban pigeon (*Columba livia*, forma urbana) - A biomonitor for the lead burden of the environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 9: 223-232.
- Honda, K., Min, B. Y. and R. Tatsukawa. 1986. Distribution of heavy metals and their age-related changes in the Eastern Great White Egret, *Egretta alba modesta*, in Korea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 15: 185-197.
- Hu, H., M. Rabinowitz and D. Smith. 1998. Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: Conceptual paradigms. *Environmental Health Perspectives*. 106(1): 1-8.
- Janiga, M., B. Maňkiovská, M. Bobal'ová, and G. Ďurčová. 1990. Significance of concentrations of lead, cadmium, and iron in the plumage of the feral pigeon. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 19: 892-897.
- Johnston, R. F. and M. Janiga. 1995. *Feral Pigeons*. Oxford University Press, Inc.
- Keil, D. E., J. Berger-Ritchie and G. A. McMillin. 2011. Testing for toxic elements: A focus on arsenic, cadmium, lead, and mercury. *Labmedicine*. 42(12): 735-742.
- Klein, R., M. Bartel-Steinbach, J. Koschorreck, M. Paulus, K. Tarricone, D. Teubner, G. Wagner, T. Weinmann and M. Veith. 2012. Standardization of egg collection from aquatic birds for biomonitoring - a critical review. *Environ, Sci. & Tech.* 1-40.
- Nagel, P., and D. Haag-Wackernagel. 2001. Use of feral pigeon eggs for urban biomonitoring. *Fresenius Environmental Bulletin*. 10(1): 18-25.
- Paulus, M., M. Bartel, R. Klein, M. Quack, K. Tarricone, D. Teubner and G. Wagner. 2010. Guideline for sampling and sample treatment, Feral pigeon (*Columba livia* f. domestica). *Umweltprobenbank des Bundes*.
- Proctor, N. S. and P. J. Lynch. 1993. *Manual of ornithology*. Yale University.
- Rabinowitz, M. B. 1991. Toxicokinetics of bone lead. *Environmental Health Perspectives*. 91: 33-37.
- Seco Pon, J. P., O. Beltrame, J. Marcovecchio, and M. Favero. 2011. Trace metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf. *Marine Environmental Research*. 72: 40-45.
- Wiemann, M., K. Schirrmacher and D. Büsselberg. 1999. Interference of lead with the calcium release activated calcium flux of osteoblast-like cells. *Calcified Tissue International*. 65: 479-485.

References

- Brait, C. H. H. and N. R. Antoniosi Filho. 2011. Use of feathers of feral pigeons as a technique for metal quantification and environmental monitoring. *Environmental Monitoring Assessment*. 179: 457-467.
- Cardiel, I. E., M. A. Taggart, and R. Mateo. 2011. Using Pb-Al ratios to discriminate between internal and external deposition of Pb in feathers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74: 911-917.

- Dauwe, T., B. Lieven, and J. Ellen. 2002. Great and blue tit feathers as biomonitors for heavy metal pollution. *Ecological Indicators*. 1: 227-234.
- Dauwe, T., L. Bervoets, R. Pinxten, R. Blust, and M. Eens, 2003, Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: effects of molt and external contamination, *Environmental Pollution*, 124, 429-436.
- Drasch, G. A. 1987. The urban pigeon (*Columba livia*, forma urbana) - A biomonitor for the lead burden of the environment. *Environmental Monitoring and Assessment*. 9. 223-232.
- Honda, K., B.Y. Min and R. Tatsukawa. 1986. Distribution of heavy metals and their age-related changes in the Eastern Great White Egret, *Egretta alba modesta*, in Korea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 15: 185-197.
- Hu, H., M. Rabinowitz and D. Smith. 1998. Bone lead as a biological marker in epidemiologic studies of chronic toxicity: Conceptual paradigms. *Environmental Health Perspectives*. 106(1): 1-8.
- Janiga, M., B. Maňková, M. Bobal'ová, and G. Ďurčová. 1990. Significance of concentrations of lead, cadmium, and iron in the plumage of the feral pigeon. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 19: 892-897.
- Johnston, R.F. and M. Janiga. 1995. *Feral Pigeons*. Oxford University Press, Inc.
- Keil, D. E., J. Berger-Ritchie and G. A. McMillin. 2011. Testing for toxic elements: A focus on arsenic, cadmium, lead, and mercury. *Labmedicine*. 42(12): 735-742.
- Kim, J., Han, S., Lee, D. and Koo, T. 2001. Heavy metal contamination of feral pigeons *Columba livia* by habitat in Seoul. *Korean J. Ecol.* 24(5): 303-307.
- Kim, J., Lee, D. and Koo, T. 2003. Monitoring of heavy metal contaminations using feathers of feral pigeons *Columba livia* in Seoul. *Korean J. Ecol.* 26(3): 91-96.
- Kim, S. J., Lee, J. N. and Lee, D. 2006. Cadmium and lead levels of loons wintering in Korea. *J. Ecol. Field Biol.* 29(6): 539-543.
- Klein, R., M. Bartel-Steinbach, J. Koschorreck, M. Paulus, K. Tarricone, D. Teubner, G. Wagner, T. Weinmann and M. Veith. 2012. Standardization of egg collection from aquatic birds for biomonitoring - a critical review. *Environ, Sci. & Tech.* 1-40.
- Nagel, P., and D. Haag-Wackernagel. 2001. Use of feral pigeon eggs for urban biomonitoring. *Fresenius Environmental Bulletin*. 10(1): 18-25.
- Nam, D. H., Lee, D. and Koo, T. 2001. Factors causing variations of lead and cadmium accumulation of feral pigeons (*Columba livia*). *Kor. J. Ornithol.* 8(2): 107-115.
- Nam, D. H., Lee, D. and Koo, T. 2002. The use of feral pigeon's (*Columba livia*) feathers as a monitor for lead pollution in Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 16(3): 233-238.
- Paulus, M., M. Bartel, R. Klein, M. Quack, K. Tarricone, D. Teubner and G. Wagner. 2010. Guideline for sampling and sample treatment, Feral pigeon (*Columba livia* f. domestica). *Umweltprobenbank des Bundes*.
- Proctor, N. S. and P. J. Lynch. 1993. *Manual of ornithology*. Yale University.

- Rabinowitz, M. B. 1991. Toxicokinetics of bone lead. *Environmental Health Perspectives*. 91: 33-37.
- Seco Pon, J. P., O. Beltrame, J. Marcovecchio, and M. Favero. 2011. Trace metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn) in feathers of Black-browed Albatross *Thalassarche melanophrys* attending the Patagonian Shelf. *Marine Environmental Research*. 72: 40-45.
- Shin, J. R., Kim, J. and Koo, T. 2008. Lead and cadmium concentrations in Korean wild birds. *Korean J. Environ. Biol.* 26(1): 8-14.
- Wiemann, M, K. Schirmacher and D. Büsselberg. 1999. Interference of lead with the calcium release activated calcium flux of osteoblast-like cells. *Calcified Tissue International*. 65: 479-485.

Appendix 1. Concentrations (mean ± standard deviation) of heavy metals in environmental components (air, soil, and food), and feral pigeon (internal organs, feathers, and eggs) in urban and rural sites

		site	n	Pb	Cd	Cr (total)	Ni	As
Air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) [†]	Seoul	3	0.035 ± 0.007	0.001 ± 0.000	0.005 ± 0.001	0.004 ± 0.000	0.004 ± 0.001	
	Gwangju	3	0.028 ± 0.006	0.001 ± 0.000	0.003 ± 0.000	0.002 ± 0.001	0.005 ± 0.002	
Soil (mg/kg) [‡]	Seoul	3	27.662 ± 17.419	0.724 ± 0.606	0.004 ± 0.007 [¶]	21.890 ± 2.547	4.678 ± 3.781	
	Jeollanam-do	3	16.455 ± 9.402	0.127 ± 0.075	0.245 ± 0.424	11.618 ± 3.025	5.522 ± 4.579	
Gizzard content ($\mu\text{g}/\text{g}$ dry)	Hangang	7	11.882 ± 10.272	0.328 ± 0.495	1.777 ± 1.115	0.539 ± 0.306	5.445 ± 7.249	
	Hampyeong	6	12.031 ± 6.068	0.041 ± 0.100	4.682 ± 3.460	2.280 ± 1.911	7.351 ± 5.895	
Crop content ($\mu\text{g}/\text{g}$ dry)	Hangang	3	3.885 ± 4.369	0.362 ± 0.284	0.696 ± 0.066	0.545 ± 0.215	0.639 ± 0.396	
	Hampyeong	18	0.448 ± 0.351	0.115 ± 0.052	0.344 ± 0.230	1.289 ± 0.952	0.251 ± 0.170	
Internal organs ($\mu\text{g}/\text{g}$ dry)	Hangang	6	blood	0.470 ± 0.051	0.074 ± 0.004	0.223 ± 0.059	0.152 ± 0.137	0.277 ± 0.215
			lung	0.488 ± 0.254	0.083 ± 0.018	0.308 ± 0.100	0.108 ± 0.064	0.119 ± 0.078
			liver	0.968 ± 0.386	1.450 ± 0.582	0.184 ± 0.042	0.042 ± 0.014	0.181 ± 0.172
			kidney	2.116 ± 0.963	8.773 ± 10.361	0.193 ± 0.039	0.063 ± 0.026	0.194 ± 0.159
			bone	16.621 ± 14.131	ND	0.090 ± 0.121	0.336 ± 0.033	ND
			Average	4.133	2.076	0.200	0.140	0.154
	Hampyeong	6	blood	0.380 ± 0.047	0.081 ± 0.008	0.205 ± 0.019	0.109 ± 0.006	0.158 ± 0.017
			lung	0.376 ± 0.095	0.086 ± 0.017	0.289 ± 0.067	0.134 ± 0.041	0.126 ± 0.036
			liver	0.425 ± 0.140	0.881 ± 0.517	0.176 ± 0.065	0.083 ± 0.039	0.146 ± 0.044
			kidney	1.490 ± 0.445	4.463 ± 3.444	0.283 ± 0.169	0.104 ± 0.031	0.292 ± 0.078
			bone	4.858 ± 3.017	ND	0.083 ± 0.098	0.338 ± 0.049	ND
			Average	1.506	1.102	0.207	0.153	0.144
Feathers & eggs ($\mu\text{g}/\text{g}$ dry)	Hangang	6	feathers	2.070 ± 0.892	0.119 ± 0.100	1.254 ± 0.567	0.416 ± 0.291	0.295 ± 0.131
			egg contents	0.149 ± 0.100	0.005 ± 0.004	0.244 ± 0.187	0.058 ± 0.097	0.033 ± 0.028
			egg shells	0.131 ± 0.045	0.045 ± 0.004	0.077 ± 0.026	0.461 ± 0.148	0.121 ± 0.063
			Average	0.783	0.057	0.525	0.312	0.149
	Hampyeong	6	feathers	0.692 ± 0.299	0.062 ± 0.017	1.354 ± 0.963	0.500 ± 0.406	0.276 ± 0.097
			egg contents	0.216 ± 0.263	0.007 ± 0.008	0.354 ± 0.332	0.095 ± 0.139	0.022 ± 0.026
			egg shell	0.082 ± 0.026	0.029 ± 0.009	0.196 ± 0.461	0.798 ± 0.248	0.070 ± 0.024
			Average	0.330	0.033	0.635	0.465	0.123

†: Average concentrations of heavy metal in air pollution from 2010 to 2012 (Seoul: 5 sites, Gwangju Metropolitan city: 3~4 sites, <http://kosis.kr>)

‡: Average concentrations of heavy metal in soil pollution from 2009 to 2011 (Seoul: 199~211 sites, Jeollanam-do: 156~163 sites, <http://kosis.kr>).

¶: These values are Cr6 + values. ND: non-detectable.