

기술자료

해양 환경오염 모니터링을 위한 국가환경시료은행 괭이갈매기(*Larus crassirostris*) 알 시료 채취 절차

이장호 · 이종천 · 이상희 · 김명진 · 이유진 · 한아름

국립환경과학원 자연평가연구팀

(2013년 11월 1일 접수, 2013년 11월 8일 승인)

Sampling Procedure of Black-tailed Gull (*Larus crassirostris*)'s eggs in National Environmental Specimen Bank for Monitoring Long-term Marine Environmental Pollution

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

Ecosystem Assessment Division, Nature Conservation Research Division, National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 1 November 2013; accepted 8 November 2013)

Abstract

Environmental Specimen Banks (ESBs) have been established widely in the world since 1979 for monitoring long-term bio-accumulation of environmental pollutants. The ESBs perform the retrospective analysis of representative biological samples collected regularly and store them in cryogenic condition. In Korea, National Environmental Specimen Bank (NESB) was established in 2009. Since then, NESB had prepared the standard operating procedures (SOPs) for the seven kinds of specimens (Red Pine (*Pinus densiflora*), Common Carp (*Cyprinus carpio*), and etc.) for monitoring the effect of environmental pollution on the terrestrial ecosystem and river ecosystem. In 2012, NESB added Black-tailed Gull (*Larus crassirostris*)'s eggs to the list of the environmental specimen for monitoring marine environmental pollution. In this study, we sampled the eggs of the Black-tailed Gull on two islands (Baekryeongdo of the West Sea and Hongdo of the South Sea). Especially, we selected eggs which remained in the early stages of embryo development for certifying the consistent and stable monitoring for environmental pollutants in egg contents. However, it was not considered to classify an order of eggs per clutch in this study. It is known that the concentration variations of pollutants exist among eggs in one clutch. Therefore, it is needed to consider the positions of eggs in the laying sequences to meet the objective of bio-accumulation monitoring. We collected 30 eggs in each site but the amount may be insufficient to achieve storage target (over 2,000 g). Therefore, we need to consider an optimal sampling size.

Keywords : National Environmental Specimen Bank, Sampling Procedure, Black-tailed Gull's Eggs

I. 서론

환경오염의 생물영향 모니터링이 지속성을 가지기 위해서는 몇 가지 전제조건이 필요하다. 우선은 연구 대상 생물 시료의 확보가 용이해야 한다. 그리고 그 생물이 환경오염 영향지표로서 이용 가능해야 하며, 채취된 시료를 장기간 성분변화 없이 안정되게 저장할 수 있어야 한다. 생물 시료의 확보가 용이해야 한다는 조건은 대상 생물이 많은 개체수로 장기간 서식 가능하면 만족시킬 수 있다. 또한 생물 개체를 죽이지 않고 특정 부위만을 오염 영향지표로 채취할 수 있으면 더욱 좋다. 그리고 성분변화 없는 안정적인 저장 조건은 초저온 저장으로 어느 정도 만족시킬 수 있다(Rüdel and Weingärtner, 2008). 환경시료은행은 이러한 조건을 탐색하고, 구체적인 운영절차를 수립하고 실현하는 곳이다. 독일 등 선진국에서는 이미 30여 년 전부터 초저온 저장을 통한 장기적인 시료 저장과 오염물질 분석을 수행하면서 환경오염 영향에 대한 과학적인 정책지원 자료 등을 제공해 오고 있다(이종천과 김명진, 2012). 우리나라도 2009년에 환경부 국립환경과학원에 국가환경시료은행을 건립하였고, 표준운영절차를 마련하고 현장 적용연구를 수행해 오고 있다. 2010년부터 육상 및 하천생태계 모니터링을 위해 소나무(*Pinus densiflora*), 잉어(*Cyprinus carpio*) 등 7종의 시료를 대상으로 채취, 저장 등의 운영절차를 현장에 적용하는 연구를 수행해 왔다.

본 연구에서는 해양환경오염 모니터링을 위해 2012년에 새로 추가된 갯벌갈매기(*Larus crassirostris*) 알 시료에 대한 채취 절차를 다루었다. 갯벌갈매기는 동해, 서해, 남해의 섬에 흔히 번식하는 텃새이며, 섬의 암초와 초지, 관목 생육지 등에서 집단으로 번식하는 것으로 알려져 있다(원병원, 1981). 산란기는 4월 하순에서 6월 중순까지이며, 한배산란수(clutch size)는 보통 2-4개이다. 산란 후 24-25일 동안 알을 품으면 부화되고, 먹이는 어류나 연체동물이며,

어장, 건조장, 어선 등에서 버리는 찌꺼기 등도 먹는 것으로 알려져 있다. 독일의 경우, 해양생태계 오염을 모니터링하기 위해 Herring Gull(*Larus argentatus*) 알을 대상으로 한 채취를 수행하고 있다(Paulus et al., 2010). 갈매기류는 해양생태계 오염 지표로서 알려져 있고 크롬(Cr), 납(Pb), 비소(As), 잔류성유기화합물(PCBs, DDTs 등) 등과 같은 오염물질의 생물농축 모니터링에 사용되고 있다(Burger and Gochfeld, 1995a; Burger and Gochfeld, 1995b; Choi et al., 2001; Fujihara et al., 2003). 특히, 개체를 죽이지 않고 깃털이나 알 등을 채취하는 방법으로 장기적인 모니터링을 수행하는 연구들도 적지 않다(Ayas et al., 2008; Burger, 2002; Burgess et al., 2013; Moksnes and Norheim, 1986; Klein et al., 2012). 이에 본 연구에서는 해양환경 오염 모니터링을 위한 안정적인 시료확보 방안으로 갯벌갈매기 알 채취 운영절차를 검토하였다. 독일환경시료은행에서 적용 중인 Herring Gull 채취 표준운영절차를 참고하여 '12년도에 서해 백령도와 남해(통영) 홍도에 서식하는 갯벌갈매기 개체군의 알을 채취하였고, 그 결과를 검토하여 향후개선점을 파악하였다.

II. 연구방법

조사에 참고한 독일환경시료은행의 Herring Gull 알 채취 표준운영절차의 주요 내용은 Table 1과 같다(Paulus et al., 2010). 갯벌갈매기도 Herring Gull 과 마찬가지로 오염물질의 생물농축 특성 연구의 적합한 지표종으로 알려져 있다(Choi et al., 2001; Fujihara et al., 2003). 또한 어류나 연체동물, 그리고 어장, 건조장, 어선 등에서 버리는 찌꺼기 등을 먹는 잡식성 영양단계(omnivorous trophic)에 속하는 종이다(원병오, 1981).

갯벌갈매기 알 채취는 서해 백령도(인천광역시 옹진군)와 남해 홍도(경상남도 통영시)에서 실시하였다(Fig. 1). 백령도에는 갯벌갈매기가 2000 마리 이상

Table 1. Standard operating procedure (sampling of Herring Gull (*Larus argentatus*)’s eggs) in German Environmental Specimen Bank

Section		Main content
Function of the specimen type		- good accumulation indicator - representative omnivorous trophic level
Target compartment (egg)		- exactly defined date and location of the sample - not being killed - being easy to handle during the sampling and the sample preparation - being excellent protected by shell - important pathway for the excretion of lipophilic persistent pollutants and some heavy metals ※ An barrier of ovary inhibits higher concentration of many heavy metals in the eggs.
Predefinition for the sampling	Species determination	- species identification
	Selection and definition of sampling sites	- large breeding colony
	Selection of individuals and sample size	- only the second egg from each clutch - 75 eggs be collected
	Sampling period and frequency	- during the main nesting period (March~April) - a limited removal time span of 3-5 days
Sampling procedure	Sampling technique	- being temporarily stored in a cooling device at 5°C (±3°C) - Only those eggs which comply with the situation a) to d) (Fig. 2)

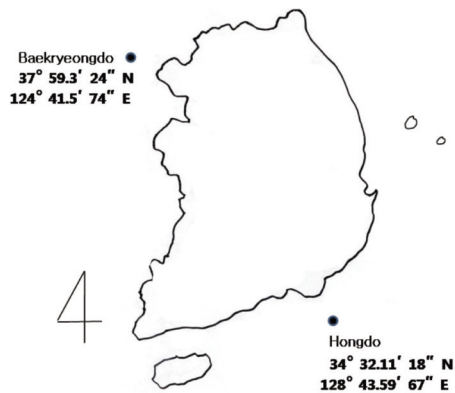


Fig. 1. The location of study sties

집단번식하는 것으로 알려져 있다(환경부, 2007). 홍도는 천연기념물 335호 갯이갈매기 집단번식지로 1982년에 지정되었고, 약 70,000마리 이상이 번식하는 것으로 알려져 있다(강정훈 등, 2008). 조사하기는 2개 지역 갯이갈매기 집단에 대한 조사경험이 있는 전문가(국립공원관리공단 권영수 박사)에게 번식시기를 문의한 후 정하였다. 백령도는 '12년 5월 2~3일, 남해 홍도는 5월 8일에 채취를 실시하였다. 채취지역별로 각 30개씩을 목표로 채취하였다. 독일 표준운영절차의 경우는 75개 알을 채취해 와 실험실

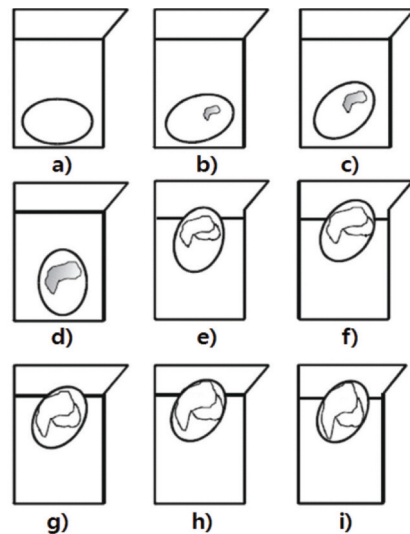


Fig. 2. Incubation stages of bird's eggs(Hays and LeCroy, 1971)

에서 부유시험법(Floating Test, Fig. 2)을 실시하여 배발생이 많이 진행된 알을 제외하거나 외관검사를 통해 손상된 알을 제외한 나머지 알(목표: 30~35개)을 저장하는 것으로 되어 있다(Paulus et al., 2010). 알은 배발생이 진행되어 성장함에 따라 호흡 등의 신진대사 작용이 일어나면서 알 내용물의 물질변화가 일어나기 쉽다. 따라서 배발생의 일정한 단계에 있는

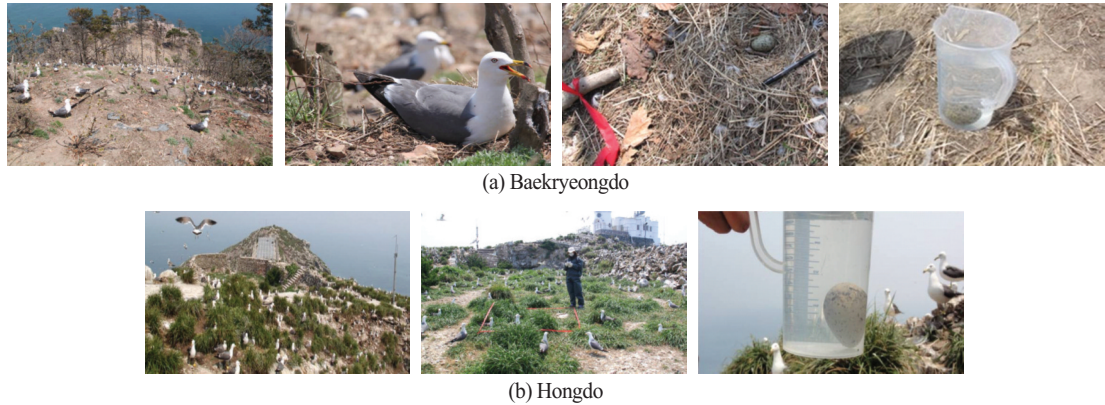


Fig. 3. The landscape of each study site and floating test

알을 채취해야 모니터링의 일관성이 확보될 수 있다. 이를 위해 독일의 표준운영절차 상에 배발생 초기상태에 있는 알만을 채취하는 것으로 되어 있다. Fig. 2의 부유시험법에 따라 배발생 단계를 구분하면 가라앉은 단계에 해당하는 (a)~(d) 단계가 발생 초기에 해당된다. 이번 조사에서는 알을 채취해 와 실험실에서 부유시험법을 실시하는 절차 대신에 현장(백령도, 홍도)에서 부유시험법을 바로 실시하였다. 저장 목표량(30~35개)을 달성하기 위해 두 배 이상의 알(75개)을 채취한 후 실험실에서 골라내는 방식은 버려지는 알이 많이 발생할 가능성이 있기 때문이다. 또한 산란수표시법을 실시하여 현장에서 배발생 초기상태인 알을 직접 확인하는 방법도 병행하였다. 즉, 채취 전에 동지 내 상태(빈 동지, 산란 알 수)를 확인하고, 빈 동지와 한 알 산란된 동지에 표시를 해두고 다음 날 새로 난 알을 수거하였다.

백령도는 북동쪽 사면 약 1,500 m²의 지역에 분포하는 동지에서 경사면을 따라 지그재그(zigzag)로 이동하면서 산란수표시법과 부유시험법을 적용하여 채취하였다(Fig. 3(a)). 홍도는 산능선부와 동쪽과 서쪽 사면 약 1,200 m²의 지역에서 접근가능한 곳까지 고루 채취하였는데(Fig. 3(b)), 당초 산란수표시법을 시도하기 위해 이를 조사를 계획하였으나, 기상 등 출항 여건이 좋지 않아 하루 조사만 수행하였다. 따라서 현장 부유시험법만 적용하여 채취하였다. 채취한 알은 실험실로 운반하여 생중량(CAS, CUX220H, minimum indication 0.001 g), 길이(Mitutoyo, Absolute

Digimatic Caliper, minimum indication 0.01 mm), 폭을 측정 후 알을 에탄올로 세척한 메스로 갈라 내용물을 용기에 담은 후 초저온 저장하였다. 그리고 운영절차 현장적용의 전반적인 결과에 대해 자문검토도 실시하였다(호남대학교 이두표 교수).

III. 연구결과 및 고찰

‘12년도 해양환경시료인 팽이갈매기 알은 백령도, 홍도에서 각각 30개씩 채취하였다(Table 2). 백령도 팽이갈매기 알은 평균 중량 58.1 g으로 홍도(59.9 g)보다 다소 적었다. 길이와 폭의 평균값도 백령도(길이 61.5 mm, 폭 42.9 mm)가 홍도(길이 62.0 mm, 폭 43.0 mm)보다 다소 작았다.

백령도에서 실시한 산란수표시법 적용은 조사 첫 날에 총 45곳의 동지에 실시했고, 그 중 한 알 동지는 31곳, 빈 동지는 14곳이었다(Table 3). 조사 둘째 날 새로운 알을 낳은 동지는 전 날 한 알 동지였던 곳에서는 1곳, 빈 동지였던 곳에서는 7곳이었다. 따라서 총 45곳의 동지에서 8곳(18%)이 하루만에 새로운 알을 가진 곳이었다. 그리고 조사 첫 날 한 알만 가진 동지 31곳의 31개 알을 조사 둘째 날 부유시험한 결과, 23개 알(74%)이 배발생 초기상태인 것으로 확인되었다. 하지만 홍도는 기상 등 출항 여건이 좋지 않아 현장 부유시험법으로 하루만 채취를 수행하였다.

이번 조사에서는 한배산란된 동지에서 알 산란 순서를 고려치 않고 배발생초기 상태만을 기준으로 채

Table 2. Sampling methods and biometric values in each study site

Site	Baekryeongdo	Hongdo
Floating method	○	○
Marking Method	○	×
Number of eggs	30	30
Weight (g)	58.1 (47.4 ~ 67.9)	59.9 (51.6 ~ 69.1)
Length (mm)	61.5 (55.5 ~ 66.7)	62.0 (58.0 ~ 65.6)
Width (mm)	42.9 (40.3 ~ 46.0)	43.0 (39.4 ~ 45.6)

Weight, length, width: average (minimum value ~ maximum value).

Table 3. Egg sampling of marked nests in Baekryeongdo

	Nests with one egg	Nests without egg	Total
Number of marked nests (the first survey day)	31	14	45
Number of marked nests with new eggs(the second survey day)	1	7	8

취하였다. 이에 대해 한배 산란된 알 간에도 오염물질 농도차이가 있을 수 있기 때문에 이 부분도 일관성 있게 적용하는 방안 마련이 필요하다는 자문의견이 있었다. 또한 독일 표준운영절차에서는 한배 산란된 알들 중 2번째로 산란된 알을 선택하는 것으로 되어 있다(Table 1). 따라서 향후에 몇 번째 알을 일관되게 선택할 것인가를 정하고, 산란수표지법 적용 대상 동지와 채취 기간을 늘려 채취 알 순서의 일관성을 유지하는 작업이 필요하다.

독일 표준운영절차 상의 저장 목표량 30~35개는 중량 기준으로 정해진 목표다(Paulus *et al.*, 2010). 즉, 총 저장량 2,200 g을 달성하기 위해서 개당 중량을 약 70 g으로 가정하고 정한 목표량이다. 우리나라 국가환경시료은행도 매년 각 환경시료별로 최소 2,000 g (20ml 바이알당 약 10g 씩 200개 생산) 이상을 저장하는 것을 목표로 하고 있다. 이번 조사에서 백령도는 알껍질을 포함한 평균생중량으로 계산하면 30개 알이 총 1,743 g 정도이고, 홍도는 1,797 g 정도이다. 따라서 알껍질을 제외한 알 내용물의 중량은 더 적다. 향후 채취 시 채취수량을 상향조정하여 저장목표량을 달성하는 것이 필요하다.

알 시료의 경우, 친유기성(親油性, lipophilic) 잔류성 오염물질은 잘 축적 되는 반면, 중금속은 난소에서 저농도로 축적되는 경향이 있는 것으로 알려져 있다(Paulus *et al.*, 2010). 따라서 해양환경 오염물질의 종합적인 모니터링을 수행하기 위해서는 중

금속에 대한 모니터링 시료 부위를 추가(예: 깃털)로 검토하는 작업이 필요하다.

IV. 결론

해양환경오염 모니터링을 안정적으로 수행하기 위해서는 적절한 대상시료 선정과 채취 절차 수립이 중요하다. 우리나라도 2009년에 환경부 국립환경과학원에 국가환경시료은행을 건립하였고 2010년부터 육상 및 하천생태계 모니터링을 위해 소나무, 잉어 등 7종의 시료를 대상으로 채취, 저장 등의 운영절차를 현장에 적용하는 연구를 수행해 왔다. 본 연구에서는 2012년에 새로 추가된 해양환경오염 모니터링 시료인 갯이갈매기 알 시료에 대한 채취 절차를 다루었다. 독일환경시료은행에서 적용 중인 Herring Gull 채취 표준운영절차를 참고하여 '12년도에 서해 백령도와 남해(통영) 홍도에 서식하는 갯이갈매기 개체군의 알 채취 절차를 수행하였고, 그 결과를 검토하여 향후개선점을 파악하였다. 이번 조사에서는 한배 산란된 동지에서 알 산란 순서를 고려치 않고 배 발생초기 상태만을 기준으로 채취하였다. 이에 대해 한배 산란된 알 간에도 오염물질 농도차이가 있을 수 있기 때문에 이 부분도 일관성 있게 적용하는 방안 마련이 필요하다는 자문의견이 있었다. 따라서 향후에 몇 번째 알을 일관되게 선택할 것인가를 정하는 작업이 필요하다. 백령도, 홍도 각각 30개의 알이 채

취되었는데, 저장 목표량(약 2,000 g 이상)을 달성하기 위해서는 채취수량을 상향조정하는 것이 필요하다. 그리고 중금속 모니터링을 위해서는 알 시료를 보완할 대체 시료(예: 깃털) 발굴이 필요하다.

우리나라도 국가환경시료은행 건립으로 환경오염 물질의 생물농축에 대한 지속가능한 모니터링 체계 구축이 시작되었다고 볼 수 있다. 특히, 해양환경오염의 안정적인 모니터링을 위해 시료 채취, 처리, 저장 등의 운영절차를 마련하고 지속적으로 보완하는 작업이 중요하다.

사사

본 연구는 2012년 ‘국가환경시료은행 시료채취 및 처리 표준운영절차 활용 연구(III)’의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 본 연구에 협조해 주신 국립공원 관리공단, 용진군청 등에 감사드립니다. 특히, 국립공원관리공단 권영수 박사께 감사드립니다.

참고문헌

- 강정훈, 김인규, 강태한, 유승화, 이시완, 이한수, 2008, 천연기념물 무인도서(칠발도, 사수도, 난도, 홍도)의 번식실태에 관한 연구, 한국환경생태학회 학술대회지(구두발표), pp 43-45.
- 원병오, 1981, 한국동식물도감 25권 동물편(조류 생태), 문교부.
- 이종천, 김명진, 2012, 선진국 환경시료은행의 특성 분석을 통한 국가환경시료은행의 발전방안, 자원환경지질, 45(2): 169-180.
- 환경부, 2007, 제3차 전국자연환경조사 (백령), 환경부.
- Ayas, Z., H. Celikkan, and M. L. Aksu, 2008, Lead (Pb) and copper (Cu) concentration in the eggshells of Audouin's Gulls (*Larus audouinii*) in Turkey, Turk. J. Zool., 32: 379-384.
- Burger, J. and M. Gochfeld, 1995a, Growth and behavioral effects of early postnatal chromium and manganese exposure in Herring Gull (*Larus argentatus*) chicks, Pharmacology Biochemistry and Behavior, 50(4): 607-612.
- Burger, J. and M. Gochfeld, 1995b, Effect of varying temporal exposure to lead on behavioral development in Herring Gull (*Larus argentatus*) chicks, Pharmacology Biochemistry and Behavior, 52(3): 601-608.
- Burger, J., 2002, Food chain differences affect heavy metals in bird eggs in Barnegat Bay, New Jersey, Environmental Research Section A, 90: 33-39.
- Burgess, N. M., A. L. Bond, C. E. Hebert, E. Neugebauer, and L. Champoux, 2013, Mercury trends in herring gull (*Larus argentatus*) eggs from Atlantic Canada, 1972-2008: Temporal change or dietary shift?, Environmental Pollution, 172: 216-222.
- Choi, J-W., M. Matsuda, M. Kawano, T. Wakimoto, N. Iseki, S. Masunaga, S. Hayma, and Y. Watanuki, 2001, Chlorinated persistent organic pollutants in black-tailed gulls (*Larus crassirostris*) from Hokkaido, Japan, Chemosphere, 44: 1375-1382.
- Fujihara, J., T. Kunito, R. Kubota, and S. Tanabe, 2003, Arsenic accumulation in livers of pinnipeds, seabirds, and sea turtles: subcellular distribution and interaction between arsenobetaine and glycine betaine, Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 136: 287-296.
- Hays, H. and M. LeCroy, 1971, Field criteria for determining incubation stage in eggs of the common tern, Wilson Bull, 83:

- 425-429 cited in 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* var. *domestica*), Trier University, Germany.
- Moksnes, M. T. and G. Norheim, 1986, Levels of chlorinated hydrocabons and composition of PCB in herring gull *Larus argentatus* eggs collected in Norway in 1969 compared to 1979-1981, 11(2): 109-116.
- Klein, R., M. Bartel-Steinbach, J. Koschorreck, M. Paulus, K. Tarricone, D. Teubner, G. Wagner, T. Weimann, and M. Veith, 2012, Standardization of egg collection from aquatic birds for biomonitoring - a critical review, *Environmental Science & Technology*, DOI: 10.1021/es20431p.
- Paulus, M., M. Bartel, R. Klein, M. Quack, K. Tarricone, D. Teubner, and G. Wagner, 2010, Guideline for sampling and sample treatment, Herring gull (*Larus argentatus*), Trier University.
- Rüdel, H., and M. Weingärtner, 2008, Guidelines for sampling and sample processing: storage of environmental samples under cryogenic conditions. Fraunhofer Institute, Germany.