

팔당호에서 겨울철새 분변에 의한 질소와 인 오염부하량 산정

이장호[†] · 박혜경

국립환경과학원 한강물환경연구소

Estimating the Nitrogen and Phosphorus Loads of Wintering Waterfowl Feces in Lake Paldang

Jangho Lee[†] · Hae-Kyung Park

Han-River Environment Research Center, National Institute of Environmental Research
(Received 18 November 2009, Revised 22 January 2010, Accepted 26 January 2010)

Abstract

We estimated the nitrogen and phosphorus loads of wintering waterfowl feces in Lake Paldang. The average number of individual birds that belonged to Anatidae species was 2,852.5 from 2005 to 2008 in Lake Paldang. The number of Anatidae reached 97.4% of the total number of individual birds. For evaluating the loading amounts of N and P by waterfowl to Lake Paldang, the feces dry weight (g/day) of each Anatidae species was estimated by multiplying the body weight of the each bird by 2.25% and assumed that N and P in feces contain 1.46% and 0.33%, respectively. We assigned probability 1/3 to the nutrient decomposition of the bird feces in water. The nitrogen loading by wintering waterfowl feces was 0.06 ton/year and the phosphorus loading was 0.001 ton/year. These amounts were 0.0002% of all N loadings and 0.0001% of all P loadings. Therefore the wintering waterfowl might have little impact on the water quality in terms of eutrophication in Lake Paldang.

keywords : Lake Paldang, Nitrogen, Phosphorus, Waterfowl feces

1. 서론

우리나라는 매년 약 100만 마리 이상의 철새들이 날아와 겨울을 보낸다(국립생물자원관, 2008). 이들 철새들은 하천, 호수, 하구 등에서 겨울을 보내는데, 오리과에 속하는 많은 물새들은 주변 농경지에서 먹이를 먹고 하천이나 호수로 날아와 휴식을 취하는 경우가 많다(김현태 등, 1997; Baldassarre and Bolen, 1994). 따라서 물새들이 호수나 하천에 분변형태로 방출하는 영양물질은 질소나 인의 오염원이라 볼 수 있는데 특히, 호수와 같은 정체수역에서는 그 영향이 하천보다 더 크다고 할 수 있다(Fleming and Fraser, 2001; Manny et al., 1994).

미국 미시건의 Wintergreen 호수(면적: 0.15 km², 수리학적 체류시간: 9.7년)는 철새 이동 시기에 머물다 가는 10,700 여 마리의 물새에 의해 호수의 총인 부하량의 70%, 총질소 부하량의 27%가 공급되는 것으로 밝혀져 물새 분변에 의한 수질 오염 가능성이 높은 것으로 나타났다(Manny et al., 1994). 프랑스의 Grand-Lieu 호수(63 km²)는 1,021,600~2,435,000마리의 물새 분변에 의해 총인 부하량의 2.4~6.6%, 총질소 부하량의 0.4~0.7%가 공급되는 것으로 나타나 물새 분변에 의한 수질 오염부하량 기여는 적은 것으로 나타났

다(Fleming and Fraser, 2001). 일본 니이가타시의 佐瀨(0.4 km²)에서는 16,841 여 마리의 물새가 월동(越冬)했는데, 물새 분변이 총인 농도의 약 70%, 질소 농도의 약 30% 상승에 기여한 것으로 보고되었다(黃과 磯部, 2007). 이와 같이 물새 분변은 호소에서 부영양화 원인 물질인 질소와 인의 또 다른 공급원이 되고 있으며 그로 인한 수질 오염 영향은 물새 개체수 밀도, 호수 면적, 수리수문학적 체류시간 등에 의해 달라질 수 있다(Fleming and Fraser, 2001).

우리나라에서도 적지 않은 물새가 호수, 하천 등지에서 월동하고 있음에도 불구하고 물새 분변의 수질에 대한 영향을 연구한 사례가 거의 없다. 이에 본 연구에서는 수도권 상수원인 팔당호를 대상으로 월동 물새 분변의 오염부하량을 산정하였다.

대표적인 하천형 인공댐호(공동수와 정동일, 1999)인 팔당호에서는 겨울부터 봄까지의 갈수기 동안에 체류시간이 길어져 매년 봄에 규조류의 대발생이 일어나고 있으며 이로 인해 이 시기에 팔당호 유기물 오염 지표인 BOD 농도가 급증하고, 조류에 의한 취기가 발생하고, 정수처리과정에서 여과지를 폐쇄하는 등 반복적으로 상수원수 수질 악화가 일어나고 있다(박혜경과 정원화, 2003; 한명수 등, 1995). 따라서 팔당호 수질관리를 위해서는 조류 증식의 제한물질인 영양염류의 관리가 매우 중요하다. 이에 따라 팔당호의 영양물질 관리를 위해 다양한 연구가 진행되어 왔으며(한강물환경연구소, 2004, 2006, 2008) 특히, 영양물질의 공급원으로

[†] To whom correspondence should be addressed.
ficedula01@korea.kr

서 유입하천, 대기강하물, 수생식물, 용출 등의 유입경로를 고려한 질소와 인의 거동과 수지에 대한 연구도 이루어졌다 (이장호 등, 2010; 한강물환경연구소, 2004, 2009).

본 연구에서 다루는 물새 분변에 의한 오염부하량 산정은 팔당호 영양물질 오염부하량의 기존 유입경로에 더해 좀 더 정확한 물질 수지 산정에 기여할 것으로 판단된다. 또한 그 동안 막연히 추측되어 왔던 우리나라에서 월동하는 물새 분변에 의한 수질오염 가능성이 어느 정도인지 판단할 수 있는 기초자료가 될 수 있을 것이다.

2. 연구방법

2.1. 팔당호 월동 조류 분포지역 조사

팔당호는 남한강, 북한강, 경안천 수역과 이들이 만나는 합류수역으로 구성되어 있고, 한강 발원지가 속한 남한강의 유로연장은 약 382 km로 발원지에서 한강하구까지의 유로연장 약 494 km의 약 3/4에 해당하는 위치에 팔당호가 자리 잡고 있다. 평균 수심은 6.5 m로 알고, 연 평균 체류시간은 5.3일로 짧으며, 수표면적은 36.5 km², 저수용량은 244×10⁶톤/년에 달한다(공동수와 정동일, 1999; 한강물환경연구소, 2009). 팔당호에서 월동하는 물새의 종수와 개체수를 산정하기 위하여 매년 1월에 환경부에서 실시하는 겨울철 조류 동시 센서스 자료를 참고하였다(국립생물자원관, 2008; 국립환경과학원, 2005, 2006, 2007). 그리고 본 연구에서는 2005년~2008년 동안 매년 1월에 팔당호 월동조류 조사결과의 평균값을 사용하였다. 동시 센서스의 팔당호 조사지역은 합류 수역(L1)과 남한강 수역(L2)과 경안천 수역(L4)을 대상으로 하고 있으며, 북한강 수역(L3)은 다른 수역에 비해 월동 조류가 적을 것으로 판단되어 동시 센서스 지역에서는 제외되어 있다(Fig. 1).

2.2. 월동 조류 분변 오염부하량 산정기간

본 연구는 월동 물새의 분변 오염부하량 산정이 목적이기 때문에 월동기간을 설정하는 것이 필요하다. 우리나라 겨울철새는 보통 가을에 날아오기 시작하여 겨울에 안정된 무리를 형성하여 월동한 후 봄이 되면 북쪽으로 돌아가는 것으로 알려져 있다(박진영, 2002; 이우신 등, 2000). 따라서 본 연구에서는 10월 말부터 3월 말까지 총 5개월(150일)을 오염부하량 산정기간으로 설정하였다.

2.3. 분변 오염부하량 산정

물새 분변 오염부하량 산정은 아래 식 (1)을 따랐다(黃과磯部, 2007).

$$WL = N * Dw * Nc/100 * Pr \tag{1}$$

- WL : 조류분변의 수체(water body) 내 오염부하량(g/day)
- N : 조류 개체수(마리)
- Dw : 1일 분변 건조량(g/개체/day)
- Nc : 건조량당 영양물질 함량(%)
- Pr : 분변의 영양물질이 수체에 분해되어 존재할 확률

3. 결과 및 고찰

3.1. 팔당호 월동 물새 개체수(N)와 1일 분변 건조량(Dw) 산정

겨울철에 팔당호에 도래하는 물새는 2005년에 13종 543마리, 2006년에 8종 4,615마리, 2007년에 13종 2,072마리, 2008년에 16종 4,180마리로 4년 동안 총 22종에 평균 2,852.5마리가 도래하는 것으로 나타났다(Table 1). 그리고 물새 중 오리과(Anatidae)에 속하는 종의 개체수가 총 개체수의 평균 97.4%를 차지하였다. 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*)가 평균 1,534.0마리로 우점하였고, 청둥오리(*Anas platyrhynchos*), 흰죽지(*Aythya ferina*), 비오리(*Mergus mer-*

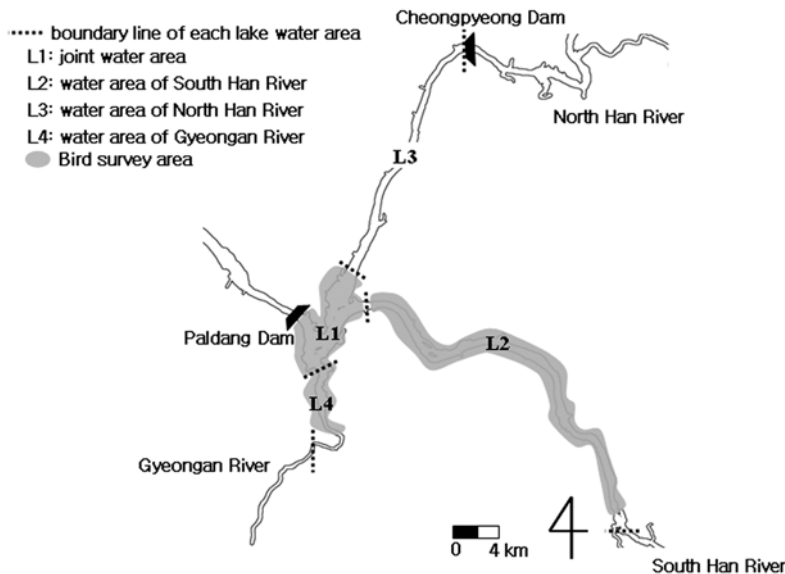


Fig. 1. Study area.

Table 1. Number of wintering individual birds in Lake Paldang (2005~2008)

Family	Bird species	2005	2006	2007	2008	Avg.
Podicipedidae	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	12	28	64	59	40.8
	<i>Podiceps cristatus</i>	3	0	0	0	0.8
Ardeidae	<i>Ardea cinerea</i>	2	0	0	14	4.0
Anatidae	<i>Cygnus cygnus</i>	6	92	140	249	121.8
	<i>Cygnus columbianus</i>	0	0	1	0	0.3
	<i>Anser fabalis</i>	0	0	0	3	0.8
	<i>Anser albifrons</i>	5	0	0	0	1.3
	<i>Anas falcata</i>	0	0	0	26	6.5
	<i>Anas strepera</i>	0	0	0	9	2.3
	<i>Anas crecca</i>	2	180	0	110	73.0
	<i>Anas platyrhynchos</i>	28	1,409	153	823	603.3
	<i>Anas poecilorhyncha</i>	432	2,520	569	2,615	1,534.0
	<i>Anas acuta</i>	0	5	0	0	1.3
	<i>Aythya ferina</i>	15	0	935	94	261.0
	<i>Aythya fuligula</i>	9	0	17	17	10.8
	<i>Aythya marila</i>	0	0	3	0	0.8
	<i>Mergus albellus</i>	0	0	0	3	0.8
	<i>Mergus merganser</i>	23	377	174	65	159.8
Rallidae	<i>Fulica atra</i>	5	0	11	91	26.8
Charadriidae	<i>Charadrius placidus</i>	1	0	1	1	0.8
Scolopacidae	<i>Tringa ochropus</i>	0	0	2	1	0.8
Laridae	<i>Larus argentatus</i>	0	4	2	0	1.5
No. of species		13	8	13	16	22
Total no. of individuals		543	4,615	2,072	4,180	2,852.5
No. of Anatidae individuals		520 (96)*	4,583 (99)	1,992 (96)	4,014 (96)	2,777.3 (97.4)

*: No. of Anatidae individuals / Total no. of individuals × 100.

anser), 큰고니(*Cygnus cygnus*), 쇠오리(*Anas crecca*) 순이었다.

본 연구에서는 오리과 물새의 1일 분변 건중량을 체중의 2.25%로 적용하였다(黃과 磯部, 2007; Sanderson and Anderson, 1978). 각 종의 몸무게는 원병오(1981)를 참고하였다. 몸무게의 대표치는 몸무게 범위의 중간값을 선택하였

고, 암수의 몸무게가 따로 기재된 경우는 암수의 평균값을 사용하였다(Table 2). 그리고 분변 오염부하량 조사 대상 물새를 오리과(Anatidae)의 물새로 한정하였는데, 그 이유는 이들 오리류가 주로 호수 밖에서 먹이를 섭취한 후 호내로 와서 분변을 방출하는 습성이 있고(黃과 磯部, 2007), 2005년~2008년 동안의 팔당호 월동 물새 개체수의 평균

Table 2. Average feces dry weight of waterfowl species

Korean name	Scientific name	Range of body weight* (g)	Body weight** (g)	Avg. feces dry weight (g/day)
Whooper Swan	<i>Cygnus cygnus</i>	4,700~12,700	8,700.0	195.8
Tundra Swan	<i>Cygnus columbianus</i>	4,200~4,600	4,400.0	99.0
Bean Goose	<i>Anser fabalis</i>	2,400~4,400	3,400.0	76.5
White-fronted Goose	<i>Anser albifrons</i>	1,900~2,700	2,300.0	51.8
Falcated Teal	<i>Anas falcata</i>	♂ : 547~877, ♀ : 521~828	693.3	15.6
Gadwall	<i>Anas strepera</i>	740~1,150	945.0	21.3
Common Teal	<i>Anas crecca</i>	♂ : 280~500, ♀ : 225~431	359.0	8.1
Mallard	<i>Anas platyrhynchos</i>	♂ : 911~1,500, ♀ : 690~1,316	1,104.3	24.8
Spot-billed Duck	<i>Anas poecilorhyncha</i>	♂ : 900~1,350, ♀ : 795~1,245	1,072.5	24.1
Pintail	<i>Anas acuta</i>	♂ : 765~1,143, ♀ : 680~982	892.5	20.1
Pochard	<i>Aythya ferina</i>	♂ : 667~1,120, ♀ : 655~1,050	873.0	19.6
Tufted Duck	<i>Aythya fuligula</i>	♂ : 600~990, ♀ : 525~877	748.0	16.8
Greater Scaup	<i>Aythya marila</i>	600~975	787.5	17.7
Smew	<i>Mergus albellus</i>	535~720	627.5	14.1
Common Merganser	<i>Mergus merganser</i>	1,400~1,650	1,525.0	34.3

*: Won Byeong-Oh (1981); **: min. + (max.-min.)/2.

97% 이상을 이들 오리류가 차지하기 때문에 팔당호 월동 물새의 분변 오염부하량 추정에 큰 문제가 없다고 판단하였기 때문이다.

3.2. 분변의 영양물질 함량(Nc) 및 수체에 분해되어 존재할 확률(Pr)

Manny 등(1994)은 미국 미시건의 Wintergreen 호수에 서식하는 캐나다 기러기(*Branta canadensis*)의 분변 건중량당 질소 함량을 $4.8 \pm 2.2\%$, 인 함량을 $1.5 \pm 0.6\%$ 로 보고한 바 있다. 그리고 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)와 미국오리(*Anas rubripes*)와 같은 오리류에 의한 분변 오염부하량은 캐나다 기러기의 몸무게에 대한 무게비를 곱해서 구하였다. 그리고 黄과 磯部(2007)는 일본 니이가타시의 佐瀨에서 수행한 연구에서 오리류 분변의 질소함량은 1.46%, 인함량은 0.03%를 적용하였다. 이처럼 물새 분변의 건중량당 영양물질 함량(%)은 종마다 그리고 월동지역마다 다르다. 그러나 우리나라에서는 현재까지 공식적으로 보고된 물새 분변의 영양물질 함량 결과가 없어 본 연구에서는 우리나라와 가까운 일본의 연구 사례를 참조하여 오리류 분변의 질소 함량은 1.46%, 인 함량은 0.03%를 사용하였다(Table 3).

호수 밖 농경지 등에서 먹이를 먹은 물새는 분변을 바로 농경지에 배설할 수도 있고, 호 내로 돌아와 배설하더라도 분변이 물속에서 분해되는데 요구되는 시간 때문에 분변이 호수 밖으로 유출되거나 바닥으로 침강될 가능성도 있다(黄과 磯部, 2007; Fleming and Fraser, 2001). Purcell (1999)의 연구에 따르면 캐나다 기러기(*Branta canadensis*) 분변의 화학적 조성은 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)가 분변 건중량당 0.05 mg/g 미만, 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)가 2.58 mg/g, 총 유기질소(total organic N)가 3.14 mg/g, 총질소가 5.72 mg/g, 총인이 14.0 mg/g을 차지하는 것으로 나타났고, 청둥오리(*Anas platyrhynchos*) 분변은 총질소가 52.3 mg/g, 총인이 17.4 mg/g을 차지하는 것으로 나타났다. 이 두 종의 분변을 골고루 섞은 후 물(carbon-filtered well water)에서 분해되는 시간 경과를 살펴본 결과, $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 60시간 경과 후 약 0.09 mg/L로 농도가 높아졌다가 94시간 경과 후에 0.26 mg/L로 최대 농도를 나타내었다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 초기부터 160시간 이후까지 꾸준히 농도가 증가하는 것으로 나타났고, SRP(soluble reactive phosphorus)는 12시간 경과 후에 1.76 mg/L로 가장 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 물새 분변이 물속에서 분해되는데 시간을 요하기 때문에 분변의 호수 밖 유출이나 바닥으로의 침강 가능성을 제외한 수체 내 분해 확률을 고려하는 것이 필요하다.

Table 3. Nutrient contents of waterfowl feces

Reference	Bird species	Total nitrogen (% , per dry weight)	Total phosphorus (% , per dry weight)
Kear (1963)*	<i>Branta canadensis</i>	2.2	1.0
Manny et al. (1975)*	<i>Branta canadensis</i>	4.38	1.34
Manny et al. (1994)	<i>Branta canadensis</i>	4.8 ± 2.2	1.5 ± 0.6
中村 (2002)**	Anatidae spp.	1.46	0.03

*: as cited in Fleming and Fraser (2001); **: as cited in 黄 and 磯部 (2007).

黄과 磯部(2007)는 오리류가 호수 밖에 배설하는 분변량은 호수 밖에 체류하는 시간(6~8시간)에 비례한다고 가정하였고, 또한 호 내의 분해량과 침강량은 비슷하다는 가정 하에 Pr 값을 1/3로 설정하였다. 본 연구에서도 Pr 값을 1/3로 적용하여 오염부하량을 산정하였다.

3.3. 팔당호 월동 물새의 분변 오염부하량

팔당호 월동 물새의 분변 중 질소 오염부하량은 총 426,134 mgN/day를 나타냈다(Table 4). 월동 개체수가 가장 많은 흰뺨검둥오리의 분변 오염부하량이 180,151 mgN/day로 가장 높았다. 다음으로 큰고니, 청둥오리, 비오리, 흰죽지, 쇠오리 순이었다. 청둥오리는 큰고니에 비해 월동 개체수는 4배 이상 많지만, 몸무게가 작아 분변 오염부하량은 오히려 큰고니가 더 크게 나타났다(Table 1, Table 2).

월동 물새의 분변 중 인 오염부하량은 총 8,756 mgP/day를 나타냈고, 종별 분변 인 오염부하량은 질소와 마찬가지로 흰뺨검둥오리가 3,702 mgP/day로 가장 높았고, 다음으로 큰고니, 청둥오리, 비오리, 흰죽지 순이었다.

Table 4. Nitrogen and phosphorus loads of wintering waterfowl feces in Lake Paldang

Bird species	Total nitrogen (mgN/day)	Total phosphorus (mgP/day)
<i>Cygnus cygnus</i>	115,985	2,383
<i>Cygnus columbianus</i>	120	2
<i>Anser fabalis</i>	279	6
<i>Anser albifrons</i>	315	6
<i>Anas falcata</i>	493	10
<i>Anas strepera</i>	233	5
<i>Anas crecca</i>	2,870	59
<i>Anas platyrhynchos</i>	72,942	1,499
<i>Anas poecilorhyncha</i>	180,151	3,702
<i>Anas acuta</i>	122	3
<i>Aythya ferina</i>	24,950	513
<i>Aythya fuligula</i>	880	18
<i>Aythya marila</i>	65	1
<i>Mergus albellus</i>	52	1
<i>Mergus merganser</i>	26,676	548
Total	426,134	8,756

3.4. 팔당호 월동 물새 분변의 연간 오염부하량

2008년 1년간 팔당호의 질소와 인 부하에 기여하는 주요 공급원별 오염부하량(이장호 등 2010; 한강물환경연구소, 2009)과 본 조사에서 산정한 월동 물새 분변에 의한 오염

부하량을 비교한 결과를 Table 5에 나타내었다. 오리들이 팔당호에 머무르는 기간은 월동기간인 5개월(150일)로 가정하였고, 이를 1일 오염부하량에 곱해 물새 분변의 연간 오염부하량을 구하였다.

연간 오염부하량으로 볼 때, 팔당호의 세 유입하천(북한강, 남한강, 경안천)을 통해 유입되는 질소 부하량은 30,643 ton/year (99.25%)였고, 대기강하물에 의해 135 ton/year (0.44%), 용출에 의해 88 ton/year (0.29%), 수생식물에 의해 8.5 ton/year (0.03%), 그리고 물새 분변에 의해서는 가장 적은 0.06 ton/year (0.0002%)가 유입되었다. 월동기간 5개월 (11월~3월) 동안의 주요 공급원별 오염부하량을 비교해 보면, 유입하천에 의한 질소 부하량은 6,143 ton/year (99.11%)였고, 대기강하물에 의해 36 ton/year (0.58%), 용출에 의해 19 ton/year (0.31%) 그리고 물새 분변에 의해서는 가장 적은 0.06 ton/year (0.001%)가 유입되었다.

연간 인 부하량을 살펴보면, 유입하천이 1,160 ton/year (99.92%), 수생식물에 의해 0.9 ton/year (0.08%), 물새 분변에 의해 0.001 ton/year (0.0001%)가 유입되었다. 5개월의 월동기간에는 유입하천에 의해 104 ton/year (99.99%)가 유입되었고, 물새 분변에 의해 0.001 ton/year (0.001%)의 적은 양이 유입되었다. 이런 결과로 볼 때 유입하천의 유량이 많고, 수표면적이 넓은 팔당호에서 월동하는 물새의 분변에 의한 영양물질 오염부하량은 월동시기로 한정하여 비교할 경우에도 매우 적은 것으로 판단되며, 수질 오염 부하에 대한 기여도 다른 공급원에 비해 무시해도 될 만큼 매우 작은 것으로 여겨진다.

기존 연구에 따르면 물새 분변에 의한 수질악화의 가능성이 높아지는 조건으로 크게 4가지를 들고 있다(Fleming and Fraser, 2001). 첫째는 높은 개체수 밀도, 둘째는 얇은 수심을 가진 수체(water body)와 같이 오염물질 수용력이 작은 경우, 셋째는 수리수문학적 체류시간이 긴 경우, 넷째는 몸무게와 비례하는 분변 건중량을 고려할 때 몸집이 큰 물새들이 많은 경우에 물새 분변에 의한 수질악화의 가능성이 높아진다고 보고하였다. 미국 미시건의 Wintergreen 호수는 평균 2.4 m의 얇은 수심과 0.15 km²이라는 작은 면적에 10,700 여 마리의 물새가 철새 이동 시기에 머물다가 있는데, 수리수문학적 체류시간 또한 9.7년으로 길기 때문에 호수의 총인 부하량의 70%, 총질소 부하량의 27%가 물새 분변에 의해 공급되는 것으로 밝혀져 물새 분변에 의한 수질 오염 가능성이 높은 것으로 나타났다(Manny et al.,

1994). 일본 니이가타시의 佐瀨湖 평균 1 m 이하의 얇은 수심과 0.4 km²의 작은 면적에 16,841 여 마리의 물새가 월동(越冬)했는데, 물새 분변이 총인 농도의 약 70%, 질소 농도의 약 30% 상승에 기여한 것으로 보고되었다(黃과 磯部, 2007). 이에 비해 프랑스의 Grand-Lieu 호수는 63 km²의 넓은 면적에 1,021,600마리~2,435,000마리의 물새가 머물다 가는데, 물새 분변에 의해 총인 부하량의 2.4~6.6%, 총질소 부하량의 0.4~0.7%가 공급되는 것으로 나타나 물새 분변에 의한 수질 오염부하량 기여는 적은 것으로 나타났다(Fleming and Fraser, 2001).

팔당호의 경우, 호수의 수심 범위가 3~20 m로 다양하고, 수표면적은 36.5 km²을 차지하며, 연평균 수리수문학적 체류시간(HRT) 또한 약 5.3일로 짧다. 특히, 기존 연구 사례(黃과 磯部, 2007; Fleming and Fraser, 2001; Manny et al., 1994)에 비해 단위면적당 개체수가 평균 158마리/km²로 매우 적은 편이다. 그리고 물새 중 몸집이 큰 종에 속하는 고니류와 기러기류의 개체수가 전체 월동 개체수의 4.3%인 124마리 정도로 적은 비율을 차지하기 때문에 기존 연구에서 보고된 호수들에 비해 전반적으로 물새 분변에 의한 오염부하량 기여가 상대적으로 적다고 판단된다.

하지만 팔당호 4개 수역 가운데 경안천 수역(L4)의 경우, 수역 면적이 3.4 km²으로 팔당호 전체 수역 면적(36.5 km²)의 약 9%만을 차지하는데, 2008년에 약 880개체 이상(2008년 전체 월동 물새의 약 1/4)이 경안천 수역에서 월동했고, 261마리/km²의 개체수 밀도를 보였다. 이는 2008년도 전체 조사 수역 개체수 밀도보다 1.5배 이상 높은 값이다. 경안천 수역에서 동절기(10월~2월)동안 유입하천을 통해 유입되는 영양염류 부하량과 물새분변에 의한 영양염류 부하량 비는 질소가 0.009%, 인이 0.004%로 팔당호 전체 물질 수지에 비해 약 4~9배 높았다. 뿐만 아니라 경안천 수역은 수심이 약 3 m(광동교 부근)로 얇은 편이며, 경안천 수역의 수리수문학적 연평균 체류시간은 약 17일로 팔당호 전체 연평균 체류시간인 5.3일에 비해 긴 편이다. 게다가 팔당호에서 식물플랑크톤의 대량발생 등 부영양화 현상이 두드러지게 나타나는 시기인 봄철 갈수기에는 팔당호 전체 체류시간이 20일 이상으로 증가하고 경안천 수역의 체류시간은 이보다 훨씬 더 길어진다(한강물환경연구소, 2009). 따라서 호수 전체를 대상으로 산정한 팔당호의 영양물질 수지에서 물새분변에 의한 오염부하량의 기여도는 매우 낮은 것으로 평가되었으나 겨울철 팔당호 경안천 수역의 경안 습지 등

Table 5. Nitrogen and phosphorus loads of each input source in Lake Paldang

Input sources	Total nitrogen		Total phosphorus	
	ton/year (%)	ton/wintering periods ¹ (%)	ton/year (%)	ton/wintering periods (%)
rivers ²	30,643 (99.25)	6,143 (99.11)	1,160 (99.92)	104 (99.99)
atmospheric deposition ³	135 (0.44)	36 (0.58)	0	0
release from sediments ⁴	88 (0.29)	19 (0.31)	0	0
macrophytes ⁵	8.5 (0.03)	0	0.9 (0.08)	0
waterfowl feces	0.06 (0.0002)	0.06 (0.001)	0.001 (0.0001)	0.001 (0.001)
Total	30,875 (100)	6,198 (100)	1,161 (100)	104 (100)

1: The wintering periods are 5 months (150 days)
2, 3, 4, 5: reference (HRERC, 2009)

에서 월동하는 오리류에 의한 분변 중, 본 연구에서 산정되지 않은 호수 바닥으로 침강되어 서서히 분해되는 양을 고려한다면 수체가 매우 정체되어 있고 수심이 얕은 경안천 수역과 같은 일부 수역에서는 국지적으로 물새분변에 의한 영양염류가 봄철 해빙 이후 규조류 발생에 어느 정도 기여할 가능성도 완전히 배제할 수는 없을 것이다.

4. 결론

우리나라는 적지 않은 물새가 호소, 하천 등지에서 월동하고 있음에도 불구하고 물새 분변의 수질에 대한 영향을 연구한 사례가 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 팔당호에서 월동하는 물새의 분변에 의한 영양물질 오염부하량을 산정하였고, 여러 오염 경로별 부하량과 비교하여 기여도를 조사하였다. 물새 분변에 의한 질소와 인 부하량은 수생식물보다도 더 낮은 값을 보였고 총오염부하량의 0.01% 미만으로 나타났다. 따라서 팔당호 월동 물새 분변에 의한 수질 오염 영향은 다른 공급원에 비해 매우 적은 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 일일 분변 건증량 추정 비율이나 영양물질 함량 비율, 그리고 분변 영양물질의 수체 내 분해 확률과 같은 수치들은 국외 자료에 의존하여 적용하였다. 이들 항목에 대한 조사는 물새 종별 먹이습성과 물새 서식지 이용의 일주행동(日週行動) 조사 등과 함께 장기간의 조사가 필요하다. 따라서 향후에 좀 더 정확한 물새 분변 오염부하량 추정을 위해서는 이들 수치를 포함하는 종합적인 조사가 필요하며, 또한 수변 습지조성 등에 따른 월동 물새 증가 가능성을 고려할 때 지속적인 관련 연구가 필요할 것이다. 또한 물새 분변에 의한 유입 부하량 뿐만 아니라 민물가마우지와 같이 호 내에서 물고기를 잡아먹은 후 배설은 주로 물에서 하는 물새들에 의한 영양물질 제거량에 대한 연구도 필요할 것이다.

사 사

본 연구는 2008년도 한강수계 환경기초조사사업 중 「수계별 호소환경 및 생태조사」 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

공동수, 정동일(1999). 하천형 인공호(팔당호)의 수환경특성 및 수질관리. *The 6th International Symposium on Environmental Issues and Alternatives for 21C*, pp. 41-83.
국립생물자원관(2008). 겨울철 조류 동시 센서스.
국립환경과학원(2005). 겨울철 조류 동시 센서스.

국립환경과학원(2006). 겨울철 조류 동시 센서스.
국립환경과학원(2007). 겨울철 조류 동시 센서스.
김현태, 김광훈, 문형태, 조삼래(1997). 한국 중서부 지방에서의 서식지 환경요인에 따른 월동 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)의 주간행동. *Korean J. Ecol.*, **20**(1), pp. 9-14.
박진영(2002). 한국의 조류 현황과 분포에 관한 연구. 박사학위논문, 경희대학교.
박혜경, 정원화(2003). 팔당호의 장기간 식물플랑크톤 발생 추이. *수질보전 한국물환경학회지*, **19**(6), pp. 673-684.
원병오(1981). *한국동식물도감 제25권 동물편(조류생태)*, 문교부.
이우신, 구태희, 박진영(2000). 한국의 새, LG상록재단.
이장호, 박혜경, 이규, 김은미(2010). 팔당호의 질소거동과 수지. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**(1), pp. 71-80.
한강물환경연구소(2004). 팔당호소 환경조사. 한강수계관리위원회.
한강물환경연구소(2006). 남한강수계 호소의 생태계 구조조사. 한강수계관리위원회.
한강물환경연구소(2008). 팔당호의 다차원적 물질거동 해석(II). 한강물환경연구소(HRERC)(2009). 수계별 호소환경 및 생태조사(1). 한강수계관리위원회.
한명수, 어윤열, 유재근, 유광일, 최영길(1995). 팔당호의 생태학적 연구 2. 식물플랑크톤의 군집 구조의 변화. *Korean J. of Limnology*, **28**(3), pp. 335-344.
中村雅子(2002). ガンカモ類が水質に及ぼす影響-冬期湛水水田の施肥効果 可能性. 第2回冬期湛水水田シンポジウム講演要旨集, pp. 26-29.
黃光偉, 磯部雅彦(2007). 渡り鳥集團飛來による閉鎖水域への栄養鹽負荷推定に関する研究. *土木學會論文集B*, **63**(3), pp. 249-254.
Baldassarre, G. A. and Bolen, E. G. (1994). *Waterfowl ecology and management*, John Wiley & Sons. Inc., USA. New York.
Fleming, R. and Fraser, P. E. H. (2001). *The Impact of Waterfowl on Water Quality -Literature Review-*. Ridgetown College, University of Guelph, Ridgetown, Ontario.
Kear, J. (1963). The agricultural importance of wild goose droppings. *The Waterfowl Trust, 14th annual Report*, 1961-1962, pp. 72-77.
Manny, B. A., Wetzel, R. G., and Johnson, W. C. (1975). Annual contribution of carbon, nitrogen and phosphorus by migrant Canada geese to hardwater lake. *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, **19**, pp. 949-951.
Manny, B. A., Johnson, W. C., and Wetzel, R. G. (1994). Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and water quality. *Hydrobiologia*, **279/280**, pp. 121-132.
Purcell, S. L. (1999). The significance of waterfowl feces as a source of nutrients to algae in a prairie wetland. M.Sc. thesis, University of Manitoba, Manitoba, Canada.
Sanderson, G. G. and Anderson, W. L. (1978). Waterfowl studies at Lake Sangchris. *Illinois Natural History Survey Bulletin*, **32**(4), pp. 656-690.