

Article

사수도에서 번식하는 습새의 포란 일정 및 성 역할

남기백 · 권인기 · 유정철*

경희대학교 생물학과, 한국조류연구소
(130-701) 서울시 동대문구 회기동 1Incubation Routine and Sex Role of Streaked Shearwaters
Calonectris leucomelas at Sasudo Island, South Korea

Ki-Baek Nam, In-Ki Kwon, and Jeong-Chil Yoo*

Department of Biology, Korea Institute of Ornithology
Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea

Abstract : Incubation routine and sex role of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* at Sasudo Island, in Jeju, South Korea, were studied during the incubation period, June to August in 2002. Incubation routine in Procellariiformes represents a sequence of alternating shifts taken in turn by female and male in a species-specific pattern. Hence, coordination of individual incubation rhythms between partners is crucial for successful breeding attempt. In Streaked Shearwaters, incubation routine represents a sequence of alternating shifts taken in turn by male and female. The first incubation shift was made by male after female had laid the egg. The mean incubation period was 50.8 days until hatching. Males had spent on average 26.5 days incubating and females 24.3 days accordingly. The mean duration of incubation shifts decreased progressively from 6th and 7th shift to hatching. Overall, males had spent more time incubating than females during the incubation period, but the mean duration of the incubation shift 5.6 days for males and 5.7 days for females did not differ between males and females. There were no effect of the body size of the breeding pair on incubation performance. For males the mean of body weight decreased during the incubation, whereas for females it remained approximately stable. In Streaked Shearwaters, the duration of incubation shift and subsequent foraging trip are related to loss of body weight during the period of fasting. In addition, coordination of individual incubation rhythms affects their incubation behaviour.

Key words : Streaked Shearwater *Calonectris leucomelas*, Sasudo Island, incubation routine, incubation shift, sex role

1. 서 론

일반적으로 대양성 바다새(pelagic Seabirds)들은 섬과 같은 제한된 번식지 및 긴 번식기간, 낮은 번식력과 같은 생활사적 특징(life-history trait)을 보인다(Warham 1990). 그중에서도 습새목 Procellariiformes의 많은 종들은 긴 포란 기간을 포함하는 긴 번식기간을 가진다. 이들의 포란

행동은 수컷과 암컷이 번갈아 교대하며 포란(alternating shifts)하는 중 특이적인 형태를 보인다(Warham 1990). 즉 한쪽 배우자가 둥지에서 금식 상태로 포란하는 동안에 다른 배우자는 자신의 다음 번 포란 행위를 위하여 바다에서 취식한다. 일반적으로 포란하는 개체들은 그들의 기초 대사량의 약 30~40% 정도의 에너지를 하루 동안에 소비하며, 오랜 시간 동안 취식을 중단하게 된다(Croxall 1982). 그러므로 개체들은 포란하는 기간 동안에 오랜 기아 상태로 인한 생존의 위협과 상대적으로 취약한 포식자

*Corresponding author. E-mail : jcyoo@khu.ac.kr

방어로 인한 번식실패의 위험을 동시에 겪게 된다(Imber 1976; Weimerskirch 1995). 따라서 성공적인 포란 및 번식 성공이 이루어지기 위해서는 긴 기간 동안의 암수 간의 적절한 공동작업이 필수적이며, 암수 서로간의 포란 교대 (incubation shift)가 안정적으로 이루어져야 한다. Johnstone and Davis(1990)는 Grey-faced Petrel *Pterodroma macroptera gouldi*의 연구에서 포란 기간 동안의 암수 행동이 상호 의존적이며 이것이 전체 번식성공에 영향을 준다고 설명했다.

일반적으로 습새목 종들의 포란 일정은 두 가지 요소에 의하여 영향을 받는다. 첫째는 먹이 자원 같은 환경적 조건들(environment factors)의 지역적 그리고 연간 변화이며(Weimerskirch et al. 1994), 둘째는 각각의 개체가 가지고 있는 능력(intrinsic quality)의 차이이다(Chastel et al. 1995). 이것은 개체마다 다양하게 보여지는 취식 능력(foraging ability)의 차이와 더불어 각각의 개체들의 몸 크기(Body size)와 관계된 에너지 저장능력(energy reserve)의 차이를 나타낸다(Hatch 1990). 일반적으로 조류에 있어서 개체의 몸무게와 포란 길이는 서로간에 양의 상관관계가 있는 것으로 보고되었으며(Saether 1987), 특히 Grey-faced Petrel(Imber 1976)과 Wandering Albatross *Diomedea exulans*(Croxall and Ricketts 1983)와 같은 습새목의 종들에서 찾을 수 있다. 또한, 습새목에서 각각의 번식 개체의 다양한 포란 형태는 몸 크기에 영향을 받는다고 보고되었는데(Warham 1990), 특히 암수 간의 몸 크기의 차이에서 쉽게 찾을 수 있다. Lorensten과 Røv (1994)는 Antarctic Petrel *Thalassoica antarctica*의 연구에서 수컷이 암컷보다 5% 정도 더 큰 에너지 저장량을 가진 것으로 보고하였으며, 이러한 결과는 암수 간의 서로 다른 에너지 사용률(energy budget)을 가진다는 것을 보여주고 있다. 일반적으로 몸 크기가 크면 에너지 저장 능력이 더 좋은 것으로 연구되었으며, 이 결과들은 수컷이 지속적인 금식 상태에서 좀 더 오랜 시간 포란할 수 있을 것으로 예상하고 있다(Weimerskirch 1995). 그러나 Wandering Albatross(Weimerskirch et al. 1994)와 Snow Petrel *Pagodroma nivea*(Barbraud et al. 1999)의 연구에서는 다른 결과를 보여주는데, 암수 간의 포란 길이의 차이에 대하여 개체의 몸 크기로 인한 영향보다는 먹이 자원 및 환경과 같은 복합적 요인들이 작용하는 것으로 보고하였다.

본 연구는 사수도에 서식하는 습새 *Calonectris leucomelas*의 포란일정 및 행동패턴에 대하여 조사한 것이다. 습새에 대한 연구는 육추기 동안에 급이 행동이 Lee and Yoo (2004)에 의해서 연구되었으나, 포란기 및 포란 행동에 대한 연구는 국내에서는 아직까지 없었다. 본 연구를 통하여 우리는 암수 간의 포란 일정 및 행동 패턴에 대하여 분석

하였으며, 특히 몸 크기와 포란 행동 간의 관계에 대하여 고찰하였다. 또한, 포란기 동안에 이들의 취식여행 및 포란 길이의 조절에 대하여 분석하였다.

2. 조사 종(Species) 및 번식 지역

전 세계적으로 습새목 Procellariiformes, 습새과 Procellariidae에는 55종이 알려져 있으며, 그 중 습새 *Calonectris leucomelas*는 북서쪽 태평양에 속한 한국과 중국, 일본의 섬 지역에서 번식하는 것으로 알려져 있다(Oka 1996). 습새는 여름철새로 육지와 떨어진 섬에서 집단 번식을 하며, 한 번의 번식기 동안에 한 개의 알만을 산란하며, 번식기간이 긴 것으로 알려져 있다(Won 1970). 둥지는 대부분 땅속에 굴을 파서 만들며(Burrow nest), 바위나 암벽 틈에 짓기도 한다(Lee et al. 2002). 북제주군 추자면 사수도에 집단 번식지가 위치하고 있으며(Won 1970), 약 7000쌍 정도의 습새가 이곳에서 번식하는 것으로 알려져 있다(Lee and Yoo 2002).

본 연구는 제주도 북제주군 추자면에 속하는 무인도서인 사수도(동경 126°38', 북위 33°50')에서 진행되었다(Fig. 1). 사수도의 면적은 약 223,000 m²이며 가장 높은 고도는 79 m이다. 섬은 동서로 길게 뻗은 형태로, 섬의 남쪽은 급경사의 암벽지역이며, 북쪽지역은 숲으로 이루어진 완만한 경사 지대이다. 섬의 가장자리와 남쪽의 암벽지역을 제외하고는 섬 전체가 상록활엽수림으로 덮여 있다. 섬의 대부분의 지역은 까마귀쪽나무 *Litsea japonica*가 우점종을 이루고 있으며, 하부식생은 음지식물인 자금우 *Ardisia japonica*와 맥문아재비 *Ophiopogon jaburan*가 우점종이었으며, 주로 섬의 북서쪽에서만 서식하고 있다(Lee et al. 2002).

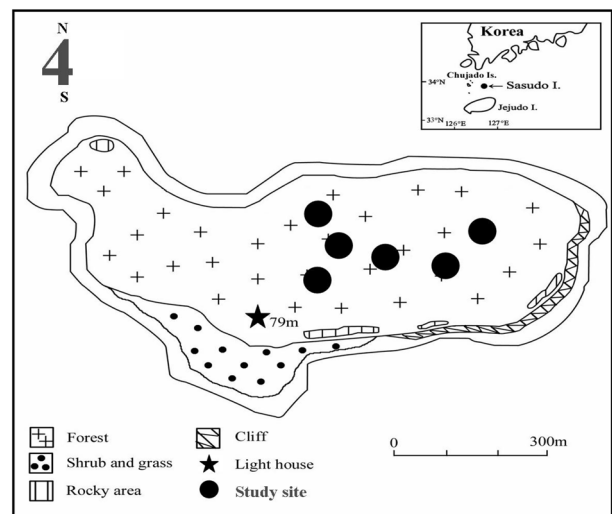


Fig. 1. The location of study area.

3. 조사 방법

본 조사는 2002년 6월부터 8월까지 수행되었으며, 조사 기간인 6월부터 8월까지는 습새의 전체 번식 기간 중 산란 및 포란, 부화기간을 포함하는 시기이다. 본 조사에서 관찰한 둥지들은 섬의 북쪽 중앙지역에 위치하는데, 이 지역은 사수도 전체지역 중에서 둥지 밀도가 타 지역에 비해 비교적 높은 곳이다(Lee and Yoo 2002).

본 조사를 위하여 전체 6개의 지역에서 100개의 둥지를 무작위로 선정하여 관찰하였다. 각각의 둥지에는 지속적인 관찰을 위하여 둥지 정보를 표지하였다. 둥지 내의 번식 개체들은 산란 직전 또는 산란 후 포란기 동안에 포획하여 산란관을 확인하여 암수를 구별하였으며(Serventy 1956), 이들의 외부측정치의 차이를 분석한 결과에 따라 산란관을 확인하지 못한 나머지 번식 둥지의 성조의 성별을 구분하였다(van Franeker and ter Braak 1993). 성조의 측정은 성조의 부리(bill), 두취장(nape), 부척(tarsus), 날개(wing), 꼬리(tail)의 길이와 개체의 몸무게(body mass)를 측정하였다. 습새의 경우, 몸 크기(부리, 두취장, 부척, 날개)에서 암수 간의 유의한 차이가 있으며, 특히 몸무게의 경우에는 수컷이 암컷에 비하여 약 16% 정도 더 무겁다(남 2003). 개체의 몸 크기는 성조에서 측정된 4가지 요소(부리, 부척, 날개, 꼬리)를 주성분 분석(principle component analysis)에 대입하여 나온 결과값인 Component 1의 Factor score 1(PC1)을 사용하였다(Rising and Somers 1989).

산란기 직전부터 부화기까지의 조사기간 동안에 매일 일정한 시간(오전 10시부터 오후 4시까지)에 일정한 순서대로 전체 번식 둥지를 차례로 방문하였다. 일반적으로 습새목 종들은 주로 주간에 바다에서 취식을 하며, 일몰이 되기 전에는 번식지로 돌아오지 않는다. 즉 포란 교대 및 새끼 급이와 같은 번식행동은 해가 진 후에 둥지로 돌아온 상태에서 이루어진다(Warham 1990). 따라서 습새 번식지에서는 낮 시간 동안에 둥지를 방문하면 부모의 포란 및 교대 여부를 정확하게 판단할 수 있다. 각각의 번식 둥

지에서 관찰한 사항은 다음과 같다. 첫째, 둥지 내에서 성조의 포란 또는 알 방치(egg neglect), 포식 및 알 사라짐과 같은 번식실패 여부를 확인하였다. 둘째, 포란 중인 개체를 확인하였으며, 그 결과에 따라 포란 교대 여부를 판단하였다. 셋째, 포란하고 있는 개체의 몸무게 측정 및 몸 상태를 관찰하였다.

4. 결 과

포란 일정(incubation routine) 및 성 역할(sex role)

조사지역에서 산란이 처음 관찰된 시기는 6월 19일이며, 가장 늦은 산란은 7월 2일에 관찰되었다. 전체 산란이 확인된 49개의 둥지 중 77.8%(n = 38)의 둥지에서 22일부터 28일까지 일주일 동안에 산란이 이루어졌다. 부화시기의 경우에는 8월 9일에 첫 둥지에서 부화가 일어났으며, 가장 늦은 부화는 23일에 관찰되었다. 전체 43개의 부화된 둥지 중 79%(n = 34)가 13일부터 19일까지 일주일 동안에 부화하였다.

포란기 동안의 암수의 번식행동은 암컷의 산란 후 수컷의 첫 포란을 시작으로, 각각의 할당된 시간 동안 둥지에서 포란하였으며, 배우자가 취식여행에서 둥지로 돌아오면 교대 후 취식여행을 떠나는 행동을 보였다. 수컷은 산란일 다음날부터 포란을 시작하였으며, 암컷의 경우에는 산란일 밤에 취식을 위해 둥지를 떠났다. 산란 후에 바로 취식여행을 떠나지 않고 둥지 내에서 머무르는 산란 후 기간(post-laying period)은 모두 6둥지에서 관찰되었으며, 그 기간은 1일을 넘지 않았다. 또한, 부화 직후 부모 중 하나가 취식여행을 가지 않고 둥지에 머무르는 보호기간(brooding period)은 평균 3.5일로 총 4둥지에서 관찰되었다.

사수도 습새의 평균 포란 기간은 50.8일이었으며, 가장 짧은 포란 기간은 45일(n = 1)이었으며, 가장 긴 포란 기간은 55일(n = 2)이었다(Table 1). 수컷은 평균 26.5일을 둥지에 머물렀으며, 암컷은 평균 24.3일을 머물렀다. 수컷의

Table 1. Difference in the incubation performance between male and female of Streaked Shearwaters at Sasudo Island

	Variable			Difference	
	Mean ± S.D.	Range	n	t	p
Total incubation (days)	50.8 ± 2.23	45-55	42	-	-
Male	26.5 ± 3.48	17-34	42	3.24	<0.01
Female	24.3 ± 2.98	18-31	42		
Number of shifts	9.0 ± 1.51	6-13	42	-	-
Male	4.7 ± 0.86	3-7	42	2.69	<0.01
Female	4.2 ± 0.73	3-6	42		

Note : Unpaired *t*-test, The post-laying and post-hatching periods were excluded.

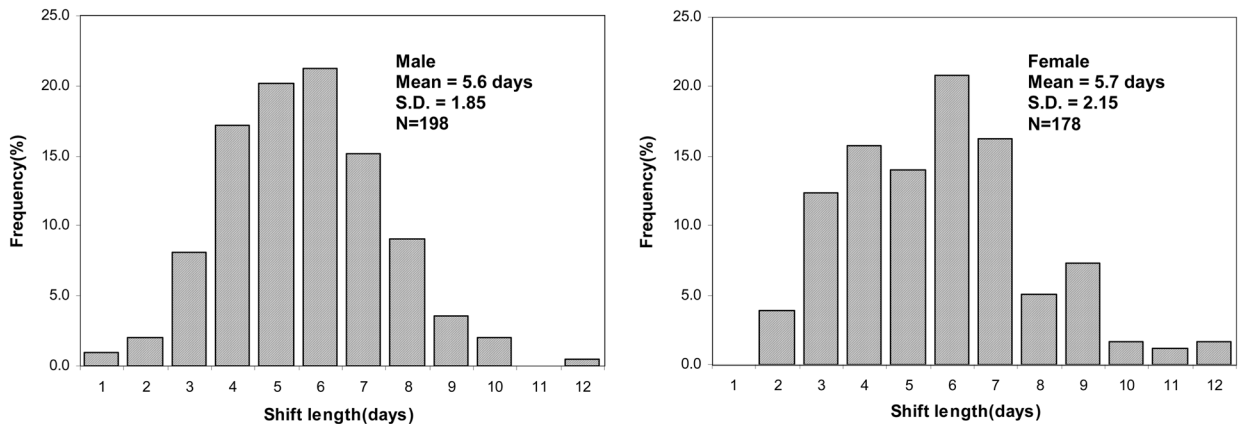


Fig. 2. Distribution of incubation shift lengths (shift no. 1-12) observed in male and female of Streaked Shearwaters at Sasudo Island in 2002 (Unpaired *t*-test, $t = -0.45$, n.s.).

경우, 가장 짧게 등지에 머무른 기간은 17일($n = 1$), 가장 긴 기간은 34일($n = 1$)이었다. 암컷의 경우에는 가장 짧은 기간과 긴 기간이 각각 18일($n = 1$)과 31일($n = 1$)이었다. 포란 교대(incubation shift)의 경우에는 전체 포란 기간 동안에 평균 9.0회로 나타났다. 가장 적은 등지 교대 횟수는 6회($n = 1$)였으며, 가장 많은 등지 교대 횟수는 13회($n = 1$)로 나타났다. 성(Sex)별에 따른 차이에서는 수컷이 평균 4.7회, 암컷은 평균 4.2회 포란을 위하여 교대한 것으로 조사되었다. 각각의 개체가 등지교대 후 다음 교대까지 등지에 머무르는 시간은, 수컷이 평균 5.6일($n = 198$), 암컷은 평균 5.7일($n = 178$)이었다(Fig. 2).

포란에 대한 암수 간의 차이를 보면, 수컷의 경우에는 전체 포란 기간 동안에 평균 26.5일을 포란하였으며, 암컷은 수컷보다 적은 평균 24.3일을 포란하였다(Table 1, $t = 3.24$, $p < 0.01$, Unpaired *t*-test). 포란 교대(incubation shift)의 경우, 수컷은 평균 4.7회로 암컷의 평균 4.2회보다 많이 교대하였다($t = 2.69$, $p < 0.01$, Unpaired *t*-test). 그러

나 성별에 따른 각각 한 번의 교대당 포란 길이는 수컷은 평균 5.6일이었으며, 암컷은 5.7일로 암수 간의 차이가 없었다(Fig. 2, $t = 0.45$, n.s., Unpaired *t*-test).

전체 포란기 동안의 포란 길이의 변화를 보면, 각각이 포란 교대 길이는 포란 초기에서 중기로 갈수록 암수 모두 증가하고 있으며, 부화시기에 가까워지면서 다시 짧아지는 경향을 보였다(Table 2, One-way ANOVA, $F = 12.186$, $p < 0.001$). 전체 포란기 동안에 암수 간의 포란 비율을 보면, 포란 초기에는 평균적으로 암컷의 포란 비율이 높았으며, 5번째 포란 교대 이후부터 수컷의 비율이 암컷보다 높아졌다. 따라서 전체 포란 기간 동안에는 수컷이 암컷보다 많은 시간 동안 포란에 참여한 것으로 나타났다.

포란 및 취식행동 조절

암컷과 수컷 각각의 몸 크기와 포란 행동과의 관계를 분석한 결과(Table 3), 암수 모두의 몸 크기는 포란 일수와

Table 2. Duration of the incubation shift and change in the ratio of male to female attendance during incubation by Streaked Shearwaters

Variable	Incubation shift <i>i</i>										
	1(♂)	2(♀)	3(♂)	4(♀)	5(♂)	6(♀)	7(♂)	8(♀)	9(♂)	10(♀)	11(♂)
Mean length ± S.D. (days)	4.3±1.24	4.6±2.26	5.7±1.23	6.8±1.78	6.5±1.85	6.4±1.90	6.6±2.04	5.8±1.95	5.4±1.58	3.9±1.32	3.2±1.17
Cumulative days incubation completed		9.0		21.5		34.4		45.4		50.4	-
♂:♀ ratio shifts <i>i</i> , <i>i</i> -1		0.93		0.84		1.02		1.14		1.38	-
Cumulative ♂:♀ ratio		0.93		0.88		0.93		0.98		1.04	-
N	42	42	42	42	42	42	39	37	26	13	6

Note : The post-laying shift of the female was excluded.

Table 3. Summary of Pearson correlation coefficients between body size(PC1) of parents and incubation performance

Variables	Body size (PC1)			
	Male		Female	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Incubation length	-0.194	n.s.	-0.010	n.s.
Mean of shift number	0.155	n.s.	-0.072	n.s.
Mean of shift length	-0.311	< 0.05	0.143	n.s.
Total incubation length	-0.012	n.s.	0.039	n.s.
Laying date	0.079	n.s.	-0.001	n.s.
Hatching date	0.156	n.s.	-0.032	n.s.

Note : 41 individuals for male and 41 individuals for female, n.s.= not significant

포란 횟수, 한 번의 포란 기간, 전체 포란 일수, 산란일, 부화일 등과 관계가 없었다. 단지 수컷의 경우, 몸 크기와 한 번의 포란 길이가 약한 상관관계를 가지고 있었다 (Pearson correlation, $r=-0.311$, $p<0.05$, $n=41$).

전체 포란기 동안에 각각의 포란을 시작하는 개체의 몸무게는 암수 간에 다른 양상을 보이고 있다. 암컷의 경우, 각각의 포란 교대 동안의 개체의 몸무게는 큰 차이가 없었다 (Fig. 3, One-way ANOVA, $F=0.518$, n.s.). 그러나 수컷의 경우에는 각각의 포란 교대마다 몸무게의 변화가 있었다 (One-way ANOVA, $F=4.661$, $p=<0.001$). 특히 첫 번째 포란과 7번째 및 9번째 포란은 큰 차이를 보였다 (Fig. 3, Scheffe's test, $P<0.05$ for difference between shift 1 and shift 7, $P<0.01$ for difference between shift 1 and shift 9). 수컷의 몸무게는 포란기 초기보다 후기로 갈수록 낮아지고 있으며, 특히 9번째 포란에서 가장 낮은 몸무게를 보이고 있다.

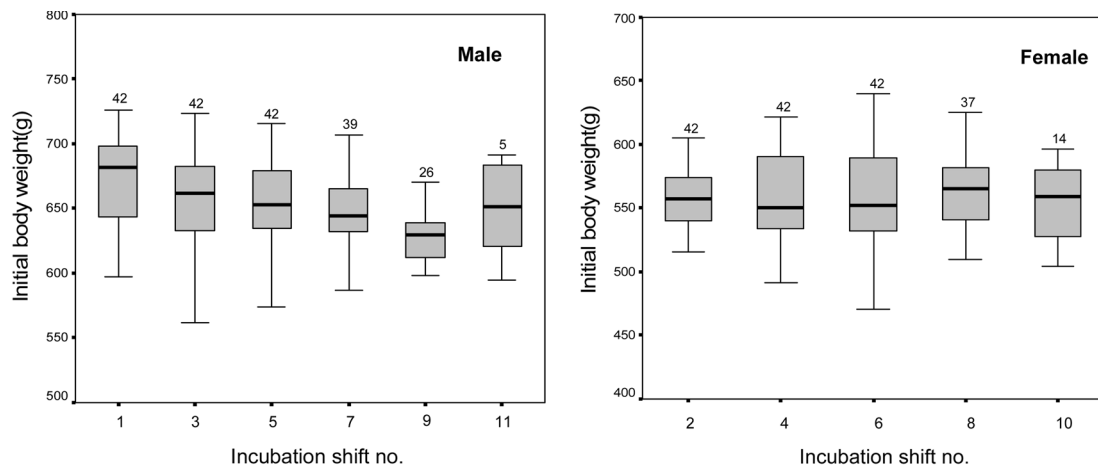


Fig. 3. Initial body weight at the start of the incubation period for males and females of Streaked Shearwaters in 2002. Horizontal lines indicate median, rectangles indicate \pm S.D. and vertical lines is the minimum and maximum weights recorded.

포란 기간 동안에 포란 및 취식여행 길이의 조절에서, 한 번의 포란 동안에 감소하는 몸무게의 양은 다음번 취식여행 동안에 보충되는 몸무게의 양과 상관관계가 있었다 (Fig. 4, Pearson correlation, $r=0.487$, $P<0.001$, $n=138$ for males, $r=0.606$, $P<0.001$, $n=123$ for females). 또한, 포란 교대가 이루어질 때 포란하던 개체의 몸무게가 낮을수록 그 개체의 취식여행 길이는 증가하였으며, 암수 모두에서 유의한 상관관계가 있었다 (Fig. 4, Pearson correlation, $r=0.353$, $P<0.001$, $n=175$ for males, $r=0.324$, $P<0.001$, $n=145$ for females). 개체의 취식여행 길이가 증가할수록 취식여행 동안에 보충되는 몸무게의 양도 증가하였다 (Fig. 4, Pearson correlation, $r=0.491$, $P<0.001$, $n=145$ for males, $r=0.427$, $P<0.001$, $n=122$ for females).

5. 고 찰

습새의 포란 일정 및 성 역할(sex role)

습새의 번식행동에 대하여 알려진 것은 Lee and Yoo (2004)의 육추기 동안에 급이 행동에 대한 연구가 있으나, 포란 기간 동안에 습새의 행동에 대하여는 아직까지 조사 되어지지 않았다. 이번 연구에서 조사된 습새의 전체 포란 기간은 약 50.8일이었으며 (Table 1), 이 기간 동안에 번식 개체들은 일정한 시간 동안 취식여행과 포란을 반복하는 행동패턴을 보였다. 암컷이 산란한 다음날부터 수컷이 포란을 시작하였으며, 각각의 번식 개체들은 암컷이 평균 5.7일, 수컷이 5.8일 동안 먹이의 공급없이 둥지 내에서 포란하였다. 전체 포란 기간 동안에 수컷이 평균 4.7회, 암컷은 평균 4.2회 포란 및 취식을 위하여 배우자와 교대하였으며, 이 결과는 비슷한 몸 크기의 다른 습새목 종들과 비교하여 크게 다르지 않았다 (Warham 1990).

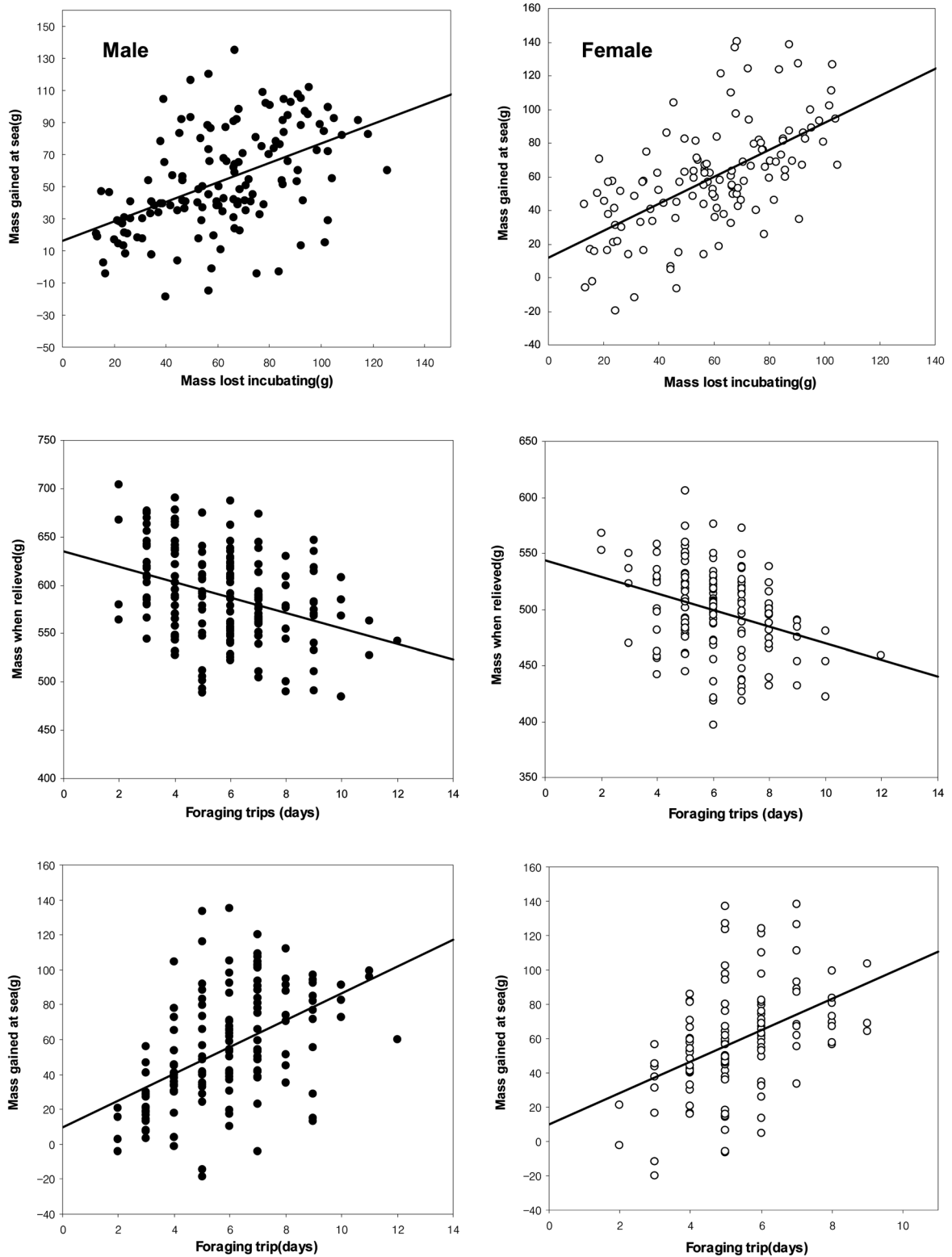


Fig. 4. Relationships between the mass lost during an incubation fast and the mass gained during the following foraging trip (top, filled circles for male and open circles for female), the duration of the foraging trips and the mass at the end of fast (middle), and the duration of the foraging trips and the mass gained at sea (bottom).

이번 조사에서 부모 간의 포란에 대한 투자 차이를 보면, 수컷이 암컷보다 전체 포란기 동안에 오랜 시간 포란에 참가하였다(Table 1, Table 2). 더욱이 평균 교대 횟수도 수컷이 암컷보다 많은 것으로 나타났다. Saether(1987)는 수컷이 암컷보다 포란 길이가 긴 것에 대하여, 개체의 몸무게가 많이 나갈수록 전체 포란 가능 기간이 길어지며, 상대적으로 무거운 수컷이 암컷보다 포란에 더 많은 시간을 투자한다고 설명하였다. Manx Shearwater *Puffinus puffinus*(Brooke 1978)와 Antarctic Petrel(Lorentsen and Røv 1995), Cape Petrel *Daption capense*(Weidinger 1998)의 연구에서도 수컷이 암컷보다 몸무게가 무거웠으며, 이러한 몸무게의 차이에 의해서 수컷이 길게 포란한다고 설명하고 있다. 남(2003)의 조사에 의하면, 습새 수컷이 암컷에 비하여 약 16% 정도 더 무거운 것으로 알려져 있으며, 부리와 날개, 부착의 길이를 포함하는 몸 크기의 경우에도 수컷이 암컷보다 큰 것으로 조사되었다. 하지만 수컷의 몸무게가 암컷보다 무거운 상태에서도 각각의 포란 기간(Length of incubation shift), 즉 한번의 교대기간 동안에 등지의 머무르는 시간은 암수 간의 큰 차이가 없었다(Fig. 2). 그러나 암수의 투자비율을 포란 전체기간 동안 분석해보면 수컷이 암컷보다 많은 시간을 포란에 투자하고 있었으며, 특히 포란 후반기로 갈수록 암수 간의 차이를 보이고 있었다(Table 2). 이와 같은 현상은 습새목 종들의 중 특이적 투자전략에서 설명될 수 있다. Croxall and Ricketts(1983)의 연구에서 Wandering Albatross의 암컷이 평균보다 더 오래 포란했을 때 새끼의 육추 기간 동안의 생존율이 감소한다고 보고했다. 이러한 현상은 암컷이 수컷보다 에너지 조절에 있어서 더욱 민감하기 때문이며, 육추기의 안정적인 먹이 공급을 위하여 포란 기간 동안에 수컷보다 번식에 대한 투자가 적어진다고 설명하였다. 따라서 수컷이 더 많은 시간을 포란에 투자하는 것은 개체의 몸 상태(body condition) 조절 및 육추기 동안의 급이 전략과도 상관이 있다(Gonzalez-Solis 2004). 이번 조사에서도 부화기에 가까워 질수록 전체적인 암컷과 수컷의 포란 시간이 짧아지고 있으며, 더욱이 암컷의 포란 기간이 수컷보다 확실히 짧아지고 있었다(Table 2). 결과적으로 암수 간의 포란 투자비율의 차이는 몸 크기와 같은 개체 특이적인 영향과 더불어 바다새가 가지는 중 특이적인 육추 및 급이 전략과도 연관될 것이다. 그러나 사수도 습새의 번식에서, 이러한 행동들이 직접적으로 성공적인 육추 및 이소에 영향을 끼치는지는 판단할 수 없다. 사수도 습새의 번식성공률은 매우 낮으며, 외부도입 포식자에 의한 포식이 주요 번식실패 요인으로 알려졌다(남 등 2002; Lee and Yoo 2002), 또한 일시적 등지 포기(temporary nest desertion)와 같은 포란 행동이 습새의 부화 및 전체 번식 성공에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(남 등 2004).

포란 및 취식행동 조절

암수 각각의 몸 크기는 포란 횟수 및 길이, 산란, 부화일과 같은 포란 행동에 영향을 주고 있지 않았다(Table 3). Barbraud *et al.*(1999)의 Snow Petrels의 연구에서도 암수의 몸 크기는 포란 행동과 상관관계가 없는 것으로 보고되었다. 또한 Brown(1975)은 취식여행을 위해 고정된 에너지를 사용해야 하는 바다새들의 경우, 먹이 자원의 분포는 포란 및 취식여행의 길이를 결정하는 중요한 요소로 작용한다고 보고하였다. 만약 먹이 자원이 넓게 분포하거나, 취식장소가 번식지로부터 너무 멀리 떨어져 있다면, 짧은 시간의 포란 및 취식여행은 상대적으로 비효율적이게 된다. 따라서 개체는 포란 및 취식여행의 길이를 늘릴 수 밖에 없다. 예를 들어 극지방에 서식하는 종들의 경우, 제한적인 자원과 날씨 때문에 다른 지역에서 서식하는 종들에 비하여 상대적으로 취식여행 길이가 길어진다(Lorensten and Røv 1994). 즉 비교적 긴 시간 동안에 먼 곳까지 취식여행을 간다. 이 경우에는 개체의 몸 크기의 차이가 취식여행능력의 차이로 반영될 수 있으며, 결국 암수가 서로 다른 취식여행의 길이를 가지게 된다. 그러나 습새의 경우, 다른 습새목 종들과 취식여행 길이를 비교해 보면, 비교적 짧은 취식여행 길이(5~6일)를 가지며, 이것은 이들의 취식장소가 번식지로부터 멀지 않은 지역이라는 것을 예상할 수 있다. 따라서 습새의 포란 동안의 행동 패턴은 개체의 몸 크기에 의한 영향보다는 먹이 자원의 분포와 같은 환경적 요소들의 영향(Weimerskirch *et al.* 1994)이 더 크게 작용하고 있는 것으로 생각된다.

이번 조사에서 포란기 동안에 수컷의 몸무게는 약하게 감소하는 추세를 보이고 있지만, 암컷의 경우, 일정하게 유지되고 있었다(Fig. 3). 일반적으로 포란 기간 동안에 포란하는 개체는 배우자가 교대하기 전까지 긴 기아기간과 포식자로부터의 방어로 인하여 많은 에너지를 소비한다(Warham 1990). 몸무게가 무거운 개체들은 가벼운 개체들보다 대사량이 높으며, 따라서 일정한 기간 동안의 몸무게 조절에 있어서 수컷과 같은 몸 크기가 큰 개체들이 작은 개체들 보다 불리하기 때문에 몸무게 감소량이 다르게 나타난다(Johnstone and Davis 1990). 예를 들어 Antarctic Petrels의 경우에도, 몸 크기가 큰 개체가 작은 개체보다 몸무게 감소량이 크게 나타났다(Lorentsen and Røv 1995). 그러나 취식여행의 길이가 암수 간의 차이가 없을 경우에는 수컷의 몸무게는 점차 감소할 수 밖에 없다. 일반적으로 암컷은 산란 이후 포란 기간 동안에 서서히 몸무게를 늘리거나 유지하게 된다. 이것은 산란으로 인한 에너지 감소를 보충하고(Warham 1990), 부화 이후에 새끼에게 안정된 먹이공급을 하기 위함이다(Gonzalez-Solis 2004). 이번 조사에서 습새의 취식여행의 길이는 포란 동안에 몸무게의 변화와 상관관계가 있었다(Fig. 4). 즉 포란하는 개체

의 감소된 몸무게가 높을수록 다음번 취식여행 길이는 증가하고 있다. 또한, 취식여행의 길이가 길어질수록 보충되는 몸무게의 양도 증가하고 있다. 하지만 취식여행을 떠난 개체는 자신의 몸무게의 증가뿐 아니라 포란하고 있는 배우자의 교대 시기에 맞추어서 취식여행의 길이를 결정해야 한다. 이것은 포란 일정이 암수 행동에 상호 의존적인 공동작업이기 때문이다(Johnstone and Davis 1990). 이번 조사에서도 수컷의 포란 시간은 중반 이후 늘어나고 있으며, 암컷의 포란 시간은 짧아지고 있으며(Table 2), 이것은 상대적으로 수컷의 취식 여행 길이가 짧아지고 있음을 보여준다. 따라서 상대적으로 긴 포란 시간에 비하여 짧은 취식 여행을 가지는 수컷의 몸무게는 감소하고 있었다(Fig. 3). 결국, 포란 및 취식여행 길이는 개체의 몸무게의 변화와 밀접한 관계가 있으나, 상호 의존적인 교대 행동에 의하여 그들의 포란 및 취식여행 길이가 제한을 받는 것으로 생각된다.

사 사

본 연구를 허가해 주신 문화재청 및 현지 조사에서 도움을 주신 임완호, 이지연, 윤민호, 김미란, 유승화, 김동원 님께도 감사드립니다. 또한, 논문을 위해 조언을 아끼지 않으신 권영수와 이경규님 그리고 두 명의 심사위원에게 고마움을 전합니다. 그리고 사수도에서 숙소를 제공해 주신 추자도 해녀 분들과 경덕호, 배비호 선장님에게 고마움을 전합니다.

참고문헌

남기백. 2003. 습새 부모의 질이 포란행위에 미치는 영향. 석사학위논문, 경희대학교. 13 p.

남기백, 권인기, 유정칠. 2004. 사수도 습새의 부화실패 요인. *한국조류학회지*, **11**(2), 79-85.

남기백, 유승화, 김동원, 유정칠. 2002. 집취에 의한 습새 번식성공률 감소. *한국조류연구소 연구보고서*, **8**(1), 43-47.

Barbraud, C., H. Weimerskirch, G.G. Robertson, and P. Jouventin. 1999. Size-related life history traits: Insights from a study of Snow Petrel *Pagodroma nivea*. *J. Anim. Ecol.*, **68**, 1179-1192.

Brooke, M.L. 1978. Some factors affecting the laying date, incubation and breeding success of the the Manx Shearwater, *Puffinus puffinus*. *J. Anim. Ecol.*, **47**, 477-495.

Brown, W.Y. 1975. Incubation shifts of Sooty Terns *Sterna fuscata* on Manana Island, Hawaii. *Ibis*, **117**, 527-529.

Chastel, O., H. Weimerskirch, and P. Jouventin. 1995. Body condition and seabird reproductive performance: A study of three Petrel species. *Eology*, **76**, 2240-2246.

Croxall, J.P. 1982. Energy costs of incubation and moult in petrels and penguins. *J. Anim. Ecol.*, **51**, 177-194.

Croxall, J.P. and C. Ricketts. 1983. Energy costs of incubation in the wandering Albatross *Diomedea exulans*. *Ibis*, **125**, 33-39.

Gonzalez-Solis, J. 2004. Regulation of incubation shifts near hatching by giant petrels: A timed mechanism, embryonic signaling or food availability? *Anim. Behav.*, **67**, 663-671.

Hatch, S.A. 1990. Individual variation in behavior and breeding success of Northern Fulmars. *Auk*, **107**, 750-755.

Imber, M.J. 1976. Breeding biology of the Grey-faced Petrel *Pterodroma macroptera*. *Ibis*, **118**, 51-64.

Johnstone, R.M. and L.C. Davis. 1990. Incubation routines and foraging trip regulation in the Grey-faced Petrel *Pterodroma macroptera*. *Ibis*, **132**, 14-20.

Lee, K.G. and J.C. Yoo. 2002. Breeding population of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* and the effect of Norway Rats *Rattus Norvegicus* predation on Sasudo Island. *J. Yamashina Inst. Ornithol.*, **33**, 143-147.

Lee, K.G. and J.C. Yoo. 2004. Variation in chick provisioning of Streaked Shearwaters(*Calonectris leucomelas*) during the early nestling stage. *J. Yamashina Inst. Ornithol.*, **35**, 105-119.

Lee, K.G., K.B. Nam, J.Y. Lee, H.J. Kim, and J.C. Yoo. 2002. Morphological characteristics of burrows, adults and eggs of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas*. *Kor. J. Ornithol.*, **9**(1), 23-29.

Lorentsen, S.H. and N. Røv. 1994. Sex determination of Antarctic Petrels *Thalassoica Antarctica* by discriminant analysis of morphometric charaters. *Polar Biol.*, **14**, 143-145.

Lorentsen, S.H. and N. Røv. 1995. Incubation and brooding performance of the Antarctic Petrel *Thalassoica Antarctica* at Svarthamaren, Dronning Maud Land. *Ibis*, **137**, 345-351.

Oka, N. 1996. Streaked Shearwaters. p. 21-22. In: *The encyclopaedia of animals in Japan*, v. 3. *Bird 1*, ed. by H. Higuchi, H. Morioyuki, and S. Yamagishi. Heibonsha Limited, Tokyo.

Rising, J.D. and K.M. Somers. 1989. The measurement of overall body size in birds. *Auk*, **106**, 666-674.

Sæther, B.E. 1987. The influence of body weight on the covariation between reproductive traits in European birds. *Oikos*, **48**, 79-88.

Serventy, D.L. 1956. A method of sexing petrels in field observations. *Emu*, **56**, 213-214.

Van Faneker, J.A. and C.J.F. ter Braak. 1993 A generalized

- discriminant for sexing fulmarine petrels from external measurements. *Auk*, **110**, 492-502.
- Warham, J. 1990. *The Petrels: Their ecology and breeding system*. Academic Press, London. 440 p.
- Weidinger, K. 1998. Incubation and brooding rhythm of the Cape Petrel *Daption capense* at Nelson Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Ibis*, **140**, 163-170.
- Weimerskirch, H., P. Doncaster, and C.F. Cuenot. 1994. Pelagic seabirds and the marine environment: Foraging pattern of wandering albatrosses in relation to prey availability and distribution. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **255**, 91-97.
- Weimerskirch, H. 1995. Regulation of foraging trips and incubation routine in male and female wandering albatrosses. *Oecologia*, **102**, 37-43.
- Won, P.O. 1970. Bird survey in Chuja Island, Cheju-do, Korea. *Tori*, **20**, 18-23.
-
- Received Nov. 13, 2007*
Accepted Jan. 15, 2008