

# 습새(*Calonectris leucomelas*)의 포란행동이 일별 몸무게 변화에 미치는 영향<sup>1</sup>

황재웅<sup>2</sup> · 남기백<sup>2</sup> · 유정철<sup>2\*</sup>

## The Effect of Incubation Behaviour on the Daily Body Mass Regulation of Streaked Shearwaters (*Calonectris leucomelas*)<sup>1</sup>

Jae-Woong Hwang<sup>2</sup>, Ki-Baek Nam<sup>2</sup>, Jeong-Chil Yoo<sup>2\*</sup>

### 요약

포란 기간 동안에 대양성 바다새들은 기아생태로 포란함으로써 커다란 몸무게 변화를 겪는다. 포란 동안에 몸무게의 심각한 변화를 겪는 습새목 조류에서, 몸무게 조절은 포란 기간 동안에 그들의 포란 행동을 결정하는 중요한 요소로 작용할 것이다. 이 연구는 2013년 6월부터 8월까지 제주특별자치도 제주시 추자면에 위치하고 있는 무인도서인 사수도에서 번식하는 습새를 대상으로, 포란 기간 동안 개체의 몸 크기, 몸 상태 그리고 포란 행동이 그들의 몸무게 조절에 어떠한 영향을 주는지를 연구하였다. 연구결과를 보면, 포란하는 습새 개체의 일별 몸무게 감소량은 그들의 몸 크기나 몸 상태와 관계가 없었으나, 둥지 내에서 포란 시도 횟수가 증가함에 따라 일별 몸무게 감소량도 증가하는 경향을 보였다. 또한, 몸 크기가 큰 개체일수록 일별 포란 시도를 많이 하는 경향을 보이고 있었다. 결과적으로 포란하는 개체의 몸 크기와 몸 상태는 그들의 일별 몸무게 감소와 관계가 없었지만, 일별 몸무게 감소량에 영향을 주고 있는 포란 시도 횟수는 그들의 몸 크기에 따라 조절되고 있었다. 따라서 포란 기간 동안에 번식 개체들의 몸 크기는 그들의 포란 행동을 결정하는 중요한 요소 중에 하나로 작용하고 있다.

주요어: 대양성 바다새, 사수도, 몸 크기, 몸 상태, 포란 시도

### ABSTRACT

During incubation, pelagic seabirds undergo large variations in their body mass as a result of concomitant fasting. In Procellariiformes undergoing important changes in body mass through the incubation, body mass regulation could be an important factor in behavioural decisions for changing activities during the incubation. The aim of this study was to investigate the effect of individuals' quality and incubation behaviour on their body mass regulation in Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* breeding at Sasudo Island, in Jeju, South Korea during incubation period, June to August in 2013. In our results, we found that there was no relationship between the daily body mass loss and body size or condition of Streaked Shearwaters. However, the daily body mass loss increased significantly as the incubation bout increased. Moreover, the daily incubation bout was positively related to their body size. Consequently, although breeders' qualities were not related to their daily body mass loss during the incubation, the incubation behaviour affecting their daily body mass loss was regulated by their body size. Therefore, the body size of Streaked Shearwater breeders is one of important factors in their decisions for the incubation behaviour.

1 접수 2013년 12월 10일, 수정(1차: 2014년 3월 19일, 2차: 2014년 3월 26일), 게재확정 2014년 3월 27일

Received 10 December 2013; Revised (1st: 19 March 2014, 2nd: 26 March 2014); Accepted 27 March 2014

2 경희대학교 생물학과 Dept. of Biology, Kyunhee Univ., Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, Seoul 130-701, Korea (jcyoo@khu.ac.kr)

\* 교신저자 Corresponding author: jcyoo@khu.ac.kr

**KEY WORD: PELAGIC SEABIRD, SASUDO ISLAND, BODY SIZE, BODY CONDITION, INCUBATION BOUT**

## 서론

해양성 조류(seabird)에서 개체의 번식성공은 두 가지 중요한 요소의 영향을 받는다. 첫째는 날씨(Boersma *et al.*, 1980)와 바다 상태, 바다먹이자원의 상태(Croxall, 1992; Montevecchi, 1993), 번식하는 지역의 질(Birkhead and Furness, 1985) 또는 포식(Nam *et al.*, 2004)과 같은 환경적 변수들이며, 둘째는 번식하는 개체의 질(individual quality)에 따라 영향을 받는다(Chastel *et al.*, 1995; Lorentsen, 1996). 두 가지 요소들은 상호간에 완전히 배타적이지 않으며, 번식성공에 있어서 불확실한 환경적 요소의 영향은 개체의 질에 따라 다르게 나타난다. 따라서 번식성공에 있어서 두 가지 요소들의 관계는 바다새의 생활사를 이해하는데 중요하다(Saether *et al.*, 1997).

해양성 조류의 포란은 수컷과 암컷이 교대로 포란(alternating shift incubation)을 하는 종 특이적인 행동을 보인다(Warham, 1990). 포란하는 개체들은 자신의 둥지(burrow)에서 먹지도 마시지도 않기 때문에 자신의 몸무게, 즉 에너지를 소비하며 며칠 동안 금식 상태로 포란을 한다(Drent *et al.*, 1985; Tveraa *et al.*, 1997). 예로써, Antarctic Petrel *Thalassoica antarctica*은 한 번의 포란 기간 동안 그들의 체중(body mass)의 약 20%정도의 몸무게가 손실되며, 그로 인하여 손실된 몸무게를 보충하기 위하여 바다에서 취식하는데 보내는 시간이 길어지게 된다(Lorentsen and Røv, 1995). 또한 둥지 내에서 포란하고 있는 배우자가 자신의 몸무게 및 에너지량을 견딜 수 없는 수준까지 잃게 되면, 번식 둥지를 포기하고 취식을 위해 떠나버리는 일시적 둥지포기행동(temporary nest desertion)의 빈도를 증가시키게 된다(Lorentsen and Røv, 1995; Tveraa *et al.*, 1997; Carey, 2011). 따라서 부모들은 알의 지속적인 적정한 포란 온도 유지와 포식자로부터의 둥지 보호를 위해서는 바다에서의 취식(foraging)과 둥지내의 포란 교대(incubation shift)를 적절히 조절해야 한다.

일반적으로 습새목(Procellariiformes) 종들의 포란 일정은 각각의 개체가 가지고 있는 질(quality)의 차이이다(Chastel *et al.*, 1995). 이것은 개체마다 다양하게 보여지는 취식능력(foraging ability)의 차이와 더불어 각각의 개체들의 몸 크기와 관련된 에너지 저장능력의 차이를 나타낸다(Hatch, 1989). 일반적으로 조류에 있어서 개체의 몸무게가 증가함에 따라 긴 포란 기간을 가진다고 보고되었으며(Saether, 1987), 특히 습새목의 조류의 경우에는 각각의 번

식개체의 다양한 포란 형태가 몸 크기에 영향을 받는다고 보고되었다(Warham, 1990). 결국, 포란 행위는 배를 발생시키기 위해 알에 열을 가하는 행동을 말하며(White and Kinney, 1974), 이러한 포란 행동에서 알의 일정한 온도유지는 많은 에너지 사용이 요구되고, 특히 장기간 에너지의 재충전 없이 이루어지는 습새목 종들에게는 각각의 개체들이 가지고 있는 질(quality)적인 부분이 중요하게 작용할 수 있을 것이다.

습새과 조류들은 폐쇄형 둥지(burrow nest)라는 특징과 야행성의 행동 양식을 보이기 때문에 그들의 포란 행동을 관찰하기는 매우 어렵다(Zangmeister *et al.*, 2009). 바다새들의 포란 행동에 대한 모니터링에서 가장 일반적인 방법은 둥지 입구에 막대기를 설치한 후 막대기의 달라진 상태를 매일 확인하는 것으로 알려져 있다(Blackmer *et al.*, 2004). 일반적으로 둥지 입구의 막대기에 오랜 기간 변화가 없을 때, 부모가 둥지 방문이 중지 되었을 때를 번식 실패라 한다. 따라서 이러한 전통적인 방법으로는 바다새의 정확한 포란 패턴 및 포란 행동의 특징적인 세부 내용을 알아내기 힘들다(Zangmeister *et al.*, 2009). 최근 다양한 기술적인 방법으로 조류의 포란 행동에 대한 조사 이루어지고 있다. 예를 들어 둥지에 카메라를 설치하여 모니터로 관찰하며 부모의 둥지 방문 빈도를 관찰하거나 포란, 육추 역시 관찰이 가능하다. 온도 데이터 로거(temperature data logger)는 참새목(Passeriformes)의 다양한 종(Wheelwright and Beagley, 2005)과 도요목(Charadriiformes)을 대상으로 포란 행동에 대한 모니터링이 이루어져왔다(Hartman and Oring, 2006). 온도 데이터 로거는 알과 새에게 직접적인 영향을 주지 않고 데이터를 얻을 수 있기 때문에 자연적인 상황에서의 상태를 잘 보여줄 수 있는 온도 데이터 로거를 이용한 조사를 실시하는 이유이다(Zangmeister *et al.*, 2009).

습새 *Calonectris leucomelas*는 우리나라의 대표적인 대양성 바다새로서 섬과 같은 고립된 지역에서 집단 번식하고 있는 여름철새이다. 일반적으로 습새는 긴 번식기(long breeding period), 낮은 번식력(low fecundity) 그리고 암수 포란 교대와 같은 대양성 바다새의 생활사적 특징을 잘 보여준다(Nam *et al.*, 2008). 기존의 연구에 의하면, 습새는 포란 기간 동안에 포란 및 취식 여행의 길이가 개체의 몸무게의 변화와 밀접하게 연관되어 있다고 밝히고 있으며, 암수 간에 몸무게의 변화가 다른 양상을 보인다고 보고하고 있다(Nam *et al.*, 2008). 그러나 이것은 각각의 개체의 한 번의 포란 교대(incubation shift)와 관련된 결과이며, 일별 몸무

게 변화 및 일별 포란 행동과 연관된 연구는 아직 시도되지 않았다. 따라서 본 연구는 사수도에서 집단으로 번식하는 습새를 대상으로 포란기 동안에 개체의 일별 몸무게 변화를 측정하고, 온도 데이터를 이용하여 개체의 일별 포란 행동에 대한 정보를 얻고, 이러한 정보를 통하여 포란 개체들의 몸무게가 그들의 행동에 의해서 어떻게 영향을 받고 있는지, 이러한 포란 행동이 개체의 질과 어떠한 관계를 가지는지 밝히기 위하여 수행되었다.

## 연구방법

### 1. 연구 종 및 조사 지역

습새는 습새목(Procellariiformes), 습새과(Procellariidae)에 속하며, 북서 태평양에 속하는 한국과 중국, 일본 연안의 섬 지역에서 번식한다(Oka, 2004). 일반적으로 습새는 매년 3월 이후 월동지로부터 국내에 도래하며, 국내에서는 사수도에서 집단 번식하고 있다. 번식 개체군의 크기는 약 4000쌍 정도로 추정하고 있다(Kang *et al.*, 2008). 습새의 긴 번식 기간은 대양성 바다새의 특징을 잘 보여주는데, 포란기는 6월 중순부터 8월 중순까지이며, 육추기는 8월 중순부터 10월 하순까지 유지된다. 10월 하순부터는 이소기가 시작된다(Oka *et al.*, 2002; Nam *et al.*, 2004; Oh *et al.*, 2008). 포란기 동안에는 암수가 번갈아 포란하는 행동을 보이며, 육추기 동안에는 암수가 모두 새끼에게 먹이를 공급한다(Oka, 2004). 습새는 일 년 동안 한 번의 번식을 통하여 한 마리의 새끼를 기르며, 번식이 실패했을 경우에는 다시 번식을 시도하지 않는다. 습새는 대부분 굴(burrow)을 둥지로 이용한다.

본 연구는 2013년 6월 23일부터 8월 13일까지 제주특별자치도 제주시 추자면에 속해있는 무인도서인 사수도(동경 126° 38', 북위 33° 50')에서 수행되었다(Figure 1). 조사 기간은 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, 2004). 섬의 면적은 약 223,000m<sup>2</sup>이며, 섬의 정상 고도는 해발 79m이다. 섬은 동서로 길게 뻗은 형태이고 남쪽 사면은 경사가 급한 암벽으로 이루어져 있으며, 주 조사 지역인 북쪽 사면은 숲으로 이루어진 경사가 완만한 지형을 갖고 있다(Figure 1). 섬 가장자리와 남쪽 사면을 제외하고는 섬 전체가 상록 활엽수림으로 덮여 있다. 본 조사지역인 사수도에는 습새 이외에도 흑비둘기 *Columba janthina*와 섬개개비 *Lacustella pleskei*, 매 *Falco peregrinus* 등이 번식하고 있으며, 포유류로는 집쥐 *Rattus norvegicus*가

서식하는 것으로 보고되었다(Park and Won, 1993; Nam *et al.*, 2004; Oh *et al.*, 2008).

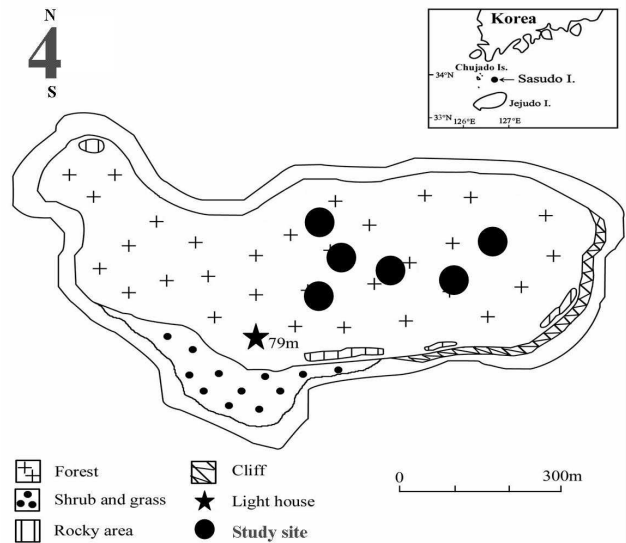


Figure 1. The location of study area (Sasudo Island) Filled circles indicate the study site

### 2. 일별 번식 개체의 포란 행동 관찰

습새의 둥지내의 번식개체의 포란 행동을 관찰하기 위하여, 조사지역내의 무작위로 선정한 50개의 둥지 중 9개의 번식 둥지를 선정하여 조사를 실시하였다. 매일 일정한 시간에 일정한 순서대로 번식 둥지를 방문하여 개체의 포란 여부 및 교대 패턴, 그리고 포식 상황 등을 관찰하였으며, 포란하고 있는 개체의 몸무게를 측정하였다.

둥지내의 번식개체의 일별 포란 행동을 관찰하기 위하여, 온도 데이터 로거(T&D Corporation, TR-52, 측정범위 -4 0°C to +80°C)를 알에 부착하여 지속적으로 온도의 변화를 관찰하였다. 온도 데이터 로거는 전체 조사 기간 동안 매 5분마다 알의 온도가 기록되도록 프로그램을 설정하였다. 또한 초기 9둥지 중 포식이나 번식실패가 일어난 둥지의 온도 데이터 로거는 다른 번식 중인 둥지로 옮겨져서 지속적인 관찰을 실시하였다.

습새의 둥지내의 포란 행동은 다음과 같은 과정을 거쳐 분석하였다. 온도 데이터 로거를 통해 각 번식 둥지에서 얻어진 데이터를 이용하여, 개체의 행동을 정의하였는데, 온도가 지속적으로 증가하여 일정한 온도를 유지하게 되는 경우를 ‘포란 시도’(‘incubation bout’) 1회로 정의 하였으며, 일정한 온도가 유지된 후에 온도가 지속적으로 하강하기 시작하는 지점까지의 총 시간을 ‘포란 시간’(‘duration

of incubation bout')이라 정의하였다(Figure 2).

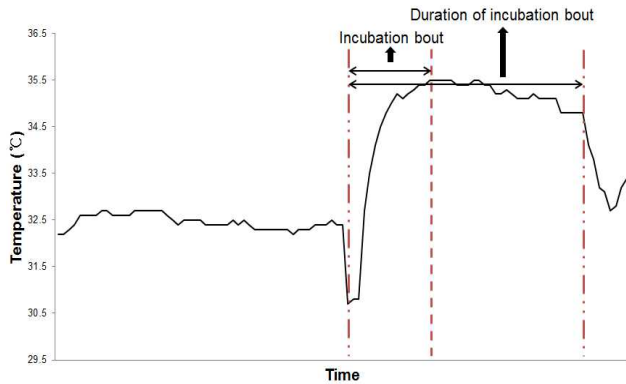


Figure 2. Definition of incubation bout and duration of incubation bout  
(Incubation bout: Individuals try to incubate their egg, Duration of incubation bout: The duration for maintaining the incubation on the egg)

### 3. 번식 개체의 몸 크기 및 몸 상태 지수

번식개체의 외부형태에 대한 정보는 다음과 같은 과정을 통하여 얻어졌다. 산란 초기에 포란 대기 중이거나 포란하고 있는 성조를 둥지에서 포획하여, 부리, 두취장, 부척의 길이는 Mitutoyo digimatic calliper를 이용하여 0.01mm단위까지 측정하였으며, 날개길이와 꼬리의 길이는 1mm 단위의 자를 이용하여 측정하였다. 또한 몸무게는 OHAUS potable balance로 0.1g 단위까지 측정하였다. 측정된 외부형태 데이터를 이용하여 다음과 같이 몸 크기와 몸 상태 지수를 정의하였다. 개체의 ‘몸 크기’(‘body size’)는 성조에서 측정된 5가지 요소(부리, 부척, 두취장, 날개길이, 꼬리길이)중 주성분 분석(principal component analysis)에 대입하여 나

온 부리, 두취장, 부척의 3가지 요소로 이루어진 component 1의 factor score 1(range = -2.32 ~ 2.92, n=71)을 사용하였다(Freeman and Jackson, 1990). 개체의 ‘몸 상태 지수’(‘body condition index’)는 개체의 몸 크기(PC1)와 번식 초기에 측정한 개체의 몸무게(initial body mass)와의 회귀 분석을 통하여 얻어진 잔차값(residual)을 몸 상태 지수(range = -102.64 ~ 65.04)로 규정하였다(Jolicoeur and Mosimann, 1960).

### 4. 통계 분석

포란하는 동안에 개체들의 일별 몸무게 감소량(mass loss)에 생태학적 요소들이 어떠한 영향을 끼치는가를 알아보기 위하여, 다음과 같은 변수들을 사용하였다. 암수간의 차이를 알아보기 위해 번식 개체의 ‘성별’(‘sex’)을, 처음 포란을 시작할 때의 몸무게에 따른 차이를 알기 위해서 개체의 ‘몸무게’(‘initial body mass’), 그리고 개체의 질에 따른 영향을 알기 위해서 ‘몸 크기’ 및 ‘몸 상태 지수’를, 그리고 개체의 포란 행동에 의한 영향을 알기 위해서 ‘평균 알 온도(mean Tegg)’와 ‘포란 시도’ 및 ‘포란 시간’등을 고정요인(fixed factor) 선택하였으며, 각각의 식별된 개체를 임의 요인(random factor)으로 선정하여, 선형 혼합 모형(Linear Mixed Model)을 이용하여 분석하였다.

포란하는 개체의 포란 시간과 포란 시도에 대하여 개체의 질이 어떠한 영향을 끼치는지를 알아보기 위하여, 개체의 ‘성별’과 ‘일별 몸무게 감소량’, ‘몸 크기’, ‘몸 상태 지수’를 고정요인으로 사용하였으며, 식별된 각각의 개체를 임의요인으로 사용하여 일반화 혼합 모형(General Linear Model with poisson error)으로 분석하였다. 통계는 R 2.15.2 프로그램(R Development Core Team, 2012)을 사용하여 분석하였다.

Table 1. Mean ( $\pm$  S.D.) and range of variables by males and female Streaked Shearwaters during incubation

Variable	Breeder			
	Male		Female	
	Mean $\pm$ S.D.	Range	Mean $\pm$ S.D.	Range
Initial body mass (g)	626.0 $\pm$ 39.1	547.2 ~ 700.0	537.7 $\pm$ 55.8	434.8 ~ 648.0
Daily body mass loss (g)	17.1 $\pm$ 7.0	7.4 ~ 41.3	16.7 $\pm$ 7.0	6.0 ~ 30.0
Body size index (PC1)	-0.06 $\pm$ 1.20	-1.6 ~ 2.2	0.02 $\pm$ 1.40	-2.0 ~ 2.9
Initial body condition index	-5.1 $\pm$ 34.1	-94.6 ~ 66.9	-21.0 $\pm$ 37.2	-103.8 ~ 40.0
Daily Tegg (°C)	33.5 $\pm$ 2.2	24.7 ~ 36.8	33.7 $\pm$ 3.2	20 ~ 37.7
Daily duration of incubation bout (min)	732.4 $\pm$ 335.6	140 ~ 1425	686.2 $\pm$ 349.0	30 ~ 1430
No. of daily incubation bout	2.0 $\pm$ 1.0	1 ~ 5	2.1 $\pm$ 1.1	1 ~ 5
Total observation	55		60	
Number of individual	11		12	

## 결과

### 1. 번식 개체의 몸무게 변화 및 포란 행동

포란 기간 동안 개체의 일별 몸무게 감소는 매우 다양하게 나타났다. 일 별 몸무게 감소량은 수컷이  $17.1 \pm 7.0g$ , 암컷이  $16.7 \pm 7.0g$ 로 나타났다. 일 별 평균 포란 시도는 암수 모두 약 2회씩 시도하였으며, 일별 평균 포란 시도 횟수 당 포란 시간은 수컷이  $732.4 \pm 335.6$ 분, 암컷이  $686.2 \pm 349.0$ 분으로 나타났다(Table 1).

포란하는 개체의 일별 몸무게 감소량에 영향을 주는 요소들을 분석한 결과, 암수 간에는 몸무게 감소량이 차이가 없었으며( $p=0.209$ ), 개체의 몸무게( $p=0.177$ )와 몸 크기( $p=0.206$ ), 몸 상태 지수( $p=0.249$ )와 같은 생리적인 요인들도 아무런 영향을 주지 않고 있었다(Table 2). 둥지의 평균 온도 역시, 개체의 몸무게 감소량과는 관계가 없었으며( $p=0.728$ ), 포란 시간 또한 아무런 영향을 주고 있지 않았다. 하지만 일별 포란 시도의 경우에는 개체의 일별 몸무게 감소량에 영향을 주고 있었다( $\chi^2=17.389$ ,  $d.f.=1$ ,  $p<0.001$ ). 즉, 포란하는 습새 개체는 둥지 내에서 포란 시도가 증가함에

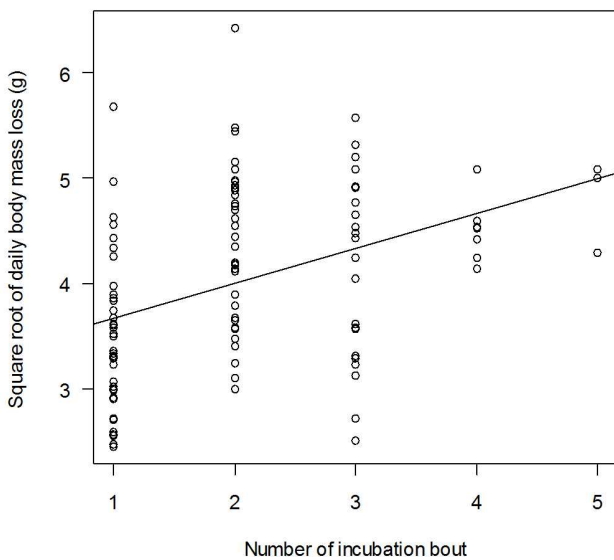


Figure 3. The relationship between the daily body mass loss and the number of incubation bout for Streaked Shearwater breeders  
(The square-root of daily body mass loss is used for the model and line shows the predicted values from the model(Table 2))

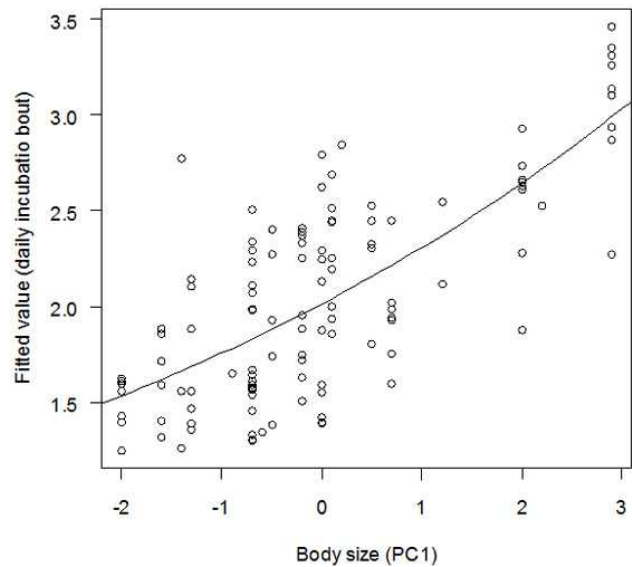


Figure 4. The relationship between the daily incubation bout and the body size (PC1) for Streaked Shearwater breeders  
(The line shows the predicted values from the model(Table 3))

Table 2. Summary of LMM examining the daily mass loss of breeders in relation to several factors

Factor	Estimate	s.e.	$\chi^2$	d.f.	<i>p</i>
(Intercept)	2.468	0.516	-	-	-
Sex	-0.869	0.715	1.577	1	0.209
Initial body mass	0.012	0.009	1.825	1	0.177
Body size (PC1)	-0.291	0.238	1.600	1	0.206
Initial body condition index	-0.011	0.010	1.332	1	0.249
Mean tegg	-0.010	0.029	0.121	1	0.728
Incubation bout	0.330	0.079	17.478	1	< 0.001
Duration of incubation bout	~ 0	~ 0	0.049	1	0.824

\*Individual identity was included in this model as a random effect (number of observations=115 of 23 individuals)

The square-root of daily body mass loss is used for this model. All biologically meaningful two-way interaction terms were also tested, and none were significant ( $p>0.05$ )

Significant p-values are shown in italic

따라 일별 몸무게 감소량도 증가하는 것으로 나타났다 (Figure 3).

## 2. 포란 행동과 개체의 질

개체의 질이 번식 개체의 포란 시도에 영향을 끼치는지에 대한 분석 결과, 포란 시도 횟수는 개체의 성별에 따라 차이가 없었으며( $p=0.981$ ), 개체의 몸 상태 지수 역시 포란 시도 횟수에 영향을 주지 않았다( $p=0.946$ ). 그러나 개체의 몸 크기는 유의한 영향을 주고 있었는데( $\chi^2=5.665$ ,  $d.f.=1$ ,  $p=0.017$ ), 개체의 몸 크기가 클수록 일별 포란 시도 횟수가 많이 가져가는 것으로 나타났다(Figure 4).

## 고찰

대양성 바다새인 습새의 포란 기간 동안의 일별 몸무게의 변화가 어떠한 요소에 의해 조절되는가를 알아본 결과, 몸무게의 감소량은 실제 포란 시도의 횟수와 관계가 있었으며, 이러한 포란 시도 횟수는 개체의 몸 크기에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다.

습새 개체가 포란하는 동안의 일별 몸무게 감소는 성별에 따라 차이를 보이지 않았으며, 개체의 질을 나타내는 몸 크기와 몸 상태 지수 역시 몸무게 감소에 유의한 관계를 보이지 않았다. 하지만, 포란 시도 횟수의 경우, 번식개체가 하루 동안 포란을 시도한 시도 횟수가 증가함에 따라 일별 몸무게 감소량도 증가하는 경향을 보였다(Figure 3). 즉, 포란 기간 동안에 관찰된 다양한 일별 몸무게 감소량은 실제 번식개체가 둥지 내에서 실제 포란에 참여한 시도 횟수에 따라 변하고 있다는 것이다. 일반적으로 포란하는 개체는 포란에 임하는 동안 에너지를 공급 받지 못한 채로 지속적인 포란을 해야 하기 때문에 그들의 에너지인 몸무게는 감소하게 된다고 알려져 있다(Drent *et al.*, 1985; Tveraa *et al.*, 1997). 그러나 이러한 연구들은 각각의 개체가 한 번의 포란 교대기간 동안 포란에 투자한 시간과 그들의 몸무게 조절에 대한 연구들이며, 실제 둥지에서 번식개체의 포란 행동에

따른 일별 몸무게 조절을 나타낸 것이라 하기 어렵다. Turner(1997)의 연구에서는 알에 열을 전달해야 하는 포란 행위는 알에 열을 전달하는 만큼 포란하는 개체의 에너지인 몸무게를 사용하게 됨으로써 포란 행위 자체가 몸무게 감소에 영향을 미치는 것이라고 설명하고 있다. 따라서 본 연구의 결과처럼, 실제 둥지 내에서의 포란 행동에 쓰인 노력의 정도가 실제 개체의 일별 몸무게 감소에 영향을 끼치고 있다는 것은 포란 행위가 몸무게 감소에 직접적인 원인이라는 예측을 가능하게 한다.

포란 둥지 내에서 번식개체의 포란을 시도한 횟수는 개체의 몸 크기에 따라 다르게 나타나고 있었다(Table 3). 즉, 개체의 몸 크기가 큰 개체일수록 일별 포란 시도 횟수가 증가하는 모습을 보이고 있었다(Figure 4). Weimerskirch(1999)의 연구에 의하면 몸 크기가 큰 개체는 몸 크기가 작은 개체에 비해 에너지 수용 능력 및 저장 용량이 크다고 보고되었다. 따라서 이러한 몸 크기의 따른 효과는 큰 개체가 몸 크기가 작은 개체에 비해 몸무게를 더 많이 늘릴 수 있다는 가능성을 가지고 있다는 것이 중요하며, 몸 크기가 큰 개체가 자신이 가질 수 있는 많은 에너지에 맞추어 자신의 포란 행동을 조절하려는 전략을 보여주는 것으로 추측할 수 있다.

Chaurand and Weimerskirch(1994)의 Blue petrel *Halobaena caerulea* 연구에 의하면 번식하는 개체의 몸무게는 포란 교대 기간에 중요한 영향을 미친다고 하였다. 취식을 성공적으로 마친 몸무게가 무거운 개체는 취식에 실패한 몸무게가 적은 개체보다 더 긴 포란 교대 기간을 유지할 수 있으며 이는 배우자와의 연속적인 포란 교대에서 긴 포란 교대 기간을 유지하는 개체의 배우자는 바다에 나가 취식을 더 오래 할 수 있게 됨으로써 안정적인 포란 교대를 유지할 수 있게 된다고 보고되었다(Weimerskirch *et al.*, 2009). 그러나 이와 같은 현상은 일반적으로 바다상황과 먹이자원 같은 환경적 변수들이 번식기 동안에 계속적으로 변화하고 있기 때문에(Monaghan *et al.*, 1989; Frank and Becker, 1992; Wendeln and Becker, 1999), 번식개체의 몸 상태 지수가 항상 유지되기 보다는 매우 유동적으로 변할 수 있다는 것

Table 3. Summary of GLM (with poisson error) examining the daily incubation bout of breeders in relation to several factors

Factor	Estimate	s.e.	$\chi^2$	d.f.	<i>p</i>
(Intercept)	-0.467	0.445	-	-	-
Sex	0.003	0.133	~ 0	1	0.981
Daily body mass loss (g)	0.404	0.148	7.482	1	<i>0.006</i>
Body size (PC1)	0.115	0.048	5.665	1	<i>0.017</i>
Initial body condition index	~ 0	0.005	0.005	1	<i>0.946</i>

\*Individual identity was included in this model as a random effect (number of observations=115 of 23 individuals)

All biologically meaningful two-way interaction terms were also tested, and none were significant ( $p>0.05$ )

Significant p-values are shown in italic

을 예상할 수 있다. 또한, Chastel *et al.* (1995)의 연구에 의하면 번식기 초반의 바다상황과 먹이자원 같은 환경적 변수들의 조건이 좋지 못할 경우 개체는 번식기 초반에 좋은 몸 상태를 유지시키기 어려우며, 이는 전체 번식기간에 영향을 미친다고 하였다. 예로써 Blue petrel은 바다상황과 먹이자원의 조건이 좋지 못할 경우, 갖고 있는 에너지의 감소로 인해 알의 크기를 줄이거나, 심지어 번식을 하지 못하는 상황에 직면하게 된다고 보고되었다.

따라서 본 연구의 결과와 같이 번식기 동안에 고정적이지 않고 매우 불안정하게 변화하는 몸 상태 지수가 포란 행동에 영향을 주는 요소로 작용한다면 포란 행동 역시 지속적으로 변하게 되고, 긴 번식기간을 가지고 있는 습새에게는 매우 불리하게 작용할 가능성이 있다. 따라서 습새에게 몸 상태에 따라 그들의 포란 행동을 조절하는 것은 적합하지 않은 번식 전략일 것으로 생각된다. 결과적으로 사수도 습새는 예측 불가능한 바다라는 환경에서 살아가는 바다새의 생활사적 특징을 고려해 볼 때, 그들의 포란 행동은 환경에 따라 변화하는 그들의 몸 상태 보다는 몸 크기와 같은 번식기 동안에 고정된 개체의 질에 의해서 조절 되어질 것으로 예상되며, 이것은 습새의 안정적인 포란 전략을 위해서 중요하게 작용 할 가능성이 있다.

### 감사의 글

본 연구를 위해 사수도 출입을 허가를 해주신 문화재청 및 제주시에 감사드립니다. 아울러, 힘든 조사에도 한걸음에 달려와서 도와주신 경희대학교 한국조류연구소 연구원 및 동물생태실원들에게도 감사드립니다.

### REFERENCES

Birkhead, T.R. and R.W. Furness(1985) Regulation of Seabird Populations. In: Behavioural Ecology, Blackwell, Oxford, pp. 147-168.

Blackmer, A.L., J.T. Ackerman and G.A. Nevitt(2004) Effects of investigator disturbance on hatching success and nest-site fidelity in a long-lived seabird, Leach's Storm-Petrel. Biological Conservation 116: 141-148.

Boersma, P.D., N.T. Wheelwright, M.K. Nerini and E.S. Wheelwright(1980) The breeding biology of the Fork-tailed Storm-Petrel *Oceanodroma furcata*. Auk 97: 268-282.

Carey, M.J.(2011) Incubation routine, duration of foraging trips and regulation of body mass in Short-tailed Shearwaters *Ardenna tenuirostris*. Emu 111: 166-171.

Chastel, O., H. Weimerskirch and P. Jouventin(1995) Body condition and seabird reproductive performance: A study of three

Petrel species. Ecology 76: 2240-2246.

Chaurand, T. and H. Weimerskirch(1994) Incubation routine, body mass regulation and egg neglect in the Blue Petrel *Halobaena caerulea*. Ibis 136: 285-290.

Croxall, J.P.(1992) Southern ocean environmental change: Effects on seabirds, seal and whale populations. Philosophical Transactions Royal Society 338: 319-328.

Drent, R.H., J.M. Tinbergen and H. Biebach(1985) Incubation in the Starling, *Sturnus vulgaris*: Resolution of the conflict between egg care and foraging. Netherlands Journal of Zoology 35: 103-123.

Frank, D. and P.H. Becker(1992) Body mass and nest reliefs in Common Terns exposed to different feeding conditions. Ardea 80: 57-69.

Freeman, S. and W.M. Jackson(1990) Univariate metrics are not adequate to measure avian body size. Auk 107: 69-74.

Gaston, A.J.(2004) Seabirds: A Natural History. Yale-University Press, London, 163pp.

Gaston, A.J. and D.W. Powell(1989) Natural incubation, egg neglect, and hatchability in the Ancient Murrelet. Auk 106: 433-438.

Haftorn, S.(1978) Egg-laying and regulation of egg temperature during incubation in the Goldcrest *Regulus regulus*. Ornis Scandinavica 9: 2-21.

Haftorn, S. and R.E. Reinertsen(1985) The effect of temperature and clutch size on the energetic cost of incubation in a free living Blue Tit *Parus caeruleus*. Auk 102: 470-478.

Hartman, C.A. and L.W. Oring(2006) An inexpensive method for remotely monitoring nest activity. Journal of Field Ornithology 77: 418-424.

Hatch, S.A.(1989) Incubation rhythm in the Fulmar *Fulmarus glacialis*: Annual variation and sex roles. Ibis 132: 515-524.

Jolicoeur, P. and J.E. Mosimann(1960) Size and shape variation in the Painted Turtle. A principal component analysis. Growth 24: 339-354.

Kang, J.H., T.H. Kang, S.H. Yoo, H.J. Cho, S.W. Lee and I.K. Kim(2008) Study on the breeding status of the natural monument islet (Chilbaldo, Sasudo, Nando, Hongdo). Korean Journal of Ornithology 15: 169-175. (in Korean with English abstract)

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

Lorensten, 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.

Lorentsen, S.H.(1996) Regulation of food provisioning in the

- Antarctic Petrel *Thalassoica antarctica*. Journal of Animal Ecology 65: 381-388.
- Monaghan, P., J.D. Uttley, M.D. Burns, C. Thaine and J. Blackwood(1989) The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Terns *Sterna paradisaea*. Journal of Animal Ecology 58: 261-274.
- Montevocchi, W.A.(1993) Birds as indicators of change in marine prey stocks. Springer, Netherlands, pp. 217-266.
- Nam, K.B., I.K. Kwon and J.C. Yoo(2004) Cause of hatching failure of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* on Sasudo Island. Korea Journal of Ornithology 11: 79-85. (in Korean with English abstract)
- Nam, K.B., I.K. Kwon and J.C. Yoo(2008) Incubation routine and sex role of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* at Sasudo Island. Ocean and Polar Research 30: 11-19. (in Korean with English abstract)
- Oh, H.S., M.H. Chang and T.W. Kim(2008) A study on the management of Streaked Shearwaters (*Calonectris leucomelas*) population on Sausdo Island. Korea Journal of Ornithology 15: 107-116.
- Oka, N.(2004) The distribution of Streaked Shearwaters colonies, with special attention to population size, area of sea where located and surface water temperature. Journal of Yamashina Institute of Ornithology 35: 164-188. (in Japanese with English abstract)
- Oka, N., H. Suginome and N. Maruyama(2002) Chick growth and fledgling performance of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* on Mikura Island for two breeding seasons. Journal of Yamashina Institute of Ornithology 34: 39-59.
- Park, J.Y. and P.O. Won(1993) Survey of seabirds breeding in Korea. Bulletin of Korea Institute of Ornithology 4: 101-105. (in Korean with English abstract)
- R Development Core Team(2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical computing. <http://www.R-project.org>.
- Sæther, B.E.(1987) The influence of body weight on the covariation between reproductive traits in European birds. Oikos 48: 79-88.
- Sæther, B.E., S.H. Lorentsen, T. Tveraa, R. Andersen and H.C. Pedersen(1997) Size-dependent variation in reproductive success of a long-lived seabird, the Antarctic Petrel (*Thalassoica antarctica*). Auk 114: 333-340.
- Sturkie, P.D.(1986) Avian Physiology. Springer, New York, pp. 221-252.
- Turner, J.S.(1997) On the thermal capacity of a bird's egg warmed by a brood patch. Physiological Zoology 70: 470-80.
- Tveraa, T., S.H. Lorensten and B.E. Sæther(1997) Regulation of foraging trips and costs of incubation shifts in the Antarctic Petrel (*Thalassoica antarctica*). Behavioral Ecology 8: 465-469.
- Warham, J.(1990) The Petrels: Their Ecology and Breeding Systems. Academic Press, London, pp. 303-332.
- Weimerskirch, H.(1999) The role of body condition on breeding and foraging decisions in albatrosses and petrels. Proceedings of the International Ornithological Congress 22: 1178-1189.
- Weimerskirch, H., M. Le Corre, H. Gadenne, D. Pinaud, A. Kato, Y. Ropert-Coudert and C.A. Bost(2009) Relationship between reversed sexual dimorphism, breeding investment and foraging ecology in a pelagic seabird, the masked booby. Oecologia 161: 637-649.
- Wendeln, H. and P.H. Becker(1999) Body mass change in breeding Common Terns *Sterna hirundo*. Bird Study 43: 85-95.
- Wheelwright, N.T. and J.C. Beagley(2005) Proficient incubation by inexperienced Savannah Sparrows *Passerculus sandwichensis*. Ibis 147: 67-76.
- White, F.N. and J.L. Kinney(1974) Avian incubation. Science 186: 107-115.
- Zangmeister, J.L., M.F. Haussmann, J. Cerchiara and R.A. Mauck(2009) Incubation failure and nest abandonment by Leach's Storm-Petrels detected using PIT tags and temperature loggers. Journal of Field Ornithology 80: 373-379.