



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

한국 서해 상괭이 (*Neophocaena
asiaeorientalis*)의 성장과 성성숙



부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

이 영 란

이 학 석 사 학 위 논 문

한국 서해 상괭이 (*Neophocaena
asiaeorientalis*)의 성장과 성성숙

지도교수 김 수 암

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

이 영 란

이영란의 이학석사 학위논문을 인준함.

2011년 2월 25일

주 심 이 학 박사 백 혜 자 (인)

위 원 이 학 박사 안 용 락 (인)

위 원 수산해양학박사 김 수 암 (인)



목 차

List of figures

List of tables

Abstract

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	5
1. 시료 채집	5
2. 연령 사정	5
3. 성장	7
4. 성성숙	9
III. 결 과	15
1. 연령과 성장	15
1. 1. 연령과 체장	15
1. 2. 성장	19
2. 성성숙	23
2. 1. 암컷	23
2. 2. 수컷	30
IV. 고 찰	39

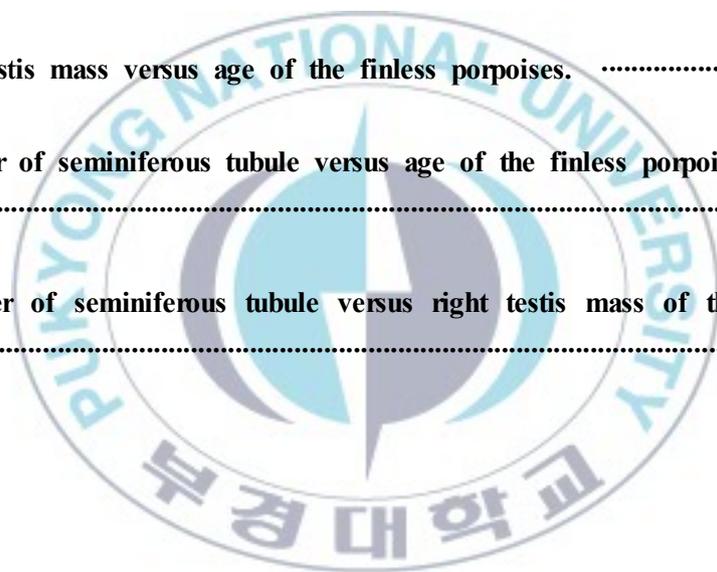
요 약	50
참고 문헌	51
감사의 글	57
Appendix	59



List of figures

- Fig. 1. Geographic distribution of the finless porpoise (*Neophocaena* spp.) in worldwide. 4
- Fig. 2. Sampling location of the by-caught finless porpoises (green shaded). ... 6
- Fig. 3. A cross section of a finless porpoise tooth showing growth layer groups (GLGs, black dots). Each GLG is composed of one light and one dark lines. Neonatal line (NNL) is deposited at or near birth. This tooth was aged at 8 years old. 8
- Fig. 4. Ovaries of the mature female finless porpoises. A: ovary with corpus luteum of pregnant female; B: corpus albicans with corpus luteum; C: longitudinal section of corpus luteum; D: ovarian scars of resting female. B, C were taken at x10 magnification. 10
- Fig. 5. Changes in histological appearance of the finless porpoises. A: immature; B: pubertal; C: early mature; D: mature; E: higher magnification of mature tubule. A-D were taken at the same magnification x200 and a scale bar in blue is 200 μ m. 14
- Fig. 6. Age class and body length frequency distribution of the finless porpoises. 17
- Fig. 7. Relationship between body length and body weight of the finless porpoises. 21
- Fig. 8. The growth curve of the finless porpoises. 22

Fig. 9. Age and body length frequency distribution of the female finless porpoises (Im, P and M represent immature, pubertal and mature, respectively).	26
Fig. 10. Relationship between left ovary mass and age of the female finless porpoises.	28
Fig. 11. Relationship between number of corpora and age of the female finless porpoises.	28
Fig. 12. Age and body length frequency distribution of the male finless porpoises (Im, P and M represent immature, pubertal and mature, respectively).	32
Fig. 13. Comparison of testis size between mature and immature male	35
Fig. 14. Right testis mass versus age of the finless porpoises.	36
Fig. 15. Diameter of seminiferous tubule versus age of the finless porpoises.	36
Fig. 16. Diameter of seminiferous tubule versus right testis mass of the finless porpoises.	37



List of tables

Table 1. Age class and body length range of the finless porpoises	18
Table 2. Body length, body weight and sex ratio of the finless porpoises	20
Table 3. The sum of fraction immature (SOFI) method for estimating average age and length at sexual maturity in the female finless porpoises	27
Table 4. Biological information of the mature females	29
Table 5. The sum of fraction immature method for estimating average age and length at sexual maturity in the male finless porpoises	33
Table 6. Reproductive parameter comparison by sexual maturity of the male finless porpoises	34
Table 7. Comparison, by age and body length, of right testis mass and seminiferous tubule diameters (Mean values shown in brackets)	38
Table 8. Geographical variation of ASM (age at sexual maturity), LSM (Length at sexual maturity)	44

**Age, growth and sexual maturity of the finless porpoises,
Neophocaena asiaeorientalis, in the Yellow Sea, Korea**

Young Ran Lee

**Department of Marine Biology, The Graduate School,
Pukyong National University**

Abstract

A total of 111 finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*) were collected in the coastal water in the Yellow Sea, Korea from March to June in 2010. Age, growth and sexual maturity were described from 51 female and 60 male specimens caught incidentally in stow nets. Ages were determined by counting growth layer groups (GLGs) in the dentine from thin cross sections of teeth. Testis and ovarian samples were examined macroscopically and microscopically. Females were in the 1 to 16 age range and the 92.6 to 149.7 cm long body length range. Ages and body lengths of male ranged from 1 to 19 and from 87.9 to 229 cm, respectively. The biggest male is 229 cm long and bigger than any other finless porpoises in the previous studies. Body lengths of the smallest sexually mature male and female were 125.3 and 131.6 cm, respectively. Using the sum of immature fraction algorithm, males were estimated to attain sexual maturity at 4.75 years and 133.8 cm while females reached sexual maturation at 5.4 years and 134.52 cm. Mature testis weights ranged between 5.6 and 898 g.

Testis mass and the diameter of seminiferous tubule showed obvious increases as males became mature sexually. Relatively large number of females were pregnant. In order to clarify breeding season, collection of samples all the year round would be necessary.



I. 서론

상괘이(finless porpoise, *Neophocaena asiaeorientalis*)는 척삭동물문(Phylum Chordata), 포유강(Class Mammalia), 고래류목(Order Cetacea), 이빨고래아목(Suborder Odontoceti), 쇠돌고래과(Family Phocoenoide)에 속하는 돌고래의 일종이다. 전 세계에서 오직 아시아 지역에만 분포하는데, 페르시아만, 인도, 인도네시아, 대만, 베트남, 중국, 일본, 한국에 걸쳐 인도양과 서태평양의 수심이 얇은 연안과 강에 서식한다(Fig. 1). 외형적으로 등지느러미가 없고 주둥이가 짧으며 머리가 둥근 것이 특징이다. 일반적으로 선박에 접근하지 않고 수면 위로 뛰면서 수영하지 않기 때문에 발견하기가 쉽지 않다. 홀로 다니거나 쌍을 이루는 경우가 많고 소수의 무리를 형성하기도 하며(Jefferson et al., 1993), 소형 어류, 갑각류와 연체류 등 서식 지역에 풍부한 다양한 종류의 먹이를 섭이한다(Kasuya, 1999). 그동안 *Neophocaena phocaenoides*는 한 종으로 생각되어 형태학적인 특징과 지역적 분포 차이를 기준으로 *N. p. phocaenoides*, *N. p. sunameri*, *N. p. asiaeorientalis*의 3개의 아종으로 분류되어 왔었다. 그러나 최근 Wang et al. (2008)이 형태학적, 유전학적 연구를 통해 대만해협(Taiwan Strait)을 기준으로 외형적으로 다른 2개의 아종이 종 수준으로 다르다는 것을 밝혀냈다. 이로써 남중국해에서 인도양 까지 분포하고 용기가 넓은 등을 가진 종을 Indo-Pacific finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*)로, 동중국해, 황해, 양쯔강, 일본, 한국에 분포하며 등의 용기가 좁은 종을 narrow ridged finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis*)로 정리하였다.

상괘이는 한반도 근해에서 가장 빈도 높게 발견되는 돌고래 중 하나로서 주변 생태계와 어업에 미치는 영향이 클 것으로 생각되며 이에 대한 꾸준한 연구가 진행 중이다. 2004년과 2005년에 걸쳐 국립수산과학원 고래연구소(National Fisheries Research & Development Institute, NFRDI, Cetacean Research Institute, CRI)에 의해 수행된 서해 상괘이 목시조사

결과에 따르면 서해에서만 약 35,000마리가 서식하는 것으로 추정되었다 (Park et al., 2007). 또한 2008년 한 해 동안에 362마리의 상괭이가 동해 남부와 남해에서 혼획된 것으로 보고된 반면 서해에서는 단 3건만이 보고되었는데, 이는 실제 혼획되는 수에 비해 턱없이 낮은 것으로 보인다(CRI, unpublished).

그동안 국내에서 이루어진 상괭이 관련 연구로는 서해안 상괭이의 분포와 풍도에 관한 연구(Zhang et al., 2004)를 비롯하여 먹이 습성과 영양단계(Park et al., 2002), 자원 개체수 추정(Park et al., 2007), 유기 화합물 오염에 관한 연구(Park et al., 2010) 등이 있다. 그에 반해 생리학적 연구는 거의 수행된 바가 없고, 특히 번식에 관한 연구는 전무한 실정이어서 관련 자료가 필요할 때 일본과 중국에서 발표된 자료를 이용해 왔다. 유기 화합물의 경우 기각류(pinnipeds)와 이빨고래류(odontocete cetaceans)에서 내분비 교란 물질(endocrine-disrupting chemicals, EDCs)로 작용하여 번식에 악영향을 주는 것으로 알려져 있다(Fossi and Marsili, 2003). 국내 상괭이 관련 연구에서도 유기 화합물 오염이 면역력 저하와 관련이 있는 것으로 나타났는데 이 연구에 필요한 성성숙 자료는 일본의 것을 참고하였다(Park et al., 2010). 그러나 같은 종의 상괭이라 할지라도 서식하는 지역마다 독립적으로 번식하는 다른 무리를 형성하고, 각 개체군마다 성장과 출산시기 등에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(Shirakihara et al., 1993). 그러므로 국내 연안에 서식하는 상괭이를 대상으로 이루어지는 성성숙 관련 연구는 매우 의미 있다고 할 수 있겠다.

아시아 지역 상괭이의 성장과 번식에 관한 연구로는 중국 남부 연안 (Jefferson et al., 2002), 양쯔강 유역(Gao and Zhou, 1993; Chang and Zhou, 1995), 중국 황해와 발해(Gao and Zhou, 1993; Chang and Zhou, 1995), 남중국해(Gao and Zhou, 1993; Jefferson et al., 2002), 일본 Kyushu 지역(Shirakihara et al., 1993), 일본 Inland Sea (Kasuya et al., 1986), 일본 Ise Bay (Furuta et al., 1989), 파키스탄 연안(Harrison and McBrearty, 1974)에서 수행된 바 있다.

본 연구는 국내에서 최초로 수행되는 고래류의 성성숙에 관한 연구로서 서해에 서식하는 상괭이의 성성숙과 번식에 관련된 특징들을 살펴보는 것이 목적이다. 이를 위해서 치아에 침착된 연륜(growth layer groups, GLGs)의 수를 세어 연령을 사정하고 체장과 연령의 상관관계를 이용하여 성장식을 유도하였다. 이렇게 추정된 연령과 성장 정보를 이용하여 성성숙에 도달하는 평균 연령과 체장(ASM, age at sexual maturity; LSM, length at sexual maturity)을 추정하였으며 더 나아가 번식생리와 관련된 생물학적 변수를 추정하여 일본과 중국의 연구 결과와 비교하였다. 본 연구가 국내 연안에 서식하는 상괭이의 생활사 완성과, 생태 연구, 그 밖에 번식에 관련된 여러 질병 등을 연구하는데 초석이 될 수 있기를 기대한다.



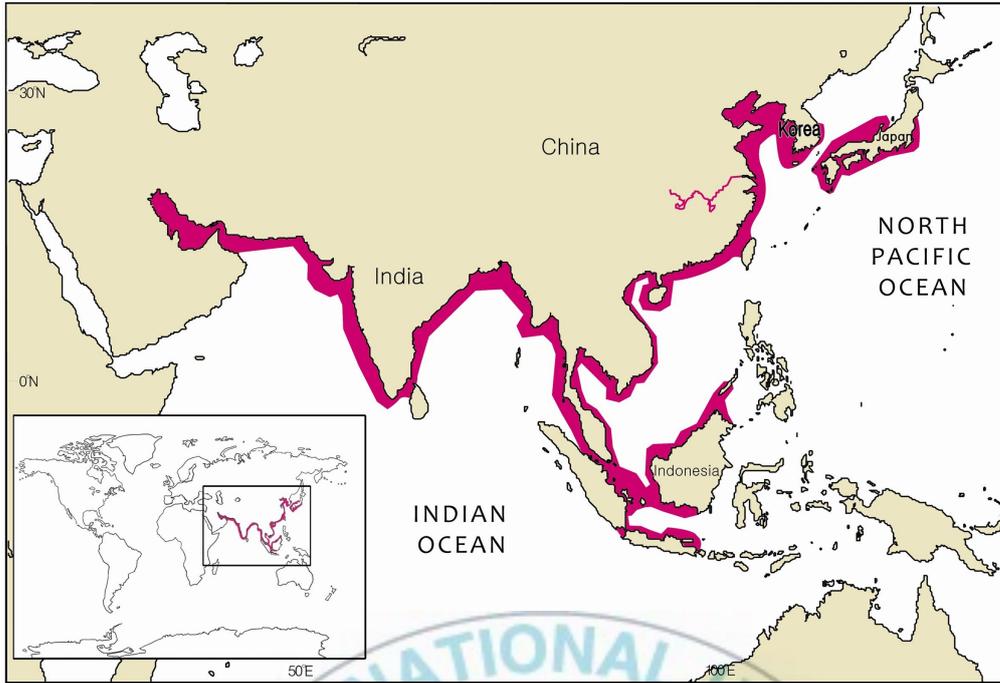
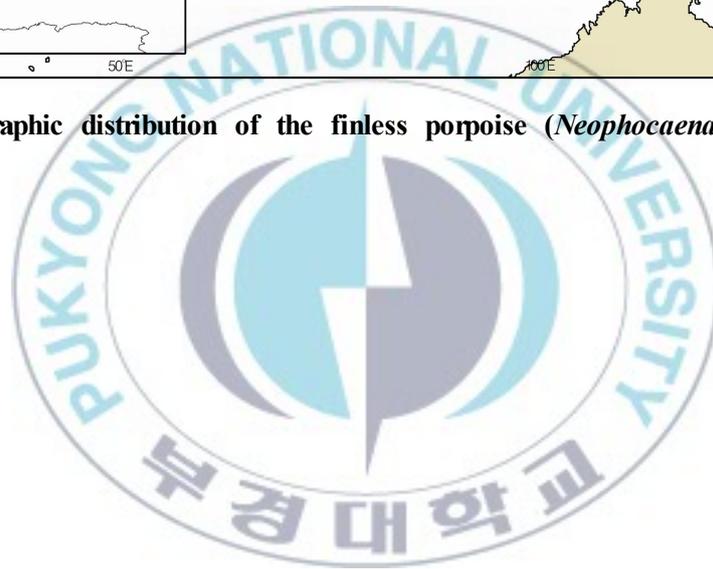


Fig. 1. Geographic distribution of the finless porpoise (*Neophocaena* spp.) in worldwide.



II. 재료 및 방법

1. 시료 채집

2010년 3월부터 6월까지 한국 서해의 대천, 신진도, 외연도, 어청도 주변 연안에서 조업 중인 안강망 그물에 혼획되어 죽은 상괭이를 중매인으로부터 수집하였다(Fig. 2). 총 111마리의 상괭이를 수집하였으며 이 중 암컷이 51마리, 수컷이 60마리였다. 수집된 모든 개체의 체장을 위 턱 끝부터 꼬리지느러미 벤자리(fluke notch)까지를 직선으로 0.1 cm 단위까지 측정하고 체중을 0.1 kg 단위까지 측정하였다. 아래턱의 중간 열에서 가장 마모가 적고 형태가 온전한 치아 5개 이상을 골라 70% 에탄올에 보존하고 수컷의 고환과 암컷의 난소를 채집하여 10% 중성 포르말린에 보관하였다. 암컷의 난소에서 황체가 발견된 경우는 자궁 전체를 수집하였다. 각 개체의 상세한 생물학적 정보는 Appendix I에 정리하였다.

2. 연령 사정

연령 사정을 위해 70% 에탄올에 보존된 치아를 레진(Buehler사의 EpoxyCure[®] Epoxy Resin)으로 고정하고 소형 전기톱(Buehler사의 Isomet low speed saw)을 이용하여 치수강(pulp cavity)이 드러나도록 치아의 정중앙을 종단하였다. 절단된 면을 연마기(Buehler사의 EcoMet[®] 250 Grinder-Polisher & AutoMet[®] Power Head)로 연마한 후 슬라이드 글라스에 고정시켰다. 완전히 고정되면 반대쪽 면을 절단하여 약 30 μ m 두께로 만든 뒤 다시 연마하여 빛의 투과도를 높인 후 $\times 40$, $\times 100$ 의 배율로 검경하였다(Park, 2006).

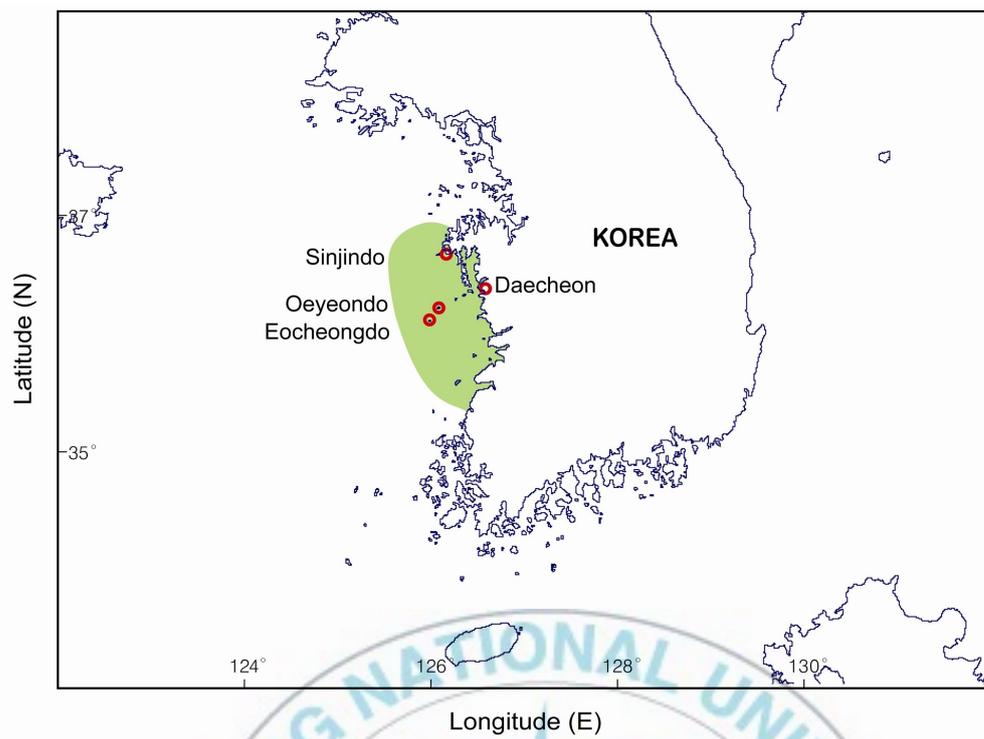
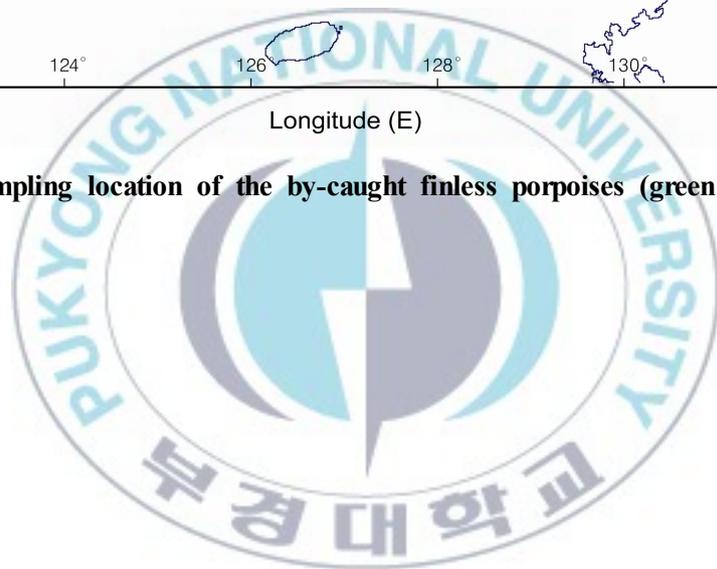


Fig. 2. Sampling location of the by-caught finless porpoises (green shaded).



2명의 검사자가 검체에 대한 생리학적 사전 지식 없이 독립적으로 각각 상아질에 나타난 GLGs(dentinal growth layer groups)의 수를 기록하였다. 2명의 의견이 다를 경우 재검하고 의견이 좁혀지지 않을 경우에는 새로운 치아로 표본을 다시 만들어 검경하였으며 그래도 일치하지 않을 때에는 경험이 있는 제 3검사자의 소견을 포함하여 세 값의 중앙값을 취하였다. Kasuya et al. (1986)은 GLGs가 1년에 한 층씩 생기는 것을 사육시설에서 이미 나이를 알고 있는 개체를 통해 증명하였으며 이에 따라 1 GLG 를 연령 1세로 간주하였다(Fig. 3). 출생을 전후하여 상아질 가장 바깥쪽에 생기는 NNL (neonatal line)을 제외하고 불투명층과 투명층을 하나의 GLG로 간주하여 불투명한 층만 보일 경우 0.5세로 계산하였다(Perrin and Myrick., 1980).

3. 성장

연령에 따른 성장식은 암컷과 수컷에 각각 따로 적용하였으며, von Bertalanffy 성장모델이 이용되었다. 성장매개변수의 추정에는 Walford 정차도법을 이용하였고 von Bertalanffy 성장식은 다음과 같다.

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

여기서 L_t 는 연령 t 일 때의 체장, t 는 연령, L_{∞} 는 이론적 최대체장, K 는 모델의 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다.

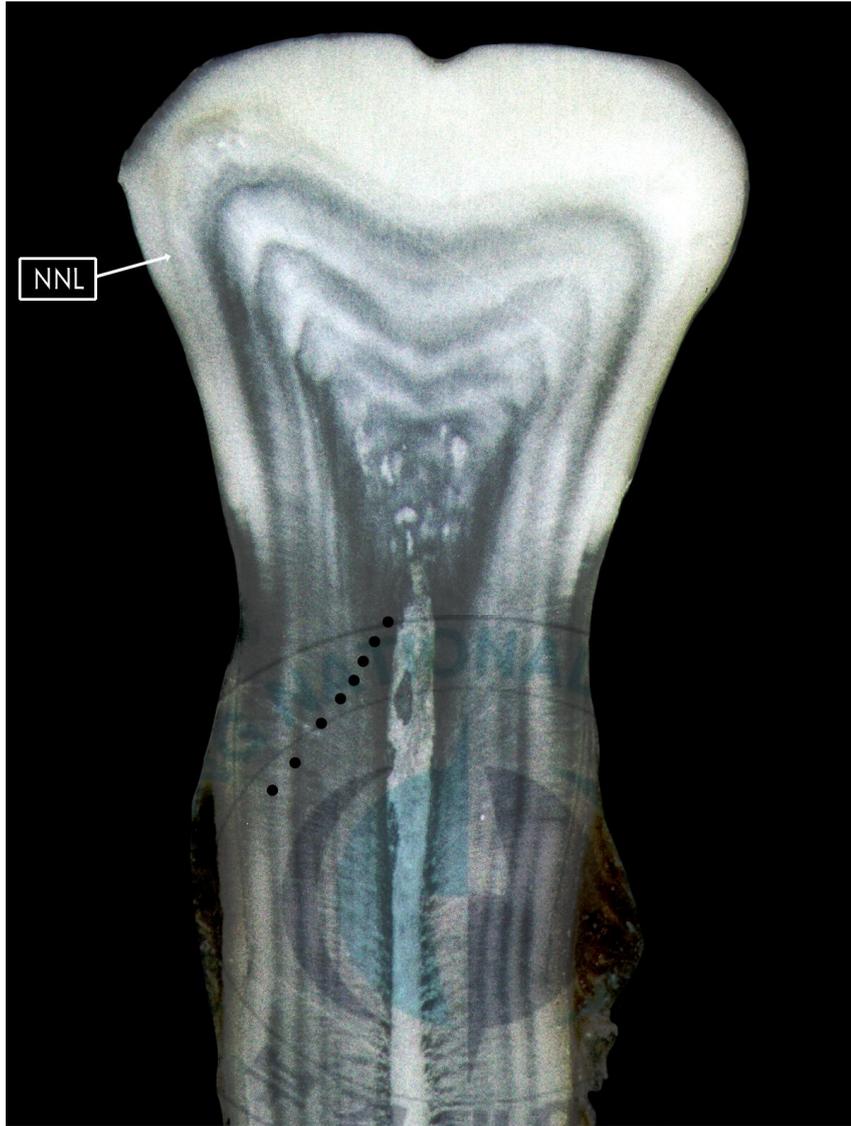


Fig. 3. A cross section of a finless porpoise tooth showing growth layer groups (GLGs, black dots). Each GLG is composed of one light and one dark lines. Neonatal line (NNL) is deposited at or near birth. This tooth was aged at 8 years old.

4. 성성숙

4.1. 암컷

암컷의 난소 내에 성숙한 난포(follicle)에서 배란이 일어난 후, 만약 난자가 수정이 되면 난포는 황체(corpus luteum)가 되어 출산할 때까지 임신 유지에 필요한 호르몬을 분비하는 샘(gland)의 역할을 하게 된다. 그러나 임신이 이루어지지 않거나, 임신 기간이 끝나고 난 후에는 황체가 백체(corpus albicans)로 퇴화하여 난소에 상처처럼 흔적으로 남게 되는데, 이러한 난소의 황체나 백체의 유무로 암컷의 성성숙 여부를 판단한다 (Perrin and Donovan, 1984; Akin et al., 1993).

양측 난소의 3면 직경을 캘리퍼스로 0.1 cm까지 측정하고, 각각의 무게를 0.1 g까지 기록한 후, 난소를 1 mm 두께로 연속적으로 잘라 해부현미경으로 관찰하였다. 황체와 백체의 수를 기록하고 황체의 3면의 직경을 0.01 cm까지 측정하였다. 자궁을 조심스럽게 열어 태아(fetus)가 있는지 확인하고 있을 경우 태아의 체장과 체중, 성별을 기록하였다. 또한 유선을 직접 압박하거나 절개하여 수유 중인지 확인하였다.

암컷의 성성숙도(sexual maturity rating, SMR)를 3단계로 구분하였다. 1단계는 미성숙 단계로서 양측 난소에 백체나 황체가 전혀 발견되지 않은 경우를 일컫는다(immature). 2단계는 난소에 백체나 황체가 발견되지는 않았지만 성숙한 난포가 다수 관찰되어 성성숙이 진행되고 있는 단계를 말한다(pubertal). 3단계는 백체나 황체가 한 개 이상 발견된 경우로 완전히 성숙한 개체를 말한다(mature). 성숙 개체는 다시 다음과 같이 3가지로 구분하였다. 자궁 내에 태아가 있고 난소에 황체가 존재한다면 임신기 (pregnant), 유선에서 유즙이 분비되고 있다면 수유기(lactating), 임신기 또는 수유기가 아니라면 휴지기(resting)라 하였다(Fig. 4).

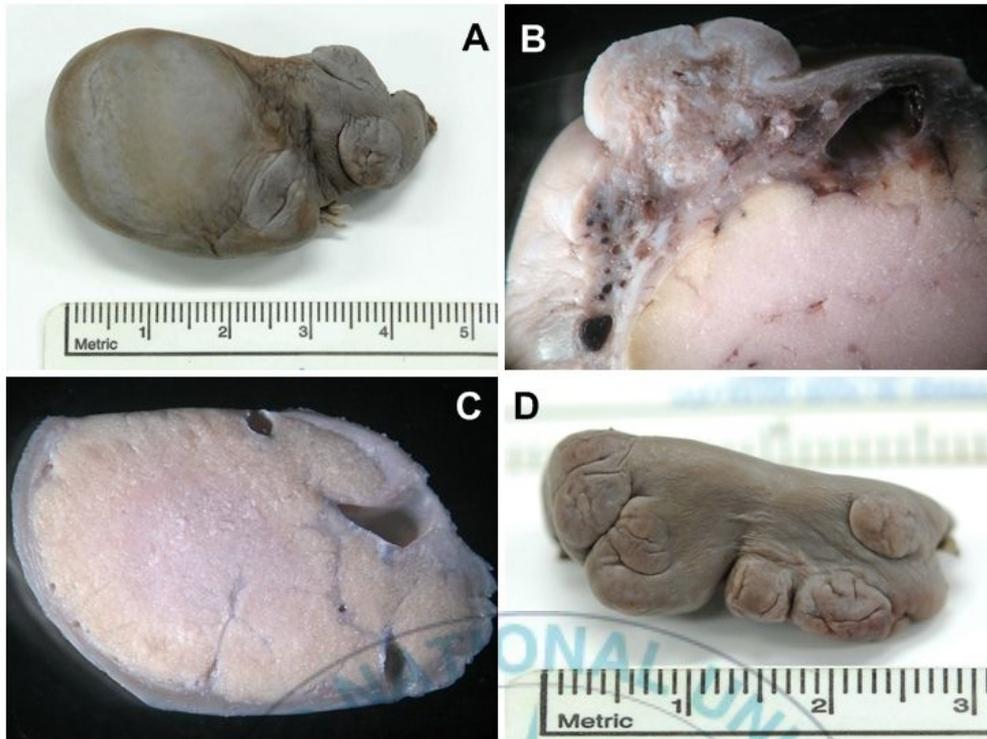


Fig. 4. Ovaries of the mature female finless porpoises. A: ovary with corpus luteum of pregnant female; B: corpus albicans with corpus luteum; C: longitudinal section of corpus luteum; D: ovarian scars of resting female. B, C were taken at x10 magnification.

성성숙에 도달하는 평균 연령(age at sexual maturity, ASM)과 평균 체장(length at sexual maturity, LSM)은 The Sum Of Fraction Immature (SOFI) algorithm(Hohn, 1989)을 이용하여 추정하였으며 식은 다음과 같다.

$$ASM = j + \sum_{i=j}^k p_i x_i$$

$$Variance(S^2) = \frac{\sum p_i q_i}{N_i - 1}$$

여기서 j는 가장 어린 성숙 개체의 연령군, k는 가장 나이 많은 미성숙 개체의 연령군, p_i는 연령군 I에서 미성숙 개체 비율, q_i는 연령군 I에서 성숙 개체 비율 (p_i+q_i=1), N_i는 연령군 I의 모든 개체 수, x_i는 연령군 I에 통합된 연령군의 수를 말한다.

$$LSM = j + \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} p_i x_i$$

$$Var(LSM) = \sum_{i=i_{min}}^{i_{max}} \frac{p_i q_i x_i}{N_i - 1}$$

여기서 j는 가장 작은 성숙 개체가 속한 체장군의 최하값, i_{min}는 가장 작은 성숙 개체가 속한 체장군, i_{max}는 가장 큰 미성숙 개체가 속한 체장군, p_i는 체장군 I에서 미성숙 개체의 비율, q_i는 체장군 I에서 성숙 개체의 비율, x_i는 체장군 I에 통합된 체장군의 수를 말한다.

4.2. 수컷

수컷의 성성숙에 대한 평가는 고환의 무게와 조직학적 검사를 통하여 이루어졌다(Perrin and Donovan, 1984; Akin et al., 1993). 우측 고환(testis)에서 부고환(epididymis)을 분리한 후 캘리퍼스를 이용하여 0.1 cm까지 3면의 직경을 측정하고, 0.1 g 까지 무게를 기록하였다. 체장 120 cm 이상의 개체에 대하여 고환 중앙에서 조직 1 cm³을 잘라내어 70% 에탄올에 고정시키고, microtome을 이용하여 5 μ m로 절단한 뒤 haematoxylin-eosin으로 염색하여 조직 표본을 만들었다. 현미경(올림푸스 BX50)으로 $\times 100$, $\times 200$, $\times 400$ 배율로 검경하였다. 디지털 카메라(MoticamPro 205A)로 촬영한 후, 분석 프로그램(Motic Images Plus 2.0)을 이용하여 정세관(semiferous tubule) 내에서 정자형성과정(spermatogenesis)을 확인하고 정세관의 직경을 측정하였다. 직경은 정세관의 기저막이 아닌 정원세포(spermatogonial cell)의 가장자리를 기준으로 이루어졌으며 가장 온전한 형태의 정세관의 직경을 최소 3개 이상 측정하여 평균값을 취하였다. 암컷과 마찬가지로 SOFI algorithm을 이용하여 평균 ASM 과 LSM을 추정하였다.

수컷의 성성숙에 대한 정의는 암컷보다 다소 복잡하다. Hohn et al. (1985)은 조직 표본에서 정자(spermatozoa)의 확인과 정세관(semiferous tubule)의 직경으로 성성숙을 3단계-immature, pubertal, mature-로 나누었다. Perrin et al. (1977)은 고환과 부고환의 무게로 성성숙을 판단하였으며, Marsh and Kasuya (1984)는 성숙한 정세관의 비율로 성성숙의 단계를 구분하였다. 이를 토대로 본 연구에서는 다음과 같이 4단계로 수컷 상괭이의 성숙 단계(SMR)를 정의 하였다. 1단계는 미성숙한 개체를 말하는데, 고환의 크기가 작고, 간질 조직이 많으며 비교적 작고 둥근 정세관 내에 오직 정원세포(spermatogonia)만 존재하여 정자형성과정을 전혀 확인할 수 없는 경우를 말한다(immature, Fig. 5A). 2단계는 성성숙이 진행되는 단계로서 미성숙 개체에 비하여 정세관 직경과 고환의 크기가 커지고 간질 조직이

비교적 줄어들며 정세관 내에서 정원세포 이외에 정모세포를 확인함으로써 정자형성과정의 일부 단계를 확인할 수 있지만 정세포(spermatid)는 없는 경우를 말한다(pubertal, Fig. 5B). 다시 말해 고환의 발달이 진행되고는 있으나 수태 능력은 없는 개체를 뜻한다. 3단계는 고환이 발달하여 정세관 내에 정자를 확인할 수는 있지만 모든 정세관이 발달하지는 않은 단계, 즉 50% 이상의 정세관이 성숙한 경우를 말한다(early mature, Fig. 5C). 마지막 4단계는 완전히 성숙한 단계로서 고환의 크기가 눈에 띄게 커지고 정세관 직경도 현저히 증가하며 간질조직이 적고, 모든 정세관 내에서 전단계의 정자형성과정을 확인할 수 있는 경우를 말한다(mature, Fig. 5D).



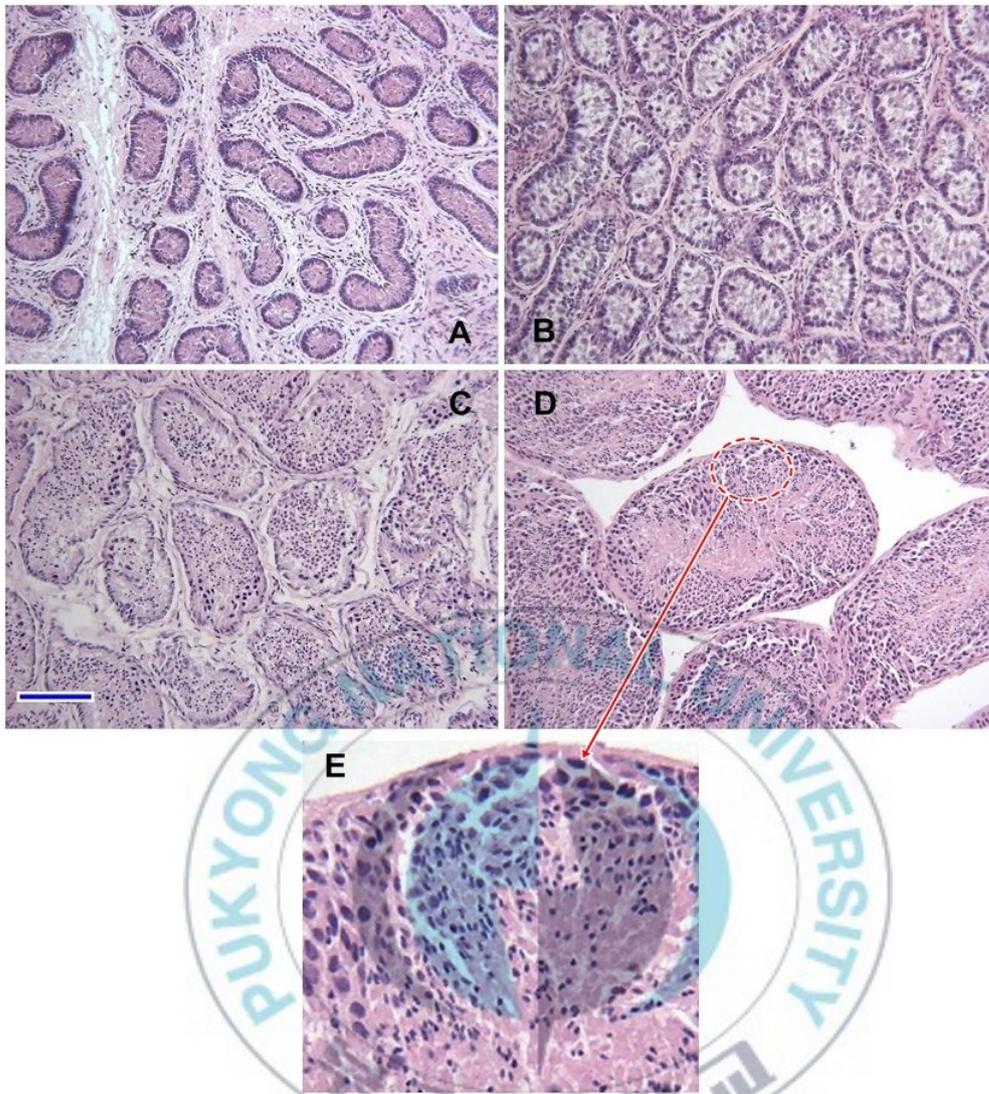


Fig. 5. Changes in histological appearance of the finless porpoises. A: immature; B: pubertal; C: early mature; D: mature; E: higher magnification of mature tubule. A-D were taken at the same magnification x200 and a scale bar in blue is 200 μ m.

Ⅲ. 결 과

1. 연령과 성장

1. 1. 연령과 체장

총 111마리 상괭이 치아의 단면 관찰을 통한 연령사정은 치아가 마모되고 훼손이 심했던 샘플번호 NA10-076(성숙한 수컷)을 제외한 110마리에 대하여 이루어졌다. 상괭이의 연령과 체장 분포는 Fig. 6과 같다. 관측된 최소 연령은 1세였고 연륜(GLGs)의 수가 가장 많은 개체는 19세로 추정되었다. 성별 연령 분포를 살펴보면 암컷은 1-16세, 수컷은 1-19세로 나타났다. 암수 모두에서 3세 이하의 어린 개체의 비율이 전체 샘플 중 약 59%로 매우 높았으며 10세와 18세 연령군으로 추정되는 개체는 없었다. 10세 이상의 연령군에 수컷은 12마리가 있었지만 암컷은 단 3마리로 비교적 고연령군에서 수컷의 성비가 높았다. 체장 분포는 87.9-229 cm의 범위를 나타냈고 이 중 암컷은 92.6-149.7 cm, 수컷은 87.9-229 cm의 분포를 보였다.

암수 모두 120cm 이하의 비율이 전체의 약 54%로 매우 높았으며 체장이 커질수록 불규칙한 분포를 보였는데, 체장 150 cm 이상의 개체 중 암컷은 없었으나, 수컷은 14마리이며, 여기에 160 cm 이상의 개체 4마리가 포함된다. 170 cm에서 220 cm 사이에 속하는 개체는 없었으며, 다른 개체에 비하여 예외적으로 큰 수컷 개체의 체장이 229cm로 측정되었는데, 이는 암수를 통틀어 이번에 채집된 샘플 중 최대 체장이었으며, 일본과 중국을 포함하여 현재까지 발표된 상괭이의 체장 중 가장 높은 값이다. 이 수컷은 8세로 추정되었으며 체중은 123kg이었다.

전체 표본의 연령군별 체장 범위를 Table 1에 나타내었다. 연륜을 구성하는 층 중 불투명층만 보일 경우에 0.5 GLG로 계산하였고 반올림하여 연령

군에 포함시켰다. 예를 들면 연령군 2세는 1.5개의 연륜이 침착된 개체부터 2개의 연륜이 발견된 개체까지 포함한다.



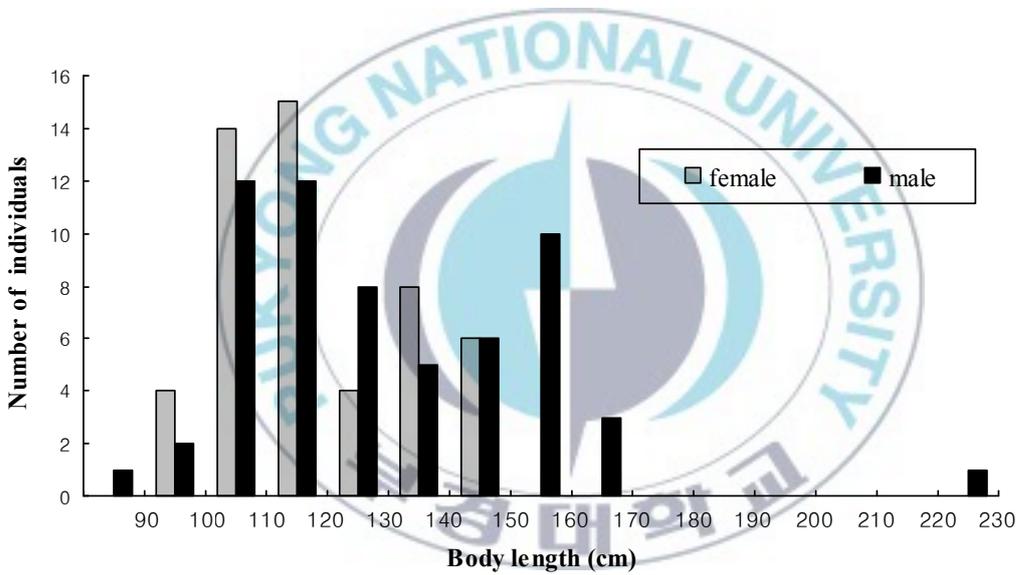
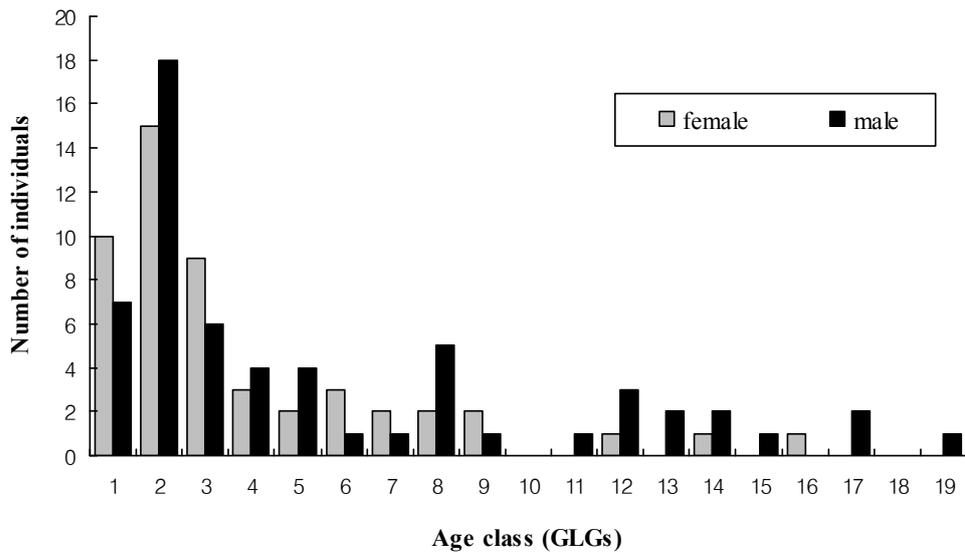


Fig. 6. Age class and body length frequency distribution of the finless porpoises.

Table 1. Age class and body length range of the finless porpoises

Age class	Pooled		Female		Male	
	N	BL (cm)	N	BL (cm)	N	BL (cm)
1	17	87.9-106.5	10	95.5-103.6	7	87.9-106.5
2	33	92.6-141.2	15	92.6-141.2	18	95.6-117.6
3	15	108.1-126.4	9	108.1-120.7	6	114.9-126.4
4	7	114.8-154.6	3	114.8-122.5	4	114.8-154.6
5	6	125.4-140.2	2	125.4-136.0	4	128.4-140.2
6	4	131.6-138.4	3	131.6-138.4	1	134.5
7	3	134.5-137.6	2	134.5-137.6	1	134.7
8	7	135.7-229	2	135.7-137.9	5	141.3-229
9	3	136.2-149.5	2	142.5-149.5	1	136.2
10	0	—	0	—	0	—
11	1	164.0	0	—	1	164
12	4	142.6-163.4	1	142.6	3	153.4-163.4
13	2	145.5-150.9	0	—	2	145.5-150.9
14	3	143.5-153.3	1	143.5	2	150.5-153.3
15	1	153.3	0	—	1	153.3
16	1	149.7	1	149.7	0	—
17	2	151.4-168.4	0	—	2	151.4-168.4
18	0	—	0	—	0	—
19	1	158.8	0	—	1	158.8
Total	110		51		59	

· N: number of individuals; BL: body length.

1. 2. 성장

체장과 체중

임신한 암컷 6마리를 제외한 체장과 체중에 관한 표본의 조성표는 Table 2와 같다. 평균 체장과 평균 체중 모두 수컷이 암컷보다 높았으며, 분포 범위 또한 넓었다. 암수별 체장-체중 관계는 선형최소제곱법(lineal least square method) 으로 추정하였으며, 관계식은 각각 다음과 같다.

$$\text{Female} \quad : \quad BW=0.0047BL^{1.8185} \quad (R^2=0.856)$$

$$\text{Male} \quad : \quad BW=0.002BL^{2.0014} \quad (R^2=0.9565)$$

여기서 BW는 체중, BL는 체장, R^2 은 결정 계수를 뜻한다. 이를 그래프로 나타내 보면 Fig. 7과 같다.

성장식

연령별 평균 체장 자료를 이용하여 von Bertalanffy 성장식의 매개변수들을 Walford의 정착도법으로 추정하였으며, 추정된 성장식은 다음과 같다.

$$\text{Female} \quad : \quad L_t=144.41(1-e^{-0.351(t+1.83)})$$

$$\text{Male} \quad : \quad L_t=180.37(1-e^{-0.17(t+3.2)})$$

이론적인 최대체장은 암컷이 144.41 cm, 수컷이 180.37 cm로 나타났으며 이를 그래프로 나타내면 Fig. 8과 같다. 추정된 성장곡선을 살펴보면 암수 모두 약 4세에 약 130 cm 체장에 도달하고 이후부터 증가폭이 감소하며 수컷이 암컷보다 체장이 크다.

Table 2. Body length, body weight and sex ratio of the finless porpoises

	N	Body length (cm)			Body weight (kg)			Sex ratio
		Min.	Max.	Mean (SD)	Min.	Max.	Mean (SD)	
Female	45	92.6	149.7	114.66 (14.64)	17.6	48	26.83 (7.0)	42%
Male	60	87.9	229	128.39 (24.19)	15.4	123	34.69 (15.97)	58%

· SD: Standard deviation



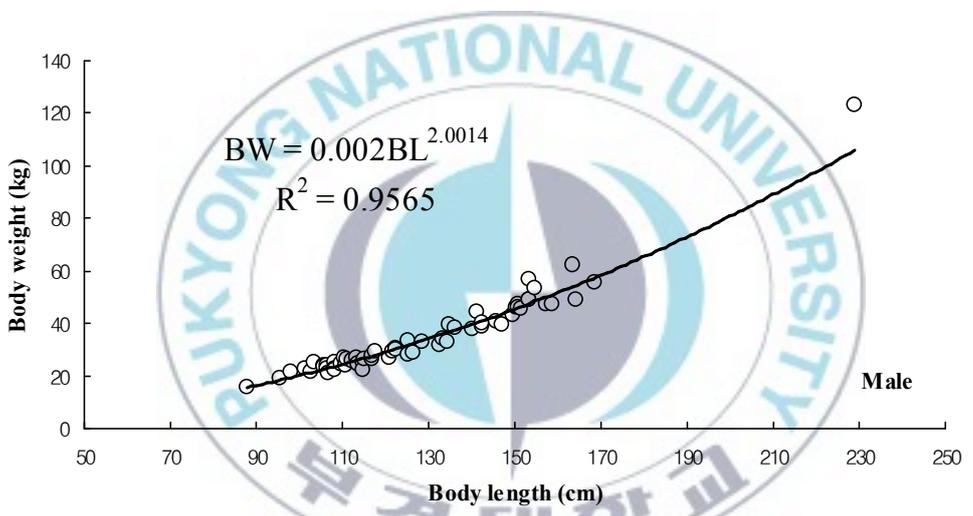
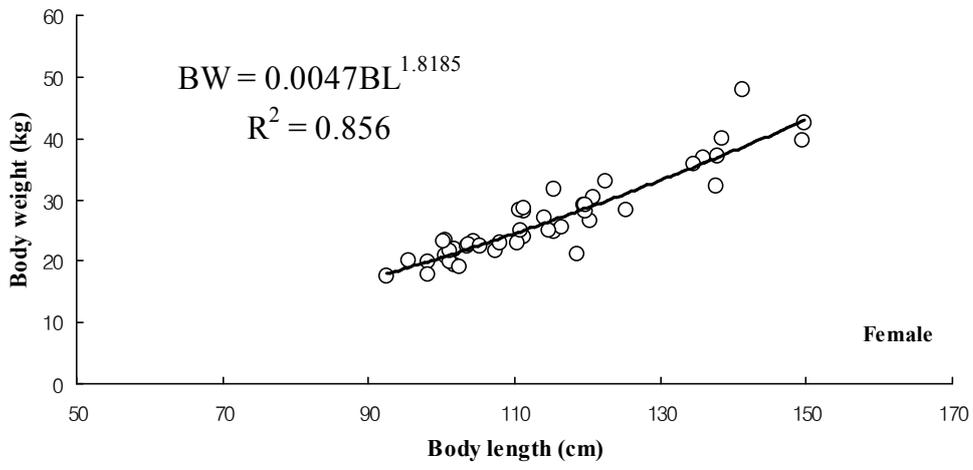


Fig. 7. Relationship between body length and body weight of the finless porpoises.

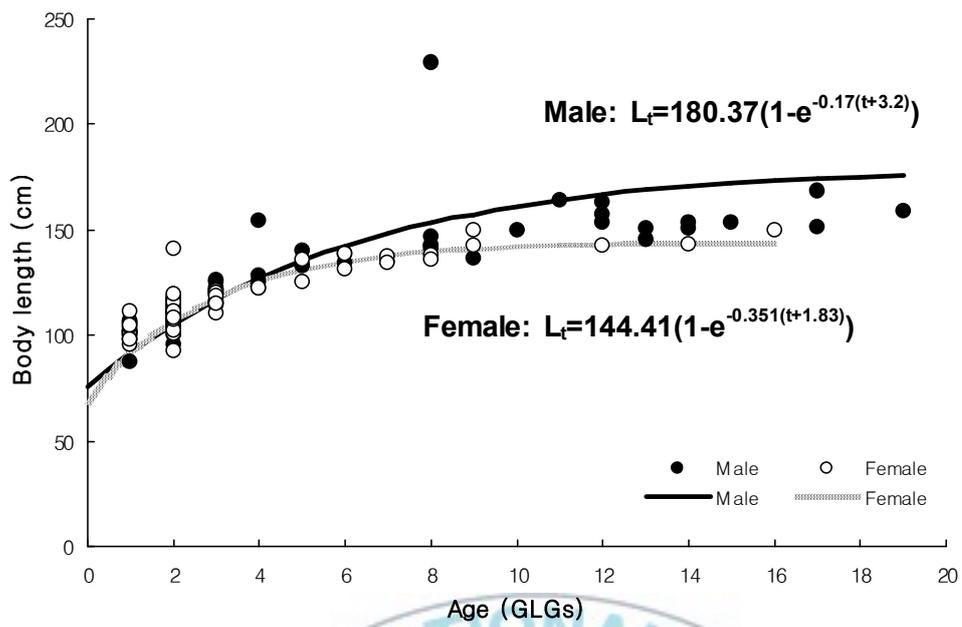
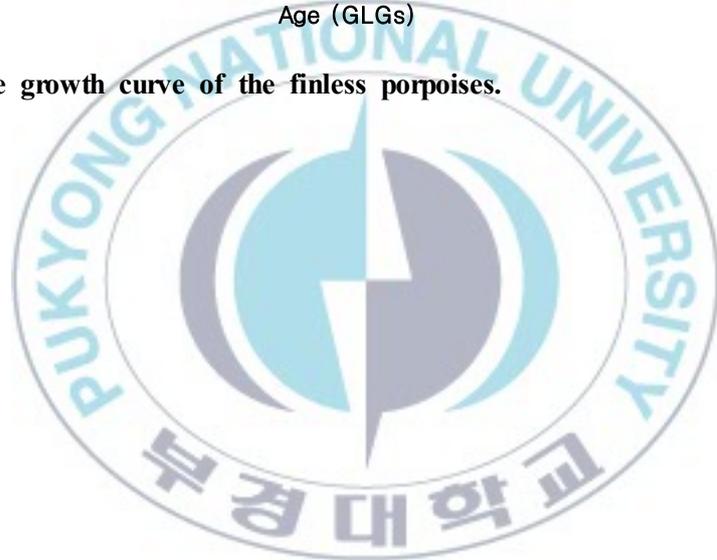


Fig. 8. The growth curve of the finless porpoises.



2. 성성숙

2. 1. 암컷

앞서 언급한 바와 같이 임신의 여부와 관계없이 배란의 흔적인 백체(corpus albicans)와 임신 중임을 시사하는 황체(corpus luteum)의 유무로 성성숙을 판정하였다. 전체 암컷 51마리 중 미성숙 39마리, 성숙 12마리로 성숙개체가 전체의 약 24%에 달하지만 이것은 어린 개체를 배제했던 샘플 수집의 문제점으로 상평이 전체 암컷의 조성을 대표할 수 없다. 암컷의 연령, 체장별 성성숙 분포도는 Fig. 9와 같다.

4세 이하의 암컷 37마리는 모두 SMR 1단계(immature)에 속하는 미성숙 개체였으며 6세 이상의 개체는 모두 3단계(mature)에 속하는 성숙한 개체였다. 5세로 추정된 2마리의 암컷의 좌측 난소에서 난포 발달의 최종 단계인 그라프 난포(Graafian follicle)를 포함하여 많은 수의 성숙한 난포들이 발견되었고 좌측 난소의 무게가 휴지기의 성숙 개체의 난소 무게와 비슷한 2.2 g과 2.8 g으로 나타나 성성숙이 이루어지고 있는 2단계(pubertal)로 구분하였다. 성숙한 난포들이 많이 발견되었다는 말은 곧 배란이 되고 임신 할 수 있다는 뜻이지만 현재 배란이나 임신의 흔적이 없기 때문에 엄밀히 말하면 미성숙에 포함된다. 6세로 추정되는 3마리는 모두 성숙하였는데 그 중 2마리는 임신 중이었으며 태아의 체장이 각각 66 cm와 71.3 cm로 나타났다. 임신기간을 10.6-11.2개월로 가정하고(Kasuya et al, 1986) 태아의 연령을 추정하면 최소 임신 8개월 이상으로 추정할 수 있다. 나머지는 좌측 난소에서는 이제 막 퇴화하기 시작한 황체가 발견되었고 자궁은 매우 커져 있었으며 어미는 수유 중이어서 출산한 지 얼마되지 않았음을 알 수 있었다. 즉 6세 연령에 속하는 이 3마리는 5세 때 이미 성숙하여 임신을 했던 것으로 볼 수 있다.

SOFI method를 이용하여 추정된 암컷 상평이의 성성숙에 도달하는 평균 연령(age at sexual maturity, ASM)과 평균 체장(length at sexual

maturity, LSM)은 각각 5.4세와 134.52 cm로 나타났다(Table 3). 본 연구에 사용한 표본 중 5세 이하의 개체에서 성숙한 개체는 발견되지 않았으나 앞에서 6세 연령의 3마리는 최소 5세 이전에 성숙하였음을 알 수 있었으므로 5세 연령 개체 5마리 중 2마리가 미성숙하고 3마리는 성숙했다는 가정 하에 SOFI method를 적용해보면 평균 ASM은 5.4세($S^2=0.06$)가 된다.

가장 작은 성숙개체의 체장은 131.6 cm이며, 가장 큰 미성숙 개체의 체장은 2세 연령의 141.2 cm였다. 따라서 암컷은 체장 131.6-141.2 cm 사이에 성숙에 도달하는 것으로 생각할 수 있다. 미성숙 개체와 성숙 개체가 모두 존재하는 체장군은 130-140, 140-150 cm 2개 군이었으며 SOFI method를 적용하여 구한 평균 LSM은 134.52 cm ($S^2=0.434$)로 추정되었다.

난소

성숙도에 따른 난소의 특징은 다음과 같다. 1단계의 미성숙한 개체 37마리의 좌측 난소의 평균 무게는 0.26 g이었고, 임신 개체를 제외한 3단계의 성숙한 개체에서는 3.35 g으로 나타나 약 13배의 차이를 보였다. 성숙에 도달하는 것으로 추정되는 연령 약 5세를 전후하여 뚜렷한 무게의 증가가 확인되었다. 그러나 이미 성숙한 개체 내에서는 연령에 따른 난소 무게의 증가는 보이지 않았으며 임신 황체가 존재할 경우에 증가폭이 두드러졌다(Fig. 10). 난포가 발달하기 시작한 2단계(pubertal) 4마리와 완전히 성숙한 3단계(mature) 10마리를 더해 총 14마리의 난소 중 샘플 수집 과정에서 우측 난소를 분실한 2마리를 제외한 나머지 12마리의 난소 검사 결과 모두 좌측 난소가 우측 난소에 비해 크고 백체의 수도 많았으며 황체는 모두 좌측 난소에서 발견되었다. 성숙한 개체 10마리 중 우측 난소에서 백체가 발견된 경우는 단 4마리 뿐이었다.

전체 백체와 황체를 합한 수 또한 연령에 따른 증가를 보이지 않았지만, 임신 개체에서는 다소 낮은 수를 기록하였다(Fig. 11). 임신 중이었던 6마리의 상괭이 중 가장 많은 백체를 가지고 있던 개체는 12세로 추정된

NA10-067번이었는데 좌측에 5개, 우측에 1개가 발견되어 임신 개체 중 우측 난소에 백체가 발견된 유일한 경우였다.

12마리의 성숙한 암컷에 대한 생물학적 특성치를 Table 4에 정리하였다. 이 중 임신 중인 개체 5마리, 수유 중인 개체 2마리, 임신 중인 동시에 수유 중인 개체 1마리, 임신 중도 수유 중도 아닌 개체 4마리였다. 임신 중인 개체는 전체 성숙 개체 12마리 중 6마리로 50%의 임신율을 보였다.



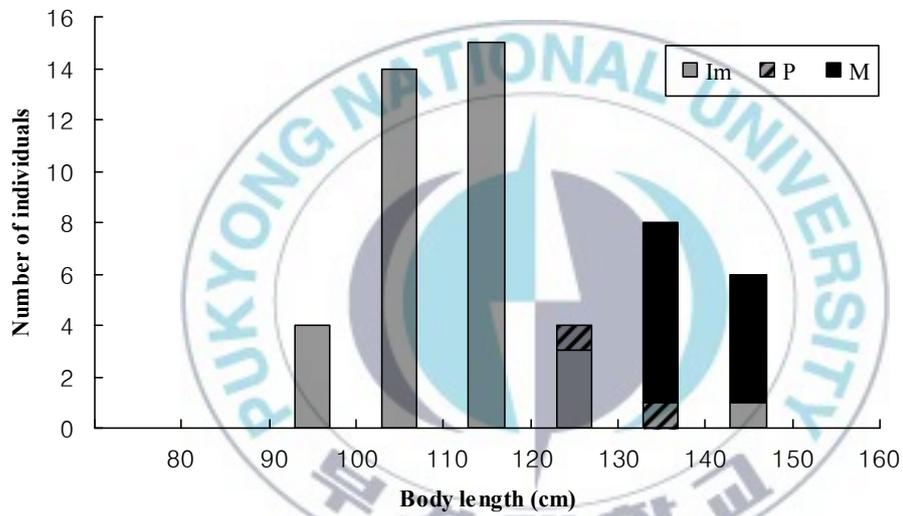
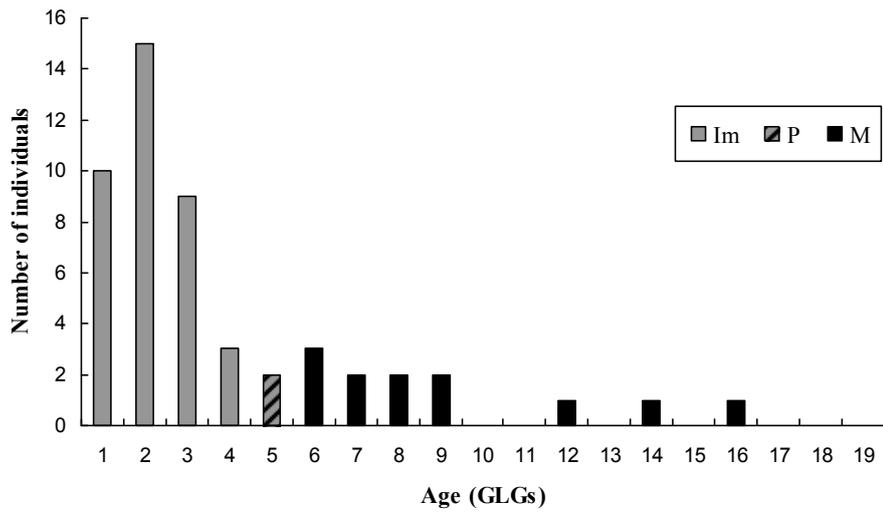


Fig. 9. Age and body length frequency distribution of the female finless porpoises (Im, P and M represent immature, pubertal and mature, respectively).

Table 3. The sum of fraction immature (SOFI) method for estimating average age and length at sexual maturity in the female finless porpoises

Age class (year)	N_i	I_i	M_i	p_i	q_i	$(p_i q_i) / N_i - 1$		
4	3	3	0	1	—	—		
5	5	2	3	0.4	0.6	0.06		
6	0	0	0	—	—	—		
ASM = 5 + 0.4 = 5.4 y ($S^2 = 0.06$)								
BL class (cm)	N_i	I_i	M_i	p_i	q_i	x_i	$p_i x_i$	$(p_i q_i) x_i / N_i - 1$
120-130	4	4	0	—	—			
130-140	8	1	7	0.125	0.875	10	1.25	0.1563
140-150	6	1	5	0.1667	0.8333	10	1.667	0.2778
LSM = 131.6 + 1.25 + 1.67 = 134.52 cm ($S^2 = 0.1563 + 0.2778 = 0.434$)								

Where, N_i : number of specimens in age and body length (BL) class I; I_i : number of immature specimens in age and BL class I; M_i : number of mature specimens in age and BL class I; p_i : fraction of immature specimens in age and BL class I; q_i : fraction of mature specimens in age and BL class I; x_i : number of BL classes combined in BL class I

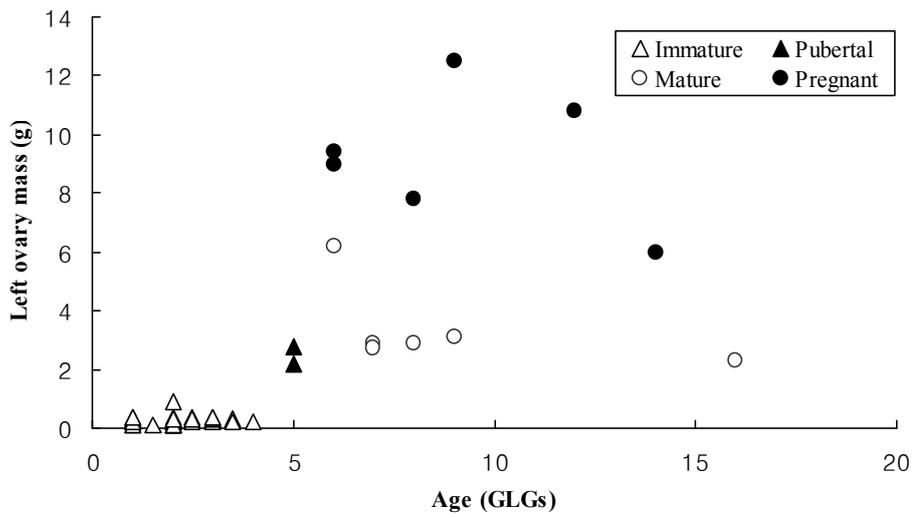


Fig. 10. Relationship between left ovary mass and age of the female finless porpoises.

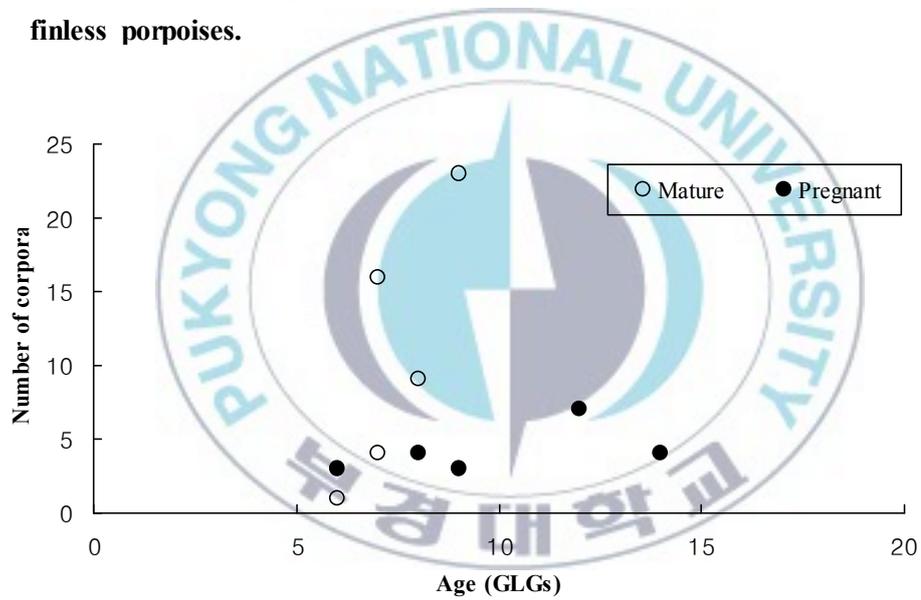


Fig. 11. Relationship between number of corpora and age of the female finless porpoises.

Table 4. Biological information of the mature females

Specimen number	BL (cm)	BW (kg)	Age (GLGs)	Ovary mass (g)		No. of CAs		No. of CLs		status	Fetus		
				L	R	L	R	L	R		BL (cm)	BW (kg)	sex
NA10-014	142.5	52.0	9	12.5	0.8*	2	0	1	0	Pr	70.8	5.58	F
NA10-020	138.4	39.8	6	6.2	0.8*	1	0	0	0	La			
NA10-117	131.6	48.0	6	9.4	0.6*	2	0	1	0	Pr	66.3	4.98	M
NA10-144	137.6	32.1	7	2.7	0.6*	4	0	0	0	Re			
NA10-145	134.5	35.7	7	2.9	2.7	13	3	0	0	Re			
NA10-147	143.5	45.9	14	6	0.6*	3	0	1	0	PL	64.8	5	M
NA10-067	142.6	64.0	12	10.8	0.8	5	1	1	0	Pr	75.8	7.44	F
NA10-068	138.4	49.0	6	9	—	1	—	1	—	Pr	71.3	6.5	M
NA10-070	137.9	37.0	8	2.9	2.2	6	3	0	0	Re			
NA10-071	135.7	48.0	8	7.8	0.8*	3	0	1	0	Pr	70.2	6.44	F
NA10-078	149.5	39.6	9	3.1	1.4	18	5	0	0	La			
NA10-079	149.7	42.6	16	2.3	—	20	—	0	—	Re			

* indicates no corpus; BL: body length; BW: body weight; L: left; R: right; CA: corpus albicans; CL: corpus luteum; Pr: pregnant; La: lactating; PL: pregnant and lactating; Re: resting.

2. 2. 수컷

60마리의 수컷을 성성속도(SMR)에 따라 구분하였다. 1단계(immature)에 속하는 미성숙 개체 32마리, 2단계(pubertal)의 개체 4마리, 3단계(early mature) 개체 2마리, 4단계(mature)의 성숙한 개체가 22마리로 나타났고, 3단계와 4단계를 성숙 개체에 포함시켜 연령별, 체장별 성성속 분포도를 그려보면 Fig. 12와 같다.

3세 이하의 모든 개체는 미성숙 하였으며 6세 이상의 개체는 모두 성숙하였다. 4세와 5세군에 성숙 개체와 미성숙 개체가 공존하는 것으로 보아 4-5세에 성성속에 도달하는 것으로 추정할 수 있었다. 암컷과 마찬가지로 SOFI method를 이용하여 수컷의 평균 ASM 값과 LSM 값을 구하였다 (Table 5). 평균 ASM은 4.75세($S^2=0.146$)로 추정되었다. 성숙한 개체 중 최소 체장은 4세로 추정된 125.3 cm였다. 가장 큰 미성숙 개체는 3.5세 연령의 154.6 cm였다. 결국 체장 125.3-154.6 cm 사이에 성성속이 이루어진다고 예측 할 수 있다. 체장 범위 120-130, 130-140, 150-160 cm 3개의 체장군에서 성숙과 미성숙 개체가 동시에 발견되었으며 추정된 평균 LSM은 133.8 cm($S^2=0.856$)으로 나타나 암컷에 비해 평균 성성속 도달 연령은 이르지만 체장은 큰 것으로 나타났다.

성성속 단계별 연령, 체장, 체중, 고환 무게, 정세관 직경의 범위와 평균을 Table 6에 비교하여 정리하였다. 수컷 상행이는 성성속도에 따라 고환 무게의 확연한 차이를 보였다. 우측 고환의 무게 범위가 최소 5.6 g에서 최대 898 g의 분포를 나타내어 가장 큰 고환의 무게가 가장 작은 고환에 비해 160배 이상 무거웠다. 완전히 성숙한 4단계에 속하는 개체의 고환 무게는 271-898 g, 평균 591.56 g(SD: 160.67, n=22)을 나타냈다. 성숙 초기에 해당되는 3단계 개체는 122-143 g, 평균 132.5 g(SD: 14.84, n=2)을, 2단계 개체 17.8-58 g, 평균 42.93 g(SD: 26.49, n=4), 1단계인 미성숙 개체에서는 5.6-15.1 g, 평균 9.06 g(SD: 2.32, n=32)으로 나타나 4단계인 성숙개체 평

균과는 약 63배의 차이를 보였다(Fig 13). 정세관(seminiferous tubule) 직경에 있어서도 같은 양상을 보였다. 3단계와 4단계에 해당되는 성숙한 개체의 정세관 평균 직경은 $423.74 \mu\text{m}$ (SD: 77.93, n=24)로, 1단계와 2단계를 포함한 미성숙 개체의 평균 직경 $119.98 \mu\text{m}$ (SD: 26.66, n=8)보다 약 3.5배 높았다.

연령에 따른 우측 고환 무게의 분포도는 Fig. 14와 같았다. 고환의 무게가 수컷의 성성숙 도달 연령으로 추정되는 약 4세에서 5세 사이에 급증하는 것을 알 수 있었다.

연령에 따른 정세관 직경의 분포는 Fig. 15와 같았으며, 고환 무게와 마찬가지로 성성숙 도달 시기 즈음에 확연한 증가를 보였다.

고환 무게에 따른 정세관 직경의 변화는 Fig. 16과 같았다. 고환의 무게와 정세관의 직경은 뚜렷한 양의 상관관계를 보였는데 이는 정자형성과정이 활발하게 진행되고 있는 개체의 고환이 크고 무겁다는 것을 의미한다.

수컷의 연령군별 체장, 체중, 고환의 무게와 정세관 직경의 범위와 평균값을 Table 7에 비교 정리하였다. 정세관은 냉동 상태를 거치게 되면 조직 표본에 허상이 생기거나 직경이 감소할 수 있는데(Neimanis et al. 2000) 이번 표본은 기간은 다르지만 모두 냉동 보관된 적이 있었기 때문에 결과에 나타난 정세관 직경은 실제보다 적게 나타났을 수 있다.

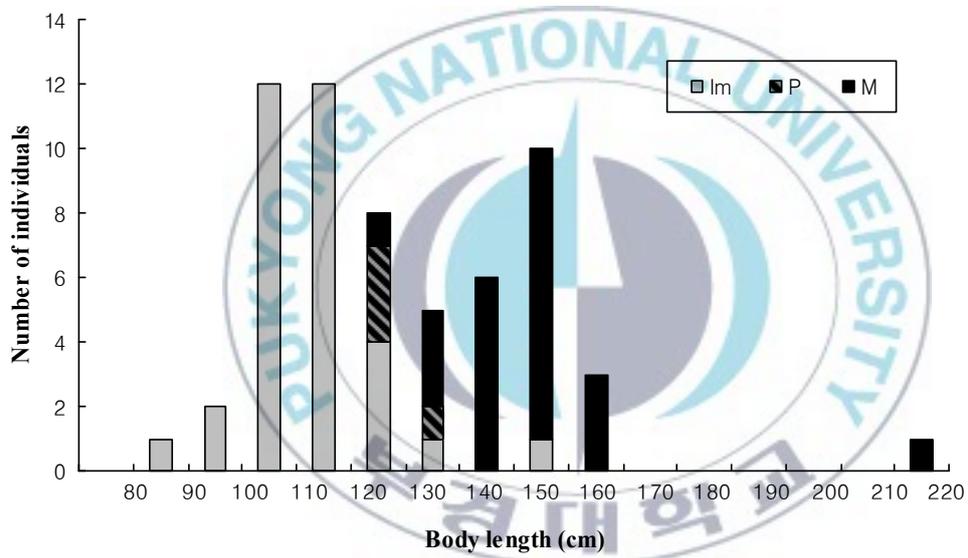
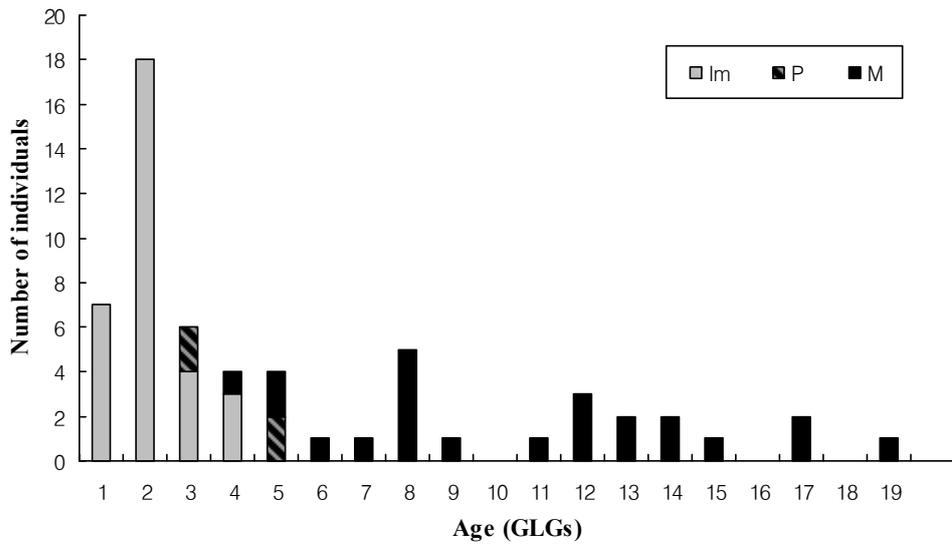


Fig. 12. Age and body length frequency distribution of the male finless porpoises (Im, P and M represent immature, pubertal and mature, respectively).

Table 5. The sum of fraction immature method for estimating average age and length at sexual maturity in the male finless porpoises

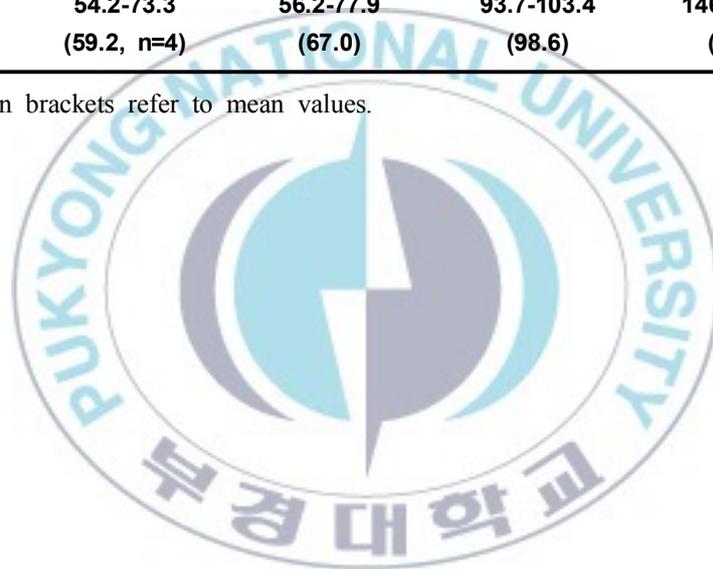
Age class (year)	Ni	li	Mi	pi	qi	(pi qi)/Ni-1		
3	6	—	6	1	0	—		
4	4	1	3	0.25	0.75	0.063		
5	4	2	2	0.5	0.5	0.083		
6	1	1	0	1	0	—		
ASM = 4 + 0.25 + 0.5 = 4.75 y (S² = 0.063 + 0.083 = 0.146)								
BL class (cm)	Ni	li	Mi	pi	qi	xi	pixi	(pi qi)xi / Ni-1
110-120	12	12	0	1	0	—	—	—
120-130	8	7	1	0.875	0.125	10	8.75	0.156
130-140	5	2	3	0.4	0.6	10	4	0.6
140-150	7	—	7	0	1	10	0	0
150-160	10	1	9	0.1	0.9	10	1	0.1
160-170	3	—	3	0	1	—	—	—
LSM = 121 + 8.75 + 4 + 1 = 133.8 cm (S² = 0.156 + 0.6 + 0.1 = 0.856)								

Where, Ni: number of specimens in age and body length (BL) class I; li: number of immature specimens in age and BL class I; Mi: number of mature specimens in age and BL class I; pi: fraction of immature specimens in age and BL class I; qi: fraction of mature specimens in age and BL class I; xi: number of BL classes combined in BL class I

Table 6. Reproductive parameter comparison by sexual maturity of the male finless porpoises

	Immature	Pubertal	Early mature	Mature
n	32	4	2	22
Age (GLGs)	1-3 (2.1)	3-5 (4)	4-6 (5)	5-19 (11.2)
Body length (cm)	87.9-125.4 (111.5)	121.5-132.7 (127.3)	125.3-134.5 (129.9)	133.3-229 (153.2)
Body weight (kg)	15.4-30.8 (25.5)	29.0-32.8 (30.8)	32.8-33.7 (33.3)	34.0-123.0 (49.0)
Rt. testis mass (g)	5.6-15.1 (9.06)	17.8-72.4 (42.93)	122-143 (132.5)	271-898 (590.3)
Tubule diameter (μm)	54.2-73.3 (59.2, n=4)	56.2-77.9 (67.0)	93.7-103.4 (98.6)	146.1-371.8 (264.5)

• The numbers in brackets refer to mean values.



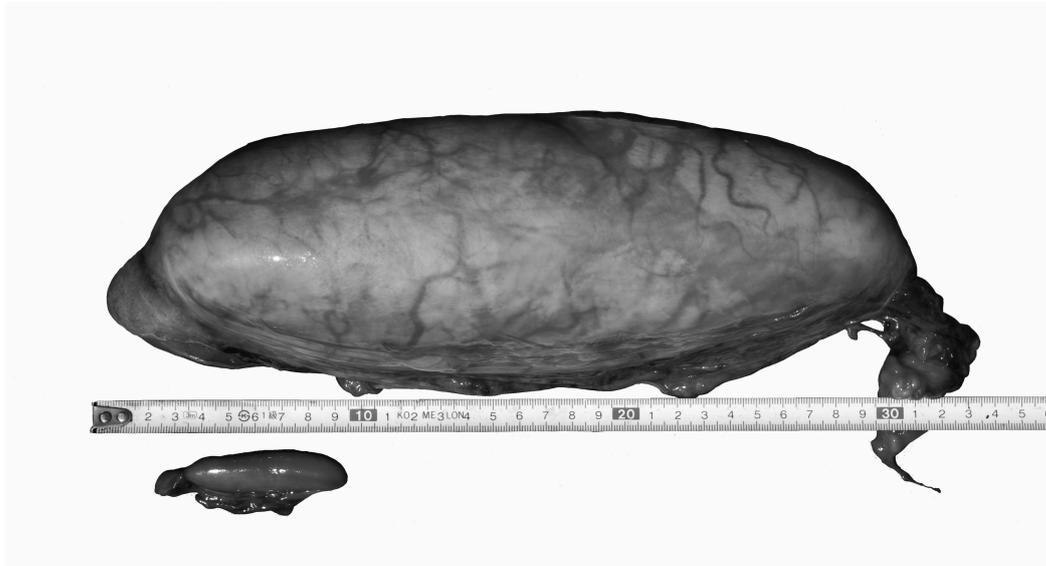


Fig. 13. Comparison of testis size between mature and immature male finless porpoises.



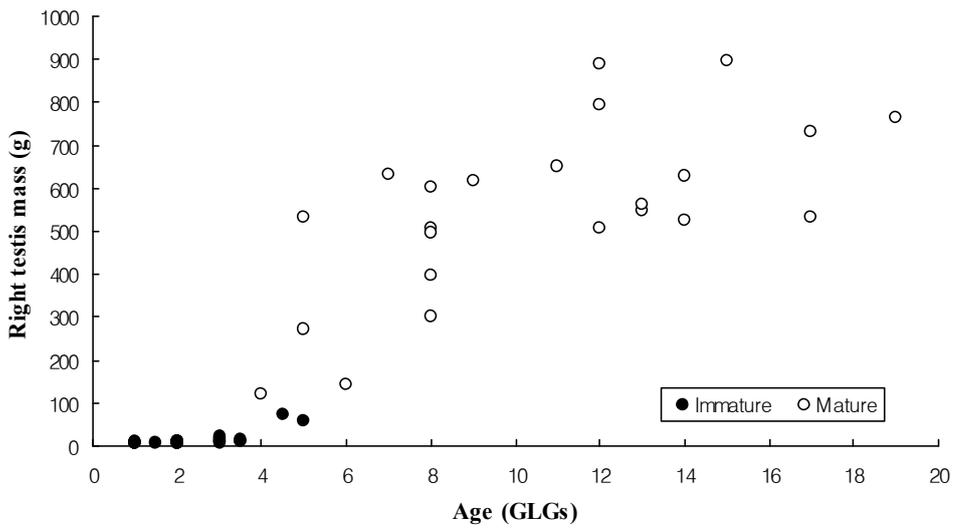


Fig. 14. Right testis mass versus age of the finless porpoises.

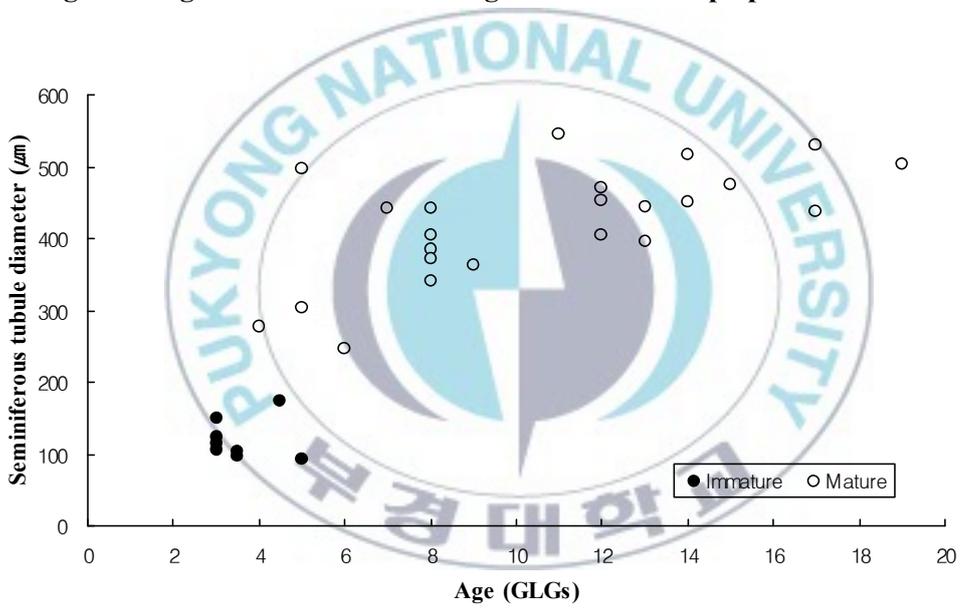


Fig. 15. Diameter of seminiferous tubule versus age of the finless porpoises.

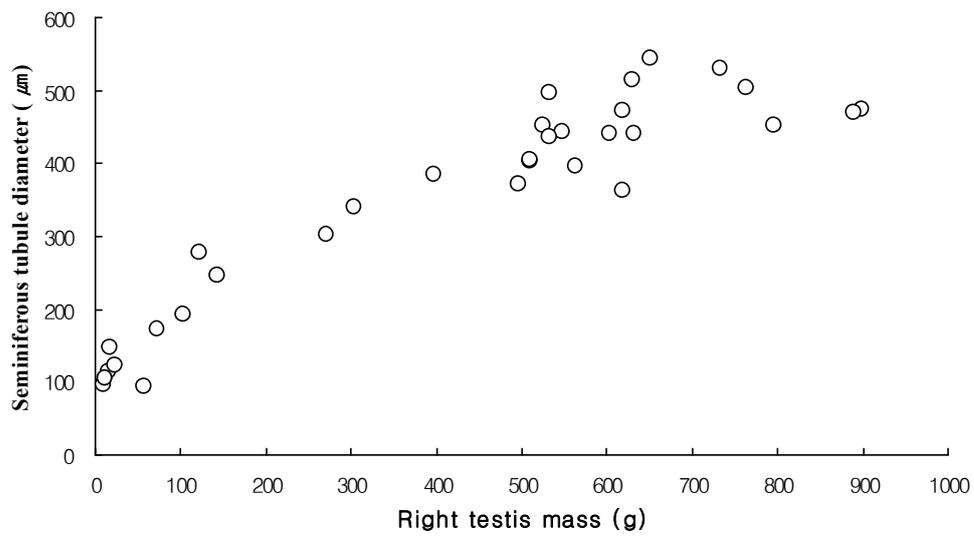


Fig. 16. Diameter of seminiferous tubule versus right testis mass of the finless porpoises.

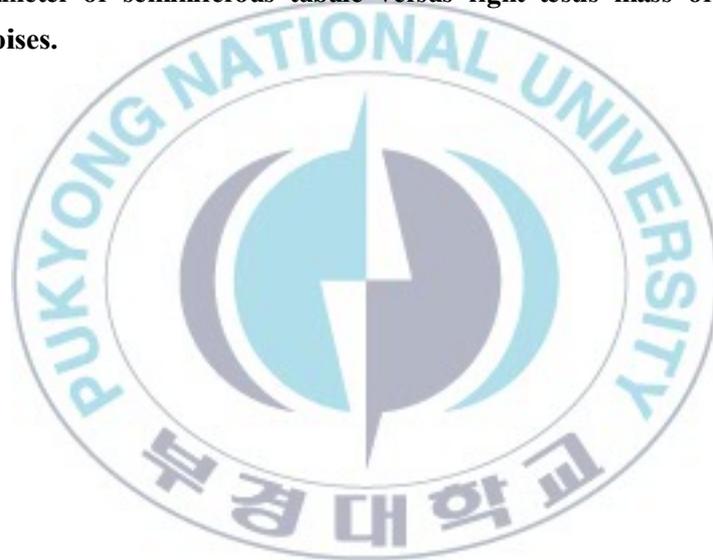


Table 7. Comparison, by age and body length, of right testis mass and seminiferous tubule diameters (Mean values shown in brackets)

Age (GLGs)	N	Body length (cm)	Body weight (kg)	Right. testis mass (g)	Tubule diameter (μm)
1	7	87.9-106.5 (101.1)	15.4-24.0 (21.7)	5.6-10.1 (7.4)	—
2	18	95.6-117.6 (110.2)	19.4-29.2 (24.9)	5.8-12.7 (8.9)	—
3	6	114.9-126.4 (121.9)	22.0-30.0 (27.5)	6.3-23.5 (14.1)	54.3-59.6 (37.5, n=4)
4	4	114.8-154.6 (129.2)	25.2-53.3 (35.8)	9.6-122 (39.2)	54.2-93.7 (55.3, n=3)
5	4	128.4-140.2 (133.7)	32.0-37.6 (34.1)	5.8-532.3 (233.4)	77.9-236.7 (133.7)
6	1	134.5	32.8	143	103.4
7	1	134.7	39.6	632	268.8
8	5	141.3-229 (160.4)	39.0-123 (57.0)	303-603 (461.8)	163.1-283.0 (226.4)
9	1	136.2	38	618	264.1
10	1	149.7	43.0	103.1	98.6
11	1	164	49.3	650	287.8
12	3	153.4-163.4 (158.1)	47.2-62.0 (52.7)	509-890 (731.3)	237.9-371.8 (314.0)
13	2	145.5-150.9 (148.2)	40.9-46.0 (43.5)	548-563 (555.5)	244.8-253.3 (249.1)
14	2	150.5-153.3 (151.9)	46.0-49.0 (47.5)	524-629 (576.5)	240.2-277.2 (258.6)
15	1	153.3	57	898	369.4
17	2	151.4-168.4 (159.9)	45.3-55.4 (50.4)	533-732 (632.5)	243.2-318.6 (280.9)
19	1	158.8	47	763	322.9

IV. 고 찰

1. 연령과 성장

본 연구에서는 우리나라 서해 연안에 분포하는 상괭이의 성숙속을 파악하고자 하였다. 그리고 이를 위해 필요한 연령과 성장에 관한 특징들도 함께 살펴보았다. 이용된 표본은 2010년 3월부터 6월까지 약 4개월에 걸쳐 서해 연안의 새우잡이 안강망에 혼획된 개체들을 식용으로 거래되기 전 따로 중매인에게 의뢰하여 수집하였다. 이러한 표본수집방식은 혼획된 개체 중 상품가치가 없는 어린 상괭이를 중매인이 구입하지 않기 때문에 어린 개체의 시료채집이 불가능하다는 한계가 있었다.

수집된 샘플 중 최소 체장인 87.9 cm는 일본과 중국에서 발표된 출생 시 체장인 71.5-84 cm(일본 Kyushu 지역); 70-75 cm(중국 남부 지역)을 훨씬 웃도는 수치이며(Shirakihara et al., 1993; Jefferson et al., 2002) 이번 샘플 중 90 cm에 미치지 않는 유일한 개체로 연령사정 결과 1세로 밝혀졌다. 일반적으로 상괭이의 신생아(neonate)는 몇 가지 특징을 가지는데, 위턱의 수염, 태아주름(fetal folds), 배꼽잔존(umbilical remnant) 등이다(Shirakihara et al., 1993). 이러한 특징을 보이는 개체는 치아를 통한 연령사정을 통해서도 신생아선(neonatal line, NNL) 외에는 연륜(GLGs)을 확인할 수 없기 때문에 0세로 나타난다. 그러나 본 연구에서 그러한 특징을 가진 신생아 개체를 찾을 수 없었으며 연령 사정 결과에서도 0세로 추정되는 개체는 한 개체도 발견되지 않았다. 신생아에 대한 정보는 번식에 관련된 특성치들 즉, 임신 기간, 출산 시기와 태아의 성장률 등의 추정에도 필요하지만 그와 더불어 전체 성장식을 추정하는 데도 없어서는 안 될 요소이다. 결국 성장식 추정에 필요한 0세 때의 체장 정보는, 고래연구소에 보관되어있던 태아의 자료를 참고하였다. 이 상괭이는 2007년 4월 부산에서

분만 중에 좌초되어 태아의 꼬리부분이 이미 바깥으로 나와 있었기 때문에 정확한 출산 시 체장 정보를 제공해줄 수 있었다. 이 태아의 체장은 82.7 cm이었다. 이처럼 어린 상괭이의 시료 수집의 어려움 외에도 어업이 금지되어 혼획수가 현저히 줄어드는 7월 이후에도 시료 채집이 어려워 실제 연령과 체장 조성에 대한 현황을 반영하지는 못했지만 연령과 체장에 관한 수치들에서 몇 가지 특징적인 모습을 찾을 수 있었다.

첫째, 전체적으로 연령과 체장 값이 높은 개체가 드물었다. 전체 111마리의 표본 중 1-3세에 속하는 연령의 개체가 전체의 약 59%를 차지했으며, 5세 이하의 연령의 개체가 무려 70%를 넘었다. 거래가 되지 않아 혼획되자마자 버려지는 어린 개체들이 많은 것을 고려하면 혼획되는 어린 개체의 수는 이보다 훨씬 더 많을 것으로 추정된다. 111마리 중 성숙 개체의 수는 암컷 12마리, 수컷 25마리였다. 그 중 전체 암컷의 최대 체장이 149.7 cm 였으며, 수컷의 경우 229 cm였단 한 마리를 제외하면 최대 체장은 168.4 cm였다. 그러나 최대 체장 개체를 제외한 나머지 성숙 개체들의 체장은 일본과 중국에 비해 수치가 낮았다. 또한 최고 연령이 19세로 나타나 일본 23세, 중국 남부 33세에 비하여 낮았다(Kasuya et al, 1986 ; Furuta et al., 1989 ; Shirakihara et al., 1993 ; Chang and Zhou, 1995 ; Jefferson et al., 2002).

둘째, 평균보다 체장이 월등히 컸던 개체들이 일부 관찰되었다. 먼저 샘플번호 NA10-146 암컷의 체장은 같은 2세 연령의 암컷 13마리의 평균 체장 값인 107.1 cm보다 무려 34.1 cm가 큰 141.2 cm였다. 성숙한 암컷 12마리의 평균 체장인 140.16 cm(SD: 5.59)보다도 컸다. 좌측 난소의 무게에 있어서도 같은 연령의 평균 무게인 0.2 g의 4배가 넘는 0.9 g이었으나 발달된 난포는 없어 미성숙으로 분류되었다. 또 다른 예로는 샘플번호 NA10-151 수컷으로 154.6 cm의 체장이었으며, 같은 연령군에 속한 3마리 수컷의 평균 체장인 120.8 cm보다 무려 32.8 cm가 컸다. 또한 성숙한 수컷의 평균 체장인 151.08 cm (SD: 19.33)보다 컸다. 그러나 고환의 크기와 무게, 조직학적인 검사에서 고환의 발달 상태는 완전한 미성숙이었다. 마

지막 개체는 NA10-155 수컷으로 일본, 중국, 한국을 통틀어 그동안 발표되었던 상괭이 체장 기록 중 가장 큰 체장 229 cm, 123 kg의 무게를 나타냈다. 연령 사정 결과 8세로 추정되었고 성숙한 개체였다. 두 번째로 큰 체장을 나타낸 17세의 168.4 cm 와 약 60 cm의 차이를 보였다.

우리나라 서해 상괭이와 같은 종(*Neophocaena asiaorientalis*)으로 알려진 일본과 중국의 연구에서 발표된 최대 체장은 일본 Inland Sea 의 194 cm(Kasuya et al., 1986), Kyushu 지역에서 175 cm(Shirakihara et al., 1993), 중국 Yellow Sea 연안의 227 cm(Chang and Zhou, 1995)였다. 그러므로 최대 체장 229 cm는 이 기록들과 비교하여 볼 때 압도적으로 큰 체장이라고는 볼 수 없으며 지역 어민들에 의하면 2 m 이상의 개체가 드문 경우는 아니라고 한다. 수치가 정확하지는 않으나 한국해양경찰에 의해 보고된 혼획 개체의 체장 자료를 보면 170 cm 이상의 개체들이 동해와 남해 연안에 상당수 있고, - 상대적으로 홍보가 미흡한 서해에서의 혼획 보고율이 매우 낮다(CRI, unpublished) - 이 개체들은 DNA 검사를 통한 유전 분석에서 서해의 상괭이와 같았다(Park, 2006). 이러한 사실을 감안하면 우리나라 서해 연안의 상괭이가 일본과 중국보다 작은 것은 아니며 표본에 나타났던 의문들은 단기간에 획득한 적은 표본에서 생기는 오류일 가능성이 크다. 즉 매년 봄부터 여름까지 서해 연안에서 주요 먹이활동을 하는 상괭이 무리 중 상당수의 혼획이 거듭되면서 고연령까지 성장할 수 있는 기회가 적어지면서 어린 개체들이 주를 이루게 되었거나 또는 경험있는 개체들이 혼획되지 않는 요령을 터득하여 혼획률이 낮은 것일 수도 있다. 서해 상괭이의 연령과 성장의 구조와 관계를 보다 명확하게 규명하기 위해서는 앞으로 장기간에 걸친 샘플 수집이 이루어져야 하고, 고연령의 개체를 충분히 확보하여야 하며, 지속적인 관심과 연구가 필요하다.

2. 성성숙 및 번식 특성

성성숙의 지역적 비교

상괭이는 오직 아시아에만 분포하고 해양포유류라는 특성상 신뢰할 만한 결과를 도출해 낼 정도의 시료 채집에 오랜 시간이 필요하며 특히 번식과 성성숙에 관한 연구는 죽은 개체에서 직접 시료를 얻어야 하기 때문에 더욱 어려움이 있다. 최근에는 살아있는 고래류를 대상으로 피부의 일부를 생검하여 지방층에서 추출한 성 호르몬을 검사하여 성성숙과 번식주기를 판단하는 방법이 행해지고 있는데 결과의 정확성은 떨어지지만 돌고래에 심각한 해를 가하지 않는다는 장점이 있다. 그러나 배가 다가가면 도망가 버리는 행동 특성을 가진 상괭이에는 이 방식을 적용하기 어렵다. 이처럼 상괭이는 분포하는 지역도 아시아에 국한되어있을 뿐만 아니라 시료 채집의 어려움까지 있어 현재까지 상괭이의 성성숙에 관한 연구가 수행된 지역이 많지 않다. 일본 Kyushu 지역에서 수행된 연구에서는 성성숙에 이를 것으로 예상되는 연령인 5-6세의 암컷과 4-5세의 수컷의 표본이 없었다 (Shirakihara et al., 1993). 또한 133-145 cm 체장을 가진 개체도 없었다. 결국 성성숙에 도달하는 연령과 체장은 최소 연령과 최소 체장을 가진 성숙 개체와 최대 연령과 최대 체장을 가진 미성숙 개체의 중간 범위를 명시하는데 그쳤다. 결과는 암컷 6-9세, 135-145 cm였으며. 수컷은 4-6세, 135-140 cm였다. 중국 북부연안의 상괭이의 성성숙에 관한 연구에서는 최소 암컷 5세, 132 cm, 수컷 5세, 132 cm에 성성숙에 도달한다고 하였다 (Chang and Zhou, 1995). 중국 남부의 상괭이 연구에서는 암컷 5-6세, 137-150 cm, 수컷은 4-5세, 138-154 cm에 성성숙이 이루어지는 것으로 추정되었으나 체장 120 cm 이상의 샘플 수가 암컷 6마리, 수컷 11마리로 매우 적었다(Jefferson et al., 2002).

본 연구에 쓰인 우리나라 서해의 성숙 개체 수(암컷 12, 수컷 25)도 결코 많다고 할 수는 없지만 적어도 이전 연구들에 비하여 성성숙에 도달하는

연령군과 체장군에 고르게 표본이 분포하였기 때문에 비교적 자세한 결과를 얻을 수 있었다. 한국과 중국, 일본의 지역별 차이를 Table 8에 정리하였다. 암컷 성숙 개체의 최소 연령은 지역적으로 차이가 없었으나 도달 체장은 우리나라 서해의 개체가 가장 작았다. 수컷의 경우 중국 북부 연안을 제외한 모든 지역에서 최소 도달 연령이 같았고, 도달 체장은 암컷과 마찬가지로 우리나라 서해에서 가장 작았다. 성성숙에 도달하는 연령은 같지만 체장이 작다는 말은 언뜻 우리바다에 서식하는 상괭이가 작은 것처럼 보일 수 있으나 같은 연령에서 일본과 중국보다 더 큰 체장을 가진 개체 역시 발견되었으므로 샘플의 체장 분포 범위가 더 넓었기 때문으로 보여진다. 실제 일본과 중국에서 수행된 연구에서는 샘플 부족의 문제로 평균 ASM과 LSM값을 추정하지 못하였고 보다 세밀한 비교가 어려웠다.



Table 8. Geographical variation of ASM (age at sexual maturity), LSM (Length at sexual maturity)

	Yellow Sea, Korea	Kyushu, Japan	Northern China	Southern China
Female				
ASM range (y)	5-6	6-9		5-6
Mean ASM (y)	5.4			
Min. ASM (y)	5	5	5	5
LSM range (cm)	131.6-141.2	135-145		137-150
Mean LSM (cm)	134.52			
Min. LSM (cm)	131.6	135	132	137
Male				
ASM range (y)	4-5	4-6		4-5
Mean ASM (y)	4.75			
Min. ASM (y)	4	4	5.5	4
LSM range (cm)	125.3-154.6	135-140		138-154
Mean LSM (cm)	133.8			
Min. LSM (cm)	125.3	135	132	138
Reference	This study	Shirakihara et al., 1993	Chang and Zhou, 1995	Jefferson et al., 2002

암컷의 난소 발달 특징

본 연구에서 암컷의 성숙도를 판단하기 위하여 이용된 난소의 발달에 특징적인 모습이 나타났는데 바로 성숙한 모든 개체에서 우측에 비해 좌측 난소가 더 발달하였다는 것이다. Gaskin et al. (1984)은 쇠돌고래과(Phocoenoidae)의 번식에 관한 연구에서 우측 난소는 육안상 영구히 완전하게 성숙해 보이지 않으며 기능하지 않는다고 하였다. 일본 Kyushu 지역 상괭이에 관한 연구에서는 7마리의 임신 개체 중 6마리에서 임신 황체가 좌측 난소에서 발견되었다(Shirakihara et al., 1993). 큰돌고래(*Trusiops truncatus*)의 68% 이상의 배란과 임신이 좌측 난소와 좌측 자궁뿔(uterine horn)에서 발생했다는 연구 결과도 있다(Ohsumi, 1964). 열대 태평양 참돌고래(*Delphinus delphis*)의 번식에 관한 연구에서는 최소 92%의 최초 배란이 좌측 난소에서 발생하였고 93%의 임신이 좌측 자궁뿔에서 이루어졌으며 백체와 황체의 수가 증가함에 따라 양쪽 난소 모두 발달한 암컷들이 보였다(Danil and Chivers, 2007).

본 연구에서는 표본 채집 과정 중에 우측 난소가 훼손되거나 소실된 두마리의 암컷을 제외한 나머지 10마리의 성숙한 암컷에서 모두 좌측 난소의 무게가 우측 난소에 비해 무거웠고 백체의 수도 좌측이 많았다. 또한 임신한 개체 6마리의 황체가 모두 좌측 난소에서 발견되었으며 6마리의 태아도 모두 좌측 자궁뿔에서 발견되었다. 성숙한 암컷 상괭이의 우측 난소가 발달하여 백체가 확인된 경우는 10마리 중 4마리에 불과했으며 나머지 6마리는 우측 난소의 무게가 1 g 미만이었으며, 배란의 흔적이 전혀 없었다. 이 중 네 마리가 임신 중이었고 1마리는 수유 중, 나머지 1마리는 휴지기였다(Table 4). 고래류의 배란 흔적, 즉 황체와 백체는 난소에 평생 남는다고 여겨졌었다(Marsh and Kasuya, 1984; Perrin and Donovan, 1984). 그러나 최근 일부 돌고래에서는 이러한 황체와 백체가 재흡수되거나 변성되며 임신 중에는 배란이 일어나지 않기 때문에 임신 중인 개체에서 약 40% 적게 백체가 발견된다는 연구 결과가 나왔다. 또한 수정되지 않은 배

란 흔적이 임신으로 이어진 배란 흔적보다 더 빨리 재흡수된다고 알려졌다(Dabin et al., 2008). 이같은 결과들은 이번 연구에서 드러난 모습과도 잘 부합되어서 임신한 개체들에서 백체의 수가 적게 나타난 이유를 뒷받침한다(Fig. 11). 결국 성숙한 상괭이에서 우측 난소가 좌측에 비하여 늦게 발달하고 만약 배란이 일어나서 황체가 존재하였다면 임신기간에 재흡수되었을 것이라는 결론이 나온다. 이처럼 돌고래의 좌측 난소가 우측에 비해 더 발달하는 원인은 정확하게 알려져 있지 않다(Ohsumi, 1964; Perrin and Reilly, 1984; Bryden and Harrison, 1986).

번식 시기

Connor et al. (2000)이 구분한 3가지의 교배 구조 중 상괭이는 동성간 경쟁, 그 중에서도 정자 경쟁(sperm competition)을 취하는 것으로 추정된다. 정자경쟁을 취하는 동물의 특징은 첫째, 체중에 비해 큰 고환을 가지는 것이다. 이는 다른 수컷들과 효과적으로 경쟁을 하기 위해서 번식기 동안 지속적인 정자 생산이 가능해야 하고 경쟁하는 타 개체의 정액을 희석시킬 수 있도록 많은 정자가 필요하기 때문이다. 이번 연구에서 25마리의 성숙한 수컷의 평균 고환 무게가 평균 체중의 약 2.5%로 매우 높은 비율을 차지했다. 그러나 이런 큰 고환을 가져야 할 경우 대사적인 소모가 만만치 않으므로 대부분 번식의 계절성을 갖게 된다(Stockley and Purvis, 1993). 둘째, 암컷에 비해 수컷의 몸 크기가 큰 성적이형(sexual dimorphism) 양상을 띠는 것이다. 앞서 결과에서 보았듯 서해 상괭이의 암수별 체장은 성숙 이전에는 큰 차이가 없지만 이후로 갈수록 수컷의 체장이 암컷에 비하여 큰 것으로 나타났다.

만약 이들의 교배시기에 계절성이 있다면 고환이 정자 생성을 할 필요가 없는 번식의 휴지 상태(aspermatogenic state)일 때에는 고환 무게와 정세관 직경이 줄어들 것이고 더불어 정세관 내강에서 정자형성과정도 확인이

안 될 것이며 부고환 내의 정자 숫자가 감소할 것이다. 상괭이와 같은 쇠돌고래과의 쇠돌고래(*Phocoena phocoena*)의 연구에서는 고환의 무게가 정자 생산 활동이 가장 활발한 시기에 비하여 거의 50% 이하로 감소한다는 결과가 있다(Gaskin et al., 1984). 또 다른 연구결과에 따르면 번식기 때 체중의 4%에 달하던 고환 무게가 휴지기 때에 약 3.5배 감소하였으며 휴지기의 고환에서는 정자형성과정을 전혀 확인할 수 없었다. 따라서 쇠돌고래과에 속하는 종들의 고환 무게는 번식 시기를 알 수 있는 좋은 방법이다(Neimanis et al., 2000). 이번 연구에서는 편향된 샘플 획득 시기로 인하여 서해 상괭이의 번식 시기를 명확하게 밝히기엔 무리가 있었으나 성숙한 모든 수컷의 정세관에서 활발한 정자형성과정을 확인함으로써 적어도 3월에서 6월까지의 교미가 이루어지고 임신(conception)이 일어날 수 있는 시기라고 추정할 수 있었다. 만약 이 때가 고환이 활발하게 활동하는 시기라면 고환의 활동이 정지된 휴지기에 비하여 그만큼 성숙속에 도달하는 과정이 명확하게 구분되었을 것으로 생각된다.

채집된 표본 중에서 0세로 추정되거나 신생아의 특징을 보이는 개체는 없었지만 전체 성숙한 암컷 12마리 중 총 6마리가 임신 중인 것으로 나타나 임신율이 50%로 높은 수치를 보였다. 이들의 태아에 대한 성별, 체장과 무게는 Table 4에 나타내었다. 10.6-11.2개월로 추정되는 상괭이의 임신기간과 태아의 성장식을 적용해 보면(Kasuya et al., 1986; Kasuya, 1977) 이 6마리 태아의 출산 시기는 4월에서 8월까지로 예상할 수 있다. 현지 어민들에 따르면 그동안 새우잡이 안강망 조업을 하는 시기인 매년 3월부터 6월까지 90 cm 미만의 작은 개체들이 자주 혼획되었고 날씨가 추워지면 거의 볼 수 없다고 하였다. 결국 3월부터 8월까지의 출산이 이루어지는 시기임을 알 수 있었다. 또한 한국해양경찰의 보고자료에 따르면 1999년부터 2009년까지 우리나라 동해 남부 지역과 남해에서 혼획된 80 cm 이하의 개체 14마리가 모두 4월에서 8월 사이에 혼획된 것으로 나타났다(CRI, unpublished). 그러나 어느 시기가 가장 활발한 시기이고 감소하는 시기인지 또는 출산이 전혀 일어나지 않는 시기가 있는지에 대하여는 명확하지

않다. 아시아의 각 지역별로 추정된 출산의 최고조 시기를 보면 일본 Inland Sea 4월-8월, Kyushu 지역 11월-12월, Ise Bay 4월, 중국 북부 4월, 양쯔강 유역 3월-5월, 중국 남부 10월-1월로 모두 다르게 나타났으며 수온이나 먹이의 가용성 등 계절의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

임신과 출산이 이루어지는 계절성을 명확하게 규명하기 위하여 수컷의 고환 활동이 가장 활발한 시기와 감소하는 시기, 활동이 완전히 멈추는 시기를 규명하고 출산이 일어나는 시기를 밝혀 낼 필요가 있으며 이를 위하여 앞으로 지속적인 샘플 획득이 필요하다.

현재 우리나라 연안에서 발견되는 고래류 가운데 성성숙과 번식에 대하여 수행된 연구로는 Ferrero and Walker (1994)에 의해 일본, 대만, 한국에서 혼획된 참돌고래에 관한 것이 전부이다. 그러나 현재 한국 주변에서 혼획되는 돌고래의 수를 보면 결코 적다고 말할 수 없으며, 만약 혼획 또는 좌초되는 개체가 모두 보고되고 연구에 필요한 시료를 채집할 수 있다면, 상괭이를 비롯하여 한국 연안에 서식하는 고래류의 생리학적, 생태학적 연구가 지금보다 훨씬 발전할 수 있을 것이다. 상괭이는 현재 멸종위기에 처한 야생 동식물 종의 국제 거래에 관한 협약(CITES, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Founa and Flora) Appendix I에 등재되어 있으며 국제자연보호연맹(IUCN, the International Union for Conservation of Nature)의 취약(vulnerable) 등급으로 보호 대상종으로 분류되어있다. 그러나 실제 어민들에게는 조업을 방해하는 훼방꾼에 지나지 않고 이들의 멸종 위험과 보호 가치에 대한 홍보가 매우 미비한 실정이다. 현재까지 추정된 각 지역별 상괭이의 개체수를 보면 일본의 Inland Sea에 7,572마리(Shirakihara et al. 2007), Sendai Bay 와 Tokyo Bay 사이의 태평양에 3,387마리(Amano et al. 2003), Ariake Sound 주변 3,807마리(Shirakihara and Shirakihara, 2002), Ise Bay 주변 3,743마리(Yoshida, 2002), 홍콩 217마리(Jefferson et al, 2002)로, 2003년부터 2005년까지 조사에서 36,475마리로 추정된 한국 서해에는 상대적으로 개체수가 많다고 할 수 있다. 그러나 지금처럼 교미와 출산이 활발한 시기

에 매년 많은 상괭이가 혼획된다면 개체 수는 감소할 수 밖에 없다. 지역 어민들도 상괭이의 수가 예전에 비해 줄었다고 느끼고 있으므로 조업에 지장을 주지 않으면서 상괭이의 혼획을 막을 수 있는 어구의 개발이 시급하다. 또한 어민과 해양경찰을 비롯하여 일반 시민을 대상으로 상괭이의 서식 현황과 멸종 위험 및 보호 가치에 대한 적극적인 홍보가 필요하다고 생각된다.



요 약

2010년 3월에서 6월까지 한국 서해 연안의 안강만에 혼획된 111마리의 상괭이(암 51, 수 60)의 성장과 성성숙을 연구하였다. 치아의 상아질에 침착된 연륜(dentinal growth layer group)으로 연령을 사정하고 체장과의 관계를 von Bertalanffy 성장 모델을 이용하여 성장식을 추정하였다. 수컷 생식소인 고환과 암컷 난소의 육안검사와 조직학적 검사를 통해 성성숙도를 판단하고 성성숙에 도달하는 연령과 체장을 추정하였으며 번식에 관련된 특성치들에 접근하였다. 암컷은 연령 1-16세, 체장 92.6-149.7 cm의 분포 범위를 보였다. 난소에서 발견되는 배란의 흔적인 황체나 백체의 유무로 성성숙을 판단하였는데 총 51마리 중 성숙한 개체는 12마리였으며 그 중 50%인 6마리는 임신 중이었다. The Sum Of Fraction Immature method (Hohn, 1989)을 이용하여 추정한 평균 성성숙 도달 연령(age at sexual maturity: ASM)은 5.4세, 체장(length at sexual maturity: LSM)은 134.52 cm였다. 성숙한 암컷에서 난소의 무게와 백체와 황체의 숫자는 연령보다는 임신과 관계가 높았으며 좌측 난소가 우측에 비해 발달하였다. 수컷은 연령 1-19세 사이, 체장 87.9-229 cm 사이에 분포하였으며 최대 체장인 229 cm는 현재까지 공식적으로 발표된 상괭이의 체장 기록 중 가장 높은 값이다. 60마리의 수컷 중 성숙한 개체는 25마리로 평균 ASM 4.75세, LSM 133.8 cm로 나타났다. 성성숙이 이루어지는 시기에 고환의 무게와 정세관 직경이 현저하게 증가하며 정세관 내에서 정자형성과정을 확인할 수 있었다. 성숙한 수컷의 고환 무게가 체중에 비하여 높은 비율을 차지하며 수컷이 암컷보다 크다는 사실은 이들의 번식이 계절성을 가지며 번식을 위해 정자경쟁 방식을 취할 가능성이 높음을 시사한다. 성장과 번식에 대해 보다 명확하게 규명하기 위해서는 장기간에 걸친 시료 채집과 꾸준한 연구가 필요하다.

참고 문헌

Akin, P. A., K. M. Peltier and R. B. Miller. 1993. Techniques for the preparation and examination of reproductive samples collected from dolphins in the eastern tropical Pacific. NOAA Tech. Memo. NMFS-SWFSC No. 192.

Amano, M., F. Nakahara, A. Hayano and K. Shirakihara. 2003. Abundance estimate of finless porpoises off the Pacific coast of eastern Japan based on aerial surveys. Mamm. Study, 28: 103-110.

Bryden, M. M. and R. J. Harrison. 1986. Gonads and reproduction. In: Research on Dolphins (Bryden, M. M. and R. J. Harrison, eds.) Clarendon Press, Oxford, U.K., 149-159.

Chang, Q. and K. Zhou. 1995. The growth and reproduction of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in the Yangtze River and Yellow/Bohai Sea. J. Nanjing Normal Univ. (Nat. Sci.) 18: 114-124.

Chen, P., R. Liu and R. J. Jarrison. 1982. Reproduction and reproductive organs in *Neophocaena phocaenoides* from the Yangtze River. Aquat. Mamm., 9: 9-16.

Connor, R. C., R. S. Wells, J. Mann and A. J. Read. 2000. The bottlenose dolphin social relationships in a fission-fusion society. In: Mann, J., R. C. Connor, P. L. Tyack and H. Whithead. (eds) Cetacean society field studies of dolphins and whales. The University of Chicago Press, Chicago, pp 91-127.

Dabin, W., F. Cossais, G. J. Pierce and V. Ridoux. 2008. Do ovarian

scars persist with age in all Cetacean: new insight from the short-beaked common dolphin. *Mar. Biol.* 156: 127-139.

Danil, K. and S. J. Chivers. 2007. Growth and reproduction of female short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, in the eastern tropical Pacific, *Can. J. Zool.* 85: 108-121.

Ferrero, R. C. and W. A. Walker. 1995. Growth and reproduction of the common dolphin, *Delphinus delphis* Linnaeus, in the offshore waters of the North Pacific Ocean. *Fish. Bull.* 93: 483-494.

Fossi, M. C. and L. Marsili. 2003. Effects of endocrine disruptors in aquatic mammals. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 75, Nos. 11-12, pp 2235-2247.

Furuta, M., T. Kataoka, M. Sekido, K. Yamamoto, O. Tsukada and T. Yamashita. 1989. Growth of the finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, from the Ise Bay, Central Japan. *Annual Report of Toba Aquarium.* 1: 89-102.

Gao, A. and K. Zhou. 1993. Growth and reproduction of three populations of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in Chinese waters. *Aquat. Mamm.*, 19: 3-12.

Gaskin, D. E., G. J. D. Smith, A. P. Watson, W. Y. Yasui and D. B. Yurick. 1984. Reproduction in porpoises (Phocoenidae): implications for management. *Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Iss.*, 6: 135-148.

Harrison, R. J. and D. A. McBrearty. 1974. Reproduction and gonads of the black finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*. *Invest. Cetacea*, 5: 225-230.

Hohn, A. A., S. J. Chivers and J. Barlow. 1985. Reproductive maturity

and seasonality of male spotted dolphins, *Stenella attenuata*, in the eastern tropical Pacific. Mar. Mam. Sci. 1: 273-293.

Hohn, A. A. 1989. Variation in life-history traits: the influence of introduced variation. PhD thesis, University of California, Los Angeles.

Jefferson, T. A., S. Leatherwood and M. A. Webber. 1993. FAO Species identification guide. Marine mammals of the world. UNEP/FAO, Rome, pp 320.

Jefferson, T. A., K. M. Robertson and J. Y. Wang. 2002. Growth and reproduction of the finless porpoise in southern China. Raffles Bulletin of Zoology, 10: 105-113.

Jefferson, T. A., S. K. Jung, L. Law, M. Torey and N. Tregenza. 2002. Distribution and abundance of finless porpoises in Hong Kong and adjacent waters of China. Raffles Bulletin of Zoology, 10: 43-55.

Kasuya, Y. 1977. Age determination and growth of the Baird's beaked whale with a comment on the fetal growth rate. Scientific Reports of the Whales Research Institute, 29: 1-20.

Kasuya, Y., T. Tobayama., T. Saiga and T. Kataoka. 1986. Perinatal growth of delphinoids: information from aquarium reared bottlenose dolphins and finless porpoises. Scientific Reports of the Whales Research Institute, 37: 85-97.

Kasuya, T. 1999. Finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides* (G. Cuvier, 1829). In: Handbook of Marine Mammals (Ridgway, S. H. and S. R. Harrison., eds.) Vol. 6: The second book of dolphins and popoises, pp 411-442.

Marsh, H., and T. Kasuya. 1984. Changes in the ovaries of the short finned pilot whale, *Globicephala macrorhynchus*, with age and reproductive activity. Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Iss. 6: 311-315.

Neimanis, A. S., A. J. Read, R. A. Foster and D. E. Gaskin. 2000. Seasonal regression in testicular size and histology in harbour porpoises (*Phocoena phocoena*, L.) from the Bay of Fundy and Gulf of Maine. J. Zool. Lond., 250: 221-229.

Ohsumi, S. 1964. Comparison of maturity and accumulation rate of corpora albicantia between the left and right ovaries in cetacea. Tokyo Whale Rep. Int., 18: 123-149.

Park, B. K., G. J. Park, Y. R. An, H. G. Choi and G. B. Kim. 2010. Organohalogen contaminants in finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) from Korean coastal waters: contamination status, maternal transfer and ecotoxicological implications. Mar. Poll. Bull., 60: 768-774.

Park, K. J., C. I. Zhang, Z. G. Kim and H. Sohn. 2002. Feeding habits and trophic level of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides* in the Yellow Sea. J. Korean Soc. Fish. Res., 5: 52-63.

Park, K. J. 2006. Population ecological characteristics and stock assessment of finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*, in the western sea of Korea. PhD thesis, Pukyong National University, Korea. pp 22-80.

Park, K. J., Z. G. Kim and C. I. Zhang. 2007. Abundance estimation of the finless porpoises, *Neophocaena phocaenoides*, using models of the detection function in a line transect. J. Korean Fish. Soc. 40(4): 201-209.

Perrin, W. F., D. B. Holts and R. B. Miller. 1977. Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of *Stenella longirostris* in the eastern tropical Pacific. Fish. Bull. 75: 725-750.

Perrin, W. F. and A. C. Myrick Jr. 1980. Age determination of toothed whales and sirenians. Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Iss. 3, Cambridge.

Perrin, W. F. and G. P. Donovan. 1984. Report of the Workshop. Reproduction in whales, dolphins and porpoises. Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Iss., 6: 1-24.

Perrin, W. F. and S. B. Reilly. 1984. Reproductive parameters of dolphins and small whales of the family Delphinidae. Rep. Int. Whal. Comm. Spec. Iss., 6: 97-133.

Shirakihara, K. and M. Shirakihara 2002. Survey of Ariake/Tachibana Bay, Omura Bay and Inland Sea. Survey of Marine Animals: finless porpoises, pp 27-52.

Shirakihara, K., M. Shirakihara and Y. Yamamoto. 2007. Distribution and abundance of finless porpoise in the Inland Sea of Japan. Mar. Biol. 150: 1025-1032.

Shirakihara, M., A. Takemura and K. Shirakihara. 1993. Age, growth, and reproduction of the finless porpoises, *Neophocaena phocaenoides*, in the coastal waters of western Kyushu, Japan. Mar. Mamm. Sci., 9: 392-406.

Stockley, P. and A. Purvis. 1993. Sperm competition in mammals: a comparative study of male roles and relative investment in sperm production. Func. Ecol. 7: 560-570.

Wang, J. Y., T. R. Frasier, S. C. Yang and B. N. White. 2008. Detecting recent speciation events: the case of the finless porpoises (genus *Neophocaena*). *Heredity* 101: 145-155.

Yoshida, H. 2002. Population structure of finless porpoises (*Neophocaena phocaenoides*) in coastal waters of Japan. *Raffles Bulletin of Zoology*. 10: 35-42.

Zhang, C. I., K. J. Park, Z. G. Kim and H. Sohn. 2004. Distribution and abundance of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in the western sea of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.* 37(2): 129-136.



감사의 글

보잘 것 없는 논문이 완성되기까지 도움의 손길을 아끼지 않으셨던 모든 분들이 있었기에 쉽지 않았던 상황이었음에도 용기를 잃지 않고 새로운 도전을 꿈꿀 수 있었습니다. 익숙했던 것들을 떠나 새로운 도전을 한다는 것은 흥분되고 설레는 일이었지만 현실적인 벽에 직면할 때마다 언제나 벽차고 어려웠습니다. 많이 모자라고 작은 것이지만 내 손으로 무언가를 해냈다는 오늘의 기쁨이 있기까지 앞에서 혹은 뒤에서 든든한 버팀목이 되어주셨던 많은 분들이 계셨습니다.

언제나 따뜻한 격려와 부드러운 카리스마를 보여주신 김수암 선생님을 스승으로 모시게 되어 영광으로 생각합니다. 또한 세세한 것 하나까지 신경써준 부경대학교 수산해양학 실험실 가족분들의 도움도 큰 힘이 되었습니다. 특별히 번식에 관한 조언과 조직 검사를 할 수 있도록 배려해주신 백혜자 선생님께 감사드리며 조직 표본을 만드는데 열과 성을 다해 도와 주신 발생생식내분비학 실험실 여러분들께도 감사드립니다. 무사히 과정을 끝낼 수 있도록 배려해주신 부경대학교 자원생물학과 교수님들과 선배, 후배, 동기들께도 감사드립니다.

부족한 제게 도전할 수 있는 기회와 자신감을 갖게 해주신 고래연구소 문대연 소장님, 최석관 박사님, 안용락 박사님과 김장근 연구관님께도 깊은 감사를 드립니다. 또한 시료 채집부터 실험 과정, 논문 편집에 이르기까지 모든 과정에 자기 일처럼 애써 주신 박겸준, 김현우, 박지은, 김한나, 배귀남씨와, 낚선 타지 생활에 어려움 없이 적응할 수 있도록 도와 주신 고래연구소 모든 가족들 박태건, 유성소, 손덕용, 윤석호, 장정아, 이현미씨께도 심심한 감사를 포함합니다.

혹여 타지에서 용기를 잃지 않을까 늘 염려하며 먼 곳까지 위로 방문하며 물심양면 지원을 아끼지 않았던 소중한 나의 친구들 강혜진, 김연숙, 김영연, 마승애, 이미정, 이승환, 정희식, 한소영에게 고맙습니다.

끝으로 남들과 조금 다르게 사는 저를 걱정하고 안타까워하면서도 늘 지지하고 믿어주시는 어머니, 언니, 형부, 오빠께 무한한 감사와 사랑을 전합니다.

더욱 성실하게, 보다 열심히, 꿈을 잊지 않고 살겠습니다.



Appendix I . Biological information of the finless porpoises by-caught in the Yellow Sea, Korea

Specimen no.	Sex	BL (cm)	BW (kg)	Age	SMR	Testis mass (g)	Tubule diameter (μm)	Ovary mass (g)	No. of copora	
									L	R
NA10-001	m	112.1	26.0	1.5	1	6.7				
NA10-002	m	163.4	62.0	12	4	890	471.2			
NA10-003	m	110.7	24.0	2	1	7.8				
NA10-004	m	122.3	30.0	3	1	9.8				
NA10-005	m	115.2	26.4	2	1	7.1				
NA10-006	f	100.2	23.2	1	1			0.4	0	0
NA10-007	f	136.0	36.8	5	2			2.8	0	0
NA10-008	m	106.5	22.8	1	1	10.1				
NA10-009	f	119.5	29.2	3	1			0.2	0	0
NA10-010	f	111.4	24.0	2	1			0.2	0	0
NA10-011	m	116.9	27.6	2	1	12.7				
NA10-012	f	115.4	24.6	2	1			0.1	0	0
NA10-013	f	111.2	28.0	1	1			0.4	0	0
NA10-014	f	142.5	52.0	9	3			12.5	2+1	0
NA10-015	m	102.6	21.6	1	1	6.9				
NA10-016	m	133.3	34.0	5	3	271	303.2			
NA10-017	m	117.6	29.2	2	1	9.2				
NA10-018	m	111.2	26.4	2	1	10.8				
NA10-019	f	125.4	28.2	5	2			2.2	0	0
NA10-020	f	138.4	39.8	6	3			6.2	1	0
NA10-021	m	110.2	27.0	2	1	8.6				
NA10-022	m	153.3	49.0	14	4	629	515.4			
NA10-023	f	116.4	25.6	2.5	1			0.3	0	0
NA10-024	m	105.7	24.0	1	1	6.3				
NA10-025	f	100.4	20.8	1	1			0.3	0	0
NA10-026	f	98.2	19.8	1	1			0.3	0	0
NA10-027	f	101.2	21.6	1	1			0.2	0	0
NA10-028	m	113.7	24.4	2	1	10.4				
NA10-029	m	113.2	26.8	2	1	7.4				
NA10-030	m	105.8	23.6	1	1	8.5				
NA10-031	m	116.8	26.4	2	1	11.1				
NA10-032	m	106.4	24.0	2	1	7.3				
NA10-033	m	121.5	29.2	3	2	17.8	148.8			
NA10-034	m	114.9	22.0	3	1	6.3				
NA10-035	m	108.2	22.8	2	1	10.5				
NA10-036	m	122.2	30.8	3.5	1	9.6	97.2			
NA10-037	f	110.5	23.0	2	1			0.4	0	0
NA10-038	f	110.8	25.0	2	1			0.1	0	0
NA10-039	f	104.3	23.2	1.5	1			0.1	0	0
NA10-040	f	118.7	21.2	3.5	1			0.2	0	0
NA10-041	f	114.8	25.0	3.5	1			0.3	0	0
NA10-042	m	87.9	15.4	1	1	5.6				
NA10-043	f	95.5	20.0	1	1			0.2	0	0
NA10-044	f	111.4	28.6	2	1			0.2	0	0
NA10-045	f	105.3	22.4	2	1			0.3	0	0
NA10-046	f	103.7	22.6	2	1			0.1	0	0
NA10-047	m	121.0	26.8	3	1	15.1	114.2			

Appendix I . (continued)

Specimen no.	Sex	BL (cm)	BW (kg)	Age	SMR	Testis mass (g)	Tubule diameter (μm)	Ovary mass (g)	No. of corpora	
									L	R
NA10-048	m	108.2	22.4	2	1	8.1				
NA10-049	f	101.8	22.0	1	1			0.2	0	0
NA10-050	m	114.8	25.2	3.5	1	13.1				
NA10-051	m	140.2	37.6	5	4	532.3	497.0			
NA10-052	m	98.0	21.4	1	1	7.4				
NA10-053	m	132.7	32.0	5	2	58	93.0			
NA10-054	m	103.6	25.0	2	1	8.3				
NA10-055	f	92.6	17.6	2	1			0.1	0	0
NA10-056	f	100.4	23.4	2	1			0.1	0	0
NA10-057	m	158.8	47.0	19	4	763	503.2			
NA10-058	f	110.7	28.2	3	1			0.3	0	0
NA10-059	f	101.1	19.8	2	1			0.3	0	0
NA10-060	f	108.1	23.0	2.5	1			0.2	0	0
NA10-061	f	102.4	19.0	2	1			0.2	0	0
NA10-062	m	101.4	23.0	1	1	7.2				
NA10-063	f	101.8	19.4	1	1			0.1	0	0
NA10-064	m	95.6	19.4	2	1	5.8				
NA10-065	m	150.5	46.0	14	4	524	451.4			
NA10-066	m	153.3	57.0	15	4	898	474.3			
NA10-067	f	142.6	64.0	12	3			10.8	6*	1
NA10-068	f	138.4	49.0	6	3			9	2*	lost
NA10-069	m	150.9	46.0	13	4	563	396.5			
NA10-070	f	137.9	37.0	8	3			2.9	6	3
NA10-071	f	135.7	48.0	8	3			7.8	4*	0
NA10-073	m	136.2	38.0	9	4	618	363.5			
NA10-075	m	128.4	32.8	4.5	2	72.4	172.8			
NA10-076	m	150.8	47.0	4	4	618	472.2			
NA10-077	f	122.5	33.0	4	1			0.2	0	0
NA10-078	f	149.5	39.6	9	3			3.1	18	5
NA10-079	f	149.7	42.6	16	3			2.3	20	lost
NA10-080	m	125.4	28.0	3	1	12	106.1			
NA10-081	f	115.4	31.8	3	1			0.3	0	0
NA10-082	f	119.7	28.0	2	1			0.3	0	0
NA10-083	f	119.7	29.0	3	1			0.3	0	0
NA10-084	f	120.7	30.4	3	1			0.4	0	0
NA10-111	m	141.3	44.0	8	4	603	442.0			
NA10-112	f	120.3	26.4	3	1			0.4	0	0
NA10-113	m	109.5	24.4	2	1	10.2				
NA10-114	m	126.4	29.0	3	2	23.5	123.6			
NA10-115	m	108.0	25.0	2	1	10.1				
NA10-116	f	107.4	21.6	2	1			0.2	0	0
NA10-117	f	131.6	48.0	6	3			9.4	3*	0
NA10-118	m	153.4	49.0	12	4	795	452.5			
NA10-119	m	134.5	32.8	6	3	143	246.4			
NA10-120	m	134.7	39.6	7	4	632	440.9			
NA10-121	m	106.9	21.0	2	1	8				
NA10-122	f	114.2	27.0	2.5	1			0.4	0	0
NA10-123	f	103.6	22.4	1	1			0.2	0	0
NA10-124	m	142.3	39.0	8	4	509	403.3			

Appendix I . (continued)

Specimen no.	Sex	BL (cm)	BW (kg)	Age	SMR	Testis mass (g)	Tubule diameter (μ m)	Ovary mass (g)	No. of corpora	
									L	R
NA10-125	f	98.2	17.8	1	1			0.1	0	0
NA10-139	m	147.0	39.4	8	4	303	341.1			
NA10-143	m	125.3	33.7	4	3	122	277.3			
NA10-144	f	137.6	32.1	7	3			2.7	4	0
NA10-145	f	134.5	35.7	7	3			2.9	13	3
NA10-146	f	141.2	48.0	2	1			0.9	0	0
NA10-147	f	143.5	45.9	14	3			6	4*	0
NA10-148	m	151.4	45.3	17	4	533	436.7			
NA10-149	m	142.4	39.8	8	4	397	384.3			
NA10-150	m	145.5	40.9	13	4	548	444.0			
NA10-151	m	154.6	53.3	3.5	1	12	104.2			
NA10-152	m	168.4	55.4	17	4	732	530.6			
NA10-153	m	157.4	47.2	12	4	509	405.4			
NA10-154	m	164.0	49.3	11	4	650	544.8			
NA10-155	m	229.0	123.0	8	4	497	372.4			

·BL: body length; BW: body weight; L: left; R: right; f: female; m: male.

·Number of corpora is add number of corpus albicans to corpus luteum.

·* indicates the number include corpus luteum in pregnant female.

·Testis mass here represents the weight of right testis; Ovary mass here represents the weight of left ovary.

·SMR: sexual maturity rating (1: immature; 2: pubertal; 3: mature in female), (1: immature; 2: pubertal; 3: early mature; 4:mature in male)

