사진을 통한 백령도 점박이물범의 개체식별 가능성 파악

김현우[1,2]·안용락[1]*·박태건[1]·김장근[3]·문대연[1]·최석관[1]
[1]국립수산과학원 고래연구소, [2]부경대학교 자원생물학과, [3]국립수산과학원 자원관리과

Validity of Photo-identification Method for Spotted Seals on Baekryongdo, Korea

Hyun Woo Kim[1,2], Yong-Rock An[1]*, Tae-Geon Park[1],
Zang Geun Kim[3], Dae-Yeon Moon[1] and Seok-Gwan Choi[1]
[1]*Cetacean Research Institute, NFRDI, Ulsan 680-050, Korea*
[2]*Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*
[3]*Fisheries Resources Management Division, NFRDI, Busan 619-705, Korea*

Identification of individuals is a standard tool used to study animal behavior and ecology. Numerous studies based on photographic identifications of various marine mammal populations have been successfully conducted. The objective of this study was to validate a photo-identification method for spotted seals. We tested the method using 4,939 photographs gathered in 30 field surveys from 2006 to 2008 on Baekryongdo, Korea. In 2006, 20 individuals were identified and cataloged using unique spot patterns on their left chick pelages as a natural marker. In 2007 and 2008, three and nine individuals, respectively, were recaptured, with six individuals continually recaptured during the entire survey period. We confirmed that the spot patterns of spotted seal pelages were constant in shape and location throughout time. These characteristics offered an opportunity to consistently identify individuals within a population over the long survey period. The use of photo-identification has great potential for mark-recapture studies.

Key words : Baekryongdo, Photo-identification survey, Spotted seal

서 론

점박이물범 (*Phoca largha*)은 북태평양과 그 인근 수역에 두루 분포하는 회유성 기각류이며 번식 지역에 따라 8개의 계군으로 나누어진다 (Boveng et al., 2009). 우리나라에서 발견되는 점박이물범은 겨울철에 중국 랴오둥만에서 번식을 하고 봄에서 가을에 걸쳐 남하하여 백령도 등 서해의 도서 연안에 분포하는 서해계군이다 (Wang, 1986). 점박이물범 서해계군은 다른 계군과는 달리 과거 지나친 남획으로 개체수가 급격히 줄어들어 1940년대에 8,000마리에 육박하였던 계군이 1980년대에는 2,300마리로 줄어들었고 현재는 1,000마리 이하의 개체가 생존해 있을 것으로 추정된다 (Dong and Shen, 1991; Han et al., 2005). 한편 백령도 근해에서는 2000년 이후 약 300여 마리 안팎의 점박이물범이 관찰되고 있다 (NFRDI, 2007). 급격한 개체군 감소에도 불구하고 월동번식지인 중국 랴오둥만 인근에서는 여전히 불법 포획이 암암리에 이루어지고 있어 이 개체군의 보호대책이 시급한 실정이다.

점박이물범의 서식역에 걸쳐있는 일부 국가에서는 이들의 생태연구를 위해 항공기를 통한 개체수 모니터링, 좌초되거나 혼획된 개체의 분석, 유전 분석을 위한 조직 샘플 채취, 인공위성추적장치 부착 조사 등을 실시하여 왔다 (Lowry et al., 2000; Mizuno et al., 2002; Mizuno and Ohtaishi, 2002; Han et al., 2010). 그러나 국내에서 이러한 조사가 모두 적용 가능한 것은 아니다. 우리나라 물범의 주요 서식 장소는 군사분계선과 인접한 백령도이므로 국내법상 해외에서 광범위하게 이용되고 있는 항공조사는 불가능하다. 또한 점박이물범 서해계군은 지난 세기에 중국에서의 과도한 불법포획에 의해 그 개체수가 급격히 줄어들어 (Wang, 1998) 천연기념물 제 331호, 멸종위기 야생동물 2급, 보호대상 해양동물 등으로 지정 및 보호받고 있는 실정이므로 포획조사 또한 힘든 상태이다.

근래에 들어 해양포유류 연구 분야에서 개체수가 심각하게 줄어든 개체군을 대상으로 직접 포획하지 않고 조사할 수 있는 여러 가지 방법들이 발전하였는데 이중 대표적인 것으로 사진촬영을 통한 개체식별조사 (Photo-Identification on method)를 들 수 있다. 이 방법은 개체 간에 발생하는 유의한 외부형질 차이를 사진촬영을 통해 구분하는 것으로 서구의 해양포유류 연구자들 사이에서는 1970년대부터 고래류와 기각류의 생태를 연구함에 있어서 광범위하게 이용되어온 방법이다 (Saayman and Tayler, 1973; Yochem et al., 1990; Würsig and Jefferson, 1990). 국내에서도 이 방법은 제주도에 서식하고 있는 큰돌고래 계군의 분포특성을 연구하는 데 이용되고 있다 (Song et al., 2008; Choi et al., 2009). 점박이물범을 대상으로 사진촬영을 통한 개체식별조사가 이루어진 사례는 국내 뿐 아니라 국외에서도 전무하다. 그러나 점박이물범의 자매종 (sibling species)인 harbor seal (*Phoca vitulina*)을 대상으로 한

*Corresponding author: rock@nfrdi.go.kr

개체식별 조사에서 성공적인 연구사례가 있으므로 (Mackey et al., 2008; Tompson and Wheeler, 2008) 외부형태가 거의 유사한 점박이물범 또한 사진을 통한 개체식별조사가 가능할 것으로 예상하였다.

점박이물범의 체부 전체에서 나타나는 특징적인 반점 무늬의 형태는 개체별로 서로 다르므로 반점의 형태적 차이를 통해 개체를 식별 가능할 것으로 가정하였다. 본 연구를 통해 백령도에 서식하는 점박이물범 개체들에 대해 사진을 통한 개체식별법을 적용시킬 수 있는지를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

개체식별조사

본 조사는 2006년 7월부터 2008년 11월 까지, 봄과 가을에 걸쳐 어선 (5톤)을 이용하여 물범이 밀집해 있는 지역인 백령도의 물범바위, 연봉바위, 두무진 인근에서 수행하였다 (Fig. 1). 점박이물범을 발견하면 무리에 100 m 가량 접근하여 나안 또는 쌍안경을 이용해 무리의 개체수를 개수하였다. 이후 해상상태가 양호한 경우에 (>Beaufort scale 4) 기회적으로 개체식별조사를 실시하였다. 개체식별조사를 위해 점박이물범 무리에 접근해 GPS가 연동된 디지털 카메라 (Nikon, D2Xs, 70~200 mm, 300 mm)로 사진촬영을 하였다. 촬영하는 순간 GPS를 통해 수신된 위치와 시간 정보는 촬영된 사진파일의 EXIF (EXchangable Image File format) 메타데이터에 기록되어 단시간에 많은 물범 사진이 촬영되더라도 오차 없는 정보를 야장 기입 없이 자동으로 얻고자 하였다. 촬영자는 무리 내의 개체들을 무작위로 촬영하였으며 개체식별을 위해 모든 경우에 물범 두부의 왼쪽 측면을 우선적으로 촬영하는 한편, 부가적으로 오른쪽 측면과 정면을 촬영하였다. 사진촬영에 의한 개체식별조사를 증명하기 위한 자료로 이용하기 위해 비디오 촬영 (SONY, HDR-FX7) 또한 부가적으로 실시하였다.

개체식별 사진 등록 및 대조

조사 종료 후 카메라의 메모리 카드에 저장되어 있는 모든 사진들을 하드디스크에 저장하였다. 분석 과정 중에 일어날지도 모르는 사진파일의 우발적인 삭제에 대비하기 위해 파일이름이나 분석기록을 변환하지 않은 원본파일을 백업해 두고 원본파일을 다시 복사하여 분석을 실시하였다. 복사된 사진파일은 화상편집프로그램 (ACD Systems Ltd., ACDsee 6.0)을 사용해 촬영일과 촬영 순서대로 정렬하여 파일 이름을 다시 부여하였다.

물범 체부 중 극히 일부만 촬영되었거나 카메라의 흔들림, 초점의 불일치에 의해 식별이 불가능할 정도의 사진은 분석과정에서 삭제하였다. 현장 조사 시 가장 빈번하게 촬영되는 사진이 수면 위에 머리를 내밀고 있는 물범들이므로 분석의 효율성을 위해 머리 부위가 촬영된 사진들 중 왼쪽 측면이 선명하게 촬영된 사진만을 선택하였다. 이후 필요한 화상만을 정사각형으로 잘라내어 개체식별을 위한 기본 자료로 이용하였다 (Fig. 2). 각 조사일 마다 촬영된 사진 중 동일개체가 중복 촬영된 경우에는 개체식별에 가장 용이한 사진을 취사선택하여 분석에 이용하였다. 사진의 EXIF 메타데이터에 기록된 파일명, 촬영시각, 위경도를 txt 파일로 추출하고 이를 다시 Excel 2003 스프레드시트 (Microsoft Corp.)에서 정렬하여 촬영 야장을 작성하였다.

개체별 반점이 시간이 지남에 따라 변형되거나 사라지게 된다면 사진을 통한 개체식별이 불가능해지므로 조사 첫해인 2006년에 촬영된 개체들에게 각자 개체 식별번호를 부여하고 이후 조사가 진행됨에 따라 반점무늬의 변형 없이 재발견되는 개체들이 관찰되는지를 기록하였다. 분석 과정 중 개체식별이 잘못되는 오류를 방지하기 위해 식별된 개체는 2회 이상 재확인 하였으며 여러 명의 인원이 반복하여 검토하였다.

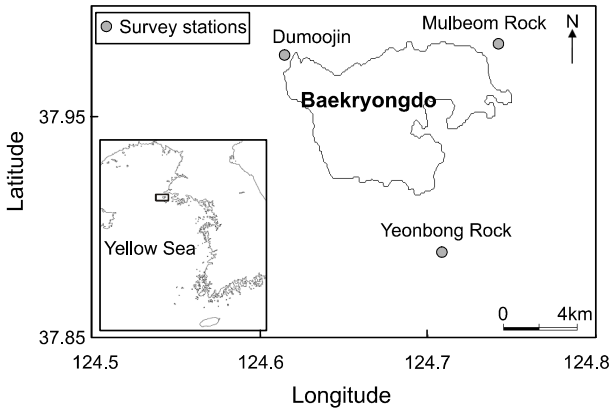

Fig. 1. Survey stations for the spotted seal photo-identification survey in Baekryongdo.

Fig. 2. An example of well photographed individual for the purpose of photo-identification. Note the unique spot pattern on the left chick as natural marker.

결 과

사진을 통한 개체식별

2006년 조사기간 동안 총 4회의 조사를 실시하여 757장의 사진을 촬영하였다. 이를 통해 38개체의 점박이물범을 식별하여 조사기간 중 전체 촬영사진에 대한 개체 식별율이 5.0%에

머물렀다. 2007년은 8회의 조사동안 1,883장의 사진을 촬영하여 224개체를 식별하였으며 식별율은 11.9%이었다. 2008년은 18회의 조사동안 2,299장의 사진을 촬영하였고 322개체를 식별하여 14.0%의 가장 높은 식별율을 기록하였다. 조사가 거듭될수록 식별율이 상승하는 양상을 나타내었다 (Table 1).

Table 1. The efforts of photo-identificaton surveys and number of identified individuals from 2006 to 2008

Date	Survey efforts (Number of Cut)	No. of identified individuals	Percentage of identified individuals
13-Jul-06	108	5	4.6
27-Aug-06	257	28	10.9
24-Sep-06	184	1	0.5
25-Sep-06	208	4	1.9
16-Jun-07	206	47	22.8
21-Jul-07	168	11	6.5
2-Sep-07	289	12	4.2
21-Oct-07	338	41	12.1
22-Oct-07	213	27	12.7
13-Nov-07	211	37	17.5
14-Nov-07	373	38	10.2
16-Nov-07	85	11	12.9
10-Jun-08	163	37	22.7
11-Jun-08	234	47	20.1
11-Jul-08	167	32	19.2
13-Jul-08	98	14	14.3
12-Aug-08	47	11	23.4
13-Aug-08	82	17	20.7
20-Aug-08	73	7	9.6
27-Aug-08	155	15	9.7
28-Aug-08	161	18	11.2
29-Aug-08	171	21	12.3
30-Aug-08	186	17	9.1
2-Sep-08	51	6	11.8
7-Sep-08	126	13	10.3
8-Sep-08	153	18	11.8
9-Oct-08	153	15	9.8
10-Oct-08	63	7	11.1
13-Oct-08	145	11	7.6
8-Nov-08	71	16	22.5

Table 2. Photo-identified individuals in 2006 and re-identified individuals in 2007 and 2008

ID Number	2006	2007	2008
2006001	2	1	1
2006002	1	1	
2006003	1		1
2006004	2		1
2006005	1		
2006006	1		
2006007	1		
2006008	1		
2006009	1		
2006010	1	1	
2006011	1		
2006012	1		
2006013	1		2
2006014	1	1	2
2006015	1		
2006016	1		
2006017	1	3	4
2006018	1		
2006019	1		1
2006020	1		
2006021	1		
2006022	1		1
2006023	1		
2006024	2		4
2006025	1		
2006026	1	1	3
2006027	1		
2006028	2	1	1
2006029	2	1	
2006030	1		
2006031	1		
2006032	1	1	1
2006033	1		
2006034	1		3
2006035	1		
2006036	1		1
2006037	1		1
2006038	1		
No. of Photo-ID	38	9	15
% of recaptured	-	23.7	39.5

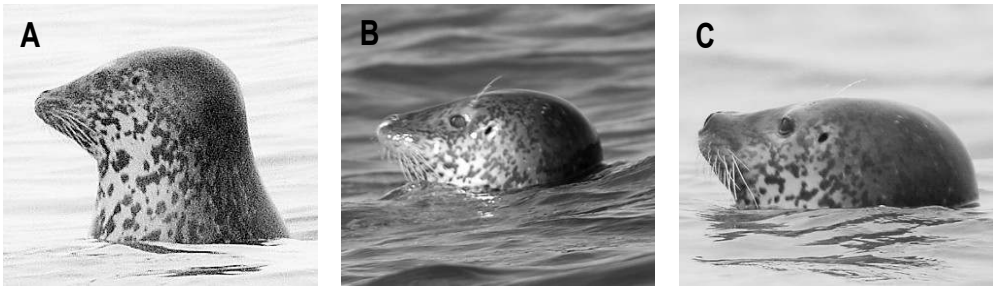

Fig. 3. Recaptured individual (ID Number 2006014) for the three-year survey period (A: 27/Aug./2006, B: 13/Nov./2007, C: 8/Sep./2008).

2006년에 식별된 38개체에 대한 개체식별연구 결과는 Table 2와 같다. 20개체는 2006년 조사기간에만 목격이 되었다. 3개체는 2007년에 재발견되었으며 9개체는 2008년에 재발견되었다. 6개체는 3년에 걸쳐 지속적으로 관찰되었다 (Fig. 3). 2008년에는 상당수의 개체가 동일한 해에 2회 이상 중복 발견되었다. 개체식별에 영향을 줄 수 있는 요소인 시간의 경과에 따른 반점무늬의 변화는 감지되지 않았다.

점박이물범의 분포패턴

사진파일의 EXIF 정보에 기록된 촬영장소의 GPS 위치 자료를 분석한 결과, 조사기간 동안 68.6%의 개체들이 물범바위에서 촬영되어 가장 높은 값을 나타내었다. 연봉바위에서는 28.4%, 두무진에서는 3.0%가 각각 촬영되었다. 2회 이상 발견된 대부분의 개체들은 해가 바뀌어도 동일한 장소에서 발견되었으나 3개체 (7.9%)는 물범바위에서 연봉바위로, 연봉바위에서 물범바위로 이동하였다.

고 찰

본 연구를 통해 점박이물범의 외부 형태적 특징인 반점무늬는 개체마다 위치나 모양이 다르기 때문에 개체식별에 이용될 수 있으며 고유의 반점 무늬가 시간의 경과에 의해 변하지 않음을 밝혔다. 특히 다른 해양생물종보다 상대적으로 수명이 긴 해양포유류의 특성상 사진을 통한 개체식별법을 이용하여 점박이물범의 번식, 이동, 섭이, 사회활동과 같은 개체간 상호관계를 파악할 수 있을 뿐 아니라, 장기간의 연구가 수행될 경우에는 성별과 연령에 따른 개체군 통계학, 성성숙 연령, 출산 간격, 노쇠화, 생존률, 사망률 등도 개체식별 자료를 통해 밝힐 수 있다. 또한 두 곳 이상의 조사정점에서 개체들의 사진이 수집되고 분석되면 대상 개체군의 지역분포, 단기간 이동패턴, 회유 등의 추정이 가능할 것이다 (Würsig and Jefferson, 1990). 이를 위해서는 점박이물범의 겨울 서식지가 있는 중국과 공동조사를 실시하여 중국에서 겨울철에 촬영된 개체의 사진과 백령도 및 국내 연안에서 촬영된 개체와의 비교 분석을 하는 방안이 강구되어야 한다.

조사 첫해의 개체식별율은 현저히 낮았으나 이듬해부터는 상승하기 시작하였는데 이는 조사자가 조사가 진행됨에 따라 개체식별법을 위한 사진 촬영에 숙련된 결과이다. 높은 개체식별율을 얻기 위해서는 고품질의 개체사진을 촬영해야 하며 이를 위해 고려해야 할 요소들이 많다. 특히 카메라의 초점, 빛의 반사방향, 촬영 대상과 각도, 거리 등에 의해 개체식별형질을 얼마나 잘 드러나게 촬영하는지가 가장 중요한 요소이다. 초점이 정확하지 않거나 지나치게 먼 거리에서 촬영된 사진의 경우 윤곽이 선명하지 못해 개체 분석에 많은 어려움이 있으며 수표면에 빛의 반사가 심한 경우에는 적절한 노출값을 산정하지 못해서 지나치게 어두운 사진을 얻게 된다. 얼굴의 왼쪽 측면을 개체식별형질로 이용하는 점박이물범과 같은 경우, 개체 식별이 용이한 사진은 대상과 수평인 상태에서 촬영한 사진이다. 그러나 대상의 후방이나 전방 근처에서 촬영을 한 경우에는 반점무늬를 확인하는데 많은 어려움이 따른다. 이렇게 다양한 현장 촬영 환경과 제한요소를 미리 숙지하고 개체식별에 효과적인 촬영을 해야 높은 개체식별율을 얻을 수 있을 것이다.

촬영된 대부분의 개체들은 뚜렷이 구분되는 형질 특색을 가지고 있었으나 일부 개체는 반점 무늬가 거의 없거나 체색이 너무 어두워 개체식별이 힘든 경우가 있었다 (Fig. 4). 개체군 풍도 추정을 위해 표지-재포획법 (Mark-recapture)을 이용하기 위해서는 각 개체마다 동일한 재포획률이 수반되어야 하는데 (Jolly, 1965; Seber, 1965) 형질 특색이 불분명하여 식별이 어려운 개체는 개체군 풍도 추정 시 과대 추정되는 결과를 야기할 수 있다. 향후 사진을 통한 개체군 풍도 추정 시에 식별이 어려운 개체에 대한 고려가 있어야 할 것으로 사료된다.

Fig. 4. Dark and white phase individuals.

점박이물범이 서식지 근처의 바위로 올라가 장시간 휴식하는 경우에, 모피가 마르면서 공기층이 생겨 반점 무늬가 희미해질 뿐 아니라 체색도 연해지는 결과를 초래하였다. 따라서 개체식별을 위해서는 바위 위에서 휴식상태인 개체들을 촬영하는 것 보다 수면 위에 떠 있는 개체의 머리를 촬영하는 것이 가장 효과적일 것이다. 현장조사 결과, 점박이물범의 다양한 형질 특색 중 개체식별의 기준으로 삼은 두부의 왼쪽

측면은 점박이물범이 호흡이나 주위를 살피기 위해 수면 밖으로 가장 많이 노출되는 부위이므로 촬영이 가장 용이하였다. 따라서 효율적인 개체식별을 위한 촬영에 적합한 부위로 판단하였다.

본 조사를 통해 2008년에는 322개체를 사진 식별하였다. 백령도 점박이물범 개수조사를 통해 관찰된 최대개체수가 274개체인 점을 감안한다면 일정 시간에 육안으로 관찰되는 최대개체수보다 더 많은 수의 점박이물범이 서식하는 것으로 추정된다 (NFRDI, 2007).

분포패턴 분석을 통해 점박이물범이 백령도와 같은 한정적인 공간 내에서도 개체마다 선호하는 장소가 있으며 서식지를 자주 옮기지 않는다는 것을 확인하였으나, 이들이 봄과 가을에 걸쳐 상주하는 개체들인지 또는 일시적으로 백령도의 특정 장소 내에 머물다가 다른 지역으로 이동하는 개체들인지는 아직 알 수 없다. 사진을 통한 개체식별법을 이용해 보다 정확한 분포특성을 파악한다면 표지-재포획법 중 적절한 모델을 선택하여 계군의 풍도 추정이 가능할 것이며 이는 향후 점박이물범의 보존 및 관리방안 수립에 있어서 중요한 시발점이 될 것이다.

사 사

본 연구는 국토해양부와 국립수산과학원 (RP-2010-ME-031)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

Boveng PL, Bengtson JL, Buckley TW, Cameron MF, Dahle SP, Kelly BP, Megrey BA, Overland JE and Williamson NJ. 2009. Status review of the spotted seal (*Phoca largha*). US Dep Commer, NOAA Tech Memo NMFS-AFSC-200, 153.

Choi SG, Kim HW, An YR, Park KJ and Kim ZG. 2009. Coastal resident stock of bottlenose dolphins in the Jeju Islands. Kor J Fish Aquat Sci 42, 650-656.

Dong J and Shen F. 1991. Estimates of historical population size for harbour seal (*Phoca largha*) in Liaodong Bay. Mar Sci 3, 26-31.

Han JB, Wang W and Ma ZQ. 2005. Spotted seals in the estuary of Shuangtaizi River of Liaodong Bay. Mar Envi Sci 24, 51-53.

Han JB, Sun FY, Gao XG, He CB, Wang PL, Ma ZQ and Wang ZH. 2010. Low microsatellite variation in spotted seal (*Phoca largha*) shows a decrease in population size in the Liaodong Gulf colony. Ann Zool Fennici 47, 15-27.

Jolly GM. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. Biometrika 52, 225-247.

Lowry LF, Burkanov VN, Frost KJ, Simpkins MA, Davis R, DeMaster DP, Suydam R and Springer A. 2000. Habitat use and habitat selection by spotted seals (*Phoca largha*) in the Bering Sea. Can J Zool 78, 1959–1971.

Mackey B, Durban JW, Middlemas SJ and Thompson PM. 2008. A Bayesian estimate of harbour seal survival using sparse photo-identification data. J Zool 274, 18-27.

Mizuno AW, Ohtaishi N. 2002. Cranial features of the spotted seal, *Phoca largha*, in the Nemuro Strait, considering age effects. J Vet Med Sci 64, 137-144.

Mizuno AW, Wada A, Ishinazaka T, Hattori K, Watanabe Y and Ohtaishi N. 2002. Distribution and abundance of spotted seals *Phoca largha* and ribbon seals *Phoca fasciata* in the southern Sea of Okhotsk. Ecol Res 17, 79-96.

NFRDI. 2007. Report on ecological status of the spotted seals status in Baekryongdo. MOMAF, 58.

Saayman GS and Tayler CK. 1973. Social organigation of inshore dolphins (*Tursiops aduncus* and *sousa*) in the Indian Ocean. J Mammal 54, 993-996.

Seber GAF. 1965. A note on the multiple recapture census. Biometrika 52, 249-259.

Song, KJ, Kim ZG, An YR, Choi SG and Sohn H. 2008. Feasibility of Photo-identification Techniques for the Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) from Jeju Island, Korea. J Fish Sci Technol 11, 177-181.

Thompson PM and Wheeler H. 2008. Photo-ID-based estimates of reproductive patterns in female harbor seals. Mar Mammal Sci 24, 138-146.

Yochem PK, Stewart BS, Mina M, Zorin A, Sadovov V, Yablokov A. 1990. Non-metrical analyses of pelage patterns in demographic studies of harbor seals. Rep Int Whal Commn Sp Iss 12, 87-90.

Wang PL. 1986. Distribution, ecology and resource conservation of the spotted seal in the Huanghae and Bohae seas. Acta Oceanologica Sinica 5, 126-133.

Wang S. 1998. *Phoca largha*. In: China Red Data Book of endangered animals: Mammalia. Wang S, ed. Science Press, Beijing, China, 155-157.

Würsig B and Jefferson TA. 1990. Methods of photo-identification for small cetaceans. Rep Int Whal Commn Sp Iss 12, 43-52.

2010년 5월 7일 접수
2010년 7월 8일 수정
2010년 8월 13일 수리