

# 제주도 남동부해역에서 채집된 바다뱀(*Ophisurus macrorhynchos*) (뱀장어목: 바다뱀과) 엽상자어의 첫 형태기재 및 분포특성

지환성 · 최정화 · 최광호 · 윤상철 · 이동우 · 김진구<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 자원관리과, <sup>1</sup>부경대학교 자원생물학과

## First Morphological Description and the Distribution of *Ophisurus macrorhynchos* (Anguilliformes: Ophichthidae) Leptocephalus Collected from Southeastern Waters of Jeju Island

Hwan-Sung Ji, Jung Hwa Choi, Kwang Ho Choi, Sang Chul Yoon, Dong Woo Lee and Jin-Koo Kim<sup>1\*</sup>

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Seventeen specimens of leptocephali [9.8-44.5 mm total length (TL)], of the family Ophichthidae, were collected from southeastern waters off Jeju Island and the Korea-Japan intermediate zone, and identified by means of morphology and genetics. These specimens were identified as belonging to the subfamily Ophichthinae based on various combinations of morphological characters: 211-215 total myomeres; 7 gut swellings; 2 liver lobes connected with the gall bladder on the second lobe; 6-7 postanal pigments present from anus to caudal margin. An analysis of the partial 12S rRNA sequences (849 base pairs) of mitochondrial DNA showed that our specimens must be *Ophisurus macrorhynchos* because their sequences were concordant with those of the adult *O. macrorhynchos* (genetic distance = 0.000). Furthermore, their total myomeres were consistent with those of the *O. macrorhynchos* adult. This is the first time that the morphological characteristics of *O. macrorhynchos* leptocephali have been described for Korean waters, and we suggest diagnostic characteristics for the genus *Ophisurus* leptocephali. We hypothesize that one of the spawning grounds of *O. macrorhynchos* is located in the southeastern part of Jeju Island.

Key words: Leptocephali, Ophichthidae, *Ophisurus macrorhynchos*, morphological development, Distribution

### 서 론

뱀장어목(Anguilliformes) 바다뱀과(Ophichthidae) 어류에 속하는 바다뱀속(*Ophisurus*) 어류는 전세계적으로 2종(*Ophisurus macrorhynchos*, *Ophisurus serpens*) (McCosker, 1977; Eschmeyer, 2014), 우리나라에 1종(바다뱀 *O. macrorhynchos*)이 보고되어 있다(Kim et al., 2005; Ji and Kim, 2011). 이들은 인도태평양, 한국, 일본, 중국, 대만 등지의 열대 또는 아열대 해역의 수심이 깊은 곳에서 서식하며, 강한 꼬리를 이용하여 부드러운 사질이나 니질에 굴착생활을 한다(McCosker, 1977; Hatooka, 2002; Nelson, 2006; Ji and Kim, 2011). 바다뱀은 바다뱀과 어류 중 몸이 가장 길고, 척추골수는 200개 이상이며,

양턱이 앞쪽으로 길게 돌출되어 있고, 양턱과 서골에는 1-2열의 송곳니가 나 있는 것이 특징적이다(McCosker, 1977; Ji and Kim, 2011). McCosker (1977)는 바다뱀과의 골격에 의한 계통학적 연구에서 바다뱀속은 까치물뱀속(*Ophichthus*)과 근연관계를 나타낸다고 보고한 바 있으며, 이후 분자계통학적 연구결과에서도 이와 유사한 결과를 나타내었다(Ji et al., 2012). 따라서, 이들의 엽상자어기 개체발생학적 특징 비교로 근연관계를 분석할 필요가 있다. 바다뱀 성어에 대한 출현 보고는 전 세계적으로 널리 보고되었으며, 국내의 경우 Jordan and Metz (1913)가 처음 보고하였고, Chyung (1977) 및 Ji and Kim (2011) 등이 다수의 표본에 근거하여 형태특징 및 분포를 상세히 기술하였다. 우리나라 주변해역에 출현하는 바다뱀과 엽상자어들

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0888>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 47(6) 888-894, December 2014

Received 21 October 2014; Revised 19 November 2014; Accepted 2 December 2014

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5927 Fax: +82. 51. 629. 5931

E-mail address: taengko@hanmail.net

에 대한 연구는 지속적으로 수행되고 있으며, 총 6종(날붕장어 *Echelus uropterus*, 상주물뱀 *Pisodonophis sanguensis*, 제주 바다뱀 *Ophichthus asakusae*, 갯물뱀 *Muraenichthys gymnopterus*, 동해물뱀 *Scolecenchelys aoki*, 가는물뱀 *Scolecenchelys fuscogularis*)의 엽상자어기 형태특징 및 분포가 보고되었다 (Ji and Kim, 2010; Ji et al., 2011; Ji and Kim, 2012; Ji et al., 2012; Ji et al., 2013).

본 연구에서는 우리나라 제주도 동남부해역 및 한일중간수역에서 부화직후 엽상자어를 포함한 바다뱀 엽상자어17개체가 출현하여 이들의 형태 발달을 상세히 보고하고, 까치물뱀속과의 개체발생학적 특징비교, 해류에 따른 분포와 산란장에 대해 고찰하였다.

### 재료 및 방법

#### 채 집

2013년과 2014년 8월 국립수산과학원 시험조사선(탐구 20호)으로 한일중간수역 난자치어 조사 및 제주 동남부 다랑어 난

자치어 조사 시 바다뱀과 엽상자어17개체(전장 9.8-44.5 mm)가 Bongo net, IKMT net, 뱀장어네트에서 채집되었다(Fig. 1). 채집 후 표본은 99% 에탄올에 고정하였으며, 이후 국립수산과학원(National Fisheries Research and Development Institute) 난자치어 분석실(Ichthyoplankton Laboratory)에 보관하였다.

#### 형태분석

몸의 각 부위의 계수 및 계측은 Fahay and Obenchain (1978) 및 Tabeta and Mochioka (1988)의 방법을 따라 입체현미경(Olympus SZX-16) 하에서 관찰하였고, vernier calipers로 0.1 mm 단위까지 측정하였다. 이빨의 배열식은 Castle (1984)를 따랐다.

#### 분자분석

Genomic DNA는 Chelex resin 100 용액(Bio-rad)을 이용하여 엽상자어의 우측 눈알을 떼어내 추출하였다. 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 영역을 종특이적인 12S-F (5'-CAAAGGCCTGGTCCTGACTTTAA-3')와 12S-R (5'-CCTTCCGGTACACTTACCATGTTA-3') Primer로 증폭

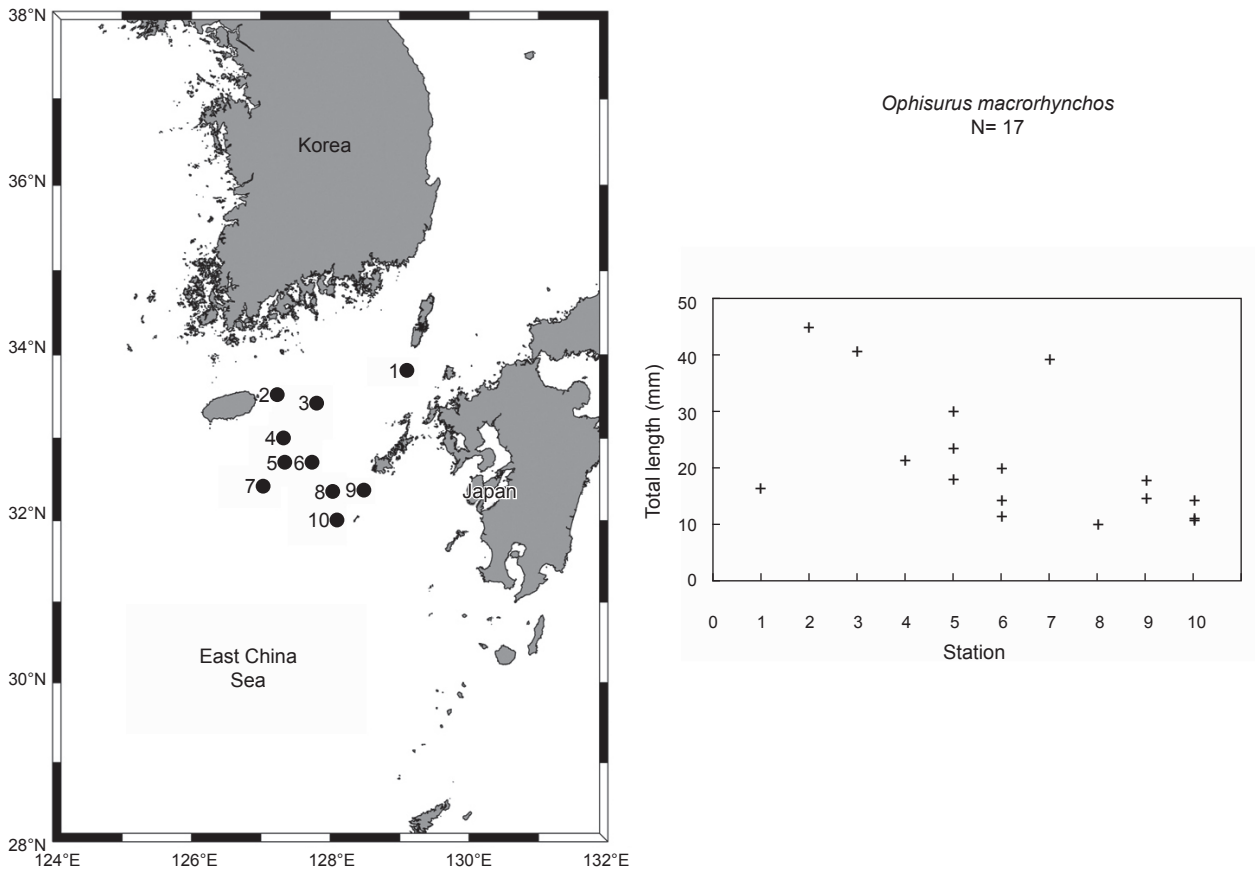


Fig. 1. Map showing the sampling stations and total length of the *Ophisurus macrorhynchus* leptocephali, in the southeastern water of Jeju Island in August 2013 and 2014.

시켰다(Ji and Kim, 2010).

10X PCR buffer 5  $\mu$ L, 2.5 mM dNTP 4  $\mu$ L, 12SR primer 5  $\mu$ L, 12SL primer 5  $\mu$ L, FX Taq DNA polymerase (GnP, Korea) 0.5  $\mu$ L를 섞은 혼합물에 genomic DNA 5  $\mu$ L (100ng)를 첨가한 후, 총 50  $\mu$ L가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 Thermal cycler (Bio-rad MJ mini PTC-1148, USA)를 이용하여 다음과 같은 조건으로 PCR을 수행하였다. Initial denaturation 94 $^{\circ}$ C에서 5분; PCR reaction 35 cycles (denaturation 94 $^{\circ}$ C에서 30초, annealing 56.5 $^{\circ}$ C에서 30초, extension 72 $^{\circ}$ C에서 1분); final extension 72 $^{\circ}$ C에서 7분. 정제는 ExoSAP-IT (United States Biochemical Corporation, USA)을 이용하였다. 염기서열은 ABI 3730XL sequencer (Applied Biosystems Inc., USA)에서 ABI Bigdyeterminator cycle sequencing ready reaction kit v 3.1 (Applied Biosystems Inc., USA)를 이용하여 다음과 같은 조건으로 cycle sequencing하여 얻었다: PCR reaction 35 cycles (denaturation 96 $^{\circ}$ C에서 10초, annealing 56 $^{\circ}$ C에서 10초, extension 60 $^{\circ}$ C에서 3분).

미토콘드리아 DNA 12S rRNA 염기서열은 BioEdit version 7의 ClustalW (Thompson et al., 1994)를 이용하여 정렬하였다. 비교 그룹으로 보유하고 있는 바다뱀과 어류 4종(제주바다뱀, *Ophichthus asakusae*, 까치물뱀 *Ophichthus evermanni*, 상주물뱀 *Pisodonophis sanguensis*, 날붕장어 *Echelurus uropterus*) NCBI (National Center for Biotechnology, Information)에 등록된 바다뱀과 어류 1종(*Ophichthus zophochir*)의 염기서열을 이용하였다. 추가적으로 뱀장어목 붕장어과(Congridae)의 붕장어(*Conger myriaster*)를 외집단으로 설정하였다. 본 연구의 바다뱀 염상자어의 염기서열은 NCBI에 등록(KP055806-KP055809)하였다. 유전거리는 Mega5 (Tamura et al., 2011)에서 Kimura-2-parameter 모델(Kimura, 1980)로 계산하였으며, 계통수는 MEGA4의 근린결합법(Neighbor joining method)을 이용하여 작성하였고, bootstrap은 10,000번 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 형태발달

바다뱀(*O. macrorhynchos*) 염상자어의 발생단계별 계수 및 계측자료는 1과 같다. 바다뱀 염상자어는 Leiby (1989)가 제시한 아과(subfamily) 검색 기준에 따라 두개의 간엽(liver lobe)이 서로 연결되어 있고, 담낭(gall bladder)은 두번째 간엽(소낭)에 위치하는 점에서 바다뱀아과(Ophichthinae)에 속한다.

부화직후 추정 염상자어(전장 9.8-18.0 mm): 전체 근절수는 240개 이상, 향문앞 근절수는 94-103개이다. 머리는 비교적 크고, 주둥이 선단부는 매우 뾰족하다(Fig. 2A, B). 양턱에는 날카로운 이빨이 나 있고, 배열식은  $\frac{1+II-III+1-2}{1+II-III+1-3}$ 이다. 눈은 작고, 약간 타원형이며 앞쪽에 2개의 비공이 나 있다. 아래턱이 위턱

보다 훨씬 전방으로 돌출되어 있고, 위턱은 다소 짧다(Fig. 2A, B). 향문전장은 전장의 64.6-78.0%로 향문은 몸의 중앙 보다 다소 뒤쪽에 위치하며, 꼬리는 몸에 비해 상당히 짧다. 체고는 전장의 7.1-11.0%로 다소 높다(Table 1). 각 지느러미는 막지느러미 형태이다. 흑색소포는 나뭇가지모양으로 7개의 소낭 중앙에 짙게 나타난다. 목덜미에 수개의 나뭇가지모양의 흑색소포가 뚜렷히 관찰되며, 꼬리말단 등쪽 및 배쪽에 짙게 분포한다. 2, 3번째 소낭 사이부터 꼬리 끝까지 체색 중앙의 각 근절에 점모양의 흑색소포가 일렬로 분포한다. 2-5개의 짙은 세로띠 흑색소포가 향문 뒤부터 체측의 배면을 따라 꼬리 끝까지 분포한다(Fig. 2A, 2B).

꼬리지느러미 형성기 염상자어(전장 19.8-39.3 mm): 전장 30 mm 이후 염상자어부터 전체 근절수는 215개로 성어와 같아진다. 전체 근절수는 215-240개, 향문앞 근절수는 95-97 개이다. 주둥이 선단부의 이빨은 이전보다 다소 짧아진다. 이전보다 위턱이 전방으로 길어지며, 아래턱이 위턱보다 약간 전방으로 돌출되어 있다. 양턱의 이빨 배열식은  $\frac{1+II-III+3-5}{1+II-V+3}$ 으로 이전보다 약간 증가하였다. 두장은 전장의 7.9-11.1%, 체고는 전장의 4.8-7.6%, 향문전장은 전장의 64.4-72.2%로 이전보다 줄어 들었다(Table 1). 꼬리는 이전보다 훨씬 뒤로 신장된다(Fig. 2C). 등지느러미와 뒷지느러미는 막지느러미 형태이다. 흑색소포는 점모양 또는 나뭇가지모양으로 7개의 소낭 등쪽과 중앙에 짙게 나타나며, 꼬리말단의 등쪽, 배쪽에 흔적으로 분포한다. 이전과 달리 세로띠 흑색소포가 5-7개로 증가하며, 향문 뒤부터 체측의 배면을 따라 꼬리 끝까지 분포한다(Fig. 2C).



Fig. 2. Leptocephalus of *Ophisurus macrorhynchos*, Jeju Island of Korea. NFRDI 20130827-77, TL= 9.8 mm (A), NFRDI 201308276-72, TL= 17.7 mm (B), NFRDI 20140827-1, TL= 30.0 mm (C), NFRDI 20140814-1, TL= 44.5 mm (D). Scale bars= 2.0 mm.

꼬리지느러미 발달기 엽상자어(전장 40.5-44.5 mm): 전체 근절수는 211-213개, 등지느러미앞 근절수는 105-115개, 항문앞 근절수는 71-101개이다. 양턱의 이빨 배열식은  $\frac{1+III-IV+5-7}{1+IV-V+4}$ 으로 이전보다 증가하였다. 양턱의 길이는 거의 비슷하나 아래턱이 위턱보다 약간 전방으로 돌출되어 있다(Fig. 2D). 두장은 전장의 7.0-7.7%, 항문전장은 전장의 62.5%로 이전보다 약간 줄어 들었으며, 체고는 이전과 유사하였다(Table 1). 등지느러미앞길이는 전장의 63.0-71.5%로 몸의 중앙보다 약간 뒤쪽에 위치하였다. 이 시기에는 이전과 달리 모든 지느러미가 분화중인데, 등지느러미는 105-115번째 근절 아래에서 시작하여 꼬리 끝까지 이어진다. 뒷지느러미와 꼬리지느러미는 잘 발달하였으며, 꼬리말단에 하미축골이 관찰된다. 6개의 짙은 세로띠 흑색소포가 항문 뒤부터 체측의 배면을 따라 꼬리 끝까지 분포한다(Fig. 2D).

비교: 바다뱀 엽상자어는 변태 전 바다뱀아과의 특징인 두개

의 간엽이 서로 연결되어 있고, 담낭은 두번째 간엽(소낭)에 위치하는 점에서 일치하였다. 또한, 전장 30.0 mm 이상 엽상자어의 전체 근절수는 211-215개로, 동아시아에 분포하는 바다뱀과 어류 중 바다뱀의 척추골수(바다뱀과 엽상자어는 211-215개 vs. 성어 바다뱀은 201-210개) 범위에 속하여 성어의 특징과 잘 일치하였다(Hatooka, 2002; Kim et al., 2005; Ji and Kim, 2011).

한편, McCosker (1977)는 바다뱀과의 골격분석을 통한 계통학적 연구에서 바다뱀속은 까치물뱀속과 근연관계를 나타낸다고 보고한 바 있다. 본 연구의 엽상자어기 특징들을 비교하면, 바다뱀 엽상자어는 항문전 소낭수가 7개, 항문 뒤 흑색소포수가 6-7개로 대서양산 및 북동아시아산 까치물뱀속(*Ophichthus*) 엽상자어 6종(제주바다뱀 *O. asakusae*, *O. ophis*, *O. melanoporus*, *O. ocellatus*, *O. gomesii*, *O. cruentifer*)의 형태특징(까치물뱀속 엽상자어는 소낭수가 7-9개, 항문 뒤 흑색소포수가 3-7

Table 1. Comparisons of measurements and counts for *Ophisurus macrorhynchos* leptocephali

Species	<i>Ophisurus macrorhynchos</i> (present study)	<i>Ophisurus macrorhynchos</i> (present study)	<i>Ophisurus macrorhynchos</i> (present study)	<i>Ophisurus macrorhynchos</i> (Ji and Kim, 2011)
Development	Euryodontic stage	Caudal fin absent	Caudal fin development	adult
The number of specimens	10	5	2	9
Total length (mm, TL)	9.8-18.0	19.8-39.3	40.5-44.5	1370.0-1775.0
In % of total length				
Head length	10.2-15.5 (12.7±1.3)	7.9-11.1 (9.6±1.2)	7.0-7.7 (7.3±0.5)	-
Predorsal length	-	-	63.0-71.5 (67.2±6.0)	-
Preanal length	64.6-78.0 (73.7±3.6)	64.4-72.2 (68.6±3.1)	62.5 (62.5±0.0)	-
Body depth	7.1-11.0 (8.9±1.4)	4.8-7.6 (6.2±1.2)	5.6-5.9 (5.8±0.2)	-
In % of Head length				
Eye diameters	17.6-23.1 (21.7±1.6)	16.1-22.7 (19.6±2.6)	16.1 (16.1±0.0)	-
Snout length	36.4-44.4 (39.0±3.5)	33.3-40.9 (37.2±3.1)	41.9-45.2 (43.5±2.3)	-
Upper jaw length	54.5-63.2 (61.9±3.5)	51.6-59.1 (55.2±3.3)	58.1-61.3 (59.7±2.3)	-
Counts				
Total myomeres	>240	215-240	211-213	201-209
Predorsal myomeres	-	-	105-115	-
Preanal myomeres	94-103	95-97	97-101	-
1st vertical blood vessel	11-14	13-14	13-14	-
Last vertical blood vessel	92-98	93-95	94-97	-
1st gut swelling	12-15	14-15	14-15	-
Last gut swelling	93-96	94-95	95-97	-
Postanal pigment	2-5	5-7	6	-
Number of nostril	2	2	2	-
Number of gut swelling	7	7	7	-
Dentition formular	$\frac{1+II-III+1-4}{1+II-III+1-3}$	$\frac{1+II-III+3-5}{1+II-V+3}$	$\frac{1+III-IV+5-7}{1+IV-V+4}$	-

개)과 유사하였다(Fahay and Obenchain, 1978; Ji et al., 2013). 하지만, 몸의 중앙의 각 근절에 흑색소포 유무(까치물뱀속은 체측 중앙의 각 근절에 흑색소포가 없음)에서 잘 구분되어 속을 진단하는 주요 특징으로 판단된다. 국내 보고된 바다뱀아과 2종(날붕장어 *E. uropterus*, 상주물뱀 *P. sangjuensis*) 염상자어와 비교하면, 간엽의 분리유무와 담낭의 위치에서 유사하였지만, 항문전 소낭수(바다뱀 염상자어는 7개 vs. 날붕장어 염상자어는 9개 vs. 상주물뱀 염상자어는 8개), 항문뒤 흑색소포수(바다뱀 염상자어는 6-7개 vs. 날붕장어, 상주물뱀 염상자어는 8개), 전체 근절수(바다뱀 염상자어는 211-215개 vs. 날붕장어 염상자어는 154-158개 vs. 상주물뱀 염상자어는 144-154개), 등지느러미앞 근절수(바다뱀 염상자어는 105-115개 vs. 날붕장어 염상자어는 32-38개 vs. 상주물뱀 염상자어는 132-141개)에서 잘 구분되었다(Ji and Kim, 2010; Ji et al., 2011).

또한, 부화직후 염상자어의 근절수는 성어의 척추골수에 비해 다소 많은 것으로 알려져 있는데(Leiby, 1984), 본 연구에서 바다뱀 부화직후 염상자어의 경우 전체 근절수가 240개 이상으로 성어의 척추골수 범위(201-210개) 보다 30개 이상의 차이를 보였다(Table 1). 그러나, 양턱의 길이가 같아지는 시기(전장 30.0 mm 이상)가 되면 성어의 척추골수 범위에 들어가는 것으로 사료된다. 한편, 날붕장어 염상자어 및 까치물뱀속 염상자어 3종은 양턱 길이가 같아지는 전장 20.0 mm에서 성어의 척추골수와 일치하여, 바다뱀 염상자어 보다 이른 시기에 성어의 척추골수와 같아 지는 것으로 나타났다(Fahay and Obenchain, 1978; Ji et al., 2011).

분자동정

제주도산 바다뱀 염상자어를 대상으로 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 886 base pair 염기서열을 분석한 결과, 우리나라 남해에서 채집된 바다뱀(*O. macrorhynchos*) 성어와 100% 일치하여 바다뱀 염상자어인 것으로 확인되었다(Table 2). 바다

뱀 염상자어는 *O. zophochir*와 유전거리 95.4% 일치하였으며, 다음으로 제주바다뱀(*O. asakusae*)과 유전거리 94.3%, 까치물뱀(*O. evermanni*)과 93.0% 일치하였다(Table 1). 근린결합수(Neighbor joining tree)를 통해 제주도산 바다뱀 염상자어는 바다뱀 성어와 일직선상에 유집되었으며, 까치물뱀 2종(*O. zophochir*, *O. asakusae*)과 가깝게 나타났다(Fig. 3).

산란장에 대한 고찰

본 조사지역에서 바다뱀 염상자어는 8월에 제주도 동남부, 한일중간수역 및 대마도 남부 해역에서 부화직후 추정 염상자어(전장 9.8-18.0 mm)와 꼬리지느러미 형성전 염상자어(전장 19.8-39.3 mm), 꼬리지느러미 발달기 염상자어(전장 40.5-44.5 mm)가 출현하였다(Fig. 1). 산란장 조사는 어란과 부화자어의 출현으로 규명이 가능하다. 최근 붕장어 부화직후 염상자어(전장 5.8-7.8 mm)의 출현으로 일본 남부 이주 보닌 마리아나 해구(IBM; Izu-Bonin-Mariana) 해역에서도 산란장이 형성되며(Kurogi et al., 2012), 은붕장어 2아종(*Gnathophis nystromi nystromi*, *Gnathophis nystromi ginanago*)의 부화직후 염상자어(전장 5.8-10.3 mm)의 출현으로 일본 북부 연안에 산란장이 형성된다고 보고되었다(Kimura et al., 2006).

본 연구결과 바다뱀의 부화직후로 추정되는 염상자어(전장 9.8-11.3 mm)가 한일 중간수역에서 채집되어 바다뱀의 산란장은 대마난류의 영향이 강한 한국 제주 남동부 해역 또는 일본 큐슈 서부 해역에 형성되는 것으로 사료된다(Fig. 1). 한편, 바다뱀과 2종(*Ophichthus gomesi*, *Myrophis punctatus*)의 염상자어기 일령분석을 실시하여 변태기간 및 산란장을 추정한 연구에서, 이들은 염상자어기간이 50-70일령으로 짧아 산란장이 대륙붕에서 멀지 않은 외해일 것이라고 보고하였다(Bishop et al., 2000). 본 연구 염상자어의 크기로 보아 본 연구의 바다뱀 산란장도 먼 바다가 아닌 제주도 남동부 해역 또는 일본 큐슈 서부 해역일 가능성이 크다. 해류에 따른 바다뱀 염상자어의

Table 2. Genetic distance among *Ophisurus leptocephali*, 6 ophichthid species and 1 outgroup

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Ophisurus leptocephalus</i> (1)										
<i>Ophisurus leptocephalus</i> (2)	0.000									
<i>Ophisurus leptocephalus</i> (3)	0.000	0.000								
<i>Ophisurus leptocephalus</i> (4)	0.000	0.000	0.000							
<i>Ophisurus macrorhynchos</i> (5)	0.000	0.000	0.000	0.000						
<i>Ophichthus asakusae</i> (6)	0.057	0.057	0.057	0.057	0.057					
<i>Ophichthus evermanni</i> (7)	0.070	0.070	0.070	0.070	0.070	0.062				
<i>Ophichthus zophochir</i> (8)	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.063	0.070			
<i>Echelus uropterus</i> (10)	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.084	0.092	0.080		
<i>Pisodonophis sangjuensis</i> (11)	0.085	0.085	0.085	0.085	0.085	0.097	0.069	0.089	0.125	
<i>Conger myriaster</i> (12)	0.210	0.210	0.210	0.210	0.210	0.224	0.221	0.214	0.205	0.212

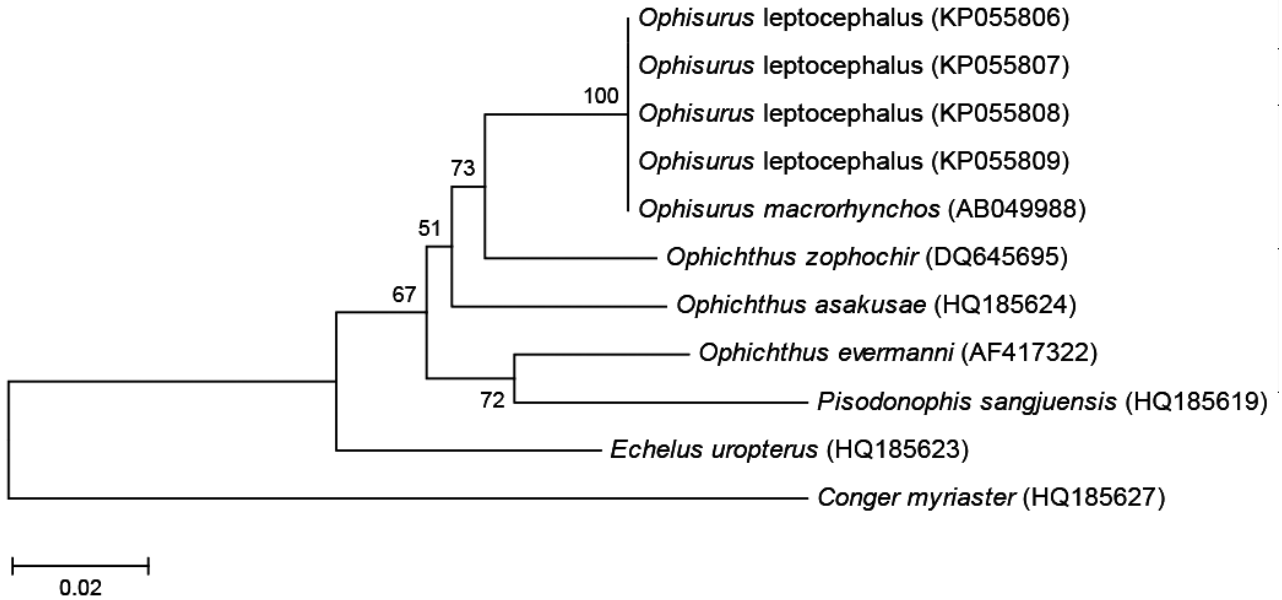


Fig. 3. Neighbor-joining tree based on mtDNA 12S rRNA nucleotide sequences showing the relationships among the *Ophisurus leptocephali* and 6 ophichthid species with one outgroup (*Conger myriaster*). The Neighbor-joining tree was constructed using the Kimura-2-parameter distance model. 10,000 replications of bootstrap. Bar indicates genetic distance of 0.02.

분포특성을 살펴보면, 부화한 것으로 추정되는 엽상자어(전장 9.8-11.3 mm)가 한일 중간수역 남단에서, 꼬리지느러미 형성 전 엽상자어(전장 30.0 mm)가 제주도 남동부에서, 그리고 꼬리지느러미 발달기 엽상자어(전장 40.5-44.5 mm)가 제주도 주변에서 채집됨에 따라 부화후 대마난류를 타고 계속 북상하는 것으로 추정된다(Fig. 1). 즉, 바다뱀 엽상자어는 7-8월 제주도 최남단에서 부화 후 대마난류를 타고 제주, 남해, 동해까지 북상하여 변태 후 정착하는 것으로 사료된다(Fig. 1).

## 사 사

본 논문은 국립수산물품질관리원 근해어업자원조사(승인번호: RP-2014-FR-048)의 지원으로 이루어졌으며, 지원에 감사드립니다.

## References

Bishop RE, Torres JJ and Crabtree RE. 2000. Chemical composition and growth indices in leptocephalus larvae. *Mar Biol* 137, 205-214.  
 Castle PHJ. 1984. Notacanthiformes and Anguilliformes: Development. In: *Ontogeny and systematics of fishes*. Moser HG, Richards WJ, Cohen DM, Fahay MP, Kendall AW and Richardson SL, eds. Allen Press INC., Lawrence, USA, 62-69.  
 Chyung MK. 1977. *The fishes of Korea*. Ilchisa, Seoul, Korea,

727.  
 Eschmeyer WN. 2014. *Catalog of fishes electronic version*. available from: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. on 4 December 2014  
 Fahay MP and Obenchain CL. 1978. Leptocephali of the ophichthid genera *Ahlia*, *Myrophis*, *Ophichthus*, *Pisodonophis*, *Callechelys*, *Letharchus* and *Apterichtus* on the Atlantic continental shelf of the United States. *Bull Mar Sci* 28, 442-486.  
 Hatooka K. 2002. Ophichthidae. In: *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*. Nakabo T, ed. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 215-225.  
 Ji HS and Kim JK. 2010. Molecular and morphological identification of ophichthid leptocephali from the south sea of Korea. *Korean J Ichthyol* 22, 279-284.  
 Ji HS and Kim JK. 2011. Taxonomic review of the snake-eels family Ophichthidae (Anguilliformes) from Korea. *Korean J Ichthyol* 23, 46-60.  
 Ji HS, Lee SJ and Kim JK. 2011. Molecular identification, ontogeny and evolutionary note of *Echelus uropterus* leptocephali. *Korean J Ichthyol* 23, 217-224.  
 Ji HS, Lee HW, Hong BK and Kim JK. 2012. Four newly reported ophichthid leptocephali species revealed by mitochondrial 12S rDNA, with implications of their occurrence in Korea. *Anim Cells Syst* 16, 415-424. <http://dx.doi.org/10.1080/19768354.2011.652168>.  
 Ji HS and Kim JK. 2012. Molecular and morphological iden-

- tification of *Muraenichthys gymnopterus* (Ophichthidae: Anguilliformes) leptocephalus collected from Jeju Island, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 45, 507-512.
- Ji HS, Choi JH, Choi KH, Lee DW and Kim JK. 2013. Morphological identification of a *Ophichthus asakusae* (Ophichthidae: Anguilliformes) leptocephalus collected on Jeju island, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 46, 594-597.
- Jordan DS and Metz CW. 1913. A catalogue of the fishes known from the waters of Korea. Mem Carn Mus 6, 1-65, pls. 1-10.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyohak, Seoul, Korea, 615.
- Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. J Mol Evol 16, 111-120. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01731581>.
- Kimura Y, Miller MJ, Minagawa G, Watanabe S, Shinoda A, Aoyama J, Inagaki T and Tsukamoto K. 2006. Evidence of a local spawning site of marine eels along northeastern Japan, based on distribution of small leptocephali. Fish Oceanogr 15, 183-190.
- Kurogi H, Mochioka N, Okazaki M, Takahashi M, Miller MJ, Tsukamoto K, Ambe D, Katayama S and Chow S. 2012. Discovery of a spawning area of the common Japanese conger *Conger myriaster* along the Kyushu-Palau Ridge in the western North Pacific. Fish Sci 78, 525-532.
- Leiby MM. 1984. Leptocephalus larvae of the tribe Callechelyini (Anguilliformes, Ophichthidae, Ophichthinae) in the western North Atlantic. Bull Mar Sci 34, 398-432.
- Leiby MM. 1989. Family Ophichthidae: Leptocephali. In: Fishes of the Western North Atlantic. Böhlke EB, ed. Part 9, Volume 2 Leptocephali, Sears Foundation for Marine Research, New Haven, 764-897.
- McCosker JE. 1977. The osteology, classification, and relationships of the eel family Ophichthidae. Proc Calif Acad Sci Ser 4 41, 1-123.
- Nelson JS. 2006. Fishes of the world. 4th ed, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA, 601.
- Tabeta O and Mochioka N. 1988. Family Ophichthidae. In: An Atlas of the early stage fishes in Japan. Okiyama M, ed. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 58-62.
- Tamura K, Peterson D, Peterson N, Stecher G, Nei M and Kumar S. 2011. MEGA5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods. Mol Bio Evol 28, 2731-2739. <http://dx.doi.org/10.1093/molbev/msr121>.
- Thompson JD, Higgins DG and Gibson TJ. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position specific gap penalties and weight matrix choice. Nucl Acids Res 22, 4673-4680. <http://dx.doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>.