

## 날붕장어 (*Echelus uropterus*) 엽상자어의 분자동정, 개체발생 및 진화학적 고찰

지환성 · 이수정 · 김진구\*

부경대학교 자원생물학과

**Molecular Identification, Ontogeny and Evolutionary Note of *Echelus uropterus* Leptocephali by Hwan Sung Ji, Soo Jeong Lee and Jin Koo Kim\*** (Department of Marine Biology, Pukyong National University, 599-1 Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea)

**ABSTRACT** The seven leptocephali (14.6~68.0 mm in total length) of the family Ophichthidae, from the East Sea of Korea, were identified using 12S rRNA 861-bp sequences and their morphological development were described. Our seven leptocephali were identified to *Echelus uropterus* based on genetic distance ( $d=0.000$ ) being well consistent with that of adult *E. uropterus*. Our seven leptocephali of *E. uropterus* are characterized by morphological combinations: caudal fin present; the melanophores present in series of nine gut swellings; total myomeres 154~158; body depth in total length less than 10%; eight black horizontal bands present from anus to caudal fin base. Our morphological and molecular results suggest that *E. uropterus* may be an intermediate group between subfamily Ophichthinae and Myrophinae.

**Key words** : Leptocephali, Ophichthidae, 12S rRNA, *Echelus uropterus*, identification, evolution

### 서 론

엽상자어 (leptocephalus)는 뱀장어목 (Anguilliformes) 어류의 소속 분류군에서 공통적으로 볼 수 있는 자어기의 형태로, 몸은 가늘고 길며 심하게 측편되어 있으며 특히 완전히 투명하다는 점에서 매우 특이하다 (Tabeta and Mochioka, 1988). 바다뱀과 (Ophichthidae) 어류는 뱀장어목 어류 중 가장 다양한 분류군으로, 전세계적으로 52속 260종 (McCosker, 2010; Eschmeyer, 2011), 우리나라에는 6속 11종 (Ji and Kim, 2011a, b)이 보고되어 있다. 전세계 바다뱀과 어류의 분류학적 연구는 McCosker (1970, 1977, 1998, 2006, 2009, 2010)에 의해 지속적으로 수행되어 왔으나, 최근까지 속명 이전 (Castle and McCosker, 1999), 동종이명 처리 (Hoshino *et al.*, 2011), 바다뱀과 어류의 불확실성 (McCosker, 1977; Ji and Kim, 2011c) 등 해결해야 할 과제가 많이 남아 있다.

바다뱀과 어류는 엽상자어라는 특이한 자어기 형태를 띠기 때문에 많은 어류학자들의 연구대상이 되어 왔다. Leiby (1979, 1981, 1982, 1984)는 대서양에서 채집된 엽상자어를 대상으로, Richardson and Cowen (2004)은 일본에서 채집된 바다뱀과 엽상자어를 대상으로 그들의 형태를 상세히 보고하였으며, Michael and Obenchain (1978)은 처음으로 대서양에서 채집된 바다뱀과 7속 12종의 엽상자어를 대상으로 발생단계별 형태를 상세히 보고하였다. 한편, 한국 주변해역에서는 Kim *et al.* (2004)이 처음으로 제주도 주변에서 채집된 바다뱀과 엽상자어를 7개 type으로 구분하여 그들의 형태를 간략히 소개하였다. 이후 Ji and Kim (2010)은 남해 상주에서 채집된 바다뱀과 엽상자어를 대상으로 형태 및 분자방법을 병행한 정밀 동정을 실시한 바 있다.

초기생활기의 형태 특징은 분류학적으로 계군을 구분짓거나 (Kim *et al.*, 2010), 신종임을 주장하거나 (Kang, 2000), 또는 속의 타당성을 주장할 때 (Parin, 1996) 중요한 단서로 이용된다. 바다뱀과 어류에 속하는 날붕장어속 (*Echelus*) 어류의 경우 과거에는 갯물뱀아과 (Myrophinae)의 일원이었으

\*교신저자: 김진구 Tel: 82-51-629-5927, Fax: 82-51-629-5931,  
E-mail: taengko@hanmail.net

나(Gosline, 1952) 최근 바다뱀아과(Ophichthinae)의 일원으로 간주되는(McCosker, 1977) 등 혼란스러운 분류군이다. 따라서 이들 염상자어의 발생단계별 형태 특징을 조사함으로써 바다뱀과 어류의 분류학적 문제점(McCosker, 1977; Ji and Kim, 2011c)을 해결하는 데 기여할 수 있을 것이다. 그러나, 대부분 초기생활기의 형태정보가 없고, 있더라도 성장하면서 식별형질이 변하기 때문에 초기생활기에 종을 식별하기란 매우 어렵다(Taylor and Watson, 2004). 그러나, 최근에는 형태 정보의 한계를 극복하고 보다 정확한 종 동정을 위해 분자동정을 적용하는 사례가 증가 추세에 있다(Kim *et al.*, 2008; Paine *et al.*, 2008; Ji and Kim, 2010). 따라서 본 연구는 동해남부 연안에서 채집된 바다뱀과 염상자어 7개체를 대상으로 분자방법에 의한 종동정 결과를 제시하고, 개체발생에 따른 형태 특징들을 상세히 비교하며, 최종적으로 염상자어의 형태 및 분자특징에 근거하여 날붕장어의 진화에 관해 고찰하고자 한다.

## 재료 및 방법

2010년 7월~10월까지 한국 동해 남부 기장 앞바다(N35° 11'12", E129° 15'40")에서 바다뱀과 염상자어 7개체(전장 14.6~68.0 mm)를 플랑크톤 네트(RN80 net)를 이용하여 채집하였다. 채집 후 70% 에탄올에 고정하였으며, 조사가 끝난 표본은 부경대학교(Pukyong National University, PKU) 어류학실험실 표본실(Ichthyology laboratory collection)에 등록, 보관하였다. 몸의 각 부위의 계수 및 계측은 Tabeta and Mochioka (1988)의 방법을 따라 계측하였으며, 입체현미경(Olympus SZX-16, Japan) 하에서 관찰하였고, 0.1 mm 단위까지 측정하였다. 정확한 종 동정을 위해 우측 눈알을 이용하여 Chelex resin 100 용액(Bio-rad)으로 gDNA를 추출하였다. 이후 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 영역을 종특이적인 12S-F(5'-CAAAGGCCTGGTCCTGACTTTAA-3')와 12S-R(5'-CCTTCCGGTACACTTACCATGTTA-3') Primer를 제작하여 증폭시켰다. 10X PCR buffer 5 µL, 2.5 mM dNTP 4 µL, 12S-F primer 5 µL, 12S-R primer 5 µL, FX Taq DNA polymerase(GnP, Korea) 0.5 µL를 섞은 혼합물에 genomic DNA 5 µL(100 ng)를 첨가한 후, 총 50 µL가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 Thermal cycler(Bio-rad MJ mini PTC-1148, USA)를 이용하여 다음과 같은 조건으로 PCR을 수행하였다. Initial denaturation 94°C에서 5분; PCR reaction 35 cycles(denaturation 94°C에서 30초, annealing 56.5°C에서 30초, extension 72°C에서 1분); final extension 72°C에서 7분, 정제는 ExoSAP-IT(United States Biochemical Corporation, USA)을 이용하였다.

미토콘드리아 DNA 12S rRNA 염기서열은 BioEdit version

7의 ClustalW(Thompson *et al.*, 1994)를 이용하여 정렬하였다. 비교 그룹으로 날붕장어(*Echelus uropterus*) 성어와 NCBI(National Center for Biotechnology, Information)에 등록된 바다뱀과 어류 6종의 염기서열을 이용하였다. 외집단으로는 뱀장어과의 뱀장어(*Anguilla japonica*)와 붕장어과의 붕장어(*Conger myriaster*)를 이용하였다. 유전거리는 Mega4(Tamura *et al.*, 2007)에서 Kimura-2-parameter 모델(Kimura, 1980)로 계산하였다. 계통도는 Mega4에서 근린결합법(neighbor joining)을 이용하였으며, bootstrap은 1000번 수행하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 분자동정

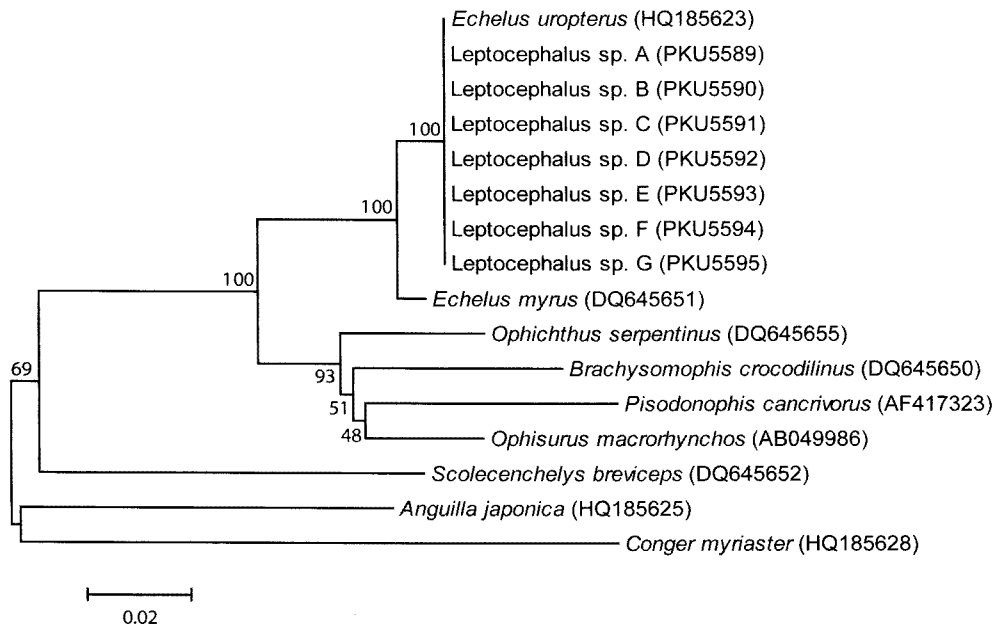
미토콘드리아 DNA 12S rRNA 861 base pair를 분석한 결과, 동해산 염상자어 7개체는 우리나라 남해에서 채집된 날붕장어(*Echelus uropterus*) 성어와 100% 일치하여 날붕장어의 염상자어인 것으로 확인되었다. 형태적으로 동정하기 어려운 염상자어를 정확히 동정하기 위해 분자방법을 병행한 연구사례는 최근에 와서 증가 추세에 있다. Kim *et al.* (2008)은 미토콘드리아 DNA cytochrome *b* 분자동정을 통해 여울멸과(Albulidae) 염상자어를 *Albula forsteri* 성어와 유전거리 0.006~0.038으로 종을 동정한 바 있다. 또한, Ji and Kim (2010)은 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 분자동정을 통해 바다뱀과 염상자어를 *Pisodonophis* sp.로 동정한 바 있으며, 이후 본종은 신종, *Pisodonophis sangjuensis*으로 정립되었다(Ji and Kim, 2011b). 상기의 연구결과와 본 연구결과를 비교하면 여울멸과 어류의 경우 cytochrome *b*에서 종내 유전거리가 5% 이내로 다소 높은 값을 보였으며(Colborn *et al.*, 2001), 바다뱀과 어류의 경우 12S rRNA에서 종내 유전거리가 0%로 거의 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 전세계적으로 날붕장어속(*Echelus*) 어류에는 3종(날붕장어 *E. uropterus*, *Echelus myrus*, *Echelus pachyrhynchus*)이 보고되어 있는데, 날붕장어는 근연종인 *E. myrus*와 유전거리 1.5% 차이를 보였다(Table 1). 비록 미토콘드리아 DNA 12S rRNA가 보존적인 영역임에도 불구하고(Hwang and Kim, 1999), 날붕장어속 어류의 경우 종을 동정하는 데 유용한 분자마커인 것으로 사료된다. 근린결합수(NJ-tree)에 의하면 동해산 염상자어는 날붕장어 성어와 일직선상에 유집되었으며, 이어 *E. myrus*와 유집되어 날붕장어의 염상자어인 것으로 판단된다(Fig. 1).

### 2. 개체발생

동해에서 채집된 염상자어의 발생단계별 계수 및 계측 자료는 Table 2와 같다. 동해산 염상자어는 Castle(1984)이

**Table 1.** Genetic distance among 7 individuals of *Echelus uropterus* leptocephali (1~7) and 7 species of ophichthids (8~14) adult with 2 outgroups (15~16)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Leptocephalus sp. A (1)	0.000														
Leptocephalus sp. B (2)	0.000	0.000													
Leptocephalus sp. C (3)	0.000	0.000	0.000												
Leptocephalus sp. D (4)	0.000	0.000	0.000	0.000											
Leptocephalus sp. E (5)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000										
Leptocephalus sp. F (6)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000									
Leptocephalus sp. G (7)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000								
<i>Echelus uropterus</i> (8)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
<i>Echelus myrus</i> (9)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015						
<i>Scolecenchelys breviceps</i> (10)	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152	0.149						
<i>Ophichthus serpentinus</i> (11)	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.073	0.163					
<i>Pisodonophis cancrivorus</i> (12)	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.108	0.100	0.171	0.085				
<i>Brachysomophis crocodilinus</i> (13)	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.096	0.087	0.175	0.070	0.091			
<i>Ophisurus macrorhynchus</i> (14)	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.080	0.073	0.170	0.053	0.071	0.066		
<i>Anguilla japonica</i> (15)	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.155	0.159	0.156	0.170	0.185	0.180	0.171	
<i>Conger myriaster</i> (16)	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.204	0.206	0.195	0.220	0.204	0.203	0.207	0.187



**Fig. 1.** Neighbor-joining tree based on partial mt 12S rRNA nucleotide sequences showing the relationships among 7 ophichthids leptocephali and 7 species of ophichthids adult with 2 outgroups. The Neighbor-joining tree using the Kimura-2-parameter distance model. 1000 replications of bootstrap. Bar indicates genetic distance of 0.02.

제시한 아과 검색 기준에 따라 전장에 대한 체고가 10% 이하, 등지느러미 담기골이 미약한 점에서 바다뱀아과(Ophichthinae)에 속하나, 꼬리지느러미가 발달한 점에서는 갯물뱀아과(Myrophinae)에 속한다. 꼬리지느러미를 가지는 종은 바다뱀아과 어류 중 날봉장어속 3종과 *Leptenchelys vermiformis*에서만 볼 수 있는 특징으로 이러한 측면에서 날봉장어는 진화확상 두아과 사이에 위치하는 분류군으로 추측된다.

전장 14.6 mm 엽상자어 (PKU 5589) : 항문전 소낭수는 9

개였다. 두장은 전장의 11.6%, 체고는 10.3%이고, 항문장은 72.1%로 몸의 중앙보다 뒤쪽에 위치하였다. 각 지느러미는 막지느러미 형태였다. 아래턱이 위턱보다 전방으로 돌출되어 있고, 주둥이 선단부에는 날카로운 이빨이 나 있었다. 흑색소포는 양턱 전방, 소낭 등쪽 및 꼬리말단 위쪽에 짙게 분포하며, 항문 뒤로 짙은 8개의 흑색소포가 분포하였다.

전장 17.7 mm 엽상자어 (PKU 5590) : 항문전 소낭수는 9개로 변화가 없다. 두장은 전장의 9.0%, 체고는 8.5%로 이전보다 줄어들었으며, 항문장은 71.3%로 거의 변화가 없었

**Table 2.** Comparisons of measurements and counts for *Echelus uropterus* leptocephali with *Ophichthinae* sp. 3 leptocephali

	PKU 5589~5595 (Present study)	<i>Ophichthinae</i> sp. 3 (Tabeta and Mochioka, 1988)
Total length (mm)	14.6~68.0	15.0~72.0
<b>In % of total length</b>		
Head length	4.7~11.6 (6.8±2.4)	—
Predorsal length	31.2~37.8 (35.8±3.3)	—
Preanal length	54.7~72.1 (60.4±6.8)	—
Body depth	7.4~10.3 (8.2±0.9)	—
<b>In % of head length</b>		
Eye diameters	14.3~23.5 (17.8±2.8)	—
Snout length	50.0~57.1 (54.0±2.6)	—
Upper jaw length	71.0~78.6 (75.7±2.9)	—
<b>Counts</b>		
Total myomeres	154~158 (155.9±1.6)	149~160
Predorsal myomeres	39~42 (40.8±1.3)	—
Preanal myomeres	68~73 (70.9±1.8)	70~75
1st vertical blood vessel	9~12 (10.1±1.1)	—
Last vertical blood vessel	66~71 (69.4±1.9)	57~60
1st gut swelling	9~13 (10.6±1.3)	—
Last gut swelling	67~70 (68.3±1.3)	—
Postanal pigment	8	6~8
Number of nostril	2	2
Number of gut swelling	9	9

Parenthese indicate mean ± standard deviation.

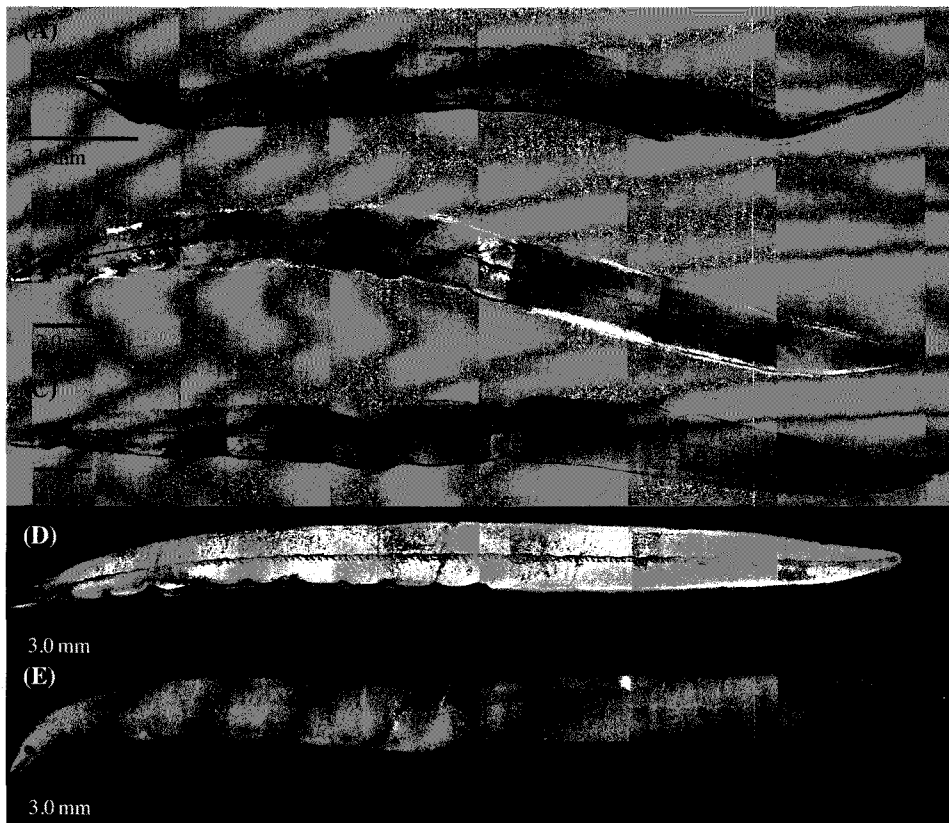
다. 각 지느러미는 막지느러미 형태였다(Fig. 3A). 아래턱은 여전히 위턱보다 전방으로 돌출되어 있으며, 주둥이 선단부에는 날카로운 이빨이 나 있었다(Fig. 2A).

전장 45.5 mm 엽상자어(PKU 5591) : 두장은 전장의 6.2%로 이전보다 현저히 줄어들었으며, 체고는 8.4%로 변화가 없고, 항문장은 62.2%로 줄어들었다. 이 시기에는 이전과 달리 모든 지느러미가 분화 중인데, 등지느러미는 40번째 근절 아래에서 시작하여 꼬리까지 이어지며, 꼬리지느러미는 비교적 작고 뒷지느러미는 항문 뒤부터 꼬리지느러미 앞까지 나 있었다(Fig. 3B). 이전과 달리 양턱의 길이가 같아지고, 주둥이 선단부에는 여전히 날카로운 이빨이 나 있었다(Fig. 2B). 흑색소포는 이전과 동일하였다(Fig. 2B).

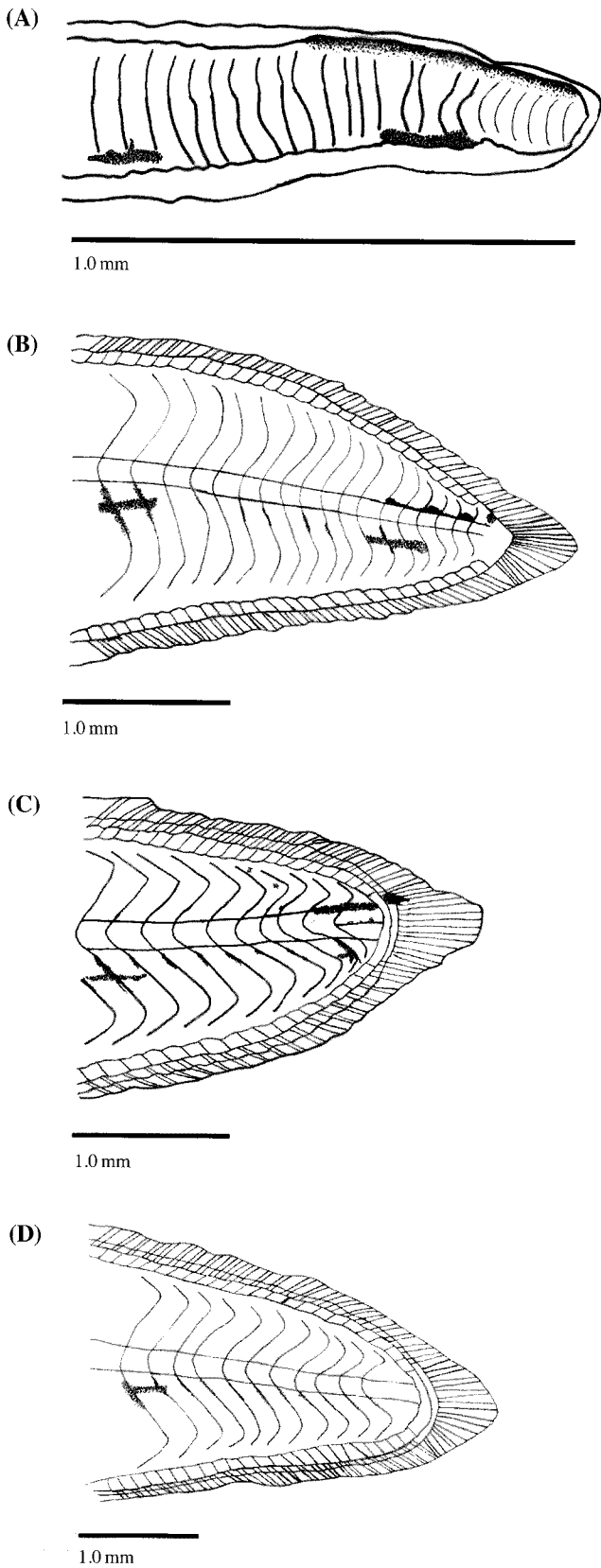
전장 58.5 mm 엽상자어(PKU 5593) : 두장은 전장의 5.5%, 체고는 7.4%로 이전과 차이가 없었으나 항문장은 54.7%로 전보다 약간 줄어들었다(Fig. 2C). 꼬리지느러미가 이전보다 발달된 형태를 나타내었다(Fig. 3C).

전장 62.2 mm 엽상자어(PKU 5594) : 두장은 전장의 5.0%로 이전보다 약간 줄어들었으며, 항문장은 54.7%, 체고는 7.6%로 이전과 비슷하였다(Fig. 2D).

전장 68.0 mm 엽상자어(PKU 5595) : 두장은 전장의 4.7%, 항문장은 54.9%, 체고는 7.4%로 이전과 비슷하였다. 등지



**Fig. 2.** *Echelus uropterus* leptocephali, East Sea of Korea. TL=17.7 mm (A), TL=45.5 mm (B), TL=58.5 mm (C), TL=62.2 mm (D), TL=68.0 mm (E). Scale bar=3.0 mm.



**Fig. 3.** Caudal region of *Echelus uropterus leptocephali*, East Sea of Korea. TL=17.7 mm (A), TL=45.5 mm (B), TL=58.5 mm (C), TL=68.0 mm (D). Scale bar=1.0 mm.

느러미는 41번째 근절에서 시작하여, 대략 40번째 근절을 중심으로 약간의 변이가 있는 것 같다(Fig. 2E). 꼬리지느러미 끝은 넓게 등지느러미 및 뒷지느러미와 합쳐지는 양상을 보였다(Fig. 3D).

### 3. 형태비교

동해산 엽상자어의 전체 근절수는 154~158개로 한국에 분포하는 바다뱀과 어류 중 까치물뱀 (*Ophichthus evermanni*)의 척추골수(150~154), 갯물뱀 (*Muraenichthys gymnopterus*)의 척추골수(155~156) 등과 일부 중복되나, 날봉장어 성어의 척추골수(152~158개)와 잘 일치하였다(Ji and Kim, 2011a). 날봉장어는 꼬리지느러미를 가지는 특성상 과거 갯물뱀아과에 포함되었다가(Gosline, 1952), 가슴지느러미를 가지는 특성상 최근에는 바다뱀아과의 일원으로 간주되는 등(McCosker, 1977) 분류학적으로 혼란스럽다. 이러한 불확실성을 해결하기 위하여 본 연구에서는 날봉장어 엽상자어의 꼬리지느러미 분화과정을 관찰하였고, 이를 바다뱀아과 엽상자어 7종(Michael and Obenchain, 1978; Ji and Kim, 2010) 및 갯물뱀아과 엽상자어 3종(Michael and Obenchain, 1978; Tabeta and Mochioka, 1988)과 비교하였다(Table 3). 날봉장어 엽상자어에서는 꼬리지느러미가 전장 45.5~68.0 mm 개체에서 관찰된 반면, 바다뱀아과 엽상자어들은 꼬리지느러미가 전장 45.0~55.0 mm 범위에서 형성되어 50.0~70.0 mm 범위에서 사라지는 동시에 꼬리 끝이 단단해진다 고 보고되었다(Table 3)(Michael and Obenchain, 1978). 또한, 바다뱀아과의 *Ophichthus melanoporus* 엽상자어의 경우 55.0~75.0 mm 범위에서는 꼬리지느러미가 미약하게 나타나다가 75.0~80.0 mm 범위에서는 소실된다고 보고하였다. 따라서 날봉장어를 제외한 모든 바다뱀아과 엽상자어들은 전장 75.0 mm 이후부터 꼬리지느러미가 소실되는 것으로 사료된다(Table 3; Michael and Obenchain, 1978). 반면, 갯물뱀아과 엽상자어들은 꼬리지느러미가 전장 55.0~65.0 mm 범위에서 형성되었다가 이후에도 계속 유지하는 것으로 나타났다(Table 3; Michael and Obenchain, 1978). 따라서 날봉장어 엽상자어의 꼬리지느러미 발달과정은 갯물뱀아과 어류의 그것과 유사함을 알 수 있다(Table 3).

날봉장어 엽상자어의 등지느러미 출현 시기는 다소 불확실하지만 Michael and Obenchain (1978)이 언급한 대로 전장 20.0~30.0 mm 범위에서 출현하는 것으로 추정된다. 등지느러미 기점은 날봉장어 성어의 경우 가슴지느러미 중앙 위쪽에 위치하는데(Ji and Kim, 2011a) 날봉장어 엽상자어는 전장 68.0 mm까지는 몸의 30~40% 앞쪽에 치우쳐 있다가 변태기에 이르러 성어와 유사해지는 것으로 추측된다.

날봉장어 엽상자어의 가슴지느러미는 조사한 전 개체(전장 14.6~68.0 mm)에서 관찰되었으며, 날봉장어 성어도 가

**Table 3.** Ontogenetic change in the caudal fin among 11 ophichthids leptocephali and adult

Total length (mm, TL)	~20.0	~30.0	~45.0	~50.0	~55.0	~60.0	~65.0	~70.0	~75.0	~80.0	~90.0	~100.0	~120.0	Adult
<b>Ophichthinae</b>														
<i>Echelus uropterus</i> <sup>1</sup>	none	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	○
<i>Apterichthys kendalli</i> <sup>2</sup>	-	-	-	○	○	×	×	×	-	-	-	-	-	×
<i>Letharchus velifer</i> <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	○	×	×	-	-	-	-	×
<i>Ophichthus ophis</i> <sup>2</sup>	-	-	-	○	○	○	○	○	△	×	×	×	-	×
<i>Ophichthus melanoporus</i> <sup>2</sup>	-	-	-	○	○	△	△	△	△	×	×	×	-	×
<i>Ophichthus gomesi</i> <sup>2</sup>	-	-	-	-	○	○	○	○	○	×	×	×	-	×
<i>Ophichthus cruentifer</i> <sup>2</sup>	-	-	-	-	○	○	×	×	×	×	×	-	-	×
<i>Pisodonophis sangjuensis</i> <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×	×
<b>Myrophinae</b>														
<i>Scolecenchelys gymnota</i> <sup>4</sup>	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○
<i>Myrophis platyrhynchus</i> <sup>2</sup>	-	none	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-	○
<i>Ahlia egmontis</i> <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	-	-	-	○

○=Caudal fin present; △=Caudal fin rudimentary rays; ×=Caudal fin absent.

<sup>1</sup>Present study, <sup>2</sup>Michael and Obenchain (1978), <sup>3</sup>Ji and Kim (2010), <sup>4</sup>Tabeta and Mochioka (1988).

슴지느러미를 가진다 (Hatooka, 2002; Ji and Kim, 2011a). 따라서 날봉장어 엽상자어의 가슴지느러미 발달과정은 바다뱀아과 어류와 유사함을 알 수 있다. 한편, 날봉장어 엽상자어 (전장 14.6~68.0 mm)는 성장하면서 두장( $HL = -0.11TL + 11.98$ ,  $r^2 = 0.91$ ), 뒷지느러미 앞길이 ( $PAL = -0.36TL + 77.19$ ,  $r^2 = 0.95$ ) 및 체고 ( $BD = -0.04TL + 10.08$ ,  $r^2 = 0.73$ )가 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 진화학적 고찰

바다뱀과 어류의 엽상자어는 전장에 대한 체고(바다뱀아과는 체고가 10% 이하 vs. 갯물뱀아과는 10% 이상), 등지느러미 담기골 발달상태(바다뱀아과는 약하게 발달, 변태시 앞쪽으로 많이 이동 vs. 갯물뱀아과는 잘 발달, 변태시 앞쪽으로 적게 이동), 꼬리지느러미 유무(바다뱀아과는 변태전 꼬리지느러미가 없다 vs. 갯물뱀아과는 변태전 꼬리지느러미가 있다)의 특징에 의해 2아과로 구분된다 (Castle, 1984). 날봉장어 엽상자어는 체고가 10% 이하, 등지느러미 담기골이 약하게 발달된 특징에 따라 바다뱀아과에 속하나, 꼬리지느러미가 발달한 특징에서는 갯물뱀아과의 일원으로 볼 수 있다. McCosker (1977)는 갯물뱀아과의 잘 발달된 꼬리지느러미를 원시형질로 보았고, 바다뱀아과의 꼬리지느러미가 없는 특징을 최근 진화한 것으로 간주하였다. 개체발생학적으로 날봉장어 엽상자어는 잘 발달된 꼬리지느러미를 가져 원시형질을 그대로 유지하고 있음을 보여준다. 또한, 아과를 구분하는 형질로 꼬리지느러미 유무 외, 가슴지느러미 유무도 사용되었다 (McCosker, 1977). 즉, 대부분 갯물뱀아과 어류들은 가슴지느러미를 가지지 않는 반면 (Hatooka, 2002), 날봉장어를 포함한 바다뱀아과 어류들은 가슴지느러미를 가진다 (McCosker, 1977; Hatooka, 2002). 하지만 엽상자어기 두아과는 모두 가슴지느러미를 가지며, 이들 중 갯

물뱀아과는 성어가 되면서 가슴지느러미가 사라진다고 보고되어 있다 (McCosker, 1977). 날봉장어 엽상자어는 가슴지느러미와 꼬리지느러미를 동시에 가지며 성어기에도 그대로 유지된다. 이처럼 두아과의 공통된 형태특성을 모두 가지는 점에서 날봉장어속은 과거 분류학적으로 혼란스러운 분류군이였다. 즉, Gosline (1952)는 날봉장어속을 꼬리지느러미를 가지는 점에서 갯물뱀아과에 포함시켰으나, 이후 McCosker (1977)는 미골의 형태에 근거하여 바다뱀아과로 이전하였으며 현재까지 인용되고 있다 (Nelson, 2006; Eschmeyer, 2011). 본 연구에서 분자분석 결과, 날봉장어 엽상자어는 바다뱀아과 어류들과 가깝게 유집되었으며, 갯물뱀아과의 *Scolecenchelys breviceps*와는 매우 먼 거리에서 유집되는 결과를 보였다 (Fig. 1). 따라서 이러한 결과는 날봉장어를 바다뱀아과에 포함시킨 McCosker (1977)의 가설을 확고히 지지해준다. 바다뱀과 어류의 진화 역사를 조심스럽게 고찰해보면, 가슴지느러미가 없고 동시에 꼬리지느러미를 가지는 갯물뱀아과 어류가 가장 원시적인 그룹, 가슴지느러미와 꼬리지느러미를 동시에 가지는 날봉장어가 중간 그룹, 가슴지느러미를 가지는 동시에 꼬리지느러미가 없는 바다뱀아과 어류가 가장 진화된 그룹으로 추정된다.

#### 요 약

동해에서 바다뱀과 엽상자어 7개체 (TL 14.6~68.0 mm)를 채집하여, 미토콘드리아 DNA 12S rRNA 861 bp 염기서열로 종을 동정하고, 이들의 개체발생을 기술하고, 진화적 관계를 고찰하였다. 바다뱀과 엽상자어 7개체는 날봉장어 성어와 유전거리 ( $d=0.000$ )에서 잘 일치하였다. 날봉장어 엽상자어 7개체는 9개의 소낭이 항문 앞까지 존재하고, 전체 근절수가 154~158개, 전장에 대한 체고가 10% 이하이며,

흑색소포가 항문 뒤부터 꼬리지느러미 앞까지 8개 분포하는 형태적 특징을 보였다. 엽상자어의 형태 및 분자 분석결과를 통해 날뿔장어는 진화확장 바다뱀아과 및 갯물뱀아과 사이에 위치하는 그룹으로 사료된다.

사 사

본 논문을 심사해 주신 세 분 심사위원께 감사의 말씀을 드립니다. 본 연구는 부경대학교의 지원을 받아 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

Castle, P.H.J. 1984. Notacanthiformes and Anguilliformes: Development. In: Moser, H.G., W.J. Richards, D.M. Cohen, M.P. Fahay, A.W. Kendall and S.L. Richardson (eds.), Ontogeny and systematics of fishes. Amer. Soc. Ichthyol. Herpetol., Lawrence, pp. 62-69.

Castle, P.H.J. and J.E. McCosker. 1999. A new genus and two new species of Myrophine worm-eels, with comments on *Muraenichthys* and *Scolecenchelys* (Anguilliformes: Ophichthidae). Rec. Aust. Mus., 51: 113-122.

Colborn, J., R.E. Crabtree, J.B. Shaklee, E. Pfeiler and B.W. Bowen. 2001. The evolutionary enigma of bonefishes (*Albula* spp.): Cryptic species and ancient separations in a globally distributed shorefish. Evolution, 55: 807-820.

Eschmeyer, W.N. 2011. Catalog of fishes electronic version. available from: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.

Gosline, W.A. 1952. Notes on the systematic status of four eel families. J. Wash. Acad. Sci., 42: 130-135.

Hatooka, K. 2002. Ophichthidae. In: Nakabo, T. (ed.), Fishes of Japan with pictorial keys to the species. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 215-225.

Hoshino, K., Y. Hibino, S. Kimura and Y. Machida. 2011. The worm eel, *Muraenichthys okamurai* Machida and Ohta 1996, a junior synonym of *Muraenichthys borealis* Machida and Shioyaki 1990. Ichthyol. Res., 58: 184-187.

Hwang, U.W. and W. Kim. 1999. General properties and phylogenetic utilities of nuclear ribosomal DNA and mitochondrial DNA commonly used in molecular systematics. Korean J. Parasitol., 37: 215-228.

Ji, H.S. and J.K. Kim. 2010. Molecular and morphological identification of ophichthid leptocephali from the south sea of Korea. Korean J. Ichthyol., 22: 279-284. (in Korean)

Ji, H.S. and J.K. Kim. 2011a. Taxonomic review of the snake-eels family Ophichthidae (Anguilliformes) from Korea. Korean J. Ichthyol., 23: 46-60. (in Korean)

Ji, H.S. and J.K. Kim. 2011b. A new species of snake eel, *Pisodonophis sangjuensis* (Anguilliformes: Ophichthidae) from Korea. Zootaxa, 2758: 57-68.

Ji, H.S. and J.K. Kim. 2011c. Revision of the snake-eel genus *Pisodonophis* (Anguilliformes: Ophichthidae), with description of a new species. In: Proc. of Annual International Conference in the Fisheries Society of the British Isles, p. 36.

Kang, C.B. 2000. Taxonomical studies on the genus *Lateolabrax* (Pisces, Perciformes) from the Korean waters. Ph.D. Thesis. Pukyong Nat. Univ., Korea, 138pp. (in Korean)

Kim, B.J., S. Kim, H.S. Seo and J. Oh. 2008. Identification of *Albula* sp. (Albulidae: Albuliformes) leptocephalus collected from the southern coastal waters of Korea using cytochrome *b* DNA sequences. Ocean Sci. J., 43: 101-106.

Kim, B.J., Y.B. Go and S.J. Lee. 2004. Morphology of Ophichthidae leptocephalus in coast of Jeju Island. In: Proc. of Biannual Meeting of the Aquaculture Society of Korea, 1: 453-454.

Kim, J.K., W. Watson, J. Hyde, L. Nancy, J.Y. Kim, S. Kim and Y.S. Kim. 2010. Molecular identification of *Ammodytes* (Ammodytidae, PISCES) larvae, with ontogenetic evidence on separating populations. Genes and Genomics, 32: 437-445.

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.

Leiby, M.M. 1979. leptocephalus larvae of the eel family Ophichthidae. I. *Ophichthus gomesi* Castelnau. Bull. Mar. Sci., 29: 329-343.

Leiby, M.M. 1981. Larval morphology of the eels *Bascanichthys bascanium*, *B. scuticaris*, *Ophichthus melanophorus* and *O. ophis* (Ophichthidae), with a discussion of larval identification methods. Bull. Mar. Sci., 31: 46-71.

Leiby, M.M. 1982. Leptocephalus larvae of the tribe Sphagerbranchini (pisces, Ophichthidae) in the western North Atlantic. Bull. Mar. Sci., 32: 220-236.

Leiby, M.M. 1984. Leptocephalus larvae of the tribe Callechelyini (Anguilliformes, Ophichthidae, Ophichthinae) in the western North Atlantic. Bull. Mar. Sci., 34: 398-432.

McCosker, J.E. 1970. A review of the eel genera *Leptenchelys* and *Muraenichthys*, with the description of a new genus, *Schismorhynchus*, and a new species, *Muraenichthys chilensis*. Pacific Sci., 24: 506-516.

McCosker, J.E. 1977. The osteology, classification, and relationships of the eel family Ophichthidae. Proc. Calif. Acad. Sci. Ser. 4, 41: 1-123.

McCosker, J.E. 1998. Snake-eels of the genus *Xyrias* (Anguilliformes: Ophichthidae). Cybium, 22: 7-13.

McCosker, J.E. 2006. A new deepwater species of worm-eel, *Scolecenchelys castlei* (Anguilliformes: Ophichthidae), from New Zealand and Australia, with comments on *S. breviceps* and *S. macroptera*. J. Royal Soc. New Zealand, 36: 17-26.

McCosker, J.E. 2009. Comments on the snake-eel genus *Xyrias*

- (Anguilliformes: Ophichthidae) with the description of a new species. *Zootaxa*, 2289: 61-67.
- McCosker, J.E. 2010. Deepwater Indo-Pacific species of the snake-eel genus *Ophichthus* (Anguilliformes: Ophichthidae), with the description of nine new species. *Zootaxa*, 2505: 1-139.
- Michael, P. and C.L. Obenchain. 1978. Leptocephali of the ophichthid genera *Ahlia*, *Myrophis*, *Ophichthus*, *Pisodonophis*, *Callechelys*, *Letharchus*, and *Apterichtus* on the atlantic continental shelf of the United states. *Bul. Mar. Sci.*, 28: 442-486.
- Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 601pp.
- Paine, M.A., J.R. McDowell and J.E. Graves. 2008. Specific identification using COI sequence analysis of scombrid larvae collected off the Kona coast of Hawaii Island. *Ichthyol. Res.*, 55: 7-16.
- Parine, N.V. 1996. On the species composition of flying fishes (Exocoetidae) in the west central part of tropical Pacific. *J. Ichthyol.*, 36: 357-364.
- Richardson, D.E. and R.K. Cowen. 2004. New leptocephalus types collected around the island of Barbados (West Indies). *Copeia*, 2004: 888-895.
- Tabeta, O. and N. Mochioka. 1988. Family Ophichthidae. In: Okiyama M. (ed.), *An Atlas of the early stage fishes in Japan*. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 58-62.
- Tamura, K., J. Dudley, M. Nei and S. Kumar. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 4.0. *Mol. Biol. Evol.*, 24: 1596-1599.
- Taylor, C.A. and W. Watson. 2004. Utility of larval pigmentation to identify nearshore rockfishes of the *Sebastes* subgenus *Pteropodus* from southern California. *CalCOFI Rep.*, 45: 113-117.
- Thompson, J.D., D.G. Higgins and T.J. Gibson. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, positionspecific gap penalties and weight matrix choice. *Nucl. Acids Res.*, 22: 4673-4680.