



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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 주변해역 바다뱀科(뱀장어目)
어류의 분류 및 분자계통학적 연구



해 양 생 물 학 과

지 환 성



이 학 석 사 학 위 논 문

한국 주변해역 바다뱀科(뱀장어目)
어류의 분류 및 분자계통학적 연구

지도교수 김 진 구

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해 양 생 물 학 과

지 환 성

지환성의 이학석사 학위논문을 인준함.

2011년 2월 25일



주 심 수 산 학 박 사 남 기 환 인

위 원 이 학 박 사 김 현 우 인

위 원 이 학 박 사 김 진 구 인

목 차

요약 -----	i
I. 서론 -----	1
II. 재료 및 방법 -----	4
1. 실험표본 -----	4
2. 형태분석 -----	6
3. 분자분석 -----	6
가. DNA 추출 -----	6
나. 중합효소연쇄반응 -----	7
다. 자료분석 -----	9
III. 결과 -----	10
1. 형태기재 -----	10
2. 분자분석 -----	41
가. 유전다양성 -----	41
나. 계통유연관계 -----	42
IV. 고찰 -----	48
1. 형태 -----	48
2. 분자 -----	50
3. 바다뱀亞科와 갯물뱀亞科의 엽상자어에 대한 고찰 -----	52
4. 바다뱀科내의 진화학적 고찰 -----	54
V. 참고문헌 -----	59
감사의 글 -----	67

Taxonomy and Molecular phylogenetic study of the family Ophichthidae
(Anguilliformes) from the adjacent waters of Korea

Hwan sung Ji

Department of Marine Biology, Pukyong National University

Abstract

The taxonomic review of 6 genera and 10 species in the family Ophichthidae was carried out based on specimens from the adjacent waters of Korea. In counts the number of vertebrae was well distinguished among 10 species; *Ophisurus macrorhynchus* (201~209), *Ophichthus rotundus* (178~183), *Pisodonophis zophistius* (179~182), *Pisodonophis cancrivorus* (153~164), *Echelus uropterus* (152~158), *Muraenichthys gymnopterus* (155~156), *Ophichthus evermanni* (150~154), *Brachysomophis porphyreus* (137~148), *Ophichthus urolophus* (135~138) and *Ophichthus asakusae* (124~134). In measurements, snout length in head length was well distinguished among 6 genera; *Ophisurus* (27.2~31.2), *Echelus* (21.7~27.8), *Ophichthus* (13.9~22.7), *Pisodonophis* (17.7~20.4), *Muraenichthys* (8.4~11.8) and *Brachysomophis* (9.1~9.4). In genetics, mitochondrial DNA 12S rRNA 958bp sequences were compared with those of 17 ophichthid species and five outgroups. This study suggests the non-monophyly of the family Ophichthidae because four outgroups were located between the subfamilies Ophichthinae and Myrophinae. Additional studies are needed in order to clarify the relationship among the two subfamilies and related families (Muraenesocidae and Congridae). Maximum-likelihood tree showed that only *O.*

evermanni was closely clustered with the *Ophichthus* spp., suggesting relocation of the species. In this study, a total of 24 specimens of *Pisodonophis* sp. were collected from the South Sea of Korea, and was identified as a new species. The scientific name of this species is proposed as "*Pisodonophis sangjuensis*" and its Korean name as "Sangju-mul-baem". Among 10 recorded ophichthid species in the Korean waters, seven species (*E. uropterus*, *O. macrorhynchus*, *O. rotundus*, *O. urolophus*, *O. asakusae*, *P. cancrivorus*, *M. gymnopterus*) were collected from the Yellow Sea, South Sea and around the Jeju Island, suggesting that the ophichthid fishes prefer warmer areas. Besides, three species (*P. zophistius*, *B. porphyreus*, *O. evermanni*) were not collected in the present study, accordingly, they are not distributed or rarely occurred near Korean waters.



I. 서론

뱀장어목(Anguilliformes) 바다뱀과(Ophichthidae) 어류는 전세계적으로 52속 260종(McCosker, 2010; Eschmeyer, 2010), 동아시아에 26속 59종(McCosker and Randall, 1993), 대만에 9속 18종(Mok, 1993), 일본에 19속 38종(Hatooka, 2002), 우리나라에 6속 10종(Kim *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2009)이 보고되어있다. 바다뱀과는 꼬리지느러미 유무에 따라 2개의 亞科로 구분되며, 꼬리지느러미를 가지면 갯물뱀亞科(Myrophinae), 꼬리지느러미가 없으면 바다뱀亞科(Ophichthinae)로 간주된다(Nelson, 2006; Hatooka, 2002). 이들은 어린시기에 엽상자어(leptocephalus)시기를 가지며(Tabeta and Mochioka, 1988), 이들중 특히 바다뱀亞科는 강한 꼬리를 이용하여 부드러운 사질이나 니질에 굴착생활을 한다(McCosker, 1977; Nelson, 2006).

바다뱀과 어류의 주요 분류형질로 이빨의 형태, 체색, 등지느러미기점, 두부감각공 분포양상 등이 알려져 있다(McCosker *et al.*, 1989; Shen, 1990; Hatooka, 2002). 바다뱀과 어류는 최근까지 신종이 보고되고 있으며(McCosker, 2006; 2009; 2010), *Xyrias*속의 재검토(McCosker, 1998), *Brachysomophis*속의 재검토(McCosker and Randall, 2001), *Ophichthus*속의 재기재(Sumida and Machida, 2000), *Ophichthus*속의 기재(McCokser, 2010) 등 분류학적 연구가 활발히 수행되고 있다. 한편, Castle and McCosker (1999)에 의해, 갯물뱀속(*Muraenichthys*) 어류 6종(*M. macropterus*, *M. borealis*, *M. schulzie*, *M. gymnotus*, *M. okamurai*, *M. japonicus*)이 이빨의 형태, 눈 및 후비공의 위치, 두부감각공수 등에 의해 *Muraenichthys*속에서

*Scolecenchelys*속으로 전속된 바 있다. 바다뱀과의 형태연구는 활발히 진행되고 있는 반면, 분자계통연구는 Wang *et al.* (2002)의 뱀장어목의 분자계통연구에서 보고된 3종(*Pisodonophis cancrivorus*, *Ophichthus evermanni*, *Muraenichthys* sp.) 및 Lopez *et al.* (2007)의 뱀장어목의 불확실성에서 보고된 7종(*Echelus myrus*, *Myrichthys maculosus*, *Brachysomophis crocodilinus*, *Ophichthus zophochir*, *Ophichthus serpentinus*, *Scolecenchelys breviceps*, *Myrophis vafer*) 만이 연구되어 있다. 상기의 연구결과들은 뱀장어목 전체의 분자계통연구로 바다뱀과 내의 분자계통 연구는 전세계적으로도 전무한 실정이다.

국내의 경우 Jordan and Metz (1913)가 바다뱀 *Ophisurus macrorhynchus*을 처음 보고하였고, Mori (1952)가 바다뱀과 6종(날뿔장어, *Echelus uropterus*; 바다뱀, *Ophisurus macrorhynchus*; 까치물뱀, *Ophichthus evermanni*; 갈물뱀, *Ophichthus urolophus*; 돛물뱀, *Pisodonophis zophistius*; 자물뱀, *Brachysomophis porphyreus*)의 목록이 제시되었으며, 이후 Chyung (1977)이 5속 6종의 형태특징을 상세히 기술하였다. 이후 Lee and Asano (1997)가 한국 신종인 둥근물뱀(*Ophichthus rotundus*)을 보고하였으며, 최근 3미기록종(갯물뱀, *Muraenichthys gymnopterus*; 돌기바다뱀, *Pisodonophis cancrivorus*; 제주바다뱀, *Ophichthus asakusae*)이 추가로 보고되어 지금까지 총 6속 10종이 알려져 있다(Kim *et al.*, 2008; Lee, 2009; Kim *et al.*, 2009).

바다뱀과 어류에 대한 국내연구는 단편적인 미기록종 보고만 있을 뿐 바다뱀과 어류의 체계적인 분류 및 분자계통학적 연구가 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 한국 주변해역에 서식하는 바다뱀과 어류의 형태적 특징을 상세히 기술하고 최근 새롭게 정립된 속간, 중간 분류학적 위치 변경에 관한 외국문헌을 비교하여, 이를 근거로 한국주변해역 바다뱀과 6속 10종의 학명을 검토한 후 최종적으로 종 검색표를 작성하였다. 또한 처음으로 바다뱀과 어류

의 분자계통학적 연구를 통하여 다계통성에 대한 가능성을 제안하였다. 또한, 전세계적으로 보고되지 않은 돛물뱀속 1신종의 형태 및 분자특성을 보고하고자 한다.



Ⅱ. 재료 및 방법

1. 실험표본

바다뱀목 어류는 2005년부터 2009년까지 우리나라 서해, 남해, 제주도 주변 해역(Fig. 1)에서 정치망 또는 새우조망 어선에 직접승선하여 직접 채집하거나, 수산과학원(NFRDI)에서 일부 보관중인 시료를 대상으로 하였다. 둥근물뱀은 군산대학교(BKNU)에 직접 방문하여 측정하였으며, 돛물뱀 *Pisodonophis zophistius*, 돌기바다뱀 *Pisodonophis cancrivorus*은 일본 북해도 대학(HUMZ)에서, 까치물뱀 *Ophichthus evermanni*은 대만 Academia Sinica (ASIZP)에서 각각 대여받아 측정하였다. 단, 자물뱀 *Brachysomophis porphyreus*에 대해서는 표본 대여가 어려워 McCosker and Randall (2001)를 인용하였다. 조사 후 표본은 부경대학교(Pukyong National University, PKU) 어류학실험실 표본실(Ichthyology laboratory collection)에 등록, 보관하였다.

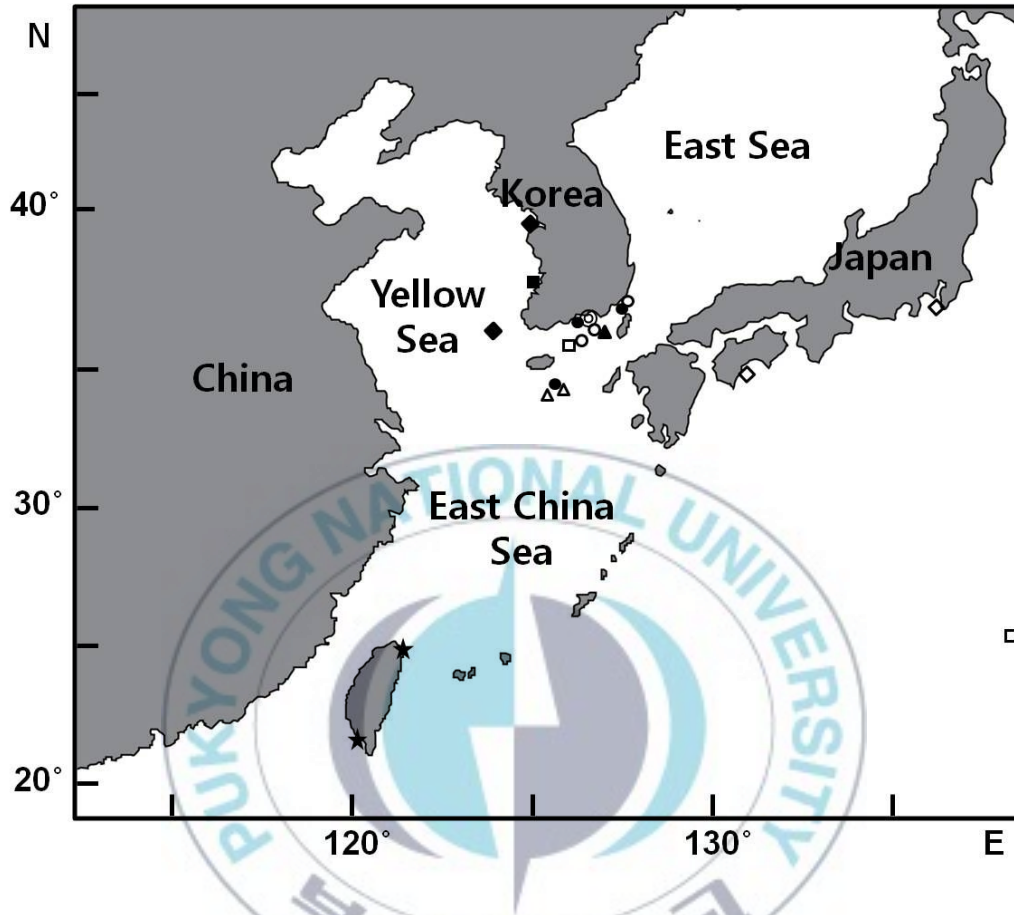


Fig. 1. Map showing the sampling area of *Echelus uropterus* (●), *Ophisurus macrorhynchus* (○), *Ophichthus evermanni* (★), *Ophichthus rotundus* (■), *Ophichthus urolophus* (▲), *Ophichthus asakusae* (△), *Pisodonophis zophistius* (◇), *Pisodonophis cancrivorus* (□), *Muraenichthys gymnopterus* (◆). *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov. (◎).

2. 형태분석

몸의 각 부위의 계수 및 계측과 두부감각공의 용어는 McCosker (1977, 1989)를 따랐다. 안상골공(Supraorbital pores; SO)은 사골공(Ethmoid pore)+안상골공(SO)을 계수하였으며, 안하골공(Infraorbital pore)은 상악골공(Maxillary pore)+안후골공(Postorbital pore)을 수직으로 계수하였다. 또한 하악골공(Mandibular pore)+전새개골공(preopercular pore)과 머리 등쪽과 양측면의 상측두골공(Supratemporal pore)을 계수하였다(Fig. 2). 척추골은 Soft X-ray (X'Pert-MPD System, Netheland)로 촬영 후 계수하였다.

3. 분자분석

가. Genomic DNA 추출

Genomic DNA는 각 바다뱀과 어류들의 근육조직을 이용하여 추출하였다. 10% Chelex 100 Resin (Bio-rad, USA) 150 μ l가 들어있는 PCR튜브에 소량의 근육을 넣은 후, Thermal cycler (Bio-rad MJ mini PTC-1148, USA)에 넣고 60℃에서 20분, 99℃에서 25분 두었다. 추출된 Genomic DNA는 4℃에서 냉장보관 하였다.

나. 중합효소연쇄반응

미토콘드리아 DNA 12S rRNA 영역은 Wang *et al.* (2002)의 12SR (5'-TTTCATGTTTCCTTGCGGTAC-3')과 12SL (5'-AAAGCACGGCACTGAAGATGC-3') Primer를 이용하여 증폭시켰다. 또한, 증폭되지 않은 종에 한해서는 직접 종특이적인 12S-F (5'-CAAAGGCCTGGTCCTGACTTTAA-3')와 12S-R (5'-CCTTCCGGTACACTTACCATGTTA-3') Primer를 제작하여 증폭시켰다. 10X PCR buffer 5 μ l, 2.5 mM dNTP 4 μ l, 12SR primer 5 μ l, 12SL primer 5 μ l, FX Taq DNA polymerase (GnP, Korea) 1 μ l를 섞은 혼합물에 genomic DNA 5 μ l를 첨가한 후, 총 50 μ l 가 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]. PCR 완료 후 1% Agarose gel에 PCR product 와 10X loading buffer (Takara, Japan)를 섞은 혼합물을 주입한 후, 전기영동장치 (Mupid-One Mupid-exU, Japan)를 100 voltage에서 30분 동안 작동시켜 밴드 유무를 확인하였다.

정제는 PCR product 에 ExoSAP-IT (United States Biochemical Corporation, USA)를 섞은 후, Thermal cycler (Bio-rad MJ mini PTC-1148, USA)에 넣고 37에서 15분, 80에서 15분 두었다.

염기서열은 ABI 3730XL sequencer (Applied Biosystems Inc., USA)에서 ABI Bigdyeterminator cycle sequencing ready reaction kit v3.1 (Applied Biosystems Inc., USA)를 이용하여 다음과 같은 조건으로 cycle sequencing 하여 얻었다: PCR reaction 35cycles (denaturation 96 $^{\circ}$ C에서 10초, annealing

56℃에서 10초, extension 60℃에서 3분).



다. 자료분석

미토콘드리아 DNA 12S rRNA 염기서열의 정렬은 BioEdit version 7 (Hall, 1999)의 ClustalW (Thompson *et al.*, 1994)를 이용하여 Full multiple alignment 하였다. 염기서열간 유전거리는 Mega 4 (Tamura *et al.*, 2007)의 Pairwise distance를 Kimura-2-parameter 모델 (Kimura, 1980)로 계산하였다. GTR+I 모델은 ModelTest version 3.5 (Posada and Crandall, 1998)을 사용하여 최적의 진화모델을 선택하였다. Phylogenetic tree는 Neighbor-Joining (NJ), Maximum-likelihood (ML), Maximum-parsimony (MP) 방법을 이용하여 작성하였다. NJ 방법은 Mega 4를 이용하여 Kimura-2-parameter 모델로 분석하였으며, bootstrap은 1000번 수행하였다. GTR+I 모델은 Modeltest version 3.5 (Posada and Crandall, 1998)을 사용하여 Akaiki information criterion에 근거한 최적의 진화모델을 선택하였다. ML 및 MP 방법은 Paup version 4.0b10 (Swofford, 2003)을 사용하여 분석하였으며, 바다뱀목 어류의 염기서열을 비교하기 위해 NCBI (National Center for Biotechnology, Information) 등록한 5종과 등록된 바다뱀목 어류 12종의 Database를 이용하였고, 외집단으로 뱀장어목의 5종(갯장어 *Muraenesox cinereus*, 갈창갯장어 *Muraenesox bagio*, 붕장어 *Conger myriaster*, 은붕장어 *Gnathophis nystroemi*, 뱀장어 *Anguilla japonica*)을 등록하여 비교 분석하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 형태기재

Family Ophichthidae (국명 : 바다뱀과)

기재 : 몸에는 비늘이 없다. 꼬리지느러미는 없거나 흔적으로 존재한다. 전비공은 비관형태로 윗입술 밖으로 돌출되어 있거나 주둥이 앞에 있고, 후비공은 윗입술의 가장자리 안쪽과 바깥쪽에 위치한다(McCosker and Castle, 1986; Nelson, 2006). 새공은 매우 작다(Nelson, 2006). 측선은 머리뒤에서 시작하여 꼬리지느러미 앞까지 뻗어있다. 전 세계적으로 2亞科 52속 260여종이 알려져 있다(McCosker, 2010). 이들은 열대나 아열대해역의 바닥에 서식하며, 기수나 담수에 서식하는 종도 있다(Nelson, 2006).

Subfamily Ophichthinae (국명 : 바다뱀亞과)

기재 : 대부분 가슴지느러미를 가지며, 꼬리지느러미는 날뿔장어를 제외하면 없다. 등지느러미는 가슴지느러미와 항문사이에서 시작된다. 전 세계적으로 41속 175종이 알려져 있다(McCosker and Castle, 1986; Nelson, 2006).

1. Genus *Echelus* (Rafinesque, 1810) (국명: 날뿔장어속)

Echelus Rafinesque, 1810: 63 (type species : *Echelus punctatus* Rafinesque, 1810).

기재 : 가슴지느러미는 크다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작되며 꼬리지느러미는 흔적적으로 존재한다. 양턱과 서골에는 과립상의 이빨이 다열로 줄지어 있다. 안후골공이 없고, 상측두골공은 양측면에 1개씩 존재한다. 전 세계적으로 3종이 알려져 있다(Eschmeyer, 2010).

1.1. *Echelus uropterus* (Temminck and Schlegel, 1846)

(국명: 날붕장어) (Plate 1A)

Conger uropterus Temminck and Schlegel, 1846: 261.

Myrophis uropterus: Jordan and Snyder, 1901: 861.

Echelus uropterus: Jordan *et al.*, 1913: 83; Mori, 1952: 66; Randall, 1973: 177; Chyung, 1977: 242; Asano, 1984: 30; Smith and McCosker, 1999: 1668; Hatooka, 2002: 224; Kim *et al.*, 2005: 87.

관찰재료 : PKU 922 (전장 518.0 mm), 2008.09, 명정구; PKU 1325 (전장 583.0 mm), 부산 자갈치시장(N35°05'38", E129°01'49"), 2008.12.30, 김진구; NFRDI 20050404-40, 2005.03, 트롤, 김진구 ; NFRDI 20050608-13, 2005.02, 트롤, 김진구; NFRDI 20050831-20, 부산 동암(N35°11'41", E129°13'42"), 2005.03.30, 정치망, 김진구; NFRDI 20050927-11~22 (전장 327.0-558.0 mm), 제주도 남부(N32°53'36", E126°15'17"), 2005.09.02, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20051017-01~06 (전장 538.0 mm), 제주도 남부(N33°12'25", E126°14'30"), 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20060529-43, 제주도 남부(N32°39'19", E126°25'08"), 2006.04.26, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20060710-43, 제주도 남부(N33°14'38", E127°13'33"), 2006.04.17, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20060710-54, 제주도 남부(N32°53'36",

E126°15'17"), 2006.04.17, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20061121-08~09, 제주도 남부(N33°13'32", E126°46'21"), 2006.11.07, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20070104-12~15 (전장 276.0-401.0 mm), 제주도 남부(N33°13'32", E126°46'21"), 2006.11.07, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20070122-01~05, 제주도 남부(N32°40'01", E126°52'01"), 2006.10.28, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구. HUMZ-99882 (전장 306.0 mm), 동중국해(N30°26'72", E127°35'06"), 2007.06.09, 트롤, 수심 140 m.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14~15개, 항문전 측선공수는 42~50개, 척추골수는 152~158개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며, 꼬리지느러미는 흔적적으로 존재한다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2A 및 Table 1과 같다. 양턱과 서골에는 과립상의 이빨이 다열로 줄지어 있으며, 전서골과 서골은 연결되어 있다(Fig. 3A).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 밝은 갈색을, 배쪽은 흰색을 띠며, 등지느러미와 뒷지느러미 후단부는 검다. 포르말린 고정 후에도 체색은 동일하다.

분포 : 한국 남해 및 제주도 남부(본 연구), 일본 남부(Hatooka, 2002), 대만(Mok, 1993) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Temminck and Schlegel, 1846)에 의하면, 등지느러미와 뒷지느러미 후단부가 검은 점에서 본 조사표본과 잘 일치하였다. Asano (1984)와 Hatooka (2002)는 가슴지느러미(13~16개), 항문전 측선공수(46~51개), 척추골수(152~162개) 및 과립상의 이빨이 다열로 배열되어 있는 점에서 본 조사표본과 잘 일치하였다. 날붕장어는 바다뱀亞科(Ophichthinae) 어류에

서 유일하게 흔적적인 꼬리지느러미를 가지는 종으로, 안후골공과 상측두골공이 없는 점에서 매우 특이하다.

2. Genus *Ophisurus* Lacepède, 1800 (국명: 바다뱀속)

Ophisurus Lacepède, 1800: 195 (type species : *Muraena serpens* Linnaeus, 1758).

기재 : 가슴지느러미는 크고, 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 양턱이 앞쪽으로 길게 돌출되어 있으며, 양턱과 서골에는 1열, 전서골에는 전반부에 2열의 송곳니가 배열되어 있다. 전 세계적으로 2종이 알려져 있다(Eschmeyer, 2010).

2.1. *Ophisurus macrorhynchus* Bleeker, 1853 (국명: 바다뱀) (Plate 1B)

Ophisurus macrorhynchus Bleeker, 1853: 28.

Ophisurus macrorhynchus : Jordan and Metz, 1913: 25; Chyung, 1977: 243;

Asano, 1984: 32; Masuda and Allen, 1993: 52; Huang, 2001: 418;

Hatooka, 2002: 220; Kim *et al.*, 2005: 88.

Ophisurus macrorhynchus : Eschmeyer, 1998: 982.

관찰재료 : PKU 812 (전장 1758.0 mm), 남해 중부(N33°55'37", E127°50'45"), 2008.09.14. 트롤, 김진구; PKU 2405 (전장 1384.0 mm), 부산자갈치시장(N35°05'38", E129°01'49"), 2009.05.05, 김성준; NFRDI 20050831-32 (전장 1775.0 mm), 남해 중부(N33°35'01", E127°58'45"), 2005.04.19, 트롤, 김진구; NFRDI 20060714-18~19 (전장 1424.0 mm), 2006.06.16, 트롤, 김진구.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14~16개, 항문전 측선공수는 73~76개, 척추골수는 201~209개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며, 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2B 및 Table 1과 같다. 양턱과 서골에는 1열, 전서골에는 2열의 송곳니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 연결되어 있다 (Fig. 3B).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 갈색을 띠며, 배쪽은 희다. 포르말린 고정 후에는 전체적으로 갈색으로 된다.

분포 : 한국 남해(본 연구), 인도서태평양(Asano, 1984), 일본(Hatooka, 2002), 중국(Huang, 2001), 대만(Mok, 1993) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Bleeker, 1853)에 의하면, 가슴지느러미(15개), 길게 돌출된 양턱 및 서골에 1열의 송곳니를 가지는 점에서 본 조사표본과 잘 일치하였다. 이후 Chyung (1977)은 본 종의 이빨은 송곳니로 상악, 서골, 하악에 1열, 하악의 후반부에 2열을 가진다고 기록한 점에서도 잘 일치하였다 (Fig. 3B). 또한, Asano (1984)와 Hatooka (2002)의 가슴지느러미(14~16개), 항문전 측선공수(72~77개), 척추골수(203~210개)에서도 본 조사표본과 잘 일치하였다(Table 1). 바다뱀은 바다뱀과 어류중에서 척추골수 및 항문전 측선공수가 가장 많았다(Table 1). 계측형질에서는 두장에 대한 주둥이 길이가 27.0~31.2%로 다른 바다뱀과 어류(8.4~27.8%)와 확연히 구분되었다.

3. Genus *Ophichthus* Ahl, 1789 (국명: 까치물뱀속)

Ophichthus Ahl, 1789: 5 (type species : *Muraena ophis* Linnaeus, 1758)

기재 : 가슴지느러미는 크고, 등지느러미는 가슴지느러미 위나 약간 뒤에서 시작되며 꼬리지느러미가 없다. 양턱과 서골에는 1~2열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전 세계적으로 70종이 알려져 있다(Eschmeyer, 2010; McCosker, 2010).

3.1. *Ophichthus evermanni* Jordan and Richardson, 1909

(국명: 까치물뱀) (Plate 1C)

Ophichthus evermanni Jordan and Richardson, 1909: 172; Herre, 1953: 99; Chen and Weng, 1967: 70; Chyung, 1977: 244; Asano, 1984: 31; Mok, 1993: 113; Lee and Asano, 1997: 551; Randall and Lim, 2000: 586; Hatooka, 2002: 222; Kim *et al.*, 2005: 87.

관찰재료 : ASIZP0060063 (전장 738.0 mm), 대만 (N24°57'00", E121°52'48"), 1993.05.01, Lin, P.L; ASIZP006315 (전장 434.0 mm), 대만 (N24°57'00", E121°52'48"), 1999.05.18, Lin, P.L; ASIZP0060864 (전장 725.0 mm) 대만 (N24°57'00", E121°52'48"), 1995.09.08, Lin, P.L.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14개, 향문전 측선공수는 67~70개, 척추골수는 150~154개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미끝 바로 위에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공은 흑점으로 뚜렷하게 관찰되며, 분포는 Fig. 2C 및 Table 1과 같다. 후비공 앞뒤로 1개씩의 육질돌기가 있다. 양턱과 서골에는 1열, 전서골에는 2열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 분리되어 있다(Fig. 3C).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 갈색을 띠고 수직 반문이 머리뒤부터 꼬리지느러미 앞까지 연속적으로 분포하며 배쪽은 희다. 포르말린 고정 후의 체색은 전체적으로 짙은 갈색을 띠며 수직 반문은 그대로 남아있다.

분포 : 한국 남해(Mori, 1952), 일본 남부(Hatooka, 2002), 대만(Mok, 1993), 호주(Hutchins, 2001) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Jordan and Richardson, 1909)에 의하면, 체측에 다수의 수직 반문이 나타나며, 등지느러미가 가슴지느러미끝 바로 뒤에서 시작된다는 점에서 본 조사 표본과 잘 일치하였다. Asano (1984)와 Hatooka (2002)의 가슴지느러미 연조수(14개), 향문전 측선공수(68~74개), 척추골수(151개)에서도 잘 일치하였다. 또한, 까치물뱀속의 특징인 양턱과, 서골에 1~2 열의 원뿔니가 나타나는 점에서도 잘 일치하였다(Fig. 3C). 본 종은 외형적으로 돛물뱀(*Pisodonophis zophistius*)과 매우 유사하였다. 두 종은 특히 두 부감각공이 흑점으로 뚜렷하게 나타나며, 후비공 앞뒤에 1개씩의 육질돌기를 가지는 점에서 잘 일치하지만, 척추골수(돛물뱀은 179~182개)와 체측의 수직 반문(돛물뱀은 없다)에서 잘 구분되었다.

3.2. *Ophichthus rotundus* Lee and Asano, 1997 (국명: 둥근물뱀)

(Plate 1D)

Ophichthus rotundus Lee and Asano, 1997: 549; McCosker and Chen, 2000: 356; Kim *et al.*, 2005: 88.

관찰재료 : BKNU 3001 (전장 793.0 mm), 전북 부안 계화도(N35°48'35", E126°36'28"), 1993.06.27, 이충렬; BKNU 916~925 (전장 605.0~722.0 mm),

전북 부안 계화도(N35°48'35", E126°36'28"), 1995.09.08, 이충렬.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 12개, 항문전 측선공수는 65~66개, 척추골수는 178~183개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미끝 보다 약간 뒤에서 시작하며, 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2D 및 Table 1과 같다. 후비공 앞뒤로 1개씩의 육질돌기가 있다. 양턱과 서골에는 2열의 원뿔니가 배열되어 있고, 전서골과 서골은 분리되어 있다(Fig. 3D). 몸 전체에 주름이 산재한다.

포르말린 고정 후의 체색은 전체적으로 밝은 노란색을 띤다.

분포 : 한국 서해, 전북 부안 계화도(Lee and Asano, 1997)에 분포한다.

부기 : 본 종은 Lee and Asano (1997)에 의해 한국 서해안에서 채집된 25개체에 근거하여 신종으로 보고되었다. 본 종은 까치물뱀속 어류 중에서 가장 적은 가슴지느러미(12개), 하악골공(5개)을 가지며, 가장 많은 척추골(178~183개)을 가지는 점에서 특징적이며(Table 1), 양턱과 서골에 치열이 2열이라는 점에서 잘 구분되었다(Fig. 3D). 계측형질에서는 전장에 대한 두장이 5.4~6.9%로 국내 까치물뱀속의 다른 어류(8.6~12.2%)와 확연히 구분되었다(Table 2).

3.3. *Ophichthus urolophus* (Temminck and Schlegel, 1846)

(국명: 갈물뱀) (Plate 1E)

Conger urolophus Temminck and Schlegel, 1846: 260.

Ophichthys urolophus : Günther, 1870: 73.

Ophichthus urolophus : Jordan and Snyder, 1901: 872; Chen and Weng,

1967: 71; Chyung, 1977: 244; Asano, 1984: 32; Lee and Asano, 1997: 551; Mok, 1993: 114; Sumida and Machida, 2000: 51; Huang, 2001: 418; Randall and Lim, 2001: 586; Hatooka, 2002: 223; Kim *et al.*, 2005: 88.

관찰재료 : NFRDI 20070904-01~08, 남해 중부 (N34°03'43", E128°22'42"), 2007.07, 트롤, 김진구.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14~15개, 항문전 측선공수는 54~57개, 척추골수는 135~138개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미끝 보다 약간 뒤에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2E 및 Table 1과 같다. 불규칙한 1~2열을 가지는 상악치의 중앙부를 제외한, 상악에는 1열, 하악과 서골의 전반부에는 2열, 중후반부에는 1열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 연결되어 있다(Fig. 3E).

신선한 상태의 채색은 전체적으로 회갈색을 띠며, 포르말린 고정 후에도 동일하다.

분포 : 한국 남해(본 연구 및 Mori, 1952), 일본 남부(Hatooka, 2002), 인도네시아, 호주(McCosker, 2010) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Temminck and Schlegel, 1846)에 의하면, 양턱과 서골에 1열의 원뿔니가 배열되어 있고, 등지느러미가 가슴지느러미끝 약간 뒤에서 시작된다는 점에서 본 조사 표본과 잘 일치하였다. Chyung (1977)의 가슴지느러미수(14~17개), 척추골수(135~136개), 항문전 측선공수(52~57개)와도 잘 일치하였다(Table 1). Sumida and Machida (2000)에 의하면, 갈물뱀

은 가슴지느러미(14~17개), 항문전 측선공(51~56개), 척추골(134~139개), 상 척두골공(1+3~4개), 안하골공(3~4+2개), 하악골공+전새개골공(7+3개)를 가진다고 보고하여, 본 조사표본과 모두 잘 일치하였다(Table 1). Sumida and Machida (2000)는 본 종의 일부 소수 표본에서 등지느러미기점이 가슴지느러미뒤끝 보다 앞쪽에 위치한다고 언급한 바 있으나, 본 조사표본은 모두 등지느러미기부가 가슴지느러미뒤끝보다 뒤쪽에 위치하였다.

3.4. *Ophichthus asakusae* Jordan and Snyder, 1901

(국명: 제주바다뱀) (Plate 1F)

Ophichthus asakusae Jordan and Snyder, 1901: 872; Asano, 1984: 32; Sumida and Machida, 2000: 64; Hatooka, 2002: 223; Tang and Zhang, 2004: 21; Kim *et al.*, 2009: 236.

관찰재료 : PKU 914 (전장 525.0 mm) ; PKU 2401~2403 (전장 454.0~633.0 mm), 제주도 남부(N32°41'35", E125°52'28"), 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20051011-01 (전장 557.0 mm), 제주도 남부(N33°13'32", E126°46'21"), 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; NFRDI 20070530-03 (전장 578.0 mm), 제주도 남부(N33°13'32", E126°46'21"), 2007.05.04, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14~15개, 항문전 측선공수는 53~56개, 척추골수는 124~134개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 꼬리끝의 폭이 두꺼우며 꼬리지느러미가 없다. 꼬리끝의 외피가 스펀지처럼 구멍이 나있다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작된다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2F 및 Table 1과 같다. 상악에는 1열, 하악과 서골의

전반부는 2열, 중후반부는 1열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 연결되어 있다(Fig. 3F).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 밝은 갈색을 띠고 배쪽은 희며, 포르말린 고정 후에도 같다.

분포 : 한국 제주도 남부(본 연구 및 Kim *et al.*, 2009), 일본 남부(Hatooka, 2002), 중국(Huang, 2001) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Jordan and Snyder, 1901)에 의하면, 양턱에 1열의 불규칙적인 원뿔니가 나있고, 특히 꼬리부분의 높이와 폭이 크다는 점에서 본 조사표본과 잘 일치하였다(Table 1). Sumida and Machida (2000)에 의하면 제주바다뱀 13개체(453.0~835.7 mm)는 가슴지느러미수(13~16개), 항문전 측선공수(52~56개), 척추골수(126~132개), 상측두골공수(1+4개), 안하골공수(4+2개), 하악골공수+전새개골공수(7~9+3개)를 가지는 것으로 보고하여, 본 조사표본과 모두 잘 일치하였다(Table 1). 계측형질에서는 꼬리부분의 높이와 폭이 다른 까치물뱀속 어류에 비해 매우 크며, 꼬리끝의 외피가 스펀지처럼 구멍이 나있는 것이 특징적이었다(Sumida and Machida, 2000). 국내에서 본 종은 Kim *et al.* (2009)에 의해 처음 미기록종으로 보고되었으며, 척추골수(124~134개)가 국내 다른 까치물뱀속 어류(135~183개)에 비하면 적다.

4. Genus *Pisodonophis* (Kaup, 1856) (국명: 돛물뱀속)

Pisodonophis Kaup, 1856: 47 (type species: *Ophisurus cancrivorus* Richardson, 1848)

기재 : 가슴지느러미는 크고, 등지느러미는 가슴지느러미 위나 약간 뒤에서

시작하며, 꼬리지느러미가 없다. 양턱과 서골에는 1~2열의 원뿔니가 배열되어 있거나 과립상의 이빨이 다열로 줄지어 있다. 전 세계적으로 9종이 알려져 있다(Eschmeyer, 2010).

4.1. *Pisodonophis zophistius* Jordan and Snyder, 1901

(국명: 돛물뱀) (Plate 1G)

Pisodonophis zophistius Jordan and Snyder, 1901: 868; Chyung, 1977: 245; Smith and McCosker, 1999: 1669; Hatooka, 2002: 224; Kim *et al.*, 2005: 89; Lee, 2009: 307.

관찰재료 : HUMZ-58879 (전장 846.0 mm), 일본 동부 (N35°03'11", E139°43'32"), 1976.11.06, 수심 30 m; HUMZ-171743 (전장 532.0 mm), 일본 동부 (N33°24'53", E133°21'05"), 트롤, 1995.06; HUMZ-171744 (전장 581.0 mm), 일본 동부 (N33°24'53", E133°21'05"), 트롤, 1995.06.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 11개, 항문전 측선공수는 61~62개, 척추골수는 179~182개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공은 흑점으로 뚜렷하게 관찰되며, 분포는 Fig. 2G 및 Table 1과 같다. 후비공 앞뒤로 1개씩의 육질돌기가 있다. 상악에는 1열, 하악의 전반부는 2열, 중후반부는 1열, 서골에는 2열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 분리되어 있으며(Fig. 3G), 몸전체에 주름이 산재해 있다.

신선한 상태의 체색은 등쪽이 갈색을, 배쪽이 흰색을 띠며, 포르말린 고정 후에도 같다.

분포 : 한국 서해(Mori, 1952), 일본(Hatooka, 2002) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Jordan and Snyder, 1901)에 의하면, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하게 관찰되며, 하악골공수(6개) 및 전새개골공수(3개)에서 본 조사표본과 잘 일치하였다(Table 1). 또한 본 조사표본은 Hatooka (2002)의 가슴지느러미수(11개), 항문전 측선공수(62개), 척추골수(181개)에서도 잘 일치하였다(Table 1). 유사종인 돌기바다뱀(*Pisodonophis cancrivorus*)은 돛물뱀과 가슴지느러미수(14개), 척추골수(153~164개), 항문전 측선공수(56~57개)에서 잘 구분되었다(Table 1). 또한 양턱과 서골에 1~2열의 원빨니를 가지는 반면 돌기바다뱀은 과립상의 다열형 치판을 가져 잘 구분되었다(Table 1; Fig. 3G). 본 조사에서 우리나라 해역에서는 한 마리도 채집되지 않았다.

4.2. *Pisodonophis cancrivorus* (Richardson, 1848)

(국명: 돌기바다뱀) (Plate 1H)

Ophisurus cancrivorus Richardson, 1848: 97.

Pisodonophis cancrivorus : Jordan and Richardson, 1910: 10; Herre, 1953: 100; Chen and Weng, 1967: 64; Asano, 1984: 31; McCosker and Castle, 1986: 185; Masuda and Allen, 1993: 52; Mok, 1993: 114; Smith and McCosker, 1999: 1669; Randall and Lim, 2000: 586; Huang, 2001: 418; Hatooka, 2002: 224; Lee, 2009: 307.

관찰재료 : NFRDI 20050831-33 (전장 872.0 mm), 남해 중부 (N33°44'52", E127°37'43"), 트롤, 김진구; HUMZ-161 (전장 652.0 mm), 트롤; HUMZ-44598 (전장 652.0 mm), 일본 남부 (N26°56'09", E142°13'30").

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14개, 항문전 측선공수는 56~57개, 척추골수는 153~164개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두 부 감각공의 분포는 Fig. 2H 및 Table 1과 같다. 후비공 앞뒤로 1개씩의 육질돌기가 있다. 양턱과 서골에는 과립상의 이빨이 다열로 줄지어 있다. 전서골과 서골은 분리되어 있으며(Fig. 3H), 몸 전체에 주름이 산재해 있다.

신선한 상태의 체색은 전체적으로 갈색을 띠며 포르말린 고정 후에는 짙은 갈색으로 된다.

분포 : 한국 남해(본 연구), 동해(Lee, 2009), 인도서태평양(McCosker and Castle, 1986), 일본(Hatooka, 2002), 중국(Cheng and Zheng, 1987), 대만(Chen and Weng, 1967), 필리핀(Herre, 1923) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Richardson, 1848)에 의하면, 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작되며, 양턱과 서골에 과립상의 치판을 가지는 점에서 본 조사 표본과 잘 일치하였다(Table. 1). 또한, 본 종은 Herre (1953)의 윗입술의 육질돌기, 양턱의 과립상의 다열형 치판 보고와도 잘 일치하였고, Asano (1984)의 가슴지느러미수(13~14개), 항문전 측선공수(55~60개), 척추골수(153~162개)와도 모두 잘 일치하였다. 본 종은 동아시아에 분포하는 *Pisodonophis boro*와 가슴지느러미수(돌기바다뱀은 14개 vs. *P. boro*는 12개), 척추골수(153~164개 vs. 172개), 등지느러미기점(가슴지느러미 중앙 위에서 시작 vs. 가슴지느러미끝 보다 약간 뒤에서 시작)에서 잘 구분된다. 우리나라에서는 Lee (2009)가 처음으로 동해에서 채집된 1개체에 근거하여 미기록종으로 보고하였다.

4.3. *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov. (국명신청: 상주물뱀)

관찰재료 : **Holotype:** PKU 3693 (전장 601 mm), 남해 중부 (N34°37' 04", E128°06' 18"), 2010.06.05, 새우조망, 수심 40 m, 지환성.

Paratypes. PKU 840 (전장 502 mm), 남해 중부 (N33°44' 07", E128°21' 43"), 2008.09.25, 트롤, 수심 100 m, 김진구; PKU 3483~3484 (전장 395~431 mm), 남해 중부 (N34°56' 00", E127°47' 01"), 2009.11.27, 정치망, 수심 2 m, 지환성; PKU 3864 (전장 532 mm), 남해 중부 (N33°00' 37", E127°04' 19"), 2005.04.04, 트롤, 수심 90 m, 김진구; PKU 3865~3872 (전장 336~495 mm), 남해 중부 (N34°20' 30", E127°43' 19"), 2005.11.08, 트롤, 수심 60 m, 김진구; PKU 3873 (전장 373 mm), 남해 중부 (N33°01' 23", E125°46' 17"), 2006.04.17, 트롤, 수심 100 m, 김진구; PKU 3874~3876 (전장 460~521 mm), 남해 중부 (N34°16' 29", E127°52' 21"), 2006.06.14, 트롤, 수심 50 m, 김진구; PKU 3877 (전장 490 mm), 남해 중부 (N32°16' 13", E125°57' 15"), 2007.04.29, 트롤, 수심 105~110 m, 김진구; PKU 3878~3879, (전장 450~625 mm), 남해 중부 (N34°48' 53", E128°26' 46"), 2007.06.22, 트롤, 수심 50 m, 김진구; PKU 3880 (전장 448 mm), 남해 중부 (N34°36' 02", E128°15' 24"), 2007.09.08, 트롤, 수심 30 m, 김진구; PKU 4213 (전장 595 mm), 남해 중부 (N34°37' 04", E128°06' 18"), 2010.09.04, 새우조망, 수심 40 m, 김진구.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 13개, 항문전 측선공수는 51~54개, 척추골수는 143~153개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table

2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 5 및 Table 2과 같다. 후비공 앞뒤로 1개씩의 육질돌기가 나타난다. 양턱과 서골에는 1~2열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 분리되어 있다(Fig. 7).

상악에는 1열, 하악과 서골의 전반부는 2열, 중후반부는 1열의 원뿔니가 배열되어 있다.

신선한 상태의 체색은 등쪽은 짙은 갈색을, 배쪽은 희며, 포르말린 고정 후에도 체색은 동일하다.

분포 : 한국 남해 (본 연구)

부기 : 돛물뱀속(*Pisodonophis*) 어류는 전세계적으로 9종이 알려져 있고 이중 동아시아에는 7종(돛물뱀, 돌기바다뱀, *Pisodonophis boro*, *Pisodonophis copelandi*, *Pisodonophis hoeveni*, *Pisodonophis hijala*, *Pisodonophis hypselopterus*)이 분포한다(Eschmeyer, 2010). 본 연구에서 처음으로 보고되는 *Pisodonophis sangjuensis*는 외형적으로 돌기바다뱀(*P. cancrivorus*)과 가장 유사하지만 이빨의 형태(*P. sangjuensis*는 원뿔니 vs. 돌기바다뱀은 과립형), 척추골수(143~153 vs. 153~164)에서 차이를 보였다(Hatooka, 2002; Lee, 2009). 계측에서는 전장에 대한 두장(*P. sangjuensis*는 9.3~9.9 vs. 돌기바다뱀은 10.2~12.1), 꼬리길이(*P. sangjuensis*는 62.5~66.7 vs. 돌기바다뱀은 51.8~61.0)와 두장에 대한 위턱길이(*P. sangjuensis*는 27.0~29.4 vs. 돌기바다뱀은 30.7~38.1)에서 잘 구분되었다(Table 2). 또한 본 종은 *P. boro*와 등지느러미기점(*P. sangjuensis*는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작 vs. *P. boro*는 가슴지느러미끝 보다 뒤에서 시작), 척추골수(143~153 vs. 170~177), 이빨의 모양(원뿔형 vs. 과립형),

서식처(해수 vs. 담수 또는 기수)에서 차이를 보였다(Herre, 1923; McCosker *et al.*, 1989; Hatooka, 2002). 본 종은 돛물뱀과 척추골수(*P. sangjuensis*는 143~153 vs. 돛물뱀은 179~182), 두부감각공의 흑점 유무(흑점이 없음 vs. 흑점으로 뚜렷함)에서 차이를 보였으며, 필리핀 등지에 서식하는 *P. copelandi*와는 등지느러미기점(*P. sangjuensis*는 가슴지느러미 중앙 위에서 시작 vs. *P. copelandi*는 가슴지느러미 끝보다 뒤에서 시작), 치열(1열 vs. 2열)에서 잘 구분되었고, *P. hypselopterus*와는 가슴지느러미수(*P. sangjuensis*는 13개 vs. *P. hypselopterus*는 12개), 이빨의 형태(원뿔형 vs. 과립형)에서 잘 구분되었다(Table 4). 한편 본 종은 인도네시아에 서식하는 *Pisodonophis hijala* 및 *Pisodonophis hoevenii*와 가슴지느러미수(*P. sangjuensis*는 13개 vs. *P. hijala*는 8개 vs. *P. hoevenii*는 17개), 등지느러미기점(가슴지느러미 중앙 위에서 시작 vs. 가슴지느러미 끝보다 뒤에서 시작 vs. 가슴지느러미 중앙 위에서 시작)에서 잘 구분되었고(Table 4), 북미와 남미 등지에 분포하는 *Pisodonophis daspilotus*와 *Pisodonophis semicinctus*와는 체측의 반문유무(*P. sangjuensis*는 반문이 없음 vs. *P. daspilotus*는 어두운 둥근 반문이 체측에 분포 vs. *P. semicinctus*는 수십개의 수직띠가 꼬리끝까지 분포), 이빨의 모양(원뿔형 vs. 과립형 vs. 과립형)에서 잘 구분되었다(Table 4). 따라서 돛물뱀속의 9종과 형태적으로 뚜렷이 구분되는 본 종을 신종으로 제안한다.

5. Genus *Brachysomophis* Kaup, 1856 (국명: 자물뱀속)

Brachysomophis Kaup, 1856: 45 (type species: *Brachysomophis horridus* Kaup, 1856)

기재 : 양턱은 전방으로 길게 돌출되어 있다. 2개의 전새개골공을 가진다.

전 세계적으로 7종이 알려져 있다(McCosker and Randall, 2001; Eschmeyer, 2010).

5.1. *Brachysomophis porphyreus* (Temminck and Schlegel, 1846)

(국명: 자물뱀) (Plate 1I)

Ophisurus porphyreus Temminck and Schlegel, 1846: 265.

Ophichthys adspersus : Günther, 1870: 57.

Mysrtiophis porhyreus : Mori, 1952: 67; Chyung, 1977: 244; Asano, 1984: 31.

Brachysomophis porphyreus : Huang, 2001: 418; McCosker and Randall, 2001: 25; Hatooka, 2002: 220; Kim *et al.*, 2005: 87.

관찰재료 : 표본없음.

기재 : 가슴지느러미 연조수는 14개, 항문전 측선공수는 64개, 척추골수는 137~148개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 가슴지느러미 뒤에서 시작하며 꼬리지느러미가 없다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2I 및 Table 1과 같다. 2개의 전새개골공을 가진다. 상악에는 2열, 하악과 서골에는 1열의 원뿔니가 배열되어 있다. 전서골과 서골은 연결되어 있다(Fig. 3I).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 짙은 갈색을, 배쪽은 흰색을 띠며, 포르말린 고정 후에는 짙은 갈색으로 바뀐다.

분포 : 한국 제주도(Mori, 1952). 일본 남부(Hatooka, 2002), 중국(Huang,

2001), 대만(McCosker and Randall, 2001) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Temminck and Schlegel, 1846)에 의하면, 상악에 2열, 하악과 서골에 1열의 송곳니가 나있고 등지느러미는 가슴지느러미끝 보다 약간 뒤에서 시작한다고 기재되어 있다. Asano (1984)는 가슴지느러미 14개, 항문전 측선공 64개, 척추골 170개를 가진다고 보고하였으며, 이후 Hatooka (2002)와 Kim *et al.* (2005)이 이를 그대로 따랐다. 그러나, 최근 McCosker and Randall (2001)에 의해 수행된 자물뱀속 어류의 분류학적 재검토에 의하면, 모식표본을 포함한 자물뱀 4개체(전장 334.0-1295.0 mm)는 두부감각공 분포(안상골공수 1+3개, 안하골공수 4+3개, 하악골공수+전새개골공수 5+2개) 및 양턱과 서골에 2열의 원뿔니를 가지는 점에서는 잘 일치하였으나(Table 1), 척추골수(137-148개)에서 이전연구결과(Asano, 1984: 170개)와 확연히 구분되었다. 따라서, 향후 한국주변해역의 자물뱀 표본을 확보하여 모식표본과의 면밀한 재검토가 필요하다. 자물뱀은 자물뱀속 다른 어류들에 비해 비공이 매우 작고, 상악의 이빨이 윗입술 밖으로 나와 있고, 등쪽이 보랏빛의 갈색을 띠는 점에서 특징적이다.

Subfamily Myrophinae Lütken, 1851 (국명: 갯물뱀亞科)

기재 : 꼬리지느러미를 가지며 등지느러미와 뒷지느러미는 꼬리지느러미와 연결되어 있다. *Neenchelys*속과 *Myrophis*속을 제외하면 가슴지느러미가 없다. 등지느러미는 몸의 중앙에서 시작된다. 전세계적으로 11속 55종이 알려져 있다(Nelson, 2006).

6. Genus *Muraenichthys* Bleeker, 1853 (국명: 갯물뱀속)

Muraena Bleeker, 1853: 505 (type species: *Muraena gymnopterus* Bleeker, 1853)

기재 : 가슴지느러미가 없다. 후비공은 윗입술의 가장자리 안쪽에 위치한다. 양턱과 서골에는 과립상의 이빨이 다열로 줄지어 있다. 안하골공은 1개로 전비공과 후비공 사이에 위치한다(McCosker, 1977; Castle and McCosker, 1999; Hatooka, 2002). 전 세계적으로 8종이 알려져 있다(Nelson, 2006; Eschmeyer, 2010).

6.1. *Muraenichthys gymnopterus* (Bleeker, 1853) (국명: 갯물뱀) (Plate 1J)

Muraena gymnopterus Bleeker, 1853: 52; Chu *et al.*, 1963: 153; McCosker, 1970: 508; McCosker, 1977: 59; McCosker and Castle, 1986: 180.

Muraenichthys hattae : Jordan and Snyder, 1901: 862; McCosker, 1970: 508; McCosker, 1977: 59; Asano, 1992: 30; Hatooka, 2002: 217.

Muraenichthys gymnopterus : Castle and McCosker, 1999: 121; Kim *et al.*, 2008: 318.

관찰재료 : PKU 1544 (전장 248.0 mm), 서해 남부(N33°57' 04", E124°42' 39"), 2008.10.20, 트롤, 김진구; FSIU 2144 (전장 254.6 mm), 인천 서래시장 (N37°23', E126°44'), 2007.06.24, 김병기.

기재 : 가슴지느러미는 없으며, 항문전 측선공수는 계수하기 어려웠다. 척추골수는 155~156개이다. 전장에 대한 몸의 각 부위의 백분율은 Table 2와 같다. 등지느러미는 항문보다 약간 앞에서 시작하며, 꼬리지느러미를 가진다. 두부 감각공의 분포는 Fig. 2J 및 Table 1과 같다. 양턱과 서골에는 과립상의

이빨이 다열로 줄지어 있고, 전서골과 서골은 연결되어 있다(Fig. 3J).

신선한 상태의 체색은 등쪽이 갈색을, 배쪽은 흰색을 띠며, 포르말린 고정 후에는 전체적으로 갈색을 띤다.

분포 : 한국 서해(Kim *et al.*, 2008), 인도서태평양(Allen and Adrim, 2003), 일본 남부(Hatooka, 2002), 중국(Tang and Zhang, 2004) 등지에 분포한다.

부기 : 본 종의 원기재(Bleeker, 1853)에 의하면, 서골의 전반부에 3열의 이빨을 가지고 후반부에는 1~2열을 가진다는 점에서 잘 일치하였다(Fig. 3J). Castle and McCosker (1999)는 갯물뱀속(*Muraenichtys*)의 진단형질로 매우 작은 새공 및 양턱과 서골에 과립상의 치판을 제안하였다. 형태적으로 유사한 갯물뱀속의 *Muraenichthys schultzei*와는 등지느러미기점(*M. gymnotperus*는 항문보다 약간 앞에서 시작 vs. *M. schultzei*는 항문보다 약간 뒤에서 시작), 이빨의 열수(다열형 vs. 1열), 척추골수(156개 vs. 122~132개)에서 잘 구분된다. 우리나라에서는 Kim *et al.* (2008)이 서해 인천에서 채집된 1개체에 근거하여 미기록종으로 보고한 바 있다.

Table 1. Comparison of counts and other characters of 11 ophichthid fishes from the adjacent waters of Korea

Species	<i>Echelus uropterus</i>	<i>Ophisurus macrorhynchus</i>	<i>Ophichthus evermanni</i>	<i>Ophichthus rounthus</i>	<i>Ophichthus urolophus</i>	<i>Ophichthus asakusae</i>	<i>Pisodonophis sangjuensis</i> sp. nov.	<i>Pisodonophis zophistius</i>	<i>Pisodonophis cancrivorus</i>	<i>Brachysomophis porphyreus</i> *	<i>Muraenichthys gymnoterus</i>
Number of specimens	36	9	3	5	8	6	24	3	3	5	2
Counts											
Cephalic sensory pores											
Supraorbital	1+3	1+3	1+4	1+3	1+3	1+3	1+4	1+4	1+3	1+4	1+3
Supratemporal	2	1+4	1+4	1+4	1+4	1+4	1+4	1+4	1+4	-	-
Infraorbital	5+2	4+2	4+2	4+2	4+2	4+2	4+2	4+2	4+2	4+3	3+1
Preoperculomandibular	7+3	6+3	6+3	5+2	7+3	8+3	5+3	5+3	6+3	5+2	4+3
Preanal lateral pore	43-50	73-76	67-70	65-66	54-57	53-56	51-54	61-62	56-57	61	-
Pectoral fin rays	14-15	14-16	14	12	14-15	14-15	13	11	14	11	-
Vertebrae	152-158	201-209	150-154	178-183	135-138	124-134	143-153	179-182	153-164	137-148	155-156
Other characters											
Fleshy protrusion	Absent	Absent	Present	Present	Absent	Absent	Present	Present	Present	Absent	Absent
Dorsal fin origin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Before anus
Dentition	Multiserial	Uniserial	Uniserial	Biserial	Uniserial	Uniserial	Uniserial	Uniserial	Multiserial	Biserial	Multiserial
Teeth	Granular	Conical	Conical	Conical	Conical	Conical	Conical	Conical	Granular	Conical	Blunt
Color	Brown	Light brown	Brown	Gray brown	Gray brown	Light brown	Dark brown	Dark brown	Dark brown	Dark brown	Brown

*indicate reference data of McCosker and Randall (2001).

Table 2. Comparison of the proportional measurements of the 11 ophichthid fishes from the adjacent waters of Korea

Species	<i>Echelus uropterus</i>	<i>Ophisurus macrorhynchus</i>	<i>Ophichthus evermanni</i>	<i>Ophichthus rounthus</i>	<i>Ophichthus urolophus</i>	<i>Ophichthus asakusae</i>	<i>Pisodonophis sangjuensis</i> sp. nov.	<i>Pisodonophis zophistius</i>	<i>Pisodonophis cancrivorus</i>	<i>Brachysomophis porphyreus</i> *	<i>Muraenichthys gymnoterus</i>
Characters											
Number of specimens	36	9	3	5	8	6	24	3	5	5	2
Total length (mm, TL)	276.0-583.0	1370.0-1775.0	434.0-738.0	478.6-793	400.0-607.0	454.0-633.0	336.0-627.0	532.0-846.0	374.0-872.0	334.0-1295.0	248.0-254.6
In % of total length											
Head length	9.6-11.6	6.9-8.4	9.1-9.3	5.4-6.5	8.6-12.2	9.2-10.6	9.3-9.9	9.5-10.3	10.2-12.1	11.5-11.35	9.5-9.6
Predorsal length	13.4-14.6	10.7-11.8	11.0-11.9	8.9-10.5	14.6-16.6	11.2-13.4	11.4-13.5	9.8-10.6	11.0-13.7	18.5-18.6	36.1-36.8
Preanal length	35.9-40.2	33.3-39.4	49.5-51.3	37.2-38.0	42.2-44.4	43.7-44.8	37.0-38.4	38.3-39.3	38.2-42.4	50.0-51.2	38.1-39.2
Tail length	59.9-64.5	61.0-66.7	49.5-51.0	62.0-62.8	55.6-58.1	55.2-57.1	62.5-66.7	60.4-61.6	51.7-61.0	47.7-48.2	60.6-61.2
Depth at Dorsal fin origin	3.1-4.4	1.5-2.1	2.6-4.0	1.8-2.6	4.5-5.3	3.7-4.8	2.7-3.3	3.2-3.8	2.8-4.2	-	2.2-2.3
Depth at Gill opening	2.9-4.3	1.4-2.0	2.5-3.7	1.7-2.2	4.4-4.8	3.4-4.8	2.7-3.3	3.2-3.6	2.7-4.2	2.5-3.1	2.3-2.7
Depth at anus	2.9-3.9	1.4-2.2	2.8-4.3	2.1-2.8	4.1-4.9	4.0-4.6	2.7-3.4	3.0-3.8	2.4-3.6	-	2.4
In % of head length											
Gill opening length	8.7-16.7	13.1-17.5	10.0-15.2	12.7-17.9	15.6-19.1	11.8-15.2	8.7-11.4	11.9-15.4	10.0-15.7	-	9.9-14.8
Gill opening length interspace	3.7-6.8	5.1-8.5	3.5-7.9	4.9-6.9	4.3-6.6	5.5-5.9	3.9-6.3	3.7-5.4	4.1-7.0	-	4.7-6.8
Eye diameter	12.4-15.1	8.2-9.2	7.9-9.2	5.3-7.4	10.9-13.2	9.1-11.5	8.1-11.4	8.8-10.8	7.6-10.0	-	4.6-5.8
Snout length	18.7-27.7	27.2-31.2	18.1-21.5	12.3-15.4	15.2-20.0	14.4-18.2	15.4-20.4	18.5-20.4	16.5-20.8	9.1-9.4	11.4-11.9
Upper jaw length	36.6-40.8	51.3-58.5	27.5-34.7	22.4-25.2	35.6-39.2	31.5-38.9	27.0-29.4	30.7-36.2	30.7-38.0	33.8-35.8	24.5-26.3
Lower jaw length	32.3-36.4	49.8-52.9	21.1-27.2	-	31.3-38.5	29.1-35.4	22.2-27.2	24.5-27.9	20.6-32.6	-	20.2-24.3
Interorbital width	11.9-16.9	8.3-9.9	16.0-17.4	12.0-14.4	15.6-20.0	12.2-19.4	13.2-14.5	13.5-15.1	13.4-15.6	-	9.9-11.8
Pectoral fin length	24.3-33.6	17.9-21.9	24.3-27.9	-	30.0-36.9	19.8-26.9	28.6-38.5	31.3-39.3	24.5-31.1	17.0-20.6	-

*indicate reference data of McCosker and Randall (2001).

Table 3. Proportional measurements and counts of *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov. and congeneric species. TL=total length.

HL=head length

	<i>Pisodonophis sangjuensis</i> sp. nov.	<i>Pisodonophis cancrivorus</i>	<i>Pisodonophis zophistius</i>	<i>Pisodonophis boro</i>	<i>Pisodonophis copelandi</i>	<i>Pisodonophis hypselopterus</i>	<i>Pisodonophis hoevenii</i>	<i>Pisodonophis daspilotus</i>	<i>Pisodonophis semicinctus</i>
Number of specimens	24	5	3	1	2	1	1	1	4
Total length (TL, mm)	336.0-627.0	374.0-872.0	532.0-846.0	561.0	303.0-308.0	313.0	623.0	413.0	538.0-747.0
HL/TL	10.1-10.8 (10.5)	8.3-9.8 (9.0)	9.7-10.5 (10.1)	12.2	12.6-14.0 (13.3)	7.6	11.8	9.6	8.6-9.9 (9.1)
Head+trunk/TL	2.6-2.7 (2.7)	2.4-2.6 (2.5)	2.5-2.6 (2.5)	2.5	1.7-1.8 (17.5)	2.0	2.6	2.1	2.4-2.5 (2.5)
Tail/TL	1.5-1.6 (1.6)	1.6-1.9 (1.7)	1.6-1.7 (1.7)	1.7	1.6	2.0	1.6	1.9	1.7
Depth at gill opening/TL	30.3-37.0 (33.6)	28.6-38.5 (31.9)	27.8-30.9 (39.2)	59.0	37.0-37.8 (37.4)	24.5	62.9	32.5	22.0-26.3 (24.5)
Dorsal fin origin/TL	7.4-8.8 (8.1)	7.4-9.1 (7.7)	9.1-10.2 (9.5)	8.4	8.0-8.2 (8.1)	6.6	8.0	7.4	11.1-11.9 (11.4)
Pectoral fin length/HL	2.6-3.5 (3.1)	3.2-4.1 (3.6)	2.5-3.2 (2.8)	3.6	4.4-4.8 (4.6)	3.4	4.0	-	3.2-3.5 (3.3)
Snout length/HL	4.9-6.5 (5.8)	4.8-6.1 (5.2)	4.9-5.4 (5.2)	7.2	5.8-6.3 (6.0)	6.0	8.0	5.9	4.9-5.5 (5.2)
Upper jaw/HL	3.4-3.7 (3.6)	2.6-3.3 (2.9)	2.8-3.6 (3.2)	3.7	3.1-3.4 (3.2)	2.7	2.9	3.7	2.7-2.8 (2.7)
Eye diameter/HL	8.8-12.3 (10.4)	10.0-13.2 (11.6)	9.3-11.4 (10.8)	16.4	13.0-16.0 (14.5)	12.5	17.0	13.5	15.3-17.2 (16.3)
Count									
Pectoral fin rays	13	14-16 (15)	11	12	11-13 (12)	17	10	-	13-15 (14)
Preanal lateral pores	51-54	56-57 (56.5)	60-61 (61)	66		-			52-56 (54)
Predorsal vertebrae	13-14 (14)	11-12 (11.5)	12	17	20-22 (21)	11	18	14	5-6 (5.5)
Preanal vertebrae	48-51 (50)	52-58 (55)	61-62 (61)	63	62-64 (63)	58	62	62	55-57 (56)
Total vertebrae	143-153 (147)	153-164 (157)	179-182 (181)	172	175-178 (176)	120	177	139	157-160 (158)
Cephalic sensory pores									
Supraorbital pores	1+4	1+3	1+4	1+4	-	-	-	-	1+4
Supratemporal pores	1+4	1+4	1+4	1+4	-	-	-	-	1+4
Infraorbital pores	4+2	4+2	4+2	4+2	-	-	-	-	5+2
Preoperculo-mandibular pores	5+3	6+3	5+3	6+3	-	-	-	-	6+3

Parenthese indicate mean.

Table 4. Comparison of morphological characters among *Pisodonphis sangjuensis* sp. nov. and congeneric species

		<i>Pisodonphis sangjuensis</i> sp. nov.	<i>Pisodonphis cancrivorus</i>	<i>Pisodonphis zophistius</i>	<i>Pisodonphis boro</i>	<i>Pisodonphis copelandi</i>	<i>Pisodonphis hypselopterus</i>	<i>Pisodonphis hijala</i>	<i>Pisodonphis hoevenii</i>	<i>Pisodonphis daspilotus</i>	<i>Pisodonphis semicinctus</i>
Dorsal fin	origin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Far behind of pectoral fin	Far behind of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Middle of pectoral fin	Behind of pectoral fin	Middle of pectoral fin
Dentition		Uniserial	Uniserial	Multiserial	Multiserial	Beserial	Multiserial	Uniserial	Triserial	Multiserial	Triserial
Teeth shape		Conical	Granular	Conical	Granular	Conical	Granular	Conical	Blunt	Blunt	Granular
Body color		Dark brown	Dark brown	Dark brown	Brown	Dusky brown	-	Pale green	Dark brown	Dusky brown	Dark brown

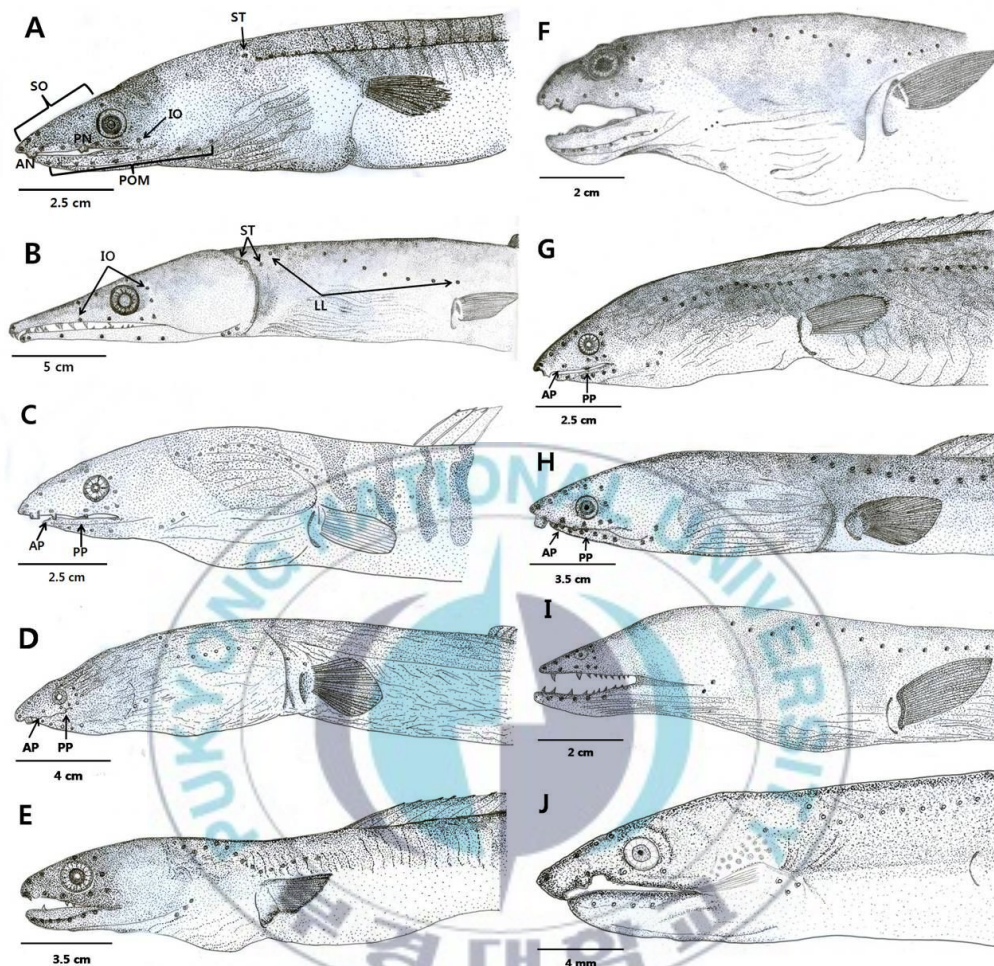


Fig. 2. A: *Echelus uropterus*, PKU 912, 518.0 mm TL; B: *Ophisurus macrorhynchus*, PKU 812, 1758.0 mm TL; C: *Ophichthus evermanni*, ASIZP0060063, 738.0 mm TL; D: *Ophichthus rotundus*, BKNU 3001, 793.0 mm TL; E: *Ophichthus urolophus*, NFRDI 20070904-06, 568.0 mm TL; F: *Ophichthus asakusae*, PKU 2401, 633.0 mm TL; G: *Pisodonophis zophistius*, HUMZ-58879 846.0 mm TL; H: *Pisodonophis cancrivorus*, NFRDI 20070622-02, 627.0 mm TL; I: *Brachysomophis porphyreus*, SU 12915, 1295.0 mm TL; J: *Muraenichthys gymnopterus*, FSIU 2144, 254.6 mm TL. AN, anterior nostril; AP, anterior fleshy protrusion; IO, infraorbital pores; LL, lateral line pores; PN, posterior nostril; POM, preopercularmandibular pores; PP, posterior fleshy protrusion; SO, supraorbital pore; ST, supratemporal pore.

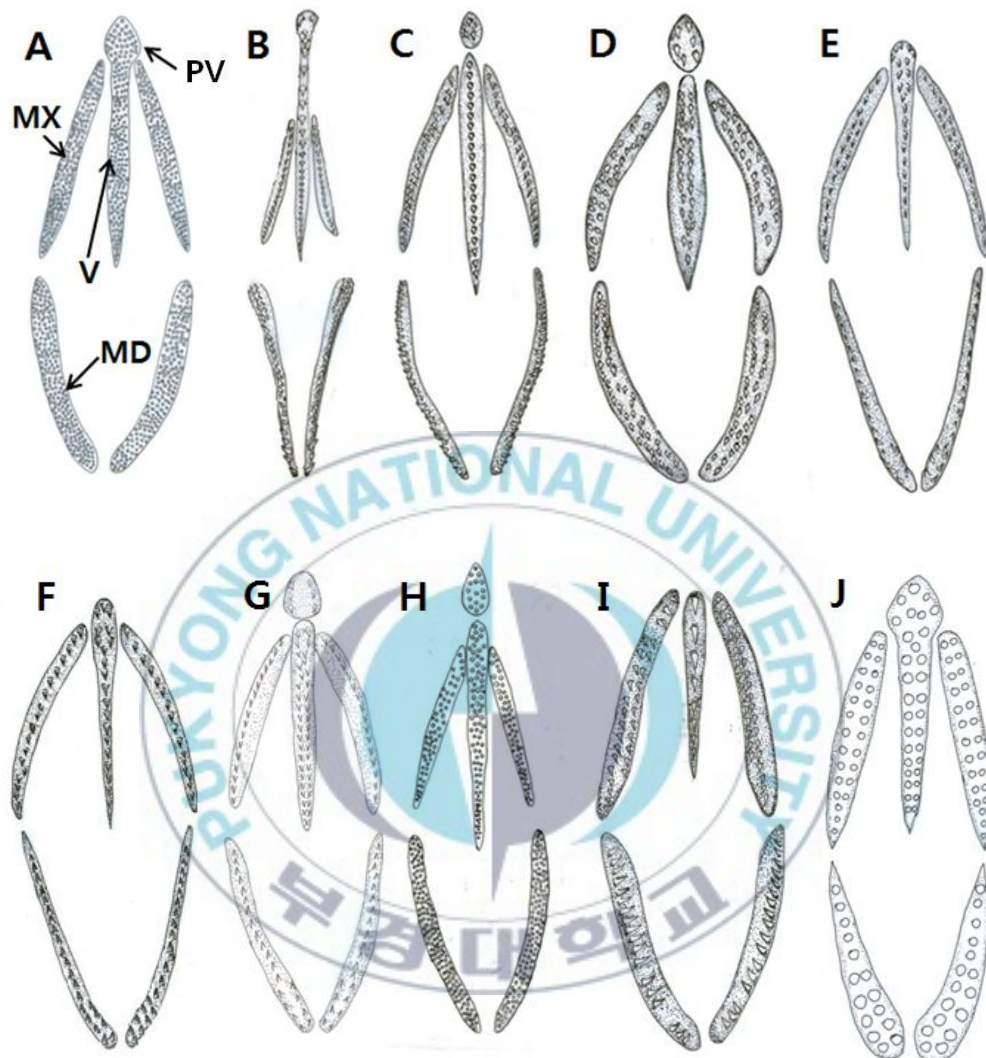
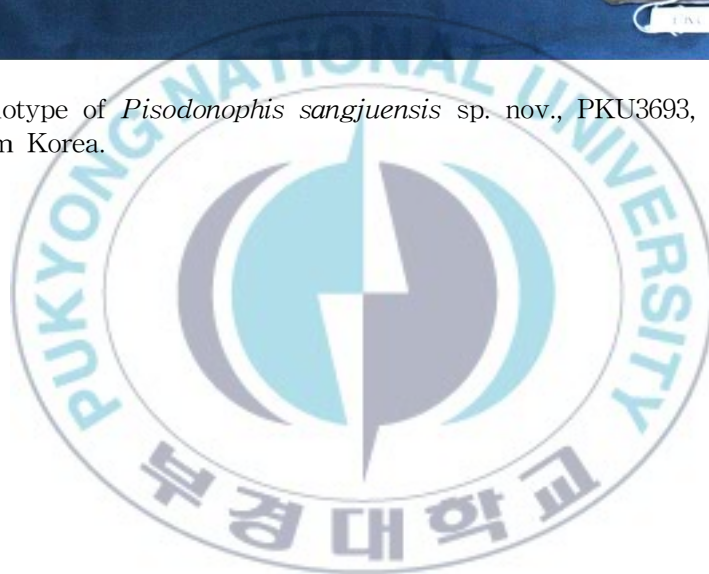


Fig. 3. Dentition of Ophichthid fishes, A: *Echelus uropterus*, PKU 912; B: *Ophisurus macrorhynchos*, PKU 812; C: *Ophichthus evermanni*, ASIZP0060063; D: *Ophichthus rotundus*, BKNU 3001; E: *Ophichthus urolophus*, NFRDI 20070904-06; F: *Ophichthus asakusae*, PKU 2401; G: *Pisodonophis zophistius*, HUMZ-58879; H: *Pisodonophis cancrivorus*, NFRDI 20070622-02; I: *Brachysomophis porphyreus*, SU 12915; J: *Muraenichthys gymnopterus*, FSIU 2144. MD, mandibular; MX, maxillary; PV, prevomer; V, vomer.



Fig 4. Holotype of *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov., PKU3693, 601 mm TL, from Korea.



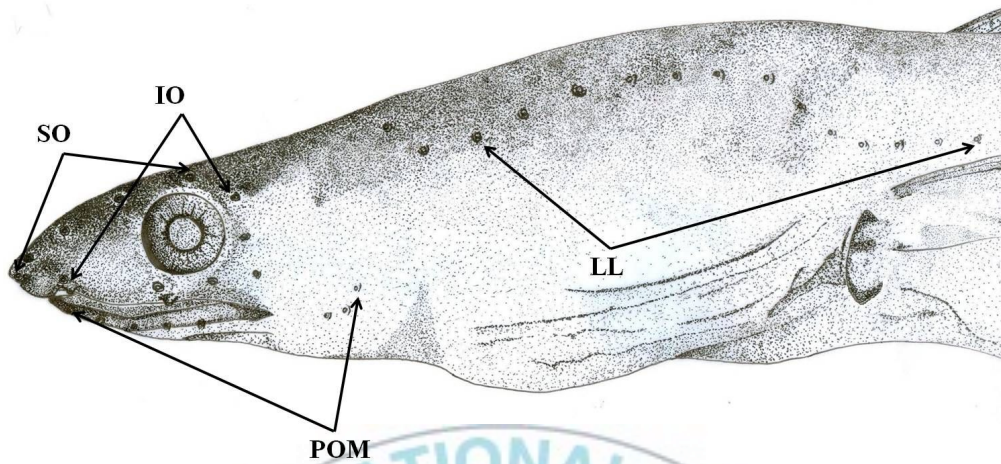


Fig. 5. Head of holotype of *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov., showing lateral cephalic sensory pores. SO, supraorbital pores; IO, infraorbital pores; POM, preopercular and mandibular pores; LL, lateral line pores.

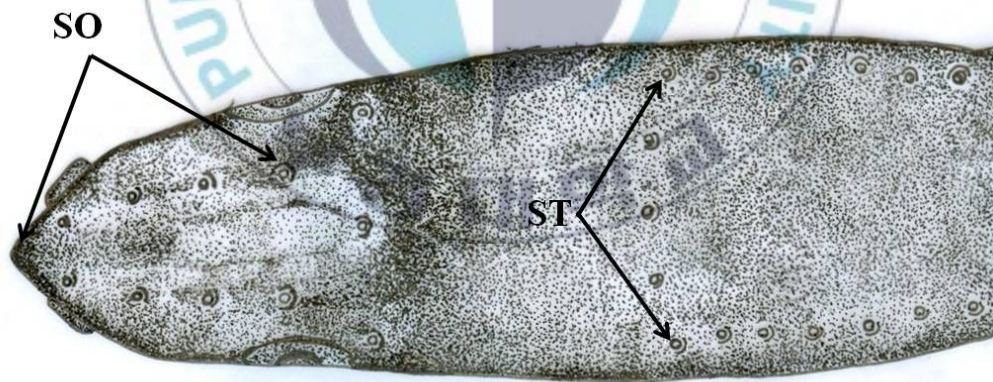


Fig. 6. Head of holotype of *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov., showing dorsal cephalic sensory pores. SO, supraorbital pores; ST, supratemporal pores.

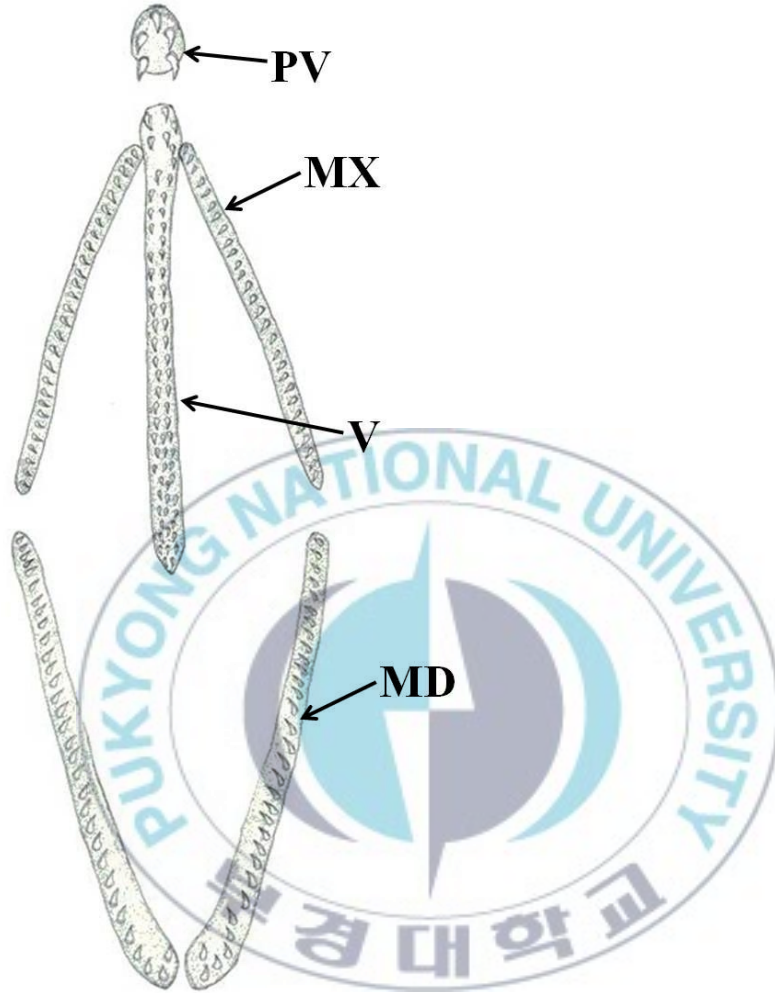


Fig. 7. Dentition of holotype of *Pisodonophis sangjuensis* sp. nov., PV, prevomer; V, vomer; MX, maxillary; MD, mandibular.



Plate. 1. A: *Echelus uropterus*, 518.0 mm TL; B: *Ophisurus macrorhynchus*, 1758.0 mm TL; C: *Ophichthus evermanni*, 738.0 mm TL; D: *Ophichthus rotundus*, 3001, 793.0 mm TL; E: *Ophichthus urolophus*, 568.0 mm TL; F: *Ophichthus asakusae*, 633.0 mm TL; G: *Pisodonophis zophistius*, 846.0 mm TL; H: *Pisodonophis cancrivorus*, 627.0 mm TL; I: *Brachysomophis porphyreus*; J: *Muraenichthys gymnopterus*, 254.6 mm TL.

2. 분자분석

가. 유전다양성

mtDNA의 12S rRNA 염기서열 958bp를 증폭하여 바다뱀목 17종 및 외집단으로 뱀장어목 5종(갯장어, 갈창갯장어, 붕장어, 은붕장어, 뱀장어)을 비교, 분석 하였다. Kimura-2-parameter 유전거리는 *Scolecenchelys borealis*와 *Scolecenchelys breviceps*가 0.011로 중간 최소값을 나타내었고, 다음으로 날붕장어(*Echelus uropterus*)와 *Echelus myrus*가 0.012로 나타났다(Table 5). 외집단과의 비교에서는 *Muraenichthys* sp.와 은붕장어(*Gnathophis nystroemi*)가 0.145로 가장 근연관계를 나타내었다(Table 5).

바다뱀목과 갯물뱀목의 유전거리는 0.156-0.214로 나타났으며, 바다뱀목과 외집단 5종은 0.151-0.222, 갯물뱀목과 외집단 5종은 0.145-0.210으로 나타났다(Table 5). Pairwise genetic distance에서 각 목과 외집단간 유전거리는 두목 사이의 유전거리보다 더 적게 나타났다.

갯물뱀목의 속간 유전거리에서 *Scolecenchelys*속은 *Myrophis*속의 *Myrophis vafer*와 0.071-0.075로 가장 가깝게 나타났다(Table 5). 또한, 갯물뱀속과는 0.049-0.085로 높은 유전거리를 나타내었는데, 이는 Wang *et al.* (2002)이 보고한 갯물뱀속의 *Muraenichthys* sp.가 *Scolecenchelys*속과 0.049-0.055로 가깝게 나타난 반면, 동일속의 갯물뱀(*Muraenichthys gymnopterus*)과는 0.084-0.085로 멀게 나타나 분류체계상 문제가 있는 것으로 나타났다. *Muraenichthys* sp.의 표본정보가 없고 유전정보만 등록되어 있어, 유전거리 비교결과에서 *Scolecenchelys* sp.로 보여지며, *Muraenichthys* sp.를 제외한 2속(*Scolecenchelys*, *Muraenichthys*)의 유전

거리는 0.084-0.086으로 나타났다(Table 5).

한편, 바다뱀亞科의 속간 유전거리에서는 바다뱀속(*Ophisurus*)은 *Xyrias revulsus*와 0.045로 가장 가깝게 나타났다(Table 5).

까치물뱀속(*Ophichthus*)은 돛물뱀속(*Pisodonophis*)과 가깝게 나타났으며 유전거리는 0.048-0.087로 다소 높은 범위를 보였다. 이는 까치물뱀속 3종(제주바다뱀, *Ophichthus serpentinus*, *Ophichthus zophochir*)이 돛물뱀속과 0.078-0.087로 높게 나타난 반면, 까치물뱀의 경우 돛물뱀속과 0.048-0.060로 가깝게 나타나 분류체계상 문제가 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 까치물뱀은 같은 까치물뱀속의 다른종들과 0.071-0.078로 큰 차이를 보였다(Table 5). 따라서 유전적 관점에서 까치물뱀을 돛물뱀속으로 전속하는 것이 타당해 보인다.

자물뱀속(*Brachysomophis*)은 바다뱀속(*Ophisurus*)과 0.064로 가장 가깝게 나타났으며, 돛물뱀속과 0.089-0.100으로 가장 멀게 나타났다(Table 5). *Myrichthys*속의 경우 까치물뱀속의 3종(제주바다뱀, *Ophichthus serpentinus*, *Ophichthus zophochir*)과 0.059-0.066으로 다소 가깝게 나타났으며, 돛물뱀속과는 0.098-0.100로 상당히 멀었다(Table 5).

한편, 바다뱀亞科 중에서 날뿔장어속은 다른 속들과 유전거리가 0.066-0.113로 가장 멀게 나타났다(Table 5). 이는 날뿔장어속이 유일하게 꼬리지느러미를 가져 다른 바다뱀亞科들과 뚜렷하게 구분되는 형태특징과 잘 일치하는 결과로 사료된다.

나. 분자계통유연관계

Maximum-likelihood (ML) tree는 바다뱀亞科와 갯물뱀亞科가 각각 단계통군을 형성하였으나, 외집단인 갯장어科(갯장어 *M. cinereus*, 갈창갯장

어 *M. bagio*) 및 붕장어과(붕장어 *C. myriaster*, 은붕장어 *G. nystromi*) 어류가 2亞科 사이에 위치함으로써 바다뱀과의 단계통성이 거부되는 결과를 보였다(Fig. 8). 또한, Maximum-parsimony (MP) tree에서도 ML tree 결과와 유사하였다(Fig. 10). 한편, Neighbor-joining (NJ) tree에서는 갯장어과만이 두 바다뱀亞科 사이에 위치하고 붕장어과와 뱀장어과는 갯물뱀亞科와 먼 거리에서 유집되었다(Fig. 9). 이는 NJ tree가 염기서열의 변이에 가중치를 두지 않고 계통도를 작성한 결과이며, ML tree와 MP tree의 경우 계통상에서 각 염기의 전환이 전이보다 더 높은 비중을 두어 작성되었기 때문에 사료된다. 따라서 각 분지자계통도는 공통적으로 바다뱀과 내의 단계통성이 거부되는 결과를 나타내었다.

한편, ML tree와 MP tree에서도 바다뱀亞科의 날붕장어속이 단계통성을 나타내었으며, 까치물뱀속의 까치물뱀은 돛물뱀속의 *P. sangjuensis*와 가장 가깝게 유집되며, 그다음으로 돌기바다뱀과 가깝게 유집되었다(Figs. 8, 10).

Table 3. Genetic distances among 17 ophichthid and 5 outgroups

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
<i>Echelus uropterus</i>																						
<i>Echelus myrus</i>	0.012																					
<i>Scolecenchelys borealis</i>	0.143	0.143																				
<i>Scolecenchelys breviceps</i>	0.145	0.145	0.011																			
<i>Muraenichthys</i> sp.	0.148	0.151	0.055	0.049																		
<i>Muraenichthys gymnopterus</i>	0.180	0.180	0.084	0.085	0.086																	
<i>Myrophis vafer</i>	0.152	0.151	0.071	0.075	0.060	0.103																
<i>Myrichthys maculosus</i>	0.093	0.086	0.174	0.171	0.177	0.214	0.182															
<i>Brachysomophis crocodilinus</i>	0.095	0.085	0.170	0.170	0.175	0.190	0.173	0.085														
<i>Ophichthus asakusae</i>	0.075	0.066	0.167	0.169	0.174	0.195	0.176	0.074	0.066													
<i>Ophichthus evermanni</i>	0.105	0.100	0.169	0.166	0.075	0.198	0.179	0.087	0.098	0.077												
<i>Ophichthus serpentinus</i>	0.074	0.070	0.166	0.162	0.167	0.194	0.171	0.060	0.067	0.058	0.071											
<i>Ophichthus zophochir</i>	0.079	0.075	0.156	0.156	0.161	0.188	0.166	0.059	0.073	0.062	0.078	0.043										
<i>Ophisurus macrorhynchus</i>	0.075	0.068	0.166	0.166	0.162	0.197	0.165	0.070	0.064	0.056	0.085	0.052	0.046									
<i>Xyrias revulsus</i>	0.089	0.082	0.172	0.172	0.177	0.208	0.175	0.067	0.074	0.066	0.081	0.049	0.045									
<i>Pisodonophis cancrivorus</i>	0.099	0.092	0.167	0.167	0.172	0.204	0.171	0.089	0.089	0.078	0.060	0.083	0.082	0.068	0.089							
<i>Pisodonophis sangjuensis</i> sp. nov.	0.113	0.104	0.167	0.167	0.168	0.208	0.187	0.092	0.100	0.083	0.048	0.082	0.087	0.086	0.089	0.071						
<i>Anguilla japonica</i>	0.149	0.157	0.152	0.152	0.154	0.162	0.153	0.170	0.178	0.167	0.176	0.166	0.162	0.164	0.169	0.178	0.198					
<i>Muraenesox cinereus</i>	0.187	0.176	0.194	0.194	0.204	0.210	0.209	0.177	0.185	0.171	0.172	0.174	0.163	0.166	0.162	0.169	0.169	0.187				
<i>Muraenesox bagio</i>	0.176	0.166	0.192	0.192	0.196	0.209	0.196	0.165	0.169	0.160	0.171	0.162	0.151	0.151	0.151	0.161	0.171	0.184	0.031			
<i>Conger myriaster</i>	0.199	0.201	0.189	0.189	0.193	0.190	0.203	0.221	0.209	0.222	0.215	0.219	0.221	0.207	0.220	0.204	0.212	0.181	0.224	0.218		
<i>Gnathophis nystromi</i>	0.149	0.151	0.153	0.151	0.145	0.165	0.151	0.173	0.180	0.173	0.170	0.162	0.158	0.166	0.168	0.164	0.176	0.129	0.185	0.173	0.129	

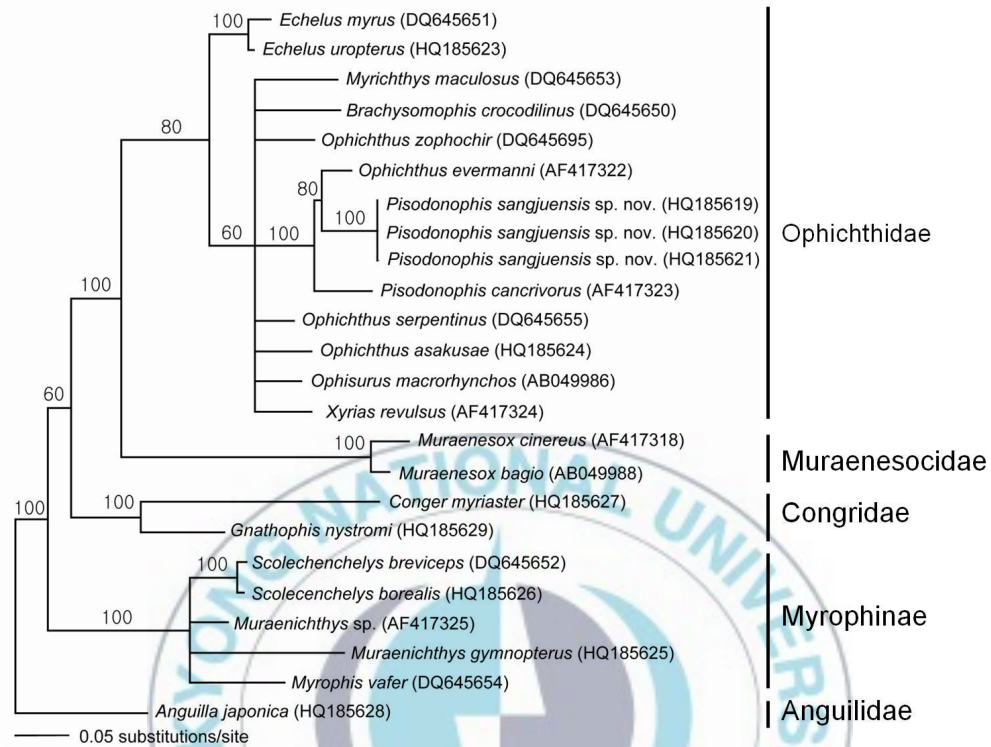


Fig. 8. Phylogenetic tree based on partial mt 12S rRNA showing the relationships among 17 ophichthid species and 5 outgroups. The maximum-likelihood tree is constructed using the GTR+I model (Posada and Crandall, 1998). Bootstrap values for 100 replications are shown. The bar indicates a genetic distance of 0.05.

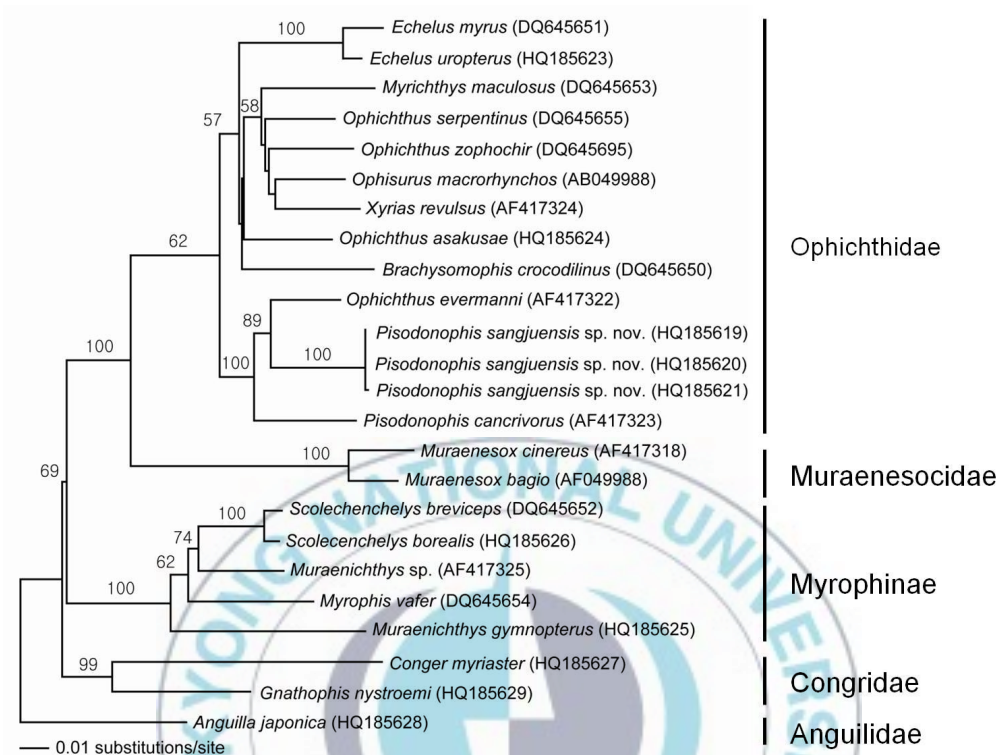


Fig. 9. Phylogenetic tree based on partial mt 12S rRNA showing the relationships among 17 ophichthid species and 5 outgroups. The Neighbor-Joining tree is constructed using the Kimura-2-parameter model (Kimura, 1980). 1000 replications of bootstrap. Bar indicates genetic distance of 0.01.

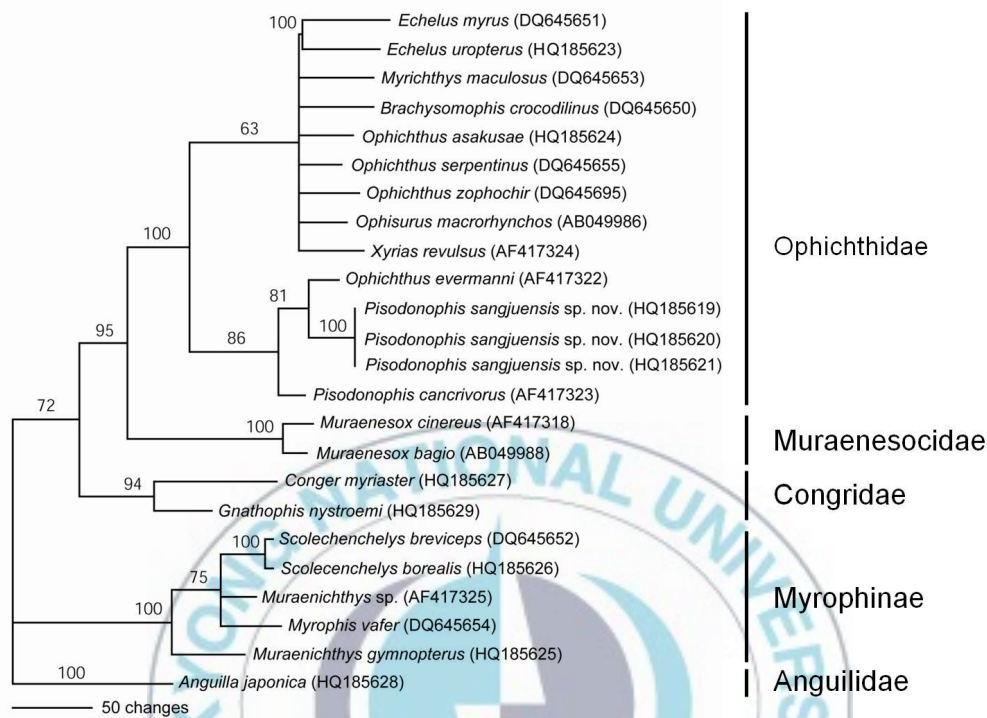


Fig. 10. Phylogenetic tree based on partial mt 12S rRNA showing the relationships among 17 ophichthid species and 5 outgroups. The maximum-parsimony tree is constructed using parsimony method (Swofford, 2003). 1000 replications of bootstrap. Bar indicates 50 changes.

IV. 고 찰

1. 형태

우리나라 주변해역에서 2005년부터 2009년까지 채집 또는 대여받은 바다뱀목 어류 10종을 대상으로 분류학적 재검토를 수행하였다. 계수형질에서는 다소 중복되기는 하지만 척추골수, 항문전 측선공수 등이 종간 유용한 분류형질로 판단된다. 척추골수는 바다뱀이 201~209개로 가장 많았으며, 제주바다뱀이 124~134개로 가장 적었고, 나머지 종들은 대체로 잘 구분되는 경향을 보였다(Table 1). 항문전 측선공수는 바다뱀이 73~76개로 가장 많았으며, 날붕장어가 43~50개로 가장 적었다(Table 1).

두부감각공 분포에서 안상골공수(SO), 상측두골공수(ST), 안하골공수(IO)는 날붕장어와 갯물뱀을 제외하면 바다뱀목 어류 8종간에는 차이가 없었으나 전새개하악골공수(POM, 제주바다뱀은 8+3개 vs. 갯물뱀 및 날붕장어는 7+3개 vs. 바다뱀, 까치물뱀 및 돌기바다뱀은 6+3개 vs. 돛물뱀은 5+3개 vs. 둥근물뱀 및 자물뱀은 5+2 vs. 갯물뱀은 4+3개)에서는 일부 종을 제외하면, 잘 구분되는 경향을 보였다(Table 1). 한편, 까치물뱀속 4종의 경우 제주바다뱀과 갯물뱀은 하악골공수가 7~8개로 많았으나, 까치물뱀과 둥근물뱀은 5~6개로, 하악골공수에서 돛물뱀속(5~6개)과 유사하게 나타났다.

계측형질 비교에서는 속간 유용한 분류형질로 전장에 대한 등지느러미 앞길이(갯물뱀속 36.1~36.8 vs. 자물뱀속 18.5~18.6 vs. 날붕장어속, 까치물뱀속, 돛물뱀속, 바다뱀속 8.6~16.6), 두장에 대한 주둥이길이(바다뱀속 27.2~31.2 vs. 날붕장어속 21.7~27.8 vs. 까치물뱀속 13.9~22.7 vs. 돛물

뱀속 17.7~20.4 vs. 갯물뱀속 8.4~11.8 vs. 자물뱀속 9.1~9.4) 등이 확인되었다.

이빨의 형태와 배열 구조는 바다뱀과 어류의 중요한 속 및 중간 분류형질로 간주되고 있다(McCosker, 2010). 날붕장어속, 바다뱀속, 까치물뱀속, 자물뱀속 및 갯물뱀속의 경우는 속마다 특징적인 이빨형태 및 배열 구조를 가진다(Castle and McCosker, 1999; Sumida and Machida, 2000; McCosker and Randall, 2001; Hatooka, 2002; McCosker, 2010). 그러나, 돛물뱀속(*Pisodonophis*)의 경우 전세계적으로 보고된 9종(Eschmeyer, 2010) 중 3종(돛물뱀, *P. copelandi*, *P. hijala*)은 양턱과 서골에 원뿔니가 있고(Hamilton, 1822; Herre, 1953; Hatooka, 2002), 나머지 6종(돌기바다뱀, *P. boro*, *P. hypselopterus*, *P. hoevenii*, *P. daspilotus*, *P. semicinctus*)은 과립상의 이빨을 가지고 있어 중간 차이를 보였다(Bleeker, 1851, 1853; Richardson, 1848; Gilbert, 1898; Hatooka, 2002). 이처럼 이빨의 형태와 배열구조에 의해 구분된 2개 그룹이 진화학적 의미를 가지는지 여부를 파악하기 위해 분자계통학적 연구가 필요하다.

또한, 까치물뱀속(*Ophichthus*)과 돛물뱀속(*Pisodonophis*)을 구분하는 진단형질로 등지느러미기점과 이빨의 형태가 알려져 있는데 서로 중복되어 속간 분류형질로 불명확한 실정이다. Sumida and Machida (2000)의 까치물뱀속 어류 3종(갈물뱀, 제주바다뱀, *Ophichthus tsuchidae*)의 형태 스케치에 의하면, 후비공 앞뒤로 육질돌기를 확인할 수 없었다. McCosker (2010)는 인도태평양 서식 까치물뱀속 19종의 형태기재에서 후비공 앞뒤로 육질돌기가 없다고 보고하였다. 반면, 박물관에서 대여한 돛물뱀속 어류의 모식표본 및 원기재에 의하면, 9종 중 6종(돛물뱀, 돌기바다뱀, *P. boro*, *P. copelandi*, *P. daspilotus*, *Pisodonophis hypselopterus*)에서 후비공 전후로 육질돌기가 확인되었다(Gilbert, 1898; Hamilton, 1822; Herre, 1953; Jordan

and Snyder, 1901; Richardson, 1848). 나머지 3종(*P. hoevenii*, *P. semicinctus*, *P. hijala*)중 *P. hoevenii*는 모식표본의 상태가 손상되어 확인할 수 없었고, *P. hijala*는 보고된 모식표본 조차 없는 실정이며, *P. semicinctus*는 육질돌기가 없었다. 따라서 *P. semicinctus*의 DNA 염기서열을 확보하여 육질돌기의 유무가 돛물뱀속의 진단형질로 적합한지에 대한 추가 연구가 필요하다. 한편, Sumida and Machida (2000) 및 McCosker (2010)에 의하면, 까치물뱀속 어류가 후비공 앞뒤로 육질돌기를 가지지 않는다고 하였으나, 본 조사에서 까치물뱀과 둥근물뱀 2종에서는 육질돌기가 관찰되어 이들 2종의 분류학적 위치가 혼란스럽다. 특히 까치물뱀의 경우 두부감각공이 흑점으로 뚜렷한 점, 육질돌기가 존재하는 점, 양턱에 원뿔니가 존재하는 점 등에서 돛물뱀과 매우 유사하였다. 따라서, 이들 2종의 분자계통학적 연구를 통한 분류학적 재검토가 필요할 것으로 사료된다.

2. 분자

Pisodonophis sangjuensis 3개체의 mtDNA 12S rRNA 염기서열에 의거 분자계통도를 확인할 결과, 본 종은 까치물뱀(*O. evermanni*)과 가장 가깝게 유집되었으며, 다음으로 돌기바다뱀(*P. cancarivorus*)과 유집되었다 (Fig. 8). 까치물뱀과는 50bp에서 차이를 보였으며, 이중 12bp는 전환, 38bp는 전이였다. 돌기바다뱀과는 64bp차이를 보였으며, 이중 11bp는 전환, 53bp는 전이였다. Smith *et al.* (2008)는 중간 염기서열의 비교에서 전환이 전이보다 진화에 걸리는 시간이 더 길다고 하였다. 따라서 *P. sangjuensis*를 까치물뱀 및 돌기바다뱀 염기서열과 비교하면 전환에서는 서로 유사하였으나 전이에서 까치물뱀과 더 적은 값을 보여 까치물뱀이 근연종으로 추정된다.

한편, Wang *et al.* (2002)은 뱀장어목의 12S rRNA 염기서열에 근거한 계통분류학적 연구에서 바다뱀목 3종(*O. evermanni*, *P. cancrivorus*, *Xyrias revulsus*)의 유전거리(0.064-0.094)를 제시 한 바 있다. 본 연구의 *P. sangjuensis*는 유전거리에서 까치물뱀 *O. evermanni*와 0.048로 가장 가깝게 나타났으며, 다음으로 돌기바다뱀 *P. cancarivorus*와 0.060로 가까웠다(Table 3). 비록 *P. sangjuensis*가 유전적으로 *Ophichthus*속의 까치물뱀과 가깝기는 하지만, 육질돌기를 가지는 특징에 의거 *Pisodonophis*속에 포함시키는 것이 타당해 보인다. 까치물뱀속(*Ophichthus*)의 4종(까치물뱀, 제주바다뱀, *O. zophochir*, *O. serpentinus*)은 분자결과 단계통성을 나타내지 않아, 분류체계에 대한 재검토의 필요성이 제기되었다. 특히, 까치물뱀의 경우 형태특징에서 보여준 것과 유사하게 돛물뱀속 어류들과 가깝게 유집되었다. 따라서 까치물뱀은 형태 및 분자결과를 근거로 종합적으로 판단해 볼 때 속명이 *Ophichthus*속에서 *Pisodonophis*속으로 전속되어야 할 것으로 사료된다. Castle and McCosker (1999)는 갯물뱀속(*Muraenichthys*) 어류의 분류학적 재검토에서 갯물뱀속 6종(*M. macropterus*, *M. borealis*, *M. schulzie*, *M. gymnotus*, *M. okamurai*, *M. japonicus*)을 이빨의 형태, 눈 및 후비공의 위치, 두부감각공수 등에 의해 *Muraenichthys*속에서 *Scolecenchelys*속으로 전속 된 바 있다. 본 계통도에 포함된 *Scolecenchelys borealis*는 갯물뱀속(*Muraenichthys*)과 상당히 멀게 나타나 유전결과에서도 잘 일치하였다(Fig. 8). 상기의 연구결과에 따라 향후 돛물뱀속(*Pisodonophis*) 어류들의 DNA염기서열을 확보하여 정확한 분류체계를 정립할 필요가 있다.

한편 바다뱀목 어류 중 유일하게 꼬리지느러미를 가지는 날뿔장어속(*Echelus*)의 경우 꼬리지느러미를 가지는 갯물뱀목과는 유전거리가 0.143-0.180, 외집단 5종과는 0.149-0.201을 보여 꼬리지느러미 유무에 의

한 갯물뱀亞科와의 연관성은 적은 것으로 사료된다.

본 연구에서 각 亞科와 외집단간의 유전거리는 두亞科 사이의 유전거리보다 더 가깝게 나타나 흥미로웠다. Wang *et al.* (2002)에 따르면 뱀장어目の 계통분류학적 연구에서 바다뱀亞科 3종(까치물뱀, 돌기바다뱀, *Xyrias revulsus*)은 단계통성을 나타내었으나 갯물뱀亞科의 *Muraenichthys* sp.는 Saccopharyngiformes目の *Eurypharynx pelecanoides*와 유집되어 바다뱀科 단계통성에 관한 의문이 제기된 바 있다. 본 연구의 분자계통도 및 유전거리 결과에서도 갯장어와 갈창갯장어가 바다뱀亞科에 더욱 가깝게 유집되었으며, 이는 Wang *et al.* (2002)의 결과와 잘 일치하는 것이다. 미토콘드리아 DNA는 핵외 DNA로 모계유전의 특성 때문에 양쪽 성의 진화 역사를 제대로 반영하지 못한다는 의견이 제시되고 있다 (Kim *et al.*, 2007). 바다뱀科 어류도 mt DNA로는 진화 역사를 조명하기에 해상도가 낮을 가능성이 있기 때문에 핵 DNA에 의한 추가연구가 필요하다. 최근, Lopez *et al.* (2004)는 까치물뱀속 어류 *Ophichthus gomesii*의 핵 DNA RAG1 영역을 분석한 바 있으나, 나머지 종들에 대해서는 전혀 연구가 없는 실정이다. 향후 본 연구에서 누락된 바다뱀亞科 34속 및 갯물뱀亞科 8속의 표본을 확보하여 추가적인 연구와 함께 핵 DNA(RAG, ITS 등)에 의한 분자계통학적 연구도 병행되어야 할 것이다.

3. 바다뱀亞科와 갯물뱀亞科의 엽상자어에 대한 고찰

뱀장어目 어류는 일반적으로 유어기때 엽상자어(Leptocephalus)시기를 가진다. 뱀장어目に 속하는 바다뱀科 어류도 엽상자어시기를 가지는데 대서양에서 다수의 바다뱀科 엽상자어의 형태에 관한 보고가 있다(Michael and Obenchain, 1978; Leiby, 1979, 1981, 1982, 1984). 이후 북대서양에서

바다뱀목 엽상자어를 흑색소포, 근절수, 두부, 비공수, 소낭수 등에 근거하여 중 수준까지 동정한 연구(Richardson and Cowen, 2004) 등이 있다. 그 외 일본산 바다뱀목 엽상자어의 아목 수준에서의 동정(Tabeta and Mochioka, 1988), 동아시아산 바다뱀목 엽상자어의 형태 기재(Miller *et al*, 2002; Miller and Tsukamoto, 2006) 등 다수의 연구보고가 있다. 바다뱀목 어류의 엽상자어는 1) 전장에 대한 체고(갯물뱀아목, Myrophinae는 10% 이상 vs. 바다뱀아목, Ophichthinae는 10% 이하), 2) 최대 소낭의 위치(3번째 vs. 2번째), 3) 항문 뒤부터 꼬리지느러미 앞까지 체측 중앙의 세로띠의 유무(없다 vs. 있다), 4) 꼬리지느러미의 유무(발달 vs. 없거나 흔적적) 등의 형태적 특징에 의거 2개 아목으로 잘 구분된다(Michael and Obenchain, 1978; Tabeta and Mochioka, 1988). 본 연구에서 바다뱀아목 엽상자어는 전장에 대한 체고가 10% 이하, 2번째 소낭이 최대, 항문 뒤부터 꼬리지느러미 앞까지 체측 중앙에 세로띠가 존재, 꼬리지느러미가 없는 점에서 바다뱀아목(Ophichthinae)에 속한다(Fig. 11A, B). 또한, 갯물뱀아목 엽상자어는 전장에 대한 체고가 10%이상, 3번째 소낭이 최대, 항문뒤에 세로의 흑색띠가 관찰되지 않고 척색과 근절사이에 소량의 흑색소포만 분포하며, 발달된 꼬리지느러미를 가진다(Fig. 11C). 전 세계적으로 갯물뱀아목 어류중 2속(*Neechelys*, *Myrophis*)을 제외하면 가슴지느러미가 없기 때문에, 성장하면서 가슴지느러미가 퇴화하는 것으로 사료된다.

한편, 갯장어목과 붕장어목 엽상자어의 형태적 특징을 분석한 결과 갯장어의 경우 소화관 만곡부가 항문전까지 1개 나타나며, 항문은 몸의 80%에 위치하였다(Fig. 11D). 붕장어의 경우 소화관 만곡부가 없고 배쪽아래에 흑색소포가 항문전까지 분포하며, 항문은 몸의 90%에 위치하였다(Fig. 11E). 엽상자어를 보면 바다뱀아목은 갯장어목 및 붕장어목 어류와 형태적으로 다르며 오히려 갯물뱀아목과 매우 유사한 특징을 보였으나 유전결과

와는 일치하지 않았다.

4. 바다뱀과의 진화학적 고찰

바다뱀과 어류는 가슴지느러미와 꼬리지느러미 유무에 따라 2개의 亞科로 나뉘며 외형적으로도 많은 차이점이 있다(McCosker, 1989; Nelson, 2006). 본 연구의 형태적인 결과에 의하면 가슴지느러미와 꼬리지느러미 유무가 3속(*Echelus*, *Neenchelys*, *Myrophis*)을 제외하면 각 亞科의 특징을 잘 반영하는 것으로 확인되었다. 유전결과에서도 2개 亞科는 각각 단계통군으로 잘 분지되었지만 외집단인 갯장어과 및 붕장어과 어류와의 유연관계에서 2개 亞科가 하나의 과로 단계통성을 나타내지는 못했다. 갯장어의 경우 꼬리지느러미를 가지는 점에서 바다뱀亞科의 바다뱀(*Ophisurus macrorhynchus*)과 잘 구분되지만, 가슴지느러미 유무, 주둥이의 신장정도, 전비공과 후비공의 위치, 치열 등에서 특히 바다뱀(*O. macrorhynchus*)과 매우 닮았다. 상기의 형태특징에 근거하면 바다뱀과 내의 단계통성의 가설이 더욱 지지 된다. 갯물뱀亞科 어류는 꼬리지느러미를 가지는 점에서 갯장어과 유사하지만, 나머지 형태 특징에서는 많은 차이를 보였다. 붕장어의 경우 가슴지느러미와 꼬리지느러미가 있고, 양턱과 서골에 다열의 과립상 치판이 배열되어 있는 점에서 바다뱀亞科의 날붕장어(*Echelus uropterus*)와 매우 유사하지만, 나머지 종들과는 다르다. 생태특징에서 2亞科는 갯장어과, 붕장어과 및 뱀장어과 어류와 잘 구분 된다. 바다뱀과 대부분의 어류는 단단한 꼬리로 굴을 파서 굴착생활을 하는 것으로 알려져 있으나(Nelson, 2006; Castle and McCosker, 1999; McCosker, 2010), 이는 대부분 바다뱀亞科의 생태 보고이며, 갯물뱀亞科의 경우 정확한 생태특징에 관한 보고는 거의 없는 실정이다. 한편, 꼬리끝이 단단하지 않고 꼬리

지느러미를 가지는 갯장어과, 붕장어과, 뱀장어과는 굴착생활에 대한 기록은 없고 저층의 바위틈에 주로 서식한다고 알려져 있다(Nelson, 2006). 따라서 꼬리지느러미 유무는 바다뱀 그룹의 진화 역사를 해석하는데 중요한 형태형질로 사료된다.

한편, Robins (1989)는 뱀장어목 어류의 형태형질에 근거한 계통학적 연구에서, 뱀장어목은 3亞目(곰치亞目 Muraenoidei, 뱀장어亞目 Anguilloidei, 먹붕장어亞目 Congroidei)으로 나뉘며 곰치亞目(곰치과, Chlopsidae), 뱀장어亞目(뱀장어과, Moringuidae), 먹붕장어亞目내에 붕장어과 갯장어과 Nettastomatidae, Derichthyidae 등이 유집되며 하나의 그룹을 나타내었으며, 바다뱀과 및 Synphobranchoidae는 멀리 유집되는 결과를 제시하였다.

이후, Inoue *et al.* (2001)는 뱀장어목 어류의 미토콘드리아 DNA와 핵 DNA를 이용한 분자계통학적인 연구에서, 곰치亞目の 곰치과(Muraenidae)를 가장 원시적인 그룹으로 제시하였으며, 다음으로 뱀장어과, 긴꼬리장어과, Serrivomeridae, Nemichthyidae, Moringuidae순으로 유집되어 한 그룹을 나타내었고, 바다뱀과 어류는 갯장어과와 가장 근연종을 나타내었으며, 붕장어과, Nettastomatidae 및 Derichthyidae와 유집되는 결과를 나타내었다. 본 연구의 형태 및 분자결과에 근거한 연구결과와 비교하면 바다뱀과는 갯장어과와 근연종을 나타낸다는 점에서 잘 일치하였고, 뱀장어목은 가슴지느러미가 없는 곰치과가 가장 원시적인 그룹으로 사료된다. 또한, 꼬리지느러미와 가슴지느러미를 가지며, 유전학적으로 뱀장어과, 붕장어과 순으로 진화되었으며, 이어 이빨이 날카로운 갯장어과로 진화되었을 것으로 추정된다. 따라서 바다뱀과는 외부형태 및 유전적으로 뱀장어목에서 가장 근연종인 갯장어과에서 2亞과(바다뱀亞과, 갯물뱀亞과)로 진화되었을 것으로 추정된다.



Fig. 11. Leptocephalus of *Scolecenchelys borealis* (A), TL 59.24 mm. Dokdo, East Sea, 7 November 2008. *Pisodonophis* sp. (B), TL 120.0 mm. South Sea, 5 Sep. 2010. *Echelus uropterus* (C), TL 47.44 mm. Dokdo, East Sea, 7 November 2008. *Muraenesox cinereus* (D), TL 92.8 mm. East Sea, 29 July 2009. *Conger myriaster* (E), TL 109.9 mm. South Sea, 9 Apr. 2008.

한국산 바다뱀科 어류의 종 검색표

- 1a. 꼬리지느러미가 있다(흔적적인 경우도 포함).....갯물뱀亞科 *Myrophinae*.....2
- 1b. 꼬리지느러미가 없다.....바다뱀亞科 *Ophichthinae*.....3
- 2a. 등지느러미가 항문보다 약간 앞에서 시작하며, 가슴지느러미가 없다.....갯물뱀속 *Muraenichthys*.....갯물뱀 *Muraenichthys gymnopterus*
- 2b. 등지느러미가 가슴지느러미 중앙 위에서 시작하며, 가슴지느러미가 있다.....날붕장어속 *Echelus*.....날붕장어 *Echelus uropterus*
- 3a. 항문전 측선공수는 73개 이상이며, 전체 척추골수는 200개 이상이다.....바다뱀속 *Ophisurus*.....바다뱀 *Ophisurus macrorhynchus*
- 3b. 항문전 측선공수는 70개 이하이며, 전체 척추골수는 185개 이하이다.....4
- 4a. 등지느러미는 가슴지느러미 뒤끝보다 앞에서 시작한다.....5
- 4b. 등지느러미는 가슴지느러미 뒤끝보다 뒤에서 시작한다.....7
- 5a. 후비공 앞뒤로 육질돌기가 없고, 꼬리끝의 외피는 스펀지처럼 구멍이 나 있다.....까치물뱀속 *Ophichthus*.....제주바다뱀 *Ophichthus asakusae*
- 5b. 후비공 앞뒤로 육질돌기가 있고, 꼬리끝의 외피는 매끈하다.....뚝물뱀속 *Pisodonophis*.....6
- 6a. 양턱에 과립상의 이빨이 다열로 배열되어 있고, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하지 않다.....돌기바다뱀 *Pisodonophis cancrivorus*
- 6b. 양턱에 1열의 원뿔니가 배열되어 있고, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하다.....뚝물뱀 *Pisodonophis zophistius*
- 6c. 양턱에 1열의 원뿔니가 배열되어 있고, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하지 않다.....상주물뱀 *Pisodonophis sangjuensis*

- 7a. 양턱에 2열의 원빨니가 배열되어 있고, 후비공 앞뒤로 육질돌기가
 없다.....자물뱀속 *Brachysomophis*.....자물뱀 *Brachysomophis porphyreus*
- 7b. 양턱에 1열의 원빨니가 배열되어 있고, 후비공 앞뒤로 육질돌기가
 없다.....까치물뱀속 *Ophichthus*.....갈물뱀 *Ophichthus urolophus*
- 7c. 양턱에 1열의 원빨니가 배열되어 있고, 후비공 앞뒤로 육질돌기가
 있다.....까치물뱀속 *Ophichthus*.....8
- 8a. 체측에 어떠한 반문도 없다, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하지 않다.....
등근물뱀 *Ophichthus rotundus*
- 8b. 체측에 수직 반문이 뚜렷하다, 두부감각공이 흑점으로 뚜렷하다.....
까치물뱀 *Ophichthus evermanni*



V 참고 문헌

- Ahl, J.N. 1789. Specimen ichthyologicum de Muraena et Ophichtho, quod venia exp. fac Med. ups. Praeside Car ol. Pet. Thunberg, etc, Upsalal, pp. 1-14, 2 pls.
- Allen, G.R. and M. Adrim. 2003. Coral reef fishes of Indonesia. Zool. Stud. 42: 1-72.
- Asano, H. 1984. Family Ophichthidae. In: Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshino. (eds.), The fishes of the Japanese archipelago. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 29-32.
- Asano, H. 1992. Ophichthidae. In: Masuda, H. (ed.). The fishes of the Japanese archipelago. 3rd ed. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 30-32, pl. 33.
- Bleeker, P. 1851. Derde bijdrage tot de kennis der ichthyologische fauna van Borneo, met beschrijving van eenige nieuwe soorten van zoetwatervisschen, Nat. Tijd. Ned., 2: 57-70.
- Bleeker, P. 1853. Bijdrage tot de kennis der Muraenoiden en Symbranchoden van den Indischen Archipel. Verh. Batav. Genootsch. Kunst. Wet., 25: 1-76.
- Bleeker, P. 1853. Vierde bijdrage tot de kennis der ichthyologische fauna van Celebes. Nat. Tijd. Ned., 5: 153-174.
- 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.
- Chen, J.T.E. and H.T.C. Weng. 1967. A review of the apodal fishes Taiwan.

- Tunghai Univ. Taichung, Taiwan, 32: 1-86.
- Cheng, Q.T. and B.S. Zheng (eds.). 1987. Systematic synopsis of Chinese fishes. Science Press, Beijing, pp. 110-115, 775-764. (in Chinese)
- Chyung, M.K. 1977. The fishes of Korea. Ilchisa, Seoul, 727pp.
- Chu, Y.T., T.L. Tchang and Q.T. Cheng. 1963. Fishes of the East of China Sea. Sci. Press, Beijing, pp. 153-154. (in Chinese)
- Eschmeyer, W.N., (ed.). 1998. Catalog of fishes. Calif. Acad. Sci. 2: 1820pp.
- Eschmeyer, W.N., (ed.). 2010. Catalog of fishes electronic version. available from: <http://research.calacademy.org/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.
- Gilbert, C.H. 1898. The fishes of North and Middle America, a descriptive catalogue of the species of fish-like vertebrates found in the waters of North America north of the Isthmus of Panama, Bull. U. S. Natl. Mus., 47: 2183-3136.
- Günther, A. 1870. Catalogue of the fishes in the british museum. Catalogue of the Physostomi, containing the families Gymnotidae... in the british museum. Brit. Mus., London, 8: i-xxv+1549pp.
- Hamilton, F. 1822. An account of the fishes found in the river Ganges and its branches. Edinburgh and London, 405pp.
- Hatooka, K. 2002. Ophichthidae. In: Nakabo, T. (ed.). Fishes of Japan with pictorial keys to the species. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 215-225.
- Herre, A.W.C.T. 1923. Check list of Philippine fishes. Res. Rep. U. S. Fish Wild. Serv., 20: 1-977.
- Herre, A.W.C.T. 1953. Eight additions to the Philippine fish fauna, including three new species. Philippine J. Sci., 82: 9-14.
- Huang, Z. 2001. Marine species and their distribution in China's seas. Vertebrata. Smithsonian Inst., Florida, USA. 598 p.
- Hutchins, J.B. 2001. Checklist of the fishes of Western Australia. Rec. West. Aust. Mus. Suppl. 63: 9-50.

- Inoue, J.G., M. Miya, K. Tsukamoto and M. Nishida. 2001. Complete mitochondrial DNA sequence of *Conger myriaster* (Teleostei: Anguilliformes): novel gene order for vertebrate mitochondrial genomes and the phylogenetic implications for anguilliform families. *J. Mol. Evol.*, 52: 311-320.
- Jordan, D.S. and C.W. Metz. 1913. A catalog of the fishes known from the waters of Korea. *Mem. Carn. Mus.*, 6: 1-65, pls, 1-10.
- Jordan, D.S. and J.O. Snyder. 1901. A review of the apodal fishes or eels of Japan, with descriptions of 19 new species. *Proc. U. S. Natl. Mus.*, 23: 837-890.
- Jordan, D.S. and R.E. Richardson. 1909. A catalogue of the fishes of the island of Formosa, or Taiwan, based on the collections of Dr. Hans Sauter, *Mem. Carn. Mus.*, 4: 159-204, pls, 63-74.
- Jordan, D.S. and R.E. Richardson. 1910. Check-list of the species of fishes known from the Philippine archipelago. *Bureau of Sci., Manila*, pp. 3-78.
- Jordan, D.S., S. Tanaka and J.O. Snyder. 1913. A catalogue of the fishes of Japan. *J. of the Coll. of Sci., Imperial University, Tokyo*, 33: 1-497.
- Kaup, J.J. 1856. Uebersicht der Aale. *Arch. Naturegeschichte*, 22: 41-77.
- Kim, B.G., C.H. Jeong and K.N. Han. 2008. New record of a worm eel *Muraenichthys gymnopterus* (Anguilliformes: Ophichthidae) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 20: 318-323.
- Kim, B.J., J.H. Choi, D.S. Chang, H.K. Cha and J.H. Park. 2009. New record of the snake eel *Ophichthus asakusae* (Ophichthidae: Anguilliformes) from Korea. *Fish. Aqua. Sci.* 12: 236-239.
- Kim, J.K., Y. Kai and T. Nakabo. 2007. Genetic diversity of *Salanx ariakensis* (Salangidae) from Korea and Japan inferred from AFLP. *Ichthyol. Res.* 54: 416-419.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim, and J.H. Kim, 2005. Illustrated

- book of Korean fishes. Kyohak, Seoul, 615pp.(in Korean)
- 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.
- Lacepède, B.G.E. 1800. Histoire naturelle des poissons. Histoire naturelle des poissons, 2: i-lxiv+632pp, Pls, 1-20.
- Lee, C.L. 2009. First record of a longfin snake-eel, *Pisodonophis cancrivorus* (Anguilliformes: Ophichthidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 21: 307-310.
- Lee, C.L. and H. Asano. 1997. A new ophichthid eel, *Ophichthus rotundus* (Ophichthidae, Anguilliformes) from Korea. Kor. J. Biol. Sci., 1: 549-552.
- 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.
- Linnaeus, C. 1758. Systema Naturae, Ed. X. (Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I. Editio decima, reformata.) Holmiae. Systema Naturae, Ed. X. v. 1: i-ii+824pp.
- Lopez, J.A., W.J. Chen. and G. Orti. 2004. Esociform phylogeny. Copeia, 3: 449-464.
- Lopez, J.A., M.W. Westneat and R. Hanel. 2007. The phylogenetic affinities of the mysterious Anguilliform genera *Coloconger* and *Thalassenchelys* as

- supported by mtDNA sequences. *Copeia*, 4: 959-966.
- Lütken, C.F., 1851. Nogle bemaerkinger om naeseborenes stilling hos de i gruppe med *Ophisurus* staaende slaegter af aalefamilien. Videnskabelige Meddelelser fra den Naturhistoriske Forening i Kjöbenhavn, 1851: 1-21.
- Masuda, H. and G.R. Allen 1993. Meeresfische der Welt-Groß-Indopazifische Region. Tetra Verlag, Herrenteich, Melle, 528 pp.
- 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. of Royal Soc. of 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.
- McCosker, J.E., E.B. Böhlke and J.E. Böhlke. 1989. Family Ophichthidae. In: *Fishes of the Western North Atlantic*, pt. 9, vol. 1, Böhlke, E.B. (ed.). Mem Sears. Found. Mar. Res., I. Yale Univ., New Haven, pp. 254-412.
- McCosker, J.E. and J.E. Randall. 1993. Finless snake-eels of the genus *Cirricaecula* (Anguilliformes: Ophichthidae), with the description of *C.*

- macdowellii* from Taiwan. Japan. J. Ichthyol., 40: 189–192.
- McCosker, J.E. and P.H.J. Castle 1986. Ophichthidae. In Smith M.M. and P.C. Heemstra. (eds.), *Smiths' Sea fishes*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 176–186.
- McCosker, J.E. and Randall, J.E. 2001. A revision of the snake-eel genus *Brachysomophis* (Anguilliformes: Ophichthidae), with the description of two new species and comments on the species of *Myrophis*. Indo-Pacific Fishes, 33: 1–32.
- McCosker, J.E. and Y. -Y. Chen. 2000. A new species of deepwater snake-eel, *Ophichthus aphotistos*, with comments on *Neenchelys retropinna* (Anguilliformes: Ophichthidae), from Taiwan. Ichthyol. Res., 47: 343–357.
- 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.
- Miller, M.J. 2009. Ecology of Anguilliform leptocephali: remarkable transparent fish larvae of the ocean surface layer. Aqua-BioSci. Monographs, 2: 1–94.
- Mok, H.K. 1993. Ophichthidae In: Shen, S.C. (ed.). *Fishes of Taiwan*, Depart. Zool., Natl. Taiwan Univ., Taipei, pp. 110–114.
- Mori, T. 1952. Check list of the fishes of Korea. Mem. Hyogo Univ. Agric., 1: 1–228.
- Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*. 4th ed, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 601pp.
- Posada, D. and K.A. Crandall. 1998. MODELTEST: testing the model of DNA substitution. Bioinformatics Applications Notes, 14: 817–818.
- Rafinesque, C.S. 1810. Caratteri di alcuni nuovi generi e nuove specie di animali e piante della Sicilia, con varie osservazioni sopra i medesimi. Part 1

- involves fishes, pp. 3-69.
- Randall, J.E. 1973. Tahitian fish names and a preliminary checklist of the fishes of the society of islands. B.P. Bishop Mus. Occas. Pap. 24:167-214.
- Randall, J.E. and K.K.P. Lim. 2000. A checklist of the fishes of the South China Sea. Raffles Bull. Zool. Suppl., 8:569-667.
- Richardson, J. 1848. Ichthyology. In: Richardson, J. and J.E. Gray (eds.), The zoology of the voyage of H.M.S. "Erebus" and "Terror" under the command of Capt Sir J.C. Ross during 1839-43. London, 2: 1-139, 62 pls.
- Robins C.R. 1989. The phylogenetic relationship of the anguilliform fishes. In: B E.B. (ed) fishes of the western north atlantic. Sears Foundation for Mar. Res., New Haven, CT, pp 9-23.
- Shen, S.C. 1990. Synopsis of fishes of Taiwan. SMC Publishing INC. Taipei, pp. 116-118. (in Chinese)
- Smith, D.G. and J.E. McCosker. 1999. Ophichthidae. In: Carpenter, K.E. and V.H. Niem (eds.). FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific. Vol. 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes. Part 1 (Elopidae to Linophrynidae), FAO, Rome, pp. 1662-1669.
- Smith, P.J., D. Steinke, M. Mcveagh, A.L. Stewart, C.D. Struthers and C.D. Roberts. 2008. Molecular analysis of Southern ocean skates (*Bathyrhaja*) reveals a new species of Antarctic skate. J. Fish. Biol., 73: 1170-1182.
- Sumida, S. and Y. Machida. 2000. Revision of the two sympatric snake-eel species of the genus *Ophichthus* (Ophichthidae, Anguilliformes) from Tosa Bay, Southern Japan, with comments on *O. tsuchidae*. Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ., 20: 51-69. (in Japanese)
- Swofford, D.L. 2003, Paup*: Phylogenetic analysis using parsimony (*and other methods). Version 4. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

- 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. (in Japanese)
- 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.
- Tang, W.Q. and C.G. Zhang. 2004. A taxonomic study on snake eel family
Ophichthidae in China with the review of Ophichthidae (Pisces,
Anguilliformes). J. Shanghai Fish. Univ., 13: 16-22. (in Chinese)
- Temminck, C.J. and H. Schlegel. 1846. Pisces. In: Fauna Japonica, sive
descriptio animalium quae in itinere per Japoniam suscepto annis
1823-30 collegit, notis observationibus et adumbrationibus illustravit P.
F. de Siebold. Pisces, Fauna Japonica Parts 10-14, pp. 173-269.
- 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.
- Wang, C.H., C.H. Kuo, H.K. Mok and S.C. Lee. 2002. Molecular phylogeny of
elopomorph fishes inferred from mitochondrial 12S ribosomal RNA
sequences. Zoologica scripta, 32: 231-241.

감사의글

석사과정동안 학위논문을 완성할 수 있게 지도해주시고 장기간에 걸쳐 국내·외 표본을 확보해주신 김진구 교수님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 또한, 학위논문을 심사해주신 남기완 교수님, 김현우 교수님과 많은 분야의 학문을 가르쳐 주신 유명숙 교수님, 백혜자 교수님, 오철웅 교수님, 김수암 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

본 연구를 위하여 일본산 바다뱀과 표본을 대여해 주신 Yabe 교수님(북해도대학교), 귀한 모식표본들을 대여해 주신 Tracy Heath 박사님(영국자연사박물관)께 감사드리며, 모식표본을 측정해주신 Jeff williams 박사님(미국자연사박물관), 표본을 대여해 주신 P.L. Lin 박사님(Academia sinica), 이충렬 교수님(군산대학교), 정충훈 박사님(인하대학교)께 진심으로 감사드립니다. 또한, 시료제공에 협조해 주신 김정년 박사님(국립수산물과학원), 명정구 박사님(한국해양연구원), 김성용 박사님(전북대학교)께도 감사의 말씀을 드립니다.

새로운 학교에서 잘 적응할 수 있게 도와주신 박경동 박사님, 연구하는데 있어 많은 도움을 주신 박정호 연구사님, 항상 어머니 같이 좋은 말씀과 다양한 경험, 힘을 잃지 않고 웃음을 주신 유정화 박사님께도 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 실험실 생활을 잘 마무리 할 수 있게 도와준 어류학실험실원들께 감사의 말씀을 전합니다. 먼저, 실험실 생활을 하면서 바쁘고 힘든시기를 함께 즐겁게 보내며 많은 도움을 준 혁준이형, 용태형, 지칠 때 즐거움을 준 성준이형, 함께 고생했던 석사동기 문경이, 작은 부분까지 잘 챙겨주신 태우선배, 현정누나, 세웅이, 은아, 수정이형, 윤주, 선옥누나에게 감사드립니다. 본 연구를 완성하기까지 많은 시간과 노력을 들여 외부형태 스케치에 도움을 준 성찬이에게 감사드립니다.

그리고, 제가 학업에만 몰두 할 수 있게 항상 든든하게 지원해 주시는 부모님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.