



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](#)

이학석사학위논문

제주도와 남해안에서 포획된 미기록종  
큰바다뱀의 기재와 기원

박재진

강원대학교대학원

생명과학과

2017년 2월

박 대 식·정 연 숙 교 수 지 도  
이학석사학위논문

제주도와 남해안에서 포획된 미기록종  
큰바다뱀의 기재와 기원

First Record and Origin of the Unrecorded Sea Krait  
Collected at Jeju Island and South Sea of Korea

강원대학교대학원

생명과학과

박 재 진

박재진의 석사 학위논문을  
합격으로 판정함

2016년 12월

심사위원장   유 기 역   인

위        원   박 대 식   인

위        원   정 연 속   인

# 제주도와 남해안에서 포획된 미기록종 큰바다뱀의 기재와 기원

박 재 진

강원대학교 일반대학원 생명과학과

바다뱀은 코브라과(Family Elapidae)에 속하며 진정바다뱀아과(True sea snake, Subfamily Hydrophiinae) 내 62종과 큰바다뱀아과(Sea krait, Subfamily Laticaudinae) 내 8종, 총 70종이 알려져 있다. 바다뱀은 일반적으로 인도양과 태평양의 열대 및 아열대 지역에 주로 분포하며 한국에는 진정바다뱀아과 내 3종(*Hydrophis platurus*, *H. melanocephalus*, *H. cyanocinctus*)이 기록되어 있지만, 바다뱀의 포획기록이나 연구 등은 매우 제한적이다. 최근 제주도와 남해 지역에서 바다뱀의 발견사례가 늘어가고 있으며 이러한 현상은 장기적인 기후변화에 따른 바다뱀종의 분포범위 확대로 인한 가능성이 있다. 본 연구에서는 제주도와 남해안에서 2015년 8월부터 2016년 10월 사이에 포획된 바다뱀 12마리의 형태적, 유전적 동정을 수행하고, 미토콘드리아 cytochrome b (Cytb)의 부분 서열을 분석한 후, 이전에 보고된 대만과 일본 류큐 제도 개체군의 유전자와 비교하여, 이들의 기원을 분석하였다. 포획된 개체는 비간판, 위아래로 나뉜 주둥이판, 3개의 앞이마판, 'V'자 모양의 몸통 무늬, 배비늘 수 등의 형태적인 특징과 Cytb 부분 서열 정보를 바탕으로 모든 개체를 국내미기록종인 넓은띠큰바다뱀(*Laticauda semifasciata*)으로 동정하였다. 이 결과는 한국 내에서 포획된 바다뱀의 특징에 대한 상세한 첫 보고이며 또한 큰바다뱀아과의 바다뱀에 대한 최초의 국내 보고이다. 기원추적 연구 결과는 제주도와 남해에서 포획된 *L. semifasciata*들은 주로 대만과 남부 류큐 지역에서부터 대만 난류, 혹은 쿠로시오 해류에 의해 국내로 유입되었음을 제시한다. 제주도에서 최근 일어나는 빠른 해양 온난화를 고려하였을 때, 유입된 *L. semifasciata*들이 상당기간 동안 제주도, 혹은 남해에서 살아남을 수 있을 것으로 보인다. 추후 제주도의 큰바다뱀들을 지속적으로 모니터링한다면, 최근 빠른 기후변화가 바다뱀을 포함한 해양파충류에게 어떤 영향을 주는지 알 수 있을 것이다.

□ 핵심주제어

바다뱀, 큰바다뱀, 형태학, 분류, *Laticauda semifasciata*, haplotype network

## 감사의 글

2년간의 석사 생활 중 도와주신 모든 분들께 감사합니다. 가장 먼저 언제나 저를 믿어주시고 항상 새로운 방향을 볼 수 있는 기회와 넓은 시야를 가질 수 있도록 가르침을 주신 박대식 교수님께 감사합니다. 교수님께서 보여주신 배려와 열정, 그리고 제게 주신 수많은 기회가 아니었다면 저는 제 자신의 부족함을 탓하며 석사 과정은 물론이고 과학, 그리고 미래 또한 포기하였으리라 생각합니다. 항상 감사의 마음을 가슴에 새기며 석사 과정을 보내었습니다. 지금도 난관에 부딪칠 때마다 생각나는 가르침들은 앞으로의 삶에 두고두고 빛이 될 것이라고 생각합니다. 또한 가장 힘들었던 시기에 감싸주시고 걱정해주셨으며 앞으로의 미래에 대하여 상담해주셨던 정연숙 교수님과 조강현 교수님께도 감사합니다. 논문을 심사해주시고 조언해주신 유기억 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

함께 공부하였던 실험실 분들에게 감사합니다. 제가 어려울 때나 즐거울 때나 항상 옆에서 도와줬던 동기 조한나 연구원과 권세라 연구원에게도 감사합니다. 교수님과 마찬가지로 두 명의 동기가 없었다면 제가 석사 과정에서 일어났던 많은 일들을 견뎌낼 수 없었다고 생각합니다. 실험실에서 다양한 일을 도와주고 배려하며 조언을 주었던 최우진 선배님과 구교성 선배님에게도 감사합니다. 세상을 보는 방법에 대하여 새로운 관점들을 알려준 한지호 연구원과 잘 따라준 박일국 연구원, 그리고 저로 인하여 큰 어려움을 겪었음에도 원망 한마디 없이 도와준 김종선 연구원에게 감사합니다. 제게 여러 가지 실험 방법과 지식을 알려주셔서 더 많은 연구를 할 수 있도록 도와주시고 난관에 부딪칠 때마다 조언해주신 천경식 박사님께 감사합니다. 그리고 박대식 교수님 밑으로 이끌어 주고 가장 힘든 순간에도 많은 가르침과 도움을 준 김일훈 선배님에게 감사합니다. 선배님 덕분에 많은 망설임과 혼란을 이겨낼 수 있었습니다. 그리고 언제나 저와 같은 부족한 후배들을 묵묵히 이끌어 주신 이정현 선배님, 라남용 선배님, 장환진 선배님, 김대인 선배님, 노남호 선배님, 정유정 선배님께 감사합니다. 그리고 저의 부주의로 인하여 이현주 선배님께 일어난 비극에 대하여 언제나 죄인 된 마음으로 속죄하며 살아하겠습니다. 그로 인하여 지울 수 없는 상처를 입으신 모든 분들과 무엇보다 이현주 선배님께 죄송합니다.

강원대학교에 들어가는 것을 지지해주시고 후에도 여러 조언과 관심을 주시며 한 식구처럼 대해주신 김종범 박사님과 김은영 선생님께 감사합니다. 제가 후배로서 제대로 모시지 못하였음에도 언제나 미소와 걱정, 관심으로 맞아주신 민미숙 박사님께도 감사합니다.

세상에서 가장 사랑하고 가장 소중한 가족인 존경하는 우리 아버지, 존경하는 우리 어머니, 제 반쪽과도 같은 동생 재천이에게 언제나 감사함과 아낌을 마음과 머리에 가지고 있습니다. 제가 잘 표현하고 살아가는지는 자신이 없으나 무엇으로도 바꿀 수 없는 가족들에게도 역시 저로 인하여 지울 수 없는 상처를 입힌 점에 대해 깊이 반성합니다. 앞으로도 가족과 친지분들께 상처를 입히지 않고 살아갈 수는 없겠으나, 그이상의 행복도 드리고 싶습니다. 하늘에 계신 우리 할머니, 그리고 평촌 할아버지께서 주신 마음과 사랑은 저를 계속 앞으로 나아갈 수 있게 하였습니다. 외할아버지, 외할머니, 평촌 할머니, 작은 할아버지, 고모님들과 이모님, 삼촌, 현준이, 수현이, 문주 모두 정말 감사합니다.

끝으로 도움을 주신 모든 분들께 다시 한 번 감사합니다.

# 목 차

I. 서 론 .....	1
II. 재료 및 방법 .....	3
1. 표본 수집 .....	3
2. 형태적인 특징의 측정 .....	4
3. 유전자를 이용한 동정 및 기원추적 .....	4
III. 결 과 .....	6
1. 국내 미기록종인 넓은띠큰바다뱀( <i>Laticauda semifasciata</i> )의 보고 .....	6
2. 유전자를 이용한 넓은띠큰바다뱀의 동정 .....	9
3. 한국 진정바다뱀아과와 큰바다뱀아과의 분류키 .....	10
4. 채집된 넓은띠큰바다뱀의 하플로타입 분석 .....	10
IV. 고 찰 .....	12
1. 미기록종 넓은띠큰바다뱀( <i>Laticauda semifasciata</i> )의 보고 .....	12
2. 미토콘드리아 Cytb의 하플로타입을 이용한 기원추적 .....	12
3. 넓은띠큰바다뱀 발견 양상에 대한 고찰 .....	13
4. 서식과 번식 가능성 .....	15
5. 연구 의의 .....	15
6. 결론 .....	16
V. 참고문헌 .....	17
Abstract .....	23

## Table Legends

**Table 1.** Individual information, morphological characteristic and mitochondrial cytochrome b (Cytb) haplotype of *Laticauda semifasciata* captured in Korea. .... 8



## Figure Legends

- Figure 1.** Captured locations of 12 sea kraits at Jeju Island and South Sea of Korea between Aug 2015 and Oct 2016. .... 3
- Figure 2.** *Laticauda semifasciata* caught at Aewol-eup in Jeju Island on 17 Sept 2015. The dorsal (A) and ventral (B) sides. .... 7
- Figure 3.** *Laticauda semifasciata* caught at Aewol-eup, Jeju Island, on 17 Sep 2015. The frontal (A), dorsal (B), lateral (C), and ventral (D) surfaces of the head. .... 7
- Figure 4.** Maximum likelihood tree of 16 *Laticauda semifasciata* (12 collected in Korea and 4 in Taiwan) with 11 *Laticauda* snakes based on partial mitochondrial cytochrome b sequence data. 3 *Hydrophis* species are used as an outgroup. .... 9
- Figure 5.** Haplotype of the partial mitochondrial cytochrome b gene of *Laticauda semifasciata* collected at Jeju Island and South Sea of Korea matched with the haplotypes in Tandavanitj et al (2013b). .... 11

# I. 서 론

세계적으로 과충류의 감소가 육상과충류뿐만 아니라(Reading et al., 2010), 해양 과충류들(Hamann et al., 2007; Rasmussen et al., 2011a; Lillywhite and Brischoux, 2012)에서도 보고되고 있다. 해양 과충류 감소의 주된 위협요인으로는 기후변화, 해안의 개발과 수질 오염, 남획 등을 들고 있다(GBRMPA, 2012). 이들 중 기후변화로 인한 해양수온의 상승과 해수순환의 변화는 해양의 대규모 순환 환을 따라서 큰 규모에서 해양과충류들의 번식패턴, 풍부도, 분포양상에 영향을 미칠 것으로 보고 있다(Tittensor et al., 2010; White et al., 2010; Fossette et al., 2012; Brischoux et al., 2016). 해양에서 해류를 따른 개체들의 분산과 유전적 다양성의 분화는 다양한 동물군에서 잘 알려져 있다(Kobayashi et al., 2011; Lane and Shine, 2011; Han et al., 2012; Dong et al., 2012). 해양생물들 중 높은 멸종위기에 처한 바다거북, 바다이구아나 등과 더불어 대표적인 해양과충류인 바다뱀 역시 지속적으로 개체군의 감소가 보고되고 있다(Hamann et al., 2007; Goiran and Shine, 2013; Lukoschek et al., 2013). 그러나 바다뱀의 종별 정확한 분포범위, 생물학적 특성, 생태학적특성, 개체군구조, 요구하는 서식지 특성, 구체적 위협요인 등에 대한 정보가 미비하여(Hamann et al., 2007), 바다뱀의 감소를 늦추고 개체군들을 보전하기 위한 구체적인 사업들의 진행이 미진한 상태이다(GBRMPA, 2012). 이에 따라 국내에서도 바다에서 서식하는 척추동물이자 변온동물인 바다뱀의 분포 가능성에 대한 관심이 높아지고 있는 상황이지만, 현재까지 국내 바다뱀에 대한 자료는 매우 부족한 상황이다.

세계적으로 약 250종의 과충류가 염분이 함유된 바다뿐만 아니라 바다 주변의 육지와 수생 환경 서식지에서 발견되고 있다(Neill, 1958). 이들 중 먹이활동을 포함한 생활의 대부분을 바다에서 보내는 동시에 형태적, 생리적으로 해양환경에 적응한 모습을 가지는 해양 과충류로는 약 70종의 바다뱀(Scanlon and Lee, 2004; Rasmussen et al., 2011a; 2011b; 2014; Sanders et al., 2013a; 2013b; 2014; Gherghel et al., 2016; Heatwole et al. 2016), 7종의 거북 그리고 1종의 바다이구아나(*A. cristatus*)가 알려져 있다(Motani, 2009). 바다뱀은 진정바다뱀아과(Subfamily Hydrophiinae)와 큰바다뱀아과(Subfamily Laticaudinae)로 나뉘는데 모든 바다뱀들은 물속에서 이동에 유리하도록 변화한 세로로 납작한 꼬리를 갖는다(Gingerich et al., 1994; Thewissen et al., 1994; Fish, 1996; Rommel, 1999). 대부분의 진정바다뱀아과는 생활사의 대부분을 바다에서 보내며 때문에 난태생을 하고 콧구멍이 위를 향하며 배비늘이 거의 퇴화되는 등 해양환경에 더 적응한 모습을 가지고 있다(Dunson and Dunson, 1973; Lillywhite, 1991). 큰바다뱀아과는 육지와 바다를 모두 이용하는 그룹으로, 난생을 하고 콧구멍이 옆을 향하며 배비늘이 퇴화하지 않는 등 육지에서 활동하기 위한 특성도 가지고 있다(Greer, 1997). 바다뱀들은 아프리카 동쪽 해안에서부터 파나마 만(Gulf of Panama)에 이르는 인도양과 태평양의 열대, 아열대 지역에 분포하며(Smith, 1926; Dunson, 1975; Gopalakrishnakone, 1994; Rasmussen and Ineich, 2000; Rasmussen et al., 2011a), 특히 인도네시아와 호주 북부 해안 지역에 가장 다양한 바다뱀이 서식하고 있다(Dunson, 1975; Heatwole, 1987; Heatwole et al., 2005). 하지만 러시아 남쪽 해안, 아프리카 남쪽 해안, 뉴질랜드에서도 발견된 기록이 있다(Shannon, 1956; Visser, 1967; Gill, 1997; Kharin, 2009). 이와 같은 지역에서 발견되는 사례는 매우 드물며, 해류를 타고 이동하는 과정에서 서식 범위를 벗어나거나, 태풍 등으로 인하여 서식지를 이탈하였을 경우로 추측된다(Mao and Chen, 1980; Heatwole, 1987).

동북아시아에는 진정바다뱀아과 13종, 큰바다뱀아과 3종이 분포하고 있는데 2015년까지 한국에서 서식하고 있는 바다뱀은 먹대가리바다뱀(*H. melanocephalus*), 얼룩바다뱀(*H. cyanocinctus*), 바다뱀(*H. platurus*)으로, 진정바다뱀 3종이 기록되어 있었다(Shannon, 1956; Won, 1971; Kang and Yoon, 1975; Szyndlar and Hung, 1987). 먹대가리바다뱀은 부산광역시 초량구 근해, 수영구 수영만 인근 해안, 제주 특별자치도 근해, 거진 앞바다, 함경남도, 동해의 거진에서 채집된 기록이 있다(Won, 1971; Shannon,

1956; Kang and Yoon, 1975; Szyndlar and Hung, 1987; Lee et al. 2003). 얼룩바다뱀은 부산광역시 초량구에서 포획되었으며 서해상에서 포획된 개체는 평양동물원에 보관 중인 것으로 기록되어 있다(Won, 1971). 바다뱀(*H. platurus*)은 부산광역시 초량구 근해, 북한과 러시아 접경지역인 포시예트 만(Posyet Bay) 인근 바다에서 채집된 기록이 있다(Shannon, 1956; Won, 1971; Kang and Yoon, 1975;). 문헌에 따르면 북한 국가 과학원(Academy of Sciences of Democratic People's Republic of Korea)에 먹대가리 바다뱀 수컷 표본 1개와 얼룩바다뱀 암컷(추정) 표본 1개를 보관하고 있는 것으로 알려져 있으나, 그 실체는 확인되지 않고 있다.

최근 바다뱀들의 전형적인 분포지역이 아닌 위도 상으로 좀 더 북쪽인 미국의 Ventura Country (LA times, 2015), 일본본토의 동해안과 서해안(Tandavanitj et al., 2013a), 러시아 근해(Kharin, 2009), 그리고 한국의 제주도와 남해 지역(Lee et al., 2013)에서 바다뱀의 발견사례가 늘어가고 있다. 이러한 현상이 엘니뇨와 같은 기후현상에 따른 일시적인 현상일 수도 있지만, 장기적인 기후변화에 따른 바다뱀종의 분포범위 확대일 가능성 역시 있다.

일반적으로 알려져 있는 바다뱀의 분포 범위 밖에 위치한 한국(Mao and Chen, 1980; Heatwole et al., 2012; Heatwole et al., 2016)에는 진정바다뱀아과에 속하는 3종이 알려져 왔으며(Kang and Yoon, 1975; Kim and Han, 2009), 최근의 연구결과를 살펴보면(Lee et al., 2013), 어류에 속하는 국명 바다뱀을 해양과충류인 바다뱀으로 오인하는 것을 감안하더라도 제주와 남해안에서 조업하는 상당한 어부들이 지속적으로 바다뱀을 관찰하고 있는 것으로 나타났다. 특별히, 국내에 기록된 적이 없는 큰바다뱀아과의 바다뱀들이 최근 사진으로 목격사례가 증가하고 있다(Lee et al., 2013). 더불어, 1995년에 부산의 수영만에서 먹대가리바다뱀으로 포획되어 포획사례보고 후 방사된 바다뱀(Lee et al., 2003) 역시 최근 사진자료의 추가분석을 통하여 *L. semifasciata*임이 판명되어(Kim et al., 2016), 수십 년 전부터 이 지역에 큰 바다뱀이 출현하였을 가능성이 있는 것으로 보인다. 결국, 제주도와 한반도에서 포획되는 큰바다뱀들의 기원을 추적 연구하는 것은 큰바다뱀들이 어느 지역으로부터 어떠한 경로로 유입된 것인지에 대한 의미 있는 정보를 제공할 수 있는 판단된다.

본 연구에서는 제주도와 남해안에서 2015년 8월부터 2016년 10월 사이에 채집된 12마리의 바다뱀과 대만으로부터 획득된 4마리를 이용하여, 해당 종을 형태적, 유전적으로 분류하고, 이어서 미토콘드리아 cytochrome b (Cytb) 부분 서열을 분석한 후, 이전에 보고된(Tandavanitj et al., 2013b) 대만과 일본 류큐 지역 개체들의 유전자와 비교하여, 이들의 기원을 분석하고 이에 근거하여 이들의 유입경로, 제주도에 서식 및 번식 가능성, 제주도와 남해에서 개체 포획의 의미성을 논하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 표본 수집

본 연구는 이전의 청문 조사(Lee et al., 2013)와 문헌 조사 내용을 바탕으로 남해 일대와 제주도를 출현 예상지로 선정하여 조사와 홍보를 병행하였다. 포획을 위한 조사는 여수 웅천친수공원 일대, 제주 서귀포항 일대를 중심으로 수행되었다. 홍보는 남해안과 제주도의 어촌, 어업공동체, 항구를 중심으로 청문, 전단지, 포스터, 현수막 등을 이용하여 수행되었다. 바다뱀 표본은 2015년 8월부터 2016년 9월까지 제주도, 여수, 부산에서 12 개체가 어부들에 의해 채집되어 기증되어졌다(Table 1, Fig. 1). 더불어 고리원자력발전소의 해파리 제거 작업 중 1 개체가 발견되어 역시 기증되었다. 현재 생존한 6개체(G469LS, G528LS-G530LS, G532LS, G533LS)와 95% EtOH에 고정된 4개체(G526LS, G527LS, G531LS, G534LS)는 강원대학교 양서과충류 연구실에서 보관 중이고, 95% EtOH에 고정된 1개체(G475LS)와 10% 중성 포르말린에 고정된 1개체(G470LS)는 국립해양생물자원관에 보관되어있다. 또한, 미토콘드리아 DNA의 비교를 위하여 대만의 란위섬에서 포획된 *L. semifasciata* 4개체(T01, T02, T03, T04)의 조직을 대만의 공동연구자로부터 획득하였다.

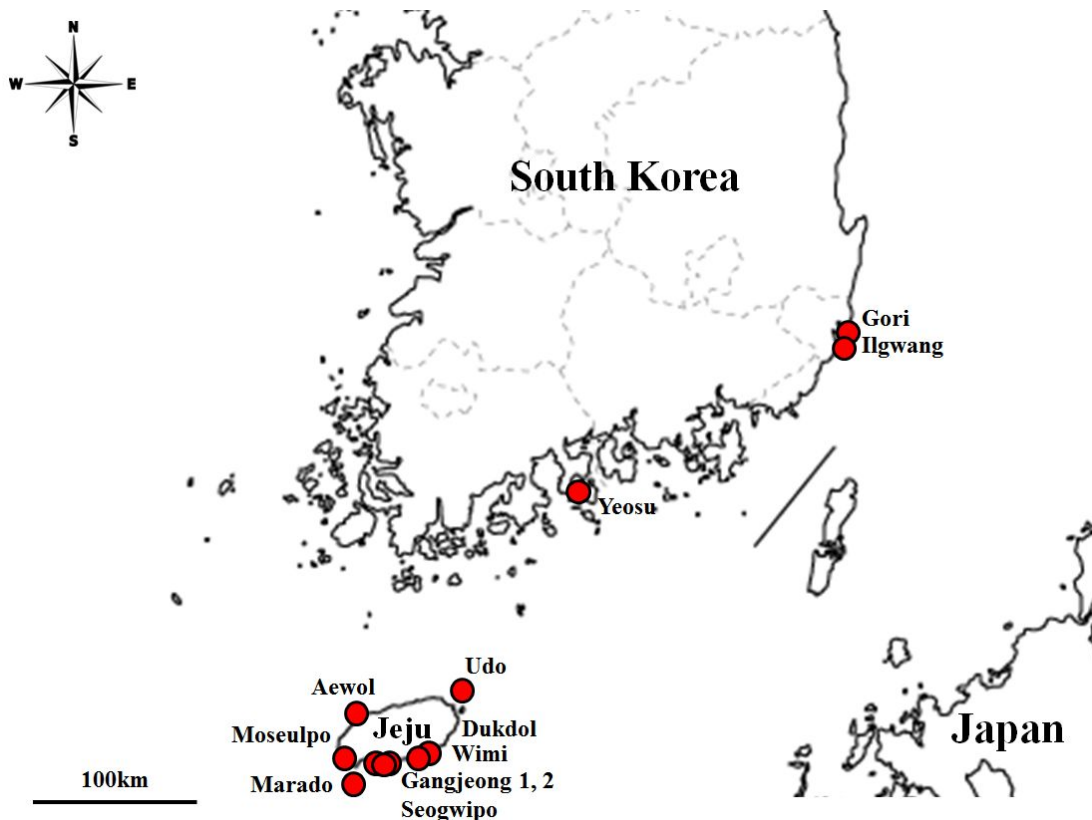


Figure 1. Captured locations of 12 sea kraits at Jeju Island and South Sea of Korea between Aug 2015 and Oct 2016.

## 2. 형태적인 특징의 측정

획득한 표본의 동정은 Mao and Chen (1980), Rasmussen (2000, 2011b)와 Goris and Maeda (2004)을 따랐다. 형태적인 동정을 위하여 모든 개체는 0.1cm 단위 줄자로 전체길이(Total length, TL), 주둥이-총배설장 길이(Snout-vent length, SVL), 꼬리길이(Tail length, TaL)를 측정하였고, 0.1g 단위 디지털 저울(ELT 4001, Sartorius-Korea, Seoul, Korea)로 몸무게(Body weight, BW)를 측정하였다. 성별을 측정하기 위하여 항문비늘을 들고 꼬리 방향으로 스테인리스 성별 탐침봉을 넣어 판단하였다. 바다뱀의 머리판은 이마판(Frontal, F), 비간판(Internasal, IN), 코판(Nasal, N), 안후판(Postocular, P), 정수리판(Parietal, PA), 앞이마판(Prefrontal, PF), 안전판(Preocular, PR), 주둥이판(Rostrals, R), 윗입술판(Supralabial, SP), 아랫입술판(Infralabial, IF), 측두판(Temporal, T) 등 11가지 머리판의 개수를 측정하였다. 그밖에 목, 몸통, 꼬리 부분의 등 비늘열 수, 몸통 배비늘(Ventral), 꼬리 비늘(Subcaudal), 몸통 무늬 수, 꼬리 무늬 수를 측정하여 기록하였다. 등 비늘열의 경우, 목 비늘열은 정수리판 뒤의 5cm 지점, 몸통 비늘열은 주둥이와 항문비늘 사이의 중간 지점, 꼬리 비늘열은 항문비늘 앞의 5cm 지점에서 측정하였다.

## 3. 유전자를 이용한 동정 및 기원추적

### 1) DNA 추출과 PCR

포획된 바다뱀의 유전자를 이용한 동정을 위하여 개체에서 조직을 샘플링하였다. 조직 샘플은 바다뱀의 꼬리 끝을 멸균된 가위로 약 2mm를 잘라 수행되었으며, 잘라낸 조직은 70% EtOH에 보관하였다. 채집한 조직 샘플은 먼저 3차 증류수로 EtOH을 씻어낸 뒤에 QIAGEN DNeasy Blood & Tissue kit (QIAGEN, Hilden, Germany)을 사용하여 프로토콜을 따라 DNA를 추출하였다. 동정을 위하여 미토콘드리아 DNA의 cytochrome b (Cytb) 부분서열을 사용하였으며 증폭을 위해서는 뱀아목에서 공통적으로 Cytb를 증폭하는 프라이머인 L14910과 H16064 (Burbrink et al., 2000)를 각각 정방향 프라이머와 역방향 프라이머로서 사용하였다. PCR에는 SimpliAmp Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 사용하였는데, 총 반응용량 25 $\mu$ l 중 주형 DNA 10ng, ELPIS rTaq DNA polymerase (ELPIS, Daejeon) 1.25U, 10x PCR buffer 2.5  $\mu$ l, 10 mM dNTP mix (각 2.5 mM) 2 $\mu$ l, 10pmol 농도의 각 프라이머를 0.5 $\mu$ l를 넣고 나머지 양을 3차 증류수로 맞춰주었다. PCR 조건은 최초 94 $^{\circ}$ C에서 4분 후 94 $^{\circ}$ C에서 30초, 57 $^{\circ}$ C에서 30초, 72 $^{\circ}$ C에서 1분을 35회 반복 후 최종적으로 72 $^{\circ}$ C에서 7분간 반응이 일어나도록 설정하였다. PCR 결과물은 1.5% 아가로스 겔에서 Dyne LoadingSTAR (Dynebio, Sungnam, Gyeonggi-do)와 결과물 3 $\mu$ l를 1:5의 비율로 섞어 전기영동시켜 확인하였다. 확인한 결과물은 AccuPrep $^{\circ}$  PCR Purification Kit (Bioneer, Daejeon, South Korea)를 사용하여 정제한 뒤에 마크로젠 시퀀싱 서비스(MacroGen, Seoul)에 시퀀싱을 의뢰하였다.

### 2) 계통수 분석

유전적으로 종을 동정하고 포획된 바다뱀의 기원을 추적하기 위하여 Cytb 부분 서열을 분석하였다. 획득한 시퀀싱 결과는 Bioedit (Hall, 2011) 프로그램을 사용하여 1,030bp의 Cytb 유전자의 염기서열 정보를 획득하였다. 획득한 서열 정보를 유전자정보 데이터베이스인 NCBI (National Center for Biotechnology Information, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)의 BLAST 서비스를 이용하여 데이터베이스 내 서열들과 비교하였다. 잡힌 바다뱀들의 종을 확정하기 위하여 12개체의 우리나라 샘플과 4개체의 대만 샘플, 그리고 동아시아 큰바다뱀아과 3종의 서열 11개로 계통수를 작성하였으며, 국내 기록종인 진정 바다뱀 3종의 서열을 외군으로 사용하였다(Fig. 4, 각 서열의 accession 번호는 Fig에 표기). 계통수 분석을 위하여 ClustalX2 (Thompson et al., 2002) 프로그램을 사용하여 서열을 정렬하였고 Bioedit 프로그램을 사용하여 정렬된 서열의 길이를 통일시켰다. 최대공산(Maximum likelihood, ML) 계통수를 작성

하기 위하여 PAUP 4.0b10 (Swofford, 2002) 프로그램을 사용하였고 Bayesian 분석을 위하여 MrBayse 3.1 (Ronquist and Huelsenbeck, 2003) 프로그램을 사용하였다. ML 분석과 베이지안 분석에서 서열 진화 계산에 적합한 모델을 선정하기 위하여 ModelTest (Posada and Crandall, 1998) 프로그램을 사용하였고 HKY+G 모델(ti/tv ratio: 7.5417, gamma distribution shape parameter: 0.2195, proportion of invariant sites: 0, base frequencies: A= 0.3216, C= 0.2946, G= 0.1006 and T= 0.2832)이 선정되었다. ML heuristic search은 neighbor-joining (NJ) 분석으로 1,000번 반복하였고 tree-bisection-reconnection (TBR) branch swapping을 사용하였다.

### 3) 기원추적

기원추적을 위하여 우리나라에서 포획된 바다뱀들의 미토콘드리아 DNA Cytb의 하플로타입을 판별하여 기존의 국외 연구결과와 비교분석을 수행하였다. 하플로타입 판별을 위하여 획득한 16개 바다뱀 샘플(한국 12개체, 대만 4개체)의 서열과 Genbank의 accession 번호 AB701329-AB701344의 서열을 상호 비교하였다. 또한 하플로타입 분석 결과를 설명하기 위하여 대만과 류큐 제도에 서식하는 *L. semifasciata*의 Cytb 부분 서열로 국외에서 연구되었던 하플로타입 네트워크를 참고하였다(Tandavanitj et al. 2013b).

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 국내 미기록종인 넓은띠큰바다뱀(*Laticauda semifasciata*)의 보고

##### 1) SYSTEMATIC ACCOUNTS

Order Squamata Oppel, 1811

Family Elapidae Boie, 1827

Subfamily Laticaudinae Cope, 1879

Genus *Laticauda* Laurenti, 1768

*Laticauda semifasciata* (Reinwardt in Schlegel, 1837)

*Platurus semifasciatus* Reinwardt in Schlegel, 1837: 516.

*Platurus fasciatus* var. *semifasciata* Fischer, 1856: 30.

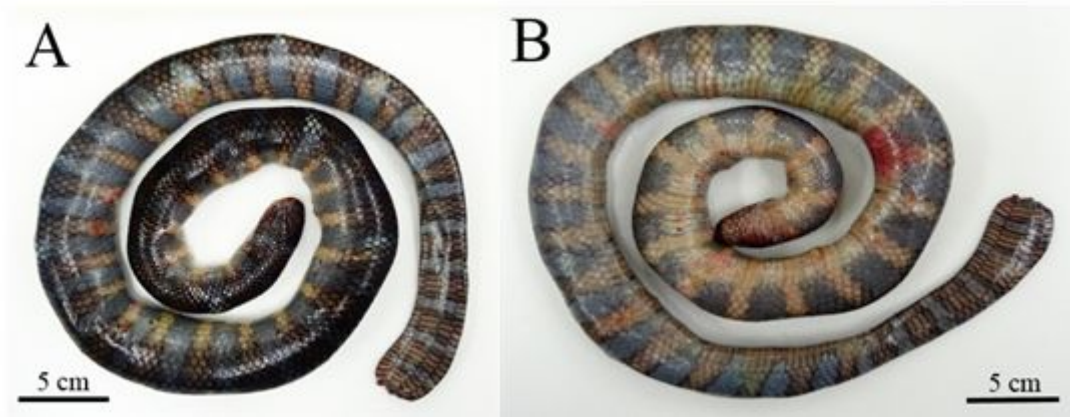
*Platurus fasciatus* var. *Hallowell*, 1860: 489.

*Laticauda semifasciata* Stejneger, 1907: 409; Mertens, 1930: 117; Maki, 1931: 176; Mao and Chen, 1980: 29; Mori, 1982: 80, 102, 123; Toriba, 1994: 207; Welch, 1994: 71; Rasmussen et al., 2011: 1; Wang et al., 2013: 19.

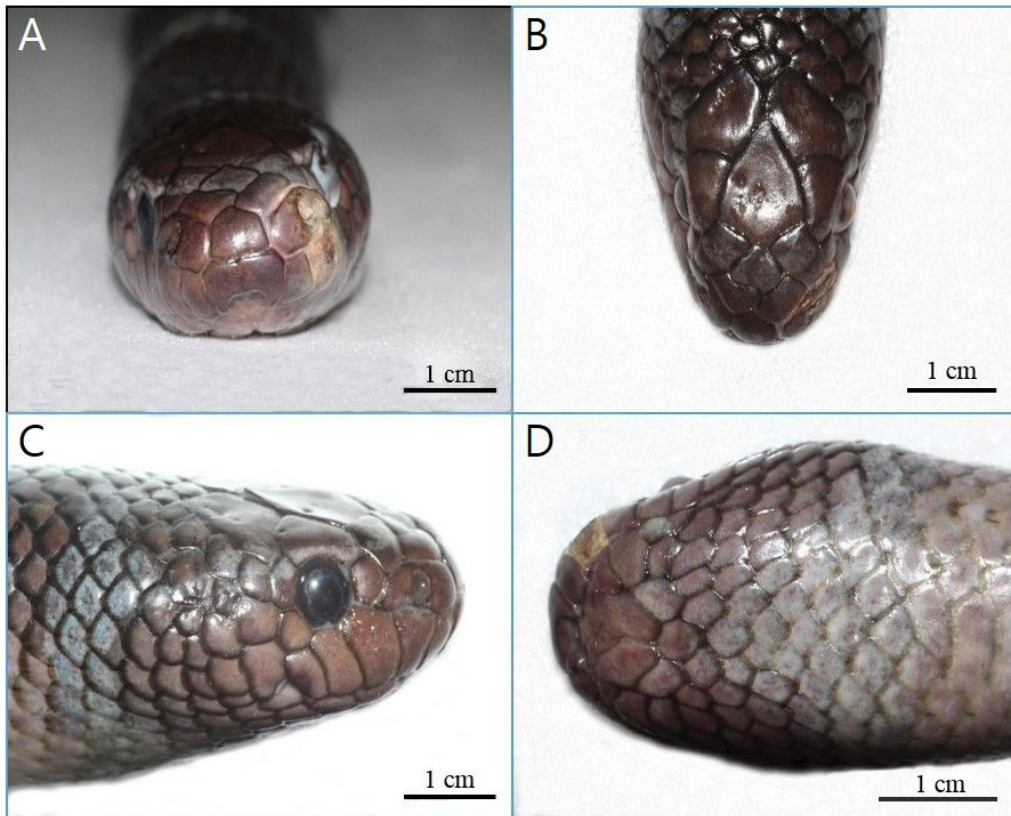
*Pseudolaticauda semifasciata* Kharin, 1984: 128; 2005: 71; Wallach et al., 2014: 592.

##### 2) 형태적인 특징

몸의 바탕색은 청백색이고 배면은 연한 황색을 띤다. 윗입술은 청갈색이나 청백색, 줄무늬의 색은 밝은 갈색에서 회색을 띤다. 줄무늬는 등면에서 넓고 배면으로 갈수록 좁아지는 'V' 형태를 띤다(Fig. 2). 제주도와 남해에서 포획된 12개체에 근거하여 줄무늬는 몸통에 30~41개가 있고 꼬리에 5~7개가 있다(Table 1). 주둥이판은 상하로 나뉘어있으며 상부 판이 하부 판보다 작고 코판 사이에 위치한다. 3개 중 1개의 앞이마판이 둘로 나뉜 1개체(G475LS)를 제외하고 모두 2개의 비간판, 3개의 앞이마판, 1개의 이마판, 2개의 정수리판을 가지고 있다. 머리 좌우에 각각 7개의 윗입술판을 가지고 있고 그 중 3번째와 4번째 윗입술판이 눈과 접해있다. 또한 머리 좌우에 각각 1개의 안상판, 1개의 안전판, 2개의 안후판, 그리고 2+3개의 측두판을 가지고 있다. 하나의 턱판을 가지고 있고 좌측 아랫입술판이 6개인 1개체(G469LS)를 제외하고 머리 좌우에 각각 7개의 아랫입술판을 가지고 있다(Fig. 3). 몸통 배비늘 수는 195~206개, 꼬리 비늘 수는 34~39개였다. 목 비늘열은 21~25열, 몸통 비늘열은 21~25열, 꼬리 비늘열은 17~22열이었다. 주둥이-총배설장 길이는 787~1,100mm, 꼬리 길이는 110~153mm, 몸무게는 461.9~1,033g이었다. 12개체 중 1개체만 수컷이었고 나머지 11개체는 암컷이었다. 각 개체들의 외부 형질 수치는 Table 1에 정리하였다.



**Figure 2.** *Laticauda semifasciata* caught at Aewol-eup in Jeju Island on 17 Sept 2015. The dorsal (A) and ventral (B) sides.



**Figure 3.** *Laticauda semifasciata* caught at Aewol-eup, Jeju Island, on 17 Sep 2015. The frontal (A), dorsal (B), lateral (C), and ventral (D) surfaces of the head.



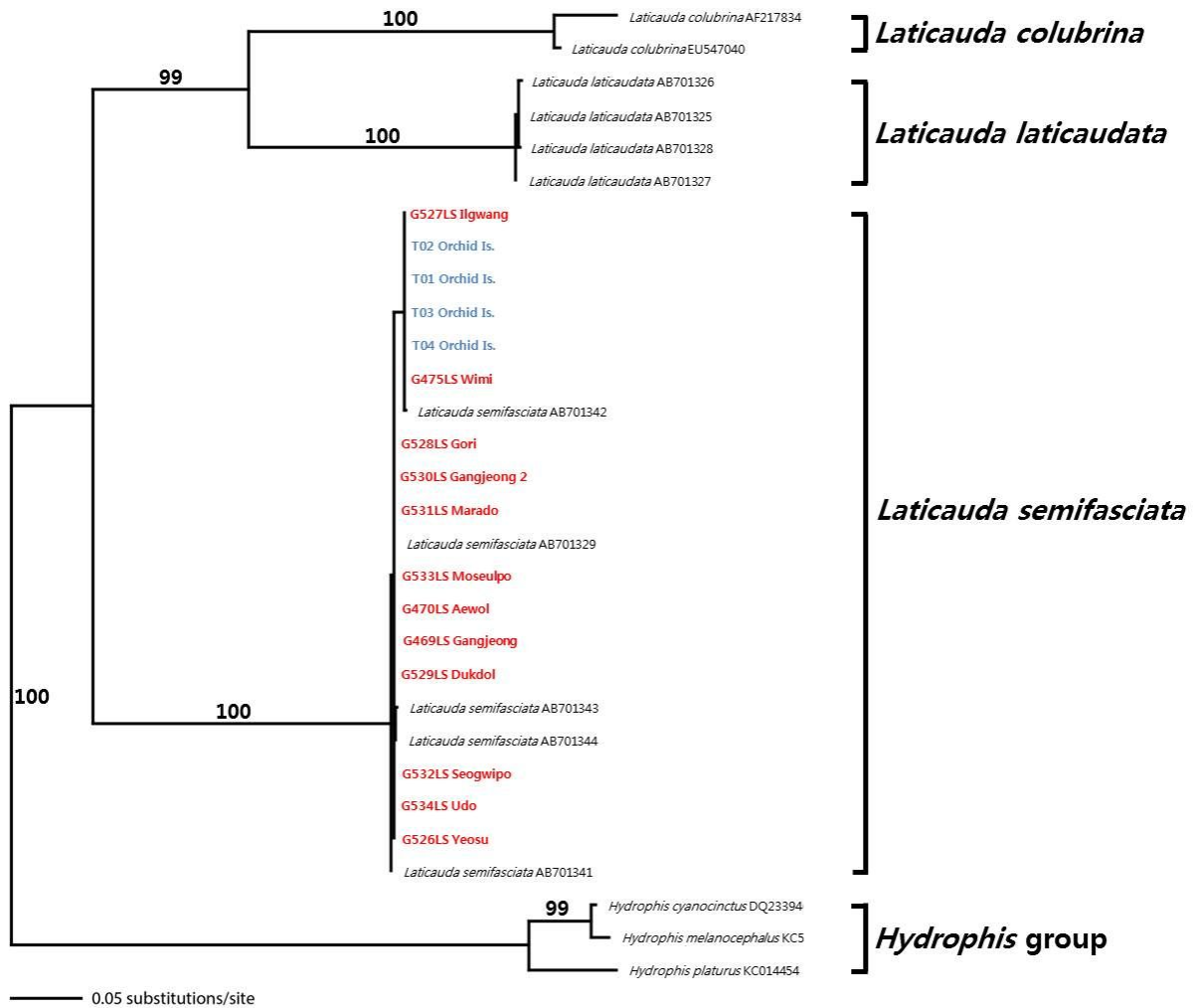
**Table 1.** Individual information, morphological characteristics and mt Cytb haplotype of *Laticauda semifasciata* captured in Korea.

Voucher No.		G469LS	G470LS	G475LS	G526LS	G527LS	G528LS	G529LS	G530LS	G531LS	G532LS	G533LS	G534LS
Captured information	Captured date	2015.8.26.	2015.9.17.	2015.11.03.	2016.06.23.	2016.08.08.	2016.08.18.	2016.08.19.	2016.08.26.	2016.08.27.	2016.08.28.	2016.09.05.	2016.09.07.
	Captured location	Gangjeong 1	Aewol	Wimi	Yeosu	Ilgwang	Gori	Dukdol	Gangjeong 2	Marado	Seogwipo	Moseulpo	Udo
	GPS N	33°12'58.08"	33°27'54.24"	33°15'10"	34°41'31.79"	35°15'36.56"	35°19'8.90"	33°17'22.15"	33°13'11.84"	33°6'21.59"	33°13'34.87"	33°13'31.99"	33°33'56.00"
	GPS E	126°29'19.23"	126°16'59.70"	126°42'50"	127°42'40.69"	129°14'42.87"	129°17'42.93"	126°47'8.36"	126°28'2.14"	126°16'24.57"	126°33'35.84"	126°13'53.05"	127°01'25.00"
Characteristic	1. SVL (mm)	787	1030	965	1005	975	1100	965	1018	999	900	978	871
	2. Tail (mm)	129	138	128	125	135	153	123	132	141	114	130	110
	3. TL (mm)	916	1168	1093	1130	1110	1253	1088	1150	1140	1014	1108	981
	4. BW (g)	841.2	750.9	736.1	927.1	712.8	1033	530	672	664.9	461.9	713	513.9
	5. Sex	F	F	F	F	F	F	F	F	F	M	F	F
Head scales	1. Frontal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. Internasal L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3. Internasal R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4. Nasal L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5. Nasal R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6. Postocular L	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	7. Postocular R	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	8. Parietal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	9. Prefrontal	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	10. Preocular L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	11. Preocular R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	12. Rostral	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	13. Supraocular L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	14. Supraocular R	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	15. Supralabial L	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	16. Supralabial R	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	17. Infralabial L	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	18. Infralabial R	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	19. Temporal L	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3
	20. Temporal R	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3	2+3
Body Scales	1. Ventral	199	202	199	201	199	198	200	202	206	195	202	202
	2. Subcaudal	35	36	36	36	35	35	34	34	39	36	38	37
	3. Dorsal scale row at the neck	21	23	23	23	25	23	23	23	22	23	23	23
	4. Dorsal scale row at the mid body	21	23	23	23	25	23	23	23	23	23	23	23
	5. Dorsal scale row at the near anal	21	21	21	19	22	21	21	21	17	22	21	21
Stripes	1. Body stripe	36	34	37	37	41	32	30	31	36	35	33	33
	2. Tail stripe	7	6	6	7	7	5	6	6	5	6	6	6
Molecular characteristic	1. Cytb haplotype	haplotype 5	haplotype 1	haplotype 3	haplotype 5	haplotype 3	haplotype 1	haplotype 5	haplotype 1	haplotype 5	haplotype 5	haplotype 1	haplotype 5

## 2. 유전자를 이용한 넓은띠큰바다뱀의 동정

한국에서 포획된 12개체의 바다뱀과 대만에서 포획된 4개체 *L. semifasciata*의 샘플로부터 평균 1,039bp (962~1,076bp)의 Cytb 부분 서열을 획득하였다. NCBI에서 수행한 BLAST 결과, 16개체 모두 NCBI 데이터베이스에 존재하는 *L. semifasciata*의 Cytb 서열과 100%의 상동성을 나타냈다. 또한 계통수 분석에서 모든 샘플은 *L. semifasciata*의 그룹 안에 속하였다(Fig. 4).

본 연구의 결과는 2016년 4월 한국동물분류학회지(Animal Systematics, Evolution and Diversity) Vol. 32, No.2: 148~152페이지에 First Record of *Laticauda semifasciata* (Reptilia: Squamata: Elapidae: Laticaudinae) from Korea라는 제목으로 발표되었다.



**Figure 4.** Maximum likelihood tree of 16 *Laticauda semifasciata* (12 collected in Korea and 4 in Taiwan) with 11 *Laticauda* snakes based on partial mitochondrial cytochrome b sequence data. 3 *Hydrophis* species are used as an outgroup. Samples used in this study are indicated by colour (Korea: red, Taiwan: blue) and accession Nos. of the sequences from Genbank are indicated behind of each species name. Numbers are Bayesian posterior probabilities that over 95%.

### 3. 한국 진정바다뱀아과와 큰바다뱀아과의 분류키

큰바다뱀아과(Laticaudinae). 배비늘이 주변 몸통비늘보다 4배가량 넓다.

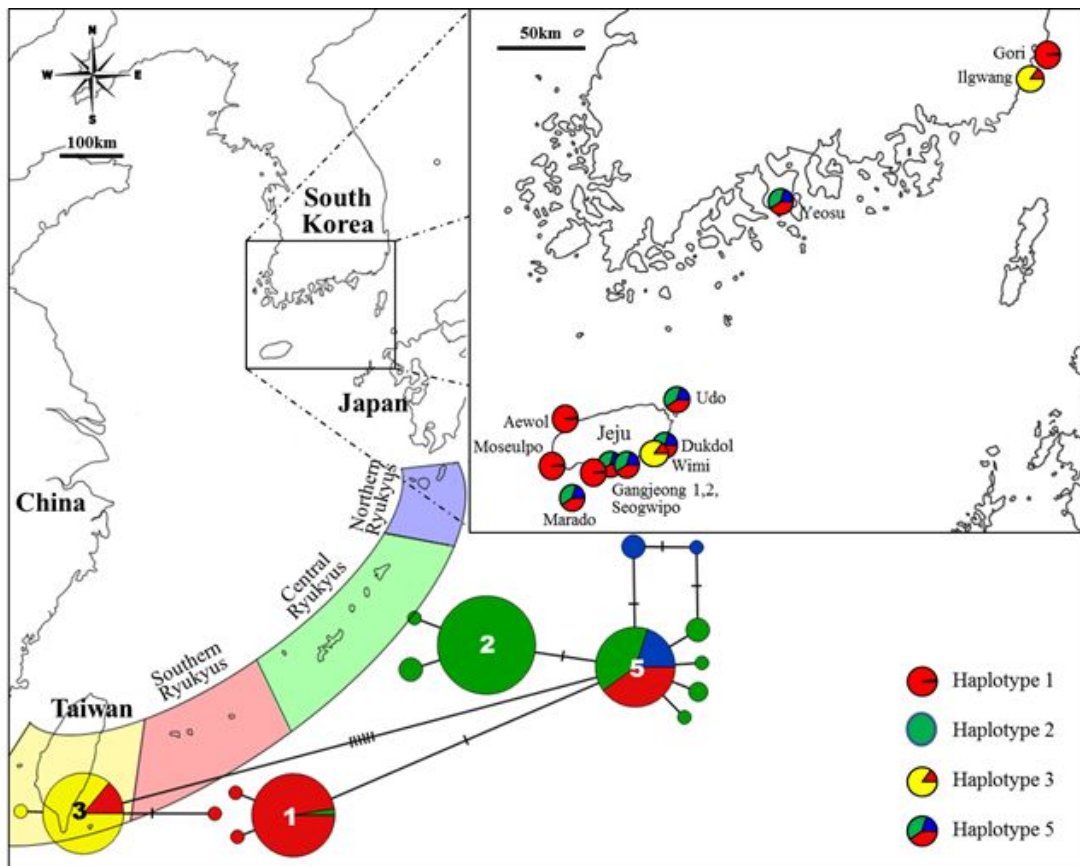
- 1. 주둥이판이 상하로 둘로 나뉘어졌다; 앞이마판은 3개다 .....넓은띠큰바다뱀(*Laticauda semifasciata*)

진정바다뱀아과(Hydrophiinae). 배비늘의 넓이가 주변 몸통비늘 넓이의 2배보다 좁거나 몸통비늘과 구분이 불가능하다.

- 1a. 머리는 길고 몸체가 위아래로 약간 납작하다; 입은 매우 넓고 보통 등면은 검고 배면은 노란빛을 띤다; 줄무늬나 환무늬가 없다 .....바다뱀(*Hydrophis platurus*)
- 1b. 배비늘은 세로로 된 고랑으로 뒤쪽에서 나뉘어있고 목이 길며 얇다; 검은 줄무늬나 환무늬가 50개 이하 .....2
- 2a. 머리는 작고 눈이 안전판보다 크다; 앞쪽 측두판이 1개다.....  
.....떡대가리바다뱀(*Hydrophis melanocephalus*)
- 2b. 머리 크기는 보통이고 눈은 안전판보다 크지 않다; 앞쪽 측두판이 2개나 3개이며 무늬 뒤쪽 넓이보다 무늬 사이의 넓이가 더 좁다 .....얼룩바다뱀(*Hydrophis cyanocinctus*)

### 4. 채집된 넓은띠큰바다뱀의 하플로타입 분석

16개 샘플로부터 총 3종류의 하플로타입을 판별하였으며 3가지 하플로타입 모두 이전 대만-류큐 지역에서 보고된 하플로타입 중 3가지와 일치하였기 때문에 이 연구에서 판별된 하플로타입을 호칭하기 위하여 해당 연구(Tandavanitj et al., 2013b)에서 사용되었던 하플로타입의 이름을 사용하였다. 제주도의 애월, 강정, 모슬포에서 포획된 3개체와 고리에서 포획된 1개체의 하플로타입은 남부 류큐에서 주로 발견되는(>97%; 38개체 중 37개체) Semi-1으로 판별되었다. 제주도의 위미에서 포획된 1개체와 기장군의 일광에서 포획된 1개체의 하플로타입은 대만과 남부 류큐에서만 발견되는 Semi-3로, 또한 대만에서 포획된 4개체 모두 Semi-3로 판별되었다. 제주도의 강정, 덕돌, 마라도, 서귀포, 우도에서 포획된 5개체와 여수에서 포획된 1개체의 하플로타입은 류큐 지역 전체에서 발견되는 Semi-5로 판별되었다(Table 1, Fig. 5).



**Figure 5.** Haplotype of the partial mitochondrial cytochrome b gene of *Laticauda semifasciata* collected at Jeju Island and South Sea of Korea matched with the haplotypes in Tandavanitj et al (2013b). Four samples from Taiwan all had Semi-3 haplotype (data not shown).

## IV. 고찰

2015년 8월부터 2016년 10월 사이에 제주도와 남해에서 채집된 12마리의 바다뱀의 외부 형태적 특징과 mtDNA Cytb 부분 서열을 이용하여 12개체를 모두 *L. semifasciata*로 동정 한 후 국내미기록종으로 기재하고 형태적 특성을 반영하여 넓은띠큰바다뱀으로 국명을 부여하였다. 포획된 개체들의 Cytb 하플로타입을 분석한 결과에 근거하여 이들이 대부분 류큐 남부와 대만에서 대만 난류나 쿠로시오 해류를 통하여 유입되었으리라 판단하였다. 또한, 최근 바다뱀 발견빈도와 경향의 변화에 대한 원인을 고찰하고 제주도에 서식 및 번식 가능성, 제주도와 남해에서 개체 포획의 의미성을 논하였다.

### 1. 미기록종 넓은띠큰바다뱀(*Laticauda semifasciata*)의 보고

제주도와 남해에서 포획된 모든 바다뱀은 바다뱀의 특징인 좌우로 납작하게 눌린 노 형태의 꼬리를 가지고 있었다. 또한 모든 표본은 진정바다뱀아과에 대비되는 큰바다뱀아과의 특징인 비간판을 가지고 있었다. 비록 *L. semifasciata*를 포함한 *Laticauda* 속의 2 종을 *Pseudolaticauda* 속으로 분류하는 의견들이 있으나 *Laticauda* 속으로 분류하는 것이 널리 받아들여지고 있다(Heatwole et al., 2005; Wang et al., 2013). 동북아시아에는 현재 3종의 큰바다뱀아과 바다뱀(*L. colubrina*, *L. laticaudata*, and *L. semifasciata*)이 기재되어 있으나 오직 *L. semifasciata*만이 머리에 분명하게 상하로 나뉜 주둥이판과 몸통에 'V'자 모양의 줄무늬를 가지고 있다(Mao and Chen, 1980; Rasmussen, 2000; Goris and Maeda, 2004; Heatwole et al., 2005; Rasmussen et al., 2011b). 표본들의 배비늘 수, 머리판 수, 줄무늬 수는 모두 기연구된 *L. semifasciata*의 외부 형질 범위 안에 포함되었다(Mao and Chen, 1980; Toriba, 1994; Rasmussen, 2000; Rasmussen et al., 2011b). *L. semifasciata*와 달리 *L. colubrina*는 노란색이나 흰색 윗입술을 가지고 있으며 몸통에 등면과 배면에서 넓이가 일정한 검정 줄무늬를 가졌고 주둥이판은 나뉘지 않았다(Rasmussen et al., 2011b). *L. laticaudata* 또한 몸통에 등면과 배면에서 넓이가 일정한 검정 줄무늬를 가졌고 주둥이판은 나뉘지지 않았으며 배비늘 수는 215개 이상이다(Rasmussen et al., 2011b). 또한 *L. laticaudata*는 다른 2종과 달리 앞이마판을 2개만 가지고 있다(Mao and Chen, 1980). *L. semifasciata*와 가장 가까운 계통관계를 가진 *L. schistorhynchus*는 *L. semifasciata*의 분포범위로부터 동쪽으로 약 6,500km 떨어진 남태평양의 통가, 사모아, 니우에 섬에서 발견된다. 그러나 *L. semifasciata*와 달리 *L. schistorhynchus*는 187~195개의 배비늘 수와 18~31개의 몸통 줄무늬 수를 가진다(McCarthy, 1986; Greer, 1997; Heatwole et al., 2005; Kharin and Czeblukov, 2006).

더불어, Cytb의 서열 비교 결과 한국에서 포획된 12개체를 모두 *L. semifasciata*로 확정할 수 있었다. 이 연구는 한국 내의 바다뱀에 대해 자세히 보고한 첫 연구이며 또한 큰바다뱀아과의 바다뱀에 대한 최초의 포획 보고로서 그 결과 한국에는 이미 기재된 진정바다뱀아과 3종을 포함하여 총 4종의 바다뱀이 기록되게 되었다.

### 2. 미토콘드리아 Cytb의 하플로타입을 이용한 기원추적

제주도 근해와 남해안에서 채집된 12개체의 넓은띠큰바다뱀의 Cytb 유전자 부분 서열을 분석하여 이들의 기원을 추적한 결과, 추적이 가능한 6개체의 경우 모두 이전 연구에서 대만과 남부 류큐 지역에만 출현하는 하플로타입을 가지고 있었고, 남은 6개체는 류큐 지역 전체에서 발견되는 하플로타입을 가지고 있었다. 이러한 결과는 제주도와 남해에서 포획된 넓은띠큰바다뱀들은 주로 대만과 남부 류큐 지역에서부터 대만 난류, 혹은 쿠로시오 해류를 통하여 유입되었음을 제시한다. 엘니뇨를 포함하여 최근 빠

르게 일어나는 기후변화는 큰바다뱀들의 분포범위를 넘어서 한국의 제주도와 남해로 개체들을 새롭게 유입시키는 원인이 될 수 있을 것이다. 유입된 큰바다뱀들이 이전보다 길어진 기간 동안 제주도 남부에서 살아남을 수 있다는 것은 상당히 신빙성 있다. 최근의 기후 변화로 인하여 큰바다뱀의 분포범위가 증가하였는지 파악하기 위하여 그들이 한국의 바다에서 연중 서식하고 있고 번식을 하고 있는지에 대한 연구가 필요하다.

#### 1) 넓은바다뱀의 가능한 유입경로

한국에서 포획된 넓은바다뱀들은 대만과 남부 류큐 지역의 쿠로시오 해류 본류에서 시작하여 대만 난류를 통하여 유입되었을 것으로 생각된다. 아개채군 사이의 유전적 구조와 분포에 대한 해류의 영향은 바다뱀을 포함한(Lane and Shine, 2011; Ukuwela et al., 2014) 다양한 동물 분류군에서 잘 보고되어 있다(White et al., 2010; Dong et al., 2012; Han et al., 2012; Hu et al., 2013; Yamada et al., 2014). 본 연구의 미토콘드리아 DNA Cytb의 하플로타입 분석 결과는 한국에서 포획된 넓은바다뱀이 지리적으로 더 가까운 북부 류큐 지역보다는 주로 대만과 남부 류큐 지역에서 왔다는 것을 보여준다(Zhou et al., 2015). 본 연구에서 넓은바다뱀 6개체는 대만과 남부 류큐 지역의 개체들과 같은 하플로타입 (Semi-1, Semi-3)를 공유하였다(Tandavanitj et al., 2013b). 쿠로시오 해류는 가장 빠른 해류 중 하나이고 넓은바다뱀의 큰 개체군들이 존재하는 대만 동쪽과 남부 류큐 지역 사이를 거쳐서 태평양에서 동중국해로 거대한 양의 물을 옮긴다(Douglass et al., 2012). 대부분의 넓은바다뱀은 그곳에서 쿠로시오 해류를 따르거나 휩쓸려 올라와 대만 난류를 통하여 제주도와 한국의 남해로 유입된 것으로 판단된다. 비록 그들이 대만 난류 대신에 쿠로시오 해류의 본류를 따라서 류큐 지역의 서쪽을 따라 올라와 한국으로 유입되었을 수 있으나 특히 여름에 이러한 경우는 더욱 희소할 것이다. 큰바다뱀들이 한국으로 주로 유입될 것으로 기대되는 여름 중에 대만 난류는 동쪽으로 더 치우쳐 흐르며, 한국의 제주도와 남해에 대한 영향이 증가시킨다(Su, 2001; Xu et al., 2009; Zeng, 2009; Li et al., 2013; Wei et al., 2015; Zhou et al., 2015). 비록 큰바다뱀들이 북부 류큐 지역에서 한국으로 유입되었을 수 있으나 가능성은 낮아 보인다. 쿠로시오 해류의 본류는 류큐 지역의 서쪽 경계를 따라 이동한 후에 시계방향으로 북부 류큐 지역을 향하는데(Douglas et al., 2012) 한국으로 큰바다뱀들이 들어오려면 이때 해류를 거슬러 올라와야하기 때문이다. 대만 난류가 큰바다뱀들을 한국으로 유입시키는 것과 달리 쿠로시오 해류의 본류는 이전의 연구와 같이 태평양으로 향하는 경로를 따라 주로 일본 본섬의 동쪽 해안으로 유입시킬 것이다(Tandavanitj et al., 2013a). 대만 난류와 쿠로시오 해류의 지류가 일본 본섬의 서쪽 해안에 영향을 끼칠 동안 쿠로시오 해류가 일본 본섬의 동쪽 해안의 해양동물상에 영향을 끼친다는 많은 연구들이 보고되었다(Chan et al., 2008; Han et al., 2012). 이러한 결과들은 제주도에서 포획된 넓은바다뱀들의 하플로타입 구성과 일본 본섬의 동쪽 해안에서 발견된 개체들의 하플로타입 구성이 다를 것(Tandavanitj et al., 2013a)이라고 제안하고 해양 파충류의 확산 경향에 해류가 가지는 중요성을 보여준다.

### 3. 넓은바다뱀 발견 양상에 대한 고찰

#### 1) 큰바다뱀의 발견빈도 증가원인

기후변화로 인한 해류의 변화와 어류 군집의 분포범위 변동은 바다뱀들이 그들의 전형적인 분포범위를 넘어서 한국으로 많은 큰바다뱀들이 유입되는데 영향을 끼쳤을 것으로 생각된다. 1995년까지 한국에는 진정바다뱀아과의 종만이 10번 이하의 목격정보를 근거로 기재되어있었다(Kang and Yoon, 1975; Kim and Han, 2009; Lee et al., 2013). 한국에서 *H. platurus*의 목격 및 포획 빈도는 일정하였으나(Kang and Yoon, 1975; Kim and Han, 2009; Lee et al., 2013) 큰바다뱀의 목격과 포획은 1995년부터 시작되어 빈도가 증가해왔다(Lee et al., 2013, Kim et al., 2016). 왜? 많은 큰바다뱀이 한국으로 새롭게 유입되는가에 대한 답으로 두 가지 이유를 생각해 볼 수 있다. 첫 번째로 단순히 바다뱀 연구에 대한

노력이 이전보다 증가하였기에 더 많은 큰바다뱀 목격 기록을 수집할 수 있었던 것으로 판단한다. 그러나 만약 큰바다뱀의 목격과 포획 증가의 주된 이유가 증가된 노력에 의한 것이었다면 *H. platurus*를 포함하여 이미 기재된 3종의 진정바다뱀 또한 목격과 포획이 증가되어야 한다. 그러나 12개체의 큰바다뱀을 포획하고 6건 이상의 목격 정보를 획득할 동안 *H. platurus*는 오직 2건의 목격 정보만 획득하였다. 이러한 결과는 포획 방법이 특정한 종류의 바다뱀을 포획하는 것에 특화되어 있다고 가정하더라도 연구에 대한 노력의 증가가 큰바다뱀 발견 빈도의 증가의 주된 이유일 가능성이 낮다는 것을 나타낸다.

두 번째로 동중국해에서 일어나는 기후 변화로 인하여 북쪽으로 확산되거나 확장된 열대와 아열대 어류의 분포는 큰바다뱀이 먹이활동을 위하여 더 먼 곳까지 이동하여 쿠로시오 해류에 휩쓸릴 기회를 증가시켰을 수 있다. 이전의 많은 연구들은 국제적인 기후 변화가 다양한 해양 어류의 분포 범위를 증가시켰음을 제시하였다(Perry et al., 2005; Last et al., 2011; Jung et al., 2013; Jung and Cha, 2013; Jung et al., 2014). 큰바다뱀들의 강한 유소성에도 불구하고 *L. laticaudata*는 먹이활동을 위하여 평균 14km, *L. saintgironsi*는 평균 21km만큼 떨어진 곳까지도 이동하며 큰바다뱀들은 그들의 먹이의 2/3를 멀리 떨어진 외양에서 획득한다(Brischoux et al., 2007). 때문에 큰바다뱀이 먹이 활동을 위하여 외양에서 어류 개체군을 쫓는다면 더 자주 본래의 서식지 범위에서 벗어날 수 있으며, 더 자주 쿠로시오 해류 속으로 들어가거나 휩쓸릴 수 있을 것이다.

## 2) 넓은바다뱀의 발견 원인

왜 넓은바다뱀이 주로 포획되는가? 비록 한국에서 최근 3종의 큰바다뱀이 모두 사진으로 촬영되었으나(Lee et al., 2013) 넓은바다뱀이 가장 많이 목격되고 포획되었다. 아마도 지역적 분포와 서식지 이용, 신체적인 특징으로 인하여 동북아시아의 큰바다뱀 3종 중 넓은바다뱀이 주로 포획된 것으로 판단된다. 세계적으로 *L. colubrina*와 *L. laticaudata*는 대부분의 동남아시아 국가에서 널리 발견되지만 넓은바다뱀은 대만과 류큐 지역, 필리핀의 일부와 인도네시아의 일부 지역에서 발견되며(Heatwole et al., 2005; 2016; Gherghel et al., 2016), 특히 대만과 류큐 지역에서 가장 큰 개체군이 발견된다. 또한 일본에선 큰바다뱀 3종 중 가장 흔하게 발견되는 종이며(Toriba, 1994), 가장 많은 시간을 물속에서 보내며 육지에는 드물게 올라온다(Heatwole, 1999; Heatwole et al., 2005; Wang et al., 2013). 또한 큰바다뱀 3종 중 넓은바다뱀이 해양에서 수분 손실이 가장 적기에(Brischoux et al., 2013) 먹이활동을 위하여 가장 먼 바다까지 나갈 수 있다(Lane and Shine, 2011). 추가적으로 넓은바다뱀은 *L. colubrina*와 *L. laticaudata*에 비하여 가장 넓은 꼬리와 가장 원통형인 몸통을 가지고 있다(Wang et al., 2013). 이러한 요인들로 인하여 만약 대만 난류와 쿠로시오 해류가 큰바다뱀 유입의 주된 경로라면 큰바다뱀 3종 중 넓은바다뱀이 해류에 휩쓸릴 기회가 가장 많다. 때문에 한국에서 포획되는 바다뱀은 주로 넓은바다뱀인 것으로 판단된다.

## 3) 높은 암컷 발견빈도의 원인

왜 암컷이 주로 포획되는가? 본 연구에서 12개체의 넓은바다뱀이 포획되었으며 그 중 11개체(92%)가 암컷이었다. 이에 대하여 두 가지 요인을 고려해 볼 수 있다. 첫 번째, 암컷들이 짝을 찾거나 산란지를 찾아서 이동했을 가능성이 있다. 그러나 넓은바다뱀의 경우 성비와 번식지 내 성비가 수컷으로 치우쳐 있다(Tu et al., 1990; Heatwole, 1999;). 때문에 암컷들이 짝짓기를 위하여 수컷을 적극적으로 찾지 않는다는 것을 의미하고 이로 인하여 암컷들이 짝을 찾아 이동하였을 가능성은 낮다. 오키나와의 쿠다카 섬에서 번식기에 알을 가진 암컷들이 산란을 위하여 육지로 이동하던 중 수컷에 비하여 매우 높은 비율로 포획되는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 포획된 개체들에 대하여 외형 검사와 축진 검사를 시행하였으나 알에 대한 어떤 단서도 찾을 수 없었기에 포획된 개체들이 산란을 위하여 이동 중이지 않았다고 판단하였다. 둘째로, 암컷이 수컷보다 먹이활동을 위하여 이동하는 거리가 멀기 때문에

이들이 주로 유입되었을 가능성이 있다. 상기한대로 큰바다뱀들은 자주 먹이활동을 위하여 먼 거리를 이동하여 외양으로 나간다(Brischoux et al., 2007). 특히 넓은바다뱀은 수컷보다 암컷이 몸집이 더 크고, 또한 알을 발달시키기 위하여 다량의 영양이 필요하며, 암컷들은 수컷에 비하여 더 크고 많은 먹이를 필요로 한다(Tu et al., 1990; Heatwole, 1999; Shetty and Shine, 2002). 때문에 수컷보다 암컷이 먹이활동을 위하여 더욱 먼 거리까지 이동하며 수컷보다 암컷이 쿠로시오 해류, 혹은 태풍에 휩쓸리거나 해류를 타고 이동할 기회가 많을 것으로 생각된다(Chang et al., 2010; Liu et al., 2010; Zhou et al., 2015). 때문에 한국에서 포획되는 넓은바다뱀은 주로 암컷인 것으로 판단된다.

#### 4. 서식과 번식 가능성

제주도와 남해로 유입된 넓은바다뱀들은 현 지역에서 장기간 서식이 가능할 수도 있으리라 판단된다. 장기적으로 생존하기 위하여 주서식지가 아열대와 열대 지역인 *H. platurus*는 최소 16-18°C를 필요로 하며, 14.5-17.0°C 사이에서도 12일 정도 생존이 가능한 것으로 보고되어 있다(Dunson and Ehlert 1971, Heatwole et al. 2012). 큰바다뱀들의 생존이 가능한 최저 온도 범위에 대해서는 아직까지 연구되어진 바가 없지만, 현재 넓은바다뱀의 분포를 토대로 추측하자면, 넓은바다뱀이 번식하는 최북단으로 알려진 북부 류큐의 Yakushima 섬에서 1997년 측정된 월별 평균수온의 최저수온은 약 18°C였다(Yamanoto et al., 2001). 본 연구동안 제주도 서귀포의 수심 15m에서 측정된 월별 평균수온은 3월에 16.3°C로 가장 낮았으며 이는 Yakushima 섬의 수온보다 1.7°C 낮다(KMA, 2016). 그럼에도 불구하고 제주도는 년 중 수온이 16.0°C 미만인 날이 2016년 2월과 3월에 각각 6일씩, 1월에 3일로 총 15일뿐이었다(KMA, 2016). 넓은바다뱀이 큰바다뱀의 분포범위 중 가장 북부를 차지하고 있고 상대적으로 차가운 물을 이용할 수 있다는 점(Brischoux et al., 2013)을 고려할 때, 제주도에서 이 종이 서식하고 있을 가능성을 배제할 수는 없다. 서귀포로 대량의 담수가 유입되고(Kim et al., 2009) 넓은바다뱀이 해당 지역의 어류를 성공적으로 섭식하고 있는 점을 고려하였을 때 유입된 넓은바다뱀이 특히 서귀포와 같은 제주도 남부 지역에서 적어도 일정기간 이상 살아남을 수 있을 것으로 판단된다.

연중 서식이 가능한지와 번식이 가능한지는 다른 문제로, 2004년에 제주도 근해 수심 10m에서 잠수부에 의하여 10마리 이상의 바다뱀 유체를 발견된 보고가 한번 있었으나 본 연구기간 중 바다뱀 유체에 대한 목격정보는 없었다. 대만에서의 연구 결과에 의하면 넓은바다뱀의 알이 부화하기 위하여 4~5달이 필요하며 해당 기간 동안 23~28°C가 유지되어야한다(Tu et al., 1990). 2016년 7~10월까지 제주도 서귀포의 수온은 24.2~30.3°C이었기 때문에(KMA, 2016) 지역온천과 같이 적합한 산란지를 넓은바다뱀이 찾는다면, 제주도에서 이들이 성공적으로 번식할 가능성 역시 배제할 수 없다.

기상 자료에 따르면, 제주도 근해의 표면수온은 1970부터 2010년 사이 0.024°C/year의 비율로 빠르게 증가하고 있었고 특히 겨울의 표면수온은 0.047°C/year로 증가하고 있었으며(Jang et al., 2006; Jung et al., 2013), 2008년에서 2030년 사이에는 0.63°C가 추가로 상승하리라고 예상되고 있다(Jung, 2008). 이러한 온도 상승률은 0.013°C/year인 IPCC에서 보고한 지구온난화 속도(IPCC, 2007)보다 1.8배 빠른 것이다. 이 때문에 만약 해양 온난화가 지속되고 넓은바다뱀의 유입이 계속된다면 가까운 미래에 주로 대만 난류의 영향으로 연중 평균 수온이 가장 높은 제주도의 남부에 해당 종의 번식 개체군이 형성될 수 있으리라 판단된다.

#### 5. 연구 의의

한국의 제주도와 남해에서 포획된 바다뱀은 바다뱀 보전과 지역 해양생태계에 있어서 몇 가지 중요한 의미를 가진다. 첫째로 비록 현지 내 번식의 여부는 불분명하지만 제주도에 바다뱀의 년 중 서식 가능성은 높은 것을 고려할 때, 넓은바다뱀의 국제적인 분포 범위를 제주도까지 포함하는 것이 바람직해 보인다. 둘째로 제주도와 남해에 있어서 바다뱀에 대한 모니터링은 대단히 중요하며 지속되어야



한다. 해당 지역의 해양 온도가 빠르게 증가하고 있고(Jang et al., 2006) 아열대와 열대 어류의 보고가 최근 급격히 늘어났기 때문에(Jung et al., 2013; Ko et al., 2015) 바다뱀의 유입이 앞으로 더욱 증가할 것이라 판단되기 때문이다. 또한 이러한 정보는 대만-남부 류큐 내 제공 개체군의 개체군 감소에 대한 부정적 영향 파악 및 제주도와 남해에 새로운 개체군 형성 가능성에 대한 의미 있는 정보가 될 것이다. 셋째로 제주도에서 큰바다뱀의 번식이 이루어지는 지에 관한 규명이 필요하다. 한국 내 번식에 대한 연구는 이 지역으로 바다뱀이 유입되는 것에 관한 생물학적, 생태학적 의미를 밝히고 최근 기후변화로 인한 해양파충류 확산의 전 세계적인 경향을 파악하는 것에 상당히 중요하다. 마지막으로 일반적으로 바다뱀은 해양 생태계의 최상위 포식자 역할을 수행하며(Brischoux et al., 2007; Ineich et al., 2007) 넓은 띠큰바다뱀이 제주도 내의 어류를 성공적으로 섭식하였기에(Su et al., 2005) 가까운 미래에 더 많은 바다뱀이 유입될 경우, 지역 해양생태계에 미칠 영향을 고려해야한다. 추가적으로 넓은띠큰바다뱀은 인간에게 공격적인 성향을 나타내지 않지만(Heatwole, 1999) 독사이기 때문에 지역 어부나 유네스코 세계무형유산인 해녀들에게 바다뱀의 공격을 예방하는 방법에 대한 교육이 필요하다.

## 6. 결론

2015-2016년에 제주도와 남해에서 포획된 12개체의 바다뱀들의 형태적인 특성을 분석한 결과 배비늘 수, 머리판 수, 줄무늬 수, 앞이마판, 주둥이판, 줄무늬 모양 등 모든 특징이 *L. semifasciata*와 일치하였다. 또한 mtDNA Cytb의 부분 서열도 *L. semifasciata*와 일치하였기에 12개체 전부를 근거로 포획된 바다뱀들을 국내 미기록종으로 등재하고, 넓은띠큰바다뱀이라는 국명을 부여하였다. 이어서 Cytb의 하플로타입을 분석하여 포획된 넓은띠큰바다뱀의 기원을 추적하였다. 연구결과, 국내에서 포획된 바다뱀들은 주로 대만과 남부 류큐 지역에서부터 대만 난류, 혹은 쿠로시오 해류를 통하여 유입된 것으로 나타났다. 큰바다뱀의 기존의 분포범위를 넘어 국내로의 많은 개체의 유입은, 최근의 기후변화에 따른 먹이원의 이동, 해양수온의 상승 등과 관련된 것으로 판단된다. 비록 제주도와 한반도에서 년 중 서식의 가능성이 여전히 의문으로 남아 있으나, 지속적인 바다뱀의 연구는 제공 개체군의 바다뱀개체군의 부정적 영향과 더불어 기존의 분포범위를 넘어 새로운 개체군의 형성이라는 관점에서 중요한 의미성을 가진다고 하겠다.

## V. 참고 문헌

- Brischoux, F., X. Bonnet and R. Shine (2007) Foraging ecology of sea kraits *Laticauda* spp. in the Neo-Caledonian lagoon. Marine Ecology Progress Series 350: 145-151.
- Brischoux, F., and H.B. Lillywhite (2013) Trophic consequences of pelagic life-style in yellow-bellied sea snakes. Marine Ecology Progress Series 478: 231-238.
- Brischoux, F., C. Cotté, H.B. Lillywhite, F. Bailleul, M. Lalire and P. Gaspar (2016) Oceanic circulation models help to predict global biogeography of pelagic yellow-bellied sea snake. Biology Letters 12: 20160436.
- Burbrink, F.T., R. Lawson and J.B. Slowinski (2000) Mitochondrial DNA phylogeography of the polytypic North American rat snake (*Elaphe obsoleta*): a critique of the subspecies concept. Evolution 54: 2107-2118.
- Chan, B.K.K., C.H. Hsu and A.J. Southward (2008) Morphological variation and biogeography of an insular intertidal barnacle *Hexechamaesipho pilsbryi* (Crustacea: Cirripedia) in the western Pacific. Bulletin of Marine Science 83: 315-328.
- Chang, Y.C., R.S. Tseng and L.R. Centurion (2010) Typhoon-induced strong surface flows in the Taiwan Strait and Pacific. Journal of Oceanography 66: 175-182
- Cope, E.D. (1879) Eleventh contribution to the herpetology of tropical America. Proceedings of the American Philosophical Society 18: 261-277.
- Dong, Y.W., H.S. Wang, G.D. Han, C.H. Ke, X. Zhan, T. Nakano and G.A. Williams (2012) The impact of Yangtze River discharge, ocean currents and historical events on the biogeographic pattern of *Cellana toreuma* along the China coast. PLoS ONE 7(4): e36178.
- Douglas, E.M., S.R. Jayne, F.O. Bryan, S. Peacock and M. Maltrud (2012) Kuroshio pathways in a climatologically forced model. Journal of Oceanography 68: 625-639
- Dunson, W.A. and G.W. Ehlert (1971) Effects of temperature, salinity, and surface water flow on distribution of the sea snake pelamis. Limnology and Oceanography 16(6): 845-853.
- Dunson, W.A. and M.K. Dunson (1973) Convergent evolution of sublingual salt glands in the marine file snake and the true sea snakes. Journal of Comparative Physiology 86(3): 193 - 208.
- Dunson, W.A.(1975) The biology of sea snake. University Park Press, Baltimore.
- Fischer, J.G. (1856) Die familie der Seeschlangen, systematisch beschrieben. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg, 3:1-78 (in German).
- Fish, F.E. (1996) Transitions from drag-based to lift-based propulsion in mammalian swimming. American Zoologist 36(6): 628-641.
- Fossette, S., N.F. Putman, K.J. Lohmann, R. Marsh and G.C. Hays. (2012) A biologist's guide to assessing ocean currents: a review. Marine Ecology Progress Series 457: 285-301.
- Gherghe, I., M. Papes, F. Brischoux, T. Sahlean and A. Strugariu (2016) A revision of the distribution of sea kraits (Reptilia, *Laticauda*) with an updated occurrence dataset for ecological and conservation research. ZooKeys 569: 135-148.
- Gill, B.J. (1997) Records of turtles and sea snakes in New Zealand, 1837 - 1996. New Zealand Journal

- of Marine and Freshwater Research 31(4): 477–486.
- Gingerich, P.D., S.M. Raza, M. Arif, M. Anwar, and X.Y. Zhou (1994) New whale from the Eocene of Pakistan and the origin of cetacean swimming. *Nature* 368(6474): 844–847.
- Goiran, C and R. Shine (2013) Decline in sea snake abundance on a protected coral reef system in the New Caledonian lagoon. *Coral Reefs* 32: 281–284.
- Gopalakrishnakone, P. (1994) *Sea Snake Toxinology*. National University of Singapore Press, Kent Ridge.
- Goris, R.C. and N. Maeda (2004) *Guide to the amphibians and reptiles of Japan*. Krieger Publishing Company, Florida.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority. (2012) *A vulnerability assessment for the Great Barrier Reef*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville, Australia.
- Greer, A.E. (1997) *The Biology and Evolution of Australian Snakes*. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, New South Wales, Australia.
- Hall, T. (2011) BioEdit: an important software for molecular biology. *GERF Bull Biosci* 2(1): 6.
- Hallowell, E. (1860) Report upon the reptilian of the North Pacific exploring expedition, under command of Capt. John Rogers. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 12: 480–510.
- Hamann, M., C.J. Limpus and M.A. Read (2007) Chapter 15 Vulnerability of marine reptiles in the Great Barrier Reef to climate change, in *Climate change and the Great Barrier Reef*. eds JE Johnson, PA Marshall, Great Barrier Reef Marine Park Authority and the Australian Greenhouse Office, Townsville, Australia.
- Han, Z., T. Yanagimoto, Y. Zhang and T. Gao (2012) Phylogeography study of *Ammodytes personatus* in northwestern Pacific: Pleistocene isolation, temperature and current conducted secondary contact. *PLoS ONE* 7(5): e37425.
- Heatwole, H. (1987) *Sea Snakes*. University of New South Wales Press, Malabar, Florida.
- Heatwole, H., S. Busack and H.G. Cogger (2005) Geographic variation in sea kraits of the *Laticauda colubrina* complex (Serpentes: Elapidae: Hydrophiinae: Laticaudini). *Herpetological Monographs* 19(2005): 1 - 136.
- Heatwole, H., A. Grech, J.F. Monahan, S. King and H. Marsh (2012) Thermal biology of sea snakes and sea kraits. *Integrative and comparative biology* 52(2): 257–273.
- Heatwole, H., H.B. Lillywhite and A. Grech (2016) Physiological, ecological, and behavioral correlates of the size of the geographic ranges of sea kraits (*Laticauda*: Elapidae, Serpentes): A critique. *Journal of Sea Research*.
- Hu, Z.M., J. Zhang, J. Lopez-Bautista and D.L. Duan. (2013) Asymmetric genetic exchange in the brown seaweed *Sargassum fusiforme* (Phaeophyceae) driven by oceanic currents. *Marine biology* 160(6): 1407–1414.
- Ineich, I., X. Bonnet, F. Brischoux, M. Kulbicki, B. Séret and R. Shine (2007) Anguilliform fishes and sea-kraits: neglected predators in coral reef ecosystems. *Marine biology* 151(2): 793–802
- IPCC (2007) *Climate change 2007. The physical science basis. Summary for policymakers*. In: Contribution of working group to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. 18.
- Jang, S.M., S.S. Kim, Y.C. Choi and S.G. Kim (2006) A study of correlations between

- air-temperature of Jeju and SST around Jeju Island. *Journal of the Korean Society for Marine Environment Engineering* 9(1): 55–62.
- Jung, S. (2008) Spatial variability in long-term changes of climate and oceanographic conditions in Korea. *Journal of Environmental Biology* 29(4): 519–529.
- Jung, S. and H.K. Chan (2013) Fishing vs. climate change: an example of Filefish (*Thamnaconus modestus*) in the northern East China Sea. *Journal of Marine Science and Technology* 21: 15–22
- Jung, S, S. Ha and H, Na (2013) Multi-decadal changes in fish communities Jeju Island in relation to climate change. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46(2): 186–194.
- Jung, S., I.C. Pang, J.H. Lee, I. Choi and H.K. Cha (2014) Latitudinal shifts in the distribution of exploited fishes in Korean waters during the last 30 years: a consequence of climate change. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 24(2): 443–462.
- Kang, Y.S. and I.B. Yoon (1975) *Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea*, Vol. 17. Amphibia and Reptilia. Sam-Press, Seoul.
- Kharin, V.E. (1984) Revision of sea snakes of subfamily of Laticaudinae Cope, 1879 sensu lato (Serpentes, Hydrophiidae). *Trudy Zoologicheskogo Instituta. Akademiia Nauk SSSR*. 124: 128–139 (in Russian).
- Kharin, V.E. and V.P. Czeblukov (2006) A new revision of sea kraits of family Laticaudidae Cope, 1879 (Serpentes: Colubroidea). *Russian Journal of Herpetology* 13(3): 227–241.
- Kharin, V.E. (2009) Redescription of a Russian finding of the erabu sea krait *Pseudolaticauda semifasciata* (Reinwardt in Schlegel, 1837), with remarks about species composition of sea snakes (Serpentes: Laticaudidae, Hydrophiidae) in Russian and adjacent waters. *Russian Journal of Marine Biology* 35(1): 8–14.
- Kim, L.T. and H.G. Han (2009) *Fauna of Chosun: Amphibia and Reptilia*. Science and Technology Press, Pyeongyang, DPR Korea (in Korean).
- Kim, I.H., J. Park, R.H. Kaplan, J.N. Lee and D. Park (2016) Chinese sea snake (*Laticauda semifasciata*) misidentified as slender-necked sea snake in previous published account in Korea. *Journal of Ecology and Environment* 40(1): 1.
- Ko, J.C., B.Y. Kim, M.J. Kim, S.,E. Park, J.B. Kim and H.K. Cho (2015) A seasonal characteristic of marine environment and fish assemblage in the coastal waters Jeju Island, Korea from 2012–2013. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education* 27(2): 319–344.
- Kobayashi, D.R., I.J, Cheng, D.M. Parker, J.J. Polovina, N. Kamezaki and G.H. Balazs (2011) Loggerhead turtle (*Caretta caretta*) movement off the coast of Taiwan: characterization of a hotspot in the East China Sea and investigation of mesoscale eddies. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* fsq185.
- Korea Meteorological Administration (2016) Open portal for meteorological data (<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>). Visited on Oct 27, 2016.
- Lane, A and R. Shine (2011) Intraspecific variation in the direction and degree of sex-biased dispersal among sea-snake populations. *Molecular Ecology* 20(9): 1870–1876.
- Last, P.R., W.T. White, D.C. Gledhill, A.J. Hobday, R. Brown, G.J. Edgar and G. Pecl (2011) Long-term shifts in abundance and distribution of a temperate fish fauna: a response to climate change and fishing practices. *Global Ecology and Biogeography* 20(1): 58–72.
- Laurenti, J.N. (1768) *Josephi Nicolai Laurenti Austriaci Viennes specimen medicum, exhibens*

synopsin reptilium emendatum cum experementis circa venera et antidota reptilium Austriacorum. Joan Thomae, Viennae (in Latin).

- Lee, J.N., S.H. Kang, S.G. Moon and I.S. Lee (2003) On the reptiles of 8 species collected in Busan area - *Caretta caretta*, *Clemmys japonica*, *Trachemys scripta elegans*, *Gekko japonicus*, *Eremias argus*, *Elaphe schrenckii*, *Dinodon rufozonatum*, *Hydrophis melanocephalus* - Basic Science Research Center Kyungsung University. 15(2): 153-160.
- Lee, H.J., I.H. Kim and D.S. Park (2013) Telephone inquiry and local interview on the observation of Korean sea snakes. Korean Journal of Herpetology 5(1): 45-52.
- Li, J., H. Wei, Z. Zhang and Y. Lu (2013) A modeling study of inter-annual variation of Kuroshio intrusion on the shelf of East China Sea. Journal of Ocean University of China (Oceanic and Coastal Sea Research) 12: 537-548.
- Liu, Y.L., H.B. Lillywhite and M.C. Tu (2010) Sea snakes anticipate tropical cyclone. Marine biology 157(11): 2369-2373.
- Lillywhite, H.B. (1991) The biology and conservation of Acrochordid snakes. Hamadryad 16(1-2): 1-9.
- Lillywhite, H.B. and F. Brischoux (2012) Introdution to the symposium "New frontiers from marine snakes to marine ecosystems". Integrative and Comparative Biology 52(2): 213-216.
- Lukoschek, V., M. Beger, D. Ceccarelli, Z. Richards and M. Pratchett (2013) Enigmatic declines of Australia's sea snakes from a biodiversity hotspot. Biological Conservation 166: 191-202.
- Maki, M. (1931) A monograph of the snakes of Japan. Dai-Ichi Shobo, Tokyo.
- Mao, S.H. and B.Y. Chen (1980) Sea Snakes of Taiwan: A natural history of sea snakes (No. 4). National Science Council. Taipei.
- McCarthy, C.J. (1986) Relationships of the laticaudine sea snakes (Serpentes: Elapidae: Laticaudinae). Bulletin of the British Museum of Natural History, 50: 127-161.
- Mertens, R. (1930) Die amphibian und reptilian der inseln Bali, Lombok, Sumbawa und Flores. Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft, Frankfurt (in Latin).
- Mori, M. (1982) Japan's Schlangen. Vols.1 - 3, Igaku-Shoin Ltd., Tokyo.
- Motani, R. (2009) The evolution of marine reptiles. Evolution: Education and Outreach 2(2): 224-235.
- Neill, W.T. (1958) The occurrence of amphibians and reptiles in saltwater areas, and a bibliography. Bulletin of Marine Science 8(1): 1-97.
- Oppel, M. (1811) Die ordnungen, familien und gattungen der reptilian als, prodrom einer naturgeschichte derseilben. München Joseph Lindauer, München (in Latin).
- Perry, A.L. P.J. Low, J.R. Ellis and J.D. Reynolds (2005) Climate change and distribution shifts in marine fishes. Science 308(5730): 1912-1915.
- Posada, D. and K.A. Crandall (1998) Modeltest: testing the model of DNA substitution. Bioinformatics 14(9): 817-818.
- Rasmussen, A.R. and I. Ineich (2000) Sea snakes of New Caledonia and surrounding waters (Serpentes: Elapidae): first report on the occurrence of *Lapemis curtus* and description of a new species from the genus *Hydrophis*. Hamadryad 25(2): 91-99.
- Rasmussen, A.R., J.C. Murphy, M. Ompi, J.W. Gibbons and P. Uetz (2011a) Marine reptiles. PLoS ONE 6(11): e27373.
- Rasmussen, A.R., J. Elmberg, P. Gravlund and I. Ineich (2011b) Sea snakes (Serpentes subfamilies

- Hydrophiinae and Laticaudinae) in Vietnam: a comprehensive checklist and an updated identification key. *Zootaxa* 2894: 1–20.
- Reading, C.J., L.M. Luiselli, G.C. Akani, X. Bonnet, G. Amori, J.M. Ballouard, E. Filippi, G. Naulleau, D. Pearson and L. Rugiero (2010) Are snake populations in widespread decline?, *Biology Letters* 6(6): 777–780.
- Rommel, S.A. (1999) *Biology of Marine Mammals*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC. 1–14.
- Ronquist, F. and J.P. Huelsenbeck (2003) MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics* 19(12): 1572–1574.
- Sanders, K.L., M.S.Y. Lee, T. Bertozzi and A.R. Rasmussen (2013a) Multilocus phylogeny and recent rapid radiation of the viviparous sea snakes (Elapidae: Hydrophiinae). *Molecular phylogenetics and evolution* 66(3): 575–591.
- Sanders, K.L., A.R. Rasmussen, J. Elmberg, A. Silva, M.L. Guinea and M.S.Y. Lee (2013b). Recent rapid speciation and ecomorph divergence in Indo Australian sea snakes. *Molecular ecology* 22(10): 2742–2759.
- Sanders, K.L., A.R. Rasmussen and M.L. Guinea (2014) High rates of hybridisation reveal fragile reproductive barriers between endangered Australian sea snakes. *Biological Conservation* 171: 200–208.
- Scanlon, J.D. and M.S.Y. Lee (2004) Phylogeny of Australasian venomous snakes (Colubroidea, Elapidae, Hydrophiinae) based on phenotypic and molecular evidence. *Zoologica Scripta* 33(4): 335–366.
- Schlegel, H. (1837) *Essai sur la physionomie des serpents*. La Haye: J. Kips, J. H. C. et W.P. van Stockum, Amsterdam (in Nederlands).
- Shannon, F.A. (1956) The reptiles and amphibians of Korea. *Herpetologica* 12(1): 22–49.
- Shetty, S. and R. Shine (2002) Activity patterns of yellow-lipped sea kraits (*Laticauda colubrina*) on a Fijian island.
- Smith, M.A. (1926) *Monograph of the sea-snakes (Hydrophiidae)*. Oxford Univ. Press, London.
- Stejneger, L. (1907) *Herpetology of Japan and adjacent territory*. Bulletin of the United States National Museum 58: 1–577.
- Su, J.L. (2001) A review of circulation dynamics of the coastal oceans near China. *Acta Oceanologica Sinica* 23(4): 1– 16.
- Su, Y., S.C. Fong and M.C. Tu (2005) Food habits of the sea snake, *Laticauda semifasciata*. *Zoological Studies* 44: 403–408.
- Swofford, D.L. (2002) *PAUP\*: Phylogenetic analysis using parsimony (\*and other methods)*. Version 4.0b10. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Szyndlar, Z. and O. Hung Dam (1987) Reptiles of the Democratic People's Republic of Korea. Part 1. Serpentes. *Chinese Herpetological Research* (1): 22–59.
- Tandavanitj N., S. Mitani and M. Toda (2013a) Origins of *Laticauda laticaudata* and *Laticauda semifasciata* (Elapidae: Laticaudinae) individuals collected from the main islands of Japan as inferred from molecular data. *Current Herpetology* 32(2): 135–141.
- Tandavanitj N., H. Ota, Y.C. Cheng and M. Toda (2013b) Geographic genetic structure in two Laticaudine sea kraits, *Laticauda laticaudata* and *Laticauda semifasciata* (Serpentes: Elapidae), in

- the Ryukyu–Taiwan region as inferred from mitochondrial cytochrome b sequences. *Zoological Science* 30(8): 633–641.
- Thewissen, J.G., S.T. Hussain and M. Arif (1994) Fossil evidence for the origin of aquatic locomotion in archaeocete whales. *Science* 263(5144): 210–212.
- Thompson, J.D., T. Gibson and D.G. Higgins (2002) Multiple sequence alignment using ClustalW and ClustalX. *Current protocols in bioinformatics*, 2–3.
- Tittensor, D.P., C. Mora, W. Jetz, H.K. Lotze, D. Ricard, E.V. Berghe and B. Worm (2010) Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. *Nature* 466(7310): 1098–1103.
- Toriba, M. (1994) Sea snakes of Japan. *Sea Snake Toxinology* (ed. Gopalakrishnakone, P.). Singapore University Press, Singapore, 206–211.
- Tu, M.C., S.C. Fong and K.Y. Lu (1990) Reproductive biology of the sea snake, *Laticauda semifasciata*, in Taiwan. *Journal of Herpetology* 24: 119–126.
- Ukuwela, K.D., A. Silva, B.G. Fry and K.L. Sanders (2014) Multilocus phylogeography of the sea snake *Hydrophis curtus* reveals historical vicariance and cryptic lineage diversity. *Zoologica Scripta* 43(5): 472–484.
- Visser, J. (1967) Color varieties, brood size, and food of South African *Pelamis platurus* (Ophidia: Hydrophiidae). *Copeia* 1967(1): 219–219.
- von Boie, F. (1827) Bemerkungen über Merrem's versuch eines systems der amphibien. *Isis*, 20(1–12): 508–566.
- Wallach, V., K.L. Williams and J. Boundy (2014) Snakes of the world: A catalogue of living and extinct species. Taylor and Francis, CRC Press. 1237.
- Wang, S., H.B. Lillywhite, Y.C. Cheng and M.C. Tu (2013) Variation of traits and habitat use in three species of sea kraits in Taiwan. *Journal of Zoology* 290(1): 19 - 26.
- Wei, H., X. Luo, Y. Zhao and L. Zhao (2015) Intraseasonal variation in the salinity of the Yellow and East China Seas in the summers of 2011, 2012, and 2013. *Hydrobiologia* 754(1): 13–28.
- Welch, K.G.P. (1994) Snakes of the world. A checklist. Vol. 1. Venomous snakes (Eds., Robert E). Krieger Publication, Florida.
- White, C., K.A. Selkoe, J. Watson, D.A. Siegel, D.C. Zacherl and R.J. Toonen (2010) Ocean currents help explain population genetic structure. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 277(1688): 1685–1694.
- Won, H.G. (1971) Amphibian and reptiles of Chosun. Pyeongyang Printing office, Pyeongyang.
- Xu, L.L., D.X. Wu, X.P. Lin and C. Ma (2009) The study of the Yellow Sea Warm Current and its seasonal variability. *Journal of Hydrodynamics* 21(2): 159–165.
- Yamada, M., R. Ishibashi, K. Toyoda, K. Kawamura and A. Komaru (2014) Phylogeography of the brackish water clam *Corbicula japonica* around the Japanese Archipelago inferred from mitochondrial COII gene sequences. *Zoological Science* 31(3): 168–179.
- Zeng, P.N. (2009) The relationship between the Taiwan warm current and Tsushima warm current. *Journal of Hydrodynamics* 21(2): 212–218.
- Zhou, F., H. Xue, D. Huang, J. Xuan, X. Ni, P. Xiu and Q. Hao (2015) Cross-shelf exchange in the shelf of the East China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 120(3): 1545–1572.

# First Record and Origin of the Unrecorded Sea Krait Collected at Jeju and South Sea of Korea

Park Jaejin

*Department of Biology*  
*Graduate School, Kangwon National University*

## Abstract

The sea snake in Family Elapidae is the oceanic reptile group which consists of 62 species in Hydrophiinae (true sea snake) and 8 in Laticaudinae (sea krait) and generally inhabits the tropics and subtropics of the Indian Ocean and the Pacific Ocean. Three Hydrophiini (*Hydrophis platurus*, *H. melanocephalus*, *H. cyanocinctus*) have recorded in Korea, but the research or captured record of sea snakes is very limited. These days, observation of sea snake is increasing at Jeju Island and South Sea of Korea. This situation can be caused by the expansion of sea snakes over their typical distribution range for the long term climate change. In this study, I classified 12 sea snakes captured at Jeju Island and South Sea of Korea between Aug 2015 and Oct 2016 based on morphological and molecular characteristics. In addition, to track their origins, I analyzed the partial mitochondrial cytochrome b sequences of the 12 samples from Korea and compared with the previous study data from Taiwan-Ryukyu archipelagos. The captured sea snakes are determined as *Laticauda semifasciata* that is an unrecorded species in Korea based on the internasal, horizontally divided rostral, three prefrontals, 'V' shaped stripes, number of ventrals, and partial mitochondrial Cytb sequence data. This result is the first report on the detailed characteristics of any sea snake collected in Korea and the first report about Laticaudinae species in Korea. The haplotype analysis result suggests that *L. semifasciata* captured in Korea mainly come from Taiwan and southern Ryukyu regions by Taiwan Warm Current and/or Kuroshio Current. Considering the recent rapid ocean warming in Jeju Island, moved *L. semifasciata* could survive at least during a certain extended period at Jeju Island and/or South Sea of Korea. Further studies and continued monitoring sea kraits at Jeju Island, outside of their typical distribution range, could give insights on how recent climate change affect marine reptiles including sea snakes.

□ Keywords

*sea snake, sea krait, morphology, classification, Laticauda semifasciata, haplotype network*