

한국의 희귀 나비가오리 [*Gymnura japonica* (나비가오리과, 연골어강)]의 분류학적 재검토

김진구* · 유정화¹ · 장서하 · 한경호² · 김병엽³

부경대학교 자원생물학과, ¹유정화해양연구소, ²전남대학교 수산과학과, ³제주대학교 해양과학대학

Taxonomic Review of a Rare Butterfly Ray *Gymnura japonica* (Gymnuridae, Chondrichthyes), in Korea

Jin-Koo Kim*, Jung-Hwa Ryu¹, Seo-Ha Jang, Kyeong-Ho Han² and Byeong-Yeob Kim³

Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

¹Ryujunghwa Marine Research Institute, Busan 47266, Republic of Korea

²Department of Fisheries and Sciences, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

³College of Ocean Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea

We collected a total of four butterfly ray specimens (*Gymnura japonica*, 213.4-695.0 mm in total length) in Korea from 2016 to 2021 and investigated their morphological and molecular characteristics in order to clarify their taxonomic status. These features are summarized as follows. Disc lozenge-shaped, 1.8-2.0 times broader than long. Tail very short, post-cloaca length 23.9-28.2% in disc width. Snout short, no rostral cartilage. Clasper short, no hook. Dorsal surface uniform yellow or brownish grey, with or without rounded light yellow spots. An analysis of 434 base-pair sequences of mitochondrial DNA cytochrome c oxidase subunit I showed that all four specimens corresponded to *G. japonica* from Japan (Kimura-2-parameter distance = 0-0.2%), suggesting that the color patterns found may be due to intraspecific color variation. *G. japonica* resembles *Gymnura poecilura* but differs in that it has a shorter tail length to disc width (23.9-28.2% in *G. japonica* vs. 40.1-48.3% in *G. poecilura*). This study revealed that *G. japonica* occurred in areas affected by the Tsushima Warm Current, tentatively suggesting that *G. japonica* may be an indicator species for monitoring marine ecosystem changes due to climate change.

Keywords: *Gymnura japonica*, Rare butterfly ray, Morphology, COI, Taxonomic review

서론

나비가오리(*Gymnura japonica*)는 연골어강(Chondrichthyes), 매가오리목(Myliobatiformes), 나비가오리과(Gymnuridae)에 속하는 해산어류로, 한국, 중국, 일본, 대만 등 북서태평양에 국한되어 분포한다(Aonuma et al., 2013; Last et al., 2016a; Kim et al., 2019; Froese and Pauly, 2021). 나비가오리과(Gymnuridae) 어류는 전세계적으로 1속 16종(Compagno and Last, 1999; Last et al., 2016b; Yokota et al., 2016; Yokota and Carvalho, 2017)이 알려져 있으며, Yokota et al. (2016)은 과내 중간 외부형태학적 유사성으로 향후 상세한 분류학적 재

검토가 필요하다고 주장하였다. Yokota and Carvalho (2017)는 대서양에서 2신종(*Gymnura lessae*, *Gymnura sereti*)을 보고하면서 골격 등 상세한 해부학적 구조를 소개한 바 있다. 한국에서는 Mori and Uchida (1934)가 처음으로 부산, 군산에서 나비가오리 채집 기록과 함께 *Pteroplatea japonica*라는 학명을 사용하였고, Mori (1952) 및 Chyung (1961)도 이 학명을 따랐다. 그러나 이후 Chyung (1977)은 나비가오리의 속명을 *Pteroplatea*속에서 *Gymnura*속으로 이전하였으며, 오늘까지 형태나 분자 연구 없이 그대로 사용되고 있다(Choi et al., 2002; NIBR, 2011; MABIK, 2021). 최근 한국 및 일본산 전어(*Konosirus punctatus*), 톱상어(*Pristiophorus japonicus*), 까

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

E-mail address: taengko@hanmail.net



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

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0030>

Korean J Fish Aquat Sci 55(1), 30-36, February 2022

Received 19 January 2022; Revised 16 February 2022; Accepted 18 February 2022

저자 직위: 김진구(교수), 유정화(소장), 장서하(대학원생), 한경호(교수), 김병엽(교수)

나리(*Ammodytes japonicus*), 복섬(*Takifugu niphobles*), 승어(*Mugil japonicus*), 떡장어(*Eptatretus burgeri*) 등을 대상으로 집단유전학적 연구에서 잠재종(implicit species)이 확인된 바 있어(Myoung and Kim, 2014; Myoung et al., 2016; Kim et al., 2017; Bae et al., 2020a, 2020b; Song et al., 2020), 나비가오리도 확증 표본에 근거한 분류학적 재검토가 필요한 실정이다. 또한 나비가오리는 최근 개체수가 지속적으로 감소하고 있으며(Yamada et al., 2007), 취약종(Vulnerable)으로 등재됨에 따라(IUCN, 2021) 종 보존을 위한 분류학적 연구가 매우 시급하다. 따라서, 본 연구는 부산, 제주도 및 경상북도 영덕군에서 채집된 나비가오리를 대상으로 형태 및 분자 연구를 수행하여 정확한 분류학적 위치를 진단하고, 형태 특징을 상세히 제공하고 자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용된 나비가오리는 2016년 10월에 부산, 2018년 8월과 2019년 11월에 제주, 2021년 7월에 경상북도 영덕군에서 각각 채집된 나비가오리(*Gymnura japonica*) 4개체(PKU 58843, PKU 61407, PKU 61789, PKU 20644)를 대상으로 형태 및 분자 분석을 수행하였다(Fig. 1). 종의 동정은 Aonuma et al. (2013), Yokota et al. (2016), Muktha et al. (2018)을 참고하였다. 측정은 Smith et al. (2009), Jacobsen and Bennett (2009)를 참고하여 일부 줄자로 측정하였으며 대부분 버니어 캘리퍼스를 이용하여 0.01 mm 단위까지 측정하였다. 본 논문에서 사용된 측정 부위의 약어는 다음과 같다: D_E , eye diameter; D_{G1} , first gill transverse distance; D_{G5} , fifth gill transverse distance; L_{AP} , anterior pectoral length; L_{APV} , anterior pelvic length; L_B , body length; L_{CS} , caudal spine length; L_D , disc length; L_{HP} , head length; L_{NC} , nasal curtain length; L_{PN} , pre-narial length; L_{POBS} , pre-orbital snout length; L_{POLS} , pre-orbital snout length; L_{PP} , posterior pectoral length; L_S , spiracle length; L_{SG1} , snout to first gill length; L_{SV} , snout to vent length; L_T , total length; L_{TA} , tail length; S_p , pelvic span; W_D , disc width; W_{IN} , inter-narial width; W_{IO} , inter-orbital width; W_{IS} , inter-spiracular width; W_M , mouth width; W_{NC} , nasal curtain width. 또한 내부골격을 파악하기 위해 X-ray 촬영기기(SFX-100; SOFTEX, Tokyo, Japan)를 이용하여 골격 구조를 촬영하였으며, 골격 명칭은 Kim (1989) 및 Yokota and Carvalho (2017)을 참고하였다. 분자분석을 위해 각 개체의 근육조직에서 DNA extraction kit (AccuPrep Genomic DNA Extraction Kit; Bioneer, Daejeon, Korea)를 이용하여 total DNA를 추출하였다. 중합효소연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)은 미토콘드리아 DNA의 cytochrome c oxidase subunit I (mtDNA COI) 영역을 대상으로 실시하였으며, Ward et al. (2005)가 제작한 FishF2 (5'-TCG ACT AAT CAT AAA GAT ATC GGC AC-3')와 FishR2 (5'-ACT TCA GGG TGA CCG

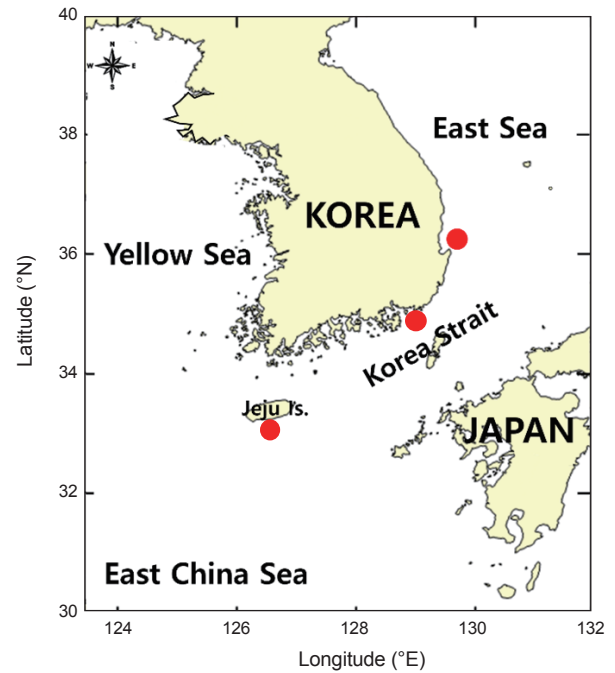


Fig. 1. Sampling sites of *Gymnura japonica* (●).

AAG AAT CAG AA-3') primer를 이용하였다. Polymerase chain reaction (PCR)은 10X PCR buffer 2 μ L, 2.5 mM dNTP 1.6 μ L, VF2 primer 1 μ L, FishR2 primer 1 μ L, Takara Taq polymerase 0.1 μ L를 섞은 혼합물에 total DNA 2 μ L를 첨가한 후, 총 20 μ L가 될 때까지 3차 증류수를 넣고 thermal cycler (TaKaRa PCR Thermal Cycler Dice® Touch, Japan)를 이용하여 다음과 같은 조건에서 PCR을 수행하였다[Initial denaturation 95°C에서 5분; PCR reaction 35 cycles (denaturation 95°C에서 30초, annealing 54°C에서 45초, extension 72°C에서 1분); final extension 72°C에서 5분]. 염기서열은 ABI PRISM 3730XL analyzer (96 capillary type, Applied Biosystems, Foster City, CA, USA)에서 ABI BigDye (R) Terminator v3.1 cycle sequencing kits (Applied Biosystems)을 이용하여 얻었다. 염기서열 정렬은 BioEdit version 7 (Hall, 1999)의 ClustalW (Thompson et al., 1994)을 이용하였으며, 유전거리는 MEGA X (Kumar et al., 2018)의 Kimura 2-parameter 모델 (Kimura, 1980)을 이용하여 계산하였다. 종간 유연관계를 나타내기 위하여 근린결합수(neighbor-joining tree)를 작성하였으며 bootstrap은 1,000번 수행하였다. 염기서열 비교를 위해 NCBI (National Center for Biotechnology Information) database에 등록된 일본산 나비가오리(EU398803, EU398799)를 비롯, 나비가오리속 6종(*G. poecilura*, KJ617038; *G. australis*, JN313262; *G. micrura*, HQ575767; *G. natalensis*, HQ946000; *G. marmorata*, GU440333; *G. altavela*, KF808207)을 사용하였으며, 외집단은 NCBI에 등록된 매가오리(*Mobula japonica*)

1개체(KY489759)의 염기서열을 사용하였다. 분석한 나비가오리 4개체의 염기서열은 NCBI database에 등록하였다[PKU 61407 (OM019116), PKU 58843 (OM019117), PKU 61789 (OM019118), PKU 20644 (OM019119)].

결 과

나비가오리 *Gymnura japonica* (Temminck and Schlegel, 1850) (Fig. 2, Fig. 3)

Pteroplatea japonica Temminck and Schlegel, 1850: 309 (Type locality: Nagasaki Bay, Japan); Mori and Uchida, 1934: 14 (Busan, Gunsan); Mori, 1952: 26 (Busan, Gunsan, Jejudo Is.); Chyung, 1961: 119 (Korea).

Gymnura japonica: Chyung, 1977: 97 (Korea); Masuda et al., 1984: 16 (Japan); Cheng and Zheng, 1987: 41 (China); Shen, 1994: 87 (Taiwan); Choi et al., 2002: 65 (Korea); Yamada et al., 2007: 127 (Japan); Aonuma et al., 2013: 227 (Japan); Yokota et al., 2016: 515; Kim et al., 2019: 81 (Busan, Jejudo Is.).

관찰재료

표본번호 PKU 58843 1개체, 수컷, 전장 213.4 mm, 부산시 민락항, 2016년 10월 16일, 채집자 이우준; 표본번호 PKU 61407 1개체, 암컷, 전장 695.0 mm, 제주도 서귀포항, 2018년 8월 29일, 채집자 김병엽; 표본번호 PKU 61789 1개체, 수컷, 전장 385.0 mm, 제주도 서귀포항, 2019년 11월 13일, 채집자 손민수; 표본번호 PKU 20644 1개체, 수컷, 전장 510.0 mm, 영덕군 강구항, 2021년 7월 28일, 정치망에서 채집, 채집자 채숙자.

기재

몸은 전체적으로 얇고 납작한 종편형이다. 주둥이 선단부는 약간 볼록하게 돌출되어 있으며 머리는 좌우로 넓게 확장되어 있다. 가슴지느러미는 좌우로 심하게 확장되어 마름모꼴 형태를 하고 있으며, 체반폭(disc width)이 체반장(disc length)보다 1.8-2.0배 크다. 체반의 앞가장자리는 부드럽게 만입된 부위를 가지며, 체반의 뒷가장자리는 거의 일직선에 가깝다. 주둥이는 짧다. 눈은 매우 작고 약간 돌출되어 있으며, 눈뿔개는 타이어 바퀴처럼 생겼다. 눈의 바로 뒤에는 안경(eye diameter)보다 약간 큰 분수공(spiracle)이 있고, 분수공의 뒷가장자리 안쪽에는 촉수(tentacles)가 없다. 입은 작고 몸의 배면에 부드럽게 휘어진 형태로 존재하며, 양턱의 이빨은 작고 뭉툭하며 다열로 촘촘이 줄지어 있다. 콧구멍은 작고 좌우 1쌍이 존재하며 중앙 부위에 콧구멍 덮개(nasal curtain)를 가진다. 새열(gill slit)은 좌우 5쌍이 존재하고, 첫번째 새열이 가장 크고, 마지막 새열이 가장 작다. 수컷의 꼬미기(clasper)는 짧고 뒤로 갈수록 좁아지며, 갈고리(hook)는 없다. 피부는 매끄럽고 어떠한 가시도 없다. 꼬리

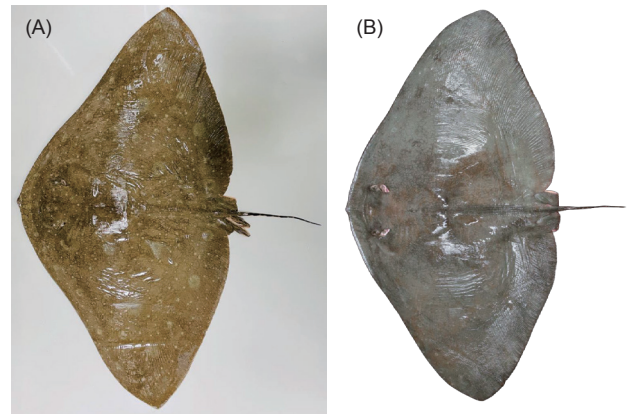


Fig. 2. Photo of *Gymnura japonica*. A, PKU 20644, 655.0 mm in disc width; B, PKU 61407, 982.0 mm in disc width.

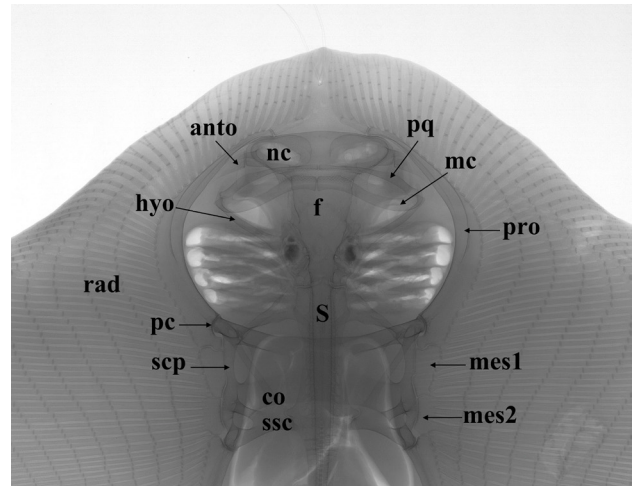


Fig. 3. X-ray photo of head region of *Gymnura japonica*. PKU 58843, 312.0 mm in disc width. anto, antorbital cartilage; co, coracoid cartilage; f, fontanelle; hyo, hyomandibula; mc, Meckel's cartilage; mes 1, mesopterygium 1; mes 2, mesopterygium 2; nc, nasal capsule; pc, procondyle; pq, palatoquadrate; pro, propterygium; rad, radials; S, synarcual; scp, scapulocoracoid; ssc, suprascapular cartilage.

는 매우 짧아서 체반폭의 28% 이하이고, 횡단면이 원형에 가깝지만 배쪽으로 약간 종편되어 있다. 꼬리의 기저 근처에 등쪽으로 작지만 1개의 날카로운 독 가시(sting)가 솟아 있고, 등지느러미, 뒷지느러미 및 꼬리지느러미는 없다(Fig. 2). 주둥이 연골(rostral cartilage)이 없다. 비각(nasal capsule)은 타원 형태로, 좌우 1개씩 존재한다. 비각 뒤쪽에는 부드럽게 휘어진 가늘고 긴 구개방연골(palatoquadrate)이 있고, 그 뒤쪽으로 좀더 휘어진 맥켈스씨 연골(Meckel's cartilage)이 위치한다. 두개골

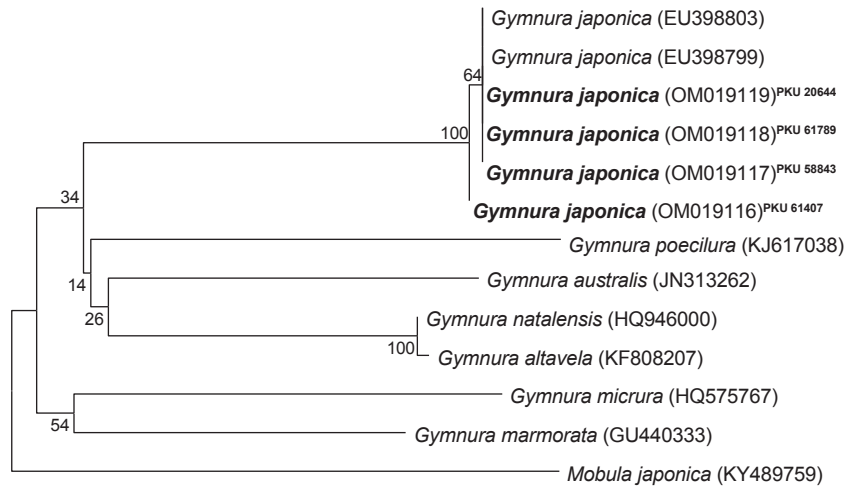


Fig. 4. Neighbor joining tree based on 434 base pairs of mitochondrial DNA COI sequences, showing relationship between *Gymnura japonica*, six *Gymnura* spp. and one outgroup (*Mobula japonica*). Numbers above tree branches are bootstrap values based on 1000 replicates. Parentheses and superscripts indicate NCBI number and voucher number, respectively. Scale bar indicate genetic distance of 0.02.

(cranium)의 등쪽 중앙에는 움푹 패인 천문(fontanelle)이 희미하게 관찰되며 두개골 후단부에는 긴 막대모양의 synarcual이 위치한다. 가슴지느러미를 지지하는 복사연골(radials)은 활처럼 휘어진 전담기연골(propterygium)에 붙어 있고, 그 아래쪽은 중담기연골1-2 (mesopterygium 1-2)에 붙어 있다. 중담기연골 1-2의 안쪽으로는 견갑오혜골(scapulocoracoid), 오혜연골(coracoid cartilage), 상견갑연골(suprascapular cartilage)이 위치한다(Fig. 3).

체색

체반의 등쪽은 균일하게 황색 또는 회갈색을 띠고, 작은 2개체(전장 213.4 mm, 385.0 mm)는 체반의 등쪽에 어떠한 반점도 없으나, 큰 2개체(전장 510.0 mm, 695.0 mm)는 동공 또는 그보다 작은 둥근 담황색 반문을 가진다. 이 둥근 반문은 전장 510 mm 개체에서는 뚜렷하게 관찰되나, 전장 695.0 mm 개체에서는 희미하게 관찰된다. 체반의 배쪽은 균일하게 희거나 은은한 살색 또는 갈색을 띠고 가장자리는 암갈색을 띤다. 꼬리에는 4-6개의 암갈색 띠(band)가 있다. 수컷의 경우 교미기의 등쪽은 암갈색을 띠고 배쪽은 연분홍색을 띤다.

분포

한국 제주도, 남해, 동해남부(본 연구; Choi et al., 2002), 중국 남중국해, 발해(Cheng and Zheng, 1987), 대만(Shen, 1994), 일본 북해도 이남(Yamada et al., 2007).

분자분석

미토콘드리아 DNA COI 영역의 염기서열 434 bp를 확보하여 *Gymnura*속 어류 6종과 비교한 결과, 한국산 나비가오리 (*G. japonica*) 4개체(PKU 58843, PKU 61789, PKU 20644,

PKU 61407) 간에는 99.8-100% 일치하였으며, NCBI에 등록된 일본산 나비가오리 2개체(EU398803, EU398799)와도 0-0.2% 차이를 보여 동종임을 확인할 수 있었다. 동일 속에서는 *G. natalensis* (HQ946000)와 15.6-15.9% 차이를 보였고, *G. altavela* (KF808207)와 15.9-16.2%, *G. australis* (JN313262)와 17.0-17.4%, *G. marmorata* (GU440333)와 17.1-17.4%, *G. poecilura* (KJ617038)와 18.9-19.2%, *G. micrura* (HQ575767)와 19.0-19.3% 차이를 보여 잘 구분되었다(Fig. 4).

고 찰

나비가오리는 최초 Temminck and Schlegel (1850)에 의해 일본 나가사키에서 채집된 표본을 근거로 신종 보고되었으며, 이후 한국(Mori and Uchida, 1934; Chyung, 1961; Choi et al., 2002; Kim et al., 2019), 중국(Cheng and Zheng, 1987), 대만(Shen, 1994), 일본(Aonuma et al., 2013) 등 북서태평양에 국한되어 분포하는 것으로 알려져 있다(Froese and Pauly, 2021). 한국산 나비가오리 4개체의 계측형질을 체반폭(disc width)에 대한 백분비로 구한후 Jacobsen and Bennett (2009)의 일본산 나비가오리 9개체와 비교한 결과 대부분 일치하였으나, 두장(head length)에서만 한국산 나비가오리가 14.2-16.9%인 반면, 일본산 나비가오리는 20.7-22.6%로 약간 차이를 보였다. 나비가오리의 국내 출현은 매우 드문데, 실제 표본에 의거 보고된 사례는 거의 없다. Chyung (1977) 및 Choi et al. (2002)에 의하면 나비가오리의 체반 등쪽은 진한 갈색 바탕에 작은 검은 점들이 조밀하게 분포한다고 기술하여 본 조사결과와 차이를 보였다. 한편, Yamada et al. (2009)에 의하면 황해, 동중국해 나비가오리의 체반 등쪽은 진한 갈색 바탕에 작은 어두운 점들이 있

는 경우와 없는 경우가 함께 존재한다고 하여 본 조사결과와 일부 일치하였으며, 두 개체(전장 510.0 mm, 695.0 mm)에 한해서는 갈색 바탕에 밝은 둥근 반문을 가져 차이를 보였다. 한편, Yokota et al. (2016)에 의하면 가끔 나비가오리의 체반 등쪽에 밝은 반문을 가지는 경우도 있다고 언급한 바 있다. 상기 두장에서의 차이와 체색 차이가 종간 변이인지 알아보기 위해 분자 분석을 실시한 결과 한국산 4개체는 99.8-100% 일치하여 종내 변이로 생각되었다. 또한 한국산 4개체는 일본산 나비가오리 2개체(EU398799, EU398803)와 0-0.2%의 유전적 차이를 보여 동종임을 확인할 수 있었다. 나비가오리는 형태 및 체색에서 동속의 *Gymnura poecilura*와 매우 유사하지만, 나비가오리는 꼬리길이가 체반장의 절반 수준인 반면, *G. poecilura*는 꼬리길

이가 체반장과 거의 유사하여 잘 구분된다(Table 1). 또한, *G. poecilura*는 나비가오리와 COI 염기서열에서 18.9-19.2%의 유전적 차이를 보여 잘 구분되었으며(Fig. 4), 나아가 *G. poecilura*는 꼬리에 9-12개의 암갈색 띠를 가지는 점에서도 잘 구분된다(Muktha et al., 2018). 나비가오리와 어류는 전세계적으로 1속 16종(Compagno and Last, 1999; Last et al., 2016a; Yokota et al., 2016; Yokota and Carvalho, 2017)이 알려져 있으며, 외형과 체색에서 매우 유사하여 여러 형질을 함께 사용해야 분류가 가능하다(Yokota et al., 2016). Yokota et al. (2016)에 의하면 나비가오리와 어류의 유용한 분류형질로 1)분수공에 촉수의 유무, 2)등지느러미의 유무, 3)꼬리(tail)의 상대적 크기, 4)꼬리에 암갈색 띠(band)의 수 등이 제안되었다. 그러나, *G.*

Table 1. Comparison of measurements (% in DW) between *Gymnura japonica* and *Gymnura poecilura*

Registration number	<i>Gymnura japonica</i>				<i>Gymnura japonica</i>	<i>Gymnura poecilura</i>
	PKU 58843	PKU 61789	PKU 20644	PKU 61407	Jacobsen and Bennett (2009)	Muktha et al. (2018)
Gender	male	male	male	female	-	-
Total length (mm)	213.4	385.0	510.0	695.0	216.7-523.5	166.1-433.8
Disc width (mm, DW)	312.0	540.0	655.0	982.0	315.0-725.0	202.5-464.0
% in DW						
Anterior pectoral length	61.03	61.67	62.6	61.1	57.1-61.5	56.6-62.3
Posterior pectoral length	48.64	50.93	48.85	49.90	47.2-52.1	49.4-54.8
Body length	54.72	53.15	56.49	52.95	50.9-54.1	49.1-53.6
Disc length	49.37	51.48	54.96	50.92	50.0-54.0	49.8-53.6
Head length	16.97	14.25	16.52	15.53	20.7-22.6	19.8-23.6
Pre-orbital snout length	11.1	7.04	6.99	8.04	9.4-10.4	8.4-10.5
Inter-orbital width	9.57	11.11	10.5	9.16	11.1-11.7	10.3-12.8
Inter-spiracular width	11.57	8.7	8.76	8.96	8.9-9.6	8.2-9.8
Snout to vent length	43.83	46.3	46.85	45.82	42.2-45.5	40.4-44.8
Snout to first gill length	15.63	15.19	14.61	12.73	15.6-18.2	14.5-17.1
Fifth gill transverse distance	10.72	10.19	11.33	12.22	10.6-11.5	10.0-12.5
First gill transverse distance	12.1	11.11	15.59	17.31	15.9-17.7	15.5-18.5
Anterior pelvic length	9.37	11.11	7.8	7.13	6.9-8.2	7.2-9.2
Pelvic span	3.61	4.07	7.89	9.67	7.5-8.6	7.2-8.0
Pre-narial length	9.05	9.81	8.46	8.15	7.6-8.4	6.9-8.3
Pre-oral snout length	11.26	10.56	9.07	10.18	8.5-9.1	7.3-8.9
Nasal curtain length	2.14	1.3	1.69	2.04	1.8-2.4	1.9-2.6
Inter-narial width	8.01	7.04	7.05	7.13	6.5-7.1	6.0-7.4
Nasal curtain width	8.19	9.26	9.63	8.45	7.7-8.4	7.1-13.7
Mouth width	9.86	8.89	9.62	9.67	8.7-9.5	5.7-10.0
Tail length (post-cloacal length)*	24.27	24.07	28.24	23.93	25.6-27.5	40.1-48.3
Spiracle length	2.45	2.78	2.31	4.07	3.3-3.8	2.4-4.4
Eye diameter	2.32	1.67	1.33	2.55	1.2-1.9	1.2-2.6
Caudal spine length	2.17	1.85	-	2.34	2.6-4.5	2.4-2.6

*poecilura*의 경우 유전적으로 명확히 구분되는 잠재종(Muktha et al., 2018; K2P 유전거리는 13.6%)이 발견됨에 따라 상세한 골학적 연구 등이 필요하다. Yokota and Carvalho (2017)은 *G. lessae*, *G. sereti* 2신종을 보고하면서 견갑오뎀골(scapulocoracoid), synarcual, 두개골 천문(cranium fontanelle), 중담기연골(mesopterygia), 설악골(hyomandibula) 등을 주요 분류형질로 제안하였다. 본 연구에서는 X-ray 촬영기기의 한계로 상세한 골격 구조는 파악하기 어려웠지만 향후 CT-scan과 같은 좀더 정밀한 장비를 이용한 후속 연구가 필요하다. IUCN (2021)에 의하면 나비가오리는 2019년 8월 취약종(Vulnerable)으로 등재되었으며, 현재까지 개체수가 지속적으로 감소하는 것으로 알려져 있다. 나비가오리의 개체수 감소 원인은 산출새끼수(2-8마리)가 적고, 서식수심이 100 m보다 얕은 점에서(Yamada et al., 2007) 환경오염이나 유령어업 등과 연관이 있을 것으로 생각된다. Yamada et al. (2007)에 의하면 나비가오리는 과거 저층트롤로 동중국해에서 소량 어획되었으나 최근에는 거의 어획되지 않는다고 보고하였다. 이번 연구로 나비가오리가 대마난류의 영향을 많이 받는 해역(제주도, 부산, 영덕)에서 고수온기(7-11월)에 주로 출현하는 새로운 정보를 얻을 수 있었다. 과거 Mori and Uchida (1934)가 군산 앞바다에서 나비가오리 출현 기록을 보고한 바 있지만, 최근까지 서해에서 채집된 기록이 전무하기 때문에 그 근거가 희박하다.

한편, 2009-2013년 우리나라 전해역(서해 제외)에서 정치망에서 어획된 어종을 대상으로 군집분석을 실시한 결과, 3개의 생태권(동해, 제주-남해동부, 남해서부)을 형성하는 것으로 확인된 바 있다(Ryu and Kim, 2020). 그러나, 나비가오리가 최근 경북 영덕에서 출현한 것은 대마난류가 동해남부까지 영향을 미치고 있음을 시사한다. 2020-2021년 포항에서 나비고기과 2미기록종(*Chaetodon speculum*, *Heniochus diphreutes*)이 출현한 것도 이를 잘 반영해 주는 연구사례이다(Lee and Kim, 2021; Lee et al., 2021). 향후 나비가오리의 출현지역을 지속적으로 모니터링한다면 아열대어류의 북상 정도를 짐작하는데 귀중한 자료로 활용 가능할 것이다.

사 사

X-ray 촬영에 도움을 주신 권혁준박사님(국립해양생물자원관), 유전자분석에 도움을 주신 김진석님께 감사드립니다. 또한, 시료 채집에 도움을 주신 채숙자님(포항 죽도시장), 이우준님(해양생물다양성연구소), 손민수님(국립수산과학원)께 감사드립니다. 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의하여 연구되었습니다.

References

Aonuma Y, Yamaguchi A, Yoshino T and Yagishita N. 2013. Gymnuridae. In: Fishes of Japan with pictorial keys to

the species, 3rd ed. Nakabo T, ed. Tokai University Press, Kanagawa, Japan, 227.

Bae SE, Kim EM, Park JY and Kim JK. 2020a. Population genetic structure of grass puffer (Tetraodontiformes: Tetraodontidae) in the northwestern Pacific revealed by mitochondrial DNA sequences and microsatellite loci. *Mar Biodiversity* 50, 19. <https://doi.org/10.1007/s12526-020-01042-2>.

Bae SE, Kim JK and Li C. 2020b. A new perspective on biogeographic barrier in the flathead grey mullet (Pisces: Mugilidae) from the northwest Pacific. *Genes Genomics* 42, 791-803. <https://doi.org/10.1007/s13258-020-00942-8>.

Cheng Q and Zheng B. 1987. Systematic synopsis of Chinese fishes. Science Press, Beijing, China, 539.

Choi Y, Kim JH and Park JY. 2002. Marine fishes of Korea. Kyohaksa, Seoul, Korea, 646.

Chyung MK. 1961. Illustrated Encyclopedia: The Fauna of Korea. 2. Fishes, Ministry of Education, Seoul, Korea, 861.

Chyung MK. 1977. The fishes of Korea. Ilji-sa, Seoul, Korea, 727.

Compagno LJV and Last PR. 1999. Gymnuridae. In: FAO species identification guide for fishery purposes. the living marine resources of the Western Central Pacific. volume 3. Batoid fishes, chimaeras and bony fishes part 1 (Elopidae to Linophrynidae). Carpenter KE, Niem VH, eds. FAO, Rome, Italy, 1397-2068.

Froese R and Pauly D. 2021. FishBase. World Wide Web electronic publication. Retrieved from www.fishbase.org on May 1, 2021.

Hall TA. 1999. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symp Ser* 41, 95-98.

IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2021. The IUCN red list of threatened species. Version 2021-3. Retrieved from <https://www.iucnredlist.org> on 17 Jan, 2022.

Jacobsen IP and Bennett MB. 2009. A taxonomic review of the Australian butterfly ray *Gymnura australis* (Ramsay & Ogilby, 1886) and other members of the family Gymnuridae (order Rajiformes) from the Indo-West Pacific. *Zootaxa* 2228, 1-28. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.2228.1.1>.

Kim JK, Bae SE, Lee SJ and Yoon MG. 2017. New insight into hybridization and unidirectional introgression between *Ammodytes japonicus* and *Ammodytes heian* (Pisces, Ammodytidae). *PLoS ONE* 12, e0178001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178001>.

Kim JK, Ryu JH, Kwun HJ, Ji HS, Park JH, Myoung SH, Song YS, Lee SJ, Yu HJ, Bae SE, Jang SH and Lee WJ. 2019. Distribution map of sea fishes in Korean peninsula. Ministry of Oceans and Fisheries, Korea Institute of Marine Science and Technology Promotion and Pukyong National University, 541.

Kim YU. 1989. Introduction for Ichthyology. Taehwa, Seoul,

- Korea, 270.
- 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. <https://doi.org/10.1007/BF01731581>.
- Kumar S, Stecher G, Li M, Knyaz C and Tamura K. 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol Biol Evol* 35, 1547-1549. <http://doi.org/10.1093/molbev/msy096>.
- Last PR, White WT, Carvalho MR, Séret de B, Stehmann MFW and Naylor GJP. 2016a. Rays of the World. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 511-521.
- Last PR, White WT and Séret B. 2016b. Taxonomic status of maskrays of the *Neotrygon kuhlii* species complex (Myliobatoidei: Dasyatidae) with the description of three new species from the Indo-West Pacific. *Zootaxa* 4083, 533-561. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4083.4.5>.
- Lee YJ and Kim JK. 2021. New record of the schooling bannerfish *Heniochus diphreutes* (Perciformes: Chaetodontidae) from Pohang, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 1017-1022. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.1017>.
- Lee YJ, Song YS and Kim JK. 2021. First record of juvenile of the mirror butterflyfish, *Chaetodon speculum* Cuvier, 1831 (Perciformes: Chaetodontidae) collected from Pohang, Korea. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 57, 374-381. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.4.374>.
- MABIK (Marine Biodiversity Institute of Korea). 2021. National list of marine species. Namu Press, Seochon, Korea.
- Masuda H, Amaoka K, Araga C, Uyeno T and Yoshino T. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 370.
- Mori T and Uchida K. 1934. A revised catalogue of the fishes of Korea. *J Chosen Nat Hist Soc* 19, 12-33.
- Mori T. 1952. Check list of the fishes of Korea. *Mem Hyogo Univ Agric* 1, 1-228.
- Muktha M, Akhilesh KV, Sandhya S, Jasmin F, Jishnudev MA and Kizhakudan SJ. 2018. Re-description of the longtail butterfly ray, *Gymnura poecilura* (Shaw, 1804) (Gymnuridae: Myliobatiformes) from Bay of Bengal with a neotype designation. *Mar Biodiversity* 48, 1085-1096. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0552-8>.
- Myoung SH and Kim JK. 2014. Genetic diversity and population structure of the gizzard shad *Konosirus punctatus* in Korean waters based on mitochondrial DNA control region sequences. *Genes Genomics* 36, 591-598. <https://doi.org/10.1007/s13258-014-0197-6>.
- Myoung SH, Kim JK, Song CB and Kai Y. 2016. Taxonomic review of *Pristiophorus japonicus* complex (Pristiophoridae, Chondrichthyes) in the Northwest Pacific. *J Marine Life Sci* 1, 8-17. <https://doi.org/10.23005/KSMLS.2016.1.1.8>.
- NIBR (National Institute of Biological Resources). 2011. National list of species of Korea (Vertebrates). NIBR, Incheon, Korea.
- Ryu JH and Kim JK. 2020. Diversity and assemblage structure of marine fish species collected by set net in Korean peninsula during 2009-2013. *Ocean Sci J* 55, 581-591. <http://doi.org/10.1007/s12601-020-0041-7>.
- Shen SC. 1994. Fishes of Taiwan. Department of Zoology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, 960.
- Smith WD, Bizzarro JJ, Richards VP, Nielsen J, Marquez-Farias F and Smivji MS. 2009. Morphometric convergence and molecular divergence: the taxonomic status and evolutionary history of *Gymnura crebripunctata* and *Gymnura marmorata* in the eastern Pacific Ocean. *J Fish Biol* 75, 761-783. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2009.02300.x>.
- Song YS, Bae SE, Kang JH, Park JY and Kim JK. 2020. Cryptic diversity in the inshore hagfish, *Eptatretus burgeri* (Myxiniidae, Pisces) from the northwest Pacific. *Mitochondrial DNA part B-Resources* 5, 3428-3432. <https://doi.org/10.1080/23802359.2020.1823256>.
- Temminck CJ and Schlegel H. 1850. Pisces. In: Fauna Japonica, sive descriptio animalium, quae in itinere per Japoniam suscepto annis 1823-1830 collegit, notis, observationibus et adumbrationibus illustravit. Siebold PF de, ed. Lugduni Batavorum [Leiden] (A. Arnz et soc.), Last part (15), 270-324. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.124951>.
- Thompson JD, Higgins DG and Gibson TJ. 1994. CLUSTALW: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res* 22, 4673-4680. <https://doi.org/10.1093/nar/22.22.4673>.
- Ward RD, Zemlak TS, Innes BH, Last PR and Hebert PDN. 2005. DNA barcoding Australia's fish species. *Phil Trans R Soc B* 360, 1847-1857. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1716>.
- Yamada U, Tokimura M, Horikawa H and Nakabo T. 2007. Fishes and fisheries of the East China and Yellow Seas. Tokai University Press, Tokyo, Japan, 1262.
- Yamada U, Tokimura M, Hoshino K, Deng S, Zheng Y, Li S, Kim YS and Kim JK. 2009. Names and illustrations of fishes from the East China Sea and the Yellow Sea -Japanese-Chinese-Korean-, new edition. Overseas Fishery Cooperation Foundation of Japan, Tokyo, Japan, 784.
- Yokota L and Carvalho MR. 2017. Taxonomic and morphological revision of butterfly rays of the *Gymnura micrura* (Bloch & Schneider, 1801) species complex, with the description of two new species (Myliobatiformes: Gymnuridae). *Zootaxa* 4332, 1-74. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4332.1.1>.
- Yokota L, White WT and Carvalho MR. 2016. Butterfly rays, Family Gymnuridae. In: Rays of the World. Last PR, White WT, Carvalho MR, Séret B, Stehmann MFW and Naylor GJP, eds. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia, 511-521.