

서해 연안에 서식하는 넙치 (*Paralichthys olivaceus*)의 성숙과 산란

고수진 · 노태형 · 최동혁 · 윤병일 · 김맹진¹ · 이승환*

Maturity and Spawning of the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea by Su Jin Koh, Tae Hyoung Roh, Dong Hyuk Choi, Byeong Il Youn, Maeng Jin Kim¹ and Seung Hwan Lee* (West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science (NIFS), Incheon 22383, Republic of Korea; ¹East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Republic of Korea)

ABSTRACT This study revealed the reproductive biology of the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, in the middle of the West Sea of Korea. We collected samples using stow net and drag net fisheries in coastal waters from January to December 2023. Monthly gonadosomatic index and maturity stage results showed that the spawning period was April to June for females and March to June for males. Females grew faster than the males. The fecundity ranged from 90,387 to 994,658 number of eggs, and the relationship between TL and fecundity (F) was $0.01TL^{2.4896}$ ($R^2 = 0.2862$). The gonadosomatic index (GSI) exhibited its highest values in May for females and in March for males, coinciding with the primary spawning period. The total length required for 50% sexual maturity was determined through a logistic regression model and the females was estimated to be 49.4 cm and the males was estimated to be 36.5 cm.

Key words: Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, maturity, spawning period, West Sea of Korea

서 론

넙치는 가자미목 (Pleuronectiformes) 넙치과 (Paralichthyidae)에 속하는 저서성 어류로 우리나라 전 연안, 일본, 쿠릴열도, 남중국해의 수심 10~200 m의 연안에 서식하며, 주로 어류와 갑각류를 섭이한다고 알려져 있다 (Kim *et al.*, 2005).

넙치는 우리나라를 비롯한 많은 국가에서도 상업적으로 가치가 높아 중요 수산자원으로 이용되고 있으며, 지속적인 자원이용을 위한 관리가 시행하고 있다. 서해 (인천광역시, 경기도, 충청남도, 전라북도)의 넙치류 어획량은 2010년 최고 6,035여 톤이었으며, 점차 감소하여 3,000~5,000톤 정도의 어획량을 유지하고 있다 (KOSIS, 2023). 넙치는 연안어업인 자망, 안강망, 연안 복합 등에서 주로 어획되며, 생산단가가 높아 상업적으로 중요한 위치를 차지하는 어종이다 (KOSIS, 2023).

넙치의 연구동향을 살펴보면, 태안 연안에서 서식하는 넙

치의 식성 (Huh *et al.*, 2010), 동해 울진 바다목장에 서식하는 넙치의 식성 (Choi *et al.*, 2011), 동해의 수산자원관리를 위한 넙치 망목 크기 선택성 조사 (Yu *et al.*, 2023) 등이 있었고, 국외 연구로는 동부 베링해의 넙치에 대한 성숙도 (Todd and Thomas, 2015), 넙치의 거시적 성숙도 결정 개선 (Stephen *et al.*, 2013), 일본 북부 태평양 수컷 일본 넙치 성장과 성숙도 (Michio *et al.*, 2007a), 일본 북부태평양 연안의 일본 넙치의 연령 검증 및 성장 가변성 (Michio *et al.*, 2007b) 등이 있었다.

어류의 산란생태에 관한 연구는 종의 생활사를 이해하고 자원량 평가를 위한 정보를 제공 하는데 있어서 중요하다 (Coleman *et al.*, 1996). 특히 산란기와 성숙체장에 관한 정보는 산란에 참여하는 개체를 보호하고 재생산량을 극대화시킬 수 있는 다양한 정책 (최소 어획크기 제한, 산란장에서의 시·공간적 어획 제한 등)을 마련하는데 중요한 파라미터가 된다 (Sadovy, 1996).

최근 전 지구적인 기후변화의 영향으로 연근해 어장의 수온 상승과 기술에 따른 어구어법의 발달 등 연근해 어업환경이 급속하게 변화하고 있으며, 이러한 변화로 인해 수산자원의 성장의 변화, 성숙 및 산란습성, 생식주기 등 생물학적 특

저자 직위: 고수진 (박사후연구원), 노태형 (박사후연구원), 최동혁 (박사후연구원), 윤병일 (박사후연구원), 김맹진 (해양수산연구원), 이승환 (해양수산연구원)

*Corresponding author: Seung Hwan Lee Tel: 82-32-745-0618, Fax: 82-32-745-0569, E-mail: hwan2915@korea.kr

성치가 과거의 양상과 다르게 나타날 뿐만 아니라(Cardinale and Modin, 1999; Engelhard and Heino, 2004), 가입량과 산란 자원에 미치는 영향도 고려해야 한다고 보고하고 있다(Zhang *et al.*, 2000; Dominguez-Petit *et al.*, 2008).

따라서 본 연구는 서해 연안에서 서식하는 넙치에 대한 국내 성숙과 산란에 관한 연구는 전무한 상태이기에 해역별 효율적인 관리방안을 마련하기 위한 기초자료로서 서해 중부해역에 서식하는 넙치의 성숙도, 생식소속도(GSI), 난경, 포란수 및 균성속도 등을 매월 분석하여 서해 중부해역 넙치의 성숙과 산란 특성을 밝히고자 한다.

재료 및 방법

이 연구에 사용된 넙치는 2023년 1월부터 12월까지 서해 중부해역에서 안강망 어업과 자망 어업에 의해 어획된 어체를 대상으로 분석하였다(Fig. 1). 넙치는 실험실에서 개체별로 전장(total length, TL) 0.1 cm, 체중(body weight, BW)을 0.1 g까지 측정하고, 해부하여 생식소 중량(gonad weight, GW)은 0.01 g까지 측정하였다. 생식소의 발달과정을 관찰하기 위해 생식소의 크기와 색, 난립의 크기 등을 육안으로 판별하였고, 조직분석을 통해 미숙단계(Immature stage), 중숙단계(Maturing stage), 성숙단계(Mature stage), 완숙단계(Ripe stage), 방후 및 회복단계(Spawning & Recovery stage) 5단계로 구분하여 분석하였지만, 결과 부분 수컷의 성숙단계는 방중단계(Spawning stage)를 추가하여 6단계로 구분하였다.

산란기를 추정하기 위해 암컷의 생식소 성숙도와 생식소중량 지수(gonadosomatic index, GSI)의 월변화를 분석하였고, 생식소 중량지수는 다음 식을 이용하였다.

$$GSI = GW/BW \times 100$$

생식소 발달과정을 조사하기 위하여 난소 일부를 Bouin's 용액에 24시간 고정한 후 24시간 세수하여 70% 알코올에 재고정 하였다. 조직표본을 제작하기 위해 생식소를 5 mm 두께로 절단하여 소편을 만들었으며, 파라핀 절편법에 의해 두께 5~6 μm의 절편을 제작한 후, Hansen's haematoxyline과 0.5% eosin으로 비고 염색 하였다. 포란수는 산란기간 동안 방란의 흔적이 없는 성숙한 개체의 난소에 대하여 습중량법(Bagenal and Brown, 1978)으로 구하였다.

$$F = (A - B)/C \times e$$

여기서, A는 난소의 중량, B는 난소 껍질의 중량, C는 난소 일부의 중량, e는 C에서 계수된 난의 수이다.

50.0% 전장은 산란기로 추정되는 시기에 중숙 이상의 개체를 당해 산란을 하는 것으로 보고 성숙 개체의 비율로서 구하였으며, 산란기 동안 암컷의 성숙 비율을 구한 후 logistic curve를 통해 50.0%, 75.0%, 97.5%의 전장을 추정하였다.

$$P_i = 1/1 + e^{-b(TL - TL_i)}$$

여기서 P_i는 i전장계급에서의 성숙비율, TL_i는 i전장계급의 TL, b는 상수이다.

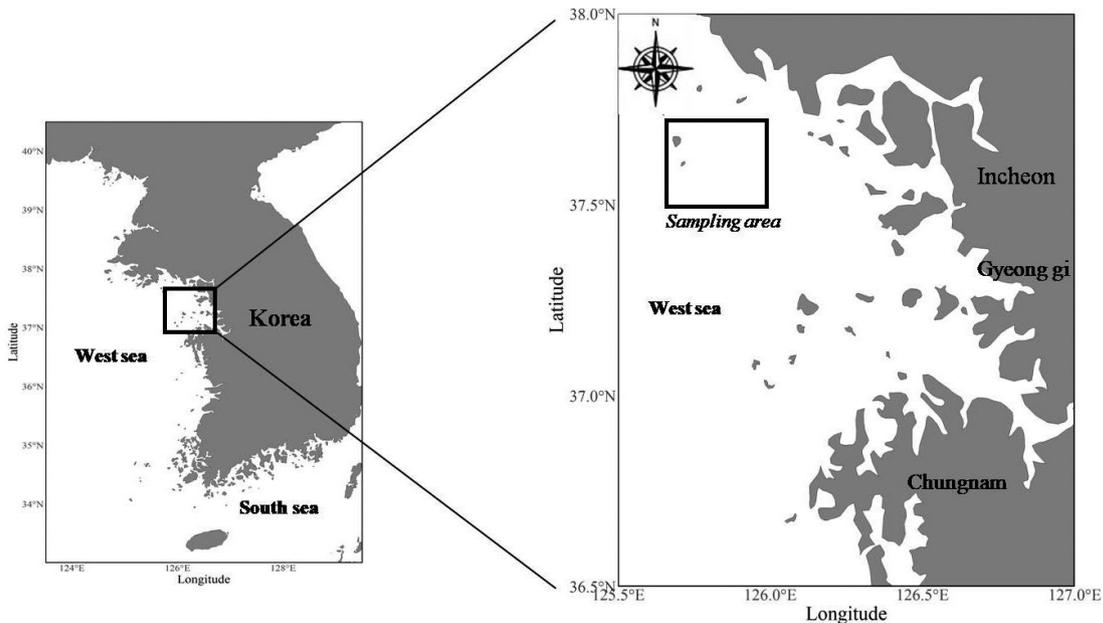


Fig. 1. Sampling area of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* collected in the West Sea of Korea.

Table 1. Size range of the Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea, January to December 2023

Month	Total number	Female			Male		
		Size range (TL, cm)	Average	n	Size range (TL, cm)	Average	n
Jan.	104	23.7~64.8	51.8	35	20.8~65.4	45.3	69
Feb.	85	37.2~82.5	60.7	35	39.5~72.2	54.1	50
Mar.	151	35.2~76.4	55.7	69	38.8~75.7	54.0	82
Apr.	30	19.7~69.9	52.8	21	43.0~62.5	51.7	9
May	191	27.5~80.9	60.3	129	21.0~72.1	50.6	62
Jun.	98	25.5~72.4	57.9	61	23.6~65.0	43.9	37
Jul.	122	39.1~70.5	52.3	54	28.0~64.1	50.6	68
Aug.	-	-	-	-	-	-	-
Sep.	14	58.3~70.6	65.0	11	57.6~67.2	63.7	3
Oct.	91	34.1~66.4	52.0	38	31.2~62.9	48.8	53
Nov.	68	38.2~69.4	53.0	36	43.6~64.0	53.9	32
Dec.	222	22.0~71.2	40.0	112	21.8~70.8	35.5	110
Total	1,176	19.7~82.5	53.5	601	20.8~75.7	47.6	575

결 과

1. 전장 조성

2023년 1월부터 12월까지 서해 중부해역의 안강망과 자망 어업으로 어획된 넙치 1,176개체를 측정된 결과, 암컷 넙치는 601개체로 전장 범위는 19.7~82.5 cm, 평균 53.5 cm의 크기를 보였고, 3월 평균 전장은 55.7 cm (n=69), 4월 평균 전장은 52.8 cm (n=21), 5월 평균 전장은 60.3 cm (n=129), 6월 평균 전장은 57.9 cm (n=61)이었으며, 수컷 넙치는 575개체로 전장 범위는 20.8~75.7 cm, 평균 47.6 cm이었고, 3월 평균 전장은 54.0 cm (n=82), 4월 평균 전장은 51.7 cm (n=9), 5월 평균 전장은 50.6 cm (n=62), 6월 평균 전장은 43.9 cm (n=37)으로 나타났으며, 성비는 1.05 : 1로 암컷의 출현비율이 수컷보다 높았다 (Table 1). 전장과 체중 간의 상대성장식은 암컷은 $BW = 0.006TL^{3.1372}$, 수컷은 $BW = 0.0094TL^{3.0099}$ 으로 추정되었다. 그리고 암·수 전장과 체중 간의 상대성장에서는 수컷보다 암컷의 성장이 큰 것으로 나타났다 (Fig. 2).

2. 산란기 추정

넙치 암컷의 GSI의 월 변화를 분석한 결과 1월부터 점차 높아졌으며, 5월에 5.46으로 가장 높은 값을 보였고, 이후 6월부터 급격히 낮아지는 경향을 보이다가, 10월에 0.80으로 가장 낮은 값이었다. 넙치 수컷의 GSI의 월 변화를 분석한 결과 1월부터 점차 높아졌으며, 3월에 4.56으로 가장 높은 값을 보였고, 이후 4월부터 낮아지는 경향이였으며, 9월에 0.11으로 가장 낮은 값을 보였다 (Fig. 3).

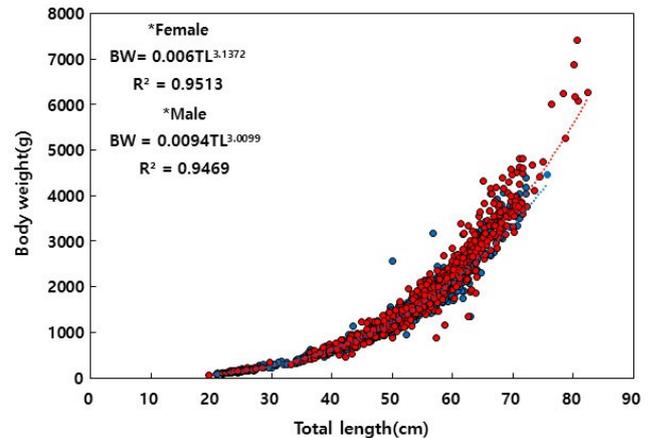


Fig. 2. Relationship between Total length and body weights of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea.

넙치 암컷의 생식소를 조직학적으로 관찰한 결과, 미숙단계에서는 비활성화된 초기 난모세포를 가지며 세포질 내에서는 미토콘드리아들이 핵막 주변에서 출현하지만 세포질의 발달은 빈약하였다. 초기 성장기의 난소가 활성화되기 시작하여 난소 소엽내에서 평균 난경 90~110 μm의 난모세포들은 세포질에 대한 핵의 비율이 감소 되었다. 핵막 근처의 핵질에서는 인이 관찰되었고 일부 세포에서 주변 인기 난모세포들이 출현하였다 (Fig. 4A). 미숙 단계에서 중숙단계로 성장함에 따라 난소 소엽 내의 난모세포들이 성장하여 난 세포질의 염색성은 호염기성에서 호산성으로 바뀌었다. 세포질의 피질층에 공포를 갖는 난황포들이 축적되었고, 여포세포층이 차츰 발달하게 되었다 (Fig. 4B). 이후 성숙단계에서는 난소소엽 내 출현하

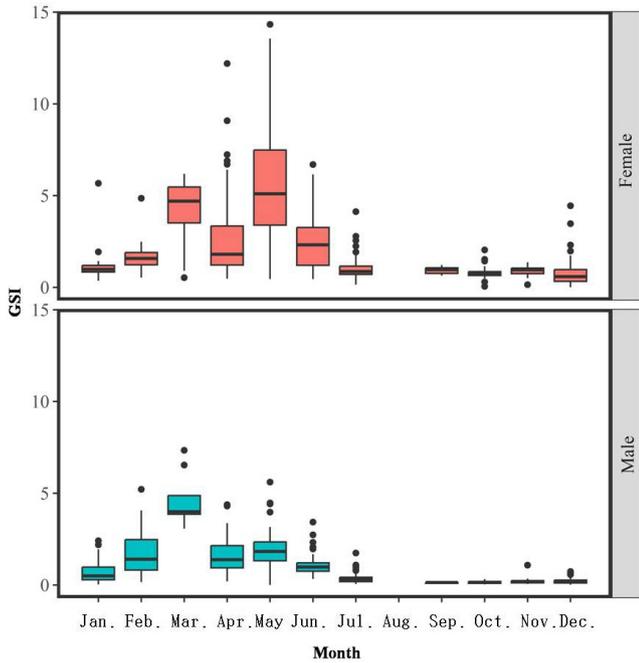


Fig. 3. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI) of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* caught in the West Sea of Korea.

는 난모세포들의 여포세포층이 더욱 발달하게 되었고 핵막은 불규칙하게 되었으며, 세포질 내에 대부분 호산성의 난황구가 축적되었다(Fig. 4C). 완숙단계에서는 난소소엽 내 소수의 초기 난모세포들과 완숙난모세포들로 채워져 있었다. 핵은 세포질의 한쪽에 치우쳐 있으며, 세포질의 대부분은 호산성의 난황구로 이루어지며, 이들 사이에는 공포상의 유구들이 존재했다(Fig. 4D). 방후 및 회복단계에서는 산란 후 잔존 난모세포의 퇴화 및 흡수가 관찰되었다(Fig. 4E).

넙치 수컷의 생식소를 관찰한 결과, 정소는 우점하고 있는 정세포에 따라 미숙단계, 중숙단계, 성숙단계, 완숙단계, 방중단계, 방후 및 회복단계 6단계로 구분할 수 있었다. 미숙단계에서는 정소소엽에서 유래된 정원세포들이 주로 관찰되었으며, 이들은 핵이 세포질의 대부분을 차지하고 있었다(Fig. 5A). 미숙 단계에서 중숙단계로 성장함에 따라 정세포 내부의 소낭 구조가 차츰 확인되면서 대부분의 소낭은 정모세균으로 채워졌으며, 정원세포에 비해 핵질과 세포질이 응축된 정모세포들이 주로 관찰되었다(Fig. 5B). 이후 성숙단계에서는 확장된 정소 소낭 내에 H-E 염색에서 호염기성으로 반응하는 정세포들을 관찰할 수 있었다(Fig. 5C). 완숙단계에서는 확장된 정소

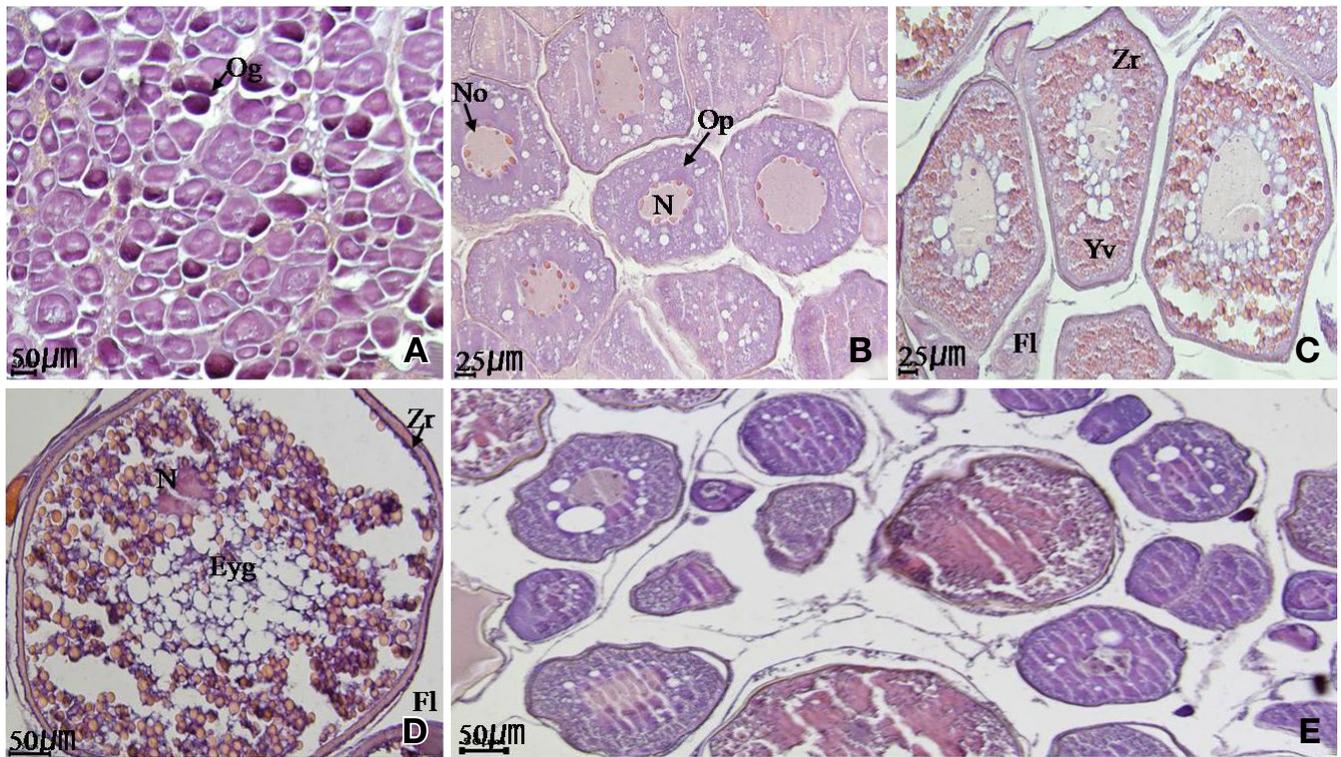


Fig. 4. Developmental stages in the ovary of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. A: Ovary of the Immature stage; B: Ovary of the Maturing stage; C: Ovary of the mature stage; D: Ovary of the ripe stage; E: Ovary of the spent and recovery stage; Og: Oogonium; No: Nucleolus; N: Nucleus; Op: Ooplasm; Yv: Yolk vesicle; Fl: Follicle layer; Zr: Zona radiata; Eyg: Eosinophilic yolk granule.

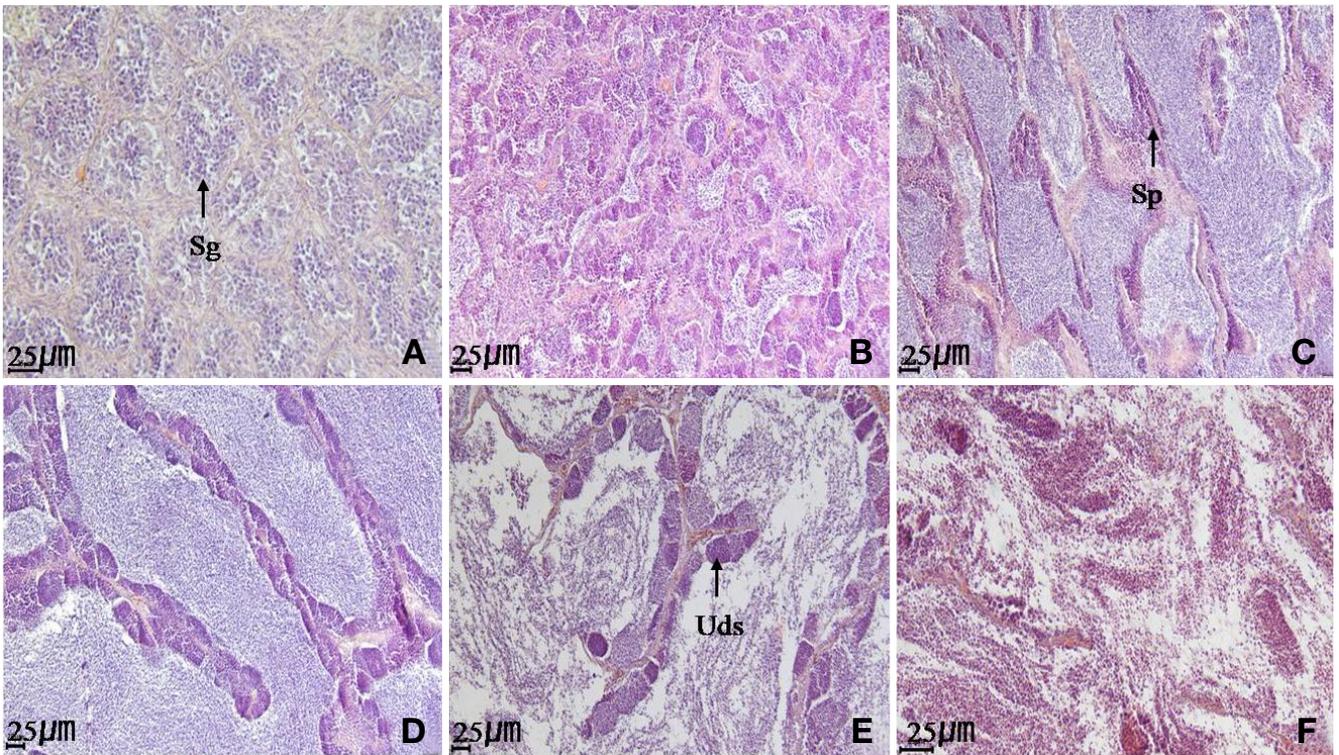


Fig. 5. Developmental stages in the testis of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*. A: testis of the Immature stage; B: testis of the Maturing stage; C: testis of the mature stage; D: testis of the ripe stage; E: testis of the spawning stage; F: testis of the spent and recovery stage; Sg: Spermatogonia; Sp: Sperm; Uds: Undischarged sperm.

소낭 내에 H-E 염색에서 강한 호염기성을 나타내는 정자들이 채워져 있었다(Fig. 5D). 방중단계에서는 정소 소낭 내에 정자가 일부 나타나고 정자의 방출을 관찰할 수 있었다(Fig. 5E). 방후 및 회복단계에서는 방정 후 잔존 정자의 퇴화 및 흡수가 관찰되었다(Fig. 5F).

납치의 성숙도 월 변화는 육안관찰과 조직학적 관찰을 통하여 미숙단계, 중숙단계, 성숙단계, 완숙단계, 방후 및 회복단계 5단계로 구분하여 분석하였다(Fig. 6). 암컷 납치는 1월부터 3월까지 미숙 및 중숙단계의 개체였고, 4월부터 성숙 및 완숙단계의 개체가 출현하였다. 5월에 성숙과 완숙단계 개체가 증가했고, 6월에 완숙단계의 개체 비율이 가장 높았고, 7월에 방란 후 회복 개체가 출현하였다. 9월부터 12월까지 모든 개체가 미숙단계로 나타났다. 따라서 서해 중부해역에 출현하는 암컷 납치의 산란기는 4월에서 6월로 나타났으며, 주산란기는 5~6월로 추정되었다. 수컷 납치는 1월에 미숙, 중숙 및 성숙단계의 개체가 출현하였고 2월에 중숙과 성숙단계 개체가 점차 증가하였으며, 3월부터 완숙 단계의 개체가 출현하였다. 4월부터 6월까지 완숙단계 개체들이 증가했고, 6월에 완숙단계 개체의 비율이 가장 높았다. 7월부터 산란 후 회복단계 개체가 출현하였고, 9월부터 12월까지 모든 개체가 미숙단계로 나

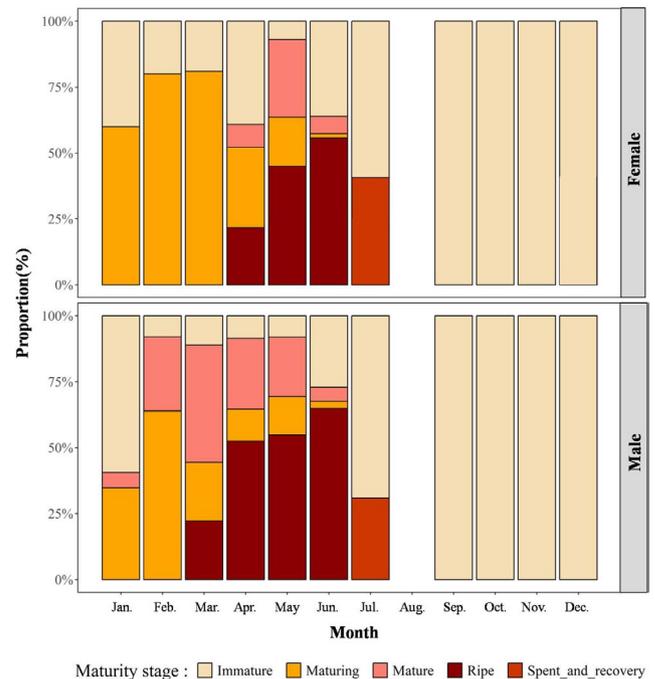


Fig. 6. Monthly changes in maturity stage of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* caught in the West Sea of Korea.

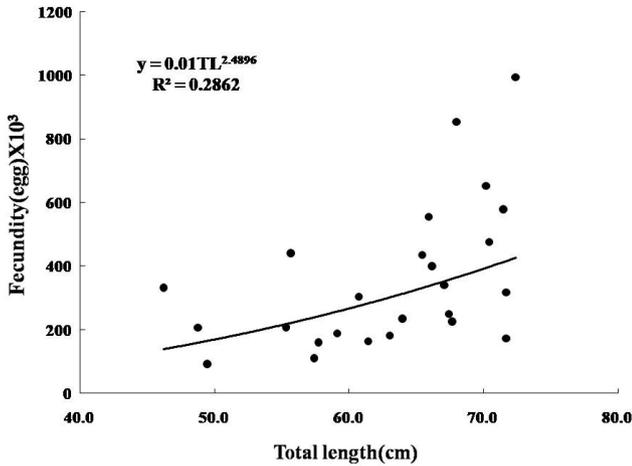


Fig. 7. Relationship between fecundity and total length of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea.

타났다. 따라서 서해 중부해역에 출현하는 수컷 넙치의 산란기는 3월에서 6월이며, 주산란기는 4~6월로 추정되었다.

3. 포란수

포란수는 산란기간 동안 방란의 흔적이 없는 완숙개체를 선별하여 난을 계수하였다. 전장과 포란수(F) 간의 관계식은 $0.01TL^{2.4896}$ ($R^2=0.2862$)으로 전장이 커질수록 포란수가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 최소 포란수는 90,387개, 최대 포란수는 994,658개이었으며, 평균 368,478개이었다. 40.0~49.9 cm 전장계급 상대포란수는 4,413개이었으며, 전장계급이 커질수록 포란수가 증가하여 70.0~79.9 cm 전장계급 상대 포란수는 8,457개로 최대값을 보였다(Table 2).

숙도단계별 난경조성은 미숙단계에서 0.177~0.341 mm (평균 0.240 mm)였으며, 중숙단계에서 난경의 범위는 0.231~0.463 mm (평균 0.327 mm)이었다. 성숙단계에서 0.425~0.655 mm (평균 0.546 mm)였고, 완숙단계에서는 0.724~0.914 mm (평균 0.814 mm)로 나타나 성숙함에 따라 난경이 점차 커졌다(Fig. 8).

4. 성숙전장

암컷 넙치의 성숙전장을 분석하기 위해 산란기로 추정되는 4~6월까지 중숙단계 이상 개체들이 산란에 참여하는 것으로 추정하고 성숙개체의 출현 비율을 조사하였다(Fig. 9). 그 결과 50.0% 성숙전장은 49.4 cm로 나타났으며, 75.0%, 97.5% 성숙전장은 각각 54.1 cm, 65.3 cm로 나타났다. 수컷 넙치는 산란기인 3~6월까지 성숙개체의 출현 비율을 조사한 결과 50.0% 성숙전장은 36.5 cm로 나타났으며, 75.0%, 97.5% 성숙전장은 각각 40.1 cm, 48.5 cm로 나타났다.

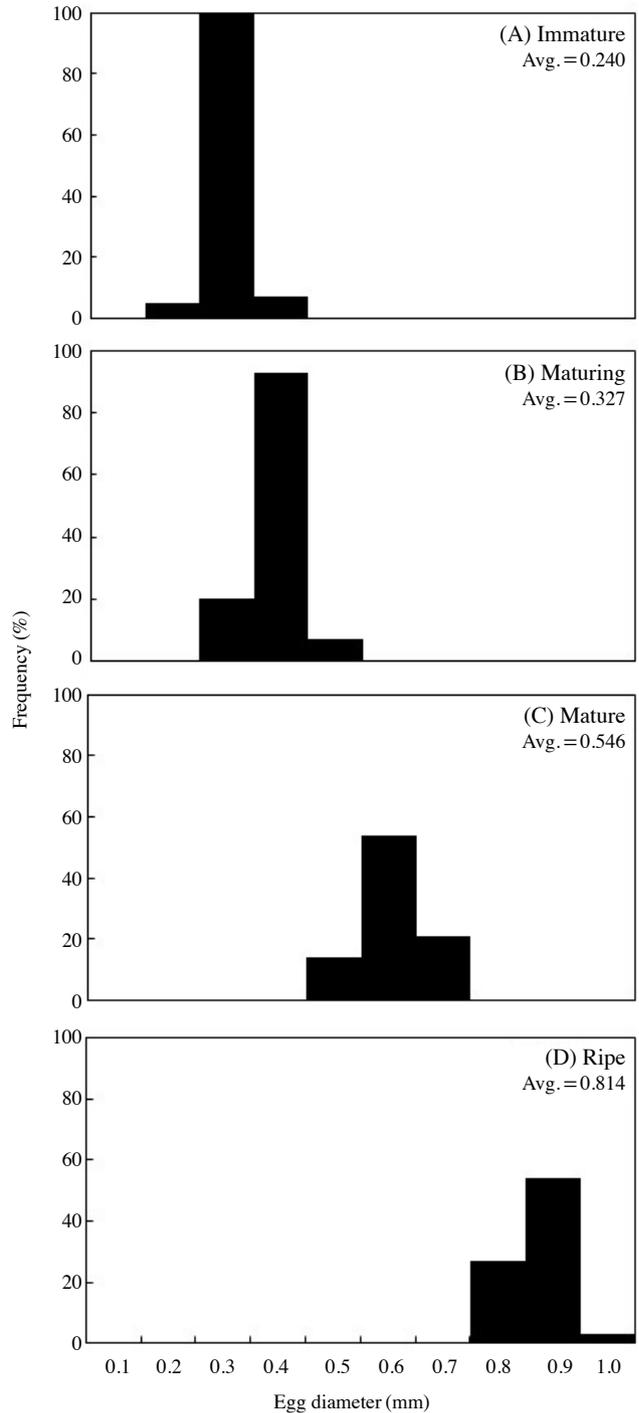


Fig. 8. Frequency distribution of egg diameter of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea.

고 찰

이 연구는 우리나라 서해 중부해역에서 2023년 1월부터 12월까지 1년간 안강망 어업과 자망 어업에서 어획된 넙치를 대상으로 성숙과 산란 특성을 분석하였다. 넙치 전장 조

Table 2. Absolute and relative fecundities according to total length of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* in the West Sea of Korea

Total length (cm)	Absolute fecundity (eggs)		Relative fecundity (eggs/cm)		No. of specimens
	Mean	Range	Mean	Range	
40.0~49.9	209,576	90,387~330,662	4,413	1,826~7,157	3
50.0~59.9	220,432	108,898~439,264	3,892	1,897~7,886	5
60.0~69.9	342,982	164,736~854,566	5,201	2,683~12,567	12
70.0~79.9	603,436	317,471~994,658	8,457	4,428~13,738	5

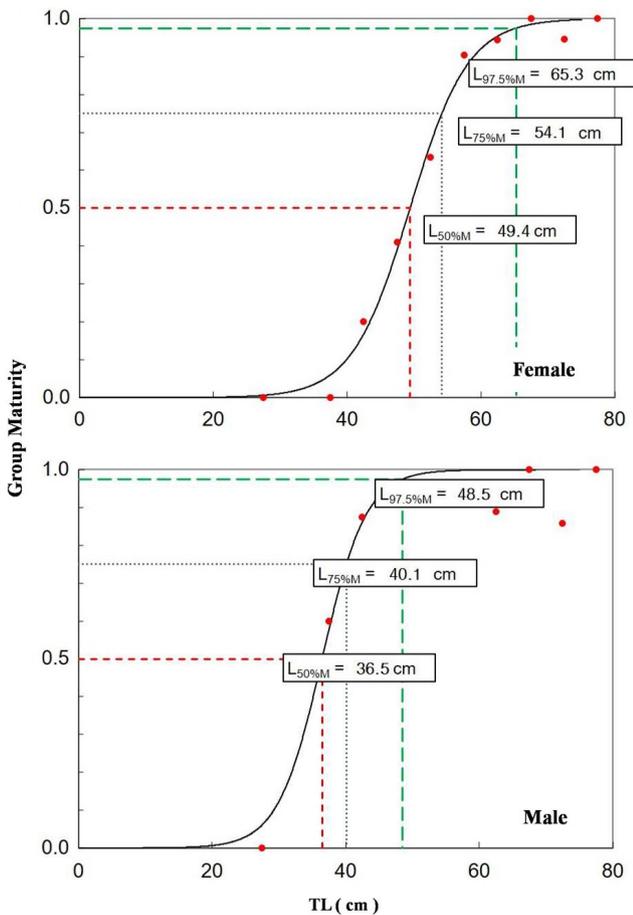


Fig. 9. Relationship between total length and group maturity of Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* caught in the West Sea of Korea.

에서 암컷은 평균 전장 53.5 cm, 수컷은 평균 전장이 47.6 cm로 암컷이 수컷보다 평균 전장이 컸으며, 전장 범위도 암컷 19.7~82.5 cm, 수컷 20.8~75.7 cm로 암컷이 수컷보다 컸다. 또한 서해에서 조업하는 안강망 어업과 자망 어업에서 어획되는 넙치는 수컷보다 암컷의 출현율이 높게 나타났다. 우리나라 서해의 용가자미, 문치가자미, 물가자미, 박대 등 다른 가자미목 어류에서도 암컷의 성장이 더 빠른 것으로 나타나 가자미목 어류는 일반적으로 수컷보다 암컷의 전장이 크다고 판단된

다 (Kang *et al.*, 2012; Hwang *et al.*, 2017; Choi, 2022; Choi *et al.*, 2022; Roh, 2023).

GSI 분석과 월별 속도단계를 통해 서해 중부해역에서 서식하는 넙치의 산란기는 4~6월로 추정되었다. 넙치의 산란기는 서식해역에 따라 약간의 차이가 있지만 우리나라 남해안에서는 4~6월이 주산란기인데, 이 때의 수온은 14.0~16.0°C 이라고 보고하였다 (Kim, 2005). 이번 연구에서 넙치의 산란기인 4~6월의 서해 연평도 부근 수온을 국립해양환경정보 포털 (www.meis.go.kr)의 관측자료를 확인한 결과, 2023년 4월 평균 8.2°C, 2023년 5월 평균 11.2°C, 2023년 6월 평균 15.2°C로 넙치의 산란 수온범위가 7.2~17.8°C 정도인 것을 확인하였을 때, 서식환경의 산란 수온범위를 통한 생태학적 비교연구가 필요할 것으로 판단되었다.

산란기 동안 4월에 넙치의 GSI가 감소하는 경향을 보였는데, 4월에 어획된 넙치가 성숙체장에 도달했으나 3월, 5월에 비해 평균 전장이 작았기 때문으로 사료된다. 동해 강원도 고성군 연안에서 암컷 넙치의 산란기는 5월에서 9월로 추정되었고 (Yu *et al.*, 2023), 일본 북부 태평양의 남부 후쿠시마현, 미야기현 (북위 38°) 연안의 수컷 넙치는 산란기를 5월에서 9월로 보았으며, GSI값이 5월에서 7월 사이 최고조에 달한 후 급격히 감소하여 주산란기를 5월에서 7월로 보고하였다 (Michio *et al.*, 2007a). 또한 일본 북부 태평양의 아오모리현 (북위 41°) 에 서식하는 수컷 넙치는 같은 기간 대부분 미성숙 상태를 보였으며, GSI 값 또한 낮게 유지하였다 (Michio *et al.*, 2007a). 수온과 해양환경 등의 외적요인에 의해 호르몬 농도의 변화로 생식소의 성숙 시기가 차이가 나며 (De Vlaming, 1972; Nishi, 1979; Asahina and Hanyu, 1983; Shimizu and Hanyu, 1983), 일반적으로 고위도 서식어가 저위도 서식어 보다 산란기가 늦은 것으로 알려져 있다 (Kim and Zhang, 1994). 서해 중부 해역에서 서식하는 암컷 넙치가 고위도인 강원도 고성군 연안에 서식하는 암컷 넙치보다 산란시기가 약 한달 정도 빠르고 7월 이전에 끝마친다는 결과와 서해 중부해역에 서식하는 수컷 넙치도 고위도에 서식하는 일본 수컷 넙치의 산란시기보다 빠르고 짧았다는 것이 일치하였다. 결과적으로 넙치의 산란시기는 위도의 영향이 크게 작용한다고 판단된다.

서해 중부해역 넙치의 절대포란수는 90,387~994,658개의 범위로 평균 368,478개였고, 전장이 커질수록 포란수가 증가하는 경향을 나타내었다. 우리나라 서해에 서식하는 용가자미의 포란수는 평균 449,278 (16,728~10,039,616) 개였으며, 물가자미는 125,755~1,164,416개, 문치가자미는 59,125~1,125,619개, 박대는 34,081~4,441,437개로 가자미목 내에서 넙치는 절대 포란수가 비교적 적은 경향을 보였으며, 전장이 커질수록 포란수가 증가하는 것은 일치하였다(Hwang *et al.*, 2017; Choi, 2022; Choi *et al.*, 2022; Roh, 2023). 포란수는 어체의 연령이나 크기, 서식밀도, 환경조건 등에 따라 변화한다(Kim and Zhang, 1994). 또한 이번 포란수 연구로 넙치의 연간 산란수와 일생 동안의 산란수를 추정하기가 어렵고, 연구 개체수가 적기 때문에 추후 직접조사를 통해 각 체장별 30개체 이상의 연구가 추가적으로 수행 되어야 할 것으로 보인다.

성숙단계별 난경을 측정한 결과 미숙에서 완숙까지 성숙할수록 난경의 크기가 커졌으며 완숙개체는 평균 0.814 mm으로 최소 0.724 mm, 최대 0.914 mm로 나타났다. 서해에 서식하는 용가자미의 난경은 평균 0.625 (0.502~0.763) mm였으며, 물가자미는 평균 0.665 (0.437~0.857) mm, 문치가자미는 평균 0.790 (0.653~0.951) mm으로 가자미목 내에서 넙치의 난경은 비교적 큰 경향을 보였다(Choi, 2022; Choi *et al.*, 2022; Roh, 2023). 산란기 동안 어장이 형성된 해역에서 채집된 넙치의 난은 분리부성란으로 크기가 0.9 mm 전후로 보고되었으며(Kim, 2005), 완숙 시기 넙치의 난 크기와 유사한 결과를 보였다. 난경 그래프에서 미숙에서 완숙으로 판단되는 난이 하나의 모드를 보이는 것으로 보아 연중 4월에 시작하여 6월에 산란을 마치는 것으로 보였으나, 이번 연구로 산란기 동안 다회산란 하는 경향을 파악하기 어려웠다.

서해 중부해역에 서식하는 암컷 넙치의 50.0% 성숙전장은 49.4 cm로 나타났고, 75.0% 성숙전장은 54.1 cm, 97.5% 성숙전장은 65.3 cm로 추정되었으며, 수컷 넙치의 50.0% 성숙전장은 36.5 cm로 나타났고, 75.0% 성숙전장은 40.1 cm, 97.5% 성숙전장은 48.5 cm로 추정되었다.

우리나라 해역에 서식하는 넙치의 성숙 크기를 보면 지리적인 차이가 있는데, 암컷은 전장 34.0 cm부터 51.0 cm이지만 대부분은 40.0 cm 전후에 성숙하며 수컷은 전장 30.0 cm부터 41.0 cm로 보고하였고(Kim, 2005), 동해 강원도 고성군 연안에서 암컷 넙치는 35.0 cm 이하의 전장에서는 어떤 개체도 성숙하지 않은 반면에 50.0 cm 이상의 모든 개체가 산란에 참여하였으며, 50.0%, 75.0%, 97.5% 전장은 각각 43.0 cm, 51.8 cm, 72.2 cm이었다(Yu *et al.*, 2023). 일본 북부 태평양의 남부 후쿠시마현, 미야기현(북위 38°) 연안의 수컷 넙치는 전장 33.0 cm 이상은 95.0% 이상 성숙했고, 일본 북부 태평양의 북부 아오모리현(북위 41°)에 서식하는 수컷 넙치는 전장 30.0~40.0

cm 범위 내에서 대부분이 미성숙 개체가 출현했다고 보고하였다(Michio *et al.*, 2007a). 서해 중부 해역에 서식하는 암컷 넙치가 고위도인 강원도 고성군 연안에 서식하는 암컷 넙치보다 성숙전장이 더 큰 것으로 나타났고, 수컷 넙치는 고위도인 일본 북부 태평양의 남부 후쿠시마현, 미야기현 연안에 서식하는 수컷 넙치보다 성숙전장이 컸으며, 일본 북부 태평양의 아오모리현에 서식하는 수컷 넙치보다 성숙전장이 작은 것으로 추정되었다.

일반적으로 상업 어종인 경우 성숙전장의 감소는 과도한 어획으로 인해 개체군의 크기가 감소되어, 개체군의 크기를 유지하기 위해 성숙이 빨라지는 경우가 많다(Zhang, 2010). 본 연구를 통해 서해 중부해역의 넙치의 자원 수준이 강원도 고성 연안인 동해와 일본 북부 태평양의 후쿠시마현, 미야기현 연안보다 좋다는 것을 알 수 있었다. 하지만 전장의 변동은 해양환경의 변화와 먹이의 풍부도의 차이에 의해서도 영향을 받을 수 있어서, 추후 넙치의 성장과 연령, 섭식생태 등 생물학적 연구뿐만 아니라 해양환경에 대한 연구도 병행하여 분석하여야 한다(Morgan and Colbourne, 1999; Shackell *et al.*, 2019). 또한 우리나라 전 해역에서 넙치가 어획되기 때문에 해역별 넙치 산란기에 대한 비교 연구가 필요하다고 생각된다.

우리나라는 과도한 어획으로 인해 고갈 위험에 처한 해양 자원을 전파하고 보호하기 위해 해양자원 포획에 대한 최소 어획량 제한을 설정했다. 최소어획량은 어린 물고기의 보호를 위해 어린 물고기를 구별하는 기준으로 설정된다. 이 기준은 성숙체장을 기준으로 하며, 이 길이는 50.0%가 성숙한 개체의 총길이를 나타내는 용어이다. 이러한 기준에 따라 수산업계와 충분한 협의를 거쳐 조업 현실을 고려한 후 규제 기준을 정한다(Yu *et al.*, 2023). 수산업법 시행령 제6조를 참조해보면, 최근 어린 물고기를 보호하기 위해 넙치의 최소어획 크기를 21.0 cm에서 35.0 cm로 늘렸다(as stated in Article 6 of the Enforcement Decree of the Fisheries Act). 본 연구 결과 효율적인 넙치의 자원관리와 보호를 위해서는 넙치 암컷과 수컷의 50.0% 성숙전장을 최소어획 크기로 잡아 36.5 cm 이상으로 올려야 한다고 판단된다. 또한 지속적인 생물학적 연구를 통해 산란, 생태의 변화를 모니터링 해야 하며, 이번 연구는 넙치 자원관리에 있어 중요한 기초자료를 제공할 것으로 생각된다.

요 약

이번 연구는 서해 중부해역에 서식하는 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성숙도, 생식소속도(GSI), 산란기, 성숙체장을 구하였다. 넙치 암컷의 생식소속도지수(GSI) 값은 5월에 가장 높았고, 산란기는 4월에서 6월로 나타났다. 넙치 수컷의 생식소속도지수(GSI) 값은 3월에 가장 높게 나타났으며, 산란기

는 3월에서 6월로 추정되었다. 넙치 암컷의 50.0% 성숙체장은 49.4 cm이고, 수컷은 36.5 cm 로 분석되었다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 시험연구사업 “서해연안어업 및 환경생태조사(R2024009)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Asahina, K. and I. Hanyu. 1983. Role of temperature and photoperiod in annual reproductive cycle of the rose bitterling, *Rhodeus ocellatus acellatus*. Bull. Jap. Soc. Fish., 49: 61-67. <https://doi.org/10.2331/suisan.49.61>.
- Bagenal, T.B. and E. Brown. 1978. Egg and early life history. In: Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters 3rd ed. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford, U.K., pp. 165-201.
- Cardinale, M. and J. Modin. 1999. Changes in size-at-maturity of Baltic cod (*Gadus morhua*) during a period of large variations in stock size and environmental conditions. Fish. Res., 41: 285-295. [https://doi.org/10.1016/s0165-7836\(99\)00021](https://doi.org/10.1016/s0165-7836(99)00021).
- Choi, D.H. 2022. Fishery biology of shotted halibut, *Eopsetta grigorjewi*, in the West Sea of Korea. Ph.D. Dissertation, Chonnam National University, Chonnam, Korea.
- Choi, D.H., B.I. Youn, S.H. Lee, D.H. Kwon and M.J. Kim. 2022. Maturity and spawning of the pointhead flounder *Cleisthenes pinetorum* in the West Sea of Korea. Korean J. Fish. Aquat. Sci., 55: 575-582. (in Korean)
- Choi, J.H., S.C. Yoon, S.I. Lee, J.B. Kim and H.R. Kim. 2011. Feeding habits of *Paralichthys olivaceus* in the Uljin marine ranching area. Kor. J. Fish Aquat. Sci., 44: 684-688. (in Korean) <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0684>.
- Coleman, F.C., C.C. Koenig and L.A. Collins. 1996. Reproductive styles of shallow-water groupers (Pisces: Serranidae) in the eastern Gulf of Mexico and the consequences of fishing spawning aggregations. Envir. Bio. Fish., 47: 129-141. <https://doi.org/10.1007/BF00005035>.
- De, Vlaming V.L. 1972. The effects of temperature and photoperiod on reproductive cycling in estuarine gobiidfish, *Gillichys mirabilis*. Fish. Bull., 70: 1137-1152.
- Domínguez-Petit, R., M. Korta, F. Saborido-Rey, H. Murua, M. Sainza and C. Piñeiro. 2008. Changes in size at maturity of European hake Atlantic populations in relation with stock structure and environmental regimes. J. Mar. Sys., 71: 260-278.
- Engelhard, G.H. and M. Heino. 2004. Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring before, during, and after a major population collapse. Fish. Res., 66: 299-310. [https://doi.org/10.1016/s0165-7836\(03\)00195-4](https://doi.org/10.1016/s0165-7836(03)00195-4).
- Huh, S.H., D.J. Lee, H.G. Choo, J.M. Park and G.W. Baeck. 2010. Feeding habits of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) collected from coastal waters off Taean, Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci., 43: 756-759. (in Korean)
- Hwang, S.W., H.B. Hwang and S.D. Hwang. 2017. Maturity and growth of marbled sole, *Pseudopleuronectes yokohamae* in the West Sea of Korea. O.P.R., 39: 279-292. (in Korean)
- Kang, H.W., H.K. Lim, D.Y. Kang, H.S. Han, Y.H. Do and J.S. Park. 2012. Maturation and spawning of the female tongue sole, *Cynoglossus semilaevis* in the West Coast of Korea. Dev. Reprod., 16: 87-93. (in Korean)
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee and J.H. Lim. 2005. Illustrated book of Korean fish. Kyohak Publishing, Seoul, Korea, 615pp. (in Korean)
- Kim, S.A. and C.I. Zhang. 1994. Fish Ecology. Seoul Press, Seoul, Korea., 273pp. (in Korean)
- Kim, K.K. 2005. The Ecology and early life history of olive flounder. J. of Aquaculture, 17: 32-37. (in Korean)
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2023. Retrieved from <http://kosis.kr> on April 30, 2023.
- MEIS (Marine environment information station). 2024. Retrieved from <https://www.meis.go.kr> on Aug 23, 2024.
- Michio, Y., K. Yutaka, K. Daiji, I. Masaki. 2007a. Spatial variation in the relationship between growth and maturation rate in male Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* off the Pacific coast of northern Japan. Journal of Sea Research, 57: 171-179.
- Michio, Y., K. Yutaka, K. Daiji, I. Masaki, T. Takeshi, G. Tomoaki and T. Kiyotaka. 2007b. Age validation and growth variability of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* off the Pacific coast of northern Japan. Fisheries Science, 73: 585-592.
- Morgan, M.J. and E.B. Colbourne. 1999. Variation in maturity at age and size in three populations of American plaice. ICES J. Mar. Sci., 56: 673-688. <https://doi.org/10.1006/jmsc>.
- Nishi, K. 1979. A daily rhythm in the photosensitive development of the ovary in the bitterling, *Rhodeus ocellatus*. Bull. Fac. Fish Hokkaido Univ., 30: 109-115.
- Roh, T.H. 2023. Fishery biology of the Marbled flounder, *Pseudopleuronectes yokohamae* in the West Sea of Korea. Ph.D. Dissertation, Chonnam National University, Chonnam, Korea.
- Sadovy, Y.J. 1996. Reproduction of reef fishery species. In: Polunin, N.V.C. and C.M. Roberts (eds.), Reef Fisheries. Chapman & Hall, London, U.K., 15-59.
- Shackell, N.L., K.J. Ferguson, C.E. den Heyer, D. Brickman, Z. Wang and K.T. Ransier. 2019. Growing degree-day influences growth rate and length of maturity of northwest Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) across the southern stock domain. J. Northw. Atl. Fish Sci., 50: 25-35. <https://doi.org/10.2960/J.v50.m716>.
- Shimizu, A. and I. Hanyu. 1983. Environmental regulation of spring

- period in autumn spawning bitterling, *Pseudoperi lampus typus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49: 895-900.
- Stephen, R.M., J.W. White, W. Roumillat, C. Batsavage and F.S. Scharf. 2013. Improving macroscopic maturity determination in a pre-spawning flatfish through predictive modeling and whole mount methods. Fisheries Research, 147: 359-369.
- Todd, T.T. and K.W. Thomas. 2015. Updated maturity estimates for flatfishes (Pleuronectidae) in the eastern bering sea, with implications for fisheries management. Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science, 7: 474-482. <https://doi.org/10.1080/19425120.2015.1091411>.
- Yu, H.J., Y.I. Seo, J.H. Yang, J.I. Baek and S.H. Kim. 2023. Investigating the mesh size selectivity of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) gillnets for fisheries resource management in the East Sea. Fishes, 8: 560.
- Zhang, C.I. 2010. Mairne Fisheries Resource Ecology. Pukyong National University Press, Busan, Korea, 153-181.
- Zhang, C.I., J.B. Lee, S. Kim and J.H. Oh. 2000. Climate regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. Progress in Oceanography, 47: 171-190.