

Article

독도 주변해역에서 봄과 가을철 어란과 자치어의 종조성에 관한 연구

김 성* · 유재명 · 이은경

한국해양연구원 생태환경연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Species Composition of Fish Eggs and Larvae in Spring and Autumn around Dokdo in the East Sea of Korea

Sung Kim*, Jae Myung Yoo, and Eun Kyung Lee

Ecosystem and Environment Research Laboratory, KORDI
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : A study on the ichthyoplankton assemblage was conducted around Dokdo in the East Sea in September 1999 and May 2000. Sixteen species of fish larvae including eggs were collected during the surveys. Anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs and larvae were comprised of 2.0% and 94.5% of total samples in number, respectively. Muller's pearlside (*Maurolicus muelleri*) eggs and larvae were comprised of 95.0% and 3.2%, respectively. The other species mostly composed of warm water species were less than 2% of total samples in number. The number of species and abundance of the fish larvae and eggs were higher in September than in May. Although there were limited data on the ichthyoplankton around Dokdo in summer and winter, this study area seems to be used for the spawning or nursery ground of fishes.

Key words : 어류 플랑크톤(ichthyoplankton), 멸치(*Engraulis japonicus*), 엘퉁이(*Maurolicus muelleri*).

1. 서 론

동해는 수직적으로 계절적 수온변화가 있는 표층수, 염분은 최소이지만 용존산소가 최대인 중층수, 그 아래에 동해내 해수의 대부분을 차지하는 수온이 1°C 미만인 동해고유수로 구성되어 있다. 수평적으로 북쪽에는 러시아와 북한연안을 따라 남하하는 리만해류와 북한해류가 있고, 남쪽에는 쿠로시오해류에서 분지한 대마난류수가 대한해협을 통해 동해로 유입된 후 일본 연안을 따라 북상하는 해류와 한국 동해안을 따라 북상하는 동한난류수가 있다. 성질이 서로 다른 이들 수계는 동해의 중부해역에서 전선을 형성하며, 수온이 낮은 한류수는 난류수 아래로 침강하여 동해고유수의 상층부를 구성한다(김과 김, 1983; 해양수산부, 2000). 생물학적으로 전선역은 저층의 한류수에 의해

공급되는 풍부한 영양염과 투명도가 높은 표층의 난류수 때문에 생산력이 높은 곳으로 알려져 있다(조 등, 1997).

동해에 출현하는 어류는 약 450여종(김과 강, 1998)으로 이는 황해의 386종(이, 1994)보다 많다. 황해에 서식하는 어류는 대부분이 난류성 어종이지만 동해는 황해와 달리 난류성종 이외에도 냉수성 어종이 출현하는 등 종 다양성이 황해보다 높은 것으로 보고되었다. 동해에서 난류수역의 대표적인 어종에는 정어리, 멸치, 고등어, 꽂치, 방어, 삼치 등이 있고, 한류수역의 대표적인 어종에는 대구, 명태, 도루묵 등이 있다(손, 1986; 김과 강, 1998). 난류성 어종과 냉수성 어종 이외에도 동해의 중부남해역에는 중층성 어류인 엘퉁이가 광범위하게 분포한다(Okiyama, 1971; Okiyama, 1981; 한국해양연구소, 1995; 한국해양연구원, 1997; 한국해양연구소, 1998). 이들 어종들은 무리를 이루어 회유하는 성격이 강하기 때문에 해류의 지리적인 분포, 전선의 강약, 난수성 소용돌이의 발생 및 이동

*Corresponding author. E-mail : skim@kordi.re.kr

경로 등과 같은 해황에 따라 분포에 큰 영향을 받는다. 어류의 지리적인 분포는 단기적으로 수온, 염분 등 해수의 성질과 직접 관련이 있으며, 중장기적으로는 산란된 어류들이 성장하여 성어로 되기까지의 생활사 중 초기에 겪는 해황에 따라 달라진다(김과 강, 1998). 어란 및 자치어의 경우 종조성과 지리적인 분포는 장단기적인 해황 변화 이외에도 어류의 종별 산란시기나 산란 및 회유경로와도 매우 밀접한 관련이 있다. 비록 독도 주변해역은 난류수와 한류수가 교차하여 플랑크톤이 풍부한 천혜의 어장으로 냉수성 어종인 청어, 명태, 대구 뿐 만 아니라 난류성 어종인 정어리, 방어, 달고기, 흑돔 등 100여종의 다양한 어류가 서식하는 수산자원의 보고로 알려져 있음에도 불구하고(독도연구보전협회, 1998; 해양수산부, 1999; 해양수산부, 2000), 어란 및 자치어의 종조성이나 지리적인 분포 등 어류의 초기생활사 중심의 생태학적인 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 독도 주변해역의 생태학적 가치를 밝히는데 필요한 기초자료를 확보하기 위해 어란과 자치어의 종조성을 연구하였다.

2. 재료 및 방법

어란 및 자치어 군집에 관한 조사는 독도 주변해역에서 가을(1999년 9월 29~30일)과 봄(2000년 5월 7~8일)에 실시하였다. 2회의 조사 모두 5개의 정점(Fig. 1)에서 시료를 채집하였다. 시료 채집에 사용한 넛트는 봉고넛트로 망구직경은 60 cm, 망목은 505 μm였다. 넛트의 예망속도는 약 1 m/sec를 유지하였고, 넛트를 통과한 물의 양은 유량계를 이용하여 측정하였다. 2개 정점(정점 A8, A16)에서는 넛트를 표층에 수심 500 m까지 수직으로 예망하였고, 3개 정점(A1, A9, A17)에서는 약 15분간 수평으로 예망하였다. 채집된 표본은 선상에서 중성포르말린(최종 농도 5%)으로 고정한 후 실험실로 옮겨 해부현미경을 이용하여 어란과 자치어를 골라내어 동정하였다. 어란과 자치어 동

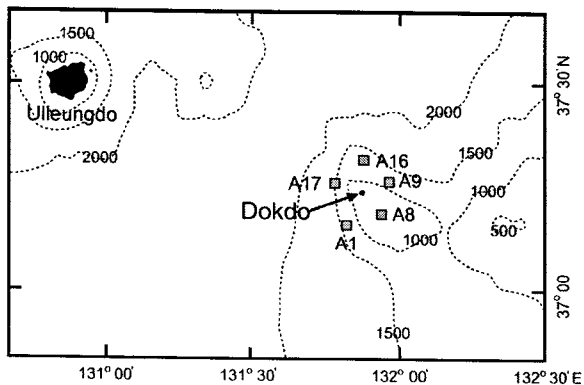


Fig. 1. Map showing the sampling stations.

정은 정(1977), Okiyama(1988), 김 등(1986) 등을 참고하였다.

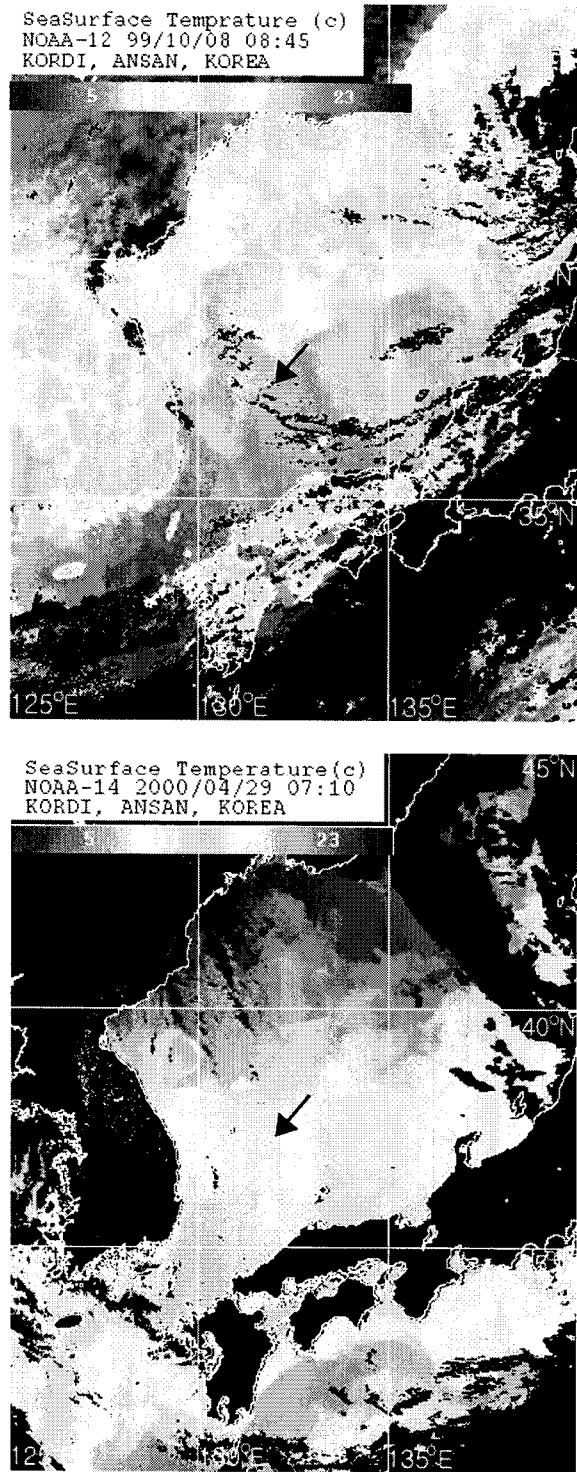


Fig. 2. Satellite-driven sea surface temperature in October 1999 and May 2000 (←: Dokdo).

3. 결과 및 고찰

1999년 가을철과 2000년 봄철에 독도 주변해역에서 어란 및 자치어 조사시기와 근접한 시기의 표층 수온분포는

Table 1. Mean abundance of fish eggs and larvae captured by bongo net in the study area during the Dokdo surveys.
(ind./1,000 m³)

Species\Months	May 2000	Sep. 1999	Mean	%
Eggs				
<i>Maurolicus muelleri</i>	13	82	47.5	95.0
<i>Cololabis saira</i>	2		1.0	2.0
<i>Engraulis japonicus</i>	2		1.0	2.0
Unidentified spp.	1		0.5	1.0
Toal	18	82	50.0	100.0
Larvae				
<i>Engraulis japonicus</i>	14	542	278.0	94.6
<i>Maurolicus muelleri</i>	10	9	9.5	3.2
Apogonidae spp.		1	0.5	0.2
<i>Benthoosema pterotum</i>		1	0.5	0.2
Bothidae spp.		1	0.5	0.2
<i>Repomucenus</i> spp.		1	0.5	0.2
<i>Coryphaena hippurus</i>		1	0.5	0.2
<i>Cynoglossus</i> sp.		1	0.5	0.2
<i>Epinephelus akara</i>		1	0.5	0.2
<i>Erisphex potti</i>		1	0.5	0.2
<i>Gnathophis nystromi</i>		1	0.5	0.2
Gobiidae sp.	1		0.5	0.2
<i>Saurida elongata</i>		1	0.5	0.2
<i>Scura margaritacea</i>		1	0.5	0.2
<i>Synodus fuscus</i>		1	0.5	0.2
Total	25	563	294.0	100.0

Fig. 2와 같다. 봄철의 경우 대한해협을 통해 유입된 동한 난류수가 한국연안을 따라 북상하다가 북위 38도 부근해역에서 난수성 소용돌이를 형성하였다. 독도는 난수성 소용돌이의 끝단에 위치해 있었다. 조사 당시 주변해역의 표층 수온은 13.3~14.5°C이고, 염분은 33.4~33.5 psu였다. 수온은 표층에서 수심 130 m에 이르기까지 14°C에서 10°C로 완만하게 감소하였으며 그보다 깊은 수심에서는 수온이 급격하게 감소하였다. 가을철의 경우 대한해협을 통해 유입된 고온의 해수는 한국 동해안과 일본 북쪽 연안을 따라 분포하였다. 동해안을 따라 북상하는 동한난류수는 북위 37도까지 북상하였고, 일본 연안을 따라 분포하는 고온수의 일부가 독도 주변해역까지 뻗어 있다. 조사 당시 표층의 수온은 24.2~25.0°C였고, 염분은 33.1~33.2 psu였다. 수온은 가을철이 봄철보다 약 10°C 정도 높았지만 염분은 이와 반대로 0.3 psu 낮았다. 가을철에는 봄철과 달리 수온약층이 형성되었으며 수심 20~70 m 부근에서 수온변화가 급격하였다(해양수산부, 2000).

조사기간 동안 출현한 어란과 자치어의 종 수는 5월과 9월에 각각 4종과 15종 등 총 16종이었다. 우점종은 멸치(*Engraulis japonicus*)와 엘퉁이(*Maurolicus muelleri*)였다. 출현량 비율은 멸치의 어란과 자치어가 전체 출현량의 2.0%와 94.6%, 엘퉁이는 95.0%와 3.2%였다. 나머지 종들은 출현량 비율이 2% 이하였다(Table 1).

우점종인 멸치(*E. japonicus*)의 어란은 5월에만 출현하였다. 어란은 5개의 조사 정점 중 1개 정점(A9)에서 출현하였으며, 출현량은 9개체/1,000 m³였다. 자치어는 5월과 9월에 출현하였다. 5월의 경우 3개의 정점(A1, A8, A9)에서 출현하였으며 출현량 범위는 3~38개체/1,000 m³였다(Table 2). 9월에는 정점 A1을 제외한 모든 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 51~1,961개체/1,000 m³였다(Table 3). 5월의 경우 수직예망과 수평예망에서 채집된

Table 2. Abundance of fish eggs and larvae captured by bongo net in the study area during the Dokdo survey in May 2000.
(ind./1,000 m³)

Species\Stations	A1*	A8**	A9*	A16**	A17*	Mean	%
Eggs							
<i>Maurolicus muelleri</i>		10		56		13.2	71.0
<i>Cololabis saira</i>	12					2.4	12.9
<i>Engraulis japonicus</i>			9			1.8	9.7
Unidentified spp.				6		1.2	6.5
Toal	12	10	9	62	0	18.6	100.0
Larvae							
<i>Engraulis japonicus</i>	38	3	27			13.6	55.7
<i>Maurolicus muelleri</i>		7		44		10.2	41.8
Gobiidae sp.		3				0.6	2.5
Total	38	13	27	44	0	24.4	100.0

*: Horizontal towing, **: Vertical towing.

Table 3. Abundance of fish eggs and larvae captured by bongo net in the study area during the Dokdo survey in September 1999. (ind./1,000 m³)

Species\Stations	A1*	A8**	A9*	A16**	A17*	Mean	%
Eggs							
<i>Maurolicus muelleri</i>		69	5	262	73	81.8	100.0
Total	0	69	5	262	73	81.8	100.0
Larvae							
<i>Engraulis japonicus</i>		51	1961	75	621	541.6	96.7
<i>Maurolicus muelleri</i>		15		30		9.0	1.6
<i>Synodus fuscus</i>				3	3	1.2	0.2
Apogonidae spp.		3			3	1.2	0.2
<i>Cynoglossus</i> spp.				3	3	1.2	0.2
<i>Benthoosema pterotum</i>					6	1.2	0.2
Bothidae spp.		3	2			1.0	0.2
<i>Coryphaena hippurus</i>				3		0.6	0.1
<i>Erisphex potti</i>		3				0.6	0.1
<i>Repomucenus</i> sp.					3	0.6	0.1
<i>Saurida elongata</i>					3	0.6	0.1
<i>Gnathopis nystromi</i>					3	0.6	0.1
<i>Epinephelus akara</i>			2			0.4	0.1
<i>Scura margaritacea</i>			2			0.4	0.1
Total	0	75	1967	114	645	560.2	100.0

*: Horizontal towing, **: Vertical towing.

어란과 자치어 시료의 양이 매우 적어 채집방법에 따른 차이는 파악하기는 어려웠다. 반면 9월의 경우 자치어는

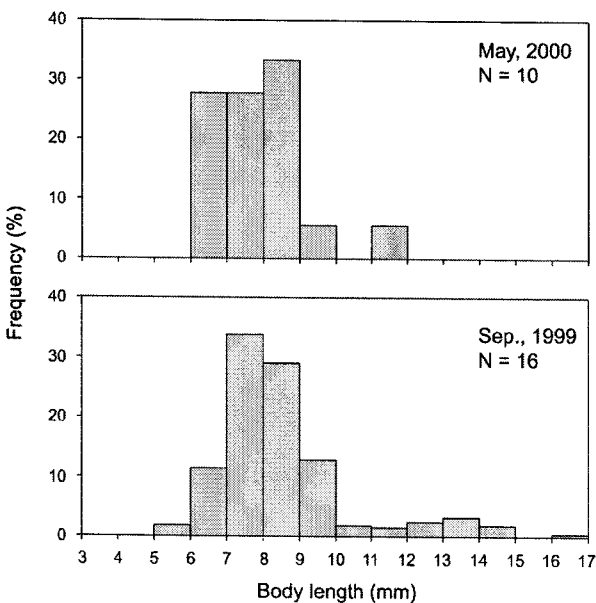


Fig. 3. Length frequency distribution of *Engraulis japonicus* collected by bongo net in the study area during the Dokdo surveys.

수직예망보다 수평예망에서 많은 양이 채집되었다.

멸치 자치어의 체장 조성은 Fig. 3과 같다. 5월에 출현한 자치어의 체장 범위는 6.4~11.3 mm, 체장의 최빈값은 8~9 mm였다. 9월에 출현한 자치어의 체장 범위는 5.0~16.0 mm, 체장의 최빈값은 7~8 mm였다. 5월과 9월에 출현한 자치어의 대부분은 체장이 8~9 mm 이하였다. 자연상태에서 채집한 멸치의 자어는 난황흡수 후 10일 정도면 체장은 약 10 mm, 20일 경에는 약 15 mm(차, 1990), 실험실 사육시 멸치는 부화 후 8일에는 약 5 mm, 18일에는 약 10 mm, 29일에는 약 15 mm, 40일에는 약 19 mm로 보고되었다(Fukuhara, 1983). 위의 결과를 적용하면 본 연구해역에서 채집된 멸치 자치어의 연령 범위는 5월에 채집된 개체들은 부화 후 약 8~18일, 9월에 채집된 것들은 8~30일 성장한 것으로 추정된다. 5월과 9월에 출현한 자치어의 대부분은 연령이 부화 후 약 18일 이내의 것들로 보인다.

동해 남서부해역에서 광범위하게 출현하는 멸치의 어란과 자치어는 계절에 따라 지리적으로 분포의 차이가 크고(한국해양연구소, 1995; 한국해양연구소, 1997; 한국해양연구소, 1998), 수온과 염분이 높은 해역에서 출현량이 높은 것으로 보고되었다(Kim, 1992; 한국해양연구원, 2002). 본 연구에서도 역시 조사시기의 차이는 있지만 수온이 낮은 5월보다 수온이 높은 9월에 자치어의 출현량이 매우

높았다. 5월의 경우 어란과 자치어가 모두 출현하였지만 9월에는 자치어만 출현하였다. 멸치 어란의 부화시간은 수온 15~21°C에서 1~3일(Zweifel and Lasker, 1976)로 부화기간이 짧아 5월에 채집된 어란은 주변해역에서 산란되었을 가능성이 높다. 반면 9월의 경우 어란이 채집되지 않았지만 자치어의 출현량은 비교적 높았다. 채집된 대부분의 자치어들은 연령이 부화 후 18일 이내로 어란의 부화기간을 고려한다면 적어도 20일 전에 산란된 것으로 판단된다.

엘통이(*M. muelleri*)는 조사기간 동안 어란과 자치어가 모두 채집되었다. 5월에 어란은 정점 A8과 A16에서 각각 10개체/1,000 m³와 56개체/1,000 m³가 출현하였고, 자치어는 정점 A8과 A16에서 각각 7개체/1,000 m³와 44개체/1,000 m³가 출현하였다. 두 개의 정점 모두 수직으로 예상한 정점이었다(Table 2). 9월에 어란은 정점 A1을 제외한 모든 정점에서 출현하였으며 출현량 범위는 5~262개체/1,000 m³였다. 자치어는 어란과 달리 A8과 A16에서 각각 15개체/1,000 m³와 30개체/1,000 m³ 출현하였다(Table 3). 어란은 조사시기에 따라 차이는 있지만 수평 또는 수직으로 예상한 정점에서도 출현하였으며 수온이 높은 9월에는 출현빈도와 출현량이 수온이 낮은 5월보다 높았다. 이와 달리 자치어는 5월과 9월 모두 수직으로 예상한 정점에서 출현하였으며 정점간 출현량에 큰 차이는 없었다.

엘통이 자치어의 체장 조성은 Fig. 4와 같다. 5월에 출현한 자치어의 체장 범위는 1.8~5.6 mm, 체장의 최빈값은 2~3 mm였다. 9월에 출현한 자치어는 체장 범위는 2.9~8.2

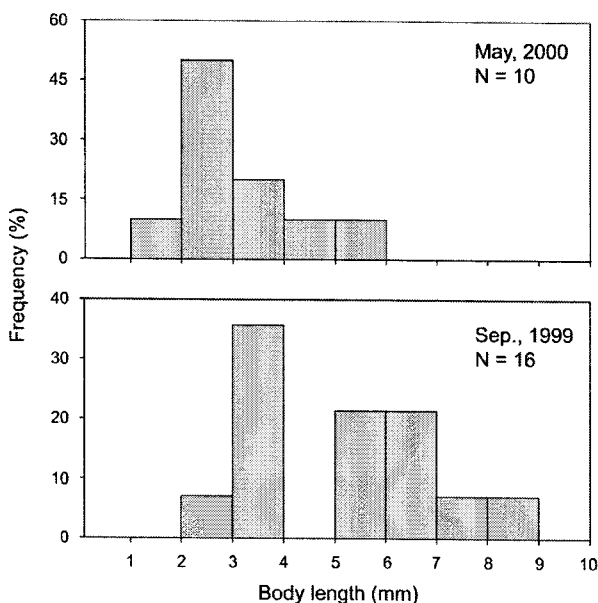


Fig. 4. Length frequency distribution of *Maurolicus muelleri* collected by bongo net in the study area during the Dokdo surveys.

mm였고, 최빈값은 3~4 mm였다(Fig. 3). 엘통이는 알에서 부화 후 15~34일 정도 지나면 체장이 3.6~9.3 mm에 달한다(선, 2002). 위의 결과를 적용하면 연구해역에서 채집된 엘통이 자치어들은 연령이 부화 후 15일 이내의 개체들부터 약 34일까지 다양한 것으로 판단된다.

중층성 어류인 엘통이의 어란과 자치어는 동해에서 대한해협 북부해역, 동해중남부해역, 일본연안에 분포한다. 어란의 북방분포한계는 37도 이남해역(5월)에서 40도 이남해역(9월)이며, 이 종의 산란 강도는 대마난류수의 지리적인 분포 양상과 밀접한 관련이 있지만(임 등, 1970; Okiyama, 1971; Okiyama, 1981; 김과 강, 1995; 차 등, 1998; 김과 유, 1999; 한국해양연구소, 1995; 한국해양연구소, 1997; 한국해양연구소, 1998; 선, 2002), 본 연구에서 조사 횟수가 적어 자치어의 계절적인 출현량 차이를 판단하기는 어려웠다. 채집된 자치어들은 체장조성을 통해 추정된 연령은 대부분 부화 후 15일 이내였다. 엘통이 어란이 부화에 필요한 시간은 밝혀지지 않았으나 주 분포 수층이 표층혼합수층과 동해고유수 사이의 수온약층임을 고려할 때 명태나 대구처럼 부화에 필요한 시간을 약 10일 정도로 가정한다면(한국해양연구원, 2000), 본 연구해역에서 출현한 자치어는 적어도 25일 이전에 산란된 것으로 판단된다.

멸치와 엘통이를 제외한 나머지 종들은 5월이나 9월 중 한 계절에만 출현하였으며 출현량과 출현빈도가 모두 낮았다. 5월의 경우 썩치(*Cololabis saira*) 어란과 망둑어류(Gobiidae sp.) 자치어가 각각 1개 정점에서 출현하였다. 9월에는 등글넙치류(Bothidae spp.)와 참새대류(*Cynoglossus* sp.), 깃비늘치(*Benthoosema pterotum*), 날매통이(*Saurida elongata*), 풀미역치(*Erisphex potti*), 꽃동멸류(*Synodus fuscus*), 붉바리(*Epinephelus akara*), 꽃돔(*Sacura margaritacea*), 동갈돔류(Apogonidae spp.), 만새기(*Coryphaena hippurus*) 등의 자치어는 소수의 정점에서 출현하였다(Table 2~3). 이러한 종들은 대한해협과 제주도 주변해역에서 출현빈도가 높은 종들이다(유, 1991; 이, 1996; 김, 1999). 본 조사에서 출현한 어란과 자치어 중 엘통이, 꽃동멸류, 날매통이, 깃비늘치 등의 성어는 아직까지 독도 주변해역에서 채집된 기록은 없었다(독도연구보전협회 1998; 해양수산부, 2000).

2000년 5월과 1999년 9월에 실시된 조사에서 독도 주변해역은 난류수역의 가장자리에 위치하여(Fig. 2) 생물학적으로 생산력이 높아(조 등, 1997) 다양한 종류의 어류가 출현할 수 있지만, 난류수의 영향이 상대적으로 큰 9월(Fig. 2)에 다양한 종류의 자치어가 출현하였다(Table 1). 비록 여름과 겨울철 조사자료가 부족하지만 이상의 결과로 미루어 본 연구해역은 어류들의 산란장과 보육장으로 이용되고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 1999~2000년에 실시된 해양수산부의 “독도 생태계 등 기초조사 연구(BSPM 99045-00-1282-6)”의 일환으로 수행되었습니다. 현장조사에 많은 도움을 주신 김응서 박사님, 강정훈 선생님, 물리자료를 정리하여 제공하여 주신 장경일 박사님, 김윤배 선생님, 많은 조언을 해주신 전남대학교 차성식 교수님과 국립수산물과학원의 박광재 박사님께 감사드립니다.

참고문헌

- 김 성, 유재명. 1999. 엘통이(*Maurolicus muelleri*) 난·자치어 분포와 수온전선. 한국어류학회지, 11(1), 62-71.
- 김수암, 강수경. 1998. 동해의 수산자원 현황 및 연구방향. 한국수산자원학회지, 1(1), 44-58.
- 김종만, 유재명, 명정구, 임주열. 1986. 한국 연근해 어린·치어 도감. 한국해양연구소 보고서 BSPE 00060-98-3, 369 p.
- 김철호, 김 구. 1983. 한국 동해안에 출현하는 냉수피의 특성과 기원. 한국해양학회지, 18(1), 73-83.
- 독도연구보전협회. 1998. 독도 인근해역의 환경과 수산자원 보전을 위한 기초연구. 독도연구보전협회, 254 p.
- 선영란. 2002. 동해 남서부해역 수온전선역 엘통이(*Maurolicus muelleri*) 난자치어 수직분포 및 이석의 미세구조를 이용한 나이 추정과 성장분석. 충남대학교 이학석사학위논문, 51 p.
- 손용호. 1986. 조선 동해 가까운 바다에 있는 물고기의 분포상에 대하여. 수산과학기술 논문집(1). 공업출판사. 평양. 132-150.
- 이충렬. 1994. 황해의 어류상에 대한 검토. 한국어류학회지, 6, 172-192.
- 임주열, 조문규, 이미자. 1970. 한국근해에 있어서 어린 치어의 출현분포. 수진원 자원조사보고, 8, 7-29.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 727 p.
- 조문규, 문창호, 양한섭, 강원배, 이광우. 1997. 동해 극전선역의 영양염류 순환과정. III. 1995년 10월 동해 중부 및 북부 해역의 수괴의 영양염의 분포. 한국수산학회지, 30, 393-407.
- 차병일, 김주일, 김진영, 허성희. 1998. 엘통이(*Maurolicus muelleri*)의 산란생태 및 식성. 한국어류학회지, 10(2), 176-183.
- 차성식. 1990. 전남 연안해역 멸치(*Engraulis japonicus*)의 연령과 초기 성장. 한국수산학회지, 23(5), 385-393.
- 한국해양연구소. 1995. 한국근해 해양환경도 작성연구 - 동해 남서부(1차년도). 한국해양연구소 보고서, 336 p.
- 한국해양연구소. 1997. 한국근해 해양환경도 작성연구 - 동해 남서부(2, 3차년도). 한국해양연구소 보고서, 601 p.
- 한국해양연구소. 1998. 한국근해 해양환경도 작성연구 - 동해 남서부(4차년도). 한국해양연구소 보고서, 320 p.
- 해양수산부. 1999. 독도 해양환경 수산자원 보전을 위한 기초연구. 해양수산부, 544 p.
- 해양수산부. 2000. 독도 생태계 등 기초조사 연구 최종보고서. 해양수산부, 223-318 p.
- 한국해양연구원. 2002. 동해 기후변동 예측 연구. 한국해양연구원 보고서, 330 p.
- Fukuhara, O. 1983. Development and growth of laboratory reared *Engraulis japonica* (Houttuyn) larvae. *J. Fish Biol.*, 23, 641-652.
- Kim, J.Y. 1992. Relationship between anchovy, *Engraulis japonica* egg and larval density and environmental factors in the Eastern Waters of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25(6), 495-500.
- Okiyama, M. 1988. An atlas of the early stage fishes in Japan. Tokai Univ. Press 1154 p.
- Okiyama, M. 1971. Early life history of the Gonosotmatid fish *Maurolicus muelleri* (Gmelin), in the Japan Sea. *Bull. Jap. Sea Reg. Fis. Res. Lab.*, 23, 21-53.
- Okiyama, M. 1981. Abundance and distribution of eggs and larvae of a sternoptychid fish, *Maurolicus muelleri*, in the Japan Sea, with comments on the strategy for successful larval life. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 178, 246-247.
- Zweifel, J.R. and R. Lasker. 1976. Prehatch and posthatch growth of fishes a general model. *Fish. Bull.*, 74(3), 609-621.

Received Oct. 21, 2002

Accepted Dec. 24, 2002