

## 독도 근해 홍게(*Chionoecetes japonicus*) 유생의 출현시기와 분포

이해원 · 박원규<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 독도수산연구센터, 부경대학교 자원생물학과<sup>1</sup>

### Larval Timing and Distribution of the Red Snow Crab *Chionoecetes japonicus* near Dokdo

Hae-Won Lee and Won-Gyu Park<sup>1\*</sup>

Dokdo Fisheries Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Pohang, 791-110, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

The larval occurrence of the red snow crab *Chionoecetes japonicus* was investigated near Dokdo in the East Sea of Korea, and the larval timing of the genus *Chionoecetes* in world oceans was reviewed. *C. japonicus* larvae were collected seasonally at 12 stations in February, May, August, and November in 2011. A Bongo net with a 303 mesh was deployed with a double oblique tow. Larvae appeared from February to August, but no larvae were found in November. Zoea I occurred at nine stations with a few zoea II in February, and were found until August. The larval densities in February were high near the northern. In May, megalopa were found at eight stations with a few zoea II. No larvae were caught in November. The larval abundance in the research area peaked in February. Overall, the larval duration of the genus *Chionoecetes* in the world's oceans persisted for a long time, and *Chionoecetes* larvae occurred during the warm season in each area. The cold temperature at the sea bottom, where gravid females are found, may prolong larval production along the distribution range of the genus *Chionoecetes*.

Key words: Dokdo, *Chionoecetes*, Larvae, East Sea of Korea, Larval timing

## 서 론

대게(*Chionoecetes*) 속(Genus)에 속한 종(Species)들은 분포해역에서 모두 산업적으로 중요한 위치를 차지하고 있다(Squires, 1969; Kon, 1996). 대게 속에는 대게(*C. opilio*), 홍게(*C. japonicus*), *C. bairdi*, *C. tanneri* 그리고 *C. angulatus* 등 총 5종이 전세계 바다에 분포하는 것으로 알려져 있으며, 분포해역이 접하는 대게와 홍게 그리고 *C. tanneri* 와 *C. angulatus* 사이에 각각 잡종(hybrid)이 존재하는 것으로 보고되어 왔다(Jadamec et al., 1999; Hur et al., 2001; Park et al., 2007). 이들 중 *C. bairdi*와 대게는 다른 종들에 비해 비교적 얕은 대륙붕에 살며, *C. tanneri*, 홍게 그리고 *C. angulatus*는 다른 두 종보다 더 깊은 바다에 살고 있다(Jadamec et al., 1999). 우리나라

동해 연안에는 대게와 홍게 그리고 이들의 잡종인 너도대게(*Chionoecetes* sp.)가 분포하는 것으로 알려져 있다(Hur et al., 2001; Park et al., 2007). 대게는 우리나라 동해를 비롯하여, 오호츠크해, 베링해 그리고 북서 대서양에 분포하며, 너도대게와 홍게보다 상대적으로 얕은 수심에 분포하고 있다(Hur et al., 2001). 홍게는 우리나라 동해와 오호츠크해에만 분포하며 700 m이하의 깊은 수심에 분포하고 1000 m수심에서 분포밀도가 가장 높다(Yosho and Hayashi, 1994).

대게 속에 속한 종들은 이 속이 속한 물맛이게과(Family Majidae)의 다른 계들처럼 두 단계의 Zoea와 한 단계의 Megalopa 유생기를 갖는다. 산란시기에 어미게는 유생을 생산하기 위해 수심이 낮은 지역으로 이동한다(Taylor et al., 1985; Ennis et al. 1990; Lovrich et al., 1995). 알이 성숙해지면 어미게의 북

#### Article history;

Received 17 October 2012; Revised 9 November 2012; Accepted 21 November 2012

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5928 Fax: +82. 51. 629. 5931

E-mail address: wpark@pknu.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 45(6) 716-722, December 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0716>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

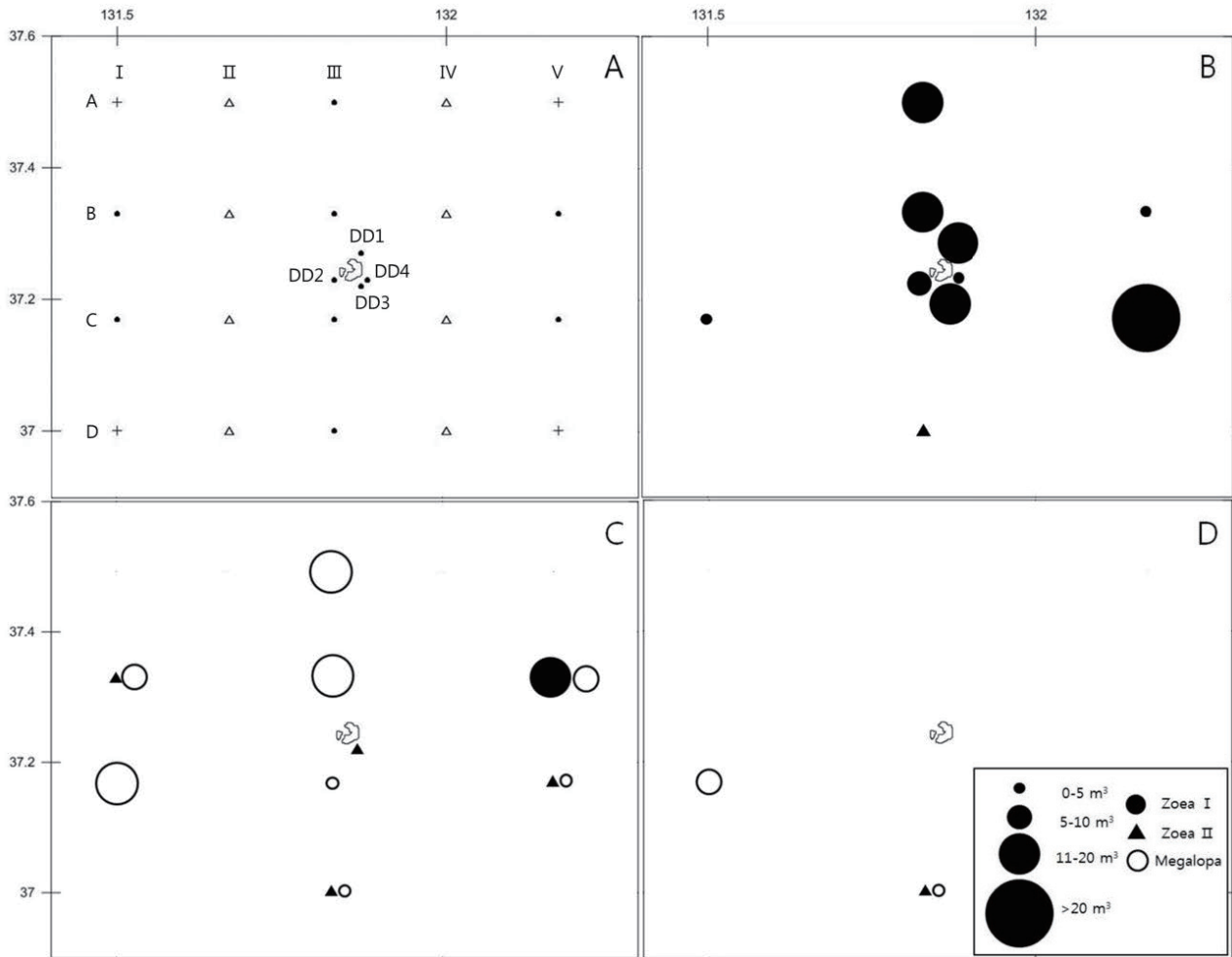


Fig. 1. Sampling stations and larval occurrence of *Chinoecetes japonicus* near Dokdo in the East Sea of Korea in 2011. In A, solid circles indicate CTD and zooplankton sampling stations while open triangles show only CTD casting stations. B, C and D indicate sampling months, February, May and August, respectively.

부에서 Prezoea로 나오며, 대략 한 시간 이내에 Zoea I기로 발달한다. Zoea I기에서 Zoea II기 그리고 Megalopa기로 발달할 때는 각 유생단계당 약 한 달의 시간이 소요된다(Incze, 1983; Hong et al., 2009).

산란시기는 동일종이더라도 위도에 따라 다르며, 분포 범위가 넓을수록 유생 생산 시기가 다양할 수 있다. 북미의 서부 해역에 분포하는 은행게류인 *Metacarcinus magister* (이전에 *Cancer magister*)의 경우 저위도 지역에서는 유생의 출현시기가 그 지역에서 상대적으로 수온이 낮은 계절에 유생이 생산되며, 고위도의 수온이 낮은 지역에서는 수온이 높은 시기에 유생이 출현한다(Park et al., 2007; Park and Shirley, 2008).

해양에 분포하는 무척추동물들은 거의 대부분 부유유생기를 갖는다(Thorson, 1950). 해양 무척추동물들에서 부유유생의 생존은 개체군의 변동을 야기시키는 중요한 요인 중의 하나로

간주되고 있다. 수온과 염분 그리고 식물플랑크톤 등의 먹이는 해양무척추동물들의 유생의 생존에 크게 영향을 주는 것으로 알려져 있으며(Chelton et al., 1982; Navarrete et al., 2002). 특히 수온은 해양무척추동물의 생식과 성장에 가장 밀접한 관계가 있으며(Reed, 1969; Ebert et al., 1983), 궁극적으로는 무척추동물의 생활사 전반에 영향을 준다(Hartnoll, 1982; Armstrong, 1983; Shirley et al., 1987). 하지만 염분은 해양무척추동물의 유생의 성장과 생존에 직접적인 영향을 미치지 않지만 대사에 영향을 미친다(Kinne, 1971).

수중에 살고 있는 해양생물들에게 먹이는 생활사 전반에 걸쳐 영향을 준다. 식물플랑크톤의 일차 대변무와 동시에 시작되는 유생의 생산은 생산된 유생의 생존율을 증가시키는데 도움을 주는 것으로 알려져 있다(Somerton, 1982). 대계 속에 속한 종들은 유생시기에 소형 동물플랑크톤과 구조류 등의 식물

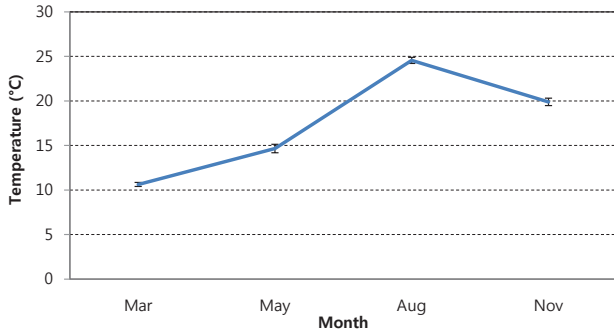


Fig. 2. Seasonal variations of sea surface temperature near Dokdo in 2011.

플랑크톤을 섭이한다(Incze, 1983; Incze et al., 1987). 동일 속(Genus)에 속한 다른 종들이 각기 종들 유생의 생존율을 극대화시키기 위해 유생의 생산시기를 조절하는 것으로 보고 되었다(Park and Shirley, 2005).

우리나라 동해에서 대게 속에 속한 종들은 수산업적으로 중요한 역할을 하고 있고, 어민들의 소득에 지대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 하지만 어획량의 변동폭이 심하며, 어획량 변동의 원인중의 하나의 유생의 생존에 관한 체계적인 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 우리나라 동해 독도근해에서 출현한 홍게 유생의 시·공간적 분포를 분석하여, 전세계 해양에 출현하는 대게 속 유생들의 출현시기를 비교함으로써 이 속에 속한 종들의 유생의 출현특징을 파악함을 목적으로 한다. 또한 독도 근해 홍게 유생출현의 특징을 연구함으로써 독도 근해 홍게 자원 관리의 기초자료로 제공함을 목적으로 한다.

## 재료 및 방법

우리나라 동해 독도 근해에서 2011년 2월, 5월, 8월, 그리고 11월에 12개 정점에서 동물플랑크톤을 채집하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤은 303  $\mu\text{m}$  크기 망목의 네트가 부착된 봉고네트를 사용하여 반복경사 채집(Double oblique tow)으로 표층부터 200 m 수심 가까이 까지 채집하였다. 채집된 동물플랑크톤은 선상에서 중성포르말린으로 즉시 고정된 후 실험실로 옮긴 다음 현미경(Wild M-5) 하에서 홍게 유생을 동정하여 선별한 후 계수하였으며, 계수된 개체수는 단위 체적 당  $10\text{ m}^3$  개체수로 환산하였다. 동물플랑크톤 채집 시 CTD (Sea-Bird SBE 21)를 이용하여 표층 수온과 염분을 측정하였다.

## 결 과

### 유생 출현

전 조사기간 동안 Zoea I 기 519개체, Zoea II 기 6개체, 그리고 Megalopa 기 163개체 등 총 748 개체가 채집되었다. 2011

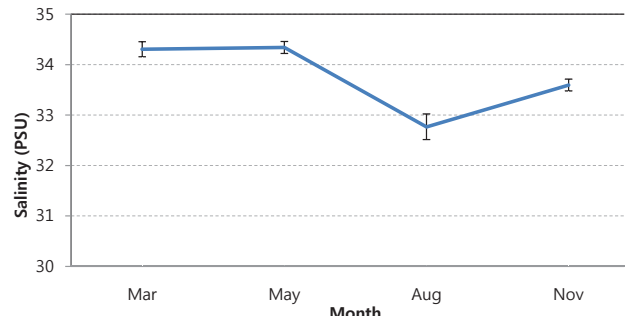


Fig. 3. Seasonal variations of sea surface salinity near Dokdo in 2011.

년 2월에는 495개체가 출현하여 가장 많았고, 5월에는 176개체 그리고 8월에 가장 적은 17개체가 출현하였으며 11월에는 유생이 출현하지 않았다. 2011년 2월에는 12 정점 중 BI과 CIII를 제외한 10개 정점에서 출현하였다(Fig. 1). 출현 밀도는  $10\text{ m}^3$  당 0.3개체부터 94.5개체까지 정점에 따라 매우 다양하였다. 정점 CV에서 가장 많은 94.5개체 ( $10\text{ m}^3$ )가 출현하였고, DIII에서는 Zoea II기만 0.3 개체 ( $10\text{ m}^3$ )출현하였다. 5월에는 3개의 유생기가 모두 출현하였다. Megalopa기( $1.5\text{-}20.0\text{ inds. }10\text{ m}^3$ )가 가장 많이 출현하였고, Zoea II기의 출현밀도가 가장 낮았다( $0.3\text{-}1.2\text{ inds. }10\text{ m}^3$ ). Zoea I기는 정점 BV ( $11.3\text{ inds. }10\text{ m}^3$ )에서만 출현하였다. 독도와 가까운 정점(DD1-4)군에서는 Zoea I기나 Megalopa 기가 전혀 출현하지 않았고, 정점 DD3에서 Zoea II기( $0.4\text{ inds. }10\text{ m}^3$ )만 소수 출현하였다. 8월에는 2개의 정점에서만 유생이 출현하였다. 정점 CI에서는 Megalopa 기만  $7.1\text{ inds. }10\text{ m}^3$  출현하였고, DIII에서는 Megalopa와 Zoea II가 모두  $0.004\text{ inds. }10\text{ m}^3$  출현하였다.

### 수온과 염분 분포

2011년에 관측된 표층수온은 2월에  $9.7\text{-}11.3^\circ\text{C}$  ( $10.6 \pm 0.45$ )로 가장 낮았으며, 5월  $12.3\text{-}16.8^\circ\text{C}$  ( $14.6 \pm 0.95$ )부터 증가하기 시작하여, 8월에  $23.2\text{-}25.6^\circ\text{C}$  ( $24.5 \pm 0.68$ )의 범위로 가장 높았으며, 11월에  $19.1\text{-}21.4^\circ\text{C}$  ( $19.9 \pm 0.83$ )로 다시 낮아졌다(Fig. 2). 5월에 정점간의 표층 수온의 차이가 가장 컸으며, 2월에 정점간 표층수온의 차이가 가장 작았다(Fig. 2). 2월에는 정점 CI에서  $9.7^\circ\text{C}$ 로 가장 낮았으며 정점 CIV에서  $11.3^\circ\text{C}$ 로 가장 낮았다. 5월에는 정점 DD3 ( $12.3^\circ\text{C}$ )와 정점 BI ( $13.4^\circ\text{C}$ )에서 다른 정점들에 비해 표층수온이 낮았으며, 정점 DIV ( $16.8^\circ\text{C}$ )에서 표층수온이 가장 높았다. 8월에는 정점 BII과 BV 그리고 정점 CV에서  $25^\circ\text{C}$ 이상의 높은 표층수온을 기록했으며, 정점 DII, DIII 그리고 DIV에서  $23^\circ\text{C}$ 로 다른 정점들에 비해 낮았다. 11월에는 정점 CII과 CIII에서  $21^\circ\text{C}$ 이상으로 표층수온이 가장 높았고, 독도주변해역에서  $19^\circ\text{C}$ 로 가장 낮았다.

2011년에 관측된 표층염분은 2월에  $34.0\text{-}34.7\text{ psu}$  ( $34.3 \pm 0.30$ ), 5월에  $34.0\text{-}34.7\text{ psu}$  ( $34.3 \pm 0.23$ ), 8월에  $31.9\text{-}34.3\text{ psu}$

Table 1. Larval duration of the *Chionoecetes* larvae in the world oceans. indicate zoea I, zoea II and megalopa, respectively. Question marks (?) indicate the possible occurrence of *Chionoecetes* larvae in the areas.

Study areas	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Temperature (°C)	Reference
<b><i>Chionoecetes bairdi</i></b>											
Glacier Bay (Alaska, USA)			?	■	■					5.8~14.7	Unpublished data
				■	■		?				
Glacier Bay (Alaska, USA)			■	■	■	■	■			4.7~8.1	Fisher (2006)
							■	■			
Bering Sea			■	■	■					-	Incze et al. (1987)
<b><i>C. japonicus</i></b>											
Sado Strait (Japan)		■	■	■						10.0~13.0	Yosho et al. (1996)
			■	■	?						
Present study (East Sea of Korea)	■	■	■	■	■	■	■	■			
							■	■			
<b><i>C. opilio</i></b>											
Wakasa Bay (Japan)	?	■	■	■						2.0~11.2	Kon (1982)
		■	■	■							
Bonne Bay (Newfoundland, Canada)			■	■	■	■	■			1.5~13.0	Conan et al. (1996)
						■	■	■	?		
Sado Strait (Japan)		■	■	■						10.0~13.0	Yosho et al. (1996)
			■	■	?						
<b><i>Chionoecetes</i> spp.</b>											
Wakasa Bay (Japan)	?	■	■	■						8.4~15.0	Kon et al. (2003)
		■	■	■							
						?					

(32.7±0.51) 그리고 11월에 33.4-34 psu (33.6±0.24)의 범위를 보였다(Fig. 3). 2, 5 그리고 11월에 정점간 염분 차이는 크지 않았지만 8월에는 전체적으로 염분이 가장 낮고, 정점간 염분 차이도 가장 컸다(Fig. 3).

### 고 찰

해양생태계는 생산자(식물플랑크톤)와 1차소비자(동물플랑크톤) 그리고 고차소비자(소형 및 대형어류)로 이어지는 구조를 가지고 있다. 일차생산자인 식물플랑크톤은 전체 해양생태계를 지탱하는 중요한 역할을 하며, 많은 해양생물들이 일차 대변무시 생산된 식물플랑크톤을 이용한다. 요각류나 난바다근쟁이와 같은 중생플랑크톤도 식물플랑크톤의 일차 대변무시의 시기에 맞추어 유생을 생산하며(Coyle and Paul, 1990; Paul et al., 1990a,b; Starr et al., 1994), 따개비와 십각류 유생 등의 일차플랑크톤들도 이 시기에 유생을 생산한다(Kon, 1982; Park, 2007). 유생의 출현시기는 먹이를 포함하는 환경

과 유생과의 match-mismatch 문제로 유생의 생산시기는 유생의 생존 그리고 개체군변동과 직결되는 것으로 알려져 있다(Cushing, 1990).

대게 속에 속한 종들도 예외는 아니어서 이들 종들이 속한 분포해역에서 일차 대변무 시기에 유생을 생산한다. 남동 베링해에서 *C. bairdi*와 대게(*C. opilio*)의 Zoea 1기 유생이 4월과 5월에 최대 밀도로 출현하였고(Incze et al., 1987; Incze and Armstrong, 1987), 알래스카 코디악(Kodiak)섬 인근에서는 4월 중순 경부터 유생이 생산되기 시작하여 5월까지 계속되었다(Stevens, 2003). 남동부 알래스카의 그래시어만(Glacier Bay)에서도 *C. bairdi* 유생이 5월에 가장 밀도가 높았다(Fisher, 2006; unpubl. data). *C. tanneri*의 경우 북미지역의 Oregon과 British Columbia 연안에서 이른 봄에 유생을 생산한다고 보고 되었다(Pereyra, 1966; Hong et al., 2009). 베링해는 해빙이 녹는 시기에 따라 식물플랑크톤의 일차 대변무의 시기가 다르지만 대체로 3월과 5월 사이에 식물플랑크톤의 일차 대변무가 일어난다(Hunt and Staben, 2002). 알래스카만과 남동부 알

라스카의 경우도 겨울 바람이 약해져 수괴가 잠잠해지기 시작하는 시기에 식물플랑크톤의 일차 대번무가 시작된다(Fisher, 2006).

대서양 연안에 위치한 뉴펀드랜드(Newfoundland)의 본느만(Bonne Bay)에 서식하는 대게도 4월과 5월에 유생을 생산한다(Taylor et al., 1985). 같은 대서양 연안의 세인트로렌스만의 대게도 3월과 5월 사이에 Zoea I기 유생을 생산하는 것으로 알려져 있다(Starr et al., 1994). 알래스카 연안과 베링해의 경우와 같이 이 시기도 식물플랑크톤의 일차 대번무 시기와 일치된다.

우리나라 동해에서도 대게 속에 속한 종들은 식물플랑크톤의 일차 대번무 시기에 유생을 생산한다. Chl *a*의 농도는 우리나라 동해에서는 계절성이 매우 강한 것으로 보고되어 왔다(Kim et al., 2000; Yamada et al., 2004). 3월부터 증가하기 시작하여 6월까지 Chl *a*의 농도가 높으며 여름 동안 그 농도가 낮다. 가을 동안 Chl *a*의 농도가 다시 증가하고 12월부터 2월까지의 겨울 동안 다시 감소하는 것으로 알려져 있다. Chl *a*의 농도는 동해의 북쪽부터 높아지기 시작하여 점차 남쪽으로 높아지는 경향이 보고되어 왔다(Kim et al., 2000). 현 연구의 해역이 독도 근해로 제한되어 있어 실제로 유생의 출현시기가 Chl *a*의 농도의 변화를 따라 북쪽부터 남쪽으로 이동해왔는지는 알 수 없지만, 유생의 출현시기가 식물플랑크톤의 대번무와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다.

동해에서 대게 속 유생들의 출현시기에 대한 여러 연구들이 진행되었다. Kon (1967)은 우리나라 동해에서 대게와 홍게의 유생이 1월부터 4월까지 출현한다고 하였다. Kon (1996)과 Kon and Honma (1970)는 일본의 와카사만(Wakasa Bay)에서 유사한 시기에 출현한다고 보고하였다. 대게와 홍게 유생 모두 일본의 사도해협(Sado Strait) 3월부터 출현하기 시작하였다(Yosho et al., 1996). 비록 연구가 3월에 시작되어 연구가 진행되지 전인 1월이나 2월에 출현했었을 수도 있다. 하지만 본 연구결과와 유사한 것으로 보아 동해를 둘러싸고 있는 한국과 일본연안에서 대게 속 유생의 출현 시기는 거의 유사한 것으로 나타났다.

대게 속에 속한 종들의 유생은 수괴에서 긴 시간을 보내는 것으로 알려져 있다. 미국 남동부 알래스카에 분포하는 *C. bairdi*는 4월부터 유생이 생산되기 시작하여 10월까지 출현한다(Table 1; Fisher, 2006; Unpubl. Data). 대게의 경우 일본의 와카사 만에서 2월부터 6월까지 출현하는 것으로 보이며(Table 1; Kon, 1982). 홍게의 유생도 일본의 사도 해협에서 3월부터 6월까지 출현하는 것으로 조사되었다(Table 1; Yosho et al., 1996). 대게와 홍게의 유생을 분리하지 않은 대게 속 유생들은 일본의 와카사 만에서 2월부터 7월까지 출현하는 것으로 추정된다(Table 1; Kon et al., 2003). 본 연구에서도 유생은 2월부터 8월까지 출현하여 유사한 연구결과를 보였다. 본 연구와 다른 연구들을 종합해볼 때 홍게를 포함하는 대게 속 유생들은

긴 유생기를 가지며, 이것은 유생이 발달할수록 수온이 낮은 깊은 물로 들어가기 때문에 긴 유생기를 갖는 것으로 간주된다(Kon, 1982; Kon et al., 2003).

## 사 사

시료 채집을 도와주신 국립수산과학원 조사선 탐구20호의 선장과 선원 여러분께 감사드립니다. 본 연구는 국립수산과학원(RP-2012-FR-048)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Armstrong DA. 1983. Cyclic crab abundance and relationship to environmental causes. In: Wooster W ed. From year to year: interannual variability of the environment and fisheries of the Gulf of Alaska. University of Washington, Sea Grant Report. WST-WO 83-3. Seattle, Washington, U.S.A., 102-110.
- Chelton DB, Bernal PA and McGowan JA. 1982. Large-scale interannual physical and biological interaction in the California current. J Mar Res 40, 1095-1125.
- Conan GY, Starr M, Comeau M, Therriault JC, Hernandez FXM, and Robichaud G. 1996. Life history strategies, recruitment fluctuations, and management of the Bonne bay fjord Atlantic snow crab. In: High Latitude Crabs: Biology, Management and Economics. Alaska Sea Grant College Program AK-SG-96-02, 199-208.
- Coyle KO and Paul AJ. 1990. Abundance and biomass of mero-plankton during the spring bloom in an Alaskan Bay. Ophelia 32, 199-210.
- Cushing DH. 1990. Plankton production and year-class strength in fish populations: an update of the match-mismatch hypothesis. Adv Mar Biol 26, 249-293.
- Ebert EE, Hazeltine AW, Houk JL and Kelly RO. 1983. Laboratory cultivation of the Dungeness crab, *Cancer magister*. In: Wild PW and Tasto RN eds. Life history, environment, and mariculture studies of the Dungeness crab.
- Ennis GP, Hooper RG and Taylor DM. 1990. Changes in the Composition of Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) Participating in the Annual Breeding Migration in Bonne Bay, Newfoundland. Can J Fish Aquat Sci 47, 2242-2249.
- Fisher JL. 2006. Seasonal timing and duration of brachyuran larvae in a high-latitude fjord. Mar Ecol Prog Ser 323, 213-222
- Hartnoll RG. 1982. Growth. In: Abele, L.G. ed. The Biology of Crustacea. Vol. 2 Embryology, morphology, and genetics. Academic press, New York, U.S.A., 111-196.
- Hong SY, Park W, Perry I and Boutillier J. 2009. Larval development of the grooved Tanner crab, *Chionoecetes tanneri* Rathbun, 1893 (Decapoda: Brachyura: Majidae) described from laboratory-reared specimens. ACS 13, 59-69.

- Hunt GL and Stabeno PJ. 2002. Climate change and the control of energy flow in the southeastern Bering Sea. *Prog Oceanogr* 55, 5-22.
- Hur YH, Jeon YY, Whang SJ, Hong BG and Kim YS. 2001. Research on fishery resources in the coastal area of the East Sea of Korea. 2000 NFRDI Res Rep, 3-29.
- Incze L. 1983. Larval life history of Tanner crabs, *Chionoecetes bairdi* and *C. opilio*, in the southeastern Bering Sea and relationships to regional oceanography. PhD dissertation University of Washington, Seattle, U.S.A., 191.
- Incze LS and Armstrong DA. 1987. Abundance of larval Tanner crabs (*Chionoecetes* spp.) in relation to adult females and regional oceanography of the southeastern Bering Sea. *Can J Fish Aquat Sci* 44, 1143-1156.
- Incze LS, Armstrong DA and Wencker DL. 1987 Rates of development and growth of larvae of *Chionoecetes bairdi* and *C. opilio* in the Southeastern Bering Sea. In: Proceedings of the International Symposium on the Genus *Chionoecetes*. May 1982. Alaska Sea Grant Report 82-10. 219-232.
- Jadamec LS, Donaldson WE and Cullenberg P. 1999. Biological field techniques for *Chionoecetes* crabs. Alaska Sea Grant College Program Report. AK-SG-99-02.
- Kim SW, Saitoh S, Ishizaka J, Isoda Y and Kishino M. 2000. Temporal and spatial variability of phytoplankton pigment concentration in the Japan Sea derived from CZCS images. *J Oceanogr* 56, 527-538.
- Kinne O. 1971. Salinity. In: Kinne O. ed. *Marine Biology* 3. Willey-Interscience, London, U.K., 683-1244.
- Kon T. 1967. Fisheries biology of the tanner crab-I. On the prezoal larva. *Bull Jap Soc Sci Fish* 35, 219-224.
- Kon T. 1982. On the planktonic larval life of the zuwai crab, *Chionoecetes opilio*, occurring along coasts of the central Japan sea. In: Proceedings of the International Symposium on the Genus *Chionoecetes*. Alaska Sea Grant Report 82-10. 137-156.
- Kon T. 1996. Overview of Tanner crab fisheries around the Japanese Archipelago. In: high latitude crabs: Biology, management, and economics. University of Alaska Sea Grant, AK-SG 96-02, Fairbanks, 13-24.
- Kon T and Honma Y. 1970. Studies on the maturity of the gonad in some marine invertebrates- III. Seasonal changes in the ovary of the tanner crab. 36, 1021-1027.
- Kon T Adachi T and Suzuki Y. 2003. Distribution of snow crab, *Chionoecetes* spp., larvae off Wakasa Bay in the Sea of Japan. *Fish Sci* 69, 1109-1115.
- Lovrich GA, Sainte-Marie B and Smith BD. 1995. Depth distribution and seasonal movements of *Chionoecetes opilio* (Brachyura: Majidae) in Baie Sainte-Marguerite, Gulf of Saint Lawrence. *Can J Zool* 73, 1712-1726.
- Navarrete SA, Broitman B, Wieters EA, Finke GR, Venegas RM and Sotomayor A. 2002. Recruitment of intertidal invertebrates in the southeast Pacific: Interannual variability and the 1997-1998 El Nino. *Limnol Oceanogr* 47, 791-802.
- Paul AJ, Coyle KO and Ziemann DA. 1990a. Variation in egg production rates by *Pseudocalanus* spp. in a subarctic Alaskan bay during the onset of feeding by larval fish. *J Crust Biol* 10, 648-658.
- Paul AJ, Coyle KO and Ziemann DA. 1990b. Timing of spawning of *Thysanoessa raschii* (Euphausiacea) and occurrence of their feeding-stage larvae in an Alaskan bay. *J Crust Biol* 10, 69-78.
- Park H, Jeong E, Bae B, Yang Y, Hwang S, Park J, Kim Y, Lee S and Choi S. 2007. Fishing investigation and species composition of the catches caught by a bottom trawl in the deep East Sea. *J Kor Soc Fish Tech* 43, 183-191.
- Park W. 2007. Spatial and monthly changes of sea surface temperature, sea surface salinity, chlorophyll a, and zooplankton biomass in southeastern Alaska: Implications for suitable conditions of survival and growth of Dungeness crab zoeae. *J Fish Sci Technol* 10, 133-142.
- Park W and Shirley TC. 2005. Diel vertical migration and seasonal timing of the larvae of three sympatric cancrid crabs, *Cancer* spp., in Southeastern Alaska. *Estuaries*, 28, 266-273.
- Park W and Shirley TC. 2008. Variations of abundance and hatch timing of Dungeness crab larvae in southeastern Alaska: implications for climate effect. *ACS* 12, 287-295.
- Park W, Douglas DC and Shirley TC. 2007. North to Alaska: Evidence for conveyor belt transport of Dungeness crab larvae along the west coast of the United States and Canada. *Limnol Oceanogr* 52, 248-256.
- Pereyra WT. 1966. The bathymetric and seasonal distribution, and reproduction of adult tanner crabs, *Chionoecetes tanneri* Rathbun (Brachyura: Majidae), off the northern Oregon coast. *Deep Sea Res* 16, 1185-1205.
- Reed PH. 1969. Culture methods and effects of temperature and salinity on survival and growth of Dungeness crab (*Cancer magister*) larvae in the laboratory. *J Fish Res Board Can* 26, 389-397.
- Shirley SM, Shirley TC and Rice SD. 1987. Latitudinal variation in the Dungeness crab, *Cancer magister*. Zoal morphology explained by incubation temperature. *Mar Biol* 95, 371-376.
- Somerton DA. 1982. Bipartite breeding: A hypothesis of the reproductive pattern in Tanner crabs. In: Proceedings of the International Symposium on the Genus *Chionoecetes*. Alaska Sea Grant Report 82-10, 283-288.
- Starr M, Therriault JC, Conan GY, Comeau M and Robichaud G. 1994. Larval release in a sub-euphotic zone invertebrate triggered by sinking phytoplankton particles. *J Plankton Res* 16, 1137-1147.
- Stevens BG. 2003. Timing of aggregation and larval release by Tanner crabs, *Chionoecetes bairdi*, in relation to tidal current patterns. *Fish Res* 65, 201-216.
- Squires HJ. 1969. Decapoda Crustacea of the Beaufort Sea and

- arctic waters eastward to Cambridge Bay, 1960-65. J Fish Res Board Can 26, 1899-1918.
- Taylor DM, Hooper RG and Ennis GP. 1985. Biological aspects of the spring breeding migration of snow crabs, *Chionoecetes opilio*, in Bonne Bay, Newfoundland (Canada). Fish Bull 83, 707-710.
- Thorson G. 1950. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. Biol Rev 25, 1-45.
- Yamada K, Ishizawa J, Yoo S, Kim H and Chiba S. 2004. Seasonal and interannual variability of sea surface chlorophyll a concentration in the Japan/East Sea(JES). Prog Oceanogr 61, 193-211.
- Yosho I and Hayashi I. 1994. The bathymetric distribution of *Chionoecetes opilio* and *C. japonicus* (Majidae: Brachyura) in the western and northern areas of the Sea of Japan. Bull Japan Sea Nat Res Inst 44, 59-71.
- Yosho I, Nagasawa T and Konishi K. 1996. Larval distribution of *Chionoecetes* (Majidae, Brachyura) in the Sado Strait, Sea of Japan. In: High Latitude Crabs: Biology, Management and Economics. Alaska Sea Grant College Program AK-SG-96-02, 199-208.