

## 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알 생산

박 철 · 이평강  
충남대학교 해양학과

### Egg Production by Marine Copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea

Chul PARK and Pyung-Gang LEE

Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejon, 305-764, Korea

Seasonality in biomass and egg production was investigated for *Calanus sinicus*, one of the major copepods in Asan Bay, Korea. Biomass of this species in this restricted embayment showed only one peak in spring, but egg production showed two peaks, spring (April and May) and fall (September). Average egg productions during the spawning seasons were 16.3 eggs/female/day (spring) and 7.6 eggs/female/day (fall) with maximum egg production of 39.0 eggs/female/day. Food concentrations in this bay measured in terms of particulate organic carbon (POC) were relatively high around the year, and correlation between egg production and POC was not significant. With the food provided sufficiently animals produced a lot of fecal pellets, but egg production was ceased after several days of experiment. From these results it was believed that egg production in this bay was influenced by food quality and feeding history rather than food concentrations. Habitat temperatures also seem to have influence on egg production from the facts that no egg was produced at extreme habitat temperatures, although the correlation between the two was not significant. In this bay, two generations with different time periods seem to progress yearly. Distribution was coupled with life cycle only at certain time of the year. During the other periods predation pressure by the higher trophic levels and shift of the centers of the distributions toward deeper outer bay seemed to be responsible for the observed distribution and egg production of this species in this bay. Comparing with the previous reports, migration of fairly long distance and continual reproduction seemed possible for this species.

**Key words** : egg production, copepod, *Calanus sinicus*, Asan Bay

#### 서 론

충청남도과 경기도에 면하고 있는 아산만은 과거 많은 수산자원의 산란 및 보육장으로 인식되어왔다. 최근들어 많은 간척사업이 진행되고 인근지역에 많은 공단이 들어서면서 아산만은 해양환경이 크게 변할 가능성이 있는 곳으로 여겨지고, 이에 따라 이곳에 대한 생태학적 관심이 커지게 되었다.

아산만에서 Moon et al. (1993)은 영양염과 입자성 유기물의 분포에 대하여 보고한 바 있고, Park et al. (1991)은 조석에 의한 수직혼합이 활발한 이 지역

동물플랑크톤의 수직분포에 대하여 보고하였으며, Choi and Park (1993)은 동물플랑크톤 군집이 온대수역의 특징적인 계절적 천이를 보이고 있음을 발표하였다.

Choi and Park (1993)에 의하면, 아산만 동물플랑크톤 군집의 주요 우점종으로 봄철에는 요각류인 *Calanus sinicus*, *Acartia bifilosa*, 여름철에는 모악동물인 *Sagitta crassa*와 소형인 요각류 *Paracalanus indicus*, *Corycaeus affinis* 그리고 십각류의 zoea 유생들이 것으로 나타났다. 가을철에는 이때때 유생, 치패 및 대형 요각류 *Labidocera eucaeta*가 우점하였다. 겨울철에

는 각 종의 우점도는 상대적으로 감소하였으나 요각류인 *C. sinicus*, *A. bifilosa*, *L. eucaeta* 등이 우점하여 *C. sinicus*가 아산만 동물플랑크톤 군집에서 중요한 위치를 점하고 있음을 보여주었다. 또한 *C. sinicus*는 초식성 여과섭식자로서 식물플랑크톤에게는 포식압력으로 중요한 기능을 하며, 이종의 크기가 다른 요각류에 비하여 상대적으로 크다는 점에서 소형 어류 등의 상위 영양단계 생물에게는 유용한 먹이생물로서 생태학적 위치가 매우 중요한 종으로 인식된다.

이러한 요각류 *C. sinicus*가 아산만 일원에서 봄철에 다량 출현하고 다른 계절에는 소량 분포하는 양상과 관련하여 (Kim and Huh, 1983; Choi and Park, 1993), 이것이 수평적 이동에 원인이 있는 것인지, 아니면 이들의 생활사와 관련되어 있는 것인지 아직 밝혀지지 않았다. 이러한 내용은 조사대상 해역을 보다 광범위하게 확장하여 분포 변화를 파악하거나 대상 해역에서의 산란주기 등을 파악함으로써 보다 명확히 밝혀질 수 있을 것이다.

한편 요각류의 알 생산을 개체군 (population)의 관점에서 보면 사망과 대응되는 재가입의 변수로서 매우 중요하며, 각 개체의 관점에서 보면 성체로 성장한 후의 성장으로 간주될 수 있다는 점에서 역시 매우 중요한 변수이다 (Sekiguchi et al., 1980; Uye, 1981; Park and Landry, 1993). 그러나, 우리나라에서 요각류의 알 생산에 관하여 연구한 예는 아직 없다.

본 연구에서는 아산만의 주요 요각류인 *C. sinicus*의 산란 주기를 파악하여 이들의 생활사 기간을 유추하고 이로부터 개체군의 계절 변동이 이주에 의한 것인지, 생활사와 관련된 것인지를 규명하고자 하였다. 또한 알 생산과 환경 요인과의 관계 등을 파악하고자 하였다.

## 재료 및 방법

동물플랑크톤 자료는 1990년 11월부터 1994년 8월까지 4개년에 걸쳐 아산만의 세 정점에서 계절별로 취한 시료로부터 얻었다 (Fig. 1). 시료의 채집에는 망목 333 $\mu$ m와 505 $\mu$ m의 네트를 부착한 봉고네트 또는 망목 333 $\mu$ m의 Norpac 네트를 사용하였다 (본 연구에서는 333 $\mu$ m 망목 자료만 사용함). 채집수층은 표층에

서 저층까지를 대상으로 하였고, 네트의 인망은 가능한 저층 (평균수심 정점 1, 8m, 정점 2, 15m, 정점 3, 20m)에 가깝게 내려 표층으로 올리면서 네트의 수평방향 이동 속도가 약 1m/sec가 유지되도록 하는 경사 채집 방식을 취하였다. 수심에 따라 한번 인망에 소요되는 시간은 일정하지 않았으나 대체로 3~5분이 소요되었다. 이러한 채집방법은 Park et al. (1989, 1991)에서 논의된 수직이동과 patch 분포로 인한 시료간 변이를 최소화하기 위한 것이었다. 또한, 시료간 변이 파악을 위하여 각 정점에서 3회씩 반복채집하였다.

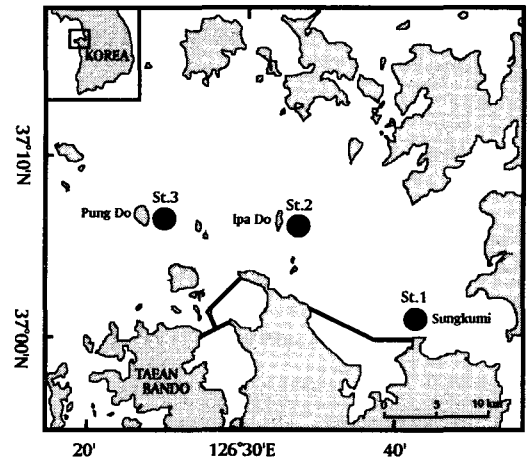


Fig. 1. Map of sampling sites.

채집된 시료는 중성 포르말린 (4%)에 고정시켰다. 실험실에서 약 2주간 보관된 시료들은 Folsom형 플랑크톤 분할기를 이용하여 부차시료 (subsample)가 약 1500~2000 개체를 포함하도록 분할한 후 동정 계수하였다. 생물량은 네트의 입구에 부착된 flowmeter를 이용하여 해수 여과량을 추정하고 이를 바탕으로 1m<sup>3</sup>당 개체수로 환산하였다.

요각류 *Calanus sinicus*의 산란량 측정은 1993년 9월부터 1994년 8월까지 한 달 또는 두 달 간격으로 총 9회 실시하였다. 산란량 측정을 위한 시료는 정점 2 또는 3에서 채집되었다. 채집후 즉시 선상에서 대상 종만을 분류하여 membrane filter로 여과한 해수로 채워진 용기 (용량 약 2L의 유리병)에 넣어 실험실로 운반하였는데, 채집 후 실험실에 운반하기까지는 약 4시간이 소요되었으며, 이 동안 수온변화를 최소화하기 위하여 유리병을 해수로 채워진 ice box에 넣어

운반하였다. 실험실에 운반된 *C. sinicus*는 암수를 구분한 후, 일정수의 암컷 성체만을 알을 분리할 수 있도록 고안된 용기에 옮겼다 (Ota and Landry, 1984). 이때의 용기는 5L 또는 1L 비이커 내부에 직경이 비이커보다 약 2cm 작은 원통형 Plexiglas를 세운 것으로, 이 원통형 하부에는 333 $\mu$ m의 망지를 붙여 이면이 비이커 아래면의 약 1cm 위에 위치하도록 하였다. 이는 날개로 산란된 *C. sinicus*의 알은 가라앉으며 망지를 통과하지만 성체는 통과할 수 없어 알에 대한 성체의 포식을 방지하기 위함이었다.

대상동물을 24시간 주기로 다른 용기에 옮겼으며, 그 동안 산란된 알을 분리 계수하였다. 이때 각 용기에는 실험실에서 배양된 규조류 *Chaetoceros simplex*와 소형녹조류 *Chlorella ellipsaidea*를 먹이로 충분하게 제공하였다. 먹이의 충분함은 분립 (fecal pellet)의 다량 생산으로 확인하였다. 실험구는 수온이 채집 당시의 해수 수온으로 유지되며 12시간 주기로 명암이 교차하는 배양기에 보존하였다. 또한 먹이 생물이 가라앉는 것을 방지하기 위하여 약 6시간 주기로 공기를 이용하여 저어주었다.

채집 해역의 먹이 농도는 입자성 유기탄소량으로 나타내었으며 이는 표층 해수 200~300ml를 GF/F 여과지로 걸른 시료로부터 얻어졌다. 성체의 건조 중량은 실험 4에서 실험 8까지 5회 측정되었는데, 매회 2~4개의 시료를 측정하였고, 이때 각 시료에는 5~15마리의 성체가 포함되었다. 성체 및 알의 탄소, 질소량과 해수의 입자상 탄소, 질소량은 Perkin-Elmer

2400 CHN Analyzer를 사용하여 측정하였고, 성체의 건조중량은 Ammonium formate로 세척 후 60 $^{\circ}$ C에서 24시간 건조시킨 후 (Omori and Ikeda, 1984) Perkin-Elmer AD-4 Autobalance를 사용하여 측정하였다.

## 결 과

### 분포의 계절변동

*C. sinicus*의 정점별, 계절별 분포양상은 Fig. 2와 같다. 분포 변이의 원인을 계절과 정점, 그리고 계절과 정점의 상호작용으로 분할한 분산분석에서, 계절과 정점의 상호작용, 즉 계절에 따라 분포의 중심이 3개 정점 사이에서 변하고 있는 지를 분석한 결과는 유의적이지 않았고 ( $p=0.34$ ), 세 정점 간에도 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났다 ( $p=0.54$ ). 그러나, 계절간 차이는 뚜렷한 유의적 차이를 보였다 ( $p<0.01$ ). 조사기간인 4년에 걸쳐 모두 봄철인 5월에 두드러지게 많은 개체수 분포를 보였고, 그외의 계절에서는 1  $m^3$ 당 30개체 이하의 적은 양이 출현하였으며 해에 따라 겨울 또는 가을에 다소 높은 수치를 보였다.

야광충 *Noctiluca scintillans*를 제외한 동물플랑크톤 군집에서 *C. sinicus*가 차지하는 비율 (조성률)은 계절별, 정점별로 개체수와는 다른 양상을 보였다 (Fig. 3). 조사기간 4개년 중 1차 및 3차년도에 경우에는 개체수에서 가장 높은 수치를 보인 5월에 조성률도 타계절에 비하여 높게 나타난 반면, 2차 및 4차년도

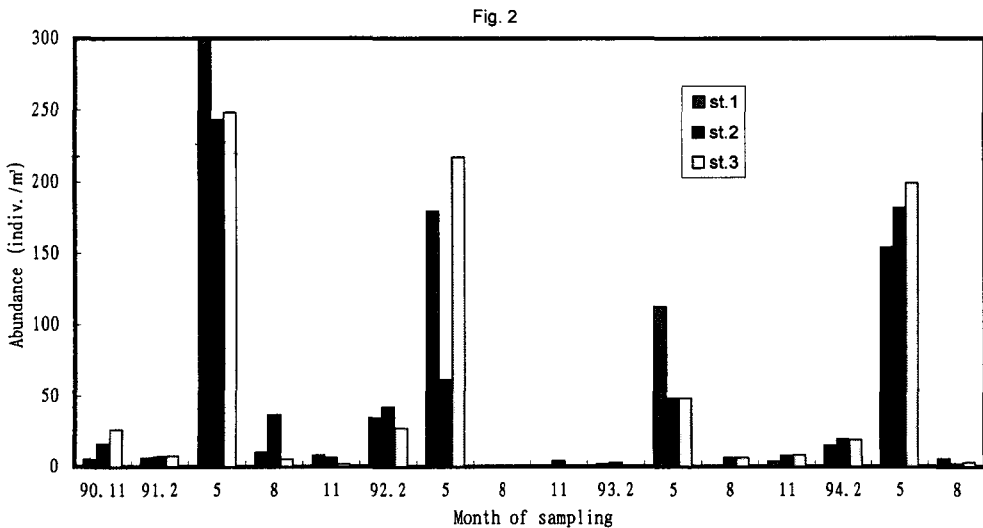


Fig. 2. Seasonal abundance (indiv./m<sup>3</sup>) of *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea from fall of 1990 till summer of 1994.

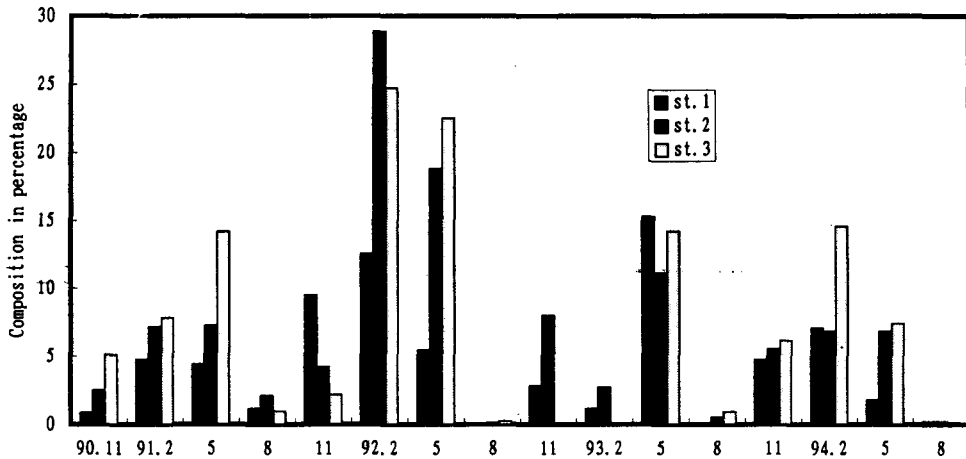


Fig. 3. Seasonal variation in percent composition of *Calanus sinicus* to the zooplankton community in Asan Bay, Korea from fall of 1990 till summer of 1994.

에는 봄철보다도 겨울철에 더 높은 조성을 보이고 있었다. 조사 첫 해인 1990년 가을에서 다음 해 여름까지는 대체로 만의 바깥쪽 정점에서 높은 조성을 보이며 대체로 5~15% 이던 양상이 2차년도에는 전체적으로 조성이 상승하며 정점간 양상이 바뀌고, 다음 3차년도에는 정점간 계절간 조성률의 차이가 전혀 불규칙하게 유지되다가, 마지막 4차년도에서 첫째와 유사한 양상으로 바뀌고 있다. 이러한 변화의 시작이 1991년 8월과 11월 사이 석문방조제가 완전히 연결되어 많은 내만이 해수와 단절된 시점과 일치한다는 점은 특기할 만하다.

성체와 알의 C, N 성분

*C. sinicus*의 크기는 성체 (이하 모두 암컷을 칭함)의 경우 체장이 2.5~3.1mm로 Kim (1985)의 2.7~3.3mm보다 조금 작았고, 알은 평균 직경이 약 160 $\mu$ m인 구형이었다. 성체의 건조중량은 개체당 155.26  $\pm$  42.62  $\mu$ g (평균  $\pm$  표준오차)으로 채집 시기별로 비교적 큰 차이를 보였다 (Fig. 4). 알의 건조 중량은 측정하지 못하였다. 성체 1개체당 탄소량은 44.44  $\pm$  12.52  $\mu$ gC, 질소량은 13.06  $\pm$  3.30  $\mu$ gN로 (Fig. 4), 탄소량과 질소량은 각각 건조 중량의 약 31.8%와 8.2%로 나타나 C:N 비는 약 3.8이었다. 탄소량 및 질소량은 건조 중량에 비해 채집시기별 변동이 적었다. 알의 탄소 및 질소 함유량은 각각 0.35  $\mu$ gC/egg, 0.07  $\mu$ gN/egg 로 성

체에 비하여 C:N 비가 높게 나타났다.

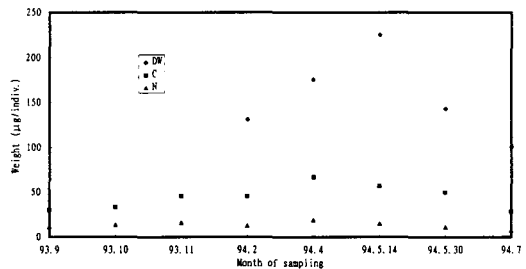


Fig. 4. Dry weight(DW,  $\mu$ g/indiv.), Carbon and nitrogen content ( $\mu$ gC and  $\mu$ gN/indiv.) of *Calanus sinicus*.

산란량

총 9회의 산란량 측정에서 얻어진 결과는 Table 1과 같다. 산란이 비교적 활발하였던 실험 1, 5, 6에서는 실험실 조건에서도 5~7일간 산란이 계속되었으나, 그외의 경우에는 채집 후 24시간이 지나면서 산란이 중지되었다. 성체를 3~50 개체씩 넣은 5L 용기의 결과를 개체군의 평균 알 생산으로 간주하였고, 최대 산란량은 1L 용기에 성체 1~2 개체를 넣고 실험한 결과에서 얻었다.

*C. sinicus*의 산란은 4월과 5월에 걸쳐 가장 활발하였는데, 개체군의 평균 알 생산은 4월에 16.3 eggs/female/day 였다. 다음으로 높은 알 생산은 9월의

**Table 1. Summary of measurements of egg production of *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea**

Experiment No. and date (1993~94)	No. of females in the jar	Average (maximum) egg production (eggs/female/day)	POC at the collection site ( $\mu\text{gC/l}$ )	Sea water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
1 Sep. 20	3	7.6 (14.0)	328.9	22.1
2 Oct. 16	24	1.2 ( 7.0)	362.8	19.3
3 Nov. 29	50	0.2 ( 2.0)	426.6	10.1
4 Feb. 17	30	0 ( 0)		3.9
5 Apr. 9	38	16.3 (39.0)	536.4	6.4
6 May. 14	18	12.1 (18.3)	241.6	13.6
7 May. 31	17	2.7 ( 6.6)	258.3	14.4
8 Jul. 3	7	0 ( 0)	179.5	18.1
9 Aug. 6	10	0 ( 0)		24.1

7.6 eggs/female/day였다 (Table 1). 한 개체가 생산한 최대 알 생산은 4월에 39.0 eggs/day로 가장 높았고, 다음으로는 5월의 18.3 eggs/day, 9월의 14.0 eggs/day 순 이었다. 이러한 알 생산 양상으로 미루어 보아 이 지역에서 *C. sinicus*는 일년에 두번, 봄과 가을에 알을 생산하며 따라서 연중 두 세대가 나타나는 것으로 여겨진다.

알 생산과 수온과의 상관 관계 (Table 1,  $r = -0.26$ ,  $p = 0.5$ )와, 알 생산과 먹이 농도 (먹이 농도의 척도로 입자상 유기탄소량을 사용함)와의 상관 관계 (Table 1,  $r = 0.43$ ,  $p = 0.3$ )는 모두 유의적이지 않았으며, 회귀 관계도 뚜렷하지 않았다.

## 토 의

개체군의 평균 알 생산량을 추정하는 방법과 관련하여, Kjørboe et al. (1985)은 실험에 사용된 일정 부피의 용기내 암컷 성체수가 증가할수록 측정되는 개체군의 평균 알 생산량은 감소함을 보인다고 밝혔으며 (음의 1차 회귀관계), 이로부터 얻어진 1차 회귀 관계에서 개체군의 평균 알 생산량을 구하였다. 그러나, 알을 생산하지 않는 성체가 실험용기에 포함될 확률이 일정하다면, Kjørboe et al. (1985)의 회귀관계는 기대하기 어렵다 (즉, 1차회귀 관계에서 기울기는 통계적으로 0 과 유의적으로 다르지 않을 것이다). 이러한 결과는 Park and Landry (1993)에서 확인되었고, 본 연구에서도 평균 산란량과 용기내 성체의 수 사이에는 전혀 상관 관계가 없는 것으로 나타났다

( $r = 0.09$ ,  $p = 0.8$ ). 요각류의 경우 성체의 탄소 함유율은 건조중량의 약 40%로 보고되었으나 (Mullin, 1969), 본 연구의 *C. sinicus*는 25.1~43.8% (평균 31.8%)로 그 범위가 넓어 기존의 40%를 포함하고 있었으나, 평균치는 조금 낮게 나타났다. 또한 이 평균치는 비슷한 크기의 아열대 요각류 *Undinula vulgaris*의 37.4% (Park and Landry, 1993) 보다도 낮은 수치로서, 이러한 결과는 일률적으로 건조 중량의 40%를 탄소량으로 간주함에는 많은 문제가 있음을 의미한다. 질소량의 비율도 *U. vulgaris*의 11.1%보다 낮은 8.2%였으나, 성체의 C:N 비는 약 3.8로 *U. vulgaris*의 3.4와 비슷하였다. 한편, Park and Landry (1993)는 성체와 알의 C:N 비가 매우 비슷하다고 밝힌 바 있으나 (약 3.4), 본 연구의 *C. sinicus* 알에서는 약 5로 크게 나타났다. 그러나, 본 연구의 경우 알의 탄소 및 질소량 측정이 1회에 그쳤기 때문에 절대적인 비교에는 무리가 있다. 따라서, 알 생산을 탄소량으로 표현하는 단위 (% body C/day)는 사용하지 않았다.

요각류의 알 생산에 영향을 주는 환경요인으로 해수의 수온과 먹이농도가 가장 중요한 것으로 꼽히는 반면 (Park and Landry, 1993), Frost (1985)는 수온과 먹이 농도 중 어느 것이 요각류의 성장에 보다 큰 영향을 주는지는 종과 서식처, 계절에 따라 다를 수 있다고 하였다. 본 연구에서 측정된 알 생산은 수온과는 물론 먹이 농도의 척도로 사용된 입자성 유기탄소량과도 전혀 특별한 관계를 보이지 않았다. 타 해역과 비교하여 본 연구해역의 먹이 농도는 연중 높은 수준을 유지하고 있는데 반하여 (Moon et al., 1993), 수온은 전형적인 온대 수역의 변화 양상인 계절적 차이

가 뚜렷하였다 (수온은 표층과 저층의 차이가 거의 없어 표층 수온만을 Table 1에 제시함). 따라서, 주 산란 시기가 봄과 이른 가을에 나타난 점으로 보아, 즉, 고온과 저온에서 알 생산이 없고, 따라서 상관관계는 미미하지만 특정 범위의 수온에서만 알 생산이 있다는 점에서, 본 해역에서는 먹이농도 보다는 수온이 알 생산에 상대적으로 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

가장 높은 알 생산율을 보였던 4월의 실험 5에서는 실험실에서 먹이로 단일 종 *Chaetoceros simplex*를 제공하면서 30일 이상 사육하였다. 이 과정에서 많은 분립이 배설되어 충분한 먹이를 취하고 있음이 확인되었지만, 처음 7일을 지나고부터는 전혀 알이 생산되지 않았다. 이는 Park and Landry (1993)의 결과에서도 나타난 현상으로, 실험후 7일째까지는 소량이지만 알이 생산되었다는 점을 감안하면, 채집과 실험과정의 자극도 영향을 미쳤겠지만, 이보다도 실험실에서 제공된 먹이의 질이 자연상태의 것과 같지 않은데 더 큰 원인이 있는 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 관찰된 실험실 조건에서의 산란 증지는 요각류의 성장이나 섭이, 알 생산 등에 먹이의 질과 양이 중요한 요인이 되지만, 이에 못지않게 과거의 섭식경력 (feeding history)이 적지않은 영향을 준다는 점에서 쉽게 이해될 수 있다 (Huntley, 1988; Park and Landry, 1993).

본 연구의 결과와 직접적으로 비교할 만한 *C. sinicus*의 알 생산율에 관한 기존의 보고는 많지 않다. 성체 이전의 성장률과 성체의 산란율이 유사하다는 Sekiguchi et al. (1980)의 제시에 따라 성장률로부터 알 생산을 유추하여 같은 종을 대상으로 한 Uye (1988)의 성장에 관한 결과와 비교하는 것은 이론적으로 가능하다. 그러나 Uye (1988)가 지적하였듯이 이 종의 경우 각 유생 단계별 성장률이 일정하지 않기 때문에 그의 성장에 관한 결과와 비교하는 것도 바람직하지 않다.

본 연구 지역보다 위도상 약 13도 남쪽에 위치한 중국의 Xiamen Harbour에서 채집된 같은 종을 대상으로한 Lin and Li (1986)의 실험실 측정 결과는 개체당 1일 산란량이 약 30개 이하로 본 연구결과와 유사하거나 조금 높은 산란율을 보이고 있다. 한편, 비슷하거나 약간 큰 크기의 같은 속에 포함되는 종인 *C.*

*pacificus*, *C. finmarchicus*, *C. marshallae*와 유사한 속의 *Undinula vulgaris*와 비교하면 이 종의 알 생산율은 채집(서식) 장소의 차이에도 불구하고, 이들 유사한 종의 알 생산율과 매우 유사하였다 (Park and Landry, 1993, Tables 3~4).

알 생산력의 결과와는 달리, 알 생산 시기 및 연간 세대수에서는 본 연구 결과와 기존의 결과 사이에 상당한 차이가 있었다. 본 연구에서는 연중 2회의 주 산란기가 파악되었지만, 같은 종에 대하여 Huang et al. (1993)은 연중 계속하여 재생산이 있는 것으로 보고하였고, Lin and Li (1984, 1986)는 같은 종에 대하여 연중 3회의 주 산란기를 보고하였다. Huang et al. (1993)은 직접적으로 알 생산을 측정하지 않고, 월별 채집된 시료의 유생 단계별 무게를 바탕으로 생산 (production)을 계산하여, 이로부터 연중 계속된 재생산(즉, 알 생산)을 유추하였다. 따라서, 방법상의 차이가 결과의 비교를 어렵게 하는지는 여러면에서 검토가 필요하다. 유생 단계별 무게 증가와 유생 단계별 분포 양상으로부터 산란주기를 파악함에는 수온의 계절변화와 서식처의 차이, 수온과 성장의 관계 등을 고려하여야 하고, 본 연구의 방법과 관련하여서는 자연 상태와 다른 먹이를 제공하였을 때 산란이 중지되었다는 점에 대한 고려와 채집 이전에 이미 산란을 마쳤는지의 파악 등이 필요하다.

한편 Lin and Li (1984, 1986)의 같은 종에 대한 연중 3회의 주 산란기 보고와 관련하여서는, 이들이 보고한 연중 3회의 산란시기가 모두 12월에서 5월 사이에 집중되었다는 점에서 이종의 수명과 관련하여 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 연중 2회의 산란기가 파악되었고, 이들 두 산란기 간의 시간 간격이 일치하지 않아 (5개월과 7개월) 봄철에 산란된 개체군과 가을철에 산란된 개체군 사이에는 수명에 차이가 있음이 파악되었다. *C. sinicus*의 수명이 수온의 상승에 따라 지수함수적으로 감소한다는 점 (Uye, 1988)을 감안하면, 산란 간격의 불일치는 아산만 수온의 연간 변동과 관련이 있을 것이다. 봄철에 산란된 개체군은 봄과 여름의 높은 수온을 경험하고, 가을철에 산란된 개체군은 겨울의 낮은 수온을 경험하기 때문에 봄철 산란 개체군은 약 5개월의 수명이, 가을철 산란 개체군은 약 7개월의 수명이 유지되는 것으로 유추된다. 이는 같은 종을 대상으로한 Uye (1988)의

연구 결과와도 잘 일치했다. 그러나 Lin and Li (1984, 1986)의 연중 12월에서 5월 사이에 집중된 3회의 산란기는, 첫 산란시기가 수온이 낮은 겨울 (12월)이기 때문에 처음 산란된 알이 성장하여 5월의 세번째 산란의 주체가 되기 어렵다는 점을 고려하면, 이 종의 수명은 1년 정도로 간주해야 할 것이다. 따라서, 단순히 서식지의 차이 때문에 산란이 연중 2회 또는 3회로 다를 수 없다면 본 연구결과와 Lin and Li (1984, 1986)의 결과를 비교하기 위하여는 이종의 수명이 파악되어야 한다.

한편, *C. sinicus*가 서식지의 환경 변화에 따라 분포 수역을 광범위하게 옮기면서 연중 특정 시기에 산란이 국한되지 않고 간헐적으로 계속될 가능성도 생각할 수 있다. 이 가능성은 본 연구결과와 이들 Huang et al. (1993), Lin and Li (1984, 1986)의 결과를 모두 충족시킬 수 있는 경우에 해당되지만, 이를 검증하기 위하여는 대상해역을 보다 광범위하게 설정하고, 채집망의 망지 크기를 다원화하여 초기 및 후기 유생도 동시에 채집될 수 있도록 하고, 성체에 대하여는 알 생산을 직접적으로 측정해 보는 연구 등이 필요하다. 따라서 Lin and Li (1984, 1986)의 결과나 본 연구 결과는 채집 대상 해역에만 국한되는 제한적인 것으로 수용해야 할 것이다.

분포의 계절변화에서는 연중 한번의 peak를 보이나 산란 시기는 연중 2회로 나타남은 아산만 *C. sinicus* 분포의 변동이 단순히 생활사의 진행에 따른 결과만이 아님을 의미한다 (*C. sinicus*가 지리적으로 광범위한 해역을 이주하면서 생활하고, 산란은 연중 계속될 가능성은 검증되지 않았기에 논외로 함). *C. sinicus*가 알에서 성체까지 성장하는 데 소요되는 기간은 수온에 따라 변하며, 수온 10°C에서는 약 2개월이 소요되며 수온이 상승하면, 이 기간은 점차 단축된다 (Uye, 1988). 가을철 (9월)에 산란된 개체군은 수온의 하락으로 성장이 둔화되었다가, 봄철에 수온이 상승하며 성장이 가속되어 산란할 수 있는 성체에 이르러 4월부터 산란을 시작하며 (Table 1), 이때 각 개체의 증량도 최대에 이른다 (Fig. 4, 위에서 언급된 두 개체군간의 수명의 차이 참조). 따라서 성체의 양적 분포도 가을에서 겨울을 거치는 동안은 낮은 개체수 분포를 보이며, 봄철에 접어들어 최대량을 보인다 (Fig. 2). 이 시기는 개체수 분포와 생활사의 진행이 잘 연

결되는 시기로 여겨진다. 한편 봄철에 산란된 개체군은 상승된 수온으로 상대적으로 짧은 기간에 성체로 성장할 것으로 보여 (Uye, 1988), 가을철 산란의 주체가 되는 성체로 성장하여 가을철에도 분포상 peak가 나타날 것으로 예상되지만, 실제 분포에서는 peak를 보이지 않고 있다 (Fig. 2). 이는 성체로 성장한 개체군이 여름에서 가을 사이에 이주하여 조사대상 해역을 벗어났거나 다른 요인이 성체 개체수의 증가를 억제한 결과일 것이다. Whang (1994)에 의하면, 본 연구해역에서의 소형 어류 분포도 계절적 변화를 보이는데, 종수와 개체수에서 모두 여름철에 가장 많았다. 이는 *C. sinicus*에 미치는 포식 압력이 여름철에 가장 높아, 개체군의 번성을 억제할 가능성이 많음을 의미한다. *C. sinicus*의 예상되는 가을철 분포 peak가 포식 압력에 의해 억제되었는지는, 물론 어류의 먹이 선택성이 파악되어야 하겠지만, 이러한 사실은 적어도 가을철에 산란된 개체군과 달리 봄철에 산란된 개체군에는 생활사 이외의 다른 요인이 분포에 영향을 미쳤음을 의미한다. 따라서, 아산만 *C. sinicus*는 알 생산의 주기로 파악되는 생활사 뿐만 아니라, 수온, 상위 영양단계 동물의 포식압력 또는 이들과 관련된 수평 이주 등에 의하여 분포 양상이 변한다고 할 수 있다.

## 요 약

요각류 *Calanus sinicus*의 생물량과 산란의 계절성을 조사하였다. 조사해역인 아산만에서는, 성체는 봄철에 가장 많은 양이 출현하고, 다른 계절에는 소량 분포하는 연중 1회 peak를 보였지만, 산란에서는 봄철 (4~5월)과 가을철 (9월)의 연중 2회 peak를 보였다. 산란기의 개체군 평균 산란은 봄철에는 16.3 eggs/female/day, 가을철에는 7.6 eggs/female/day였으며, 1개체가 생산하는 최대값은 39.0이었다. 타 해역에 비하여 비교적 풍부한 유기탄소량과 알 생산과의 상관관계가 유의적이지 않아 ( $r=0.43$ ,  $p=0.3$ ), 먹이 농도는 알 생산에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 그러나 실험실에서 제공된 먹이를 충분히 섭취하면서도 처음 며칠이 지난 뒤에는 산란이 중지되는 것으로 보아, 먹이의 질과 과거의 섭식경력 (feeding history)이 산란과 밀접한 관계가 있을 것으로 유추되

었다. 비록 통계적으로 유의적인 상관관계는 얻지 못하였으나, 상대적으로 높거나 낮은 수온에서는 산란하지 않아 대상해역의 수온 변화도 산란과 관계가 있을 것으로 유추되었다. 알 생산을 자료로부터 제한된 해역인 아산만에서는 연중 두 세대의 생활사가 진행되는 것으로 파악되었으며, 분포의 계절 변화와 생활사의 진행이 직접적으로 관련된 시기가 있는가 하면, 생활사 이외에 상위 영양단계의 포식압력 등에 의한 이주 등이 분포의 계절변화와 관련된 시기가 있는 것으로 추정되었다. 종전의 결과와 비교할 때, 계절에 따라 비교적 광범위한 해역을 이주하면서, 알 생산은 연중 간헐적으로 계속될 가능성도 배제할 수 없었다.

## 謝 辭

본 연구와 관련하여 동물의 무게 측정, 탄소 및 질소량 측정에 도움을 주신 국립 수산진흥원의 김학균, 이필용, 강창근 님들께 깊은 감사를 드립니다. 열기 어려운 중국의 자료까지 제공하면서 논문의 심사를 맡아주신 익명의 두분께 고마움을 표합니다.

## 참 고 문 헌

- Choi, K. H. and C. Park. 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., 26(5), 424~437.
- Frost, B. W. 1985. Food limitation of the planktonic marine copepods *Calanus pacificus* and *Pseudocalanus* sp. in a temperate fjord. Arch. Hydrobiol.(Beih. ), 21,1~13.
- Huang, C., S. Uye and T. Onbe. 1993. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. J. Plankton Res., 15(11), 1229~1246.
- Huntley, M. 1988. Feeding biology of *Calanus*: a new perspective. Hydrobiol., 167/168, 83~99.
- Kim, D. Y. 1985. Taxonomical study on calanoid copepod(Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Hanyang University, Ph.D. thesis., 187pp. 50 Pls.
- Kim, D. Y. and H. T. Huh. 1983. Seasonal variations of copepods in Garolim Bay. Bull. of KORDI, 5, 29~36. (in Korean)
- Kjørboe, T., F. Møhlenberg and H. U. Riisgård. 1985. In situ feeding rates of planktonic copepods: a comparison of four methods. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 88, 67~81.
- Mullin, M. M. 1969. Production of zooplankton in the ocean: the present status and problems. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev., 7, 293~314.
- Lin, Y. and S. Li. 1984. A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* Brodsky in Xiamen Harbour. J. Xiamen Univ. (Natural Sci.), 23, 111~117 (Chinese with English abstract).
- Lin, Y. and S. Li. 1986. Laboratory survey on egg production of marine planktonic copepod *Calanus sinicus* in Xiamen Harbour. J. Xiamen Univ. (Natural Sci.), 25, 107~112 (Chinese with English abstract).
- Moon, C. H., C. Park and S. Y. Lee. 1993. Nutrients and Particulate Organic Matter in Asan Bay. Bull. Kor. Fish. Soc., 26(2), 173~181. (in Korean)
- Omori, M. and T. Ikeda. 1984. Methods in marine zooplankton ecology. John Wiley & Sons, New York, 332p.
- Ota, A. Y. and M. R. Landry. 1984. Nucleic acids as growth rate indicators for early developmental stages of *Calanus pacificus* Brodsky. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 80, 147~160.
- Park, C., K. H. Choi and C. H. Moon. 1991. Distribution of zooplankton in Asan Bay, Korea with comments on vertical migration. Bull. Kor. Fish. Soc., 24(6), 472~482.
- Park, C. and M. R. Landry. 1993. Egg production by the subtropical copepod *Undinula vulgaris*. Mar. Biol., 117, 415~421.
- Park, C., J. H. Wormuth and G. A. Wolff. 1989. Sample variability of zooplankton in the nearshore



- off Louisiana with consideration of sampling design. Continental Shelf Res., 9(2), 165~179.
- Sekiguchi, H., I. A. McLaren and C. J. Corkett. 1980. Relationship between growth rate and egg production in the copepod *Acartia clausi hudsonica*. Mar. Biol., 58, 133~138.
- Uye, S.-I. 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smirnov: a simple empirical model of daily egg production. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 50, 255~271.
- Uye, S.-I. 1988. Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. Hydrobiol., 167/168, 285~293.
- Whang, S. W. 1994. Seasonal variations of demersal fishes community in Asan Bay, Korea. Chungnam Nat'l univ., M. S. Thesis. 56pp. (in Korean)
- 
- 1994년 10월 12일 접수  
1995년 1월 10일 수리