

보라성게 (*Anthocidaris crassispina*)의 연령과 성장

홍성완 · 정상철
제주대학교 증식학과

Age and Growth of the Purple Sea Urchin, *Anthocidaris crassispina* in Cheju Island

Sung-Wan HONG and Sang-Chul CHUNG

Department of Aquaculture, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea

The growth of the purple sea urchin, *Anthocidaris crassispina*, has been investigated using reproduction plates as a character of the age determination. The samples were collected on the coast of Daepo, in the southern part of Cheju Island from August, 1995 to July, 1996. Monthly growth of test diameter mainly occurred from December to March. The obvious growth, however, were not observed between April and June which seemed to be the resting period. This resting period well corresponded to the time of annual ring formation which was estimated from the analysis of the marginal growth rate. The growth curve fitted well with Bertalanffy equation:

$$L_t = 46.65 (1 - e^{-0.283(t+9.210)}), W_t = 44.90 (1 - e^{-0.283(t+9.210)})^3$$

Key words: *Anthocidaris crassispina*, age determination, growth equation, Cheju Island

서 론

성게는 극피동물문(Phylum Echinodermata), 성게강(Class Echinoidea)에 속하며, 주로 연안에서부터 수심이 깊은 곳까지 분포해 있다. 우리나라에서 생산되는 연근해의 성게류중 식용으로 이용되고 있는 성게는 보라성게 *Anthocidaris crassispina*, 말뚝성게 *Hemicentrotus pulcherrimus*, 분홍성게 *Pseudocentrotus depressus*, 북쪽말뚝성게 *Strongylocentrotus intermedius* 이다(Rho and Park, 1986). 이 중에서도 보라성게는 제주도 전 연안에 분포하고 있다. 이들 성게들은 전복가소라와 같이 藻食性인데 이러한 식성도 최근 점차 심화되어가고 있는 갯녹음 현상의 주요한 하나의 원인으로 인식되고 있다(Yotsui and Maesako, 1993).

성게의 생식판에는 연륜이 형성되어 있어 이를 가지고 연령형질로서 이용한다. 성게의 생식판이나 각의 색소대로서 성장을 연구한 논문으로는 서로 다른 지역에 서식하는 *Echinus esculentus*의 생리적 비교(Moore, 1935), *Strongylocentrotus nudus*의 연령형질과 성장(Kawamura, 1966), 북쪽말뚝성게의 먹이섭식과 성장에 대한 생태학적 연구(Fuji, 1967), 성게류의 연령사정(Jensen, 1969), 석회골격의 성장대(Pearse and Pearse, 1975)등이 있고, 특히 Gage (1992)는 tetracycline을 이용한 tagging 방법으로 생식판에 형성되는 윤문이 1년 주기임을 입증하였다. 그러나 국내에서 성게의 연령과 성장에 관한 연구는 보라성게의 산란과 성장(Yoo et al, 1982), 말뚝성게의 실내

표지실험(Hur et al, 1985), 분홍성게의 지역별 개체군의 성장에 관한 연구(Chung and Natsukari, 1995)등 몇편에 지나지 않는다. 그러므로 제주도 연안에 서식하는 보라성게의 성장에 대한 특성을 규명할 목적으로, 생식판을 연령형질로서 이용하여 성장식을 추정하였고, 각장조성의 모드와 비교하면서 월별성장의 추이를 규명하였다.

재료 및 방법

이 연구에 사용된 보라성게의 시료는 남제주군 대포리(Fig.1) 연안의 수심 5~10 m에서 1995년 8월에서 1996년

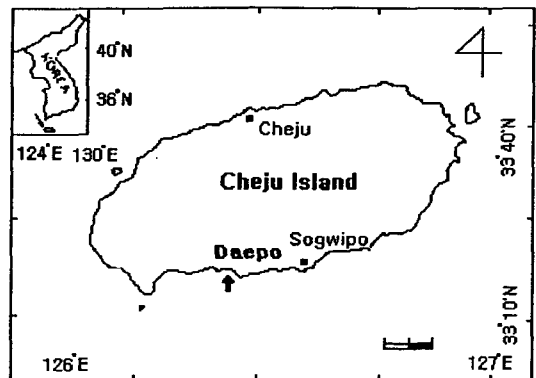


Fig. 1. Location of sampling area.

7월까지 매월 1회에 걸쳐 해녀들이 채집한 837개체이다. 이 시료들의 월별 각장조성을, Cassie (1954)의 확률지 방법으로 각장조성의 각 모-드를 분리하였다.

보라성게의 연령형질로는 연령사정을 위한 생식판을 이용하였으며 (Fig.2), 처리과정은 항문 주위부분을 오려, 숫돌 ($\phi 400$)에 연마한 후 석면철망 위에 올려놓고 알콜 램프로 생식판이 약간 검은색으로 변할때까지 태운후, 생식판을 canada balsam으로 slide glass 에 봉입 건조시켜, 현미경 ($\times 7$)으로서 윤문을 판독하였다.

5개의 생식판중 가장 크고 측정하기 쉬운 madreporite (천공판)를 대상으로, 파손되지 않고 윤문이 명확한 187개체를 선정하여, 윤문의 초점에서 좌측부분의 윤문경을 측정하였다 (PLATE 1. a). 성장식의 산출은 비선형 최소자승법을 이용하지 않고, 일반적으로 행하여 오는 Wal-ford의 정착도법을 이용한 Ishioka (1988)의 프로그램으로서, Bertalanffy식, Gompertz식, Logistic식과 각 성장식의 잔차 평방법 (sum of square of residuals)을 계산하였다.

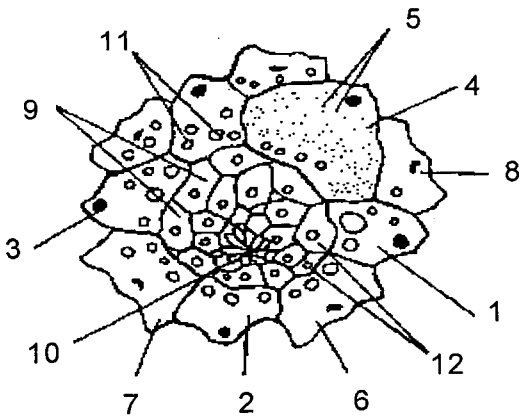


Fig. 2. Apical system and periproct of *Anthocidaris crassispina* which were modified from Shigei (1986).

- 1. genital plate 1 2. genital plate 5
- 3. genital pore 4. madreporite
- 5. madreporic pores 6. ocular plate 1
- 7. ocular plate 5 8. ocular pore
- 9. periproctal plate 10. anus
- 11. tubercles on apical plate
- 12. tubercles on periproctal plate

결 과

1. 연령형질의 측정 및 각장과의 관계

생식판 (madreporite)의 윤문은 투명대 (translucent)와 불투명대 (opaque)로 구분되어 나타나며, 각 불투명대의 바깥쪽을 측정 하였다. 중앙의 초점에서 가까운 윤문의

경우에는 불투명대의 폭이 넓지만, 가장자리로 갈수록 윤문의 간격이 좁아졌다. 최종 형성되고 있는 윤문은 몇 개의 성장선이 중복되는 경향이 있어 어려웠지만, 이미 형성된 윤문은 뚜렷하였다. 2윤문에서 6윤문까지 관찰되었다 (Plate 1. b~f).

각 윤문군의 빈도 분포표 (Fig. 3)를 보면 동일 윤문군의 생식판경 (R)분포는 평균치를 중심으로 좌우대칭에 가까운 정규분포형을 나타내고 있다. 뚜렷한 윤문경 (r_n)을 윤문군별로 평균값을 계산하여 Table 1에 나타내었다. r_1 에서 r_6 까지의 평균 윤문경은 0.87~1.98 mm의 범위내에 있다.

윤문이 형성될 때의 각장을 산출하기 위해서 각장 (test diameter ; TD)과 생식판경 (radius ; R)과의 관계식은 표본의 개체수에 영향을 받지 않게 하기 위하여, 각장 1 mm 계급에 대한 생식판경의 평균값으로서 구한

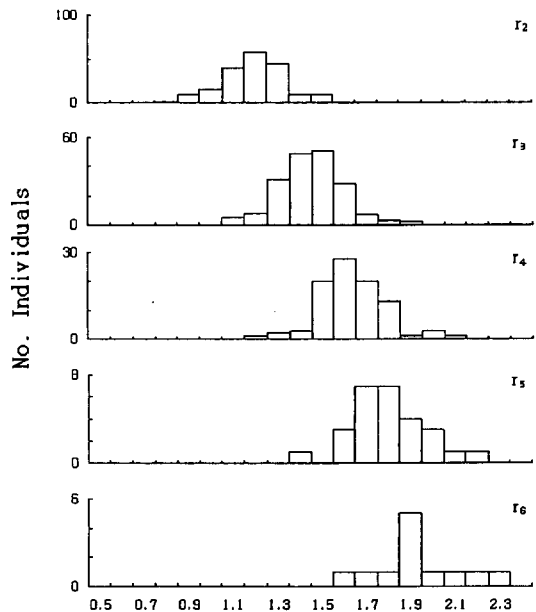


Fig. 3. Frequency distribution of radius at each age groups of sea urchin in Daepo area.

Table 1. Average widths of each ring mark in second genital plate of sea urchin

Number of rings	Number of samples	Width (mm) of ring mark						
		R	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6
2	4	1.62	0.95	1.26				
3	91	1.72	0.89	1.27	1.53			
4	65	1.87	0.85	1.22	1.46	1.70		
5	16	2.01	0.83	1.21	1.45	1.65	1.87	
6	11	2.09	0.82	1.16	1.40	1.61	1.80	1.98
Average widths			0.87	1.24	1.50	1.69	1.86	1.98

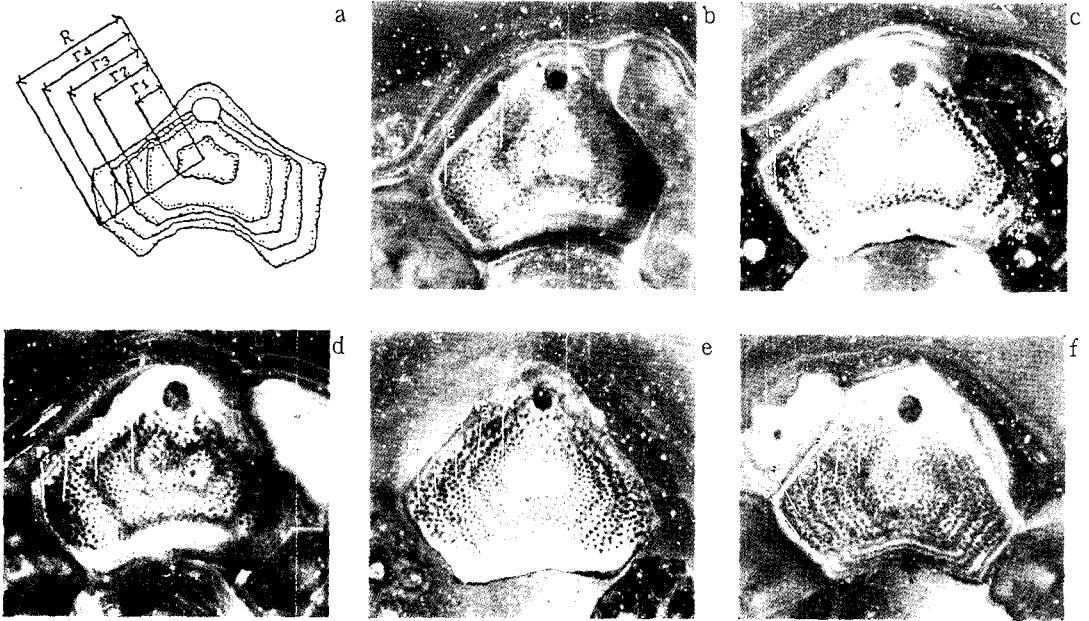


Plate 1

- a. An example of measurement of second genital plate with five rings.
r : annulus width, R : width of second genital plate.
- b. Photography of the second genital plate at 2 years. Test diameter : 35.5 mm. ×7
- c. Photography of the second genital plate at 3 years. Test diameter : 36.4 mm. ×7
- d. Photography of the second genital plate at 4 years. Test diameter : 34.4 mm. ×7
- e. Photography of the second genital plate at 5 years. Test diameter : 37.0 mm. ×7
- f. Photography of the second genital plate at 6 years. Test diameter : 37.6mm. ×7

각장과 생식판경의 관계식은 다음과 같다 (Fig. 4).

$$TD = 22.58R - 6.01 \quad (r = 0.960) \quad \dots \dots \dots (1)$$

Table 1의 평균값을 위의 식 (1)에 각각 대입시켜 운문이 형성되는 시기의 평균각장 (TD)을 산출하였다 (Table 2).

2. 운문 형성시기

1995년 8월부터 1996년 7월까지 월별 연변성장을 (MGR ; $(R-r_n)/(r_n-r_{n-1})$) (Fig.5)은, 1995년 8월에서 11월 사이는 0.71~0.72로서 큰 변화가 없고, 12월부터 증가하기 시작하여 1996년 2~3월에 최고값 약 0.95을 나타내고, 그 이후부터 급격히 감소하여 5월에 0.42로 가장 낮았고, 6월에는 약 0.70으로 증가하였다. 따라서 성계의 운문 형성시기는 3월에서 5월사이로 추정된다.

3. 각장조성에서 추정된 성장

대포리 연안의 월별각장조성 (Fig. 6)에서 1995년 8월

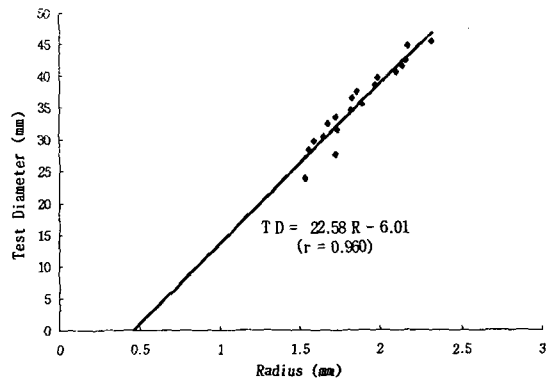


Fig. 4. Relationship between test diameter and radius of the second genital plate of sea urchin in Daepo area.

Table 2. Average test diameter of each ring mark of sea urchin

Ring mark	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆
Test diameter (mm)	13.63	21.99	27.86	32.15	35.99	38.70

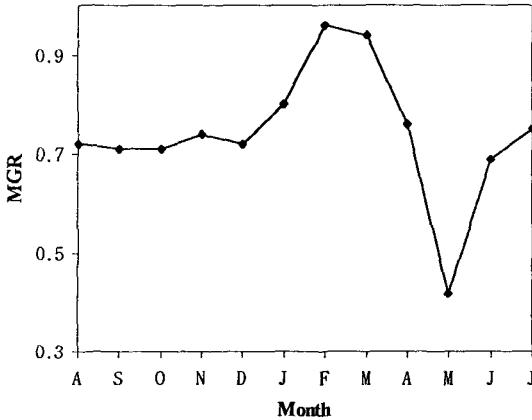


Fig. 5. Monthly change of MGR for *Anthocidaris crassispina* estimated from August, 1995 to July, 1996.

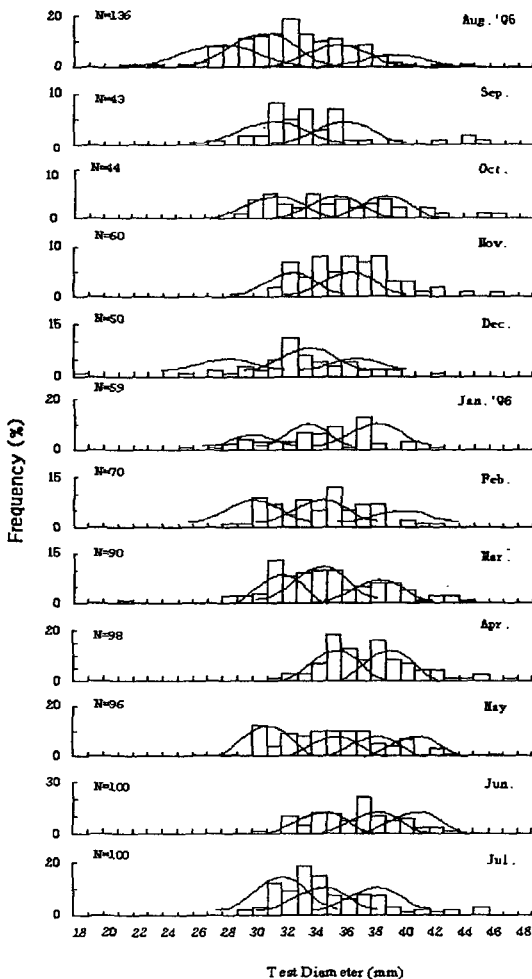


Fig. 6. Frequency distribution of test diameter of sea urchin in Daepo area. Normal distribution was drawn by hand.

분을 확률지로서 모-드를 분리한 결과 4개의 모-드 26.8 ± 2.5 mm, 31.1 ± 2.2 mm, 35.5 ± 2.4 mm, 37.7 ± 2.4 mm 와, 1996년 7월분에서는 3개의 모-드 31.5 ± 1.5 mm, 35.5 ± 2.8 mm, 38.0 ± 2.8 mm가 추정되었다. 1995년의 8월의 자료에서 처음과 마지막의 모-드는 개체수가 적어 뚜렷하지는 않지만, 전체적인 계절적 성장의 경향은 추적할 수 있었다. 1995년의 8월에 처음으로 출현하는 26.8 mm의 모-드는 12월 (약 28 mm)까지 성장이 완만하고, 이후 급성장하여 2월에 약 30.5 mm까지 성장한 후, 7월에 31.5 mm까지 성장한다. 1995년 8월의 2번째 모-드 31.1 mm는 12월 32.5 mm, 1월 33.5 mm, 2월 35.5 mm까지 성장한 후 7월까지 지속된다. 3번째 모-드 35.5 mm는 12월 36.5 mm, 1월 37.5 mm, 2월 38.5 mm까지 성장하고, 그 이후의 추정은 자료의 부족으로 어렵다. 이상의 추적에서 각장의 성장은 주로 12월에서 이듬해 2월 사이의 단기간에 이루어지고, 3월부터 5~6월 사이는 성장이 정지하고 그 이후부터 12월 사이는 매우 완만한 성장을 하는 것으로 추정된다.

4. 성장식의 추정

연령형질에서 추정한 각 윤문 형성 시기의 각장 (Table 2)과 각장조성에서 추정한 모-드가 거의 일치하므로, 각 윤문을 연령으로 인정하여 Bertalanffy식, Gompertz식, Logistic식을 산출하였다 (Table 3).

3개의 성장식에서 SSR (잔차 평방합)이 가장 적은 값은 Bertalanffy식이다. Bertalanffy식을 적용시켰을 때의 Walford 정차도 (Fig. 7) 및 성장식은 다음과 같다.

$$L_t = 46.65 (1 - e^{-0.283(t+0.210)}) \dots\dots\dots (2)$$

한편, 표본의 체중범위는 대포리 연안의 표본에서 6.50 g~39.45 g으로, 각장과 체중과의 관계 (Fig.8)를 적용시킨 이론적 최대체중 (W_∞)은 44.90 g 이며, 체중의 성장식은 다음과 같다.

$$W_t = 44.90 (1 - e^{-0.283(t+0.210)})^3 \dots\dots\dots (3)$$

Table 3. Growth parameters of *Anthocidaris crassispina* calculated from the three different growth equation

Parameter	Bertalanffy	Gompertz	Logistic
L_∞	46.653	41.069	38.066
k	0.283	0.542	0.862
t_0	-0.210	1.173	1.775
SSR	0.742	2.548	4.021

Bertalanffy's growth equation : $L_t = L_\infty [1 - \exp\{-k(t-t_0)\}]$
 Gompertz's growth equation : $L_t = L_\infty \exp\{-\exp\{-k(t-t_0)\}\}$
 Logistic's growth equation : $L_t = L_\infty / [1 + \exp\{-k(t-t_0)\}]$

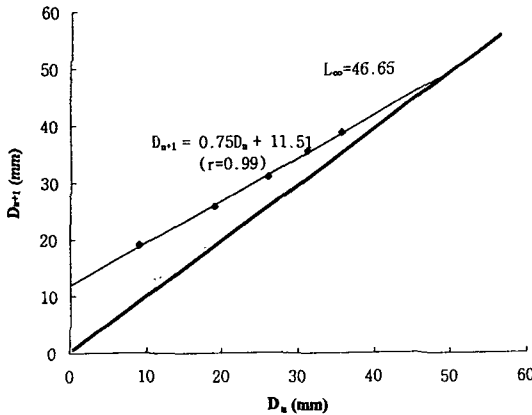


Fig. 7. Walford's transformation for *Anthocidaris crassispina* in Daepo area.

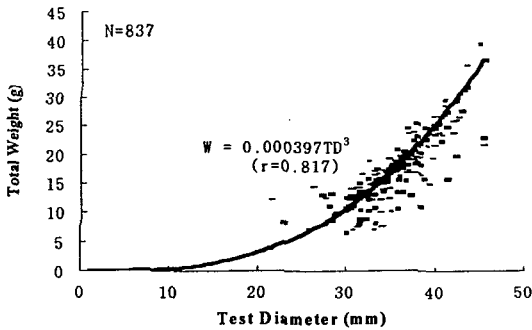


Fig. 8. Relationship between test diameter and total weight of *Anthocidaris crassispina* in Daepo area.

위의 식에 각 연령을 대입하여 구한 각 연령별의 각장 및 체중은 1세의 13.52 mm, 1.09 g, 2세의 21.70 mm, 4.51 g, 3세의 27.58 mm, 15.15 g, 5세의 35.97 mm, 20.59 g, 6세의 38.60 mm, 25.44 g으로 나타났다.

고 찰

성계의 성장을 규명하는데는 사육에 의한 방법 (Bull, 1939), 표지방법에 의한 방법 (Fuji, 1963; Evert, 1968), 각장조성에 의한 방법 (Lewis, 1958; Fuji, 1963; Evert 1968), 각관상의 색소대 (Moore, 1935), 생식판의 색소대 (Moore, 1935; Kawamura, 1966; Jensen 1969; Kakuda, 1989), tetracycline 표지법 (Tagi, 1971; Gage, 1992) 등을 들 수 있지만, 최근에는 생식판 색소대가 성장연구의 대부분을 차지하고 있다. 생식판의 관찰은 생식판 표면의 색소와 요철이 없어지도록 연마하고, 알콜램프에서 검게 변할때까지 (Jensen, 1969; 약 1/2~2분) 태운 후, slide

glass에 생식판의 연마된 부위를 canada balsam으로 접착 시킨다. 접착하지 않고 xylene을 이용하기도 하지만, 표본의 영구보존을 위해 canada balsam으로 기포가 생기지 않도록 조심하면서 생식판을 완전히 봉합, 건조시키는 것이 좋다.

Kawamura (1966)는 제 5생식판의 윤문을 측정하여 성장을 규명하였지만, 본 연구에서는 측정이 비교적 쉬운 madreporite (천공판, 제2생식판)를 대상으로 하였다. 소형의 좌우동형인 제 5생식판은 저연령군의 윤문은 잘 보이지만, 고연령으로 갈수록 윤문의 폭이 좁아 잘 나타나지 않는 경향이 있었다. 한편 madreporite은 생식판 증가가 크기 때문에 고연령군의 윤문을 측정하기 쉽다. 그러나 부서지기 쉽고 좌우동형이 아니라는 단점이 있다.

윤문측정결과 제 1윤문경 (r_1)은 비교적 넓은 경향이지만, 제 2윤문 이상에서는 윤문경이 현저하게 좁아지면서 각 윤문군의 각장 조성간의 중복 (overlap)이 심한 경향으로 보아 매우 성장이 느리다는 것을 알 수 있었다. 성계의 월별 각장조성 (Fig. 6)에서 계절성장은 여름과 가을 (8월~12월)에 매우 느리고, 겨울 (12월~3월)에 성장량의 대부분이 이 기간에 성장하고, 봄철 (3월~5월)에는 거의 정지된 상태이다. Fuji (1967)의 북쪽말뚝성계의 경우, 2세에서는 늦봄과 초여름에 성장이 중지하고, 3세 이상의 어미성계에서는 겨울철 4개월간 성장하고 그 이외의 기간은 성장이 중지하는 등, 연령에 따라 성장률에 차이가 있었다. Gage (1991)는 *P. miliaris*에서는 봄에 최대성장을 하고, 가을과 겨울에는 성장이 늦든지 또는 휴지상태라고 하였다. 이상과 같이 성계류의 성장은 종류에 따라 계절에는 차이가 있어도 짧은 기간에 성장하는 것은 사실인 것 같다.

대포리 연안에 서식하는 성계의 윤문 형성시기는 3월에서 5월 사이였다. 위에서 언급한 것과 같이 이 기간이 보라성계의 성장이 휴지하고 있는 기간과 일치한다. 한편 대포리 연안의 월별 수온변화 (Fig. 9)를 관찰하면 3월에서 5월 사이가 14.3~15.6°C로 연중 가장 낮은 시기이다. 수온이 성장을 조절한다는 연구들 (Moore et al.; 1963; McPherson, 1965; Moore and McPherson, 1965)과 같이 윤문 형성시기 및 성장의 휴지기가 수온의 영향일 가능성도 있다.

본 논문에서 Bertalanffy, Logistic, Gompertz 성장식을 적용시켜 계산한 결과 간차 평방합이 가장 적은 식은 Bertalanffy 성장식이었다. 분홍성계 (Chung and Natzuki, 1995)의 경우에도 Bertalanffy식이 우수하였다. 그러나 *E. affinis* (Gage and Tyler, 1985)의 경우는 성장초기에는 Sigmoidal growth가 Bertalanffy식 보다 좋으나 후기

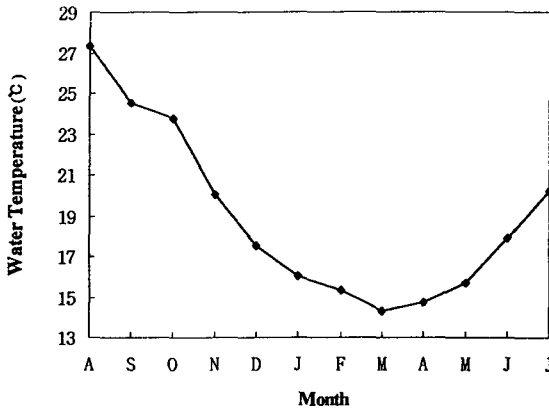


Fig. 9. Monthly change of water temperature in Daepo area from August, 1995 to July, 1996.

에는 Bertalanffy식이 더 좋았다고 하며, *E. esculentus* (Nichols et al., 1985)는 어린 개체 (0^+)가 없을 때에는 Bertalanffy식이 좋고, 어린 개체를 포함시켰을 때에는 Logistic식이 양호하다고 하였다. Fuji (1967)의 북쪽말뚝 성게에서는 Robertson식과 Gompertz식 보다는 Bertalanffy 식이 적합하였다. 이 실험에서도 어린 개체의 표본은 없었지만, 성게류의 자원관리를 위한 성장식으로서 Bertalanffy식이 우수하다고 본다. 대포리의 이론적인 최대각장 46.65 mm보다 큰 표본 개체수는 총 837개체중 6개체, 즉 47.7 mm, 49.3 mm, 50.5 mm, 53.5 mm, 54.2 mm, 59.3 mm의 개체가 포함되어 있었다. 6세까지의 각장과 체중관계는 실제 표본의 값과 비교하면 거의 일치하였다.

요 약

1995년 8월부터 1996년 7월까지 제주도 남제주군 대포리 연안에서 채집한 보라성게의 연령형질 (생식판)로서 성장을 규명한 결과는 다음과 같다.

1. 생식판 (madreporite)에 나타나는 윤문은 2세에서 6세군까지 뚜렷하게 관찰되었다.
2. 각장 (test diameter ; TD)과 생식판경 (radius ; R)과의 관계식은 다음과 같았다.

$$TD = 22.58R - 6.01 \quad (r = 0.960)$$
3. 월별 연변성장율 (MGR : $(R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$) 조사에서 추정된 윤문형성시기는 3월에서 5월사이였다.
4. 각장조성의 월별 성장 경향은 12월에서 이듬해 3월 사이가 주 성장기였고, 4월에서 6월 사이는 성장의 휴지기, 그 외의 기간은 아주 완만한 성장을 하였다.

5. Bertalanffy식이 Gompertz식과 Logistic식보다 잔차 평방합이 적었고, 그 성장식은 다음과 같았다.

$$L_i = 46.65 (1 - e^{-0.283 (t + 0.210)})$$

$$W_i = 44.90 (1 - e^{-0.283 (t + 0.210)})^3$$

참 고 문 헌

Bull, H. O. 1939. The growth of *Psammeshinus miliaris* (Gmelin) under aquarium conditions. Rep. Dove Mar. Lab. (Ser.6) 3, 39~41.

Cassie, R. M. 1954. Some use of probability paper in the analysis of size frequency distributions. Aust. J. Mar. Freshw. Res., 5 (3), 513~522.

Chung, S. C. and Y. Natsukari. 1995. Growth variation among the different populations of sea urchin, *Pseudocentrotus depressus*. J. Korean Fish. Soc. 28 (4), 421~427 (in Korean).

Evert, T. A. 1968. Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. Ecology. 49, 1075~1091.

Fuji, A. 1963. On the growth of the sea urchin, *Hemicentrotus Pulcherimus*. Bull. Jap. Soc. Fish, 29 (2), 118~126.

Fuji, A. 1967. Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin. *Strongylocentrotus intermedius*. Mem. Fac. Fish. Hokkaido univ., 15. 83~1606.

Gage, J. D. 1991. Skeletal growth zones as age-markers in the sea urchin *Psammechinus miliaris*. Mar. Biol. 110, 217~228.

Gage, J. D. 1992. Natural growth band and growth variability in the sea urchin. *Echinus esculentus* : Result from tetracycline tagging. Mar. Biol. 114 (4), 607~616.

Gage, J. D. and P. A. Tyler. 1985. Growth and recruitment of the deep sea urchin. *Echinus affinis*. Mar. Biol. 90, 41~53.

Hur, S. B., S. K. Yoo and S. Rho. 1985. Laboratory tagging experiment of sea urchin, *Hemicentrotus pulcherimus*. Bull. Korean. Fish. Soc. 18 (4), 363~368.

Ishioka, K. 1988. Fitting of growth equation, program for population analysis. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab., 35~46 (in Japanese).

Jensen, M. 1969. Age determination of Echinoids. Sarsia 37, 41~44.

Kakuda, N. 1989. Age determining charcter and growth of the sea urchin. *Pseudocentrotus depressus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 55 (11), 1899~1905 (in Japanese).

Kawamura, K. 1966. On the determining charcter and growth of a sea urchin, *Strongylocentrotus nudus*. Hokkaido. Cen. Fish. Exp. Stn., (6). 56~61 (in Japanese).

- Lewis, J. B. 1958. The biology of the tropical sea urchin, *Tripneustes ventricosus*. Can. J. Zool. 36, 607~621.
- McPherson, B. F. 1965. Contributions to the biology of the sea urchin *Tripneustes ventricosus*. Bull. Mar. Sci. 15, 228~244.
- Moore, H. B. 1935. A comparison of biology of *Echinus esculentus* in different habitats. Part II. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 20, 109~128.
- Moore, H. B., J. A. Jones, B. F. McPherson and C. F. E. Roper. 1963. A contribution to the biology of *Tripneustes esculentus*. Bull. Mar. Sci. Gulf Caribb. 13, 267~281.
- Moore, H. B and B. F. McPherson. 1965. A contribution to the study of the productivity of the urchins *Tripneustes esculentus* and *Lytechinus variegatus*. Bull. Mar. Sci. 15, 855~871.
- Nichols, D., A. A. T. Sime and G. M. Bishop. 1985. Growth in populations of the sea-urchin *Echinus esculentus* L. (Echinodermata: Echinoidea) from the English Channel, and Firth of Clyde. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 86, 219~228.
- Pearse, J. S. and V. B. Pearse. 1975. Growth zones in the echinoid skelecion. Am. Zool. 15, 731~753.
- Rho, Y.G. and D.W. Park. 1986. Studies on artificial seeding production of sea urchin *Anthocidaris crassispina* (A. Agasiz). Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 39, 89~96 (in Korean)
- Shigei, M. 1986. The sea urchins of Sagami Bay. Published by Maruzen Co., Ltd. 173+plate 126.
- Taki, J. 1971. Tetracycline labelling of test plate in *Strongylocentrotus intermedius*. Sci. Rep. Hokkaido. Fish. Exp. Stn. 13, 19~29.
- Yoo, S.K., S.B. Hur and H.Y.Ryu. 1982. Growth and spawning of the sea urchin *Anthocidaris crassispina* (A. Agassiz). I. Korean Fish. Soc. 15 (4), 345~358 (in Korean).
- Yotsui, T. and N. Maesako. 1993. Restoration experiments of *Eisenia bicyclis* beds on barren grounds at Tsushima Islands. Suisan zoshoku. 41 (1), 67~70 (in Japanese).

1997년 9월 26일 접수

1998년 3월 12일 수리