

서남해역 갯벌에 서식하는 우럭 (*Mya arenaria oonogai*) (Mollusca: Bivalvia)의 성장 양상

임현식* · 이창일
목포대학교 해양자원학과

Growth Pattern of Soft Clam (*Mya arenaria oonogai*) (Mollusca: Bivalvia) from a Mud Flat on the Southwest Coast of Korea

Hyun-Sig LIM* and Chang-Il LEE
Department of Marine Resources, Mokpo National University,
Chonnam 534-729, Korea

Growth pattern of the soft clam (*Mya arenaria oonogai*) was estimated based on samples collected from the Yeongsan River estuary on the southwest coast of Korea between August 1996 and September 1997. Mean density of the clam during study period was 55 ind./m² and varied monthly from 281 to 8 ind./m². The clams from the study area ranged in age from one year to seven years, with shell lengths between 40.4 mm and 104.1 mm and biomass between 8.4 and 152.3 g in total wet weight. The spawning season was estimated to occur between September and October based upon a reduced fatness index, an indication of spawning, during these months. Burial depths increased with growth of the clams and most were found buried between 10 and 20 cm in the sediments. Significant relationships were found between shell length and shell height (SH), total wet weight, (TWt), meat wet weight (MWt), meat dry weight (DWt), ash free dry weight (AFDW) and burial depth. The von Bertalanffy growth equations of the clams were L_t (mm) = 138.98(1 - e^{-0.1325(t+0.8853)}) and W_t (gTWt) = 325.93 (1 - e^{-0.1325(t+0.8853)})^{2.6982}. These equations suggest that in their first year the clams should reach 31 mm in length with a biomass of 5.7 g in total wet weight.

서 론

우럭 (*Mya arenaria oonogai*)은 사하린에서부터 우리나라를 포함하여 일본 큐우슈우 지방까지 담수가 유입되는 강 하구 사니질의 갯벌이나 인근 조하대에 매몰되어 서식하는 현탁물 여과섭식 (suspension feeder)인 이매패이다 (Okada, 1966; Habe and Ito, 1991; Kwon et al. 1993, 2001; Yoo, 1995). 또한 이 종은 우리나라에서 식용으로 이용되며, 서식지 환경 변화에 대해 비교적 저항성이 강하여 다른 생물들이 서식할 수 없게 된 곳에서 양식할 수 있는 종으로도 알려져 있다 (Yoo, 2000). 갯벌이 발달한 유럽과 미국의 동부에서는 우럭의 한 종류인 유럽산 우럭 (*Mya arenaria*)이 우점종으로 서식하고 있으며, 지역에 따라서는 식용으로 이용되기도 한다 (Beal, 2002).

갯벌에는 현탁물 섭식 및 표층퇴적물 섭식의 이매패류가 서식하고 있으며, 생산 및 에너지 수지 측면에서 표영생태계와 저서생태계의 에너지 전달자로서의 역할을 수행하고 있다 (Loo and Rosenberg, 1996). 특히, 여과섭식물이 뛰어난 우럭류 (*Mya*)는 생태계 조절 및 에너지 전달자로서 생태적 의미가 매우 중요하다. 즉, 유럽산 우럭은 활발한 여과 기능을 통해 표영생태계 구성요소인 식물플랑크톤 군집에 큰 영향을 미치

는 것으로 알려져 있다 (Nichols, 1985). 또한 우럭류의 소형 치패는 연안에 서식하는 저어류인 넙치류와 계류의 먹이생물로서도 중요할 뿐 아니라 (Smith et al., 1999), 성체의 수관 끝부분은 갯벌을 섭식장소로 이용하는 어류 및 조류 (bird)들에게 먹이로서 역할을 하여 (siphon nipping) (De Vlas, 1985), 갯벌 생태계의 먹이 사슬에서 중요한 고리를 형성하고 있다.

최근 우리나라에서는 갯벌의 생태적, 경제적 중요성이 크게 대두되어, 남해 및 황해 연안 갯벌에 대해 물리, 화학, 지질, 생물 분야는 물론, 해양 문화, 갯벌의 경제적 가치 파악 등을 포괄하는 종합적인 연구가 수행되었다 (MOMAF, 1999, 2000, 2001). 그러나 갯벌 저서생태계를 이해하기 위해서는 저서 군집 뿐만 아니라 군집을 구성하는 우점종에 대한 개체군 수준에서의 분포, 성장, 사망, 현존량 및 생물생산 등에 대한 연구들이 병행되어야 한다 (Munch-Petersen, 1973; Loo and Rosenberg, 1996). 이러한 관점에서 유럽산 우럭의 경우 많은 연구가 수행되어, 우럭의 성장률은 서식처에 따라 차이가 있으며 (Maximovich and Guerassimova, 2003), 성장함에 따라 잠입깊이가 깊어지는 것은 포식자의 포식 행동과 연관성이 있음이 제시되었다 (Smith et al., 1999). 또한 유럽산 우럭은 어미-치패 상호작용으로 인해 서식장소에서 전 연급군이 동시에 출현하지 않고 몇 개의 제한된 연급군만 출현하는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다 (Strasser et al., 1999). 일본

*Corresponding author: hslim@mokpo.ac.kr

의 경우 Goshima (1982)에 의해 Hakata 만에 서식하는 유럽산 우럭 (*M. arenaria*)에 대한 성장 연구가 이루어졌으나, 추정할 만한 각장은 한국산 우럭의 4세군과 유사한 크기를 보이고 있다.

지금까지 한국산 우럭에 대해서는 최근 Kim and Yoo (2001)에 의해 생식연주기에 대한 보고가 전부로서, 성장을 포함한 개체군 생태학적인 연구는 지금까지 전무하다. 우리나라에서 수행된 저서동물들에 대한 개체군 수준에서의 성장 연구는 연령형질이 뚜렷하여 연령사정이 비교적 쉬운 유용 이매패류를 대상으로 자원의 효율적인 관리 및 지속적 생산을 위한 자원관리 측면에서의 연구들이 대부분이었다 (Kim et al., 1975; Hwang and Hwang, 1981; Kang and Kim, 1983; Shin, 1992; Yoon, 1992; Hong and Park, 1994a,b; Son et al., 1996; Shin and Shin, 1999a; Kim et al., 2001; Ryu et al., 2001). 갯벌 생태계의 에너지생산 측면을 이해하고자 하는 연구로서는 맛조개 (*Solen strictus*) (Hong and Park, 1994b)와 동족 (*Macra veneriformis*) (Shin, 1992), 바지락 (*Tapes philippinarum*) (Choi, 1987; Shin and Shin, 1999b), 두토막눈 썸참갯지렁이 (*Perinereis aibuhitensis*) (Choi and Lee, 1997)의 2차 생산 (secondary production) 연구가 있다.

본 연구는 우럭에 대한 개체군 생태학적인 연구의 일환으로, 연령을 사정하고 각 연령별 평균 각장을 버틀란피 성장 모델에 적합시켜 우럭의 성장 양상 추정하였다.

재료 및 방법

재료의 채집

성장 연구에 사용된 우럭의 채집은 영산강 하구역 갯벌 조건대 하부에서 1996년 8월부터 1997년 9월까지 매달 정량 채집하였다 (Fig. 1). 채집시 크기가 $2 \times 2 \text{ m}^2$ 인 방형구를 갯벌 표면에 설치한 다음, 손으로 약 30 cm 깊이 만큼 펄을 파면서 육안으로 발견되는 우럭을 전량 채집하였다. 채집시에는 최소 100개체 이상이 되도록 방형구를 반복 설치하였다. 또한 우럭의 착저 (settlement) 상황을 파악하기 위하여 box core ($25 \times 20 \times 30 \text{ cm}$)를 사용하여 우럭채집을 위해 설치한 동일 방형구 내에서 별도로 4회씩 펄을 채집하여 현장에서 1 mm 체로 체질한 다음 잔존물을 실험실로 운반하여 우럭을 선별하였다. 채집된 우럭은 포르말린으로 고정시 야기되는 무게의 변화를 방지하고, 체내 펄 제거를 위해 살아있는 상태로 실험실로 운반하였으며, 채집시 폐각이 파손된 개체는 밀도 산정에만 사용하고 폐각이 완전한 개체만을 연령사정을 위한 시료로 사용하였다.

서식 깊이 측정

크기에 따른 우럭의 서식 깊이 측정은 우럭이 노출되도록 펄 옆면을 파낸 다음, 수관이 노출되면 50 cm 플라스틱 자를 사용하여 폐각 가장 자리에서부터 펄 표면까지 노출된 수관 끝까지의 길이를 측정하여 이를 우럭의 서식 깊이로 정하였다. 서식 깊이가 측정된 우럭은 각 개체별로 분리하여 비닐

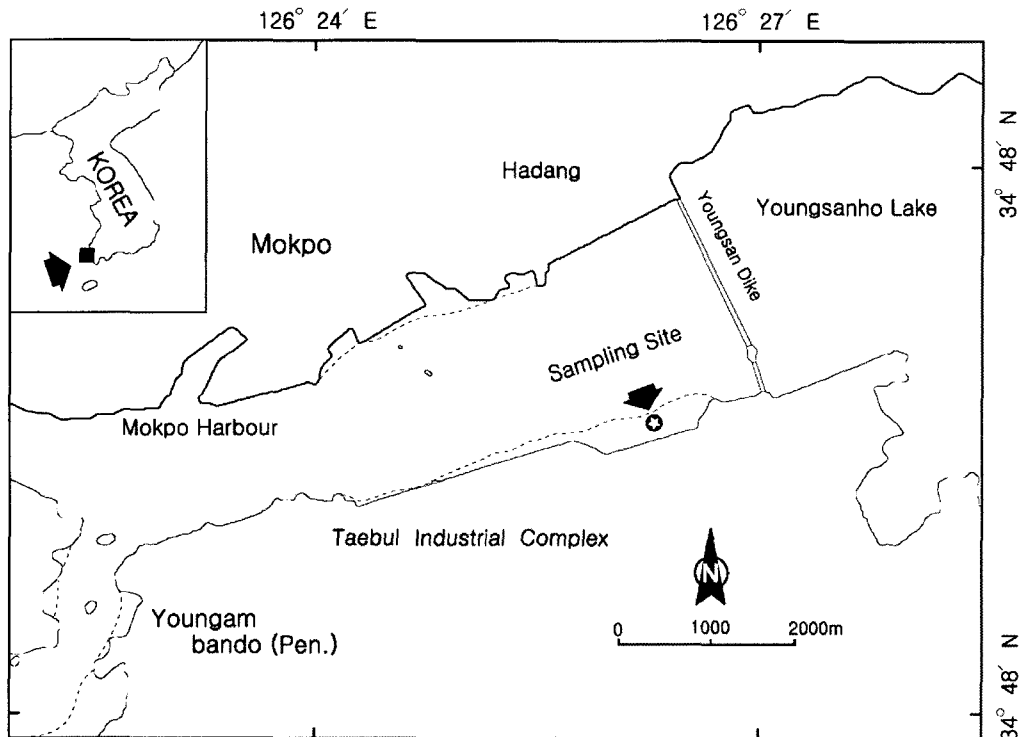


Fig. 1. Map showing the sampling site, Yeongsan River estuary, located on the southwest coast of Korea (see insert). The dotted line represents the lowest tidal mark during spring tide.

봉지에 담아 실험실로 운반하여 각장을 측정된 다음, 각장 크기에 따른 서식 깊이 분석에 사용하였다.

재료의 측정

실험실로 운반된 우럭은 현장에서 채집과 동시에 운반해 온 해수에 약 8시간 정도 담가 우럭 내부의 펄이 호흡활동을 통해 제거되도록 하였으며, 캘리퍼스로 0.01 mm 단위까지 각장, 각고를 측정하였다. 전중 (Total wet weight, TWt)은 패각 표면에 붙어 있는 물기를 제거하고 전자식 직시저울로 0.01 g 단위까지 측정하였다. 습육중 (Meat wet weight, MWt)은 패각과 육질을 분리하여 육질 표면의 수분을 여과지로 제거한 다음 전중과 동일한 방법으로 측정하였다. 건육중 (Dry meat weight, DWt)은 습육중을 측정된 다음, 각 개체별로 도가니에 담아 Dry oven에 넣고 80℃에서 48시간 이상 건조시킨 후 0.01 g까지 측정하였다. 건육중 측정 후 다시 전기로에 넣어 550℃에서 2시간 동안 태우고 나서 테시케이터에 넣어 방냉한 다음 재의 무게를 측정하고, 측정된 재의 무게를 건육중에서 뺀 값을 회분제거건육중 (Ash free dry weight, AFDW)으로 하였다. 이들 자료를 이용하여 각장에 대한 각고, 전중, 습육중, 건육중, AFDW와의 관계식을 추정하였다.

산란기 추정

산란기 추정을 위해 월별 비만도 (Fatness=(AFDW/SL³)×10⁴)를 계산하였는데 비만도 값이 급격히 감소하는 시기를 우럭의 산란기로 추정하였다 (Hong and Park, 1994a). 비만도 추정시 수분 함량으로 인한 변화를 최소화하기 위하여 회분제거건육중을 사용하였다. 비만도에 영향을 미치는 채집지역의 수온 변화는 남해수산연구소 목포본소에서 측정된 자료를 월별 평균으로 나타내었다.

연령사정

연령 사정을 위하여 건조된 패각을 현미경의 광원장치에 비추어 패각 안쪽면의 불투명대에서 투명대로 이행되는 경계와 일치하는 패각 바깥쪽면의 표면 윤곽을 각 연령별 각장을 나타내는 윤문으로 정한 다음 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다 (Fig. 2). von Bertalanffy 성장식을 추정하기 위하여 매개변수인 성장계수 (K)와 극한각장 (L_∞)은 Ford-Walford 정차도 (Walford, 1946)를 이용하여 추정하였다. 또한 추정된 극한각장은 각장과 전중간의 관계식에 대입하여 극한체중 (W_∞)을 구하였다.

통계분석

우럭의 분포 양상을 파악하기 위하여 월별 밀도 자료를 사용하여 X²분석을 하였으며 (Fowler and Cohen, 1996), 우럭의 각장 크기와 서식 깊이와의 상관관계에 대한 유의성 검정은 Normality test를 거쳐 Pearson 상관계수를 이용하였다. 또한 각장에 대한 무게의 회귀관계의 유의성 여부는 Student-t 검정을 실시하였다. 또한 관찰 각장과 계산 각장, 관찰 전중과 계산 전중이 차이가 있는지는 X²분석을 통하여 파악하였다.

이때 사용된 통계프로그램은 Systat (ver 10.0)와 엑셀의 통계 프로그램이었다.

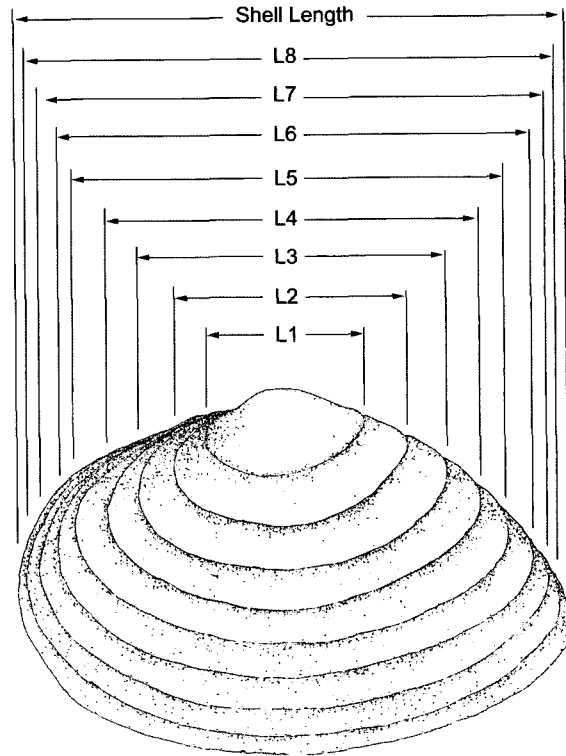


Fig. 2. Schematic sketch of soft clam (*Mya arenaria oonogai*) shows the measurements of shell length and shell radius at each age (L₁-L₈).

결 과

채집지 환경특성

영산강 하구역의 계절별 표층 수온 변동은 전 계절을 통하여 4.1-29.8℃ 범위였다. 봄철인 4월에는 13.1-15.9℃ 범위였으며 (평균 14.4±0.9℃), 여름철인 8월에는 25.5-29.8℃ 범위로서 평균 27.8±1.0℃였다. 가을철인 11월에는 16.0-18.0℃의 범위로서 평균 16.3±0.35℃였으며, 겨울철인 2월에는 4.1-6.1℃ 범위로서 평균 4.9±0.5℃였다. 일반적으로 연중을 통하여 8월이 가장 높고 2월이 가장 낮은 수온 변화양상을 보여준다 (Lim and Park, 1998).

표층 염분의 경우 전 계절에 걸쳐 봄철의 15.1 psu에서 겨울철의 33.6 psu 범위였다. 봄철인 4월에는 15.1 psu에서 26.0 psu 범위였으며 평균 20.6±3.2 psu 였다. 여름철인 8월에는 18.5 psu에서 26.5 psu의 범위였으며 (평균 23.6±1.4 psu), 가을철인 11월에는 20.9 psu에서 23.9 psu 범위 (평균 22.9±0.5 psu) 였다. 겨울철인 2월의 경우 13.7 psu에서 33.6 psu 범위였으며, 평균 32.5±1.6 psu였다 (Lim and Park, 1998).

서식지의 퇴적물 평균 입도는 7.89-9.91 φ 범위이며, 내만으

로 들어올수록 외해역에 비해 상대적으로 세립한 퇴적상을 나타내고 있다. 점토질의 함량은 31.6-86.1% (평균 58.0%)로서 실트성 점토질 퇴적상을 나타낸다 (Lim and Park, 1998).

평균서식밀도 및 각장 빈도분포

조사기간 동안 측정된 우럭의 월별 시료수, 밀도, 각장 및 무게의 범위는 Table 1에 제시하였다. 조사기간 동안 우럭의 가장 높은 밀도는 281 개체/m²였으며, 가장 낮은 밀도는 8 개체/m²로서, 평균 55 개체/m²였는데 이들의 분포는 괴상분포 (clumped distribution) 양상을 나타내었다 ($X^2=1296$, $df=13$, $p<0.001$). 일반적으로 괴상분포는 성체의 분포 뿐만 아니라 어린 치패의 대량 출현으로 인해 밀도가 급격히 증가할 경우에도 나타나는 현상이다. 그러나 우럭의 초기 착저 (settlement) 상황을 파악하기 위한 box core 채집 결과 어린 개체들을 채집하지 못하였기 때문에 계절적으로 치패의 가입과 사망 과정을 통한 밀도변화는 알 수 없었다. 본 연구지역에서 우럭의 분포 유형은 각장 빈도분포에서도 나타난 바와 같이 신규 가입개체가 없기 때문에 성체만의 분포양상으로 볼 수 있다.

한편 채집된 우럭 가운데 가장 작은 개체는 40.4 mm였으며, 가장 큰 개체는 104.08 mm였다. 채집초기인 1996년 8월부터 1996년 11월까지의 시간 경과에 따라 각장의 모드 이동이 관찰되나, 겨울철 동안에는 모드 이동이 관찰되지 않았다. 또한 1997년 6월부터 9월까지의 각장의 모드 이동이 뚜렷하게 나타났다. 따라서 주로 여름철에서 가을철에 걸쳐 성장이 일어나고 있음을 알 수 있다. 또한 1996년 11월과 12월, 1997년 9월에는 45 mm 이하의 개체들이 소량 출현하고 있다 (Fig. 3). 이들은 당해연도에 착저한 개체가 아니라 각각 전년도에 발생하여 가입후 약 1년이 경과한 1세군이였다.

비만도의 변화

우럭의 산란시기 추정을 위해 월별 체중 변화에 따른 비만도를 계산하였다. 수온이 상대적으로 높은 7월에 0.454로 최고치를 나타낸 다음, 이후 수온 하강과 더불어 감소하기 시작하여 10월 이후부터 1월에 걸쳐 가장 낮은 값을 나타내었다. 그 후 전반적으로 수온 상승과 더불어 비만도가 증가하는 양상을 나타내었다 (Fig. 4). 비만도의 변화는 생식소 발달과 함께 비만도가 증가한 다음 산란으로 인해 생식소가 방출되기 시작하면서 감소하며, 산란 이후 다시 수온 상승과 더불어 생식소가 발달하면서 비만도가 증가하는 과정을 거치는 것으로 알려져 있다. 따라서 비만도가 감소하는 7월부터 부분적인 산란이 시작되어 비만도가 급격히 감소하는 9월부터 10월 사이에 집중적으로 산란이 일어나 생식소가 최대로 방출되는 것으로 볼 수 있으며, 우럭의 산란기는 9-10월로 추정할 수 있다.

성장에 따른 서식 깊이

각장 성장에 따른 우럭의 서식 깊이를 파악하기 위하여 10개월 동안 조사된 총 380개체의 서식깊이를 분석한 결과 각장이 성장함에 따라 서식 깊이가 깊어지는 양상을 보였다 (Fig. 5). 즉, 각장 40 mm 이하에서는 평균 서식 깊이가 10.7 cm였으나, 각장 60-70 mm 범위에서는 평균 서식 깊이가 12.87±3.20 cm, 각장 80-90 mm 범위에서는 평균 서식 깊이가 14.37±2.59 cm로서 각장 성장에 따라 서식 깊이는 점차 증가하는 양상을 나타내었다 ($r=0.25$, $p<0.001$). 특히, 개체에 따라서는 20 cm 이상의 깊이에 서식하기도 하였으며, 25 cm 이상에 서식하는 개체도 간혹 발견되었으나 대부분의 개체가 10-20 cm 깊이에 서식하고 있었다.

Table. 1. Sampling date, the number of specimens and size and weight of soft clam (*Mya arenaria oonogai*) from Youngsan River estuary, southwest coast of Korea

Sampling date	Number of specimens measured	Abundance (ind./m ²)	Shell Length (mm)	TWt. (g)	MWt. (g)	DWt. (g)	AFDW (g)
Aug. 2, 1996	107	10	51.0-86.7	19.9-96.6	6.9-52.9	1.68-10.95	1.39-8.05
Sept. 14, 1996	169	9	47.0-97.4	16.1-152.3	6.6-57.5	1.34-8.75	0.80-5.95
Oct. 25, 1996	152	38	51.0-88.4	21.6-114.6	6.0-32.6	1.18-7.37	1.35-4.64
Nov. 30, 1996	91	8	43.8-89.0	11.6-118.7	3.8-26.6	0.71-5.83	1.01-4.04
Dec. 29, 1996	101	8	40.4-90.9	8.4-106.3	3.0-35.5	0.52-5.37	0.88-3.97
Jan. 29, 1997	118	137	54.9-83.5	26.7-66.7	7.8-18.3	1.34-3.90	1.34-2.65
Feb. 28, 1997	119	32	59.7-95.4	29.6-105.1	11.2-35.6	2.45-8.95	2.21-6.05
Mar. 9, 1997	132	34	49.2-92.9	22.3-127.4	8.5-50.0	1.55-2.28	5.34-9.31
Apr. 26, 1997	144	281	61.3-87.2	35.8-91.4	12.5-33.3	2.68-8.87	2.30-6.07
May 24, 1997	113	28	53.3-90.7	27.4-118.9	10.5-42.9	2.73-11.62	3.37-8.39
June 25, 1997	115	27	53.0-81.2	27.3-87.5	11.0-33.6	2.64-9.41	3.56-6.51
July 27, 1997	118	84	56.2-82.5	29.5-72.6	12.4-51.1	3.20-8.70	2.92-5.83
Aug. 23, 1997	112	31	61.3-88.9	29.8-103.3	14.3-74.2	3.71-9.79	3.18-7.09
Sept. 21, 1997	75	38	63.3-104.08	8.6-122.7	13.1-49.3	1.80-12.46	3.58-9.26
Range	75-169	8-281	40.4-104.08	8.4-152.3	3.0-74.2	0.52-12.71	0.80-9.31

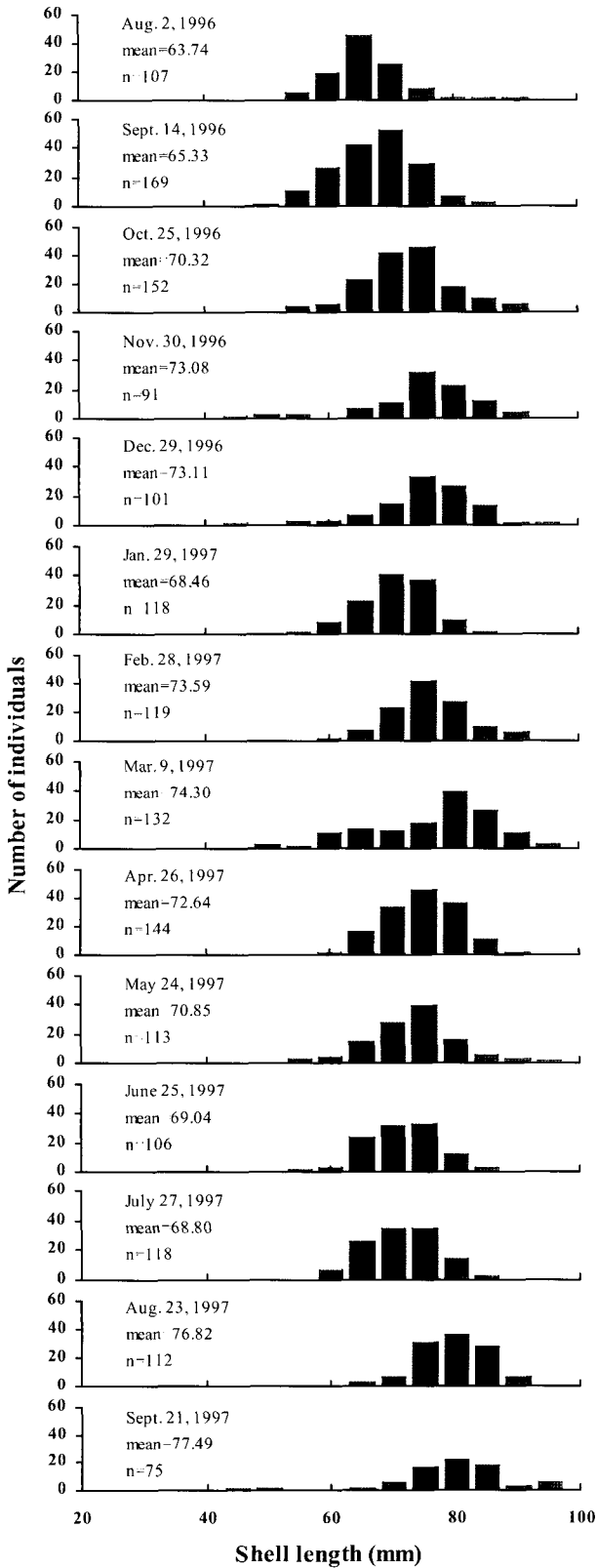


Fig. 3. Size frequency distribution of the soft clam (*Mya arenaria oonogai*) in Yeongsan River estuary, southwest coast of Korea.

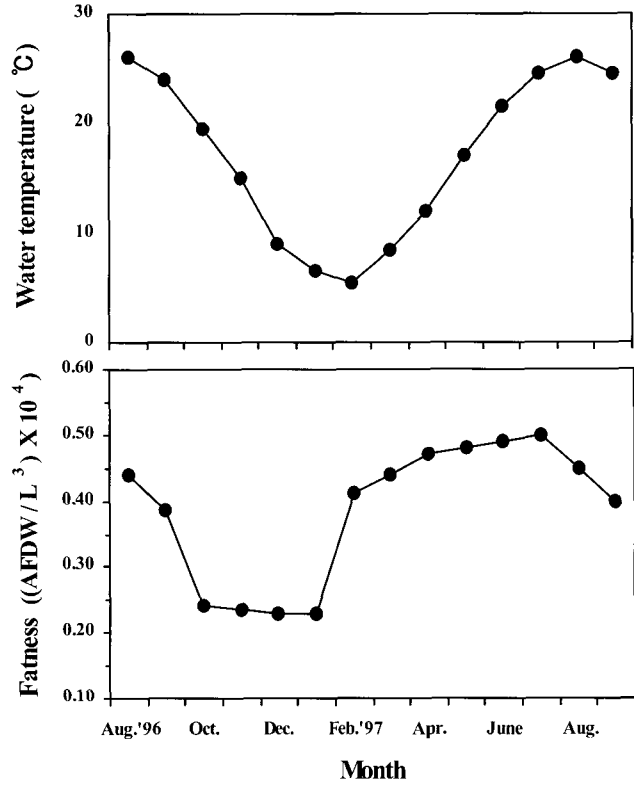


Fig. 4. Monthly pattern of the surface water temperature and fatness (ash free dry weight) of soft clam (*Mya arenaria oonogai*). Error bars represent one standard deviation of the fatness.

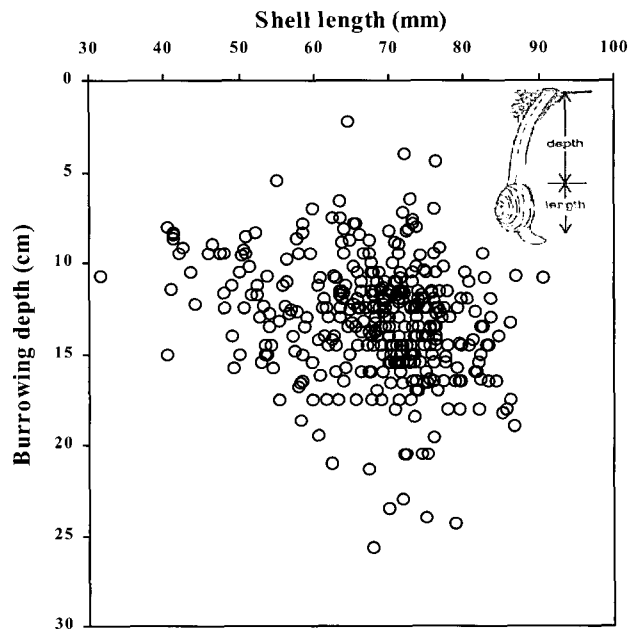


Fig. 5. Relationship between burrowing depth and shell length of the soft clam (*Mya arenaria oonogai*) in Yeongsan River estuary, southwest coast of Korea.

각장과 각고, 중량과의 상관관계

각장과 각고와의 관계는 직선식으로, 각장과 무게 (전중, 습육중, 건육중, 회분제거건육중) 와의 관계는 $W=aL^b$ 의 곡선식으로 나타내었으며 (Fig. 6), 이들간에는 유의한 상관관계가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.001$) (Table 2).

Table 2. Regression details of the relationships between shell length (SL) and shell height (SH), total wet weight (TWt), meat wet weight (MWt), meat dry weight (DWt) and ash free dry weight (AFDW) of the clam

Relationship	r ²	Student-t	df	p
SL-SH	0.85	98.51	1, 1637	<0.001
SL-TWt	0.84	95.67	1, 1633	<0.001
SL-MWt	0.58	48.21	1, 1637	<0.001
SL-DWt	0.39	34.69	1, 1557	<0.001
SL-AFDW	0.37	32.93	1, 1487	<0.001

윤문에 의한 연령 사정의 적합성

패각 표면에 형성된 윤문이 연령형질로 적합한가를 파악하고, 윤문 판독의 정확성을 검토하기 위하여 윤문군별 각장과 각 윤문간의 관계를 검토하였다 (Fig. 7). 그 결과 각 각경 (shell radius)은 인접한 각경과 윤문 형성 시기의 시간적인 격차로 인해 중복됨이 없이 명확히 분리되어 일정한 각경으로 분포하고 있으며, 각장이 커짐에 따라 각경 역시 커진다는 것을 알 수 있었다. 따라서 패각에 형성된 윤문은 각장과 각경 간에 대응성이 있으므로 연령형질로서 적합한 것을 알 수 있었다.

성장 방정식

우리의 패각에 형성된 각 연령군별 각장의 평균치는 Table 3에서와 같다. 연령군별 평균 각장을 이용하여 Walford (1946)에 의한 정착도를 그려보면, 연속하는 두 연령군의 각장 추정치는 다음과 같은 회귀직선의 관계를 보였다 (Fig. 8).

$$L_{t+1} = 0.8759 L_t + 17.2480 \quad (1)$$

이를 von Bertalanffy 성장 방정식에 적용하면,

$$L_{t+1} = L_{\infty}(1 - e^{-kt}) + e^{-k} L_t \quad (2)$$

(1)과 (2) 식으로부터 우리의 극한각장은 138.98 mm, 성장계수 (K)는 0.1325/year, $t_0 = -0.8853$ 으로 추정되었으며, 각장의 성장 방정식은 다음과 같다.

$$L_t = 138.98(1 - e^{-0.1325(t + 0.8853)})$$

한편, 각장과 체중과의 관계식에 극한각장 (L_{∞})을 대입하여 극한체중 값을 구한 결과, $W_{\infty} = 325.93$ g으로 추정되었다. 따라서 체중에 대한 von Bertalanffy 성장 방정식은 다음과 같다.

$$W_t = W_{\infty}(1 - e^{-k(t - t_0)})$$

$$W_t = 325.93(1 - e^{-0.1325(t + 0.8853)})$$

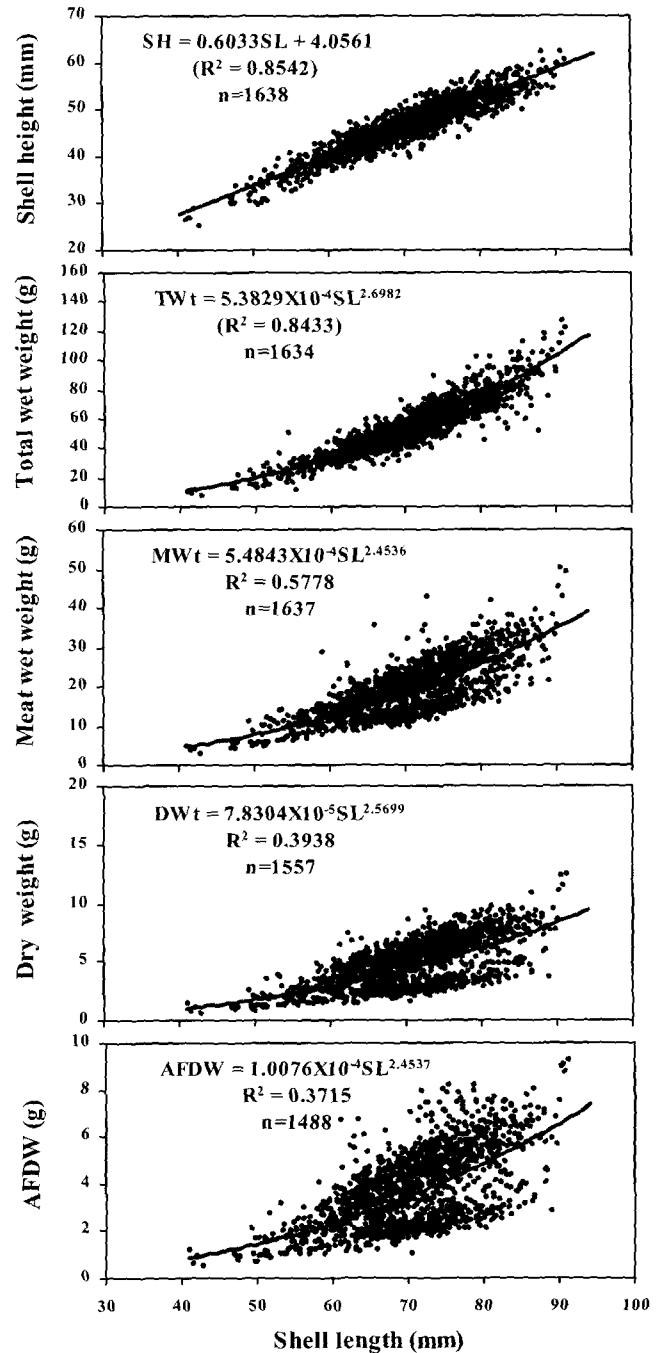


Fig. 6. Relationship between shell length and total wet weight, meat wet weight, dry weight and AFDW of soft clam (*Mya arenaria oonogai*).

von Bertalanffy 각장 성장 모델에 적합시켜 계산한 1세의 각장은 30.72 mm였으며 10세는 106.13 mm로 나타났으며, 체중의 경우 1세는 3.52 g이며 10세는 145.13 g으로 계산되었다 (Figs. 9, 10). 그리고 von Bertalanffy 성장식에 의해 추정된 각 연령군의 평균 각장을 실제 측정된 각장과 7세까지 비교한 결과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 ($X^2=0.0144$, $df=6$,

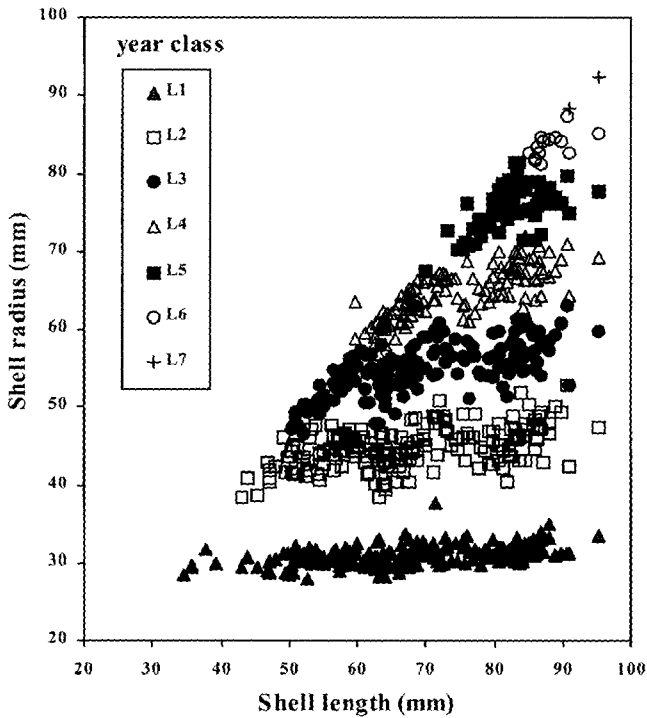


Fig. 7. Relationship between shell length and shell radius of soft clam (*Mya arenaria oonogai*) for each year class.

$p > 0.01$) (Table 4). 또한 체중 성장식으로부터 추정된 각 연령군의 평균 전중도 실제 측정된 전중과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 ($X^2=0.697$, $df=6$, $p > 0.01$). 따라서 추정된 성장 방정식은 우럭의 성장 유형을 잘 나타내었다.

고찰

자연에 서식하는 이매패류 개체군에서는 다양한 연령군들이 동시에 출현하는 것이 일반적인 현상이다. 본 연구지역에서 채집된 우럭의 밀도는 채집시기에 따라 차이가 컸으며, 이것은 우럭의 분포 양상이 과상분포 (clumped distribution)를 보이고 있음을 나타낸다. 또한 각장의 빈도 분포에서 보듯이 각장 40 mm 이상되는 개체만 채집이 되었으며, 4-6세 무리에 속하

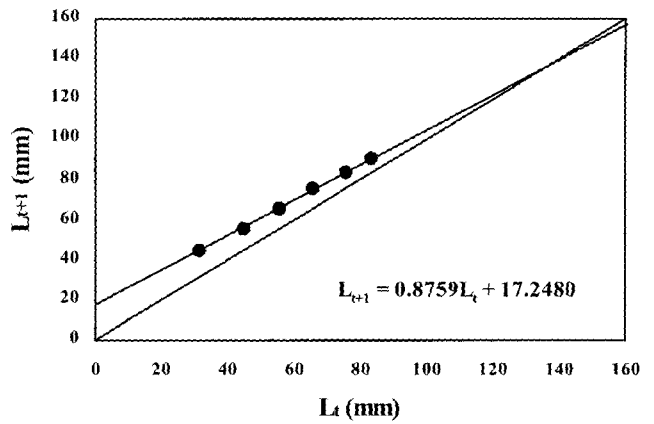


Fig. 8. Walford's graph of the shell growth of soft clam (*Mya arenaria oonogai*) predicting size at t+1 from size at t.

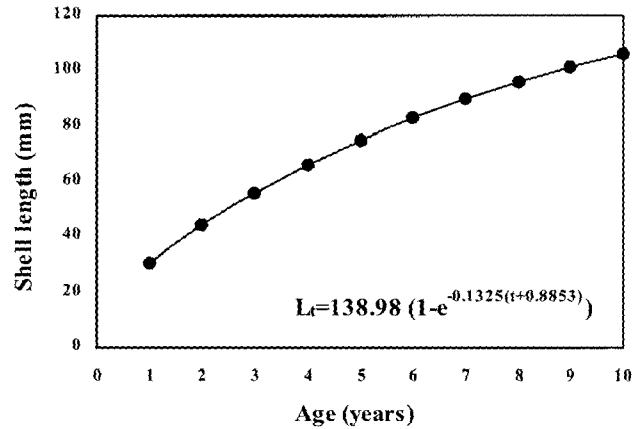


Fig. 9. Estimated von Bertalanffy growth curve of the shell length of soft clam (*Mya arenaria oonogai*).

는 각장 60-80 mm 크기의 개체들이 대부분 출현하고 있다. 이러한 현상은 유럽산 우럭에서도 발견되는데, Strasse et al. (1999)은 Wadden Sea의 치패-성패 분포조사에서 한 장소에 다양한 연령군이 존재하지 않고, 단지 2-3개의 연령군만이 성체 개체군을 구성하는 것으로 보고하면서, 성체-치패 간의

Table 3. Annual mean shell length of *Mya arenaria oonogai*

Ring group	Number of ind.	Annual mean shell length (mm)							
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₆	L ₇	
I	5	29.58							
II	21	30.04	43.73						
III	46	30.56	43.91	52.53					
IV	67	30.88	44.41	54.51	62.46				
V	43	31.32	45.64	56.50	66.26	75.47			
VI	14	31.98	47.74	57.97	67.24	75.61	83.22		
VII	2	32.41	44.81	56.30	66.72	76.24	83.84	90.24	
Total	198	Mean	31.01	45.04	55.56	65.67	75.77	83.53	90.24

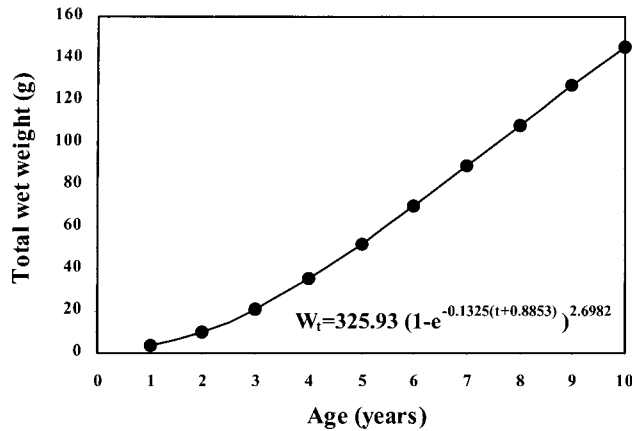


Fig. 10. Estimated von Bertalanffy growth curve of total wet weight of soft clam (*Mya arenaria oonogai*).

Table 4. Observed mean shell length and mean total wet weight compared to those calculated from von Bertalanffy growth curves in each year class of *Mya arenaria oonogai*

Age (years)	Mean shell length (mm)		Mean total wet weight (g)	
	Observed	Calculated	Observed	Calculated
1	31.01	30.72	5.74	3.52
2	45.04	44.16	15.59	10.45
3	55.56	55.92	27.46	21.23
4	65.67	66.23	43.12	35.27
5	75.77	75.26	63.43	51.75
6	83.53	83.17	82.51	69.84
7	90.24	90.09	101.64	88.78
8	-	96.16	-	107.95
9	-	101.47	-	126.86
10	-	106.13	-	145.13

상호작용이 있다고 지적하였다. 영산강 하구역에 서식하는 우럭의 경우에도 2-3년간에 걸친 연속적인 착저를 통해 몇 개의 연급군을 가진 개체군을 형성한 뒤 그 이후에는 어미가 서식하고 있는 장소에는 착저가 일어나지 않거나 극히 소량만이 착저하는 것으로 추정할 수 있다.

본 연구에서도 40 mm 이하의 어린 개체가 채집되지 않아 치폐발생을 통한 정확한 가입 시기 등은 알 수 없었지만, 1996년 11월과 12월, 1997년 9월에는 각각 전년도에 발생하여 가입 후 약 1년이 경과한 개체로 보이는 45 mm 이하의 개체들이 소량 출현함으로써 대체로 이 시기에 가입이 일어나고 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 추정하는 이유는 패각에 형성된 연륜 측정법을 통해 얻은 1세군은 평균 각장은 31.04 mm였으며, 우럭의 산란기가 9-10월임을 고려한다면, 당해연도에 착저한 개체가 아닌 전년도에 발생한 것으로 보는 것이 타당하기 때문이다. 이것은 일본에서 연구된 유럽산 우럭의 경우에도 1년이 경과하면 약 40 mm 정도 성장하는 것으로 보고되고 있어 (Goshima, 1982), 우럭은 착저 후 1년이 경과하면 약 40 mm 전후로 성장하는 것으로 판단된다.

그러나 착저 후 약 1년이 경과한 개체가 이 시기에 채집되기 위해서, 1세 이하의 어린 개체가 지속적으로 채집되어야 함에도 불구하고 채집되지 않은 것에 대해서는, 어린 개체의 착저 장소의 차이, 부유유생의 발생 부진, 성체-치폐 상호작용, 여름철 대량 폐사, 전년도 산란 부진, 치폐의 대량 피식으로 인한 사망, 유생의 타지역으로의 운반 등 다양한 원인들을 검토할 수 있으나, 본 논문에서는 설명할 수 있는 자료가 없을 뿐 아니라, 연구범위 밖의 내용들로서 별도의 연구가 필요하다.

영산강 하구역에 서식하는 우럭은 1년 중 9-10월경에 산란이 일어나는 것으로 추정되었다. 한국산 우럭의 산란기에 대해 Kim and Yoo (2001)는 경남 사천만 연안에 서식하는 우럭의 비만도는 봄철인 4월에 최고값을, 10월에 최저값을 보였으며, 생식소 관찰 결과 생식소 방출기는 9-10월임을 파악하고 우럭의 산란기는 9-10월이며, 이것은 후기 산란종에 해당된다고 보고하고 있다. 또한 본 조사와 동시에 채집된 우럭에 대한 생식소 조직 관찰을 통해 생식소의 발달을 파악한 결과 (Chang et al., 1998)에서도 9-10월이 생식소 방출기이며, 이때 산란이 일어나는 것으로 추정하고 있다. 따라서 우리나라산 우럭의 산란기는 서식장소에 따른 수온의 연변화 등의 차이에 따라 약간의 지역적 차이가 있을 것으로 예상되지만, 전남 영산강 하구역에서 경남 사천에 이르는 해역에 서식하는 우럭의 산란기는 9월에서 10월 사이로 볼 수 있다.

일반적으로 잠입성 이매패는 각장이 성장함에 따라 잠입 깊이가 증가하는 것으로 알려져 있으나, 우럭과 같은 현탁물 식자는 깊이 서식할수록 여과 능력이 감소함으로써 섭식률이 낮아지고 성장률도 낮아진다고 지적되고 있다 (Zaklan and Ydenberg, 1997). 그럼에도 불구하고, 다른 이매패에 비해 발의 발달이 결여되어 있어 잠입 능력이 상대적으로 약한 유럽산 우럭이 성장함에 따라 서식 깊이가 증가하는 것은, 깊이 서식할수록 포식자에 의한 피식으로부터의 보호, 파도에 의한 퇴적상 변동과 같은 물리적인 교란으로부터의 유실 방지, 극단적인 온도 노출 방지를 통해 생존율을 높일 수 있기 때문인 것으로 추정되고 있다 (Zwarts and Wanink, 1989; Englund and Heino, 1994). 본 조사에서도 각장이 커짐에 따라 서식 깊이가 증가하는 것으로 나타났으며, 40 mm 이하의 소형 개체가 채집된다면 각장 성장과 서식 깊이와의 상관 관계는 더욱 뚜렷해 질 것으로 보인다.

각장과 무게 (습육중, 건육중, 회분제거건육중)와의 상관 관계 그래프에서 특이한 것은 동일 각장의 개체들이라도 무게가 서로 다른 2개의 군이 관찰된다는 점이다 (Fig. 6). 이것은 동일한 각장 크기라도 개체에 따라 육중의 변이가 있음을 나타내 주는 것으로 볼 수 있다. 크기가 동일한 개체가 무게 차이를 보인다는 것은 무게 측정시 오차에서 기인된 것 보다는 시기적인 측면에서 산란기 때 생식소 방출로 인해 생체량이 감소한 것으로 해석될 수 있다. 이것은 각 월별로 각장과 무게간의 회귀식이 차이가 있음을 나타내 주는 것으로서, 향후 연구될 생물생산 측정 연구에서는 각장과 무게와의 관계식

을 월별로 추정하여 사용하여야 함을 제시하고 있다. 그러나 본 논문에서는 시료의 크기가 충분하고, 추정된 회귀식이 유의한 상관관계를 보일 뿐 아니라 일반적인 경향을 파악하는 것이기 때문에 이들을 분리하여 추정하지 않고 전체적인 자료를 사용하여 추정하였다.

일반적으로 패류는 산란과 수은 저하에 의해 성장이 둔화되면서 윤문이 형성된다고 알려져 있다. 이를 뒷받침하기 위해 월별로 각 개체의 연변부 성장률을 계산하여 연변부 성장이 둔화되는 시기를 윤문의 형성시기로 추정하게 된다 (Hong and Park, 1994a; Ryu et al., 2001). 그러나 본 논문에서는 연변부 성장률을 고려하지 않고 산란시기를 윤문 형성시기로 정하였다. 이와 같이 정한 이유는 각 연령별 각경은 인접한 각경과 윤문 형성 시기의 시간적인 격차로 인해 중복됨이 없이 명확히 분리되어 일정한 간격으로 분포하고 있었으며, 패각에 형성된 윤문은 각장과 각경 간에 대응성이 있었기 때문에 연령 형질로서 적합하다고 판단하였기 때문이었다 (Kim et al., 2001).

우럭의 성장과 관련하여 Goshima (1982)는 착저 후 1년이 경과한 개체는 40 mm에 달하고 동시에 성숙하여 산란에 참여한다고 보고하였다. 본 연구에서 우럭의 성장은 1세군이 약 31.01 mm였으며, 이것은 우럭이 9-10월에 산란하여 유생기를 마치고 착저한 다음, 1년이 경과하면 도달할 수 있는 크기로 판단된다. 이는 1996년 11월과 12월, 1997년 9월에 채집된 45 mm 이하되는 개체의 출현에서도 확인된다.

추정된 각장 및 체중 성장식은 우럭의 성장 패턴을 잘 나타내었으며, 다른 수산생물과 마찬가지로 연령이 증가할수록 성장이 둔화되는 양상을 보이고 있다. 또한 성장 모델에 따르면, 극한 각장 (L_{∞})이 138.98 mm이고, 극한 체중 (W_{∞})은 325.93 g으로 추정되었다. 또한 본 연구에서 채집된 가장 큰 개체는 104.08 mm 였으며, 가장 습중량이 큰 개체는 152.3 gTWt였다. 이들의 각장과 전중을 성장 방정식으로부터 계산한 결과와 비교해 보면 약 10세 군에 해당되는 것으로 파악되었으며, 실제 이 개체들의 패각에서는 확인 가능 연륜만 7-8개였으며, 2-3개의 연륜이 더 존재하는 것으로 파악되었다. 추정된 성장식은 성장의 정지를 나타내는 점근선에 도달하지 않고 있으나, 유럽산 우럭의 경우 수명은 4세에서 28세까지, 최대 크기

는 27 mm에서 125 mm까지 추정되고 있음을 볼 때 (Maximovich and Guerassimova, 2003), 본 연구에서 추정한 식은 적절하다고 보여진다. 또한 유럽산 우럭 (*M. arenaria*)의 극한 각장 (L_{∞})은 조사지역에 따라 60.1-101.4 mm, 성장률 (K)은 0.04-0.91로서 지역에 따라 차이가 있었으나 한국산 우럭이 상대적으로 크게 나타났다 (Table 5).

이상으로부터 영산강 하구역에 서식하는 우럭은 9-10월에 산란기를 거쳐 착저가 일어나며, 착저 후 1년만에 약 평균 31 mm 정도 성장한다. 또한 성장함에 따라 잠입깊이는 점차 깊어지지만 대부분의 개체는 10-20 cm 깊이에 서식하고 있었으며, 착저 후 약 10세 이상 생존하는 것으로 추정되었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호: 2001-1-22300-003-1)지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Beal, B.F. 2002. Adding value to live, commercial size soft-shell clam (*Mya arenaria* L.) in Maine, USA: results from repeated, small-scale, field impoundment trials. *Aquaculture*, 210, 119-135.

Brousseau, D.J. and J.A. Baglivo. 1987. A comparative study of age growth in *Mya arenaria* (soft-shell clam) from three populations in Long Island Sound. *J. Shellfish Res.*, 6, 17-24.

Chang, Y.J., H.S. Lim and H.K. Lim. 1998. Gonadal development and reproductive cycle of the soft shell clam (*Mya arenaria*). In: *The Third Korea-Japan Japan-Korea Joint Symposium on Aquaculture*. Cheju Natl. Univ., Cheju., pp. 115.

Choi, J.W. and J.H. Lee. 1997. Secondary production of a nereid species *Perinereis aibuhitensis* in the intertidal mudflat of the west coast of Korea. *Bull. Mar. Sci.*, 60, 517-528.

Choi, Y.M. 1987. The secondary production of the bivalve *Tapes philippinarum*. in the shore fo Sinsudo, Sam-

Table 5. Parameters of the von Bertalaffy growth curves in soft clam *Mya* and other bivalves

Species	L_{∞} (mm)	W_{∞} (g)	t_0	K	Study area	Reference
<i>Mya arenaria</i>	101.4		0.21	0.093	Nova Scotia, Canada	Robinson and Rowell (1990)
	60.1	7.03	0.11	0.3	Roskilde Fjord, Denmark	Munch-Peterson (1973)
	61.67		0.0414	0.9118	Hakata Bay, Japan	Goshima (1982)
	60.89-81.10		-0.5	0.048-0.060	Long Island Sound, USA	Brousseau and Baglivo (1987)
<i>Mya arenaria oonogai</i>	138.98	325.93	-0.885	0.1325	Yeongsan River estuary, Korea	The present study

- cheonpo. MS. Thesis, Natl. Fisheries Univ. of Pusan, pp. 45. (in Korean)
- De Vlas, J. 1985. Secondary production by siphon regeneration in a tidal flat population of *Macoma balthica*. Netherlands J. Sea Res., 19, 147-164.
- Englund, V.P.M. and M.P. Heino. 1994. *In situ* measurement of seasonal variation in burial depth of *Mya arenaria* Linne. J. Moll. Stud., 60, 465-467.
- Fowler, J. and L. Cohen. 1996. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, UK., pp. 227.
- Goshima, S. 1982. Population dynamics of the soft clam, *Mya arenaria*, with special reference to its life history pattern. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab., 6, 119-165.
- Habe, T. and K. Ito. 1991. Shell of the World in Color Vol. I. The Northern Pacific. Hoikusha, Osaka, pp. 176. (in Japanese)
- Hong, J.S. and H.S. Park. 1994a. Growth and production of macrobenthic fauna on a macrotidal flat, Inchon, Korea. I. Growth of the razor clam, *Solen (Solen) strictus* (Bivalvia, Solenidae) from Chokchon tidal flat. Bull. Kor. Fish. Soc., 27, 549-559. (in Korean)
- Hong, J.S. and H.S. Park. 1994b. Growth and production of macrobenthic fauna on a macrotidal flat, Inchon, Korea. II. Production of the razor clam, *Solen (Solen) strictus* (Bivalvia, Solenidae) from Chokchon tidal flat. Bull. Kor. Fish. Soc., 27, 560-571. (in Korean)
- Hwang, K.Y. and Y.T. Hwang. 1981. Studies on the age and growth *Gomphina (Macridiscus) melanaeigis* (Romer) in the eastern waters of Korea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 27, 111-117. (in Korean)
- Kang, Y.J. and C.K. Kim. 1983. Studies on the structure and production processes of biotic communities in the coastal shallow waters of Korea. 3. Age and growth of *Spisula sachalinensis* from the eastern waters of Korea. Bull. Kor. Fish. Soc., 16, 82-87. (in Korean)
- Kim, J.H. and M.S. Yoo. 2001. Annual reproductive cycle of the soft clam, *Mya arenaria*. J. Kor. Fish. Soc., 34, 656-660. (in Korean)
- Kim, Y.H., D.S. Chang and Y.C. Park. 2001. Preliminary survey of age and growth of the short-necked clam, *Paphia undulata* (Born), in Kwangyang Bay, Korea. J. Kor. Fish. Soc., 17, 7-12. (in Korean)
- Kim, B.K., T.S. Ko, H.I. Song, S.D. Lee and S.Y. Kim. 1975. Studies on the spawning and growth of hen clam, *Mactra sulcataria*. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 34, 157-164. (in Korean)
- Kwon, O.K., Park G.M. and J.S. Lee. 1993. Coloured Shells of Korea. Academy Publishing Company, Seoul, pp. 385. (in Korean).
- Kwon, O.K., D.K. Min, J.R. Lee, J.S. Lee, J.G. Je and B.L. Choe. 2001. Korean Mollusks with Color Illustration, Hangeul, Seoul, pp. 277. (in Korean).
- Lim, H.S. and K.Y. Park. 1998. Community structure of the macrobenthos in the Soft Bottom of Youngsan river estuary, Korea I. Benthic environment. J. Kor. Fish. Soc., 31, 330-342. (in Korean)
- Loo, L.O. and R. Rosenberg. 1996. Production and energy budget in marine suspension feeding populations: *Mytilus edulis*, *Ceratoderma edule*, *Mya arenaria* and *Amphiura filiformis*. J. Sea Res., 35, 199-207.
- Maximovich, N.V. and A.V. Guerassimova. 2003. Life history characteristics of the clam *Mya arenaria* in the White Sea. Helgol. Mar. Res., 57, 91-99.
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 1999. Studies for sustainable use of tidal flats in Korea (1st year), pp. 747. (in Korean)
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 2000. Studies for sustainable use of tidal flats in Korea (II), pp. 1019. (in Korean)
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 2001. Studies on inventories and a sustainable use of tidal flats in Korea (The Eastern part of Jeollanamdo and Jeollabukdo), pp. 1214. (in Korean)
- Munch-Petersen, S. 1973. An investigation of a population of the soft clam (*Mya arenaria*) in a Danish estuary. Medd. Danm. Fisk. Havunders., 7, 47-73.
- Nichols, F.H. 1985. Increased benthic grazing: an alternative explanation for low phytoplankton biomass in northern San Francisco Bay during the 1976-1977 drought. Estuar. Coast. Shelf Sci., 21, 379-388.
- Okada, K. 1966. New Illustrated Encyclopedia of the Fauna of Japan. Hokuryukan Co. Ltd. Tokyo, Japan, pp. 803. (in Japanese)
- Robinson, S.M.C. and T.W. Rowell. 1990. A re-examination of the incidental fishing mortality of the traditional clam hack on the soft-shell clam, *Mya arenaria* Linnaeus, 1758. J. Shellfish Res., 9, 283-289.
- Ryu, D.K., S.H. Baik, K.H. Park and E.Y. Chung. 2001. Age and growth of the pen shell, *Atrina (Servatrina) pectinata japonica* (Reeve), on the west coast of Korea. Kor. J. Malacol., 17, 71-78. (in Korean)
- Shin, H.C. 1992. Growth and population dynamics of *Mactra veneriformis* (Bivalvia). Ph.D. Thesis, Seoul Natl. Univ., pp. 135. (in Korean)
- Shin, H.C. and S.H. Shin. 1999a. Population biology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, southern coast of Korea.

- I. Growth and benthic environments. Kor. J. Malacol., 15, 21-30. (in Korean)
- Shin, H.C. and S.H. Shin. 1999b. Population biology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, the southern coast of Korea. II. Population dynamics and secondary production. Kor. J. Malacol., 15, 31-39. (in Korean)
- Smith, T.E., R.C. Ydenberg and R.W. Elner. 1999. Foraging behavior of an excavating predator, the red rock crab (*Cancer productus* Randall) on soft-shell clam (*Mya arenaria* L.) J. Exp. Mar. Biol. Eco., 238, 185-197.
- Son, P.W., D.S. Ha, S. Rho and D.S. Chang. 1996. Studies on the age and growth of sun and moon scallop, *Amusium japonicum japonicum* (Gmelin). J. Aquacult., 9, 409-417. (in Korean)
- Strasser, M., M. Walensky and K. Reise. 1999. Juvenile-dult distribution of the bivalve *Mya arenaria* on intertidal flats in the Wadden Sea: Why are there so few year classes? Helgol. Mar. Res., 53, 45-55.
- Walford, L.A. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. Bio. Bull. Woods Hole, 90, 141-147.
- Yoo, J.S. 1995. Korean Shells in Colour. Iljisa, Seoul, pp. 139. (in Korean)
- Yoo, S.K. 2000. Mariculture. Kudeoksa, Busan, pp. 639. (in Korean)
- Yoon, S.B. 1992. Population dynamics of the short necked clam, *Tapes philippinarum* in An-Jong, Tong-Young. MS. Thesis, Natl. Fisheries Univ. of Pusan, pp. 34. (in Korean)
- Zaklan, S.D. and R. Ydenberg. 1997. The body size-burial depth relationship in the infaunal clam *Mya arenaria*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 215, 1-17.
- Zwarts, L. and J. Wannik. 1989. Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. Mar. Bio., 100, 227-240.

2004년 1월 14일 접수
2004년 4월 17일 수리