

울산 태화강 바지락의 자원평가 및 관리방안에 관한 연구

최영민, 윤상철, 이성일¹, 김종빈², 양재형, 윤병선, 박정호

국립수산과학원 동해수산연구소 자원환경과, ¹국립수산과학원 자원관리과,
²국립수산과학원 대외협력과

The study of stock assessment and management implications of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan

Young-Min Choi, Sang-Chul Yoon, Sung-Il Lee¹, Jong-Bin Kim², Jae-Hyeong Yang, Byoung-Sun Yoon, Jeong-Ho Park

Fisheries Resources and Environment Division, East Sea Fisheries Research Institute of NFRDI, Gangwon-Do, 210-861, Korea

¹Fisheries Resources Management Division of NFRDI, Busan, 619-705, Korea

²External Research Cooperation Division of NFRDI, Busan, 619-705, Korea

ABSTRACT

The manila clam (*Ruditapes philippinarum*) is mainly distributed in the coastal area which consist of mud, sand and gravel, but they rarely live on the upper and down reaches of river. For a long time the manila clam has been inhabited in Taehwa river which has been exploited as a traditional earning resources and has become as a major object by neighborhood fishermen. This study was undertaken to evaluate stock assessment and to build management implications with the ecological parameters in Taehwa river from June 2009 to June 2010. The maximum age of manila clam was determined to 6 years old from observing ring radius of shell, the length and weight relationship was $TW = 0.0002SL^{3.063}$ ($R^2 = 0.925$). K and L_{∞} were respectively estimated 46.64 mm and 0.341/year by von Bertalanffy growth. The instantaneous total mortality was estimated to be 1.171/year and the age at first capture was 1.37 years by the Pauly's method using shell length composition. The current total biomass of manila clam was calculated 1,483 mt over study area 1.46 km² by swept area method. ABC (Acceptable Biological Catch) estimates of manila clam showed 512 mt with using $F_{0.1}$. It's desirable to determine the optimum harvesting time as after main spawning season, as well as it's required to manage fisheries resources considering capture age and biomass through adjusting a first age at capture.

Keywords: *Ruditapes philippinarum*, growth, mortality, biomass, ABC, Taehwa river

서 론

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 백합 목 (Order Veneroida) 백합 과 (Family Veneridae) 에 속하는 종으로 한국, 일본과 중국을 비롯해 태평양 및 인도양 연안역에 걸쳐 넓게 분포한다 (Kwon *et al.*, 1993). 우리나라는 남해 및 서해 연안역 담수의 영향을 받는 수역을 중심으로 주로 분포하며 동해안의 경우 바지락의 서식지역은 크게 넓지는 않지만 죽변

연안과 태화강, 형산강 등 기수역의 일부 지역에 분포하고 있다 (Konstantin *et al.*, 2002).

국내 바지락의 생산현황을 살펴보면, 2000년부터 2010년 간 해면어업과 천해양식에 의한 바지락 총생산량은 21천-40천 톤으로 전체 패류 생산량의 약 8-9%에 해당된다. 해역별 생산 비율을 보면 전북, 충남 및 경기 등의 서해안이 70%로써 가장 높고, 경남 및 전남의 남해안이 25%를 차지하며 동해안 일부 지역에도 생산은 되고 있으나 그 양이 미미하여 어업통계상 집계는 되지 않고 있다 (Fishery production survey, 2000-2010).

최근 울산 태화강은 친환경 조성사업의 노력으로 수질환경이 개선되면서 어류와 패류 등의 수산자원생물이 회복되고 있는 추세이다. 특히 인근 어민들이 수산자원으로 이용 개발하였던 태화강 하류역의 바지락 자원의 서식밀도가 높아진 것으로 나타나 자원으로서의 이용가능성이 기대되고 있다. 즉, 울산

Received May 13, 2011; Accepted June 5, 2011
Corresponding author: Sang-Chul Yoon
Tel: +82 (33) 660-8522 e-mail: yoonsc@nfrdi.go.kr
1225-3480/24384

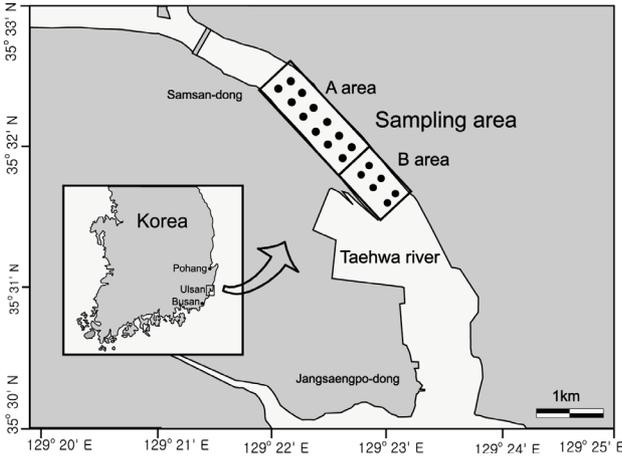


Fig. 1. Map showing the sampling site of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan.

태화강에서 생산되는 치패를 바지락의 주산지인 남해와 서해안의 어장에 공급함으로써 지역 수산의 중요한 소득원으로서의 기대가 예상된다. 또한 태화강하구 바지락 건강도 조사에서 체내 미량금속 농도는 국내허용기준 및 미국 FDA 허용권고치 이하의 안전한 수준으로 평가되어 태화강 청정 이미지의 제고에도 크게 기여할 것으로 여겨진다 (NFRDI, 2010).

바지락에 관한 국내 연구로는 김제연안에 서식하는 바지락의 생식소발달과 연령 및 성장 연구 (Chung *et al.*, 1994), 진해 연안산 바지락의 자원생태학적 연구 (Kim and Zhang, 1999), 용존산소의 변화에 따른 바지락의 생리적 반응 연구 (Shin *et al.*, 2001), 한산도 진두해역 양식 바지락의 자원생태학적 연구 (Cho and Jeong, 2007), 통영 연기해역의 바지락자원 적정관리에 관한 연구 (Cho *et al.*, 2008) 등이 있고, 국외에서는 러시아 Amursky 만의 바지락의 개체군 구조와 성장연구 (Ponurovskii, 2008), 중국 Jiaozhou만에 이식한 바지락 성장과 관련한 연구 (Ren *et al.*, 2008), 바지락의 서식환경에 대한 실험연구 (Coughlan *et al.*, 2009), 프랑스 아카송만에 서식하는 바지락의 지속적 이용을 위한 역학적 모델 (Bald *et al.*, 2009) 등의 국내외적으로 많은 연구가 보고되고 있다.

우리나라에서 드물게 하천에서 생산되는 태화강의 바지락은 지역 어민의 소득증대를 위한 주요한 수산자원이며 관광자원으로서 귀중한 자산이므로 자원보호를 위한 지속적인 관리가 필요하다. 이를 위해서는 태화강 바지락자원에 대한 주기적이고 과학적인 자원조사를 통한 자원생태학적 특성이 진단되어야 하고, 또한 모패와 치패의 적정어획을 위한 관리방안이 요구된다. 본 연구는 울산 태화강 바지락의 자원평가 및 관리를 위한 방안을 제시하기 위해 바지락의 자원생태학적 특성, 자원량 및 적정어획량을 추정하였다.

재료 및 방법

1. 조사해역 및 시기

본 조사는 울산광역시 태화강 중·하류에 서식하는 바지락 자원에 대한 생태특성, 자원량 및 적정어획량 추정을 위해 2009년 6월-2010년 6월 동안 격월로 7회에 걸쳐 실시하였다 (Fig. 1).

2. 조사정점

울산 태화강 하류에 분포하는 바지락 자원에 대한 분포밀도 및 현존량을 파악하기 위해 강 하구의 수심범위 5-6 m의 A구역에서 12개 정점, 수심범위 7-8 m의 B구역에서 6개 정점으로 총 1,462,314 m² 면적에 18개 정점을 선정하여 조사하였다 (Fig. 1). A해역은 갑압식 형망어구를 이용하여 조사하였고, B해역은 수심 7-8 m 해역으로 갑압식 형망어구 사용이 불가하여 1 m × 1 m의 방형구를 사용하여 잡주조사를 수행하였다.

3. 생태조사

1) 바지락 측정

울산 태화강에서 채집된 바지락은 국립수산물과학원 고래연구소에 운반하여 각장 (Shell length, SL) 은 0.01 mm까지 디지털 Vernier calliper를 사용하여 측정하였고, 전중량 (Total weight, TW) 은 0.01 g까지 전자저울을 사용하여 측정하였다.

2) 연령과 성장

바지락의 연령사정을 위해 패각을 연령형질로 사용하였고, 패각은 육질부를 완전히 제거한 후, 패각의 내·외면을 이물질이 없도록 세척하였다. 세척한 패각의 외면에서 불투명대와 투명대의 경계선을 나누고 그 경계를 윤문으로 간주하였다. 연령사정을 보다 정확하게 하기 위해서 좌우 패각중 윤문이 뚜렷하게 형성된 쪽을 선택하였고 패각의 윤문까지의 윤장을 윤경으로 하였다.

성장파라미터는 일반적으로 가장 널리 사용되는 von Bertalanffy 성장모델 (Bertalanffy, 1938) 을 사용하여 구하였다.

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t - t_0)}) \quad (1)$$

여기서 L_∞는 이론적 최대체장, K는 성장계수, t₀는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다. 이론적 최대체중 (W_∞) 은 각장 (SL) 과 전중량 (TW) 과의 관계식을 구해서 환산하여 구하였다.

3) 생잔을 및 사망계수

순간자연사망계수 (Z) 는 체장조성자료를 사용하여 Pauly (1984) 에 의한 어획물 곡선법으로 구하였고, 생잔을 (S) 은 순간자연사망계수를 사용하여 아래의 식으로 추정하였다.

$$S = e^{-Z} \tag{2}$$

순간자연사망계수 (M) 는 Zhang and Megrey (2006) 방법을 사용하여 추정하였으며,

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(0.44 t_{max} - t_0)} - 1} \tag{3}$$

여기서, K는 성장계수, t_{max}는 최대연령, t₀는 체장이 0일 때의 이론적 연령, β는 체장 - 체중 관계식의 상수이다.

그리고 순간어획사망계수 (F) 는 순간자연사망계수에서 순간자연사망계수를 제하여 구하였다.

$$F = Z - M \tag{4}$$

4) 어장가입연령 및 어획개시연령

어장가입연령 (t_r) 은 바지락의 각장조성에서 2009년부터 2010년까지 조사된 최소각장을 연령으로 환산하였고, 어획개시연령 (t_c) 은 어획물의 체장조성과 von Bertalanffy 성장식을 이용하여 추정하는 체장변환 어획물곡선법 (Pauly, 1984) 을 사용하여 추정하였다.

5) 자원량 추정

직접 자원조사에 의한 방법으로 해역별 특성에 따라 감압식 형망어구와 방형구법을 사용하였으며, 각 방법에 따른 정점별 면적당 생체량을 계산한 방법은 식 (5) 및 식 (6) 과 같다.

$$\text{면적당 생체량 (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{총어획량 (g)}}{\text{예망면적 (= 예망거리 (m) × 예망폭 (m), m}^2\text{)}} \tag{5}$$

$$\text{면적당 생체량 (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{총어획량 (g)}}{\text{방형구면적 (= 가로 (m) × 세로 (m), m}^2\text{)}} \tag{6}$$

여기서, 감압식 형망어구의 예망면적은 다음과 같다. 조사시 각 정점당 선속 0.96 m/s로 2분동안 예망하였으므로, 예망거리 는 116.1 m이고, 예망폭, 즉, 조사어구의 흡입구 직경이 0.127 m이므로 각 정점당 예망면적은 14.7 m²이다.

따라서, 자원량은 월별로 계산된 면적당 생체량의 평균인 면

적당 평균생체량과 바지락의 서식 면적을 고려하여 아래의 식으로 추정하였다.

$$\text{자원량 (B)} = \text{면적당 평균생체량} \times \text{바지락 서식 면적(A)} \tag{7}$$

또한 A와 B의 두 구역간 바지락의 서식 밀도차이가 유의한지를 비교하기 위하여 t-test를 실시하였다.

6) 가입당생산량 모델에 의한 추정

바지락자원의 적정어획사망계수 및 적정어획연령을 구하기 위한 Beverton and Holt (1957) 모델은

$$\frac{Y}{R} = F \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nK} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_m - t_c)]) \tag{8}$$

으로 Y/R은 가입당생산량, U₀ = 1, U₁ = -3, U₂ = 3, U₃ = -1이며, W_∞, K, t₀는 von Bertalanffy 성장식의 매개변수 들이고, F는 순간어획사망계수, M은 순간자연사망계수, t_r은 어장가입연령, t_c는 어구가입연령 혹은 어획개시연령이고, t_m은 최고연령이다.

7) F_{0.1} 추정

F_{0.1}은 어획이 없을 때의 생산량 곡선에 대한 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수를 의미하는데, Beverton and Holt 모델식을 순간어획사망계수에 대해 미분하여 다음 식을 구한 후, 그 결과의 10%에 해당하는 값으로 F_{0.1}값을 추정하였다.

$$\frac{d(Y/R)}{dF} = \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n (M + nK) \exp[-nK(t_c - t_0)]}{(F + M + nK)^2} + \frac{\exp[-(F + M + nK)(t_m - t_c)]}{(F + M + nK)^2} \cdot [(t_m - t_c)F + (M + nK)(t_m - t_c)F - (M + nK)] \right\} \tag{9}$$

8) 생물학적 허용어획량

바지락의 생물학적 허용어획량 (Acceptable Biological Catch, ABC) 은 현재의 자원량 (B), 순간자연사망계수 (M), 그리고 적정어획사망계수(F_{ABC}) 를 사용하여 식 (10) 으로 추정하였다.

Table 1. Radius of ring in each ring group of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan, June 2009 - June 2010

Ring group	Radius (mm)					Number of samples
	R	r1	r2	r3	r4	
1	21.55	17.00				105
2	27.56	16.48	25.94			124
3	33.26	16.75	25.46	31.61		110
4	37.15	16.06	24.72	31.15	35.45	67
5	40.86	14.10	22.46	30.64	35.80	39.01
Mean		16.07	24.64	31.13	35.62	39.01

$$ABC = F_{ABC} B \frac{1}{(M + F_{ABC})} (1 - \exp^{-(M + F_{ABC})}) \quad (10)$$

결 과

1. 연령과 성장

바지락의 연령사정을 위해 패각의 외면에서 불투명대와 투명대의 경계선을 나누고 그 경계를 윤문으로 판독하였다. 연령사정으로 평균 윤경을 측정된 값은 r₁은 16.49 mm, r₂는 25.68 mm, r₃는 31.43 mm, r₄는 35.47 mm, r₅는 39.01 mm로 나타났고 패각의 경우 윤경과 각장이 같으므로 각 윤문별 윤경을 연령별 각장으로 간주하였다 (Table 1).

각 연령별 평균 각장으로부터 추정된 von Bertalanffy 성장식은 $L_t = 46.64(1 - e^{-0.341(t+0.268)})$ 로서 성장매개변수인 이론적 최대체장 (L_∞)은 46.64 mm, 성장계수 (K)는 0.341/년, 체장이 0일 때의 이론적 연령 (t₀)은 -0.268세로 추정되었다 (Fig. 2).

각장과 전중과의 관계식은 $TW = 0.0002SL^{3.063}$ (R² = 0.925) 이었고 (Fig. 3), 각장과 전중관계식을 통해 추정된 이

론적 최대체중 (W_∞)은 25.87 g으로 구해졌다.

태화강에서 서식되는 바지락은 각장 범위 11-13 mm의 치패군을 대상으로 주로 봄철에 어획을 하는 것으로서 주어획이 이루어지는 2010년 2-6월간의 각장조성 및 평균 각장은 각각 7-41 mm, 24.0 mm이었고 모드는 1세군인 각장 12 mm와 2, 3세군인 28-30 mm의 각장계급에서 형성되었다 (Fig. 4). 바지락의 연령별 각장범위를 보면, 1세군은 13-26 mm, 2세군은 21-30 mm, 3세군은 28-36 mm, 4세군은 34-40 mm, 5세군은 39-41 mm로서 1세 42%, 2세 37%, 3세 19%, 4-5세군 이상에서 2%를 차지하였다.

2. 생산율 및 순간사망계수

태화강 바지락에 대한 자원생태학적 특성치로서 순간전사망계수 (Z)는 각장조성으로부터 전환된 어획물 곡선식으로부터 1.171/년으로 추정되었으며 추정된 순간전사망계수로부터 계산된 생산율 (S)은 0.310이었다 (Fig. 5). 순간자연사망계수 (M)는 Zhang and Megrey (2006)의 방법에 의해 0.545/년이었으며 순간어획사망계수는 0.626/년으로 구해졌다.

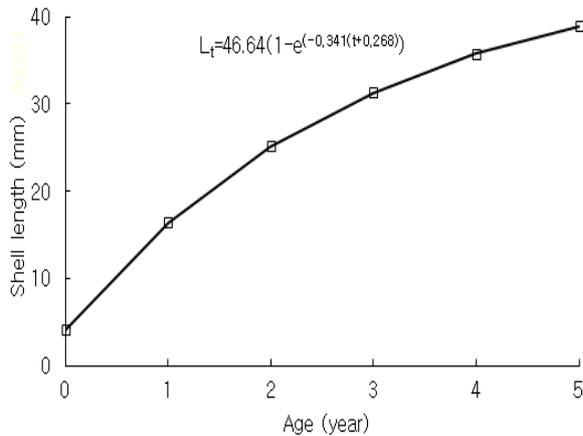


Fig. 2. The von Bertalanffy growth curve of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan.

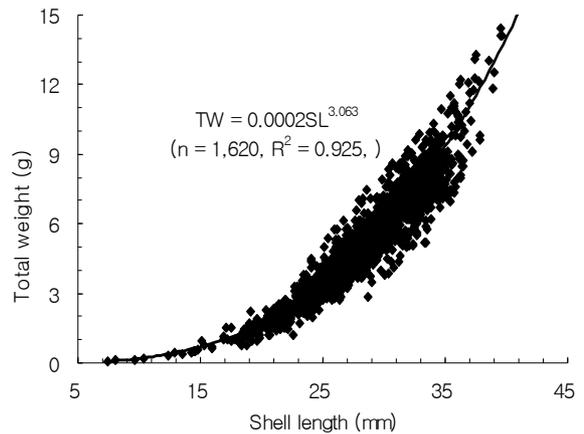


Fig. 3. Relationship between shell length (SL) and total weight (TW) of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan.

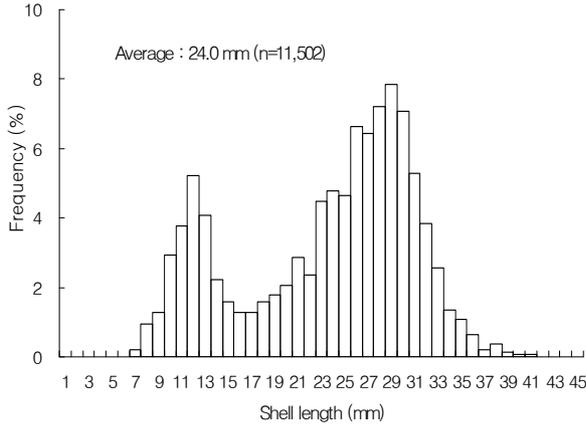


Fig. 4. Length-frequency distribution of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan.

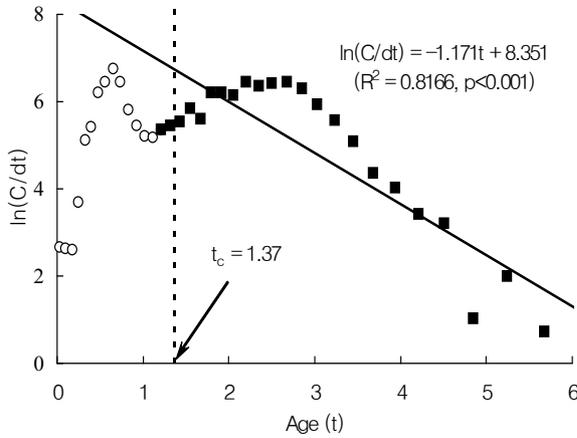


Fig. 5. Estimation of the selection ogive of *Ruditapes philippinarum* from a length converted catch curve analysis using the Pauly method (1984).

3. 어장가입연령 및 어획개시연령

어장가입연령은 (t_r) 은 바지락의 각장조성에서 2009년부터 2010년까지 조사된 최소각장을 연령으로 환산하여 0.21세로 추정되었고, 바지락의 어획개시연령 (t_c) 은 von Bertalanffy 성장식으로부터 얻어진 성장 매개변수 L_∞ , K , t_0 를 사용하여 Pauly (1984) 방법에 의해 1.37세로 추정되었다 (Fig. 5).

4. 자원량

2009년 6월부터 2010년 6월까지 실시된 자원조사 결과 A해역의 면적당 생체량 (g/m^2) 은 $1,035.7 g/m^2$ 으로 추정되었고, B해역의 면적당 생체량 (g/m^2) 은 $975.0 g/m^2$ 으로 추정되었다. A와 B의 두 구역간의 서식 평균밀도 차이를 위한 t-test 결과는 p-value가 0.327로서 유의수준 0.05에 대한 두

Table 2. Density and biomass of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan

Sampling site	Density (g/m^2)	Area (m^2)	Biomass (mt)
A	1,035.7	935,881	969
B	975.0	526,433	513
Total	-	1,462,314	1,483

지역간의 면적당 생체량의 차이는 없는 것으로 나타났다. 바지락의 평균 생체량은 $1,005.3 g/m^2$ 이었고 A와 B해역의 전체 면적 146 ha ($1,462,314 m^2$) 에 서식하는 바지락의 총 자원량은 1,483 톤으로 추정되었다 (Table 2).

5. 적정어획사망계수 및 적정어획연령

바지락의 적정어획강도와 적정어획연령을 추정하기 위하여 Beverton and Holt (1957) 모델에서 이론적인 최대체중 (W_∞) 은 25.87 g, 성장계수 (K) 는 0.341/year, 각장이 0일 때의 이론적인 연령 (t_0) 은 -0.268세, 순간자연사망계수(M) 는 0.545/year, 어획개시연령 (t_c) 은 1.37세, 어장가입연령 (t_r) 은 0.21세, 최대연령 (t_L) 은 6세를 각각 사용하였다. 순간어획사망계수 (F) 에 대한 어획개시연령 (t_c) 과 가입당생산량 (Y/R) 과의 관계를 살펴보면, 현재의 어획개시연령인 1.37세, 현재의 순간어획사망계수 $F = 0.63/년$ 에서 가입당생산량이 1.38 g임을 나타내고 있다. 현재의 어획개시연령에서 순간어획사망계수를 1.0/년으로 높인다면 가입당생산량이 1.44 g까지 증가하는 것으로 나타났다. t_c 가 2.5세이고 F 를 2.0으로 높일 때 가입당생산량은 1.67 g으로 최대값을 보였다 (Fig. 6).

어획개시연령에 대한 순간어획사망계수와 가입당생산량간의 관계는 현재의 F (0.63/년) 에서는 t_c 가 2.0세로 높이면 가입당생산량은 1.44 g으로 증가하는 것으로 나타났으나 그 이상으로 t_c 를 증가시키면 가입당생산량은 t_c 가 2.0세일 때보다 오히려 가입당생산량은 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 7).

어획개시 연령과 순간어획사망계수간의 상호변화에 따른 바지락의 가입당생산량의 변동을 검토하기 위하여 Fig. 8과 같은 등생산곡선을 구하였다. 곡선 AA'는 주어진 t_c 에 따라 최대의 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결한 선이고 BB'는 F 값에 따라 최대가입당생산량을 산출하는 점들을 연결하는 선이다. 현재의 t_c 에서 어획강도를 1.0/년 이상의 수준으로 늘려도 가입당생산량은 1.44 g 이상으로 증가하지 않으며 현재의 F 에서 t_c 를 1.5세 이상 높여도 가입당생산량이 1.44 g 이상으로 증가하지 않는 것으로 나타났다 (Fig. 8).

6. 생물학적 허용어획량

울산 태화강 하구 바지락의 연간 생물학적 허용어획량 (ABC) 을 산정하기 위하여 연간 자원량 (B) 은 1,483톤으로 추정되었고 적정어획사망계수 ($F_{0.1}$) 및 순간자연사망계수

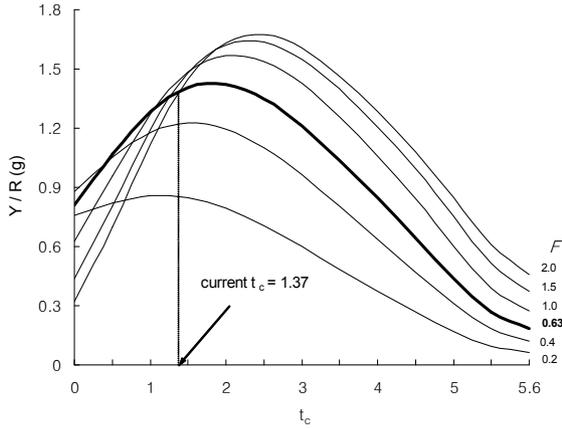


Fig. 6. Yield per recruit curve of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan, Y/R against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F).

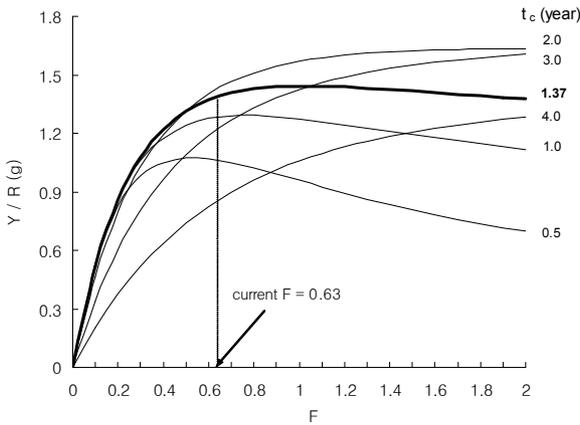


Fig. 7. Yield per recruit curves of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan, (F) for various ages at first capture (t_c).

(M) 는 각각 0.580/년, 0.545/년을 적용한 ABC는 512톤으로 산정되었다.

고 찰

바지락의 서식지역으로는 일반적으로 연안역이나 바다의 조간대 및 아조간대수역이 대부분으로 태화강처럼 중하류의 하천역에서 분포하는 것은 이례적인 경우이다. 바지락의 서식환경에 대한 Coughlan *et al.* (2009) 의 실험에 의하면 바지락의 염분에 대한 반응결과에서 23-35 psu범위에서 적응하는 것으로서, 해수의 영향을 직접 받는 태화강 조사해역의 염분은 29.2-32.8 psu (NFRDI, 2010) 로서 적정범위에 해당하기 때문에 바지락 서식적응이 가능한 지역이라고 여겨진다.

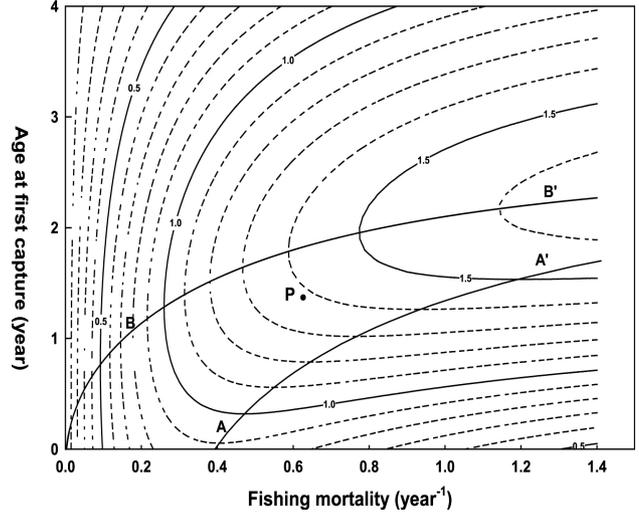


Fig. 8. A contour plot of yield per recruit of *Ruditapes philippinarum* in Taehwa river of Ulsan, P indicates the current state of fishing mortalities (F) and age at first capture (t_c).

Kim and Zhang (1999) 에 의한 진해만 바지락의 경우 연령별 평균각장은 1세 21.5 mm, 2세 27.9 mm, 3세 33.5 mm, 4세 38.2 mm로서 1-4세군에서는 본 연구 결과와 유사한 성장패턴을 보였으나 5세군 이상의 연령군은 나타나지 않았다. Kim and Zhang (1999) 의 성장계수 (K) 는 0.48/year, 이론적 최대체장 (L_{∞}) 은 43.2 mm로서 본 연구의 0.341/year 및 46.64 mm에 비해 성장계수는 다소 높았고 이론적 최대체장은 3.4 mm 작은 것으로 나타났다. 진해만 바지락의 경우 이론적 최대체장이 작은 것은 5세 이상의 고연령군이 분포하지 않았거나 채집이 되지 않았기 때문인 것으로 여겨진다. Ren *et al.* (2008) 의 중국 Jiaozhou만에 이식한 바지락 성장과 관련한 연구에 의하면 1세는 21 mm, 2세는 30 mm, 3세는 38 mm로 성장한다고 보고하였다. 이 결과는 본 연구의 1세 21.5 mm, 2세 27.5 mm, 3세 33 mm에 비해 2세와 3세의 성장률이 높은 것으로 나타났는데 서식장 내만의 어장환경 조건과 두 개체군의 계군속성의 상이점으로 사료된다. Ponurovskii (2008) 의 연해주 Amursky만에 분포하는 바지락의 성장에 관한 연구에서 각장의 범위는 19.8-52.7mm 이었고 연령별 평균각장은 1세 10 mm, 2세 20 mm, 3세 31 mm, 4세 37 mm, 5세 41 mm, 6세 42 mm, 7세 45 mm로서 1-3세군에서는 본 결과에 비해 성장이 느렸고 4세 이상의 연령군에서는 유사한 경향이었으며 6세와 7세의 고연령군 개체군이 서식하는 것이 특징이었다. 또한 성장계수 (K) 는 0.302/년, 이론적 최대체장 (L_{∞}) 은 56.6 mm로서 본 연구결과에 비해 성장계수는 낮았고 이론적 최대체장은 10 mm가 큰 것으로 나타났다. 이것은 고위도에 서식하는 바지락의 서식

환경인 수온이나 먹이생물 등의 외부적인 요인과 성장생태의 특성으로 간주된다.

Kim and Zhang (1999) 의 진해만 바지락 어획물곡선식으로부터 얻어진 순간전사망계수는 1.77/년으로서 본 연구결과와 1.171/year에 비해 높았다. 중국 Jiaozhou만에 이식된 1세군 바지락의 자연사망률과 생산율은 각각 13.2%와 0.868 이었고 순간전사망계수는 0.141/년으로서 본 연구에 비해 생산율이 높았는데 개체군의 초기감소가 크게 일어나는 저연령군이었음에도 생산율이 상당히 높은 것으로 나타났다 (Ren et al., 2008). 서식지 바다 부니질의 발생으로 인한 수질 혼탁은 바지락 생식활동의 지장 및 치패의 바다부착을 저해하는 결과를 가져 오고, 또한 이러한 생태환경 악화는 치패의 번식과 밀도감소를 가져오는 주요 외적요인이 된다고 하였다 (Williams 1980; Zhou et al., 2001). 태화강 바지락의 분포 수심은 5-8 m이고 Jiaozhou만의 분포 수심도 4-7 m인데 비해 진해만의 바지락은 조간대 지역으로 밀물과 썰물의 잦은 파도에 부유성 사니질이 자주 발생되고 공기에 노출되는 등 열악한 조건으로서 늘 물속에 잠겨 있는 태화강이나 Jiaozhou만의 아조간대에 서식하는 바지락에 비해 사망률이 높을 가능성이 있을 것으로 사료된다.

태화강의 바지락 조업에 사용되는 어구는 흡입식뿔프로서 어획물을 선상으로 양망하여 채망에 의해 일정 크기의 바지락을 채포하며 어획대상 크기외의 혼획된 바지락은 다시 어장으로 되돌려 진다. 바지락은 주로 만 1-2세가 되는 크기를 대상으로 하며 조사해역의 바지락의 각장조성에 의하면 만 2세가 1.5-2.5세인 각종 25-30 mm의 체급에서 집중적인 어획이 이루어지는 것으로 나타났다. 어획물곡선에서 각장 12 mm에 해당하는 0.65세에서도 어획물의 경사가 일어나지만 완전가입 연령은 2.19세 이후부터 일어나는 것으로 어획개시연령은 0.65세와 2.19세 사이의 값인 1.37로 구해졌다.

바지락 자원을 가입당생산량모델에 적용한 결과 현재의 $t_c=1.37$ 세, $F=0.63$ /년에서 가입당생산량은 1.38 g으로 t_c 와 F 중 어느 한 요인만을 변화시켰을 경우 최대로 얻을 수 있는 가입당생산량은 1.44 g이었다. 이는 현재 가입당생산량에 비해 4% 정도 높은 값으로 현재 수준의 어구망목이나 어획강도 중 어느 한 요인만을 높일 때는 생산량이 크게 증가되지 않는 것으로 나타나지만 t_c 와 F 를 동시에 2.5세와 2.0/년으로 늘리면 가입당생산량은 1.67 g으로 현재보다 21% 증가하는 것으로 나타났다. F 의 경우 현재 어획강도의 3배에 해당하는 2.0/년 수준으로 늘린다면 가입당생산량의 증대 측면에서 단기적인 수확은 가능하지만 자원에 대한 어획압력의 가중으로 자원 상황은 점차 악화될 것으로 예측된다. 적정어획을 위한 사망계수 $F_{0.1}$ 도 현재의 F 인 0.63/년보다 다소 낮은 0.58/년으로서 가입당생산량 증가만을 위해 F 를 1.5/년이나 2.0/년으로의 상

향조절은 자원의 지속적 생산측면에서 신중히 고려해야 할 것으로 여겨진다.

Bald et al. (2009) 은 프랑스 아카송만에 서식하는 바지락의 지속적 이용을 위한 역학적 모델 실험에서 큰 개체 이상을 어획하고 어획노력량을 제한하고 조업시기를 단축하는 경우 자원증대 효과가 가장 크다는 결과를 제시하였다. 또한 Jiaozhou만의 바지락 해산양식의 지속적인 발달과 자원증대를 위한 가장 효과적인 자원관리로서 낮은 밀식과 합리적인 수확시기를 들었다 (Ren et al., 2008). 따라서 태화강 바지락의 연간 생물학적 허용어획량 (ABC) 은 512톤으로 적정 수확시기를 주 산란 6-8월 (NFRDI, 2010) 이후의 가을철에 설정하는 것이 바람직하며 아울러 생산량 증대를 위한 효율적인 어획개시연령 (t_c) 의 조정으로 자원량과 가입상황을 고려한 어업자원관리가 요구된다.

요 약

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 모래와 진흙이 많은 연안에 주로 분포하지만 드물게 울산의 태화강처럼 하천의 중류나 하류에서도 분포한다. 울산 태화강에서는 예전부터 바지락이 서식해 왔으며 인근 어민들의 전통적인 소득원으로서 주요 수산자원의 대상이 되어 왔다. 본 연구는 2009년 6월부터 2010년 6월까지 바지락의 현장조사를 통하여 자원생태학적 특성, 자원량 및 적정어획량 등의 자원평가를 실시하고 지속가능한 자원관리의 방안 제시 및 어업정책 수립을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다. 태화강 바지락의 수명은 6세로 추정되었고 von Bertalanffy growth function에 의하여 성장계수 K 및 L_{∞} 은 0.341 및 46.64 cm로 구해졌다. Pauly 방법에 의한 순간전사망계수 (Z) 및 어획개시연령 (t_c) 은 1.171/년과 1.37년으로 구해졌고 현재의 순간어획사망계수는 0.626/년으로 계산되었다. 바지락의 자원량은 총 서식면적 1.46 km²과 평균 면적당 생체량 1,005.3 g/m²으로 1,483톤으로 추정되었다.

조사해역 바지락의 순간어획사망계수 (F) 에 대한 가입당생산량 (Y/R) 과 어획개시연령 (t_c) 과의 관계는 현재의 어획개시연령인 1.37세, 현재의 순간어획사망계수 F 에서 가입당생산량이 1.38 g임을 나타내고 있으며 적정어획사망계수 ($F_{0.1}$) 에 의한 연간 생물학적 허용어획량 (ABC) 은 512톤으로 산정되었다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (동해 연안어업 및 환경생태 조사, RP-2011-FR-019) 의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Bald, J., Siquin, A., Borja, A., Caill-Milly, N., Dulercq, B., Dang, C. and de Montaudouin, X. (2009) A system dynamics model for the management of the manila clam, *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) in the bay of Arcachon (France). *Ecological Modelling*, **220(21)**: 828-837.
- Bertalanffy, L. von, 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biology*, **10(2)**: 181-213.
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J. (1957) On the dynamics of exploited fish populations. fishery Investigations series II, Marine Fisheries, Great Britain Ministry Agriculture, *Fishes and Food*, **19**: 553.
- Cho, S.M. and Jeong, W.G., (2007) Ecological study of shortnecked clam *Ruditapes philippinarum* from the Jindu coast of Hansan Island, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **23(1)**: 25-30. [in Korean]
- Cho, S.M., Jeong, W.G. and Lee, S.J. (2008) Ecologically sustainable management of short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, on the coast of Yeongi at Tongyeong, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **24(3)**: 189-197. [in Korean]
- Chung, E.Y., Ryou, D.K. and Lee, J.H. (1994) Gonadal development, age and growth of the shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*, (Pelecypoda: Veneridae), on the coast of Kimje, Korea. *The Korean Journal of Malacology*, **10(1)**: 38-54. [in Korean]
- Coughlan, B.M., Moroney, G.A., Pelt, F.N.A.M.v, O'Brien, N.M., Davenport, J. and O'Halloran, J. (2009) The effects of salinity on the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) using the neutral red retention assay with adapted physiological saline solutions. *Marine Pollution Bulletin*, **58(11)**: 1680-1684.
- Fishery production survey (2000-2010) <http://fs.fips.go.kr/main.jsp> (accessed April, 29, 2011)
- Kim, H.J and Zhang, C.I. (1999) A population ecological study of short-necked clam, *Tapes philippinarum* in the adjacent waters of Jinhae. *Journal of Society Fisheries Research*, **2**: 32-43. [in Korean]
- Konstantin, A., Lutaenco, Je, J.G and Shin, S.H. (2002) Report on bivalve mollusks from beach death assemblages in Gangwon and Gyeongsangbuk provinces, Korea (East Sea). *The Korean Journal of Malacology*, **18(1)**: 27-40.
- Kwon, O.K., Park, G.M. and Lee, J.S. (1993) Coloured shells of Korea. pp. 445. Academy pub. co., Seoul. [in Korean]
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute) (2010) Report on stock assessment and utilization implications of the manila clam, *Ruditapes philippinarum* in the Taehwa river of Ulsan. East Sea Fisheries Research Institute of NFRDI, pp. 172. [in Korean]
- Pauly D. (1984) Length-conorted catch data. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part. II). *ICLARM Fishbyte*, **2(3)**: 9-10.
- Ponurovskii, S. K. (2008) Population structure and growth of the Japanese littleneck clam, *Ruditapes philippinarum* in Amursky Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*, **34(5)**: 329-332.
- Ren, Y., Xu, B., Guo, Y., Yang, M. and Yang, J. (2008) Growth, mortality and reproduction of the transplanted Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Jiaozhou Bay. *Aquaculture Research*, **39**: 1759-1768.
- Shin, Y.K., Kim, Y.K., Chung, E.Y. and Hur, S.B. (2001) Effects of the dissolved oxygen concentration on the Physiology of the manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Korean Fisheries Society*, **34(3)**: 190-193. [in Korean]
- Williams J.G. (1980) The influence of adults on the settlementof spat of the clam, *Tapes japonica*. *Journal of Marine Research*, **38**: 729-741.
- Zhang, C.I. and Megrey, B.A. (2006) A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. *American Fisheries Society*, **135(3)**: 620-633.
- Zhou, X., Zhang, Y., Liu, A., Bao, L., Luo X., Li, G. and Liu, W. (2001) Study on cause of formation of spawning ground for *Ruditapes philippinarum* around Furong Island waters in Laizhou Bay. *Shandong Fisheries*, **18**: 38-40. [in Chinese]