

# 수온과 크기의 영향을 고려한 양식굴, *Crassostrea gigas*의 濾水率 模型

김 용 술

경상대학교 수산대학 양식학과

## Filtering Rate Model of Farming Oyster, *Crassostrea gigas* with Effect of Water Temperature and Size

Yong-Sool KIM

Department of Aquaculture, Gyeongsang National University, Tong-yeong 650-160, Korea

Filtering rates of *Crassostrea gigas* were experimentally investigated with reference to effects of water temperature and size. Absorptiometric determinations of filtering rates with oysters being fed diatom *Chaetoceros calcitrans* were carried out in a closed system. Optical density of 675nm in path length 100mm cell used as the indication of food particles absorption was appeared directly in proportion with the concentration of diatom pigment chlorophyll- $\alpha$ .

In the closed system where  $C_0$  is  $OD_{675}$  at initial time 0,  $C_t$  at time  $t$ , and  $Z$  is the decreasing coefficient of OD as meaning of instantaneous removal speed, then  $C_t = C_0 \cdot e^{-Zt}$ ,  $Z = -\ln(C_t/C_0)/t$ . On the assumption that the filtering rate is constant, then removal rate per unit time ( $d$ ) is  $d = 1 - e^{-Z}$ . If  $t$  is used to time unit of hour (hr), the filtering rate (FR) in l/hr is given by  $FR = V \cdot d = V(1 - e^{-Z})$ , where  $V$  is the water volume (l) of the experimental vessel.

Filtering rate increased as exponential function with increasing temperature while not over critical limit. The critical temperature for filtering rate was assumed to be between 28°C and 29°C. And the weight exponent for filtering rate is 0.223. The model formula derived from the results is

$$FR, \text{ lhr}^{-1} = \text{Exp}(0.208 \cdot T - 4.324) \cdot (DW)^{0.223}, (T < 29^\circ\text{C})$$

where  $T$  is water temperature (°C), and  $DW$  is dry meat weight (g) of oyster.

**Key words :** oyster, filtering rate, temperature effect, size effect

### 서 론

플랑크톤을 걸러먹는 조개류의 물질, 에너지 수지는 濾水과정에서 포집되는 부유먹이량을 근원으로 한다고 본다. 굴은 아가미 세공을 통하여 여수하면서 먹이와 호흡에 필요한 산소를 취하지만, 장시간 폐각상태를 유지하는 점으로 보아 여수율은 먹이포집과 더 큰 관련을 가질 것으로 생각된다.

우리나라에서 굴 양식이 보편화 된지는 오래되었고, 굴에 관한 생리생태적 연구가 다양하게 이루어졌으나,

여수율에 관한 연구는 Table 1에서 보는 바와 같이 Galtsoff et al. (1928, 1947) 및 Loosanoff et al. (1946)이 *Ostrea virginica*에 대해 단순계수를 제안하였고, Walne (1974)이 *Ostrea edulis*와 *O. gigas*에 대해 1차식모형을 제안하였으며, Rodhouse (1978)가 *O. edulis*에 대해, Lee et al. (1981)이 *Crassostrea gigas*에 대해 각각 지수식모형을 제안하였으며, 楠木·赤繁 (1986)은 *C. gigas*에 대해 1차식모형을 제안하는 등, 지금까지 여러 연구가 있으나 여수율 산정에 사용할 모형식이 아직 정립되지 못하였다. 본 연구는 굴의 여수율 모

이 연구는 한국과학재단지정 해양산업개발연구소의 연구비로 수행되었음.

**Table 1. Filtering rate of oysters reported in the previous studies**

Species	Filtering rate	Author
<i>Ostrea virginica</i>	0.195 l/hr/animal	Galtsoff et al. (1928)
<i>Ostrea virginica</i>	0.65~1.00 l/hr/animal	Loosanoff et al. (1946)
<i>Ostrea virginica</i>	0.3~0.6 l/hr/animal	Galtsoff et al. (1947)
<i>Ostrea edulis</i>	-4.802+1.044 · L ml/min/animal	Walne (1974)
<i>Ostrea gigas</i>	4.1057+0.437 · L ml/min/animal	Walne (1974)
<i>Ostrea edulis</i>	FR=AF · Wb log(Af) = -0.685 + 0.046 · T log(FR) = 0.213 + 0.4771 · log(DW)	Rodhouse (1978)
<i>Crassostrea gigas</i>	log(FR) = -0.4775 - 0.7791 · log(WW)	Lee et al. (1981)
<i>Crassostrea gigas</i>	FR, l/hr/WW=0.066 · T-0.308	楠木 · 赤繁 (1986)

형을 정하고자 실험을 통하여 얻은 결과를 고찰하고 정리한 바를 보고한다.

하고, 시간 t의 단위를 hour로 하면, 단위시간당 여수율 (filtering rate, l/hr) FR은

### 재료 및 방법

#### 1. 여수율 측정논리

공시패가 패각을 열고 일정률로 환경수를 패각의 입수공으로 받아들여 출수공으로 내 보내는 동안 패각 내에서 수중의 부유먹이를 여과한다면, 공시패를 수용하고 있는 폐쇄순환계의 수중에 현탁시킨 지표물질은 일정율로 제거되어 그 농도는 시간의 경과와 더불어 지수함수적으로 감소하게 된다. 현탁된 지표물질의 초기농도를  $C_0$ 라고 하면, 시간 t후의 농도  $C_t$ 는 농도 감소계수를 Z로 할때 다음 식이 가능하다.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Z \cdot t} \quad (1)$$

여기서 감소계수 Z는 다음과 같이 정리된다.

$$Z = -\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) / t \quad (2)$$

따라서 수중에 현탁시킨 지표물질의 단위시간당 농도 감소율 d는

$$d = 1 - e^{-Z} \quad (3)$$

이 되며, 폐쇄순환계의 수량 (water volume)을 V라

$$\begin{aligned} FR, l/hr &= V \cdot d \\ &= V \cdot (1 - e^{-Z}) \end{aligned} \quad (4)$$

이 된다. 본 연구에서는 t의 경과에 따른  $C_t$ 값의 변화 패턴에서 Z를 구하여 위 식으로 여수율을 계산하였다.

#### 2. 여수율 측정장치

본 연구를 위하여 Fig. 1의 모식도와 같이 폐쇄순환식 측정장치를 조립하였다. 피검체를 수용하는 반응조는 1.5l 짜리 아크릴 원통을 사용하였다. 여수율의 추적에는 굴의 먹이로 사용하는 순수배양한 규조류의 한 종인 *Chaetoceros calcitrans*를 지표물질로 사용하였는데, 이것은 675nm의 optical density로 chlorophyll-a의 농도변화를 감지할 수 있다. 지표물질의 농도 감소속은 path length 100mm 원통형 흡수셀에서 파장 675nm의 흡광도 변화속도로서 추정하였다.

흡광도 측정장치는 Shimazu UV-200S double beam spectrophotometer를 사용하였고, 프린터에 시간제어용 컴퓨터를 연결하여 지정하는 2분, 또는 5분, 10분 간격으로 흡광도를 기록하게 하였다.

#### 3. 측정방법

물은 유리섬유여과지 Whatman GF/C로 여과한 해수를 사용하였으며, 염분범위는 30.0~33.5‰였다.

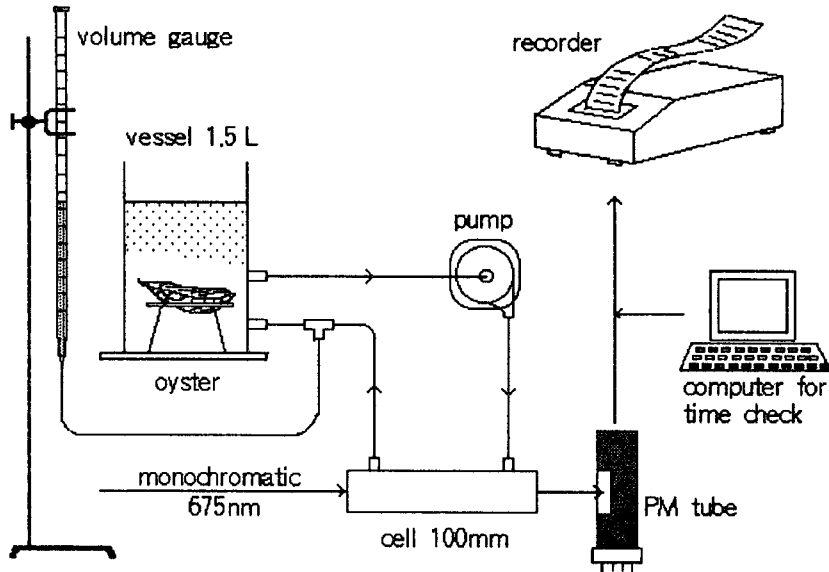


Fig. 1. Diagram of a measurement system of filtering rate of *Crassostrea gigas*.  
 filtering indicator: Diatom, *Chaetoceros calcitrans*  
 absorption cell: path length 100mm silica cell dual  
 wave length: 675nm

이 염분범위에서 염분에 의한 여수율의 유의한 차이는 없었다.

수온구는 10, 18, 23, 26 및 29°C의 5개구로 설정하였고, 실험기간 1993년 10월부터 94년 12월까지 그 동안에 통영 근해 굴양식장의 수온이 실험설정 각 수온대에 이르렀을 때에 양식굴을 채취하여 통영수대 수족배양실로 옮겨서 자연해수를 주입하는 수조에 수용해 두고, 여수를 측정에 사용하였다.

지표물질로 사용한 *C. calcitrans*의 초기농도는 흡광도( $OD_{675}$ ) 0.20~0.21로 조절하여 측정하였고,  $OD_{675} = 0.20$  일때의 평균세포수는  $1.7 \times 10^6$  cells/ml 였다.

여수율을 측정할 공시패는 즉시 연체부를 박리하여 85°C에서 72시간 건조시킨 후 건중을 측정하고 그 후 매 3시간마다 재측정하여 그 전후간에 건중의 차이가  $\pm 0.001g$  미만일때의 값을 항량된 건중량으로 하였다.

측정된 자료는 공분산검정 결과에 따라 정리하였으며, 공분산검정에는 ANOCOV 프로그램을 사용하였다.

## 결 과

### 1. 지표물질의 chlorophyll-a와 $OD_{675}$ 의 관계

여수율 지표물질로 사용한 *Chaetoceros calcitrans*의 chlorophyll-a와 path length 100mm cell에서 675nm의 흡광도 간에 직선성이 유효한지 알아보기 위하여, 배양중인 *C. calcitrans*를 몇단계로 희석하여 675nm에서 흡광도를 측정하고, Parsons (1984)의 방법에 따라 chlorophyll-a양을 측정하였다. 이 양자간의 관계는 Fig.2에서 보는 바와 같으며, 회귀계수  $b$ 는 46.2044, 상관계수  $r$ 는 0.9978, 결정계수  $r^2$ 는 0.9956으로서 고도의 직선성이 확인되었다.

### 2. 측정논리의 적합성

본 연구에서 채택한 측정논리는 측정시간 동안 지표물질로 사용한 *C. calcitrans*의 증식에 의한 농도변화가 공시패의 여수에 의한 농도변화에 대하여 유의한 차이를 만들지 않으며, 측정시간 동안 공시패의 여수율이 일정하여 chlorophyll에 의한 흡광도의 순간 감소속도가 일정하다는 두가지 가정을 전제하고 있다. 이 가정을 확인하기 위하여 먼저 측정장치에 11의 여과해수를 채우고, 지표물질을 주입하여 흡광도 0.183에서 시작하여 10분 간격으로 30분간 흡광도를 측정

하였다. 또한 공시패 한개체를 반응조에 넣고 2분 간격으로 24분간 흡광도를 측정하였다. 그 결과는 각각 Fig. 3의 A와 B에서 보는 바와 같으며, 측정시간 30분 동안에 지표물질 자체의 농도변화는 공시패의 여수에 의한 농도변화에 대하여 영향이 없다고 판단되었다. 두번째로 위의 식(1)은 대수식으로 변환하면  $[\ln(C_t) = \ln(C_0) - Z \cdot t]$ 로 되어 시간 t에 대해 변화속도 Z가 일정한 직선식이 된다. Fig. 3의 B에 plot된 흡광도 값을 대수치로 변환하여 경과시간에 대한 변화를 Fig. 4에 표현하였다. 직선의 회귀계수 -Z는 가설 Z=0로 하는 t-검정에서 매우 유의하였으며, 직선회귀 적합결여의 유의성은 인정되지 않았다. 시간 t에 대한  $\ln(C_t)$ 의 상관계수  $r=0.9993$ 이었다. 본 연구에서는 시간 t와  $\ln(C_t)$  사이의 상관계수가 0.95 이상인 측정자료만 채택하여 여수율 산정에 사용하였다.

3. 측정결과로부터 기대되는 논리

일반적으로 lamellibranch에 속하는 이매패는 입수공으로 들어온 물을 아가미의 미세공으로 여과하여 출수공으로 방출한다. 패각내에서 외위수를 순환시키는 동력은 아가미의 미세공 내벽에 밀생하고 있는 섬모들의 운동에서 나온다. 그러므로 단위시간당 여수량의 크기는 아가미 미세공의 수에 비례하고, 미세공의 수는 아가미의 표면적에 비례한다고 볼 수 있으며, 따라서 여수율은 면적 비례적인 함수라고 보아 그다지 무리가 없을 것이다.

$$FR \propto A_{rea} \tag{5}$$

표면적은 대체로 체중의 2/3승에 비례한다고 보므로 (Bertalanffy, 1938), 여수율은 연체부 건조중량 DW의 b'승에 비례한다고 할 때 b' 값은  $0 < b' < 1$  범위에 있을 것이다. 비례상수를 c 라고 하면,

$$\begin{aligned} A &\propto W^{2/3} \\ FR &\propto W^{2/3} \\ FR &= c \cdot (DW)^{b'} \\ \frac{FR}{DW} &= c \cdot (DW)^{b'-1} \end{aligned} \tag{6}$$

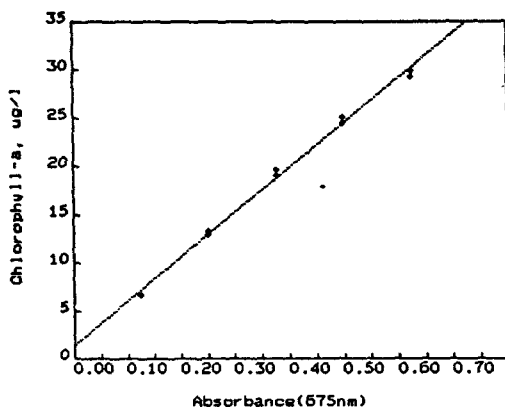


Fig. 2. Relationship between OD<sub>675</sub> using 100mm absorption cell and then amount of pigment chlorophyll-a in a liter of the cultured diatom, *Crassostrea gigas*.

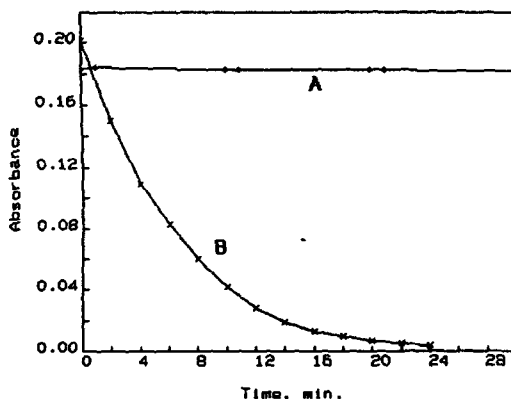


Fig. 3. The changes of OD<sub>675</sub> by chlorophyll-a in the measurement system. A, the case of non-filtering by oyster, B, the case of filtering

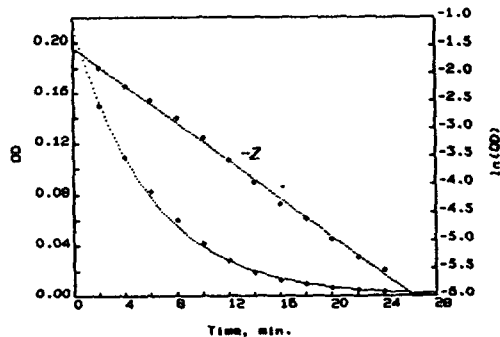


Fig. 4. OD<sub>675</sub> curve and decreasing coefficient Z obtained from the data of Fig. 3.

여기서  $b'-1$ 은 (-)값을 갖게 되므로,  $b'-1=-b$ 라고 두면

$$\frac{FR}{DW} = c \cdot (DW)^{-b}$$

이 식을 대수로 변환하고,  $\ln(c)=a$ 로 두면

$$\ln\left(\frac{FR}{DW}\right) = a - b \cdot \ln(DW) \quad (7)$$

으로 된다.

#### 4. 수온별 여수율

10°C, 18°C, 23°C, 26°C 및 29°C의 5개 수온구 별로 여수율을 측정된 자료를 식(7)에 따라 가로축에 연체부 건중량의 대수치  $\ln(DW)$ 를 두고, 세로축에 단위채중당 여수율의 대수치  $\ln(FR/DW)$ 를 두어 나타내면 Fig. 5와 같다.

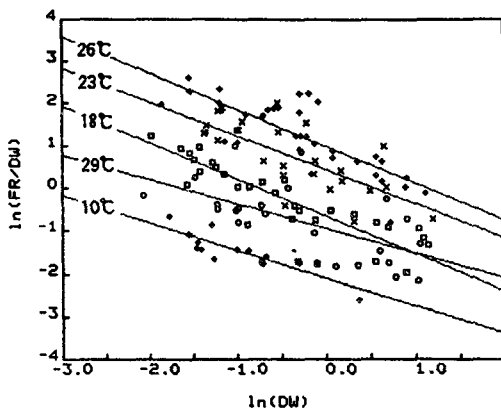


Fig. 5. Relationships between logarithm of dry meat weight  $\ln(DW)$  and logarithm of weight-specific filtering rate  $\ln(FR/DW)$  of *Crassostrea gigas*. The lines represent least-squares fit to the data of filtering rate in each cluster as five temperature 10°C, 18°C, 23°C, 26°C and 29°C.

측정자료에 대한 공분산분석 결과는 다음과 같다.

##### (1) 회귀계수와 회귀직선식

다섯 수온구의  $\ln(DW)$ 와  $\ln(FR/DW)$  사이의 추정회귀직선이 평행하여 공통의 회귀계수를 가진다고

Table 2. The parallel linear regression equations assuming a common single regression coefficient of overall the five groups by temperature treatment. RSS is the residual sum of square  
Model  $M_0: y=a(i)+b \cdot x$

Treatment	a (i)	b
T <sub>10</sub>	-2.227E+00	-7.771E-01
T <sub>18</sub>	-6.105E-01	-7.771E-01
T <sub>23</sub>	4.454E-01	-7.771E-01
T <sub>26</sub>	1.109E+00	-7.771E-01
T <sub>29</sub>	-1.002E+00	-7.771E-01
RSS( $M_0$ )=3.752E+01		

Table 3. The one's own linear regression equations of each temperature treatment group  
Model  $M_1: y=a(i)+b(i) \cdot x$

Treatment	a(i)	b(i)
T <sub>10</sub>	-2.099E+00	-6.441E-01
T <sub>18</sub>	-6.558E-01	-8.668E-01
T <sub>23</sub>	4.391E-01	-7.983E-01
T <sub>26</sub>	9.917E-01	-8.668E-01
T <sub>29</sub>	-9.420E-01	-5.726E-01
Residual sum of square, RSS( $M_1$ )=3.629E+01		

가정할 때의 평행회귀직선식은 Table 2와 같고, 각 수온구의 독자적인 회귀직선식은 Table 3과 같다.

##### (2) 각 수온구의 회귀직선의 평행성 검증

위의 Table 2와 Table 3에서 전 수온구의 회귀직선이 평행하다고 가정할 경우에 잔차평방합  $RSS(M_0)=37.52$  이고, 각 수온구 마다 독립적인 회귀계수를 갖는다고 생각할 때 잔차평방합  $RSS(M_1)=36.29$  로써 약간 감소하였는데, 이러한 두 가정에 의한 잔차평방합 간의 차이가 작으면 평행성의 확률이 크고, 그 차이가 크면 비평행성의 확률이 클 것이므로,  $RSS(M_0)-RSS(M_1)$ 의 유의성은 비평행성의 지표가 된다. 전 수온구의 회귀직선들은 공통의 회귀계수를 갖는다는 가설  $b(1)=\dots=b(5)$ 에 대해

$$F_0 = \frac{\{RSS(M_0) - RSS(M_1)\} / (m-1)}{RSS(M_1) / (N-2m)}$$

는 자유도 (m-1, N-2m)의 F 분포에 따르게 된다.

검정결과는 Table 4와 같이 위의 두 가정에 의한 잔차평방합의 차이에 유의성이 인정되지 않으며, 회귀직선들은 공통의 회귀계수를 갖는다는 가설은 기각되지 않는다. 따라서 수온구에 따른 회귀직선들의 평행성을 인정하여 전 수온구에 대해 단일 공통의 회귀계수를 갖는다고 전제하고, 공통회귀계수  $b = -0.7771$ 을 채택한다. 이것은 Lee et al.(1981)이 굴 여수율을 측정할 결과에서 얻은 회귀계수( $b = -0.7791$ )와 매우 근접한 값이다.

**Table 4. Testing of the parallel property of regression coefficient from the residual sum of squares,  $RSS(M_0)$  and  $RSS(M_1)$**   
 **$H_0: b(1)=b(2)=b(3)=b(4)=b(5)$**

Factor	SS	d.f.	MS	$F_0$
Non-parallel	1.231E-00	4	3.077E-01	1.000E+00
Error	3.629E+01	118	3.076E-01	
Sum	3.752E+01	122		

(3) 회귀직선의 직선성 검정

공통회귀계수  $\beta$ 가 0이 아님을 검정하면 회귀의 직선성을 확인할 수 있다. 공통회귀계수가 0이라고 가설을 설정하여 총 data에 대한 잔차평방합  $RSS(M_0)$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$H_0: \beta = 0$$

$$RSS(M_0) = S_T - S_R$$

$$S_T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

$$S_R = b \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(y_{ij} - \bar{y}_i)$$

여기서  $S_T$ 는 총평방합이고,  $RSS(M_0)$ 는 회귀로부터의 잔차평방합이므로,  $S_R$ 은  $b$ 의 모수  $\beta=0$  여부를 판단할 수 있는 지표가 될 수 있다.  $S_R$  크기의 유의성을 검정하기 위한

$$F_0 = \frac{S_R}{RSS(M_0)/(N-m-1)}$$

는 자유도(1, N-m-1)의 F 분포에 따른다. 검정결과는 Table 5와 같이 매우 유의하여 가설은 기각되고, 회귀직선의 직선성이 인정되며, 각 수온구의 종속변량은 공변량에 확실히 의존적이라고 할 수 있다.

(4) 각 수온구 간의 수준차의 유의성 검정  
 총 data에 대한 단 한개의 회귀직선식을 구하면

$$\text{Model } M_2: y = a + b \cdot x$$

$$a = -0.1192$$

$$b = -0.5355$$

$$\text{잔차평방합 } RSS(M_2) = 171.9$$

수온구별 회귀직선식  $y = a(i) + b \cdot x$ 에서  $a(i)$ 의 수준 간에 차이가 전혀 없다면, 회귀계수  $b$ 는 공통이므로 5개의 회귀직선은 완전히 일치하여 위와 같은 단 한개의 회귀직선과 다르지 않을 것이다.

결국 잔차평방합의 차  $RRS(M_2) - RSS(M_0)$ 는  $a(i)$  수준 간 차의 유의성을 판단하는 지표가 될 수 있다.

$$\text{가설 } H_0: a(1) = a(2) = a(3) = a(4) = a(5)$$

$$F_0 = \frac{[RSS(M_2) - RSS(M_0)]/(m-1)}{RSS(M_0)/(N-m-1)}$$

는 자유도(m-1, N-m-1)의 F 분포에 따른다. 온도의 수준간 차이는 Table 6에서 보는 바와 같이 매우 유의하였으므로 가설은 기각되고, 수준간의 차이를 인정하여, 공통회귀계수를 가지며 각 수온구 별 수준을 달리하는 Table 2의 회귀직선식들을 수용하기로 한다.

(5) 모평균 및 신뢰구간 추정

공변량  $\ln(DW)$ 의 총 평균치  $\bar{x} = -0.4265$ 를 사용

**Table 5. Testing for linearity for the regression lines**  
 **$H_0: \text{population common regression coefficient } \beta = 0$**

Factor	SS	d.f.	MS	$F_0$
By the regression $S_R$	4.866E+01	1	4.866E+01	1.582E+02**
Error $RSS(M_0)$	3.752E+01	122	3.076E-01	
Sum $S_T$	3.752E+01	123		

**Table 6. Testing of the difference among levels of temperature**

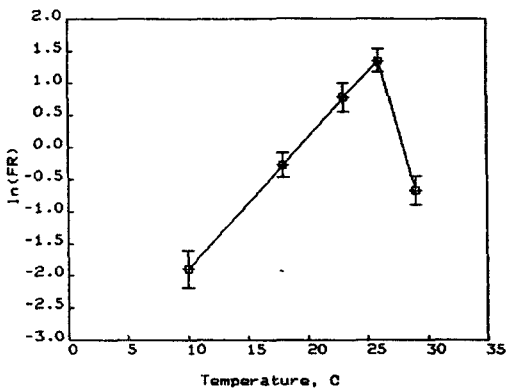
$H_0: a(1) = \dots = a(5)$

Factor	SS	d.f.	MS	F <sub>0</sub>
Level	1.344E+02	4	3.360E+01	1.092E+02**
Error	3.752E+01	122	3.076E-01	
Sum	1.719E+02	126		

하여 각 수온구 별로 ln(FR/DW)의 모평균 기대치의 점추정 값과 95% 신뢰구간을 구하면 Table 7 및 Fig. 6과 같다.

**Table 7. Estimate the mean of population of ln(FR/DW) and confidence intervals as 95% in each temperature group**  
total mean:  $\bar{x} = -0.4265$

Group	Mean of pop.	Confidence interval(95%)
T <sub>10</sub>	-1.895	-2.196 ~ -1.595
T <sub>18</sub>	-0.279	-0.470 ~ -0.088
T <sub>23</sub>	0.777	0.547 ~ 1.006
T <sub>26</sub>	1.351	1.165 ~ 1.537
T <sub>29</sub>	-0.671	-0.900 ~ -0.441



**Fig. 6. Relationship between water temperature (°C) and logarithmic mean filtering rate of *Crassostrea gigas* estimated with confidence interval as 95% level.**

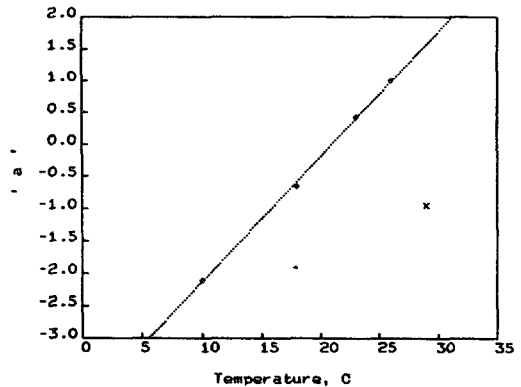
5. 여수율 산출식

Fig. 6에서 5개의 수온구 중 29°C를 제외한 26°C 이하의 4개 수온구는 수온과 더불어 단위체중당 여수율 대수치의 모평균 기대 점추정치가 직선적으로 증가하였다. 26°C 이하의 수온구에 있어서 전항에서 수용하기로 결정한 Table 2의 수온구별 회귀직선식  $y = a(i)$

-b · x의 a(i)와 해당 수온 T 사이의 관계는 Fig. 7에 표현한 바와 같이 직선성이 좋았으며(결정계수  $r^2 = 0.9997$ ), 회귀직선식은

$$a = -4.324 + 0.208 \cdot T \quad (8)$$

였다.



**Fig. 7. Relationship between water temperature (°C) and y intercept of the each regression line. A cross point seemed to over critical temperature.**

식(8)과 Table 2의 공통회귀계수를 사용하여 굴 *C. gigas*의 개체수준에서 여수율 산출식을 다음과 같이 제안한다.

- 단위체중당 여수율

$$\frac{FR}{DW}, \text{ l/hr/g, dry meat wt} = \text{Exp}(0.208 \cdot T - 4.324) \cdot (DW)^{-0.7771} \quad (9) \quad (T < 29^\circ\text{C})$$

- 개체당 여수율 :

$$FR, \text{ l/hr/animal} = \text{Exp}(0.208 \cdot T - 4.324) \cdot (DW)^{0.223} \quad (10)$$

**Table 8. Relationship between water temperature, T below 29°C and y intercept a (i) of the each regression line**  
 $a = 0.208 \cdot T - 4.324 \quad (r^2 = 0.9997)$

Temperature	a (i)
10°C	-2.099E+00
18°C	-6.558E-01
23°C	4.391E-01
26°C	9.917E-01

고 찰

사용하고 있다.

1. 여수율 측정방법에 관하여

Gauld (1951)가 Copepoda의 섭식률을 측정하면서 다음 식(11)을 여수율 F 산출에 사용하였다. 여기서 V는 반응조의 水量(1)이고, t는 경과시간, C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub>은 각각 초기농도 및 시간 t 경과후의 농도이다.

$$F = V \cdot \frac{\log_{10}C_0 - \log_{10}C_1}{t \cdot \log_{10}e} \quad (11)$$

그 뒤에 Lasker (1966)가 *Euphausia pacifica*의 여수율을 조사할 때 Gauld (1951)의 이 식(11)을 그대로 사용하였고, 최근에 Numaguchi (1994)가 진주조개의 여수율을 계산하면서 여전히 Gauld (1951)의 식(11)을 사용하고 있다. 또 Rodhouse (1978)는 *Ostrea edulis*의 여수율을 조사하면서 다음 식(12)를 사용하여 여수율을 계산하였다.

$$F = r \cdot V$$

$$r = -\ln\left(\frac{C_1}{C_0}\right)/t \quad (12)$$

폐쇄계에서 실험동물이 수중의 현탁물을 일정한 속도로 여과할 경우, 시간 t의 경과에 따른 현탁물 농도의 변화를 나타내는 식(1)은 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Zt} \quad \dots\dots\dots \text{식(1)}$$

$$\log_{10}C_t = \log_{10}C_0 - Z \cdot t \cdot \log_{10}e$$

$$Z = \frac{\log_{10}C_0 - \log_{10}C_t}{t \cdot \log_{10}e}$$

또는

$$\ln C_t = \ln C_0 - Z \cdot t$$

$$Z = -\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right)/t$$

결국 Gauld (1951)의 식(11)이나 Rodhouse (1978)의 식(12)는 여수율 F를 산출하는데 다음과 같이 Z를

$$F = V \cdot Z \quad (13)$$

그러나 식(1)에서 Z는 현탁물 농도의 순간감소속도를 나타내는 감소계수이지, 여수에 의한 현탁물의 제거율을 의미하는 것은 아니다. 그러므로 본 연구의 식(1)에서 e<sup>-Zt</sup>은

$$e^{-Zt} = (e^{-Z})^t$$

$$C_t = C_0 \cdot (e^{-Z})^t$$

이므로, e<sup>-Z</sup>은 단위시간 t=1 이 경과한 후의 농도 잔존율에 해당한다. 그리고 여수량은 농도 감소율 d의 비례함수이고, 감소율 d와 잔존율 e<sup>-Z</sup> 사이에는

$$d = 1 - e^{-Z}$$

의 관계가 있으므로, 단위시간당 여수량 FR은

$$FR = V \cdot d$$

$$= V \cdot (1 - e^{-Z})$$

으로 하는 것이 바르다. 그러므로 Gauld (1951)의 식(11)과 Rodhouse (1978)의 식(12)와 같이 여수율 산출에 Z를 제거율로서 사용하는 것은 논리적으로 합당하지 않다.

Table 9는 Z를 감소율로 사용할 경우와 d=1-e<sup>-Z</sup>

**Table 9. Comparison of decreasing coefficient, Z with decreasing rate, d=1-e<sup>-Z</sup>**

Z	d=1-e <sup>-Z</sup>
0.001	9.995E-04
0.005	4.988E-03
0.01	9.950E-03
0.05	0.0488
0.1	0.0952
0.5	0.3935
1	0.6321
2	0.8647
3	0.9502
5	0.9932
10	0.99995



를 감소율로 사용할 경우를 대조한 것이다. Z가 0.1 이하인 경우에는 Z와 d가 서로 비슷한 값을 보이지만, Z가 0.5 보다 크면, 그 차이는 현저하게 벌어질 뿐만 아니라, 단위시간 동안 거의 水量 V 만큼 초과했을 경우에는 d→1 이지만, Z는 10이 되는 결과가 벌어진다. 반응조의 水量 V에 대하여 실험동물의 여수율 FR의 비율이 0.1 이하가 되는 (FR/V)<0.1 인 경우에는 d 대신 Z가 사용되어도 유사한 결과는 얻을 수 있지만 바른 적용이 아니다.

### 2. Weight exponent 에 관하여

식(6)에 쓴 바와 같이 lamellibranch의 여수율은 체중의 2/3승에 비례하리라고 기대하였다.

$$FR \propto W^{2/3}$$

그러나 본 연구의 결과는 1/3승에 오히려 가까운 冪數를 보여 주었다.

$$\begin{aligned} \frac{FR}{W} &\propto W^{-0.77} \\ FR &\propto W^{0.23} \\ &\propto W^{-1/3} \\ &\propto L \end{aligned}$$

굴의 여수율은 체중의 2/3승, 2차원 面積系 보다는 체중의 1/3승으로 표현되는 어떤 1차원 길이계에 비례하고 있을 가능성을 강하게 시사한다. 그 「1차원系」가 무엇인지를 자명하게 설명하기는 어려우나, 굴의 아가미 표면에 있는 여수공 입구에서 걸러진 먹이가 아가미 표면의 섬모에 의하여 food groove로 옮겨지지 않으면 계속적으로 여수할 수 없기 때문에 「길이系」의 의미를 내포하고 있는 듯이 보인다.

### 3. 임계온도에 관하여

Fig. 6 및 Table 6을 보면 공변량의 총 평균치를 사용하여 구한 ln(FR/DW)의 점추정치는 수온의 상승과 더불어 26℃까지는 직선적으로 증가하지만, 29℃에서는 23℃ 보다 더 낮은 값을 나타내고 있다. Lee et al. (1981)도 *C. gigas*의 여수율 조사 보고에서 15℃ 보다 22℃에서 더 증가하나, 29℃에서는 15℃ 일때와 거의

같은 수준으로 감소하는 자료를 제시하였다. 같은 종은 아니지만 생태적으로 비슷하다고 여겨지는 진주조개 *Pinctada fucata martensii*의 여수율도 Numaguchi (1994)에 의하면, 19℃에서 100 l/day, 26℃에서 280 l/day로 급상승하나, 29℃에서는 270 l/day로 감소를 나타내며, 31℃에서는 거의 여과를 멈춘 수준 20 l/day로 떨어진다고 했다. 이러한 점들로 미루어 본 연구에서 나타난 결과를 살펴볼 때 양식굴 *C. gigas*의 여수율은 28~29℃ 사이에서 상한층 임계온도가 되는 것으로 여겨진다. 거의 매년 여름 고수온기 직후인 9월 초순에 한국 남해안의 굴 양식장에서 굴의 대량폐사가 일어나는 것이 여수율의 임계온도가 30℃를 넘지 않는 것과 무관하지 않을 듯 하다.

## 요 약

본 연구는 수온과 크기의 영향을 포함하는 양식굴 *C. gigas*의 단위시간당 여과수량 산출식을 제시하였다. 여수율의 측정은 폐쇄순환계에서 지표물질의 농도 저감속도를 측정하는 간접법으로 수행되었으며, 지표물질은 배양한 규조류 *Chaetoceros calcitrans*를 사용하였고, 이 규조의 chlorophyll- $\alpha$ 양에 직선적으로 비례하는 675nm의 흡광도 값으로 부터 농도감소계수 Z를 구하고, Z를 감소율로 변환하여 水量 V에서 여수율 FR을 산출하였다.

$$Z = -\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right)/t$$

$$FR = V \cdot (1 - e^{-Z})$$

양식굴의 여수율은 다음과 같이 수온 및 개체건조육중량을 변수로 하는 지수함수식으로 나타낼 수 있다. 여수율은 수온과 더불어 지수함수적으로 증가하며, 상한층 임계온도는 28~29℃ 사이에 있는 것으로 여겨진다.

$$\frac{FR}{DW}, \text{ l/hr/g, dry meat wt} = \text{Exp}(0.208 \cdot T - 4.324) \cdot (DW)^{-0.7771}$$

$$FR, \text{ l/hr/animal} = \text{Exp}(0.208 \cdot T - 4.324) \cdot (DW)^{0.223}$$

참 고 문 헌

- Barnes, R. D. 1968. Invertebrate Zoology. 2nd ed. Saunders. London.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum. Biol., 10(2), 181~213.
- Galtsoff, P. S. 1928. Experimental study of the function of the oyster gills and its bearing on the problems of oyster culture and sanitary control of the oyster industry. Bull. U.S. Bur. Fish., 44, 1~39.
- Galtsoff, P. S., W. A. Chipman, J. B. Engle and H. N. Calderwood. 1947. Ecological and physiological studies of the effect of sulfate pulp mill wastes on oysters in the York River, Virginia. Fish. Bull., U.S., 43(51), 59~186.
- Gauld, D. T. 1951. The grazing rate of planktonic copepods. J. Mar. Biol. Ass., U.K., 29, 695~706.
- Lasker, R. 1966. Feeding, growth, respiration, and carbon utilization of a Euphausiid crustacean. J. Fish. Res. Bd. Canada, 23(9), 1291~1317.
- Lee, B. K. and P. Chin. 1981. Effects of body size, temperature-salinity and starvation on the rates of filtration in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*. Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan. 13, 37~41 (in Korean).
- Loosanoff, V. L. and C. A. Nomejko. 1946. Feeding of oysters in relation to tidal stages and to periods of light and darkness. Biol. Bull., Woods Hole, 90, 244~264.
- Numaguchi, K. 1994. Effect of water temperature on the filtration rate of Japanese pearl oyster, *Pinctada fucata martensii*. Suisanzoshoku, 42(1), 1~6 (in Japanese).
- Parsons, T. R., M. Yoshiaki and C. M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. Oxford, 173 pp.
- Rodhouse, P. G. 1978. Energy transformations by the oyster *Ostrea edulis* L. in a temperate estuary. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 34, 1~22.
- Walne, P. R. 1974. Culture of bivalve molluscs 50 year's experience at Conwy. Fishing News (Books) Ltd. London, 163pp.
- 楠木 豊・赤繁 悟. 1986. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究. 廣島縣水産試験場, 指定調査研究總合助成事業報告書, 86~104.

---

1995년 2월 21일 접수

1995년 8월 26일 수리