

노래미, *Hexagrammos agrammus* 의 攝食量과 成長量으로부터 에너지 代謝의 推定

金鍾觀 · 張昌翼*

韓國海洋研究所 海洋生物研究部, *釜慶大學校 海洋生産管理學科

Estimation of Energy Budget from Food Consumption and Growth of *Hexagrammos agrammus*

Chong-Kwan KIM and Chang-Ik ZHANG*

Biological Oceanography Laboratory, KORDI, Ansan, P.O. Box, 29, Seoul 425-600, Korea

*Department of Marine Production Management, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

This study is to examine the energy budget of *Hexagrammos agrammus* in the natural habitat, based on the von Bertalanffy's growth model using food consumption and growth data of the fish. The fish were collected at the coasts of Tongbaek Island in Pusan and Shinsu Island in Samchonpo, Korea. The standard energy budget model was adopted for this study and the model has the components of food consumption (C), production (G), assimilation (A), absorption (A_b), catabolism (R), excreta (U) and feces (F). These components were expressed as mass unit, not as calorie unit as usual. Both the mass and the proportion of each component varied with age of the fish. The mass of annual excreta declined as the fish became older, while those of the other components increased with the age. The relationship between mean weight (W) and annual absorption (A_b) was a non-linear one with the equation of $A_b=4.592W^{0.666}$, while that between mean weight (W) and annual catabolism (R) was linear as $R=0.007+0.567W$. On the other hand, the annual food consumption (C) showed linear relations both with annual assimilation (A) and annual catabolism (R) as $A=-7.026+0.061C$ and $R=-20.749+0.048C$, respectively.

Key words : Energy budget, von Bertalanffy's growth model, *Hexagrammos agrammus*

序 論

海洋生物系の 기능은 物質循環과 營養段階間的 물질 흐름에 의해 체계화되어 있으며, 먹이사슬 또는 먹이그물과 같은 營養構造는 個體群間的 물질 흐름 량에 밀접하게 관련되어 있다 (Steele, 1974; Zhang, 1991). 이러한 물질 흐름의 파악은 個體群間 物質 收支를 분석하는 것이 근본적 해결에 도움이 되지만, 이를 위해서는 個體群內的 個體單位에서 物質 收支를 파악하는 것이 우선 필요하다.

個體單位的 物質 收支 파악에 필요한 同化量, 異化量 등은 일반적으로 사육실험을 통해 많이 조사되고 있다 (Clutter and Theilacker, 1971; Willows, 1987; Park, 1989). 그러나, 사육실험하에서는 사육조건에 따라 物質 收支의 구성요소가 달리 측정되며, 이 측정값이 자연조건하에서의 값으로 이용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다. 만약 物質 收支의 구성요소를 자연에서 직접 채집된 표본으로부터 얻은 측정치를 이용한다면 보다 더 현실성이 있을 것으로 생각된다.

노래미, *Hexagrammos agrammus*는 沿岸定着性 어류로서 연안 岩盤海域에 많이 분포하므로 (Kikuchi, 1966; Chyung, 1986), 이 種의 物質 收支를 조사하는 것은 노래미의 生物生産과 攝食生態의 특성뿐만 아니라, 우리나라 연안 岩盤海域에서 魚類群集內的 營養構造를 파악하는데도 많은 정보를 줄 수 있을 것으로 예상된다.

본 연구의 목적은 자연조건하에서 채집된 노래미의 표본을 이용하여 魚體의 同化量과 異化量에 근거하여 개발된 von Bertalanffy (1938)의 성장모델에 기초하여 物質 收支의 구성요소별 중량과 구성비를 추정하는데 있다.

본 연구에서 物質의 대상은 노래미의 먹이를 기준하였으며, 이 먹이를 重量單位로 나타내어 에너지 代謝를 분석하였다.

材料 및 方法

노래미의 에너지 代謝를 파악하기 위하여 본 연구에 사용된 표본은 1981년 7월부터 1982년 6월사이에 釜山海雲臺 동백섬 연안에서 채집된 것과 1984년 9월부터

1985년 8월 사이에 慶南 三千浦 新樹島 북동연안에서 채집된 것이다.

同化量과 異化量은 von Bertalanffy (1938)의 魚體 成長式을 이용하여 重量單位로서 추정하였다. 魚體 成長式은 Kang and Kim (1983)의 자료를 이용하였다.

에너지 代謝의 구성요소는 攝食量 (C), 吸收量 (A_b), 同化量 (A), 成長量 (G), 異化量 (R), 排泄量 (U), 不消化排出量 (F) 등으로 구분하였으며, 이들 간의 등식관계는 표준화된 에너지 收支 方程式 (Klekowski and Duncan, 1975; Brett and Groves, 1979)에 의거하였다. 즉,

$$C = G + R + U + F \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A_b = G + R + U \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$A = G + R \quad \dots\dots\dots (3)$$

로서 나타내었고, 年間成長量 (annual production) G는 Kang and Kim (1983)의 자료에서 W_t-W_{t-1}로서 구하였다. 그리고, 식 (1), (2), (3)에서

$$U = A_b - A \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$F = C - A_b \quad \dots\dots\dots (5)$$

로서 구하였다.

結 果

1. von Bertalanffy의 成長式으로부터 吸收量과 異化量 추정의 이론적 접근

von Bertalanffy의 成長式은 어체의 성장을 同化作用과 異化作用에 의한 物質代謝의 측면에서 수리적으로 접근한 것이다. 物質代謝의 관점에 의한 어류의 성장은 먹이 攝食量으로부터 同化作用에 의한 물질의 吸收量과 異化作用에 의한 물질의 消耗量 간의 차이로서 나타낼 수 있다. 이 모델에서는 同化作用과 異化作用이 일어날 때 생물의 질량에 따르는 反應次數를 상정하여 同化率은 營養物質의 吸收速度에 비례적이어서 吸收面積에 비례하고, 異化率은 활동, 호흡 등과 같이 단위시간당 소모되는 양으로서 어체의 질량에 비례한다고 볼 수 있다 (Zhang, 1991). 즉, 단위시간당 체중의 증가량을 dW/dt, 營養物質의 吸收表面積과 吸收係數를 각각 S, a라 하고, 어체의 總質量과 消耗係數를 각각 W, b라 할 때,

$$\frac{dW}{dt} = aS - bW \quad \dots\dots\dots (6)$$

가 된다. 營養物質의 吸收表面의 (S)은 表面을 구성하는 變長이 (ℓ)의 제곱에 비례하고, 體重 (W)은 變長의 3 제곱에 비례하므로 식 (6)을 다시쓰면,

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dt} &= a\ell^2 - bW \\ &= aW^{\frac{2}{3}} - bW \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

가 된다. 식 (7)을 魚體重量 W에 대해서 풀면,

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^3 \quad \dots\dots\dots (8)$$

가 된다. 여기서, W_t는 시점 t에서의 魚體體重을, W_∞은 어체의 極限體重을, k는 어체의 成長係數, t₀는 체중이 0 일 때의 어체의 이론적 연령을 나타낸다.

단위시간당 吸收量과 異化量을 추정하기 위하여 식 (8)의 W_t를 단위시간당 체중증가량으로 나타내면,

$$\frac{dW}{dt} = 3kW_\infty^{\frac{1}{3}} W_t^{\frac{2}{3}} - 3kW_t \quad \dots\dots\dots (9)$$

가 된다. 식 (9)에서 시간 t의 단위가 1년이면 t세의 年間吸收量 (annual absorption, A_b)는 식 (9)의 前項인 3kW_∞^{1/3}W_t^{2/3}가 되고, 年間異化量 (annual catabolism, R)은 식 (9)의 後項인 3kW_t가 되며, 日平均吸收量과 日平均異化量은 年間吸收量과 年間異化量에 각각 연간일수인 365를 나누면 된다. 즉, 日平均吸收量은 $\frac{3}{365} kW_\infty^{\frac{1}{3}} W_t^{\frac{2}{3}}$, 日平均異化量은 $\frac{3}{365} kW_t$ 로서 각각 추정될 수 있다. 그리고, 연령 t세의 年間同化量 (annual assimilation, A_t), 年間排泄量 (annual excreta, U_t), 年間不消化排出量 (annual feces, F_t)는 식 (3), (4), (5)에 의거 다음과 같이 추정될 수 있었다. 즉,

$$A_t = (W_t - W_{t-1}) + 3kW_t \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$U_t = 3kW_\infty^{\frac{1}{3}} W_t^{\frac{2}{3}} - (W_t - W_{t-1}) - 3kW_t \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$F_t = C_t - 3kW_\infty^{\frac{1}{3}} W_t^{\frac{2}{3}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

의 관계가 성립된다. 식 (12)에서 C_t는 어체 연령 t세의 年間攝食量 (annual food consumption)이다.

2. 에너지 代謝의 구성요소 추정

가. 吸收量과 異化量의 추정

Table 1. Growth parameters, amounts of annual and daily absorption and catabolism of *Hexagrammos agrammus*

Age (year)	K (yr ⁻¹)	W _t (g)	W _∞ (g)	Absorption (g)		Catabolism (g)	
				Annual	Daily	Annual	Daily
1.0	0.189	27.1	528.3	41.4	0.113	15.4	0.042
2.0	0.189	58.4	528.3	69.0	0.189	33.1	0.091
3.0	0.189	97.5	528.3	97.1	0.266	55.3	0.152
4.0	0.189	140.8	528.3	124.1	0.340	79.8	0.219
5.0	0.189	185.1	528.3	148.9	0.408	105.0	0.288

K: Growth coefficient of the fish, W_t: Body weight of the fish at age t in year
W_∞: Maximum body weight of the fish

von Bertalanffy의 성장식으로부터 유도된 식 (9)에 의거 吸收量과 異化量을 추정하기 위해서 필요한 노래미의 成長係數, 極限體重, 연령군별 평균체중 등의 값은 Kang and Kim (1983)의 자료를 이용하였으며, 이로부터 추정된 연령군별 年間 및 日平均 吸收量과 異化量을 나타낸 결과는 Table 1과 같다.

노래미의 成長係數와 極限體重은 각각 0.189/年와 528.3 g 였다. 노래미 1세군의 어체 1미당 평균체중은 27.1 g이었으며, 이의 年間吸收量과 異化量은 각각 41.4 g/年, 15.4 g/年이었고, 日平均吸收量과 異化量은 각각 0.113 g/日, 0.042 g/日이었다. 어체 1미당 평균체중이 58.4 g인 2세군의 年間吸收量과 異化量은 각각 69.0 g/年, 33.1 g/年이었으며, 日平均吸收量과 異化量은 각각 0.189 g/日, 0.091 g/日이었다. 3, 4, 5세군의 어체 1미당 평균체중은 각각 97.5 g, 140.8 g, 185.1 g이었으며, 이들의 年間吸收量은 각각 97.1 g/年, 124.1 g/年, 148.9 g/年, 年間異化量은 각각 55.3 g/年, 79.8 g/年, 105.0 g/年이었고, 日平均吸收量은 각각 0.266 g/日, 0.340 g/日, 0.408 g/日, 日平均異化量은 각각 0.152 g/日, 0.219 g/日, 0.288 g/日이었다.

연령군별 평균체중과 年間吸收量 및 年間異化量 간의 回歸關係를 검토한 결과 (Fig. 1), 體重 (W)과 年間吸收量 (A_b) 간에는 A_b=4.592W^{0.666}의 非線型關係가 있었고, 體重과 年間異化量 (R) 간에는 R=0.007+0.567W의 線型關係가 있었다.

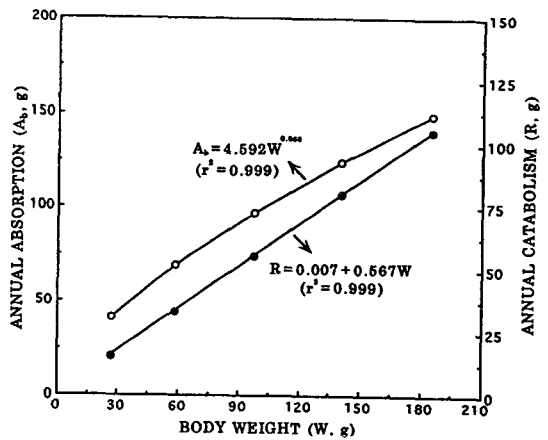


Fig. 1. Relationships between body weight and annual absorption, and body weight and annual catabolism of *Hexagrammos agrammus*.

나. 同化量, 排泄量, 不消化排出量의 추정

von Bertalanffy의 성장식에 의거 추정된 吸收量, 異化量, 成長量으로부터 식 (10), (11), (12)에 의거 노래미의 同化量, 排泄量, 不消化排出量 등을 추정한 결과는 Table 2와 같다.

노래미의 1세군부터 5세군까지 연령군별 추정된 에너지代謝의 구성요소를 살펴보면, 어체 1미당 年間成長量은 19.7 g~44.3 g/年の 범위에 있었으며, 연령이 증가할수록 증가하였다. 年間同化量은 35.1 g~149.3 g/年の 범위에

Table 2. Estimated parameters of energy budget of *Hexagrammos agrammus*

Age (year)	Annual food consumption* (g/yr.)	Annual production (g/yr.)	Annual assimilation (g/yr.)	Annual excreta (g/yr.)	Annual feces (g/yr.)
1.0	628.5	19.7	35.1	6.3	587.1
2.0	1,288.6	31.3	64.4	4.6	1,219.6
3.0	1,625.1	39.1	94.4	2.7	1,528.0
4.0	2,128.3	43.3	123.1	1.0	2,004.2
5.0	2,537.1	44.3	149.3	-0.4	2,388.2

*Data adopted from Kim and Kang (1992)

있었고, 年間排泄量은 $-0.4 \sim 6.3$ g/年の 범위에 있었으며 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 年間不消化排出量은 $587.1 \text{ g} \sim 2,388.2 \text{ g/年}$ 의 범위에 있었으며 年間攝食量의 대부분을 차지하였다.

年間攝食量(C)과 年間同化量(A) 및 年間異化量(R) 간에는 각각 $A = -7.026 + 0.061C$, $R = -20.749 + 0.048C$ 의 直線關係가 있었다 (Fig. 2).

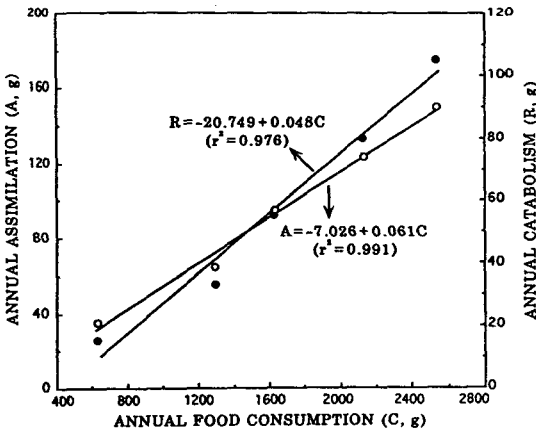


Fig. 2. Relationships between annual food consumption and annual assimilation, and annual food consumption and annual catabolism of *Hexagrammos agrammus*.

3. 먹이 配分率

노래미가 섭취한 먹이의 양이 同化量, 異化量, 成長量, 排泄量, 不消化排出量 등으로 각기 배분되는 양의 비율을 파악하기 위하여, 年間攝食量에 대해 에너지代謝의 구성요소별 차지하는 백분율을 나타낸 결과는 Table 3과 같다.

노래미의 年間攝食量 중 年間同化量이 차지하는 비율은 연령군에 따라 5.0%~5.9%의 범위에 있었고, 年間異化量이 차지하는 比率은 2.5%~4.1%의 범위에 있었으며, 이들은 어체의 연령이 증가할수록 증가하였다. 年間攝食量 중 年間成長量, 年間排泄量, 年間不消化排出量이 차지

하는 비율은 연령군에 따라 각각 1.7%~3.1%, $-0.02\% \sim -1.00\%$, 93.4%~94.6%의 범위에 있었으며, 이들은 어체의 연령이 증가할수록 감소하였다.

考 察

해양생물 중 어업대상 생물을 適正漁獲하고 합리적으로 관리하기 위해서는 어업생물의 潛在生産力을 알아야 하고, 이를 위해서는 營養段階間的 에너지 흐름이 파악되어야 한다. 에너지 흐름은 생물군집의 양적동태와 생물개체내의 에너지代謝에 의해 영향받는 점을 고려할 때 에너지代謝 연구는 어업생물의 潛在生産力 추정예 근간이 된다고 볼 수 있다 (Cheung, 1993).

일반적으로 에너지代謝의 구성요소는 조사생물의 사육과정을 거치면서 구성요소별 적정방법에 의해 측정되며, 이 중 攝食量은 별도의 독립적인 방법으로 추정하지 않고 에너지代謝의 구성요소인 成長量, 呼吸量, 排泄量, 不消化排出量 등의 값을 합산한 것으로 추정한다 (Kim, 1994). 이에 비해 본 연구에서는 별도로 추정된 攝食量을 사용하여 에너지收支의 표준모델에 의거 에너지代謝의 각 구성요소별 값을 추정하였다. 따라서, 본 방법과 기존 방법 간에는 서로 상반되는 점이 있다. 다시 말해, 에너지代謝 구성요소 중 呼吸量, 排泄量, 不消化排出量 등에 대해 기존방법에서는 직접 측정방법을 통해 추정하였고, 본 연구에서는 에너지收支모델에 의거 간접적으로 추정하였다. 반면에 攝食量에 대해 기존방법에서는 에너지收支모델을 이용한 간접적인 방법으로 추정함에 비해, 본 연구에서는 본 종의 日週攝食活動에 관한 수리적 모델로서 별도의 방법으로 직접추정한 값 (Kim and Kang, 1992)을 사용하였다. 한편, 에너지代謝 구성요소 중 成長量은 기존방법이나 본 연구방법이나 임의의 두 시점간에 체중의 차이로 추정하는 것으로서 서로간에 추정방법이 동일하였다.

두 방법간의 장단점을 비교하여 보면, 기존방법 사용시 에너지代謝 구성요소를 좀더 구체적으로 세분화할

Table 3. Percentage of annual assimilation, catabolism, production, excreta and feces compared with annual food consumption of *Hexagrammos agrammus*

Age (year)	% of annual assimilation	% of annual catabolism	% of annual production	% of annual excreta	% of annual feces
1.0	5.6	2.5	3.1	1.00	93.4
2.0	5.0	2.6	2.4	0.36	94.6
3.0	5.8	3.4	2.4	0.17	94.0
4.0	5.8	3.7	2.0	0.05	94.2
5.0	5.9	4.1	1.7	-0.02	94.1
Mean	5.6	3.3	2.3	0.31	94.1

수 있는 반면에 구성요소별 측정과정이 용이하지 않다. 이에 비해 본 연구방법 사용 시 攝食量과 von Bertalanffy의 성장식 자료만 있으면, 표준적인 에너지 代謝의 구성요소를 쉽게 추정할 수 있으나, 좀더 세부적인 구성요소를 파악하기 어려운 단점이 있다. 예를 들면, 성장량을 體成長量과 生殖成長量 등으로 구분하기가 어려운 점이 있다. 이 외에도 기존방법은 주로 실험실내에서 이루어지며, 본 연구방법은 자연에서 채집, 분석된 자료를 이용하는 차이점이 있다. 한편, 기존방법에서는 에너지의 단위를 주로 열량단위로 나타내는데 비해 (Dame, 1976; MacDonald and Thompson, 1986), 본 연구에서는 중량단위로 나타내고 있다. 중량단위일 경우 동일중량이라도 생물종별 물질의 구성성분에 따라 단위중량당 열량이 다를 수 있다. 따라서 본 방법을 사용할 경우, 에너지 代謝의 구성요소간에 상대적인 비율을 좀 더 정확히 알기 위해서는 중량단위를 열량단위로 환산할 필요가 있었다. 본 연구결과, 攝食量 중 에너지 代謝의 구성요소별 차지하는 비율에서 不消化排出量의 조성비가 약 94% 수준으로 매우 높았던 것도 중량단위로 나타낸 결과에 기인되는 것으로 생각된다. 만약 본 연구에서 에너지 代謝의 구성요소별 비율을 열량단위로 나타낼 경우, 不消化排出量의 조성비는 감소하고, 成長量이나 同化量 등의 조성비는 증가할 가능성이 클 것으로 사료된다.

본 조사에서 1세군의 年間成長量 추정 시 0세군의 체중 (W_0)은 0으로 간주하지 않고, von Bertalanffy의 체중 성장식에서 $t=0$ 을 대입하여 구한 값 ($W_0=7.4g$)을 사용하였다. 왜냐하면 체중이 0일때의 이론적 연령은 0세가 아니고 -1.458세 (Kang and Kim, 1983)였기 때문이다. 따라서, 1세군의 年間成長量을 27.1g로 나타내지 않고, 19.7g로 나타내었다.

Table 2와 3에서 5세군의 不消化排出量의 값은 음의 값을 나타내었다. 에너지 代謝의 구성요소 중 어느 값이라도 음의 값을 가지게 되면 생리작용 측면에서 모순을 나타낸다. 이 점에 대해 채집된 노래미의 최대연령이 약 4.5세이었음을 고려할 때, 이 음의 값은 어류가 5세군이 되기 전에 생리적 수명을 다 할것이라는 암시를 이론적으로 나타내는 결과가 아닌가 싶다.

본 종의 에너지 代謝에 대해 기존방법과 본 연구방법 간에 조사결과를 비교해 볼려고 하였으나, 기존방법에 의한 본 종의 연구사례가 없어 비교할 수 없는 아쉬움이 있었다. 그러나, 본 연구에서 언급한 추정방법의 논리적 전개에 큰 무리가 없다면, 본 연구에서 제시한 방법도 에너지 代謝 연구의 한 방법으로서 활용될 수 있을 것으로 예견된다. 특히, 자연개체군의 자연활동 조건하에서

에너지 代謝 구성요소의 측정방법이 미진한 현실정에서 본 연구결과는 미진하나마 자연개체군의 에너지 代謝 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

要 約

본 연구는 von Bertalanffy의 成長式과 攝食量을 이용하여 자연조건하에서 노래미, *Hexagrammos agrammus*의 에너지 代謝를 파악하기 위하여 시도된 것이며, 표본은 釜山 동백섬 연안과 三千浦 新樹島 연안에서 채집된 것이다. 에너지 代謝 모델은 攝食量, 成長量, 吸收量, 同化量, 異化量, 排泄量, 不消化排出量 등으로 구성된 표준화된 에너지 收支 모델을 이용하였으며, 에너지 代謝의 구성요소별 측정단위는 열량단위가 아닌 중량단위로 나타내었다.

노래미에 의해 섭취된 年間攝食量이 에너지 代謝의 구성요소별 배분되는 양 또는 율은 어체의 연령에 따라 달랐다. 에너지 代謝의 구성요소별 추정값을 연령군별로 비교한 결과, 年間排泄量은 어체의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었고, 나머지 구성요소는 어체의 연령이 증가할수록 증가하였다. 연령군별 平均體重 (W)과 年間吸收量 (A_b) 및 年間異化量 (R) 간에는 각각 $A_b = 4.592W^{0.666}$ 의 非線型과 $R = 0.007 + 0.567W$ 의 線型關係가 있었고, 年間攝食量 (C)과 年間同化量 (A) 및 年間異化量 간에는 각각 $A = -7.026 + 0.061C$ 와 $R = -20.749 + 0.048C$ 의 線型關係가 있었다.

參 考 文 獻

- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.*, 10, 181~213.
- Brett, J.R. and T.D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. In *Fish Physiology* Vol. VIII. Academic Press Inc., New York, 279~352.
- Cheung, S.G. 1993. Population dynamics and energy budgets of green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) in a polluted harbour. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 168, 1~24.
- Chyung, M.K. 1986. The Fishes of Korea. Iljisa Publishing Co., Seoul, 727pp (in Korean).
- Clutter, R.I. and G.H. Theilacker. 1971. Ecological efficiency of a pelagic mysid shrimp: Estimates from growth, energy budget and mortality studies. *Fish. Bull. U.S.*, 69, 93~115.
- Dame, R.F. 1976. Energy flow in an intertidal oyster population. *Estua. Coast. Mar. Sci.*, 4, 243~253.

- 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. 2. Using the vertebrae for age determination of the spottybelly greenling, *Agrammus agrammus*. Bull. Korean Fish. Soc., 16, 75~81 (in Korean).
- Kikuchi, T. 1966. An ecological study on animal communities of the *Zostera marina* belt in Tomioka Bay, Amakusa, Kyushu. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab., 1, 1~106.
- Kim, C.K. and Y.J. Kang. 1992. Estimation and methods estimating daily food consumption of *Agrammus agrammus*. Bull. Korean Fish. Soc., 25, 241~250 (in Korean).
- Kim, W.S. 1994. Population dynamics and energy budget of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve, 1850) (Bivalvia: Veneridae) in Garolim Bay, Yellow Sea, Korea. Ph.D. thesis, Univ. of Kiel, Germany, 134pp.
- Klekowski, R.Z. and A. Duncan. 1975. Physiological approach to ecological energetics. In *Methods for Ecological Bioenergetics* (eds. W. Grodzinski, R.Z. Klekowski and A. Duncan). pp. 15~64, Blackwell Scientific, London.
- MacDonald, B.A. and R.J. Thompson. 1986. Production, dynamics and energy partitioning in two population of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 101, 285~299.
- Park, K.Y. 1989. Energy flow of the oriental brown shrimp, *Penaeus japonicus* reared in the laboratory. Ph.D. Thesis Nat'l. Fish. Univ. Pusan, 69pp (in Korean).
- Steel, J.H. 1974. The Structure of Marine Ecosystems. Blackwell, Oxford, 552pp.
- Willows, R.I. 1987. Population and individual energetics of *Ligia oceanica* (L.) in the rocky supralittoral (Crustacea : Isopoda). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 105, 253~274.
- Zhang, C.I. 1991. Fisheries Resources Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea, 399pp (in Korean).

1997년 1월 7일 접수

1997년 12월 31일 수리