

## 31개월령 북방전복, *Haliotis discus hannai*의 성장형질에 대한 선발반응 추정

박종원, 박철지, 이정호, 노재구, 김현철, 황인준, 김성연

국립수산과학원 육종연구센터

### The Estimation of Selection Response for Growth Traits in 31-month Old of Pacific abalone, *Haliotis discus hannai*

Jong-Won Park, Choul-Ji Park, Jeong-Ho Lee, Jae-Koo Noh, Hyun-Chul Kim,  
In-Joon Hwang and Sung-Yeon Kim

Genetics and Breeding Research Center, NFRDI, 89-1, GeojeNamseo-ro, Geoje 656-842, Korea

#### ABSTRACT

This study was conducted to estimation the selection response for growth-related traits in 31-month old of Pacific abalone, *Haliotis discus hannai* were born in 2008. In overall mean of surveyed traits and standard deviation showed  $76.31 \pm 7.247$  mm of shell length,  $49.48 \pm 5.307$  mm of shell width and  $40.96 \pm 6.80$  g of total weight. The effect of sex and maturity were statistically significant in all traits include out a condition factor ( $p < 0.01$ ). And In effect of sex, female were higher than male in all traits excepting condition factor, significantly. In correlation between breeding value and phenotypic value by each traits, showed rank correlation coefficient and simple correlation coefficient, which represented low positive correlation. A hopeful genetic improvement to the next generation showed 6.96 mm of shell length, 4.47 mm of shel width and 12.93 g of total weight. Therefor, It is considered that if considering properly selection intensity and selection ratio, efficient improvement could be made.

**Key words** : Pacific abalone, Selection Response, Growth, Estimation, *Haliotis discus hannai*

#### 서 론

현재 전복의 종류는 전 세계적으로 100여종이 알려져 있고, 우리나라에 서식하고 있는 종으로는 우리나라에 분포하고 있는 전복은 북방전복 (*Haliotis discus hannai*), 둥근전복 (*Haliotis discus discus*), 왕전복 (*Haliotis madaka*), 말전복 (*Haliotis gigantea*), 오분자기 (*Haliotis diversicolor aquatilis*) 그리고 마데오분자기 (*Haliotis diversicolor diversicolor*) 의 6종이 있다 (Ministry of maritime affairs and fisheries, 1998; Lee and Min, 2002, Yang, 2007).

북방전복은 한류성으로서 우리나라 전 연안에 분포하고 있

고, 국내 수산업에 있어서 아주 중요한 경제적 가치를 지닌 패류이다 (Ryu, 1979). 국내 전복 양식산업은 전복의 산란기 그리고 춘계종묘생산기술 개발 등의 종묘생산에 관한 많은 학문적 연구와 1980년대에 대량종묘생산기술의 개발 그리고 2000년대에 들어서는 해상 가두리양식기술개발 등 여러 가지 양식기술개발로 인해 우리나라 환경에 적절한 양식체제를 갖추게 됨으로서 전복 양식 산업이 가속화 되었다.

그러나 최근까지 이러한 종묘, 양성기술 및 사육여건 개선 등의 양식기술개발 등에 의해 비약적인 발전을 이루어왔지만, 국내 전복 양식 산업은 여러 세대를 거치는 동안 한정된 어미의 개체 수로 생산을 지속해왔고 이로 인해 유전자의 호모화가 진행되면 환경에 대한 적응력이 저하하고 허약해져 이른바 근교퇴화 (inbreeding deterioration) 에 의한 성장속도의 둔화, 빈번한 질병 발생 및 생산성 하락의 문제가 대두되었다.

일반적으로 어패류와 같은 수산생물은 후대 자손수가 많고, 선발반응도 높으며 (Olesen *et al.* 2003), 성장형질에 대한 변이계수 또한 높아서 (Gjedrem T, 1997) 육상동물보다 선발효과가 크다고 보고되어 있으며, 특히 어패류의 체장, 체고

Received: November 28, 2012 ; Accepted: December 7, 2012

Corresponding author: Jong-Won Park

Tel: +82 (55) 6639-5801 e-mail: dapowind@korea.kr

1225-3480/24457

및 체중과 같은 성장에 관련된 계측형질들은 생산성 관련 형질로서 후대생산에 있어서 직접 선발에 이용할 수 있다 (Refstie, 1990; Gjedrem T, 1997). 어패류의 유전적 개량을 위한 가장 효과적이고 일반적인 방법으로 선발육종이 이용되고 있으며, 주요 선발 대상이 되는 형질들에 대한 표현형적, 유전학적 평가를 통해 육종효과를 예측하고 있다 (Argue *et al.*, 2002; Gjerde *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2006; Choe *et al.*, 2009).

선발에 의해 기대되는 다음 세대의 유전적 개량량의 크기는 선발의 정확도, 선발강도 및 집단 내 존재하는 상가적 유전변이의 크기에 의해 결정된다. 또한 선발육종의 주목표는 유전적 개량량을 극대화시키는 것이며, 이를 위해서는 모집단의 평균 능력과 선발된 어미후보들의 평균능력 간의 편차가 커야 한다. 또한, 수산생물의 유전적 능력을 개선하기 위해서는 선발과 교배 등에 있어 무엇보다 체계적인 계획이 매우 중요하고, 양적 형질과 질적 형질 모두 유전자 환경요인이 동시에 작용하므로 유전적 요인뿐만 아니라 환경적인 영향도 함께 고려해야 하지만 양적형질에 있어 유전능력평가를 통한 선발육종에 관한 연구는 극히 드물다 (Lucas *et al.*, 2006; Choe *et al.*, 2007; Choe *et al.*, 2009).

집단 및 개체의 표현형적 능력은 유전적 효과와 환경 효과의 합으로 나타나는데, 외부 환경 요인으로서는 주로 사육수온과 밀도 등이 영향을 미치며, 유전적 효과에 의한 영향은 후손에 전달될 수 있는 능력일 뿐만 아니라 우수한 형질을 후대로 전달하게 되므로 전복 양식장의 경영에 있어 중요한 요인일 수밖에 없다. 선발을 이용하여 집단을 개량하는 과정에서 선발의 효과는 그 집단이 속하는 모집단의 평균과 집단을 사용하여 생산된 자손의 평균 간의 차이로부터 계산된다. 이 경우 선발차는 주로 표현형에 근거하여 계산되므로 표현형가인 선발차 중에서 어느 정도가 유전에 기인된 부분인가를 아는 것이 필요하다.

따라서, 본 연구는 북방전복의 혈통 및 성장관련 계측형질 측정 자료를 이용하여 추정된 육종가와 실제 표현형가와의 상관관계를 살펴보고, 다음 세대에서의 기대되는 선발반응을 추정하여 국내 전복양식에 있어서 성장형질의 유전적인 능력 개선과 실질적인 생산성 향상을 위한 기초자료를 제공하고자 수

행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 연구에서는 2008년에 생산된 2세대 육종전복의 모집단 6,858마리와 다음 세대 생산을 위해 어미후보를 선발한 후 친자확인을 거쳐 최종 교배지침에 포함된 암컷 375마리와 수컷 239의 총 614마리의 성장 관련 형질인 각장 (Shell length: SL), 각폭 (Shell width: SW), 중량 (Total weight: TW) 및 비만도 (Condition factor: CF) 의 4개 형질에 대한 측정 자료를 이용하였으며, 최종 교배지침에 포함된 개체의 성별 및 성숙도별 빈도수는 Table 1과 같다.

### 2. 사육관리 및 형질 계측

생산일령에 대한 오차를 줄이기 위해 어미의 동시 산란 및 수정을 하였고, 환경요인을 최소화하기 위해 동일한 환경에서 사육하였으며, 31개월령에서 최종 선발 시 성장형질의 정확한 측정을 위해 각장과 각폭은 0.01 mm 단위, 중량은 0.01 g 단위로 각 개체별로 측정하였다. 성숙도 (Sexual maturity) 는 생식소의 부풀어 오른 정도에 따라 상, 중 및 하의 3그룹으로 구분하고 기준에 대한 일관성을 유지하기 위하여 한 사람이 측정을 하였다. 육종가 및 유전모수 추정에 있어서 측정 자료의 이상치 제거를 위해 표준편차의 ± 3배의 자료와 암수 구별이 불분명한 개체는 분석에서 제외하였다.

### 3. 통계적 분석방법

#### 1) 성 및 성숙도의 효과

본 연구에서 조사된 각장, 각폭 및 중량에 영향을 미치는 성 및 성숙도의 효과를 추정하기 위해 다음과 같은 선형모형에 최소 제곱법으로 분석하였다.

$$y_{ijk} = \mu + \text{sex}_i + \text{maturity}_j + e_{ijk}$$

여기서,  $y_{ijk}$  는  $i$  번째 성의  $j$  번째 성숙도에 속하는 개체에 대한 측정치,  $\mu$  는 전체평균,  $\text{sex}_i$  는  $i$  번째 성의 효과 ( $i = 1, 2$ ),  $\text{maturity}_j$  는  $j$  번째 성숙도의 효과 ( $j = 1, 2, 3$ ) 그

**Table 1.** Number of records by sex and sexual maturity of the abalone, *Haliotis discus hanna*

Item	Sexual Maturity			Total
	High	Medium	Low	
Female	225	119	31	375
Male	154	67	18	239
Total	379	186	49	614

리고  $e_{ijk}$  는 임의 오차이다. 이상의 Linear model에 의한 정규방정식을 풀기 위해 다음과 같이 마지막 효과를 0으로 하는 제한을 가하였다.

$$sex_2 = maturity_3 = 0$$

또한, SAS@9.2 Package/PC를 이용하여 SAS/GLM 분석의 TYPE III 제곱합으로 분산분석을 실시하였으며, 최소 평균치간의 유의성 검정을 위하여 다음과 같은 귀무가설을 유의수준 5%로 Pairwise T 검정을 실시하였다.

$$H_0 : LSM(i) = LSM(j), (i \neq j)$$

여기서,  $LSM(i(j))$  는  $i(j)$  번째 효과의 최소제곱평균치이다.

### 2) 상관계수 추정

집단의 확률분포에 대한 정규성을 검정 (Normality test) 하기 위해 SAS Package (Ver. 9.2) 의 univariate proceduer 를 이용하였으며, 조사된 각 형질 간의 표현형 상관계수, 순위상관계수 및 표현형 공분산은 아래와 같은 공식을 이용하였다.

$$\text{표현형 상관계수}, r_p = \frac{COV_{P(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{P(i)}^2 \times \sigma_{P(j)}^2}}, (i \neq j)$$

$$\text{순위 상관계수}, r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{n(n^2-1)}$$

여기서,  $\sigma_p^2$  는 표현형 분산 (Phenotypic variation),  $COV_{P(i,j)}$  는 두 형질  $i$  와  $j$  간의 표현형 공분산 (Phenotypic covariance),  $D$  는 두 형질의 순위상호간 편차 (Difference),  $n$  은 조사된 자료의 쌍의 수이다.

### 3) 육종가 (Breeding value) 및 선발반응 (Selection response)

본 연구에서 31개월령 북방전복에 대한 각 개체의 각장, 각폭, 중량 및 비만도에 대한 육종가를 추정하기 위해 EL-REML (Restricted Maximum Likelihood) Algorithm을 전산 프로그램화한 REMLF90 (Misztal, 1990) 을 이용하여 최적선형불편예측법 (Best linear unbiased prediction: BLUP) 에 의해 개체별로 추정하였으며, 선발에 의해 기대되는 다음 세대의 선발반응을 추정하기 위해 (1)과 같은 공식을 이용하였다.

$$\text{선발반응}, \Delta G = \frac{M_s \times F_s}{2} \times h^2 \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $M_s$  는 암컷 집단의 선발차,  $F_s$  는 수컷 집단의 선발차,  $h^2$  는 유전력이다.

## 결 과

### 1. 전체평균

Table 2에는 본 연구에서 조사된 31개월령 북방전복의 각 형질별 전체평균과 표준편차 그리고 변이계수를 표시하였다. 각장, 각폭 및 중량이 각각 76.31 mm, 49.48 mm 및 56.90 g으로 조사되었다. 변이계수는 표준편차의 평균치에 대한 비율로서 종류가 다른 것이나 측정단위가 다른 자료들의 변동성을 측정하는데 이용되며, 수치가 작을수록 평균치에 가깝게 분포하고 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 중량의 변이계수가 28.70%로 나타나 다른 세 형질에 비해 자료의 변이가 가장 크게 나타났다.

Table 3은 본 연구에서는 31개월령에서 성장관련 형질에 영향을 미치는 환경효과를 분석하기 위하여 성과 성숙도를 고정효과로 처리하고 분산분석을 실시한 결과를 Table 3에 나타내었다. 조사 결과 각장, 각폭, 중량 및 비만도에 대한 성의 효과에 있어서 비만도를 제외한 모든 형질에서 고도의 유의성이 인정되었다 ( $p < 0.01$ ).

Table 4는 조사된 각 형질의 성의 효과에 대한 최소제곱 평균과 그 표준오차를 표시하였다. 각장의 경우 암컷이 76.27 mm로 수컷의 73.77 mm 보다 2.5 mm 정도 길었으며, 각폭

**Table 2.** Overall means and standard deviations (STD) of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months

Item	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	CF
means ± STD	76.31 ± 7.247	49.48 ± 5.307	56.90 ± 16.328	12.50 ± 1.011
Maximum	102.50	68.85	122.99	16.4
Minimum	54.62	35.43	19.20	9.70
CV (%) <sup>1)</sup>	9.50	10.73	28.70	8.09

<sup>1)</sup>CV : Coefficient of variance ( $CV = STD/\mu \times 100$ )

**Table 3.** Source of the variation, degree of freedom, mean squares and test of significance for shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai*

Source	df <sup>1)</sup>	SL	SW	TW	CF
Sex	1	1267.47**	498.05**	6060.64**	0.567Non
Maturity	2	691.01**	129.61**	5326.56**	21.262**
Error	858	49.79	27.42	249.11	0.976

<sup>1)</sup> df : Degree of freedom, \*\* : p < 0.01, Non : not significance

**Table 4.** Least-square means and standard errors of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months by sex

Sex	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	CF
Female	76.27a±0.355	49.66a±0.264	56.27a±0.794	12.36±0.049
male	73.77b±0.440	48.09b±0.327	50.81b±0.985	12.31±0.061

Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance

**Table 5.** Least-square means and standard errors of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months by sexual maturity in both female and male

Maturity	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	CF
High	76.81 ± 0.320 <sup>a</sup>	49.49 ± 0.237 <sup>a</sup>	58.61 ± 0.716 <sup>a</sup>	12.67 ± 0.045 <sup>a</sup>
Medium	75.70 ± 0.430 <sup>b</sup>	49.47 ± 0.319 <sup>a</sup>	54.98 ± 0.961 <sup>b</sup>	12.33 ± 0.060 <sup>b</sup>
Low	72.56 ± 0.758 <sup>c</sup>	47.67 ± 0.562 <sup>b</sup>	47.03 ± 1.695 <sup>c</sup>	12.01 ± 0.106 <sup>c</sup>

Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance

은 암컷이 49.66 mm로 수컷의 48.09 mm 보다 1.57 mm 정도 길게 나타났다. 중량의 경우 암컷이 56.27 g로 수컷의 50.81 g 보다 5.46 g 정도 무거웠으며, 비만도는 암컷이 12.36으로 수컷의 12.31과 차이가 없었다. 이와 같이 본 연구에서 조사된 북방전복의 31개월령에서의 계측형질은 비만도를 제외한 모든 형질에 있어서 수컷보다 암컷이 유의적으로 높게 나타났다 (p<0.05).

Table 5 는 본 연구에서 조사된 암수 전체의 각 형질에 있어서 측정된 성숙도를 고정효과로 처리하고 그 효과를 조사하기 위하여 성숙도 대한 최소제곱 평균과 그 표준오차를 표시하였다. 성숙도가 상위인 그룹에서 각장의 경우 성숙도가 상위인 그룹에서 76.81 mm로 유의적으로 가장 길게 나타났고, 하위 그룹에서 72.56 mm로 가장 짧게 나타났다. 각폭은 성숙도가 상위인 그룹에서 49.49 mm로 유의적으로 가장 길게 나타났고, 하위 그룹에서 47.67 mm로 가장 짧게 나타났다. 또한 중량의 경우 성숙도가 상위인 그룹에서 58.61 g로 유의적으로 가장 무겁게 나타났고, 하위그룹에서 47.03 g로 가장 가볍게

나타났다. 상위 그룹과 하위 그룹간의 차이는 각장, 각폭 및 중량이 각각 4.25 mm, 1.82 mm 및 11.58 g로 나타나 중량의 경우 각장과 각폭에 비해 성숙도에 따른 편차가 가장 큰 것으로 조사되었으며, 전체적으로 성숙도가 좋을수록 성장 형질도 우수하게 나타나는 경향을 보였다.

Table 6 는 본 연구에서 조사된 각 형질에 대한 성숙도의 효과에 대한 최소제곱 평균과 그 표준오차를 성별로 표시하였다. 암컷의 경우 각장은 성숙도가 상위인 그룹과 중간 그룹에서 각각 77.69 mm와 77.16 mm로 하위 그룹의 75.01 mm 보다 유의적으로 높게 나타났으며, 중량의 경우 성숙도가 상위인 그룹과 중간 그룹에서 각각 60.65 g와 58.24 g로 하위 그룹의 51.60 g보다 유의적으로 높게 나타났다. 비만도의 경우 상위 그룹에서 12.71로 유의적으로 가장 높게 나타났으며, 각폭의 경우 암컷에 있어서는 세 그룹 간 유의적인 차이를 보이지 않았다.

수컷의 경우 각장은 성숙도가 상위인 그룹에서 76.10 mm로 유의적으로 가장 높게 나타났고, 하위 그룹에서 68.75 mm

**Table 6.** Least-square means and standard errors of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months by sexual maturity

Maturity	Female				Male			
	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	CF	SL (mm)	SW (mm)	TW (g)	CF
High	77.69 <sup>a</sup> ± 0.401	49.98 ± 0.303	60.65 <sup>a</sup> ± 0.919	12.71 <sup>a</sup> ± 0.058	76.10 <sup>a</sup> ± 0.512	49.13 <sup>a</sup> ± 0.368	56.89 <sup>a</sup> ± 1.106	12.62 <sup>a</sup> ± 0.069
Medium	77.16 <sup>a</sup> ± 0.517	50.39 ± 0.391	58.24 <sup>a</sup> ± 1.186	12.35 <sup>b</sup> ± 0.075	74.08 <sup>b</sup> ± 0.727	48.43 <sup>a</sup> ± 0.523	51.30 <sup>b</sup> ± 1.572	12.33 <sup>b</sup> ± 0.098
Low	75.01 <sup>b</sup> ± 0.888	49.46 ± 0.672	51.60 <sup>b</sup> ± 2.038	11.98 <sup>c</sup> ± 0.128	68.75 <sup>c</sup> ± 1.374	44.72 <sup>b</sup> ± 0.988	40.38 <sup>c</sup> ± 2.972	12.10 <sup>b</sup> ± 0.185

Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance

**Table 7.** Phenotypic correlations among shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months

Traits	Female				Male			
	SL	SW	TW	CF	SL	SW	TW	CF
SL	47.84	0.94	0.95	- 0.08	56.84	0.97	0.96	- 0.127
SW	33.82	27.07	0.93	0.02	38.55	28.60	0.95	- 0.02
TW	104.86	77.12	256.02	0.22	117.86	82.58	268.83	0.15
CF	- 0.59	0.10	3.53	1.05	- 0.93	- 0.11	2.43	0.98

Diagonal : phenotypic variance, upper diagonal : phenotypic correlation coefficient, bottom diagonal : phenotypic covariance

로 가장 낮게 나타났다. 각폭은 상위 그룹에서 49.13 mm로 유의적으로 가장 높게 나타났고, 하위 그룹에서 44.72 mm로 나타나 암컷과는 달리 유의적인 차이를 보였다. 중량은 상위 그룹과 하위 그룹에서 각각 56.89 g와 40.38 g로 나타나 상위 그룹이 유의적으로 가장 높았으며, 비만도의 경우는 상위 그룹이 12.62로 가장 높게 나타났다. 특히, 중량에 있어서 상위 그룹과 하위 그룹간의 차이는 암컷과 수컷이 각각 14.05 g과 16.51 g으로 나타나 다른 형질에 비해 그룹 간의 편차가 가장 큰 것으로 조사되었으며, 암수를 분리하여 성숙도의 효과를 살펴본 결과, 암컷의 각폭을 제외하고 대체적으로 성숙도가 상위인 그룹이 성장 관련 형질이 우수하게 나타나는 것으로 조사되었다.

Table 7은 본 연구에서 조사된 각 형질간의 표현형 상관계수, 표현형 분산 및 공분산을 표시한 것이다. 먼저 각 형질에 대한 암컷의 표현형 상관계수를 살펴보면, 각장과 각폭이 0.94, 각장과 중량이 0.95로 매우 높은 정의 상관관계를 보여 하나의 형질만 개량하여도 다른 형질의 개량효과를 얻을 수 있는 것으로 사료된다. 그러나 비만도의 경우 각장, 각폭 및 중량과는 매우 낮은 정의 상관이거나 부의 상관관계를 보였다.

이러한 결과는 Choe *et al.* (2008) 에 의한 12개월령 전복의 유전모수 추정에 있어서 각장, 각폭 및 중량에 대한 표현형 상관계수가 0.93 이상이었고, 비만도와는 낮은 정의 상관관계이거나 부의 상관관계라는 보고와 Yang (2007) 에 의한 선발육종을 위한 북방전복의 유전능력평가에 있어서 33개월령 각장, 각폭 및 중량의 상관계수가 0.95 이상이었다는 보고와 일치하였다.

Table 8은 본 연구에서 조사된 각 형질별로 추정된 육종가와 표현형가의 상관관계를 성별로 살펴본 것으로 각장, 각폭 및 중량에 있어서 대체적으로 순위상관계수와 단순상관계수가 각각 0.63-0.68과 0.65-0.71의 범위로 정의 상관관계를 보이고 있으나 선발육종의 목적인 표현형가와 육종가의 상관관계를 좀 더 높인다면 보다 효율적인 개량을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 순위상관은 동일 형질간의 결과를 기초로 선발시기를 결정하는데 활용되기도 하는데, Yang (2007) 은 21개월령과 33개월령 육종가 중량간의 순위상관이 9개월령과 21개월령 육종가 중량간의 순위상관에 비해 높게 추정되어 선발시기를 21개월령에 하는 것이 바람직하다고 보고하였다.

**Table 8.** Rank and simple correlation between phenotypic value and breeding value of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) of the abalone, *Haliotis discus hannai* at the age of 31-months by sex

Sex	Rank correlation				Simple correlation			
	SL	SW	TW	CF	SL	SW	TW	CF
Female	0.63	0.66	0.65	0.46	0.65	0.68	0.69	0.47
Male	0.66	0.68	0.68	0.43	0.71	0.72	0.74	0.46
Both	0.66	0.68	0.68	0.45	0.68	0.70	0.71	0.47

**Table 9.** Selection response on next generation for of shell length (SL), shell width (SW), total weight (TW) and condition factor (CF) at the age of 31-months of the abalone, *Haliotis discus hannai*

Item <sup>1)</sup>	SL	SW	TW	CF
Accuracy (%)	68.4	70.3	71.5	46.6
Heritability ( $h^2$ )	0.35	0.37	0.36	0.67
Intensity	4.98	4.56	8.93	1.46
Response	6.96 (9.6%)	4.47 (9.5%)	12.93 (26.1%)	0.16 (12.9%)

<sup>1)</sup> Accuracy : accuracy of selection, intensity : intensity of selection, response : selection response

Table 9는 각 형질에 대한 다음 세대의 선발반응에 대한 예측치를 나타낸 것이다. 모집단에 비해 최종 교배지침에 포함된 어미로 생산된 후대의 각장, 각폭 및 중량의 선발반응 예측치 즉, 기대되는 유전적 개량량은 각각 9.6%, 9.5% 및 26.1%로 나타났으며, 선발강도가 형질별로 다르게 나타난 이유는 후보 집단에서 최종 교배에 사용된 수컷의 비율과 암컷의 비율이 달랐기 때문인 것으로 사료된다. Choe *et al.* (2009) 은 9개월령 북방전복에 있어서 임의의 선발강도에서 선발되어진 개체들의 육종기를 이용하여 선발효과를 예측한 결과 선발강도 5%에서 각장과 중량이 각각 12.72%와 34.26%의 개량효과가 나타난다고 보고하였고, 선발강도 40%에서는 각장과 중량이 각각 8.62%와 24.87%의 개량효과가 있는 것으로 예측된다고 보고하였다. 또한, Hara and Kikuchi (1992), Hara and Sekino (2007)와 Kawahara *et al.* (1997) 은 세대당 10-23%의 실제 육종효율에 대해 보고하였으며, Lucas *et al.* (2006) 은 선발강도 5%에서 각장과 중량의 경우 각각 25%와 56%의 개량효과가 나타난다고 보고하였다. 그러나 높은 선발강도에서 선발을 할 경우 세대가 거듭됨에 따라 유전자 빈도가 변하고 표현형 변이가 줄어들 수가 있다 (Falconer and Mackay, 1996). 따라서 이러한 현상을 예방하기 위해서는 각 개체들의 유전적 다양성을 유지시키면서 근친화를 최소화 하는 것이 필요하다. 이와 같이 다음 세대에 기대되는 선발반응은 모집단에 대한 선발비율 또는 선발강도에 의해 좌우되므로 이를 적절히 고려한다면 보다 효율적인 개량을 도모할 수 있을

것으로 사료된다.

## 고 찰

전복은 세대간격이 길어 양식산업에 있어서 불리한 조건에 있으며, 생산기간 단축에 의한 원가절감 및 가격 경쟁력 향상이 시급히 해결해야 할 문제점으로 대두되고 있다. 이를 위해 유전적 개량을 위한 가장 일반적이고 효과적인 방법으로 선발육종이 이용되고 있으며, 어류 및 패류 등의 주요 경제형질에 대한 양적 유전학적 평가가 선발육종 및 육종효과 예측을 목적으로 이용되어지고 있다 (Bentsen *et al.*, 1998; Argue *et al.*, 2002; Gjerde *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2006). 선발육종을 통한 전복의 유전력은 0.30-0.36으로 중도의 유전력이 추정되었다고 보고되었으며 (Jonasson *et al.*, 1999; Lucas *et al.*, 2006), Kawahara *et al.*, (1997) 은 선발을 통하여 세대당 10-15%의 개량뿐만 아니라 13개월령에서의 중량과 3.5년의 중량간의 높은 상관관계를 보인다고 보고하였다.

선발육종을 통한 형질의 개량을 위해서는 선발시기, 선발방법 및 교배방법 등이 매우 중요하며, 이러한 주요 경제형질을 개량하기 위해 유전학적 분석뿐만 아니라 표현형가와 육종가를 이용한 유전모수를 추정하여 이용되기도 한다. 그러나 가족에 비하여 수산양식생물에 있어서는 유전모수 추정을 통한 연구가 미미한 실정이며 (Lymbery *et al.*, 2000; Gjedrem, 2002; Mari, 2002), 특히 전복에 대한 성장형질의 유전모수 추정에 관한 연구는 극히 드물다 (Jonasson *et al.*, 1999,

Mgaya, 2000). 일반적으로 가축의 개량에 주로 이용되는 육종가의 추정방법은 선발지수법, 최소제공법 및 최적선형불편예측법 등이 있으며, 이중 Henderson이 제시한 최적선형불편예측법이 유전적인 이론이나 여러 가지 환경적인 조건을 만족시키는 가장 유리한 방법으로 알려져 있다 (Henderson, 1974; Schaeffer and Wilton, 1981).

본 연구는 한국산 북방전복에 있어서 31개월령에서의 측정형질을 대상으로 유전모수 추정을 통해 얻어진 육종가를 이용하여 표현형과의 상관관계를 추정하고, 최종 교배에 사용된 선발집단을 이용하여 다음 세대에 기대되는 선발반응 즉, 유전적 개량량을 추정하기 위해 실시하였다. 본 연구에서 조사된 각 형질의 변이계수는 중량이 28.7%로 각장이나 각폭에 비하여 자료의 변이가 가장 크게 나타났고, 성과 성숙도를 고정효과로 처리하여 분산분석을 실시한 결과 성의 효과에 있어서 비만도를 제외한 모든 형질에서 고도의 유의성이 인정되었다 ( $p < 0.01$ ).

31개월령에서의 각 성장형질에 대한 성의 효과를 분석한 결과 암컷의 각장이 수컷의 각장보다 2.5 mm 정도 길었으며, 각폭은 암컷이 1.6 mm 정도 길었고, 중량의 경우 암컷이 수컷보다 5.4 g 정도로 나타나 암컷이 수컷보다 유의적으로 높게 조사되었다 ( $p < 0.05$ ). 본 연구에서 성장형질에 미치는 성숙도의 효과를 조사하기 위하여 암수전체에 대한 효과와 암과 수를 따로 조사한 결과 암수 전체에서는 성숙도가 상위일수록 유의적으로 높게 나타났는데, 특히 중량의 경우 각장과 각폭에 비해 성숙도에 따른 편차가 가장 크게 나타났다. 또한 암수 각각 성숙도에 대한 효과를 살펴 본 결과, 암컷의 각폭을 제외하고 대체적으로 성숙도가 상위인 그룹이 성장과 관련된 형질이 우수하게 나타나는 것으로 조사되어 성장형질과 성숙도가 정의 상관관계에 있다는 것을 시사하였다.

본 연구에서 조사된 각 형질별 육종가와 표현형과의 상관관계를 성별로 살펴 본 결과 비만도를 제외한 모든 형질에서 0.63-0.71의 범위로 정의 상관관계를 보이고 있으나 선발육종의 궁극적인 목적인 이 육종가와 표현형과의 상관관계를 더 높일 수 있도록 노력한다면 보다 효율적인 개량을 도모할 수 있을 것으로 사료된다.

각 형질에 대한 다음 세대에서의 선발반응에 대한 예측치를 분석한 결과 각장, 각폭 및 중량이 각각 9.6%, 9.5% 및 26.1%의 개량효과를 기대할 수 있는 것으로 조사되었으며, Choe *et al.* (2009) 은 9개월령 북방전복에 있어서 임의의 선발강도에서 선발되어진 개체들의 육종가를 이용하여 선발효과를 예측한 결과 선발강도 5%에서 각장과 중량이 각각 12.72%와 34.26%의 개량효과가 나타난다고 보고하였고, 선발강도 40%에서는 각장과 중량이 각각 8.62%와 24.87%의 개량효과가 있는 것으로 예측된다고 보고하였다.

이와 같이 다음 세대에 기대되는 유전적 개량량, 즉 선발반응은 모집단에 대한 선발비율 또는 선발강도에 의해 좌우되므로 이를 적절히 고려하여 선발육종에 이용한다면 보다 효율적인 개량을 도모할 수 있을 것으로 사료되며, 앞으로 이와 관련된 많은 연구가 더 필요하다고 생각된다.

## 요 약

본 연구에서는 31개월령 북방전복의 성장형질에 대한 선발반응을 추정하기 위해 2008년에 생산된 2세대 육종전복의 모집단 6,858마리와 다음 세대 생산을 위해 최종 교배지침에 포함된 614마리의 자료를 이용하였다. 각 형질별 전체평균은 각장, 각폭 및 중량이 각각 76.31 mm, 49.48 mm 및 56.90 g로 조사되었고, 중량의 변이계수가 28.70%로 나타나 다른 형질에 비해 자료의 변이가 가장 크게 나타났다. 각장, 각폭, 중량 및 비만도에 있어서 성과 성숙도의 효과에 대한 분산분석을 실시한 결과 비만도를 제외한 모든 형질에서 고도의 유의성이 인정되었으며 ( $p < 0.01$ ), 성의 효과는 비만도를 제외한 모든 형질에 있어서 수컷보다 암컷이 유의적으로 높게 나타났다. 각 형질별 육종가와 표현형과의 상관관계는 각장, 각폭 및 중량에 있어서 순위상관계수와 단순상관계수의 범위가 0.63에서 0.71로 대체적으로 낮게 나타나 육종가와 표현형과의 상관관계를 더 높인다면 보다 효율적인 개량을 도모할 수 있을 것으로 사료되며, 선발반응 예측치 즉, 기대되는 유전적 개량량은 각장, 각폭 및 중량이 각각 9.6%, 9.5% 및 26.1%로 나타났다.

따라서 다음 세대에 있어서 보다 높은 선발반응을 기대하기 위해서는 선발의 정확도는 물론 최종교배를 위해 선발되는 개체의 비율과 선발강도를 적절히 고려하여야 할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 (육종기술개발, RP-2012-AQ-123) 의 지원에 의해 연구되었습니다.

## REFERENCES

- Argue, B.J., Arce, S.M., Lotz, J.M. and Moss, S.M. (2002) Selective breeding of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to taura syndrome virus. *Aquaculture*, **204**: 447-460.
- Bentsen, H.B., Eknath, A.E., Palada-de Verra, M.S., Danting, J.C., Bolivar, H.L., Reyes, R.A., Diorusio, E.E., Longalong, F.M., Circa, A.V., Tatamen, M.M. and Gjerde, B. (1998) Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete dialled cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, **160**: 145-173.
- Byeun, C.K. (1970) Studies on the propagation of

- abalone. *The Korean Journal of Aquaculture*, **3**(3): 177-186.
- Choe, M.K., Han, S.J., Yang, S.G., Won, S.W., Park, C.J. and Yeo, I.K. (2007) Estimation of genetic parameters for growth-related traits of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model in early growth period. *The Korean Journal Malacology*, **23**(2): 217-225.
- Choe, M.K., Han, S.J., Yang, S.G., Won, S.W., Park, C.J. and Yeo, I.K. (2008) Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 1-year old of two Korean abalone of subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. *The Korean Journal Malacology*, **24**(2): 121-130.
- Choe, M.K., Yang, S.G., Won, S.H., Park, C.J., Han, S.J. and Yeo, I.K. (2009) Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 9-month old of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannai* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. *The Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **42**(6): 591-599.
- Flaconer, D.S. and Mackey, T.F.C. (1996) Introduction to quantitative genetics. Prentice hall, New York, pp. 480.
- Gjedrem, T. (1997) Selective breeding to improve Aquaculture production. *World Aquaculture*, **28**: 33-45.
- Gjedrem, T. (2002) Selective breeding essential for further productivity, sustainability in Aquaculture. *Global Aquaculture Advocate*, **5**: 46-47.
- Gjerde, B., Terjesen, B.F., Barr, Y., Lein, I. and Thorland, I. (2004) Genetic variation for juvenile growth and survival in atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, **236**: 167-177.
- Hara, M. and Kikuchi, S. (1992) Increasing growth rate of abalone, *Haliotis discus hannai*, using selection techniques. *NOAA Technical report*, **106**: 21-26.
- Hara, M. and Sekino, M. (2007) Parentage testing for hatchery-produced abalone *Haliotis discus hannai* based on microsatellite markers: preliminary evaluation of early growth of selected strains in mixed family farming. *Fisheries Science*, **73**: 831-836.
- Henderson, C.R. (1974) General flexibility of linear model techniques for sire evaluation. *Journal of Dairy Science*, **57**: 963.
- Jonasson, J., Stefansson, S.E., Guadnason, A. and Steinarsson, A. (1999) Genetic variation for survival and shell length of cultured red abalone *Haliotis refescens* in Iceland. *Journal of Shellfish Research*, **18**: 621-625.
- Kawahara, M., Noro, M., Omori, O., Hasekura, O. and Kijima, A. (1997) Genetic progress for growth in different selected population of abalone, *Haliotis discus hannai*, at different hatcheries. *Japanese Journal of Fish Genetics and Breeding Science*, **25**: 73-80.
- Lucas, T., Macbeth, M., Degnan, S.M., Knibb, W. and Degnan, B.M. (2006) Heritability estimates for growth in the tropical abalone *Haliotis asinina* using microsatellites to assign parentage. *Aquaculture*, **259**: 146-152.
- Lymbery, A.J. (2000) Genetic improvement in the Australian Aquaculture industry. *Aquaculture Research*, **31**: 145-149.
- Mari, G.C. (2002) Domestication and brookstock management-implications for long-term quality of cultured stocks. *Global Aquaculture Advocate*, **5**: 39-42.
- Mgaya, Y.D. (2000) A quantitative genetic analysis of juvenile growth for the abalone *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *In*: recent advances in marine biotechnology. Fingerman, M., Nagabhushanam, R. (Eds.), Science Publishers, pp. 59-73.
- Ministry of Maritime Affairs and Fisheries. (1998) Statistical year book of maritime affairs and fisheries. pp. 979-1132. Ministry of Maritime Affairs and Fisheries Publishing. Seoul.
- Misztal, I. (1990) Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer. *Journal of Dairy Science*, **73**: 163.
- Olesen, I., Gjedrem, T., Bentsen, H.B., Gjerde, B. and Rye, M. (2003) Breeding Programs for Sustainable Aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, **13**: 179-204.
- Yang, S.G. (2007) Genetic diversity and evaluation for selective breeding in pacific abalone, *Haliotis discus hannai*. Ph. D. thesis, University of Dong-eui.
- Ryu, S.K. (1979) coastal culture. publisher of Sero, pp. 309-368. Sero Publishing. Busan.
- Refstie, T. (1990) Application of breeding schemes. *Aquaculture*, **85**: 163-169.
- Schaeffer, L.R. and Wilton, J.W. (1981) Comparison of single and multiple trait beef sire evaluations. *Canadian Journal of Animal Science*, **61**: 565.
- Zheng, H., Zhang, G., Liu, X. and Guo, X. (2006) Sustained response to selection in an introduced population of the hermaphroditic bay scallop *Argopecten irradians irradians* Lamarck (1819). *Aquaculture*, **255**: 579-585.