

# 육종가 기반 북방전복(*Haliotis discus hannai*) 성장형질의 유전적 개량량 추정

박종원\* · 박철지 · 이다인 · 정효선 · 김혜진 · 김주란 · 김우진

국립수산과학원 육종연구센터

## Estimation of Genetic Improvement Based on the Breeding Values of Growth Traits of the Abalone *Haliotis discus hannai*

Jong-Won Park\*, Choul-Ji Park, Dain Lee, Hyo Sun Jung, Hyejin Kim, Julian Kim and Woo-Jin Kim

Genetics and Breeding Research Center, National Institute of Fisheries Science, Geoje 53334, Korea

This study was conducted to estimate the genetic improvements by selection criteria using the genetic parameters and breeding values for population of abalone *Haliotis discus hannai*. Genetic parameters and breeding values were estimated using all measurement data of growth traits (shell length, shell width and total weight) at 18 and 30 months old after artificial fertilization for 3,029 individuals produced in April 2014. Growth traits all exhibited moderate heritability (0.253-0.354). So it is considered that family selection will be more advantageous than individual selection. It was found that a higher genetic improvement could be expected when selecting the top 10% based on the breeding values of total weight rather than other traits. In particular, a higher genetic improvement could be expected when selecting the top 10% at 30 months old than 18 months old after artificial fertilization. This seems to be because the selection differential and heritability were higher at the 30 months old. Therefore, by estimating genetic parameters and breeding values of a population for production of the next generations by stage of growth, if they are used properly in selection and mating according to the improvement direction, it is considered that more breeding effects can be expected.

Keywords: Genetic improvement, Heritability, Growth traits, Selection, Abalone

### 서론

우리나라의 전복 양식에 관한 연구는 1960년대 북방전복 종묘생산 연구를 시작으로 전복 증식, 산란유발자극, 수정률, 유생 발생 및 치패 생존율 등에 관한 다양한 연구를 수행해 오면서 전복 종묘의 대량생산체제 기술을 확립하게 되었다(NFRDI, 2008). 전 세계적으로 전복은 약 100여종이 알려져 있으며, 우리나라에는 둥근전복(*Haliotis discus*), 말전복(*Haliotis gigantea*), 왕전복(*Haliotis madaka*), 오분자기(*Haliotis diversicolor aquatilis*) 그리고 북방전복(*Haliotis discus hannai*) 등이 서식하고 있다. 특히, 북방전복은 우리나라 전복의 대표 품종으로 전남지역을 중심으로 해상가두리 양식에 의해 주로 생산되고 있으며, 육상수조에서도 전복을 양식하는 곳도 있다(Jee et al.,

1988; Jeong et al., 1994). 그러나 북방전복은 부가가치가 높은 반면에 생태 특성상 한류성으로 3-4년의 비교적 양성 기간이 길어 출하상품까지 양식에 소요되는 시간과 비용을 줄일 필요가 있다. 이에 전복양식에 있어 성장 향상을 위한 여러가지 육종연구가 진행되고 있으며(Hara and Kikuchi, 1992; Vinna, 2002; Park et al., 2012b), 그 중에서 선발육종을 통한 생산성 향상에 관한 많은 연구도 진행되고 있다(Gjedrem, 1983, Argue et al., 2002; Gjerde et al., 2004; Lucas et al., 2006; Zheng et al., 2006; Park et al., 2013; Park et al., 2016). 일반적으로 어패류 등의 수산생물은 후대에 생산되는 자손 수가 많고 선발반응도 좋으며(Olesen et al., 2003), 성장형질에 대한 변동계수 또한 높아 육상동물보다 선발효과가 크다고 보고되어 있으며, 특히 전복의 각장, 각폭 및 중량과 같은 성장형질들은 생산성과 직

\*Corresponding author: Tel: +82. 55. 639. 5815 Fax: +82. 55. 639. 5809

E-mail address: dapowind@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0544>

Korean J Fish Aquat Sci 53(4), 544-550, August 2020

Received 6 July 2020; Revised 10 August 2020; Accepted 13 August 2020

저자 직위: 박종원(연구사), 박철지(연구관), 이다인(연구사), 정효선(연구사), 김혜진(연구사), 김주란(연구사), 김우진(연구관)

접적으로 관련이 있는 형질로서 후대를 생산하기 위한 선발에 이용하고 있다(Refstie, 1990). 어패류의 유전적 개량량 증가를 위한 일반적이고 가장 효과적인 방법이 선발육종이며, 이를 통해 개량 대상형질의 표현형 및 유전적 능력평가 결과를 이용하여 육종효과를 예측하고 있다(Argue et al., 2002; Gjerde et al., 2004; Zhen et al., 2006; Choe et al., 2009). 선발에 의해 기대되는 후대의 유전적 개량량은 선발의 정확도, 선발강도 및 그 집단 상가적 유전변이의 크기에 의해 결정된다. 선발육종의 주목적은 경제적으로 유용한 형질의 유전적 개량을 극대화시키는 것이며, 이를 위해서는 체계적인 선발과 계획 교배가 필요하다. 또한 성공적인 육종을 위해서는 먼저 유전적 다양성이 확보된 큰 집단이 만들어져야 하며, 친자확인을 통한 혈통자료를 이용하여 정확한 유전능력평가로 대상형질에 대한 유전모수 및 육종가를 추정하고 선발과 교배에 이용하는 기술도 중요하다(Su et al., 1996). 선발육종에 의한 유전적 개량은 육종가의 정확도에 따라 좌우되며, 육종가를 정확하게 추정하기 위해서는 먼저 모집단의 주요 경제형질에 대한 유전력 및 유전상관 등의 유전모수 추정이 선행되어야 한다. 이에 본 연구는 우리나라 주요 양식 품종인 북방전복의 모집단에 대한 유전모수와 육종가를 바탕으로 후대 생산을 위한 모패의 선발 기준 및 선발 시기에 따른 기대되는 유전적 개량량을 추정하여 전복 집단의 유전적인 성장능력 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에서는 2014년에 생산된 북방전복을 대상으로 수정 후 18개월 및 30개월째 성장형질인 각장, 각폭 및 중량에 대한 유전모수 및 개체별 육종가 추정을 위해 친자확인 된 228가계의 총 3,029마리를 이용하였다. 집단의 유전적 다양성을 유지하기 위해 microsatellite DNA (deoxyribonucleic acid) 마커를 이용하여 유전적 유연관계를 분석하고 총 666개의 교배지침을 수립하여 암수 1:1 교배로 생산되었다. 생산시기에 따른 오차를 줄이기 위해 모패의 산란 및 수정을 동시에 실시하였고, 환경요인을 최소화하기 위해 최대한 동일한 사육수조 환경에서 사육

하였다. 수정 후 18개월째에 성장형질을 측정하고 개체 식별을 위한 전자칩을 패각에 부착하였으며, 30개월째에서도 동일한 개체를 대상으로 성장형질을 측정하였다. 성장형질 측정은 정밀도가 높은 디지털 기기를 이용하여 각장과 각폭은 0.01 mm 단위, 중량은 0.01 g 단위로 하여 각 개체별로 측정하였다. 유전모수 및 육종가 추정에 있어서 자료의 이상치 제거를 위해 표준편차의 ±3배의 자료와 암수 구분이 불분명한 개체 그리고 유전적 친자 확인이 불가능한 개체는 분석에서 제외하였다.

### 통계분석방법

조사된 각 형질에 대한 성별 등분산성에 대한 t-검정을 실시한 결과 분산이 같지 않다는 결과를 보여 각장, 각폭 및 중량에 대한 성의 효과를 추정하기 위해 SAS Package의 GML (general linear model)으로 분산분석을 실시하였으며, 최소자승평균기간의 유의성 검정을 위해  $H_0: LSM(i) = LSM(j)$ 와 같은 귀무가설을 유의수준 5%로 Pairwise T 검정을 실시하였다. 여기서, LSM (i)와 LSM (j)는 각각 i와 j ( $i \neq j$ )번째 효과의 최소자승평균치이다. 성장형질에 대한 유전모수 및 각 개체별 육종가를 추정하기 위해 성을 고정효과로 처리하였으며, EM-REML (expectation maximization-restricted maximum likelihood) 알고리즘을 전산 프로그램화한 REMLF90 (Miszta, 1990)을 이용하여 최적선형불편예측법(best linear unbiased prediction, BLUP)에 의해 다음과 같은 다형질 개체모형(Henderson and Quass, 1976)을 이용하였다.

$$Y_{ijk} = u_i + Sex_{ij} + a_{ijk} + e_{ijk}$$

여기서,  $Y_{ijk}$ 는 i번째 형질에서 j번째 성에 속하는 k번째 개체에 대한 측정치,  $u_i$ 는 i번째 형질의 전체 평균,  $Sex_{ij}$ 는 i번째 형질의 j번째 성의 효과( $j=1, 2$ ),  $a_{ijk}$ 는 개체에 대한 임의효과  $N(0, G)$  그리고  $e_{ijk}$ 는 임의오차  $N(0, R)$ 이다. G와 R은 각각 상가적 유전분산과 잔차분산이며, G는 추정된 값이 지역 최대값(local maximum)으로 수렴하는 것을 방지하기 위하여 최종적으로 구해진 추정치를 시작 값으로 하여 그 차이가  $10^{-9}$  이하로 되는 경우를 수렴 값으로 결정하였다. 구해진 분산-공분산 값을 이용하여 상가적 유전분산  $\sigma_a^2$ 와 잔차(환경)분산  $\sigma_e^2$ 에 의한 유전력

Table 1. Overall means, standard deviations (STD) and coefficient of variation (CV) for growth traits at 18 and 30 months old

Item	SL18 <sup>1</sup> (mm)	SW18 <sup>2</sup> (mm)	TW18 <sup>3</sup> (g)	SL30 <sup>4</sup> (mm)	SW30 <sup>5</sup> (mm)	TW30 <sup>6</sup> (g)
Means±STD	61.01±3.76	41.06±2.60	26.10±5.14	84.04±6.40	55.36±4.05	67.96±15.6
Maximum	76.85	52.91	55.33	107.11	69.80	147.94
Minimum	49.43	32.03	14.72	59.23	39.72	21.85
Kurtosis	0.43	0.50	1.45	0.25	0.35	0.53
Skewness	0.53	0.54	1.00	-0.17	0.00	0.35
CV (%) <sup>7</sup>	6.17	6.32	19.76	7.41	6.93	20.95

<sup>1</sup>Shell length at 18 months old. <sup>2</sup>Shell width at 18 months old. <sup>3</sup>Total weight at 18 months old. <sup>4</sup>Shell length at 30 months old. <sup>5</sup>Shell width at 30 months old. <sup>6</sup>Total weight at 30 months old. <sup>7</sup>CV=(STD/mean)×100.

$h^2$  계산은 다음과 같이 하였다(Groeneveld and Kovac, 1990).

$$h^2 = \frac{\widehat{\sigma}_a^2}{\widehat{\sigma}_a^2 + \widehat{\sigma}_e^2}$$

집단의 확률분포에 대한 정규성 검정(Normality test)을 위해 SAS Package의 Univariate Procedure (SAS, Cary, NC, USA)를 이용하였으며, 조사된 각 형질 간의 표현형 상관계수 및 유전 상관계수는 아래와 같은 공식을 이용하였다.

$$r_p = \frac{COV_{p(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{p(i)}^2 \times \sigma_{p(j)}^2}}, (i \neq j), \quad r_G = \frac{COV_{a(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{a(i)}^2 \times \sigma_{a(j)}^2}}, (i \neq j)$$

여기서,  $\sigma_p^2$ 와  $\sigma_a^2$ 는 각각 표현형 분산과 상가적 유전분산이며,  $COV_{p(i,j)}$ 와  $COV_{a(i,j)}$ 는 각각  $i$ 와  $j$ 간의 표현형 공분산 및 유전 공분산이다. 선발차는 선발한 집단의 평균-모집단의 평균, 유전적 개량량은 유전력  $\times$  선발차로 계산하였다.

### 결과 및 고찰

본 연구에서 이용된 북방전복 모집단의 수정 후 18개월째 성장형질에 대한 표현형의 전체 평균은 각장, 각폭 및 중량이 각각 61.01 mm, 41.06 mm 및 26.10 g로 조사되었으며, 각 형질의 최대값과 최소값은 각장의 경우 76.85 mm 및 49.43 mm, 각폭은 52.91 mm 및 32.03 mm 그리고 중량은 55.33 g 및 14.72 g이었다. 수정 후 30개월째 성장형질에 대한 전체 평균은 각장, 각폭 및 중량이 각각 84.04 mm, 55.36 mm 및 67.96 g로 나타났고, 최대값과 최소값은 각장의 경우 107.11 mm 및 59.23 mm, 각폭은 69.80 mm 및 39.72 mm 그리고 중량은 147.94 g 및 21.85 g이었다. 수정 후 18개월째 각장, 각폭 및 중량의 표현형 변동계수(coefficient of variation)는 각각 6.17%, 6.32% 및 19.76% 그리고 30개월째의 경우 각각 7.41%, 6.93% 및 20.95%로 조

사되었으며, 중량이 다른 두 형질에 비해서 자료의 변이가 가장 크게 나타났다(Table 1). 이와 같은 결과는 적정 수온, 양질의 먹이 및 수질 등 최적의 사육환경이나 조건에서의 성장과는 다소 차이가 있으며, 본 연구에 이용된 북방전복은 양식현장과 최대한 유사한 환경에서 사육하여 집단의 유전적 다양성을 유지하기 위한 계획 교배에 의한 결과로 사료된다. 변동계수는 자료 또는 확률분포의 산포를 측정하는 표준화된 측도이며, 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)라고 하기도 한다. 변동계수는 측정 단위가 다른 자료들의 상대적 변동성을 비교하는데 용이하며, 그 값이 작을수록 평균에 가깝게 분포하고 있다는 것을 의미한다(Park et al., 2013).

본 연구에서 조사된 북방전복 모집단의 수정 후 18개월 및 30개월째 성장형질에 영향을 미치는 성(sex)의 효과를 추정하기 위해 성을 고정효과로 처리하고 분산분석을 실시한 결과 수정 후 18개월 및 30개월째 각장, 각폭 및 중량의 모든 형질에 있어서 고도의 유의성( $P < 0.001$ )이 인정되었다(Table 2).

Table 3에는 조사된 각 형질의 성의 효과에 대한 최소제곱 평균과 그 표준오차를 나타내었다. 수정 후 18개월째에 있어서 각장의 경우 암컷이 61.27 mm로 수컷의 60.76 mm에 비해 0.51 mm 길었으며, 각폭은 암컷이 41.28 mm로 수컷의 40.88 mm에 비해 0.40 mm 길게 나타났다. 중량의 경우 암컷이 26.40 g로 수컷의 25.62 g보다 0.78 g이 더 무거웠다. 수정 후 30개월째 성장에 있어서 각장의 경우 암컷이 84.56 mm 그리고 수컷이 83.34 mm으로 암컷이 1.22 mm 더 길었으며, 각폭은 암컷이 55.76 mm 그리고 수컷이 54.90 mm로 암컷이 0.86 mm 더 길었다. 중량의 경우 암컷이 70.08 g로 수컷의 65.27 g보다 4.81 g 더 무겁게 나타났다.

이와 같이 본 연구에서 조사된 북방전복의 수정 후 18개월 및 30개월째에서 모든 성장형질은 수컷보다 암컷이 유의적으로 크게 나타났다(Table 3). Park et al. (2016)은 수정 후 30개월째

Table 2. Source of the variation, degree of freedom, mean squares and test of significance for growth traits at 18 and 30 months old

Source	df <sup>1</sup>	SL18 <sup>2</sup>	SW18 <sup>3</sup>	TW18 <sup>4</sup>	SL30 <sup>5</sup>	SW30 <sup>6</sup>	TW30 <sup>7</sup>
Sex	1	189.7*	142.9*	454.5*	1114.7*	554.2*	17300.6*
Error	3027	14.1	6.71	26.2	40.6	16.2	239.9

<sup>1</sup>Degree of freedom. <sup>2</sup>Shell length at 18 months old. <sup>3</sup>Shell width at 18 months old. <sup>4</sup>Total weight at 18 months old. <sup>5</sup>Shell length at 30 months old. <sup>6</sup>Shell width at 30 months old. <sup>7</sup>Total weight at 30 months old. \*High significance ( $P < 0.001$ ).

Table 3. Least-square means and standard errors of growth traits at 18 and 30 months old

Sex	SL18 <sup>1</sup> (mm)	SW18 <sup>2</sup> (mm)	TW18 <sup>3</sup> (g)	SL30 <sup>4</sup> (mm)	SW30 <sup>5</sup> (mm)	TW30 <sup>6</sup> (g)
Female	61.27 <sup>a</sup> ±0.09	41.28 <sup>a</sup> ±0.06	26.40 <sup>a</sup> ±0.12	84.56 <sup>a</sup> ±0.15	55.76 <sup>a</sup> ±0.09	70.08 <sup>a</sup> ±0.38
male	60.76 <sup>b</sup> ±0.10	40.85 <sup>b</sup> ±0.07	25.62 <sup>b</sup> ±0.14	83.34 <sup>b</sup> ±0.17	54.90 <sup>b</sup> ±0.11	65.27 <sup>b</sup> ±0.42

<sup>a, b</sup>Means in the same column with different letter are statistically significant at 5% level of significance. <sup>1</sup>Shell length at 18 months old. <sup>2</sup>Shell width at 18 months old. <sup>3</sup>Total weight at 18 months old. <sup>4</sup>Shell length at 30 months old. <sup>5</sup>Shell width at 30 months old. <sup>6</sup>Total weight at 30 months old.

북방전복의 성별에 따른 성장형질 및 유전모수 추정에 있어서 각장, 각폭 및 중량의 모든 형질에 있어서 암컷이 수컷보다 유의적으로 높게 나타났고 보고하여 본 연구와 일치하였으며 이는 생물학적 성에 따른 성장 차이가 있음을 알 수 있다.

성장형질과 같이 경제형질에 대한 유전모수, 유전력 및 육종가의 추정치는 시대, 대상, 집단, 사육관리 및 추정방법 등에 의해 매우 다양하게 나타나며, 특히 유전력은 대상 형질의 선발 반응을 예측하고 선발 방법을 결정할 뿐만 아니라 향후 육종계획을 수립하는데 매우 중요한 기초 자료로 활용된다. 표현형은 유전과 환경의 상호작용에 의해 나타나는데 유전의 영향을 많이 받는 형질이 있는 반면에 환경의 영향을 많이 받는 형질이 있으며, 형질들의 변이를 일으키는데 있어서 유전과 환경의 상대적인 비중을 유전력으로 나타낼 수 있다. 일반적으로 유전력의 범위는 0-1이며, 0.2 이하를 저도의 유전력, 0.2-0.4의 범위는 중도의 유전력 그리고 0.4 이상의 범위를 고도의 유전력이라고 한다. 보통 유전력이 낮을 경우 가계선발이 유리하고 유전력이 높을 경우 개체선발을 하는 것이 유리하다. 유전력이 낮은 형질에 있어서는 개체 간의 차이가 주로 환경요인에 의하여 나타나며

로 개체의 표현형에만 근거하여 유전자형을 정확하게 추정하기 어렵기 때문이다.

Choe et al. (2009)은 9개월령 북방전복에 있어서 각장, 각폭 및 중량의 유전력이 각각 0.29, 0.29 및 0.31로 중도의 유전력을 보고하였고, Lucas et al. (2006)은 microsatellite에 의한 친자 확인법을 이용하여 개체모형으로 유전모수를 추정한 결과 각장, 각폭 및 중량의 유전력을 각각 0.48, 0.38 및 0.36으로 보고한 바 있다. 본 연구에서 조사된 북방전복의 수정 후 18개월 및 30개월째 성장형질에 대한 유전분산 및 환경분산에 따른 유전력을 추정한 결과 0.253-0.354의 중도의 유전력을 나타내어 개체선발보다는 가계선발을 하는 것이 선발효과가 더 좋을 것으로 사료된다(Table 4).

수정 후 18개월 및 30개월째에서 각 성장형질 간의 유전 상관 및 표현형 상관계수를 Table 5와 Table 6에 각각 나타내었다. 18개월째 각 성장형질 간의 표현형 상관계수는 0.905-0.923으로 나타났고, 유전 상관계수의 경우 0.953-0.957의 범위로 매우 강한 정의 상관관계를 보였다. 30개월째의 경우 표현형 상관계수는 0.916-0.929로 나타났고, 유전 상관계수는 0.906-0.913의 범

Table 4. Heritability ( $h^2$ ), additive genetic variance ( $\sigma_a^2$ ) and environmental variance ( $\sigma_e^2$ ) of growth traits at 18 and 30 months old

Item	SL18 <sup>1</sup>	SW18 <sup>2</sup>	TW18 <sup>3</sup>	SL30 <sup>4</sup>	SW30 <sup>5</sup>	TW30 <sup>6</sup>
$\sigma_a^2$	8.393	3.852	13.47	12.29	5.706	82.33
$\sigma_e^2$	24.81	10.93	34.35	28.28	10.44	171.5
$h^2$	0.253	0.261	0.282	0.303	0.354	0.324

<sup>1</sup>Shell length at 18 months old. <sup>2</sup>Shell width at 18 months old. <sup>3</sup>Total weight at 18 months old. <sup>4</sup>Shell length at 30 months old. <sup>5</sup>Shell width at 30 months old. <sup>6</sup>Total weight at 30 months old.

Table 5. Genetic and phenotypic correlations among growth traits at 18 months old<sup>1</sup>

Traits	SL18 <sup>2</sup>	SW18 <sup>3</sup>	TW18 <sup>4</sup>
SL18		0.915	0.923
SW18	0.957		0.905
TW18	0.958	0.953	

<sup>1</sup>Genetic correlations are below diagonal and phenotypic correlations are above diagonal. <sup>2</sup>Shell length at 18 months old. <sup>3</sup>Shell width at 18 months old. <sup>4</sup>Total weight at 18 months old.

Table 6. Genetic and phenotypic correlations<sup>1</sup> among growth traits at 30 months old<sup>1</sup>

Traits	SL30 <sup>2</sup>	SW30 <sup>3</sup>	TW30 <sup>4</sup>
SL30		0.916	0.929
SW30	0.906		0.918
TW30	0.923	0.917	

<sup>1</sup>Genetic correlations are below diagonal and phenotypic correlations are above diagonal. <sup>2</sup>Shell length at 30 months old. <sup>3</sup>Shell width at 30 months old. <sup>4</sup>Total weight at 30 months old.

Table 7. Phenotypic correlation among growth traits at 18 and 30 months old

Traits	SL30 <sup>4</sup>	SW30 <sup>5</sup>	TW30 <sup>6</sup>
SL18 <sup>1</sup>	0.663	0.677	0.660
SW18 <sup>2</sup>	0.614	0.723	0.652
TW18 <sup>3</sup>	0.609	0.661	0.682

<sup>1</sup>Shell length at 18 months old. <sup>2</sup>Shell width at 18 months old. <sup>3</sup>Total weight at 18 months old. <sup>4</sup>Shell length at 30 months old. <sup>5</sup>Shell width at 30 months old. <sup>6</sup>Total weight at 30 months old.

Table 8. Breeding value, standard deviations (STD) and coefficient of variation (CV) for growth traits at 18 and 30 months old

Item	SL18 <sup>1</sup> (mm)	SW18 <sup>2</sup> (mm)	TW18 <sup>3</sup> (g)	SL30 <sup>4</sup> (mm)	SW30 <sup>5</sup> (mm)	TW30 <sup>6</sup> (g)
Means±STD	0.66±1.96	0.45±1.34	0.89±2.46	0.71±2.55	0.54±1.79	1.49±5.77
Maximum	8.60	6.30	13.22	8.79	6.47	19.46
Minimum	-5.11	-3.22	-5.17	-7.83	-4.37	-15.96
CV (%)	296.97	297.78	276.40	359.15	331.48	387.25

<sup>1</sup>Shell length at 18 months old. <sup>2</sup>Shell width at 18 months old. <sup>3</sup>Total weight at 18 months old. <sup>4</sup>Shell length at 30 months old. <sup>5</sup>Shell width at 30 months old. <sup>6</sup>Total weight at 30 months old.

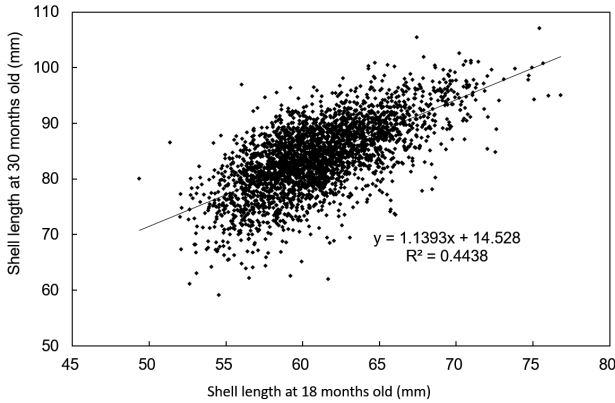


Fig. 1. Correlation for growth of shell length at 18 and 30 months old by regression analysis.

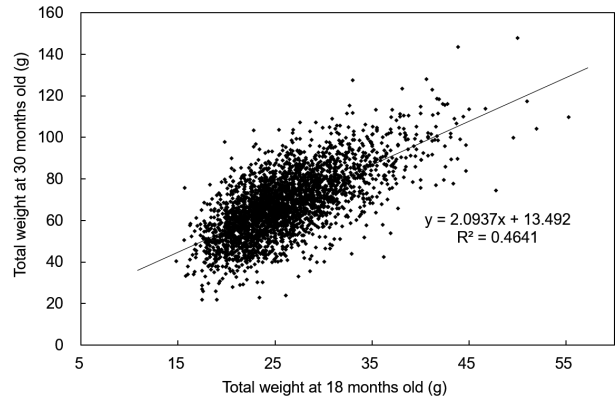


Fig. 2. Correlation for growth of total weight at 18 and 30 months old by regression analysis.

위로 나타났다. 이처럼 성장형질 간의 상관계수는 모두 강한 정도의 상관관계에 있으므로 한 형질의 개량만으로 다른 두 형질의 개량 효과를 동시에 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 7에는 수정 후 18개월째 성장과 30개월째의 성장 간의 표현형 상관계수를 나타내었다. 그 결과를 살펴보면 18개월째 각장과 30개월째 각장의 상관계수가 0.663, 18개월째 각폭과 30개월째 각폭의 상관계수가 0.723 그리고 18개월째 중량과 30개월째 중량의 상관계수가 0.682로 비교적 약한 정도의 상관관계를 보였는데 이는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 18개월째에서 동일한 크기의 개체들이 1년 후인 30개월째에서 서로 다른 성장 차이를 보여 성장과정에서 개체 또는 가계 간의 성장 역전현상이 일부 나타났음을 알 수 있었다.

본 연구에서 추정된 유전모수를 이용하여 수정 후 18개월 및 30개월째의 성장형질에 대한 각 개체별 육종가를 추정한 결과 18개월째의 각장, 각폭 및 중량에 대한 육종가 평균은 각각 0.66 mm, 0.45 mm 및 0.89 g로 나타났고, 최대값과 최소값은 각장의 경우 8.60 mm 및 -5.11 mm, 각폭이 6.30 mm 및 -3.22 mm 그리고 중량의 경우 13.22 g 및 -5.17 g이었다. 30개월째의 각장, 각폭 및 중량에 대한 육종가 평균은 각각 0.71 mm, 0.54 mm 및 1.49 g로 나타났고, 최대값과 최소값은 각장의 경우 8.79 mm 및 -7.83 mm, 각폭은 6.47 mm 및 -4.37 mm 그리고 중량의 경우 19.46 g 및 -15.96 g로 나타났다(Table 8). Yang (2007)은 수정 후 21개월째 북방진복의 성장형질에 대한 육종가를 추정하였는데 각장은 -18.2~18.3 mm, 각폭은 -11.9~12.3 mm 그리고 중량은 -31.9~35.8 g로 나타나 본 연구 결과와 같이 개체 간의 다양한 유전적 변이를 보였다고 보고하였다.

Table 9에는 수정 후 18개월 및 30개월째에서 각장 육종가 및 중량 육종가를 기준으로 각각 상위 10%를 선발할 때 기대되는 유전적 개량량을 나타내었다. 수정 후 18개월째에서 각장 육종가를 기준으로 선발된 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 63.60 mm, 42.79 mm 및 29.38 g이었으며, 예측되는 후대 집

단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 64.26 mm, 43.24 mm 및 30.30 g로 각각 1.02%, 1.03% 및 3.13%의 선발효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 수정 후 18개월째에서 중량 육종가를 기준으로 선발된 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 63.93 mm, 43.15 mm 및 30.70 g이었으며, 예측되는 후대 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 64.67 mm, 43.70 mm 및 32.00 g로 각각 1.16%, 1.27% 및 4.23%의 선발효과가 있는 것으로 나타났다.

Table 9. Genetic improvement when selecting the top 10% for breeding value of shell length and total weight at 18 and 30 months old

Criteria <sup>1</sup>	Traits <sup>2</sup>	Means	Sel.D. <sup>3</sup>	IPT <sup>4</sup>	PV <sup>5</sup>	Effect
SL_BV	SL18 (mm)	63.60	2.59	0.66	64.26	1.02%
	SW18 (mm)	42.79	1.73	0.45	43.24	1.03%
	TW18 (g)	29.38	3.28	0.92	30.30	3.13%
	SL30 (mm)	92.28	8.24	2.50	94.78	2.71%
	SW30 (mm)	60.55	5.19	1.84	62.39	3.04%
TW_BV	TW30 (g)	86.15	18.19	5.89	92.04	6.84%
	SL18 (mm)	63.93	2.92	0.74	64.67	1.16%
	SW18 (mm)	43.15	2.09	0.55	43.70	1.27%
	TW18 (g)	30.70	4.60	1.30	32.00	4.23%
	SL30 (mm)	92.79	8.75	2.65	95.44	2.86%
	SW30 (mm)	61.38	6.02	2.13	63.51	3.47%
	TW30 (g)	91.47	23.51	7.62	99.09	8.33%

<sup>1</sup>SL\_BV, when selecting the top 10% for breeding value of shell length; TW\_BV, when selecting the top 10% for breeding value of total weight. <sup>2</sup>SL18, shell length at 18 months old; SW18, shell width at 18 months old; TW18, total weight at 18 months old; SL30, shell length at 30 months old; SW30, shell width at 30 months old; TW30, total weight at 30 months old. <sup>3</sup>Selection differential. <sup>4</sup>Genetic improvement. <sup>5</sup>Predictive value (mean).

그리고 수정 후 30개월째에서 각장 육중가를 기준으로 선발된 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 92.28 mm, 60.55 mm 및 86.15 g이었으며, 예측되는 후대 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 94.78 mm, 62.39 mm 및 92.04 g로 각각 2.71%, 3.04% 및 6.84%의 선발효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 수정 후 30개월째 중량 육중가를 기준으로 선발할 경우 선발된 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 92.79 mm, 61.38 mm 및 91.47 g이었으며, 예측되는 후대 집단의 평균 각장, 각폭 및 중량은 각각 95.44 mm, 63.51 mm 및 99.09 g로 각각 2.86%, 3.47% 및 8.33%의 선발효과가 있는 것으로 나타났다. 이처럼 수정 후 18개월 및 30개월째 모두 중량 육중가를 기준으로 상위 10%를 선발할 때가 각장 육중가 기준으로 선발할 때보다 각장, 각폭 및 중량의 세 형질 모두 다소 높은 유전적 개량량을 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

특히, 수정 후 18개월째보다 30개월째에서 상위 10%를 선발할 때 더 높은 유전적 개량량을 기대할 수 있는 것으로 나타났는데, 이는 18개월째보다 30개월째에서의 선발차와 유전력이 더 높았기 때문인 것으로 판단되며, 후대 생산을 위한 모패 선발 시 수정 후 18개월째보다는 30개월째에서의 중량 육중가를 기준으로 모패를 선발하는 것이 더 유리할 것으로 사료된다. 본 연구와 유사한 연구를 살펴보면 Cheo et al. (2008)은 12개월령 북방전복을 대상으로 성장형질 육중가를 추정하여 선발강도에 따른 선발효과를 추정하였는데 선발강도 5-30%의 범위에서 각장이 9.2-14.9% 그리고 중량은 22.2-32.3%로 예측되었으며, 중량의 개량효과가 각장에 비해 상대적으로 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 Park et al. (2012b)에 의하면 선발 2세대의 31개월째 북방전복을 대상으로 선발반응을 추정한 결과 약 5%의 선발강도에서 각장, 각폭 및 중량이 각각 6.96 mm (9.6%), 4.47 mm (9.5%) 및 12.93 (26.1%)의 유전적 개량량을 보고하였으며, Cheo et al. (2009)은 9개월령 북방전복을 대상으로 선발효과를 예측한 결과 선발강도 5%에서 각장 및 중량이 각각 12.72% 및 34.26%, 선발강도 40%에서는 각각 8.62% 및 24.87%의 효과가 있는 것으로 보고하였다. 그리고 Hara and Kikuchi (1992)는 북방전복을 대상으로 각장의 경우 63%의 개량을 나타내었다고 보고하였으며, Lucas et al. (2006)은 열대전복(*Tropical abalone Haliotis asinina*)을 대상으로 선발강도 5%에서 세대당 25%의 유전적 개량의 효과를 보고한 바 있다. 이와 같이 선발강도가 높을수록 예측되는 유전적 개량량도 높아지는 데 너무 높은 선발강도를 유지할 경우 세대를 거듭할수록 유전자 빈도가 변하고 더불어 표현형 변이가 줄어들 수 있다 (Flaconer and Mackay, 1996). 이러한 현상을 방지하기 위해서는 집단의 유전적 다양성을 유지하면서 근친화를 최소화하는 것이 필요하다(Park et al., 2012a).

본 연구결과를 미루어 볼 때 유전적 개량량을 크게 하는 방법은 우선 개량하고자 하는 형질에 대한 유전력을 높여야 하며, 모집단과 선발된 집단 간의 선발차를 크게 하는 것이다. 모집단으

로부터 모패의 선발비율을 줄여 선발강도를 높일 수록 유전적 개량량은 커지며, 개량 속도도 빨라지게 되지만 선발되는 모패의 비율은 후대 생산을 위해서 적절한 비율의 개체 수가 확보되어야 하기 때문에 모집단에 속해 있는 개체들의 변이가 큰 것이 중요하다. 전복은 오랜 기간 양성을 필요로 하는 특성상 성장률 향상을 위한 지속적인 선발 육종연구가 무엇보다 필요하며, 각 성장형질에 대한 유전능력을 평가하고 추정된 유전모수와 육중가를 바탕으로 개량 방향에 맞추어 선발과 교배에 적절히 이용한다면 더욱 높은 육종효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산과학연구소(R2020001)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Argue BJ, Arce SM, Lotz JM and Moss SM. 2002. Selective breeding of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) for growth and resistance to taura syndrome virus. *Aquaculture* 204, 447-460. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00830-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00830-4).
- Choe MK, Han SJ, Yang SG, Won SH, Park CJ and Yeo IK. 2008. Estimation of genetic parameter for growth-related traits in 1-year old of two Korean abalone subspecies, *Haliotis discus hannii* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. *Korean J Malacol* 24, 121-130.
- Choe MK, Yang SG, Won SH, Park CJ, Han SJ and Yeo IK. 2009. Estimation of genetic parameters for growth-related traits in 9-month old of two Korean abalone subspecies *Haliotis discus hannii* and *H. discus discus*, by using multiple traits of animal model. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 591-599. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.6.591>.
- Flaconer DS and Mackey TFC. 1996. Introduction to quantitative genetics. Prentice hall, New York, NY, U.S.A.
- Groeneveld E and Kovac M. 1990. A note on multiple solutions in multivariate restricted maximum likelihood covariance component estimation. *J Dairy Sci* 73, 2221-2229. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78902-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78902-3).
- Gjerde B, Terjesen BF, Barr Y, Lein I and Thorland I. 2004. Genetic variation for juvenile growth and survival in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquaculture* 236, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.03.004>.
- Gjedrem T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. *Aquaculture* 33, 51-72. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90386-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90386-1).
- Hara M and Kikuchi S. 1992. Increasing growth rate of abalone *Haliotis discus hannai*, using selection techniques. NOAA Technical report 106, 21-26.
- Henderson CR and Quass RL. 1976. Multiple trait evaluation using relative's record. *J Aim Sci* 43, 1188-1197. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90386-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90386-1).

- org/10.2527/jas1976.4361188x.
- Jee YJ, Yoo SK, Rho S and Kim SH. 1988. The stocking density and growth of young abalone *Haliotis discus hannai* Ino clutured in the hanging net cage. Bull Nat Fish Res Dev Agency 42, 59-69.
- Jeong SC, Jee YJ and Son PW. 1994. Indoor tank culture of the abalone *Haliotis discus hannai* II. Effects of diets on growth of young abalone. J Aquacult 7, 77-87.
- Lucas T, Macbeth M, Degnan SM, Knibb W and Degnan BM. 2006. Heritability estimates for growth in the tropical abalone *Haliotis asinina* using microsatellites to assign parentage. Aquaculture 259, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.039>.
- Misztal I. 1990. Restricted maximum likelihood estimation of variance components in animal model using sparse matrix inversion and a supercomputer. J Dairy Sci 73, 163-172. [https://doi.org/10.3186/jds.S0022-0302\(90\)78660-2](https://doi.org/10.3186/jds.S0022-0302(90)78660-2).
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2008. Standard manual of abalone culture. NFRDI, Busan, Korea.
- Olesen I, Gjedrem T, Bentsen HB, Gjerde B and Rye M. 2003. Breeding programs for sustainable aquaculture. J Appl Aquaculture 13, 179-204. [https://doi.org/10.1300/J028v13n03\\_01](https://doi.org/10.1300/J028v13n03_01).
- Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Park JW, Hwang IJ and Kim SY. 2012a. Growth of Pacific abalone *Haliotis discus hannai* using selection breeding techniques. Korean J Malacol 28, 343-347. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.4.343>.
- Park JW, Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Hwang IJ and Kim SY. 2012b. The estimation of selection response for growth traits in 31-months old of pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Korean J Malacol 28, 335-342. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.4.335>.
- Park JW, Park CJ, Lee JH, Noh JK, Kim HC, Hwang IJ and Kim SY. 2013. Estimation of Family Variation and Genetic Parameter for Growth Traits of Pacific Abalone *Haliotis discus hannai* on the 3th Generation of Selection. Korean J Malacol 29, 325-334. <https://doi.org/10.9710/kjm.2013.29.4.325>.
- Park CJ, Park JW, Kim BR, Jeong KH, Kim YJ, Son YS and Kim KK. 2016. Estimation of genetic parameter and growth traits by sex of pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Korean J Malacol 32, 249-254. <https://doi.org/10.9710/kjm.2016.32.4.249>.
- Refstie T. 1990. Application of breeding schemes. Aquaculture 85, 163-169. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90015-F](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90015-F).
- Su GS, Liljedahl LE and Gall GAE. 1996. Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Aquaculture 144, 71-80. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01306-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01306-3).
- Vinna MT. 2002. Abalone aquaculture, an overview. World Aquacult 33, 34-39.
- Yang SG. 2007. Genetic diversity and evaluation for selective breeding in pacific abalone *Haliotis discus hannai*. Ph. D. thesis, University of Dong-eui, Busan, Korea.
- 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. <https://10.1016/j.aquaculture.2005.11.037>.