

## 다형질 Animal Model에 의한 한국재래계의 주요 경제형질의 유전모수 추정

상병돈 · 최철환 · 김학규 · 나재천 · 김상호 · 송치은 · 정행기 · 상병찬<sup>1</sup> · 한성욱<sup>1</sup>

축산기술연구소 대전지소, <sup>1</sup>충남대학교 동물자원학부

### Estimation of Genetic Parameters for Economic Traits in Korean Native Chicken Using Multiple Trait Animal Model

B. D. Sang, C. H. Choi, H. K. Kim, J. C. Na, S. H. Kim, C. E. Song,

H. K. Chung, B. C. Sang<sup>1</sup> and S. W. Han<sup>1</sup>

Daejeon Branch Institute, National Livestock Research Institute, Gyesan-dong 253, Yusung-Gu, Daejeon, Korea, 305-365

<sup>1</sup> Division of Animal Resources and Science, Chungnam National University

**ABSTRACT** : This study was conducted to estimate the general production performance, heritabilities, and genetic and phenotypic correlations on several economic traits by multiple trait animal model in Korean native chicken. The data were collected from the records of 5,192 pullets produced from 2,029 dams and 250 sires in Daejeon Branch, National Livestock Research Institute from April 10, 1994 to February 10, 1997. Body weights of Red Brown (RB), Yellow Brown (YB), Grey Brown (GB) and Black (B) strains were 1,649.9, 1,439.6, 1,455.6 and 1,575.3g at age of 150 days and 1,923.5, 1,689.6, 1,812.4 and 1,924.0g at age of 270 days, respectively. The ranges of coefficient of variation for body weight were 11.52 to 14.02 at age of 150 days and 12.82 to 14.59% at age of 270 days, respectively. The first eggs of RB, YB, GB and B strains were produced at 147.4, 146.5, 151.1 and 152.1 days, respectively, and the coefficients of variation were 7.80 to 8.41%. Egg weight at 270 days were 49.7, 47.6, 48.8 and 48.7 g for RB, YB, GB and B strains, and coefficients of variation were 6.99 to 7.94%. The number of eggs at age of 270 days were 75.8, 78.0, 76.7 and 68.8 for RB, YB, GB and B strains, respectively, and coefficient of variations were 23.87 to 29.89%. On heritability estimates in RB, YB, GB and B strains body weight were 0.40, 0.10, 0.09 and 0.57 for RB, YB, GB and B strains at age of 150 days, and 0.23, 0.09, 0.38 and 0.24 at age of 270 days were 0.39, 0.47, 0.60 and 0.62, and egg weights at 270 days and age at 1st egg were 0.36, 0.12, 0.38 and 0.26, number of egg production at 270 days were 0.44, 0.36, 0.58 and 0.49, respectively. The genetic correlation coefficients of body weight with the age of first egg, egg weight and number of egg production at 270days were  $-0.07\sim-0.67$ ,  $-0.24\sim-0.70$  and  $0.12\sim0.41$ , respectively ; age of first egg with number of egg production at 270days and egg weight were  $-0.75\sim-0.91$  and  $0.34\sim0.97$  ; and egg weight with number of egg production at 270days were  $0.18\sim0.68$ . The phenotypic correlation coefficients of body weight with at age of first egg, egg weight and number of egg production at 270days were  $-0.01\sim-0.74$ ,  $-0.04\sim-0.72$  and  $0.25\sim0.57$ ; age of first egg with number of egg production at 270days and egg weight were  $0.26\sim0.52$  and  $0.52\sim0.92$ , respectively; and egg weight with number of egg production at 270days were  $0.34\sim0.91$ .

(Key words : genetic parameter, animal model, heritabilities, genetic correlation)

## 서론

한국재래계는 우리 민족과 함께 오래 전부터 사육되어온 닭 품종의 고유한 특징을 갖고 있으며, 육질이 아주 양호하고 독특한 맛과 향을 갖고 있어 국민소득 및 생활수준의 향상에 따라 재래계를 찾는 경향이 높아지면서 재래닭을 선호하는 추세가 확산되고 있다. 최근 재래계의 급격한 수요증가와 계육의 수입자유화에 따른 재래계의 국제경쟁력 제고를 위한 경제형질에 대한 유전능력의 개량은 아주 시급한 실정

에 있다. 그러나 재래닭은 산란성과 산육성 등의 경제형질에 대한 개량도가 극히 낮아 앞으로 재래계의 유지보존 및 개량이 체계적이고 과학적으로 이루어져야 할 것이다.

재래계의 효율적인 유전능력의 개량을 위해서는 주요 경제형질인 산란능력과 산육능력에 대한 일반능력의 파악은 물론 선발 및 육종계획의 수립에 필수적인 정확한 유전모수의 추정이 절실히 요구되고 있다.

지금까지 닭의 효율적인 선발 및 개량을 위한 산란능력 및 산육능력에 대한 유전모수의 추정은 Lush (1948), Lerner 와 Cruder (1951), King과 Henderson (1954), Kinney 등

(1969), Hill 등 (1966) 및 McClung 등 (1976) 수많은 가금육종학자들이 이들 형질에 대해 보고한 바 있으며, 국내에서도 정선부 (1971), 상병찬 (1982), 여정수 (1981), 정선부 등 (1989) 및 한성욱 등 (1995)이 보고한 바 있다.

그러나, 이들 닭의 경제형질에 대한 유전모수 추정치는 품종이나 추정 대상집단 및 그 밖의 여러 환경요인에 의하여 많은 차이를 가져올 수 있으므로 보다 정확한 선발 및 육종계획을 수립하기 위해서는 개량하고자 하는 품종의 집단에 대한 주요 경제형질의 유전모수를 추정하여 이용하는 것이 보다 효율적인 유전적 개량이 이루어질 수 있다.

한편 닭의 주요 경제형질에 대한 유전모수의 추정을 부계반형매, 전형매 분석 및 부모에 대한 자식의 회귀분석에 의한 분석성분 추정에 의해 선발지수식 설정에 유전모수가 정확하지 않으면 선발의 정확도가 감소하여 선발효과를 감소시킬 수 있다. 최근에 제안된 최적선형불편예측법 (Best Linear Unbiased Prediction, BLUP)은 유전 및 환경적 영향을 불편 추정할 수 있고, 선발에 의한 편익과 동류교배의 효과를 설명할 수 있는 애니멀모델 (animal model)을 이용한 정확한 유전모수를 추정하여 재래계의 선발 및 육종계획수립에 이용시 보다 효율적인 유전능력 개량이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구는 한국재래계의 주요경제형질인 체중, 초산일령, 산란수 및 난중에 대한 최소자승법에 의한 계통별 일반능력과 최적선형불편예측법 애니멀모델에 의한 정확한 유전모수를 추정하여 재래계의 효율적인 유전능력개량을 위한 선발 및 육종계획을 수립하는데 필요한 기초 및 응용자료를 얻고자 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시재료

본 연구에 사용된 계종은 한국재래계로서 축산기술연구소 대전지소에서 1994년 4월부터 1997년 2월까지 3년에 걸쳐 재래계 4계통 적갈색 (Red Brown), 황갈색 (Yellow Brown), 회갈색 (Gray Brown) 및 흑색 (Black) 계통 총 5,192수를 능력검정하였던 바 그 공시품종과 부가계수, 모가계수 및 자손의 수는 Table 1에 제시한 바와 같다.

### 2. 사양관리

#### 1) 사육방법

병아리는 발생직후 가계별 개체번호를 날개에 부착하여 6

Table 1. Number of sire, dam and progeny by strains in Korean native chicken

Strains	No. of sire	No. of dam	No. of progeny
Red Brown	84	691	1,803
Yellow Brown	82	619	1,760
Gray Brown	43	339	649
Black	41	380	980
Total	250	2,029	5,192

주령까지는 육추cage에서 사육하였고, 7~15주령까지는 중추 및 대추cage에 사육하였으며, 16주령부터 시험종료시 (270일령)까지는 산란cage 1칸에 1수씩 사육하였다.

### 2) 사료급여관리

사료는 시판 배합사료를 구입하여 NRC 사양표준에 준하여 급여하였으며, 0~6주령까지는 어린 병아리, 7~13주령에는 중병아리, 14~18주령에는 큰 병아리, 19~20주령에는 산란예비사료를 자유채식도록 급여하였으며, 20주령 이후에는 산란중계 사료를 급여하였다.

### 3) 점등관리

점등은 오 등 (1990)의 방법을 이용하여 발생 시부터 4주령까지는 종야점등을 실시하였고, 5주령부터 19주령까지는 자연일조에 따랐으며, 19주령부터는 매주 15분씩 점증점등하여 자연일조시간과 합하여 17시간이 되도록 하였으며, 그 이후에는 고정점등을 실시하였다.

### 4) 예방접종 및 방역관리

예방접종은 발생 즉시 마핵백신을 접종하였고, 그 이후는 수의과학연구소에서 추천하고 있는 program을 이용하여 뉴캐슬+전염성기관지염, 감보로, 전염성 후두기관지염, 전염성 코라이자, 뇌척수염, 전염성기관지염, 계두+뇌척수염 및 레오바이러스증+산란저하증+뉴캐슬+감보로 등의 예방접종을 실시하였으며, 질병예방과 항병력 강화를 위하여 주 2회 축사내·외부를 소독하고 stress제 및 예방약을 수시 투여하였다.

### 3. 선발방법

#### 1) 선발시기

입추시, 18주령 및 38주령 3회에 걸쳐 외모특징, 산란 및 산육형질을 고려하여 계통별로 선발하였다.

## 2) 계통별 선발모색 기준

### (1) 적갈색

목과 몸통부위가 적색 또는 적갈색에 가까운 깃털색으로서, 날개와 꼬리끝 부위는 검은색을 띄우고, 정강이는 회흑색에 가까운 색을 띄운 것.

### (2) 황갈색

목과 몸통부위가 황색 또는 황갈색에 가까운 깃털색으로서 날개와 꼬리끝 부위는 검은색을 띄우고, 정강이는 회흑색에 가까운 색을 띄운 것.

### (3) 회갈색

목과 몸통 및 날개 깃털은 갈색바탕에 검정 깃털이 섞인 색으로 날개끝과 꼬리끝은 검정색이고, 정강이 색깔은 검정 또는 흑록색을 띄운 것.

### (4) 흑색

목과 몸통 부위 깃털과 정강이가 검정색을 띄운 것.

## 4. 조사항목 및 방법

주요 경제형질인 체중, 초산일령, 산란수 및 난중을 다음과 같이 조사하였다.

### 1) 체중 (Body weight)

150일령 및 270일령 도달시 체중을 개체별로 측정하였다.

### 2) 초산일령 (Age at 1st egg)

각 개체별로 부화후 첫 모이 준 날로부터 초산시까지의 일수를 조사하였다.

### 3) 난중 (Egg weight)

각 개체별로 초산시와 270일령시의 연속산란한 계란 3개의 난중을 조사하였다.

### 4) 산란수(Number of egg production)

각 개체별로 산란기록을 통하여 초산시부터 270일령까지의 생존계 산란수를 조사하였다.

## 5. 통계분석 방법

### 1) 품종 및 년도의 효과

조사된 재래닭의 초산일령, 150일령 체중, 270일령 체중, 270일령 총 산란수, 초산 난중 및 270일령 난중 등의 형질들에 영향을 미치는 계통 및 출생 연도의 효과를 추정하기 위하여 다음과 같은 Linear model에 의하여 최소자승법으로 분석하였다.

$$y_{ijk} = \mu + b_i + y_j + e_{ijk}$$

여기서,

$y_{ijk}$  :  $i$ 번째 계통의  $j$ 번째 출생연도의  $k$ 번째 개체에 대한 측정치

$\mu$  : 전체 평균

$b_i$  :  $i$ 번째 계통의 효과 ( $i=1, 2, 3, 4$ )

$y_j$  :  $j$ 번째 출생연도의 효과 ( $j=1, 2, 3$ )

$e_{ijk}$  : 임의 오차

이와 같은 선형모형을 풀기 위하여  $b_4 = y_3 = 0$ 의 제한을 가하였다.

위에서 설정한 Linear model을 SAS @6.11 Package/PC를 이용하여 분석하였으며 (SAS Institute, 1990), SAS/GLM 분석결과 제공되는 4가지 제공합 중에서 불균형된 자료에 적합한 TYPE III 제공합을 이용하여 분산분석을 하였으며, 최소자승 평균치간의 유의성 검정을 위하여 다음과 같은 귀무가설을 유의수준 5%로 각각 검정하였다.

$$H_0 : LSM(i) = LSM(j)$$

여기서,

$LSM_i(j)$  :  $i(j)$ 번째 효과의 최소 자승 평균치 ( $i \neq j$ )

### 2) 유전모수 추정

각 계통별 및 형질의 유전모수를 추정하기 위하여 다음 식 (1)과 같은 다형질 에니멀모델 (Multiple Trait Animal Model)을 적용하였으며, 분석에는 Boldman 등 (1993)의 MTDFREML package를 이용하였다.

$$y_{ijk} = \mu_i + yr_{ij} + a_{ik} + e_{ijk} \quad (1)$$

여기서,

$y_{ijk}$  :  $i$  번째 형질의  $j$  번째 년도의  $k$  번째 개체의 측정치  
(초산일령, 150일령 체중, 270일령 체중, 270일령 총  
산란수, 초산 난중 및 270일령 난중)

$\mu_i$  :  $i$  번째 형질의 전체 평균

$y_{r_{ij}}$  :  $i$  번째 형질의  $j$  번째 연도의 효과

$a_{ik}$  :  $i$  번째 형질의  $k$  번째 개체의 효과

$e_{ik}$  :  $i$  번째 형질의  $k$  번째 개체의 고유한 임의 오차

위의 혼합모형을 행렬에 의한 방정식으로 표시하면 다음과 같다.

$$y = X\beta + Za + e$$

여기서,

$y$  : 각형질의 관측치에 대한 벡터

$X$  : 고정효과의 대한 계획행렬

$\beta$  : 출생 연도에 대한 벡터 (고정효과)

$Z$  : 상가적 유전효과에 대한 계획행렬

$a$  : 개체의 상가적 유전효과에 대한 임의효과 벡터

$$(0, A\sigma_a^2)$$

$e$  : 각 형질에 대한 관측치의 잔차효과에 대한 임의효과 벡터  $(0, I\sigma_e^2)$

이 model에 대한 혼합모형의 정규방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$$

이 방정식에서  $R$ 은 단형질분석의 경우에는  $I\sigma_e^2$ 와 같이 대각행렬로 정의되고, 다형질에 대한 분석일 경우에는  $R$ 은 블록 대각행렬로 정의된다.

분석에 이용된 각 선형모형의 우도함수의 자연 log는 다음과 같다.

$$\log A = -0.5[(n-p)\log(2\pi) + \log |K'VK| + y'K(K'VK)^{-1}K'y]$$

여기서,  $n$ 은 기록의 수이고,  $p$ 는 고정효과에 대한 계수행렬의 계수 (rank)이다. 그리고,  $(n-p)\log(2\pi)$ 는  $A$ 를 최대화하기 위해 선택하는  $V$ 에 영향받지 않는 상수이며, 우도함수를 최대화시키는데 있어  $K$ 를 알 필요는 없다. 따라서 위식의 고정효과 부분 ( $X$ )을 임의효과 부분 ( $Z$ )으로 흡수하면

다음과 같다.

$$\log A = -0.5 [\text{상수} + \log |V| + \log |X'V^{-1}X| + (y - X\beta)'V^{-1}(y - X\beta)]$$

여기서,

$V$  :  $y$ 의 분산 즉

$XV^{-1}X$  :  $\beta$ 의 일반화 최소 자승 추정치의 계수행렬

$(y - X\beta)'V^{-1}(y - X\beta)$  :  $V$ 의 역행렬에 의해 가중된 잔차의 자승합

Harville(1977)과 Searle(1979)은  $A$ 의 등가식(equivalent form)을 개발했으며 이는 다음과 같다.

$$\log A = -0.5 [\text{상수} + \log |R| + |G| + |C| + y'Py]$$

여기서,  $C$ 는 혼합모형 방정식(MME)의 정칙인 계수행렬이며,  $y'Py$ 는 일반화잔차 제곱합으로  $p = V^{-1} - V^{-1}X(X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}$ 이다.

EM-REML과 같은 미분방정식의 방법은  $\log A$ 를 편미분하여  $A$ 가 최대가 되는  $G$ 와  $R$ 을 추정한다. 그러나 가측의 수가 많을 경우는 계수행렬의 크기가 커져 직접 미분하여 역행렬을 구하는 것이 곤란하므로, Smith와 Graser (1986)와 Graser 등 (1987)은 미분하지 않고  $\log A$ 의 최대값을 구하는 방법을 개발하였다. 즉, 각기 다른  $G$ 와  $R$ 을 자료에 적용시켜  $\log A$  값이 최대가 될 때까지 시도하는 방법이다.

$$R = I_n\sigma_e^2 \rightarrow \log |R| = n \log(\sigma_e^2)$$

$$G = A\sigma_a^2 \rightarrow \log |G| = \log |A| + q \log |\sigma_a^2|$$

여기서,  $q$ 는  $A$ 의 차수이다.

따라서, 각 분산과 공분산성분은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{y'Py}{n - \text{rank}(X)}$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = \lambda_i \hat{\sigma}_e^2$$

여기서,

$\sigma_e^2$  = 오차의 분산

$\sigma_i^2$  = 각 요소의 분산 성분

$\lambda_i = \sigma_i^2 / \sigma_e^2$  이다.

$\log A$ 를 최대화하기 위해서는  $\log|C|$ 와  $y'Py$ 가 계산되어야 하며, Smith와 Graser (1986)는 이 부분의 계산을 위해 가우스 소거법 (Gaussian Elimination)을 제안하였다.

정규방정식을 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{array}{cc|c} XR^1X & XR^1Z & XR^1y \\ \hline ZR^1X & ZR^1Z+G^1 & ZR^1y \\ \hline y'R^1X & y'R^1Z & y'R^1y \end{array} = \begin{array}{c|c} C & r \\ \hline r' & y'R^1y \end{array}$$

$C$ 의 흡수(absorption)가 이뤄지면서,  $\log|C|$ 는 일련의 선도 대각원소의  $\log$ 들의 합으로 계산되고,  $y'R^1y$ 는 잔차 제곱합인  $y'R^1y - r'C^{-1} = y'Py$ 로 대체되며, 이것은  $R^1$ 의 구조가 혼합 모형방정식에 포함되어 있으므로 오차분산으로 나눌 필요가 없다.

본 연구에서는 MTDFREML Package(Boldman 등, 1993)를 이용하여 유전모수를 추정하였다. MTDFREML Package에서  $G$ 와  $R$ 의 적절한 값을 주기 위해 사용된 Simplex방법(Nelder와 Mead, 1965)에 따라 Simplex의 분산이  $10^{-9}$ 이하로 수렴될 때까지 반복 추정하였다.

이와 같이 하여 추정된 분산-공분산 값을 이용하여 상가적 유전효과에 의한 유전력과 상관계수는 다음과 같이 구하였다.

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$$

$$r_G = \frac{\widehat{cov}_{a(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{a(i)}^2 \times \sigma_{a(j)}^2}} \quad (i \neq j)$$

$$r_P = \frac{\widehat{cov}_{p(i,j)}}{\sqrt{\sigma_{p(i)}^2 \times \sigma_{p(j)}^2}} \quad (i \neq j)$$

여기서,

$\sigma_a^2$  = 상가적 유전분산

$\sigma_e^2$  = 환경분산

$h^2$  = 유전력

$r_G$  = 유전상관

$r_P$  = 표현형상관

$\widehat{cov}_{a(i,j)}$  =  $i, j$  형질간의 유전공분산 추정치

$\widehat{cov}_{p(i,j)}$  =  $i, j$  형질간의 표현형공분산 추정치

## 결과 및 고찰

### 1. 일반능력

#### 1) 체 중

한국재래계의 계통별 150일령 및 270일령 체중의 평균, 표준오차 및 변이계수는 Table 2와 같다.

한국재래계의 계통별 150일령 체중은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 체중은 각각  $1,649.96 \pm 8.12$ ,  $1,439.68 \pm 5.84$ ,  $1,455.65 \pm 14.24$  및  $1,575.36 \pm 9.51$ g이었고 변이계수는 각각 14.02, 11.52, 13.27 및 11.75%이었다. 이들 계통별 150일령 체중을 비교하여 보면 적갈색과 흑색 계통이 황갈색 및 회갈색 계통보다 유의하게 높은 체중을 보였다 ( $p < 0.05$ ).

이들 150일령 체중을 다른 연구보고와 비교하여 보면 오홍균등(1995)이 백색레그혼종의 체중이 1,328g이라고 보고한 성적보다는 무거운 편이었으며, 또한 오홍균 등(1995)은 오골계 및 Rhode Island Red종에서 각각 1,740g 및 1,698g이라고 보고한 성적보다는 가벼운 경향을 보였다.

능력검정 완료시인 270일령 체중은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 체중은 각각  $1,923.58 \pm 8.11$ ,  $1,689.66 \pm 6.63$ ,  $1,812.48 \pm 14.99$  및  $1,924.02 \pm 12.06$ g이었고, 변이계수는 각각 13.96, 12.82, 14.28 및 14.59%이었다.

Table 2. Means, standard errors and coefficients of variation for the body weight at age of 150 and 270 days by strains in Korean native chicken

Strains	Body weight at 150days		Body weight at 270days	
	Mean $\pm$ SE	CV(%)	Mean $\pm$ SE	CV(%)
Red Brown	1649.96 <sup>a</sup> $\pm$ 8.12	14.02	1923.58 <sup>a</sup> $\pm$ 8.11	13.96
Yellow Brown	1439.68 <sup>c</sup> $\pm$ 5.84	11.52	1689.66 <sup>c</sup> $\pm$ 6.63	12.82
Gray Brown	1455.65 <sup>c</sup> $\pm$ 14.24	13.27	1812.48 <sup>b</sup> $\pm$ 14.99	14.28
Black	1575.36 <sup>b</sup> $\pm$ 9.51	11.75	1924.02 <sup>a</sup> $\pm$ 12.06	14.59

<sup>a,b,c</sup> Values(mean  $\pm$  SE) with different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

이들 계통간 270일령 체중을 비교하여 보면, 150일령 체중과 마찬가지로 적갈색과 흑색 계통이 황갈색 및 회갈색계통보다 유의하게 높은 체중을 보였다( $p < 0.05$ ).

이들 270일령 체중을 다른 연구결과와 비교하면 오홍균 등(1995)이 백색레그혼종이 1.564g이라고 보고한 성적보다 무거웠고, 오골계의 체중 1.825g과는 비슷하였으며, Rhode Island Red종의 체중 2.058g보다는 가벼운 경향을 보였다.

또한 270일령 체중은 150일령 체중보다 평균 307g이 무거워 재래계는 산란을 하면서도 일정 시기까지 성장함을 보여 주었다.

## 2) 산란형질

### (1) 초산일령

재래계의 계통별 초산일령에 대한 평균, 표준오차 및 변이계수는 Table 3과 같다.

Table 3에서 보는 바와 같이 재래계 4계통 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 초산일령은 각각  $147.38 \pm 0.34$ ,  $146.54 \pm 0.37$ ,  $151.19 \pm 0.70$  및  $152.17 \pm 0.53$ 일로 적갈색, 황갈색은 회갈색, 흑색 계통보다 4~5일 빨랐다 ( $P < 0.05$ ). 변이계수는 7.80~8.41%로 이는 이준현 (1995)이 보고한 8.76%보다 다소 낮은 편이었다. 이들 초산일령을 다른 연구보고와 비교하여 보면, 재래계의 초산일령에서 이준현 (1995)이 147.3일이라고 보고한 결과와 비슷하였으나, 정선부 등 (1989)의 168일, 여정수 (1981)의 165일, 대한양계협회 (1996) 155.28일, 김학규 등 (1994)의 158일, 한성욱 등 (1995)이 보고한 165.95일에 비해서 대체적으로 빠른 경향을 보였고, 오홍균 등 (1995)이 보고한 White Leghorn종의 134.0일 및 Rhode Island Red종의 136.5일 보다는 12~18일이 늦었다.

**Table 3.** Means, standard errors and coefficients of variation for the age at 1st egg by strains in Korean native chicken

Strains	Age at 1st egg	
	Mean $\pm$ SE	CV(%)
Red Brown	$147.38^b \pm 0.34$	7.80
Yellow Brown	$146.54^b \pm 0.37$	8.41
Gray Brown	$151.19^a \pm 0.70$	8.10
Black	$152.17^a \pm 0.53$	8.26

<sup>a,b</sup> Values(mean  $\pm$  SE) with different superscripts in the same column are significantly different( $p < 0.05$ ).

### (2) 난 중

초산시와 270일령의 난중에 대한 평균, 표준오차 및 변이계수는 Table 4와 같다.

Table 4에서 보는 바와 같이 초산시 난중은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각  $31.97 \pm 0.10$ ,  $31.90 \pm 0.11$ ,  $32.05 \pm 0.18$  및  $32.86 \pm 0.13$ g으로 흑색 계통이 다른 계통보다 유의적으로 무거웠으며 ( $P < 0.05$ ), 각 계통의 변이계수는 9.62~10.28%로 이준현 (1995)이 보고한 9.85%와 비슷하였다. 초산시 난중을 다른 연구보고와 비교하여 보면 상병찬 (1982)이 White Leghorn종과 Rhode Island Red종에서 각각 41.9 및 41.82g, 오홍균 등 (1995)이 White Leghorn종과 Rhode Island Red종에서 각각 34.4g 및 33.8g, 대한양계협회 (1996)의 35.11g, 이준현 (1995)의 37.88g 보다는 가벼운 편이었으나, 김학규 등 (1994)의 32.4g과는 비슷하였다.

270일령 난중은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 49.79, 47.62, 48.83 및 48.72g으로 적갈색 계통이 가장 무거웠고, 황갈색 계통이 가장 가벼웠으며, 또한 변이계수는 6.99~7.94%로 초산시의 변이계수 9.62~10.28% 보다는 낮게 나타났으며, 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 7.24%

**Table 4.** Means, standard errors and coefficients of variation for the egg weight at 1st egg and at 270 days by strains in Korean native chicken

Strains	Egg weight at 1st egg		Egg weight at 270 days	
	Mean $\pm$ SE	CV(%)	Mean $\pm$ SE	CV(%)
Red Brown	$31.97^b \pm 0.10$	10.28	$49.79^a \pm 0.11$	7.11
Yellow Brown	$31.90^b \pm 0.11$	10.10	$47.62^c \pm 0.11$	6.99
Gray Brown	$32.05^b \pm 0.18$	9.74	$48.83^b \pm 0.21$	7.13
Black	$32.86^a \pm 0.13$	9.62	$48.72^b \pm 0.18$	7.94

<sup>a,b,c</sup> Values(mean  $\pm$  SE) with different superscripts in the same column are significantly different( $p < 0.05$ ).

와는 비슷하였다.

한편 여정수 (1981)가 보고한 37~40주령의 난중 48.8g, 이준현 (1995)의 49.5g, 대한양계협회 (1996)의 49.73g과는 비슷한 성적이었으나, 한성욱 등 (1995)의 50.97g, 오홍균 등 (1995)이 보고한 순종계 White Leghorn종의 61.0g, Rhode Island Red종의 57.8g 보다는 낮은 경향을 보였다.

### (3) 산란수

재래계의 계통별 270일령 산란수에 대한 평균, 표준오차 및 변이계수는 Table 5에 나타낸 바와 같다.

Table 5에서 보는 바와 같이 270일령 산란수는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각  $75.86 \pm 0.57$ ,  $78.06 \pm 0.55$ ,  $76.71 \pm 1.11$  및  $68.81 \pm 0.88$ 개로 산란수에서 황갈색이 가장 많고, 흑색이 가장 적어 계통간에 10개의 차이를 보였으며, 변이계수는 23.87~29.89%로, 이준현 (1995)이 보고한 재래계의 300일령 산란수의 변이계수 33.16% 보다는 낮게 나타났는데, 이들 보고에서 나타난 바와 같이 개체간의 변이가 크게 나타난 것으로 보아 선발에 의하여 산란수의 개량효과는 대체로 크게 나타날 수 있을 것으로 사료되었다.

## 2. 다형질 개체모형을 이용한 유전모수 추정치

### 1) 유전력

다형질 개체모형 식 (1)을 이용한 각 계통별 및 주요 경제형질에 대한 유전력추정치는 Table 6과 같다.

다형질 개체모형으로 유전력을 추정한 결과 150일령 체중의 유전력추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.40, 0.10, 0.09 및 0.57로 황갈색과 회갈색계통이 낮은 유전력을 보였고, 적갈색과 흑색 계통이 높은 유전력 추정치를 나타내었다. 이들 추정치를 다른 연구보고와 비교

Table 5. Means, standard errors and coefficients of variation for the number of egg production at 270 days by strains in Korean native chicken

Strains	Number of egg production	
	Mean $\pm$ SE	CV(%)
Red Brown	$75.86^a \pm 0.57$	25.12
Yellow Brown	$78.06^a \pm 0.55$	23.87
Gray Brown	$76.71^a \pm 1.11$	25.29
Black	$68.81^b \pm 0.88$	29.89

<sup>a,b</sup> Values (mean  $\pm$  SE) with different superscripts in the same column are significantly different ( $p < 0.05$ ).

Table 6. Heritabilities of the body weights and egg production traits by strains in Korean native chicken using multiple animal model

Traits	Strains			
	Red Brown	Yellow Brown	Gray Brown	Black
Body weight				
at 150 days	0.40	0.10	0.09	0.57
at 270 days	0.23	0.09	0.38	0.24
Age at 1st egg	0.39	0.47	0.60	0.62
Egg weight				
at 1st egg	0.45	0.38	0.44	0.55
at 270 days	0.36	0.12	0.38	0.26
Egg production				
at 270 days	0.44	0.36	0.58	0.49

하여 보면 정기홍(1997)이 White Leghorn종에서 20주령에 0.49~0.55, 한성욱 등(1995)이 한국재래계에서 24주령에 0.446으로 보고한 추정치보다 다소 낮은 유전력을 보였다.

그리고 270일령 체중에 대한 유전력추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.23, 0.09, 0.38 및 0.24로 황갈색계통이 0.09로 가장 낮은 유전력을 보였고, 회갈색이 0.38로 가장 높은 유전력추정치를 나타냈으며 이를 다른 연구보고와 비교하여 보면 한성욱 등 (1991)이 한국재래오골계에서 300일령 체중의 유전력이 0.365, Merritt (1968) 및 Buchel (1970)이 0.47~0.60으로 다소 높은 유전력 추정치로 보고한 수치보다 낮은 계수를 보였다.

초산일령의 유전력추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.39, 0.47, 0.60 및 0.62로 회갈색과 흑색 계통이 고도의 유전력을 보였고, 적갈색과 황갈색 계통이 중도의 유전력 추정치를 나타냈다. 이들 추정치를 다른 연구보고와 비교하여 보면 한성욱 등 (1991)이 한국재래오골계에서 0.282, 정기홍 (1997)이 White Leghorn종에서 0.38~0.52로 보고한 추정치보다는 다소 높은 계수를 보였다.

초산난중의 유전력 추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.45, 0.38, 0.44 및 0.55로 중도 이상의 유전력 추정치를 나타냈으며 이들 추정치를 다른 연구보고와 비교하여 보면 한성욱 등(1991)이 한국재래오골계에서 0.386이라고 보고한 추정치보다 다소 높은 계수를 보였으나, Friars 등(1962) 및 Rodda와 Friars (1977)의 0.28~0.42와는 대체로 비슷한 추정치를 보였다.

또한 270일령 난중의 유전력 추정치는 적갈색, 황갈색, 회

갈색 및 흑색 계통이 각각 0.36, 0.12, 0.38 및 0.26으로 적갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 중도의 유전력을 보인 반면, 황갈색 계통이 저도의 유전력 추정치를 나타내었는데, 이는 정기홍(1997)이 White Leghorn종에서 40주령시에 0.59~0.71, 한성욱 등(1991)이 한국재래오골계에서 300일령시에 0.556으로 보고한 추정치보다 다소 낮은 유전력을 나타내었다.

270일령 산란수의 유전력 추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.44, 0.36, 0.58 및 0.49로 중도 이상의 유전력 추정치를 나타냈는데 이러한 결과는 정기홍(1997)이 White Leghorn종에서 43주령에 0.17~0.41, 한성욱 등(1995)이 한국재래오골계에서 300일령에 0.296으로 보고한 추정치 보다 다소 높은 유전력을 보였다.

## 2) 유전상관 및 표현형상관

재래계 4계통 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 주요 경제형질인 체중, 초산일령, 난중 및 산란수 간의 유전상관 및 표현형상관은 Table 7, 8, 9 및 10에 나타낸 바와 같다.

150일령 체중과 270일령 체중들 간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 -0.01, 0.96, 0.56 및 -0.03, 표현형상관은 각각 0.42, 0.55, 0.40 및 0.45였으며 이들 추정치를 다른 연구보고와 비교하여 보면 이준현(1995)이 재래계에서 보고한 유전상관 0.626~0.978, 표현형상관 0.589~0.907보다는 낮은 추정치를 나타내었다.

체중과 초산일령 간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.19~0.35, 0.17~0.21, -0.07~0.11 및 0.64~0.67이었고, 표현형상관은 각각 0.31~0.34, 0.22~0.45, -0.01 및 0.41~0.74였는데, 이것은 이준현(1995)이 재래계에서 보고한 유전상관 -0.354~0.048, 표현형상관

Table 7. Genetic and phenotypic correlations between economic traits using multiple trait animal model in Red Brown strain<sup>1</sup>

Traits	Body weight		Age at 1st egg	Egg weight		Egg production at 270 days
	150 days	270 days		1st egg	270 days	
Body weight at 150days	-	-0.01	0.19	0.45	-0.16	-0.04
at 270days	0.42	-	0.35	-0.14	-0.01	0.32
Age at 1st egg	0.34	0.31	-	0.86	0.35	0.88
Egg weight at 1st egg	0.30	0.39	0.88	-	0.52	0.31
at 270days	0.06	0.40	0.56	0.60	-	0.36
Egg production at 270days	0.41	0.54	0.26	0.71	0.58	-

<sup>1</sup> Genetic correlations are above the diagonal and phenotypic correlations are below the diagonal.

Table 8. Genetic and phenotypic correlations between economic traits using multiple trait animal model in Yellow Brown strain<sup>1</sup>

Traits	Body weight		Age at 1st egg	Egg weight		Egg production at 270 days
	150 days	270 days		1st egg	270 days	
Body weight at 150days	-	0.96	0.17	0.38	-0.07	-0.16
at 270days	0.55	-	0.21	0.50	0.09	0.10
Age at 1st egg	0.22	0.45	-	0.87	0.86	0.91
Egg weight at 1st egg	0.16	0.29	0.91	-	0.90	0.24
at 270days	0.04	0.42	0.59	0.67	-	0.18
Egg production at 270days	0.57	0.54	0.35	0.65	0.82	-

<sup>1</sup> Genetic correlations are above the diagonal and phenotypic correlations are below the diagonal.



은  $-0.179 \sim -0.006$ , 여정수 (1981) 및 Kinney 등 (1968)이 유전상관  $0.10 \sim 0.18$ , 정선부(1971)가 표현형상관  $-0.13 \sim 0.18$ 이라고 보고한 추정치보다는 다소 높은 계수를 나타내었다.

체중과 난중간의 유전상관의 범위는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통에서 각각  $-0.16 \sim 0.45$ ,  $-0.07 \sim 0.50$ ,  $0.01 \sim 0.66$  및  $-0.24 \sim 0.70$ , 표현형상관은 각각  $0.06 \sim 0.40$ ,  $0.04 \sim 0.42$ ,  $0.04 \sim 0.63$  및  $0.26 \sim 0.72$ 였는데, 이는 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 유전상관  $0.330 \sim 0.977$  보다는 낮았으나, 표현형상관  $0.229 \sim 0.404$ 와는 비슷한 추정치를 보였다.

체중과 270일령 산란수 간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각  $-0.04 \sim 0.32$ ,  $-0.16 \sim 0.10$ ,  $-0.04 \sim 0.00$  및  $0.10 \sim 0.17$ , 표현형상관은 각각  $0.41 \sim 0.54$ ,

$0.54 \sim 0.57$ ,  $0.40 \sim 0.44$  및  $0.25 \sim 0.34$ 으로서, 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 유전상관  $-0.279 \sim -0.002$ , 표현형상관  $-0.045 \sim 0.074$ , 탁태영 (1979), Kinney와 Shoffner (1965) 및 정선부 (1971)가 보고한 유전상관 추정치  $-0.45 \sim 0.13$ 과는 비슷한 경향을 보였으며, 표현형상관 추정치보다는 다소 높게 나타났다.

초산일령과 난중간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통에서 각각  $0.35 \sim 0.86$ ,  $0.86 \sim 0.87$ ,  $0.66 \sim 0.96$  및  $0.34 \sim 0.97$ , 표현형상관은 각각  $0.56 \sim 0.88$ ,  $0.59 \sim 0.91$ ,  $0.58 \sim 0.92$  및  $0.52 \sim 0.91$ 로 대체로 높은 추정치를 보였는데, 이들 결과는 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 유전상관  $0.009 \sim 0.178$ , 표현형상관  $-0.029 \sim 0.597$ , Clayton과 Robertson (1966) 및 여정수 (1981)가 보고한 유전상관  $0.14 \sim 0.20$ , 정

Table 9. Genetic and phenotypic correlations between economic traits using multiple trait animal model in Gray Brown strain<sup>1</sup>

Traits	Body weight		Age at 1st egg	Egg weight		Egg production at 270 days
	150 days	270 days		1st egg	270 days	
Body weight at 150days	-	0.56	-0.07	0.11	0.01	-0.04
at 270days	0.40	-	0.11	0.15	0.66	0.00
Age at 1st egg	-0.01	-0.01	-	0.96	0.61	-0.75
Egg weight at 1st egg	0.04	0.24	0.92	-	0.39	0.32
at 270days	0.09	0.63	0.58	0.61	-	0.41
Egg production at 270days	0.44	0.40	0.34	0.64	0.50	-

<sup>1</sup> Genetic correlations are above the diagonal and phenotypic correlations are below the diagonal.

Table 10. Genetic and phenotypic correlations between economic traits using multiple trait animal model in Black strain<sup>1</sup>

Traits	Body weight		Age at 1st egg	Egg weight		Egg production at 270 days
	150 days	270 days		1st egg	270 days	
Body weight at 150days	-	-0.03	0.67	0.70	-0.24	0.10
at 270days	0.45	-	0.64	0.45	0.15	0.17
Age at 1st egg	0.74	0.41	-	0.97	0.34	0.55
Egg weight at 1st egg	0.69	0.72	0.91	-	0.29	0.37
at 270days	0.26	0.56	0.52	0.46	-	0.68
Egg production at 270days	0.25	0.34	0.52	0.49	0.91	-

<sup>1</sup> Genetic correlations are above the diagonal and phenotypic correlations are below the diagonal.

선부 등 (1973) 및 Lerner와 Cruden (1948)의 표현형상관 0.12~0.40보다는 높은 추정치를 보였다.

초산일령과 산란수간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.88, 0.91, -0.75 및 0.55, 표현형상관은 각각 0.26, 0.35, 0.34 및 0.52로서 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 유전상관 -0.791, 표현형상관 -0.588, 한성욱 등 (1995)이 추정한 유전상관 -0.84~-0.48과 정선부 (1971) 및 여정수 (1981)가 발표한 표현형상관 -0.84~-0.54와는 다른 추정치를 나타내었다.

난중과 산란수간의 유전상관은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통이 각각 0.31~0.36, 0.18~0.24, 0.32~0.41 및 0.37~0.68, 표현형상관은 각각 0.58~0.71, 0.35~0.65, 0.34~0.64 및 0.49~0.91이었으며, 이들 추정치를 다른 연구 보고와 비교하여 보면, 이준현 (1995)이 재래계에서 보고한 유전상관 -0.572~-0.256, 표현형상관 -0.376~0.019와 Hill 등(1966), Rico(1962) 및 여정수 (1981)가 보고한 유전상관 -0.462~-0.331, Singh 등 (1972), 여정수 (1981)가 보고한 표현형상관 -0.115~-0.11보다는 높은 추정치를 나타내었다.

## 적 요

본 연구는 한국재래계의 효율적인 개량을 위한 육종목표의 설정과 선발을 수행하는데 필요한 기초자료를 얻고자 축산기술연구소 대전지소에서 1994년 4월 10일부터 1997년 2월 10일까지 부가계 250수와 모가계 2,029수에서 생산된 5,192수의 능력검정자료를 분석하여 주요 경제형질의 일반 능력과 다형질개체모형을 이용하여 유전모수를 추정하였다. 체중은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 150일령에서는 각각 1,649.9, 1,439.6, 1,455.6 및 1,575.3g이었으며, 변이계수는 11.52~14.02%이었고, 270일령에서 각각 1923.5, 1689.6, 1812.4 및 1924.0g이었으며, 변이계수는 12.82~14.59%이었다. 산란능력은 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통의 초산일령이 각각 147.4, 146.5, 151.1 및 152.1일이었고 변이계수는 7.80~8.41%이었으며, 270일령 난중은 49.7, 47.6, 48.8 및 48.7g이었고, 변이계수는 6.99~7.94%이었으며, 270일령 산란수는 각각 75.8, 78.0, 76.7 및 68.8개이었고, 변이계수는 23.87~29.89%로 대체로 높은 변이를 보였다. 다형질개체모형에 의한 체중의 유전력추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통에서 150일령 체중이 각각 0.40, 0.10, 0.09 및 0.57이었고, 270일령 체중은 각각 0.23, 0.09, 0.38 및 0.24이었다. 다형질개체모형에 의한 산란능력의 유

전력추정치는 적갈색, 황갈색, 회갈색 및 흑색 계통에서 초산일령이 각각 0.39, 0.47, 0.60 및 0.62이었고, 270일령 난중은 각각 0.36, 0.12, 0.38 및 0.26이었으며, 270일령 산란수는 각각 0.44, 0.36, 0.58 및 0.49이었다. 주요경제형질들간의 유전상관의 범위는 체중과 초산일령, 난중 및 270일령 산란수간에 각각 -0.07~0.67, -0.24~0.70 및 -0.16~0.32이었으며 초산일령과 270일령 산란수 및 난중간에 각각 -0.75~0.91, 0.34~0.97이었고 난중과 산란수간에는 0.18~0.68이었다. 주요경제형질들간의 표현형상관의 범위는 체중과 초산일령, 난중 및 270일령 산란수간에 각각 -0.01~0.74, 0.04~0.72 및 0.25~0.57이었으며 초산일령과 270일령 산란수 및 난중간에는 각각 0.26~0.52, 0.52~0.92이었고, 난중과 산란수간에는 0.34~0.91이었다.

(색인 : 유전모수, 동물개체모형, 유전력, 유전상관)

## 인용문헌

- Boldman KG, Van Vleck LD, Kriese LA, Kachman SD 1993 A manual for use of MTDFREML. USDA ARS.
- Buchel K 1970 Investigations of the heritability of certain characters in fowls of medium heavy breed's with reference of the possibility of selection for the breeding of broilers. Anim Breeding Abstr 38:4238.
- Clayton GA, Robertson A 1966 Genetics of changes in economic traits during the laying year. Br Poultry Sci 7: 143-151
- Friars GW, Bohren BB, Mackean HE 1962 Time trends in estimates in genetic parameters in a population. Poultry Sci 41:1773-1784.
- Graser HU, Smith SP, Tier B 1987 A derivative-free approach for estimating variance components in animal models by restricted maximum likelihood. J Anim Sci 64:1362.
- Harville DA 1977 Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. J Amer Stat Assoc 72:320.
- Hill AT, Korueger WF, Quisenberry JH 1966 A biometrical evaluation of the component parts of an egg and their relationship to other economically important traits in a strain of White Leghorns. Poultry Sci 45:1162-1185.
- King SC, Henderson CR 1954 Heritability studies of egg production in the domestic fowl. Poultry Sci 33:155-169.

- Kinney TB 1969 A summary of reported estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations for traits of chickens. USDA Agriculture Handbook No. 363.
- Kinney TB, Lowe PC 1968 Genetic and phenotypic variation in the random control over nine years. *Poultry Sci* 47:1105-1110.
- Kinney TB, Shoffner RN 1965 Heritability traits in a meat-type. Poultry population. *Poultry Sci* 44:1020-1031.
- Lerner IM, Cruden DM 1948 The heritability of accumulative monthly and annual egg production. *Poultry Sci* 27:67-78.
- Lerner IM, Cruden DM 1951 The heritability of egg weight: The advantages mass selection and of early measurements. *Poultry Sci* 30:30-41.
- Lush JL 1948 The genetics of population, Ames, Iowa, (Mimeo book. Iowa State College).
- McClung MR, Wang ABS, Jones WT 1976 Respons to selection for time interval between ovipositions in the hens. *Poultry Sci* 55:160-171.
- Merritt ES 1968 Genetic parameter estimates for growth and reproductive traits in random breed control strain of meat type fowl. *Poultry Sci* 47:190-199.
- Nelder JA, Mead R 1965 A simplex method for function minimization. *Computer J* 7:308.
- Rico M 1962 Inheritance of quantitative characters in the species *gallus domesticus*, 1. Heritability of egg production, egg weight and body weight. *Anim Breeding Abstr* 32: 2453.
- Rodda DD, Friars GW 1977 Genetic parameter estimates and strain comparisons of egg compositional traits. *Br Poultry Sci* 18:459-473.
- SAS 1990 SAS/STAT guide for personal computers @6.08. SAS institute Inc Cary NC USA.
- Searle SR 1979 Notes on variance component estimation: A detailed account of maximum likelihood and kindred methodology. Paper BU-673-M Biometrics Unit Cornell Univ.
- Smith SP, Graser HU 1986 Estimating variance components in a class of mixed models by restricted maximum likelihood. *J Dairy Sci* 69:1156.
- 김학규 오홍균 전병순 한성윤 정행기 1994 재래계의 육용화 시험연구. 축산기술연구소 축산시험연구 보고서 286-296.
- 대한양계협회 1996 재래닭의 계통육성 및 일반능력검정. 재래닭 고품질 육용화 연구사업보고서 19-35.
- 상병찬 1982 난용종계의 주요경제형질과 난구성분의 유전모수 및 선발지수 추정에 관한 연구. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
- 여정수 1981 난용계의 주요경제형질에 대한 상가적 및 모체효과를 이용한 선발지수추정에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 오홍균 상병돈 김학규 나재천 정행기 1995 순종계 능력검정. 축산기술연구소 축산시험연구보고서 2:279-283.
- 이준현 1995 한국재래계의 주요경제형질에 대한 유전력과 상관의 추정. 충남대학교 석사학위논문.
- 정기홍 1997 Animal model에 의한 백색레그혼 산란계 경제형질의 유전모수 및 육종가 추정. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 정선부 1971 닭의 경제형질에 대한 유전력과 유전상관에 관한 연구. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
- 정선부 설동섭 탁태영 김상철 이기만 1973 닭의 경제형질에 대한 유전력 및 유전상관에 관한 연구. *한국축산학회지* 15:240-249.
- 정선부 정일정 박응우 여정수 1989 한국재래가축의 유전적 특성에 관한 조사연구. *한국가금학회지* 16:209-217.
- 탁태영 1979 닭의 양적형질에 대한 유전력 모수 및 선발지수 추정에 관한 연구. 건국대학교 대학원 박사학위 논문.
- 한성욱 상병찬 김홍기 1991 한국재래오골계의 제형질에 대한 유전모수추정에 관한 연구. *한국가금학회지* 18:197-208.
- 한성욱 이준현 상병찬 1995 한국재래계의 주요경제형질에 대한 유전력 및 유전상관추정. *한국가금학회지* 22:67-75.