

백색 레그혼종 순종계통의 산란능력에 있어서 세대별 선발반응에 관한 연구

이학교 · 최철환 · 박무균 · 이수현 · 박태진

국립종축원

(1992. 10. 15 접수)

Studies on the Selection Response of Generation for Egg Production in Single Comb Leghorn

H.K. Lee, C.W. Choi, M.K. Park, S.H. Lee and T.J. Park

National Animal Breeding Institute

(Received 15 October, 1992)

SUMMARY

This study carried out to investigate selection response of pure line population of layer chicken. Data for two layer pure line of Single Comb White Leghorn were collected from 1986 to 1991. Primary selection criteria were egg number to 270 days of age(EN270), egg weight(BW270), body weight(BW270) at 270 days of age and the days of the 1st egg(SM).

The results obtained in this study are summarized as follows;

1. Mean phenotypic values of two strains were decreased by 1.94 day(K), 1.32day(F) for SM and increased by 0.09g(K), -0.05g(F) for EW 270 and 0.56(K), -0.78(F) for EN270.
2. The ratio of a realized selection differential to expected selection differentials for SM(sexual maturity), EW 270, and BW 270 were not significantly decreased during 5 generations.
3. Heritability were estimated from sib analysis. The means of estimates were 0.28(F), 0.39(K) for BW270, and 0.25(F), 0.29(K) for EN270 and 0.51(F), 0.48(K) for EW270.
4. The genetic gains were estimated by method of selection index in retrospect on the basis of selection differentials. EN270 and EW270 were found to increase by 2.01(F), 2.25(K) and 0.54 (F), 0.65(K) per generation.

I. 서 론

일정한 육종학적인 목표가 달성된 순종계통을 유지하고 우수 교배 조합 작출을 위한 기초 계통에 있어서 지속적인 선발을 가할 때 집단에서는 유전자 조성이 변하게되며 특히나 세대를 단축하여 검정하는 편이성

에 근거한 초기 산란수와 난중 및 시산일령 위주의 선발이 이루어질 때 선발방법의 효율성 여부와 이후의 선발에 대한 개량 가능성을 예측하는데 어려움을 느끼게 한다.

이러한 선발반응과 선발에 의해 나타난 선발반응의 정체현상(Plateau)에 관련된 연구가 보고되고 있다 (Lush 등, 1948; Falconer, 1960; Nordskog 등

1974).

본 연구의 목적은 산란능력의 개량을 위하여 초기 산란수를 위주로 선발이 진행되어 온 순종계 기초계군의 특정집단에서 나타난 결과를 분석하여 주요 형질의 세대별 유전적 개량량을 추정하며, 선발과정에서 나타나는 여러가지 육종학적 문제점과 관련하여 계군의 유전적 자질과 이후 선발에 의한 가능성을 알아보는 데 있다.

II. 재료 및 방법

1. 자 료

본 연구에 사용된 자료는 국립종축원에서 사육하고 있는 산란종계 K, F 순종 계통에 대한 1986년부터 1991년까지 6세대에 걸쳐 조사된 단기 산란능력 검정 기록이다.

주요 선발형질은 시산일령, 270일령 난중, 270일령 까지 산란수 및 270일령 체중이었다.

선발된 개체의 교배는 근친교배를 피하는 교배방법을 선택하였고 부화는 매년 3월에 2주 간격으로 2회에 걸쳐 실시하였다.

본 연구에 사용된 자료의 세대 및 가계수는 Table 1 과 같다.

2. 조사형질

본 연구를 위하여 조사된 형질은 다음과 같다.

	Description
SM	Age at first egg (days)
EN 270	Egg numbers to 270 days of age(ea)
BW 270	Body weight at 270 days of age
WE 270	Egg weight at 270 days of age for 10 days(gr)

3. 통계분석 방법

자료의 통계분석은 국립종축원에서 보유하고 있는 컴퓨터(System VAX-730)를 사용하였고 초기에 도태되거나 질병 등에 의해 제거된 개체의 자료와 측정 이 안된 형질을 가지고 있거나 명백한 이상치를 나타내는 자료를 제외시킨 후 각 형질별 측정치에 대하여

평균과 표준편차를 계산하였으며 다시 각 형질별로 특정기준(Mean±3×SD)을 설정한 후 이 기준에서 벗어나는 자료를 제거하였고 또한 정확한 유전모수의 추정을 위해서 부가계와 모가계별로 가계구성원의 수에 최소한의 한계를 정하여 이 한계에 미치지 못하는 가계는 제외시켜 별도로 자료를 정리하였다.(Robertson, 1959; Latter and Robertson, 1960; Hill, 1970)

(1) 유전적 모수 추정 (분산 분석에 의한 방법)

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + D_{ij} + E_{ijk}$$

where, Y_{ijk} = the record of the k^{th} progeny

from the i^{th} sire and the j^{th} dam

μ = population mean

S_i = effect of the i^{th} sire

D_{ij} = effect of the k^{th} dam mated to the i^{th} sire

E_{ijk} = random error

(2) 유전적 개량량 추정

Magee(1965), Harvey(1975), Yamada(1977)

$$\begin{bmatrix} \Delta G_{11} \\ \Delta G_{21} \\ \vdots \\ \Delta G_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{G1} & \sigma_{G12} \cdots \sigma_{G1n} \\ \sigma^2_{G21} & \sigma^2_{G2} \cdots \sigma_{G2n} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma^2_{Gn1} & \sigma_{Gn2} \cdots \sigma^2_{Gn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma^2_{P1} & \sigma_{P12} \cdots \sigma_{P1n} \\ \sigma_{P21} & \sigma^2_{P2} \cdots \sigma_{P2n} \\ \vdots & \vdots \\ \sigma_{Pn1} & \sigma_{Pn2} \cdots \sigma^2_{Pn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_{1,1} \\ \Delta P_{2,1} \\ \vdots \\ \Delta P_{n,1} \end{bmatrix}$$

where

$\Delta P_{i,1}$ = selection differential of the i trait when selection is intended for the index selection, I

ΔG_{i1} = genetic gains of the trait i when selection is applied by the index selection, I

b_i = estimated selection index in retrospect

$\sigma_{P_i}^2$ = variance of trait i

$\sigma_{P_{ij}}$ = covariance between trait i and j

$\sigma_{G_i}^2$ = genetic variance of trait i

$\sigma_{G_{ij}}$ = genetic covariance between trait i and j

Table 1. Number of sires, dams and progeny by generation

Strain	Year	Generation	No. of sires	N. of dams	No. of progeny
F	86	G1	25	110	525
	87	G2	24	122	594
	88	G3	24	145	487
	89	G4	25	112	523
	90	G5	27	118	561
	91	G6	28	128	627
		Mean	25.5	122.5	552.8
K	86	G1	25	99	456
	87	G2	26	106	457
	88	G3	23	104	433
	89	G4	27	121	513
	90	G5	27	127	702
	91	G6	28	122	608
		Mean	26.0	133.2	528.2

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 평균 능력의 변화

Nordskog 등(1974)의 보고에 의하면 유전적 변화가 없는 대조구 집단의 능력을 비교하여 환경효과를 제거함으로써 선발 효과를 비교적 정확하게 추정할 수 있지만 본 연구에서와 같이 대조구 집단을 가지지 못하는 경우는 선발집단 자체에서 나타난 세대별 능력 변화는(Table 2) 선발에 의한 유전적 효과와 아울러 환경 요인이나 유전과 환경의 상호작용에 의한 효과에

의해 이루어지는 것이므로 세대경과에 따른 평균치 변화 자체가 선발의 효과로 단정지을 수 없을 것이다. 특히나 2계통(F, K) 모두에서 체중(270일령)이 가벼워지고 K계통의 5세대에서 산란수(270일령)가 최저 100.1개까지 급격히 감소된 원인은 유전자 작용에 의한 것으로 간주하기 보다는 오히려 환경에 의한 영향으로 보는 것이 타당하리라 생각된다.

두 계통의 270일령 산란수가 6세대에서는 가장 높은 115.5개(K), 109.1개(F)를 나타낸 것은 시산일령이 단축된 결과에 기인된 것으로 생각된다.

Table 2. Means, standard deviations, regression coefficients of various traits on generation number in F strain

Generation	Trait			
	SM(day)	BW270(g)	EN270(ea)	EW270(g)
G1	144.3± 8.3	1773±160	108.6±10.6	61.9±3.7
G2	144.2± 8.3	1710±100	108.4± 9.6	61.5±3.1
G3	141.3± 8.2	1751±141	109.7±13.5	61.1±3.5
G4	147.8±11.2	1748±110	104.9±17.2	62.6±3.3
G5	142.8±10.7	1642±121	100.1±17.7	60.9±3.6
G6	137.6± 7.1	1699±101	109.1±13.7	61.6±3.3
b±SE	-1.32± 0.98	-16.5±9.58	-0.78±0.91	-0.05±0.56

2. 선발 차

선발 대상 형질에 대한 예상선발차(ESD)와 실현선발차(RSD)는 Table 4, 5와 같다.

F, K 두 계통 모두에서 시산일령의 선발차가 높게 나타났으며 체중은 F계통에서는 감소시키는 방향으로 선발이 이루어졌고 K 계통은 다소 증가시키는 방향으로 선발이 이루어졌다. 270일령 산란수에 대한 선발차가 F계통에서는 평균 10.12, K계통에서는 10.35개로 높게 나타났지만 이러한 산란수에 대한 선발은 시산일

령에 대한 선발과 같은 방향으로 작용함으로 인해 동일 기간내 산란수에 대한 선발보다는 실제 선발에 있어서는 시산일령의 선발에 더 가중치가 두어져 선발이 되어온 결과라고 생각한다.

6세대에서 시산일령에 대한 선발차가 $-0.46(F)$, $-0.62(K)$ 로 나타났는데 이는 주 선발형질인 산란수가 5세대까지는 시산일로부터 270일령까지의 총산란수로 계산되던 것이 6세대에서는 155일부터 270일까지의 산란수로 변경됨으로 인해 실제 선발과정에서는 시산일령보다 산란수에 대한 선발에 가중치가 높게 주어

Table 3. Mean, standards, regression coefficients of various traits on generation number in K strain

Generation	Trait			
	SM(day)	BW270(g)	EN270(ea)	EW270(g)
G1	147.6 ± 8.1	1701 ± 109	109.2 ± 11.7	58.1 ± 3.0
G2	144.2 ± 7.4	1738 ± 145	111.3 ± 9.2	57.9 ± 2.8
G3	146.0 ± 9.2	1724 ± 150	105.8 ± 18.3	57.5 ± 3.0
G4	146.7 ± 9.8	1744 ± 84	104.5 ± 17.4	58.9 ± 3.2
G5	142.7 ± 10.1	1562 ± 114	107.8 ± 15.4	57.6 ± 3.4
G6	134.8 ± 6.3	1695 ± 98	115.5 ± 3.3	58.6 ± 3.3
b ± SE	-1.94 ± 0.79	-15.3 ± 16.2	0.56 ± 1.03*	0.09 ± 0.14

*P < 0.05

Table 4. Expected(ESD) and Realized Selection Differential(RSD) for production trait per generation in F strain

Trait	Item	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Mean
SM	ESD	-3.15	-6.24	-4.64	-5.93	-6.86	-0.46	-4.39
	RSD	-2.80	-6.20	-4.42	-6.21	-6.80	-	-5.29
	RSD/ESD	0.89	0.99	0.95	1.05	0.99		0.97
BW270	ESD	3.34	-10.93	-6.30	29.70	-15.95	-3.38	-0.59
	RSD	-3.90	-11.02	-5.23	25.41	-26.65	-	-4.28
	RSD/ESD	-1.17	1.01	0.83	0.86	1.67		0.64
EN270	ESD	5.93	9.92	9.14	12.03	14.68	9.04	10.12
	RSD	5.73	9.93	8.15	12.27	15.36	-	10.45
	RSD/ESD	0.97	1.00	0.98	1.02	1.05		0.85
EW270	ESD	2.27	1.27	1.06	1.19	0.73	1.31	1.31
	RSD	2.14	1.24	1.03	0.95	0.41	-	1.15
	RSD/ESD	0.94	0.98	0.97	0.80	0.56		0.85

진 결과를 나타내게 되었다.

따라서 시산일령과 난중의 유전상관이 부의 상관관계를 보인다는 일반적인 보고로 미루어 보아 6세대의 선발결과는 난중과 산란율에 대한 개량 효과가 전세대보다는 크게 나타나리라 예상된다.

3. 유전모수 추정

부 분산성분과 모 분산성분 그리고 부모 분산성분에 의해 추정된 주요 형질의 6세대간 유전력은 Table 7, 8과 같다.

시산일령에 대한 유전력은 0.28(F), 0.40(K)이었

Table 5. Expected(ESD) and Realized Selection Differential(RSD) for production trait per generation in K strain

Trait	Item	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Mean
SM	ESD	-4.26	-3.91	-4.74	-4.28	-6.95	-0.62	-3.92
	RSD	-4.23	-3.90	-4.20	-4.80	-7.20	-	-4.87
	RSD/ESD	0.99	0.98	0.89	1.12	1.04		1.00
BW270	ESD	46.61	7.18	-2.83	0.65	1.27	-0.98	8.65
	RSD	50.42	8.49	-0.83	1.14	9.75	-	13.8
	RSD/ESD	1.08	1.18	0.29	1.75	7.68		2.40
EN270	ESD	8.51	6.72	12.92	13.38	13.05	7.50	10.35
	RSD	8.56	6.55	12.72	13.66	13.70	-	11.04
	RSD/ESD	1.00	0.97	0.98	1.02	1.05		1.00
EW270	ESD	1.33	0.91	0.84	1.38	1.51	1.43	1.23
	RSD	1.29	1.02	0.84	1.10	0.96	-	1.04
	RSD/ESD	0.96	1.12	1.00	0.80	0.64		0.90

Table 6. Heritability estimates and standard errors based on sib correlations per generation in F strain

Gen.	Source	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Pooling
SM	S	0.11±0.10	0.22±0.11	0.33±0.15	0.14±0.11	0.57±0.23	0.31±0.13	0.28±0.14
	D	0.32±0.16	0.25±0.13	0.10±0.15	0.35±0.17	0.58±0.18	0.13±0.13	0.29±0.15
	S+D	0.21±0.07	0.24±0.08	0.21±0.29	0.24±0.08	0.58±0.13	0.22±0.08	0.28±0.12
BW270	S	0.90±0.32	0.29±0.18	0.59±0.22	0.36±0.16	0.16±0.10	0.41±0.15	0.45±0.19
	D	0.39±0.14	0.27±0.13	0.06±0.13	0.24±0.16	0.04±0.15	0.03±0.12	0.17±0.14
	S+D	0.64±0.16	0.17±0.06	0.33±0.12	0.30±0.10	0.10±0.08	0.22±0.09	0.29±0.10
EN270	S	0.26±0.14	0.30±0.12	0.06±0.10	0.20±0.09	0.50±0.19	0.34±0.14	0.28±0.13
	D	0.25±0.15	0.16±0.12	0.41±0.21	0.40±0.19	0.05±0.13	0.21±0.14	0.25±0.16
	S+D	0.26±0.09	0.23±0.07	0.23±0.09	0.21±0.09	0.28±0.11	0.27±0.08	0.25±0.09
EW270	S	0.22±0.14	0.67±0.23	0.75±0.30	0.82±0.27	0.53±0.20	0.46±0.18	0.58±0.22
	D	0.54±0.18	0.49±0.14	0.68±0.21	0.38±0.16	0.21±0.16	0.32±0.16	0.44±0.17
	S+D	0.39±0.09	0.58±0.12	0.71±0.17	0.60±0.16	0.39±0.11	0.39±0.11	0.51±0.13

Table 7. Heritability estimates and standard errors based on sib correlations per generation in K strain

Gen.	Source	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Pooling
SM	S	0.19±0.14	0.28±0.16	0.36±0.21	0.51±0.20	0.18±0.12	0.31±0.14	0.31±0.16
	D	0.45±0.20	0.47±0.20	0.92±0.25	0.30±0.16	0.58±0.17	0.17±0.13	0.48±0.19
	S+D	0.33±0.10	0.38±0.11	0.64±0.14	0.40±0.11	0.38±0.08	0.25±0.08	0.40±0.10
BW270	S	0.58±0.27	0.42±0.20	0.14±0.15	0.11±0.09	0.15±0.12	0.34±0.14	0.29±0.16
	D	0.80±0.23	0.43±0.19	0.84±0.24	-	0.76±0.19	0.19±0.14	0.60±0.20
	S+D	0.69±0.15	0.43±0.12	0.49±0.11	0.01±0.07	0.46±0.09	0.26±0.09	0.39±0.11
EN270	S	0.23±0.14	0.12±0.12	0.01±0.13	0.03±0.11	0.35±0.15	0.18±0.09	0.15±0.12
	D	0.16±0.16	0.35±0.19	1.00±0.27	0.79±0.23	0.37±0.15	-	0.53±0.20
	S+D	0.19±0.09	0.23±0.09	0.52±0.12	0.41±0.19	0.36±0.09	0.05±0.06	0.29±0.09
EW270	S	0.71±0.26	0.62±0.23	0.09±0.13	0.16±0.14	0.95±0.31	0.83±0.29	0.56±0.23
	D	0.14±0.14	0.19±0.15	0.72±0.25	0.43±0.21	0.46±0.14	0.41±0.15	0.39±0.17
	S+D	0.42±0.14	0.41±0.13	0.40±0.11	0.29±0.10	0.71±0.16	0.62±0.15	0.48±0.13

Table 8. Estimates of expected genetic gains by selection index in retrospect(F strain).

Trait	Unit	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Mean
SM	day	-2.02	-1.87	-2.37	-1.31	-3.21	-0.86	-1.94
BW270	g	-10.21	3.41	-10.21	-3.21	10.41	14.04	0.71
EN270	ea	1.54	2.28	2.10	2.53	4.11	0.94	2.25
EW270	g	0.89	0.74	0.92	0.71	0.29	0.28	0.64

고 모 분산성분이 부분산성분보다 높게 추정되어 두 계통 모두 시산일령에 대한 모체효과를 포함한 비상가적 유전분산의 존재를 암시하고 있다.

체중(270일령)에 대한 유전력은 두 계통 모두 세대가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 보이다가 F계통은 6세대에 다시 0.22로 증가하였고 K계통은 5세대에서 0.46, 6세대에서는 0.26으로 증가되었다.

산란수(270일령)에 대한 유전력은 세대별로 일정한 변화 양상을 나타내지 않았으며 전체 기록의 평균치는 0.25(F), 0.29(K)로 최(1988), Craig 등(1969)의 보고보다 다소 높은 유전력 추정치를 나타내었다.

난중의 유전력은 F, K 두 계통 모두 부분산성분에 의한 유전력이 모 분산성분에 의한 유전력보다 다소 높게 추정되어 반성유전 효과가 상존하고 있음을 나타내었다.

Falconer(1960), Nordskog 등(1974)에 의하면 폐쇄축군을 수세대에 걸쳐 선발해 나갈 때 더 이상 선발효과가 나타나지 않는 선발반응의 정체현상(Plateau)이 나타난다는 보고를 발표하였는데 본 연구결과를 볼 때 6세대에서의 유전분산이 국내외의 보고와 비슷하거나 오히려 높은 경향치를 보임에 따라 본 F, K 두 계통의 유전적 개량 가능성은 계속 상존하고 있다고 판단된다.

4. 유전적 개량량 추정

각 계통별 유전적 개량량은 Table 8, 9와 같다.

여러 형질을 동시에 개량하기 위한 선발의 경우에도 각 형질의 선발차와 표현형 분산, 공분산 및 유전분산, 공분산을 이용한 추적 선발지수 방법에 의하여 매 세대별로 선발형질에 대하여 유전적 개량량을 추정하게

Table 9. Estimates of expected genetic gains by selection index in retrospect(K strain).

Trait	Unit	G1	G2	G3	G4	G5	G6	Mean
SM	day	4.13	-2.48	-7.11	-0.55	-1.48	-0.99	-2.46
BW270	g	-83.09	3.25	101.59	1.83	16.91	6.79	7.88
EN270	ea	2.52	2.42	1.18	4.38	1.54	-0.01	2.01
EW270	g	0.36	0.22	1.05	0.49	0.54	0.56	0.54

되었는데 본 연구에서 사용된 계군의 세대별 선발기준이 비록 일정한 선발지수를 이용하였지만 각 형질이 어느 수준 이하일 때 제한조건을 가하였기 때문에 실제 선발한 계군의 유전적 개량을 추정하기 위해 Magee(1965)의 제2차 선발차 개념을 확장한 추적 선발지수법에 의한 유전적 개량량 추정이 효과적이라고 생각된다.

시산일령에 대한 유전적 개량량은 $-1.94(F)$, $-2.46(K)$ 으로 추정되었으며 산란수(270일)는 매 세대당 $2.25g(F)$, $2.01(K)$ 씩 증가된 것으로 추정되었는데 모든 선발형질에서 세대별로 추정된 유전적 개량량은 세대경과에 따라 일정한 변화 양상을 보이지 않았고 이는 각 형질의 유전력이 세대경과에 따라 일정한 변화양상을 보이지 않았던 것과 일치하는 경향을 나타냈다.

세대별로 나타난 평균 개량량은 난중에 있어서 평균 $0.64(F)$, $0.54(K)g$ 으로 순종계군 2계통의 난중(40주)에 대한 유전적 개량량을 $-0.01g$ 및 $0.03g$ 으로 보고한 결과보다는 월등히 높은 유전적 개량효과를 나타내었다.

반면에 산란수(270일)의 경우 본 연구에서는 매 세대당 $2.25(F)$, $2.01(K)$ 개의 증가를 보였으며 4.15 , 2.37 개의 유전적 개량효과를 보였다는 최(1988)의 보고보다는 낮은 증가치를 나타냈다.

그러나 대조군 집단이 없는 상태에서 유전모수에 의한 유전적 개량량의 예측은 실제의 유전적 개량과는 상당한 오차요인이 존재하리라 생각되며 이러한 오차요인을 최대한 줄이기 위해 최근 종모우 평가에 도입된 BLUP에 의한 육종가를 추정하여 개량효과를 추정하는 것이 필요하리라 생각된다.

IV. 적 요

본 연구는 난용종 순종계의 특정집단의 주요 경제형질에 대한 단기 산란검정기록을 이용하여 유전적 개량량을 추정하기 위해 수행하였다.

통계분석에 이용된 자료는 단란 백색 레그혼종 F, K 계통에 대한 1986년부터 1991년까지 6세대간 선발 결과의 기록으로서 주요 선발형질은 270일령 산란수, 시산일령, 270일령 난중 및 체중으로 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 각 계통별 평균능력을 보면 시산일령은 매 세대당 $1.94일(K)$, $1.32일(F)$ 씩 감소되었고 체중은 $15.3g(K)$, $16.5g(F)$ 씩 감소되었다. 난중은 $0.09(K)$, $-0.05g(F)$ 씩 증가되었고 산란수는 $0.56(K)$, $-0.78(F)$ 의 증가를 보였다.
2. 조사형질 모두의 예상 선발차에 대한 실현 선발차의 비율이 세대경과에 따라 유의하게 감소되지 않았다.
3. 분산성분에 의한 유전모수는 시산일령이 평균 $0.28(F)$, $0.40(K)$, 270일령 체중이 $0.29(F)$, $0.39(K)$, 산란수(270일)가 $0.25(F)$, $0.29(K)$, 270일령 난중이 $0.51(F)$, $0.48(K)$ 으로 추정되었다.
4. 세대당 유전적 개량은 F, K 계통 모두 일정한 경향치를 보이지 않았고 시산일령이 $-2.46(F)$, $-1.94(K)$, 산란수 $2.01(F)$, $2.25(K)$, 270일령 난중이 $0.54(F)$, $0.64(K)$ 으로 추정되었다.

V. 引用文獻

1. Abplanalp, H. 1961. Linear heritability estimates. *Gent. Res. Cambridge*. 2:439-448.

2. Ayyagari, V., S. C. Mohapatra, A. Venkatremaiah, T. Thiagasudaram, D. Choudhuri, D.C. Johri, and P. Renganathan. 1983. Selection for egg production on part record. II. Correlated response to selection. TAG 64:169-175.
3. Ayyagari, V., S. C. Mohapatra, A. Venkatremaiah, T. Thiagasudaram, D. Choudhuri, D.C. Johri, and P. Renganathan. 1980. Selection for egg production of part record. I. Evaluation of short term response to selection. TAG 57:277-283.
4. Berger, P.J., and W.R. Harvey. 1975. Realized genetic parameters from index selection in mice. J. Anim. Sci. 40:38-47.
5. Chung S.B. 1977. A comparison of intended and realized selection in chickens. Res. Rep. of R.D.O. 198:33-39.
6. Craig, J.V., K.K. Biswas, and H.K. Saaadeh. 1969. Genetic variation and correlated responses in chicken selected for part-year rate of egg production. Poultry Sci. 48:1288-1296.
7. Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd ed. Longman, Inc., New York.
8. Falconer, D.S. 1960. Introduction to quantitative genetics. The Ronald Press, Co.
9. Garwood, V.A., and P.C. Lowe. 1981. An experimental test of the efficiency of family selection in chicken. TAG. 56:5-9.
10. Garwood, V.A., and P.C. Lowe. 1981. An comparison of combination and family selection in chicken. Poultry Sci. 60:285-288.
11. Goher, N.E., and W.H. McGibbon. 1974. Effect of selection and inbreeding on rate of lay in part record and other correlate traits. Proc. 15th World's Poult. New Orleans: 151-153.
12. Graybill, F.A. 1961. An introduction to linear statistical models. McGraw Hill Book Company, Inc., New York.
13. Harvey, W.R. and G.D. Bearden. 1962. Tables of expected genetic progress in each two traits. USDA-ARS.
14. Hazel, L.N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. Gen. 28:476.
15. Kinney., T.B., J.B. Bohren, J.V. Craig and P.C. Lowe. 1970. Response to individual, family or index selection for short term rate of egg production in chicken. Poultry Sci. 49:1052-1060.
16. Latter, B.D.H., and A. Robertson. 1960. Experimental design in the estimation of heritability by regression methods. Biometrics 16:348-353.
17. Magee, W.T. 1965. Estimating response to selection. J. Ani. Sci. 24:2242-2247.
18. Nestor, K.E., and W.L. Bacon. 1986. The influences of genetic increases in egg production and body weight on egg mass production and biological efficiency of turkey hens. Poultry Sci. 65:1410-1412.
19. Nordskog, A. W., H. L. French, C. R. Arboleba, and D.W. Casey. 1972. Breeding for efficiency of egg production. World Poultry Sci. J. 28:175-188.
20. Nordskog, A.W., H.S. Tolman, D.W. Casey, and C.Y. Li. 1974. Selection in small populations of chicken. Poultry Sci. 53:1188-1219.
21. Nordskog, A.W., M. Festing and M.W. Vergheses. 1967. Selection for egg production and correlated responses in the fowl. Genetics. 55:170-191.
22. Osborne, R. 1957. The use of sire and dam family averages in increasing the efficiency of selective breeding under a hierachial mating system. Heridity 11:93-116.
23. Robertson, A.K., and J.S.F. Barker. 1974.

- Two trait selection and the genetic correlation. *Biometric* 15:219-226.
24. Sheridan, A.K., and J.S.F. Barker. 1974. Two-trait selection and the genetic correlation. I. Prediction of responses in single trait and in two-trait selection. *Aust. J. Biol. Sci.* 27:75-88.
 25. Vasquez, C.P., and B.B. Bohresn. 1982. Correlated responses in some economic traits from selection for fast and slow hatching. *Poultry Sci.* 57:330-335.
 26. Wilson, S.P. 1974. An experimental comparison of individual, family and combination selection. *Genetics*, 76:823-836.
 27. Yamada, Y. 1972. Linear heritability and genetic correlation estimates. *J. Jap. Poul. Sci.* 9:90-95.
 28. Yamada, Y., 1976. Evaluation of the culling variate used by breeder in actual selection. Unpublished paper
 29. Yamada, Y., 1977. Evaluation of the culling variate used by breeders in actual selection. *Genetics* 86:885-899.
 30. Yamada, Y., K. Yokouch and A. Nishida, 1975. Selection index when genetic gains of individual traits are of primary concern. *Japan J. Genetics* 50:33-41.
 31. 최연호, 1988. 산란종계의 선발에 의한 유전적 개량량 추정에 관한 연구. 서울 대학교 박사학위 논문.