

Research Article

Efficiency of indirect selection for genetic improvement of carcass weight using conformation traits in Hanwoo cows

Yoon Jae Han¹, Deuk Min Lee^{1*}

Department of Animal Life Convergence Science, Hankyong National University, Anseong 17579, Republic of Korea

*Corresponding author: dhlee@hknu.ac.kr

ABSTRACT

This study evaluated the potential of conformation traits (CT), including body width score (BWS), body height (BH), body length (BL), and body depth (BD), for indirect selection of carcass weight (CW) in Hanwoo cows. The analysis utilized 972,305 phenotypic records and 1,652,808 pedigree records. Breeding values were estimated for CT (WEBV_{CT} and PEBV_{CT}) and CW (WEBV_{CW} and PEBV_{CW}), based on the presence or absence of CW observations, including a validation subset of 10,040 animals. A multiple correlation coefficient of 0.47 was estimated from the regression of WEBV_{CW} on PEBV_{CT}. To reduce dimensionality and multicollinearity among the conformation traits, principal component analysis was conducted. From this analysis, the first two principal components explained 93% and 4% of the total variance, respectively. Regression of WEBV_{CW} on these two components estimated the coefficient for the first principal component at 5.56 ± 0.11 , with a multiple correlation coefficient of 0.46. This suggests that conformation traits can serve as effective indicators for indirect selection, potentially contributing to the genetic improvement of carcass weight.

Keywords: Hanwoo, Carcass weight, Conformation traits, Indirect selection, Correlation

INTRODUCTION

일반적으로 한우 씨수소의 경우 인공수정을 통하여 다수의 자손을 생산할 수 있기 때문에 해당 씨수소의 유전능력 평가는 후대의 도체성적을 이용하여 높은 정확도로 씨수소 선발이 가능하다. 하지만 한우 암소의 경우 두당 후대생산이 제한적이고 번식 중인 암소는 도축할 수가 없어 자신의 도체기록을 갖지 못한다. 따라서 씨수소에 비해 도체형질에 대한 추정육종가(Estimated breeding value, EBV)의 정확도를 높이는 데 제한적이기 때문에 농가 입장에서 가축 개량을 위한 선발에 활용하기 지난한 것이 현실이다. 반면에 2008년부터 한우 암소의 체형을 개량하고자 한우 선형심사를 실시하여 체형에 대한 개량을 꾸준히 진행하고 있다. 한국종축개량협회(Korea Animal Improvement Association, KAIA)는 품종 고유의 외모적 특성, 체형상의 장·단점을 파악하고 우수한 암소 개체의 조기선발 및 체형형질 개량을 위하여 외모심사를 지속적으로 실시하고 있으며 이를 통해 개체 자신의 능력을 조기에 파악하고 도축이 불가능한 번식우에 대해 심사자료를 활용하여 육량, 육질과 같은 주요 경제형질의 유전능력을 간접적으로 추정하여 선발의 정확도를 올릴 수 있을 것으로 판단하고 있다(KAIA, 2022).

국내에서도 한우의 체형 측정치와 도체중, 생체중 등 경제형질 간의 유전상관을 다룬 연구들이 다수 진행되었으며(Choi et al., 1996; Koo et al., 2008; Sun et al., 2008; Shin, 2022), 국외에서도 일본 흑우를 대상으로 한 연구에서는 체형 형질과 도체중 간의 유전상관이 나타난 것으로 다수 보고되었으며(Mukai et al., 1993; Munim et al., 2012), Nellore 품종에 대해 frame score와 육량형질 간의 유전상관이 나타난 것으로 분석되었다(Negreiros et al., 2022). 그러나 기존 선행 연구는 대체로 거세우 또는 수소를 중심으로 한 자료를 활용하였으며, 형질 간 유전상관 분석에 국한되는 경우가 많았고, 특히 암소 개체를 대상으로 한 대규모 자료 기반의 간접선발 효율 분석 및 암소의 개

Received April 22, 2025

Revised July 09, 2025

Accepted August 21, 2025

Copyright © 2025 Korean Society of Animal Breeding and Genetics.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

량 가능성에 대해 정량적으로 분석한 사례는 드물었다.

따라서 한우 암소에서 주요 경제형질인 도체중 개량을 위하여 심사형질의 이용 방안을 알아보고자 심사형질과 도체중의 유전모수 및 육종가 추정과 추정된 육종가들의 형질 간 유전적 상관관계를 규명하여 심사형질을 활용한 도체중의 간접선택 효율성을 높일 수 있는 방안을 모색하고자 본 연구를 실시하였다.

MATERIALS AND METHODS

1. 공시재료

본 연구에 이용된 자료는 한국종축개량협회에서 2013년도 8월부터 2022년도 8월까지 수집된 한우 암소의 심사자료와 대상 개체의 도축 시 조사된 도체중(CW)을 이용하였다. 분석에 이용된 심사형질은 한우 심사사업(2013년 제정)에서 정의된 19개 부위의 선형심사형질 중 도체중과의 표현형 관련성을 분석하여 연관관계($P < 0.05$)가 있으며 육용성의 지표로 활용되는 체형에 대한 심사형질을 선정하였다. 본 연구에서는 체적의 등급에 활용하기 위하여 실측된 체고(BH), 체장(BL), 체심(BD) 길이와 중구의 발육 정도를 나타내는 체폭에 대한 선형심사 점수(BWS)를 이용하였다. BWS 심사점수는 한우심사기준에 따라 한국종축개량협회의 심사전문가가 전구, 중구, 후구의 발육 정도를 육안으로 심사하여 1~9점 범위에서 심사성적을 조사하였으며 도체중은 축산물품질평가원의 도체성적 조사 기준에 따라 조사하였다.

분석 결과의 신뢰도를 높이기 위해 이상치 자료를 제거하고 본 분석에 이용하였는데 이상치 자료의 제거 기준은 다음과 같다. 심사월령이 20~71개월령인 개체로써 중복된 심사자료의 경우 최종 심사자료만을 선택하였으며 각 형질별 표현형 관측치가 3표준편차 범위 밖의 관측치는 분석에서 제외하였다. 또한 분석형질들에 대해 통계모형식에서 고려한 각 요인들의 수준 내 관측치를 기준으로 유효자료를 선별하였는데, 심사자료에 있어서 분석모형에서 고려한 지역별 심사두수가 100두 이상인 자료, 심사자별 심사두수가 1,000두 이상의 자료, 출생연도가 2007년 이후이고 심사연도가 2013년 이후의 심사자료를 분석에 이용하였다.

도체중에 대한 자료의 선정은 도축월령이 24~71개월령이며 심사자료를 갖거나 심사개체와 혈연관계가 있는 도체성적 자료를 선별하였고 또한 심사연도와 도축연도의 차이가 48개월 이내인 도축자료만을 선정하였다. 또한 지역별 도체성적 자료를 100두 이상 갖는 지역에서 도축된 자료를 선정하였다. 심사 또는 도체성적 자료를 갖는 개체의 혈연관계를 조사하여 아비당 100두 이상의 심사 또는 도체성적 자료를 분석에 이용하였다. 이상치 자료를 제거 후에 본 분석에 이용된 자료는 암소 972,305두로부터 조사된 549,466두의 심사자료, 652,826두의 도체성적 자료 및 1,652,808두의 혈통자료를 이용하였다.

2. 분석방법

(1) 유전모수 추정

심사형질 및 도체중의 유전변이를 추정하기 위해 개체별 관측치 정보와 혈통정보를 이용하여 심사형질과 도체중을 모두 고려한 다형질 개체모형을 활용하였다. 심사형질에 대한 통계분석 모형식은 다음과 같다.

$$y_{ijklmn} = \mu + BCS_i + Loc_j + Measurer_k + MYM_l + Mage_m + a_{ijklmn} + e_{ijklmn}$$

여기서, y_{ijklmn} 은 개체의 관측치이며, μ 는 전체 평균, BCS_i 는 심사 시 개체별 영양도를 나타내는 신체충실지수 점수를 고정효과($i=1\sim9$)로써 간주한 것이고, Loc_j 는 농장이 소재한 전국의 시·군·사육지역을 고정효과($j=1\sim1,090$)로 간주한 것이며, $Measurer_k$ 는 한국종축개량협회 소속의 전문 심사자를 고정효과($k=1\sim39$)로 간주하였으며, MYM_l 은 심사 시 해당 연도-월을 고정효과($l=1\sim108$)로 간주하였으며, $Mage_m$ 은 심사시 개체의 월령을 고정효과($m=1\sim52$)로 간주한 요인이며, a_{ijklmn} 은 개체의 상가적 유전 임의효과 및 e_{ijklmn} 은

개체의 측정 오차에 대한 임의효과이다.

도체중에 대한 통계분석 모형식은 다음과 같이 설정하였다.

$$y_{ijkl} = \mu + \text{Loc}_i + \text{SYM}_j + \text{Sage}_k + a_{ijkl} + e_{ijkl}$$

여기서, y_{ijkl} 은 개체의 관측치이며, μ 는 전체 평균, Loc_i 는 농장이 소재한 전국 시·군 사육 지역을 고정효과($i=1\sim1,090$)로 정의한 것이고, SYM_j 는 도축 시 해당 년-월을 고정효과($j=1\sim103$)로 간주하였으며, Sage_k 는 도축 시 개체의 월령을 고정효과($k=1\sim48$)로 간주하였으며, a_{ijkl} 은 개체의 상가적 유전 임의효과 및 e_{ijkl} 는 개체의 측정 오차에 대한 임의효과이다.

5개의 다형질 통계분석 모형식의 가정으로 개체의 상가적 유전요인의 분포는 정규분포하에서 $a \sim N(0, G \otimes A)$ 의 분포를 갖는 것으로 가정하였다. 오차변이에 대한 분포는 $e \sim N(0, R \otimes I)$ 의 분포를 갖는 것으로 가정하였는데 여기서 심사형질과 도체중 간의 오차 공분산은 없는 것으로 가정하였다. 또한 유전-환경과의 공분산은 존재하지 않는 것으로 간주하였다. 여기서 G 및 R 은 5×5 의 형질에 대한 (공)분산 행렬이며 A 는 개체 간의 혈연관계 행렬이고, I 는 단위행렬이며, $\otimes$ 는 Kronecker 곱을 정의하였다. 추정 방법은 Bayesian 추론 방법을 적용하였으며 통계분석 프로그램은 BLUPF90 Family의 GIBBSF90+를 사용하였다(Misztal et al., 2014). 형질별 분산 추정치는 100,000회 Gibbs Sampling을 수행하여 각 모수에 대해 처음 10,000회의 표본들은 Burn-in period로 간주하여 제외 후 나머지 90,000회의 표본들에 대한 사후분포 평균을 대표값으로 하여 추정치로 제시하였다. 심사형질 및 도체중의 통계분석을 위하여 이용된 자료에 있어서 각 통계분석 모형별 요인 내 수준별 관측치들에 대한 통계량은 Table 1과 같다.

Table 1. Statistics for number of subclass on statistical model for genetic analysis on conformation traits and carcass weight in Hanwoo cows

Traits	Effect	Number of levels	Mean	SD	Min	Max
Conformation	¹⁾ BCS	9	61,060	87,893	399	254,481
	Loc	1,090	504	500	27	5,532
	Measurer	39	14,091	11,429	768	44,843
	MYM	107	5,136	3,707	35	13,834
	Mage	52	10,568	8,406	816	26,340
Carcass	SYM	103	6,338	2,990	879	13,510
	Sage	48	13,601	4,048	6,097	22,125
	Loc	1,090	599	604	72	5,259

¹⁾BCS: Body condition score, Loc: Si-Gun group of farm location, MYM: Year-month at measurement date, Mage: Month of age at measurement, SYM: Year-month at slaughter date, Sage: Month of age at slaughter

(2) 추정육종가의 정확도 및 간접선발 효율 추정

개체별 각 형질들에 대한 추정육종가의 정확도는 추정 육종가의 표준오차(SEP) 및 각 형질별 유전분산(σ_a^2)을 이용하여 다음과 같이 추정하였다.

$$\text{Acc}_i = \sqrt{1 - \frac{\text{SEP}_i^2}{\sigma_a^2}}$$

또한 간접선발의 효율성을 검증하기 위하여 심사자료와 도체자료, 혈통자료를 모두 만족하는 한우 암소 중에 출생일이 2018년도 5월 ~ 2020년도 7월 사이인 개체 10,040두를 검증집단으로 선정하였다. 또한 2회의 육종가 추정을 실시하였는데, 1차로 검증집단의 도체중 정보를 제외하고 육종가를 추정(PEBV)한 결과와, 2차로 검증집단의 도체중 정보를 포함하여 추정한 육종가(WEBV)를 각 형질별로 비교하였다. 5개 형질의 PEBV(PEBV_{BWS}, PEBV_{BH}, PEBV_{BL}, PEBV_{BD}, PEBV_{CW})와 도체중의 WEBV(WEBV_{CW}) 및 보정표현

형(PHE_{CW})에 대한 상관분석 및 회귀분석을 진행하였다. 여기서 표현형에 대한 보정 방법은 상기의 통계모형식에서 지역 평균, 2022년도 7월 도축일 기준, 45개월령 도축기준으로 선행보정하였다. 또한 4개의 심사형질 간에 높은 상관관계를 가정하여 다중공선성 문제를 해결하고 도체중에 대한 간접선택의 효율을 예측하기 위하여 4개 심사형질의 PEBV에 대한 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석은 SAS 9.4의 Proc PRINCOMP 프로시저를 이용하였으며(SAS Institute Inc., 2016) 고유값을 기준으로 제1차 주성분(Prin1)과 제2차 주성분(Prin2)을 선정하여 이들 주성분을 독립변수로 하고 WEBV_{CW}를 종속변수로 설정한 회귀분석모형을 통해 심사형질을 활용한 도체중 육종가의 간접선택 효율을 확인하였다.

RESULTS AND DISCUSSION

1. 일반통계량

분석에 이용된 심사형질 및 도체중의 표현형 관측치에 대한 기초통계량을 분석한 결과, 심사월령 및 도축월령의 평균 및 표준편차는 37.8 ± 10.8 개월령 및 45.3 ± 12.7 개월령으로 분석되었는데, 이들 각 관측치별 기초통계량의 계산은 심사월령 및 도축월령이 관측치에 유의적인 영향($P < 0.05$)을 하고 있으므로 심사형질 및 도체중에 대한 관측치를 집단의 평균 심사월령 및 도축월령으로 선행보정하여 Table 2에 제시하였다. 월령에 대한 보정 후 계산한 각 형질별 통계량을 살펴보면, BWS, BH, BL 및 BD의 평균이 각각 5.72점, 130.10cm, 154.22cm, 72.10cm의 발육 성적을 보이는 것으로 분석되었는데, 이는 Choi et al. (1996)이 1984년도~1992년도에 수집한 24개월령 한우 암소 4,727두의 체고, 체장, 체심에 대한 평균치 118.93cm, 134.88cm, 61.99cm보다 각각 9%, 14%, 16%의 증가율을 보였다. 이러한 결과는 지난 30년간 한우의 산육능력 향상을 위한 체중 개량에 따른 체형의 간접형질 개량 효과로 사료된다. CW에 대한 평균성적은 362.47kg으로 2000년부터 2005년까지 도축된 한우 암소 평균 307kg(Moon et al., 2007) 및 2006년부터 2009년까지의 평균 2.3산에 도축된 한우 암소 평균 313.4kg(Koo, 2010)보다 다소 높게 추정되어 과거에 비해 개량이 진행됐음을 알 수 있었다.

Table 2. Descriptive statistics of age-adjusted conformation traits and carcass weight in Hanwoo cows

Trait(unit)	N	Mean	SD	Min	Max
¹⁾ BWS(score)	549,541	5.72	1.08	0.76	9.37
BH(cm)	545,149	130.10	2.15	123.94	137.72
BL(cm)	542,318	154.22	3.05	144.75	167.47
BD(cm)	545,366	72.10	2.18	65.97	80.39
CW(kg)	652,832	362.47	46.35	226.26	510.14

¹⁾BWS: Body width score, BH: Body height, BL: Body length, BD: Body depth, CW: Carcass weight, Phenotypic records for conformation traits and carcass weight were adjusted to 38 months of age at measurement and 45 months of age at slaughter, respectively.

심사형질과 도체중에 영향하는 환경요인들에 대해 분산분석을 실시한 결과를 Table 3에 제시하였다. 심사형질 및 도체중에 대한 분산분석 모형식에서 결정계수는 모두 0.96 이상의 추정치로 모형식에 대한 적합도가 높음을 알 수 있었다. 심사형질에 대한 관측치는 사양관리에 따른 개체의 비유전적인 영양 조건에 따라 고도의 유의적인 차이를 보이는 것으로 분석되었고 또한 심사 기준은 객관적으로 설정되어 있으나 39명 외모심사 전문가의 기술 수준에 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 심사자의 직관적인 판단에 따라 수치화된 BWS뿐만 아니라 실측치로 측정되는 BH, BL, BD의 관측치에서도 심사자별 차이가 있는 것으로 분석되었기 때문에 좀 더 객관적인 평가를 위한 표준화가 필요할 것으로 판단된다. 또한 측정 시 해당 개체의 월령 및 지역 간에 심사형질 측정치의 차이가 있는 것으로 분석되었다. CW에 대한 분석 결과 사육지역, 도축년-월 및 도축 시 월령에 따라 CW의 유의적인 차이가 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Analysis of variance and significances for conformation traits and carcass weight by source of effects in Hanwoo cows

Source	DF	Type III mean square				
		¹ BWS	BH	BL	BD	CW
² BCS	8	30,182.73 ³ ***	133,098.5***	240,842.9***	184,879.0***	
Measurer	38	1,344.2***	29,391.8***	132,780.0***	10,105.8***	
MYM	106	20.5***	2829.0***	11,752.6***	1,688.3***	
Mage	51	245.1***	12,956.6***	12,439.8***	4,847.9***	
Loc	1,089	0.5***	99.4***	340.9***	33.5***	4,157.0***
SYM	102					594,904.8***
Sage	47					231,125.5***
MSE		0.3	74.7	169.5	22.3	1,374.6
R ²		0.96	0.98	0.97	0.98	0.96

¹BWS: Body width score, BH: Body height, BL: Body length, BD: Body depth, CW: Carcass weight,

²BCS: Body condition score, MYM: Year-month at measurement date, Mage: Month of age at measurement, Loc: Si-Gun group of farm location, SYM: Year-month at slaughter date, Sage: Month of age at slaughter

³***: $p < 0.0001$

2. 유전모수 추정

심사형질 및 도체중에 대한 유전모수 추정 결과는 Table 4와 같다. BWS 형질의 유전력은 0.17로 비교적 낮게 추정되었으며 이는 Shin (2022)이 추정한 369,723두의 체폭 선형심사형질의 유전력 0.17과 유사하게 나타났다. 이러한 유전력 추정치는 실제 연속 잠재 변수의 형질을 순서화된 범주형 Censored 자료의 형태로 조사하였기 때문에 잠재변수의 충분한 변이성을 추정하지 못한 것으로 판단되며 실제 체폭 측정치를 이용하여 유전력을 추정하면 BWS보다 높은 유전력을 나타낼 것으로 사료된다. 반면에 실측치로 측정된 BH, BL 및 BD의 유전력은 각각 0.37, 0.30, 0.25로 추정되었다. 체척치에 대한 유전력 추정치는 Lee et al. (2021)이 추정한 18개월령 후대검정우의 체척형질인 체고, 체장, 체심의 유전력 0.40, 0.26, 0.20과 비교하면 유사한 결과로 판단되며, Cho et al. (2014)이 24-55개월령에 측정된 한우 암소 16,478두의 선형심사형질 체고, 체장, 체심에 대한 유전력 0.16, 0.13, 0.06보다 높게 나타났지만, Noh (2021)가 추정한 4,681두의 선형심사형질 체고, 체장에 대한 유전력 0.34, 0.37 및 Lee et al. (2017)이 추정한 25,516두의 선형심사형질 체고, 체장, 체심의 유전력 0.40, 0.42, 0.25와는 비교적 차이가 작게 나타났다. CW에 대한 유전력은 0.54로 Noh et al. (2021)이 추정한 유전력 0.32 및 Shin et al. (2023)이 추정한 유전력 0.50보다 크게 나타났다. 이러한 차이는 분석에 사용된 데이터의 규모, 통계모형의 차이 등에서 기인한 것으로 판단된다. CW에 대한 유전적 변이성을 살펴보면, CW 평균 361kg 중 35kg이 유전 표준편차로 추정되어 향후 유전적으로 개량 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 4. Estimates of genetic parameters and variances for conformation traits and carcass weight in Hanwoo cows

	¹ Genetic parameters					² Variances	
	BWS	BH	BL	BD	CW	σ_a^2	σ_e^2
³ BWS	0.17	.623	.640	.716	.394	0.108	0.524
BH	.328	0.37	.866	.800	.444	1.587	2.708
BL	.350	.695	0.30	.820	.480	2.218	5.110
BD	.419	.535	.539	0.25	.460	0.871	2.646
CW	.086	.117	.105	.095	0.54	1233.8	1072.8

¹Diagonal: heritability, above diagonal: genetic correlation, below diagonal: residual correlation

² σ_a^2 : additive genetic variances, σ_e^2 : residual variances

³BWS: Body width score, BH: Body height, BL: Body length, BD: Body depth, CW: Carcass weight

형질 간 유전상관 및 환경상관 추정치를 살펴보면, 심사형질 중 체척치(BH, BL, BD) 간의 유전상관 추정치는 0.80 이상의 매우 높은 추정치를 보인 반면 BWS와 체척치 간에는 이보다 다소 낮은 0.62~0.72의 상관을 갖는 것으로 추정되었다. 도체중의 유전상관 추정치를 살펴보면 BWS와는 0.39로 비교적 낮은 정의 상관을 갖는 것으로 추정된 반면 기타 체척치와의 유전상관은 0.44~0.48로 중도의 정의 상관을 갖는 것으로 추정되었다. 이러한 유전상관 추정치를 고려할 때, 도체중의 개량을 위해서 Censored 형태의 자료 보다는 체척치의 유전상관을 이용한 간접선택의 기대효과가 클 것으로 사료된다. 심사자료를 이용한 도체중의 간접선택 반응은 아래의 수식으로 표현될 수 있다(Falconer & Mackay, 1996).

$$CR_{CW} = \gamma_g \times \frac{\sigma_{g(CW)}}{\sqrt{\text{tr}(\Sigma)}} \times R_I,$$

여기서 γ_g 는 4개의 심사형질과 도체중 간의 중상관계수로써 본 연구에서는 0.50으로 추정되었다. 도체중에 대한 유전표준편차($\sigma_{g(CW)}$)는 35.12kg이었으며 4개 심사형질에 대한 유전 공분산행렬(Σ)의 대각합은 4.79이었다. 또한 R_I 는 4개 심사형질의 선발지수에 대한 선발반응을 나타낸다. 따라서 4개의 심사형질에 대한 가중치를 동일하게 부여하여 선발지수를 계산할 때, 선발지수에 의하여 선발된 개체의 지수값이 1단위 증가함에 따라 도체중은 3.7kg 증가할 수 있을 것으로 예측되었다. 여기서 도체중 간의 중상관계수가 크고 Σ 이 적을수록 간접선택의 효율이 클 수 있는데, 일반적으로 4개의 심사형질 간의 유전적 다중공선성이 클수록 Σ 은 작아진다. 다중공선성의 크기를 고려하여 상관반응을 추정하기 위해서는 4개 심사형질의 주성분 분석을 통한 공분산행렬을 기반으로 해석하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 추정육종가 및 간접선택 효율

검증집단 10,040두에 있어서 분석형질들의 추정육종가(PEBV 및 WEBV)에 대한 정확도 평균을 살펴본 결과, BWS, BH, BL, 및 BD의 PEBV에 대한 정확도 평균은 각각 0.66, 0.72, 0.71, 0.70으로 추정되었고 WEBV의 정확도 평균은 각각 0.68, 0.74, 0.73, 0.71로 추정되어 도체중의 표현형 정보를 포함하여 추정할 경우에 그렇지 않을 때 보다 정확도 평균치가 약 0.01~0.02 증가하였으며 이는 심사형질과 도체중 간의 유전적 상관관계에서 기인한 것으로 판단된다. 도체중에서 PEBV 및 WEBV의 정확도 평균은 각각 0.61 및 0.79로 도체중 표현형 정보를 포함할 경우 정확도 평균이 0.18 상승하는 결과를 제시하였으며, 이를 통하여 심사형질을 이용한 간접선택 효율을 예측할 수 있었다.

또한 도체중 개량에 대한 간접선택 효과를 분석하기에 앞서, 기존 분석 결과를 바탕으로 도체중의 개량 추세를 살펴보았다. $WEBV_{CW}$ 정확도가 65% 이상인 한우 암소 725,886두와 도체중에 대한 표현형 정보를 갖는 한우 암소 648,569두에 대한 보정표현형의 출생연도에 대한 회귀분석을 통해 도체중의 개량 추세를 알아보았다(Figure 1). 개량 추세를 살펴보면 PHE_{CW} 의 경우 회귀계수가 1.165kg/year로 추정되었고 $WEBV_{CW}$ 의 경우는 1.241kg/year로 추정되어 각 회귀계수는 유사한 추정 결과를 보였다. 본 연구에서 추정된 회귀계수는 Son et al. (2021)이 제시한 도체중 연간 개량량 0.444 ± 0.037 kg/year보다 높은 추정치로 한우 암소의 연간 평균 개량 정도를 표현하였다. 이러한 개량 결과로 볼 때 한우 암소는 육량 및 육질 향상을 목적으로 선발 및 교배를 지속적으로 진행했으며, 농가에서 암소 선발 시 활용 가능한 정보에는 생축으로부터 조사 가능한 외모심사 성적, 초음파 성적, 해당 암소와 혈연관계를 갖는 개체의 도체중 성적 및 교배대상 수소 등이 있다는 점에서, 외모심사를 통한 암소 선발이 도체중 개량에 일부 기여하였을 것으로 추론되어 심사형질의 PEBV와 도체중의 PEBV 및 WEBV 간에 상관을 분석하였다(Table 5).

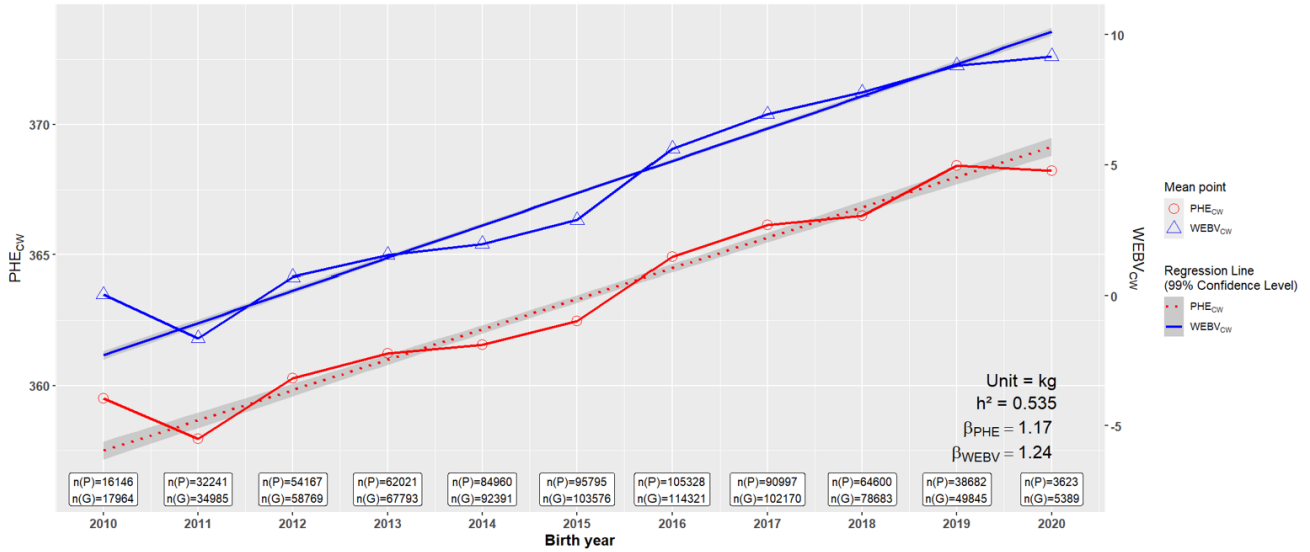


Figure 1. Adjusted phenotypic and genetic trends for carcass weight by birth year in Hanwoo cows. WEBV: Breeding values estimated using the whole dataset; PHE: Adjusted phenotype; CW: Carcass weight; n(P): Number of records for adjusted phenotypic carcass weight by birth year; n(G): Number of records for estimated breeding values of carcass weight by birth year

Table 5에 제시된 바와 같이 $WEBV_{CW}$ 와 심사형질 PEBV의 상관계수는 0.43~0.46으로 추정되었다. 반면에 $WEBV_{CW}$ 와 $PEBV_{CW}$ 와의 상관계수는 0.60으로 심사형질 PEBV보다 다소 높게 추정되었다. 또한 PHE_{CW} 와 각 형질별 육종가 추정치와의 상관관계를 살펴 보면, 각 심사형질 PEBV 추정치와 0.26~0.28의 상관관계 및 $PEBV_{CW}$ 와 0.33의 상관관계를 보인 반면에 $WEBV_{CW}$ 와는 0.95의 상관계수를 보였다.

Table 5. The correlation coefficients between the estimated breeding values of conformation traits and carcass weight in the validation group of 10,040 Hanwoo cows

Variable	$PEBV_{BH}$	$PEBV_{BL}$	$PEBV_{BD}$	$PEBV_{CW}$	$WEBV_{CW}$	PHE_{CW}
¹⁾ $PEBV_{BWS}$	0.84	0.86	0.89	0.75	0.43	0.26
$PEBV_{BH}$		0.95	0.93	0.75	0.45	0.27
$PEBV_{BL}$			0.93	0.78	0.46	0.28
$PEBV_{BD}$				0.74	0.44	0.27
$PEBV_{CW}$					0.60	0.33
$WEBV_{CW}$						0.95

¹⁾PEBV: Breeding values estimated by excluding carcass weight phenotype in the validation group of 10,040 Hanwoo cows, WEBV: Breeding values estimated using the whole dataset, PHE: Adjusted phenotype, BWS: Body width score, BH: Body height, BL: Body length, BD: Body depth, CW: Carcass weight

검증집단에 있어서 $WEBV_{CW}$ 를 이용하여 4개 심사형질의 PEBV에 대한 편상관분석 및 중회귀분석을 실시한 결과(Table 6), $WEBV_{CW}$ 에 대한 4개의 심사형질 PEBV의 편상관계수를 살펴보면 $PEBV_{BL}$ 이 $WEBV_{CW}$ 에 가장 크게 양의 방향으로 영향하고 있었으며 그 다음은 $PEBV_{BWS}$, $PEBV_{BH}$ 이었으며, $PEBV_{BD}$ 는 음의 방향으로 영향하고 있었다. 중회귀분석 결과 유전 공분산 행렬로 얻은 중상관계수 0.50보다 다소 낮은 0.47로 추정되었고, 각 독립변수에 대한 회귀계수를 살펴본 결과 $PEBV_{BD}$ 를 제외한 심사형질들의 PEBV 회귀계수는 모두 정의 효과를 나타낸 반면에 $PEBV_{BD}$ 에 대한 회귀계수는 음의 효과를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 각 독립변수에 대한 다중공선성이 존재하기 때문에 주성분 분석을 통해 심사형질 간 다중공선성 문제를 해결하여 4개 심사형질의 종합적인 영향 정도를 확인하였다.

Table 6. Regression coefficients and partial correlation coefficients for estimated breeding values of carcass weight with whole dataset on estimated breeding values of four conformation traits with partial dataset in validation group ($R^2=0.22$)

Variable	Regression			VIF	Partial correlation
	$\beta \pm SE$	t-value	p-value		
¹ PEBV _{BWS}	24.41 $\pm$ 3.38	7.22	<0.001	5.09	0.07
PEBV _{BH}	2.59 $\pm$ 1.03	2.51	0.012	11.39	0.03
PEBV _{BL}	10.22 $\pm$ 0.93	10.95	<0.001	12.62	0.11
PEBV _{BD}	-4.04 $\pm$ 1.53	-2.63	0.009	11.54	-0.03

¹PEBV: Breeding values estimated by excluding carcass weight phenotype in the validation group of 10,040 Hanwoo cows, BWS: Body width score, BH: Body height, BL: Body length, BD: Body depth

4개 심사형질의 PEBV에 대하여 1차 및 2차 주성분의 고유값이 각각 3.704, 0.180으로 4개의 심사형질에 대한 총변이의 97%를 설명하였다. 따라서 도체중의 유전적 개량을 위하여 심사형질들 간의 유전적 상관관계 및 이들 형질 간의 다중공선성을 해결하고 독립변수의 차원을 1차 및 2차 주성분으로 감소하여 이들 주성분과 도체중간의 상관을 추정하여 본 결과, 0.46의 상관 추정값을 얻었다. 이러한 결과로 볼 때, 4개의 심사형질들은 도체중의 유전적 개량에 있어서 어느 정도 영향하고 있음을 확인하였고 이는 해당 크기 만큼의 간접선택 효율이 있는 것을 알 수 있었다.

CONCLUSION

본 연구는 한우 암소 549,466두의 심사 자료, 652,832두의 도체자료 및 1,652,808두의 혈통자료를 활용하여 체폭에 대한 선형심사 점수 및 체고, 체장, 체심 체척치를 통해 도체중의 간접선택 효과를 알아보았다. 분석 내용으로 4개의 심사형질과 도체중에 대한 유전변이 및 육종가와 이들 추정치의 정확도를 분석하였으며 육종가 추정에 있어서 표본집단을 설정하여 도체중 표현형 자료의 유무에 따른 각 형질별 추정육종가의 정확도를 알아보았다. 또한 각 형질별 추정육종가 간의 상관관계 및 심사형질 추정육종가에 대한 주성분 분석을 통하여 도체중의 간접선택 효율을 알아보았다. 분석 결과 한우 암소의 도체중은 개체 자신의 도체중에 대한 정보 없이 선발육종을 실시하였음에도 불구하고 연간 1.2kg씩 증가하고 있음을 확인할 수 있었는데, 이는 각 심사형질별 유전력 추정치가 0.17~0.37이고 도체중과의 유전상관은 0.39~0.48로 추정되었으며 4개 심사형질의 PEBV와 도체중의 WEBV와의 중상관계수는 0.47로 4개 심사형질이 도체중의 개량에 영향하고 있음을 알 수 있었다. 또한 4개 심사형질 중에는 BL이 가장 크게 영향하고 있었으며 상대적으로 BD는 비교적 영향하고 있지 않음을 알 수 있었다. 따라서 한우 암소의 도체중을 개량하기 위해서는 혈연관계를 갖는 개체들의 도체중 표현형 정보뿐만 아니라 해당 개체의 심사형질을 이용하면 개량의 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

CONFLICT OF INTERESTS

No potential conflict of interest relevant to this article is reported.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 한경국립대학교 2023년도 학술연구구성비의 지원에 의한 것임(This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2023.).

REFERENCES

- Cho CI, Choi TJ, Cho KH, Choi JG, Lee SS, Choy YH, Alam M, Koo YM, Lee KH, Park BH. 2014. Study on genetic parameters for linear type traits in Hanwoo cows. *Annals of Animal Resource Sciences* 25:7-13. [in Korean]
- Choi HS, Baik DH, Shin WJ, Song JY, Na CS. 1996. Effects of pregnancy phase and other factors on body measurements in Korean native cows. *Journal of Animal Science and Technology* 38(1):15-22. [in Korean]
- Crook BJ, Weerasinghe WMSP, Torok M. 2023. Genetic parameters for linear type traits in Hungarian Charolais beef cattle. In *Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 25:294-297.
- Falconer DS, Mackay TFC. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. Addison Wesley Longman, Harlow.
- Fang KT, Li R, Sudjianto A. 2005. *Design and modeling for computer experiments*. Chapman & Hall.
- Hickey JM, Keane MG, Kenny DA, Cromie AR, Mulder HA, Veerkamp RF. 2008. Estimation of accuracy and bias in genetic evaluations with genetic groups using sampling. *Journal of animal science* 86(5):1047-1056.
- Jeyaruban G, Tier B, Johnston D, Graser H. 2012. Genetic analysis of feet and leg traits of Australian Angus cattle using linear and threshold models. *Animal Production Science* 52(1):1-10.
- Kim SJ, Choi TJ, Son JH, Lee DM, Lee JJ, Lee JG, Lim HT, Koo YM. 2022. Estimation of Genomic Estimated Breeding Value(GEBV) and Reliability for Hanwoo Carcass Traits using ssGBLUP. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 6(3):57-72. [in Korean]
- Koo YM. 2010. Research on the development of the genetic evaluation system on Hanwoo carcass traits. Ph.D dissertation, Gyeongsang National University, Jinju, Korea. [in Korean]
- Korea Animal Improvement Association. 2022. Introduction of Hanwoo improvement. <https://www.aiak.or.kr/> (2024.10.09.).
- Lee DJ, Lee SH, Yoon DH. 2022. A comparative study of estimated breeding values with Hanwoo cow using genetic evaluation models. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 6(4):241-252. [in Korean]
- Lee KH, Koo YM, Kim JI, Song CE, Jeoung YH, Noh JK, Ha YN, Cha DH, Son JH, Park BH, Lee JG, Lee JG, Lee JH, Do CH, Choi TJ. 2017. Estimation of genetic parameters for linear type and conformation traits in Hanwoo cows. *Journal of Agriculture & Life Science* 51:89-105. [in Korean]
- Lee MK, Kim SJ, Son JH, Lee JJ, Kim KS, Koo YM. 2023. Estimation of genetic parameters for linear classification traits in Hanwoo cows using multiple trait animal model. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 7(4):143-156. [in Korean]
- Lee SH, Dang CG, Choy YH, Park MN, Lee SS, Lee YC, Lee JG, Chang HK, Lee DH, Yoon HB, Choi TJ. 2021. Comparison study of body measurement genetic parameters according to measured months by single and multi-traits animal model in national evaluation of Hanwoo cattle. *Journal of Animal Breeding and Genomics*, 5(4):209-217. [in Korean]
- Misztal I, Tsuruta S, Lourenco DAL, Aguilar I, Legarra A, and Vitezica Z. 2014. Manual for BLUPF90 family of programs. University of Georgia, Athens. USA. https://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all.pdf (2024.10.09.)
- Moon WG, Kim BW, Roh SH, Kim HS, Jung DJ, Sun DW, Kim KN, Yoon YT, Jung JH, Jeon JT, Lee JG. 2007. Estimation of environmental effect and genetic parameters for the carcass traits in Hanwoo (Korean cattle). *Journal of Animal Science and Technology* 49(6):689-698. [in Korean]
- Munim T, Oikawa T, Ibi T, Kunieda T. 2013. Genetic relationship of body measurement traits at early age with carcass traits in Japanese black cattle. *Animal Science Journal* 84(3):206-212.
- Negreiros M, Peripolli E, Espigolan R, Londoño-Gil M, Rodriguez J, Brunes L, Magnabosco C, Guimarães N, Sainz R, Cravo P, Lobo R, Baldi F. 2022. Selection criteria for frame score and its association with growth-, reproductive-, feed efficiency- and carcass-related traits in Nellore cattle. *Animal Production Science* 62(16). DOI:10.1071/AN22054
- Noh JK. 2021. Study on the genetic relationship among the birth weight, cow linear traits and economic traits in Hanwoo. Ph.D dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Noh JK, Park CH, Son JH, Lee KH, Do CH, Lim HT, Lee JG, Choi TJ, Koo YM. 2021. Estimation of Genetic Parameters and Identification of correlations between Carcass Traits and Birth Weight in Hanwoo. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 5(2):71-93. [in Korean]
- Ohh BK, Lee DH, Lee MH. 1990. The environmental effects and yearly improvement trends of body weight and body type measurement in Korean native beef cattle. *Journal of Animal Science and Technology* 32(7):356-361. [in Korean]
- Pearson, K. 1901. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 2(11):559-572.

- R Core Team. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/> (2024.10.09.)
- Robinson DL, Cafe LM, McKiernan WA. 2014. Heritability of muscle score and genetic and phenotypic relationships with weight, fatness and eye muscle area in beef cattle. *Animal Production Science* 54:1443-1448.
- SAS Institute Inc. 2016. SAS® 9.4 Language reference: concepts, sixth edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shin SK. 2022. Estimation of the genetic connection between body measurement traits and first calving interval and cow carcass traits in Hanwoo(Korean cattle). Ph.D dissertation, Chungnam National University, Daejeon, Korea. [in Korean]
- Shin SK, Kim SJ, Son JH, Noh JK, Do CH, Koo YM. 2023. Estimation of Genetic Parameters for Carcass Traits in Hanwoo cows. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 7(2):45-54. [in Korean]
- Son JH, Koo YM, Jeoung YH, Kim JI, Cha DH, Kim SJ, Choi TJ, Park MN, Lee DH, Lee JH. 2021. Estimation of the genetic gain of carcass traits in Hanwoo Korean proven bull and cow. *Journal of Agriculture & Life Science* 55(3):81-88. [in Korean]