

Research Article

Effects of estimated breeding values of sires on the performance of steer progeny in Hanwoo carcass traits.

한우 거세우 도체형질에 미치는 씨수소 추정 육종가의 효과

Seon-Ah Kwon^{1†}, Ha-Seung Seong^{2†}, Jae-Gwon Kim¹, Joo-Young Lee³, Chang-Woo Lee⁴, Dong-Woo Ha⁵, Jong-Bok Kim¹, Jung-Woo Choi^{1*}, Won-Hyong Chung^{1*}

¹Department of Animal Science, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Animal Genetics & Breeding Division, Rural Development Administration National Institute of Animal Science, Cheonan, 31000, Korea

³Hoengseong Agricultural technology & Extension Center, Hoengseong county office, Hoengseong, 25208, Korea

⁴Gangwon Provincial Livestock Research Center, Hoengseong 25266, Korea

⁵Hanwoo Breeding Department, Korea Animal Improvement Association, Seocho, 06668, Korea

*Corresponding author: jungwoo.kor@gmail.com, whchung@kangwon.ac.kr

† These authors contributed equally to this work.

ABSTRACT

One of the main objectives of this study was to compare the differences of mean phenotypic values among steer progeny from 632 Korean proven bulls (KPN) with respect to their sire grade. Each sire was classified into one of the four grades (A, B, C, and D) on the quartiles of total index calculated by adding standardizing estimated breeding values (EBVs) for carcass weight (CWT), backfat thickness (BFT), eye muscle area (EMA), and marbling score (MAR), giving weights of 1: -1: 1: 1, respectively. The EBVs of sires were derived from the slaughter records of 289,606 Hanwoo cows and steers, while the comparison of progeny means by sire grade was conducted on the slaughter records of 369,580 steers. Comparisons were conducted via Tukey's method following analysis of variance using a linear model that incorporated fixed effect of sire's grade, contemporary group, and linear and quadratic effect of slaughter age. Significant differences of progeny means between sire grades were observed in most paired comparisons ($p < 0.05$). The mean differences between progeny from the highest (Grade A) and lowest (Grade D) sire grades were 27.83kg for CWT, -1.16mm for BFT, 7.46cm² for EMA, and 0.91 for MAR. These results underscore the substantial impact of sire's EBV on the progeny phenotype. Furthermore, providing genetic values of KPN, not only the EBVs but also the evaluated grades based on total index, is expected to enhance Hanwoo breeding programs of farms.

Keywords: Hanwoo, Estimated breeding value, Carcass Trait

INTRODUCTION

우리나라에서는 한우 산업의 생산성 향상과 국제 경쟁력 강화를 위한 여러 가지 시책들이 1980년대 중반부터 국가적으로 시행되고 있는데, 이 중에서 가장 중요한 것은 국가 단위의 유전능력 평가를 수행하고 이를 통해 유전능력, 즉 육종가가 우수한 씨수소를 선발하여 이용하는 사업이다. 그리고 씨수소를 선발하여 이용하는 사업에서 가장 중요한 것은 씨수소들의 육종가 추정치에 대한 정확도를 높

이는 일이다(Hwang et al., 2008; Cho, 2013; Kong et al., 2016; Lee and Yoon, 2021).

우리나라 한우 산업에서 씨수소를 선발 이용하는 사업의 성과를 높이기 위해서는 씨수소 추정 육종가의 정확도를 확인하고 유효성 여부를 판단한 후 그 결과를 한우 사육 농가에 제시함으로써, 생산 농가들이 추정 육종가에 근거한 씨수소 선택과 이용에 적극적으로 나설 수 있도록 동기를 부여하는 일도 필요하다.

어떤 개체의 육종가란 그 개체가 생산하는 자식들의 능력을 판단하는 지표이므로 씨수소의 추정 육종가가 정확할수록 씨수소가 생산하는 자식들의 능력이 씨수소의 추정 육종가에 비례해서 양호해져야 한다. 그러므로 추정 육종가의 정확도와 유효성을 판단하는 가장 현실적인 방법은 현장에서 발생하는 다량의 자료를 이용해서 평가하는 것이다.

본 연구는 현장에서 수집된 한우의 도축 자료를 이용해서 실시했는데, 우선 암소와 거세우 도축 기록으로 구성된 자료로부터 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도 등 4개 도체형질에 대한 씨수소들의 육종가를 추정한 후 4개 도체형질의 육종가를 동일한 비중을 두어 합을 낸 종합점수를 크기 순으로 A, B, C, D 등 4개 등급으로 분류하였다. 그리고 육종가 추정에 이용된 자료와는 별도로 거세우 도축 자료를 검증자료로 확보하여 미리 추정된 씨수소 육종가 관련 정보, 즉 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도의 육종가 추정치, 육종가 종합점수와 육종가 종합점수 등급 등을 병합시킨 후 씨수소 육종가 종합점수 등급별로 거세우의 반형매 가계 평균치를 추정하고, 각 도체형질 별로 씨수소 추정 육종가에 대한 거세 후손 표현형가의 직선회귀 분석을 실시했다.

본 연구를 통해서 얻어진 결과는 씨수소 육종가 추정 방법의 개선과 농가의 활용도를 높이는 방안을 마련하는데 필요한 기초 정보로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

MATERIALS AND METHODS

1. 공시재료 및 조사형질

본 연구에서는 두 개의 별도 자료를 이용하여 육종가 추정작업과 추정 육종가의 검증 작업을 진행했는데, 지금부터의 설명을 위하여 육종가 추정 작업에 이용된 자료를 추정자료(Estimating data set), 그리고 추정 육종가의 검증작업에 이용된 자료를 검증자료(Testing data set)로 명명하였다.

육종가 추정 및 검증 작업에 이용된 도축자료는 강원도 내 지역 4개 축산업협동조합의 협조를 받아 6개 지역 농가의 출하정보를 6개월 마다 수집하였으며, 혈통자료는 한국종축개량협회의 협조를 받아 수집하였다. 추정자료는 2004년 12월부터 2023년 8월까지 전국에 산재한 도축장으로부터 수집된 암소 도축기록 113,841두분과 거세우 도축기록 175,765두분 등 총 289,606두의 도축 기록과 도축우들의 혈통파일로 구성되었는데, 이 자료를 이용하여 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도 등 4개의 도체형질에 대한 유전모수 추정과 혈통 파일에 나타나는 개체들의 육종가 추정을 실시하였다. 아울러 최근 10년간의 표현형 변화추세를 파악하기 위한 목적으로 2014년부터 2022년까지의 도축기록만 선별한 뒤, 다음과 같은 선형모형을 적용하여 도축연도별 최소제공평균치를 추정하였다.

$$Y = \mu + \text{year} + \text{season} + \text{year} \times \text{season} + \text{sex} + \text{sage(L)}(\text{sex}) + \text{sage(Q)}(\text{sex}) + e$$

여기서, Y는 개별관측치, μ 는 전체 평균, year는 도축연도의 효과, season은 도축계절의 효과, year \times season은 도축연도와 도축계절의 교호작용 효과, sex는 성별의 효과, sage(L)(sex)는 성별 내에서 작용하는 도축일령의 일차식 효과, sage(Q)(sex)는 성별 내에서 작용하는 도축일령의 이차식 효과, e는 임의오차이다.

검증자료는 2020년 1월부터 2023년 7월까지 국내 12개 도축장에서 도축된 한우 거세우 도축기록 중 1) 추정자료에 포함되지 않았으며, 2) 도축일령이 540일부터 1,825일 사이의 범위에 있고, 3) 반형매 관계에 있는 형제의 수가 4두 이상인 기록을 선택하였는데, 최종 분석에 이용된 검증자료의 도축 기록수는 369,580두분이었으며 이 기록은 모두 632두의 아버지(씨수소)로부터 생산된 것이었다(Table 1). 검증자료를 이용해서는 추정자료 분석을 통해 얻어진 씨수소 632두의 추정 육종가의 유효성 검정을 실시하였는데, 구체

적으로는 1) 씨수소 추정 육종가의 종합점수 등급별 거세 후손들의 평균치 비교 및 2) 씨수소 추정 육종가에 대한 거세우 표현형가의 단순회귀분석을 실시했다.

추정자료와 검증자료의 분석에 이용된 도체 형질은 도체중, 등지방두께, 등심단면적, 근내지방도 등 4개 형질이었는데 이 형질의 조사 절차와 방법은 정부에서 정한 축산물 등급판정 세부기준(MAFRA, 2020)을 따랐다.

Table 1. Number of Hanwoo steer by slaughter year, season, month age at slaughter, and slaughter house in Testing data set.

Slaughter year	No	Slaughter season	No	Slaughter month	No	Slaughter house	No
2020	95,592	Spring	92,389	Below 27	68,321	M101392	31,562
2021	105,121	Summer	84,996	28	48,413	M104982	132,940
2022	113,106	Autumn	83,437	29	66,538	M112627	23,112
2023	55,761	Winter	108,758	30	66,308	M101395	46,493
				31	53,421	M101386	27,400
				32	32,754	M101398	43,187
				33	17,719	M101396	41,440
				Over 34	16,106	M102014	2,086
						M101401	2,268
						M101372	4,868
						M101363	3,891
						M113772	10,333
Total	369,580		369,580		369,580		369,580

No, Number of observations

2. 통계분석

(1) 유전모수와 육종가 추정

추정 자료를 이용한 유전모수와 육종가 추정은 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도를 포함시키는 다형질 개체 모형을 이용하여 실시하였는데, 분석에 이용된 모형은 다음과 같았다.

$$y_i = X_i\beta + Z_iu_i + e_i$$

여기서, y_i 는 각 형질의 관측치, X_i 는 형질에 영향을 미치는 고정 효과의 계획행렬, β 는 고정효과(동기우 그룹 효과, 도축일령의 일차 및 이차식 효과), Z_i 는 임의 효과에 대한 계획행렬, u_i 는 개체 임의 효과, e_i 는 임의 오차 효과이다. 그리고 도축연도-계절이 같고, 사육지역과 도축장이 같으며 동일한 성-연령그룹에 속하는 기록들을 동일한 동기우 그룹에 편성시켰다.

개체 유전 효과에 대한 (공)분산 구조는 다음과 같다.

$$\text{Var}(u) = G \otimes A$$

여기서, G 는 형질 간 상가적 유전(공)분산 행렬이고, A 는 상가적 혈연계수행렬이며, \otimes 는 행렬간의 직적(Direct product)이다. 임의오차 효과에 대한 공분산 구조는 다음과 같았다.

$$\text{Var}(e) = R \otimes I$$

여기서, R 은 형질 간 잔차(공)분산, 그리고 I 는 identity matrix이다.

본 연구의 유전모수 및 육종가 추정은 Wombat Package를 이용하여 진행하였다(Meyer, 2006).

(2) 추정 육종가의 유효성 검증

추정 검증자료를 이용해서 실시한 씨수소들의 추정 육종가에 대한 유효성 검증은 1) 씨수소 추정 육종가의 종합점수 등급별 거세 후손들의 평균치 비교와 2) 씨수소 추정 육종가에 대한 반형매 가계평균의 단순회귀 분석을 통해 진행했다.

1) 씨수소 추정 육종가의 종합점수 등급별 거세 후손들의 평균치 비교

씨수소 추정 육종가의 종합점수 등급별 거세 후손들의 평균치 비교를 위해서 추정자료에서 추정된 육종가 중 검증자료의 씨수소 632두의 육종가를 발췌한 다음 4개 도체형질에 대한 육종가 추정치를 표준화시킨 후 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도 각각에 대해 1 : -1 : 1 : 1의 가중치를 두고 다음과 같이 도체종합점수(이하 ‘종합점수’)를 계산하였다.

$$\text{종합점수} = 1 \times \text{SCWT} - 1 \times \text{SBFT} + 1 \times \text{SEMA} + 1 \times \text{SMAR}$$

위에서, SCWT, SBFT, SEMA 및 SMAR은 각각 씨수소들의 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도의 추정 육종가를 표준화시킨 값이다.

씨수소 632두의 종합점수를 계산한 다음에는 사분위수 기준으로 나누어 4개 그룹으로 편성하였는데, 추정 육종가 종합점수의 값이 큰 순서대로 A, B, C, D로 등급을 부여하였다.

씨수소 632두의 종합점수등급을 검증자료에 병합시킨 다음 씨수소 육종가 등급별 거세우 표현형가 평균치는 아래와 같은 선형 모형을 적용하여 추정하였는데, 도축연도-계절과 도축장이 같은 거세우들을 하나의 동기우 그룹으로 묶었다.

$$Y_{ijk} = \mu + \text{GRADE}_i + \text{CGP}_j + \text{SAGE}(L) + \text{SAGE}(Q) + e_{ijk}$$

여기서, Y_{ijk} 는 개별관측치, GRADE_i 는 i 번째 씨수소 육종가 등급의 효과(4수준), CGP_j 는 j 번째 동기우 그룹의 효과(165수준), $\text{SAGE}(L)$ 는 도축일령의 일차식 효과, $\text{SAGE}(Q)$ 는 도축일령의 이차식 효과, 그리고 e_{ijk} 는 임의오차이다.

씨수소 육종가 등급 별 거세우 표현형가 평균치 추정 및 각 효과의 유의성 검정을 위한 분산 분석이 완료된 후, 씨수소 육종가 등급 간 거세우의 표현형 평균치 차이에 대한 유의성 검정은 Tukey 검정법을 이용하여 실시했다.

2) 씨수소 추정 육종가에 대한 거세우 표현형가의 단순회귀분석

씨수소 추정 육종가와 후대 거세우 평균 표현형가 간의 관계를 알아보기 위해 씨수소 추정 육종가를 독립 변수로, 해당하는 씨수소로부터 생산된 반형매 관계의 후대 거세우 표현형가 평균을 종속 변수로 두어 각 형질에 대한 단순회귀 분석을 진행하였다.

$$y_i = \mu + \beta_i S_i + e_i$$

여기서, y_i 는 i 번째 씨수소가 생산한 거세우들의 평균 (반형매가계평균), μ 는 단순회귀식의 절편, β_i 은 단순회귀계수, S_i 는 i 번째 씨수소의 추정 육종가, e_i 는 반형매 가계에 고유한 임의오차이다.

본 연구에 이용된 모든 통계분석은 SAS Package Ver.9.4 (SAS Institute Inc.)를 이용하여 진행되었다.

RESULTS AND DISCUSSION

1. 기초통계량

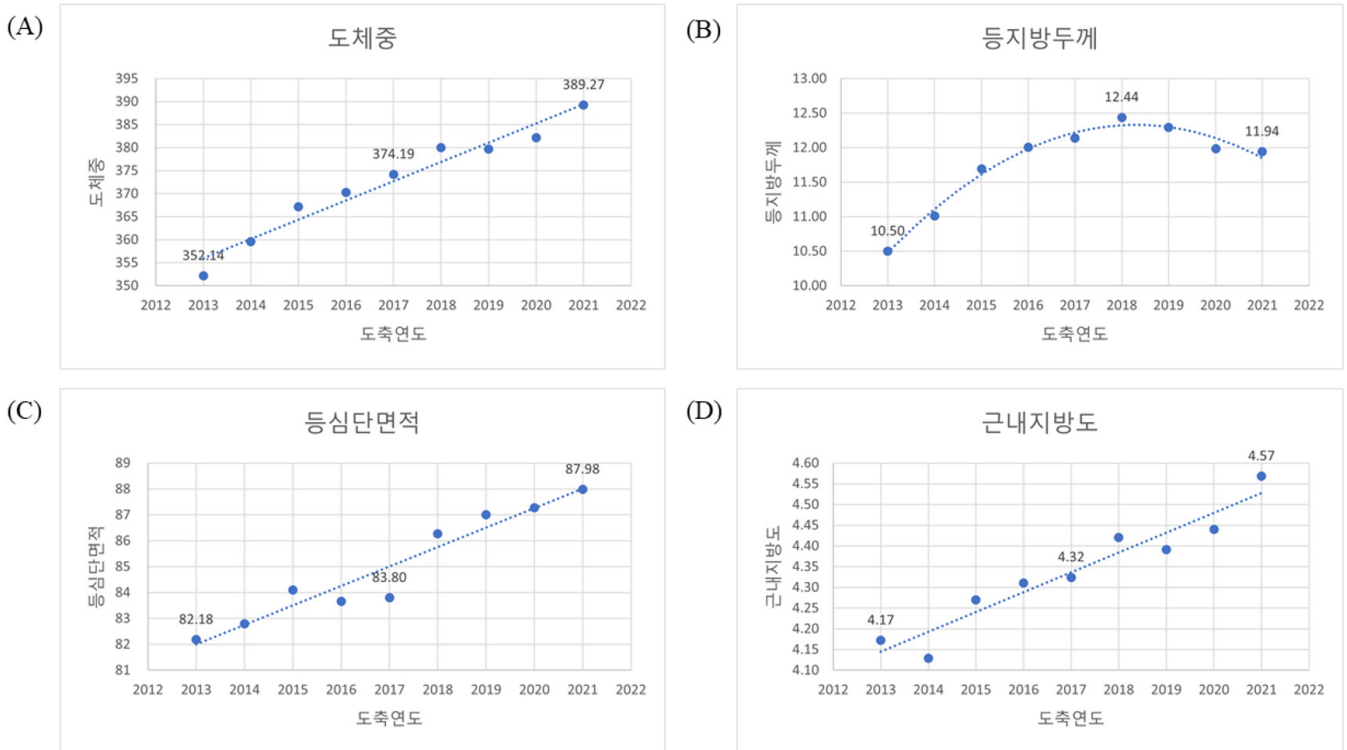
본 연구에 이용된 검증자료 거세우의 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도와 도축일령에 대한 기초 통계량을 Table 2에 나타내었고, 추정자료의 도축연도 별 도축성적의 최소제공평균치 추이를 Figure 1에 나타내었다.

본 연구에서 도체중, 등지방두께, 등심단면적 및 근내지방도의 평균은 각각 456.47kg, 13.17mm, 97.22cm² 및 6.08, 그리고 도축일령의 평균은 914.40일이었다. 한우 거세우의 도체형질 평균치를 보고한 다른 연구 보고로는 Hwang et al. (2008), Lee et al. (2016), Lee and Yoon (2021), Naserkheil et al. (2021) 등이 있었는데, 본 연구에서 조사된 평균치들을 이들이 보고한 결과들과 비교해보면, 본 연

Table 2. Simple statistics of Hanwoo steer in Testing data set.

Trait	No	Mean	SD	Min	Max	CV (%)
CWT (kg)	369,580	456.47	57.89	147	775	12.68
EMA (cm ²)	369,580	97.22	13.51	3	190	13.90
BFT (mm)	369,580	13.17	5.02	1	81	38.15
MAR (Point)	369,580	6.08	1.97	1	9	32.43
SAGE	369,580	914.40	77.84	541	1,822	8.51

No, Number of observations; SD, Standard deviation; CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score; SAGE, slaughter age; CV, coefficient of variation

**Figure 1.** Least squares means for carcass weight (A), back fat thickness (B), eye-muscle area (C) and marbling score (D) by slaughter year.

구의 도체중 평균치는 다른 연구자들이 보고한 도체중 평균치인 321.01kg (Hwang et al., 2008)에서 454.58kg (Lee et al., 2016)까지의 범위에서 상단에 속하는 크기였고, 등심단면적에서 나타난 본 연구의 평균치는 다른 연구자들이 보고한 등심단면적의 평균치 75.72cm² (Hwang et al., 2008)에서 96.90cm² (Lee et al., 2016)까지의 범위를 벗어나는 큰 편인 것으로 판단된다. 그리고, 본 연구의 등지방두께 평균치 13.17mm는 Hwang et al. (2008)이 보고한 8.27mm나 Naserkheil et al. (2021)이 보고한 9.92mm 보다 큰 편이지만 Lee and Yoon, (2021)이 보고한 15.35mm나 Lee et al. (2016)이 보고한 15.41mm보다 작은 편이었으며, 본 연구의 근내지방도 평균치 6.08은 Hwang et al. (2008)의 2.91이나 Naserkheil et al. (2021)의 3.53보다 크지만, Lee et al. (2016)의 6.21이나 Lee and Yoon, (2021)의 6.88보다 작은 편인 것으로 판단된다.

본 연구에서 4개 도체형질의 변이계수를 보면, 도체중(12.7%) 및 등심단면적(13.9%)의 변이계수에 비하여 등지방두께(38.1%) 및 근내지방도(32.4%)의 변이계수가 크게 나타났는데, 등지방두께와 근내지방도의 변이계수가 도체중이나 등심단면적의 변이계수

보다 더 컸던 본 연구의 결과는 Lee et al. (2016)이나 Naserkheil et al. (2021)이 한우를 대상으로 실시한 연구보고에서도 나타나고 있었다. 그리고 Smith et al. (2007)이 Brahman 중 거세우를 대상으로 실시한 연구와 Pariacote et al. (1998)이 Shorthorn 중 거세우를 대상으로 진행한 연구에서도 도체중 및 등심단면적의 변이계수보다 등지방두께 및 근내지방도의 변이계수가 컸던 경향을 확인할 수 있었다.

본 연구에 이용된 검증자료의 평균치와 한우에 대한 타 연구자들의 평균치를 비교하여 한우 능력이 개선되고 있는지를 판단할 수는 없다. 그 이유는 각 연구들이 이용한 자료마다 사양관리 기준이 다르고, 성별 구조가 다르며, 도축자료의 발생 시점이 다를 뿐만 아니라 도축일령의 평균치에서도 크게 차이가 나기 때문이다. 그렇지만 본 연구의 육종가 추정자료를 이용해서 연도별 표현형가 평균치를 추정하고 이 평균치들의 연도별 변화추세를 파악함으로써 집단내에서 한우의 표현형가가 어떤 방향으로 변하고 있는지를 파악하는 것은 가능한데, 한우의 도체형질에 대한 표현형가가 어떤 방향으로 변하고 있는지를 파악하기 위해서 본 연구의 추정자료를 이용해서 도축 연도별로 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도의 최소자승 평균치를 추정하고 그 결과를 그림 1에 표시하였다.

도축 연도별 평균치의 변화추세를 보면 도체중, 등심단면적, 근내지방도에서는 도축 연도가 경과할수록 평균치의 크기는 선형적으로 증가하고 있으며 등지방두께에서는 2018년까지는 평균치의 크기가 커지다가 이후부터는 감소하는 이차식 형태의 변화를 보였다. 최근에 들어설수록 도체중, 등심단면적 및 근내지방도의 크기가 증가하고 등지방두께의 크기는 감소하는 현상을 통해서 한우의 쇠고기 생산능력은 바람직한 방향으로 변하고 있음을 판단할 수 있는데, 그 이유는 도체중, 등심단면적, 근내지방도는 표현형의 크기가 증가할수록 그리고 등지방두께는 표현형의 크기가 작을수록 도체의 1kg당 거래가격이 커지기 때문이다(Eum et al., 2017). 추정자료가 수집된 집단에서 이러한 변화가 나타나는 원인은 우선 사양기술의 개선을 들 수 있지만 자료가 수집된 지역이 모두 추정 육종가에 근거한 정액선정과 암소 선발 작업등과 같은 유전적 개량사업이 진행되고 있는 곳이라는 점을 고려할 때 이러한 유전적 개량사업의 성과도 집단의 표현형 변화를 초래하는 하나의 원인이 된 것이라고 판단된다.

2. 유전모수 추정

본 연구의 추정자료에 대해 다형질 개체모형을 적용하여 실시한 한우의 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도 등 4개 형질의 상가적 개체 유전분산, 환경 분산, 표현형 분산 및 유전력 추정치를 Table 3에 나타내었다.

본 연구에서 추정한 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도의 유전력은 각각 0.51, 0.37, 0.40, 0.52로서 모두 중등도 이상의 크기로 나타났으며, 도체중과 근내지방도의 유전력이 등심단면적이나 등지방두께의 유전력에 비해 상대적으로 큰 편이었는데, 이와 같은 결과는 Lee et al. (2020)이 강원지역 농가 한우를 대상으로 진행한 연구 결과와 유사한 것으로 판단된다. 그 외 한우를 대상으로 하여 실시한 다른 연구자들의 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도의 유전력 추정치를 보면 Moon et al. (2007)이 보고한 각각의 추정치 0.20, 0.11, 0.12 및 0.13, Do et al. (2016)이 보고한 각각의 추정치 0.28, 0.23, 0.20, 및 0.28, 그리고 Son et al. (2020)이 보고한 각각의 추정치 0.28, 0.28, 0.35 및 0.48등이 있었는데, 본 연구나 Lee et al. (2020)의 연구에서 추정된 유전력들이 Moon et al. (2007), Do et al. (2016) 및 Son et al. (2020)이 보고한 유전력 추정치들에 비해 큰 편이었다. 동일한 한우 품종이면서 연구자들에 따라 유전력 추정치가 달라지는 원인으로서는 여러 가지가 있을 수 있으나, 우선적으로 생각해볼 수 있는 것들은 1) 도축 자료 수집 기간의 차이, 2) 도축 자료 내에서 거세우와 암소 도축 기록의 상대적 비율이나 도축 연령의 상대적 빈도 등과 같은 도축 자료 구조상의

Table 3. Estimated genetic, environmental and phenotypic variances and heritabilities for Hanwoo carcass traits in Estimation data set.

Variance Component	CWT (kg)	EMA (cm ²)	BFT (mm)	MAR (Point)
σ_a^2	1252.30	45.01	10.70	1.84
σ_e^2	1192.40	76.75	15.87	1.68
σ_p^2	2444.70	121.76	26.56	3.52
h^2	0.51	0.37	0.4	0.52

CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score

차이, 3) 분석에 적용된 통계 모형의 차이 등을 들 수 있다.

한편, 외국 육우 품종을 대상으로 하여 실시한 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도의 유전력 추정치를 보면, Arakawa et al. (2009)이 Japanese Black cattle에서 각각 0.44, 0.52, 0.53, 0.63, 그리고 Boldt et al. (2018)이 Red Angus종에서 각각 0.25, 0.37, 0.27, 0.40 등을 보고하였고, 그 외 Crews Jr et al. (2008)이 Simmental 종에서 도체중, 등심단면적 및 등지방두께의 유전력 추정치를 각각 0.51, 0.46, 0.36으로 보고한 바 있는데, 본 연구에서의 유전력 추정치는 대체로 이러한 외국 육우 품종을 대상으로 하여 실시한 유전력 추정치와 비슷한 크기인 것으로 판단된다.

본 연구의 추정자료에 대해 다형질 개체모형을 적용하여 실시한 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도 등 4개 형질의 형질 간 유전 상관계수(대각상단)와 환경 상관계수(대각하단) 추정치를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Estimates of genetic (above diagonal) and environmental (below diagonal) correlation coefficients among carcass traits in the estimation data set.

Trait	CWT (kg)	EMA (cm ²)	BFT (mm)	MAR (Point)
CWT (kg)	-	0.59	0.32	0.12
EMA (cm ²)	0.57	-	-0.03	0.32
BFT (mm)	0.45	0.21	-	0.07
MAR (Point)	0.30	0.36	0.20	-

CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score

도체중은 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도 등과 유전 상관계수가 각각 +0.59, +0.32, +0.12로 나타나서, 등심단면적과 상관관계가 가장 크고 근내지방도와 상관관계가 가장 작았다. 등심단면적은 등지방두께와 유전 상관계수가 -0.03으로 상관관계가 0에 가까울 정도로 작았던 반면에 근내지방도와와의 유전 상관계수는 +0.32으로 중등도의 정(+)의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 그리고 등지방두께와 근내지방도 간의 유전 상관계수는 +0.07의 작은 양수로 나타나 한우를 대상으로 추정된 다른 연구 보고에서의 추정치 +0.04 ~ +0.07과 비슷한 값을 보였다(Lee et al., 2020; Hwang et al., 2014; Do et al., 2016). 본 연구나 다른 연구자들의 연구에서 나타나는 등지방두께와 근내지방도 간 유전 상관계수가 작았던 결과들은 한우 집단에서 근내지방도를 증가시키는 방향으로 선발을 진행하더라도 등지방두께가 두꺼워지는 불리한 상관반응을 염려할 정도는 아니라는 점을 시사하는 결과인 것으로 판단된다(Lee et al., 2020).

한 개의 형질만 선택해서 단형질 선발을 진행할 경우, 해당 형질의 변화와 함께 유전적으로 상관관계가 있는 다른 형질의 변화도 수반하는 간접선발의 효과가 발생하게 되는데 (Falconer and Mackay, 1996), 본 연구에서 추정된 형질들 간 유전 상관계수 추정치를 종합해보면, 도체중을 증가시키는 방향으로 선발을 진행할 경우 등심단면적 및 근내지방도가 증가하지만 등지방두께가 두꺼워지는 현상이 나타날 수 있고, 등심단면적을 증가시키는 방향으로 선발을 진행할 경우 등지방두께는 증가하지 않으면서 도체중과 근내지방도가 증가하는 현상이 나타날 수 있으며, 등지방두께가 감소하는 방향으로 선발을 진행할 경우, 등심단면적이나 근내지방도는 크게 증가시키지 못하면서 도체중은 감소하는 바람직하지 못한 현상이 나타날 수 있다. 그리고 근내지방도를 증가시키는 방향으로 선발을 진행할 경우, 등심단면적은 증가하지만 도체중이 증가하는 효과가 작고 등지방두께는 오히려 두꺼워지는 현상이 나타날 우려가 있다. 위와 같이 예상되는 간접선발의 효과를 감안했을 때, 4개 도체 형질 중 하나를 선택해서 선발을 실시해야 한다면 등심단면적을 선택하는 것이 사육농가의 수익성을 향상시키는 데 있어서 효과적일 것으로 판단된다.

본 연구에서 형질 간 환경 상관계수는 도체중과 등심단면적 간에 +0.57, 도체중과 등지방두께 간에 +0.45, 도체중과 근내지방도 간에 +0.30으로 추정되었다. 그리고 4개 형질을 두 개씩 짝지어 추정한 6개의 환경 상관계수도 모두 양수(+)로 나타났는데, 이러한 결과는 4개 형질 중 하나의 형질을 증가하도록 유도하는 환경 요인이 나머지 3개의 형질을 증가하도록 작용하는 원인이 될 수 있음을 시사한다.

3. 거세우 도체형질에서 씨수소 추정 육종가 종합점수 등급의 효과

본 연구에 이용된 검증자료를 구성하는 거세우 369,580두는 632두의 씨수소가 생산한 자식들이었는데, 씨수소 632두를 육종가 종합점수가 양호한 순서대로 158두씩 나누어 A, B, C, D 등 4개의 등급으로 구분한 후 각 등급에 속하는 씨수소들의 추정 육종가 평균치 및 가장 상위 등급인 A등급의 평균치와 가장 하위 등급인 D등급 간의 평균치 차이를 형질별로 구분하여 Table 5에 표시하였다.

도체중, 등심단면적 및 근내지방도에서 등급별 추정 육종가 평균치는 최상위 A등급에서 제일 컸고 최하위 D등급에서 제일 작았으며, 등지방두께에서는 최상위 A등급에서 제일 작았고 최하위 D등급에서 제일 컸는데, A등급과 D등급간 평균치 차이(A-D)는 도체중에서 46.94 kg, 등심단면적에서 11.48 cm², 등지방두께에서 -1.6mm, 그리고 근내지방도에서 1.43이었다.

각 형질별로 Tukey 검정을 통해서 확인한 등급 간 평균치 차이를 보면, 등지방두께에서 A등급과 B등급간 차이(A-B = -0.13)는 통계적 유의차가 인정되지 않았다($p>0.05$). 그리고 등지방두께에서 C등급과 D등급간 차이(C-D = -0.63)와 근내지방도에서 B등급과 C등급 간 차이(B-C = 0.24)는 약한 수준의 통계적 유의성이 인정되었고, 그 외 다른 평균치 간 차이에 대한 유의성 검정 결과는 모두 고도의 유의성이 인정되었다($p<0.001$).

씨수소 추정 육종가 종합점수 등급에 따른 후대 거세우 표현형가 최소제공평균 및 가장 상위 등급인 A등급의 평균치와 가장 하위 등급인 D등급 간의 평균치 차이는 Table 6와 같다.

도체중, 등심단면적, 근내지방도에서는 씨수소 종합점수 등급이 양호할수록 거세우들의 평균치가 컸으며, 등지방두께에서는 종합점수등급이 양호할수록 평균치가 작았는데, 가장 상위 등급인 A등급과 가장 하위 등급인 D등급 간 평균치 차이(A-D)를 보면 도체중, 등심단면적 및 근내지방도에서 각각 27.83kg, 7.46cm² 및 0.91등급, 그리고 등지방두께에서 -1.16mm이었다.

각 형질별로 Tukey 검정을 통해서 확인한 등급 간 평균치 차이를 보면, 도체중의 C등급과 D등급 간 차이(C-D = 0.05) 및 근내지방도의 B등급과 C등급 간 차이(B-C = -0.01)에서 통계적 유의성이 인정되지 않았다($p>0.05$). 그 외 다른 평균치 간 차이에 대한 유의성 검정 결과는 모두 고도의 유의성이 인정되었다($p<0.001$).

대체로 모든 형질에서 Table 6에 나타난 종합점수 등급별 거세우들의 표현형 평균치 크기는 Table 5에 나타난 등급별 씨수소들의 추정 육종가 평균치에 비례하는 것으로 판단되는데, 이러한 결과는 추정 육종가가 우수한 씨수소일수록 표현형이 우수한 후손을 생산한다는 점을 시사하는 결과인 것으로 판단된다.

Table 5. The mean of sire breeding value for carcass traits by sire grade in testing data set.

Grade	Number of sire	CWT (kg)	EMA (cm ²)	BFT (mm)	MAR (Point)
A	158	49.29 ^a	11.19 ^a	-1.52 ^a	1.5 ^a
B	158	22.47 ^b	6.02 ^b	-1.39 ^a	0.88 ^b
C	158	12.75 ^c	3.23 ^c	-0.55 ^b	0.64 ^c
D	158	2.35 ^d	-0.29 ^d	0.08 ^c	0.07 ^d

CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score

Table 6. Least-square means of steer progeny for carcass traits by sire grade in testing data set.

Grade	Number of steer	CWT (kg)	EMA (cm ²)	BFT (mm)	MAR (Point)
A	109,837	474.14 ^a	101.19 ^a	12.99 ^a	6.59 ^a
B	91,745	453.86 ^b	97.39 ^b	12.60 ^b	5.93 ^b
C	93,057	446.35 ^c	95.19 ^c	13.15 ^c	5.94 ^b
D	74,941	446.31 ^c	93.73 ^d	14.15 ^d	5.68 ^c

CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score

4. 도체형질에서 씨수소 추정 육종가에 대한 반형매 가계평균의 단순회귀

본 연구의 검증자료에 대해 반형매 관계인 거세우들의 평균치를 종속변량으로 설정하고, 거세우들을 생산한 씨수소의 추정 육종가를 독립변량으로 설정한 후 실시한 직선회귀 분석을 통해 추정된 회귀계수와 회귀 모형의 결정계수를 Table 7에 나타내었다.

각 형질의 회귀계수는 도체중과 등심단면적에서 모두 동일한 크기인 +0.56이었으며, 등지방두께에서 +0.40 그리고 근내지방도에서 +0.46이었는데, 추정된 4개 형질의 회귀계수를 종합해보면 +0.40에서 +0.56의 범위로 대략 +0.5를 기준으로 가까이 분포하고 있었다. 이것은 아버 추정 육종가가 1단위 증가할수록 반형매 거세우들의 표현형가는 평균적으로 0.5정도 증가한다는 것을 의미한다.

아버나 어미는 자신의 육종가 중 절반을 자식에게 전달하기 때문에 반 형매 관계에 있는 가계의 표현형 평균의 기댓값은 아버나 어미의 육종가 크기의 절반으로 볼 수 있는데 (Falconer and Mackay, 1996), 본 연구에서 추정된 직선회귀 계수들이 +0.5를 중심으로 분포하는 것은 이러한 기댓값을 잘 반영하는 결과인 것으로 판단된다.

한편, 분석에 이용된 회귀 모형의 결정계수는 형질별로 도체중이 0.41, 등심단면적이 0.35, 등지방두께가 0.22, 근내지방도가 0.31로서, 도체중, 등심단면적, 근내지방도, 등지방두께 순으로 컸는데, 회귀 모형의 결정계수만을 놓고 판단할 때 본 연구에 이용된 4개 도체형질에서 발생하는 반형매 가계평균 간 변이 중에서 22 내지 41%는 아버의 육종가에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

Table 7. Simple linear regression coefficients of progeny carcass measurement on the sire breeding value and the coefficient of determination for the statistical model in testing data set.

Trait	Number of steer	Number of sire	b	R ²
CWT (kg)	369,580	632	0.56 ± 0.03***	0.41
EMA (cm ²)	369,580	632	0.56 ± 0.03***	0.35
BFT (mm)	369,580	632	0.40 ± 0.03***	0.22
MAR (Point)	369,580	632	0.46 ± 0.03***	0.31

CWT, carcass weight; EMA, eye muscle area; BFT, back-fat thickness; MAR, marbling score
b, regression coefficient of progeny carcass measurement on sire breeding value estimates
R², the coefficient of determination of statistical model.

***p<0.001

CONCLUSION

본 연구는 한우 도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도 등 4개 도체형질에서 씨수소 추정 육종가의 유효성 및 신뢰도를 평가하기 위해 실시했다.

도체중, 등심단면적, 등지방두께 및 근내지방도에 대한 씨수소들의 추정 육종가를 동일한 가중치(각각 1 : 1 : -1 : 1)를 주어 계산한 종합점수를 크기별로 구분하여 4개의 등급으로 나눈 후 각 등급에 속하는 거세 후손들의 도체형질 표현형가 평균치를 비교한 결과 모든 형질에서 거세 후손들의 표현형 평균치는 씨수소 종합점수 등급에 비례해서 달라졌다. 그리고, 씨수소의 추정 육종가 종합점수를 독립변량, 그리고 반형매 가계에 속하는 거세우들의 표현형 평균치를 종속변량으로 설정하고 추정된 직선 회귀계수는 형질별로 +0.40에서 +0.56의 범위를 보여서 거세우들의 반형매 가계 평균치는 씨수소 추정 육종가가 1단위 변함에 따라 대략 0.5단위씩 같은 방향으로 변하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 나타난 이러한 결과들은 씨수소의 추정 육종가가 한우 도체 형질에 대한 거세우의 능력을 예측하는데 유효한 수단임을 시사하고 있다.

CONFLICT OF INTERESTS

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

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2024년도 강원대학교 대학회계의 지원을 받아 수행한 연구임.

본 연구는 한우암소검정사업을 주관하는 농협경제지주 한우개량사업소 및 한국종축개량협회로부터 자료를 제공받아 수행한 연구임.

REFERENCES

- Arakawa A, Iwaisaki H, Anada K. 2009. Estimation of breeding values from large - sized routine carcass data in Japanese Black cattle using Bayesian analysis. *Animal science journal* 80(6): 617-623.
- Boldt RJ, Speidel SE, Thomas MG, Enns RM. 2018. Genetic parameters for fertility and production traits in Red Angus cattle. *Journal of Animal Science* 96(10): 4100-4111.
- Cho CI. 2013. Accuracy of breeding value prediction and genetic gain of carcass traits in Hanwoo breeding population through application of genomic selection technology. Ph.D dissertation, Hankyong National University, Anseong, Korean. [in Korean]
- Crews Jr D, Enns R, Rumph J, Pollak E. 2008. Genetic evaluation of retail product percentage in Simmental cattle. *Journal of animal breeding and genetics* 125(1): 13-19.
- Do CH, Park BH, Kim SD, Choi TJ, Yang BS, Park SB, Song HJ. 2016. Genetic parameter estimates of carcass traits under national scale breeding scheme for beef cattle. *Asian-Australasian journal of animal sciences* 29(8): 1083
- Eum SH, Park HR, Seo J, Cho SK, Hur SJ, Kim BW. Multiple Regression Analysis to Estimate the Unit Price of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) Beef. *Korean J Food Sci Anim Resour.* 2017;37(5):663-669.
- Falconer DS and Mackay FC. 1996. Introduction to quantitative genetics. Longman, Essex, UK.
- Hwang JM, Cheong JK, Kim SS, Jung BH, Koh MJ, Kim HC, Choy YH. 2014. Genetic analysis of ultrasound and carcass measurement traits in a regional Hanwoo steer population. *Asian-Australasian journal of animal sciences* 27(4): 457.
- Hwang JM, Kim SD, Choy YH, Yoon HB, Park CJ. 2008. Genetic Parameter Estimation of Carcass Traits of Hanwoo Steers. *Journal of Animal Science and Technology* 50(5): 613-620. [in Korean]
- Kong JS, Choi TJ, Kim JI, Lee KH, Noh JK, Ha YN, Cha DH, Cho CI, Koo YM. 2016. The analysis of the carcass traits contribution for Hanwoo genetic evaluation. *Journal of Agriculture & Life Science* 50: 83-89. [in Korean]
- Lee CW, Choi JW, Shin HJ, Kim JB. 2020. Genetic prediction of Hanwoo carcass traits in Kangwon regional Hanwoo cow test farms. *Ann Anim Resour Sci* 31: 1-12. [in Korean]
- Lee DJ and Yoon DH. 2021. Estimation of genetic parameters and analysis of environmental effects on carcass traits of the Hanwoo brand steer. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 5(3): 113-123. [in Korean]
- Lee JY, Lee JK, Kim JB. 2016. Relationship of Major Carcass Grading Traits with the Related Retail Cut Productivity Traits in Hanwoo Steers. *Journal of Agriculture & Life Science* 50(4): 99-111. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2020. Grading systems for livestock products. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Meyer K. 2006. WOMBAT- A program for mixed model analyses by restricted maximum likelihood. User notes. Animal Genetics and Breeding Unit, Armidale, Australia.
- Moon WG, Kim BW, Roh SH, Kim HS, Jung DJ, Sun DW, Kim KN, Yoon YT, Jung JH, Jeon JT. 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]
- Naserkheil M, Lee DM, Chung KH, Park MN, Mehrban H. 2021. Estimation of Genetic Correlations of Primal Cut Yields with Carcass Traits in Hanwoo Beef Cattle. *Animals* 11(11): 3102.
- Pariacote F, Van Vleck L, Hunsley R. 1998. Genetic and phenotypic parameters for carcass traits of American Shorthorn beef cattle. *Journal of Animal Science* 76(10): 2584-2588.
- SAS Institute Inc. 2016. SAS® 9.4 Language Reference: Concepts, Sixth Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Smith T, Domingue JD, Paschal JC, Franke DE, Bidner TD, Whipple G. 2007. Genetic parameters for growth and carcass traits of Brahman steers. *Journal of Animal Science* 85(6): 1377-1384.

Son JH, Koo YM, Jeung YH, Cha DH, Kim SJ, Choi TJ, Park MN, Lee DH, Lee JH. 2020. Estimation of Genetic Parameters on Carcass Traits for Estimated Breeding Value in Hanwoo Cow. *Journal of Agriculture & Life Science* 54(6): 73-80. [in Korean]

AUTHORS INFORMATION

Seon Ah Kwon: <https://orcid.org/0009-0002-3030-5844>

Ha Seung Seong: <https://orcid.org/0000-0001-9595-2642>

Jae Gwon Kim: <https://orcid.org/0009-0003-2526-1135>

Joo Young Lee: <https://orcid.org/0009-0002-9322-3352>

Chang Woo Lee: <https://orcid.org/0000-0001-7067-6282>

Jong Bok Kim: <https://orcid.org/0000-0003-0570-4560>

Jung-Woo Choi: <https://orcid.org/0000-0001-7827-5037>

Won-Hyong Chung: <https://orcid.org/0009-0008-7534-0516>