



한우의 12개월령 체척형질을 이용한 체중 예측

이도현¹, 노승희², 박미나¹, 이승수¹, 이수현¹, 아람마부¹, 이영창¹, 당창권¹, 장혁기¹, 이재구¹, 최태정^{1*}

¹국립축산과학원 가축개량평가과, ²농협경제지주 한우개량사업소

Prediction of body weight with the body measurements in 12 months age Hanwoo

Do-Hyun Lee¹, Seung-Hui Rho², Mi-Na Park¹, Seung-Soo Lee¹, Soo-Hyun Lee¹, Alam Mahboob¹, Young-Chang Lee¹, Chang-Gwon Dang¹, Hyuk-Kee Chang¹, Jae-Gu Lee¹, Tae-Jeong Choi^{1*}

¹Animal Genetics & Breeding Division, NIAS, Cheonan, 31000, Korea

²Hanwoo Improvement Center, Nonghyup, Seosan, 31948, Korea

ABSTRACT

This Research is a study to predict weight using the scale of Hanwoo test cattle, and it was intended to find out the possibility of weight prediction using information representing the length growth of individuals. The data used for the analysis were bull, steer weight and body measurement at Nonghyup Hanwoo Improvement center, and for multiple regression for weight prediction, each age value and body measurement trait were used as independent variables. Among the original data, the final number of bulls used was 11,414, which has a measurement year of 2000~2020, were used for analysis. and final number of steers was 6,232, which has a measurement year of 1998~2020, were used for analysis. The body measurement traits used in the analysis are wither height (WH), hip height (HH), body length (BL), chest depth (CD), chest width (CW), rump length (RL), rump width (RW), pelvic width (PW), hipbone width (HW), chest girth (CG). As a result of using multiple regression analysis, the adjusted R squared value was 0.7571 for bulls and adjusted R squared value was for steer was 0.8136. This result can be used as basic data when setting up modeling for the development of weight prediction technology using individual image information such as smart farms.

Key words: Body weight, Body measurement, Regression

서론

현재 한우의 개량은 씨수소 선발을 통해 이루어지는데 당대검정은 수소의 성장능력(체중, 체척)의 유전능력을 평가하고, 후대검정은 수소의 자손들로 거세우의 체중, 체척, 도체형질의 유전능력을 평가하여 최종선발을 한다. 당대검정을 통해 연간 66두를 선발하며, 후대검정을 통해 연간 30두를 선발한다(국립축산과학원, 2021a).

당대 검정을 하는 데 있어 가장 중요한 부분은 단연 체중 및 체척 측정이다. 이 과정은 인력과 시간이 많이 드는 과정이다. 또한 기상상 황의 영향을 많이 받기 때문에 일정의 확실성과 노동 강도가 보장되지 않는다는 단점이 있다. 축산분야에서는 사양 및 환경관리에 많은

*Corresponding author: Tae-Jeong Choi
Animal Genetics & Breeding Division, NIAS, Cheonan, 31000, Korea
Tel: +82-41-580-3362 E-mail: choi6695@korea.kr

Received: 03 December, 2021 Revised: 14 December, 2021 Accepted: 15 December, 2021



© Journal of Animal Breeding and Genomics 2021. 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.

인력이 편중되어 있고 속칭 3D 산업에 속해있기 때문에 스마트팜의 적용을 통한 노동력 및 시간 절감을 하고 특히 개량분야에서는 능력검정의 측정 자동화를 촉진하자는 목소리가 나오고 있다. 이와 관련된 연구로는 양의 4개 품종에서의 체척과 체중간의 상관관을 보고자 하여 체고, 흉위, 체장, 좌골폭이 체중과 표현형 상관관계가 높았던 결과(Shirzeyli et al., 2013)가 있고, 염소 자넨종에서 생체중에 크게 영향하는 체척형질을 알아보기 위한 회귀분석을 한 결과 흉위와 체장이 생체중에 가장 크게 영향한다고 밝힌 바(Pesmen and Yardimci, 2008) 있다. 나아가 젖소 홀스타인종에서 디지털 이미지 분석을 통해 개체의 체척을 파악하고, 체중을 예측한 사례도 있다(Tasdemir et al., 2011). 가축은 축종별, 나이가 품종별로도 신체 치수가 각기 다르다. 단적으로 한우는 젖소에 비해 체폭이 좁고, 후구가 비약하며, 사고(斜尻)이다(Ahn, 2019). 고로 한우에 대해서도 체척을 이용하여 체중을 예측하는 연구가 이루어져야 한다.

우리나라의 경우 검정소에서 체중과 체척을 측정하는 체계이며, 농가단위에서는 직접 체중과 체척을 측정하기 어렵다. 그래서 단순히 줄자를 이용하거나 목측을 하는 경우가 많다. 그래서 실측 및 이미지 데이터를 이용한 체척형질 데이터로 체중을 예측하는 연구를 수행해야 할 것이다. 최근 스마트팜을 통해 이러한 문제점을 해결하려고 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이미지 체척 데이터 사용에 앞서 능력검정하는 개체의 체척 실측 데이터를 이용하여 체중예측의 정확도를 추정하고 어떠한 체척형질이 유의하게 작용하는지 도출하고자 한다. 나아가 이미지 촬영을 통해 체척 데이터를 얻어내고, 3D 형상을 만들어 체중을 예측하는 방향으로의 체척 기반의 체중 예측 자동화를 진행하고자 한다. 개량 및 능력검정 분야에 있어 스마트팜의 도입을 위한 첫 단계로서의 기초자료로 활용하기 위하여 본 연구를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시자료

본 연구에는 1998년부터 2020년까지 능력검정을 해온 개체 중 수소(당대) 11,414두, 거세우(후대) 6,232두의 데이터를 이용하였으며, 농협경제지주 한우개량사업소의 체척형질 체고(wither height, WH), 십자부고(hip height, HH), 체장(body length, BL), 흉심(chest depth, CD), 흉폭(chest width, CW), 고장(rump length, RL), 요각(rump width, RW), 곤폭(pelvic width, PW), 좌골폭(hipbone width, HW), 흉위(chest girth, CG)의 측정 자료와 체중 정보를 이용하였다. 각 형질에 대한 측정 부위는 Fig 1과 같고, 흉위(chest girth, CG)는 줄자로 측정하고, 나머지 9개 체척형질은 체척기로 측정한다. 분석은 체중을 더 잘 설명하는 변수의 차이를 확인하기 위해 수컷(당대검정)과 거세(후대검정)를 나누어 이용하였다. 일령값(age)은 해당 개월 체중 기록일로부터 생년월일의 차로 산출하였고, 결측치나 이상치는 모두 제외하고 분석하였다. 이상치의 경우 형질별 해당 범위(평균 $\pm$ 3 표준편차)에 없는 개체들을 제거하여 이상치가 모두 없는 개체만 이용하였다.

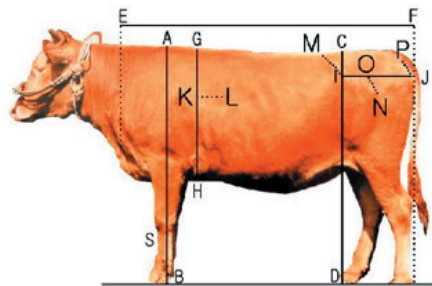


Figure 1. Measurement area for each body measurement in Hanwoo

A-B: wither height, C-D: hip height, E-F: body length, G-H: chest depth, K-L: chest width, I-M: rump width, I-J: rump length, N-O: pelvic width, J-P: hipbone width, circumference of G-H : chest girth

2. 분석방법

상관분석 및 다중공선성 진단, 회귀분석 순으로 진행을 하였으며 12개월령 수컷, 12개월령 거세순으로 진행하였다.

1) 상관분석 및 다중공선성 진단

상관분석은 측정된 변수들 간의 관련정도를 알아보기 위함이며, 두 변수의 선형관계를 과학적으로 확인할 수 있다. 단위는 없으며 범위는 -1 ~ +1이다. 체중 및 10개의 체척 형질에 대한 상관계수는 다음 식을 이용하여 추정하였다.

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \sigma_y^2}}$$

여기서 X와 Y는 각각 체척형질 및 체중을 나타내며, r_{xy} 는 두 변량 X와 Y의 상관계수, σ_{xy} 는 두 변량 X와 Y의 공분산, σ_x^2 는 X의 분산, 그리고 σ_y^2 는 Y의 분산을 나타낸다(Lee et al., 2018). 그리고 설명변수들 사이에 상관관계가 강할 경우 다중공선성의 문제가 발생한다. 다중공선성이란 독립변수간의 상관관계를 보이는 것을 말하는데, 심각한 수준의 다중공선성은 회귀계수의 추정치와 표준오차를 왜곡함으로써 회귀계수의 해석과 가설검정 결과를 왜곡할 수 있다(Kim, 2018). 회귀모델에서 다중공선성이 있는지 파악하는 방법은 대표적으로 산점도 그래프(Scatter plot Matrix)와 VIF(Variance Inflation Factors, 분산팽창요인)이 있는데 본 연구에서는 후자를 택하여 분석하였다. VIF의 식은 다음과 같다.

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

여기서 i 는 각각의 체척형질을 가리킨다. 하나의 독립변수가 다른 독립변수에 의해 설명되는 부분이 많을 때 R^2 (결정계수)가 높아지고 이는 곧 분산팽창요인의 분모가 작아지게 된다. 그 결과 분산팽창요인의 값이 커지고 다중공선성을 갖게 된다. 분산팽창요인은 5보다 크면 다중공선성이 존재한다고 보는데(Kim, 2019) 결정계수의 값이 1과 가까워지게 되면, VIF값도 커져 다중공선성이 발생할 확률이 증가한다. VIF값이 5인 경우는 i 번째 결정계수값이 0.89로 나타나며, i 번째 독립변수가 없어도 충분히 체중을 잘 설명할 수 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 독립변수인 10개 체척형질에 대한 다중공선성을 모두 산출하여 비교 분석 하였다.

2) 회귀분석

2-1) 개요 및 분석

본 연구에서는 10개의 체척과 측정일령을 독립변수들로 이용하여 체중 종속변수의 변화를 예측하고 종속변수에 대한 독립변수들 간의 영향력을 설명하기 위해 다중 회귀분석을 실시하였다. 다중 회귀분석의 기본적인 목표는 다중 회귀식에서 상수 및 계수를 구하는 것이다. 본 연구에서는 다중 회귀분석을 위해서 대표적인 통계 패키지 소프트웨어인 R(version 4.0.4)을 사용하였다.

본 연구에서는 위의 상관분석 및 다중공선성 진단 결과를 반영하여 다중공선성이 발생하는 독립변수를 제외한 모든 독립변수를 사용하여 모델을 구성하였다. 결정계수는 추정한 모형이 주어진 자료에 적합한 정도를 나타내는 척도로 일반적으로 최적 모형을 선정할 때 R^2 (결정계수)를 많이 사용하는데 R^2 (결정계수)는 다음 식과 같이 구한다. 본 식을 이용하여 성별(수컷, 거세)별로 추정하였다.

$$R^2 = \frac{SSE}{SST} = 1 - \frac{SSR}{SST}$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, SSE = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2, SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

여기서 i 는 i 번째 개체를 의미하며 SST는 전체 편차제곱합으로 i 번째 개체의 관측치와 평균치 간의 차이인 편차의 제곱합, SSE는 설명된 편차제곱합으로 i 번째 개체의 예측치와 평균치 간의 편차 제곱합, SSR은 잔차 제곱합으로 i 번째 개체의 관측치와 예측치 간의 편차 제곱합으로 산출하였다. 그리고 모형에 변수를 추가하면 R^2 (결정계수)의 값은 증가하는 경향이 있기 때문에 수정된 R^2 (결정계수) 값을 살펴보았다. 수정된 R^2 (결정계수) 공식은 결정계수를 표본수와 독립변수의 개수를 가지고 보정한 수식이다.

$$\text{Adjusted } R^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p-1}(1 - R^2)$$

여기서 R^2 은 결정계수, n 은 표본수, p 는 독립변수의 개수이다. 그리고 다중 회귀 모형은 다음과 같다.

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \varepsilon$$

y : 종속변수 (체중)

β_0 : 회귀식의 절편

β_i : i 번째 체척과 측정일령에 대한 회귀계수 값, 즉 회귀식의 기울기

X_i : i 번째 독립변량, 체척형질 및 측정일령

(WH, HH, BL, CD, CW, RW, RL, PW, HW, CG, age)

i : 1, 2, 3 ... 11

ε : 오차항

결과 및 고찰

1. 기초통계량

12개월령 수컷, 12개월령 거세에 대해 실질적으로 사용된 데이터에 대한 기초통계량은 Table 1과 같다. 분석에 사용한 데이터를 측정년도별 3개의 그룹으로 나누었을 때는(그룹 1: 2000~2009년 측정, 그룹 2: 2010~2019년 측정, 그룹 3: 2020년 이후 측정) 그룹의 체중 기초통계량은 Table 2와 같다. Choi 등(2008)의 연구에서는 1998~2006년의 거세우 161두를 대상으로 기초통계량을 분석한 결과 BW은 250.7 ± 2.9 kg, WH는 108.0 ± 0.4 cm, RH는 110.7 ± 0.4 cm, BL은 119.3 ± 0.5 cm, CD은 55.91 ± 0.2 cm, CW은 32.28 ± 0.2 cm, HW은 33.14 ± 0.2 cm, TW은 33.96 ± 0.2 cm, PW은 19.06 ± 0.1 cm, RL은 41.60 ± 0.2 cm, CG는 149.5 ± 0.6 cm, FSC(전관위)는 16.55 ± 0.1 cm의 값이 나왔다. 이는 본 연구에 사용된 개체들의 결과(Table 1)에 비해 다소 낮은 값을 보여주는데, 이는 한우의 도체중이 지속적으로 증가되고 있음을 보여주고, 개량이 지속적으로 이루어지고 있음을 반증한다. 실제 국립축산과학원(2021b)은 한우 12개월령 수컷에서 2015년 382 kg, 2020년 391 kg, 2025년 400 kg의 개량목표를 설정하였다.

2. 상관분석 및 다중공선성 진단

1) 상관분석

본 연구에서는 체척 10개와 체중의 형질에 대한 각각의 상관을 모두 구하였으며, Fig 2에서는 상관이 1에 가까울수록 짙은 파란색을 나타낸다. 상세 수치는 Table 3 ~ Table 4에 제시하였다. Park와 Park (2002)의 연구에서는 12개월령 한우 수컷에서 12개월령 체중과 체척 측정치는 0.4~0.46의 표현형 상관을 나타냈으며, 체척 측정치간은 0.65~0.86으로 체장과 체고 및 체장과 흉위는 각각 0.86의 높은 상관을 가지고 있었다. 본 연구에서도 비슷한 경향을 띠고 있는데 흉위를 제외한 체척 형질들은 주로 0.4~0.6의 표현형 상관을 보였으며, 흉위는 12개월령 수컷은 0.798, 12개월령 거세는 0.861로 체중과 가장 높은 상관을 보였다. 그리고 체고와 십자도 12개월령 수컷은 0.927, 12개월령 거세는 0.936의 높은 상관을 보였다. 이러한 체척 사이의 가장 높은 상관은 선발 기준으로 사용할 수 있다(Khan et al., 2006). 12개월령 수컷에서 상대적으로 상관이 더 낮게 나타나는 이유는 12개월령에서 거세우에 비해 후구가 발달되어 있고, 흉위는 가슴둘레이기 때문에 후구 체형이 덜 반영됐기 때문인 것으로 사료된다.

Table 1. Basic statistics on body measurement traits and body weight of Hanwoo at 12 months age

Trait ⁽¹⁾	bull (n=11,414)			steer (n=6,232)		
	mean $\pm$ std	min	max	mean $\pm$ std	min	max
BW(cm)	371.69 $\pm$ 43.97	240.5	509.5	336.35 $\pm$ 45.94	206.5	479.0
WH(cm)	120.42 $\pm$ 4.23	106.0	134.0	121.01 $\pm$ 4.65	104.0	136.0
HH(cm)	123.18 $\pm$ 4.39	107.0	139.0	122.69 $\pm$ 4.59	107.0	138.0
BL(cm)	136.63 $\pm$ 6.19	114.0	157.0	133.39 $\pm$ 7.13	111.0	155.0
CD(cm)	62.48 $\pm$ 2.8	38.0	77.0	61.95 $\pm$ 2.71	52.0	71.0
CW(cm)	39.19 $\pm$ 3.47	21.0	57.0	36.51 $\pm$ 3.63	26.0	48.0
RW(cm)	38.09 $\pm$ 2.9	27.0	55.0	37.46 $\pm$ 2.91	29.0	46.0
RL(cm)	46.17 $\pm$ 3.01	30.0	63.0	44.54 $\pm$ 3.16	35.0	54.0
PW(cm)	40.84 $\pm$ 3	31.0	50.0	39.7 $\pm$ 3.06	27.0	50.0
HW(cm)	22.29 $\pm$ 2.47	15.0	30.0	21.67 $\pm$ 2.82	13.0	30.0
CG(cm)	170.66 $\pm$ 7.8	141.0	198.0	165.47 $\pm$ 8	139.0	191.0
age(day)	358.69 $\pm$ 18.87	302.0	415.0	357.75 $\pm$ 20.5	296.0	411.0

⁽¹⁾ BW: body weight, WH: wither height, HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth, age(day): ages at measurement

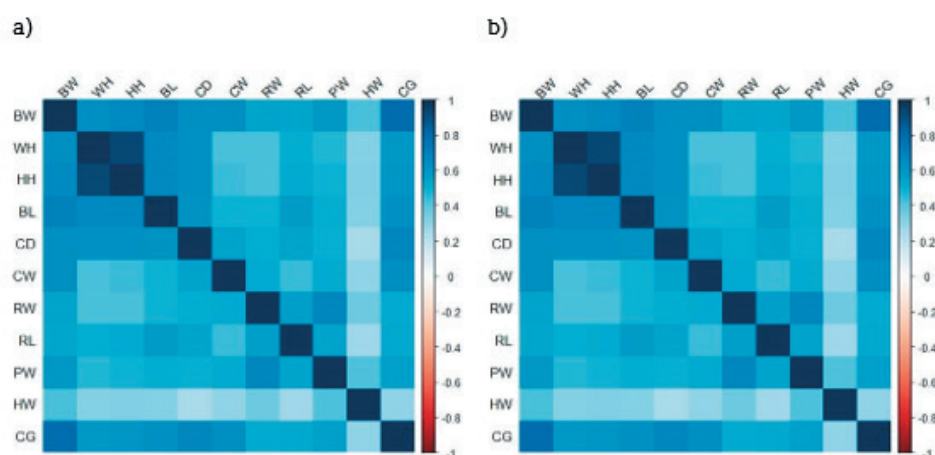
Table 2. Basic statistics on the body weight trait of 12 months age Hanwoo by group

Group ⁽¹⁾	bull			steer		
	mean $\pm$ std	min	max	mean $\pm$ std	min	max
1	364.1 $\pm$ 34.54	250.0	488.0	314.6 $\pm$ 33.88	217.0	479.0
2	370.5 $\pm$ 46.04	244.0	509.5	345.7 $\pm$ 47.70	206.5	478.5
3	394.2 $\pm$ 51.81	240.5	507.5	363.7 $\pm$ 38.98	231.5	476.0

⁽¹⁾ Group 1: measurements from 2000 to 2009

Group 2: measurements from 2010 to 2019

Group 3: measurements from after 2020

**Figure 2.** Visualized correlation coefficients among the body weight and body measurement traits of Hanwoo at 12 months age

a): bull, b): steer

Table 3. Phenotypic correlation of body weight and body measurement traits at 12 months ages of Hanwoo bulls

Trait ⁽¹⁾	BW	WH	HH	BL	CD	CW	RW	RL	PW	HW	CG
BW	1.000	0.635	0.656	0.698	0.639	0.636	0.540	0.534	0.595	0.424	0.798
WH	0.635	1.000	0.936	0.663	0.623	0.428	0.423	0.501	0.465	0.319	0.594
HH	0.656	0.936	1.000	0.670	0.625	0.446	0.429	0.517	0.481	0.320	0.607
BL	0.698	0.663	0.670	1.000	0.616	0.488	0.481	0.570	0.506	0.314	0.622
CD	0.639	0.623	0.625	0.616	1.000	0.547	0.509	0.549	0.497	0.249	0.676
CW	0.636	0.428	0.446	0.488	0.547	1.000	0.514	0.440	0.516	0.299	0.632
RW	0.540	0.423	0.429	0.481	0.509	0.514	1.000	0.566	0.674	0.361	0.510
RL	0.534	0.501	0.517	0.570	0.549	0.440	0.566	1.000	0.550	0.266	0.529
PW	0.595	0.465	0.481	0.506	0.497	0.516	0.674	0.550	1.000	0.416	0.559
HW	0.424	0.319	0.320	0.314	0.249	0.299	0.361	0.266	0.416	1.000	0.298
CG	0.798	0.594	0.607	0.622	0.676	0.632	0.510	0.529	0.559	0.298	1.000

⁽¹⁾ BW: body weight, WH: wither height, HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth

Table 4. Phenotypic correlation of body weight and body measurement traits at 12 months ages of Hanwoo steers

Trait ⁽¹⁾	BW	WH	HH	BL	CD	CW	RW	RL	PW	HW	CG
BW	1.000	0.625	0.616	0.749	0.663	0.561	0.633	0.525	0.726	0.612	0.861
WH	0.625	1.000	0.927	0.660	0.675	0.464	0.506	0.515	0.542	0.513	0.636
HH	0.616	0.927	1.000	0.644	0.686	0.489	0.518	0.544	0.527	0.466	0.616
BL	0.749	0.660	0.644	1.000	0.645	0.506	0.647	0.638	0.681	0.626	0.704
CD	0.663	0.675	0.686	0.645	1.000	0.579	0.641	0.621	0.623	0.505	0.725
CW	0.561	0.464	0.489	0.506	0.579	1.000	0.589	0.566	0.617	0.408	0.567
RW	0.633	0.506	0.518	0.647	0.641	0.589	1.000	0.667	0.719	0.569	0.631
RL	0.525	0.515	0.544	0.638	0.621	0.566	0.667	1.000	0.634	0.487	0.499
PW	0.726	0.542	0.527	0.681	0.623	0.617	0.719	0.634	1.000	0.653	0.660
HW	0.612	0.513	0.466	0.626	0.505	0.408	0.569	0.487	0.653	1.000	0.607
CG	0.861	0.636	0.616	0.704	0.725	0.567	0.631	0.499	0.660	0.607	1.000

⁽¹⁾ BW: body weight, WH: wither height, HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth

2) 다중공선성

다중공선성은 회귀 모형에서 상관관계가 높은 예측 변수를 두 개 이상 동시에 평가할 때 발생한다(Vatcheva et al., 2016). 본 연구에서 분산팽창요인을 사용하였을 때, 상관이 높은 형질들은 값이 높게 도출되고, 상관이 낮은 형질들은 값이 낮게 도출된 것을 확인하였다(Table 7). 12개월령 수컷의 경우 WH의 분산팽창요인은 8.4294, HH의 분산팽창요인은 8.6529였고, 12개월령 거세의 경우 WH의 분산팽창요인은 7.9453, HH의 분산팽창요인은 7.7908으로 다중공선성이 발생하는 경향이 있어 해결을 위해 체중과 상관이 낮은 12개월령 수컷의 경우 체고, 12개월령 거세의 경우 십자를 제거하여 회귀분석을 다시 실시한 결과, 12개월령 수컷의 경우 십자의 분산팽창요인은 2.2259, 12개월령 거세의 경우 체고의 분산팽창요인은 2.2537로 다중공선성이 해결되었고, 회귀분석을 했을 때 R^2 (결정계수)는 크게 감소하지 않았다.

3) 회귀분석 결과

본 연구에서는 12개월령 수컷의 경우 체고를 제외한 9개 체척형질과 일령값을 독립변수로 하여 회귀분석을 진행하였고, 12개월령 거세의 경우 십자를 제외한 9개 체척형질과 일령값을 독립변수로 하여 회귀분석을 진행하였다. 회귀모형에서 기울기(regression coefficient), 즉 회귀계수가 의미하는 바는 한 독립변수가 종속변수를 예상하는데 상대적인 공헌도를 나타낸다(Lee, 2013). 본 분석에서는 체장과 수직인 형질 하나와 흉위가 체중에 가장 크게 영향했다고 볼 수 있다. 체장에 수직인 형질 중 하나가 크게 영향을 미치는 이유는 독립변수의 개수가 많기 때문인 것으로 사료된다. Shirzeyli 등(2013)은 HW(좌골폭), WH(체고) 등을 BL(체장)과 CG(흉위)에 추가하면 예측 정확도가 크게 향상된다는 것을 보여주었다. 이러한 결과에 따라 선발 작업에서 체중을 추정

할 수 있는 신뢰할 수 있는 간접적인 방법으로 BL(체장)과 CG(흉위)를 사용하는 것이 권장된다고 하였다. Yilmaz 등(2012)은 Karya종의 양에서 BL(체장)과 CG(흉위)를 사용하여 체중을 예측한 결과, 0.87의 설명력을 얻었다. 본 연구에서 체중(y값)의 설명력은 12개월령 수컷의 경우 0.7571, 12개월령 거세의 경우 0.8136으로 거세우가 더 높았다. 이는 유의한 독립변수의 수가 거세우가 더 많기 때문이고, 체중에 가장 크게 영향을 미치는 흉위의 회귀계수가 거세우에서 유의하게 높기 때문인 것으로 사료된다.

Table 5. Variance inflation factor of body measurement traits of Hanwoo before solving multicollinearity

Trait ⁽¹⁾	12-month bull	12-month steer
WH	8.4294	7.9453
HH	8.6529	7.7908
BL	2.3615	3.0560
CD	2.4034	3.1256
CW	1.8941	1.9742
RW	2.1884	2.7661
RL	1.9286	2.4686
PW	2.2876	3.1180
HW	1.2675	2.1015
CG	2.6868	3.3543

⁽¹⁾ WH: wither height, HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth

Table 6. Variance inflation factor of body measurement traits of hanwoo after solving multicollinearity

Trait ⁽¹⁾	12-month bull	12-month steer
WH	-	2.2537
HH	2.2259	-
BL	2.3411	3.0500
CD	2.3797	3.0162
CW	1.8883	1.9592
RW	2.1802	2.7634
RL	1.9260	2.4215
PW	2.2853	3.1011
HW	1.2632	2.0771
CG	2.6178	3.1563

⁽¹⁾ WH: wither height, HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth

Table 7. Result of prediction regression analysis using body measurement trait of 12 months ages of Hanwoo bulls

Trait ⁽¹⁾	coef	std err	t value	P> t ⁽²⁾	confidence interval	
					[0.025	0.975]
Intercept	-602.09934	6.52062	-92.338	**	-614.88086864	-589.317809876
HH	1.21878	0.06890	17.690	**	1.08372872	1.353830096
BL	1.45258	0.05014	28.973	**	1.35430265	1.550850186
CD	0.05244	0.11199	0.468	NS	-0.16707831	0.271948721
CW	1.60359	0.08041	19.943	**	1.44597921	1.761201226
RW	0.16025	0.10354	1.548	NS	-0.04271452	0.363206159
RL	-0.17474	0.09358	-1.867	NS	-0.35816460	0.008692577
PW	0.99281	0.10212	9.722	**	0.79262761	1.192985582
HW	2.06856	0.09221	22.433	**	1.88781548	2.249309169
CG	2.33433	0.04262	54.773	**	2.25078882	2.417866445
age(day)	0.21181	0.01142	18.553	**	0.18942819	0.234182666

Multiple R-squared : 0.7573, Adjusted R-squared : 0.7571

⁽¹⁾ HH: hip height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth, age(day): ages at measurement

⁽²⁾ *: P<0.05, **: P<0.01, NS: P≥0.05

12개월령 수컷의 회귀분석 결과는 Table 7에 제시되어 있으며, 체중(y값)의 설명력은 0.7571이었다. 회귀계수는 CG(흉위)와 HW(좌골폭)이 각각 2.33437, 2.06856로 가장 높았다. 그리고 CD(흉심), RW(요각폭), RL(고장)은 P값이 0.05보다 크므로 추정값이 유의하지 않았다. Stepwise 변수선택법을 이용하여 체중을 예측 하는데 유의한 변수만 확인했을 때, 기존 회귀분석 시 유의하지 않았던 형질 중 하나인 흉심을 뺀 모델이 가장 AIC(Akaike information criterion) 값이 작음을 확인하였다.

12개월령 거세의 회귀분석 결과는 Table 8에 제시되어 있으며, 체중(y값)의 설명력은 0.8136이었다. 회귀계수는 CG(흉위)와 PW(곤폭)이 각각 3.13698, 3.19673로 가장 높았다. 그리고 RW(요각폭), HW(좌골폭)은 P값이 0.05보다 크므로 추정값이 유의하지 않았다. Stepwise 변수선택법을 이용하여 체중을 예측하는 데 유의한 변수만 확인했을 때, 기존 회귀분석 시 유의하지 않았던 RW(요각폭), HW(좌골폭)을 뺀 모델이 가장 AIC값이 작음을 확인하였다.

Table 8. Result of prediction regression analysis using body measurement trait of 12 months ages of Hanwoo steers

Trait ⁽¹⁾	coef	std err	t value	P> t ⁽²⁾	confidence interval	
					[0.025	0.975]
Intercept	-558.47170	7.81283	-71.481	**	-573.7875468	-543.1558589
WH	0.54766	0.08147	6.722	**	0.3879498	0.7073722
BL	1.31307	0.06147	21.360	**	1.1925567	1.4335794
CD	-1.19790	0.16271	-7.362	**	-1.5168733	-0.8789232
CW	0.30933	0.09684	3.194	**	0.1194889	0.4991776
RW	-0.11825	0.14362	-0.823	NS	-0.3997910	0.1632900
RL	-0.37964	0.12425	-3.055	**	-0.6232150	-0.1360641
PW	3.19673	0.14490	22.062	**	2.9126811	3.4807799
HW	0.02669	0.12862	0.208	NS	-0.2254514	0.2788304
CG	3.13698	0.05748	54.572	**	3.0242976	3.2496706
age (day)	0.25464	0.01382	18.423	**	0.2275400	0.2817309

Multiple R-squared : 0.8139, Adjusted R-squared : 0.8136

⁽¹⁾ WH: wither height, BL: body length, CD: chest depth, CW: chest width, RW: rump width, RL: rump length, PW: pelvic width, HW: hipbone width, CG: chest girth, age(day): ages at measurement

⁽²⁾ *: P<0.05, **: P<0.01, NS: P≥0.05

본 연구를 통해 일령과 체척 형질별 체중에 영향을 미치는 정도를 알 수 있었다. 본 연구에서 사용한 모델은 주어진 길이성장을 대표하는 형질을 이용하여 무게정보를 예측한 것으로 이때의 한계점은 독립변수와 종속변수가 직접적인 연관이 없는 단위를 사용하여 예측 정확도를 감소시킨 것이다. 그리고 대체적으로 회귀분석 시 독립변수를 측정하기 쉬운 값으로 설정하고, 자료 취득 및 형질화가 어려운 값을 종속변수로 설정하여 추정하는 경우가 대부분이나, 본 연구에서는 측정하기 쉬운 체중을 종속변수로 두고, 실측하기 어려운 체척 형질을 독립변수로 둔 점이 있다. 하지만 이 점은 시간과 노동력이 많이 드는 실측 방식에서 시간과 노동력을 절약할 수 있는 이미지를 이용한 부피 및 밀도 정보 수집 자동화로의 방식이 보편화 된다면 실측하기 어려운 체척 형질을 쉽게 얻을 수 있을 것이므로 충분히 해결 가능하다. 또한 AI 학습을 이용하는 등 지속적인 정확도 검증을 통해 정확한 개체정보를 얻어내고 예측할 수 있다면 유전능력 추정을 통해 체중 및 체척형질의 개량방향 설정이 가능할 것으로 판단된다.

요약

본 연구는 한우 검정우의 체척을 이용하여 체중을 예측하는 연구로 개체의 길이성장을 대표하는 정보를 이용하여 무게 예측에 대한 가능성을 알아보고자 하였다. 분석에 이용된 자료는 농협경제지주 한우개량사업소 수소, 거세우 체중, 체척을 이용하였고, 체중 예측을 위한 다중회귀에는 각각의 일령값과 체척형질이 독립변수로 활용되었다. 원자료 중 최종적으로 활용된 개체수는 수소 11,414두, 거세우 6,232두이며 검정년도가 2000~2020년에 해당되는 수소, 1998~2020년의 거세우 개체들이 분석에 이용되었다. 분석에 사용된 체척형질은 체고(wither height, WH), 십자부고(hip height, HH), 체장(body length, BL), 흉심(chest depth, CD), 흉폭(chest width, CW), 고장(rump length, RL), 요각(rump width, RW), 곤폭(pelvic width, PW), 좌골폭(hipbone width,

HW), 흉위(chest girth, CG)의 측정 자료이다. 다중회귀분석을 이용한 분석결과, 수컷의 경우 조정된 모형적합도(혹은 결정계수)는 0.7571이었고, 거세의 경우 조정된 모형적합도(혹은 결정계수)는 0.8136이었다. 이 결과는 최근 스마트팜 등 개체별 이미지 정보를 이용한 체중 예측기술 개발을 위한 모델링 설정 시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

색인: 체중, 체척, 회귀

ACKNOWLEDGEMENTS

본 결과물은 농림축산식품부 및 과학기술정보통신부, 농촌진흥청의 재원으로 농림식품기술기획평가원과 재단법인 스마트팜 연구개발사업단의 스마트팜다부처패키지혁신기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(421050-03)

REFERENCES

- 국립축산과학원. 2021a. 2021년 가축개량지원사업 시행지침. pp. 15-16.
- Shirzeyli, F. H., Lavvaf A., Asadi, A. 2013. Estimation of body weight from body measurements in four breeds of Iranian sheep. *Songklanakarin Journal of Science & Technology* 35(5). 1.
- Pesmen, G. and Yardimci, M. 2008. Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva Zootechnica* 11(4): 30-40.
- Tasdemir, S., Urkmez A., Inal S. 2011. Determination of body measurements on the Holstein cows using digital image analysis and estimation of live weight with regression analysis. *Computers and electronics in agriculture* 76(2): 189-197.
- Ahn JG. 2019. 도서출판 탑스팟. 핵심 가축육종학. pp215.
- Lee, C.W., et al. 2018. Relationships of Weaning Weight with Gestation Length, Birth Weight, and Pre-weaning Daily Gain in Hanwoo. *Journal of Agriculture & Life Science* 52(3): 63-71.
- Kim J, Park J, Choi C, Kim H. 2018. Development of regression models resolving high-dimensional data and multicollinearity problem for heavy rain damage data. *KSCE journal of civil and environmental engineering research*. December 2018. 801-808
- Kim JH. 2019. Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean journal of anesthesiology* 72(6): 558.
- Choi, T.J., et al. 2008. Estimation of Growth Curve Parameters for Body Weight and Measurements in Castrated Hanwoo (*Bos taurus Coreanae*). *Journal of Animal Science and Technology* 50(5): 601-612.
- 국립축산과학원. 2021b. 2021 가축개량 관련자료. pp. 8
- Park CJ, Park YI. 2002. Estimation of genetic correlation for the growth and carcass traits in hanwoo. *J. Anim. Sci. & Technol. (Kor)* 44(6) 685-692
- Khan, H., Muhammad, F., Ahmad, R., Nawaz, G., Rahimullah and Zubair, M. 2006. Relationship of body weight with linear body measurements in goat. *Journal of Agricultural and Biological Science*. 1(3), 51-54
- Vatcheva, K. P., Lee M.J., McCormick, J. B., Rahbar, M. H. 2016. Multicollinearity in regression analyses conducted in epidemiologic studies. *Epidemiology (Sunnyvale, Calif.)* 6(2).
- Lee JG, Lee SS, Cho KH, Cho C, Choy YH, Choi JG, Park B, Na CS, Roh SH, Do C, Choi T. 2013. Estimation of Primal Cuts Yields by Using Body Size Traits in Hanwoo Steer. *Journal of Animal Science and Technology* 55(5): 373-380.
- Shirzeyli, F. H., Lavvaf A., Asadi, A. 2013. Estimation of body weight from body measurements in four breeds of Iranian sheep. *Songklanakarin Journal of Science & Technology* 35(5). 4.
- Yilmaz, O., Cemal I., Karaca, O. 2013. Estimation of mature live weight using some body measurements in kary sheep. *Trop Anim Health Prod.* 45(2): 397-403