

Research Article

한우 초산연령의 유전적 특성과 선발에 관한 연구

도창희¹, 신승규², 신지섭³, 노재광², 박찬혁², 이재구⁶, 이석현³, 송형준⁴, 김현성⁵, 차재범⁷, 김동욱⁸, 이재은¹

¹충남대학교, ²한국종축개량협회, ³농협경제지주, ⁴농협경제지주, ⁵농협경제지주, ⁶연암대학교, ⁷국립축산과학원, ⁸낙농진흥회

A study on the genetic characteristics and selection of first calving age in Hanwoo

Chang-Hee Do^{1*}, Seung-Kyu Shin², Ji-Seob Shin³, Jae-Kwang Noh², Chan-Hyuk Park², Jae-Gu Lee⁶, Seok-Hyun Lee³, Hyung-Jun Song⁴, Hyun-Sung Kim⁵, Jae-Beom Cha⁷, Dong-Uk Kim⁸, Jae-Eun Lee¹

¹College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, DaeJeon 34134, Republic of Korea

²Korea Animal Improvement Association, Seoul, 06668, Republic of Korea

³Dairy Cattle Improvement Center, NongHyup Agribusiness Group Inc., Goyang, 10292, Republic of Korea

⁴Livestock Support Dept., NongHyup Agribusiness Group Inc., Seoul, 04516, Republic of Korea

⁵NongHyup Moguchon Inc., NongHyup Agribusiness Group Inc., Gimje, 54346, Republic of Korea

⁶Division of Smart Animal Husbandry, Yonam College, Cheonan, 31005, Republic of Korea

⁷Animal Genetics & Breeding Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, Cheonan, 31000, Republic of Korea

⁸Korea Dairy Committee, Sejong, 30121, Republic of Korea

*Corresponding author: ivando@cnu.ac.kr

ABSTRACT

Objective: This study analyzed the impact of age at first calving (AFC) on the reproduction and longevity of Hanwoo (Korean beef cattle) cows and proposed selection indices for genetic improvement of AFC.

Methods: Data on the age at first calving, lifetime calving count, lifespan, and productive lifespan of 30,534 cows born between 2010 and 2023 and culled or sold at 280 farms of 4 cooperatives in the Chungnam region participating in the Hanwoo cow test project, as well as 49,723 calving interval data of these cows were used for analysis.

Results: The most frequent AFC for Hanwoo cows was approximately 24 months (736 days). Reproductive efficiency was highest when AFC was close to 24 months, showing the shortest calving intervals. Superior performance in longevity and productive life was observed within the 22–25 month range of AFC. The heritability of AFC was 0.12, which was higher than that of the calving interval (0.08), indicating potential for genetic improvement through selection. Economic losses occurred if the age of first calving deviates from the appropriate age range.

Conclusion: The study suggests selection index models that apply different economic weights based on 23 and 24 month split points of AFC data, where the genetic characteristics of AFC change significantly. In addition, each model assigns different economic weights for AFC according to the positive (+) and negative (–) values of the breeding value.

Keywords: age at first calving, calving interval, economic weight, Hanwoo, heritability, longevity, selection index

INTRODUCTION

우리나라는 고유 품종인 한우를 대부분 방목하지 않고 축사 시설에서 사육 및 번식을 하고 있다. 정부도 이런 사육형태를 뒷받침하기 위하여 인공수정 번식을 국가 수준에서 지원하고 있다. 씨수소 검정체계를 통해 정액을 생산하여 전국의 농가에 보급하여 능력개량을 유도하고 있으며, 산육능력에 있어 지난 수십 년 동안 유의미한 유전적 개량속도를 유지하고 있다.

또한, 한우 암소의 개량을 위해 국가 차원의 암소 검정사업도 추진되고 있다. 전국적으로 62개 시행기관(지역축협, 한우조합, 한우협회 등)에서 약 7,400호 농가, 30만 두 규모의 암소를 관리하고 있으며, 대학 및 개량 관련 기관 등으로 구성된 컨설팅기관에서는 암소에 대한 유전능력평가, 교배조합 추천 및 농가 컨설팅을 수행하여 농가의 개량을 지원하고 있다. 농가는 검정사업 참여를 통해 암소의 산육능력과 번식능력 향상을 도모하고 있다. 산육능력 개량이 육질 및 육량 향상에 중점을 둔다면, 번식능력 개량은 번식효율 향상을 목표로 한다.

번식효율에 있어 임신당 종부 횟수, 공태일, 임신기간 등이 종합적으로 반영되는 분만간격의 개량에 대해서는 농가들이 관심이 있지만, 초산연령에 대해서는 암소의 영양 상태 및 사양관리의 문제로만 생각하고 있으며, 초산연령에 대한 암소의 유전적 향상을 위한 관심은 적은 편이다. 국립축산과학원은 한우 적정 초종부시기를 14-15개월령으로 안내하고 있지만, 많은 수의 농가가 자의적으로 결정하고 있다. 한우 초산연령(월)의 최빈값은 24개월령이지만 18개월령부터 31개월령까지 유의미하게 분포되어 있다(Shin et al., 2021). 역으로 계산하면 8개월령부터 시작하여 대략 21개월령까지 초산을 위한 수정을 하고 있는데 Shin et al. (2021)이 고찰했듯이 24개월령 전과 후의 초산연령을 구분한 신체발육의 조사에서 체형이 작을수록 늦어지는 경향을 관찰하였다. 일반적으로 성숙 체중의 55-62%에 도달하였을 때 수정을 권장하기도 한다(Lardner et al., 2014). 초산 이후의 분만간격에 있어서는 24개월보다 늦거나 빠른가에 상관없이 24개월령에 가까울수록 짧아진다고 보고하여, 24개월 초산이 가장 바람직하다고 고찰하였다(Shin et al., 2021).

암소의 신체 및 생리적인 면에서 암소의 초산연령이 너무 빠르면 충분히 성장하지 못한 상태에서 분만하게 되어 암소의 신체에 상당한 생리적 부담이 가해지는 것으로 단순히 성장이 멈추는 것을 넘어 번식효율 저하로 이어질 수 있다(Wathes et al., 2008). 반면에 초산연령이 너무 늦어지면 암소는 과도하게 성장하거나 체지방이 축적되어 난산 또는 대사성 질병을 유발할 수 있고(Meyer et al., 2001; Piepenbrink et al., 2004), 비임신기간이 길어지면서 호르몬의 불균형으로 재발정 지연 또는 난자의 질 저하로 인해 낮은 착상률을 유발할 수 있다고 알려졌다(Wathes et al., 2008). 이는 필연적으로 분만간격에도 영향을 미칠 수 있다. 경제적으로 한우 암소의 경우 1일 번식지연으로 추가되는 사료비 4,098원(\$2.82), 기타비용 5,072원(\$3.50)(KOSIS, 2025) 그리고 송아지 생산손실 기회비용 7,695원(\$5.31)(KAPE, 2025)을 종합하면 16,865원(\$11.63)이 되어 1개월이 지체되면 해당 분만에서 51만원(\$354.72) 가량의 손실이 발생한다. 요약하면 적절 연령의 전과 후의 초산은 암소에서 발생하는 생리적 영향의 특성이 다르고, 경제성 측면에서도 다른 특성을 보여준다. 이에 따라서 한우 암소의 초산연령에 대해 적절한 유전 능력평가와 선발의 방법에 대한 조사가 필요하다.

본 연구에서는 한우암소검정 사업을 통하여 수집된 자료를 이용하여 한우 암소 초산연령의 특성을 조사하고, 특성에 적합한 개량방법을 찾고자 수행하였다.

MATERIALS AND METHODS

Data and data editing

한우 암소검정 사업을 위한 충남지역의 4개 조합, 280 농가에서 2010년부터 2023년까지 출생한 후 도태 또는 출하된 암소 37,090두의 초산연령(일), 생애 분만수, 수명, 생산수명과 이 암소들의 49,723건의 분만간격 자료를 분석에 이용하였다. 초산연령(일) 37,090건의 범위는 302에서 3,118일이었다. 초산일령이나 분만간격 등과 같은 번식능력의 자료는 농가의 기록으로 발생하는 자료이기 때문에 비현실적인 초산연령은 정상적인 임신(266-298일)과 분만간격(300-500일)을 가정한 초산연령을 549에서 915일(19-30개월)이라 제한하여 자료의 수는 30,534건으로 본 연구의 분석에 사용되었다.

초산연령의 특성을 조사하기 위해 Table 1과 같이 초산연령(일)에 따라 자료를 분할하여 구간별 유전모수 추정을 위한 분석에 이용하였다. 자료를 분할하게 된 이유는 다른 형질의 유전 통계적 특성을 해치지 않고, 초산일령의 유전 통계적 변화를 조사하기 위한 방법이며, S22~26까지는 자료의 시작부터 중위까지 누적하였고, A23, A24는 끝부분으로부터 중위로 확장했다.

Table 1. Structure and abbreviations of data divided by age at first calving

Abbreviation	Range of data at first calving	No. of heads
S22	From day 549 to day 671	4,420
S23	From day 549 to day 702	9,553
S24	From day 549 to day 732	15,990
S25	From day 549 to day 763	21,659
S26	From day 549 to day 793	25,092
A23	From day 703 to day 915	20,981
A24	From day 733 to day 915	14,544
FD	From day 549 to day 915	30,534

A23, A24: data from 23 or 24 months of age at first calving onward; FD: full data (549–915 d); S22–S26: data up to 22–26 months of age at first calving, respectively.

Statistical and genetic analyses

초산일령에 대한 ANOVA 분석을 위한 일반선형모형(GLM)은 다음과 같다.

$$y_{ijklm} = A_i + B_{year_j} + C_{year_k} + C_{month_l} + error_{ijklm}$$

식에서 A_i 는 i 번째 조합을 나타내며 4개의 조합이 있고, B_{year_j} 는 j 번째 출생년을 나타내며 2010–2023년 출생을 포함한다. C_{year_k} 과 C_{month_l} 는 k 번째 분만년과 분만 달력 1월(calendar month)을 나타내며 분만년은 2011–2025년 분만을 포함하고, 잔차인 error 항으로 이루어졌다. ANOVA 분석을 위해 SAS 9.4(SAS Institute Inc., 2013)의 GLM 프로시저를 이용하였다.

번식형질(초산연령, 분만간격)의 유전분산 및 유전상관 분석을 위한 모형은 편집된 자료중 전체 자료(FD)를 기준으로 조합, 분만년, 산차(분만간격만 해당), 개체효과, 영구환경효과(분만간격만 해당)와 잔차효과(residual effect)로 이루어졌으며 조합은 4, 분만년은 15, 산차는 14수준이었다. 이 혼합모형(mixed model)에서 조합, 분만년, 산차는 고정(fixed)효과이고, 개체효과와 영구환경효과 및 잔차효과는 임의의 효과(random effect)이다. 장수성 형질(생애 분만수, 수명, 생산수명)의 모형은 조합, 생년, 개체효과 그리고 잔차효과로 이루어졌으며, 조합 4, 생년 14 수준이었다. 농가(farm)와 분만 및 출생 계절과 같이 경제 형질에 유의미한 영향을 미치며 기록이 되어 있는 요인들을 분석모형에서 제외한 이유는 농가와 계절을 모형에 포함할 경우 동기우군(contemporary group)의 크기가 너무 작아질 우려가 있고, 작아졌을 경우 유전효과 추정의 정확도에 부정적 효과를 미치게 되기 때문이다(Do, 1992).

임의의 효과인 개체 및 잔차효과의 분산은 다음과 같이 가정하였다.

$$P = G + R, \text{ 분만 간격의 경우 } P = G + E_p + E_t$$

식에서 P 는 표현형 분산이고, 유전분산 공분산 행렬 G 는 다음과 같다.

$$G = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} & G_{14} & G_{15} \\ G_{21} & G_{22} & G_{23} & G_{24} & G_{25} \\ G_{31} & G_{32} & G_{33} & G_{34} & G_{35} \\ G_{41} & G_{42} & G_{43} & G_{44} & G_{45} \\ G_{51} & G_{52} & G_{53} & G_{54} & G_{55} \end{bmatrix}, G_{ij} = A\sigma_{ij}$$

A 는 혈연계수 행렬이고, σ_{ij} 는 i 형질과 j 형질의 유전공분산이며 i 와 j 가 같으면 상가적 유전분산이다. 유전효과와 환경효과의 공분산은 없는 것으로 가정하였으며, 반복기록인 분만간격을 위한 환경효과는 영구환경효과와 임시환경효과로 이루어지며, 영구 및 임시환경효과의 형질간 공분산은 없는 것으로 가정하였다. 영구환경효과 분산 $E_p = I\sigma_{pe}^2$ 이며, I 는 단위행렬(identity matrix)이며, σ_{pe}^2 는

영구환경 분산이다. 임시환경효과 분산 $E_i = I\sigma_e^2$ 으로 구성되었다고 가정하였으며, 잔차효과에 대한 분산 $R = I\sigma_e^2$ 이고, σ_e^2 는 잔차의 분산이다. 분석은 WOMBAT (Meyer, 2007) 프로그램을 이용하여 Table 1에 제시된 편집 자료들에 대해서 각각 다형질 분석(multi-trait analysis)을 실시하였다.

RESULTS AND DISCUSSION

Descriptive statistics

초산연령(일) 37,090건의 자료의 평균은 805.7일이고, 표준편차는 187.8일이었다. 초산연령(일)의 범위는 302에서 3,118일이었다. Figure 1은 초산연령(일)의 분포를 보여주고 있다. 이 자료에서 비현실적인 초산연령은 정상적인 임신(266–298일)과 분만간격(300–500일)을 가정한 초산연령을 549에서 915일(19–30개월)이라 제한하면 자료의 수는 30,534건이고, 평균은 735.7일, 표준편차는 65.2일로 줄어든다. $\pm 1\sigma$ 의 범위에 약 63.3%가 포함되어 정규분포의 확률과 비슷하고, 5일 단위 중간포인트 730일의 빈도수는 5.2%로 가장 높았다. 이어지는 분석은 이 범위 내의 자료를 이용하였다. 그림에서 세로 주황색 선은 좌로부터 각각 22, 23, 24, 25, 그리고 26개월을 표시하고 있다.

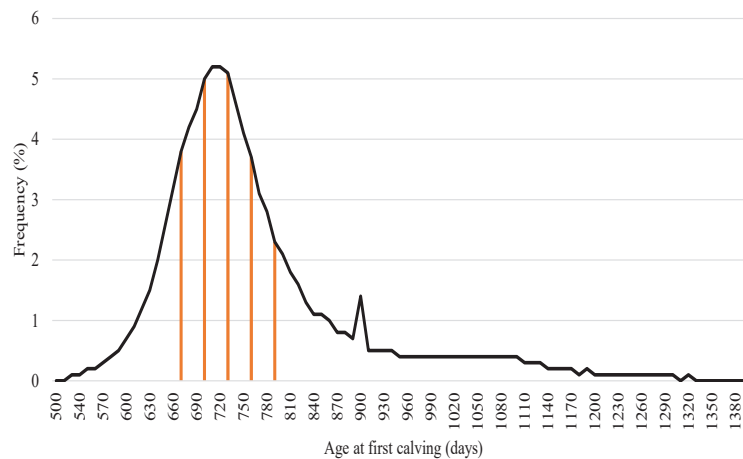


Figure 1. Frequency distribution of age days at first calving in Hanwoo.

Factors affecting age at first calving

암소의 정보 중에서 초산연령(일)에 영향을 미치는 통계분석 모형에 포함할 수 있는 암소 사육지역, 암소의 출생연도, 송아지 분만연도, 분만월 등의 효과가 있다. SAS의 일반선형모형(GLM)에 의한 분산분석을 실시하여 Table 2에 제시하였다.

통계모형에 포함된 지역, 출생년, 분만년, 월의 모든 요소에서 고도의 유의성을 보였다.

종부 수와 분만계절에 따른 초산연령(일)의 변화를 Table 3과 Figure 2에 제시하였다. 종부 횟수가 알려진 초산자료를 이용하여 초산연령(일)에 대한 평균과 표준편차를 계산하였다. 종부 수에 따라 초산연령(일)이 증가하는 경향을 보여주고 있지만, 1회와 2회 종부에 따른 평균의 차이는 6.4일로 재발정이 온 후 다시 수정하는 것을 고려할 때 종부 1회 증가 시 초산연령(일)의 증가는 크기가 크지 않은 것으로 판단된다.

임신일 수는 분석모형에 포함하지 않았고, 임신일 수의 월별 변화는 285.9일에서 287.5일로 최소와 최대의 차이가 1.6일로 월별로 유의적인 차이가 없어 보인다. 초산연령(일)의 계절적인 변화는 12월에서 3월에 분만한 경우 초산연령(일)이 유의적으로 짧고, 반면에 6월에서 9월에 분만한 경우 초산연령(일)이 길어졌다. 최대(743.2일, 7월)와 최소(718.4일, 1월)의 차이는 24.8일이었다. 계절에 따

른 최종 종부시의 수정율의 차이가 초산연령에 영향을 미쳤을 가능성이 있다.

결론적으로 종부 횟수에 따라서 초산연령이 증가하며, 초산을 위한 최종 종부시기의 계절에 따라 초산연령이 차이가 있다. 혼합 모형을 이용한 초산연령에 대한 유전평가를 시행할 때 보정이 필요한 고정효과로 앞서 분석된 요인들을 고려할 수 있다.

Table 2. Analysis of variance for age days at first calving

Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	Pr > F
Area	3	363,924.2	121,308.1	42.9	< 0.0001
Birth year	13	654,310.1	50,331.6	17.8	< 0.0001
Calving year	14	25,324,582.7	1,808,898.8	639.2	< 0.0001
Calving month	11	17,248,527.5	1,568,048.0	554.1	< 0.0001
Error	30,492	86,295,654.8	2,830.1		

DF: degrees of freedom.

Table 3. Change of age(days) at first calving according to number of breedings

No. of breedings	N	Mean	Standard deviation	Difference*
1	12,039	733.5	64.2	
2	3,155	739.9	61.9	6.4
3	1,099	743.6	62.6	3.7
4	420	735.8	66.1	-7.7
>5	259	744.0	68.8	8.2

*Difference of calving age days mean by number of breedings.

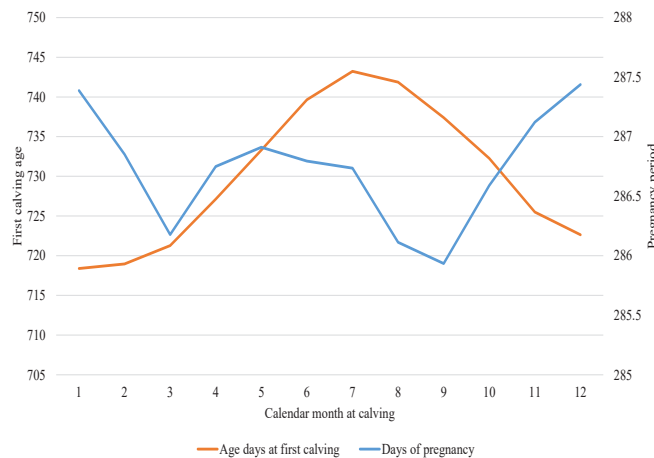


Figure 2. Changes of gestation period and age at first calving according to calving season.

Changes in related economic traits according to age at first calving

생애 분만수(number of calvings for life), 수명(life span: days from birth date to last calving), 생산수명(production life: days from breeding for first calving to last calving)과 분만간격(calving interval days after first calving)은 수소에서 관측되지 않는 암소의 번식 및 생산능력과 관련된 형질들이며 농가의 소득에 기여하는 중요한 형질들이다. 이 형질들과의 연관성을 이용하여 적절한 초산연령의 범위를 찾으려고 조사하였다.

Figure 3에서 초산연령(월)과 다른 형질의 관계를 조사하기 위해 상관계수를 추정하고 그림으로 나타냈다. 한우의 번식자료에서

최종 출하 또는 도태된 자료들을 대상으로 초산연령(월)의 월 표시는 전월 최종일 이후 다음 월 시작일까지의 자료이다. 예로 19월과 30월은 각각 549~579일, 886~915일이다.

전체적으로 상관계수의 크기는 -0.07 에서 $+0.08$ 로 초산연령 효과는 크지 않았다. 번식형질은 환경적인 요인이 크기 때문에 상관계수가 크지 않은 것은 자연적이다. LS, PL은 23개월령까지는 양의 상관을 보여주지만, 23개월로 올수록 0으로 수렴되고, 24개월에는 0.04 이상으로 상관관계가 높아진다. 25개월 이후는 상관계수가 음과 양을 오가며 큰 변화를 보인다. 너무 이른 초산보다 24개월령까지 초산이 늦춰질수록 수명이나 생산수명은 길어진다고 생각된다. 수명이나 생산수명과 같은 성격을 가진 생애 분만수는 21개월령과 26개월령을 제외하고는 같은 경향을 보인다. 앞의 세 형질은 장수성과 관련된 형질이이지만 번식효율과 관련이 있는 초산 후 평균 분만간격(CI)은 19, 27, 30개월에서 양의 상관을 22와 29개월에서 음의 상관을 보여주고 나머지 월령에서는 0에 근접한 상관계수를 보여주어 초산연령과의 특정한 연관관계를 찾을 수 없었다. 네 형질 모두에서 26개월 이후에는 급격한 변동성을 보여주고 있다. 19와 30개월령의 두 시점을 비교해서 보면 수명, 생산수명과 생애분만수 모두 양의 상관관계를 보여주는데 19개월 30개월의 의미가 다를 수 있다. 19개월에서는 신체의 발육이 완전해져 감에 따라 수명이 길어지는 것이고, 30개월에서는 늦은 초산이 농가에서 더 오래 유지하고자 하는 의지가 작용했을 것으로 보인다. 초산 후 분만간격(CI)은 20개월에서 26개월까지 음의 상관이거나 0에 가까운 상관을 보여주어 이 기간이 초산 후 분만간격에 가장 영향이 적은 기간으로 보인다.

Table 4에는 초산연령(월)에 따른 경제 형질들의 평균을 보여주고 있다. 분만간격의 자료수는 표에 제시된 것처럼 관측된 두수가 적는데 분만간격은 초산 이후 2산부터 얻어지는 자료이고 초산 도태된 개체들은 두수에서 제외되기 때문이다. 초산 후 도태율은 23개월령에서 가장 작고, 초산 후 도태율의 22~25개월 범위를 벗어나면 급격히 높아졌다. 젖소에서도 초산연령(일)이 적정 구간을 벗어났을 경우 같은 경향을 보고했다(Sung et al., 2016). 분만간격은 초산연령(월)이 24개월령일 때 가장 짧고, 23~26개월 구간의 초산연령이 생애 분만간격이 짧게 나타나고 있으며 이는 Shin et al. (2022)의 결과와도 일치하고 있다. 총 분만 수는 22개월령일 때 가장 높았으며, 수명은 30개월일 때 가장 길었으며, 생산수명은 22개월령일 때 가장 길었다. 수명과 생산수명과 차이를 보면 초산연령을 늦추는 것이 수명을 길게 하기는 하지만 생산수명을 연장시키지 않는다는 것을 보여준다. 암소의 생산수명은 수명보다 농가의 경제적 이익에 더 중요하다.

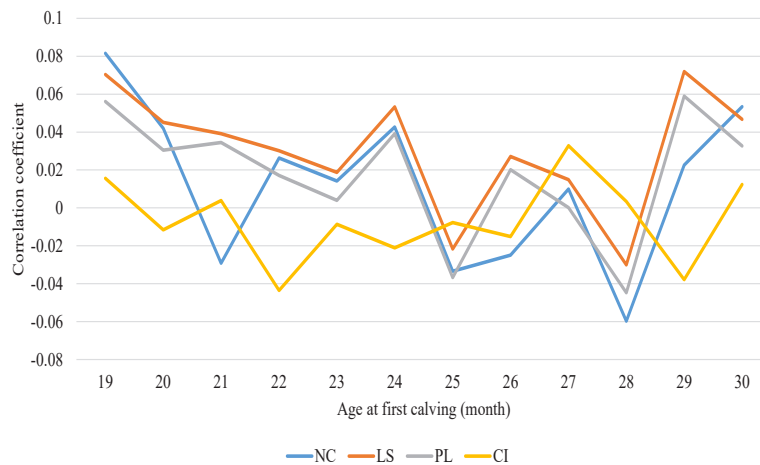


Figure 3. The correlations of age days at first calving with number of calvings (NC), life span (LS), production life (PL) and average calving interval (CI).

Table 4. Means of calving interval and longevity traits according to age month at first calving

AFC	Heads (CI)	CI	CR	Heads	NC	LS	PL
19	72	442.2	42.4	125	2.34	1127.8	847.0
20	231	409.7	30.0	330	2.46	1185.1	873.4
21	635	417.5	34.0	962	2.46	1209.8	867.8
22	1451	412.1	31.2	2108	2.59	1293.4	921.8
23	2667	405.5	29.8	3797	2.58	1302.6	902.2
24	3182	402.4	32.8	4735	2.50	1294.4	865.2
25	2883	404.7	30.9	4175	2.49	1325.9	867.3
26	1693	409.6	34.4	2580	2.47	1353.6	864.9
27	1107	416.2	35.0	1703	2.39	1366.0	847.9
28	644	408.9	39.0	1056	2.35	1362.3	812.5
29	451	428.1	42.9	790	2.30	1395.5	814.9
30	338	427.7	43.5	598	2.23	1395.5	814.9

AFC: age at first calving (month); CI: calving interval (d); CR: culling rate after first calving (%); LS: life span (d); NC: number of calvings for life; PL: productive life (d).

Genetic analysis of age at first calving and related traits

Table 5에서는 전체 자료(FD)를 분석에 포함하여 위의 형질에 대한 유전모수를 추정하였다. 초산연령과 분만간격은 번식형질이 고 생애 분만수, 수명, 생산수명은 장수성 형질이다. 초산연령(일)과 분만간격의 유전력은 0.12와 0.08로 낮은 유전력을 보였다. 장수성의 세 형질들은 0.30에서 0.40으로 고도의 유전력을 보였다. 초산연령은 농가들의 관심에서 소외되어있는 형질이이지만 암소의 유전적인 변이가 분만간격 보다 오히려 더 크고, 일반적인 번식형질의 유전력을 보여준다. 즉 초기 초산과 만기 초산에 대한 암소 개체별 유전적 효과가 일반 번식형질 만큼 존재한다고 할 수 있다. 물론 암소 초산연령의 유전변이가 조산이나 만산일 경우 앞서 Table 4에서 보여준 바와 같이 장점으로 평가되지 않는다.

초산연령(일)과 분만간격, 생애 분만수, 수명, 생산수명과의 표현형 상관은 0.01, -0.04, 0.21, 그리고 -0.04를 각각 보였다. 월별 초산연령(일)과의 상관을 조사한 Figure 3에서 분만간격은 최저 -0.04에서 최고 0.03(평균 -0.01)을 보였고, 생애 분만수는 -0.06에서 0.08(평균 0.01), 수명은 -0.03에서 0.07(평균 0.03), 생산수명은 -0.04에서 0.06(평균 0.02)의 상관을 보였다.

초산연령(일)과 분만간격의 유전상관은 0.36을 보여 유전적으로 밀접하게 연관되어 있다. 장수성 형질 간의 유전상관은 0.93부터 0.99로 고도의 상관을 보여준다. 초산연령(일)과 장수성 형질들은 0.25부터 0.48의 유전상관을 보여 유전적으로 높은 연관성을 보여준다. 분만간격과 장수성의 형질들은 -0.07부터 -0.39의 유전상관을 보였다. 분만간격의 증가는 생애 분만수나 생산수명을 오히려 감소시키는 것을 알 수 있다. 분만간격은 암소의 번식효율의 지표 형질이다. 분만간격과 장수성 형질들은 음의 유전상관들을 나타내고, 특히 생애 분만수와 생산수명과 더 높은 음의 유전상관을 보여주는 것은 분만간격의 경제적 대표성을 입증한다 할 수 있다. 분만간격과 초산연령의 양의 유전상관은 초산연령이 늦춰지는 것, 또한 경제적으로 좋지 않은 유전효과를 간접적으로 보여주고 있다.

초산연령(일)을 기준으로 자료를 분할하여 분석하여 초산연령의 시기별 특성을 조사하고자 하였다. 이 분석은 통계적인 검정의 영역이 아니고 분석된 결과를 보고 육종 또는 개량적인 관점에서 판단해야 할 영역이다.

Table 6에는 데이터의 분할에 따른 번식형질과 장수형질과 유전상관의 변화를 보여준다. 분만간격과 세 장수형질에서 음의 유전상관을 보였다. 유전상관의 크기는 초산연령에 상관없이 변동 폭이 작았다. 형질 간의 차이는 생애 분만수는 가장 큰 음의 값을 보여줬고, 수명은 가장 작은 값을 보였다. 이런 유전 상관계수의 의미는 유전적으로 분만간격이 길어지는 것은 장수성에는 부정적인 효과가 있으며, 특히 생애 분만수에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초산연령과 장수형질과의 관계는 양의 유전상관을 보였고, 초산연령에 의해 분할된 자료를 통하여 계수의 크기가 변화였다. 생애 분만수 그리고 생산수명은 초산연령(일)과 유전상관에서

S22에서 가장 크며 자료를 추가함에 따라 상관이 작아지는 경향을 보였다. 분만간격과 장수성 형질들간의 유전상관이 전체 분할된 초산연령(일) 자료를 통하여 유사한 값이 나타남으로써 초산연령(일)에 의한 자료의 분할이 초산연령(일)을 제외하면 분석에서는 영향을 크게 미치지 않았다.

Table 7에서는 분할된 데이터를 이용하여 번식형질인 분만간격과 초산연령에 대한 유전모수를 추정하였다. 앞에서 분할된 자료들에서도 분만간격이 장수형질들과 일정한 유전상관을 보였기 때문에 초산연령(일)의 변화를 관측하기 위한 기준으로 고려할 수 있다.

초산연령(일)을 22부터 26개월까지 자료가 점차적으로 추가됨에 따라 분만간격의 상가적 유전분산과 유전력은 자료의 추가여부와 관계없이 일정한 경향을 보여주고 있다. 분만간격의 상가적 유전분산은 137.0에서 138.9까지 증가하였지만 크기는 무시할 정도이다. 유전력도 0.08에서 유의미한 등락이 없다. 초산연령에 의한 자료분할이 분만간격의 분석을 위한 자료의 표본추출에 있어 편향성이 없다는 것을 보여준다. 반면에 초산연령(일)의 잔차분산과 상가적 분산은 증가하였다. 잔차 분산은 890.8에서 3172.9까지 증가하였고, 상가적분산은 41.8에서 463.1까지 증가하였다. 이렇게 분산의 증가는 초산연령 자료의 범위가 넓어짐에 따라 자연스러운 결과로 받아들일 수 있다. 잔차분산과 상가적 유전분산의 비율로 추정되는 유전력은 자료를 추가함에 따라 0.045에서 0.127까지 2.8배 증가되었다. 이른 초산연령은 늦은 초산연령보다 비유전적인 효과가 크게 영향을 미친 것을 의미한다. 이후 점차적으로 유전력이 증가하다가 25개월까지 포함되면 전체자료와 유사한 유전력을 보여준다. 초산연령(일)과 분만간격의 유전공분산은 극적인 변화를 보여준다. 22부터 26개월까지 자료가 점차적으로 추가됨에 따라 -17.8, -24.5, 9.6, 24.9 그리고 38.7로 변화되었다. 이에 따라 두 형질간의 유전상관은 -0.236에서 0.152까지 점차적으로 증가하였다. 특히 23개월에서 24개월이 추가됨으로 음의 유전상관(-0.220)이 양의 유전상관(0.059)으로 변화함으로써 23개월과 24개월 사이에 두 형질의 유전적 관계가 급격하게 바뀌는 것으로 나타났다. 이는 분만간격의 유전변이가 조기 또는 만기의 초산연령을 통해서 일정하게 보여준 것을 고려하면, 23, 24개월 사이에서 초산연령의 유전적 특성이 크게 변화하였다는 것을 보여준다.

Table 5. Heritabilities (diagonals), genetic (lower diagonals) and phenotype (upper diagonals) correlations with sampling errors for reproductive and longevity traits with using the full data (FD)

	AFC		CI		NC		LS		PL	
AFC	0.12	0.014	0.01	0.007	-0.04	0.007	0.21	0.006	-0.04	0.007
CI	0.36	0.057	0.08	0.007	-0.09	0.007	0.01	0.007	0.01	0.007
NC	0.25	0.059	-0.39	0.038	0.40	0.020	0.83	0.002	0.89	0.001
LS	0.48	0.054	-0.07	0.043	0.93	0.008	0.30	0.019	0.95	0.001
PL	0.38	0.060	-0.12	0.043	0.96	0.005	0.99	0.002	0.30	0.019

AFC: age at first calving (d); CI: calving interval (d); FD: full data; LS: life span (d); NC: number of calvings for life; PL: productive life (d).

Table 6. The genetic correlations of longevity traits with reproduction traits in the data sets partitioned by age at first calving

Data	Age days at first calving			Calving interval		
	NC	LS	PL	NC	LS	PL
FD	0.250	0.485	0.380	-0.389	-0.071	-0.125
S22	0.433	0.489	0.453	-0.400	-0.083	-0.133
S23	0.393	0.435	0.389	-0.398	-0.084	-0.132
S24	0.368	0.511	0.433	-0.377	-0.066	-0.117
S25	0.346	0.506	0.411	-0.392	-0.083	-0.130
S26	0.371	0.546	0.449	-0.373	-0.064	-0.117
A23	0.196	0.573	0.396	-0.418	-0.055	-0.146
A24	0.174	0.449	0.346	-0.396	-0.052	-0.120

A23, A24: data from 23 or 24 months of age at first calving onward; FD: full data; LS: life span; NC: number of calvings for life; PL: productive life; S22-S26: data up to 22-26 months of age at first calving, respectively.

Table 7. Estimates of genetic parameters for age days at first calving(AFC) and calving interval(CI) in the data sets partitioned by age at first calving

Data	h^2_{AFC}	RV_{AFC}	AV_{AFC}	$gc_{(AFC,CI)}$	h^2_{CI}	$COV_{(AFC,CI)}$	AV_{CI}
FD	0.123	7109	999.3	0.357	0.081	135.8	144.7
S22	0.045	890.8	41.8	-0.236	0.077	-17.8	137.0
S23	0.075	1114.4	89.9	-0.220	0.077	-24.5	137.2
S24	0.107	1621.4	194.6	0.059	0.077	9.6	137.7
S25	0.128	2297.5	337	0.115	0.078	24.9	138.1
S26	0.127	3172.9	463.1	0.152	0.078	38.7	138.9
A23	0.122	3579.4	497.9	0.302	0.075	77.9	133.4
A24	0.092	2922.1	297.3	0.423	0.079	86.3	140.1

A23, A24: data from 23 or 24 months of age at first calving onward; AFC: age at first calving (d); AV: additive genetic variance; CI: calving interval (d); COV: additive genetic covariance; FD: full data; h^2 : heritability; gc: genetic correlation; RV: residual variance; S22-S26: data up to 22-26 months of age at first calving, respectively.

Evaluation and selection for age at first calving

초산연령(일)이 22개월에서 25개월까지의 자료를 이용한 분석에서 장수형질과 분만간격에서 좋은 성적을 보여 적절한 초산연령이 이 사이에 있음을 보여줬다. 23개월까지의 자료와 24개월까지의 자료에서 초산연령 유전적 특성의 변화가 크게 나타났다. 이는 추가된 24개월 자료는 이전 자료와 다른 초산연령의 특성을 가졌다고 볼 수 있다. 유전평가와 선발은 특성의 변화를 반영하여 적절한 가중치를 반영한 선발방법을 찾아야 할 것으로 생각된다. 한편 초산의 빈도는 24개월에서 가장 높았다.

23, 24개월까지의 자료(S23, S24)와 23, 24개월령 이후의 자료(A23, A24)에 대해 분산성분 추정 결과를 Table 8에 제시하였다.

S23과 S24 자료의 분석에서 초산연령(일)의 유전력이 0.07에서 0.11로 조금 높아졌고, 분만간격과의 유전상관은 -0.22에서 0.06으로 변화되었다. 나머지 유전모수들은 작은 계수의 차이는 있어도 큰 변화는 없었다. A23과 A24 자료의 분석에서 초산연령(일)의 유전력이 0.12에서 0.09로 조금 낮아졌고, 분만간격과의 유전상관은 0.30에서 0.42로 조금 높아졌고, 나머지 장수형질과의 유전상관은 모두 조금씩 낮아졌다. 24개월령을 포함한 S24와 A23은 24개월령을 포함하지 않은 S23과 A24보다 높은 유전력을 보였고, 장수형질과도 높은 유전상관을 보였다. 전반부(S)와 후반부(A)의 비교를 해보면, S23과 A23는 유전력이 0.07에서 0.12로 높아졌고, 분만간격과 유전상관은 -0.22에서 0.30으로 급격한 변화를 보였다, S24와 A24는 유전력이 0.11에서 0.09로 낮아졌고, 분만간격과 유전상관은 0.06에서 0.42로 급격히 높아졌다. 초산연령(일)과 장수형질과의 유전상관도 자료분할의 분리점을 23개월 또는 24개월로 보아도 상관없이 모두 변화를 보였다. 대체적으로 자료분할에 따라 초산연령(일)과 분석된 모든 형질과의 유전적 관계가 유의미한 차이를 보여주고, 분만간격과 다른 형질들간의 유전효과에서는 유의미한 차이가 없음을 보여주므로 초산연령의 변화에 따른 번식능력의 차이를 분만간격 형질이 반영할 수 있다고 생각된다.

한우 암소검정사업 관리암소의 평가와 선발을 위하여 충남대가 2019년 개발한 선발지수를 소개하면 다음과 같다.

$$I = 6,000 + 40.66 \text{ } b_{VCWT} - 0.15 \times b_{VBF} + 21.97 \times b_{VEMA} + 438.91 \times b_{VMS} - 13.69 \times b_{VCI}$$

식에서 b_{VCWT} 는 도체중육증가, b_{VBF} 는 등지방육증가, b_{VEMA} 는 등심면적육증가, b_{VMS} 는 근내지방도 육증가, b_{VCI} 는 분만간격 육증가이다. 각각의 도체형질에 대한 경제가중치는 축산물품질평가원의 도체경매 낙찰가격(2018년 수집된 자료)에 대한 육증가의 편회귀로 추정하였다. 분만간격에 대한 경제적 가중치는 Table 9의 KOSIS (2018)에 근거하였다. 제시된 자료를 이용하면 분만간격의 1일 경제가는 13,692.07원(\$9.44)으로 추정된다. 6,000은 당시의 도체 평균값을 반영하였다. 선발지수에 1,000을 곱하면 실제 유전능력에 의한 소의 가격에 유사한 값을 주어 농가들이 인식하기 좋도록 선발지수를 설계했다.

두 개의 분리점에 따라서 나누어진 4개의 자료를 이용하여 유전모수의 추정치와 초산연령에 대한 4개의 경제가중치를 추정해 제시했다.

분만간격에 대한 초산연령(일)의 상대적 경제가치를 구하는 과정을 보면, 24개월령까지(S24)와 24개월령 이후(A24)의 경제가치를 분리하여 추정한다.

Hazel (1943)의 선발지수 식 $Pb = Ga$ 에서 b 는 표현형 관측치에 대한 지수 가중치, a 는 상대적 경제가치 벡터이다. 초산연령 1일과 분만간격 1일에 같은 단위 가중치를 지정하면 b 는 1의 벡터가 되고, 이를 역으로 이용하여 24개월령까지(S24)와 24개월령 이후(A24) 자료에서 각각 a 를 추정하였다.

$$a = G^{-1}Pb, b = [1, 1]'$$

S24 자료에서 Table 10의 표현형 및 유전 (공)분산을 적용하면

$$\begin{bmatrix} 1782.8 & -25.299 \\ -25.299 & 1816 \end{bmatrix} b = \begin{bmatrix} 137.65 & 9.5801 \\ 9.5801 & 1194.62 \end{bmatrix} a$$

$$a = \begin{bmatrix} 12.16922 \\ 8.6019867 \end{bmatrix}$$

이다. 분만간격의 경제가치를 1로 하였을 때 초산연령(일)의 상대적 비중은 0.7068643이며, 이에 따른 초산연령(일) 육종가의 1일 경제가치는 9,678.4원이 된다.

A24 자료에서는

$$\begin{bmatrix} 1784.3 & 80.608 \\ 80.608 & 3219.4 \end{bmatrix} b = \begin{bmatrix} 140.13 & 86.26 \\ 86.26 & 297.28 \end{bmatrix} a$$

$$a = \begin{bmatrix} 7.8832363 \\ 8.8132402 \end{bmatrix}$$

이다, 초산연령(일)의 상대적 비중은 1.1179723으로 A24에서 초산연령 육종가의 1일 경제가치는 15,307.4원이 된다.

초산연령 육종가에 경제가를 적용할 때는 음의 값일 때 초산연령의 1일 경제가치는 9,678.4원을 적용하고, 양의 값일 때 15,307.4원을 적용한다. 초산연령의 유전평가는 24개월령 전후를 통합하여 평가하지만, 경제가치 적용에 있어서 육종가가 음의 값일 때 9,678.4원(\$6.67)을 적용하고, 양의 값일 때 15,307.4원(\$10.56) 적용한다. 초산연령(일)의 육종가가 0일 때 지수가 0으로 가장 높으며 음과 양의 수가 커질수록 초산연령 선발지수가 음의 값으로 감소하게 된다. 적정 초산연령(일)을 벗어나면 페널티를 받는 구조이다. 24개월령까지와 24개월령 이후 다른 경제가치는 분만간격과 유전상관 각각 0.059와 0.423을 보여준 Table 7의 결과와도 일치하는 결과로 생각된다. 분만간격에 더 나쁜 영향을 주는 24개월령 이후의 초산연령 지체에 더 큰 손실을 주는 결과로 나타났기 때문이다. 자료의 분리 점을 23개월로 이용하여 추정한 경제적 가중치도 같은 방법으로 적용한다. 23과 24월 분리의 결과를 비교하면 23월은 전반에 손실의 강도가 24월보다 크고, 후반은 그 반대로 적용된다.

이론적으로 세대를 거쳐 선발을 진행하였을 때 초산연령(일)의 육종가는 0에 수렴하게 된다. 분리점 23개월과 24개월 중에 모집단에 가까운 유전모수 추정치에 의한 경제가가 수렴 속도가 빠를 것으로 예상하지만, 결국 둘 다 최적 초산연령 방향으로 개량이 진행될 것으로 생각한다.

Table 8. Heritabilities (diagonal) and genetic correlations (lower diagonal) of traits in data sets partitioned by age at first calving

Data	S23					S24				
Trait	AFC	CI	NC	LS	PL	AFC	CI	NC	LS	PL
AFC	0.07					0.11				
CI	-0.22	0.08				0.06	0.08			
NC	0.39	-0.40	0.39			0.37	-0.38	0.42		
LS	0.44	-0.08	0.93	0.39		0.51	-0.07	0.93	0.35	
PL	0.39	-0.13	0.96	0.99	0.29	0.43	-0.12	0.96	0.99	0.33
A23					A24					
AFC	0.12					0.09				
CI	0.30	0.07				0.42	0.08			
NC	0.20	-0.42	0.39			0.17	-0.40	0.39		
LS	0.57	-0.05	0.83	0.34		0.45	-0.05	0.92	0.30	
PL	0.40	-0.15	0.94	0.96	0.28	0.35	-0.12	0.95	0.99	0.29

A23, A24: data from 23 or 24 months of age at first calving onward; AFC: age at first calving (d); CI: calving interval (d); LS: life span (d); NC: number of calvings for life; PL: productive life (d); S23, S24: data up to 23 or 24 months of age at first calving, respectively.

Table 9. Estimated loss due to one month delay in calving (unit: Korean Won)

Item	Expense	Period (month)	Monthly estimate
Calf sales revenue	3,800,000	17	223,529
Breeding cattle feed cost	1,075,426	12	89,619
Other costs for breeding cattle	1,253,525	12	104,460
Total			417,608

Source: KOSIS, 2018.

Table 10. Phenotypic and genetic (co)variances and economic weights of calving interval(CI) and age days at first calving(AFC) in four data sets

Split point			The first half		The second half	
			CI	AFC	CI	AFC
23 month	Phenotypic (co)variance	CI	1782.6	-35.265	1781.3	52.399
		AFC	-35.265	1204.4	52.399	4077.2
	Genetic (co)variance	CI	137.22	-24.486	133.35	77.927
		AFC	-24.486	89.936	77.927	497.86
Economic weight		AFC	14,977.3	Won/day	-9,445.6	Won/day
24 month	Phenotypic (co)variance	CI	1782.8	-25.299	1784.3	80.608
		AFC	-25.299	1816	80.608	3219.4
	Genetic (co)variance	CI	137.65	9.5801	140.13	86.26
		AFC	9.5801	194.62	86.26	297.28
Economic weight		AFC	9,678.4	Won/day	-15,307.4	Won/day
Economic weight		CI	-13,692.1		Won/day	

AFC: age at first calving (d); CI: calving interval (d).

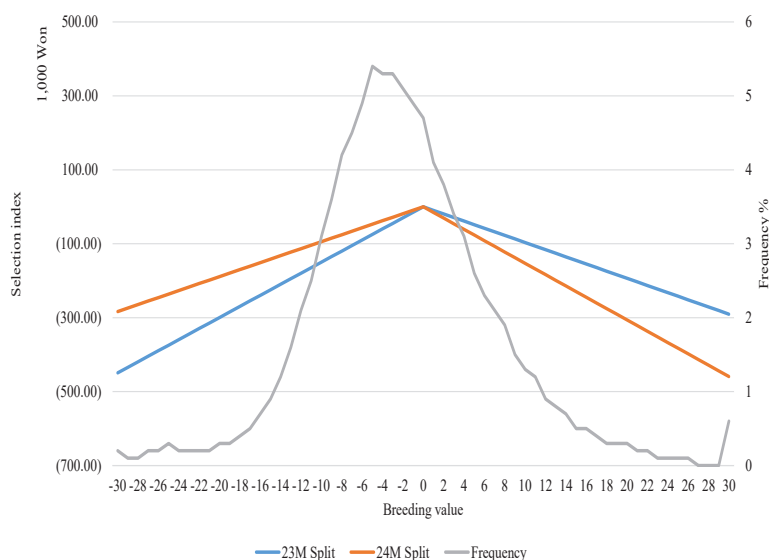


Figure 4. Frequency and selection indices for breeding values (days) of age at first calving based on 23-month (23M Split) and 24-month (24M Split) data splits.

CONCLUSION

초산연령은 농장의 경제적 수준 개선과 암소의 능력을 결정하는 중요한 변수 중의 하나로 인식해야 한다. 이 연구에서는 초산연령을 낮추는 것이 아니라 생물학적 경제적 효율성이 최대화할 수 있는 초산연령의 적정 범위를 찾으려 시도한 것이다. 초산연령이 24개월에 가까울수록 분만간격이 짧아져 번식효율이 가장 높았으며, 22~25개월 사이에서 분만간격, 수명 및 생산수명이 우수하게 나타났다. 유전분석 결과, 초산연령(일)은 0.12로 일반적인 번식형질 수준의 유전력을 보였으며, 분만간격(0.08) 보다는 높게 나타났다고 유전적 개량 가능성을 확인했다. 한편 적정 범위의 초산연령에서 벗어나게 되면 암소의 능력 저하로 인한 경제적 손실이 발생하는 것으로 추정되었다. 본 연구에서는 초산연령의 유전적 특성을 고려하여 선발지수 모델을 제시, 향후 선발지수를 개발하는 데 참고할 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Hanwoo Improvement Center of the Korea Animal Improvement Association National Agricultural Cooperative Federation, the four livestock cooperatives in the Chungnam region, and the participating farms for providing the Hanwoo cow performance testing data used in this study.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: Do CH, Lee JE. Data curation: Shin SG, Noh JK, Park CH, Shin JS, Lee SH, Song HJ, Kim HS. Formal analysis: Do CH, Shin SG. Methodology: Do CH, Lee JG, Cha JB. Resources: Shin SG, Kim DW. Writing – original draft: Do CH. Writing – review & editing: Lee JG, Cha JB, Kim DW, Lee JE. Supervision: Do CH. Project administration: Lee JE. All authors read and approved the final manuscript.

CONFLICT OF INTERESTS

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

ETHICAL STATEMENT

This study did not involve any experimental procedures on live animals. All data analyzed were reproduction and pedigree records routinely collected from participating farms under the Hanwoo cow performance testing project. Therefore, approval from an Institutional Animal Care and Use Committee was not required.

FUNDING

This study was supported by the consulting agency grant of the Hanwoo Cow Performance Testing Project, which is supervised by the National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, and administered by the Hanwoo Improvement Center of the Korea Animal Improvement Association National Agricultural Cooperative Federation, Republic of Korea.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The authors declare that no generative artificial intelligence (AI) tools were used in the preparation of this manuscript.

REFERENCES

- Do C. 1992. Improvement in accuracy using records lacking sire information in the animal model. Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Hazel LN. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28(6):476–490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- KAPE (Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation). 2025. Farm prices at cattle markets. <https://www.ekape.or.kr/> (Accessed [11, 15, 2025]).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2018. Survey of agricultural and livestock production costs. <https://kosis.kr/> (Accessed [05, 15, 2019]).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2025. Survey of agricultural and livestock production costs. <https://kosis.kr/> (Accessed [03, 15, 2026]).
- Lardner HA, Damiran D, Hendrick S, et al. 2014. Effect of development system on growth and reproductive performance of beef heifers. *Journal of Animal Science* 92(7):3116–3126. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7410>
- Meyer CL, Berger PJ, Koehler KJ, et al. 2001. Phenotypic trends in incidence of stillbirth for Holsteins in the United States. *Journal of Dairy Science* 84(2):515–523. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74502-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74502-X)
- Meyer K. 2007. WOMBAT—A tool for mixed model analyses in quantitative genetics by restricted maximum likelihood (REML). *Journal of Zhejiang University Science B* 8(11):815–821. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0815>
- Piepenbrink MS, Marr AL, Waldron MR, et al. 2004. Feeding 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid to periparturient dairy cows improves milk production but not hepatic metabolism. *Journal of Dairy Science* 87(4):1071–1084. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73253-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73253-1)
- SAS Institute Inc. 2013. SAS/STAT® 9.4 user's guide. SAS Institute Inc.
- Shin S, Lee J, Do C. 2021. Genetic relationship of age at first calving with conformation traits and calving interval in Hanwoo cows. *Journal of Animal Science and Technology* 63(4):740–750. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e73>

- Shin SK, Choi TJ, Son JH, et al. 2022. Estimation of genetic parameters for first calving interval in Hanwoo cows. *Journal of Animal Breeding and Genomics* 6(3):73–83. <https://doi.org/10.12972/jabng.20220008>
- Sung MK, Lee SC, Jeong JK, et al. 2016. Effect of age at first calving on productive and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Veterinary Clinics* 33(2):93–96. <https://doi.org/10.17555/jvc.2016.04.33.2.93>
- Wathes DC, Brickell JS, Bourne NE, et al. 2008. Factors influencing heifer survival and fertility on commercial dairy farms. *Animal* 2(8):1135–1143. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002322>