한우암소의 성장특성 평가를 위한 성장곡선의 추정

이창우*·최재관*·전기준*·나기준*·이채영**·양부근***·김종복***

농촌진흥청 축산기술연구소*, 한림대학교 환경생명과학연구소**,

강원대학교 동물자원과학대학 동물자원학부***

Estimation of Growth Curve for Evaluation of Growth Characteristics for Hanwoo cows

C. W. Lee*, J. G. Choi*, K. J. Jeon*, K. J. Na*, C. Lee**, B. K. Yang*** and J. B. Kim***

National Livestock Research Institute, R.D.A*, Institute of Environment & Life Science, Hallym

University**, Division of Animal Resources Science, College of Animal Resources Science,

Kangwon National University***

ABSTRACT

Growth curves were estimated for 1083 female Korean cattle raised in Daekwanryeong branch, National Livestock Research Institute (NLRI). Comparisons were made among various growth curve models for goodness of fit for the growth of the cows. Estimated growth curve functions were $W_t = 370.2e^{-2.208e^{-0.0022t}}$ for Gompertz model, $W_t = 388.6(1 - 0.549e^{-0.00261t})^3$ for von Bertalanffy model, and $W_t = 341.2(1 + 5.652e^{-0.00524t})^{-1}$ for Logistic model.

Ages at inflection estimated from Gompertz model, von Bertalanffy model and Logistic model were 242.2 days, 191.5 days, and 330.5 days respectively, body weight at inflection were 136kg, 115kg, and 170kg, and daily gain at inflection were 0.445kg, 0.451kg, and 0.446kg. The predicted weights by ages from Gompertz model, von Bertalanffy model, and Logistic model were consistently overestimated at birth weight and underestimated at 36 month weight. The von Bertalanffy model which had a variable point of inflection fit the data best.

(Key words : Hanwoo, Cow, Growth curve, Gompertz model, von Bertalanffy model, Logistic model)

I. 서 론

육우에서 체중은 산육능력을 평가하는데 가장 중요한 경제형질이다. 같은 육우로 분류되는 한우도 체중이 중요한 경제형질인데 다른 육우 품종에 비해 성숙체중이 작고 성숙체중에 도달하는 시기도 늦다는 점이 큰 단점으로 지

적되고 있다. 따라서 육질개선과 아울러 체중을 증대시키고 성장속도가 빠르도록 하는 것이 한우의 시급한 개량목표가 되고 있다.

가축의 골격이나 체중과 같은 성장형질의 생물학적 특성은 각 개체들에 있어 다양한 연령에서 측정되는데, 이러한 일반적인 기록들은 다시점(longitudinal) 자료(Fitzhugh, 1976)로서 인

Corresponding author : C. W. Lee, Daekwanryong Branch, National Livestock Research Institute Rural Development Administration, 268, Chahang, Doam, Phyongchang, Kangwon, 232-952, Korea. Tel : 033-330-0624. E-mail : k97112603@hotmail.com

식되고 있으며 각 개체들의 성장특성치들 사이에 유전과 표현형 상관관계가 경제적인 이익과 밀접한 관계가 있어 가축의 성장특성 규명은 가축 연구에 중요한 관심사였다.

국내에서는 한우 수소나 거세우로부터 시간적인 간격을 두고 반복 측정된 체중자료(longitudinal data)를 비선형의 성장곡선 모형을 이용하여 분석하는 연구가 일부(김 등(1996), 조(2000), 김 등(2002))에서 이루어진 바 있으나 암소에서는 이와 같은 연구가 없었다.

따라서 본 연구는 1970년대 이후 축산기술연구소 대관령지소에서 출생한 한우 암소로부터 시간적인 간격을 두고 조사된 체중측정 기록에 대해 기존에 제안된 몇 가지 비선형의 성장곡선 모형을 적용하여 한우 암소의 성장모형을 추정하고, 추정된 성장모형의 모수를 이용하여 한우암소에 대한 성장특성을 규명하고자 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에 이용된 자료는 1970년도부터 2001년까지 측정 날짜를 가지고 있는 체중측정 자료였는데, 성장 곡선 추정을 위해 체중측정 기록이 6회 미만이거나 체중측정 기록이 6회 이상이라도 18개월령 이후의 체중기록이 없는 개체는 분석대상에서 제외하여 실제 분석에 이용된 자료는 1,845두 가운데 761두를 제외한 1,083두 분의 기록이었고, 1,083두는 120두의 종모우와 660두의 종빈우로부터 생산되었다.

2. 사양관리

본 연구에 공시된 한우의 사육 장소는 해발 800m의 비교적 고지대에 속하는 곳으로

하절기가 짧고 동절기가 길며 강설량이 많은 기후적인 특성을 가지고 있는데, 이곳에서는 인공수정을 통해 주로 3~5월과 8~10월에 집중적으로 분만이 되도록 번식시기를 조절하고 있다.

암소의 일반적인 사양관리는 동절기(11월~4월)에는 우사에 수용하여 옥수수 사일리지, 목건초, 목초 사일리지, 시판중인 배합사료 및 자가 배합사료를 급여하며, 하절기(5월~10월)에는 윤환방목을 위주로 하되 필요시 적정량의 시판 배합사료나 자가 배합사료를 보충 급여하고 있다. 송아지는 어미소와 함께 사육하면서 생후 15일령부터 건초와 보조사료인 인공유를 자유 채식시키며 120일령을 전후로 이유를 실시하고 있다.

3. 통계 분석 방법

(1) 성장곡선 모수 및 성장 특성치

비선형 회귀식인 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Logistic 모형에 의한 체중의 성장 곡선 함수 추정은 SAS(1990)의 비선형 회귀 분석 절차인 PROC NLIN을 이용하였으며, 편도 함수의 지정이 필요하지 않은 탐색 기법인 다변량정확반복법(Multivariate Secant iterative method), 흔히 DUD방법(Doesn't Use Derivative)이라 부르는 방식에 의하여 추정하였다. 추정에 있어 수렴기준(convergence criterion)은 다음과 같다.

$$(SSE_{i-1} - SSE_i) / (SSE_i + 10^{-8}) < 10^{-10}$$

여기에서 SSE_i 는 i 번째 반복(iteration)시의 오차 제곱합이다.

추정된 성장곡선식은 성숙체중(A), 성장비(b) 및 성숙률(k) 등 3개의 모수로 구성되는데, 성장곡선식을 통해 변곡점, 변곡점에서의 체중 및 최대증체율과 같은 성장특성치를 추정하였다.

각각의 성장곡선 모수와 성장 특성치들은 다음과 같이 정의된다.

- 성숙체중(A) : 일령이 무한대인 시점($t=\infty$)에서의 체중(MW)
- 성장비(b) : 생시체중(BW)에 대한 성숙체중의 비율의 log함수
- 성숙률(k) : 생시체중, 변곡점체중, 성숙체중 및 변곡점 도달일령의 비율 함수, k가 크면 조숙성으로 그리고 k가 작으면 만숙성으로 판단된다.
- 변곡점 : 성장곡선의 기울기가 최대가 되는 일령
- 변곡점 체중 : 성장곡선의 기울기가 최대가 되는 시점의 체중
- 최대증체율 : 변곡점에서의 일당증체량

(2) 비선형 모형

1) Gompertz 모형

성장곡선 추정에 이용된 Gompertz 모형 (Winsor, 1932)은 다음과 같다.

$$W_t = Ae^{-be^{-kt}}$$

여기서

W_t : t일령에서의 개체의 체중

A : $t=\infty$ 일 때 개체의 성숙체중, 모형의 점근상한계

b : 성장비율의 모수

k : 성숙률

e : 자연대수값

t : 일령

성숙체중(A)을 체중이 $t=\infty$ 인 시점에서 구하면,

$$MW(\text{성숙체중}) = Ae^{-be^{-k\infty}} = A$$

성장비(b)를 체중이 $t=0$ 인 시점에서 구하면,

$$BW(\text{생시체중}) = MW e^{-be^{-k\cdot 0}} = MW e^{-b}$$

따라서 $b = \log_e \left(\frac{MW}{BW} \right)$ 이다.

성숙률(k)은 체중을 $t=t_i$ 인 시점에서 구하면,

$$W_{t_i} = MW e^{-be^{-kt_i}} \quad k = \frac{\log_e \left[\frac{\log_e \frac{BW}{MW}}{\log_e \frac{W_{t_i}}{MW}} \right]}{t_i}$$

성장 곡선의 기울기가 최대가 되는 일령($t=t_i$)인 변곡점은,

$$t_i = \frac{1}{k} \log_e b$$

변곡점에서의 체중은,

$$W_{t_i} = \frac{A}{e}$$

변곡점에서의 증체속도(dy_i/dt_i)는,

$$\frac{dy_i}{dt_i} = kbW_{t_i}e^{-kt_i}$$

2) von Bertalanffy 모형

성장곡선 추정에 이용된 von Bertalanffy 모형 (von Bertalanffy, 1957)은 다음과 같다.

$$W_t = A(1 - be^{-kt})^3$$

여기서

W_t : t일령에서의 개체의 체중

A : $t=\infty$ 일 때 개체의 성숙체중, 모형의 점근상한계

b : 성장비율의 모수

k : 성숙률
e : 자연대수값
t : 일령

(Nelder,, 1961)은 다음과 같다.

$$W_t = A(1 + be^{-kt})^{-1}$$

성숙체중(A)을 체중이 $t = \infty$ 인 시점에서 구하면,

$$MW(\text{성숙체중}) = A(1 - be^{-\infty})^3 = A$$

성장비(b)를 체중이 $t = 0$ 인 시점에서 구하면,

$$BW(\text{생시체중}) = MW(1 - be^0)^3 = MW(1 - b)^3$$

따라서 $b = 1 - (\frac{BW}{MW})^{\frac{1}{3}}$ 이다.

성숙률(k)은 체중을 $t = t_i$ 인 시점에서 구하면,

$$W_{t_i} = MW(1 - be^{-kt_i})^3 \quad k = \frac{\log_e \left[\frac{MW^{\frac{1}{3}} - BW^{\frac{1}{3}}}{MW^{\frac{1}{3}} - W_{t_i}^{\frac{1}{3}}} \right]}{t_i}$$

성장 곡선의 기울기가 최대가 되는 일령($t = t_i$)인 변곡점은,

$$t_i = \frac{1}{k} \log_e 3b$$

변곡점에서의 체중은,

$$W_{t_i} = A \left(\frac{2}{3} \right)^3$$

변곡점에서의 증체속도(dy_i/dt_i)는,

$$\frac{dy_i}{dt_i} = 3kW_{t_i}(be^{-kt_i}/(1 - be^{-kt_i}))$$

3) Logistic 모형

성장곡선 추정에 이용된 Logistic 모형

여기서

W_t : t일령에서의 개체의 체중

A : $t = \infty$ 일 때 개체의 성숙체중, 모형의 점근상한계

b : 성장비율의 모수

k : 성숙률

e : 자연대수값

t : 일령

성숙체중(A)을 체중이 $t = \infty$ 인 시점에서 구하면,

$$MW(\text{성숙체중}) = A \frac{1}{(1 + be^{-\infty})} = A$$

성장비(b)를 체중이 $t = 0$ 인 시점에서 구하면,

$$BW(\text{생시체중}) = MW(1 + be^0)^{-1} = MW(1 + b)^{-1}$$

따라서 $b = (\frac{MW}{BW}) - 1$ 이다.

성숙률(k)은 체중을 $t = t_i$ 인 시점에서 구하면,

$$W_{t_i} = MW(1 + be^{-kt_i})^{-1} \quad k = \frac{\log_e \left[\frac{W_{t_i} - MW}{MW - BW} \right]}{t_i}$$

성장 곡선의 기울기가 최대가 되는 일령($t = t_i$)인 변곡점은,

$$t_i = \frac{1}{k} \log_e b$$

변곡점에서의 체중은,

$$W_{t_i} = A \frac{1}{2}$$

변곡점에서의 증체속도(dy/dt)는,

$$\frac{dy_i}{dt_i} = kW_i(b e^{-kt_i} / (1 + b e^{-kt_i}))$$

III. 결과 및 고찰

한우 암소 1,083두의 일령별 체중에 대한 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Logistic 모형으로 추정된 성장곡선 모수와 각 모형에 대한 오차 평균 제곱합을 Table 1에 표시하였다.

김 등(1996)은 한우 수소에 대해 Richards 모형과 Gompertz 모형으로 한우 수소의 성장 곡선을 추정된 결과 성장곡선 모수 A, b 및 k는 Richards 모형이 각각 $689.5 \pm 8.29\text{kg}$, 0.070 ± 0.098 및 0.0037 ± 0.0001 이었고, Gompertz 모형이 각각 $688.4 \pm 3.95\text{kg}$, 3.25 ± 0.017 및 0.0038 ± 0.00003 이었

음을 보고한 바 있고, 조(2000)는 한우 수소에 대해 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Richard 모형으로 분석한 결과, 성장곡선 모수 A, b 및 k는 Gompertz 모형이 각각 $807.64 \pm 6.32\text{kg}$, 3.24 ± 0.01 및 0.096 ± 0.001 이었고, von Bertalanffy 모형이 각각 $993.05 \pm 0.71\text{kg}$, 0.710 ± 0.002 및 0.0628 ± 0.0008 이었으며, Richard 모형의 경우 성장곡선 모수 A, b, k 및 m은 각각 $846.78 \pm 18.86\text{kg}$, 0.27 ± 0.00 , 0.086 ± 0.004 및 10.24 ± 4.05 이었다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 Gompertz 모형으로 추정된 성장곡선 모수 b와 k의 추정치 2.208과 0.00327은 김 등(1996)이 한우 수소에서 보고한 3.25와 0.0038, 조(2000)가 한우 수소에서 보고한 3.24와 0.096, 김 등(2002)이 한우 수소에서 보고한 3.956과 0.0034와 비교해 볼 때 작았는데, 이러한 암수간에 나타나는 b값과 k값의 차이를 볼 때 한우 암소는 한우 수소에

Table 1. Estimates of growth curve parameters for cows of Korean cattle using Gompertz, von Bertalanffy and Logistic models

Model	Parameters			
	A $\pm$ SE,kg	b $\pm$ SE	k $\pm$ SE	RMS ⁴⁾
Gompertz ¹⁾	370.2 $\pm$ 1.7	2.208 $\pm$ 0.009	0.00327 $\pm$ 0.00028	1,200.3
von Bertalanffy ²⁾	388.6 $\pm$ 2.1	0.549 $\pm$ 0.002	0.00261 $\pm$ 0.00002	1,170.9
Logistic ³⁾	341.2 $\pm$ 1.2	5.652 $\pm$ 0.046	0.00524 $\pm$ 0.00004	1,287.7

¹⁾ Gompertz : $W_t = A e^{-be^{-kt}}$

²⁾ von Bertalanffy : $W_t = A (1 - be^{-kt})^3$

³⁾ Logistic : $W_t = A (1 + be^{-kt})^{-1}$

⁴⁾ RMS : Residual mean squares.

Table 2. Characteristics at inflection point on growth curves using Gompertz, von Bertalanffy and Logistic models for cows of Korean cattle

Model	N	Age at point of Inflection (day)	Gain at inflection (kg/day)	Weight at inflection (kg)
Gompertz	1,083	242.228	0.445	136.189
von Bertalanffy	1,083	191.534	0.451	115.170
Logistic	1,083	330.536	0.446	170.600

비해 생시체중에 대한 성숙체중의 비율이 낮고 좀더 만숙성인 것으로 판단된다. 한편 김 등(2002)은 한우 거세우에서 b값과 k값은 각각 3.301과 0.0027로 보고했는데, 본 연구에서 얻어진 b값은 김 등(2002)이 보고한 b값보다는 작고 k값은 김 등(2002)이 보고한 k값보다는 컸다.

오차 평균 제곱합은 Gompertz 모형이 1,200.3, von Bertalanffy 모형이 1,170.9 그리고 Logistic 모형이 1,287.7로서 von Bertalanffy 모형의 오차 평균 제곱합은 Gompertz 모형이나 Logistic 모형의 오차 평균 제곱합에 비해 작은 것으로 나타났다. 한편 김 등(1996)은 Richard 모형 및 Gompertz 모형이 오차 평균 제곱합은 비슷하게 추정되었으며, Gompertz 모형이 모수의 추정이 용이하다고 보고한 바 있다.

한우 암소의 전체 일령별 체중 자료를 이용하여 추정한 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Logistic 모형의 성장곡선 모수를 이용하여 계산한 각 모형의 변곡점, 최대성장률 및 변곡점에서의 체중을 Table 2에 표시하였다.

Gompertz 모형의 경우 성숙체중에 대해 $1/e$ 인 지점, 즉 38.6% 지점에서 변곡점이 위치하고, von Bertalanffy 모형의 경우 성숙체중의 $8/27$ 지점에서 변곡점이 위치하며, Logistic 모형의 경우 성숙체중의 $1/2$ 지점에서 변곡점이 위치한다. 그러므로 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Logistic 모형에 의해 추정한 성장곡선 모수를 이용하여 계산한 세 모형의 변곡점은 각각 242일, 191일 및 330일로 추정되었고, 변곡점에서 체중은 각각 136, 115 및 170kg으로 추정되었으며, 변곡점에서의 일당증체량은 각각 0.445, 0.451 및 0.446kg으로 추정되었다. 김 등(2002)은 Gompertz 모형으로 성장곡선을 추정한 결과

한우 수소 및 거세우의 변곡점은 각각 407일 및 444일이었으며, 변곡점에서의 체중이 각각 333 및 302.8kg이라고 보고한 바 있고, 조(2000)는 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Richard 모형으로 성장곡선을 추정한 결과 한우 수소의 변곡점은 약 12개월이었으며 변곡점에서의 체중은 294~297kg이라고 보고한 바 있는데, 본 연구 결과를 김 등(2002)과 조(2000)의 결과와 비교해보면 한우 암소는 수소나 거세우에 비해서 성숙체중이 작고 변곡점까지 도달시기가 빠르며 변곡점에서 일당증체량도 작은 성장특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 1은 일령에 대해 보정을 한 실제 체중과 Gompertz, von Bertalanffy 및 Logistic 모형에 의해 적합된 체중을 이용하여 각 모형별 성장곡선을 추정하였다. 생시체중의 경우 Gompertz 모형, von Bertalanffy 모형 및 Logistic 모형에 의해 추정된 평균치들은 실제체중보다 컸으며, 36개월령 체중의 경우 세 모형의 평균치들이 실제체중보다 작았는데, 특히 Logistic 모형이 von Bertalanffy 및 Gompertz 모형에 비해 생시 및 36개월령에서 실제체중과의 차이가 심하였다. 이러한 결과와 더불어 Table 2에 표시된 모형별 오

Fig. 1. Growth curve estimate for cows of Korean cattle using Gompertz, von Bertalanffy and Logistic models.

차 평균 제곱합의 크기를 함께 고려해 볼때 한우 암소의 성장곡선을 추정하는데는 Logistic 모형이 Gompertz 모형이나 von Bertalanffy 모형에 비해 적합도가 떨어지는 것으로 판단된다.

한편 Brown 등(1976)은 von Bertalanffy 모형, Gompertz 모형, Brody 모형, Logistic 모형 및 Richard 모형으로 모형간 적합도를 비교 분석한 결과 성장초기 체중의 경우 von Bertalanffy 모형, Gompertz 모형 및 Logistic 모형에서 크게 추정되고, 성숙체중의 경우 Logistic 모형에서 작게 추정되는 경향이 보인다고 보고한 바 있는데, 세 모형 모두 생시체중과 36개월령 체중을 작게 추정하며, 특히 Logistic 모형에 의한 36개월령 체중 추정치가 Gompertz 모형이나 von Bertalanffy 모형에 의한 36개월령 체중 추정치보다 더 작은 본 연구의 결과는 Brown 등(1976)의 보고와 부합되는 성적인 것으로 판단된다.

IV. 요 약

한우 암소로부터 시간적인 간격을 두고 조사된 체중측정 기록에 대해 기존에 제안된 몇 가지 비선형의 성장곡선 모형을 적용하여 한우 암소의 성장모형을 추정하고, 추정된 성장모형의 모수를 이용하여 한우암소에 대한 성장특성을 규명하기 위해 실시하였다.

각 성장곡선 함수로 추정한 한우 암소 집단 의 성장 곡선은 다음과 같다.

Gompertz 모형 : $W_t = 370.2e^{-2.208e^{-0.00327t}}$

von Bertalanffy 모형 :

$$W_t = 388.6(1 - 0.549e^{-0.00261t})^3$$

Logistic 모형 :

$$W_t = 341.2(1 + 5.652e^{-0.00524t})^{-1}$$

각 모형으로 전체자료를 이용하여 추정한 일 반적인 성장곡선의 모수 A(성숙체중), b(성장비) 및 k(성숙률)와 추정된 모수들을 이용하여 변곡점 도달일령, 변곡점에서의 체중 및 변곡점에서의 일당증체량과 각 모형별 오차 제곱합 등을 계산하였는데, 세 모형 중 von Bertalanffy 모형이 성숙체중이 제일 크고(388.6kg), 변곡점 도달일령이 제일 빠르며(191일), 변곡점 도달시 체중이 제일 작고(약 115kg), 오차 제곱합도 제일 작았다(1,1170.9) 그리고 Logistic 모형이 성숙체중이 제일 작고(341.2kg), 변곡점 도달일령이 제일 늦으며(약 330일), 변곡점 도달시 체중이 제일 크고(약 170kg), 오차 제곱합도 제일 컸다(1,287.7).

Logistic 모형이 세 모형 중에서 오차 제곱합이 제일 크고 생시와 36개월령에서 실측체중과 적합 체중간의 차이가 제일 큰 반면 von Bertalanffy 모형이 세 모형 중에서 오차 제곱합이 제일 작고 생시와 36개월령에서 실측체중과 적합 체중간의 차이가 제일 작은 결과를 볼 때, 본 연구 자료인 한우 암소의 성장은 von Bertalanffy 모형, Gompertz 모형 그리고 Logistic 모형 순으로 적합도가 좋은 것으로 판단된다.

V. 인 용 문 헌

1. Brown, J. E., Fitzhugh, H. A. Jr. and Cartwright, T. C. 1976. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. J. Anim. Sci. 42:810-818.
2. Fitzhugh, H. A., Jr. 1976. Analysis of growth curves and strategies for altering their shape. J. Anim. Sci. 42:1036-1051.
3. Nelder, J. A. 1961. The fitting of a generalization of the logistic curve. Biometrics 17:89~100.
4. SAS. 1990. SAS/STAT User's guide Vol. 2. SAS

- institute Inc., Cary, NC., USA..
 5. Von Bertalanffy, L. 1957. Quantitative laws in metabolism and growth. Quart. Rev. Biol. 32:217.
 6. Winsor, C. R. 1932. The Gompertz curve as a growth curve. Proc. Natl. Acad. Sci. 18:1.
 7. 김내수, 주종철, 이득환. 1996. 한우의 체계분석을 위한 성장곡선 모수의 추정. 한축지. 38(2):119-124.
 8. 김내수, 주종철, 송만강, 정정수, 최양일, 박철진. 2002. 한우 거세 및 비거세우의 성장곡선 특성. 동물자원지. 44(5):519-522.
 9. 조용민. 2000. 한우의 성장곡선모수 추정 및 경제 형질과의 상관관계에 관한 연구. 서울대학교. 박사학위논문.
- (접수일자 : 2003. 2. 7. / 채택일자 : 2003. 5. 2.)