

# 경남흑돈(버크셔)에서 성장곡선을 이용한 성장형질의 추정

도 창 희

경남 첨단양돈연구소

## Estimation of Growth Traits Using Growth Curve in Gyungnam-heugdon (Berkshire)

C. H. Do

Gyungnam Swine Research Institute

### ABSTRACT

The growth traits in swine are economically important, which are measured by gain in weight during test period or by age of days to certain weight. However, the difference in growth rate due to individual performance and also other factors occurs. The more reasonable estimation of the measurements of these traits provides the less error in genetic evaluation of pigs. The data from 1,576 heads being weighed periodically of Gyungnam-heugdon (Berkshire) were analyzed to estimate the growth curve which is used to decide average daily gain and days to 90 kg. It may not be possible to directly compare accuracy between the conventional methods and the alternative methods. However, the alternative methods by growth curve would be superior to the conventional methods not only in theoretical background, but also in acceptability for diverse factors such as breed, sex and age. The theoretical superiority of the alternative methods comes from estimation at same age in daily gain and calculation of additional days from measuring date to days to 90 kg by growth curve of individual. Also this can be easily adopted in a computer system according to breed and sex.

(**Key words** : Growth curve, Daily gain, Days to 90kg, Estimation)

### I. 서 론

돼지에서 성장형질은 경제적으로 중요한 형질이다. 이를 대표하는 형질로서 일일 평균 증체량 또는 90 kg 도달일령을 사용하여 성장속도를 평가하여 왔다. 일일 평균 증체량과 90 kg 도달일령은 성장률을 나타내는 동일한 속성을 가지고 있다. 일당증체량은 개시체중과 종료체중간의 차이와 개시시와 종료시 간의 일수를 계산하여 측정하고 평가하여 왔으나, 효율적인

검정을 위하여 종료체중 만을 이용하여 일당증체량을 측정하는 것이 일반화되었다. 그러나 종료체중 측정시 돼지의 연령, 품종, 성별에 따라 성장 유형이 다르게 나타날 수 있다(조 등, 2004). 만약 다양한 성장 속도를 적절히 감안하지 않을 경우 일당증체량과 90 kg 도달일령은 돼지의 개체별 성장속도를 잘 나타내지 못할 수 있다. 미국에서는 계수화 된 추정방법(NSIF, 2002)에 의한 250lb 도달일령을, 캐나다는 일당증체량(CCSI, 1997)을 이용한다. 이에

Corresponding author : C. H. Do, Gyungnam Swine Research Institute Sancheong Gyungnam 666-962 Korea  
Tel : 82-55-970-7475 E-mail : [ivando@gsnd.net](mailto:ivando@gsnd.net)

본 연구에서는 버크셔 품종의 돼지에서 일당증체량과 90 kg 도달일령을 정확하게 보정하기 위한 방법으로 성장곡선을 추정하고 이를 이용하는 것에 대하여 고찰하였다.

## II. 재료 및 방법

2003년부터 2006년까지 경남침단양돈연구소에서 사육된 같은 집단의 버크셔 품종의 돼지 5,309두의 혈통자료와 3,100두의 검정기록을 이용하여 연구를 수행하였다. 성장곡선 추정을 위해 생시체중, 이유체중, 검정 개시체중, 종료체중 그리고 출하체중이 이용되었다. Gompertz (Winsor, 1932) 모형을 채택하여 비선형추정 SAS package(SAS, 2001)를 이용하여 성장곡선을 추정하였다. 정확성을 점검하기 위하여 다형질 derivative free REML(USDA, 2006)을 이용 유전상관과 표현형 상관을 추정하였다.

## III. 결과 및 고찰

성장곡선 추정을 위해 사용된 자료의 기본 통계량은 Table 1에 제시되었다. 생시체중은 1.43 kg 이었으며, 92.6 kg 도달하는데 약 152일이 걸렸다. 평균 출하체중은 107 kg 정도 이었으며, 출하일은 173일정도 이었다. 생시부터 이

유까지 일당증체량은 281 g 이었으며, 생시부터 검정개시까지 일당증체량은 385 g이다. 생시부터 검정 종료일까지 일당증체량은 609 g 이었으며, 생시부터 출하일까지 일당증체량은 619 g 이었다. 검정 개시부터 종료일까지 일당증체량은 784 g 이었다.

버크셔 품종의 특성을 살펴보기 위하여 Fig. 1과 2에서 성장곡선을 추정하였으며 Fig. 1에 성별 성장곡선이 제시되었다. 돼지의 성장곡선은 성별에 따라 차이가 난다. 2차 성징이 나타나기 시작하는 100일령에서부터 성장률은 암돼지와 수돼지가 달라지는데 12개월령이 되면 버크셔 암수의 차이는 15 kg 이상이 된다. 보통 옹성 호르몬의 작용에 의하여 성장이 촉진되어 수돼지가 성장이 빠를 것으로 기대된다. 그러나 Fig. 1에서 보여주듯이 거세돈의 성장이 수돼지 보다 빠르게 나타났다. 거세돈의 성장이 빠르게 나타나는 정확한 생리적인 기작은 밝혀지지 않았지만 140일령 이후에는 수돼지의 성육에 따른 스트레스가 거세돈 보다 성장을 느리게 한다고 추측해 볼 수 있다. 거세돈의 육질이 수돼지 보다 우수하고 옹취가 없다. 더구나 출하시 수돼지보다 좋은 가격이 형성되고 있어 약 175일경에 출하하는 농가로서는 수돼지의 거세가 소득제고 면에서 바람직하다는 것이 실증적으로 입증되었다 할 수 있다.

Table 1. Basic statistics from the body weight for estimating the growth curve

Period	Obs.	Days at weighing			Body weight		
		Range	SD	Mean	Range	SD	Mean
Birth	1,576	1	0	1.0	0.7- 2.5	0.28	1.43
Wean	1,576	17-32	3.2	22.6	1.5-10.9	1.60	6.35
On-test	1,576	51-78	3.2	70.5	6-48	5.48	27.14
Off-test	891	128-188	12.6	152.0	56-137	12.16	92.57
Test <sup>1)</sup>	891	61-118	12.1	81.4	31-102	11.06	63.83
Market	434	152-196	8.2	172.6	38-140	12.23	106.81

Test <sup>1)</sup> represents weight gained during the test period.

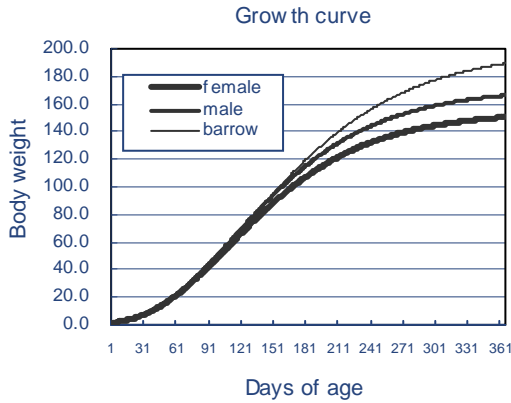


Fig. 1. Growth curves of Berkshire according to sex.

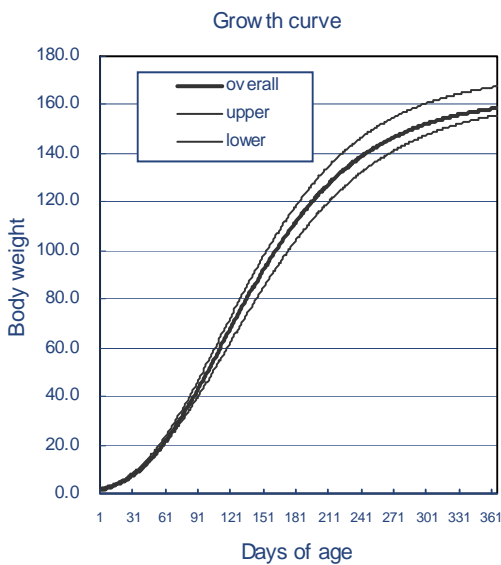


Fig. 2. Upper, lower and overall growth curve of Berkshire breed.

Fig. 2는 조숙 개체와 만숙 개체를 종료체중과 종료일에 의해 성장곡선을 기준으로 상하 분류하여 추정하였다. 성별 차이와 조숙 만숙의 성숙도에 의한 혼동(confounding)을 막기 위하여 성별 성장곡선(growth curve of each sex)을 기준으로 자료를 상하로 분류하여 각각 조숙군과 만숙군의 성장곡선을 추정하였다.

조숙군은 168일령에 출하체중인 110 kg에 도달하는 것으로 나타났다. 이에 반해 만숙군은

191일령에 도달하여 약 23일간의 차이를 보여주고 있다. 똑같은 사육환경에서 이러한 성장의 차이는 종돈의 유전적 개량에 의한 경제가치의 제고 가능성을 보여주고 있다. 버크셔의 다른 경제형질의 특징을 제외하고라도 증체에 의한 다른 개량종 품종인 요크셔 랜드레이스와 경쟁이 가능한 것으로 사료된다. 특히 요크셔 랜드레이스 90 kg 도달일령 각각 150일(서, 1996), 151일(Kim, 2002)과 각각 암퇘지의 경우 151.7일과 154.1일 그리고 수퇘지의 경우 145.4일과 146.1일(종축개량협회 2005) 비교할 때 전두수 검정을 하면서 148일을 나타낸 버크셔 품종이 오히려 우수한 것으로 보여진다. 일반적으로 개량종 품종들이 170일에서 180일령 사이에 110 kg에 도달하는데 전체 군에서 178일령에 도달하는 것으로 추정되어 산육성에 있어 버크셔 품종이 다른 품종과 비교할 때 대등하게 나타났다. 그림에서 나타나듯이 만숙군은 출하체중에 도달한 이후 전체 군 성장곡선에 접근하지만 조숙군은 이후에도 지속적인 성장을 지속하여 365일령에서 전체 돈군과 8.9 kg의 차이를 보이며 만숙군은 2.9 kg의 차이를 보이고 있다.

성장속도를 측정하기 위해서는 90 kg 도달일령 또는 일당증체량을 이용하여 측정하고 이를 분석하여 종돈의 성장에 평가와 더불어 선발을 통하여 개량한다. 캐나다의 경우 일당증체량을 사용하며, 일당증체량은 개시체중 30 kg과 종료체중 90 kg을 기준으로 보정하였으며 캐나다의 추정식(CCSI, 1997)은 다음과 같다.

$$\text{Average daily gain} = (\text{weight/age}) \times 1.47 \dots \dots (1)$$

식에서 1.47은 30 kg과 90 kg 사이의 일당증체량으로 환원하기 위한 종료체중만을 이용한 일당증체량(weight/age)에 의한 회귀 계수이다. 캐나다의 보정방법은 검정소 검정과 종료체중만 이용하는 농장검정 자료의 통합을 위한 목적이 있는 듯 하다. 그러나 역으로 검정소 검

정자료의 종료 체중만을 이용한 일당 증체량을 농장검정자료와 통합한다면 일률적으로 적용되는 1.47의 상수는 의미가 없다. 국내에서 사용되는 일당증체량도 같은 방법으로 사용한다(농림부 등, 2004). 미국은 250 lb 정도 도달되었을 때 체중을 측정하며 정확히 250 lb에 도달하는 일령을 통하여 성장률을 표시한다. 다음은 측정 체중과 측정시 일령을 이용하여 250 lb 도달 일령을 추정하는 National Swine Improvement Federation(NSIF)의 추정식이다.

$$\text{Adjusted days} = \text{age} + [(\text{desired weight} - \text{weight}) \times (\text{age} - a) / \text{weight}] \dots \dots \dots (2)$$

식에서 a의 값은 웅돈은 50, 치녀돈은 40이다. 한국중축개량협회(KAIA; 2005)에서는 미국의 방법을 도입하여 성별 구별하지 않고 a의 값을 38로 사용하고 있다.

이 연구에서 버크셔 품종의 성장형질 추정을 위하여 계산된 체중의 Gompertz model 성장곡선식은 다음과 같다.

$$w_t = 163.3 e^{-4.727 e^{-0.014 t}} \text{ for } t = 1, 2, 3 \dots n \dots \dots \dots (3)$$

식에서  $w_t$  는 t일령의 체중이다. (3)식에 근거하여 90kg 도달일은  $t_{90}$ 일이라면, 이 일령은 (3)식을 보정계수 산출을 위한 식으로 사용하는 한 기준이 된다.  $t_{90}$  일령의 종료체중에 대한 보정계수를 얻고자한다면 보정계수는 (3)식의  $w_t$ 로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$c_t = \frac{90}{w_t} \dots \dots \dots (4)$$

$$\hat{y} = y_t \times c_t \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Daily gain} = \hat{y} / t_{90} \dots \dots \dots (6)$$

식에서  $y_t$ 는 t 일령에 측정된 실측치이고,

$\hat{y}$ 는  $t_{90}$  일령으로 보정된 종료체중이다. 따라서 일당증체량은 간단히  $\hat{y}$ 를  $t_{90}$ 일로 나누어 주면 얻어진다. 모든 개체의 종료체중이  $t_{90}$  일령으로 보정됨으로써 이론적으로 같은 일령을 기준으로 한 종료체중의 직접비교 또는 일당증체량의 비교가 가능해진다. 90 kg 도달일령의 추정도 표준성장곡선의 90 kg 도달기준인  $t_{90}$  일령을 부분적으로 이용하여야하며 그리하여 90 kg 도달일령을 산출하는 식은 다음과 같이 얻어진다.

$$\hat{t} = t + (90 - y_t) / \text{daily gain}_{t \rightarrow t_{90}} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Daily gain}_{t \rightarrow t_{90}} = \begin{cases} (w_{t+1} - 90) \times y_t / w_t, & t-1 < t_{90} < t \\ (90 - w_{t-1}) \times y_t / w_t, & t \leq t_{90} < t+1 \\ (90 - w_t) / (t_{90} - t) \times y_t / w_t, & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (8)$$

식(7)에서 t는 개체의 체중측정일령이며,  $\hat{t}$ 는 추정된 개체의 90 kg 도달일령이며 이는 t 일령부터 90 kg에 도달하기 위하여 보정된 일당증체량으로 도달할 수 있는 일령을 추가함으로써 얻어진다. 보정된 개체의 일당증체량을 구하는 식(8)에서  $(90 - w_t) / (t_{90} - t)$ 는 t 일령부터  $t_{90}$  일령 또는  $t_{90}$  일령의 표준화된 일당증체량이며, 항상 양수이다. 이를  $(y_t / w_t)$ 로 곱하여 줌으로써 그 개체의 발육정도를 보정하여 그 구간의 일당 증체량을 계산한다.

(5)와 (6)의 식의 근거가 같은 일령을 기준으로 했다면, (7)의 식은 같은 체중 즉 90 kg을 기준으로 한다. 실제 일당증체량을 같은 일수를 적용하지 않는다면 Table 1에서 계산되어지는 생시부터 체중 측정 구간별로 일당증체량은 크게 차이가 나는 것을 감안한다면 잘못된 일당 증체량의 예측이 되고, (7)의 식에서처럼 90 kg에 도달하기 직전직후의 일당증체량으로 경과

되거나 경과되어야 할 일 수를 계산하지 않는다면 일당증체량은 직전직후의 일당증체량 보다 작거나 크기 때문에 90 kg 도달일령의 편차가 커질 수밖에 없다. 이러한 점에서 성장곡선에 의한 추정법이 이론적으로 우수하다.

이러한 식들의 적용은 정확도의 개선을 가져온다 하더라도 복잡한 계산과 과정을 거쳐 언뜻 사용하기 어려워 보이는데, 요즘은 종돈농장이나, 종돈개량기관에서 자료의 처리는 대부분이 컴퓨터로 처리하기 때문에 이러한 식들을 쉽게 적용될 수 있다. 또한 한 농장 내에서 여러 품종이 있을 경우와 암수 성별에도 각각의 성장곡선을 추정하여 적용할 수 있다. 품종간의 성장률의 차이는 나타나지만(조 등, 2004), 캐나다나 미국의 방법에서는 품종간의 차이를 인정하지 않고 있다. 또한 고정된 목표 체중으로부터 어느 정도 멀리 있는지 고려하지 않는다. 이럴 경우 체중 측정시점에 따라 일당증체량이나 90 kg 도달일령의 산출은 부정확해질 수 있다. Table 2에서는 일당증체량과 90 kg 도달일령에 대한 기존의 보정방법과 성장곡선에 의한 보정방법상의 예를 들어 보여주고 있다. 위의 표로 방법상의 실질적인 차이를 쉽게 보여주지는 못하지만 돼지들의 순위에서 각 방법

들이 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

그림이 이러한 차이를 설명하는 데에는 용이하여 Fig. 3과 4를 제시하였다. 그림에서 A, B, G 그리고 H는 Table 2의 돼지 개체를 의미한다. (3)식은  $t_{90}$ 을 148.4161로 추정한다. 실선에 의한 148일령의 종료체중은 캐나다의 추정방법으로 성장곡선을 무시하고 일률적으로 생시부터 종료체중 측정일까지 같은 속도로 성장했을 때의 성장률을 나타내어 138일령이나 148일령에서도 똑같은 일당 증체량을 보여준다. 그러

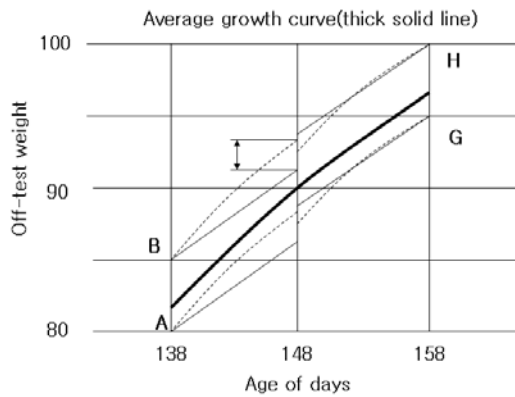


Fig. 3. Illustration of the difference in Canadian method (solid line) and growth curve method (dotted line).

Table 2. Comparison of examples by each method

Pig	Age	Weight(kg)	DG <sup>1)</sup>	Rank	Days <sup>2)</sup>	Rank	DG <sup>3)</sup>	Rank	Days <sup>3)</sup>	Rank
A	138	80	579.7	6	150.5	5	591.9	5	152.7	6
B	138	85	615.9	4	143.9	3	629.1	3	145.0	3
C	138	90	652.2	2	138.0	2	666.2	2	138.0	2
D	138	95	688.4	1	132.7	1	702.7	1	131.8	1
E	158	85	538.0	8	165.1	8	531.8	8	165.0	8
F	158	90	569.6	7	158.0	7	554.1	7	158.0	7
G	158	95	601.3	5	151.7	6	563.5	6	151.7	5
H	158	100	632.9	3	146.0	4	625.7	4	146.0	4

For traits, DG and Days represent average daily gain(g) and days to 90 kg of body weight. Superscripts are estimates <sup>1)</sup> by the Canadian adjustment method, <sup>2)</sup> by the KAIA method and <sup>3)</sup> by the growth curve.



Fig. 4. Illustration of the difference in the U.S. method (solid line) and growth curve method (dotted line).

나 점선은 성장곡선에 따라 추정된 종료체중을 의미하여 138일령 절대적인 일당 증체량과 148일령의 보정된 종료체중에서의 일당증체량 값은 차이가 있다. Fig. 3의 화살표는 캐나다의 방법과 성장곡선에 의한 방법에 의해서 나타나는 누적된 일당증체량의 차이를 보여준다.

Table 2에서 NSIF를 원용한 한국중축개량협회(KAIA)의 방법과 성장곡선에 의한 방법이 90 kg 도달일령의 순위에서 차이가 있음을 보여준다. Fig. 4에서 나타나듯이 추정된 체중이 90 kg에서 멀어질수록 두 방법간의 차이가 커짐을 보여주고 있다. 특히 미국의 방법은 90 kg로부터 멀어질수록 평균 쪽으로 더 많이 쏠림으로서 종료체중 추정일의 범위가 넓어지는 것에 대한 제한을 더 많이 받을 수밖에 없다.

Table 3은 성장곡선 추정에 이용한 자료로

분석하였으며 시기별로 측정된 체중, 일당증체량 그리고 추정된 종료체중과의 상관계수를 보여준다. 표에서 체중 측정일령을 감안하여 검정기간 내에 한정하여 추정되어진 것이 일당증체량(daily gain)이지만 검정개시와 종료시점의 일령에 따라 보정되지 않은 상태이다. 보정된 체중(adj. off-test)은 개체의 성장곡선에 의해  $t_{90}$ 에 맞추었기 때문에 일당증체량과 같은 효과를 나타낸다고 말할 수 있다. 일반적으로 생시, 이유시, 개시 및 종료체중들과의 양의 상관관계가 형성되어 생시체중이 우수한 개체가 지속적으로 잘 크며 종료체중이 우수한 것을 나타낸다. 표에서 보정된 종료체중이 Off-test나 Daily gain<sup>1</sup> 보다 생시체중, 이유시 체중 그리고 검정개시 체중과의 상관관계가 높은 것은 특기할만하다.

Table 4는 성장곡선 추정시 포함되지 않았던 자료를 포함한 3,100두의 자료로부터 얻은 결과이다. 생시체중도 성장형질중의 하나이며, 어느 정도는 일당증체량이나 90 kg 도달일령과 상관이 있을 것으로 추측된다. 두 형질과의 상관계수가 일관되게 성장곡선 추정법이 각각 음과 양으로 높게 나타나고 특히 유전상관과 일당 증체량에서는 차이가 크다. 이를 정확도의 기준으로 삼을 수는 없지만 생시체중은 한 개체에서 시기적으로 다르게 측정된 형질이고 외적요인에 적게 영향 받는 형질이므로, 상관이 높은 쪽의 추정방법이 정확하다고 하더라도 무리가 없다.

Table 3. Correlations among periodically measured pig weights and daily gain

	Weaning	On-test	Off-test	Daily gain <sup>1)</sup>	Adj. off-test <sup>2)</sup>
Birth	0.43	0.37	0.19	0.18	0.32
Weaning		0.53	0.21	0.19	0.36
On-test			0.42	0.18	0.54
Off-test				0.58	0.68

Daily gain<sup>1)</sup> = (off-test weight - on-test weight) / days of test period and Adj. off-test<sup>2)</sup> represents off-test weight adjusted by equation (5).

Table 4. Correlations of birth weight with average daily gain and days to 90kg according to estimation methods

Correlation	Conventional <sup>1)</sup>		Growth Curve	
	Days to 90kg	Daily gain	Days to 90kg	Daily gain
Phenotypic	-0.00	0.03	-0.02	0.10
Genotypic	-0.00	0.06	-0.04	0.22

Conventional<sup>1)</sup> represents the Canadian and KAIA methods.

어느 방법이 더욱 정확한가의 차이는 모든 개체의 체중을 직접 측정하지 않고는 알 수 없기 때문에 어느 방법이 더욱 논리적인가의 귀결이 될 수밖에 없다. 성장곡선에 의한 추정방법은 일당증체량과 90 kg 도달일령에서 공통적으로 한 가지의 기준을 가지고 있다. 일당증체량의 경우 똑같은 일령에 비교될 수 있도록 성장곡선으로 확장(projection) 하였고, 90 kg 도달일령의 경우 측정일까지의 성장곡선상의 성장속도로 개체가 측정된 체중부터 90 kg 성장하는데 도달할 수 있는 일수를 계산하였다. 이러한 점에서 성장곡선에 의한 일당증체량과 90 kg 도달일령이 서로 역으로 계산되지 않는다. 이에 대해 문제를 제기할 수 있으나 같은 성장곡선을 사용하였다 하더라도 접근방식이 다르기 때문에 캐나다의 방법과 일당증체량을, NSIF 방법과 90 kg 도달일령을 비교하여야 한다.

#### IV. 요약

돼지의 중요한 경제형질인 성장형질은 검정 기간동안의 증체량이나 특정한 체중에 도달하는 일수를 측정한다. 그러나 성장형질은 개체의 능력외의 다른 요인에 의해서도 영향을 받는다. 유전능력 평가를 위해서는 합리적인 측정치를 이용하여 불필요한 오류를 줄여야 한다. 이러한 요인에 의한 성장률의 차이를 줄이기 위하여 경남첨단양돈연구소의 경남흑돈(Berkshire) 1,576두의 자료를 가지고 성장곡선을 추정하여 성장곡선에 의해 일당증체량과 90

kg 도달일령을 각각 추정하였다. 기존의 방법들과 정확도를 직접적으로 비교할 수 없으나 추정하는 방법론에 있어서 더 정교하여졌다. 이론적 우수성은 일당 증체량에서는 성장곡선상의 같은 연령을 비교하고, 90 kg 도달일령에서는 종료체중 측정일에서 90 kg 도달일까지의 일수를 개체의 성장곡선상의 일 증체량으로 계산하는 데에 있다. 또한 컴퓨터를 활용한다면 품종이나 성과 같은 요인들에 대해서도 이 추정방법을 쉽게 각각 적용할 수 있다.

#### V. 인용 문헌

1. 농림부. 축산기술연구소. 2004. 가축개량관련자료
2. 서강석. 1996. 다형질 애니멀 모델에 의한 돼지 경제형질의 유전 모수, 유종가 및 유전적 변화 추세의 추정에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
3. 조영민, 최봉환, 김태현, 이지웅, 이지희, 오성중, 정일정. 2004. 재래돼지와 랜드레이스 교잡종의 개체별 성장곡선 추정 및 육질 형질과의 상관관계 추정에 관한 연구. 동물자원과학회지 46(4): 503.
4. 한국중축개량협회. 2005. 농장검정보고서 <http://www.aiak.or.kr>
5. CCSI. 1997. Estimating Average Daily Gain from Weight and Age <http://www.ccsi.ca>
6. Kim, J. I. 2002. Animal model estimation of genetic parameters for direct genetic effect for

- productive and reproductive traits in swine. Ph. D. Thesis. Seoul National University.
7. NSIF. 2002. Swine Improvement Program Guidelines <http://www.nsif.com/>
8. SAS. 2001. SAS/STAT SAS Institute., Cary, NC, USA.
9. USDA. 2006. MTGSAM and MTDFREML <http://www.aipl.arsusda.gov/curvtv/>
10. Winsor, C. R. 1932. The Gompertz curve as growth curve. Proc. Natl. Acad. Sci. 18:1. (접수일자 : 2007. 2. 22. / 채택일자 : 2007. 4. 20.)