

일반농가 한우의 도체형질에 관한 유전모수 추정[†]

이윤석¹ · 이जे영²

¹서울대학교 그린바이오과학기술연구원 · ²영남대학교 통계학과

접수 2016년 4월 27일, 수정 2016년 5월 9일, 게재확정 2016년 5월 19일

요약

본 연구에서는 국가단위 개체모형을 이용하여 일반농가 한우의 도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도에 대한 유전력을 추정하고 이를 국가단위 종모우 선발용 후대검정우 집단의 유전력과 비교하여 일반 한우농가 개량방향에 효율적인 기초자료로 활용하고자 한다. 일반농가 한우 107,020두 중 생산정보와 2008년부터 2012년까지의 도체성적 기록이 정확한 일반농가 한우 5,843두를 대상으로 다형질 개체모형을 사용하여 유전력을 추정하였다. 유전력을 추정하기 위해 도체형질에는 출생년도, 사육지역을 고정효과, 사육일령을 공변량으로 포함하였다. 일반농가 한우의 유전력을 추정한 결과 도체형질에 대한 유전력은 도체중 0.19, 등심단면적 0.17, 등지방두께 0.20, 근내지방도 0.23이며 국가단위 씨수소 선발용 후대검정우 집단의 유전력에 비해 낮았다. 이는 사육지역의 환경, 암소 유전능력과 사육개월의 차이로 인해 낮게 나타났다. 따라서 본 연구에서도 현재 실시되어지고 있는 국가단위 씨수소 선발용 개체모형에 농가 한우집단에 사용할 수 있는 유전요인을 포함시켜 실용화 개체모형 개발이 시급하다.

주요용어: 개체모형, 도체형질, 유전력, 유전모수, 한우.

1. 머리말

우리나라에서 한우 개량은 1980년대 한우 보증종모우 선발을 위해 표현형 기반 당대검정으로부터 시작되었으며 1998년 이후 후대검정을 통해 본격적인 한우 도체형질 관련 개량이 시작되었다 (Roh 등, 2004; Cassell 등, 2009; Pabiou 등, 2009; Kim 등, 2010a). 종모우 선발을 위한 후대검정시스템은 초기 시점에서 거세를 하지 않았고 고기 생산 증대를 위해 육량 중심 평가를 하였다. 1997년 이후 수입쇠고기 개방에 대비하여 한우 경쟁력 제고를 위해 육질 개량을 시작하였고 이를 위해 거세를 하였다. 6개월에서 24개월까지 비육된 한우의 도체성적 기반 개체모형 (animal model)을 사용하여 유전모수를 추정하였고 이를 근거로 보증씨수소를 선발하였다. 2005년 축산물등급관정품질제도가 변경됨에 따라 국가단위 개체모형의 유전모수가 바뀌었고 이를 현재까지 사용하고 있다 (Kim 등, 2014; Choi 등, 2015).

한우 도체성적의 유전모수 추정 관련 연구를 살펴보면 Hwang 등 (2008)과 Cho 등 (2013)은 국가단위 유전모수 추정 개체모형을 사용하였고 Kim 등 (2010b)과 Moon 등 (2007)은 일반 한우농가에서 정확한 혈통정보를 수집할 수 없어 환경변이 관련 유전모수를 추정하였다. 그래서 현재까지 일반농가 한우를 대상으로 국가단위 유전모수 추정 개체모형을 이용하여 분석되지 않았다.

[†] 본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (313002-3).

¹ (25354) 강원도 평창군 대화면 평창대로 1447, 서울대학교 그린바이오과학기술연구원, 연구교수.

² 교신저자: (38541) 경북 경산시 대학로 280, 영남대학교 이과대학 통계학과, 교수. E-mail: jlee@yu.ac.kr

따라서 본 연구목표는 일반농가 한우의 도체형질에 대한 유전모수를 추정하고 이를 통해 일반농가 한우의 효율적인 개량방향의 기초자료를 제공하고자 한다. 본 연구의 2절에서는 일반농가 한우의 유전모수를 추정하기 위한 재료 및 방법에 대해 소개한다. 본 연구의 3절에서는 일반농가 한우 5,843두의 도체형질에 대한 기초통계량을 소개한다. 본 연구의 4절에서는 일반농가 한우 5,843두의 도체형질에 대한 유전력, 유전상관, 표현상관에 대해 소개한다. 본 연구의 5절에는 국가단위 씨수소 선발용 후대검정우 집단의 추정된 유전모수를 참고문헌을 통해 소개하고 이를 일반농가 한우의 유전모수와 비교한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 분석자료

일반농가 한우에 대한 유전모수를 추정하기 위해 경북 지역에서 사육된 한우 107,020두의 생산정보(출생년도, 출생계절, 부의 정보, 사육일령)와 도체성적(도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도) 들 중 개체 사육정보 기록(사육지역, 혈통정보, 개체바코드등)이 정확하고 개체별 DNA 유전정보를 통해 친자확인이 완료된 한우 거세우 5,843두를 분석에 사용하였다 (Table 2.1).

Table 2.1 Descriptive statistics of carcass traits in commercial Hanwoo

Traits ¹	n	Min	Max	Mean	SD ²
CW (kg)	5,843	300	646	423.37	42.52
EMA (cm ²)	5,843	64	120	90.39	9.45
BF (mm)	5,843	3	30	12.36	4.79
MS9 (score)	5,843	1	9	5.34	1.91

¹CW: Carcass weight, EMA: Eye muscle area, BF: Backfat thickness, MS9: Marbling score.

²SD: standard deviation

2009년부터 2012년까지 수집된 도체성적에 대한 측정기준은 출하된 한우가 공판장에서 도축 후, 농림축산식품부고시 제2014-4호 (MAFRA.2014. 02. 03) 축산물등급판정 세부기준에 의거하여 판정되었다. 각 성적에 대한 측정방식을 살펴보면 도체중 (carcass weight, CWT)은 도축장경영자가 측정하여 제출한 도체 한 마리 분의 중량이며, 등심단면적 (eye muscle area, EMA)은 등급판정부위에서 가로, 세로가 1cm단위로 표시된 면적자를 이용하여 배최장근의 단면적을 cm²단위로 측정 (배최장근 주위의 배다열근, 두반근, 배반근 제외)하였다.

등지방두께 (backfat thickness, BF)는 등급판정부위에서 배최장근단면의 오른쪽면을 따라 복부쪽으로 3분의 2 들어간 지점의 등지방을 mm단위로 측정 (등지방두께가 1mm이하인 경우에는 1mm로 판정)하였고 근내지방도 (marbling score, MS)은 등급판정부위에서 배최장근단면에 나타난 지방분포 정도를 점수화 하였다.

2.2. 통계분석

다형질 개체모형 (multiple trait animal models)은 아래의 행렬에 의한 방정식으로 표시할 수 있다.

$$Y = Xb + Zu + e \quad (2.1)$$

여기서,

Y : 각 도체성적의 관측치에 대한 벡터

X : 고정효과(출생년도, 사육지역)에 대한 계수행렬

Z : 개체 임의효과에 관한 계수행렬 $\sim N(0, A\sigma_a^2)$

b : 고정효과에 대한 추정치 벡터

u : 개체의 상가적 유전(임의)효과 벡터

e : 각 형질에 대한 임의오차 벡터 $\sim N(0, I\sigma_e^2)$

이는 다시 아래와 같은 혼합모형방정식 (Mixed Model Equations)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}Z & Z'R^{-1}Z + G^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

위의 MME (Mixed Model Equations) 대한 우도함수 (likelihood function)의 자연 log는 다음과 같다.

$$\log \Lambda = -0.5[(n - p) \log(2\pi) + \log |K'VK| + y'K(K'VK)^{-1}K'y] \quad (2.3)$$

본 연구에서는 이러한 통계모형의 모수추정이 단일식으로 계산되지 않을 경우에 E-단계와 M-단계 계산을 반복하는 추정절차를 통하여 최대우도 추정치를 계산하는 EM-REML Algorithm을 바탕으로 Misztal 등 (2014)이 개발한 BLUPF90 family of programs의 REMLF90을 이용하여 유전모수를 추정하였으며 각 Round별 분산성분의 차이가 1.0×10^{-10} 미만으로 수렴 될 때까지 반복 추정하였다. REMLF90에서는 고정효과의 영향을 종속변수에서 보정하고 난 후에 모수 추정을 하며 이러한 과정을 거쳐 유전분산·공분산, 잔차분산·공분산이 구해진다. 이들의 합을 통하여 표현형 분산·공분산을 구하였으며 아래의 공식을 이용해 유전력, 표현형 상관을 계산하였다 (Jang 등, 2010).

$$\hat{h}^2 = \frac{\widehat{\sigma}_a^2}{\widehat{\sigma}_a^2 + \widehat{\sigma}_e^2} \quad (2.4)$$

$$\hat{r}_G = \frac{\widehat{COV}_{a(i,j)}}{\sqrt{\widehat{\sigma}_{a(i)}^2 \times \widehat{\sigma}_{a(j)}^2}} \quad (i \neq j) \quad (2.5)$$

$$\hat{r}_p = \frac{\widehat{COV}_{p(i,j)}}{\sqrt{\widehat{\sigma}_{p(i)}^2 \times \widehat{\sigma}_{p(j)}^2}} \quad (i \neq j) \quad (2.6)$$

여기서,

\hat{h}^2 = 유전력, \hat{r}_G = 유전상관, \hat{r}_p = 표현형 상관

$\widehat{\sigma}_a^2$ = 상가적 유전분산, $\widehat{\sigma}_e^2$ = 잔차분산, $\widehat{\sigma}_p^2$ = 표현형 분산

$\widehat{COV}_{a(i,j)}$ = i, j 번째 형질 간 유전공분산, $\widehat{COV}_{p(i,j)}$ = i, j 번째 형질 간 표현형 공분산

3. 일반농가 한우집단의 도체성적에 대한 기초통계량

일반농가 한우의 유전모수를 추정하기 위해 농협중앙회 한우개량사업소에서 실시되고 있는 국가단위 씨수소 선발용 개체모형을 사용하였다. 개체모형에는 출생년도 (도축년도), 출생계절을 고정효과, 사육 일령을 공변량으로 포함시켜 실시하였다. 여기서 모델에 포함된 출생년도는 도축된 한우개체들의 출생년도이다. Table 2.1는 일반농가 한우집단 5,843두에 대한 출생년도 (도축년도), 출생계절, 아버정보의 두수현황을 살펴보았다.

일반농가 한우집단 5,843두에 대한 출생년도는 2005년부터 2008년 이었고 수집된 도축성적에 대한 년도는 2009년부터 2012년이다. 여기서 수집된 도축성적에 대한 데이터를 살펴보면 2009년에 수집된 데이터는 427두, 2010년 501두, 2011년 2,601두, 2012년 2,314두였다. 2009년과 2010년에 수집된 개체, 즉 개체 사육기록이 정확하고 친자확인이 되는 개체가 2011년과 2012년 개체보다 적은 이유는 쇠고기 이력제를 통해 체계적으로 관리되고 있기 때문이다.

또한 출생계절별 두수현황은 봄 2,185두, 여름 1,388두, 가을 886두, 겨울 1,384두로 봄에 가장 많은 한우가 태어났다. 사육지역은 경산외 19개 지역이었다. 경산이 1,467두로 가장 많았으며 이와 반대로 영양이 35두로 가장 적었다. 종모우의 자손두수현황을 살펴보면 종모우 530번이 420두로 가장 많은 자손을 가지고 있었으며 종모우 497번이 324두로 두 번째로 많은 자손을 가지고 있었다. 이와 반대로 종모우 576번은 33두의 자손을 가지고 있었으며 본 연구에서 종모우 자손두수현황 중 가장 낮았다.

Table 3.1은 한우집단 5,843두의 도체성적별 빈도를 나타내었다.

Table 3.1 Variable and number of animal used in this study

Year of selected data	n	Season at birth	n	Region	n	Half-sib family			
						Sire	n	Sire	n
2009	427	Spring	2,185	Gyeongsan-si	1,467	289	86	493	106
2010	501	Summer	1,388	Gyeongju-si	169	330	54	494	90
2011	2,601	Autumn	886	Goryeong-gun	206	336	34	496	89
2012	2,314	Winter	1,384	Gumi-si	685	340	254	497	324
				Gunwi-gun	140	348	159	498	206
				Gimcheon-si	614	369	183	500	68
				Mungyeong-si	54	374	53	501	54
				Bonghwa-gun	204	387	55	502	43
				Seongju-gun	140	388	97	504	55
				Yeongdeok-gun	317	393	18	505	273
				Yeongyang-gun	35	413	67	506	47
				Yeongju-si	326	431	85	507	123
				Yeongcheon-si	388	448	187	511	80
				Yecheon-si	81	450	75	517	49
				Uiseong-gun	297	452	51	521	193
				Cheongdo-gun	247	457	30	525	51
				Cheongsong-gun	54	458	252	530	420
				Chilgok-gun	216	460	65	531	70
				Pohang-si	203	472	57	537	57
						479	58	538	177
						480	88	542	168
						484	156	557	77
						485	186	566	31
						486	255	571	139
						487	46	572	59
						588	110	576	33

Kim 등 (2010b)은 일반농가 한우집단 1,892두에 대해 경제형질별 유전모수를 추정하고 1kg당 경락 단가과 한우 마리당 가격에 대해 한우 경제형질별 상관관계를 조사하였다. Kim 등 (2010b)이 제시한 자료를 살펴보면 사육일령 889.84일, 도체중 420.89kg, 등지방두께 12.09mm, 등심단면적 88.15cm², 근내지방도 5.79 score였다. Table 3.1에 제시된 한우집단의 성적과 Kim 등 (2010b)의 연구결과와 비교한 바 도체중, 등지방두께, 등심단면적에서 Kim 등 (2010b)이 제시한 능력치보다 2.48kg, 0.27mm, 2.24cm², 다소 높게 나타났지만 근내지방도에서는 0.45 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

4. 도체형질의 유전모수 추정

Table 4.1은 일반농가 한우집단 5,843두의 도체형질별 유전분산, 환경분산, 유전력을 나타내었다. Kim 등 (2010b)이 제시한 일반농가 한우의 도체형질에 대한 유전력 결과를 살펴보면 도체중 0.20, 등지방두께 0.33, 등심단면적 0.07, 근내지방도 0.25였고 본 연구의 도체형질별 유전력 결과는 도체중 0.19, 등지방두께 0.20, 등심단면적 0.17, 근내지방도 0.23였다.

본 연구결과와 Kim 등 (2010b)이 제시한 일반농가 한우의 유전력 결과를 비교한 결과 도체중에서는 거의 동일한 결과를 나타내었으며 등지방두께에서는 0.20와 0.33으로 Kim 등 (2010b)이 제시한 결과가 0.13 높게 나타났다. 하지만 등심단면적에서는 0.07과 0.17으로 0.1정도의 차이를 나타내었고 근내지방도에서는 0.23와 0.25로 거의 동일한 결과를 나타내었다.

Moon 등 (2007)은 일반농가 한우에서 출하된 17,578두의 등급판정결과를 이용하여 도체중, 등심단면적, 등지방두께, 근내지방도에 대한 유전력을 추정한 결과 도체중에서는 0.20, 등심단면적 0.11, 등지방두께 0.12, 근내지방도 0.13으로 보고하였다. Moon 등 (2007)의 연구결과는 본 연구결과 다소 차이를 나타내지만 거의 동일한 것으로 나타났다.

Table 4.1 Estimated genetic and environmental variance, heritability of carcass traits in commercial Hanwoo

Traits ¹	Genetic variance (σ_g^2)	Environmental variance (σ_e^2)	Heritability (h^2)
CW (kg)	39427.86	167480.14	0.19
EMA (cm ²)	1940.41	11253.33	0.17
BF (mm)	566.84	2272.46	0.20
MS9 (score)	93.60	306.67	0.23

¹CW: Carcass weight, EMA: Eye muscle area, BF: Backfat thickness, MS9: Marbling score.

Table 4.2는 일반농가 한우 5,843두의 도체형질에 대한 유전상관과 표현상관을 제시하였다. 유전상관은 두 개의 형질을 지배하는 유전자가 동일 염색체 상에 존재함을 뜻하고 표현상관은 두 개의 형질간 상관성을 의미한다. 이는 두 개의 형질을 개량함에 있어 이 형질간의 유전상관이 높을 경우 개량이 쉬운 형질을 개량함으로써 다른 형질도 동시에 개량할 수 있는 이점이 있다. 도체중 표현상관의 경우 등심단면적, 등지방두께와 근내지방도에서 정의 상관관계를 나타내었다. 등심단면적 표현상관의 경우 등지방두께와 부의 상관관계를 나타내었다. Moon 등 (2007)의 연구결과와 비교한 바 등심단면적과 등지방두께의 부의 상관관계를 제외한 부분에서 일치하는 것으로 나타났다. Hwang 등 (2008)은 도체중과 등심단면적 간의 유전상관이 0.63으로 추정되었고 일반농가 한우집단에서는 도체중과 등심단면적 간 유전상관이 0.52였다.

Table 4.2 Genetic (above the diagonal) and phenotypic (below the diagonal) correlation between carcass traits of Hanwoo

Traits ¹	CW (kg)	EMA (cm ²)	BF (mm)	MS9 (score)
CW		0.83	0.19	0.39
EMA	0.52		0.18	0.43
BF	0.33	-0.01		0.11
MS9	0.16	0.32	0.05	

¹CW: Carcass weight, EMA: Eye muscle area, BF: Backfat thickness, MS9: Marbling score.

따라서 일반 한우농가에서 도체중과 등심단면적에 대한 유전적 개량에 있어 이 중 개량하기 쉬운 형질을 선택하여 개체모형을 고려하여야 한다.

5. 일반농가 한우와 국가단위 후대검정우 집단간 유전모수 비교

Hwang 등 (2008)이 보고한 국가단위 씨수소 선발용 후대검정우 집단의 유전력을 추정한 결과 도체중 0.30, 등심단면적 0.37, 등지방두께 0.44, 근내지방도 0.44로 나타났다. Hwang 등 (2008)이 제시한 결과는 본 연구결과와 상당한 차이를 나타내고 있다 (Table 5.1). 이는 각 연구에 사용된 집단의 차이일 것이다. 우선 씨수소 선발용 후대검정우 집단은 사육월령이 24개월이고 이와 반대로 일반농가 한우의 사육월령은 약 30개월이다. Wang 등 (2009)은 사육개월별 유전자 발현을 조사한 결과 사육개월별로 유전자 발현에 차이를 보고하였다. 따라서 사육개월이 24개월인 후대검정우 집단과 30개월인 일반

농가 한우의 유전력이 다른 이유는 Wang 등 (2009)이 보고한 사육개월별 유전자 발현의 차이 때문일 것이라 판단되어진다. 또한 사육지역에 따른 환경변이와 암소의 유전능력 차이가 크기 때문이다.

Table 5.1 Comparison of heritability for carcass traits between national progeny test and commercial Hanwoo population

Population	CW (kg)	EMA (cm ²)	BF (mm)	MS9 (score)
National progeny test	0.30	0.37	0.44	0.44
commercial Hanwoo	0.19	0.17	0.20	0.23

CW: Carcass weight, EMA: Eye muscle area, BF: Backfat thickness, MS9: Marbling score.

따라서 본 연구에서도 현재 실시되어지고 있는 국가단위 씨수소 선발용 개체모형에 농가 한우집단에 사용할 수 있는 유전요인을 포함시켜 실용화 개체모형 개발이 시급하다.

References

- Cassell, B. (2009). *Using heritability for genetic improvement*, Genetics and Management, Virginia Tech, USA.
- Cho, K.-H., Lee, H.-K., Lee, J.-H. and Park, K.-D. (2013). Estimation of genetic parameters for milk flow traits in Holstein dairy cattle. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **24**, 487-493.
- Choi, T. J., Kim, S., Park, B., Cho, C. I., Lee, J. G., Koo, Y., Roh, S. H. and Alam, M. (2015). Genetic parameters for yearling weight carcass traits and primal-cut yields of Korean Hanwoo cattle. *Journal of Animal Science*, **93**, 1-11.
- Hwang, J. M., Kim, S., Choy, Y. H., Yoon, H. B. and Park, C. J. (2008). Genetic parameter estimation of carcass traits of Hanwoo steers. *Journal of Animal Science and Technology*, **50**, 613-620.
- Jang, Y. Y. (2010). *Design guidelines for the regeneration of the facilities of slaughter plants in Korea : Based on the national restructuring plan of slaughter plant*, Ph. D. Thesis, Yonsei University, Korea.
- Kim, B.-K., Oh, D.-Y., Jung, D.-J. and Lee, J.-Y. (2014). A survey study of farmers' recognition on reality of Hanwoo raising and improving quality : Focused on Gyeongsangbuk-Do. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **25**, 533-545.
- Kim, H. S., Hwang, J. M., Choi, T. J., Park, B. H., Cho, K. H., Park, C. J. and Kim, S. D. (2010a). Research on the reformation of the selection index for Hanwoo Proven Bull. *Journal of Animal Science and Technology*, **52**, 83-90.
- Kim, J., Kim, D., Lee, J. and Lee, C. (2010b). Genetic relationship between carcass traits and carcass price of Korean Cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, **23**, 848-854.
- Misztal, I., Tsuruta, S. and Lourenco, D. (2014). *Manual for BLUPF90 family of programs*, User notes, University of Georgia, USA.
- Moon, W. G., Kim, B. W., Roh, S. H., Kim, H. S., Jung, D. J., Sun, D. W., Kim, K. N., Yoon, Y. T., Jung, J. H., Jeon, J. T. and Lee, J. G. (2007). Estimation of environmental effect and genetic parameters for the carcass traits in Hanwoo (Korean Cattle). *Journal of Animal Science and Technology*, **49**, 689-698.
- Pabiou, T., Fikse, W. F., Nsholm, A., Cromie, A. R., Drennan, M. J., Keane, M. G. and Berry, D. P. (2009). Genetic parameters for carcass cut weight in Irish beef cattle. *Journal of Animal Science*, **87**, 3865-3876.
- Roh, S. H., Kim, B. W., Kim, H. S., Min, H. S., Yoon, H. B., Lee, D. H., Jeon, J. T. and Lee, J. G. (2004). Comparison between REML and Gibbs sampling algorithm with a mixed animal model to estimate genetic parameters for carcass traits in Hanwoo (Korean Native Cattle). *Journal of Animal Science and Technology*, **46**, 719-728.
- Wang, Y. H., Bower, N. I., Reverter, A., Tan, S. H., De Jager, N., Wang, R., McWilliam, S. M., Cafe, L. M., Greenwood, P. L. and Lehnert, S. A. (2009). Gene expression patterns during intramuscular fat development in cattle. *Journal of Animal Science*, **87**, 119-130.

Estimation of genetic parameter for carcass traits in commercial Hanwoo steer[†]

Yoonseok Lee¹ · Jea Young Lee²

¹Institute of Green Bio Science & Technology, Seoul National University

²Department of Statistics, Yeungnam University

Received 27 April 2016, revised 9 May 2016, accepted 19 May 2016

Abstract

The aim of study was to estimate genetic parameter of carcass traits in commercial Hanwoo steer using national animal model for selection of superior bull. Analyzed data (n=5,843) on carcass traits was collected from 107,020 Hanwoo steer. The animal model was used to estimate heritability and genetic correlations. The estimated heritability of carcass traits were 0.19, 0.17, 0.20 and 0.23 for carcass weight, eye muscle area, backfat thickness and marbling score, respectively. The estimated heritability for carcass traits in commercial Hanwoo are low than estimated heritability of national progeny test population for selection of superior bull because breeding environment, genetic performance of cow and feeding day was different. Therefore, we suggests that animal model can include practical genetic variable based on national animal model to improve genetic performance in commercial Hanwoo.

Keywords: Animal model, carcass traits, Hanwoo, heritability, genetic parameter.

[†] This paper was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (313002-3).

¹ Reserch professor, Pyeongchang campus, Seoul National University, Pyeongchang 25354, Korea.

² Corresponding author: Professor, Department of Statistics, Yeungnam University, Gyeongbuk 38541, Korea. E-mail: jlee@yu.ac.kr