

검정일 1회 검정에 의한 착유우의 1일 유량 추정시 오차와 정확도

조용민·안병석·최유림
 농촌진흥청 축산기술연구소

Bias and Accuracy of Single Milking Testing Schemes to Estimate Daily Milk Yield

Y. M. Cho, B. S. Ahn and Y. L. Choi

National Livestock Research Institute, R.D.A.

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the adequacy of an alternative a.m.-p.m. testing scheme for milk yield in comparison with the official test method based on weighing two milkings within 24 h. A total of 8,309 p.m. milking weights and 6,767 a.m. milking weights from 72 Holstein cows raised at N.L.R.I. were collected between October 2000 and November 2001. Ratios were computed for daily milk yield to a.m. and p.m. milking weights (direct yield ratios) and ratios of a.m. and p.m. milking weights to daily milk yield (inverse yield ratios). Analysis of variance indicated that the milking interval is the most important source of variation for yield ratios. Adjustment factors for estimating daily milk yield from single milking weights were derived through regression analysis of direct and inverse yield ratios on the length of the milking interval. Daily milk yield was estimated more precisely and accurately when adjustment factors were used than when single milking weights were doubled. In conclusion, alternative recording of a.m. and p.m. milking weights led to reliable estimates of milk yields.

(Key words) : Alternative a.m.-p.m. Daily milk yield, Yield ratio, Adjustment factor)

I 서 론

오전 또는 오후 착유 기록만을 이용한 1일 산유량 추정 방법(AT:Alternative a.m.- p.m. testing)에 대한 제안은 이탈리아의 Porzio(1953)의 연구에서 시발되었으며, 착유 우군검정 계획에 적용함으로써 일정한 검정원에 의해 산유 능력검정을 받을 수 있는 축군 규모의 확대와 두당 검정비의 절감을 기대할 수 있다고 보고된 바 있다(Everett et al., 1970; Hargrove et al., 1984). 따라서, 검정비용의 절감을 위한 요구가 절실한 상황에서 지난 수십년간 많은 나라에서

표준 4주 단위 검정계획(A4 method)를 보완하기 위한 여러 가지 검정체계가 연구된 바 있다(Feddersen, 1998; Rosati et al., 1998; Wiggans, 1981; Wilmink et al., 1998).

Cassandro 등(1995)은 AT 방법의 적절성에 대한 평가결과 착유간격이 산유량 비율의 가장 주요한 요인이었으며, 단순히 오전 유량(AM)이나 오후 유량(PM)을 2배 하였을 때 실제 1일 산유량(DMY) 대비 평균 5%정도 과대 혹은 과소 추정되는 것으로 나타났으며, 보정요인 분석을 위해 직접유량비(DMY:AM, DMY:PM)를 이용한 연구결과(Everett et al., 1970; Lee et al.,

Corresponding author : Dr. Y. M. Cho, National Livestock Research Institute, R.D.A., Omokcheon-dong, Kwonseon-Gu Suwon, Korea. E-mail: variance@rda.go.kr

1984; Putman et al., 1970; Smith et al., 1981)에 비해 역유량비(AM:DMY, PM:DMY)의 이용이 자료의 선형성(linearity)를 보장함으로써 더욱 정확한 추정이 이뤄진다고 보고하였다.

따라서, 본 연구는 기존 산유량 검정 절차인 24시간 이내 2회 측정 방법 대비 1회 착유기록 검정 방법(AT)의 정확성 비교 및 편의(bias)에 영향을 미치는 요인을 구명하고, 1회 측정 산유량 기록을 직접 이용하는 대신 1일 산유량에 대한 1회 측정 산유량의 직접유량비 및 역유량비로 변환한 자료기록을 이용하여 1일 산유량 추정의 효율성을 비교하고자 실시하였다.

II 재료 및 방법

1. 시험 재료

2000년 10월부터 2001년 11월까지 축산기술 연구소의 착유우 72두로부터 오전 및 오후, 1일 2회 측정한 유량기록을 분석에 이용하였으며, Alfa Laval사의 ALPRO system에 의해 착유우 개체별로 기록된 착유시간에 근거하여, 착유시간 간격(MI: milking interval)을 산출하였으며, 다시 현장 기록 이용의 실효성을 배경으로 Liu 등(2000)이 제시한 방법에 따라 30분 단위로 오전 및 오후 각각 4개의 착유 간격 계급(MIC: milking interval class)으로 구분하여 보정계수를 추정하였다.

2. 통계 분석

AM, PM, DMY 및 유량비(yield ratio)와 착유시간 간격(MI)간의 관계를 상관분석(correlation analysis)하였으며, 유량비(yield ratio)는 다음과 같은 선형모형으로 분석하였다.

$$Y_{ijkl} = \mu + I_i + P_j + IP_{ij} + IL_{ik} + PL_{jk} + IPL_{ijk} + e_{ijkl}$$

Y_{ijkl} : i 번째 MI, j 번째 산차, k 번째 비유단계의 l 번째 DMY:AM, DMY:PM, AM:DMY 및 PM:DMY 기록

I_i : i 번째 착유시간간격(MI) 계급의 고정효과
 P_j : j 번째 산차의 고정효과($j=1,2$)
 L_k : k 번째 비유월의 고정효과($k=1, \dots, 10$)
 IP, IL, PL : 착유시간 간격(MI), 산차 및 비유월의 two-way interaction
 IPL : 착유시간 간격(MI), 산차 및 비유월의 three-way interaction
 e_{ijkl} : 임의오차 $\sim N(0, \sigma_e^2)$

1일 산유량 추정을 위한 보정계수는 상이한 착유시간 간격에 대해 직접유량비(DMY:AM, DMY:PM)와 역유량비(AM:DMY, PM:DMY)를 각각 회귀하여 추정하였으며, 모형의 결정계수의 개선 효율을 고려하여 1차의 직선 회귀만을 적용하였다.

1회 기록에 의한 1일 산유량은 다음과 같은 방법으로 추정하여 정확도를 비교하였다.

- ① Doubling method : 오전 혹은 오후 산유기록을 2배하여 1일 산유량 추정
- ② Direct adjustment factor method : 오전 혹은 오후 산유기록에 직접유량비(direct milk yield ratio)로 산출한 보정계수를 곱하여 1일 산유량 추정
- ③ Inverse adjustment factor method : 오전 혹은 오후 산유기록에 역유량비(inverse milk yield ratio)로 산출한 보정계수를 곱하여 1일 산유량 추정

III 결과 및 고찰

1. 일반 통계량

Table 1에는 산차별, 오전 및 오후 산유량과 직접유량비 및 역유량비 기록에 대한 기초 통계량을 표시하였다. 착유시간 간격에서 전일 오후 착유부터 금일 오전 착유까지의 시간 간격인 MI(PM~ M)와 금일 오전 오후 착유시간 간격인 MI(AM~ M)이 정확히 12시간 간격에서 약 0.8시간 정도의 편차를 보이기 때문에 1산차와 이후 산차의 오전유량(AM)과 오후 유

Table 1. Description of milking records

Item ¹⁾	Parity			
	1st		later	
No. of records	4,721		3,588	
	Mean	SD	Mean	SD
DMY, kg	21.80	7.04	23.26	8.24
PM, kg	10.27	3.48	10.93	4.00
AM, kg	11.53	3.71	12.33	4.37
MI(PM~AM)	12.83	0.49	12.80	0.49
MI(AM~PM)	11.16	0.48	11.20	0.47
DMY:PM	2.14	0.15	2.14	0.14
DMY:AM	1.90	0.13	1.89	0.14
PM:DMY	0.47	0.03	0.47	0.03
AM:DMY	0.53	0.03	0.53	0.03

¹⁾ AM = a.m. milking, PM = p.m. milking, DMY = daily milk yield.
 MI(PM~ M) = milking interval between p.m in previous day and a.m. milking
 MI(AM~ M) = milking interval between a.m. and p.m milking within a day.

량(PM)간에 약 +1.3kg 정도의 편차를 야기하는 것으로 볼 수 있다. 역유량비인 PM:DMY 및 AM:DMY는 동일한 표준편차(0.03)를 나타냈으나, 직접유량비인 DMY:PM과 DMY:AM의 표준편차는 다소 상이한 값으로 나타났다.

2. 상관 분석

1일 유량, 오전 및 오후 유량, 집적 유량비, 역유량비 및 착유시간 간격들 간의 상관계수는 Table 2에 표시한 바와 같다. 1일 유량과 오전 및 오후 유량간의 상관관계는 매우 높게 추정

되었으며(+.98 ; $t < .001$), 오전과 오후 유량간에도 고도의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다(+.93 ; $t < .001$). 직접유량비와 역유량비들은 각 유량 기록들과 유의적인 상관관계를 가지는 것으로 추정되었으나($p < .001$), 상관계수는 -.10~.09의 범위로 매우 낮은 상관정도를 가지는 것으로 추정되었다. 이는 유량비는 평균 산유량과는 독립적인 변수라는 것을 의미한다. 그리고 역유량비인 PM:DMY와 AM:DMY간의 완전 상관은 이들 비율간에 존재하는 수학적인 관계에서 기인하는 것이다.

$$PM:DMY = 1 - AM:DMY.$$

$$r(PM:DMY, AM:DMY) = \frac{Cov(PM:DMY, AM:DMY)}{\sqrt{Var(PM:DMY) \times Var(AM:DMY)}}$$

$$Cov(PM:DMY, AM:DMY) = Cov(1 - AM:DMY, AM:DMY) = -Var(AM:DMY)$$

$$Var(PM:DMY) = Var(1 - AM:DMY) = Var(AM:DMY)$$

그러므로

$$r(PM:DMY, AM:DMY) = -\frac{Var(AM:DMY)}{Var(AM:DMY)} = -1$$

착유시간 간격과 오전 및 오후 유량간의 상관계수는 -.19~ 0으로 유의적인 상관관계를 보였으나 상관도가 낮은 것으로 나타났으나, 직접유량비 및 역유량비와는 상관 계수가 -.58~+.59의 범위로 높은 상관을 가지는 것으로 나타났다($t < .001$).

DMY:PM과 DMY:AM간의 관계는 Fig. 1에서

Table 2. Correlation among milk yield, yield ratio, and the milking interval¹⁾

Item ²⁾	PM	AM	DMY:PM	DMY:AM	PM:DMY	AM:DMY	MI(PM~AM)	MI(AM~PM)
DMY, kg	.98	.98	-.10	.07	.09	-.09	-.08	.09
PM, kg		.93	-.28	.25	.27	-.27	-.19	.20
AM, kg			.07	-.10	-.09	.09	.02	-.01
DMY:PM				-.90	-.98	.98	.59	-.58
DMY:AM					.96	-.96	-.50	.48
PM:DMY						-1.00	-.58	.56
AM:DMY							.58	-.56
MI(PM~AM)								-.80

¹⁾ $t < .001$

²⁾ AM = a.m. milking, PM = p.m. milking, DMY = daily milk yield. MI= milking interval

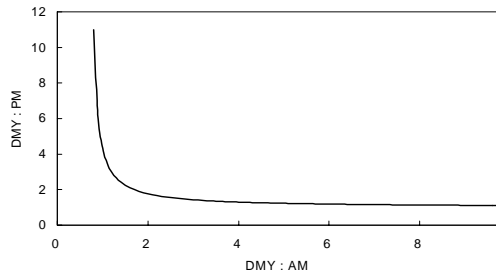


Fig. 1. The relationship between DMY : PM and DMY:AM.

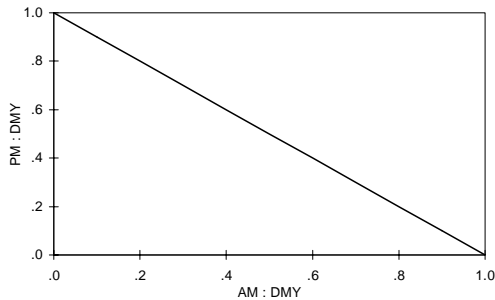


Fig. 2. The relationship between PM : DMY and AM:DMY.

보듯이 비선형성을 가진다. 따라서, 직접유량비 간의 상관관계는 비율이 위치한 곡선 부분에 따라 상이한 값을 가지게 된다. 즉 유량비가 2의 값에 가까운 곡선부분에서는 -1에 가까운 상관계수를 보이지만 곡선의 끝으로 갈수록 상

관계수는 매우 작아지게 된다. 그러나 Fig. 2에서 보듯이 PM:DMY와 AM:DMY는 1일 유량에 대한 오전 및 오후 유량의 비율이므로 두 비율을 합하면 항상 1이 된다. 그러므로, 직접유량비(direct yield ratio) 보다는 역유량비(inverse yield ratio)를 이용함으로써 robust한 보정계수 추정치를 구할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 분산분석

각 유량비에 대한 분산분석 결과를 Table. 3에 표시하였다. 분석된 모든 유량비들에 대해 착유 시간 간격(I)은 유의적으로 영향하는 것으로 나타났다($p < .001$). 이는 착유시간 간격이 유량비의 변이에 주요한 요인임을 의미한다. 착유월수(L)와 일부 교호작용들이 유의적인 효과를 가지는 것으로 나타났지만 그 변이가 상대적으로 작게 추정되었다. 따라서 직접유량비(direct yield ratio)와 역유량비(inverse yield ratio)를 이용한 유량 보정계수 추정에서 착유시간 간격(MI)을 주된 요인으로 하여 회귀 추정을 하였다.

4. 보정 계수의 추정

착유시간 간격(MI)에 대해 오전 유량과 오후 유량으로 1일 유량을 추정하기 위한 보정계수를 Table 4에 표시하였다. 직접유량비를 이용하여 추

Table 3. Least squares ANOVA for yield ratio¹⁾

Source	df	MS			
		DMY:PM	DMY:AM	PM:DMY	AM:DMY
Milking Interval (I)	3	4.340***	2.029***	.207***	.170***
Parity (P)	1	.012	.006	.001	.001
Month of lactation (L)	9	.072***	.022	.003***	.002*
I×P	3	.002	.002	.001	.001
I×L	27	.044***	.025**	.002***	.001***
P×L	9	.020	.006	.001	.001
I×P×L	26	.014	.021*	.001	.001*
Residual ²⁾	8,230(6,688)	.014	.013	.001	.001
R-Square		.331	.255	.312	.333

1) AM = a.m. milking, PM = p.m. milking, DMY = daily milk yield.

2) No. records : PM(8,309), AM(6,767)

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

정한 direct multiplicative factor는 1.792~ 255의 범위로 추정되었으며 오전 유량에 대한 보정계수보다 오후 유량에 대한 보정계수의 값이 높게 추정되었다. 역유량비를 이용하여 추정한 inverse multiplicative factor는 1회 측정된 유량에 대해 추정한 보정계수의 역수를 곱해주거나, 혹은 보정계수로 나눠주는 계산과정을 거치는 것이다. 추정된 보정 계수들은 0.442~ 557의 범위로 추정되었으며, 직접유량비와는 반대로 오전 유량에 대한 보정계수보다 오후 유량에 대한 보정계수의 값이 낮은 범위로 추정되었다.

5. 추정치의 정확도 비교

이상에서 추정한 보정계수들을 이용하여 오전 유량과 오후 유량에 대해 1일 유량 추정한 결과를 비교하기 위해 추정치와 실제 1일 유량 간의 편의(bias), 표준편차로 비교한 정확도 및 극단 추정치를 Table 5에 표시하였다.

Doubling method를 적용하여 추정한 결과는 실제 1일 산유량에 대해 ±1.314kg/d(실제 1일 산유량의 5.85%에 해당)의 편의를 보였으며, ±1.523kg/d의 정확도(실제 1일 산유량의 20.02%

Table 4. Adjustment factors for different milking intervals

Milking Interval (h)		Direct multiplicative factors ¹⁾		Inverse multiplicative factors ²⁾	
p.m.	a.m.	p.m.	a.m.	p.m.	a.m.
~ 0.5	~ 2.5	2.255	1.961	.442	.509
10.5~ 1.0	12.5~ 3.0	2.200	1.902	.453	.524
11.0~ 1.5	13.0~ 3.5	2.109	1.824	.473	.547
11.5~	13.5~	2.028	1.792	.492	.557

¹⁾ Factors computed from regression equations of DMY:PM or DMY:AM on the milking interval (DMY = daily milk yield, PM = p.m. milking weight, and AM = a.m. milking weight).

²⁾ Factors computed from regression equations of PM:DMY or AM:DMY on the milking interval.

Table 5. Bias and accuracy of different methods to estimate daily milk yield using single milking data

Method ^{1,2)}	Bias ³⁾	Accuracy ⁴⁾	Maximum bias	
			Negative	Positive
Doubling		(kg)		
PM	-1.314	1.523	-10.100	17.500
AM	1.314	1.523	-17.500	10.100
Direct factors				
PM	-0.097	1.337	-8.637	19.536
AM	-0.033	1.129	-18.144	6.214
Inverse factors				
PM	-0.025	1.342	-8.591	19.782
AM	0.018	1.131	-18.067	6.301
Incorrect inverse factors				
PM	0.739	1.454	-8.226	22.995
AM	0.547	1.236	-18.067	6.867

¹⁾ AM= a.m. milking weight (kilograms); PM= p.m. milking weight (kilograms)

²⁾ Direct factors = Adjustment factors computed from regression equations of DMY:PM or DMY:AM on the milking interval; inverse factors = factors computed from regression equations of PM:DMY or AM:DMY on the milking interval; incorrect inverse factors = factors computed for values of the milking interval 1hr lower than the true milking intervals.

³⁾ Mean difference between estimated and actual daily yields.

⁴⁾ Standards deviation of the difference between estimated and actual daily yields.

에 해당)를 나타내었다. 직접유량비와 역유량비를 이용하여 추정된 보정계수에 의한 방법이 doubling method에 비해 낮은 편익과 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났으며, 그 중에서도 역유량비를 이용한 inverse factor를 이용한 경우가 더 정확한 추정치를 산출해내는 것으로 나타났다.

착유시간 간격을 실제 기록보다 1시간 작게 적용한 correct inverse factor에 의한 추정 결과는 정확한 착유시간 간격에 의한 inverse factor를 이용한 방법의 추정 결과에 비해 편익과 정확도면에서 비효율적인 추정결과를 가져오는 것으로 나타나서 정확한 착유시간 간격의 적용이 1일 유량 추정에 주요한 요인임을 알 수 있다. 그리고 보정계수에 의한 1일 유량 추정시 오후 유량보다는 오전 유량을 이용하는 경우 추정치의 정확도가 높아지는 것으로 나타났다.

IV 결 론

Alternative AM/PM method는 유성분 추정 및 유전능력 평가에 대한 영향의 명확한 규명이 추가적으로 필요하겠지만, 이상의 결과로 볼 때 산유능력 검정체계에 도입이 가능할 것으로 사료된다. 본 연구의 결과를 요약하면 보정계수를 추정하기 위해 사용한 자료인 직접유량비(DMY:PM, DMY:AM)와 역유량비(PM:DMY, AM:DMY)의 변이에 영향하는 가장 주요한 요인은 이전 착유와의 시간차이인 착유시간 간격(MI)으로 나타났다.

Direct multiplicative factor와 inverse multiplicative factor를 이용한 추정방법은 착유시간 간격 기록이 신뢰성을 가질 경우 doubling method에 비해 1일 유생산량을 정확히 추정하는 결과를 보였다. 역유량비를 이용하여 추정한 보정계수인 inverse adjustment factor는 직접유량비를 이용하여 추정한 보정계수인 direct adjustment factor에 비해 수학적인 특성으로 인해 1일 산유량 추정치의 정확도를 보장할 수 있는 특성이 있는 것으로 사료된다.

V 인 용 문 헌

1. Cassandro, M., Carnier, P., Gallo, L., Mantovni,

R., Contiero, B., Bittante, G. and Jansen, G. B. 1995. Bias and accuracy of single milk testing schemes to estimate daily and lactation milk yield. *J. Dairy Sci.* 78:2884-2893.

2. Everett, R. W. and Wadell, L. H. 1970. Sources of variation affecting ratio factors for estimating total daily yield from individual milkings. *J. Dairy Sci.* 53:1430.

3. Feddersen, E. 1998. Performance recording of animals, state of the art: Proposal for the update of the pedigree document. Page 291 in Proc. 31st Biennial Session of ICAR, Rotorua, New Zealand.

4. Hargrove, G. L. and Gilbert, G. R. 1984. Differences in morning and evening sampl milkings and adjustment to daily weights and percents. *J. Dairy Sci.* 67:194.

5. Lee, A. J. and Wardrop, J. 1984. Predicting daily milk yield, fat percent, and protein percent from morning or afternoon tests. *J. Dairy Sci.* 67:351.

6. Liu, Z., Reents, R., Reinhardt, F. and Kuwan, K. 2000. Approaches to Estimating Daily Yield from Single Milk Testing Schemes and Use of a.m.-p.m. Records in Test-Day Model Genetic Evaluation in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 83:2672-2682.

7. Porzio, G. 1953. A new method of milk recording. *Anim. Breed. Abstr.* 21:344.

8. Putman, D. N. and Gilmore, H. C. 1970. Factors to adjust milk production to a 24-hour basis when milking intervals are unequal. *J. Dairy Sci.* 53 (Suppl. 1):685.

9. Rosati, A., Bouloc, N., Claus, J., Mao, I., Schaeffer, L. and Wilmink, H. 1998. Performance recording of animals, State of the art: Report of the Lactation Working Group. Page 249 in Proc. 31st Biennial Session of ICAR, Rotorua, New Zealand.

10. SAS. 2000. SAS/STAT User's guide. SAS institute Inc., Cary, NC., USA.

11. Smith, J. W. and Pearson, R. E. 1981. Development and evaluation of alternative testing procedures for official records. *J. Dairy Sci.* 64:466.

12. Wiggans, G. W. 1981. Methods to estimate milk and fat yields from a.m./p.m. plans. *J. Dairy Sci.* 64:1621.

13. Wilmink, J. B. M., Galesloot, P., Johnson, D., Ouweltjes, W., Rosati, A., Schaeffer, L. R., Steine, T. and VanRaden, P. 1998. Performance recording of animals, State of the art: Final report of the ICAR-INTERBULL Working Group on Milk Recording Accuracy and its impact on genetic evaluations. Page 249 in Proc. 31st Biennial Session of ICAR, Rotorua, New Zealand.

(접수일자 : 2003. 7. 3. / 채택일자 : 2003. 9. 1.)