

## 한우와 젃소의 발정 행동 반복수와 지속 시간에 관한 연구

손준규, 박성재, 백광수, 최유림, 이명식<sup>1</sup>, 김상범, 김현섭, 신승오, 박춘근<sup>2</sup>, 박수봉<sup>3,\*</sup>  
농촌진흥청 축산과학원 낙농과, <sup>1</sup>농촌진흥청 축산과학원 한우시험장, <sup>2</sup>강원대학교 동물생명과학대학 동물생명공학과,  
<sup>3</sup>농촌진흥청 축산과학원 축산기획조정과

### Studies on the Relationship between Number of Repeat and Duration of Estrous Behavior in Hanwoo and Holstein Cattle

Jun Kyu Son, Seong Jai Park, Kwang Soo Baek, You Lim Choi, Myeung Sik Lee<sup>1</sup>, Sang Bum Kim, Hyeon Shup Kim, Seung Oh Shin, Choon Keun Park<sup>2</sup> and Soo Bong Park<sup>3,\*</sup>

Dairy Science Division, National Institute of Animal Science, RDA, Cheonan 330-801, Korea

<sup>1</sup>Hanwoo Experiment Station, National Institute of Animal Science, RDA

<sup>2</sup>Department of Animal Biotechnology, College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

<sup>3</sup>Planning & Coordination Division, National Institute of Animal Science, RDA

#### ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the relationship between behavioral signs and duration of estrous in Hanwoo and Holstein cattle for the prediction of optical insemination. Fifty two of 58 and 71 of 89 in Hanwoo and Holstein cows or heifers showed estrous exhibition within 72 h after 2 days following PGF<sub>2</sub>α administration, respectively. The number of mounting and standing heat were 54.2 and 57.6, 59.4 and 53.5, 42.0 and 30.8 and 16.2 and 10.7 times in Hanwoo cows, Hanwoo heifers, Holstein cows and Holstein heifers, respectively. Duration of mounting were no significantly difference for Hanwoo cows (21.2±11.3), Hanwoo heifers (19.9±11.4), Holstein cows (8.7±4.4) and Holstein heifers (16.9±8.0). Duration of standing heat were significantly (*p*<0.05) shorter for Holstein cows (5.4±3.4) than for Hanwoo cows (17.1±9.6), Hanwoo heifers (16.5±6.3) and Holstein heifers (15.0±7.2). Time until mounting after injection of PGF<sub>2</sub>α were significantly (*p*<0.05) longer for Holstein cows (56.3±11.45) than for Hanwoo cows (42.71±10.44), Hanwoo heifers (36.6±8.21) and Holstein heifers (40.70±6.15). Time until standing heat after injection of PGF<sub>2</sub>α were significantly (*p*<0.05) longer for Holstein cows (61.6±8.92) than for Hanwoo cows (46.2±11.49), Hanwoo heifers (42.7±6.06) and Holstein heifers (44.1±6.72). In the results of this study, duration of standing heat was the shortest in Holstein cows (5.4±3.4). The estimation of estrous with Holstein cows has more difficulty because to significantly shorter duration of standing heat than for Hanwoo cows, Hanwoo heifers and Holstein heifers. The standing heat can be a good predictor for time of ovulation but it is concluded that mounting behavior could be the best predictor for time of ovulation.

(Key words : Holstein cows, Hanwoo, estrous behavior, PGF<sub>2</sub>α)

#### 서론

발정 관찰의 미비와 생리적, 환경적 변화로 무발정과 미약 발정 그리고 배란 지연에 의한 수태율의 저하가 젃소의 번식에 있어서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다(Austin 등 1995; Pursley 등, 1995; Pankowski 등, 1995; Rounsaville 등 1979). 젃소의 고능력화에 동반하여 분만 후 발정재귀의 지연, 발정 발현의 이상, 수태율의 지속적 저하 등이 일반적 현상으로 등장하고 있다(Wiltbank 등, 2006). 또한, 발정 지속 시간은 예전

17.8시간(Trimberger, 1984)에서 최근에는 평균 10시간 이하라고 보고되고 있다(At-Taras과 Spahr, 2001; Dransfield 등, 1998; Xu 등, 1998). 발정 지속 시간이 점차 짧아짐으로써 배란 시간을 예측하여 수정 적기를 판단하기가 매우 어려운 실정이다(Kaim 등, 2003). 이러한 발정 발현 저하로 인해 발정 관찰이 더욱더 어려워져 그 결과 수태율이 저하되고 있는 실정이다. 최근에는 우군의 규모가 커지면서 발정 관찰과 적기 수정이 어려워져 번식 효율이 떨어지고 경제적 손실이 발생하므로 호르몬 투여에 의한 발정 동기화 배란 동기화 기술이

\* Correspondence : E-mail : psb292@rda.go.kr

이용되고 있다. 이러한 기술로서 Pursley 등(1995)에 의해 고안된 GnRH-PGF<sub>2</sub>α-GnRH 조합을 이용하는 배란동기화법(Ov-synch)이 많이 이용되고 있다.

경제적으로 이상적인 12개월의 분만 간격을 얻기 위해서는 높은 발정 발견율, 합리적인 분만 후 첫 수정일수의 유지와 높은 수태율이 전제되어야 하며(Pelssier, 1976), 수태율을 높이기 위해서는 배란 시간을 예측하여 수정적기를 판단해야 한다. 수태율을 높이기 위해 무엇보다 우선시되는 것이 적기에 발정을 발견하는 것으로 발정 발견은 일반적으로 젖소의 발정 행동을 보고 판단된다. 이러한 발정 행동 징후들로 배란 시점을 예측하는 것은 과거에 생각했던 것보다 매우 많은 변화가 있는 것으로 보고되어지고 있다(Kaim 등, 2003; Walker 등, 1996). 일반적으로 승가 허용은 발정 단계에서의 확실한 발정 징후로 인식하고 있지만 모든 소에서 승가 허용을 보이는 것은 아니다(Kerbrat과 Disenhaus, 2004; Pennington 등, 1986; Hall 등, 1959). 젖소 경산우와 미경산우의 발정 행동 반복수 및 발정 지속 시간에서는 경산우에서 낮은 반복수와 짧은 발정지속 시간을 보였다(손 등, 2007). 인공수정 시 수정적기를 파악하기 위해 배란 시간을 예측하는 것은 매우 중요한 일임에도 불구하고 발정 지속 시간과 승가 허용의 반복수가 점점 짧아짐에도 불구하고 최근에는 발정 지속 시간에 대한 보고는 미흡한 상태이다.

본 연구의 주요 목적은 한우와 젖소의 경산우 및 미경산우의 발정 행동 반복수와 발정 지속 시간을 비교하고, 발정 관찰 후 수정적기를 파악하여 각각의 번식 지표의 기초 자료로 활용하기 위해 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 공시우

본 연구의 자료는 축산과학원 축산자원개발부 낙농과의 젖소 경산우와 미경산우 89두와 축산과학원 한우시험장의 한우 경산우, 미경산우 58두를 각각 공시하였다. 젖소는 분만 후 공태 기간이 40~80일된 경산우 51두와 14개월 이상 성우 편입된 미경산우 38두에서 얻어졌으며, 한우는 분만 후 평균 60일된 경산우 28두와 14개월 이상 성우 편입된 미경산우 30두에서 얻어졌다.

### 2. 사양 관리

모든 공시 젖소는 후리스틀에서 사육되어졌다. 실험 전 기간 동안 한국표준사양관리 방법에 준하여 TMR 사료를 급여하여 사육하였다. 공시된 젖소 경산우는 매일 두 번씩(06:00와 17:00 h) 착유하였다.

또한, 한우의 사양 관리는 방목기와 사사기로 나누어 관리하였으며, 방목기는 5월초부터 10월말까지 화본과 목초인 Ti-

mothy, Orchard Grass와 Tall Fescue가 혼파된 초지에서 청초를 자유 채식하게 하였다. 일일 배합 사료 2.5 kg과 건조 6.5 kg 및 옥수수 사일리지 20 kg을 급여하였다. 방목기 및 사사기에 물은 자유롭게 먹을 수 있도록 하고 농후 사료는 조단백질 함량이 15%, 가소화 영양소 총량 68%로 조정된 연구소에서 자체 배합한 사료를 급여하는 방식으로 사양관리 하였다.

### 3. 발정 동기화 및 발정 관찰

배란동기화법(Pursley 등, 1995)을 기초로 한 S-Ov-synch법을 이용하여 발정을 동기화 시켰다. 발정의 유도는 GnRH 100 µg을 대퇴부에 1차 근육주사 후 7일째에 PGF<sub>2</sub>α(Lutalyse™, Phamacia Co., Belgium) 25 mg을 근육 주사한 후 2일째부터 72시간 동안 연속적으로 육안 관찰을 통하여 발정 행동(승가, 승가 허용)의 반복수를 기록하였다.

### 4. 통계 분석

한우와 젖소의 발정 행동 반복수와 지속 시간의 유의성 분석은 SAS program의 Chi-square를 이용하였고,  $p < 0.05$  이하의 경우 유의한 것으로 판단하였다.

## 결과 및 고찰

Table 1은 한우와 젖소의 경산우, 미경산우의 승가, 승가 허용의 반복수를 나타내었다. 한우의 경우, 승가와 승가 허용 행동의 반복수에서 경산우(54.2회, 57.6회)와 미경산우(59.4회, 53.5회)의 차이는 거의 유사한 경향을 나타냈다. 하지만 젖소에서는 승가와 승가 허용에서 미경산우(42.0회, 30.8회)가 경산우(16.2회, 10.7회)에 비해 매우 많은 반복수를 보였다. 본 실험결과 한우 경산우와 미경산우, 젖소 미경산우에서는 승가, 승가 허용 행동에서 발정 기간 동안 많은 반복수를 보였으나, 젖소 경산우에서는 발정 기간 동안 매우 적은 발정 행동 반복수를 보였다. 이는 젖소의 산유 능력과 관리 기술의 개선에 의해 두당 산유량은 급격히 증가해 왔지만 번식 효율이 지속적으로 저하(Lucy, 2001; Roche 등, 2000)되므로서 나타나는 현상이 아닌가 생각된다.

Fig. 1은 한우와 젖소의 PGF<sub>2</sub>α 투여 후 승가 개시를 시간대 별로 나타낸 그래프로써 한우는 PGF<sub>2</sub>α 투여 후 40시간 이전에 약 54%(28/52) 승가를 개시했으며, 젖소는 40시간 이전에 약 27%(16/58)가 승가를 개시했다. 반면, PGF<sub>2</sub>α 투여 후 60시간 이상인 개체는 한우가 1.9%(1/52), 젖소가 15.5%(9/58)로 나타났다. 이렇듯 발정이 발현된 개체 사이에서는 개체마다 번이가 크기 때문에 발정 개시 또는 발정 종료로부터 배란 시간을 예측하는 것은 매우 어려운 일이다.

한우와 젖소의 승가와 승가 허용 지속 시간을 Table 2에서 나타내었다. 승가 지속 시간에서는 한우 경산우(21.2±11.3), 미

Table 1. Comparison of mounting and standing heat patterns in Hanwoo and Holstein cows

Behavioral estrous sign	Number of repeat (Hanwoo)			Number of repeat (Holstein)		
	Cows	Heifers	Average	Cows	Heifers	Average
Mounting	54.2 (n=26)	59.4 (n=26)	56.8	16.2 (n=25)	42.0 (n=31)	31.0
Standing heat	57.6 (n=22)	53.5 (n=22)	55.6	10.7 (n=18)	30.8 (n=29)	23.7

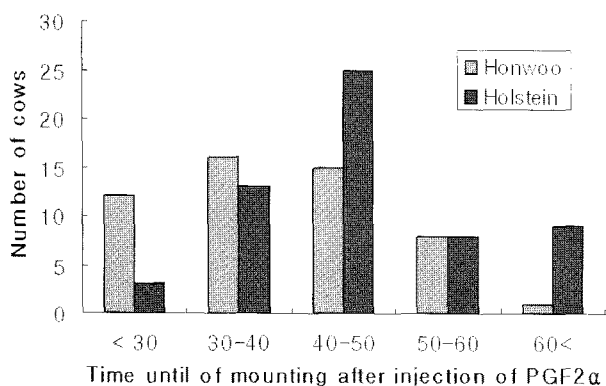


Fig. 1. Distribution of time until of mounting after injection of PGF<sub>2</sub>α in Hanwoo and Holstein cows.

경산우(19.9±11.4)가 젃소 경산우(8.7±4.4), 미경산우(16.9±8.0)에 비해 다소 길게 나타났으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다. 반면, 승가 허용 지속 시간에서는 젃소 경산우(5.4±3.4)가 한우 경산우(17.1±9.6), 미경산우(16.5±6.3) 및 젃소 미경산(15.0±7.2)에 비해 유의적으로( $p<0.05$ ) 짧게 나타났다. Yoshida와 Na-

kao(2005)의 보고에서 경산우와 미경산우의 승가 허용 지속 시간에서 차이가 없었다고 보고하였는데, 본 실험 결과에서는 젃소 경산우의 미경산우의 승가 허용 지속 시간에서 큰 차이를 보였다. 경산우의 경우 평균 승가 허용 지속 시간이 6.2±3.9시간이라는 보고와는 유사하게 나타났으나, 미경산우에서는 본 실험에서 10시간 정도 더 긴 승가 허용 지속 시간을 나타냈다. 이렇듯 미경산우가 경산우에 비해 승가 허용 지속 시간이 긴 이유는 여러 가지 생리적인 요인이 있겠지만 착유를 하는 경산우에 비해 미경산우가 스트레스에 덜 받는 것에도 기인한다고 생각된다.

Table 3은 한우와 젃소의 PGF<sub>2</sub>α 투여 후 승가, 승가 허용 개시까지의 시간을 나타낸 것이다. PGF<sub>2</sub>α 투여 후 승가까지의 시간에서는 젃소 경산우(56.3±11.45)가 젃소 미경산우(40.7±6.15), 한우 경산우(42.7±10.44) 및 한우 미경산우(36.6±8.21)에 비해 유의적으로( $p<0.05$ ) 길게 나타났다. PGF<sub>2</sub>α 투여 후 승가 허용까지의 시간에서도 한우 경산우(46.2±11.49), 미경산우(42.7±6.06) 및 젃소 미경산우(44.1±6.72)에 비해 젃소 경산우(61.6±8.92)에서 유의적으로( $p<0.05$ ) 길게 나타났다.

Table 2. Duration (h) of mounting and standing heat for Hanwoo and Holstein cows (mean±S.D.)

Behavioral estrous sign	Duration (Hanwoo)		Duration (Holstein)	
	Cows	Heifers	Cows	Heifers
Mounting	21.2±11.3 (n=23)	19.9±11.4 (n=26)	8.7±4.4 (n=24)	16.9±8.0 (n=31)
Standing heat	17.1± 9.6 <sup>b</sup> (n=19)	16.5± 6.3 <sup>b</sup> (n=22)	5.4±3.4 <sup>a</sup> (n=18)	15.0±7.2 <sup>b</sup> (n=29)

<sup>a,b</sup> Different superscripts in the same low are significantly different ( $p<0.05$ ).

Table 3. Comparison of time (h) until mounting and standing heat after injection of PGF<sub>2</sub>α in Hanwoo and Holstein cows

	Duration (Hanwoo)		Duration (Holstein)	
	Cows	Heifers	Cows	Heifers
PGF <sub>2</sub> α → mounting	42.7±10.4 <sup>b</sup> (n=26)	36.6±8.2 <sup>b</sup> (n=26)	56.3±11.5 <sup>a</sup> (n=26)	40.7±6.2 <sup>b</sup> (n=32)
PGF <sub>2</sub> α → standing heat	46.2±11.5 <sup>b</sup> (n=22)	42.7±6.1 <sup>b</sup> (n=22)	61.6± 8.9 <sup>a</sup> (n=22)	44.1±6.7 <sup>b</sup> (n=30)

<sup>a,b</sup> Different superscripts in the same low are significantly different ( $p<0.05$ ).

GnRH의 첫번째 투여는 발정 주기의 어느 시기에 관계없이 투여할 수 있고 대부분의 소에서 우세 난포의 배란과 황체화를 유도할 수 있다(Thatchen 등, 1989; Pursley 등, 1995). 7일 후에 PGF<sub>2α</sub>를 투여하면 GnRH에 의해 유도된 황체가 퇴행하게 되고 새로운 우세 난포가 형성된다. PGF<sub>2α</sub> 투여 후 36~48 h에 두번째 GnRH를 투여하면 배란이 동시에 일어나게 되어 정해진 시간에 인공수정이 가능하게 된다. 본 실험에서는 PGF<sub>2α</sub> 투여 후 72시간동안 연속적으로 발정 관찰을 실시하였다. 젖소 경산우의 경우 PGF<sub>2α</sub> 투여 후 평균 61.6±8.92에 승가 허용이 일어났으며, Table 2에서와 같이 승가 허용 지속 시간은 평균 5.4±3.4이다. Hall(1959)과 Trimberger(1948)는 높은 수태율을 위해서 배란 전 7~18시간 사이에 수정을 해야 한다고 보고하였다. 이 간격들을 기초로 배란 전 12시간 전에 수정을 하는 것이 수태율을 높이는데 효과적이며, 적어도 18시간 전에는 수정을 해야 한다고 보고하였다. 비록, 인위적인 S-Ovsynch법을 이용하여 발정을 동기화 시켰으나 자연발정의 경우 승가 허용을 기준으로 12~18시간 사이에 인공수정을 시킨다면 이미 배란이 일어난 후 일 것이다.

개체가 발정이 오면 외음부 냄새 맡기, 턱비빔, 승가 및 승가 허용 순으로 발정 행동을 하나, 외음부 냄새를 맡는 것과 턱비빔 행위는 발정이 오지 않은 개체에서도 보이는 행위이기 때문에 배란을 예측하는 지표로서 적당하지 않다 (Phillips와 Schofield, 1990; Van Eerdenburg 등, 1996). 또한, 지금까지 개체의 승가 허용을 관찰하는 것이 배란 시간을 예측하는 데는 매우 중요한 지표로 사용되지만, 승가를 허용하는 개체가 줄어들고 승가 허용 지속 시간이 짧기 때문에 승가 허용을 관찰하는 것은 매우 어려운 실정이며, 승가 허용을 기준으로 배란을 예측한다면 젖소 경산우의 경우는 수정 적기를 지나 늦게 인공수정을 실시하게 될 것이다. 본 연구에서도 Holtz 등(1993)과 Van Eerdenburg 등(1996)의 보고와 같이 승가를 하는 행위는 배란 시간을 예측하는데 훌륭한 판단 기준이 되는 것으로 확인되었다.

본 연구의 결과에 따르면 승가 허용 개시로부터 승가 허용 지속 시간은 5.4±3.4로 매우 짧게 나타났다. 최초의 승가 허용이 나타난 후 24~30시간 후에 배란이 될 것이라 생각하고 승가 허용 육안 관찰 후 12~18시간 사이에 수정을 실시한다면 수정 적기에 인공수정을 실시할 수 없을 것이다. 비록, 승가 허용을 수정 적기의 지표로 사용하고 있지만, 생리적 환경적으로 변화하는 우군의 상태를 고려하여 승가 허용 지속 시간 및 승가 허용 후 배란 시간과의 관계에 대해 더 많은 연구가 필요하다. 또한, 향후 승가 행동을 정확히 감지할 수 있는 보조 장치가 개발되어 승가 행동을 수정적기의 지표로 사용한다면 보다 높은 수태율의 향상을 가져올 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구는 한우와 젖소 경산우, 미경산우의 수정 적기를 예측하기 위해 PGF<sub>2α</sub> 주사 후 2일째부터 72시간 동안 육안 관찰을 통해 발정 행동(승가, 승가 허용) 반복수와 발정 지속 시간에 대해 각각 조사하였다. 공시된 한우와 젖소는 58두 중 52두, 89두 중 71두에서 각각 발정발현이 나타났다. 한우와 젖소의 승가, 승가 허용 행동 반복수는 한우 경산우(54.2회, 57.6회), 미경산우(59.4회, 53.5회) 및 젖소 미경산우(42.0회, 30.8회)가 젖소 경산우(16.2회, 10.7회)에 비해 매우 많은 반복수를 보였다. 한우와 젖소의 승가 지속 시간에서는 한우 경산우(21.2±11.3), 미경산우(19.9±11.4)가 젖소 경산우(8.7±4.4), 미경산우(16.9±8.0)에 비해 다소 길게 나타났으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다. 반면, 승가 허용 지속 시간에서는 젖소 경산우(5.4±3.4)가 한우 경산우(17.1±9.6), 미경산우(16.5±6.3) 및 젖소 미경산(15.0±7.2)에 비해 유의적으로( $p<0.05$ ) 짧게 나타났다. PGF<sub>2α</sub> 투여 후 승가까지의 시간에서는 젖소 경산우(56.3±11.45)가 젖소 미경산우(40.7±6.15), 한우 경산우(42.7±10.44) 및 한우 미경산우(36.6±8.21)에 비해 유의적으로( $p<0.05$ ) 길게 나타났다. PGF<sub>2α</sub> 투여 후 승가 허용까지의 시간에서도 한우 경산우(46.2±11.49), 미경산우(42.7±6.06) 및 젖소 미경산우(44.1±6.72)에 비해 젖소 경산우(61.6±8.92)에서 유의적으로( $p<0.05$ ) 길게 나타났다. 본 연구 결과에 따르면 우유 생산에 관련한 생리적인 변화가 많은 젖소 경산우의 승가 허용 지속 시간은 한우와 젖소 미경산우에 비해 매우 짧은 것으로 나타났다. 결론적으로 승가 허용과 승가 행위는 배란 시간을 예측하는데 좋은 지표이지만, 승가 허용은 지속 시간이 짧기 때문에 발정 관찰 및 배란 시간을 예측하기가 어려운 실정이다. 따라서 승가 행위로 배란 시간을 예측하는 것이 보다 훌륭한 지표가 될 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- At-Taras EE and Spahr SL. 2001. Detection and characterization of estrus in dairy cattle with an electronic heat mount detector and an electronic activity tag. *J. Dairy Sci.* 84:792-798.
- Austin EJ, Mihm M, Ryan MP, Williams DH and Roche JF. 1995. Effect of duration of dominance of the ovulatory follicle on onset of estrus and fertility in heifers. *J. Dairy Sci.* 77:2219-2226.
- Dransfield MBG, Nebel RL, Pearson RE and Warnick L. 1998. Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *J. Dairy Sci.* 81:1874-1882.

- Hall JG, Branton C and Stone EJ. 1959. Estrus, estrous cycles, ovulation time, time of service and fertility of dairy cattle in Louisiana. *J. Dairy Sci.* 42:1086-1093.
- Holtz W and Meinhardt H. 1993. Oestrus detection in cattle. *Reprod. Dom. Anim.* 28:315-341.
- Kaim M, Bloch A, Wolfenson D, Braw Tal R, Rosenberg M and Voet H. 2003. Effects of GnRH administered to cows at the estrus on timing of ovulation, endocrine responses, and conception. *J. Dairy Sci.* 86:2012-2021.
- Kerbrat S and Disenhaus C. 2004. A proportions for an updated behavioral characterization of the oestrus period in dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 87:223-238.
- Lucy MC. 2001. Reproductive loss in highproducing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.* 84:1277-1293.
- Pankowski JW, Galton DM, Erb HN, Guard CL and Grohn YT. 1995. Use of prostaglandin F<sub>2α</sub> as a postpartum reproductive management tool for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:1477-1478.
- Pelssier CL. 1976. Dairy cattle breeding problems and their consequences. *Theriogenology* 6:575-583.
- Pennington JA, Alright JL and Callahan CJ. 1986. Relationship of sexual activities in estrous cows to different frequencies of observation and pedometer measurements. *J. Dairy Sci.* 69:2925-2934.
- Phillips CJC and Schofield SA. 1990. The effect of environment and stage of the oestrous cycle on the behaviour of dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 27:1-2.
- Pursley JR, Mee MO and Wiltbank MC. 1995. Synchronization of ovulation in dairy cows using PGF<sub>2α</sub> and GnRH. *Theriogenology* 44:915-923.
- Roche JF, Mackey D and Diskin MD. 2000. Reproductive management of postpartum cows. *Anim. Reprod. Sci.* 60:703-712.
- Rounsaville TR, Oltenacu PA, Milligan RA and Foote RH. 1979. Effect of heat detection, conception rate and culling policy on reproductive performance in dairy herds. *J. Dairy Sci.* 62:1435-1442.
- Thatchen WW, Macmillan KL, Hansen PJ and Drost M. 1989. Concepts for regulation of corpus luteum function by the conceptus and ovarian follicle to improve fertility. *Theriogenology* 31:149-164.
- Trimberger GW. 1984. Breeding efficiency in dairy cattle from artificial insemination at various intervals before and after ovulation. *Nebr. Agr. Exp. Sta. Res. Bul.* 153:3-25.
- Van Eerdenburg FJCM, Loeffler SH and Van Vliet JH. 1996. Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Vet. Q.* 18:52-54.
- Walker WL, Nebel RL and McGilliard ML. 1996. Time of ovulation relative to mounting activity in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 79:1555-1561.
- Wiltbank M, Lopes H, Sartori R, Sangsritavong S and Gumen A. 2006. Changes in reproductive physiology of lactating dairy cows due to elevated steroid metabolism. *Theriogenology* 65:17-29.
- Xu ZZ, McKnight DJ, Vishwanath R, Pitt CJ and Burton LJ. 1998. Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *J. Dairy Sci.* 81:2890-2896.
- Yoshida C and Nakao T. 2005. Some characteristics of primary and secondary oestrous signs in high-producing dairy cows. *Reprod. Dom. Anim.* 40:150-155.
- 손준규, 박수봉, 박성제, 백광수, 안병석, 김현섭, 황석주, 주종철, 박춘근. 2007. 젖소의 다양한 발정 행동 징후와 배란시간과의 관계. *한국수정란이식학회지* 22:9-13.